

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

June
2022

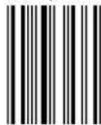


ISSN 0253-3804



9 770253 380006

NT\$350



Volume 49, No. 3

社團法人
中國土木工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

專 輯

軌道運輸系統
安全與管理

離岸風力發電場址調查及
設計技術規範(草案)說明會

特別報導

中國土木工程學會 111年各獎項評選公告

社團法人中國土木工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路 2 段 1 號 4 樓
聯絡人：甄美
聯絡電話：(02) 2392-6325#19
傳 真：(02) 2396-4260

日期：中華民國 111 年 6 月 22 日
字 號：(25) 土水發字第 111078 號
主 旨：公告辦理本學會 111 年度「工程獎章」受獎候選人提名推薦。
依 據：本學會「工程獎章」頒發辦法。

公告事項：

- 一、為獎勵對土木工程學術或事業有特殊貢獻之會員，本學會特訂定「土木工程獎章頒發辦法」(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度「土木工程獎章」受獎候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須有會員五人連署推薦(如附件)。
- 四、工程獎章計五類：終身成就、學術研究、工程事業、優良設計及優良施工獎。推薦書應載明推薦之工程獎章種類。
- 五、候選人推薦書及候選人相關資料乙份，請以掛號郵寄台北市仁愛路二段一號四樓本學會收，並請註明「土木工程獎章」工程獎章候選資料(截止日期：111 年 7 月 31 日，郵戳為憑)。
- 六、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本學會網站(<http://www.ciche.org.tw/wordpress/?p=9306>)下載。
- 七、上述榮譽將於 111 年年會中表揚並頒發獎金獎章。



相關資料下載

理事長

宋裕祺

工程獎章推薦(截止日期：111 年 7 月 31 日)

社團法人中國土木工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路 2 段 1 號 4 樓
聯絡人：甄美
聯絡電話：(02) 2392-6325#19
傳 真：(02) 2396-4260

日期：中華民國 111 年 6 月 22 日
字 號：(25) 土水發字第 111083 號
主 旨：公告辦理本學會 111 年度「中技社土木工程學術獎」受獎候選人提名推薦。
依 據：本學會「中技社土木工程學術獎」設置辦法。

公告事項：

- 一、為獎勵及培植土木工程學術研究人才，表揚其在學術研究上有顯著成就或貢獻，本學會受財團法人中技社委託，特設置「中技社土木工程學術獎」設置辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度「中技社土木工程學術獎」受獎候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須有任職或曾任職之服務單位及本學會理事或監事 3 人以上推薦推薦(如附件)。
- 四、候選人推薦書及候選人相關資料乙份，請以掛號郵寄台北市仁愛路二段一號四樓本學會收，並請註明「土木工程獎章」工程獎章候選資料(截止日期：111 年 7 月 31 日，郵戳為憑)。
- 五、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本學會網站(<http://www.ciche.org.tw/wordpress/?p=9302>)下載。
- 六、上述榮譽將於 111 年年會中表揚頒發證書及獎金。



相關資料下載

理事長

宋裕祺

中技社土木工程學術獎推薦(截止日期：111 年 7 月 31 日)

社團法人中國土木工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路 2 段 1 號 4 樓
聯絡人：甄美
聯絡電話：(02) 2392-6325#19
傳 真：(02) 2396-4260

日期：中華民國 111 年 6 月 22 日
字 號：(25) 土水發字第 111077 號
主 旨：公告辦理本學會 111 年度「會士」設置辦法。
依 據：本學會「會士」設置辦法。

公告事項：

- 一、為表彰本學會會員在土木、水利工程及相關工程領域之傑出工程人員及傑出學者，並對本學會有重大貢獻者，本學會特訂定「會士」設置辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度會士候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須由會士五人以上連署推薦(如附件)。
- 四、請填具推薦書及會士資料表乙份，請以掛號郵寄台北市仁愛路二段一號四樓本學會收，並請註明「會士」候選人提名資料(截止日期：111 年 7 月 31 日，郵戳為憑)。
- 五、空白推薦書暨會士資料表如附件，如需電子檔請上本學會網站(<http://www.ciche.org.tw/wordpress/?p=8379>)下載。
- 六、上述榮譽將於 111 年年會中表揚並頒發當選證書。



相關資料下載

理事長

宋裕祺

會士推薦(截止日期：111 年 7 月 31 日)

社團法人中國土木工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路 2 段 1 號 4 樓
聯絡人：甄美
聯絡電話：(02) 2392-6325#19
傳 真：(02) 2396-4260

日期：中華民國 111 年 6 月 22 日
字 號：(25) 土水發字第 111076 號
主 旨：公告辦理本學會 111 年度榮譽會員候選人提名推薦。
依 據：本學會「榮譽會員」舉薦辦法。

公告事項：

- 一、為尊崇對土木工程事業、學術或教育方面有公認卓越成就之傑出人員，本學會特訂定「榮譽會員」舉薦辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度榮譽會員候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須有會員二十人以上之連署(如附件)。
- 四、填具推薦書乙份，並檢附論文或著作、研究報告或事蹟報告，以掛號郵寄台北市仁愛路二段一號四樓本學會收，並請註明「榮譽會員」舉薦候選(截止日期：111 年 7 月 31 日，郵戳為憑)。
- 五、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本學會網站(<http://www.ciche.org.tw/wordpress/?p=8383>)下載。
- 六、上述榮譽將於 111 年年會中表揚及頒發當選證書。



相關資料下載

理事長

宋裕祺

榮譽會員推薦(截止日期：111 年 7 月 31 日)



上：臺鐵台中高架路段

下：台電向海風借電
彰化芳苑外海離岸一期示範風場

土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 運輸工程
- 資訊工程
- 非破壞檢測
- 鋼結構
- 鋪面工程
- 工程管理
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 水資源工程
- 海洋工程
- 景觀工程
- 能源工程
- 工程美化
- 國土發展
- 大地工程
- 環境工程
- 綠管建工程
- 天然災害防治工程
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 土木史
- 大學教育
- 學生活動
- 終身學習
- 工程教育認證
- 技專院校

學會活動

- 學會選舉
- 土水法規
- 專業服務
- 學會財務
- 會務發展
- 公共關係 [工程倫理]
- 學術活動
- 介紹新會員
- 學會評獎
- 年會籌備
- 會士審查

出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：詹錢登 (國立成功大學水利系特聘教授兼工學院院長、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十五屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：宋裕祺

常務理事：伍勝園 高宗正 楊偉甫 廖學瑞

理事：王宇睿 余信遠 李政安 林子剛 林聰利 胡宣德 高銘堂

張大鵬 張荻薇 莊均緯 許泰文 陳仲賢 曾榮川 黃慧仁

壽克堅 歐善惠 賴建信 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：王藝峰 李建中 沈景鵬 林其璋 邱琳濱 劉國慶

中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

「軌道運輸系統安全與管理」專輯 (客座主編：郭振銘教授)

📖 專輯序言：軌道運輸系統安全與管理	郭振銘	3
📖 台灣軌道骨幹運輸展望與規畫	廖慶隆	4
📖 如何擺脫一票難求	鍾志成／黃筌玟／劉昭榮	9
📖 軌道路線結構之性能品質升級	林智強	14
📖 軌道扣件的設計分析與未來展望	鄭永長／徐銘毅	19
📖 「集電弓－電車線」系統在鐵路提速的技術課題	黃晟豪	23
📖 脫軌事故原因調查經驗分享	郭振銘／李鎮宇	32

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

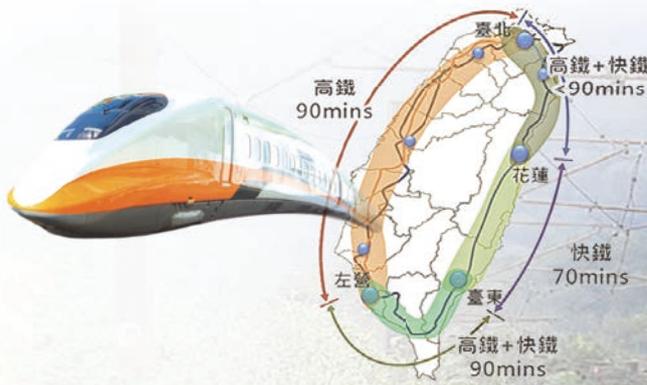
📖 場址調查及設計技術規範簡介	宋裕祺／林偉淞	35
📖 離岸風場之場址調查與載重評估	吳淑珍	41
📖 風場評估概述與設計風況說明	羅元隆	45
📖 特定場址之大地工程調查	倪勝火	52
📖 特定場址之地震危害度與地盤反應分析	柴駿甫	54
📖 特定場址之土壤液化評估	黃俊鴻	57
📖 離岸風力發電廠之性能及安全要求	黃金城	61
📖 離岸風力機支撐結構與電力系統設計	徐偉朝	65
📖 離岸風場設計技術規範之專案驗證執行	顧寶鼎	68
📖 臺灣離岸風電場址條件研究資料庫介紹	劉小勤／盧明德	73
📖 臺灣離岸風電之設計要點與技術發展	宋裕祺／蘇進國	79

工程技術及發展

📖 臺北市因應氣候變遷之防洪調適策略	余世凱／劉柏廷／林洙宏／張凱堯／陳郭正／林志峯／彭振聲	94
--------------------	-----------------------------	----

廣告特搜

公告三則：工程獎章、中技社土木水利學術獎、會士、榮譽會員開始接受推薦，7/31截止	封面裡
壯觀帷幕牆股份有限公司 — 金屬帷幕·石材帷幕·單元帷幕	封底
中興工程顧問股份有限公司 — 大地工程團隊	封底裡
臺北市政府捷運工程局 — 臺北捷運實現國際都會願景	109
經濟部水利署南區水資源局 — 臺東深層海水試驗管工程	110
台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心 做好每一件事情	111
財團法人臺灣營建研究院 — 業務範圍·我們的服務·出版品	8
裕鼎工程科技有限公司 — 掛網岩栓護坡	18
安固工程股份有限公司 — 建築修復結構補強	108



軌道運輸系統安全與管理

專輯序言

專輯客座主編 郭振銘／國立成功大學土木工程系 教授、財團法人鐵道技術研究及驗證中心 執行長

台灣自 1887 年鋪設鐵路迄今已逾 130 年，從早期傳統鐵路、台糖鐵路、森林鐵路，拓展到高速鐵路、捷運系統、都市輕軌等多元軌道運輸，已經成為國人不可或缺的生活必需交通工具。在減碳永續的浪潮下，更是大勢所趨的科技發展。本專輯彙集「台灣軌道骨幹運輸展望與規劃」、「如何擺脫一票難求」、「軌道路線結構之性能品質升級」、「軌道扣件的設計分析與未來展望」、「集電弓電車線系統在鐵路提速的技術課題」、以及「脫軌事故原因調查經驗分享」等六篇文章與讀者分享。

前瞻基礎建設投資逾半在軌道運輸，啟動了台灣鐵道提升自主能力，脫胎換骨的新紀元。我們應該從國土規劃與區域生活圈的高度，合宜配置不同特性的軌道運輸系統。同時透過需求研究與軌道容量分析，從設計端提供運能與管理，善用最大供給容量，解決一票難求的問題。

囿於鐵路系統的複雜與領域知識的封閉性，台灣學術界投入軌道工程技術的能量相當受限。近年來出現過號誌通訊、軌道車輛、行車控制等系統，甚至軌道結構零組件缺乏自主技術，採購成本與時程劇增，影響營運彈性與養護維修品質。近年來，軌道工程技術研究開始萌芽，例如集電弓與電車線在不同速度、不同路段的動態關係對磨耗的影響，扣件系統的性能與設計關鍵，振動噪音與高速列車對軌道結構設計的挑戰。

最後，比照航空事故調查，識別重大事故風險因素的鐵道運輸事故調查，是提升我國鐵道運輸安全的里程碑，亟需不同工程領域學理與技術通力合作，也是整合研究的新領域。筆者整理年前的粗淺經驗希望拋磚引玉，號召各路英雄好漢投入鐵道運輸技術研究，協力台灣建立自主軌道工程技術，接軌國際市場，提升軌道運輸安全與品質的新時代。🇹🇼



台灣軌道骨幹運輸 展望與規畫

廖慶隆 / 國立臺灣大學土木工程學系 教授兼軌道研究中心 主任

軌道運輸是能夠提供大眾運輸的最好交通工具，本文從大眾運輸的核心價值談起，到從國土規劃及區域發展觀點如何來鋪設一個符合國民需求之軌道骨幹計畫，三個九十分鐘之環島鐵路骨幹應該是一個不錯的構想，它可以連結台灣西部走廊上之各大都會區，也可以連接東部含休憩活動之慢生活區，形成一日生活圈之範圍，同時也因減少花在運輸上的時間，而大幅提升國家之生產力。然後在各大都會區內以準時舒適之捷運系統網路，從點的服務擴展到面的服務，再加上完整的聯外交通系統，應可使全國的交通服務門到門的服務，且進而發展以交通服務網為基礎的都市發展模式。

軌道運輸的建設目標

軌道運輸應作為大眾運輸的骨幹，所構成的交通網，應該是提供每個國民（老幼婦孺）基本移動需求的交通工具，尤其是沒有駕照的國民或市民，能夠自行使用及搭乘，使服務層面更寬更廣闊。換句話說，要使所有國民要能很高興使用大眾運輸系統是最重要關鍵^[1]。

當沒有汽車駕照者也能自行順利搭乘時，當然有駕照者會更喜歡搭乘。沒有駕駛執照者包括依法不能申請駕照者，如高齡、未成年、體格檢查不合格及體能測驗無法通過者，以及行動不便者等。這些族群如果需要外出、採買或就醫時，常需要有駕照之工作者協助，不但降低生產力，增加路上小汽車之數量，還造成很多諸如長照及小孩接送之社會問題。因此如果大眾運輸系統可以很方便提供無駕照者搭乘時，且可以跟一般乘客一樣行動自如，不但可以大大減少與老齡化迅速增加有關的社會問題，可以有效減少私人汽車的使用頻率，也提升無駕照居民之自我行動能力，可以增加社會活動力、生產力及消費力。

無障礙設施之發展是讓行動不便者感激的硬體設施，所謂無障礙設施基本上是由殘障設施發展出來的，早期殘障設施，多只針對需要輪椅的朋友，由於服務對象較少，而且常需要額外特殊幫助。因此許多

車站都設置相對偏僻的地點空間，以避免妨礙交通動線。有些車站，樓上的殘障電梯跟樓下的殘障電梯距離還相當遠。由於設置殘障設施需要額外空間及經費，因此在某些不容易設置殘障設施的車站，乾脆提供附加服務或安排特殊的康復巴士服務取代。

行動不便者需要的是可以跟一般乘客一樣行動自如（如圖1），例如自動扶梯，它對行動不便的人非常有幫助，雖然對殘疾人可能沒有特別幫助。實際上，許多正常人也會使用它。如果電扶梯安裝在主要動線上，而且是上下樓層都有時，將有效的幫助大量乘客的流通。如果為行動不便的人提供的無障礙設施，也可讓殘疾人可以自己出行時，情況就大不相同了。



圖1 行動不便者搭乘大眾運輸系統

大眾運輸系統應使用電動扶梯或緩坡道作為升降的主要設施，會引導很多行動不便旅客或背著沉重的大行李願意搭乘大眾運輸系統，即使普通乘客也喜歡使用這種設施，樓梯有時會變成為後備或緊急逃生設施使用。電動扶梯或緩坡不但可以讓動線流暢，提高行動速度，也可以為其他人群提供服務。至於電梯，它主要作為輪椅、嬰兒車及笨重行李者使用，但也應接近主要動線，讓行動不便者也可使用，只是缺點是速度慢、流量有限。

行動不便設施之設置，必須每個車站都要有，否則某些站將被卡住而使行動不便的人的使用意願降低。行動不便的設施需要考慮到所有細節，平順是主要要求，因此幾乎不允許有階梯，地面也需平整，伸縮縫、車門間隙等連接部位也必須平順，相關設施之截角，轉角的設計等也應注意不要妨礙動線，轉乘設施不能距離太遠，否則行動不便者無法走到，如果轉乘步行距離太遠時，就必須設置輔助設施如電動步道等，讓轉乘也是一個很輕鬆愉快的過程。

從國土規劃觀點看軌道運輸與三個九十分鐘的規畫構想

依台灣現有國土空間結構，從人口分布、地質分布、地形分布、斷層帶分布及都市發展，已形成以中

央山脈區隔之兩大生活空間，即西部走廊快活區及花東縱谷慢活區（如圖 2），以及七個都會區，即台北大都會區、桃園中壢大都會區、新竹大都會區、中彰大都會區、嘉義次都會區、台南大都會區及高雄大都會區。就交通系統的建設技術來說，快活區基本上都是平原，因此以高速鐵路為骨幹連結技術上的問題不大，快慢兩生活區間之南北兩端連結，都須穿越變質岩區（圖 3），由於變質岩區之隧道開挖技術較為複雜，因此建議以速度較低工程擾動較小之快鐵系統作為連結，至於花東縱谷慢活區，對移動速度之要求較小，同時考量鐵路系統之整合性及單一性，也建議採快鐵作為骨幹，形成西高鐵東快鐵之政策。

至於各都會區內，則以各種都市軌道系統連結，都市軌道系統目前台灣採用有高運量捷運、中運量捷運及輕軌三種，其選擇視運量、路網及都市發展需求而定。目前已形成路網且運轉較成熟者有台北都會區大眾捷運系統以及高雄都會區大眾捷運系統。

各交通系統間之連結，也就是轉乘非常重要，此時能滿足沒駕照居民的要求應該是很好的檢驗點，結合各種交通系統之整合規劃，希望能提供國民一個夠水準之交通服務，基本上能達到在西部走廊內各主要城鎮間之門到門服務能在三小時內到達，也就是利用高鐵、台

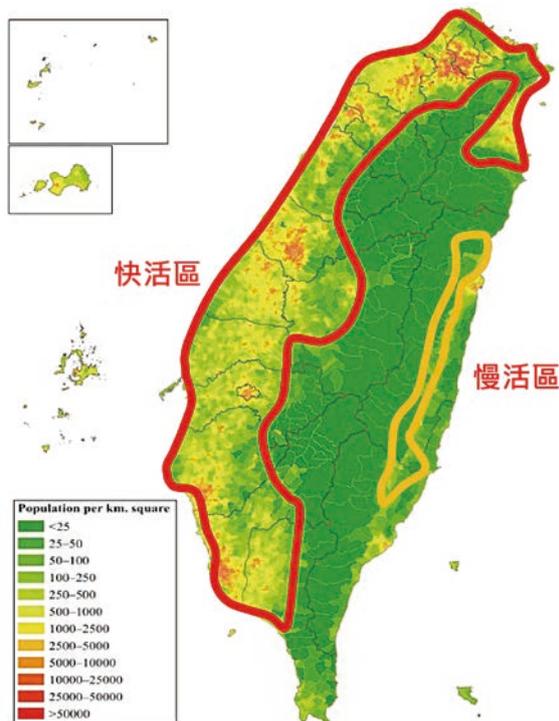


圖 2 台灣地區國土使用空間

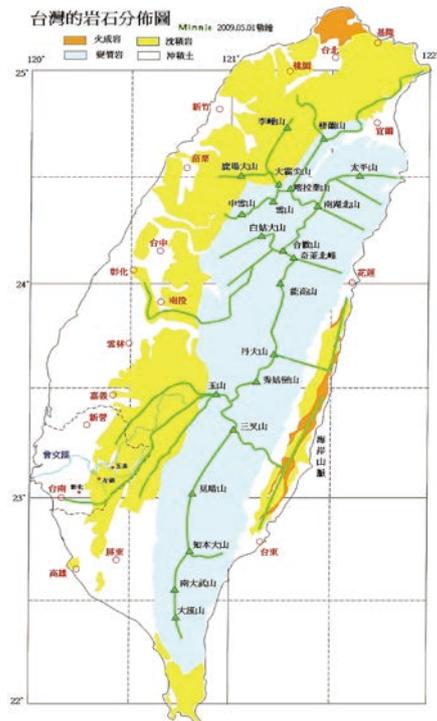


圖 3 台灣地區岩石分佈圖

鐵、捷運、高山鐵路及公車服務，在西部走廊快活區內任意人口三萬以上之城鎮可以在三小時內到達。

三個九十分鐘之構想建立之後，實際考量區域發展及都市發展之狀況，進一步檢討，可將軌道骨幹系統連結區塊設定在北北基都會區、高高屏都會區及花東縱谷休閒區，也就是連結這三個區塊來規畫，由於北北基都會區及高高屏兩大都會區內已經實際進行捷運系統之都市軌道路網興建，以達到都會區內部通勤及商務特殊運輸之要求，花東休閒區也以適合花東休閒及觀光路網之方式發展特色之內部交通系統，也就是這三個區塊內之交通系統可獨立發展且有地方特色，三個九十分鐘以連結這三個區塊之邊緣為主，對北北基來說，只要到達板橋及南港兩個交通樞紐，就可利用台北都會區之大眾捷運系統及公車系統，到達其目的地，同樣的，高高屏區塊之南北兩交通樞紐為左營及屏東，花東休閒區之南北兩樞紐為花蓮及台東。其中南北兩大都會區之內部交通系統已可從南北兩樞紐點到達市區大部分地點在三十分鐘內到達，而花東休閒區之區內交通系統則可滿足從花蓮或台東在四十五分鐘內到達區內大部分地點，目前台灣南北高速鐵路已可從板橋到左營在九十分鐘內到達，

依此由「縱貫高鐵系統」、「北迴快鐵系統」及「南迴快鐵系統」等三條九十分鐘的高快鐵系統所組成之軌



圖 4 三個九十分鐘的基本規畫

道骨幹系統如圖 4 所示，再結合各車站及各地方的聯絡運輸系統，以捷運、輕軌、糖鐵、山鐵及台鐵支線等配合地域分工特色，即成為符合台灣現有國土特色及社會經濟活動需求所構成的整體軌道系統。此即為以高快速鐵路所重新定位的新台灣一日生活圈的國土空間結構。在此一空間結構之下，這個完整的鐵路運輸網將成為台灣下一個五十年國土空間高效率、高可靠、高環保、高品質的永續台灣的主要運輸結構^[2-5]。

坐成習慣之都會區捷運系統

都會區之大眾捷運系統，其主要核心價值為滿足通勤族之通勤要求，也就是讓通勤者（就業及就學人口）能有效擴大一日生活圈範圍，即使遠一些也喜歡利用大眾運輸通勤，節省不必要之塞車浪費，更有效提高國家生產力

一日生活圈範圍指的是一天日常生活需要活動的範圍，主要的活動者幾乎多是常年要搭乘交通工具的通勤者，而通勤者的希望非常直接，即在最短的時間內到達辦公室、工作地點或學校都不會感到疲倦，然後可以立即面對挑戰馬上工作，換言之，生活圈內之通勤移動是輕鬆愉快的，搭乘的距離也可以更遠。

要最短時間到達就業或就學的地點，首先要看運輸網絡的規劃好不好。每位通勤者都感覺是走直線而且是直達車。即使需要轉乘其他線，則轉乘次數越少越好。如果每次轉乘需要五分鐘以上，就會覺得花在通勤的時間太長。圖 5 是台北捷運中正紀念堂站同月台轉乘方式，不同線兩部列車同方向同時到達月台，通勤旅客覺得轉乘又快速又方便。



圖 5 不同線兩部列車同方向同時到達月台之轉乘方式

搭乘不是自己駕駛的車輛，那是一個充滿不確定因素的環境，很多人常常會暈車。搭乘大眾運輸系統也一樣，因此要將這些不確定因素降到最低，應該是大眾運輸系統該做的事。但是交通工具所碰到的環境千變萬化，不變化是不可能的，尤其在交通繁忙的都市交通狀態。還好，大多數人類行為是由習慣控制的，一旦養成習慣後，做事時無需注意它，我們可以下意識地去做。這是人類數百萬年來形成的強大生存武器。如果搭乘大眾運輸系統成為一種習慣，那麼搭乘交通工具就可以被潛意識自然地到達目的地，即使每天搭乘，也可以保持精神飽滿並立即參加戰鬥。

要讓乘坐公共交通系統時之通勤行為變成為習慣性行為，車輛運作的功能具有最大的影響。乘車過程中，每個時間點給乘客的感覺必須非常固定而且是可以預測的，然後才有可能變成習慣。從停在月台上的時間開始，列車的所有性能必須是可預測的；什麼時間將關門，什麼時間車子開始移動，會有多少加速度，列車轉彎時會有多少側向力，車廂什麼時候會振動，甚至會吱吱作響。只要乘坐次數足夠，身體自然就會採取必要的反應動作。搭乘捷運最常發生的現象是，早上出門走哪條小巷，要轉多少圈，要進入哪扇門以及要搭哪輛車時，它幾乎都固定了。就會發生即使是不上班日，如果您不專心的話，您將會到達辦公室。

圖 6 的情況是台北捷運系統中經常出現的現象。很多站立的乘客在車輛全速行駛時也還在使用手機，也沒有抓住吊環。並不是說他們不在乎安全，而是人體自然的潛意識反應也可以使乘客安全。對站立的乘



圖 6 台北捷運車輛行進中站立之旅客

客來說，列車行駛條件更為敏感，但是站立卻是通勤者必須面對的課題。如果希望搭乘條件能夠變成習慣，前提是列車系統的運作必須非常穩定，就像昨天一樣，今天也是如此。當人滿為患時，加速度曲線必須與空車的加速度曲線相同。也就是說，列車牽引動力必須使用閉環控制。也就是通勤用的大眾運輸系統會比較複雜，而且成本比較高。

總結來說，現代大眾運輸系統應盡量做到所有市民都可使用，而且可使乘客的反應變成習慣，減少通勤者受環境變化的影響，這樣就可改變都市為一個健康的都市以及擁有工作快樂的市民。但實務上系統的改善有一些極限，因此，除了對系統進行調整外，還需要對市民心態進行調整，都市發展的前景也須非常積極樂觀，才有充滿前途的快樂城市。

準時性佳之聯絡軌道系統及產業軌道系統

在西部走廊，高鐵的車站目前有十座，除了台北及高雄都會區於市區內有捷運系統網路與高鐵共站外，其餘桃園、新竹、苗栗、彰化、嘉義及台南則分別利用聯外交通系統連接高鐵車站，惟對高鐵乘客而言，搭乘時間比較緊張，到達高鐵站之時間精準度極為重要，由於軌道系統之準時特性，可以讓乘客準確的控制行程，因此對各大都會區來說，建立聯外軌道系統有其必要性，目前桃園高鐵站已經藉機場捷運連結桃園機場與中壢，新竹有台鐵六家線連結新竹高鐵站，台中有台中捷運連結烏日高鐵站，台南有台鐵沙崙線連接台南高鐵站。而苗栗高鐵站與台鐵豐富站幾乎共站，但彰化高鐵站、雲林高鐵站及嘉義高鐵站還沒有比較準時之軌道聯絡系統，希望不久的將來能有聯絡軌道系統建立。

花東休閒慢活區，主要以台鐵及台九線及台十一線構成之交通路網作為區內之交通系統，台鐵在此區內改成快鐵之設計，提高安全度與舒適度，並適當配合觀光形成觀光鐵路，對區內交通應有很大的幫助，至於是否須有類似都會區捷運系統之功能設計，端視花東地區的發展而定^[6]。

至於現有林鐵及糖鐵等產業軌道系統，原先目的是運輸貨物，由於觀光之需求，已經容許載運旅客，但由於其規格離客運鐵路標準仍有相當距離，因此行



如何擺脫一票難求

鍾志成／財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心 主任

黃笙珙／財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心 正研究員

劉昭榮／交通部運輸研究所運輸計畫組 研究員

一票難求是鐵路營運機構面臨的難題之一，這種情況在臺鐵系統最為嚴峻。需求面的管理可以適度地將需求分散在不同的時段，以減緩尖峰的輸運壓力，然而，釜底抽薪之道仍有賴供給面的管理。供給面的管理從鐵路系統興建之初就需要進行路線容量的評估與分析，因為鐵路是百年建設，一旦系統興建完成，要再修改或擴充都所費不貲。本文探討軌道容量的各項影響因素，並概要說明路線容量分析的架構，最後並以臺鐵為例，分析目前的路線容量瓶頸以及可能的改善對策。國內刻正大力推動各項軌道建設計畫，倘若每一個計畫都能落實容量分析，提供適切的硬體設施，將來鐵路營運機構才有充分的運能可資運用，如此方能舒緩一票難求的困境。

前言

鐵路運輸的商品（運輸服務）具有不可儲存的特性，過度供給將造成浪費，而供給不足又會導致一票難求的窘境，因此，如何提供適切的運能，一直是鐵道運輸業者必須面對的難題。

過度供給的問題主要在於確保旅客乘車的權益，時刻表一旦公佈且車票賣出之後，運送契約就成立了，依據《鐵路運送規則》，除非發生天災、事故或其他不可抗力之事由，否則鐵路營運機構應依旅客列車時刻表運轉列車；換言之，業者不能為了節省成本而任意取消班次，因此，針對離峰需求不高的時段，業者通常會拉長服務班距，以降低運能的浪費。

相反地，對於一票難求的情形，鐵路運輸業者會面臨極大的疏運壓力，因此無不挖空心思，用盡手段設法滿足民眾的旅運需求。處理需求大於供給的課題，可從需求面管理及供給面管理兩個方向來探討。前者是透過收益管理的機制，以較低廉的票價將部分時間價值不高的尖峰旅客需求移轉至離峰時段，除了可降低尖峰輸運的壓力之外，亦可減少離峰運能的浪

費；簡言之，即是將需求挖峰填谷，讓運能做最有效的利用。台灣高鐵的票價設計便有此機制存在，會有許多的優惠票種及時段，而臺鐵第四代的票務系統則是會考量不同的起迄需求來配票，且無法提供全程同一座位時，也會有自動車票銜接的機制，讓旅客盡量能夠買得到票。然而，需求面的管理有其極限，若要根本解決一票難求的問題，最重要的還是要依賴供給面的管理。

軌道容量與運輸能力

很多民眾會認為，在尖峰時段或連節假期間，鐵路業者何不多開一些班次提供充足的運能，深究其原因在於軌道容量不足。依交通部運輸研究所頒行的「臺灣鐵道容量手冊」^[1]的定義，軌道容量有很多不同的意涵，如果以運輸能力的觀點來看，一般所謂的運能不足指的是最大供給容量小於需求量。最大供給容量可簡單定義如下：

$$\text{最大供給容量} = \text{路線容量} \times \text{每列車載運的旅客數} \quad (1)$$

上式中路線容量是指單位時間內可以開行的列車班次數，會受到鐵路的路線條件、列車的交車條件，以及行車的控制條件所影響（詳述於後續章節），也是最大供給容量的關鍵影響因素。但在相同路線容量的條件下，藉由開行長編組的列車，以提高每列車載運的旅客量，也可提升整體的運能。只不過列車的編組與車載容量並不能隨意變更，因為目前的列車發展趨勢是採用電聯車，其編組幾乎是固定的，不像早期以機車牽引客車的方式編組運轉，可以任意加掛車廂（註：即使以機車牽引客車，受限於機車牽引力及路線條件，所能牽引的非動力客車亦有其極限）。另外一個限制因素是月台的有效長度，列車編組長度若超過月台的有效長度，旅客並無法安全上下列車，故月台長度也會限制了列車容量。

無論是列車編組型式或是月台長度，在列車採購規劃以及站場設計時就已經決定了，由此可知，鐵路營運機構對於營運資源的採購與建置（例如車輛採購、路線股道數、月台長度等）應該要依據長期需求預測妥善規劃，以免系統建置完成之後，限制了營運的彈性。

為何要進行軌道容量分析

鐵路建設是百年建設，一旦興建完成之後，要變更系統規格除了會影響既有的營運之外，所需投入的財務成本以及經濟成本都非常可觀，因此建設之初，對於未來所能提供的服務品質及運輸能力，必須經過縝密地分析，以免建設成果不敷使用或造成浪費。

前一小節提到，影響運能最關鍵的因素在於路線

容量，因此軌道容量分析實為軌道建設過程不可輕忽的工作。以國內近二十年最常見的鐵路立體化計畫而言，建設後導致臺鐵路線容量下降的情況屢見不鮮，但計畫完工後即變成限制條件，要再修改難度相當高，於是鐵路營運機構僅能在路線容量的限制條件下來營運，自然無法提供充足的運能。正因為過去的案例所造成的衝擊逐漸受到矚目，目前《鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點》中即要求，鐵路立體化建設應該要針對整體路線容量及行車效率之影響進行分析。只不過分析的內容及方法是否詳實，不同計畫之間有很大的落差。

國外容量分析實務案例常應用於「營運」和「工程規劃與設計」兩階段，前者報告著重於定期評估現有容量，並針對瓶頸路段提出改善策略；後者則提供類似國內鐵道建設計畫之可行性評估或綜合規劃與詳細設計報告。另外，部分國家的公部門亦提供此類報告之撰寫規範與指南，建議顧問公司或營運單位撰寫方向與脈絡。國內交通部運輸研究所「應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃」^[2]中即建議，在可行性研究與綜合規劃報告中應先透過運量預測得到尖峰小時旅客量，接著根據列車容量可計算出尖峰小時所需列車數以及設計班距，然後依照此運輸需求進行路線站場的規劃設計，過程中可能會因為不同情境而發展出多種可能方案，最後便要進行容量分析求得運轉時隔、路線容量以及可達成容量，並檢核這些結果是否能夠滿足前面分析求得的設計班距、尖峰小時列車數以及旅客量，以確認設計方案可以滿足運輸需求，如圖 1 所示。

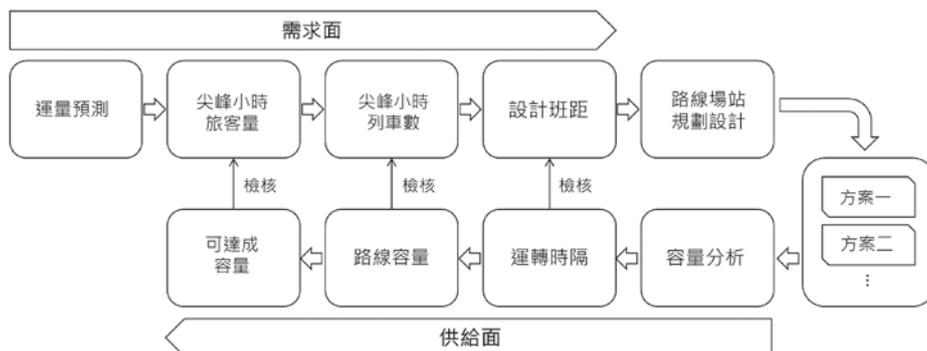


圖 1 可行性研究與綜合規劃應具備的供需分析內容

那些因素會影響軌道容量

前面提及，影響運能最關鍵的因素在於路線容量，而路線容量是單位時間所能開行的列車數，其為計算容量的時間週期除以列車的運轉時隔，亦即兩列車通過路線上同一點的時間間隔，因此影響運轉時隔的因素會決定路線容量的大小。

運轉時隔的影響因素包括路線條件、交通條件，以及控制條件，彙整如表 1。在路線條件方面，站間的軌道數量及站內的軌道佈置最為關鍵。單線區間的路線容量遠不如複線區間，而車站是否設有副正線允許列車追越待避更是影響深遠。臺鐵花東線及南迴線部分路段為單線區間，路線容量較小，這也是為何近年臺鐵希望將此兩路線升級為複線的主要理由。至於站內軌道佈置，主要是因為臺鐵兼營快慢列車，站內的軌道及月台佈置攸關高級列車是否能夠追越慢速列車，對路線容量的影響非常鉅大。臺鐵立體化過程通常伴隨著捷運化車站的增設，絕大多數都是沒有設置副正線，導致先行列車停靠捷運化車站，阻礙續行列車繼續通行，因而減少路線容量。根據張恩輔等人^[3]之研究，每增設一個不能待避的捷運化車站，路線容量減少約 8%。

在列車組充足的情況下，列車的組成以及停站形態是交通條件對運轉時隔最主要的影響因素。快慢車混合運行以及不同的停站型態會有交會待避的時間損失，導致運轉時隔增加，進而降低路線容量，如圖 2 所示。至於控制條件，其中以閉塞號誌的配置方式及閉塞區間長度對運轉時隔的影響最深遠。一般而言，號誌的相位愈多，閉塞區間長度愈短，連續列車之間的距離愈短，運轉時隔也愈短。目前臺鐵採用的是三位式的號誌系統，閉塞區間的長度約 1.5 公里 ~ 2.5 公里，列車的運

表 1 影響運轉時隔的因素

分類	影響因素	
路線條件	<ul style="list-style-type: none"> 站間軌道數目與運轉方式 站內軌道及月台佈置方式 站間距離 路線幾何條件 	<ul style="list-style-type: none"> 銜接點與折返點的配置 基地位置及配線 路線供電穩定度 路權型態
交通條件	<ul style="list-style-type: none"> 列車性能 <ul style="list-style-type: none"> - 列車牽引性能 - 煞車性能 - 最大速度 阻力係數 	<ul style="list-style-type: none"> 列車的組成 列車的方向分布 停站時間與停站型態 可用列車數
控制條件	<ul style="list-style-type: none"> 列車操控方式 閉塞制度的種類 辦理閉塞的方式 	<ul style="list-style-type: none"> 閉塞號誌的配置方式 閉塞區間長度 路口號誌設計 (B 型或 C 型路權)

資料來源：交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊^[1]

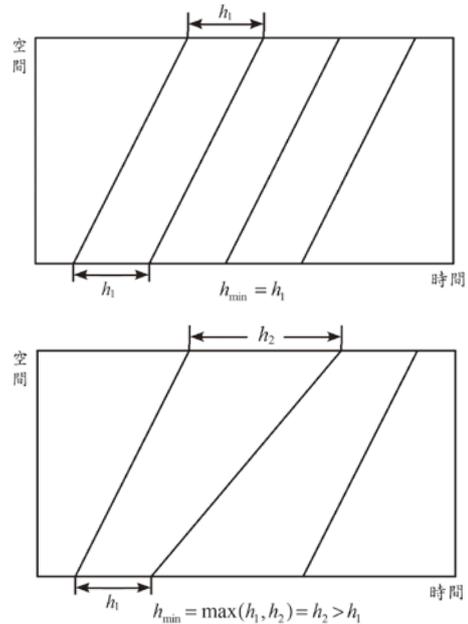


圖 2 列車交通組成對運轉時隔的影響

資料來源：交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊^[1]

轉時隔大約是 3 分鐘，但若考慮停站時間，在捷運化車站，運轉時隔可能會高達 4 分鐘，甚至更高。

要如何進行軌道容量分析

從前一節可知，要分析路線容量必須先計算運轉時隔，而影響運轉時隔的因素非常多，圖 3 為鐵道容量分析的泛用架構，從這個架構可知，容量分析需要複雜的計算，因此必須仰賴電腦的協助，所幸交通部運輸研究所出版的鐵道容量手冊有開發分析軟體，視應用的情境，分為傳統暨區域鐵路系統（即臺鐵系統）、都會捷運系統，以及輕軌運輸系統，可針對不同的系統進行分析。在傳統鐵路方面，視分析的對象究竟是單一路段還是連續路段，分別搭配解析法及模擬法來求解，可因應不同分析目的的需要。

軌道容量分析的注意事項

軌道容量是一個非常複雜的概念，在分析時必須注意以下事項：

- 鐵道容量並非單一固定的數值，只要運轉條件（路線、交通、控制）改變，容量也會跟著改變。有時候甚至連硬體都沒有更動，只是交通條件調整而已（例如車種組成），容量也會跟著改變。
- 計畫性排點考慮的路線容量（列車於號誌常綠下運轉，又稱時刻表容量或實用容量）與運轉整理時的最大容量（列車可能遇到紅黃燈而減速）有不同的

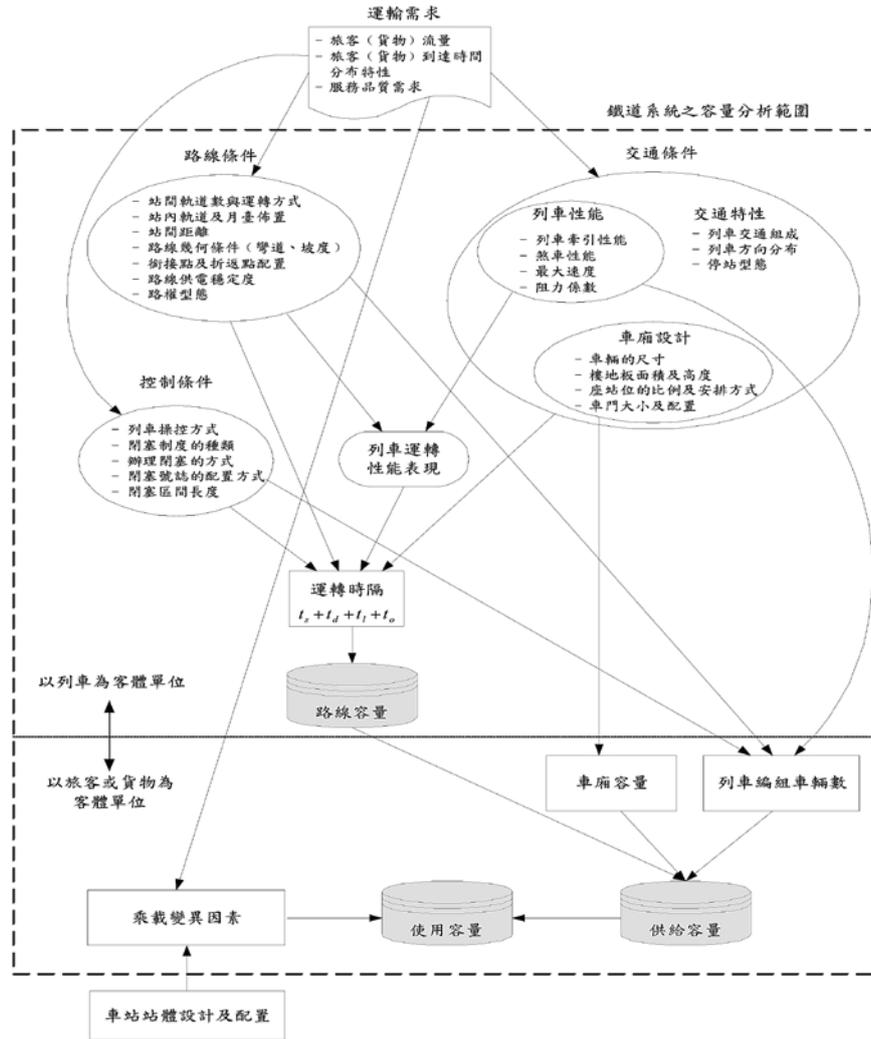


圖 3 鐵道容量分析的泛用架構

資料來源：交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊^[1]

意義。最大容量會大於實用容量，以便列車誤點時可以採行運轉整理策略慢慢恢復時刻表運轉。

3. 最大容量比較偏向於理論上的探討，在實務上的意義不大，比較實用的是時刻表容量，也就是排班作業所能安排的最大列車數（以列車為客體單位）或載運的最大旅客數（以旅客為客體單位）。鐵道容量分析通常以時刻表容量為主。
4. 時刻表容量與服務水準是息息相關的，而且有權衡取捨 (Trade Off) 的關係。當列車流量趨近於最大容量時，延滯會急劇的增加而導致運輸效率不彰，時刻表的可靠度也會下降。相反的，預留較多的運轉寬裕時間以增加保留容量，雖會降低實用容量，但可提升時刻表的可靠度及服務水準。

除此之外，很多人會把列車排點（安排列車時刻表）跟軌道容量分析混為一談，其實兩者有相當大的差異，說明如下：

1. 軌道容量分析是評估軌道系統在一定條件下之的期望容量；列車排點只是一個容量使用的案例，不能代表所有的情況。
2. 軌道容量分析不必給定列車初始班表，但列車排點若無初始班表則無法作業。
3. 列車排點只能回答是否排得出班表，無法回答實用容量有多少？已使用容量有多少等問題。
4. 容量分析會計算運轉時隔，但運轉時隔卻是列車排點的輸入資料。
5. 容量分析可以知道路線瓶頸的所在，但列車排點不能。
6. 列車排點很耗時，在規劃設計階段並不適用。
7. 軌道容量分析可以快速回答策略性的問題，例如基隆每小時是否可以開 8 班通勤列車，但用列車排點來回答這類問題並不恰當。
8. 列車排點需要借助商用數學規劃軟體，所費不貲。

臺鐵路線容量的瓶頸

臺鐵經營環島路網，最常面臨的問題是連節假日東部幹線一票難求的窘境，但問題真的是發生在東部路線（宜蘭線、北迴線及花東線）嗎？恐怕未必見得。主要原因在於東幹線係從樹林調車場發車，會行經臺北地下隧道，而這個區段又有西部幹線列車（七堵調車場發車）、西部通勤列車（基隆－新竹為代表）、東部通勤列車（蘇澳新站－樹林為代表），在路線條件的限制之下，多開東部幹線列車會排擠其他車種的營運班次，簡言之，是不同服務、不同的運轉速度及停靠形態的列車，彼此競爭使用樹林－七堵有限的路線容量，如圖 4 所示。

透過交通部運研所的容量分析模式，可求得七堵－樹林下行方向的路線容量瓶頸發生在七堵－南港之間，每小時僅能開行 8.67 列車（請參閱圖 5），而上行方向的路線容量瓶頸發生在樹林－板橋之間，每小時可開行 10.45 列車（請參閱圖 6）。

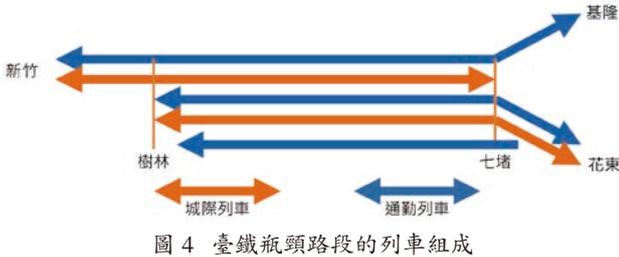


圖 4 臺鐵瓶頸路段的列車組成

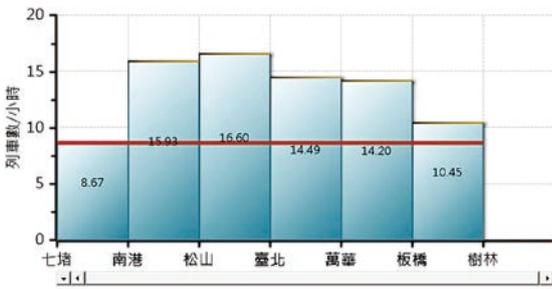


圖 5 下行方向瓶頸位於七堵→汐止

資料來源：交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃^[2]

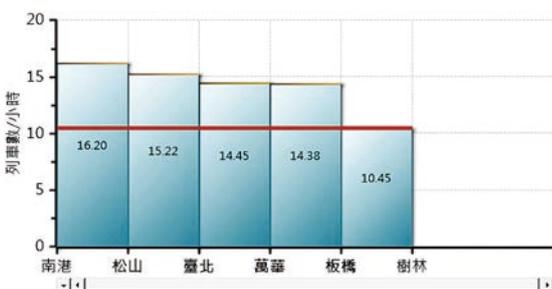


圖 6 上行方向瓶頸則位於樹林→板橋

資料來源：交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃^[2]

表 2 七堵－樹林路段案例之瓶頸改善方案效益彙整表

改善方案	效益說明
傾斜式列車降速運轉	傾斜式列車運轉時間提升 30%，路線容量約可提升 3~7%。
調整交通組成	調整為僅有單一車種，路線容量最多約可提升 44%。
號誌系統改善與升級	將全線號誌安全時距縮短 20%，路線容量約可提升 15~19%
增設待避線	將一處無待避功能之車站增加待避線，路線容量約可提升 2~6%

資料來源：交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃^[2]

若要提升路線容量，可能的方式包括傾斜式列車降速、調整城際列車與通勤列車的比重，以降低列車交會待避的時間損失、升級號誌系統或是於通勤車站增設待避線，分析結果如表 2 所示。從分析結果可知，傾斜式列車降速運轉，提升路線容量的效益最大，也無須金錢成本的支出，只不過旅客搭乘傾斜式列車就是希望減少乘車時間，在路線容量的限制之下，似乎存在運轉效率與路線容量的權衡取捨問題。

結語

鐵路營運業者以旅運服務為主要任務，在面對旅客需求時，無不希望能夠充分滿足旅客的需要。惟運能受到基礎建設的影響甚鉅，若在規劃設計之初沒有進行路線容量分析與檢核，一旦硬體完工之後，只能在有限的路線容量下提供服務，往往造成一票難求的問題。目前國內刻正進行前瞻軌道建設，在此呼籲政府對於軌道建設計畫，一定要進行路線容量分析。過去國內並無相關的分析方法與工具，目前交通部運輸研究所已經頒行鐵道容量手冊並開發相關分析軟體，政府應於相關辦法或制度中強制要求可行性研究與綜合規劃階段必須進行容量分析並進行審議，以免完工後讓鐵道營運機構在有限的容量下提供服務。

另一方面，當系統建設完成之後，鐵道營運機構必須善用其運能，此時搭配彈性票價、優質的訂票系統，透過需求面的管理，將部分尖峰運能移轉至離峰時段，讓時間價值高的旅客付出較高的票價，而時間價值較低的旅客可以選擇離峰時段搭乘，如此，可善用最大供給容量，並提升鐵道營運機構的收益，對於業者及旅客而言，可創造雙贏的局面。

參考文獻

- 交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊（2019）。
- 交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃（2021）。
- 張恩輔、黃笙玟、鍾志成，「臺鐵捷運化建設效益回顧與建議」，第 29 屆中華民國運輸學會論文集，民國 2014 年 12 月。



軌道路線結構之性能品質升級

林智強 / 國立高雄科技大學土木工程系 助理教授

臺灣鐵道路網發展已相當完整，鐵道運輸包含每日通勤、商務出差、觀光旅遊…等交通量，其中觀光路線以臺鐵的環島路網最具有其特殊價值，而臺鐵已營運 135 年，其路線與車輛條件等，皆是相對其他鐵路營運單位老舊與複雜，因此需要結合新的技術來提升列車營運速度，進而提升觀光與安全，並可帶來更大的經濟效益。鐵道技術在近幾年蓬勃發展，若要能夠提升列車速度，除了車輛本身性能須具備外，其他相對的軟硬體也需配合，其中路線條件是關鍵之一，而臺鐵路線複雜度相當高，沿線包含路堤、橋梁和隧道段，尤其路堤段較長而問題也相對較多，路線上的提速關鍵在於彎道，彎道的設計與其線形和列車特性都有相關，有基本的理論與模擬可輔助，但應用於實際路線上時仍須考量其現地特性，現今可結合新的工程技術與設備，提高路線穩定性，讓軌道運輸更加安全與快速。

軌道路線的現況

臺灣擁有多種的軌道運輸系統，包含高速鐵路、城際鐵路、都會捷運和都市輕軌，其運輸特性皆不相同；最直接可從營運長度、最高的營運速度以及平均營運速度來說明這些運輸系統的差異，簡單整理四種運輸系統的代表如表 1 所示，表中可看出營運路線最長的是臺灣鐵路（簡稱臺鐵），台灣高鐵（簡稱高鐵）則是最高營運速度和平均營運速度皆為最快；從表中亦可知各軌道運輸的主要土建形式，其中高鐵在全路線上的土建工程中，橋樑或高架橋段約佔全路線的 73%，另外隧道佔全路線的 18%，其餘 9% 則是採用

路堤或路塹型式，而台北捷運和高雄捷運也類似的方式在靠近都會區的位置採用地下段為主，到路線的末端位置採用高架橋為主，而部分路段和在機廠附近則有部分的土堤段；輕軌主要是服務都市較為核心的地區，加上其路線與一般道路混合使用，因此路線皆為平面。

由於臺鐵的路線是最長的，且也是唯一可環島的路線，本文將以臺鐵為主探討軌道結構性能。運輸安全是最優先的基本考量，而路線品質更是最直接影響到安全，臺鐵在路線上主要為土堤段，而土堤結構如圖 1 所示，從位於最上方依序往下的是鋼軌、扣件系

表 1 軌道運輸系統之代表與基本特性

項目	台灣高鐵	臺灣鐵路	台北捷運	高雄捷運	高雄輕軌
運輸系統屬性	高速鐵路	城際鐵路	都會捷運	都會捷運	都市輕軌
營運路線土建主要形式	高架橋	路堤	高架橋、地下段	高架橋、地下段	平面路段
營運長度 (公里)	350	1,065	146.2	42.7	14.63
最高營運速度 (公里/小時)	300	130	80 70 (文湖線)	80	50
平均 營運速度	200 (直達車)	90 (自強號)	35	35.15	20

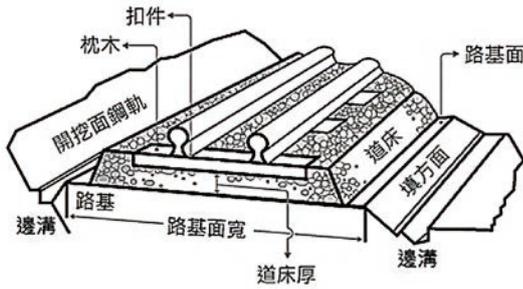


圖 1 臺鐵土堤段路線結構

資料來源：<https://www.railway.gov.tw/tra-tip-web/adr/about-1-5>

統、軌枕（枕木）、道碴（道床）、次道碴和路基，各個構件皆有其力學特性以及其常見之問題；對於鋼軌而言，在路線上目前常使用長焊鋼軌，其優點在於消除鋼軌接頭，然而依據長焊鋼軌理論可知，長焊鋼軌的中間為不動區間，在兩端末位置為可動區，因此會在端末位置設置伸縮接頭，在特定路段上常因為列車載重、路基條件不良或是鋼軌焊接品質不良導致鋼軌產生斷裂；扣件系統之所以稱之為系統則是因為目前使用於軌道上有許多種類，臺鐵最常使用的則是 E 型鋼軌扣夾，其主要的優點為易於施工養護；軌枕與道碴層，一般路線以有無使用道碴分為有碴軌道與無碴軌道，臺鐵路線上大多數採用有碴軌道如圖 2，只有在新建的路線或是特定的路線上採用無碴軌道，以臺鐵的無碴軌道來說，常見的有版式軌道和 PC 直結式防振軌道如圖 3 所示，其優點在於軌道下部結構採用混凝土整體澆置而成，強度上相當高且大大降低維護成本，因此也稱之為省力化軌道，雖然優點相當多，但是考量路線現場施工，以及混凝土需要養護時間，會影響到列車日間的營運，目前較常用於新建之路線上，導



圖 2 臺鐵道碴軌道



圖 3 臺鐵無碴軌道（左至右依序為版式軌道和 PC 直結式防振軌道）

致路線上會有出現有碴與無碴軌道交界的位置，此位置亦為軌道結構勁度變化段，是需要相當注意的位置；最下層為路基其承載了上部所有的作用力，其最需注意的是當噴泥現象發生時，會導致路基的土壤被掏空，使得路基失去承載能力影響到路線安全。

在 2021 年提出宜花東快鐵的構想，期望在臺鐵的既有路線上將營運速度提升至每小時 160 公里，列車速度的提升需要全方面的考量，從軌道、車輛、電力、號誌... 各方面都需要衡量，近期鐵道局亦有「宜花東地區鐵路提速計畫可行性研究」計劃案進行中，其主要在探討 1,067 公厘軌距下的提速技術以及作業指引，本文將以列車提速之觀點探討軌道性能品質升級。

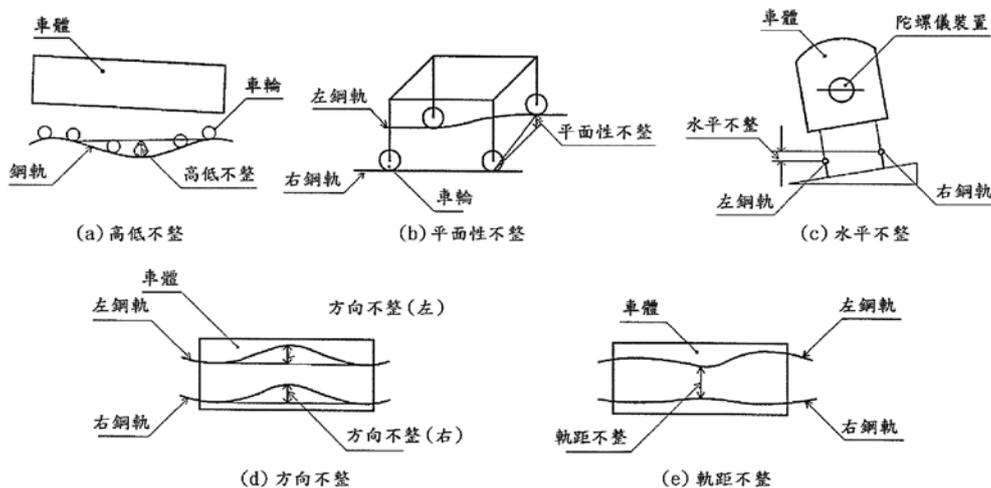


圖 4 軌道路線五大線形（資料來源：交通部鐵道局 FB 專頁）



圖 5 臺鐵台中高架路段

資料來源：Newtalk，鐵路高架噪音擾民／台中市府限期台鐵局提改善計畫

軌道線形與結構之探討

軌道路線考量五大線形，分別是軌距、高低、水平、方向以及平面性不整量如圖 4，這五種的不整量，都會直接影響到列車營運的安全，所以鐵路營運單位對於軌道的養護皆以此五種線形作為養護目標，由於路線長度很長無法每一個地方都使用人工進行確認，因此營運單位會有軌道檢測車，透過其動態式的檢測，來確保路線的線形。

列車沿著軌道路線前進，除了土堤段外，會經過高架路段以及隧道段，部分高架路段會穿過市區中心如圖 5，台中段之高架路段已造成附近居民的抗議，主要式列車通過時會產生振動與噪音，影響到沿線居民之生活，若是提速後可想而知噪音與振動勢必會有加劇的趨勢。

臺鐵許多隧道都相當老舊，受到經年累月的地震以及其他自然作用下，使得隧道壁體不再安全如圖 6，而列車以較高的速度通過時，所產生之振動可能會間接的干擾道隧道結構。

臺鐵列車種類相當多，從臺鐵的統計資料在 111 年 2 月的月報^[1]，統計電力機車有 83 輛，推拉式電力機車有 62 輛，電聯車有 1,279 輛，柴油機車有 16 輛，柴電機車有 90 輛；且車種的特性差異也不少，目前最新的自強號為 EMU 3000 型採用固定 12 編組，最新的電聯車為 EMU 900 型採用固定 10 編組，此兩種皆為新款車種且營運車速都採用每小時 130 公里，而目前長距離的主力車種為 PP 自強號、太魯閣號以及普悠瑪號，這三輛除了 PP 自強號以外，另外兩輛都是傾斜式列車且都採用 8 編組，編組數量的差異直接影響到載客

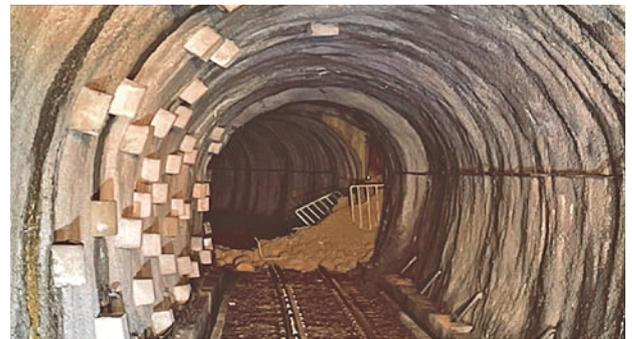


圖 6 臺鐵集集支線隧道路段

資料來源：自由時報，集集線土石入侵／台鐵局：集集一車埋估 8/20 恢復通車

量；由上述可知車輛種類多，對於軌道的需求也有所不同，從列車提速考量路線性能可能考慮的因素如下：

1. 車輛加減速性能差異、
2. 列車誤點率、
3. 快速通過月台問題。

由於各種列車的加減速性能有差異，但皆運行在相同之路線上，會使得路線容量降低，直接導致運輸量無法提升；再加上各列車的編組數量不同，車門數與位置皆不相同，列車在靠站等待旅客上下車的時間也有差異，這些都反應到誤點率。

當列車過彎時由於離心力之作用，會使得列車往軌道外側偏移，因此在彎道段是較為危險的，而傾斜式列車可降低此偏移，提高一些安全餘裕，相對的可以較高的速度過彎；由於臺鐵路線上會經過月台，由於臺鐵的月台形式常見有兩種，分別是島式月台以及岸壁式月台如圖 7，在月台會分為通過線以及側線，側線亦可稱之為待避線，其功能為當通過線有列車要追越時，待避車可暫時停靠之路線；通過線主要是當快

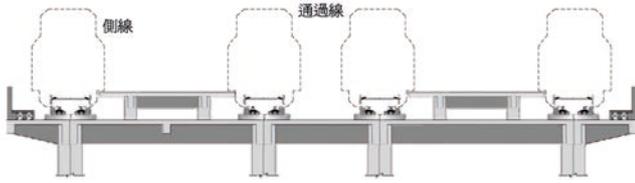


圖 7 島式月台一般配置

車不停靠此站時，會以高速通過月台，此時也是較為危險的狀態，尤其是當通過線之月台位於彎道段時如圖 8 所示，依現有的規定在通過這樣的路線時，需要降低車速，然而以高鐵為例，其通過線是完全不靠月台，這樣可以確保列車在高速狀態下穩定的通過。

軌道性能提升

為了列車能夠提高速度，軌道性能須提升，由先前可知道會面對於軌道上的課題如下：

1. 路線上勁度變化
2. 路線之高架段與隧道段結構安全
3. 路線上月台之顧慮
4. 車速提升後對於軌道所產生之振動與噪音問題
5. 列車過彎時的安全疑慮
6. 列車與軌道本養護成本提高

首先對於臺鐵之路線，其基本考量軌距、線形、路線土建形式、車輛構件 … 等，這些條件若是要配合列車車速提升，其改善之成本都是相當高的，然而對



圖 8 彎道月台

於達成營運後之效益恐怕不高；對於路線上的勁度變化、高架段之振動噪音、隧道段之結構安全，皆可採用工程補強的手法，並配合監測來確保列車營運時的安全，常見的工程補強如下：

1. 橋墩擴柱。
2. 橋板或危險處以鋼板包覆。
3. 增設防落托座。
4. 高架路段增加隔音罩或新音材，降低噪音影響。
5. 隧道壁湧水，可採排水工法和止水工法，常見止水工法如灌漿工法、冷凍工法 … 等。
6. 隧道口邊坡滑動，可做邊坡穩定工程，並加長隧道口之結構。

上述的一些方式皆可提高列車提速通過時的安全性，對於彎道段則須進一步探討；由先前論述可知，若列車提速其軌道性能提升之關鍵在於彎道段，依據曲線限速理論^[2]其公式如下：

$$V = \sqrt{127R \left(\frac{G}{2fH} + \frac{C}{G} \right)}$$

式中 V 為車速、 R 為曲線半徑、 G 為軌距、 C 為超高、 H 為車體重心高度、 f 為安全係數，若考慮軌距為 1,067 公厘，超高為臺鐵最大超高 105 公厘，車體重心高度採一般高度為 1,700 公厘，而安全係數則是代表了列車是否在彎道上容易傾倒的關鍵，當安全係數等於 1 時，其表示列車在過彎時，其重心方向剛好位於內軌上方，此狀態可以說是最危險的，也就是列車剛剛好平衡在內軌上，只要有稍微一點點的外力作用，列車隨即脫離軌道造成翻覆，因此安全係數若是越高，則表示列車在過彎時的重心越接近內外軌的中間，也就是軌道中心線的位置，此時列車越穩定，一般考量安全係數以重心壓在內軌與軌道中心線三分之一處為安全界線，此時安全係數值為 3。考慮列車提速至每小時 160 公里，並考量安全係數為 1 和 3，以及臺鐵所規定曲線限速其公式如下，而三者的比較如圖 9 所示。

$$V = 4.16\sqrt{R}$$

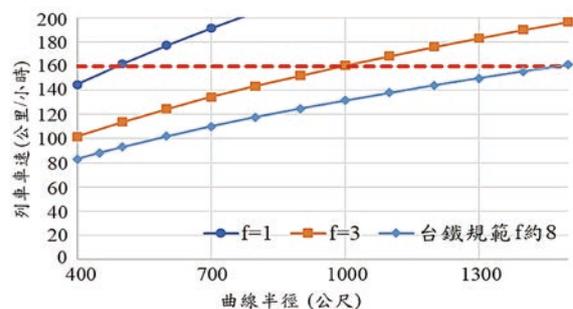


圖 9 曲線限速比較

比較曲線限速理論與臺鐵規定之曲線限速公式，可推估後者的安全係數考慮大約為 8，由圖上可知當對應時速 160 公里（圖上紅色虛線）可發現規定之限速相當嚴格，若將低安全係數來到 3，可用快速通過曲線半徑為 1,000 公尺的彎道，但理論忽略了很多路線上可能有的其他狀況，如先前所述的噴泥、五大線形不整量... 等等，由此可知若是路線使用既有的線形設計，即使列車速度得提升，考慮安全的角度並無法在彎道上取得較高的通過速度，由理論可知若是不改變路線的狀態，只能從車輛的角度來改變車體重心高度，以獲得更高的過彎速度；倘若路線得以修正，能夠截彎取直即加大曲線半徑，則列車過彎速度可獲得提升，若是需要在既有的路權上加以修正，則需要考量加大超高度，假設超高度由原本的 105 公厘提高至 120 公厘，可計算出整體車速在各曲線下皆可提升 4.98%。因此若列車提速需要針對軌道路線、高架段、隧道段、月台... 等，作整體性的考量。

結語

軌道運輸是在台灣生活中是不可或缺的，軌道運輸的可靠度也間接地影響著經濟發展，因此如何在安全的

條件下，提升列車車速，軌道路線扮演著重要但又低調的角色。軌道路線會面臨到不同的地形條件，也發展出不同的軌道結構形式，一般路段上採用土堤，遇到山谷則採用高架，遇到高山則採用隧道，考慮提速時都會產生額外的振動噪音問題；當列車提升速度通過月台，其列車的晃動會比原有的預期還更大，對於列車的動態行為需要再確實掌握，避免接觸到月台，倘若是會接觸到月台，卻又無法修改月台，則需降速通過對於曲線段也有此降速問題，最終即使列車可以在直線段提速至時速 160 公里，卻因路線上遇到彎道和月台降必須降速，對於整體旅程時間的降低是相當有限的。列車提速會對軌道產生更大的衝擊力，而路線上的有碴軌道是需要仔細審視其是否能承受，若需要加強道碴軌道之承載力，期望可透過國內相關學術機構、財團法人研究單位進行研發，並連結產業帶動國內軌道產業發展，期望可達到列車提速的目標。

參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局，臺灣鐵路統計月報（2 月），2022。
2. 黃民仁、張欽亮，「新世紀鐵路工程學（基礎篇）」，文笙書局，2017。

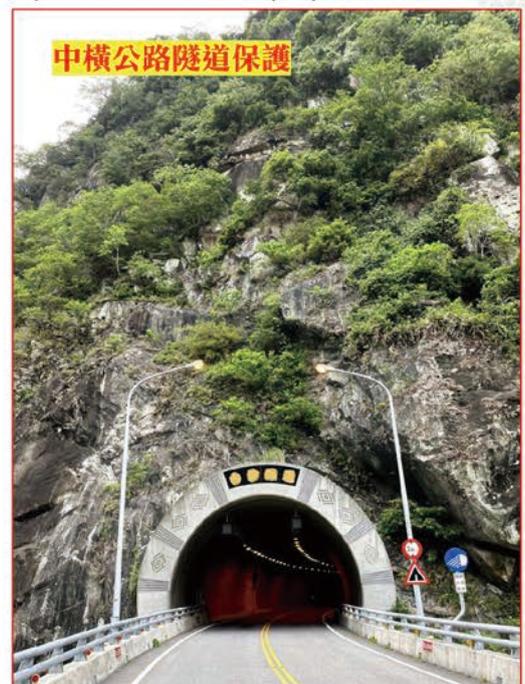


裕鼎工程科技有限公司 Yudee Eng. Science Co., Ltd.

新北市板橋區文化路二段88號18樓 Tel:(02)2257-3939 Fax:(02)8252-1243

E-mail:yudee53416941@gmail.com

掛網岩栓護坡



高強度性能設計◆克服險峻破碎岩坡◆耐候抗蝕塗裝◆原生植被復原◆工序簡單快速

落石邊坡整治 - 近自然工法



軌道扣件的設計分析與未來展望

鄭永長／國立高雄科技大學機電工程系 教授

徐銘毅／國立高雄科技大學機電工程系 研究生

鐵路車輛為人們經常使用的交通工具之一，除了車輛系統本身的動態穩定性、安全性與舒適性的要求之外，軌道系統穩固性能也是相當重要的。鋼軌的穩固性與列車行駛安全息息相關，然而，強度佳而且壽命長的扣件系統，才能提升鋼軌的穩固性。本文以軌道扣件系統為探討的主軸，以軌道扣件的設計、強度分析為重點進行說明，最後闡述未來有關軌道扣件的發展，以及可以繼續研究的方向。

背景簡介

在先進國家由於工商業迅速發展，人口集中於大都市，原有之交通建設已經不敷使用，故建造高速鐵路提供快捷之交通服務，能解決車多擁擠的問題，縮短城鄉差距提高商業活動。隨著列車速度提升，更須提供乘客一個安全、穩定與舒適度高的行車品質。

除了車輛系統的穩健設計之外，與行車安全以及舒適度息息相關的，就是軌道系統的穩固性能。當列車行經曲線路段時，常常因為列車的蛇行動以及離心力的作用，而

造成鋼軌側移，使得鋼軌產生較大的側向力。也會因為列車的煞車行為，使鋼軌產生縱向作用力。還有，反覆的交通量，也會造成鋼軌垂直方向的動態作用力。為了確保鋼軌的穩定性能，扣件系統則是扮演非常重要的角色。

隨著政府積極發展前瞻基礎建設的同時，軌道產業的各項關鍵議題持續被重視，在 107 年度的軌道產業關鍵議題座談會中，更明確的指出幾項最適合列為我國軌研中心推動軌道產業發展之最優先項目與設備能量之規劃，如圖 1 所示。圖中清楚的顯示，鋼軌扣

優先發展項目之測試需求一覽表

- 前期滿足國產化研究與開發獲得相關實績驗證、性能之檢測需求
- 介面性之檢測能量缺口

優先發展項目	測試項目需求全貌與現況滿足國際軌道通用標準 (EN、IEC、JIS、CNS)														
軌道複合基板	EN 13146-5 絕緣耐壓	EN 13146-6 腐蝕	EN 13146-7 扣夾力	EN 13146-8 疲勞	EN 13146-9 動態	EN 13146-10 穩定	EN 13146-1 縱向束制	EN 13146-2 扭矩力	EN 13146-3 衝擊負荷	EN 13146-8 衰減	EN 13146-8 一段路	EN 13146-8 整車負載	EN 13146-8 驗證	EN 13146-8 測試	EN 13146-8 研究
轉向架	UIC 615-4 框架動態	UIC 615-4 框架靜態	EN 13749 框架動態疲勞	UIC 515-4 乘客車輛與拖車	JIS E 4208 轉向架結構強度	JIS E 4208 框架受後應力	JIS E 4208 應變檢測	EN 13798 轉向架懸吊系統及彈簧	EN 15827 系統安全因子	EN 15827 及材料強度	JIS E 4207 框架強度	JIS E 4207 設計條件	EN 13104 系統輪軸	EN 13104 與煞車	EN 13104 驗證
輕軌號誌轉轍器	EN 50205 安全繼電器	CNS 14546 號誌燈光強度與亮度	EN 50124-1 絕緣耐壓	EN 50124-2 絕緣耐壓	EN 50124-3 絕緣耐壓	EN 50124-4 絕緣耐壓	EN 50124-5 絕緣耐壓	EN 50155 環境模態	EN 61373 振動與衝擊	EN 50238-3 列車偵測相容性	EN 13232-4 轉轍器靜力負載	EN 13232-4 轉轍器百萬次	EN 13232-4 轉轍器保持力與擴軌	EN 50128 軟體驗證	EN 50126 RAMS 驗證
集電弓	JIS E 6301 電刷板接觸力	IEC 60494-1 接觸力橫向自然	IEC 60494-1 耐衝擊	IEC 60494-1 橫向剛度	IEC 60494-1 氣密性	IEC 60494-1 弓力維持	IEC 60494-1 環境總平均抬力	IEC 60494-1 集電弓懸吊	IEC 60494-1 耐振測試	IEC 60494-1 橫向振動	IEC 60494-1 位移	IEC 60494-1 燃弧	IEC 60494-1 集電	IEC 60494-1 性能	IEC 60494-1 性能
車門	EN 45545 防火耐燃	ISO 10140-2 隔音量	ISO 12567-1 隔熱	EN 14752 水密	EN 14752 乘客之保持力	EN 50125 環境模態	EN 61373 耐振動與衝擊	EN 14752 手動開門操作力	EN 14752 障礙物偵測	EN 14752 車門閉力	EN 14752 百萬次	EN 14752 氣密	EN 14752 空氣動力	EN 14067 測試	EN 14067 性能
牽引系統(馬達)	CNS 15588-2 一般溫升	CNS 15588-2 電性	CNS 15588-2 噪音	IEC 61377 扭力	CNS 15588-2 轉速	CNS 15588-2 短時間過載	CNS 15588-2 溫升	CNS 15588-2 振動	CNS 15588-2 牽引系統(馬達)驗證	IEC 61377 效率	IEC 61377 系統保護	IEC 61377 系統保護	IEC 61377 系統保護	IEC 61377 系統保護	IEC 61377 系統保護
車輛儲能與配合C3電力	IEC 62620 電性	IEC 60623 環境	EN 61373 振動	EN 61373 衝擊	IEC 62619 落下	IEC 62619 撞擊	IEC 62619 內部短路	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒	IEC 62619 延燒
超級電容	BS EN 61881-3 電性	EN 60068 環境	EN 61373 振動	EN 61373 衝擊	BS EN 61881-3 氣壓差	BS EN 61881-3 短路	BS EN 61881-3 被動易燃性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性	BS EN 61881-3 電磁兼容性

圖 1 軌道研究中心優先發展規劃示意圖

件系統的縱向束制力、扭轉力、扣夾力與疲勞測試被列為現階段的研究重點之一。由此可知，如何建立軌道扣件的研究能量與知識，在現階段是非常重要的。本研究將介紹常用的扣件種類，分析扣件時所使用的測試法規，最後探討扣件的一些未來發展。

軌道扣件系統介紹

一般而言，扣件系統大致上包含以下幾個元件：鋼軌 (rail)、軌枕 (sleeper)、扣夾 (rail clip)、螺栓 (bolt with washer)、墊片 (rail pad)、墊塊 (gauge plate)。如圖 2 所示^[1]。不同形式的扣夾則搭配不同的墊塊與固定方式。依據形式的不同，大致上可以分成以下幾類^[2]：

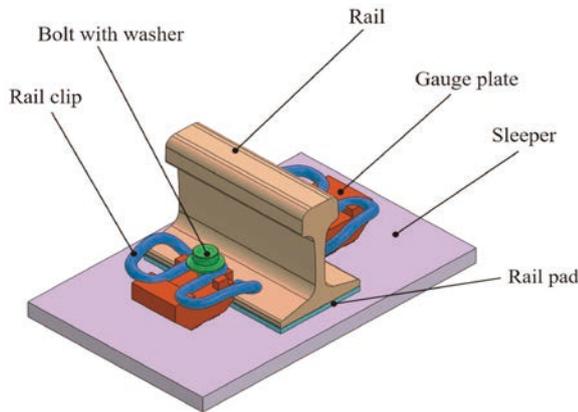


圖 2 軌道扣件系統示意圖

(1) 混凝土枕扣件系統：這一類型的扣件系統大多使用彈性扣件 (elastic fastening)，扣夾本身是金屬材質，藉由扣夾所具有的彈性與剛性，搭配其他組件，如鎖固螺栓，墊塊，即可將鋼軌穩固地固定在軌枕上面。目前常見的大概有 Vossloh 扣件、Pandrol 扣件，如圖 3 所示。



(a) Vossloh 300 型 (b) Pandrol e 型

圖 3 混凝土枕扣件系統

(2) 木枕扣件系統：使用在木枕系統上面的扣件，大多使用道釘進行鋼軌與枕木的固定，為了避免道釘的抗力不夠，受到衝擊振動時會逐漸被拔起，而改用彈簧道釘，利用其彈性緩和衝擊作用力。一般的道釘如圖 4 所示。



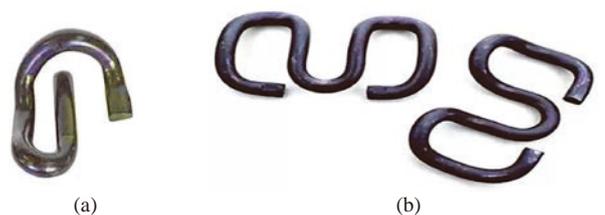
圖 4 道釘系統

(3) 彈性基鈹或直接固定式扣件系統：彈性基鈹設計採三明治的形式，上、下鈹材質為鑄鐵，上、下鈹間是橡膠彈性材，以良好之熱接方法連結成一體，除基鈹底部及錨錠螺栓扣鎖處採防蝕塗料處理外，其它部位均採彈性材料進行整體包覆設計。於鋪設無碴軌道工程中，鋼軌固定在鋼筋混凝土基座上或鋼構上之扣節裝置之材料。如圖 5 所示。



圖 5 彈性基鈹系統

在各種軌道扣件系統中，在台灣常見的扣件有兩種類型，如圖 6 所示。在圖 6(a) 中，扣夾型式為 Pandrol e 型，經常用於台鐵路線系統。在圖 6(b) 中，扣夾型式為 Vossloh 型，經常用於捷運路線、高速鐵路路線。



(a) (b)

圖 6 台灣常見軌道扣件種類

扣件系統的測試與設計分析

扣件系統的測試

在扣件系統中的扣夾，是經過許多機械加工程序而產出的，然而在這些複雜的生產程序後，為了確保扣夾可以有效地且穩固地將鋼軌固定在軌枕之上，這些扣夾必須要通過一些法規測試，方可無虞的使用在正線上。有關扣件系統的測試法規，大致上是依據 EN 13146 扣件試驗標準 (Test methods for fastening systems)。在這個法規中總共包含了 10 個測試項目^[3]：

- Part 1: Determination of longitudinal rail restraint (縱向鋼軌束制檢視)
- Part 2: Determination of torsional resistance (扭轉阻抗檢視)
- Part 3: Determination of attenuation of impact loads (衝擊負載衰減檢視)
- Part 4: Effect of repeated loading (反覆負載的效應)
- Part 5: Determination of electrical resistance (電阻抗)
- Part 6: Effect of severe environmental conditions (惡劣環境條件效應)
- Part 7: Determination of clamping force (扣夾力檢視)
- Part 8: In service testing (運轉試驗)
- Part 9: Determination of stiffness (剛性檢視)
- Part 10: Proof load test for pull-out resistance (抗拉力的驗證負載測試)

扣夾元件在通過這些法規測試後，代表不管在材質上，機械性質，或電阻抗性質上，都可以滿足設計要求，如此才能正式投入運轉。

扣件系統的設計分析

目前有關扣件的研究，大致上可以分成軟體模擬分析、實驗測試分析兩大部分，依照不同的規範要求，大約可以分成幾個方面：

- (1) **結構強度分析方面**：以扣夾為分析對象，依據測試法規 EN 13146-1, EN 13146-2, EN 13146-3, EN 13146-7, EN 13146-9 進行有限元素分析，探討扣夾本身的應力、變形量。在這個方面的研究，首先利用 3D 繪圖軟體，繪製扣夾的 3D 模型，根據不同

的測試法規，設定外力與邊界條件，給定扣夾的材料性質參數，將整個系統進行網格切割，最後進行有限元素的求解。研究的結果如圖 7 所示^[1]。

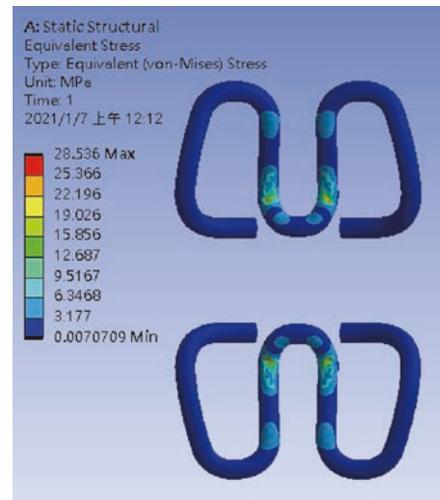


圖 7 扣件系統有限元素分析結果

- (2) **實際測試方面**：以扣夾為分析對象，依據測試法規 EN 13146-5，進行扣件的阻抗測試。依據測試法規 EN 13146-6，給定環境的條件設定，例如：溫度、濕度、鹽分…等等，進行扣件的環境測試。依據測試法規 EN 13146-10，進行扣件與軌道系統的抗拉負載測試。最後，依據測試法規 EN 13146-8，將扣件安裝於測試路線上面，以固定的交通量進行試運轉測試。
- (3) **疲勞壽命與安全性分析方面**：扣件在實際應用上，很重要的是使用壽命，依據測試法規 EN 13146-4，給定扣件系統反覆的作用力，進行扣件的疲勞分析，可以預估扣件的使用壽命以及疲勞安全係數。相關的研究結果如圖 8 所示^[1]。

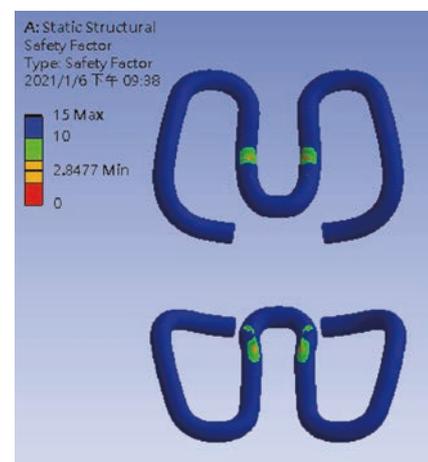


圖 8 扣件系統疲勞安全係數分析結果

(4) 振動模態分析方面：扣件主要的功用，是將鋼軌固定在軌枕或道版上面，當列車通過時，扣件系統受到動態的作用力，因此，除了進行疲勞分析、衝擊力的分析之外，還必須考慮共振頻率，如果外力的頻率與扣夾本身的自然頻率接近，則將會引發系統的共振，也會導致扣夾破壞而斷裂。扣夾的自然振動模態如圖 9 所示^[4]。

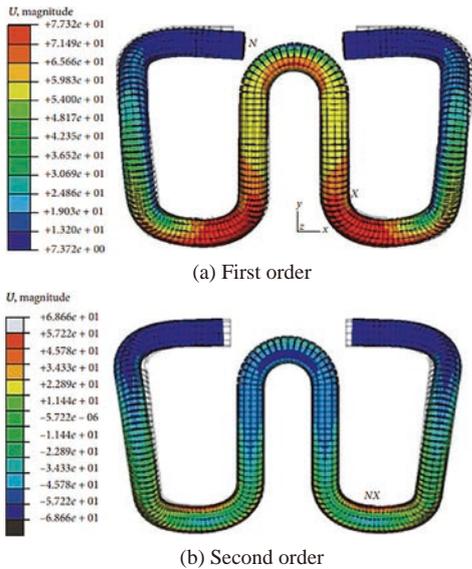


圖 9 扣夾的振動模態

未來發展

扣件應用在軌道系統中，讓鋼軌得到良好的固定與定位，從早期的木枕道釘，發展至現今的彈性扣件，還有彈性基鈹的組合。在材質與外型上皆有很大的進步，未來隨著高速鐵路的速度提升，車輪作用在鋼軌上的力量也將增加，此時鋼軌的定位與穩固性，也是相當值得去研究的。

在往後的扣件設計、研究與產品開發的過程中，除了模擬分析和實際測試，在初期的設計階段，可以加入實驗設計與最佳化的程序。為了同時可以滿足多項的法規要求，需引入多目標最佳設計的概念，這樣方可同時兼顧到多種性能，在設計的初期節省開發成本。待扣夾尺寸外觀確認後，在進行模型加工製作，最後進入實驗測試階段，不僅可以節省人力，也可以縮短開發的時程。

結論

軌道的扣件系統自從軌道車輛發展至今，就是一直在演化與進步，為了符合車輛速度的提升，扣件系統也必須提供更強而有力的穩固性能。除了現有的扣夾型式以外，仍不斷地設計出更快速結合與拆裝的扣件系統。在扣件材質的發展方面，為了可以讓鐵路車輛在更嚴峻的環境中行駛，並且因應極端氣候，扣件的材質必須做些調整與改變，結構的設計也是在滿足不一樣的需求，滿足更新的挑戰。這些新款式的扣件只要可以通過測試法規，未來將可安裝在正線上，讓乘客有更好的乘車舒適性與安全性。

參考文獻

1. Yung-Chang Cheng, Chen-Ming Kuo, Cheng-Kang Lee, Min-Sheng Xie (2021), Optimization design of rail clip in Vossloh fastening system by uniform design and grey relation analysis. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 235(21), 5639-5652.
2. 黃民仁、張欽亮 (2017)，新世紀鐵路工程學：基礎篇，文筆書局股份有限公司。
3. EN 13146: 2002. Railway applications—Track—Test methods for fastening systems. 2002.
4. 呂立依 (2016)，軌道扣件振動特性研究，國立成功大學土木工程學系，碩士論文。



土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



「集電弓-電車線」系統在 鐵路提速的技術課題

黃晟豪／國立台北科技大學車輛工程系 助理教授

隨著前瞻計畫的進行，以及台灣鐵路網的發展，國內目前正積極發展環島鐵路電氣化、鐵路立體化、雙軌化、鐵路提速等鐵道路網優化建設。以臺鐵花東雙軌化為例，在改善路網運量瓶頸的同時，鐵道系統之建設強度，亦將未來預期達到時速 160 km/h 的東部快鐵作為重要考量，而預作準備。因此在集電弓與供電線的接觸行為上，便面臨許多提速時的關鍵技術課題。本文先從電車線與集電弓個別系統進行簡介，再導入車弓網耦合關係之介紹，說明影響車弓網接觸穩定性的幾項關鍵設計因子，及其基本設計概念。最後以提速角度，探究集電弓-電車線系統之設計，在提速過程中可能面臨的問題，以及各車弓網接觸設計因子之間的耦合影響關係。從文中可以發現，車弓網接觸是一複雜耦合動態行為，若要達到系統最佳化的效果，需將所有因子都納入考慮，進行統一調整。因此必須了解每一項因子背後的意義、確實掌握每一項因子調整的能力、具有各因子耦合影響分析的技術。集電弓-電車線系統在鐵路提速的技術課題，是一個既深又廣的大問題，本文整理提速過程可能面臨的相關問題，有賴國內相關學者專家持續探究，以持續精進我國自主技術。

全國高快速鐵路網整體規劃介紹

我國鐵路運輸系統自 1887 年全臺鐵路商務總局開始規劃以來，歷經超過 100 年的建設，直到 1991 年臺鐵南迴線通車，才使得環島鐵路網正式成形，完整串接我國北中南東之交通運輸，也奠定了我國整體鐵路網的雛型。爾後隨著人口的成長以及對鐵道運輸的需求，又陸續興建各種都市捷運與城際鐵道運輸系統，1996 年台北捷運開始營運，開啟都市大眾運輸新紀元，至 2020 年時台北捷運年運量已近 7 億人次。隨後台灣高鐵於 2007 年完工通車，加入西部運輸走廊服務，成功串聯北高兩地形成一日生活圈，其安全快捷的運輸方式，為台灣西部走廊帶來關鍵性的改變，除造成西部走廊航空運輸完全改變為高速鐵路運輸以外，更促使高鐵、台鐵、捷運等鐵道系統分工更加明確。整體鐵道網發展至今，從高鐵、臺鐵，到都會捷運，已建構遠程運輸、城際運輸、都市捷運等層次分明之鐵道系統，提供民眾不同旅運特性之運輸服務。

隨著高鐵通車營運逾 15 年，其高速、準時、安全且載運量大等特性深受國人依賴，已成為影響臺灣國土空間及區域發展的重要骨幹，並為我國西部生活圈帶來顯著改變。我國西部走廊於民國 80 年代，搭乘鐵道運輸完成台北高雄之旅程最短時間約需 4.5 小時，當時城際旅行並不方便，直至高鐵通車後，北高旅運時間可以大幅縮短至 90 分鐘，大幅增加城際旅行的可能性與便利性，因此促使西部都市間交流更加緊密頻繁，讓整個西部走廊成為一日生活圈，時至今日，民眾已習慣一日內完成北高來回的差旅行程，改變了以往的生活型態。

因此越來越多民眾認為我國交通運輸應以鐵路系統作為國家發展之基石，並提升整體路網營運速度，未來此一高快速鐵路網完成後，透過鐵路快速聯繫，將使各區域資源充分共享共榮，進一步帶動我國交通、產業、文化、觀光的发展，提升國家經濟發展競爭力，成為臺灣區域均衡再發展的重要骨幹(如圖 1)。

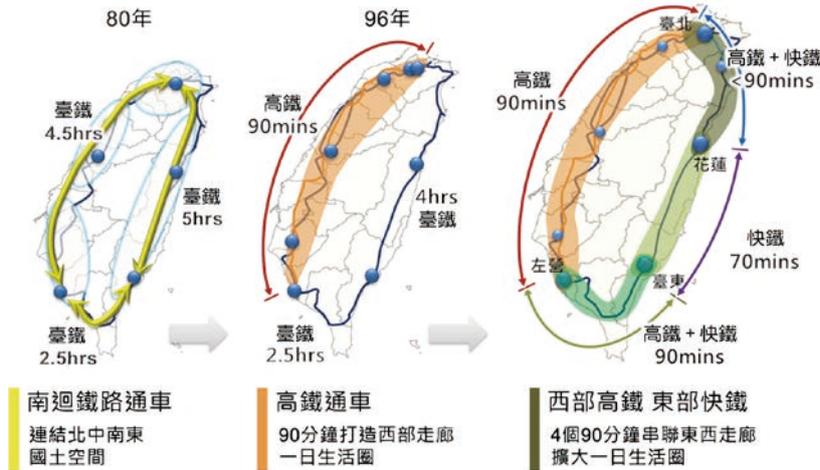


圖 1 全國高快速鐵路網目標願景 (來源：交通部鐵道局)

檢視我國整體運輸能量，可以發現東部地區與西部地區差異極大，特別是目前鐵路系統運輸效率，在東、西部的時間差異可達接近 3 倍 (如圖 2)，為縮小此一差異，近年來政府開始致力於改善臺灣東部交通，如公路建設：蔣渭水高速公路、蘇花公路改善計畫、台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫及台 9 線拓寬改善工程等。

但相較於公路系統，鐵路系統的高運量與環保效益，在綠能運輸意識抬頭的今日，受到極大的矚目與期待。並且在南迴鐵路電氣化通車後，西部幹線的高速電氣列車已可以由高雄直接開往台東、花蓮，因此如何改善東部鐵道基礎建設，以提升鐵道營運速度，是非常重要的課題。

政府近幾年透過前瞻計畫投入大量經費改善東部鐵

路運輸能量，並提出「東部快鐵」計畫，目的是透過改善上述東部鐵道運輸瓶頸，嘗試將臺鐵東部幹線既有路廊升級並將鐵路最高營運速度提速至 160 km/h，在不影響現行臺鐵鐵路營運的情況下，針對臺鐵窄軌系統，如何改善鐵道既有線形，以及土建鐵道、新建機電、號誌系統及交通立體化改善等設施，搭配電氣化、雙軌化工程等，朝快鐵營運速度 160 km/h 發展，並比照高鐵和捷運朝向自動控制逐步提升營運速度。

鐵道局並已於 108 年 11 月 19 日將「全國高快速鐵路網整體規劃」陳報交通部，作為未來鐵路網發展政策，後續將以「西部高鐵、東部快鐵」為主軸 (如圖 3)，臺北/高雄/臺東/花蓮間鐵路旅行時間皆可縮短至 90 分鐘以內，全國鐵路網 6 小時串聯環島，北、中、南、東皆



圖 2 東西部鐵道運輸效率差異與面臨問題 (參考交通部鐵道局資料製圖)



圖 3 東部幹線提速與需解決的幾項問題 (來源：交通部鐵道局)

將成為國土核心。東部幹線在「東部快鐵」的提速前提下，將面臨許多工程問題，鐵道承载力必須提升、列車採購標準必須改變（設計速度需大於 160 km/hr），當然，其中最重要的供電系統，也必須重新檢視原始設計是否能滿足 160 km/hr 所需，必要時必須做出設計改變。

鐵道供電系統與集電弓簡介

隨著環島鐵路電氣化的完成，我國主線鐵道車輛也將全面進入電氣車輛時代，我國鐵道系統的供電方式，主要可以分為「架空線」與「第三軌」兩種形式，其中又可細分為採用 DC 750V 或 AC 25KV 兩種電壓形式（如表 1）。一般而言，第三軌距離地面較近，容易使人員產生危害，因此不適合採用高電壓，且高電壓可能會因第三軌與地面過近，而造成與地面之間的放電行為，但第三軌具有佔用淨空小的特性，因此第三軌適合用在隧道、地下段、750V 供電網、專用封閉路權的鐵道系統，以台灣來說，各大都市重運量、中運量捷運大多採第三軌供電形式。而架空線系統，雖佔據較大淨空空

間，但對人員安全較有保障，且較適用高電壓傳輸，目前廣泛應用於台鐵與高鐵的系統中，做為供電之用。

以鐵道局在全國高快速鐵路網規劃中所提出的東部快鐵為例，台鐵採用的即是架空線系統，搭配 AC 25KV 電壓進行供電，其電力由變電站傳輸至車輛之過程中，設備項目可以分為地面設備與車載設備。電化鐵路之電力供應係自電力公司之 69/161 kV 變電所，將三相雙迴路電力引入牽引變電站，使用變壓器轉換成 25 kV 之電源，由電車線分別向上、下行方向供電，單相供電範圍約 20 公里。列車利用集電弓接觸電車線將電力引入，提供車輛所需電力，並以鋼軌及架空地線形成迴路，將電流回送至變電站。

在「地面設備」方面：電車線設備由電桿、桁架、落臂架、絕緣礙子、懸臂組、主吊線、接觸線及其他支持配件組成。其功能係將 25 kV 交流電線架於鐵道上方，並維持在固定高度，列車以集電弓碰觸電車線下緣將電力引入，以供應電力列車運轉所需電源。因行車運轉及安全需要，在不同的環境、地形採用不同型式之電車線設備（如圖 4）。

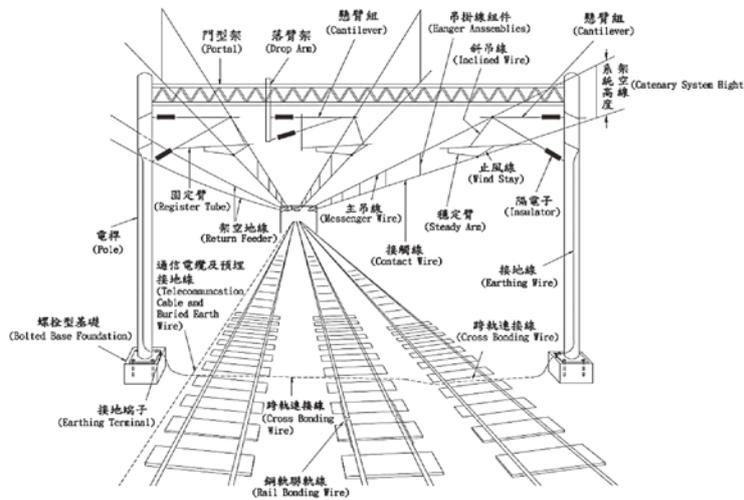


圖 4 架空線供電系統地面設備示意圖（來源：交通部鐵道局）

表 1 台灣常見鐵道系統供電形式

電壓	DC 750V	DC 750V	AC 25KV
第三軌	V		
架空線		V	V
實際應用案例	各都市捷運重運量與中運量系統	淡海輕軌、安坑輕軌	台鐵、高鐵
參考照片			

在「車載設備」方面：集電弓是列車車廂上的導電與集電設施，目的是與鐵道上的電車線正常接觸取得電力。集電弓一般由底座（底座框架、絕緣礙子等）、升降弓裝置（彈簧、電動缸、氣壓缸等）、主結構（上臂桿、下臂桿、運動機構、阻尼器等）、集電設備（集電舟、集電碳刷、導電線）與其他零散組件組成（如圖5）。

集電弓是鐵路車輛重要設備之一，是為需要電力和機械接口的車輛提供動力的重要裝置。一般鐵路車輛使用電力為動力源，此時集電弓的供給作用就是從電車線將實際電力傳送到鐵路車輛。其利用頂端的集電碳刷與接觸線接觸引導高電壓進入車輛內部作為動力來源。然而，集電弓引導成效的關鍵即是在集電碳刷的特性與接觸線的運動作用。集電碳刷係裝置於集電弓頂部的集電舟上，集電舟的造型類似雪橇形狀的倒置而得名，其設計非一整片的，而好像一個四角框架，中間鏤空。為了避免離線率（集電弓與電車線脫離太遠導電不良）過高或產生電弧，集電弓通常採弧形設計並設有支架。為了能夠使集電弓緊貼著高壓電纜，集電弓底部設有上升裝置，在升起後，會發出推力，逼使其不斷升高，直到碰觸到電車線電纜為止。

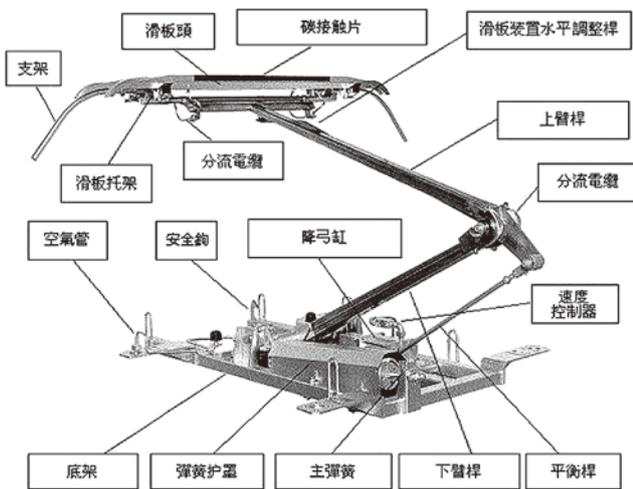


圖5 太魯閣號集電弓示意圖（來源：台鐵局）

車弓網耦合關係介紹

列車的動力來自於鐵道邊的高壓電，而電力輸送靠列車上的集電弓與電網接觸，由集電弓和接觸網組成的電力系統就叫弓網系統（Pantograph-Catenary system）。

弓網系統動力問題（pantograph-catenary dynamics）為研究電氣化鐵道車輛集電弓與接觸電網動態作用關係與振動問題的科學領域。電力車輛是通過集電弓滑板與接觸網導線間的滑動接觸而獲取電能的，當運動的集電弓通過電車線接觸網時，接觸網受到外力干擾，於是在集電弓和接觸網兩個系統間產生動態的相互作用，弓網系統即產生特定形態的振動。

集電弓都會帶有提供上舉頂升力的裝置，一般將集電弓上舉力設定在 70 ~ 85 N 之間，以確保集電弓與電車線能保持穩定接觸。當集電弓上舉力不足時，可能造成集電弓與接觸導線脫離接觸，形成離線，產生電弧和火花，加速電器的絕緣損傷，對通信產生電磁干擾，更嚴重的是直接影響集電弓受流，甚至會造成供電瞬時中斷，使列車喪失牽引力和制動力。而若將集電弓上舉力調整為較大時，雖可降低離線率，但接觸導線與集電弓間之磨耗增大，使用壽命縮短。

此外，集電弓底座直接安裝在車輛頂部，車輛在運行過程中的任何振動將通過車頂直接傳遞給集電弓，進而影響弓網動態相互作用。當鐵道存在幾何不平整時（實際線路常常如此），車輛與鐵道的耦合振動增強，而在車輛運行中這種耦合振動則更為劇烈。相應地，由車頂傳至弓網系統的振動干擾也將加大。因此，車弓網耦合問題，在架空線系統中便顯得相當重要（如圖6）。

電車線偏位

供電線若為直線布設，將與集電弓碳刷接觸在固

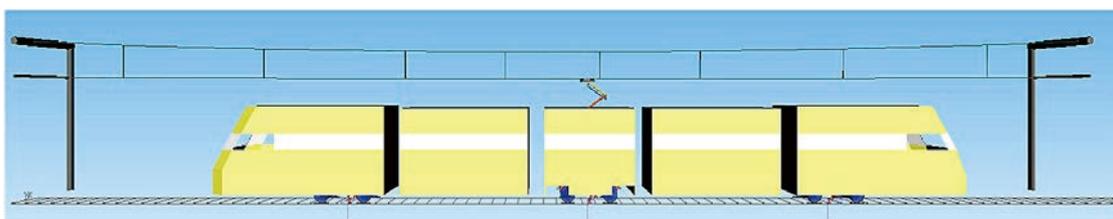


圖6 車弓網系統示意圖

定點位附近，造成集電弓碳刷產程局部磨耗，因此，一般而言會將供電線採「之字型」布設，期望能獲得較均勻的碳刷磨耗結果。一般常見偏位設定為左右各 150 ~ 250 mm 之間（如圖 7）。

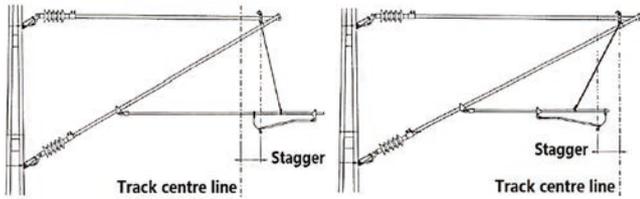


圖 7 架空電網偏位 (stagger) 架設方式示意圖
(照片來源：鐵道局)

電車線張力

為使弓網接觸性能穩定，通常會在電車線兩端吊掛重錘，對電車線施加張力，每一張力區間，均裝設自動張力調整裝置，利用平衡錘調整電車線的張力，使得接觸線保持水平，才能讓列車集電弓順利接觸通過（如圖 8）。



圖 8 電車線張力施加示意圖
(照片來源：鐵道局、新北捷運局)

集電弓上舉力

如前所述，集電弓的上舉力是維持弓網接觸的重要條件，太小的上舉力可能造成離線率增加，太大的上舉力則會造成碳刷過度磨損。營運單位可透過集電弓上的張緊彈簧調整螺絲進行調整，以找到最合適的集電弓上舉力（如圖 9）。



圖 9 集電弓上舉力與張緊彈簧示意圖

集電弓系統提速面臨的問題

隨著南迴鐵路電氣化的落成，越來越多電氣化鐵道車輛將從西部直接開往東部，且在未來全國高快速鐵路網的規劃下，目前全國新建或整建之鐵路系統，均直接考量電車線系統需可承受 160 km/hr 列車營運時速之設計，南迴電氣化以依此原則進行相關設計、進行中的花東鐵路雙軌化亦朝 160 km/hr 進行設計。

但當採用架空線供電的鐵道系統要進行提速時，需考慮的問題相當多，包括電桿與懸臂的結構強度、電車線截面積供電量是否充足、電桿設立間距、電車線張力、電車線偏位量設定以及許多絕緣與分隔區間的設定等，是一個非常全面且深入的問題。

集電弓上之碳刷安裝方式及品質與電車線安全息息相關，經由集電弓上之碳刷與接觸線平滑接觸將電力傳送至列車使用，電車線之接觸線以鐵道中心左右偏移方式架

設，讓集電弓碳刷與接觸線接觸面能平均左右移動，避免碳刷之磨耗程度不平均。集電弓碳刷需定期檢視，一有發現異常磨損或磨損已達極限，應立即更換，有瑕疵之碳刷在列車高速行駛下有可能造成電車線設備之損壞，依據經驗所得一旦發生集電弓與電車線糾纏事故，其設備損失都相當嚴重，所以集電弓碳刷之預防檢查非常重要。

弓網接觸不良，輕則造成集電弓碳刷磨耗異常（如圖 10），弓網離線率增加；重則可能導致及電弓勾落電車線造成行車安全事故^[1]。碳刷之磨損，主要成因有「機械磨損」、「化學磨損」、「火花磨損」等三種原因，而這些磨損的機制，又與集電弓之上舉力道、弓電線張力、鐵道列車動態、列車行駛速度、鐵道線型與不整...等極多因素相關，集電弓與電車線間接觸力道過大過小都不合適，因此在提速過程中，必須重新考量車弓網耦合動態下的最佳設定參數。



圖 10 弓網接觸不佳可能使集電弓碳刷不均勻耗（國外示意圖）

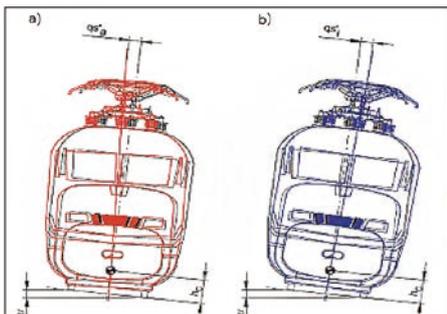
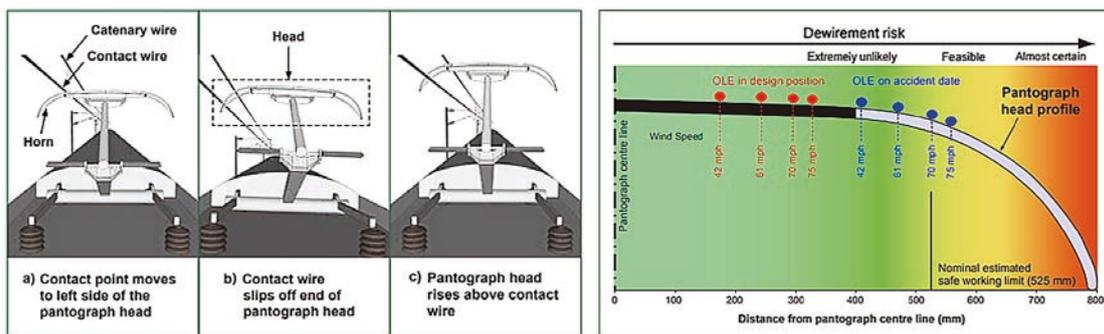


圖 11 列車動態改變，可能使弓網接觸行為改變^[2,3]

2012年在英國劍橋，更曾因為強風造成車輛橫向擺動幅度過大，致使集電弓脫離電車線後，自上方將電車線往下勾落之情況，由此可知，提速過程中，需考量車弓網耦合特性，以評估集電舟寬度是否可承受提速後的列車振動幅度（如圖 11）。

由此可知，在提速過程中，最重要的是要維持集電弓與電車線的合理接觸，然而集電弓屬與機構機械振動，電車線則為柔性波動，兩者的耦合振動行為極為複雜，再加上列車的高速行駛帶來的額外效應，因此提速過程中應考量的因素非常多，以下舉例幾項重要且必須的項目，但實際需考量因子將比下列項目還多：

電桿間距

列車提速，將對弓網接觸產生波動幅度較大的衝擊接觸力，要承受此一力量，可將電桿間距做適當調整，透過電桿吊掛強度，維持弓網接觸穩定性，特別是在小半徑彎道區段，電車線原本就處於波動較不穩定區間，電桿間距的調整影響也就越大。

電車線張力

電車線一般張力強度設定為 1,000 kgf (10KN)，在列車提速過程中，若其他條件（如電桿間距、集電弓上舉力）無法改變，可透過提升電車線張力達到維持弓網接觸穩定的效果。但張力提升有一定限制，以免電車線遭遇斷裂或疲勞的風險，另外提升電車線張力，也必須同時考慮是否減少每一段張力區間的間距，以方便養護時調整正確張力。

集電弓上舉力

集電弓上舉力，是維持弓網接觸穩定的必要條件之一，適當的上舉力，可以讓弓網間產生良好的追隨性。一般集電弓上舉力設定在 70 ~ 85 N 之間，當其他因素（如電桿間距、電車線張力）無法調整時，可透過提升集電弓上舉力達到弓網接觸穩定的效果，但過大的上舉力可能會增加碳刷磨耗量。

弓網接觸發熱量

當列車提速時，因為弓網之間摩擦的增加，以及高速列車功率的提升，將造成集電弓與電車線的發熱量增加。依據材質特性，發熱量增加將導致集電系統最大可傳輸電流下降、摩擦黏滯行為增加，影響弓網接觸之間摩擦與磨耗等行為。

空氣動力因素

列車高速行駛時，集電弓所受空氣動力影響將大幅上升（如圖 12），隨著集電弓的順風與逆風運行，集電弓與風向所夾的弓角，將使集電弓產生一個額外向上或向下的推力，等同改變了集電弓的上舉力（如圖 13）。因此高速集電弓通常需考慮集電舟的外型設計^[4]，必要時需增加空氣動力穩定翼，協助維持弓網接觸力的穩定。並且需考量高速空氣動力所造成的噪音，必要時需增加導流罩等裝置，除可降低高速噪音外，亦可引導氣流順利通過集電弓^[5]。

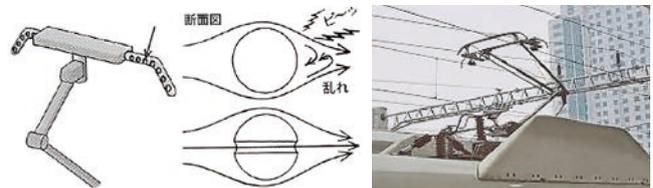


圖 12 高速空氣動力關係可能造成噪音問題^[6,7]，可透過設計改善，必要時需添加導流罩等裝置

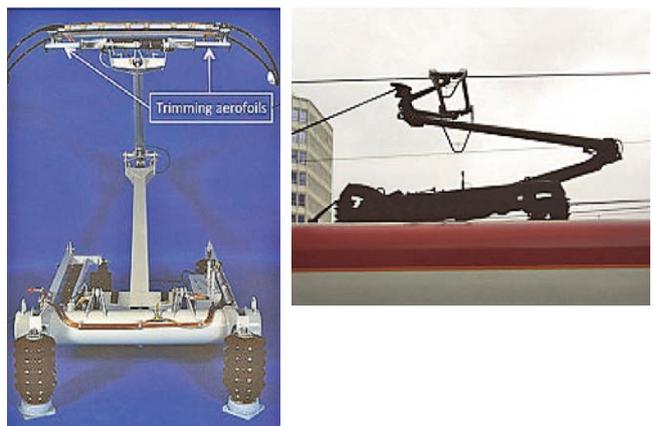
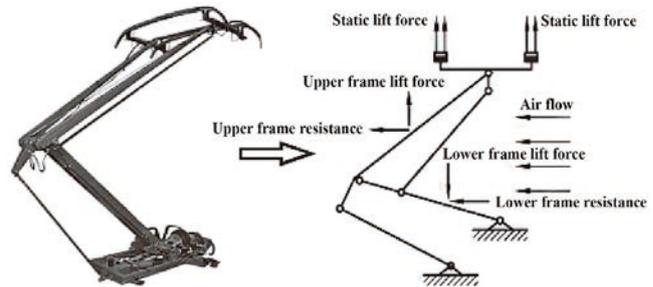


圖 13 列車在高速受空氣動力影響下，將影響集電弓上舉力，必要時需增加空氣動力穩定設計 (Train Aerodynamics, 2019)

電桿懸臂結構設計

因應不同車速與電壓電流，導電系統所需的電車線截面積與絕緣礙子數量亦不相同，且弓網接觸力也

有所改變，這都將影響電桿懸臂所受之力量。加上電車線偏位，將使電桿懸臂有很大幅度的外伸量，因此在列車提速時，需整體考量電桿懸臂的結構強度，以達到維持電車線懸掛穩定的要求。

電車線偏位

電車線偏位與集電弓碳刷磨耗有著密切關係，然而電車線偏位受限於吊掛系統，與電桿間距、電桿懸臂強度等因子息息相關，過於高或低頻的偏位頻率，都與弓網接觸摩擦力方向有關，最終將影響弓網接觸時電車線擺動行為，需與其他吊掛設備一起進行整體評估。

提速車輛牽引馬達功率

若提速時，車輛牽引馬達功率較原本大，意味著在相同供電電壓下，需要使用較大的電流量。同時，列車高速移動時，弓網摩擦發熱將使導電材質電阻率下降，所以提速時可能面臨原電車線截面積導電量不足的問題，必要時需更換截面積較大的導電線。一旦更換不同粗細的導電線，就將影響礙子使用數目，導電線自重也會增加，影響到電桿懸臂架的結構設計，以及電車線張力的設定，都是環環相扣的問題。

車輛動態反應

列車提速時，車軌之間動態反應將加劇，列車左右偏擺的幅度也將增加，影響弓網橫向接觸行為（與電車線偏位及摩擦等有關），而列車的上下振動則影響弓

網接觸力（與集電弓上舉力及摩擦等因素有關）^[8]，此外，以台鐵 EMU900 為例，一列車上有三組集電弓，列車車廂間相互影響，將使三組集電弓與電車線之間有不同接觸反應，因此，列車動態是提速時絕對必須列入考量的項目之一^[1]。

限於文章篇幅，上述因子無法一一舉例說明，以下本文舉其中「電車線張力因子」對提速影響進行說明，本文以國際著名之 Simpack 列車動態分析軟體，採國外某輕軌列車模型為例，建立車弓網耦合電腦分析模型，設定在直線無鐵道不整之路段，單純探究弓網接觸穩定性問題，本文模擬之假設條件如表 2，並對以下針對幾個常見弓網接觸參數與提速之關係提出說明：

表 2 本研究進行車弓網耦合模擬之分析條件

路線形式	直線無鐵道不整
電桿間距	50 m
電車線預張力	1,000 kgf
集電弓上舉力	85N

電車線張力對列車行駛速度的影響

為討論車速與弓網接觸之關係，以本研究所建立之車弓網耦合模型進行電腦分析（如圖 14），從圖中可以發現，橫軸為列車行駛時間（即代表行駛距離），縱軸為弓網接觸力，隨著列車時速上升，弓網接觸力將變大，且將變得較不穩定，致使弓網離線率增加。

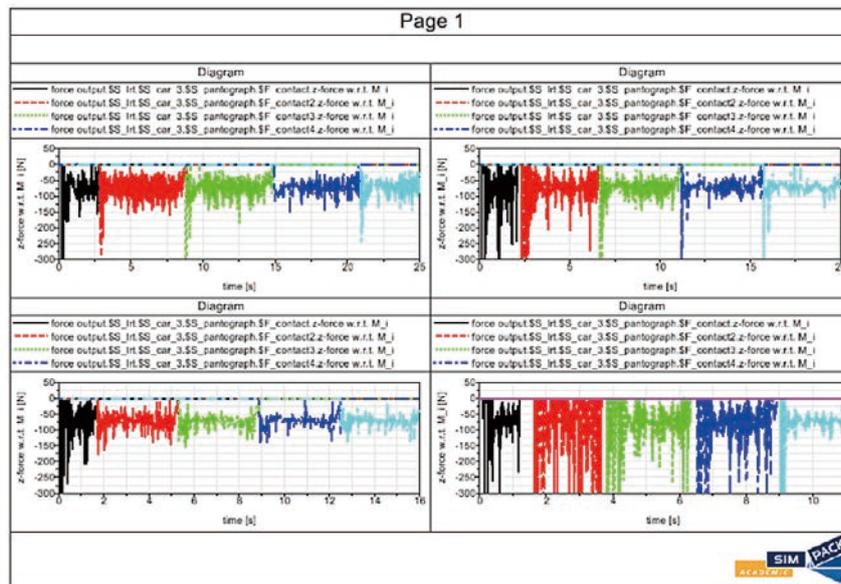


圖 14 不同行駛時速下，弓網接觸力分析結果

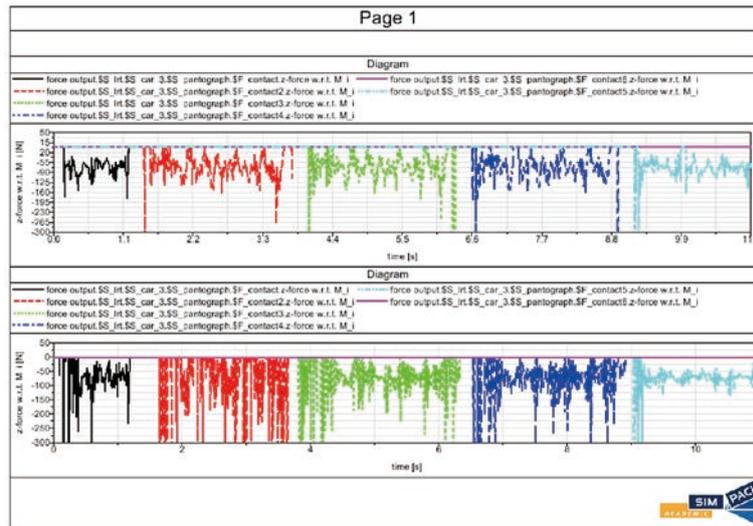


圖 15 時速 70 km/hr 下，不同電車線預拉力所造成的弓網接觸力分析結果

從圖 14 可以發現，列車時速 70 km/hr 時，弓網接觸力即開始產生不穩定現象。若調整電車線預拉張力，將預拉力從 1,000 kgf 調整上升至 1,100 kgf，則可以發現，同樣在時速 70 km/hr 下，弓網接觸力穩定性有顯著改善（如圖 15）。

結語

對於一般城際列車而言，因牽引動力馬達功率高，為降低電流量，往往採用高電壓供電系統，因此除非有特殊考量，否則架空線搭配集電弓是最常見的電力供應方式。當考慮提速問題時，需將車弓網耦合系統進行整體考慮，衡量列車振動以及弓網接觸的綜合條件，使弓網保持在最佳穩定接觸狀態。

從前述討論中，可以發現提速時影響弓網接觸穩定性的因素眾多，例如「電桿間距」、「電車線張力」、「集電弓上舉力」、「集電設備發熱量」、「電桿懸臂結構設計」、「電車線偏位」、「牽引馬達弓率」、「列車動態反應」……等都將影響弓網接觸穩定結果，且上述只是重要項目，尚有許多可能影響的細項需列入考慮，所以可以了解，列車提速所造成的供電系統課題相當複雜。

而每個因子都是環環相扣的，舉例來說，改變電車線截面積，需同時調整電車線張力、變更電車線張力區間、重新計算電桿懸臂結構強度、必要時需調整電桿間距與集電弓上舉力。若只單純改變電車線截面積而不對其他因子做調整，只能稱得上是一個堪用系統，而不是最佳系統，且可能因此產生額外問題（如發熱量改變與碳刷磨耗程度改變等）。

因此，若要達到系統最佳化的效果，需將所有因子都納入考慮，進行統一調整。而這也意味著，我們必須了解每一項因子背後的意義、確實掌握每一項因子調整的能力、具有各因子耦合影響分析的技術。集電弓－電車線系統在鐵路提速的技術課題，是一個既深又廣的大問題，有賴國內相關學者專家持續探究，以持續精進我國自主技術，從了解 → 嘗試維修 → 嘗試設計 → 國產化，透過國內不斷成長的過程，期盼達到最終具有完全國產化技術的能力。

參考文獻

- Nåvik, P., Rønquist, A., and Stichel, S. (2017). Variation in predicting pantograph-catenary interaction contact forces, numerical simulations and field measurements. *Vehicle System Dynamics*, 55(9), 1265-1282.
- Report 06/2013: Accident involving a pantograph and the overhead line near Littleport (2014). RAIB, Rail Accident Investigation Branch, UK.
- Nickel, T. and Puschmann, R. (2017). Technical Specification Energy 2015–Harmonized Design of Overhead Contact Lines. *Problemy Kolejnictwa*.
- Wu, Z., Xie, Z., Wang, P., and Ding, W. (2020). Aerodynamic Drag Performance Analysis of Different Types of High-speed Train Pantograph Fairing. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(3), 509-519.
- Baker, C., Johnson, T., Flynn, D., Hemida, H., Quinn, A., Soper, D., and Sterling, M. (2019). *Train aerodynamics: fundamentals and applications*. Butterworth-Heinemann.
- Lee, Y., Rho, J., Kwak, M., Lee, J., Kim, K., and Lee, D. (2009, August). Aerodynamic characteristics of high speed train pantograph with the optimized panhead shape. *International Conference on FLUID MECHANICS and Aerodynamics*.
- Kitagawa, T. and Nagakura, K. (2000). Aerodynamic noise generated by Shinkansen cars. *Journal of Sound and vibration*, 231(3), 913-924.
- Vera, C., Suarez, B., Paulin, J., and Rodríguez, P. (2006). Simulation model for the study of overhead rail current collector systems dynamics, focused on the design of a new conductor rail. *Vehicle System Dynamics*, 44(8), 595-614.



脫軌事故原因調查經驗分享

郭振銘 / 財團法人鐵道技術研究及驗證中心 執行長

李鎮宇 / 台灣電力公司林口發電廠土木工程 專員

近年來台灣努力提升運輸安全，106 年臺鐵三民站普悠瑪列車出軌事故堪稱為以科學方法專案配合工程專業進行鐵公路重大事故調查之濫觴。運用事故現地調查資料，開發特殊試驗收集枕木握裹道釘拉拔力，建立有限元素分析模型，估計輪軌橫向力造成軌距擴大，在進一步使用軌道車輛運動分析軟體模擬事故路線與列車通過情境，判斷脫軌可能原因之合理性。嚴謹度正確性容或有待商榷之處，產官學研合作的模式與寶貴的經驗，值得分享推廣與超越。

儘管 PC 枕已經逐漸取代傳統木枕，然而仍存在於側線的木枕年久失修被懷疑是脫軌事故的原因。為了提升鐵路事故調查的品質，接軌先進國家運輸安全調查的嚴謹度，交通部鐵道局與成大土木軌道工程實驗室合作，結合軌道車輛運動分析軟體、力學理論、現地試驗、有限元素分析，證明道釘在腐朽木枕中的抗拉拔力下降，確實可能導致列車通過時鋼軌鬆動發生落軌意外。

事故說明

106 年 10 月 24 日由玉里往花蓮方向的列車行經三民站擬進入第 4 股道待避列車交會（圖 1）。行經第 18 號轉轍器處，司機員察覺列車有異常拉扯，立即緊急停車，惟第 2 車至第 6 車已出軌（圖 2）。



圖 2 事故現場照片 [1]

根據列車 ATP 紀錄實際發生脫軌時車速僅 37 km/hr 並未超過該道岔區速限 45 km/hr，顯然有線形以外的影響導致脫軌。由於出軌事故區間（第 18 號道岔）銜

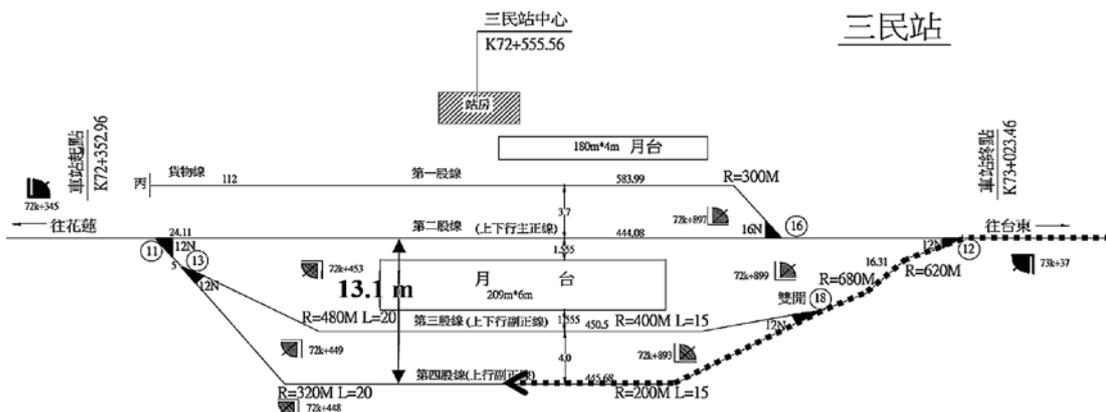


圖 1 三民站路線圖 [1]

接雙開道岔形成反向曲線之特殊線形脫軌風險，以及計有數十根枕木腐朽損壞，道釘抗拉拔力可能因而下降，列車通過時造成鋼軌外翻、軌距擴大等現象。

軌道車輛運動分析

由於短時間內無法完整獲得普悠瑪車輛參數建立穩定車體模型，因此借用 Simpack 已具抗橫向和蛇行穩定性之內建車輛模型（圖 3）。唯該車輛為 1,435 mm 軌距車輛，採用 UIC S1002 鋼軌。

模擬車輛以不同車速通過兩組道岔組成的彎道，發現當車速達到 54 km/hr 即於事故現場 2 號與 3 號車廂中間附近發生脫軌。據此分析結果檢視該道岔區速限為 45 km/hr 確為合理與必要。根據列車 ATP 紀錄實際發生脫軌時車速僅 37 km/hr，顯然有線形以外的影響導致脫軌。

以事故發生之 37 km/hr 車速行經不同鋼軌外翻角度之路線，分析結果發現當軌距擴大為 79 mm 即發生車輛脫軌。

現地道岔 30 個軌距量測值顯示，彎道最大軌距加寬量為 48 mm；75 百分位加寬量為 37.5 mm。以最大彎道軌距加寬量 48 mm 計算，車軌橫壓造成軌距擴大達到 $79 - 48 = 31$ mm，根據模擬分析即發生脫軌。

軌框有限元素模型

為瞭解道釘抗拉拔力對軌距擴大之間的關係，以分析軟體 Staad.Pro 建立軌枕間距 400 mm 之模型，軌枕節點

另以垂向、縱向、及側向彈簧模擬道碴提供之束制與承載力。道釘提供鋼軌抵抗側翻的力矩則以旋轉彈簧模擬。有限元素模型以梁元素組成鋼軌，因此鋼軌受力必須轉移至其質心（圖 4）。模型外觀與有限元素模型如圖 5。

約束軌枕之彈簧勁度分別根據臺鐵道碴側向、縱向阻力規範、及容許垂直位移量推估。垂向力則考慮普悠瑪車廂重及乘客重量，車速產生的動態效應則以動力係數概估。模型以旋轉彈簧模擬道釘提供鋼軌抵抗側翻的力矩。由於國內尚無道釘拉拔試驗數據，因此特別設計治具進行現地道釘抗拉拔力試驗。

道釘抗拉拔力試驗

為瞭解木枕腐朽嚴重程度與數量，對軌距擴大大量的影響。將木枕腐朽程度造成道釘不同程度的鬆脫，區分為四個等級（圖 6）。每個等級至少拉拔三支道釘，合計進行 13 次拉拔試驗（圖 7）。實驗結果呈現「完好」的木枕道釘拉拔力明顯超越其他等級，「堪用」、「勉強堪用」與「腐朽」間差異並不顯著。由於木材並不是均質的材料，木枕內部空洞或纖維疏鬆也無法從外部觀察出來，目視裂紋狀況與道釘最大拉拔力不完全相符。即使同一根木枕，不同位置的拉拔力也可能不同。根據現地試驗結果整理出腐朽程度不同的道釘勁度如表 1。

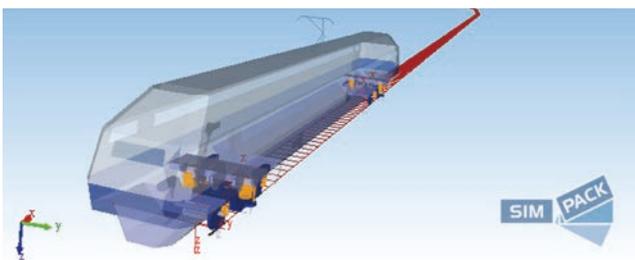


圖 3 本分析採用之車輛模型

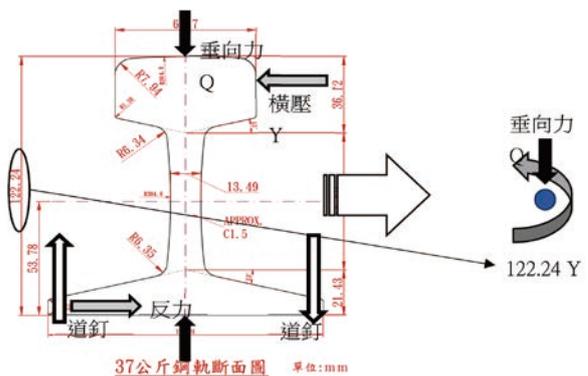


圖 4 鋼軌受力分析^[2]

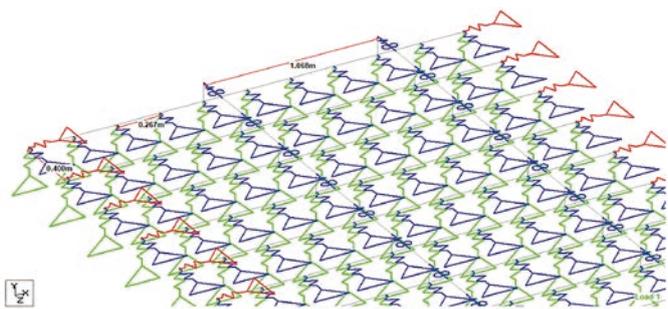
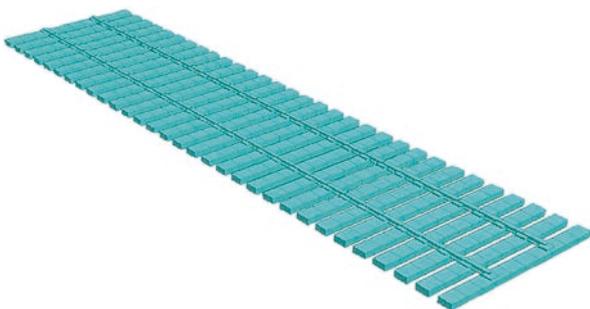


圖 5 以 STAAD.Pro 建立之軌框模型^[2]

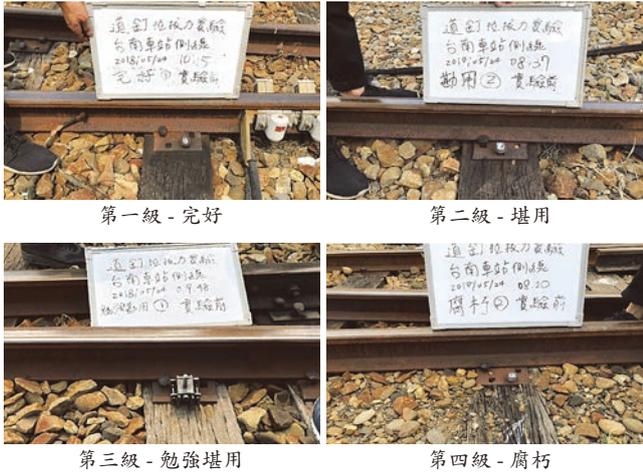


圖 6 木枕分級 [2]

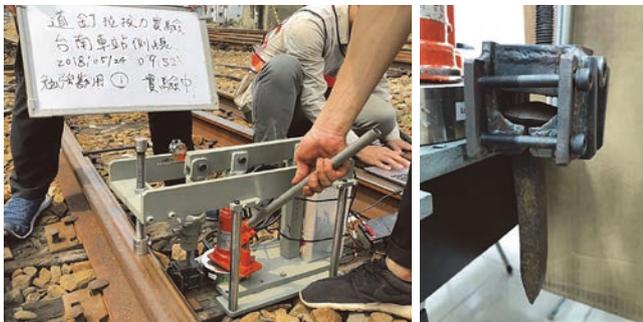


圖 7 現地實驗照片 [2]

表 1 腐朽程度與道釘勁度對照表

腐朽程度	道釘勁度 (kgf/mm)	道釘鬆脫力量 (kgf)	旋轉彈簧勁度 (kN-mm/deg)
腐朽	108	216	276
勉強堪用	191	382	489
堪用	203	406	519
完好	445	890	1138

力學分析結果

初步結果圖 8 顯示全部枕木均屬嚴重腐朽的情況下，65 kN 橫壓力將導致軌距擴大量遠超過本分析案例之脫軌臨界線 31 mm。若全部枕木道釘拉拔強度僅剩 25%，而其中連續七根枕木嚴重腐朽道釘強度降至 5%，軌距擴大量亦高達 30 mm，達到瀕臨脫軌的嚴重狀態。

軌枕老化道釘抗拉拔力降低 50%，轉向架軸間七根枕木腐朽的情況，僅剩 7 mm 餘裕瀕臨脫軌，是否足夠包容連日降雨造成路基鬆軟及軌道不整等尚未考慮的因素，仍非常值得憂慮。

圖 9 顯示在脫軌係數 0.5 較小橫向力作用下，僅所有木枕腐朽之道釘受力超越最大拉拔力；當脫軌係數增加到 0.7，除了全部完好的枕木沒有被拔出之外，其餘等級枕木道釘均超越最大拉拔力呈現拔出與鋼軌外翻。

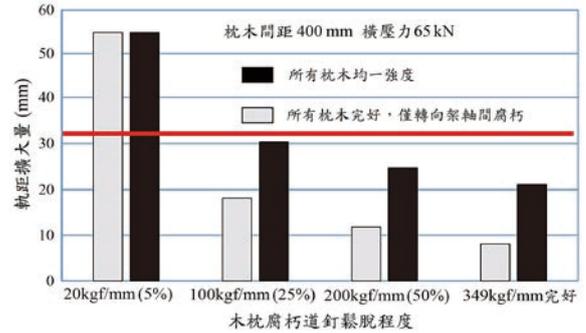


圖 8 枕木腐朽程度與範圍對軌距擴大量之影響 [2]

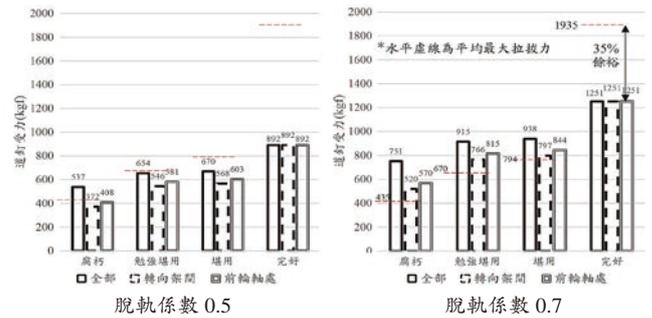


圖 9 木枕腐朽位置與程度影響道釘受力 [2]

比較同一種腐朽程度但發生位置不同，發現比較常見的零星分散的腐朽木枕，造成脫軌的機率也不大。連續數根木枕均腐朽才是脫軌的高風險群，因此鐵路養護單位若發現連續數根木枕腐朽應該立即抽換。

總結

結合實際需求，面對未曾思考過的難題，讓團隊成員練習運用專業學識及科學方法，提出可以檢驗論證的說明，是一次非常有意義的經驗及進步。不論從學術研究、人才培育、運輸安全、調查技術等面向，都有不同程度的收穫與突破。

雖然木枕與道釘是古老的技術，也正在逐步淘汰中，但是這個調查經驗不僅進一步跨入鐵道車輛與軌道關係的 domain knowledge，也建立了克服困難勇於嘗試的信心。尤其是綜合使用了多體機構運動分析、有限元素分析、鐵路養護規範、力學理論歸納、特殊治具設計、現地試驗、分析情境研擬與判讀等等方法及階段，希望鼓勵更多學者率領研究團隊，接軌實際需要解決的問題，不論問題是否尖端前瞻，即使是冷僻傳統領域。都是多贏的結局。

參考文獻

- 交通部鐵路重大事故專案調查報告 106/10/24 臺鐵三民站正線出軌事故專案調查報告 (2018)。
- 李鎮宇，枕木道釘拉拔力對行車安全之影響，碩士論文，國立成功大學土木工程系 (2018)。



離岸風力發電

場址調查及設計技術規範

（草案）說明會

111 年 7 月 19 日

政府帶動離岸風電技術發展，訂定我國本土技術規範乃不可或缺的工具。由經濟部標準檢驗局發起，包含場址調查與設計、製造與施工、運轉與維護，三部規範都在積極研議撰寫中。其中委託國立臺北科技大學召集的「場址調查及設計技術規範」，集合國內各學校與業界代表之專家學者，期間不斷與政府相關單位、設計單位、製造相關產業鏈以及國外開發商等研商討論，今年 7 月率先完成「離岸風力發電場址調查及設計技術規範（草案）」，並於 111 年 7 月 19 日舉辦公開說明會，向各界報告。說明會首先概述整本規範、再對場址調查、載重評估、風場評估、大地調查、地震危害度、土壤液化等分項說明；並介紹發電廠性能及安全要求、風機支撐結構與電力系統，以及設計專案驗證、最後是場址資料庫及設計要點與技術發展，簡報檔案已放置雲端可供瀏覽，敬請各界關注及批評指教。



北科大召集國內專家學者率先完成場址調查及設計技術規範（草案）



說明會現場 250 人場地座無虛席



場址調查及設計技術規範簡介

宋裕祺、林偉淞

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
Workshop on the Technical Standards (Draft) for Site Investigation
and Design of Offshore Wind Farms

場址調查及設計技術規範簡介

宋裕祺 特聘教授

國立臺北科技大學 土木工程系

林偉淞 計畫副理

國立臺北科技大學 離岸風電工程研究中心



目錄

CONTENTS

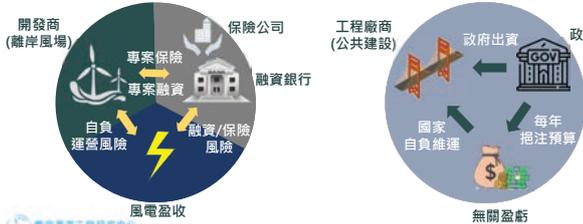
- 01 團隊
- 02 編訂原則
- 03 規範簡介
- 04 結論



離岸風電工程 vs. 國家出資工程

技術規範撰寫 → 原則性規定

技術規範撰寫 → 詳細設計要求



技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



國際風電相關標準/規範

<p>國家標準(CNS)</p> <ul style="list-style-type: none"> CNS 15176-1 風力機 - 第1部: 設計要求 CNS 15176-3 風力機 - 第3部: 離岸風力機 設計要求 <p>國際電工協會 IEC</p> <ul style="list-style-type: none"> IEC 61400-1 Wind turbines - Design requirements IEC 61400-3-1 Design requirements for fixed offshore wind turbines <p>國際標準組織 ISO</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO 19901 Specific requirements for offshore structures ISO 19902 Fixed steel offshore structures <p>挪威船級社(立恩威國際驗證公司)</p> <ul style="list-style-type: none"> ST-0126 Support structures for wind turbines ST-0437 Loads and site conditions for wind turbines 	<p>歐洲規範</p> <ul style="list-style-type: none"> BSI 英國 標準化組織 石叻學會 BSI 英國 皇家財產局 英國 要求提供調查數據至 The Crown Estate via the Marine Data Exchange <p>美國</p> <ul style="list-style-type: none"> 美國 美國潔淨電力協會 美國 電力協會 Bureau of Ocean Energy Management 美國 海洋能源管理局 美國 風力能源 美國 清潔電力協會 美國 離岸風電符合性建議實務 <p>丹麥</p> <ul style="list-style-type: none"> Danish Energy Agency's Executive Order on a technical certification scheme for wind turbines, Executive Order No. 73 (BEK-73) <p>日本</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本 海上風力發電設備相關技術標準之統一解說 <p>中國</p> <ul style="list-style-type: none"> 中華人民共和國國家標準 DL/T 5383 風力發電場設計技術規範
--	---

技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



審查機制、本土議題與風險控管



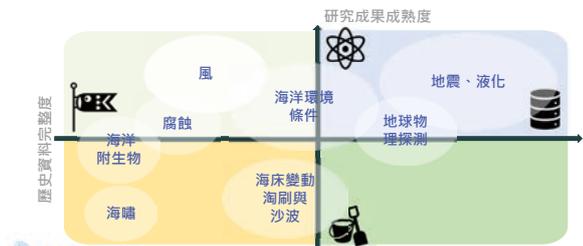
技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說

研究成果成熟度

海城之地球物理探測需求，除主管機關另有規定外可依照下列要求辦理，惟開發商可針對特定場址之環境特性與設計需求調整之。

探測項目	探測方法	探測目的/重要事項
地質探測	震動探測 (CPT)	1. 探測海床底層之介質與層數與厚度 2. 在探測區域探測海底下深度20m內之層數
海床探測	多波束聲納 (DSB)	1. 探測海床地形與坡度 2. 探測海床底層之介質與層數與厚度
海底地質探測	震動探測 (CPT)	1. 探測海床底層之介質與層數與厚度 2. 探測海床底層之介質與層數與厚度
震動探測	震動探測 (CPT)	1. 探測海床底層之介質與層數與厚度 2. 探測海床底層之介質與層數與厚度
震動探測	震動探測 (CPT)	1. 探測海床底層之介質與層數與厚度 2. 探測海床底層之介質與層數與厚度

建議方法
明確量化參數

國際離岸風電標準 – 本技術規範之定位

台灣規範

↓

本技術規範

風電標準

↓

IEC61400-1, CNS15176-1
IEC61400-3-1, CNS15176-3

設計規範

↓

ISO, API, EN Code, NORSOK...

第三方認證

↓

DNV-ST 系列, ABS 系列...

□ 統整國內外提供完整設計執行指引
□ 納入在地應有特殊考量。

□ 離岸風電最上位技術要求。
□ 國際標準均依此發展而成。

□ 傳統 Oil & Gas 設計規範

□ 條文以適用國際為目標

目錄 CONTENTS

01 團隊

02 編訂原則

03 規範簡介

04 結論

離岸風電標準編撰方式 – 德國海事局(BSH)

3.2.3 Support structure without foundation elements

↓

3.2.3.2 Technical codes of practice

Technical codes of practice listed below (not a complete list) shall be used as the basis, taking the current version in each case. When using the structural design codes, the risks deviating from those of normal building structures are allowed to be considered to an appropriate extent. Deviations shall be indicated separately and justified. Final approval of the BSH for deviations is required; the BSH may engage the services of a suitable assessor for this purpose.

Standards and directives governing offshore wind turbines (effects):

- [3] DIN 1055-4: 2005-03,
- [4] IEC 61400-3,
- [5] API RP 2A-LRFD,
- [6] GL Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines, DNV-OS-J101,
- [7] DNV-OS-J101.

Structural design codes:

- [8] DIN 18800-1 to -4,
- [9] DIN EN 1993-1-2:2006-10 (Eurocode 3),
- [10] DIN 1045,
- [11] DIN EN 1992-1-1:2005-10 (Eurocode 2),
- [12] DIN EN 206-01: 2001 -07.

BSH 將國際普遍熟知的離岸風電相關規範(IEC、DNV、GL)與DIN 或DIN EN 並列，以補充此些德國規範應用在離岸風電領域所欠缺的內容。

國際離岸風電標準 – 國際電工協會(IEC)

IEC提供最低限度之設計要求，而非完整設計規範或指引手冊。

This part of IEC 61400 outlines the minimum design requirements for fixed offshore wind turbines and is not intended for use as a complete design specification or instruction manual.

INTRODUCTION

↓

INTRODUCTION

Several different parties may be responsible for undertaking the various elements of the design, manufacture, assembly, installation, erection, commissioning operation and maintenance of an offshore wind turbine and for ensuring that the requirements of this document are met. The division of responsibility between these parties is a contractual matter and is outside the scope of this document.

Any of the requirements of this document may be altered if it can be suitably demonstrated that the safety of the system is not compromised. Compliance with this document does not relieve any person, organization, or corporation from the responsibility of observing other applicable regulations.

IEC建議設計可參考ISO，然而ISO非直接適用離岸風電。

離岸風電標準編撰方式 – 美國潔淨電力協會(ACP)

5.6 Offshore Wind Turbine Design

↓

5.6.3 Structural Design

The design of the offshore wind turbine shall be in conformance with IEC 61400-3-1. System and component resistances shall be determined according to IEC 61400-1 and the ISO 19900 suite of standards, API RP 2A-LRFD and associated standards, or other recognized offshore structural and geotechnical design standards. Guidance specific to offshore wind turbine structural design is also available in DNVGL-ST-0126 and the ABS BOWT guide.

The safety level inherent in the normal safety class for wind turbines defined in IEC 61400-1 can be considered to correspond to a normal safety level in DNVGL-ST-0126.

It might be necessary to use a combination of standards. In such cases, the designer shall demonstrate that the intended safety level is achieved. The IEC 61400 series of standards define a LRFD approach. Particular care shall be taken when mixing LRFD and WSD/ASD standards, which is generally not recommended. The selected standards shall be included in the design basis and shall not be in conflict with U.S. regulations.

APC 將國際普遍熟知的離岸風電相關規範(IEC、DNV、ABS)與 API 並列，以補充此些美國規範應用在離岸風電領域所欠缺的內容。

國際離岸風電標準 – 技術規範 vs. 第三方認證標準

第三方認證規範，雖統整各層級國際標準之要求，但非以提供完整設計執行指引與在地特殊考量為目標。

風電標準

↓

IEC61400-1, CNS15176-1
IEC61400-3-1, CNS15176-3

設計規範

↓

ISO, API, EN Code, NORSOK...

第三方認證

↓

DNV-ST 系列, ABS 系列...

□ 離岸風電最上位技術要求。
□ 國際標準均依此發展而成。

□ 傳統 Oil & Gas 設計規範

□ 條文以適用國際為目標

離岸風電標準編撰方式 – 本技術規範之說明

離岸風力發電廠於其全生命週期內應符合預期的性能及安全等目標所需之工程技術要求。

解說：

離岸風力發電廠性能及安全要求分為5項，彙整如表3.1-1與第3.2節至第3.6節所述內容。相關規定主要是參考國際標準(ISO 19902、IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6及IEC 60228等)、中華民國國家標準(CNS 15176-1、CNS 15176-3等)、API標準(API-RP 2A-LRFD)、NORSOK標準(NORSOK N-004)、EN Code標準(EN 1993)、ABS標準(ABS BOWT指引)、DNV標準(DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360及DNV-ST-0437等)以及國內相關標準。

考量風電開發商可能來自歐洲或美洲，只要遵照各國設計規範編撰之設計原則，其設計成果均具備符合工程需求的信賴度指標(Reliability Index)，雖然各規範所具備的信賴度指標可能不盡相同，但均須足以保有設計成果之結構安全性與使用機能。

結構設計標準之選用 - 本規範之說明

離岸風力發電廠於其全生命週期內應符合預期的性能及安全等目標所需之工程技術要求。

解說：

離岸風力發電廠性能及安全要求分類為5項，彙整如表3.1-1與第3.2節至第3.6節所述內容。相關規定主要是參考國際標準 (ISO 19902、IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6及IEC 60228等)、中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3等)、API標準 (API-RP 2A-LRFD)、NORSOK標準 (NORSOK N-004)、EN Code標準 (EN 1993)、ABS標準 (ABS BOWT指引)、DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360及DNV-ST-0437等) 以及國內相關標準。

為避免增加開發商必須詳讀了解國內既有相關設計規範之困擾，目前離岸風電場址調查與設計規範 允許開發商採用國際通用的結構設計規範，而非全面強制納入國內既有規範之要求，係考量全世界離岸風電工程建設現況，所採取務實且包容的作法。



場址調查與設計技術規範(草案)

第一節 總則

- 1.1 目的
- 1.2 主要範圍
- 1.3 適用範圍
- 1.4 名稱與定義
- 1.5 相關法令與標準
- 1.6 設計、施工與驗收之配合
- 1.7 場址調查與設計階段送審文件

第二節 離岸風力發電廠場址環境條件調查

- 2.1 總則
- 2.1.1 一般規定
- 2.1.2 風能條件調查
- 2.1.3 海洋環境條件調查
- 2.1.4 水文地質及大地工程調查
- 2.1.5 一般規定
- 2.1.6 水文地質調查
- 2.1.7 大地工程調查
- 2.1.8 其他相關條件調查
- 2.2 調查資料之提供
- 2.3 調查資料之審核
- 2.4 其他相關條件調查
- 2.4.1 一般規定
- 2.4.2 水文地質調查
- 2.4.3 大地工程調查
- 2.4.4 其他相關條件調查

第三節 離岸風力發電廠性能與安全要求

- 3.1 總則
- 3.1.1 離岸風力發電廠總則與審議
- 3.1.2 一般規定
- 3.1.3 主要系統
- 3.1.4 其他規定
- 3.2 離岸風力發電廠性能與安全
- 3.2.1 一般規定
- 3.2.2 主要系統
- 3.2.3 其他規定
- 3.3 離岸風力發電廠性能與安全
- 3.3.1 一般規定
- 3.3.2 主要系統
- 3.3.3 其他規定
- 3.4 發電廠性能與安全
- 3.4.1 一般規定
- 3.4.2 主要系統
- 3.4.3 其他規定
- 3.5 離岸風力發電廠性能與安全
- 3.5.1 一般規定
- 3.5.2 主要系統
- 3.5.3 其他規定
- 3.6 其他規定
- 3.6.1 一般規定
- 3.6.2 主要系統
- 3.6.3 其他規定
- 3.7 其他規定
- 3.7.1 一般規定
- 3.7.2 主要系統
- 3.7.3 其他規定

第四節 離岸風力發電廠場址環境條件評估

- 4.1 總則
- 4.2 風能
- 4.3 水位
- 4.4 波浪
- 4.5 海洋環境
- 4.6 海洋地質及大地
- 4.7 其他規定
- 4.8 其他規定
- 4.9 其他規定
- 4.10 其他規定
- 4.11 其他規定
- 4.12 其他規定

第五節 離岸風力機支撐結構與電力系統設計

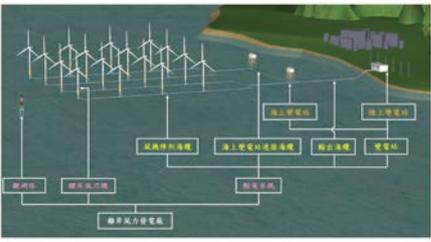
- 5.1 總則
- 5.2 離岸風力機支撐結構設計原則
- 5.2.1 一般規定
- 5.2.2 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.3 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.4 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.5 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.6 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.7 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.8 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.9 離岸風力機支撐結構設計
- 5.2.10 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.1 一般規定
- 5.3.2 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.3 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.4 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.5 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.6 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.7 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.8 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.9 離岸風力機支撐結構設計
- 5.3.10 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.1 一般規定
- 5.4.2 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.3 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.4 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.5 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.6 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.7 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.8 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.9 離岸風力機支撐結構設計
- 5.4.10 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.1 一般規定
- 5.5.2 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.3 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.4 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.5 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.6 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.7 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.8 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.9 離岸風力機支撐結構設計
- 5.5.10 離岸風力機支撐結構設計

附錄一、浮動式離岸風力機設計技術規範
附錄二、變電站設計技術規範



離岸風力發電廠 - 場址調查與設計技術規範

為確保離岸風力發電廠於其全生命週期內具備預期的安全需求、使用性能與服務水準，特訂定離岸風力發電廠場址調查及設計技術規範 (以下簡稱本規範)。



浮動式離岸風力機設計技術規範 (附錄一)

A1 適用範圍

- A2 相關法令與標準
- A3 名稱與定義
- A4 符號與名稱縮寫
- A4.1 符號與單位
- A4.2 名稱縮寫
- A5 主要原則
- A5.1 設計方法
- A5.2 支撐結構上之公告
- A6 外部條件-定義與評估
- A6.1 風能條件
- A6.2 風機轉子機軸總成
- A6.3 海洋環境條件
- A6.4 其他環境條件
- A7 結構設計
- A7.1 總則
- A7.2 環境載重
- A7.2.1 離力與慣性力載重
- A7.2.2 空氣動力載重
- A7.2.3 液體動力載重
- A7.2.4 其他載重
- A7.3 設計與驗證載重組合
- A7.4 載重與驗證載重計算
- A7.4.1 總則
- A7.4.2 風機與液體動力載重關聯性
- A7.4.3 液體動力載重計算
- A7.4.4 驗證要求
- A7.4.5 其他規定
- A7.5 驗證分析
- A7.5.1 總則
- A7.5.2 疲勞破壞
- A7.5.3 工作壓力設計法
- A7.5.4 使用性分析
- A8 控制系統
- A9 機械系統
- A10 電氣系統
- A11 基礎與下部結構設計

A12 定位系統

- A13 浮動穩定性
- A13.1 總則
- A13.2 完整靜態穩定性基準
- A13.3 以動態反應穩定完整靜態基準
- A13.4 破壞穩定性基準
- A14 材料
- A15 海上支撐系統
- A15.1 總則
- A15.2 船水系統
- A15.3 覆層水系統

審議中

附錄不具法律強制性

不影響第三階段區隔開發授權

考量發展中型式多元，採同IEC61400-3-2原則性規定為主。



離岸風力發電廠 - 場址調查與設計技術規範

為確保離岸風力發電廠於其全生命週期內具備預期的安全需求、使用性能與服務水準，特訂定離岸風力發電廠場址調查及設計技術規範 (以下簡稱本規範)。

安全需求：

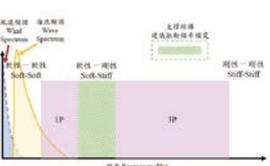
- (1) 離岸風力機結構共振評估
- (2) 轉子機軸總成 (RNA)
- (3) 離岸風力機支撐結構
- (4) 海上變電站結構
- (5) 海纜

使用性能：

- (1) 維持離岸風力發電廠之發電效率與電力負載穩定。
- (2) 維持離岸風力機轉子機軸總成與安全系統之穩定運作。
- (3) 離岸風力機維護管理策略須符合服務水準。

服務水準：

- (1) 維持離岸風力發電廠之發電效率與電力負載穩定。
- (2) 維持離岸風力機轉子機軸總成與安全系統之穩定運作。
- (3) 離岸風力機維護管理策略須符合服務水準。



變電站設計技術規範 (附錄二)

B1 發電站接網架構

- B2 海上變電站配置
- B2.1 離岸風力發電廠
- B2.2 變電站配置
- B3 電力設計
- B3.1 電力設計
- B3.2 電力設計
- B3.3 電力設計
- B3.4 電力設計
- B3.5 電力設計
- B3.6 電力設計
- B3.7 電力設計
- B3.8 電力設計
- B3.9 電力設計
- B3.10 電力設計
- B3.11 電力設計
- B3.12 電力設計
- B3.13 電力設計
- B3.14 電力設計
- B3.15 電力設計
- B3.16 電力設計
- B3.17 電力設計
- B3.18 電力設計
- B3.19 電力設計
- B3.20 電力設計
- B3.21 電力設計
- B3.22 電力設計
- B3.23 電力設計
- B3.24 電力設計
- B3.25 電力設計
- B3.26 電力設計
- B3.27 電力設計
- B3.28 電力設計
- B3.29 電力設計
- B3.30 電力設計
- B3.31 電力設計
- B4 保護設計
- B4.1 保護設計
- B4.2 保護設計
- B4.3 保護設計
- B4.4 保護設計
- B4.5 保護設計
- B4.6 保護設計
- B4.7 保護設計
- B4.8 保護設計
- B4.9 保護設計
- B4.10 保護設計
- B4.11 保護設計
- B4.12 保護設計
- B4.13 保護設計
- B4.14 保護設計
- B4.15 保護設計
- B4.16 保護設計
- B4.17 保護設計
- B4.18 保護設計
- B4.19 保護設計
- B4.20 保護設計
- B4.21 保護設計
- B4.22 保護設計
- B4.23 保護設計
- B4.24 保護設計
- B4.25 保護設計
- B4.26 保護設計
- B4.27 保護設計
- B4.28 保護設計
- B4.29 保護設計
- B4.30 保護設計
- B4.31 保護設計
- B4.32 保護設計
- B4.33 保護設計
- B4.34 保護設計
- B4.35 保護設計
- B4.36 保護設計
- B4.37 保護設計
- B4.38 保護設計
- B4.39 保護設計
- B4.40 保護設計
- B4.41 保護設計
- B4.42 保護設計
- B4.43 保護設計
- B4.44 保護設計
- B4.45 保護設計
- B4.46 保護設計
- B4.47 保護設計
- B4.48 保護設計
- B4.49 保護設計
- B4.50 保護設計
- B5 緊急消防設備系統
- B5.1 緊急消防設備系統
- B5.2 緊急消防設備系統
- B5.3 緊急消防設備系統
- B5.4 緊急消防設備系統
- B5.5 緊急消防設備系統
- B5.6 緊急消防設備系統
- B5.7 緊急消防設備系統
- B5.8 緊急消防設備系統
- B5.9 緊急消防設備系統
- B5.10 緊急消防設備系統
- B5.11 緊急消防設備系統
- B5.12 緊急消防設備系統
- B5.13 緊急消防設備系統
- B5.14 緊急消防設備系統
- B5.15 緊急消防設備系統
- B5.16 緊急消防設備系統
- B5.17 緊急消防設備系統
- B5.18 緊急消防設備系統
- B5.19 緊急消防設備系統
- B5.20 緊急消防設備系統
- B5.21 緊急消防設備系統
- B5.22 緊急消防設備系統
- B5.23 緊急消防設備系統
- B5.24 緊急消防設備系統
- B5.25 緊急消防設備系統
- B5.26 緊急消防設備系統
- B5.27 緊急消防設備系統
- B5.28 緊急消防設備系統
- B5.29 緊急消防設備系統
- B5.30 緊急消防設備系統
- B5.31 緊急消防設備系統
- B5.32 緊急消防設備系統
- B5.33 緊急消防設備系統
- B5.34 緊急消防設備系統
- B5.35 緊急消防設備系統
- B5.36 緊急消防設備系統
- B5.37 緊急消防設備系統
- B5.38 緊急消防設備系統
- B5.39 緊急消防設備系統
- B5.40 緊急消防設備系統
- B5.41 緊急消防設備系統
- B5.42 緊急消防設備系統
- B5.43 緊急消防設備系統
- B5.44 緊急消防設備系統
- B5.45 緊急消防設備系統
- B5.46 緊急消防設備系統
- B5.47 緊急消防設備系統
- B5.48 緊急消防設備系統
- B5.49 緊急消防設備系統
- B5.50 緊急消防設備系統
- B5.51 緊急消防設備系統
- B5.52 緊急消防設備系統
- B5.53 緊急消防設備系統
- B5.54 緊急消防設備系統
- B5.55 緊急消防設備系統
- B5.56 緊急消防設備系統
- B5.57 緊急消防設備系統
- B5.58 緊急消防設備系統
- B5.59 緊急消防設備系統
- B5.60 緊急消防設備系統
- B5.61 緊急消防設備系統
- B5.62 緊急消防設備系統
- B5.63 緊急消防設備系統
- B5.64 緊急消防設備系統
- B5.65 緊急消防設備系統
- B5.66 緊急消防設備系統
- B5.67 緊急消防設備系統
- B5.68 緊急消防設備系統
- B5.69 緊急消防設備系統
- B5.70 緊急消防設備系統
- B5.71 緊急消防設備系統
- B5.72 緊急消防設備系統
- B5.73 緊急消防設備系統
- B5.74 緊急消防設備系統
- B5.75 緊急消防設備系統
- B5.76 緊急消防設備系統
- B5.77 緊急消防設備系統
- B5.78 緊急消防設備系統
- B5.79 緊急消防設備系統
- B5.80 緊急消防設備系統
- B5.81 緊急消防設備系統
- B5.82 緊急消防設備系統
- B5.83 緊急消防設備系統
- B5.84 緊急消防設備系統
- B5.85 緊急消防設備系統
- B5.86 緊急消防設備系統
- B5.87 緊急消防設備系統
- B5.88 緊急消防設備系統
- B5.89 緊急消防設備系統
- B5.90 緊急消防設備系統
- B5.91 緊急消防設備系統
- B5.92 緊急消防設備系統
- B5.93 緊急消防設備系統
- B5.94 緊急消防設備系統
- B5.95 緊急消防設備系統
- B5.96 緊急消防設備系統
- B5.97 緊急消防設備系統
- B5.98 緊急消防設備系統
- B5.99 緊急消防設備系統
- B5.100 緊急消防設備系統

B6 海電纜

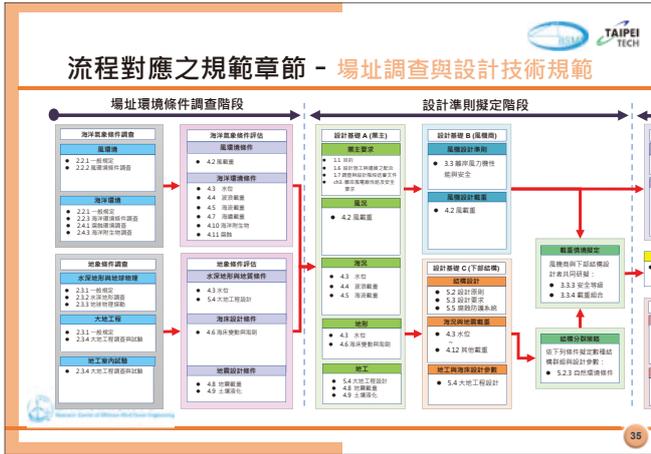
- B6.1 海電纜
- B6.2 海電纜
- B6.3 海電纜
- B6.4 海電纜
- B6.5 海電纜
- B6.6 海電纜
- B6.7 海電纜
- B6.8 海電纜
- B6.9 海電纜
- B6.10 海電纜
- B6.11 海電纜
- B6.12 海電纜
- B6.13 海電纜
- B6.14 海電纜
- B6.15 海電纜
- B6.16 海電纜
- B6.17 海電纜
- B6.18 海電纜
- B6.19 海電纜
- B6.20 海電纜
- B6.21 海電纜
- B6.22 海電纜
- B6.23 海電纜
- B6.24 海電纜
- B6.25 海電纜
- B6.26 海電纜
- B6.27 海電纜
- B6.28 海電纜
- B6.29 海電纜
- B6.30 海電纜
- B6.31 海電纜
- B6.32 海電纜
- B6.33 海電纜
- B6.34 海電纜
- B6.35 海電纜
- B6.36 海電纜
- B6.37 海電纜
- B6.38 海電纜
- B6.39 海電纜
- B6.40 海電纜
- B6.41 海電纜
- B6.42 海電纜
- B6.43 海電纜
- B6.44 海電纜
- B6.45 海電纜
- B6.46 海電纜
- B6.47 海電纜
- B6.48 海電纜
- B6.49 海電纜
- B6.50 海電纜
- B6.51 海電纜
- B6.52 海電纜
- B6.53 海電纜
- B6.54 海電纜
- B6.55 海電纜
- B6.56 海電纜
- B6.57 海電纜
- B6.58 海電纜
- B6.59 海電纜
- B6.60 海電纜
- B6.61 海電纜
- B6.62 海電纜
- B6.63 海電纜
- B6.64 海電纜
- B6.65 海電纜
- B6.66 海電纜
- B6.67 海電纜
- B6.68 海電纜
- B6.69 海電纜
- B6.70 海電纜
- B6.71 海電纜
- B6.72 海電纜
- B6.73 海電纜
- B6.74 海電纜
- B6.75 海電纜
- B6.76 海電纜
- B6.77 海電纜
- B6.78 海電纜
- B6.79 海電纜
- B6.80 海電纜
- B6.81 海電纜
- B6.82 海電纜
- B6.83 海電纜
- B6.84 海電纜
- B6.85 海電纜
- B6.86 海電纜
- B6.87 海電纜
- B6.88 海電纜
- B6.89 海電纜
- B6.90 海電纜
- B6.91 海電纜
- B6.92 海電纜
- B6.93 海電纜
- B6.94 海電纜
- B6.95 海電纜
- B6.96 海電纜
- B6.97 海電纜
- B6.98 海電纜
- B6.99 海電纜
- B6.100 海電纜

B7 隔絕系統

- B7.1 隔絕系統
- B7.2 隔絕系統
- B7.3 隔絕系統
- B7.4 隔絕系統
- B7.5 隔絕系統
- B7.6 隔絕系統
- B7.7 隔絕系統
- B7.8 隔絕系統
- B7.9 隔絕系統
- B7.10 隔絕系統
- B7.11 隔絕系統
- B7.12 隔絕系統
- B7.13 隔絕系統
- B7.14 隔絕系統
- B7.15 隔絕系統
- B7.16 隔絕系統
- B7.17 隔絕系統
- B7.18 隔絕系統
- B7.19 隔絕系統
- B7.20 隔絕系統
- B7.21 隔絕系統
- B7.22 隔絕系統
- B7.23 隔絕系統
- B7.24 隔絕系統
- B7.25 隔絕系統
- B7.26 隔絕系統
- B7.27 隔絕系統
- B7.28 隔絕系統
- B7.29 隔絕系統
- B7.30 隔絕系統
- B7.31 隔絕系統
- B7.32 隔絕系統
- B7.33 隔絕系統
- B7.34 隔絕系統
- B7.35 隔絕系統
- B7.36 隔絕系統
- B7.37 隔絕系統
- B7.38 隔絕系統
- B7.39 隔絕系統
- B7.40 隔絕系統
- B7.41 隔絕系統
- B7.42 隔絕系統
- B7.43 隔絕系統
- B7.44 隔絕系統
- B7.45 隔絕系統
- B7.46 隔絕系統
- B7.47 隔絕系統
- B7.48 隔絕系統
- B7.49 隔絕系統
- B7.50 隔絕系統
- B7.51 隔絕系統
- B7.52 隔絕系統
- B7.53 隔絕系統
- B7.54 隔絕系統
- B7.55 隔絕系統
- B7.56 隔絕系統
- B7.57 隔絕系統
- B7.58 隔絕系統
- B7.59 隔絕系統
- B7.60 隔絕系統
- B7.61 隔絕系統
- B7.62 隔絕系統
- B7.63 隔絕系統
- B7.64 隔絕系統
- B7.65 隔絕系統
- B7.66 隔絕系統
- B7.67 隔絕系統
- B7.68 隔絕系統
- B7.69 隔絕系統
- B7.70 隔絕系統
- B7.71 隔絕系統
- B7.72 隔絕系統
- B7.73 隔絕系統
- B7.74 隔絕系統
- B7.75 隔絕系統
- B7.76 隔絕系統
- B7.77 隔絕系統
- B7.78 隔絕系統
- B7.79 隔絕系統
- B7.80 隔絕系統
- B7.81 隔絕系統
- B7.82 隔絕系統
- B7.83 隔絕系統
- B7.84 隔絕系統
- B7.85 隔絕系統
- B7.86 隔絕系統
- B7.87 隔絕系統
- B7.88 隔絕系統
- B7.89 隔絕系統
- B7.90 隔絕系統
- B7.91 隔絕系統
- B7.92 隔絕系統
- B7.93 隔絕系統
- B7.94 隔絕系統
- B7.95 隔絕系統
- B7.96 隔絕系統
- B7.97 隔絕系統
- B7.98 隔絕系統
- B7.99 隔絕系統
- B7.100 隔絕系統

B8 結構系統與設計

- B8.1 結構系統與設計
- B8.2 結構系統與設計
- B8.3 結構系統與設計
- B8.4 結構系統與設計
- B8.5 結構系統與設計
- B8.6 結構系統與設計
- B8.7 結構系統與設計
- B8.8 結構系統與設計
- B8.9 結構系統與設計
- B8.10 結構系統與設計
- B8.11 結構系統與設計
- B8.12 結構系統與設計
- B8.13 結構系統與設計
- B8.14 結構系統與設計
- B8.15 結構系統與設計
- B8.16 結構系統與設計
- B8.17 結構系統與設計
- B8.18 結構系統與設計
- B8.19 結構系統與設計
- B8.20 結構系統與設計
- B8.21 結構系統與設計
- B8.22 結構系統與設計
- B8.23 結構系統與設計
- B8.24 結構系統與設計
- B8.25 結構系統與設計
- B8.26 結構系統與設計
- B8.27 結構系統與設計
- B8.28 結構系統與設計
- B8.29 結構系統與設計
- B8.30 結構系統與設計
- B8.31 結構系統與設計
- B8.32 結構系統與設計
- B8.33 結構系統與設計
- B8.34 結構系統與設計
- B8.35 結構系統與設計
- B8.36 結構系統與設計
- B8.37 結構系統與設計
- B8.38 結構系統與設計
- B8.39 結構系統與設計
- B8.40 結構系統與設計
- B8.41 結構系統與設計
- B8.42 結構系統與設計
- B8.43 結構系統與設計
- B8.44 結構系統與設計
- B8.45 結構系統與設計
- B8.46 結構系統與設計
- B8.47 結構系統與設計
- B8.48 結構系統與設計
- B8.49 結構系統與設計
- B8.50 結構系統與設計
- B8.51 結構系統與設計
- B8.52 結構系統與設計
- B8.53 結構系統與設計
- B8.54 結構系統與設計
- B8.55 結構系統與設計
- B8.56 結構系統與設計
- B8.57 結構系統與設計
- B8.58 結構系統與設計
- B8.59 結構系統與設計
- B8.60 結構系統與設計
- B8.61 結構系統與設計
- B8.62 結構系統與設計
- B8.63 結構系統與設計
- B8.64 結構系統與設計
- B8.65 結構系統與設計
- B8.66 結構系統與設計
- B8.67 結構系統與設計
- B8.68 結構系統與設計
- B8.69 結構系統與設計
- B8.70 結構系統與設計
- B8.71 結構系統與設計
- B8.72 結構系統與設計
- B8.73 結構系統與設計
- B8.74



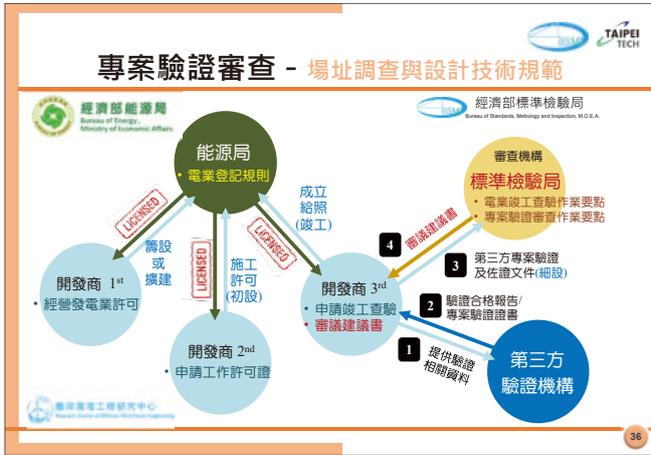
技師簽證-法源依據

母法：技師法
修正日期：民國 100 年 06 月 22 日
法規類別：行政 > 行政院公共工程委員會 > 通用目

行政院公共工程委員會 發文日期：民國 108 年 10 月 25 日
發文字號：工程技字第 1080025940 號

民國 110 年(含)後完工併聯之離岸風場其風力發電機組支撐結構工程設計及監造技術服務，是否應依法由專門職業及技術人員或法定機構提供。(中興工程顧問公司→經濟部能源局→行政院工程會)

說明：
二、查能源局 108 年 7 月 18 日能電字第 10800553150 號函復貴公司釋明「110 年(含)後完工併聯之離岸風場其『風力發電機組支撐結構工程』應依『技師法』第 16 條規定，由相關專業技師辦理設計及監造」。復依前開能源局 108 年 10 月 14 日函，110 年(含)後完工併聯之離岸風場，該局會查驗相關專業技師簽證之文件(風機支撐結構塔架、基礎設計報告、詳細圖說及計算文件)，惟經濟部離岸風力發電機組場址遴選取得 109 年完工併聯遴選獲容量者及示範獎勵案件，不在此限。



成果文件送審要求 - 場址調查與設計技術規範

場址調查及設計階段應於完成各項作業時提交相關調查報告與設計成果，經專業技師簽證及/或驗證機構核可後，提送主管機關辦理專案驗證審查並核定之。

□ 本規範所稱簽證，係指專業技師依據「技師法」規定在本人或其監督下所製作之圖章簽署並加蓋技師執業圖記。

送審文件、單位		場址調查與設計階段				備註/說明
序次	文件名稱	審前機構	驗證機構	技師簽證	設計技術規範	
A. 整體工程(設計階段)						
B. 轉子及機艙組						
C. 離岸風力機支撐結構						
7	土工詮釋報告 (Geotechnical Interpretative Report, GIR)	●	●	相關專業技師	2.3 - 4.6 - 4.9	設計土壞圖面、地工計算書、土壤液化趨勢分析等內容
D. 海上變電站工程						
E. 水平台向鑽掘工程						
F. 海底電纜工程						

技師簽證-法源依據

母法：再生能源發展條例
修正日期：民國 108 年 05 月 01 日
法規類別：行政 > 經濟部 > 能源管理目

經濟部能源局 再生能源發電設備設置管理辦法
中華民國 108 年 12 月 18 日
經電字第 10804605380 號修正

第一條 本辦法依 再生能源發展條例 (以下簡稱本條例) 第四條第四項規定訂定之

第十一條 第三型再生能源發電設備設置者依前條第三項規定申請設備登記時，應依規定格式填具設備登記申請表與設備設置聲明書，並檢附下列文件：

六、依電業法及其相關規定有關承裝及施作之竣工試驗報告；如設置再生能源發電設備達一百瓩以上，符合電業設備及用戶用電設備工程設計及監造範圍認定標準者，應另檢附依法登記執業之電機技師或相關專業技師辦理設計與監造之證明文件及監造技師簽證之竣工試驗報告。

成果文件送審要求 - 場址調查與設計技術規範

□ 文件清單

A. 整體工程(設計階段)	B. 轉子及機艙組	C. 離岸風力機支撐結構	D. 海上變電站工程	E. 水平台向鑽掘工程	F. 海底電纜工程	G. 其他相關工程
1. 地質調查及設計報告 2. 設計圖說 3. 設計計算書 4. 結構工程設計書 5. 第三型再生能源設備設置報告 6. 第三型再生能源設備設置報告 7. 第三型再生能源設備設置報告 8. 第三型再生能源設備設置報告 9. 第三型再生能源設備設置報告 10. 第三型再生能源設備設置報告 11. 第三型再生能源設備設置報告	1. 風力發電機組及其各型號零件清單 2. 風力發電機組及其各型號零件清單 3. 風力發電機組及其各型號零件清單 4. 風力發電機組及其各型號零件清單	1. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 2. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 3. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 4. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 5. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 6. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 7. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 8. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 9. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 10. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 11. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 12. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 13. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 14. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 15. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 16. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 17. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 18. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 19. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 20. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 21. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 22. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 23. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 24. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17) 25. 離岸風力機支撐結構內容相同(除 12, 13 與 17)	1. 設計基礎 2. 設計基礎 3. 設計基礎 4. 設計基礎 5. 設計基礎 6. 設計基礎 7. 設計基礎 8. 設計基礎 9. 設計基礎 10. 設計基礎 11. 設計基礎 12. 設計基礎 13. 設計基礎 14. 設計基礎 15. 設計基礎 16. 設計基礎 17. 設計基礎 18. 設計基礎 19. 設計基礎 20. 設計基礎 21. 設計基礎 22. 設計基礎 23. 設計基礎 24. 設計基礎 25. 設計基礎	1. 海床測量報告及圖說 2. 地質調查及設計報告 3. 水平台向鑽掘設計圖說及計算書 4. 水平台向鑽掘施工圖說及計算書	1. 海底電纜工程設計圖說及計算書 2. 海底電纜工程設計圖說及計算書 3. 海底電纜工程設計圖說及計算書 4. 海底電纜工程設計圖說及計算書 5. 海底電纜工程設計圖說及計算書 6. 海底電纜工程設計圖說及計算書 7. 海底電纜工程設計圖說及計算書 8. 海底電纜工程設計圖說及計算書 9. 海底電纜工程設計圖說及計算書 10. 海底電纜工程設計圖說及計算書 11. 海底電纜工程設計圖說及計算書 12. 海底電纜工程設計圖說及計算書 13. 海底電纜工程設計圖說及計算書 14. 海底電纜工程設計圖說及計算書 15. 海底電纜工程設計圖說及計算書 16. 海底電纜工程設計圖說及計算書 17. 海底電纜工程設計圖說及計算書 18. 海底電纜工程設計圖說及計算書 19. 海底電纜工程設計圖說及計算書 20. 海底電纜工程設計圖說及計算書 21. 海底電纜工程設計圖說及計算書 22. 海底電纜工程設計圖說及計算書 23. 海底電纜工程設計圖說及計算書 24. 海底電纜工程設計圖說及計算書 25. 海底電纜工程設計圖說及計算書	1. 海床測量報告及圖說 2. 地質調查及設計報告 3. 水平台向鑽掘設計圖說及計算書 4. 水平台向鑽掘施工圖說及計算書

共計 79 項文件內容，依據電業法及電業竣工查驗作業要點：
必須簽證：設計報告、詳細圖說及計算文件；無須簽證：計畫書、型式及驗證證書

技師簽證-法源依據

母法：電業法
修正日期：民國 108 年 05 月 22 日
法規類別：行政 > 經濟部 > 工業目

電業設備及用戶用電設備工程設計及監造範圍認定標準
修正日期：民國 108 年 04 月 15 日
法規類別：行政 > 經濟部 > 能源管理目

第 1 條 本標準依電業法 (以下簡稱本法) 第六十一條第二項規定訂定之。

第 4 條 電業設備工程應由依法登記執業之電機技師或相關專業技師辦理設計及監造之範圍如下：

- 一、發電廠線路裝置工程。
- 二、發電廠天然氣管線工程。
- 三、一萬一千伏特以上供電線路裝置工程或鐵塔結構工程，其設計時總工程費達新臺幣一百萬元或施設線路達一公里以上者。
- 四、一萬一千伏特以上變電所裝置工程。
- 五、風力發電機組支撐結構工程。

專業技師(PE) 與 專案驗證(PC)

PE 與 PC 間的執行業務內容不同、法律責任不同，兩者並非疊床架屋



目錄 CONTENTS

- 01 團隊
- 02 編訂原則
- 03 規範簡介
- 04 結論

TAIPEI TECH

技術規範與各界關係人之益處

章節：第一章
內容：場址調查與設計技術規範-總則

<p>開發商</p> <ul style="list-style-type: none"> 風電開發商無論來自歐洲或美洲，只要遵照本規範揭曉之設計原則，其設計成果均具備符合工程需求的信賴度指標(Reliability Index)，以開放態度，接軌國際風電設計技術。 	<p>政府(驗證審查)</p> <ul style="list-style-type: none"> 明確各設計文件於技師簽證、驗證單位與驗證審查單位等，三方的權責關聯性，俾利參考。 	<p>設計者</p> <ul style="list-style-type: none"> 明確宣示離岸風電廠的各個各個設計項目之性能目標，俾利各方遵循。 強化設計、施工與運維間彼此配合關係，俾利設計階段得以合宜考量與決策。
<p>風機製造商</p> <ul style="list-style-type: none"> 尊重風機商其專業主責與產品商業競爭機密，惟離岸風力機整體系統之性能及安全需符合本規範之規定。 	<p>第三方驗證單位</p> <ul style="list-style-type: none"> 明確各設計文件於技師簽證、驗證單位與驗證審查單位等，三方的權責關聯性，俾利參考。 	

TAIPEI TECH

結論

- 與各國制定原則相同，本規範非所謂自創國際第三套標準。
- 充分理解私人風場開發工程特性，本規範條文採原則性之規定。
- 依國內外經驗與技術發展情況，台灣特有議題採具有彈性之定性/定量規定與解說。
- 考量全世界離岸風電工程建設現況，本規範係採取之務實且包容的作法，允許開發商採用國際通用的結構設計規範。
- 專業技師(PE)與專案驗證(PC)兩者角色不同，並非疊床架屋。

TAIPEI TECH

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束

離岸風場之場址調查與載重評估 吳淑珍

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

離岸風場之場址調查與載重評估

主講人：吳淑珍 副理
台灣世曦工程顧問股份有限公司
CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

經濟部標準檢驗局 TAIPEI 國立臺灣科技大學

負責項目
章節 第四章 離岸風力發電廠場址環境條件評估

內容

- 風環境條件與海洋環境條件數據之統計宜有10年以上資料，用於極值分析之統計則宜有30年以上資料。若特定場址之數據樣本數量或觀測時間長度不足，可利用經與觀測資料驗證後之數值模擬(後報)結果取代之。

開發商

- 確保風場發電營運之穩定性

風機製造商

- 確保風力機轉符合本土需求及安全性

設計者

- 確保載重評估符合本土需求及安全性

第三方驗證單位

- 確保驗證內容之安全性

政府(驗證審查)

- 確保載重評估符合本土需求及安全性

若使用特定場址之觀測資料進行分析前，應選擇與鄰近特定場址(一般為50公里範圍內)及外在條件(觀測位置之水深、地形、風域等)近似之觀測站的觀測資料進行比對，必要時亦可採用數值模擬，以估算或比對特定場址之海洋氣象統計資料。

負責項目
章節 第二章 離岸風力發電廠場址環境條件調查

內容

- 基本設計及細部設計等階段之需求
- 腐蝕環境及海生物附着等調查，如場址無法實際取樣調查時，得參考相關學理、文獻或國際標準，合理推估設計所需之參數
- 特殊環境條件，應檢討調查內容是否符合工程需求

政府(驗證審查)

- 確保場址開發基本安全需求

開發商

- 掌握風場開發之風險，有利財務控管

風機製造商

- 確保風力機型式適用於台灣海洋環境

設計者

- 確保設計參數取得有所依據

第三方驗證單位

- 確保驗證所需之基本參數來源

目錄 CONTENTS

- 01 場址調查與載重評估編訂依據
- 02 規範章節架構
- 03 載重評估
- 04 場址環境條件調查
- 05 特定場址環境條件資料提送

TAIPEI TECH

1. 場址調查與載重評估編訂依據

■ 場址調查參考規範

- 內政部「水深測量作業規範」
- 離岸風力發電示範獎勵辦法
- CNS 15176-12-1
- IEC 61400-12-1
- MEASNET
- ISO 19901-8
- DNV Classification Notes No. 30.4
- NIEA E701.20C, NIEA E103.20C, NIEA E104.20C, NIEA E 505.50C

■ 載重評估參考規範

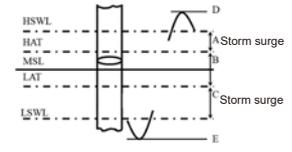
- CNS 15176-1
- IEC 61400-1
- IEC 61400-3-1
- ISO 19901-1
- API RP 2A, 22nd Edition
- DNV-ST-0437
- 洋上風力發電設備に関する統一の解説

5

水位

Water level : mean water level in conjunction with tidal water and a wind- and pressure induced storm surge.

- HISWL 最高靜水位
- HAT 最高天文潮
- MSL 平均海面
- LAT 最低天文潮
- LSWL 最低靜水位
- A 正常潮
- B 潮伊範圍
- C 自差潮
- D 最大浪峰高度
- E 最小浪谷高度



■ 正常水位範圍 (NWLRL)

- ✓ 正常海況(NSS)
- ✓ 嚴苛海況(SSS)
- ✓ 極端海況(ESS)

■ 極端水位範圍 (EWLRL)

- ✓ 極端海況(ESS)



8

2. 規範章節架構

第二章 離岸風力發電廠場址環境條件調查	第四章 離岸風力發電廠場址環境條件評估
2.1 通則	4.1 通則
2.2 風環境條件與海洋環境條件調查	4.2 風載重
2.2.1 一般規定	4.3 水位
2.2.2 風環境條件調查	4.4 波浪載重
2.2.3 海洋環境條件調查	4.5 海流載重
2.3 水深地形與大地工程調查	4.6 海床變動與淘刷
2.3.1 一般規定	4.7 海嘯載重
2.3.2 水深地形調查	4.8 地震載重
2.3.3 地球物理探勘	4.9 土壤液化
2.3.4 大地工程調查與試驗	4.10 海洋附生物
2.4 其他環境條件調查	4.11 腐蝕
2.4.1 腐蝕環境調查	4.12 其他載重
2.4.2 雷擊調查	
2.4.3 海洋附生物調查	
2.5 特定場址環境條件資料提送	
2.5.1 一般規定	
2.5.2 風環境條件與海洋環境條件調查資料提送	
2.5.3 水深地形及大地工程調查與試驗資料提送	
2.5.4 其他環境條件調查資料提送	

6

波浪



10

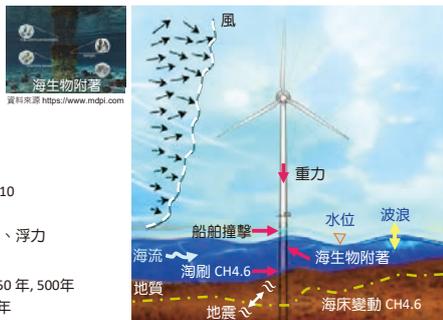
3. 載重

■ 載重

- 轉子-機艙動力
- 風力 CH 4.2
- 水位 CH 4.3
- 波浪 CH 4.4
- 海流 CH 4.5
- 海嘯 CH 4.7
- 地震 CH 4.8
- 海洋附生物 CH 4.10
- 船撞 CH 4.12
- 附加質量、重力、浮力

■ 回歸期

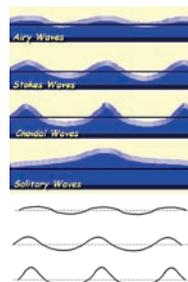
- 環境載重: 1年, 50年, 500年
- 地震: 95年, 475年



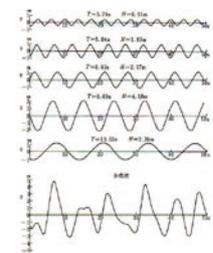
7

規則波與不規則波

- 線性波
- 非線性波



■ 不規則波為規則波之線性疊加



11

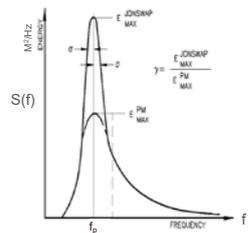
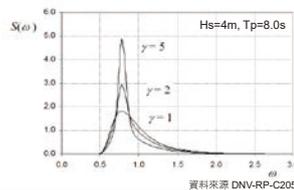
海況

- 海況: 波浪、海流、水位、風與浪的方向
- 正常海況(NSS)
 - ✓ DLC 1~8
 - ✓ 風機運轉風速下的海況, 除DLC 6.4外
 - ✓ 風機運轉風速下的極端風況, ETM、ECD、EWS、EOG、EDC
 - ✓ 疲勞載重: 軸殼高度處之平均風速 V_{hub} 、示性波高 H_s 、波譜尖峰週期 T_p 之長期聯合機率分布
- 嚴苛海況(SSS)
 - ✓ 發電狀態下, DLC 1.6
 - ✓ 與正常風況NTM相關連
 - ✓ H_s & V_{hub} 載重效應為50年回歸期
- 極端海況(ESS)
 - ✓ 待機, 待機與故障, 運輸、安裝、維護及修理, DLC 6~8
 - ✓ 1年回歸期
 - ✓ 50年回歸期

8

波譜

- Wave spectrum
 - JONSWAP wave energy spectra (Hasselmann, et al., 1973) 峽灣或有限風區之非充分成長的海域狀態
 - P-M wave energy spectra Pierson and Moskowitz, 1964 北大西洋開闊海域之觀測



資料來源 DNV-RP-C205

12

波譜

JONSWAP spectrum

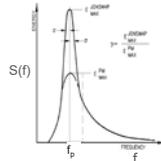
$$S(f) = \frac{a g^2}{(2\pi)^3} f^{-5} e^{-\left(\frac{f}{f_p}\right)^4} \left(1 + \frac{b}{c} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-1} + \frac{d}{c} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-2} + \frac{e}{c} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-3}\right)$$

peak-enhancement factor

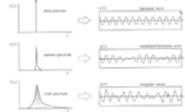
$$\gamma = \begin{cases} 5 & \text{for } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \\ e^{(1.75-1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}})} & \text{for } 3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 5 \\ 1 & \text{for } 5 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \end{cases}$$

$$T_p = T_p \sqrt{\frac{5+\gamma}{11+\gamma}}$$

fp= 1/Tp
Tp= peak period
Tz= zero-upcrossing period
a= 0.07 for f ≤ fp
= 0.09 for f > fp



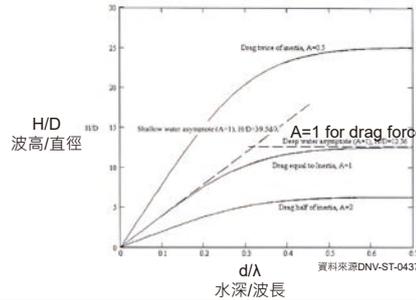
Frequency domain transfers to time domain



13

慣性力與拖曳力之相對大小

- Assume linear wave theory
- Cylinders with D < 0.2 λ



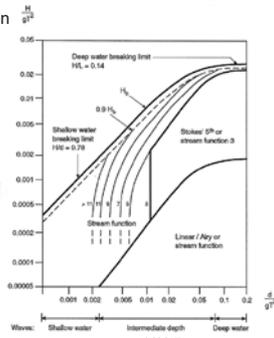
17

波浪理論

- To find wave particle velocity and acceleration
- Airy wave theory for small amplitude wave in deep water
- Stokes wave theory for high waves
- Stream function applied over broad range of water depth

$$\Psi(x, z) = cz + \sum_{n=1}^{\infty} X(n) \sinh nk(z+d) \cos nkx$$

water depth, d
wave height, H
wave period, T



14

單柱的線性波浪力

Airy wave

$$F_H = \int_0^{d+\eta} \frac{1}{2} C_D \rho D u_x |u_x| dz + \int_0^{d+\eta} C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u_x}{\partial t} dz$$

$$\eta = a \cos(kx - \omega t) \quad \text{wave crest}$$

$$u_x = \frac{\pi H \operatorname{ch}k(z+d)}{T \operatorname{sh}kd} \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H \operatorname{ch}k(z+d)}{T^2 \operatorname{sh}kd} \sin(kx - \omega t)$$

柱底水平波浪力

$$F_H = C_D \frac{\gamma D H^2}{2} K_1' \cos 0 |\cos 0| + C_M \frac{\gamma \pi D^3 H}{8} K_2' \sin 0$$

最大總水平拖曳力 F_{Hmax} 最大總水平慣性力 F_{HImax}

柱底波浪力矩

$$M_H = C_D \frac{\gamma D H^2 L}{2\pi} K_1' \cos 0 |\cos 0| + C_M \frac{\gamma D^2 H L}{16} K_2' \sin 0$$

最大總水平拖曳力矩 M_{Hmax} 最大總水平慣性力矩 M_{HImax}

18

波浪載重

D < 0.2L

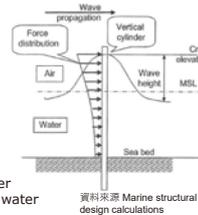
Morison equation

$$F = F_D + F_I, \quad D < 0.2L$$

拖曳力 $F_D = C_D (\rho A) V^2/2$

慣性力 $F_I = C_M (\rho D^2/4) a$

- C_D drag coefficient
- C_M inertia coefficient
- D diameter of the cylinder
- ρ density of water
- V horizontal wave-induced velocity of water
- a horizontal wave-induced acceleration of water
- L wave length



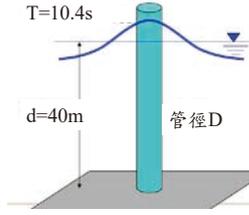
資料來源 Marine structural design calculations

D > 0.2L

Sink-source Method or Finite element method

15

波浪力與波高、桿件尺寸



condition	管徑1m	
波高 H	1m	2m
$F_{max}(t)$	0.7	1.5
$M_{max}(t-m)$	17.4	34.9
condition	波高1m	
管徑 D	1m	6m
$F_{max}(t)$	0.7	26.8
$M_{max}(t-m)$	17.4	627.8

19

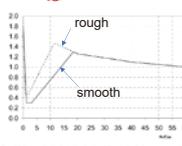
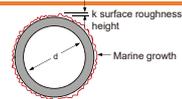
C_D & C_M

- Renolds number, $Re = u_{max} D / \nu$
- Keulegan-Carpenter number, $KC = u_{max} T / D$
- Relative roughness k
- ULS & FLS

$$C_D = C_{DS} * \psi(C_{DS}, KC)$$

$$C_{DS} = \begin{cases} 0.65 & \text{for } k/D < 10^{-4} \text{ (smooth)} \\ 29 + 4 \log_{10}(k/D) & \text{for } 10^{-4} < k/D < 10^{-2} \\ 1.05 & \text{for } k/D > 10^{-2} \text{ (rough)} \end{cases}$$

D : a cylindrical structural member of diameter D
 u_{max} : max. horizontal particle velocity at still water level
 ν : kinematic viscosity of seawater
 T : period of the waves



資料來源 DNV-ST-0437

SURFACE	ULS	
Smooth	C_D	C_M
Rough	0.65	1.60
	1.05	1.20

$$C_M = 2, \quad KC < 3$$

$$C_M = \max\{2.0 - 0.044(KC - 3), 1.6 - (C_{DS} - 0.65)\} \quad KC > 3$$

16

海流載重

- 水面下海流：潮汐、暴潮及大氣壓力變化等造成
- 風驅流：風造成之海流

$$U_{ss}(z) = U_{ss}(0) [(z+d)/d]^{1/7}$$

$$U_W(z) = U_W(0) (1 + z/20)$$

$$U_W(0) = 0.01 V_{1-hour}(z=10m)$$

Current speed $U(z) = U_{ss}(z) + U_W(z)$

Current pressure $q_D(z) = \frac{\rho_w}{2} U_D^2(z)$

Current force $F_D(z) = C_D q_D(z) D(z)$

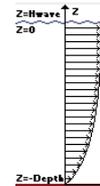
$U_{ss}(0)$: 水面流速

$V_{1-hour}(z=10m)$: 靜水位以上10m高度之1小時平均風速

d= 水深 ρ_w = density of water

C_D = drag coefficient

$D(z)$ = projected width of the structure perpendicular to $U_D(z)$



20

風、波、流玫瑰圖

風速-風向玫瑰圖 波高-波向玫瑰圖 流速-流向玫瑰圖

21

腐蝕速率

■ 飛濺區, PS

Table 4-1 Minimum values for design corrosion rate (V_{corr}) on primary structural parts in splash zone

Region	V_{corr} External Surface	V_{corr} Internal Surface
Temperate climate (annual mean surface temperature of seawater $\leq 12^{\circ}\text{C}$)	0.30 mm/yr	0.10 mm/yr
Subtropical and tropical climate	0.40 mm/yr	0.20 mm/yr

資料來源: DNV-RP-0416

■ 浸沒區, PS

- PS internal surface with air or water at least 0.1 mm/yr

Ex: 浸沒區 & 內側表面

$$CA = V_{corr} \cdot (T_D - T_C) = 0.2 \times (20-0) = 4\text{mm}$$

Source: 文建研理股份有限公司

25

海洋附生物

■ 海生物附著厚度

- 構件水下深度位置
- 鹽度、氧氣含量、pH值、溫度、海流
- 維護策略

Norwegian and UK waters / DNV-ST-0437

Depth below MSL (m)	Marine growth thickness (mm)	
	Central and Northern North Sea (56° to 59° N)	Norwegian Sea (59° to 72° N)
-2 to +0	100	60
+10	50	30

■ 增加管徑
■ 增加水下基礎質量
■ 增加構件粗糙度

➢ 引致水動力載重增加
➢ 慣性力增加
➢ 拖曳力增加

22

其他載重

- 維修載重
- 運輸與施工載重
- 安裝與拆除引致之載重
- 運維船舶撞擊

✓ 正常船舶撞擊須考量下列情況，其載重組合應依DLC 8.5之規定。次要結構之船舶撞擊力可參考IEC 61400-3-1第7.4.9.2.2節。

- (1) 船舶速率不應小於0.5m/s。
- (2) 允許運維船舶靠近風力機作業之最嚴重海況。

✓ 異常船舶撞擊須考量下列情況，其載重組合應依DLC 8.6之規定。

- (1) 船舶速率應按實評估，惟不得小於2.0 m/s。
- (2) 結構物所吸收之能量，應視撞擊部位之結構物與船舶相對強度與勁度而定。

26

海床變動及淘刷

■ 海床變動

✓ 沙波、沙脊或沙洲

■ 基礎淘刷

✓ 全面淘刷
✓ 局部淘刷
✓ 評估方法

- 參考鄰近場址或海底特徵類似場址之歷史資料、監測資料或案例分析成果
- 特定場址之水工模型試驗或數值模型
- 依不同條件之試驗成果，經校正計算或採經驗公式

https://www.researchgate.net/

23

4. 場址環境條件調查

- 調查作業應涵蓋基本設計及細部設計等階段之需求
- 風環境條件、海洋環境條件、水深地形、大地工程、其他環境等調查

 - ✓ 風環境條件調查：風速、風向、氣壓、氣溫、空氣溫度及淨輻射量
 - ✓ 海洋環境條件調查：波浪、海流、水位、漂沙及潮汐
 - ✓ 水深地形及大地工程調查：水深地形調查、地球物理探測與大地工程調查
 - ✓ 其他環境調查：腐蝕環境、雷擊、海洋附生物調查

- 腐蝕環境及海生物附著調查，如場址無法實際取樣調查時，得參考相關學理、文獻或國際標準，合理推估設計所需之參數
- 若前期階段之調查成果顯示，場址有包含海底斷層構造、海底蘊含天然氣或天然氣孔等特殊環境條件，應檢討調查內容是否符合工程需求，必要時得調整或增加調查項目
- 開發商可針對特定場址之環境特性與設計需求調整

27

腐蝕防護

External Internal

腐蝕環境分類

- ISO 9223
- ISO 12944-2

Coating Coating + CA CP No corrosion protection

Scour exposure Bacteria corrosion

24

海洋環境條件調查

觀測項目	設計參數	觀測重點
水位	最高天文潮 HAT	應於調查區域內或附近設置水位觀測站，觀測一年以上之水位觀測資料。
	平均海水位 MSL	如鄰近地區已有其他單位（如中央氣象局、內政部、水利署、港務公司等）設置之水位觀測站，應經高程連測比對無誤後採用之。
	最低天文潮 LAT	
	正常水位範圍 NWLR	
波浪	波高	原則應在西南季風與東北季風盛行期間進行，建議現地觀測及附近波浪測站資料宜有1年以上且應與風同步觀測。
	週期	
	波向	
海流	平均流速	建議現地定點流場觀測及附近流場測站資料宜有1年以上，並視需要選擇1至數個具代表性的觀測點
	流向	
	流速剖面	

28

水深地形調查

- 測量基準及參考系統
 1. 臺灣本島地區測量之大地基準為1997坐標系統 (TWD97TM2)，高程基準為2001高程系統 (TWVD2001)
 2. 馬祖、金門及澎湖地區測量之大地基準及高程基準以內政部公告最新離島平面 (TWD97TM2) 及高程測量成果為依據
 3. 數值成果檔之大地基準為WGS84，高程基準為2001高程系統 (TWVD2001)，深度以當地約最低低潮位面為基準
- 水深地形調查項目、內容與等級應符合內政部之「水深測量作業規範」
- 場址海床地形如具動態變化潛勢 (如沙波或侵淤等漂沙特性者)，應另編訂調查計畫，包含颱風季前、中、後之精密水深地形測量、漂沙調查或數值模擬等

29

其他環境條件調查

- 腐蝕環境調查

海水溫度、海水中溶氧量、導電度 (電阻率)、鹽度、酸鹼度、氯鹽、硫酸鹽、海流、潮汐、海洋附生物及淺層土壤細菌等影響結構腐蝕之因素
- 雷擊調查

年平均閃電密度及雷擊閃電次數
- 海洋附生物調查

海洋附生物附着密度、附着厚度及其分布與水下溫度和深度之關聯性

31

地球物理探勘

■ 建立離岸風力發電廠特定場址地質構造、分層及其水平分布情

調查項目	探測方法	調查目的/規範要求
深部地層調查	多頻透射震測 (MCS)	探查風場海床深部地層結構，用於判斷斷層、流體煙囪、不整合面或其他地質構造
淺部地層高解析調查	高解析淺層震測 (如電火花 (Sparker))	探查離岸風場之海床淺部地層結構，用於地質構造分析及地質安全評估
海床地貌調查	底質剖面 (SBP)	1. 探查海龍路由之海床沉積層地層特徵分析 2. 在泥質沉積層須能解析海床下深度20m內沉積層
	側掃聲納探測 (SSS)	1. 探查海床地貌特徵、表層沉積物特性、海底管線鋪設及海底崩移調查 2. 須能達到解析度至少IHO 1a等級以上
海床底質調查	磁力探測 (MAG)	1. 探查海床上管線、可能沉船或未爆彈分布 2. 須能達到解析度約50cm內
	單/多音束探測 (SBES/MBES) 海床影像探測 (ROV) 表層底泥採樣或岩心採樣 (Core Sampling)	1. 利用聲納反射資料，進行地質特性分類、海床線形、沙波地形特徵分析。 2. 須能達到解析度至少IHO 1a等級以上 即時動態影像觀測，了解海床表層特徵，確認側掃聲納所觀測到的海床地貌特徵 採集沉積物岩心，了解沉積物特性

30

5. 特定場址環境條件資料提送

- 提送機關：目的事業主管
- 提送時機：申請施工許可
- 提送內容：
 - ✓ 風環境與海洋環境條件調查資料
 - 風況、波浪、海水水位、海流、漂沙及潮汐
 - 風速、風向、氣壓、波高、週期、波向、流速、流向...
 - 測量座標點位置、量測時間及水深條件
 - ✓ 水深地形及大地工程調查與試驗資料
 - 水深、地形、地質及大地工程等調查與試驗成果
 - 大地工程調查：探查基本資料、過程記錄、鑽孔柱狀圖、地球物理探勘、現場探測與試驗及相關試驗成果
 - ✓ 其他環境條件調查資料提送
 - 腐蝕環境、雷擊及海洋附生物

簡報結束



風場評估概述與設計風況說明

羅元隆

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

風場評估概述與設計風況說明

主講人：羅元隆 副教授

國立臺北科技大學 土木工程系 副教授

yilo@mail.ntut.edu.tw



風場評估概述

2.2.2 風環境調查

以特定場址之現地觀測成果為主，並符合第2.2.1節之要求。現地觀測成果須能反映特定場址的風環境設計參數，其歷史紀錄資料調查成果須與特定場址風環境條件具合理的相關性。

3



- 01 風場評估概述
- 02 設計風況說明

2

風場評估概述-調查方式

現地觀測



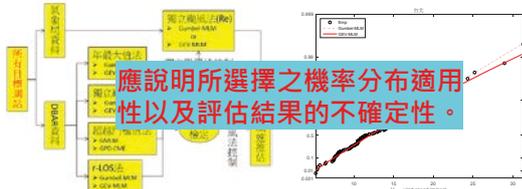
風速計 (Anemometer)	x2 @ 100m
風向計 (Wind vane)	x1 @ 97m
溫度及濕度計 (Temperature & Humidity sensor)	x1 @ 95m
大氣壓力計 (Pressure sensor)	x1 @ 93m
風速計 (Anemometer)	x2 @ 69m
風速計 (Anemometer)	x2 @ 38m
風向計 (Wind vane)	x1 @ 35m
資料記錄器 (Data Logger)	x1 @ 6m

至少涵蓋四個高程位置

4

設計風況說明-颱風(觀察充足)

可藉由現場實際觀測之風況資料，以甘保分布(Gumbel Distribution)等機率分布進行極值分析，決定50年回歸期的設計風速，亦可藉由現場實際觀測之風況資料決定紊流強度。



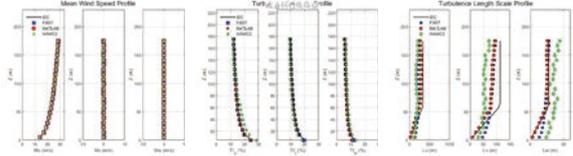
13

設計風況說明-IEC風況定義

極端紊流模型 (ETM)

極端紊流模型應採用NWP定義之正常風剖面模型及具有由下式所求得之縱向分量標準差之紊流：

$$\sigma_1 = c I_{ref} \left(0.072 \left(\frac{V_{ave}}{c} + 3 \right) \left(\frac{V_{hub}}{c} - 4 \right) + 10 \right); c = 2 \text{ m/s}$$



17

設計風況說明-IEC風況定義

NWP 正常風剖面模型
NTM 正常擾流模型

<風速的非正常變化>
EOG 極端運轉陣風
EWS 極端風切

正常風況探討

非常常性極端風況探討

定常性極端風況探討

<風向的非正常變化>
EDC 極端風向變化

<風速與風向的非正常變化>
ECD 風向變化之極端相干陣風

EWM 極端風速模型
ETM 極端擾流模型

14

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM · 包含颱風模式)

正常紊流模型中，紊流標準差之代表值極端風速模型可分為穩定極端風速模型與紊流極端風速模型，根據基準風速 V_{ref} 及固定紊流標準差建立。

對穩定極端風速模型而言，應使用下列公式以高度 z 為函數計算50年回歸期之極端風速 V_{e50} 及1年回歸期之極端風速 V_{e1} ：

$$V_{e50}(z) = 1.4V_{ref} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{0.11}$$

$$V_{e1}(z) = 0.8V_{e50}(z)$$

在穩定極端風速模型中，應假設一穩定之 $\pm 15^\circ$ 轉向錯位以便進行與平均風向之短期偏移。

18

設計風況說明-IEC風況定義

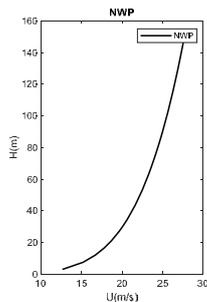
正常風剖面模型 (NWP)

風剖面 $V(z)$ 表示海平面上高度 z 函數的平均風速。

在標準離岸風力機等級中，正常風剖面模型應由下列冪次律求得：

$$V(z) = V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{\alpha}$$

冪次律指數應假設為0.2。假設之風剖面係用於定義葉輪掃掠面積之平均垂直風切。



15

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM · 包含颱風模式)

對紊流極端風速模型而言，50年與1年回歸期及高度 z 函數之10分鐘平均風速應分別由下列二項公式求得：

$$V_{50}(z) = V_{ref} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{0.11}$$

$$V_1(z) = 0.8V_{50}(z)$$

縱向紊流標準差應為：

$$\sigma_1 = 0.11V_{hub}$$

紊流極端風速模型之縱向紊流標準差與正常 (NTM) 或極端紊流模型 (ETM) 無關。

※穩定極端風速模型與紊流極端風速模型之間的關係約為3.5倍之尖峰因子。

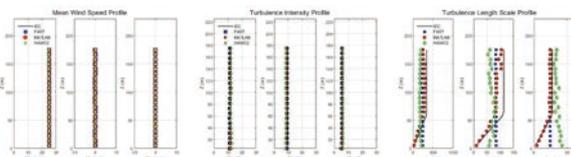
19

設計風況說明-IEC風況定義

正常紊流模型 (NTM)

正常紊流模型中，紊流標準差之代表值 σ_1 應由已知輪較高度風速之90%分位數(Quantile)求得。標準離岸風力機等級之此數值應由下列公式決定：

$$\sigma_1 = I_{ref} (0.75V_{hub} + b) \quad b = 5.6 \text{ m/s}$$

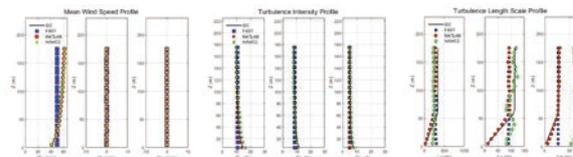


16

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM · 包含颱風模式)

紊流極端風速模型



20

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

變異係數修正

我國屬於颱風好發地區，應參照IEC 61400-3-1 建議，針對50年回歸期設計風速考量變異係數的影響修正。

表3.3.4-1中DLC 6.1及6.2中的載重部分安全係數是基於年最大風速的變異係數小於15%的假設。

如果變異係數大於15%，則設計載重應乘以線性增加係數 η 。當變異係數等於15%時，線性增加係數 $\eta = 1$ ；當變異係數等於30%時，線性增加係數 $\eta = 1.15$ 。*一般來說不至於到30%。

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證

DLC 10.1為IEC 61400-3-1參考美國石油協會 (API) Recommended Practice 2A, 22nd Edition的建議，針對颱風條件的地理區域使用穩健性水平標準來驗證下部結構和基礎的整體結構完整性。

考慮強風暴中無人或疏散且具有中等故障後果 (暴露類別L-2) 的結構而言，50年回歸期條件定義為設計水平標準，50年回歸期條件則定義為穩健性水平標準。EWM風況的 V_{hub} 可修正為：

$$V_{hub} = V_{10min,500yr}$$

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

變異係數修正

若以調整設計風速的方式進行修改，則可採用下列公式修正設計風速 V_{50} 。

$$\tilde{V}_{50} = \sqrt{\eta} V_{50}$$

變異係數計算方式可以基於甘保分布假設，採用50年回歸期設計風速及100年回歸期設計風速求得，如下式所列：

$$COV = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{\beta}{\alpha + 0.5772} \quad \alpha = \frac{V_{100} - V_{50}}{P_{100} - P_{50}} \quad \beta = V_{50} - \alpha P_{50}$$

$$P_{100} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{100} \right) \right] \quad P_{50} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{50} \right) \right]$$

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證

對於DLC 10.2來說，極端環境條件中 N 年回歸期的 N 值選定主要為，考量風力機在此極端環境條件下，同時失去轉向電力與控制的機率為1/500，或相當於500年回歸期的涵義。EWM 風況的 V_{hub} 可修正為：

$$V_{hub} = V_{10min,Nyr}$$

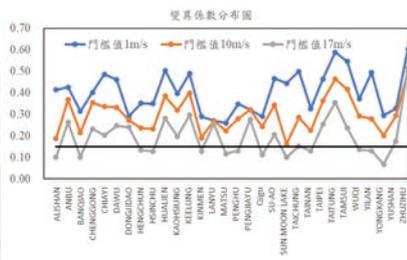
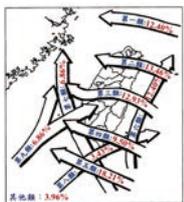
此 N 值的選定應由設計者決定及調整。

設計者預期在極端環境條件時會發生電網電力損失 (Loss of Network Power) 或者設計者並未針對場址於極端環境條件進行電網電力可靠度評估時，若未具備IEC 61400-3-1第7.4.7節中所規定的備用電力條件，設計者可考量採用500年回歸期的環境條件進行保守原則的設計。

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

變異係數修正



福建平潭測站在門檻值17m/s下，變異係數為0.1561。

設計風況說明-IEC風況定義

極端運轉陣風 (EOG)

EOG風速應以下式定義：

$$V(z, t) = \begin{cases} V(z) - 0.37V_{gust} \sin(3\pi t/T)(1 - \cos 2\pi t/T) & 0 \leq t \leq T \\ V(z) & \text{非風況作用時間} \end{cases}$$

其中 $V(z)$ 係由NWP定義， $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間， $T = 10.5$ 秒為作用時間長度。

設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證

我國屬於颱風好發地區，得參考IEC 61400-3-1附錄 I 中所建議的二種針對支撐結構的設計載重情境，如表3.3.4-3中的 DLC 10.1 及 10.2，進行下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證。

設計風況說明-IEC風況定義

極端運轉陣風 (EOG)

標準離岸風力機等級之輪穀高度預期50年回歸期的最大風速值 V_{gust} 應以下式求得：

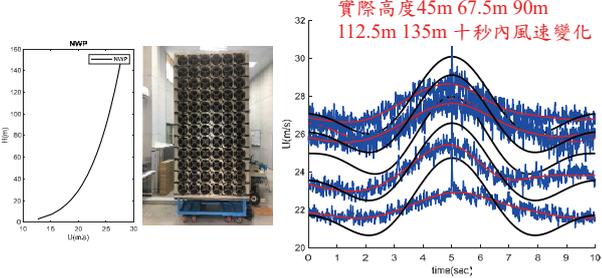
$$V_{gust} = \text{Min} \left\{ 1.35(V_{e1} - V_{hub}); 3.3 \left(\frac{\sigma_1}{1 + 0.1 \left(\frac{D}{\lambda_1} \right)} \right) \right\}$$

式中 σ_1 由 $\sigma_1 = I_{ref}(0.75V_{hub} + b)$ ； $b = 5.6m/s$ 求得； D 為葉輪直徑； λ_1 為輪穀高度 z 之縱向紊流尺度參數，應由下式決定：

$$\lambda_1 = \begin{cases} 0.7z, & z \leq 60m \\ 42m, & z \geq 60m \end{cases}$$

設計風況說明-IEC風況定義

極端運轉陣風 (EOG)



29

設計風況說明-IEC風況定義

極端風切 (EWS)

瞬間水平風切：

$$V(y, z, t) = \begin{cases} \textcircled{1} \text{ 為 } 0 \leq t \leq T, \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left(\frac{y}{D} \right) \left(2.5[m/s] + 0.2\beta\sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) \\ \textcircled{2} \text{ 為非風況作用時間,} \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \end{cases}$$

上式中， $\alpha = 0.2$ ； $\beta = 6.4$ ； $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間； $T = 12$ 秒，為作用時間長度； σ_1 由NTM求得； Λ_1 為EOG之紊流尺度參數； D 為葉輪直徑。

33

設計風況說明-IEC風況定義

極端風切 (EWS)

瞬間（正向與負向）垂直風切：

$$V(z, t) = \begin{cases} \textcircled{1} \text{ 為 } 0 \leq t \leq T, \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left(\frac{z - z_{hub}}{D} \right) \left(2.5[m/s] + 0.2\beta\sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) \\ \textcircled{2} \text{ 為非風況作用時間,} \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \end{cases}$$

上式中， $\alpha = 0.2$ ； $\beta = 6.4$ ； $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間； $T = 12$ 秒，為作用時間長度； σ_1 由NTM求得； Λ_1 為EOG之紊流尺度參數； D 為葉輪直徑。

30

設計風況說明-IEC風況定義

極端風切 (EWS)

極端風切可以分為瞬間垂直風切以及瞬間水平風切二種。

瞬間垂直風切含有二種可能（正向、負向）都要考量；瞬間水平風切則是由正、負號產生的結果中取較為不利者。因此極端風切 (EWS) 風況的考量可拆分為三種：

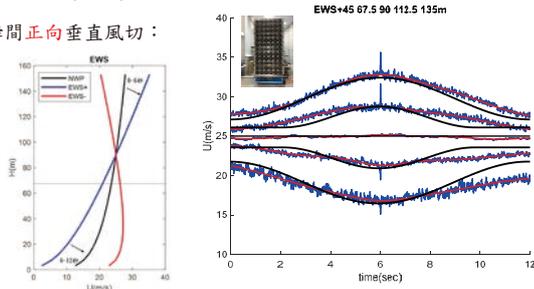
- (1) 正向瞬間垂直風切；
- (2) 負向瞬間垂直風切；
- (3) 正號或者負號（導致較不利者）的瞬間水平風切。

34

設計風況說明-IEC風況定義

極端風切 (EWS)

瞬間正向垂直風切：



31

設計風況說明-IEC風況定義

極端風向變化 (EDC)

極端風向瞬間變化 θ_t 應以下式計算：

$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & t < 0 \\ \pm 0.5\theta_e (1 - \cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ \theta_e & t > T \end{cases}$$

式中， $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間， $T = 6$ 秒為極端風向變化之持續時間。

正負號應適當選擇，使其產生最不利之瞬間載重。

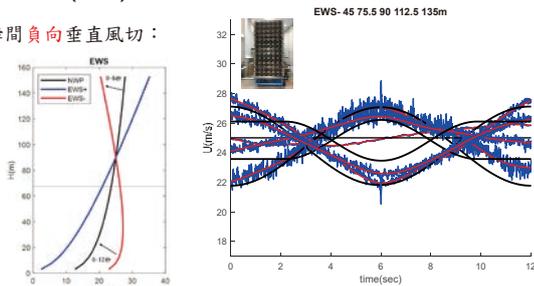
在極端風向瞬間變化結束時，風向假設不變。風速應回復至正常風剖面模型NWP。

35

設計風況說明-IEC風況定義

極端風切 (EWS)

瞬間負向垂直風切：



32

設計風況說明-IEC風況定義

極端風向變化 (EDC)

極端風向變化強度應以下式計算：

$$\theta_e = \pm 4 \arctan \left(\frac{\sigma_1}{V_{hub} \left(1 + 0.1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right) \right)} \right)$$

式中 σ_1 由NTM求得； θ_e 限制於 $\pm 180^\circ$ 之區間內； Λ_1 為EOG之紊流尺度參數； D 為葉輪直徑。

36

設計風況說明-IEC風況定義

風向變化之極端相干陣風 (ECD)

風速應由下式定義：

$$V(z,t) = \begin{cases} V(z) & t \leq 0 \\ V(z) + 0.5V_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ V(z) + V_{cg} & t \geq T \end{cases}$$

風向變化特性如下式：

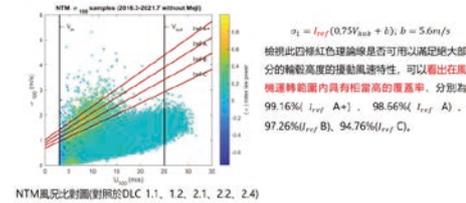
$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & t < 0 \\ \pm 0.5\theta_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ \pm\theta_{cg} & t > T \end{cases}$$

式中， $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間， $T = 10$ 秒為風速上升時間，而風速 $V(z)$ 係由NWP求得。 V_{cg} 為風向變化時之極端相干陣風變化量。

設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

NTM (Normal Turbulence Model): 正常擾流模型



NTM風況比對圖(對應於DLC 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.4)

設計風況說明-IEC風況定義

風向變化之極端相干陣風 (ECD)

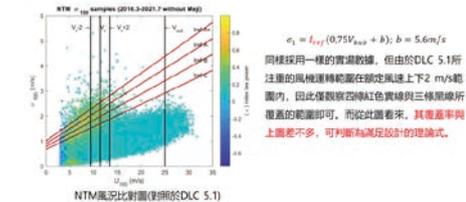
風速上升應考量與風向變化 (θ 由 0° 至 θ_{cg}) 同時發生， θ_{cg} 係由下式所定義：

$$\theta_{cg}(V_{hub}) = \begin{cases} 180^\circ & V_{hub} < 4m/s \\ 720^\circ(m/s) & 4m/s < V_{hub} < V_{ref} \\ V_{hub} & \end{cases}$$

設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

NTM (Normal Turbulence Model): 正常擾流模型



NTM風況比對圖(對應於DLC 5.1)

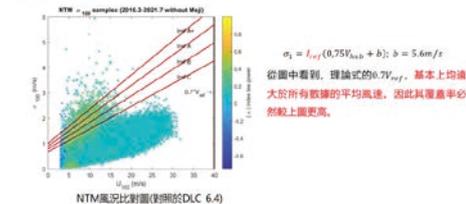
設計風況說明-參考文獻

可參考DTU所出版的報告書，有詳盡的風況說明。

設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

NTM (Normal Turbulence Model): 正常擾流模型

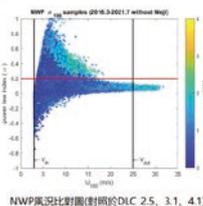


NTM風況比對圖(對應於DLC 6.4)

設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

Normal wind profile model (NWP)

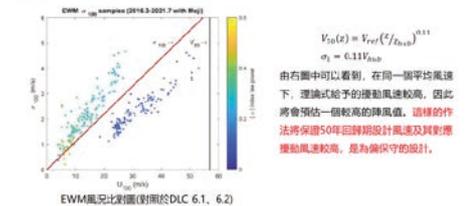


NWP風況比對圖(對應於DLC 2.5, 3.1, 4.1)

設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

EWM (Extreme Wind Speed Model): 極端風速模型

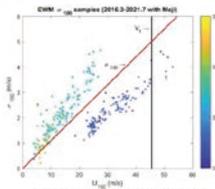


EWM風況比對圖(對應於DLC 6.1, 6.2)

設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

EWM (Extreme Wind Speed Model): 極端風速模型



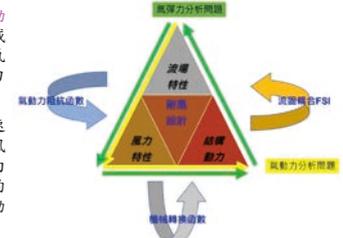
$$V_{50}(z) = V_{ref}(z/z_{ref})^{0.22}$$
$$V_r(z) = 0.89V_{50}(z)$$
$$c_s = 0.11V_{50,ref}$$

調降了理論式適用範圍而且絕大多數的實地資料均小於理論值，但仍可見屬於極端風速中較高風速的數值十分離平均值而遠大於理論值範圍。研究團隊目前無法判斷這樣的結果是否可稱為非保守，主要原因在於五年來僅有此一颱風數據做為分析。

EWM風況比對圖(對照於DLC 6.3, 7.1)

設計風況說明-風載重

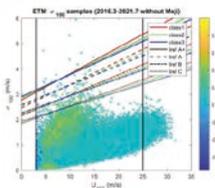
- 氣動力載重分為擬靜態載重與動態載重等二種形式，依照相關載重組合之規定考量之，主要由氣流與靜止狀態及旋轉狀態的風力機組件之間的交互作用而成。
- 氣動力載重取決於葉輪旋轉速度、橫跨葉輪截面上的平均風速、三維紊流強度、風切、風向變化、空氣密度和風力機組件的形狀與其間之交互效應(包含氣動彈性效應)。



設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

ETM (Extreme Turbulence Model): 極端擾流模型



$$\sigma_t = c_{I,ref} \left(0.072 \left(\frac{V_{ref}}{c} + 3 \right) \left(\frac{V_{ref}}{c} - 4 \right) + 10 \right)$$

由於DLC 1.3中所描述的情境是在風機運轉範圍中發生的極端紊流，因此可以看出，ETM風況其實與NTM風況有極高的趨勢相似性，但在擾動風速上的要求更高，可以說幾乎涵蓋了所有實地資料的擾動風速。

ETM風況比對圖(對照於DLC 1.3)

設計風況說明-風載重

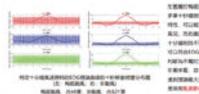
評估風力機風載重時，應考慮下列影響：

- 由風力機本身引起的風場擾動，例如尾流引發的速度、塔架本體影響、塔架上風效應等。
- 三維流場對葉片空氣動力特性的影響，例如三維失速和空氣動力葉片尖端損失。
- 氣流引致的葉片動態失速效應。
- 氣動彈性效應。
- 葉輪葉片的生產或安裝公差可能造成的氣動不對稱性。應檢核該等公差是否符合經驗公差，在未確認該等公差時，可假設葉片角度的偏差為±0.3度(以三葉片風力機而言，第一葉片設為0度；第二葉片設為-0.3度；第三葉片設為+0.3度)。
- 結構構件的氣動載重(升力、阻力、扭矩)。

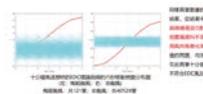
設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

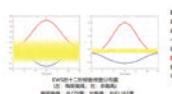
EOG (Extreme Operating Gust): 極端操作風速



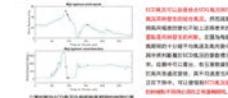
EDC (Extreme Direction Change): 極端風向變化



EWS (Extreme Wind Shear): 極端風切



ECD (Extreme Coherent Gust with Direction Change): 極端相干風速伴隨風向變化



設計風況說明-風載重

- 結構構件的空氣動力係數應按照 EN 1991-1-4 或同等的國際風設計標準計算之。
- 對於標準中未明列空氣動力係數可供參考者，得以風洞試驗或其他合適方式進行空氣動力係數之測定作為評估氣動載重之手段。

設計風況說明-風載重

- 進行歷時反應分析時，可用上述正常條件及極端條件下之設計參數，產生不同風況之風速歷時資料。
- 根據風力機運轉狀態，適當選擇不同風況以進行第3.3.4節載重組合分析。
- 評估各風況之風載重時，應說明離岸風力機之氣動力(風力或風壓)係數及氣動力載重之計算依據，且應檢核不同風況下均不得有氣動力不穩定現象。

設計風況說明-風載重

- 風力機設置若受上游風力機尾流影響時，有可能增加在該風機上的載重。故應提出位於迎風處單一或複數風力機尾流對風載重所造成的影響評估。
- 一般而言，評估對載重造成的影響，也會在疲勞計算時考量到增加的紊流強度。
- 相關評估方法，可參考 CNS 15176-1 風力機-第一部：設計要求，2018年版附錄 D 的 Frandsen 模式、或 IEC 61400-1,2019附錄E.2的Dynamic wake meandering model模式。



北科大 羅元隆博士

負責項目
 章節: 2.2.2、4.2
 內容: 風環境條件調查風載重

開發商

- 同“設計者”
- 減低風場開發受到本土特有的強風衝擊效應
- 減低第三方驗證及驗證審查之不確定性

政府(驗證審查)

- 對於已頒布之“離岸風力發電場專案驗證審查示範轉譯作業要點”中第一章第三項離岸風力發電場之開發、設計及施作加以補充說明

風機製造商

- 同“設計者”
- 減低風場開發受到本土特有的強風衝擊效應
- 減低第三方驗證及驗證審查之不確定性

設計者

- 依2.2.2節之規定進行本土特有氣象之風環境條件調查工作。
- 依4.2節之規定進行風況設定以執行各式設計載重案例分析。

第三方驗證單位

- 本草案對台灣地區之特殊要求明確化，有助於台灣地區風場認證
- 本草案對於台灣地區之風況設定要求有明確要求，有助於加強因應本土之強風衝擊。

經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH 國立臺北科技大學

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束

特定場址之大地工程調查 倪勝火

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
 Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

特定場址之大地工程調查

主講人：倪勝火 教授
 國立成功大學 土木工程系 教授

1.1 場址調查目的及所需資料

- 目的: 提供有關可能影響固定和移動海上平台、海底纜纜、港口設施和離岸結構的設計、安置、建造和安全運作的海床和海床下土壤狀況的資料。
- 海床地層需提供之基本資料：
 - 來自地震反射調查的土壤地層
 - 土壤類型: 土壤物理性質和分類等
 - 土壤特性: 密度、靜/動態性質、強度、變形特徵

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 大地工程調查與試驗
- 03 調查方法深度與數量
- 04 取樣方法與室內試驗
- 05 調查與試驗資料提送

1.2 離岸場址調查一般流程計劃

1. 前言

- 1.1 場址調查目的及所需資料
- 1.2 離岸場址調查一般流程計劃
- 1.3 規範相關章節
- 1.4 本說明之規範內容

1.3 規範相關章節

第二章 離岸風力發電廠場址環境條件調查

2.1 通則	2.4 其他環境條件調查
2.2 風環境條件與海洋環境條件調查	2.4.1 腐蝕環境調查
2.2.1 一般規定	2.4.2 雷擊調查
2.2.2 風環境條件調查	2.4.3 海洋附生物調查
2.2.3 海洋環境條件調查	2.5 特定場址環境條件資料提送
2.3 水深地形與大地工程調查	2.5.1 一般規定
2.3.1 一般規定	2.5.2 風環境條件與海洋環境條件調查資料提送
2.3.2 水深地形調查	2.5.3 水深地形及大地工程調查與試驗資料提送
2.3.3 地球物理探勘	2.5.4 其他環境條件調查資料提送
2.3.4 大地工程調查與試驗	

1.4 本說明之規範內容

- 2.3 水深地形與大地工程調查
 - 2.3.1 一般規定: 調查目的在於取得並建立離岸風力發電廠全生命週期之水深、地形、地質與大地工程所需之工程技術相關資料, 以涵蓋可能之水深、地形與地層等之變異性及大地工程所需之設計參數。
 - 2.3.2 水深地形調查 (Bathymetric Survey)
 - 2.3.3 地球物理探勘 (Geophysical Prospecting)
 - 2.3.4 大地工程調查與試驗 (Geotechnical Engineering Surveys)

2.5.3 水深地形及大地工程調查與試驗資料提送

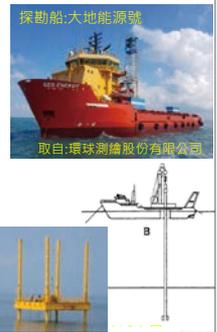


7

4. 取樣方法與室內試驗

4.1 取樣方法

- 應採用靜壓式薄管取樣, 取得足夠數量之原狀土樣, 以提供室內土壤力學試驗使用。
- 土工探查以圓錐貫入試驗 (CPT) 為原則, 惟須於適當深度規劃薄管取樣, 以獲得試驗所需之現地原狀土樣, 提供岩心判讀及相關土壤/岩石試驗之用。
- 水深較淺區域 (約 < 20m), 可考量部分鑽孔採用自升式平台進行鑽探, 每隔 1.5m 處之土層進行標準貫入試驗 (SPT), 以提供土壤參數率定及液化潛勢評估參考。



11

2. 大地工程調查與試驗

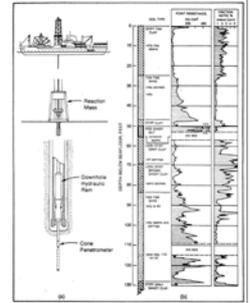
- 要求: 應能提供設計所需之地層分布與土壤性質資料, 並應於製造及施工前完成。
- 大地工程 (簡稱土工) 地質鑽探前應先依離岸風力機及變電站之設計需求, 初步規劃建置地點及基礎型式, 擬定地質鑽探及土壤 (岩石) 試驗計畫, 並依其試驗結果, 評估特定場址地層之物理及力學性質。
- 大地工程調查 (簡稱土工調查) 應取得離岸風力機支撐結構預定位置基礎設計所需深度範圍內之地層參數資料 (包含地層之物理、靜態及動態力學等特性), 以作為基礎設計與分析之依據。



8

4.2 室內試驗(1/3)

- 以探勘船進行海上鑽探時, 可於探勘船上進行簡易土壤試驗, 如: 含水量、單位重、無圍壓縮、迷你十字葉片剪等試驗, 否則, 應儘快送回陸上進行室內試驗。
- 地質鑽探取得之擾動土樣應進行土壤基本物理性質試驗及土壤化學試驗。
- 鑽探所取得之原狀土樣, 除進行土壤物理性質試驗及剪力強度試驗外, 並須進行土壤動態性質試驗如共振柱試驗、反覆單剪試驗及動力三軸試驗, 以獲得土壤之動態剪力模數及阻尼比對應於剪應變之關係曲線, 以及土壤抗液化強度參數。



12

3. 調查方法深度與數量

3.1 調查方法

- 調查項目: 地質條件與構造調查、地質鑽探與取樣、現地試驗與室內試驗等。
- 現地試驗: 圓錐貫入試驗 (CPT) 及靜壓薄管取樣或輔以標準貫入試驗 (SPT), 藉以推估地層土壤參數, 並獲得現地原狀土樣, 決定地層土壤之物理、靜態及動態力學等性質。
- 考量因素: 計畫執行之階段性、風力機之數量/位置/尺寸/基礎型式、地層種類、地層與地形之複雜性。
- 成果: 須足以建立各別風力機基礎地層之工程性質, 資料包含但不限於土壤與岩石之分類及描述資料、執行分析所需要之剪力強度、變形參數、現地應力狀態等, 並涵蓋可能之地層變異性。



9

4.2 室內試驗(2/3)

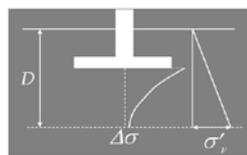
- 單軸壓縮試驗可用來決定岩石強度; 環剪試驗可用來決定低腐植質泥炭土之剪力強度參數。
- 直接剪力與三軸壓縮試驗不適用於纖維泥炭土。
- 規劃土壤現地取樣及動態試驗時, 應以取得薄管原狀土樣為主, 求得反應土壤受到反覆載重外力特性、反覆載重循環次數等因素之試驗參數, 以提供基礎分析模擬或設計之用。



13

3.2 調查數量與深度

- 每個獨立風力機之基礎位置, 至少應配置一孔足夠深度之探查孔, 並應進行相關現地試驗, 取得室內試驗所需之土樣。
- 樁基最小調查深度為樁基貫入深度加上應力影響範圍。
- 樁基設計由側向承載力控制者, 調查深度至少應達樁底以下 1 倍樁徑深度。
- 樁基設計由軸向承載力控制者, 調查深度至少應達樁底以下 3 倍樁徑深度。



(ASCE, 1972)

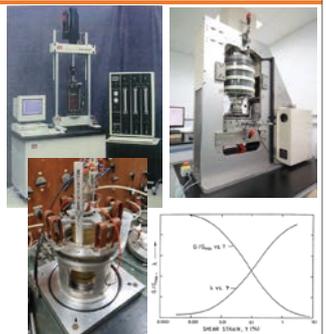
$D_1 \rightarrow$ 應力增加時 $\Delta\sigma = q/10$, 其中 $q =$ 估計的基礎淨應力
 $D_2 \rightarrow \Delta\sigma/\sigma'_v = 0.05$
 $D = \min. (D_1, D_2)$



10

4.3 室內試驗(3/3)

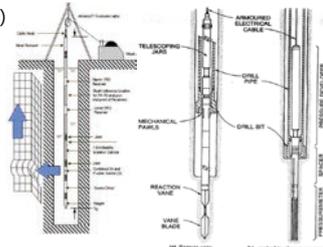
- 為符合特定場址地震力評估之需求, 須獲得土壤動態性質以供地盤反應分析之用。
 - 除卵礫石與岩層外, 各分區地質模型應取得現地原狀或重模代表性土樣進行共振柱試驗、動態三軸試驗或反覆單剪試驗, 以求取土壤動態性質曲線, 包含剪力模數與阻尼比隨剪應變之變化關係曲線;
 - 針對特定場址地盤反應分析用之簡化土壤剖面, 應至少獲得一組具代表性之土壤動態性質曲線。



14

4.4 現地試驗建議

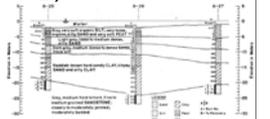
- 土壤貫入試驗: 標準貫入試驗 (SPT)、圓錐貫入試驗 (CPTU)
- 地層動態特性試驗: 下孔式震測試驗、圓錐貫入震測試驗 (SCPT)、懸盪式震測試驗
- 土壤力學試驗: 十字葉片剪力試驗、孔內側向載重試驗 (LLT)
- 其他試驗: 土壤熱阻抗 (熱傳導) 試驗、土壤電阻率試驗等



15

地工地質詮釋報告GIR之試驗資料例

- 場址調查概要
- 基於室內試驗結果之土壤分類
- 基於圓錐貫入儀試驗結果之土壤特性描述
- 現場應力及應力歷史(OCR等)
- 抗剪強度與變形特性動態性質(G & D)
- 反覆載重行為
- 土壤設計剖面
- 2D/3D工程地質模型(Cross sections)



16

4.5 室內試驗建議

- 土壤物性試驗: 單位重、比重、相對密度、含水量、阿太堡限度、篩分析試驗、比重計沉降分析
- 土壤力學試驗: 下孔式震測試驗、圓錐貫入震測試驗、懸盪式震測試驗
- 土壤力學試驗: 十字葉片剪力(口袋式)試驗、三軸不壓密不排水壓縮、(不)等向三軸壓密不排水、等向三軸壓密排水壓縮、無圍壓縮、環剪、直接剪力、壓密不排水直接單剪、單向度壓密試驗、三軸透水等試驗
- 土壤動態力學試驗: 反覆三軸強度、三軸動態性質、反覆單剪、彎曲元件、共振柱等試驗
- 其他試驗: X光繞射檢測



16



成大土木 倪勝火

負責項目
 章節: 2.3.4
 內容: 大地工程調查與試驗

政府(驗證審查)
 ● 對於已頒布之“離岸風力發電場專案驗證審查作業要點”加以補充說明

設計者
 ● 可按照1.7、2.3及2.5節之規定，可對於應備作之地工調查及試驗所提出地工地質詮釋報告(GIR)進行離岸風力機支撐結構相關設計並提出設計報告審查。

開發商

- 同“設計者”
- 降低地工調查及試驗項目之可能遺漏，提高試驗結果之可靠性，使設計者能順利適時完成支撐結構相關之設計。

風機製造商

- 同“設計者”
- 降低風力機支撐結構相關設計使用之地工試驗參數之風險

第三方驗證單位

- 本草案對於地工調查及試驗項目及引用規範更加明確化，提昇試驗所得設計參數之可信度。
- 本草案對於台灣地區之特殊要求明確化，有助於台灣地區風場通過認證



19

5. 大地工程調查與試驗資料提送

- 大地工程調查成果(地工地質詮釋報告GIR)所須提交之內容至少應包含但不限於探查基本資料、過程記錄、鑽孔柱狀圖、地球物理探勘、現場探測與試驗及相關試驗成果等各項資料
 - 基本資料: 包含探查孔位置及探查孔深度等基本資料。
 - 過程記錄: 過程應做成紀錄，包含文字及圖片等紀錄。
 - 探查孔成果: 應包含柱狀圖、CPT資料、SPT資料、波速調查及對應之文字描述。
 - 試驗資料: 應依各探查孔實際進行之試驗項目提送。



17

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束



特定場址之地震危害度與地盤反應分析

柴駿甫

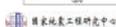
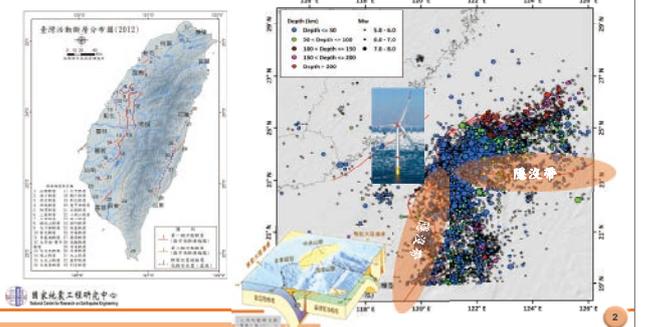
離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
 Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

特定場址之地震危害度與地盤反應分析

主講人: 柴駿甫博士
 國家地震工程研究中心 副主任



台灣地震環境與風場位置



2

國際耐震規範整理

■ 針對離岸風場地震力考量與危害度分析整理相關國際規範

Number	Year	Title
BSH	2008	Design of offshore wind turbines
DNV/Rise	2002	Guidelines for design of wind turbines
DNV-OS-J101	2014	Design of offshore wind turbine structures
DNVGL-ST-0126	2016	Support structures for wind turbines
DNVGL-ST-0437	2016	Loads and site conditions for wind turbines
GL	2012	Guideline for the certification of offshore wind turbines
IEC 61400-1	2005	Wind turbines – Part 1: Design requirements
IEC 61400-3	2009	Wind turbines – Part 3: Design requirements for offshore wind turbines
PSHA API RP-2EQ	2014/2021	Seismic design procedures and criteria for offshore structures
ISO 19901-2	2004/2017	Specific requirements for offshore structures – Part 2: Seismic design procedures and criteria
DNV-RP-0585	2021	Seismic design of wind power plants

目錄

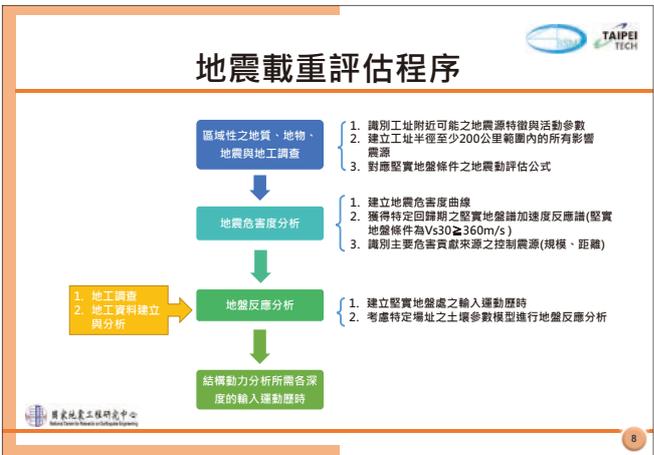
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

目錄

CONTENTS

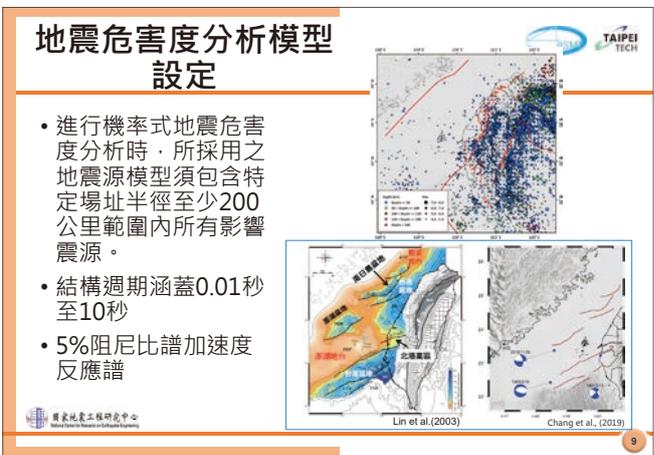
- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定



目錄

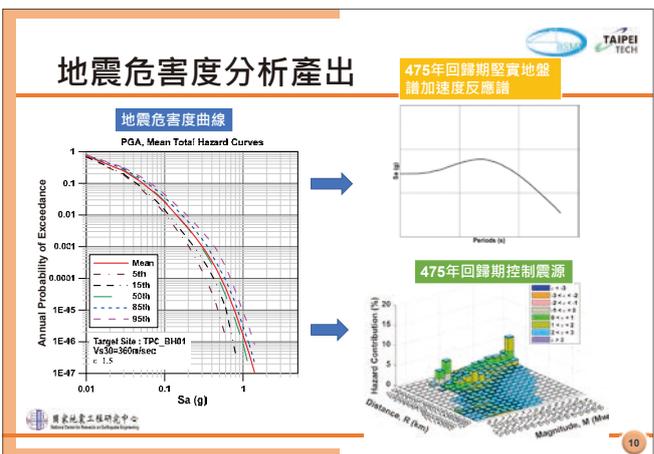
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定



4.8 地震載重

- 應考慮不同限度狀態對應之地震載重，以**機率式地震危害度分析程序**求得**堅實地盤**之譜加速度反應譜，並考量該場址之**土壤特性**求得結構動力分析所需之輸入地震歷時與設計地震反應譜。
- 限度狀態對應地震載重之回歸期
 - 極限度狀態(ULS)：須考慮**475年**回歸期；
 - 使用限度狀態(SLS)：須考慮**95年**回歸期
- 堅實地盤之定義為地層以下30公尺之平均剪力波速值(Vs30)穩定**≥360 m/s**



目錄
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

國家風電工程研究中心
11

堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件

- 地盤反應分析時，在堅實地盤處應至少採用7組(各組包含兩筆水平向與一筆垂直向地震紀錄)輸入運動歷時。
- 建立與堅實地盤譜加速度反應譜相符之輸入運動
 - 與反應譜相符的人造地震歷時(Spectrum Compatible Time History)
 - 其地震反應譜週期範圍內，任一週期點的譜加速度值與目標反應譜值之差異須在±10%以內。
 - 依比例調整之實際地震歷時(Scaled Time History)
 - 由各組兩水平向實際地震紀錄組合旋轉角度求得最大地震反應譜，即為最大方向(Maximum Direction)的地震反應譜，以其與目標反應譜相比求取比例調整因子(Scaling Factor)。
 - 候選7組地震反應譜在週期範圍內之任一週期點的平均值，不得低於目標反應譜值的90%

國家風電工程研究中心
15

地盤反應分析

分析實，需考量地層的靜態及動態工程性質應考量風場地層之變化、剪力模數減衰與阻尼曲線(Shear Modulus Reduction and Damping Curve)的變異性。

輸入基面
 ①-⑦: $(\xi, V_s)_i$
 ⑧-⑩: $(\xi, V_s)_i$
 ⑪-⑬: $(\xi, V_s)_i$
 ⑭-⑯: $(\xi, V_s)_i$
 ⑰-⑱: $(\xi, V_s)_i$
 ⑲-⑳: $(\xi, V_s)_i$
 ㉑-㉒: $(\xi, V_s)_i$
 ㉓-㉔: $(\xi, V_s)_i$
 ㉕-㉖: $(\xi, V_s)_i$
 ㉗-㉘: $(\xi, V_s)_i$
 ㉙-㉚: $(\xi, V_s)_i$
 ㉛-㉜: $(\xi, V_s)_i$
 ㉝-㉞: $(\xi, V_s)_i$
 ㉟-㊱: $(\xi, V_s)_i$
 ㊲-㊳: $(\xi, V_s)_i$
 ㊴-㊵: $(\xi, V_s)_i$
 ㊶-㊷: $(\xi, V_s)_i$
 ㊸-㊹: $(\xi, V_s)_i$
 ㊺-㊻: $(\xi, V_s)_i$
 ㊼-㊽: $(\xi, V_s)_i$
 ㊾-㊿: $(\xi, V_s)_i$

場址地盤分析模型
進行工址地盤反應分析

許尚遠等人(2019)
12

案例

與反應譜相符的人造地震歷時

依比例調整之實際地震歷時

求得最大地震反應譜

$$scalingfactor = \exp\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(Sa_{rock}(t_i)) - \ln(Sa_{record}(t_i))]\right\}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Sa_{rock}(t_i) - (Sa_{record}(t_i)) \times scalingfactor]$$

國家風電工程研究中心
16

未達堅實地盤定義之場址

- 若場址之岩性經調查仍未達360 m/s，則場址**堅實地盤**之譜加速度反應譜應採用可反映該區域場址特性之地震動評估模型進行分析，再接續後續之規定

Shear Velocity (m/s)
 0 120 240 360 480 0 120 240 360 480
 0 10 20 30 40 50 60 70 80
 Depth (m)
 0 10 20 30 40 50 60 70 80
 Vs₃₀=325m/s @D=51m
 from SY Hsu.

國家風電工程研究中心
13

結構動力分析所需之輸入運動歷時

應變相符之土層參數 $(\xi, V_s)_i$

A(t)_i 地層運動

A_{in}(t)

海床面

土壤

隨深度變化輸出結構動力分析所需之輸入運動歷時

國家風電工程研究中心
17

目錄
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

國家風電工程研究中心
14

目錄
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

國家風電工程研究中心
18

結構動力分析之相關規定

- 結構動力分析採歷時分析法
 - 須取7組歷時分析結果之**平均值**進行結構設計
 - 各組三軸向地震歷時應採**100%同時輸入**。
- 考量垂直向地震效應時，不同深度土層之輸入運動歷時可逕行採用堅實地盤者，得不須考慮垂直向場址放大效應。

國家地震工程研究中心
19

國家地震工程研究中心 柴駿甫副主任

負責項目

章節 4.8

內容 地震載重

政府(驗證審查)

- 據以做為審查依據
- 確保開發商採用適宜台灣地震環境之設計

設計者

- 納入台灣離岸地區之地震環境
- 考慮風機耐震設計需求
- 特定回歸期下地震動對風場位置地質與地震環境之影響

開發商

- 符合風場所在地區之國家規範
- 有益於了解驗證審查之流程與相關依據

風機製造商

- 考量台灣地震環境於離岸風力機支撐結構設計
- 提供最佳化風機耐震設計之參考

第三方驗證單位

- 了解台灣地區耐震之設計要求

簡報結束

特定場址之土壤液化評估

黃俊鴻

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

特定場址之土壤液化評估

主講人：黃俊鴻 教授
國立中央大學 土木工程學系 教授
國家地震工程研究中心地球與大地工程組召集人

經濟部標準檢驗局 | NCKU | 經濟部標準檢驗局 | TAIPEI TECH 國立臺灣科技大學

液化對風機基礎之作用

- 降低基礎承載力
- 增大基礎變形量
- 2011/03/11東日本大地震神栖風力發電所液化案例 (Kamisu wind farm)
 - The first Japanese offshore wind farm
 - Liquefaction occurred in onshore wind farm

4

目錄 CONTENTS

- 01 4.9 土壤液化(主文)
- 02 液化對風機基礎之作用
- 03 液化影響評估程序
- 04 液化潛能評估
- 05 基礎承載力與變形檢核

2

神栖風力發電所液化案例(1/13)

● 地理位置

Onshore: Subaru 2.0-80
Offshore: Hitachi 2.0-80
IBRH18
IBRH20

3

4.9 土壤液化(主文)

- 如基礎座落於具土壤液化潛勢地層，其設計應先進行**土壤液化潛勢分析**，評估土壤液化對基礎之影響，確認基礎於**地震液化過程中之最大受力**及**震後永久位移及傾角**等須能符合性能需求。

3

神栖風力發電所液化案例(2/13)

Kamisu onshore wind farm
為台灣地圖僅有OFFSHORE

Onshore wind farm
7x Subaru 2.0-80=14MW
Operation in 2010

6

神栖風力發電所液化案例(3/13)



神栖風力發電所液化案例(7/13)

- 大規模土壤液化 (陳正興教授提供)



神栖風力發電所液化案例(4/13)



神栖風力發電所液化案例(8/13)

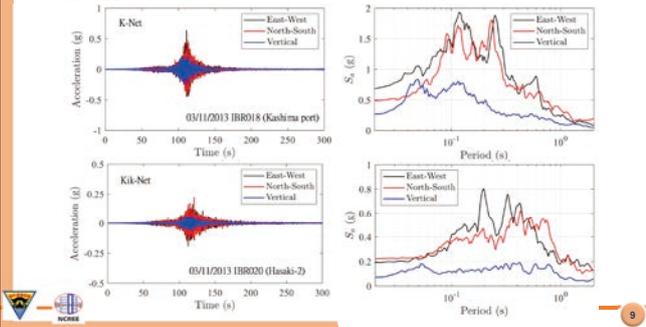
Onshore Wind Farm 5號發電機塔柱

朝東北方向傾斜
約1.6度



神栖風力發電所液化案例(5/13)

- 強地動紀錄



神栖風力發電所液化案例(9/13)

- 3號機塔柱基礎事後調查與分析 (陳正興教授提供)



基礎版傾斜·周遭地盤沉陷

傾斜方向背側之地盤裂隙

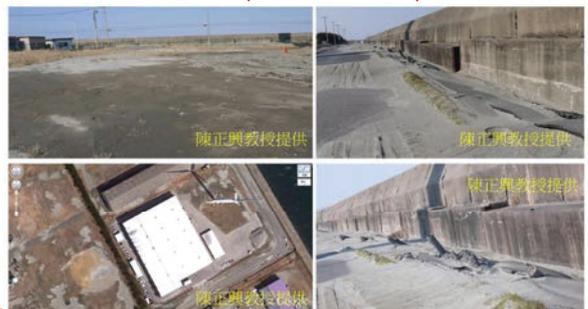
神栖風力發電所液化案例(6/13)

- Onshore Wind Farm at Kashima Shinhama Industrial Park



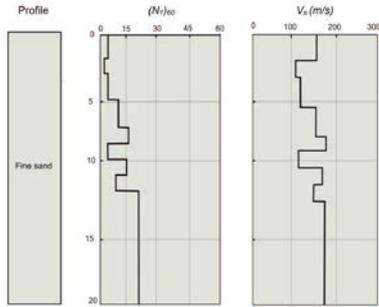
神栖風力發電所液化案例(10/13)

- 主要原因: 土壤液化 (陳正興教授提供)



神栖風力發電所液化案例(11/13)

Ground profile at onshore wind Farm(NIED Geo-station database)



土壤液化潛能評估

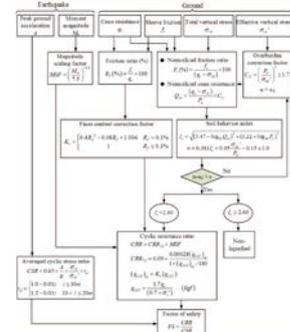
- 淺層20m內採用簡易法 (Simplified Method)
 - SPT-N法 (依國內最新建築物耐震設計規範)
 - CPT法: Robertson法 (Robertson et. al, 2009) 、B&I法 (Boulanger and Idriss, 2016) 、HBF法 (NCREE, 2021) 與K-J法 (Ku and Juang, 2012) 等
- 深於20m採用地盤受震反應分析(Seismic Reponse Analysis, SRA)
 - 總應力分析法+室內土壤液化強度曲線
 - 有效應力分析法 (直接考慮水壓激發、消散)

神栖風力發電所液化案例(12/13)

• Kamisu onshore wind farm

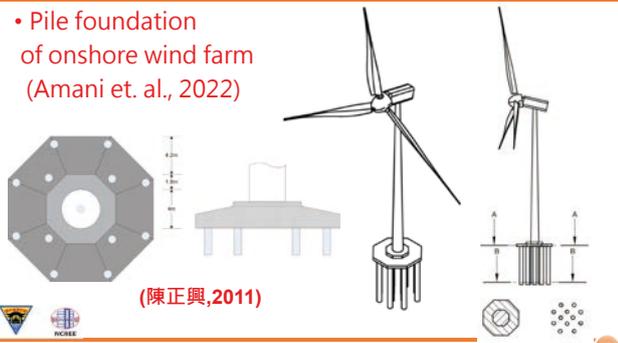
Turbine model	Subaru 2.0-80		
Hub height [m]	60		
Pile length [m]	17		
Equivalent top mass [tons]	108		
Blade length [m]	80		
Blade weight [tons]	6.7		
Tower top & bottom diameter [m]	1.5-4.3	Pile thickness [m]	0.3
Number of piles	12	Diameter of pile cap [m]	13
Tower thickness average [mm]	15	Pile cap stiffness	rigid
Pile diameter [m]	0.8	Plastic Moment Capacity [MNm] of a single pile	29.8

CPT-HBF液化評估簡易法

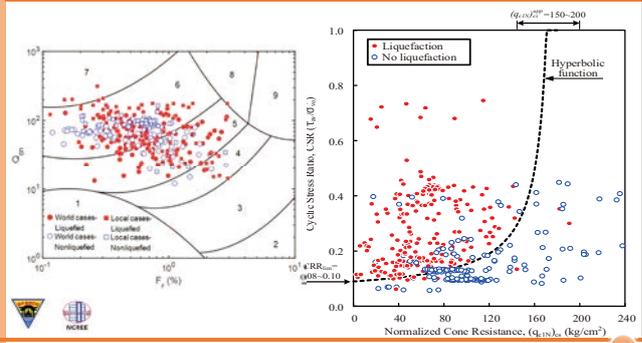


神栖風力發電所液化案例(13/13)

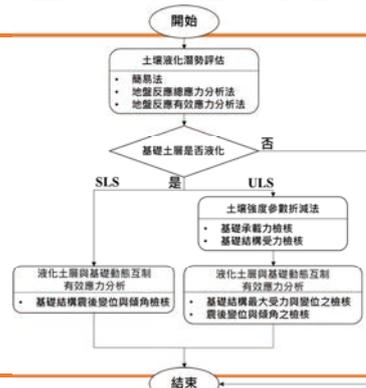
• Pile foundation of onshore wind farm (Amani et. al., 2022)



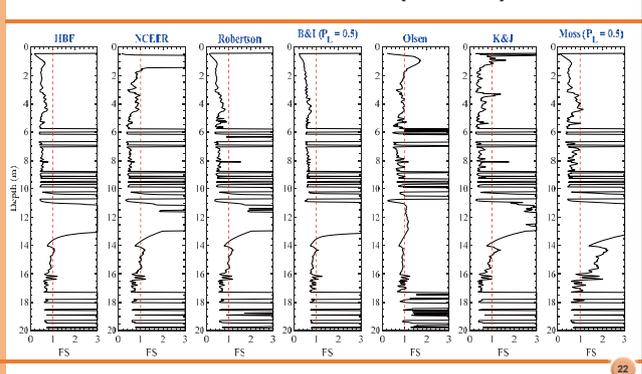
CPT-HBF液化評估簡易法

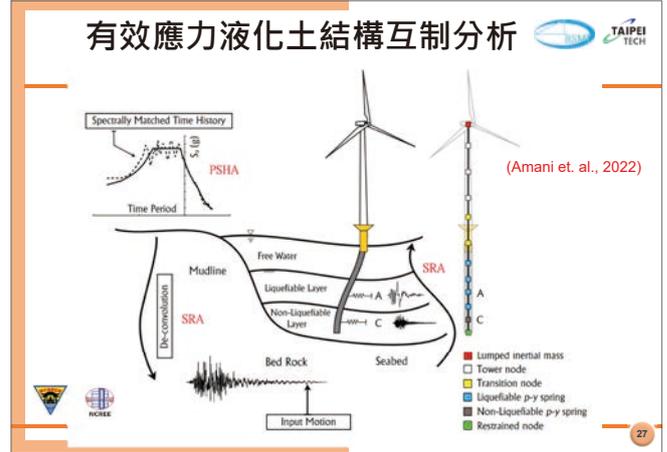
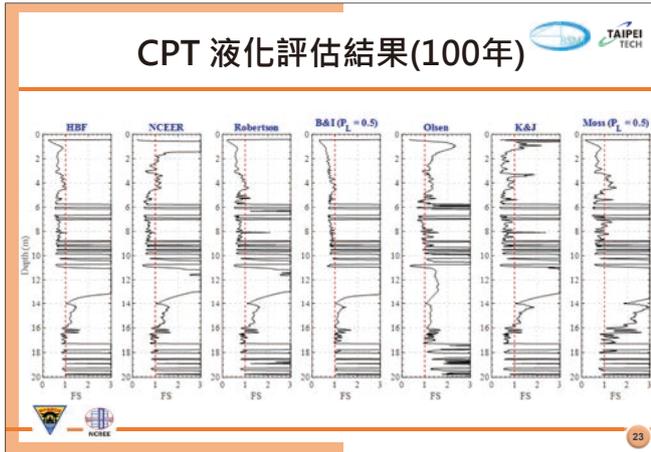


土壤液化影響評估程序



CPT 液化評估結果(475年)





CPT液化評估方法之研究

Method	Abbreviation	Success rates of prediction								
		Local database			World database			All database		
		Liq	Nonliq	All	Liq	Nonliq	All	Liq	Nonliq	All
Hwang et al. (2005)	HBF	0.97	0.93	0.95	0.83	0.75	0.81	0.88	0.83	0.84
Youd et al. (2001)	NCEER	0.87	0.95	0.91	0.82	0.76	0.80	0.84	0.84	0.82
Robertson (2009)	Robertson	0.87	0.96	0.92	0.81	0.75	0.79	0.83	0.84	0.82
Boulanger and Idriss (2016) (P _L =0.15)	B&I (P _L =0.15)	0.87	0.95	0.91	0.96	0.55	0.85	0.93	0.73	0.84
Boulanger and Idriss (2016) (P _L =0.5)	B&I (P _L =0.50)	0.83	0.95	0.89	0.85	0.72	0.81	0.84	0.82	0.82
Olsen (1997)	Olsen	0.80	0.93	0.87	0.73	0.69	0.72	0.75	0.80	0.76
Ku and Juang (2012)	K&J	0.90	0.89	0.90	0.86	0.68	0.81	0.87	0.77	0.82
Moss et al. (2006) (P _L =0.15)	Moss (P _L =0.15)	0.91	0.93	0.92	0.88	0.65	0.81	0.89	0.77	0.83
Moss et al. (2006) (P _L =0.5)	Moss (P _L =0.50)	0.87	0.96	0.92	0.79	0.79	0.79	0.82	0.87	0.82

負責項目

章節: 4.9 土壤液化

1. 液化影響評估程序
2. 液化評估方法與建議
3. 基礎性能檢核目標

政府(驗證審查)

- 確保風電安全永續
- 釐清社會對風機安全疑慮
- 國際上首見具體之風機抗液化條文與解說，可提高規範的國際能見度

設計者

- 提高設計分析之技術水準
- 提高試驗之技術與品質
- 提高規劃調查試驗的能力
- 確實掌握風機的液化風險

開發商

- 確保投資安全
- 瞭解投資風險
- 降低投資風險

風機製造商

- 瞭解液化風險對風機塔柱傾斜變形之影響
- 瞭解液化風險對風機運轉壽命之影響
- 回饋廠商擬訂更合理的塔柱傾斜變形要求

第三方驗證單位

- 具體條文解說可提供驗證依據
- 程序、方法、性能目標完備可使驗證作業更具客觀
- 可减少驗證的爭議

中央大學土木工程學系 黃俊鴻

CPT液化評估方法之研究

Method	Average and the coefficient of variation of RFS (μ, δ)		
	Local database	World database	All database
HBF	(1.00, 0)	(1.00, 0)	(1.00, 0)
NCEER	(1.03, 0.64)	(0.99, 0.22)	(1.00, 0.43)
Robertson	(1.03, 0.21)	(1.02, 0.18)	(1.02, 0.19)
B&I (P _L =0.15)	(0.98, 0.25)	(0.89, 0.49)	(0.92, 0.41)
B&I (P _L =0.5)	(1.18, 0.21)	(1.07, 0.42)	(1.11, 0.35)
Olsen	(1.20, 0.66)	(1.16, 0.57)	(1.18, 0.60)
K&J	(0.93, 0.26)	(0.91, 0.48)	(0.92, 0.41)
Moss (P _L =0.15)	(1.07, 0.23)	(0.88, 0.33)	(0.95, 0.30)
Moss (P _L =0.5)	(1.33, 0.23)	(1.10, 0.33)	(1.18, 0.31)

- ### 誌謝
- 經濟部標準局
 - 台北科大專案辦公室與規範技術審查會委員
 - 台大土木系 名譽退休教授 陳正興博士
 - 國家地震工程中心研究團隊
 - 柴駿甫 副主任
 - 盧志杰 博士
 - 許尚逸 博士
 - 張毓文 博士
 - 王俊翔 佐理研究員
 - 范秋屏 專案助理研究員

基礎承載力與變形檢核

- 基礎承載力檢核 (ULS)
 - 土壤液化評估結果+土質折減係數法檢核基礎承載力
 - 折減係數表(依國內最新建築物耐震設計規範與國際規範)
 - 475年地震載重
- 基礎變形性能檢核 (SLS與ULS)
 - Beam column element+液化土彈簧(近似)
 - 二維與三維液化土層與基礎動態互制有效應力分析
 - 震後樁頭之永久傾角與變形量(容許值由風機廠商提供)
 - SLS(95年的地震載重) · ULS(475年地震載重)
 - 檢核ULS基樁最大受力

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation
and Design of Offshore Wind Farms

離岸風力發電廠之性能及安全要求

主講人：黃金城 組長
核能研究所 機械及系統工程專案

111年7月19日



目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

參考依據

□ 離岸風力發電廠性能及安全要求專章

- 包含離岸風力發電廠結構安全及穩定運作、離岸風力機性能與安全、變電站發電功率併網與輸電系統之電網併聯要求等四部分。
- 主要是參考中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3、CNS 15176-22等)、國際標準 (IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6、IECRE OD-501/502、IEC 60228及ISO 19902等)、國際工業標準如DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360及DNV-ST-0437等)、API標準 (API-RP 2A-LRFD)、NORSOK N-004標準、EN 1993標準、ABS標準 以及國內外相關標準。

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

參考依據

□ 離岸風力發電廠性能及安全要求專章

● 本章節訂定參考技術規範及標準之優先順序：

- 1 中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3及CNS 15176-22等)
- 2 國內相關標準 (電業登記規則、離岸風力發電場專案驗證審查作業要點、航空障礙物標誌與障礙燈設置標準、輸配電設備裝置規則、再生能源發電系統併聯技術要點、職業安全衛生法及水污染防治法等)
- 3 國際標準 (IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6、IEC 60228、IECRE OD-501、IECRE OD-502及ISO 19902等)
- 日本標準 (日本洋上風力發電設備に関する技術基準の統一解説)
- DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360、DNV-RP-0585及DNV-ST-0437等)
- API標準 (API-RP 2A-LRFD)
- NORSOK N-004標準
- EN 1993標準
- ABS標準 (Guide for Building and Classing-Bottom-Founded Offshore Wind Turbines)

前言

●離岸風力發電廠性能及安全要求專章之訂定，主要是考量國內本土極端環境條件 (颱風、地震等)及國內外風機設計標準，以確保離岸風場工程設計符合本土特殊場址條件需求，並連結離岸風電產業動態適時修訂，將技術根留臺灣。此外，現行國內外技術標準未能充分反映國內本土特殊場址條件 (如颱風、地震等)，故訂定本土適用之載重組合以及滿足離岸風力發電廠於其全生命週期內具備預期的安全需求、使用性能與服務水準等目標所需之工程技術要求以提升離岸風力發電廠之安全性。

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

章節架構

第三章 離岸風力發電廠性能及安全要求

- 3.1 通則
- 3.2 離岸風力發電廠審查與驗證
 - 3.2.1 一般要求
 - 3.2.2 專案驗證
 - 3.2.3 專案驗證審查
- 3.3 離岸風力機性能及安全
 - 3.3.1 設計原則
 - 3.3.2 離岸風力機等級
 - 3.3.3 安全等級
 - 3.3.4 載重組合
 - 3.3.5 離岸風力機共振效應
 - 3.3.6 離岸風力機支撐結構附屬電氣
- 3.4 變電站性能及安全
- 3.5 輸電系統性能及安全
- 3.6 其他要求
 - 3.6.1 安全警示及防護措施
 - 3.6.2 液壓及氣壓設備安全
 - 3.6.3 海洋公害防治
 - 3.6.4 運維船舶航行安全
 - 3.6.5 資訊安全防護
 - 3.6.6 環境與結構監測

章節條文及內容概述

3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

3.2.2 專案驗證

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件，依據離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點，提送經驗證機構完成專案驗證。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考IECRE OD-501、IECRE OD-502、DNV-SE-0073或DNV-SE-0190之要求，辦理離岸風力發電廠特定場址專案驗證。
差異性及解說說明	開發商應符合相關國際標準之外，亦應符合CNS 15176-22之要求，辦理離岸風力發電廠特定場址專案驗證與專案驗證審查，執行專案驗證前，離岸風力機應先完成型式驗證(TC)，或於專案驗證中完成型式驗證之強制模組。

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

章節條文及內容概述

3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

3.2.3 專案驗證審查

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件及第3.2.2節專案驗證之符合性聲明，依據電業登記規則，提送標準檢驗局及其認可之審查機構完成專案驗證審查。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
解說說明	開發商應依據「電業登記規則」、「離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點」與「電業竣工查驗作業要點」等相關規定，將設計各階段完成相關設計成果(詳見第1.7節)，經專業技師簽證及/或驗證機構審查後出具書面證明，提送審查機構辦理專案驗證審查。

章節條文及內容概述

3.1 通則

離岸風力發電廠於其全生命週期內應符合預期的性能及安全等目標所需之工程技術要求。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備に関する技術基準の統一の解説(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2章開頭總述之概念。
差異性說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異：日本解說：IEC、DNV、API、日本相關標準；本規範：IEC、DNV、API、NORSOK N-004、EN 1993、ABS、台灣國內相關標準。

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

3.3.1 設計原則

離岸風力機於全生命週期內須至少滿足以下性能及安全要求：

- 應綜合考量離岸風力機的特性、等級及自然環境等設計條件。
- 於設計年限內，不得因風、波浪、海流、颱風、地震、海嘯、土壤液化、腐蝕與海洋生物等作用，而損及原設計要求之性能，並維持其發電功能。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、DNV-ST-0126、API-RP 2A-LRFD、DNV-ST-0437、NORSOK N-004、EN 1993及ABS等相關國際標準。
差異性說明	本規範亦另參照CNS 15176-1、CNS 15176-3及IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、DNV-RP-0585有關颱風及地震資料相關載重組合。

章節條文及內容概述

3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

3.2.1 一般規定

離岸風力發電廠之設計成果須完成專案驗證及專案驗證審查。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
解說說明	專案驗證及專案驗證審查之目的，係以確認設計成果符合離岸風力發電廠預期之安全需求、使用性能與服務水準。

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

3.3.2 離岸風力機等級

為符合特定場址之離岸風力機設置要求，應綜合考量場址之風速及紊流強度等風況條件，以選用適合之離岸風力機等級。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	IEC 61400-1。
解說說明	離岸風力機應取得驗證機構之型式驗證(TC)證書(包含離岸風力機等級、安全等級品質保證、轉子機艙總成標示等)，並須符合安裝特定場址條件之需求。

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

3.3.3 安全等級

- 離岸風力機之設計應符合下列任一項等級之要求：
1. 一般安全等級：考慮離岸風力機破壞時，可能導致人員傷亡、社會或經濟損失之影響。
 2. 特殊安全等級：離岸風力機安全等級之規定及要求，除須符合相關法令規定外亦可由開發商與風力機製造商共同協議之。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考IEC 61400-3-1、DNV-ST-0437及DNV-ST-0126。
解說說明	如下表。

17

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

	3.3.4 載重組合	IEC 61400-3-1	DNV-ST-0437
地震	DLC 9 (引用 DNV-ST-0437 及 DNV-RP-0585)	無	有
支撐結構 颶風	DLC 10 (引用 IEC 61400-3-1 附錄 I)	附錄 I	無

21

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

載重部分安全係數 (一般安全等級)

功能與環境載重		永久載重	
極限狀態 (ULS)	疲勞極限狀態 (FLS), 意外極限狀態 (ALS), 使用極限狀態 (SLS)	極限狀態 (ULS)	疲勞極限狀態 (FLS), 意外極限狀態 (ALS), 使用極限狀態 (SLS)
正常 (N)	異常 (A)	有利載重 (Favourable)	不利載重 (Unfavourable)
1.35 ^{註1}	1.1	1.0	1.0 ^{註2}
		0.9 ^{註2}	1.1 ^{註3}
			1.0

- 註1：永久載重包括支撐結構設計的靜載重和預(張)力載重。
對於浸沒的水下結構，例如設置在海床上的重力式基礎(Gravity-Based Structure)，永久載重為總重量減去其在水中之浮力。
註2：如果採取適當的措施，極限狀態永久載重的部分安全係數可為1.0。
註3：設計載重狀況DLC 1.1之載重部分安全係數為1.25；設計載重狀況DLC 2.5之載重部分安全係數為1.2。
意外極限狀態所適用之設計情境(包含掉落的物件、碰撞衝擊、爆炸以及直升機、船舶或其他物體的意外撞擊等)，船舶撞擊參考第4.12節與第5.3.8節，其他設計情境參考DNV-ST-0126進行評估。
使用極限狀態所適用之設計情境(包含風機葉片最大速度、塔頂最大加速度、最高轉速以及支撐結構的最大容許傾角與塔頂的最大容許水平位移等)，風機葉片最大速度、塔頂最大加速度及最高轉速參考DNV-ST-0437，支撐結構的最大容許傾角與塔頂的最大容許水平位移參考DNV-ST-0126進行評估。

18

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

3.3.5 離岸風力機共振效應

離岸風力機應避免因共振效應而損及原設計要求之性能。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考 IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、DNV-ST-0437及DNV-ST-0126。
解說說明	離岸風力機應進行結構動力分析，避免發生下列共振情形導致應力變形過大或疲勞破壞： 1. 離岸風力機轉子旋轉引起共振。 2. 風、波浪及海流與結構間動態交互行為，引起作用頻率鎖定共振。 3. 離岸風力機塔架風作用，而引起渦旋共振。

22

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

3.3.4 載重組合

離岸風力機之設計應考量包含離岸風力機操作條件、風環境與海洋環境載重、地震及電網狀態等各種綜合情境下必須考量的載重組合，各項載重組合設計情境須搭配適當之正常或極端外部條件。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	IEC 61400-3-1、DNV-ST-0437及DNV-RP-0585。
差異性說明	一般設計載重狀況參考IEC 61400-3-1，增加DNV-ST-0437的DLC 8.5~8.6船舶撞擊。 地震設計載重狀況參考DNV-ST-0437及DNV-RP-0585。 支撐結構應力設計載重狀況參考IEC 61400-3-1附錄 I。

19

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

3.3.6 離岸風力機支撐結構附屬電氣

- 電氣設計應符合下列事項：
1. 電氣設備之規格及配置方式，應依據設備裝置規則及輸配電設備裝置規則辦理。
 2. 為使船舶與飛行器可明確辨識，離岸風力機本體外應裝置航行輔助照明燈具，包含但不限於航空障礙燈、外圍主要結構物導航燈、外圍中間結構物導航燈，其設計應符合航路標識設置技術規範、國際航標協會及航運管理單位規範。
 3. 設置火警及自動滅火系統，電氣設備應具備火災自熄性。
 4. 電氣設備如位於支撐結構外部，應於連接之供電線路及通訊線路裝設突波吸收保護裝置或避雷器。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考 DNV-OS-D301。
差異性及解說說明	本節亦參考發電設備裝置規則、輸配電裝置規則、航空障礙物標識與障礙燈設置標準、航路標識設置技術規範、國際航標協會 (IALA)、IEEE C62系列、IEC 62305-4 IEC 61643系列等規定。

23

章節條文及內容概述

3.3 離岸風力機性能及安全

	3.3.4 載重組合	IEC 61400-3-1	DNV-ST-0437
DLC 1 發電		同 IEC 61400-3-1	
DLC 2 發電及故障發生	同 IEC 61400-3-1，並增加 DLC 2.3 替代方案供選擇(NTM)		提出 DLC 2.3 替代方案供選擇(NTM)
DLC 3 啟動			
DLC 4 正常停機			
DLC 5 緊急停機			
DLC 6 待機(待機狀態或情轉)			
DLC 7 待機與故障情況			
DLC 8 運輸、組裝、維護及修理	同 DNV-ST-0437	無 8.5及8.6 (但DLC 8.1: 由製造商說明，已有規定要考量船舶碰撞和直升機載重的情境風險)	8.5及8.6 (多考慮了風流船舶碰撞和直升機載重—正常事件，船舶碰撞—異常事件)

20

章節條文及內容概述

3.4 變電站性能及安全

海上變電站於全生命週期內須至少符合以下之性能及安全要求：

1. 須提供離岸風力發電廠電力併入電網之服務，並應避免變電站於結構破壞或功能失效，導致人員傷亡、嚴重污染、社會與經濟損失等後續效應。
2. 應考量人員使用空間、逃生通道與消防設備之安全，以提升人員與變電站設備之使用安全。陸上變電站應符合輸配電設備裝置規則及國內相關建築設計法規。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	DNV-ST-0145。
解說說明	變電站主要功能為電力傳輸與提升輸送效率，並使電壓提升到減少電損損耗成本以維持變電站之運作服務，得參考DNV-ST-0145進行結構設計評估與提升電力可靠性之應考慮事項。

24

章節條文及內容概述

3.5 輸電系統性能及安全

輸電系統於全生命週期內須至少符合以下之性能及安全要求：

- 輸電系統在責任分界點與電網相連，應符合台灣電力股份有限公司的電網併聯要求與規範。
- 輸電系統應設置故障保護措施，另經考量電力系統之需求、重要性或系統穩定度分析確認有額外需要時，得增設保護設備。
- 海床採埋設方式鋪設者，應設計適當埋設深度，確保足夠保護層厚度。採非埋設方式鋪設者，應避免海床系統功能失效。
- 海床的鋪設不得影響港口、航運及漁業使用，並應避免對現有管線造成影響。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.12節之概念。
差異性及解說說明	1. 輸電系統之連接及保護主要參考再生能源發電系統併聯技術要點。 2. 海床的鋪設主要參考中研院國大極端環境建設變遷海床或管線之路線劃定許可辦法、海床構造及設計方法則參考 IEC 60228、DNV-ST-0359及DNV-RP-036。

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.3 海洋公害防治

離岸風力發電廠所設置之輸送或貯存等設備，應採取必要之維護及防範措施，以有效防治海洋公害。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.6節之概念。
差異性及解說說明	1. 離岸風力發電廠有關廢液油、潤滑油及絕緣油等之輸送或貯存設備，須符合水污染防治法與水污染防治法施行細則之相關規定。若輸送或貯存設備有溢漏污染物或廢(污)水外洩之虞者，應採取維護及防範措施。 2. 離岸風力發電廠之設置及運轉作業須符合海洋污染防治法之相關規定。相關作業有導致嚴重污染之虞時，應即採取措施以防止、排除或減輕污染。 3. 風力機葉片旋角驅動系統與轉向系統等設備，須採取防止油品外洩措施。

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.1 安全警示及防護措施

為確保離岸風力發電廠的作業安全及人員健康，應設置職業安全衛生必要之警示設備、安全防護裝置或安全衛生設備等設施。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.4節之概念。
差異性及解說說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異： 日本解說：風力發電設備相關技術標準(日本) 本規範：職業安全衛生設施規則、職業安全衛生法(台灣) 1. 應於適當地點標示作業設備之危險訊息，並設置相關安全警示與防護措施。 2. 應提供作業人員必要之預防設備或措施，以避免發生職業災害。 3. 針對不同工作場所應具備充分及適用之防護具，人員應備載適合當下作業環境之防護具，並使人員確實使用。

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.4 運維船舶航行安全

- 無論在白晝或夜晚等全天候條件，皆應確保並維持對船舶之警示與識別功能。
- 應規劃航行安全之配套機制，避免離岸風力發電廠運維及運轉期間發生船舶碰撞事件。
- 離岸風力機之轉子運轉時掃掠的範圍不得觸及航行的船舶。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.8及2.9節之概念。
差異性及解說說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異： 日本解說：Recommendation O-139 on The Marking of Man-Made Offshore Structures(國際航標和燈塔管理局海洋援助協會)、航標法(日本)、航空法(日本) 本規範：航路標識條例、航路標識設置技術規範、船舶設備規則、離岸風電海域作業安全指引(台灣)

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.2 液壓及氣壓設備安全

為維護離岸風力發電廠之安全運作，應維持液壓及氣壓設備之功能。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.5節之概念。
差異性及解說說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異： 日本解說：高壓氣體安全法、勞動安全衛生法、鍋爐及壓力容器安全規則(日本) 本規範：高壓氣體勞工安全規則、鍋爐及壓力容器安全規則(台灣) 液壓及氣壓有關設備，應具備抑制壓力上升、壓力控制等功能的措施或裝置，以維持設備運作安全。壓力設備須使用能因應作業環境或內容物之腐蝕性材料，其設備結構應具備耐高壓下安全性與使用性。

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.5 資訊安全防護

具網路傳輸功能之離岸風力發電廠的設備，應加入資安防護考量，其範圍包含設備本身及該設備之周邊環境。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	選用符合資安規範(如NISTIR 7628、IEC 62443-4-1、IEC 62443-4-2等國際標準/規範)之設備，並視資安防護需求，於周邊環境增加相關資安防護措施(可參考NISTIR 7628、IEC 62443-3-3與ISO/IEC 27001)。
差異性及解說說明	前述所列參考規範與標準，如國家另有頒布者應優先適用之。

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.3 海洋公害防治

離岸風力發電廠所設置之輸送或貯存等設備，應採取必要之維護及防範措施，以有效防治海洋公害。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.6節之概念。
差異性及解說說明	本節參考國內水污染防治法、水污染防治法施行細則及海洋污染防治法撰寫，僅參考日本解說之精神，但參考標準有所差異： 日本解說：水質污染防治法、電氣設備相關技術標準(日本) 本規範：水污染防治法、水污染防治法施行細則、海洋污染防治法(台灣)

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.6 環境與結構監測

為使離岸風力發電廠於運轉與維護階段能符合預期之性能與安全目標，設計階段應考量環境與海洋環境、海洋附生物、海床變動、海嘯與地震等嚴重效應對結構性能與安全要求之影響，編訂監測計畫。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
差異性及解說說明	本節主要承上啟下，連接第二章離岸風力發電廠場址環境條件調查及第四章離岸風力發電廠場址環境條件評估，對環境與結構監測作一概述。

章節條文及內容概述

3.6 其他要求

3.6.6 環境與結構監測

為使離岸風力發電廠於運轉與維護階段能符合預期之性能與安全目標，設計階段應考量風環境與海洋環境、海洋附生物、海床變動、淘刷與地震等載重效應對結構性能與安全要求之影響，編訂監測計畫。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
解說說明	離岸風力發電廠須於設計階段擬定特定場址環境條件監測計畫，並提送主管機關核可備查。場址環境條件監測計畫須說明海洋氣象監測項目、物理量、監測取樣頻率、監測範圍及解析度，並適當規劃監測器 (Sensors)、資料擷取器 (Data Acquisition)、電源供應及備援電力計畫、資料傳輸 (Data Transmission) 計畫、監測設備定期維護校正計畫、監測管理值及緊急應變計畫。

33

結語及建議(續)

- 現行國內外技術標準未能充分反映國內本土特殊場址條件（如颱風、地震等），故本章節**訂定本土適用之載重組合及離岸風力發電廠之性能及安全需求**以提供開發商、風機製造商及第三方驗證單位等引用參考，**確保離岸風場設計符合本土所需**。
- 政府可把開產業技術環節與各界需求，**建立審查管理制度**，例如可納入專案驗證、技師簽證和第三方驗證機制等。
- 開發商可依據離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點，提送經驗證機構所完成之專案驗證證書與**銀行融資**，以利風場之順利開發。

36

目錄

CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

34

補充說明

- 政府 (驗證審查)
 - ✓ 國內目前並無有關離岸風電之工程技術準則或規範可供依循，本規範建立審查制度，納入專案驗證、技師簽證與第三方驗證等規定，**政府可有有效進行離岸風力發電廠技術把關**，以期能安全、可靠及有效地推動離岸風電建設。
- 開發商
 - ✓ 離岸風電開發在財務上所需資金相當龐大，開發計畫涉及許多複雜工程技術與各種不確定性的挑戰，**符合離岸風力發電技術規範之規定，有利於開發商與銀行、保險公司、主管機關等各相關單位進行有效磋商，順利開發風場。**
 - ✓ 目前離岸風力機多為國外進口，通過本章節的指引，**加強開發商對台灣本土風場開發相關規定之認知**，以選擇適合台灣之風力機種，可加快離岸風場開發速度，縮短開發時程。

37

結語及建議

- 本章節考量國內本土極端環境條件（颱風、地震等）及參考國內外風機設計標準，訂定離岸風力發電**本土設計載重組合**，目前已納入經濟部標檢局本土離岸風電場址調查及設計技術規範之**離岸風力發電廠性能及安全要求專章草案**，未來可在**風機結構、抗飆、耐震**等標準，**依照在地化的工程參數補足設計缺口**。



國內本土離岸風電技術規範新增之本土設計載重組合

38

補充說明(續)

- 製造商
 - ✓ 國內台灣離岸風場位於颱風及地震多發地區，現行國外技術規範未能充分反映本土環境條件，風機製造商於設計製造時，可**引用本章節對離岸風力發電廠之性能及安全之考量**，使風力機符合台灣風力機相關法規之要求。
- 設計者
 - ✓ 國內目前並無有關離岸風電之工程技術準則或規範，通過本章節的指引，**可加速設計者對台灣本土風場開發相關規定之認知**，以設計適合台灣之離岸風力發電廠，並可有效縮短整體設計流程。
- 第三方驗證單位
 - ✓ 離岸風力發電廠性能及安全要求專章之訂定，**可提供國內外第三方驗證單位執行風力機驗證之審查基準**，透過第三方審核，確認國內離岸風電專案符合台灣之標準法規及其他相關技術性規定。

簡報結束



離岸風力機支撐結構與電力系統設計

徐偉朝

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

離岸風力機支撐結構與電力系統設計

主講人：徐偉朝 經理

中興工程顧問有限公司 電力及能源工程部



目錄

CONTENTS

- 01 國際現行設計標準
- 02 規範制定原則與架構
- 03 內容概述
- 04 結論

2

目錄

CONTENTS

01 國際現行設計標準

02 規範制定原則與架構

03 內容概述

04 結論

3

固定式離岸風電主要國際設計標準

- International Electrotechnical Commission(國際電工委員會) ← 母法
 - IEC 61400-3 since 2009.02 -> IEC 61400-3-1
- DNV(立恩威國際驗證股份有限公司) ← 最早制定離岸風電設計標準
 - DNV-OS-J101 since 2004.06 -> DNV-ST-0126/0437
- American Clean Power Association(美國潔淨電力協會) ← 美國國家標準
 - AWEA OOCR-1 since 2012.06 -> ANSI/ACP OOCR-1-202X
- American Bureau of Shipping(美國驗船協會)
 - BOTTOM-FOUNDED OFFSHORE WIND TURBINE - since 2015.10

7

離岸結構發展

離岸風電支撐結構工程係基於離岸石油氣業發展超過百年之技術

第一個離岸結構
Summerland, California (1896)

第一座離岸風機支撐結構
丹麥Vindeby(1991年)

4

國際現行採用之設計規範

- 離岸結構設計規範
 - 美規: ABS · API · ASTM · AISC...
 - 歐規: DNV · NORSOK · EN 1993系列...
- 離岸風電結構設計規範
 - DNV系列
 - 美國ANSI/ACP OOCR-1-202X
- 台灣土木教育與業界多採用美規
 - 以混凝土結構為例:
 - 內政部頒行之「混凝土結構設計規範」
 - 基於中國土木水利工程學會之「基礎工程設計規範與解說」土本401-110
 - 基於American Concrete Institute(美國混凝土協會) ACI 318-19
 - 以鋼結構為例:
 - 內政部頒行之「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」
 - 基於American Institute of Steel Construction (美國鋼構造協會) AISC ASD/LRFD

8

離岸結構設計與陸上結構設計不同處

- 外力
 - 海流
 - 波浪
 - 氣動力(含機械運轉) → 疲勞效應
- 構件形狀
 - 陸上: 箱型、工字型 → 接頭設計
 - 海上: 圓型
- 其它設計考量
 - 海生物附着、腐蝕、海床高程變動、
- 製造、安裝考量
 - 設備限制(捲板機、提吊、運輸、打植...)

來源: https://www.researchgate.net/publication/338849465/figure/fig/1/figure-fig1/338849465/figure-fig1/338849465-Comparative_Study_of_Structural_Reliability_Assessment_Methods_for_Offshore_Wind_Turbine_Jacket_Support_Structures

5

美國OOCR-1之支撐結構設計依據

- 鋼結構設計以DNV與API為主，即設計者可採歐規或美規。
- ANSI/ACP OOCR-1-202X:
 - 5.6.3.2 Steel design
 - The following standards apply to the design of steel support structures, secondary structures, and other steel elements:
 - API-RP 2A LRFD
 - DNVGL/DNV-ST-0126
 - DNV-OS-C101
 - DNVGL/DNV-RP-C203 (for fatigue design)
 - ABS BOWT Guide
 - Additional ISO, AISC, ASTM, and EN (e.g. EN1993/Eurocode 3) standards may be relevant. It might be necessary to use a combination of standards, and in such cases it should be justified that the intended safety level is achieved. API-RP 2A WSD may be used in lieu of API-RP 2A LRFD, but particular care shall be taken when mixing LRFD and WSD/ASD standards, which is generally not recommended. The selected standards shall be included in the design basis and not be in conflict with U.S. regulations.

9

固定式離岸結構主要國際設計標準(石油工業)

- API American Petroleum Institute(美國石油協會) ← 現存之最早規範
 - API RP 2A-WSD since 1969.10 -> 2014.11 (22nd Ed.)
 - API RP 2A-LRFD since 1993.07 -> 2019.08 (2nd Ed.)
- Standards Norway(挪威標準)
 - NORSOK N-004 since 1998.12 -> 2021.12 (4th Ed.)
- International Organization for Standardization(國際標準化組織)
 - ISO 19902 since 2007.12 -> 2020.11 (2nd Ed.)

6

目錄

CONTENTS

01 國際現行設計標準

02 規範制定原則與架構

03 內容概述

04 結論

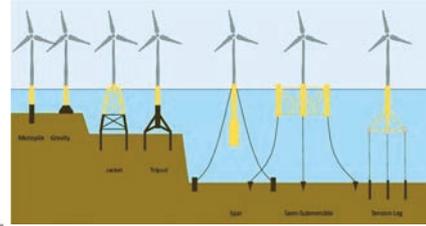
10

規範編製原則

- IEC 61400-3-1無結構設計技術細節要求。 ← 需輔以現有國際技術標準
- 歐美之離岸結構設計標準已發展超過半個世紀，並為國際設計依據。 ← 設計細節指引至國際規範
- 離岸結構設計主要分為歐規(DNV、EN)、美規(ABS、API)與國際標準(ISO)。 ← 與國際接軌，允許設計者自行選用，惟不得混用。

通則

- 本規範適用於離岸風力機採單樁式(Monopile)、套筒式(Jacket)之固定式支撐結構。
- 如採用其他結構型式如三腳式/三樁式(Tripod/Tripile)、負壓沉箱(Suction Bucket)基礎或重力式基礎等，除本規範可適用者外，應就其特殊性另作考量，但須在設計文件中載明其設計依據。



本規範與歐美離岸風電支撐結構設計規範比較



離岸風力機支撐結構設計原則

臨時階段：製造、運輸、安裝、拆除過程
永久階段：運維期間

- 5.2.1 一般規定
- 5.2.2 結構設計年限
- 5.2.3 自然環境條件
- 5.2.4 運轉操作條件
- 5.2.5 臨時階段之設計考量

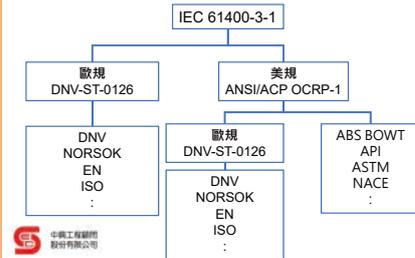


章節架構

- 5.1 通則
- 5.2 離岸風力機支撐結構設計原則
- 5.2.1 一般規定
- 5.2.2 結構設計年限
- 5.2.3 自然環境條件
- 5.2.4 運轉操作條件
- 5.2.5 臨時階段之設計考量
- 5.3 離岸風力機支撐結構設計要求
- 5.3.1 一般規定
- 5.3.2 結構分析與模擬
- 5.3.3 結構設計與檢核
- 5.3.4 鋼結構強度及挫屈設計
- 5.3.5 鋼結構疲勞設計
- 5.3.6 結構接合設計
- 5.3.7 灌漿接合設計
- 5.3.8 運維船舶撞擊
- 5.3.9 有限元素分析
- 5.3.10 臨時階段之結構檢核
- 5.4 大地工程設計
- 5.4.1 一般規定
- 5.4.2 樁基礎承载力與變位檢核
- 5.4.3 群樁效應
- 5.4.4 淘刷保護設計
- 5.4.5 海纜槽溝設計
- 5.5 腐蝕防護系統
- 5.6 電網連接與海纜設計
- 5.6.1 電網連接
- 5.6.2 海纜設計

離岸風力機支撐結構設計要求

- 結構設計應採用國際普遍認可之固定式離岸風力機支撐結構設計規範/標準，並應採用單一或相同系統之設計規範/標準與結構材料規範/標準，除非可以確認具備較高或同等之可靠度水準，否則不得混用規範/標準。



- 5.3.1 一般規定
- 5.3.2 結構分析與模擬
- 5.3.3 結構設計與檢核
- 5.3.4 鋼結構強度及挫屈設計
- 5.3.5 鋼結構疲勞設計
- 5.3.6 結構接合設計
- 5.3.7 灌漿接合設計
- 5.3.8 運維船舶撞擊
- 5.3.9 有限元素分析
- 5.3.10 臨時階段之結構檢核

目錄

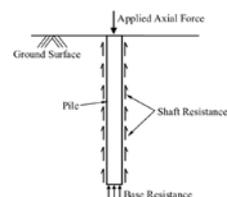
CONTENTS

- 01 國際現行設計標準
- 02 規範制定原則與架構
- 03 內容概述
- 04 結論

大地工程設計

- 基樁需考量各種載重

- ✓ 地震及土壤液化
- ✓ 風浪作用
- ✓ 海床變動
- ✓ 疲勞效應
- ✓ 群樁效應



- 5.4.1 一般規定
- 5.4.2 樁基礎承载力與變位檢核
- 5.4.3 群樁效應
- 5.4.4 淘刷保護設計
- 5.4.5 海纜槽溝設計

腐蝕防護系統

- 腐蝕防護整體性策略**
 - 參考ISO 19902、ISO 24656、及DNV-RP-0416
- 防蝕方法**
 - 表面被覆法**
 - 塗料塗裝、熱浸鍍鋅層或金屬熔射層
 - 參考ISO 12944、NORSOK M-501或NACE SP0108
 - 陰極保護法**
 - 外加電流法或犧牲陽極法
 - 參考ISO 24656、NORSOK M-503、NACE SP0176或DNV-RP-B401
 - 腐蝕容許量**
 - 參考ISO 19902、ISO 24656、及DNV-RP-0416

19

結論

- 綜合前述考量：**
 - 歐美離岸工程產業已累積百年經驗，其設計規範亦發展超過50年，已形成國際標準。
 - 離岸風電產業為國際性產業，宜與國際接軌。
 - 電力系統須符合國內電網要求。
- 除電力系統外，結構設計採用國際業界實務標準，設計者可選用歐規或美規標準。

22

電網連接與海纜設計

- 電網連接及電力系統設計應符合電業法及電網公司相關規定
 - 5.6.1 電網連接
 - 5.6.2 海纜設計

經濟部能源局
Republic of Energy
Ministry of Economic Affairs

經濟部能源局頒布之「電業供電電壓及頻率標準」
「輸配電設備裝置規則」

台灣電力公司
Taiwan Power Company

台電頒布之「再生能源發電系統併聯技術要點」

20

附錄

中興工程顧問公司 徐偉朝

負責項目 章節：第五章 內容：離岸風力機支撐結構與電力系統設計	政府(驗證審查) <ul style="list-style-type: none"> 明確審查執行依據。 	設計者 <ul style="list-style-type: none"> 結構設計要求與國際接軌。 減少未來審查過程產生之不確定性。 明列電力系統與本土電網併聯要求。
開發商 <ul style="list-style-type: none"> 結構設計要求與國際接軌。 減少未來審查過程產生之不確定性。 明列電力系統與本土電網併聯要求。 	風機製造商 <ul style="list-style-type: none"> 結構設計要求與國際接軌。 減少未來審查過程產生之不確定性。 	第三方驗證單位 <ul style="list-style-type: none"> 減少未來審查過程產生之不確定性。

23

目錄

CONTENTS

- 01 國際現行設計標準
- 02 規範制定原則與架構
- 03 內容概述
- 04 結論

21

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束

離岸風場設計技術規範之專案驗證執行

顧寶鼎

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

離岸風場設計技術規範之專案驗證執行

主講人：顧寶鼎 博士

立恩威國際驗證股份有限公司 首席工程師

DNV 經濟部標準檢驗局 TAIPEI 國立臺灣科技大學

草案中專案驗證相關條文

1.7 場址調查及設計階段送審文件

場址調查及設計階段應於完成各項作業時提交相關調查報告與設計成果，經專案技術團隊及/或驗證機構核可後，提交主管機關辦理專案驗證審查並核定之。

3.2 離岸風力發電廠驗證與審查

3.2.1 一般規定

離岸風力發電廠之設計成果須完成專案驗證及專案驗證審查。

3.2.2 專案驗證

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件，依據離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點，提交經驗證機構完成專案驗證。

3.2.3 專案驗證審查

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件及第3.2.2節專案驗證之符合性聲明，依據電業登記規則，提交標準檢驗局及共認可之審查機構完成專案驗證審查。

2

Certification requirements in Taiwan (離岸風力發電場專案驗證審查示範輔導作業要點)

- Regulation set by Bureau of Standards, Metrology and Inspection, MOEA (BSMI)
- Directions for Demonstration and Guidance on Reviewing Project Certification of Offshore Wind Farm Projects, issued on 2019-09-23, amended on 2021-05-14, excerpt:

三、離岸風力發電廠場址開發、設計及地作，應符合 CNS 15176-22、IEC 61400-22、IEC 61400-502、DNVGL-SE-0073 或 DNVGL-SE-0190 之要求，並將 CNS 15176-1 及 CNS 15176-3 評估外部條件（如極端風速、地震狀況等）之方法納入設計考量，但能將主管機關另有規定者，得依其規定。

因特殊原因致現場外部條件之量測無法符合前項相關標準之要求者，應經檢驗機構之評估後決定其外部條件參數。

本要點中華民國一百零九年十一月二十日修正發布之規定並生效後所新實施之開發、設計及地作，應自開始開發、設計及地作時，依第一項所定相關標準最新版本之要求。
- Project certification by an accredited certification body
- Project certification phases covered: design basis (which includes site conditions assessment), loads, design, manufacturing surveillance, transport and installation
- Assets covered: WTG, OSS, Cable

DNV

益處陳列表

負責項目 章節: 3.2 內容: 離岸風力發電廠驗證與審查	政府(驗證審查) <ul style="list-style-type: none"> 對於已發布之“離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點”加以補充說明 	設計者 <ul style="list-style-type: none"> 可按照 1.7 及 3.2 節之規定，對於應該作第三方驗證及驗證審查之文件做明確準備
開發商 <ul style="list-style-type: none"> 同“設計者” 減低第三方驗證及驗證審查之不確定性 	風機製造商 <ul style="list-style-type: none"> 同“設計者” 減低第三方驗證及驗證審查之不確定性 	第三方驗證單位 <ul style="list-style-type: none"> 本草案對於第三方驗證過程更加明確化。 本草案對台灣地區之特殊要求明確化，有助於台灣地區風場認證

DNV
Commercial in confidence

Project permitting process in Taiwan

DNV

Benefits by independent 3rd party – Accredited Certification Body

- Mitigating risks at an effective stage by certification
- Increased confidence in technical integrity and reliability
- Confirmation of requirements as stated by project developers
- Support of quality management
- Minimising financial project risks
 - Secure investments and optimise return of investment
 - Secure better insurance rates
- Supporting authority approvals

DNV

Accreditation by accreditation body

... leading to worldwide acceptance being an ISO/IEC 17065 Accredited Certification Body

- annual maintenance audits and re-accreditation after five years
- 100+ countries being IAF Members and Signatories

DNV

What is Certification?

Definition of certification (ISO / IEC 17000)
Certification is a:
 Third-party attestation related to products, processes, systems or persons
Attestation means:
 Issue of a statement, based on a decision following the review, that fulfillment of specified requirements has been demonstrated
Review is done by:
 Verification of the suitability, adequacy and effectiveness...

DNV

2022年12月16日編

2022年12月16日編

項目	標準名稱	驗證標準	驗證標準	驗證標準	驗證標準	驗證標準	驗證標準
1	國際標準化組織 (ISO) 9001:2015 品質管理系統 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
2	國際標準化組織 (ISO) 14001:2015 環境管理系統 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
3	國際標準化組織 (ISO) 45001:2018 職業安全與健康 管理系統 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
4	國際標準化組織 (ISO) 50001:2018 能源管理系統 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
5	國際標準化組織 (ISO) 27001:2017 資訊安全管理系统 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
6	國際標準化組織 (ISO) 27002:2018 資訊安全管理系统 控制措施 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
7	國際標準化組織 (ISO) 27005:2018 資訊安全管理系统 風險管理 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV
8	國際標準化組織 (ISO) 27031:2019 資訊安全管理系统 韧性 要求	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV	DNV

DNV

Type Certification & Project Certification

- A wind turbine type
 - evaluated for compliance with applicable regulations and assumed conditions (e.g. wind turbine class)
- Selected design parameters and conditions
- Manufacturing process and type testing on a sample

VS.

- Power plant including wind turbines
 - evaluated for compliance with applicable regulations and site-specific conditions
 - designed for a specific location
 - manufactured for a specific project
 - installed and commissioned under site-specific circumstances

DNV

International project certification schemes

IECRE OD-502:2018



IECRE website and where to find all documents
[Rules, Operational Documents & Guides](#)

DNV-SE-0190:2020



DNV certification scheme combining latest state of the art, best practice and considering current market developments.
[DNV rules and standards](#)

Certificate and statement (sample)

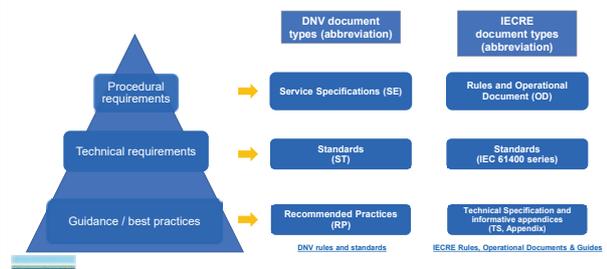
PROJECT CERTIFICATE



STATEMENT OF COMPLIANCE



DNV service documents and comparison to IECRE documents



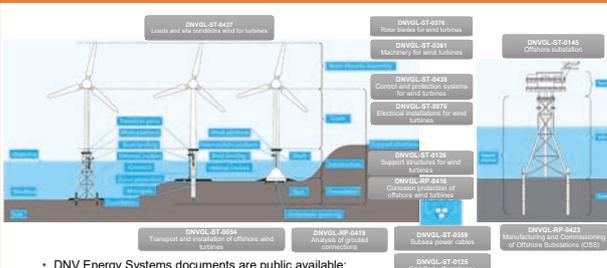
Procedural requirements → Service Specifications (SE) → Rules and Operational Document (OD)

Technical requirements → Standards (ST) → Standards (IEC 61400 series)

Guidance / best practices → Recommended Practices (RP) → Technical Specifications and Informative Appendices (TS, Appendix)

DNV rules and standards | IECRE Rules, Operational Documents & Guides

Relevant standards and recommended practices - excerpt



- DNVGL-ST-0137 Loads and sea conditions for turbines
- DNVGL-ST-0376 Pitch system for wind turbines
- DNVGL-ST-0381 Machinery for wind turbines
- DNVGL-ST-0145 Offshore substation
- DNVGL-ST-0403 Control and protection systems for wind turbines
- DNVGL-ST-0076 Electrical installations for wind turbines
- DNVGL-ST-0102 Support structures for wind turbines
- DNVGL-RR-0418 Common practices of offshore wind turbines
- DNVGL-ST-0158 Subsea power cables
- DNVGL-RR-0423 Manufacturing and Commissioning of Offshore Substations (OS)
- DNVGL-ST-0128 Grid Code Compliance
- DNVGL-ST-0058 Transport and installation of offshore wind turbines
- DNVGL-RR-0419 Analysis of gasket connections
- DNVGL-ST-0358 Manufacturing and Commissioning of Offshore Substations (OS)

• DNV Energy Systems documents are public available:
<https://rules.dnv.com/>

Wind power plants certification scheme differences

IEC 61400-22 / IECRE OD-502 scheme	DNVGL-SE-0190 scheme
Focus on the wind turbine and do not cover relevant wind power plant assets e.g. offshore substation, power cables etc.	All wind power plant assets addressed in the service documents (wind turbine, offshore substation, power cables, machinery structures, support structures etc.)
Project certification only	In addition to Project Certification, phases as concept/innovation, prototype, in-service, lifetime extension, decommissioning etc. are included
Extent of guidance for application is limited	Guidance and descriptions included to facilitate transparency, understanding and application
Longer revision cycles due to the number of participants representing the country member bodies	Shorter revision cycles, latest project learnings and state-of-the-art faster implemented
Published in 2010, latest revisions in 2018	First published in 1986, latest revisions in 2020

IEC and DNV system

DNV offer both sets of services, and furthermore DNV scheme and IEC scheme with aligned safety level

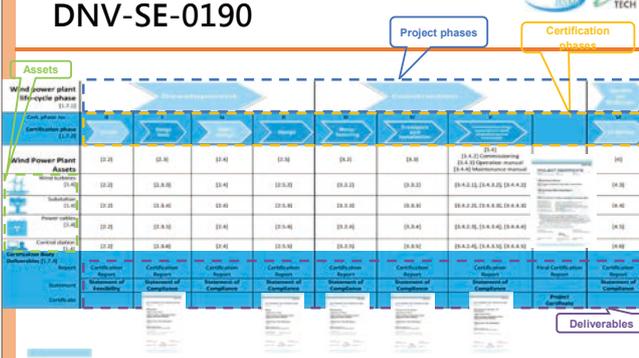
Design basis



- Design basis covers the site conditions and the basis for design and subsequent phases.
- Demonstrating that a feasible and compliant catalogue of applicable standards and methods is prepared and site conditions are clarified.



DNV-SE-0190



Assets: Wind power plant (life cycle phase), Wind Power Plant Assets, Offshore substation, Subsea power cables, Jacket substructure, Offshore substation

Project phases: Concept, Design basis, Basic design, Design, Main contract, Construction, Commissioning, Operation, Decommissioning

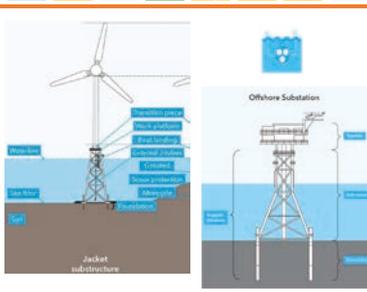
Certification phases: Concept, Design basis, Basic design, Design, Main contract, Construction, Commissioning, Operation, Decommissioning

Deliverables: Design Basis, Basic Design, Design, Main Contract, Construction, Commissioning, Operation, Decommissioning

Design



- Demonstrating that the final design is compliant with the state of the art defined in the design basis
- This includes a site-specific design approval of the wind power plant assets



Load and responses for offshore wind turbines

Within an offshore wind power plant the substructures may:

- be exposed to different design wave loads
- be placed in different water depths
- have different soil stiffness
- have different damping
- have different structural stiffnesses etc.

DNV

Certification activities

3. Independent analyses of the support structure including highly utilized structural connection by appropriate methods for the relevant limit states

DNV

Design

Typical situation in a wind power plant

- several site conditions are lower, some higher than in the Type Certificate
- Question: Is the structural integrity of the wind turbines compromised?

DNV

Certification activities

4. Review of design implementation of manufacturing and installation requirements with respect to the structural integrity of the final structure.

5. Evaluation of the proposed corrosion protections system against design requirements with a view to the required design life.

DNV

Certification activities

What is reviewed for certification proposes?

1. Valid Type Certificate for the RNA
- Verification including an evaluation of the Design
 - External Conditions assumed for the RNA design
 - Requirements for transport and installation
 - Requirements for operation and maintenance
 - Specification for the interfaces between wind turbine and support structure

DNV

Interfaces of the certification phases

Design basis lays out requirement for subsequent phases

Inputs to be considered during implementation of the type certificate and during project certification

DNV

Certification activities

2. Review of Designer documentation for the substructure (tower, substructure connecting tower and foundation, J-tubes and the foundation)

- detailed design calculation reports,
- design drawings, 3D-Models 3D
- manufacturing specifications

DNV

Multiple partners in the projects – communication lines

DNV

Manufacturing

- Assurance that the key products manufactured comply with the approved design/expectations

Design (calculations)
→ Assumptions

Manufacturing
→ Implementation

27

Commissioning; operation and maintenance manuals

- Commissioning involves all follow-up evaluation and on-site inspections during the implementation of the project.
- Operation and maintenance relates to the concepts and manuals to be approved.
- Demonstrating that the assets are ready for a safe and reliable operation.

31

Manufacturing surveillance

- survey of manufacturing
- evaluation of quality management system, if ISO 9001 certificate is not available
- product related quality audits
- survey of contractor's quality management activities.
- The risk level is higher for a component (or an assembly) which failure leads to severe consequences. On the other hand a higher verification level will help to reduce the risk level.

28

Project certificate (sample)

32

Transport and Installation

- Transport and installation covers the surveillance during transport and installation of the project related assets.
- Demonstrating that the transport and installation is not interfering with safety and integrity of the assets.

29

Certification Reports - sample

33

DNV-ST-0054: Transport and installation of wind power plants

- Development / design influences of T&I on the structural integrity
- Development of T&I documentation information to be considered in T&I documentation
- Prior to start of T&I works inspections, tests and checks to be carried out
- Execution of T&I operations working steps and parameters to be monitored
- Upon completion of T&I evaluation of possible impacts (e.g. damage analysis)

30

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會 Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

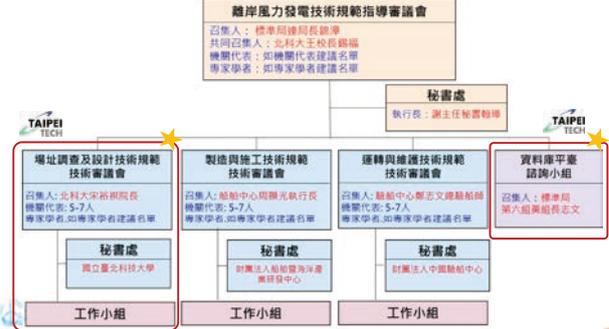
臺灣離岸風電場址條件 研究資料庫介紹

主講人：劉小勤 副理
國立臺北科技大學 離岸風電工程研究中心
盧明德 經理
維三企業有限公司



離岸風電工程研究中心
經濟部標準檢驗局
TAIPEI 國立臺北科技大學

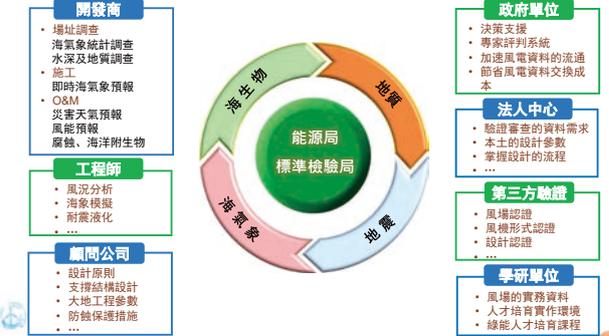
技術規範指導審議會



目錄 CONTENTS

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

使用者資料需求盤點



目錄 CONTENTS

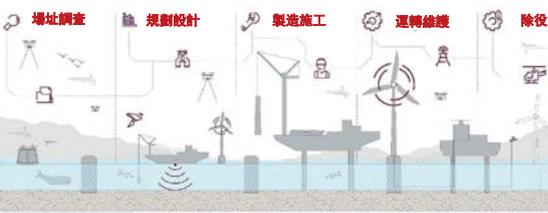
- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

場址調查及設計流程



風場開發生命週期之技術規範

編撰技術規則，包含：場址調查、設計、製造、施工、運轉維護等部份



設計參數 Roadmap



場址調查與設計技術規範

第一章 總則 1.1 目的 1.2 主管機關 1.3 適用範圍 1.4 名詞與定義 1.5 相關法令與標準 1.6 設計、施工與運維之配合 1.7 場址調查與設計階段送審文件	第二章 離岸風力發電場址環境條件調查 2.1 一般規定 2.2 海洋氣象調查 2.2.1 一般規定 2.2.2 風速與風向調查 2.2.3 海洋環境條件調查 2.3 水深及大地工程地質調查 2.3.1 一般規定 2.3.2 水深地形調查 2.3.3 地球物理探測 2.3.4 大地工程地質 2.4 其他環境調查 2.4.1 環境調查 2.4.2 生態調查 2.4.3 海洋生物調查 2.5 特定場址環境條件資料提送 2.5.1 一般規定 2.5.2 海洋氣象調查資料提送 2.5.3 工程地質調查資料提送 2.5.4 其他環境調查資料提送	第三章 離岸風力發電機性能及安全要求 3.1 總則 3.1.1 風能 3.1.2 離岸風力發電機組資訊與驗證 3.1.3 專業認證 3.1.4 性能及安全 3.1.5 設計原則 3.1.6 離岸風力機組 3.1.7 安全等 3.1.8 載重組合 3.1.9 離岸風力機組效率 3.1.10 離岸風力機組結構與附屬電機 3.2 輸電系統性能及安全 3.3 其他要求 3.4 安全警報及防護措施 3.5 設備及設施安全 3.6 海床及高壓設備安全 3.7 離岸風力機組安全 3.8 離岸風力機組安全 3.9 離岸風力機組安全 3.10 離岸風力機組安全 3.11 離岸風力機組安全	第四章 離岸風力機組結構與電力系統設計 4.1 總則 4.1.1 一般規定 4.1.2 結構設計年限 4.1.3 結構設計標準 4.1.4 結構設計標準 4.1.5 結構設計標準 4.1.6 結構設計標準 4.1.7 結構設計標準 4.1.8 結構設計標準 4.1.9 結構設計標準 4.1.10 結構設計標準 4.1.11 結構設計標準 4.1.12 結構設計標準 4.1.13 結構設計標準 4.1.14 結構設計標準 4.1.15 結構設計標準 4.1.16 結構設計標準 4.1.17 結構設計標準 4.1.18 結構設計標準 4.1.19 結構設計標準 4.1.20 結構設計標準
---	---	--	---

資料庫基本概念架構



製造及施工技術規範

第一章 總則 1.1 目的 1.2 主管機關 1.3 適用範圍 1.4 名詞與定義 1.5 相關法令與標準 1.6 設計、施工與運維之配合 1.7 製造及施工階段送審文件	第二章 支撐結構之製造與檢測 2.1 一般規定 2.2 銲接 2.3 製造公差 2.4 評定非破壞檢測 2.5 防護保護系統 2.6 鋼栓連接與緊固 2.7 其他相關設備	第三章 施工計畫與方法 3.1 一般規定 3.2 港區 3.3 載具要求 3.3.1 基本標準 3.3.2 設備規格	第四章 安全與管理 4.1 工程管理 4.1.1 承包應基本資料 4.1.2 工程計畫與設計資料 4.1.3 工程合約資訊 4.2 風險評估 4.2.1 風險應對措施 4.2.2 地處應對措施 4.2.3 工作防護管理 4.2.4 離岸工作場所與人員安全 4.3 環境保護與職業安全衛生 4.3.1 人員資格與要求 4.3.2 環境保護 4.3.3 職業安全衛生管理 4.4 緊急應變措施 4.4.1 緊急應變措施之作業流程及基本原則 4.4.2 緊急應變計畫書 4.4.3 急救、逃生設備與逃生出口
---	---	--	--

資料庫資料來源盤點

氣象資料開放平臺	風力資訊整合平台-地理資訊系統	工程地質探勘資料庫	港海環境資訊網
484項	8項	10項	37項
海域資訊整合平臺	海域施工環境分析暨自動化預測系統	離岸海氣象觀測站	海洋學門資料庫
41項	3項	11項	11項
國土測繪圖資服務雲	海岸防護基本資料查詢平臺	地質資料整合查詢	
161項	17項	42項	
即時海況	臺灣海象災防環境資訊平台	海洋保育地理資訊平台	總共約有 1149項
25項	105項	46項	
航行海象 SAFE SEE	地震測報中心-強地動觀測網	土壤液化潛勢查詢系統	
102項	25項	21項	

運載及維護技術規範

第一章 總則 1.1 目的 1.2 主管機關 1.3 適用範圍 1.4 名詞與定義 1.5 相關法令與標準 1.6 設計、施工與運維之配合 1.7 運轉及維護階段送審文件	第二章 一般原則 2.1 風場基本資訊 2.2 規格 2.3 運維作業場域 2.4 載具 2.5 機具 2.6 備品管理 2.7 環境保護暨職業安全衛生 2.8 緊急應變因應 2.9 事故通報、調查及改進 2.10 紀錄留存與管理 2.11 資訊安全防護	第三章 運轉及維護之技術要求 3.1 總則 3.2 運轉技術要求 3.2.1 轉子機組總成 3.2.2 支撐結構 3.2.3 輪軸系統 3.2.4 齒輪系統 3.2.5 傳動系統 3.2.6 海床地形 3.2.7 海洋附生物 3.2.8 輸電系統 3.2.9 接合 3.2.10 其他要求 3.3 基本標準 3.3.1 基本標準 3.3.2 災害性天氣 3.3.3 地震 3.3.4 離岸風場結構碰撞 3.3.5 雷擊 3.3.6 海底地形組變 3.3.7 雷擊事故	第四章 運轉及維護之技術要求 4.1 延役或除役規劃 4.2 計畫更新與許可 4.3 報告繳交
---	---	--	---

各部會管理之基礎資料



目錄

01	計畫緣起
02	資料庫資料來源盤點
03	跨部會資料主管機關訪談
04	資料庫內部架構規劃
05	資料庫目前功能一覽
06	結論與建議

國內既有資料庫/平台調查

相關單位	場址條件研究資料庫名稱	場址資料庫網址
經濟部	能源局	風力發電第一版研商口 https://www.twtpo.org.tw/gas.aspx
	工業技術研究院	風力資訊整合平台-地理資訊系統 https://gis.twipo.gov.tw/GIS/
	中央地質調查所	工程地質探勘資料庫 https://vtdl.lri.org.tw/occamint/index.aspx
	水利署	地質資料整合查詢 https://geotech.moeai.gov.tw/irmsmap/Home/Map
內政部	地政司	地質資料整合查詢 https://gis3.moeai.gov.tw/gis/gis7-1/look3/index1.cfm
	國土測繪中心	土壤液化潛勢查詢系統 https://www.liquid.net.tw/CMS/WebMap.aspx
	海軍司令部	離岸海氣象觀測站 https://www.l213.wan.gov.tw/Statistics/Wave.html
	航港局	離岸海氣象觀測站 https://www.motcmp.gov.tw/Home/Node?SiteId=1&NodeId=10078
交通部	運研所-港灣中心	港灣環境資訊網 https://www.ihmi.gov.tw/
	中央氣象局	氣象資訊終端處理暨維護中心 https://greenet.cwb.gov.tw/
	中央氣象局	地震測報中心-強地動觀測網 https://seisweb.cwb.gov.tw/zh-tw/page/observationnetwork
	中央氣象局	即時海況 https://opendata.cwb.gov.tw/index
海委會	海洋保育署	航行海象 SAFE SEE https://safesee.cwb.gov.tw/
	海洋學門資料庫	臺灣海象災防環境資訊平台 https://occamint.cwb.gov.tw/V2/
科技部	自然及水環發展司	海洋學門資料庫 http://www.odh.ntu.edu.tw/applications/

資料庫之data介接標準化

(一) 資料取得
 申請登入, 取得授權碼, Web API 請求, 回傳資料, 存入檔案

(二) 資料解析
 XML/JSON, 字串處理, 物件模型, 資料對應, 讀取屬性

(三) 資料貯存
 物件關聯對應技術, .NET Core, 物件模型序列化, JSONB 格式, 存入資料庫

技術規範本文內容

第三章 離岸風力發電廠性能及安全要求
 3.2 離岸風力發電廠審查與驗證
 3.2.1 一般規定
 3.2.2 電壓暫降標準
 3.2.3 電壓恢復標準
 3.2.4 電壓暫升標準
 3.2.5 電壓暫降及恢復標準
 3.2.6 電壓暫升及恢復標準
 3.2.7 電壓暫降及恢復標準

目錄 CONTENTS

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

相關資料集與參考資料

資料集名稱	資料集說明	資料集參數
離岸風力發電廠性能及安全要求	離岸風力發電廠性能及安全要求	電壓暫降標準、電壓恢復標準、電壓暫升標準、電壓暫降及恢復標準、電壓暫升及恢復標準
離岸風力發電廠審查與驗證	離岸風力發電廠審查與驗證	電壓暫降標準、電壓恢復標準、電壓暫升標準、電壓暫降及恢復標準、電壓暫升及恢復標準

資料庫入口首頁

離岸風電場址條件研究資料庫

技術規範文件 | 資料檢索平台 | 整合跨部會資料 | 在地化資訊

資料庫特別服務：參數式查詢/互動式查詢

參數式查詢(制式化查詢)
 ▶ 參數固定、查詢條件固定、查詢模式固定、呈現方式固定
 適用性：
 ▶ 業務單位使用資料方式已固定
 ▶ 提供一般使用者簡便查詢方式

互動式查詢(使用者自訂查詢)
 ▶ 可以使用資料處理語言(Python, R)和系統交談，無固定參數、查詢條件彈性、查詢模式彈性、呈現方式多元
 適用性：
 ▶ 提供多元的資料操作分析與應用方式
 ▶ 可自行研發(分析、製圖、生產文件等)

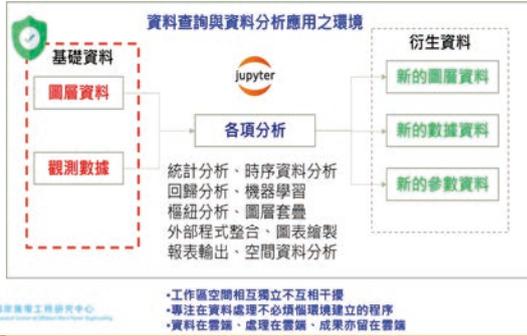
相關技術規範章節

第一章 總則
 第二章 離岸風力發電廠性能及安全要求
 第三章 離岸風力發電廠審查與驗證
 第四章 離岸風力發電廠設計技術規範

基礎資料上線範例

臺中港測風塔-紊流尺度剖面
 氣象局-潮位統計
 臺中港測風塔-風花圖
 氣象局-颱風潮統計

互動式查詢之工作原理



互動式資料實作範例(4/7)

Step 3: 文件化、參數化與系統化

- 模組化分析程序與研究成果
- 拓展模組的通用化與參數化功能，以適用於不同測風塔的觀測資料
- 測試並納入資料庫平台

互動式資料實作範例(1/7)



互動式資料實作範例(5/7)

透過資料庫平台發表相關衍生資料成果，但考量資料授權未定，不提供基礎資料

互動式資料實作範例(2/7)

Step 1: 規劃衍生資料項目

- 以標檢局臺中測風塔的觀測資料為基礎資料
- 以學研計畫 A2-1-2 做為基礎，分析臺中測風塔風的特性
- 取得 Matlab 開發的研究成果，轉譯並納入資料庫系統

平均風速剖面

$$\left(\frac{U_z}{U_g}\right) = \left(\frac{z}{z_g}\right)^\alpha$$

紊流強度剖面

$$I_{wz} = \beta \left(\frac{z}{z_g}\right)^{-\gamma-0.05}$$

紊流積分尺度剖面

$$L_{wz} = \delta \left(\frac{z}{z_g}\right)^\eta$$

紊流風速交頻譜

$$\text{Coh}(r, n) = \exp\left(-k \frac{n-r}{U_g}\right)$$

紊流風速頻譜

$$\frac{n S_{wz}}{\sigma_w^2} = a \left(\frac{n L_{wz}}{U_z}\right) \left(1 + b \left(\frac{n L_{wz}}{U_z}\right)^2\right)^c$$

風花圖

以十分鐘平均風速風向繪製風花圖

Matlab 分析程序

資料庫系統

資料來源：A2-1-2 應用本土化氣象資料庫探討正常及極端風況條件於各載重組合之設定-本土化氣象資料與國際規範設定之風況差異性評估報告，北科大 羅云龍教授主持

互動式資料實作範例(6/7)

Histogram for alpha

平均風速剖面 Alpha 值之分佈狀況

互動式資料實作範例(3/7)

Step 2: 分析工具選擇與重新整合

- 選定以 Apache Parquet 做為資料之貯存技術
- 使用 Python 的 Pandas, NumPy, SciPy，轉譯 Matlab 程式
- 與 Matlab 的分析結果比較與驗證

```

1 import pandas as pd
2 from scipy.optimize import curve_fit
3 from timer import Timer
4
5 def judgemast(df, config, judge_ratio):
6     judge_count = df.shape[1] * judge_ratio
7     return not ((df == 0).sum() > judge_count).any() and \
8             not (df.std() == 0).any() and \
9             not (df.mean() < 3).any()
10
11 def wind_profile(z, alpha):
12     return z**alpha
13
14 def curve_fitting(df, config):
15     mu = df.mean()
    
```

互動式資料實作範例(7/7)

Wind speed spectra for WS38W

a (Qualified:332)

b (Qualified:332)

c (Qualified:332)

結論與建議

TAIPEI TECH

衍生資料發展：

- 基礎資料的加值
- 公開、透明、標準、可重現的分析程序
- 衍生資料簡單的可以是較基本的統計結果；或為較複雜的分析計算結果
- 無論何種型式均不涉及國安議題、公司私有資產與侵害著作權的問題
- 風電發展各階段之應用

使用者訪談：

- 開放的不同階段，不同的使用者的feedback
- 資料庫的基礎資料層面、衍生資料層面
- 徵求示範例

User

- 一般民眾
- 工程師
- 廠商公司
- 政府單位
- 學校
- 法人中心
- 系統管理員
- 資料庫專接

所以歡迎與會的各位先進給我們建議與回饋，讓資料庫系統發揮更高的使用價值

49

經濟部標準檢驗局 TAIPEI 國立臺北科技大學

簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束

QR Code

臺灣離岸風電之設計要點與技術發展

宋裕祺、蘇進國

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

臺灣離岸風電之設計要點與技術發展

主講人：宋裕祺、蘇進國
國立臺北科技大學 離岸風電工程研究中心



經濟部標準檢驗局 TAIPEI 國立臺北科技大學

TAIPEI TECH

前言



4

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

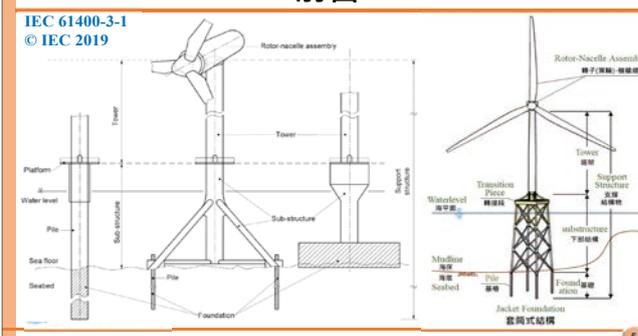
經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH

2

TAIPEI TECH

前言

IEC 61400-3-1 © IEC 2019



5

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH

3

TAIPEI TECH

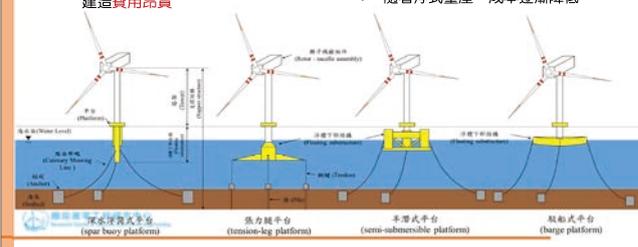
前言

固定式風力機面臨問題

- 近岸淺海區域逐漸飽和
- 50m以上深海區固定式水下基礎建造費用昂貴

浮動式風力機優勢

- 海床漂砂、海床不穩定的影響較小
- 水下施工噪音較小，環境保護意識高
- 隨著浮式壘產量，成本逐漸降低



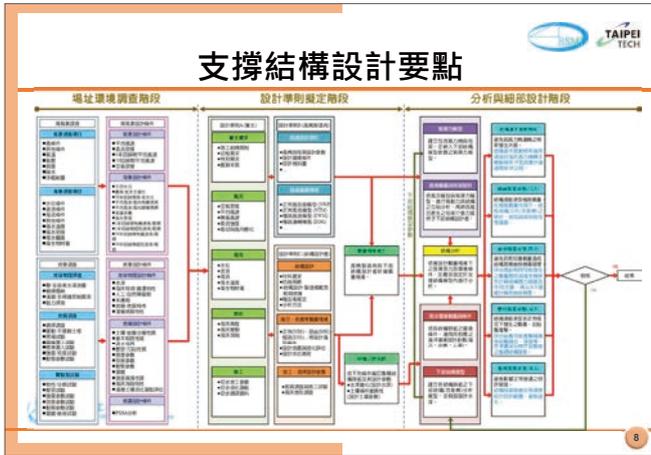
6

目錄
CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

支撐結構設計要點-結構基本振動頻率

● 1P: 風力機輪軸轉動頻率 (Rotor Frequency)
● 3P: 葉片轉動頻率 (Blade Passing Frequency)



支撐結構設計要點-DLC 載重組合

IEC 61400-3-1 © IEC 2019 Table 2 – Design load cases

Design situation	DLC	Wind condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea currents	Water level	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factor	
1) Power production	1.1	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$ rotor-nacelle assembly	NSS	$\theta_r = \theta_w, \theta_{dir} = 0$	COD, UNI	NCM	MSL	For extrapolation of extreme loads on the rotor-nacelle assembly	U	W (1.25)
	1.2	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	NSS	Joint prob. distribution of $\theta_r, \theta_w, \theta_{dir}$	MS, MUL	No currents	NWLR or L MSL		F	*
	1.3	ETM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	NSS	$\theta_r = \theta_w, \theta_{dir} = 0$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	1.4	ECM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$ $F_w = 2 \text{ m/s}, F_r = 2 \text{ m/s}$	NSS	$\theta_r = \theta_w, \theta_{dir} = 0$	MS, wind direction change	NCM	MSL		U	N
	1.5	ETM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	NSS	$\theta_r = \theta_w, \theta_{dir} = 0$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	1.6	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	SSS	$\theta_r = \theta_w, \theta_{dir} = 0$	COD, UNI	NCM	NWLR		U	N

F: Fatigue N: Normal
U: Ultimate strength A: Abnormal
*: partial safety factor for fatigue

支撐結構設計要點

De Valk, P. C. (2013). Accuracy of calculation procedures for offshore wind turbine support structures.

Two industry workflows exist for fixed offshore wind structures:

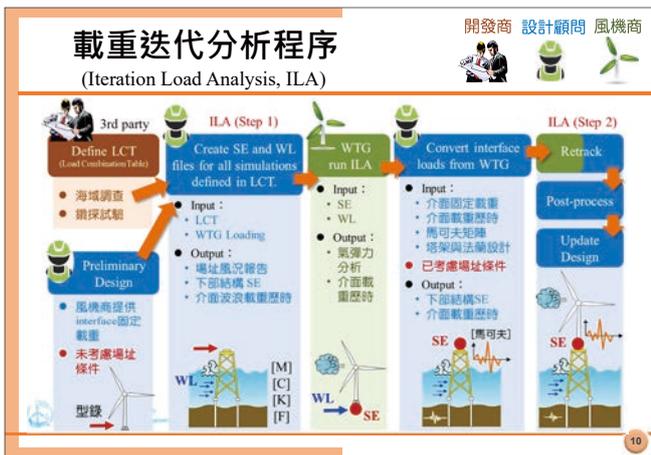
- Integrated design method
- Super element method

Analysis flow: $[M] = [M] + [M]$, $[C] = [C] + [C]$, $[K] = [K] + [K]$, $[F] = [F] + [F]$

支撐結構設計要點-極限程度狀態 (ULS)

設計狀況	DLC	風況	波浪	風與波浪方向	海流	水位	其他條件	分析種類	PSF
(6) 待機狀態或惰轉	6.1	EWM 擾流風速模型 $V_{hub} = V_{ref}$	ESS $H_s = H_{s,0}$	錯位, 多向	ECM $U = U_{s,0}$	極端水位範圍		ULS	N
	6.2	EWM 擾流風速模型 $V_{hub} = V_{ref}$	ESS $H_s = H_{s,0}$	錯位, 多向	ECM $U = U_{s,0}$	極端水位範圍	電網損失	ULS	A

基本參數		離岸風力機等級				
年平均風速		I	II	III	S	
基準風速	V_{ref} (m/s)	10.0	8.5	7.5		由設計者規定之值
	V_{ref} (m/s)	一般	50.0	42.5	37.5	
紊流強度參考值	I_{ref}	A+ (極高紊流特徵類別)	0.18			
		A (較高紊流特徵類別)	0.16			
		B (中等紊流特徵類別)	0.14			
		C (較低紊流特徵類別)	0.12			



支撐結構設計要點-疲勞程度狀態 (FLS)

DNV-RP-C203 (2020) Fatigue Design of Offshore Steel Structures

支撐結構設計要點-疲勞限度狀態 (FLS)

1 DNVGL對於熱點應力有明確規定
DNV-RP-C203 (2020)
Fatigue Design of Offshore Steel Structures

對於鋼樑焊接部位，採用特徵點a、b外推取得

Method A 0.5t and 1.5t
Method B 0.5t

Derivation of hot spot stress for element size larger than $t \times t$

支撐結構設計要點- Code Check

▶ Limit states

State beyond which the structure no longer satisfies the requirements. The following categories of limit states are of relevance for structures:

- ◆ Ultimate limit states (ULS) correspond to the limit of the load-carrying capacity, i.e., to the maximum load-carrying resistance.
- ◆ Fatigue limit states (FLS) possibility of failure due to the cumulative damage effect of cyclic loading.
- ◆ Accidental limit states (ALS) ensure that the structure resists accidental loads and maintain integrity and performance of the structure due to local damage or flooding.
- ◆ Serviceability limit states (SLS) imply deformations in excess of tolerance without exceeding the load-carrying capacity, i.e., they correspond to tolerance criteria applicable to normal use.

DNV-ST-0126: Support structures for wind turbines. 2.4 Limit states

支撐結構設計要點-疲勞限度狀態 (FLS)

▶ Flow chart showing fatigue analysis process

Stress Concentration Factor (SCF)
Nominal Stress (NS)
Hot Spot Stress (HSS)

1 cyclic loading
2 rainflow counting
3 Stress range & cycles
4 S-N Curve
5 Fatigue damage
6 Miner's rule
7 Fatigue limit states (FLS)

usage factor

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

支撐結構設計要點-意外限度狀態 (ALS)

模型建立 → 有限元素軟體分析 → 分析結果輸出

建立有限元素軟體相關分析設定，以進行支撐結構碰撞過程。

分析結果輸出後可察看碰撞所產生之物理量

國際離岸風電技術發展

美國能源署 國家再生能源實驗室 NREL

支撐結構設計要點-服務限度狀態 (SLS)

3.3.1 設計原則 (解說)

表3.3.1-2載重組合、性能及安全要求與檢核項目的組合 (地震)

設計情境	檢核目標	性能及安全要求	檢核項目
載重組合設計情境 地震DLC 9.1至 DLC 9.4	塔架	(1)回歸期95年地震 (SLS) :	極限度狀態 (ULS) (1)構件應力強度
	下部結構	須符合離岸風力機運轉基礎結構永久變位與傾角限制。	極限度狀態 (ULS) (1)構件應力強度 (2)基樁承載力
	基礎	(2)回歸期475年地震 (ULS) : 轉子機艙總成允許損傷，支撐結構保持彈性變形。	使用限度狀態 ^{註1} (SLS) (1)基礎震後變形量

註1：使用限度狀態適用於DLC 9.4之檢核

國內離岸風電技術發展

National Taipei University of Technology
Offshore Wind Power Analysis System

前處理
求解邊界
應力影響矩陣
批處理

自動離岸風機FEM模型建立
轉換段超元素導入
廢除模型修正
土樁互制
超元素矩陣式輸出

多種分析模型
風載重
海洋載重
洋流

應力影響矩陣
自動建立細節子模型
自動DNVGL焊接點位計算與打點
自動化stress influence matrix 輸出

全自動化批次處理

NTUT OWPAS - 模組功能說明

全耦合法

- ✓ 整體模型建立與分析
- ✓ 直接風、波、浪、流、結構等互制關係
- 優點:
 - ✓ 可直接考慮風機整體結構的受力
 - ✓ 分析較為完整

間接耦合法

- ✓ 將上部結構載重透過轉接段
- ✓ 穴額自由度給予力
- 優點:
 - ✓ 不必考慮到風速對結構的影響
 - ✓ 分析較為簡略

NTUT OWPAS 軟體功能說明書 (NTUT OWPAS User Manual) 目錄:

1. INTRODUCTION
2. PREPROCESSOR MODEL GENERATOR & MODIFICATION
 - 2.1 MODEL MODEL GENERATOR
 - 2.2 SET MODEL GENERATOR & SCHEMATIC MODIFICATION
 - 2.3 CONNECTION MODIFICATION
3. STRESS INFLUENCE MATRIX
 - 3.1 CREATE THE STRESS INFLUENCE MATRIX
 - 3.2 VERIFY QUALITY OF THE AIR MODEL
 - 3.3 COMPUTATION FOR INFLUENCE MATRIX
 - 3.4 CHECK AIR MODEL ON SCHEMATIC
 - 3.5 CALCULATE & EXPORT STRESS INFLUENCE MATRIX
4. SOLVE PREPROCESSOR
 - 4.1 MODEL
 - 4.2 TRANSDUCER
 - 4.3 SUPERELEMENT GENERATOR
5. SOLVE PREPROCESSOR
 - 5.1 MODELING
 - 5.2 IMPORTING

NTUT OWPAS - 快速建模 (from Excel)

塔架基本參數

N _層	= 4	層數
LB	= 24	塔底寬度
LT	= 12	塔頂寬度
H	= 65.5	下部結構高度
L _{up}	= 0.01	LOG的厚度
D _{up}	= 6.2	LOG的半徑
Base	= -41	塔底高程
PH	= -45	塔頂高程

1. 主支撐 (Leg) 2. 斜撐 (brace)

NTUT OWPAS - 模組功能說明

1. 不同場址條件不同

2. 上千種載重組合

BEAM (PIPE) 模型建立

模型修正 土橋、腐蝕

海洋環境

分析設定 (風、波、浪、流)

資料輸出與後處理

3D 接頭繪製

銲接特徵點

轉換函數 分析建立

Limit State 規範檢核

優點:

1. 接頭銲接特徵點數量極多
1. 3D 接頭模型難建立
1. 轉移函數流程繁瑣

NTUT OWPAS - 快速建模 (from SACS or Sesam)

NTUT OWPAS - 模組功能說明

Model export from FAST

Model1 Model3 Model2 Model4

NTUT OWPAS

離岸風電模型資料庫 (FAST)

既有模型 ANSYS

樁土互制模型修正

腐蝕管厚修正

分析類型與邊界套用

分析後處理 資料管理

疲勞分析 雨流計次

3D 結構模型匯出

具有上部結構氣動力資料

可分析結構靜態與動態的影響

NTUT OWPAS - Soil Structure Interaction

模型資料前處理

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

q-z 公式定義 API-RP-2A

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{10} \left(\frac{Q}{Q_c} \right) \text{ for } z \leq 0.1D$$

q-z 公式定義 DNVGL-RP-C212

$$q = \frac{1}{2} \gamma_p \frac{z}{D} \text{ for } z \leq 0.1D$$

q-z 公式定義 API-RP-2A

$$Q = \frac{1}{2} \gamma_p \frac{z}{D} \text{ for } z \leq 0.1D$$

NTUT OWPAS - BATCH MODE

模型資料前處理

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

所有模型資訊 載重組合 環境變數 APDL 語法庫 求解執行檔

A_MODEL_DATA B_DLC C_Environment D_MARC_LIB E_COVER

F_JOINT MODEL_COB OUTPUT OWRAL_MAIN.exe OWRAL_MAIN_DLL.exe

3D 接頭轉換函數 FE 模型存放 輸出資料位置 求解啟動器

NTUT OWPAS - Soil Structure Interaction

模型資料前處理

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

P-Y 公式定義 DNVGL-RP-C212

$$p = A \cdot p_u \cdot \tanh \left(\frac{X}{A_p} \cdot y \right)$$

極限側向阻力 $p_u = \frac{C_c X + C_d y^2}{C_c D^2 X}$ for $0 < X \leq X_c$

極限深度 $X_c = \frac{6D}{\gamma' \frac{D}{C_c} + J}$

反力係數定義

NTUT OWPAS - Corrosion Effected

模型資料前處理

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

離岸風機暴露環境分區

套筒式支撐結構腐蝕

31

NTUT OWPAS - Ansys Ocean Load

Wave theories

Kw 波形 (波浪理論):

0. AIRY - Small amplitude Airy wave without modifications (default).
1. WHEELER - Small amplitude wave with Wheeler empirical modification of depth decay function.
2. STOKES - Stokes fifth order wave.
3. STREAMFUNCTION - Stream function wave.
4. RANDOM - Random (but repeatable) combination of linear Airy wave components.
5. SHELLNEWAVE - Shell new wave.
6. CONSTRAINED - Constrained new wave.

規則波 / 不規則波

分析類型

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

35

NTUT OWPAS - Corrosion Analysis

模型資料前處理

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

隨時間改變的腐蝕速率變化

隨高度不同的腐蝕速率變化

風力機暴露環境分區

海洋環境之腐蝕速率

32

NTUT OWPAS - Ansys Biofouling

Marine growth

Marine growth has a number of effects:

- increase in structural diameter and displaced volume
- increase in structural weight
- increase in force coefficients (C_D , T in Morison's Eq)
- increase in hydrodynamic added mass* (C_M in Morison's Eq)
- increase flow stability

OC2ZONE / OCTABLE are used, among others, to specify Marine growth.

Marine growth is implemented as an average thickness addition (of average density) to line bodies named selections as well as local C_D , T and C_M .

分析類型

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

36

NTUT OWPAS - Corrosion Analysis

模型資料前處理

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

結構的每個位置、每個元素，每年截面變化速率與程度均不同

結構斷面厚度隨腐蝕影響減少

33

NTUT OWPAS - Ansys Wave-Current

Wave-current interaction option

當波幅水深較大時，使用的波流耦合修正方式：

0. 在波浪作用方向上，水面下用當前輸入的海流剖面，水面上用最高的海流剖面；
1. 線性拉伸或壓縮
2. 所有的流方向一致
3. Nonlinear stretch or compress the current profile, as recommended in API RP 2A Codes of Practice for Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms

Figure: Velocity Profiles for Wave-Current Interaction

分析類型

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

37

NTUT OWPAS - Analysis Options

分析類型

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

可分析多種類型

- 風載重
- 海洋載重
- 洋流
- 風側面載重...

1st 側-側彎曲 / 1st 前-後彎曲

34

NTUT OWPAS - TP Forces input

分析類型

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

Six degrees of freedom

38

NTUT OWPAS - Super Element

分析類型

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣凍結

39

特徵點自動建立

透過SCDM程式自動特徵點 | 自動化建立過程

- 自動對於斜撐結構建立特徵點
- 可重複打點至所有點位完成
- 特徵點符合DNVGL標準

優點

- 大幅減少人力、時間
- 減少人為失誤
- 不須開啟介面
- 可針對特定管狀接頭進行打點

特徵點完成後結果

43

Stress Influence Matrix, SIM

應力影響矩陣

- 2.1 建立點位資料
- 2.2 3D幾何模型建立
- 2.3 計算特徵點A、B資料
- 2.4 特徵點A、B修正
- 2.5 於3D幾何模型上點特徵點
- 2.6 建立應力影響矩陣

接頭疲勞檢核

- 自動建立細節子模型
- 自動DNVGL銲接點位計算與打點
- 自動化stress influence matrix輸出

40

管狀接頭網格式設置

管狀接頭模擬 & 分析方法

- 自動建立實體元素模擬接頭，未模擬銲道幾何
- 使用泰勒展開近似計算幾何特徵點作為輸出應力之節點
- 於特徵點位置保留節點並由程式自動劃分網格式 & 局部加密

44

熱點應力疲勞損傷量

進行熱點應力疲勞損傷計算

1. 計算a、b兩點應力歷時
2. 以a、b兩點應力計算熱點應力
3. 雨流法計次
4. 採用S-N曲線計算次數
5. 計算疲勞損傷

Hot spot analysis 熱點應力歷時

應力 (Pa) vs 時間 (s)

S-N curve

失效次數N (Number of cycles)

Fatigue Damage 損傷量計算

Polignone-Morrow (Morrow) 法則

$$d_w = \sum N_i$$

$\frac{n_i}{N_i}$ 反覆次數比 (cycle ratio)

$\sum \frac{n_i}{N_i}$ 累積反覆次數比

$D = DFF = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1.0$

41

自動化建立局部結構

單邊/雙邊開槽銲接長度、深度角度之無法自動化建模與分析

銲縫vs銲腳/趾

斜撐與弦桿接合

單側銲接 & 雙側銲接

45

自動化建立局部結構

透過SCDM程式自動建立局部結構 | 自動化建立過程

- 自動判斷為管架或支撐
- 去除多餘模型邊界
- 自動抓取點位

優點

- 節省人力、時間
- 減少人為失誤
- 不須開啟介面
- 可針對特定管狀接頭進行分析

局部結構完成後模型

42

銲道自動化建模

數學推算

控制網格式

元素劃分

掌握座標

迎刃而解

46

自動化網格控制與劃分

管狀接頭模擬 & 分析方法

1. 計算交會樑端
2. 微分計算切線向量
3. 計算平面方程式
4. 平面與交樑交會方程
5. 曲線積分回推定積分上限
6. 定積分上限帶回平面與交樑交會方程
取得特定外延距離座標

管上節點座標系統-計算交會點

由切線向量計算平面方程式

微分計算切線向量

自動化網格控制與劃分

管狀接頭模擬 & 分析方法

1. 計算交會樑端
2. 微分計算切線向量
3. 計算平面方程式
4. 平面與交樑交會方程
5. 曲線積分回推定積分上限
6. 定積分上限帶回平面與交樑交會方程
取得特定外延距離座標

調整座標系減少積分誤差
曲線積分回推定積分上限

Gauss-Legendre integration

帶回平面與交樑交會方程

自動化網格控制與劃分

2021 Webinar: Advanced fatigue analysis of offshore jacket tubular joints

藉此控制銲道、熱點及有限元素局部座標軸

對照組—模型輸出結果比對

實體模型 vs 線模型

採用實體模型取代原本的線模型
可藉由此方法反應出局部3D實體模型的應力反應

建立應力影響矩陣應力歷時計算&驗證

基於結構靜態理論

- 一靜力結構狀態
- 一小變形理論
- 一無考量時間積分效應

特徵點 應力影響矩陣 × 力量歷時矩陣 外力方向力量歷時矩陣 = 力量歷時矩陣 應力與力量歷時關係

分析結果一致!!

建立應力影響矩陣計算&驗證

海外環境資料 → 計算整體結構外力 → 擷取局部結構資料 → 應力損傷計算

Super element

計算程序應力影響矩陣

特徵點 應力影響矩陣

FEM → DSM (Design Structure Matrix)

局部接頭特徵點歷時分析

Solution 1: 既有做法: 以實體元素直接進行動態分析 (所需時間約30-40分鐘)

Solution 2: 現在做法: 以應力影響矩陣(SIM)直接求解 (所需時間 < 1秒)

特徵點 應力影響矩陣 × 力量歷時矩陣 外力方向力量歷時矩陣

優點:

- 不須進行瞬態分析求解 · 時間成本減少
- 可配合不同外力載重
- 分析資料儲存空間小
- 資料彙整快速
- 能夠符合DNV標準 · 與國外廠商接洽

Ex. 1萬組 208.3天 2.78小時 → 5,000 hr. → 10,000 sec.

矩陣相乘的快速演算法 (路特拉斯-Strassen演算法)

Code Check Flow

DTU Passon, P., Branner, K., Larsen, S. E., & Hvenekær Rasmussen, J. (2015). Offshore Wind Turbine Foundation Design. DTU Wind Energy, DTU Wind Energy PhD, No. 0046(EN)

分析流程

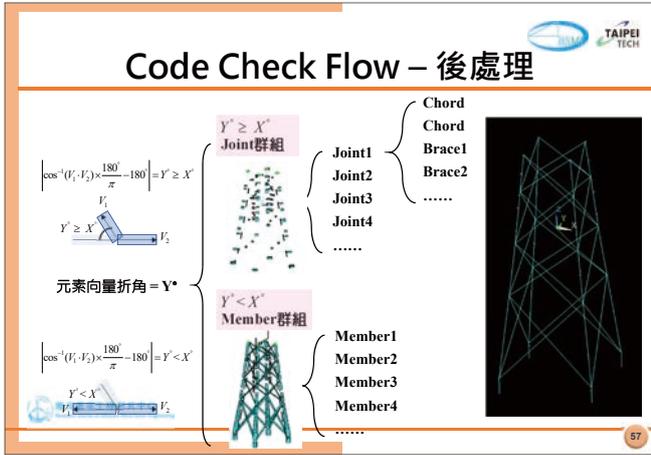
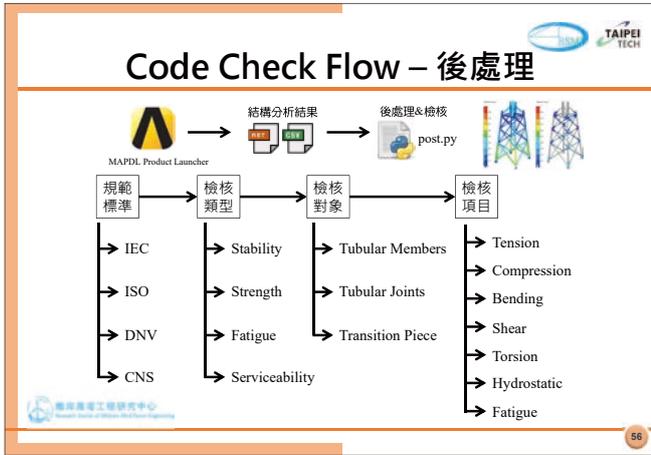
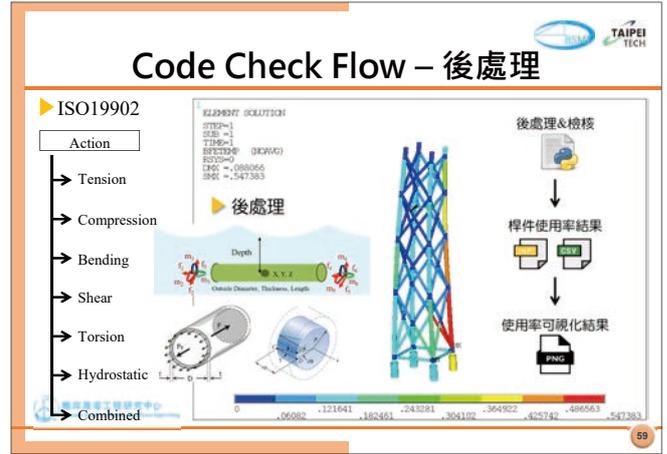
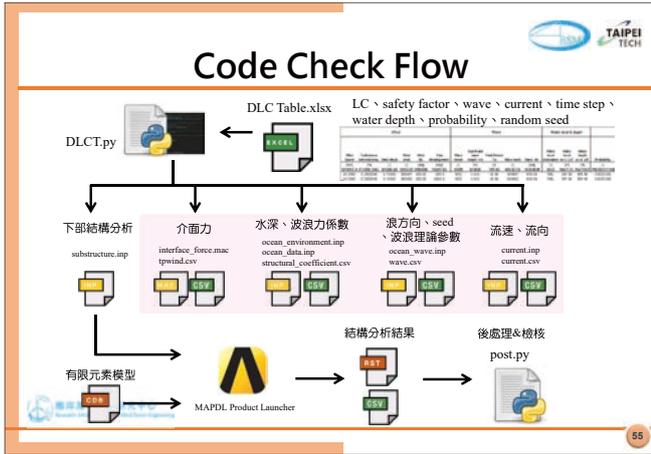
- 決定 DLC 表
- 波浪載重
- 生成下部結構超元素
- 整體結構分析
- 波浪載重、介面力
- 下部結構樑端

Input: Turbulent wind field, Hydrodynamic excitations from waves and currents

Output: Interface response, Hydrodynamic excitations from waves and currents

Input: Turbulent wind field, Hydrodynamic excitations from waves and currents

Output: Interface response, Hydrodynamic excitations from waves and currents



Code Check Flow – 後處理

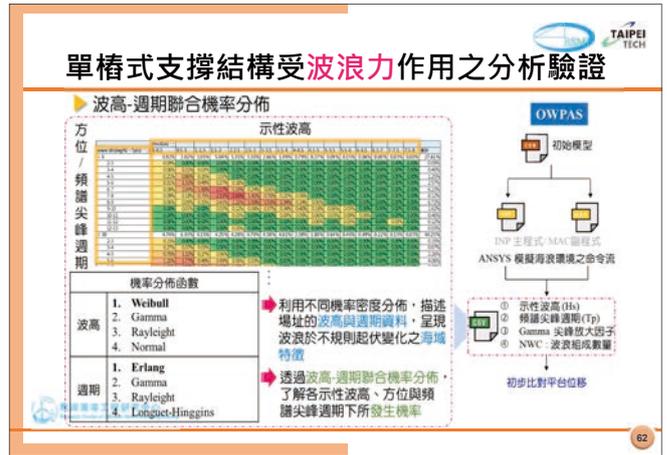
ISO19902 Ultimate limit states (ULS)

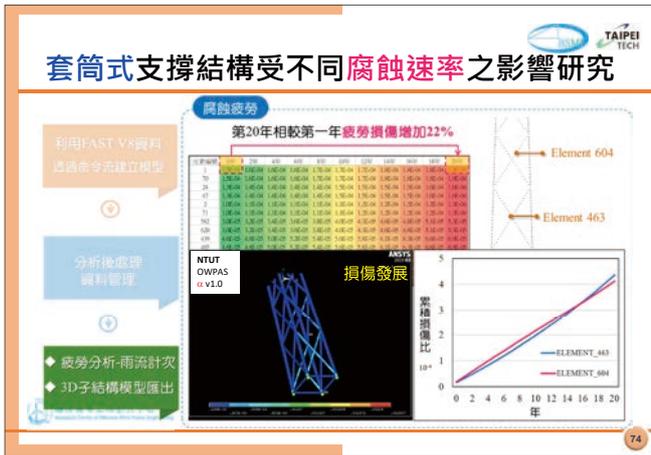
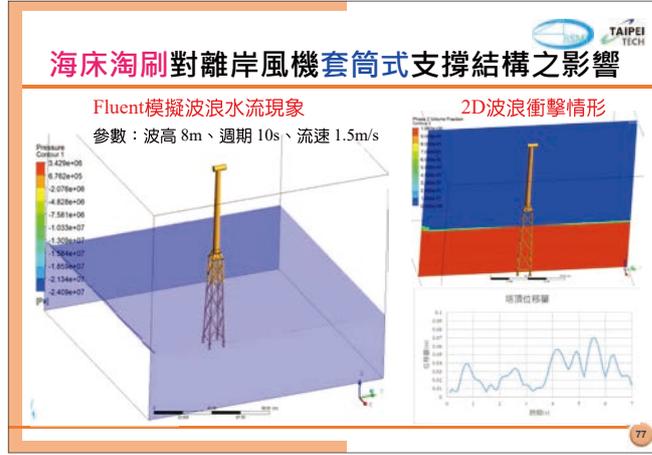
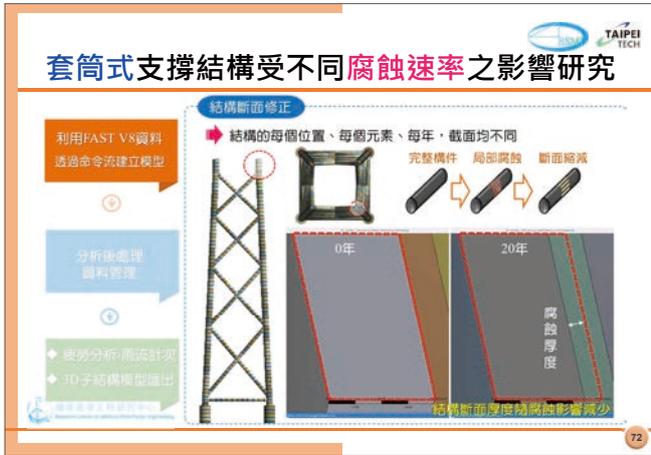
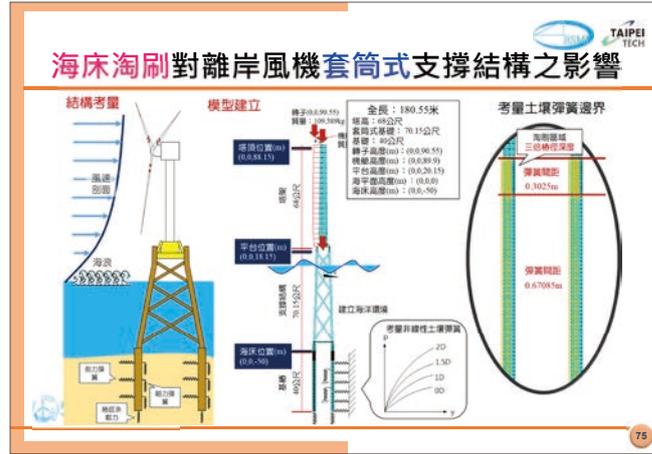
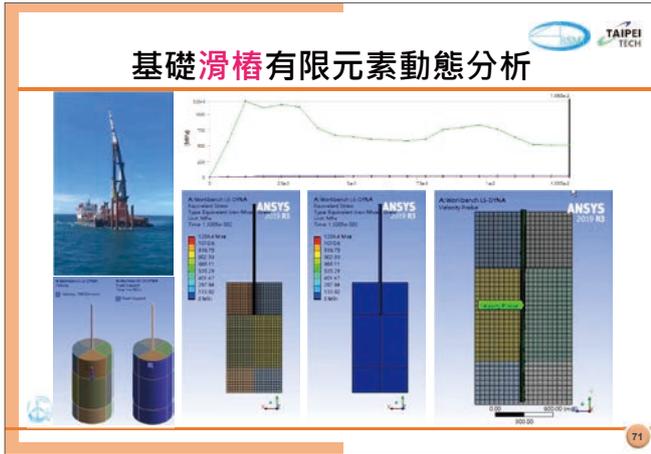
Strength of tubular members $R_d = \frac{1}{\gamma_m} R_k$ R_k : characteristic value of the component resistance γ_m : material factor for the particular component R_d : design resistance

Part	R_k (Axial tension)	R_k (Axial compression)	R_k (Bending)	R_k (Shear)	R_k (Hoop buckling)
1.05	1.05	1.1	1.05	1.05	1.25

13.2 Tubular members subjected to tension, compression, bending, shear, torsion or hydrostatic pressure

13.2.2 Axial tension	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$
13.2.3 Axial compression	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$
13.2.4 Bending	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$
13.2.5.1 Beams shear	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$
13.2.5.2 Torsional shear	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$
13.2.6 Hydrostatic pressure	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$





浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

NREL 5MW Reference Wind Turbine for Offshore System

海水密度	1025 kg/m ³
海域深度	200 m
浮力	1.3989E+8 N
基礎質量	1.3473E+7 kg
基礎重心位置與水面之距離	-13.46 m
基礎重心橫擺(roll)轉動慣量	6.827E+9 kg-m ²
基礎重心縱擺(pitch)轉動慣量	6.827E+9 kg-m ²
基礎重心橫擺(yaw)轉動慣量	1.266E+10 kg-m ²

反應震幅運算子 - Response Amplitude Operator

NREL 5MW 之 RAO 研究結果

運動振幅 / 波浪振幅

北科大 5MW 之 RAO 比較結果

浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

NREL 5MW Reference Wind Turbine for Offshore System 繫纜系統

繫纜數	3
各繫纜之夾角	120°
錨鏈深度	200 m
導纜器深度	14 m
錨距距離基礎中心之平距	837.6 m
繫纜長度	835.5 m
繫纜直徑	0.0766 m
繫纜於水中之等效質量	108.63 kg/m
繫纜等效軸向勁度	756.6 MN
繫纜阻力係數	1.1
繫纜附加質量係數	1.0
海底阻力係數	1.0
繫纜的結構阻尼	2%

附加質量 - Added mass

NREL 5MW Example

Added Mass Matrix Entries

北科大 5MW Analysis result

AWQA Added mass

浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

北科大與國內相關文獻分析結果及 NREL 之比較

總重量	24070kg
機殼重量	40 kg
機架重量	10000kg
機架中心與基礎中心之距離	96m
機架直徑	24000mm
浮筒中心與基礎中心之距離	87 mm
浮筒中心與基礎中心之距離	131700mm
浮筒中心與基礎中心之距離	-13 mm
浮筒中心與基礎中心之距離	4827E+9 kg-m ²
浮筒中心與基礎中心之距離	4.827E+9 kg-m ²
浮筒中心與基礎中心之距離	1.226E+10 kg-m ²
浮筒中心與基礎中心之距離	4826430 mm
浮筒中心與基礎中心之距離	-482700

排水量計算：
 $\rho g V_0 = 1025 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ N/kg} \cdot 13945 \text{ m}^3$
 $F_{40077525 \text{ N}}$

阻尼 - Damping

NREL 5MW Example

Damping Matrix Entries

北科大 5MW Analysis result

AWQA Damping

浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

浮體全域座標系統與六自由度

固定參考軸 (Fixed Reference Axes)

Translational			Rotational (右手定則)		
Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
縱移	橫移	起伏	橫搖	縱搖	偏航

自然衰減反應 - Free decay

NREL 5MW Example

北科大 5MW Analysis result

NREL 5MW Reference OWT -共振探討

結構共振與 RAO 有關

AGWA Surge RAO
AGWA Heave RAO
AGWA Pitch RAO

Peak 1 Peak 2
Surge, Heave Pitch

Wind
Heave
Yaw
Surge
Pitch
Sway
Roll

87

附加質量 -Added mass

IEA 15MW 之附加質量研究結果

IEA 15MW 之附加質量研究結果

NCUA 15MW 之附加質量研究結果

91

浮動式風力機發展 -15 MW

NREL unveils IEA 15-MW Reference Wind Turbine

240 m
150 m
15MW

200m
837.6m 418.8m

98

阻尼 -Damping

IEA 15MW 之阻尼研究結果

IEA 15MW 之阻尼研究結果

NCUA 15MW 之阻尼研究結果

92

浮動式風力機發展 -15 MW

北科大 15MW 浮式基礎與繫纜模型建置

Front view Top view Side view

837.6 m 418.8 m
150 m 725.4 m
Anchor 2
Anchor 1
Cable 1
Cable 2

98

自然衰減反應 -Free decay

IEA 15MW 自由衰減研究

Surge and Sway Free Decay at SB
Heave Free Decay at SB
Roll and Pitch Free Decay at SB

7.73% 7.61%
2.87% 28.3%
28.6% 28.2%

93

反應震幅運算子 -Response Amplitude Operator

IEA 之 RAO 研究結果

IEA 之 RAO 研究結果

北科大 15MW 之 RAO 比較結果

90

自然衰減反應 -Free decay

IEA 15MW 自由衰減研究

Yaw Free Decay at SB

6.22%

剛體運動之自然頻率比對結果

Rigid-Body Modal	IEA Natural Frequencies	TAIPEI TECH Natural Frequencies	Error rate
Surge	0.007 Hz	0.007 Hz	0%
Sway	0.007 Hz	0.007 Hz	0%
Heave	0.049 Hz	0.047 Hz	4%
Roll	0.036 Hz	0.037 Hz	2.7%
Pitch	0.036 Hz	0.037 Hz	2.7%
Yaw	0.011 Hz	0.011 Hz	0%

94

塔架模態 - Tower mode

NREL 15MW Example

Parameter	Symbol	Value	Units
Young's Modulus	E	200e11	Pascals (Pa)
Shear Modulus	G	79.3e10	Pa
Density	ρ	7850	kg/m ³

Parameter Value
 Downwind, vertical distance from tower top to nacelle CM 146.21, 3.45[m]
 Nacelle mass 1,070,000 kg
 Nacelle inertia around CM, xib 7.55851e+06 kg·m²
 Nacelle inertia around CM, yib 7.90062e+06 kg·m²
 Nacelle inertia around CM, zib 1.013478e+07 kg·m²
 Downwind, vertical distance from tower top to generator 146.23 m, 4.474[m]
 Generator inertia around shaft 1.71593e+07 kg·m²
 Downwind, vertical distance from tower top to hub CM 111.32 m, 5.0[m]
 Hub mass 1.78832e+05 kg
 Hub inertia around shaft 2.22798e+05 kg·m²

TaipeiTech 15MW Analysis result

	1 st SS	1 st FA
IEA Tower mode	0.483 Hz	0.496 Hz
TAIPEI TECH Tower mode	0.48236 Hz	0.48464 Hz
Error rate	0.13 %	2.29 %

繫纜強度檢核 - 最佳化與敏感度分析

浮式風機反應特性探討

繫纜長度固定

繫纜深度越深 繫纜張力越高

繫纜長度越長 繫纜張力越低

繫纜深度不同 繫纜張力、繫纜長度、繫纜張力

繫纜長度固定 繫纜長度越長 繫纜張力越低

繫纜張力檢核

繫纜最大張力 (kN)

深度 (m)

繫纜長度 (m)

下部結構浮體加勁設計

浮筒底部

TP段

載重及DNV對鋼之規定

載重	代號	許容應力 (MPa)
一般強度	S5	235
高強度	H5	275
超強度	E55	420

IEA 15 MW - 浮動式風力機結構加勁設計

Max stress (MPa)

Frequency (Hz)

未加勁 一 載台加勁 一 塔架加勁

載台加勁 77.7 %
塔架、導管加勁 82.2 %

載台加勁 66.6 %
塔架、導管加勁 80.8 %

下部結構浮體加勁設計

UC, MC, BC, UC & MC

Max stress (MPa)

Frequency (Hz)

於BC處不再具數之應力比較

避免BC處加勁板與導管接合處重疊

時域波浪水壓變化

IEA 15 MW - ABS 載重組合規定 → Code check

Working Stress Design (WSD) Approach

$$F_{allowable} = F_y / C_{SF}$$

Safety Factor	For axial or bending stress	Designated		
		N	A	T
1.5	For axial or bending stress	1.5	1.25	1.67
	For shear stress	2.5	2.0	2.75

Load and Resistance Factor Design (LRFD) Approach

Partial Safety Factors (γ_f) for Environmental Loads

Normal (N)	Abnormal (A)	Temporary (T)
1.35	1.1	1.5

繫纜強度檢核 - 國際規範訂定之載重組合

適當懸垂比例 提供繫纜重力

DNV-OS-301 不同繫纜等級之斷裂測試載重

Grade	Proof test load (kN)	Break test load (kN)
Grade NV R3 (Chain links with studs)	0.0150 · d ² · (44.0-08.0)	0.0215 · d ² · (44.0-08.0)
Grade NV R3S (Chain links with studs)	0.0180 · d ² · (44.0-08.0)	0.0240 · d ² · (44.0-08.0)
Grade NV R4 (Chain links with studs)	0.0210 · d ² · (44.0-08.0)	0.0270 · d ² · (44.0-08.0)
Grade NV R3 (Cylinder chain links)	0.0150 · d ² · (44.0-08.0)	0.0215 · d ² · (44.0-08.0)
Grade NV R3S (Cylinder chain links)	0.0174 · d ² · (44.0-08.0)	0.0239 · d ² · (44.0-08.0)
Grade NV R4 (Cylinder chain links)	0.0210 · d ² · (44.0-08.0)	0.0270 · d ² · (44.0-08.0)

離岸風機支撐結構碰撞分析研究

模型建立

有限元素軟體分析

實體元素 殼元素 梁元素

分析結果輸出

碰撞移動

碰撞量

建立有限元素軟體相關分析設定，以進行支撐結構碰撞過程。

分析結果輸出後可觀察碰撞所產生之物理量。

離岸風機支撐結構碰撞分析研究

TAIPEI TECH
財團法人中研院海洋及海岸研究中心
Classification Society

模型結構考量

Component
 - Kinetic Energy
 - Potential Energy
 - Total Energy

動量、能量守恆定理
 總能量不變，船體以4m/s之速度將動能轉換成支撐結構凹陷之位能。

- 無自重設定
- 無考慮水的影響
- 船體速度為4m/s

103

風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

	NWP	NTM	EWM (steady)	EWM (turbulence)	EOG	ETM	EDC	ECD	EWS
風速剖面	○	×	○	○	○	○	○	○	○
擾動風速, σ	×	○	×	○	×	○	○	×	×
風向角改變	×	×	×	×	×	×	○	○	×
有特定風速變化曲線	×	×	×	×	×	×	○	○	○
可採用風洞型式	複數風洞	邊界層風洞	複數風洞	邊界層風洞	複數風洞	邊界層風洞	複數風洞	複數風洞	複數風洞

107

離岸風機支撐結構碰撞分析研究

TAIPEI TECH
財團法人中研院海洋及海岸研究中心
Classification Society

4 m/s 與 6 m/s 船速撞擊套筒式支撐結構之力與位移韌度曲線

船體與支撐結構力與凹陷量比對

當管狀構件的材料與尺寸皆相同時

- 船速行駛速度越快，撞擊所造成的力與位移韌度曲線越陡
- 套筒式支撐結構吸收的能量較多

104

風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

NREL 5MW 風機 1/150 縮尺模型

3D 列印風機元件 風機塔柱及機艙 扇葉及軸殼

NTM 風況下之風力機風力量測試

ETM 風況下之風力機風力量測試

108

離岸風機支撐結構碰撞分析研究

TAIPEI TECH
財團法人中研院海洋及海岸研究中心
Classification Society

分析與規範定義比較

速度影響力與位移之比對情形

NORSOK N-004

- 基於延遲性設計
- 假設船體為完全剛性
- 管狀構件未加勁
- 推估較為保守

有限元素動態分析

- 以實際材料進行動態分析
- 考量船舶與支撐結構間之能量相互作用關係
- 與 NORSOK N-004 之發展趨勢一致

$R =$ 支撐結構抵抗力; $R_s =$ 特徵強度因子
 $N_{sd} =$ 設計軸壓力; $N_{Rd} =$ 容許軸壓力
 $b =$ 接觸的寬度; $w_d =$ 支撐結構凹陷量; $D =$ 管架直徑

105

風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

- 淡江大學風工程研究中心第一號大氣邊界層風洞實驗室模擬，12公尺、斷面寬2.2公尺、高1.8公尺(為真實風場之150倍縮尺)，其中 $D=0.2$ m。
- 最大網格尺寸為0.03 m、最小網格尺寸為0.001 m，而總網格數為3,277,386。

109

風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

複數風扇

106

風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

可轉動式風力機模型於IEC風況條件下之風力機整體風載重計算與實驗風洞之驗證

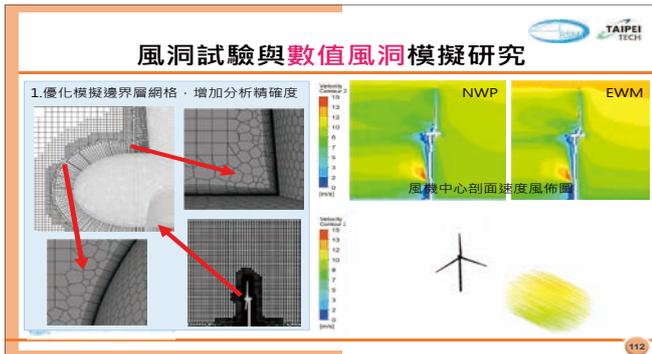
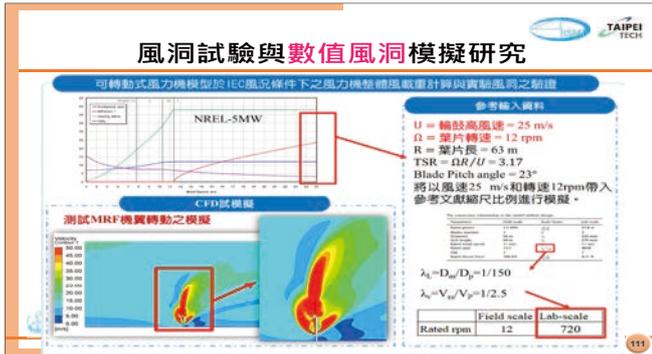
可轉動式風力機模型網格構建

改善網格品質後網格構建如下圖所示，總網格數為1112萬。

風機模型區域網格示意圖

風機旋轉區域網格示意圖

110



目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

結論與建議

研析離岸風電國際工程設計規範

IEC, ISO, NORSOK, API, ABS, AWEA, DNV

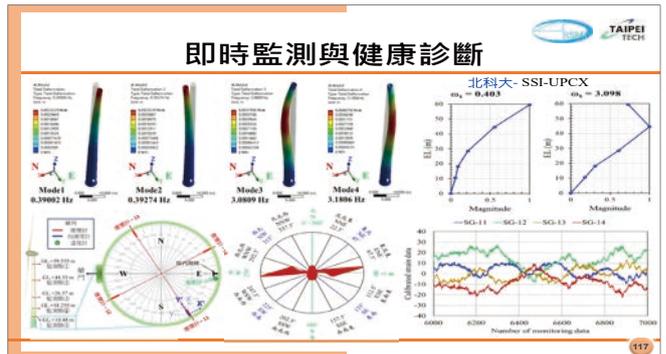
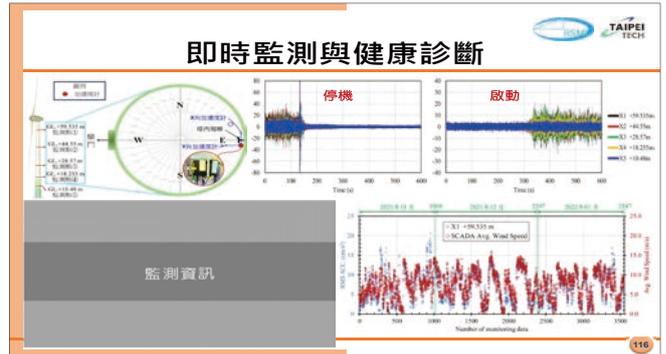
國內離岸風電場址調查資料庫

DB server

精進支撐結構設計與分析能量 → 檢視規範要求

案例分析與比對

單槽式 波浪力, 流固耦合	套筒式 腐蝕影響, 海床淘刷	浮動式 RAO, 加勁分析
船舶碰撞 Chord, 靠船樁	風洞試驗 本土風況, 風力機實驗	數值風洞 風場模擬, 受力比對



研發與技術能量

Po-Hung Liu, I-Yan Chen, Xiao-Qin Liu, Chin-Kuo Su, Chi-Wei Hsu, Dzong-Chwang Dzeng, Yu-Chi Sung. "Stress influence matrix on hot spot stress analysis for welded tubular joint in offshore jacket structure". Ocean Engineering 251 (2022) 111103.

- 由整體結構 (Beam-column Elements) 到局部接頭 3D 模型 (Solid Elements) 的建立僅須 30 ~ 40 分鐘，其中最複雜的工作是在處理的熱點網格之建立，藉由幾何空間的數學運算，予以有效解決。
- 提出以 gSIM 理論解決接頭熱點應動力應時分析所需的耗時困擾文中以單一 DLC 為例，依照傳統動力應時分析須要 13.52 小時，但使用 gSIM 方法僅須 10 秒鐘，二者的分析結果幾乎完全一致。

研發與努力方針

局部結構資料

接頭應力影響矩陣

應力損傷計算

特徵點 應力影響矩陣

$d_w = \sum \frac{N_i}{N_{fi}}$

技術規範(草案)及研發能量之貢獻

負責項目 離岸風電工程研究中心 - 研訂技術規範(草案) - 審閱意見回復與修訂 - 強化國內設計能量	政府(驗證審查) - 釐清設計流程 - 彙整本土議題 - 官方溝通平台 - 發展關鍵技術	設計者 - 設計技術推廣 - 修文原意說明 - 研發評估工具 - 製作示範案例
開發商 - 明列簽證文件 - 各類審查依據 - 官方溝通平台 - 特殊案例研究	風機製造商 - 本土環境研究 - 歷史資訊查詢 - 塔架模擬分析 - 支撐結構監測	第三方驗證單位 - 在地政府要求 - 共同制定草案 - 攜手守護安全 - 國際研發能量

簡報結束



臺北市因應氣候變遷之防洪調適策略

Climate Change Adaptation Strategies in Taipei with Focus on Flood Protection

余世凱／臺北市政府工務局 副工程司
劉柏廷／臺北市政府工務局水利工程處 科長
林洙宏／臺北市政府工務局 科長
張凱堯／臺北市政府工務局水利工程處 總工程司
陳郭正／臺北市政府工務局水利工程處 處長
林志峯／臺北市政府工務局 局長
彭振聲／臺北市政府 副市長

隨著工業發展與人類高度開發，全球暖化與氣候變遷日益加劇，相關議題逐漸受到各國關注，近年全球氣候變遷引發的極端事件如強降雨、洪氾、土石流，甚至是乾旱，以及長期趨勢性的干擾如氣候暖化、海平面上升等為各大都市地區帶來前所未有的挑戰，而「水」是這些氣候變異現象最主要影響媒介，其中「都市型洪災」是此極端氣候所造成最具挑戰性的衝擊之一，對應之調適策略亦因應而生。我國首都臺北市亦不例外，都市高度開發猶如不透水的水泥叢林，衍生包括都市熱島效應、短延時強降雨之洪澇災害、水資源供給風險等。在聯合國永續發展目標趨勢下，臺北市以海綿城市理念做為都市水環境政策的核心，更以「韌性水調適」為首要以「提升防洪容受度」為優先目標，除透過設置綠色基礎設施外，強化基礎防洪排水能力、落實公私協力自主防災、E化管理科技防災，以及與水共生之人本永續水環境生態美學營造，達到降低都市型洪災對於環境之衝擊影響，臺北市作為首善之都將以 2030 各項氣候行動為軸心，啟動城市轉型的起點和利基，逐步達成 2050 淨零排放願景。

關鍵字：都市型洪災、熱島效應、短延時強降雨、海綿城市、韌性水調適、氣候行動、淨零排放

前言

臺北市三面環山，位於北緯 25 度，地屬亞熱帶之臺北盆地，基隆河橫貫其中，西有淡水河，南有其支流新店溪、景美溪等與新北市為鄰（圖 1）。夏季易因盆地不易散熱，使市區熱島效應較周圍高出攝氏 1~2 度，併常伴隨劇烈之午後雷陣雨^[1]，面對氣候變遷之極端事件，由於受限於都市高度發展，土地空間尋求不易，根據行政院主計總處 2022 年 3 月統計資料顯示^[2]，臺北市人口密度每平方公里 9,161 人，若扣除境內約 55% 的山坡地，則於平地都會區之人口密度每平方公里超過

2 萬人，與國際主要都會區人口密度相較名列前茅^[3]。於此高度開發人口稠密寸土寸金的都會區，高樓建築林立、不透水的道路廣場鋪面隨處可見，都市透水保水能力不足熱島效應顯著，面對近期氣候變遷極端降雨挑戰，積淹水風險亦隨之增加；由於降雨分布不均、都市水資源涵養不足，衍生長期水資源穩定潛在風險，均使得本市水環境之發展與治理極具挑戰；另於生態及永續發展趨勢下，營造市民多元親水空間以及復育水環境生態棲地，成為臺北市水環境發展之重要課題。

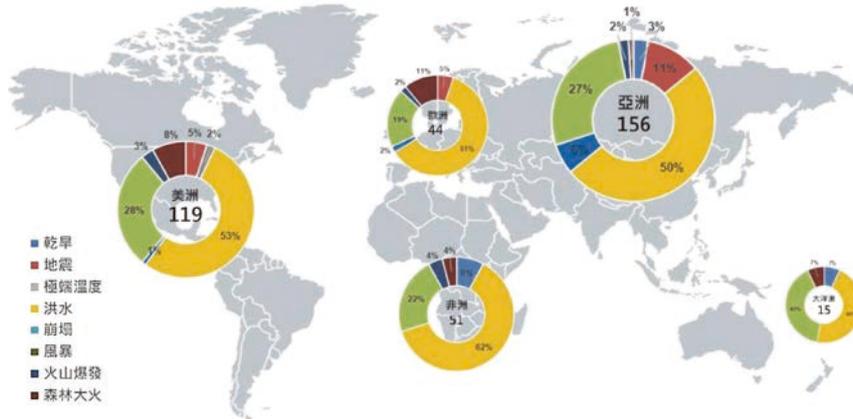


圖 2 2021 年全球天然災害統計 [4]

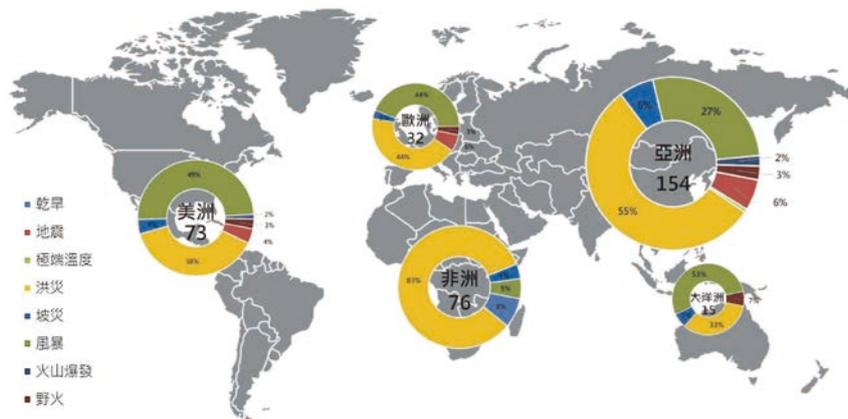


圖 3 2020 年全球天然災害統計 [4]

表 1 2021 及 2020 年氣候致災影響下死亡人數排序

2021 年 EM-DAT 統計氣候致災影響下死亡人數排序				
排序	時間	國家	致災類型	死亡人數
1	6/1 ~ 9/30	印度	洪水	1,083
2	6/26 ~ 7/27	加拿大	極端天氣 - 熱浪	808
3	12/16 ~ 12-17	菲律賓	颱風 - 雷伊	384
4	6/1 ~ 8/30	中國	洪水	352
5	7/28 ~ 7/29	阿富汗	洪水	260
6	1/31 ~ 9/30	美國	極端天氣 - 熱浪	229
7	4/2 ~ 4/6	印尼	氣旋 - 塞洛亞	226
8	7/12 ~ 7/15	美國	洪水	205
2020 年 EM-DAT 統計氣候致災影響下死亡人數排序				
1	6/1 ~ 8/16	印度	季風降雨 - 洪災	1,925
2	6/15 ~ 7/30	尼泊爾	大雨 - 洪災	448
3	8/1 ~ 8/26	巴基斯坦	季風降雨 - 洪災	410
4	3/24 ~ 5/31	肯亞	大雨 - 洪災	285
5	6/1 ~ 9/3	中國	季風降雨 - 洪災	271
6	10/6 ~ 11/3	越南	風暴 - 蓮花颱風	243
7	8/25 ~ 9/4	阿富汗	大雨 - 洪災	212
8	6/1 ~ 7/3	印度	季風降雨 - 洪災	186
9	7/1 ~ 7/2	緬甸	大雨 - 洪災	172
10	6/1 ~ 9/9	蘇丹	大雨 - 洪災	155
	6/24 ~ 10/31	奈及利亞	大雨 - 洪災	155

氣候變遷下本市強降雨紀錄及影響

臺灣極端降雨日益增多，IPCC 組織於 2021 年 8 月 9 日公布第六次評估報告指出^[8]，臺灣年最大 1 日暴雨強度有增加趨勢。最劣情境 (SSP5-8.5) 下，21 世紀中、末平均年最大 1 日暴雨強度增加幅度約為 20%、41.3% (圖 4)，為了解臺北市於氣候變遷影響下

降雨型態變化之趨勢，臺北市以記錄最長之臺北站為代表雨量站^[9]，分析自 1961 至 2020 年之歷年年總降雨量 (圖 5)、年總降雨延時 (圖 6) 和年平均降雨強度變化 (圖 7)，由圖可知，年總降雨量僅微幅成長，而年總降雨延時卻大幅減少，造成年平均降雨強度顯著增加，符合近幾年短延時強降雨事件增加之趨勢。

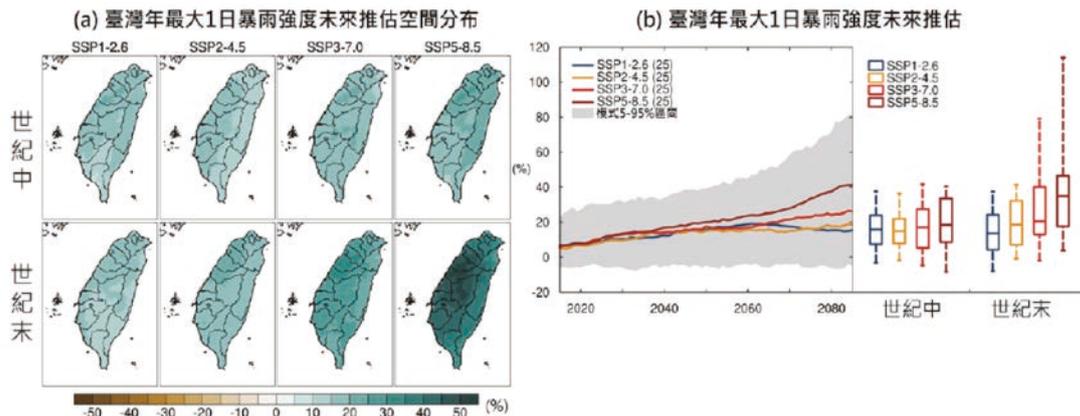


圖 4 極端降雨與淹水發生機率未來變化趨勢^[8]

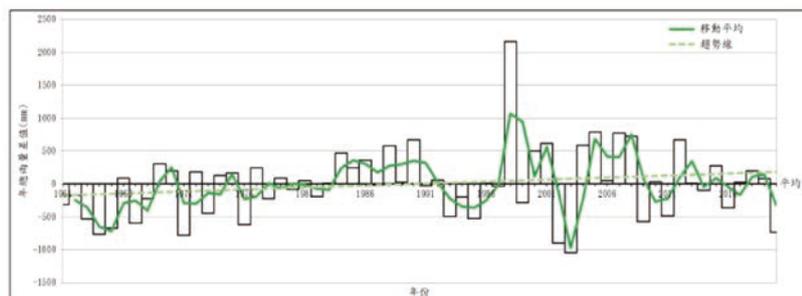


圖 5 1961 至 2020 年總雨量趨勢分析^[9]

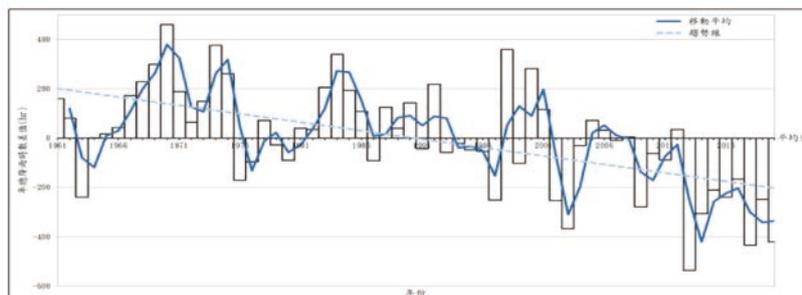


圖 6 1961 至 2020 年總降雨時數趨勢分析^[9]

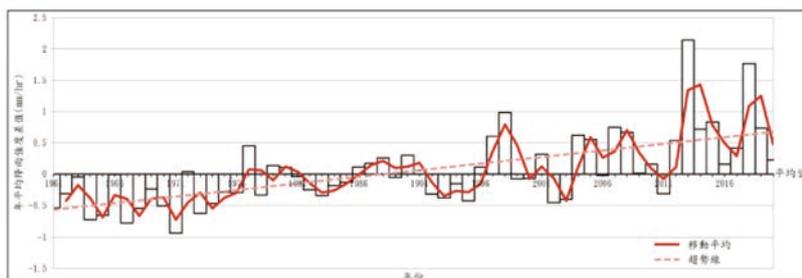


圖 7 1961 至 2020 年平均降雨強度趨勢分析^[9]

臺北市防洪策略演進與調適

臺北市防洪排水建設半世紀來，歷經萌芽、規劃、興建及管理期等階段，因應社經環境的變遷及水利資訊科技的進步，無論是系統規劃、設計理念及管理方式均有顯著改變，由於防洪建設影響民生甚鉅^[10]，經濟部於 1973 年訂定「臺北地區防洪計畫」，採用 200 年重現期洪水為堤防保護設計標準，主要工程為沿淡水河及其支流兩岸興建及加高堤防，並開闢二重疏洪道，以分洪方法疏解新店溪及大漢溪之洪流；另外基隆河截彎取直於 1996 年完工，共開闢新河槽四處、整治河道 12.1 公里長、新建或加高兩岸堤防、新建抽水站 10 處等，有助於洪峰之渲洩；而針對內水部份，臺北市於 1969 年訂定雨水下水道設計標準，雨水下水道系統及抽水站設計抽水容量採用 5 年重現期之設計標準，2001 年重新檢討雨水下水道設施標準，2002 年發展雨水下水道地理資訊系統，朝資訊化管理新紀元邁進。由於全球氣候變遷，降雨延時更短且強度更強，加上都市化效應使地表逕流量增加，集流時間更短，致颱風災情較以往嚴重，順應民眾對排水服務殷切需求，於 2003 年執行總合治水對策規劃，以突破興建雨水下水道設施所需空間的限制及環境生態基本要求。另外 2015 自柯市長上任後，在長期推動總合治水都市防洪安全基礎上，以永續臺北海綿城市作為水環境政策藍圖，將都會區水環境帶入另一個嶄新的階段。海綿城市政策係以「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」勾勒出臺北市未來願景，共同打造臺北成為安全、永續、生態的海綿城市。

臺北市海綿城市計畫^[11]

海綿城市計畫透過工程面、管理面、法制面相關措施，並納入開放政府、民眾參與及公私協力等理念，接軌國際 SDGs 永續指標趨勢，以「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」3 大願景及「健全都市水循環」、「提升防洪容受度」、「多元活絡水利用」、「穩定供水有效用水」、「生態多樣水棲地」、「豐富魅力水遊憩」6 大推動目標為努力方針，勾勒出臺北市水環境願景藍圖（圖 8）。

願景一、韌性水調適

「韌性水調適」願景以「健全都市水循環」、「提升防洪容受度」為二大推動目標。



圖 8 臺北市水環境願景藍圖

健全都市水循環以公私部門增設綠色基礎設施方式，主要為提升都市保水能力，調節都市微氣候，亦可協助削減降雨初期地表逕流，如透過人行道、公園廣場、校園、停車場等廣設透水鋪面，以及增加城市綠化、田園城市、綠屋頂推廣等，2015 至 2021 年間施作本市公共設施透水鋪面 31 萬 6,790 m²，綠資源面積增加 74 萬 6,708 m²，另外透過立法落實公私部門之新建基地綠化要求，以及針對既有建築社區、閒置空地之獎補助，透過「臺北市綠建築自治條例」、「臺北市新建建築物綠化實施規則」、「臺北市建築管理工程處補助社區既有建築物之綠建築或智慧建築改善作業須知」等，達到全民綠化風氣之落實。

提升防洪容受度採都市流域規劃（Urban Watershed Management）理念，於一定程度上採取工程手段持續提升防洪排水保護標準，如「文山區整體排水改善計畫」、「內湖區金瑞治水園區」等，迄今已增加超過約 21 萬 5,000 m³ 滯洪調洪量；另透過立法等措施促進公私協力防災，訂定「臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準」，全市開發單元皆需設置雨水流出抑制設施，自 2013 年迄今已審查通過達 28 萬 3,962 m³ 保水量。

願景二、永續水利用

「永續水利用」的願景以「多元活絡水利用」及「穩定供水有效用水」為二大推動目標。

多元活絡水利用著重於水資源的有效儲存及再利用，自 2015 年公園及校園迄今已推動約 6,289 m³ 之雨撲滿容量。另配合再生水資源發展條例公布施行，持續推動污水處理升級及再生水水質水量提升計畫。

穩定供水有效用水透過「水庫集水區保育治理」及「水庫更新改善及淤積處理」之推動，以減少集水區泥砂入庫量及以設置防淤設施排除入庫部分泥砂、降低水庫淤積量及維持供水機能，達到水庫永續利用；另外也透過「水源調度及備援系統提升」及「翡翠水庫專管及板二計畫」、「自來水管線更新汰換」、智慧水表、節水教育宣導、直飲台推廣等工作之推動，進一步穩定供水有效用水。

願景三、友善水環境

「友善水環境」的願景以「生態多樣水棲地」及「豐富魅力水遊憩」為二大推動目標。

生態多樣水棲地的推動重點包含濕地規劃與生態監測調查、棲地營造等，如2015年完成金瑞治水園區工程及2018年底完成「臺北市士林區士林官邸旁明溝生態改善工程」，同時兼顧防洪及水域環境生態棲地保育，民眾可於溪溝生態探索及親水遊憩。

豐富魅力水遊憩每年辦理水岸河域亮點活動如每年舉辦水岸嘉年華、大稻埕情人節、河岸音樂季、城市馬拉松、河岸童樂會等及藍色公路主題導覽，2015年迄今已累積超過485萬人次參與。

海綿城市－防洪韌性推動成果

因應氣候變遷衍生極端降雨議題，在首要願景「韌性水調適」下，進行防洪調適策略及相關作為，除透過設置相關綠色基礎設施外，以「提升防洪容受度」目標，強化基礎防洪排水設施能力、落實公私協力自

主防災、E化管理科技防災，以及與水共生之人本永續水環境生態美學營造，達到降低都市型洪災對於環境之衝擊影響。

防洪設施能力之提升

文山區五大排水改善工程^[12]

以流域整體規劃，透過分流、滯洪及導洪等對策、下游採取築堤防洪動力抽排水方式規劃(圖9)，包括中游興建「福興路排水分流新建工程」，以潛盾工法打造管徑2.8公尺長631公尺之分洪渠道，搭配「興隆路3段304巷排水分流及側溝擴建工程」、「辛亥生態公園滯洪池新建工程」地面為共融式生態公園，地下則設置容量46,000 m³滯洪池、「文山運動中心北側用地滯洪池新建工程」設置地下滯洪量6,000 m³、以及下游「景美抽水站機組增設工程」提升總抽水容量達86 cms，完工後歷經颱風及強降雨事件，皆有效發揮滯洪功能，提升整體排水保護標準，有效降低文山地區長年水患風險。

抽水站設備更新及新建

為維持抽水站抽排水最佳效能，臺北市自2015至2022年持續推動全市抽水站設備更新及改善工程，第一至三期工程，總計更新迪化、忠孝、雙園、劍潭、奇岩、林森、士林、社臨九、錦州、道南與埤腹等22座抽水站設備，抽水量總共提升至40.85 cms，第四期工程預計於2022年至2026年辦理濱江、成功、大直、忠孝、福德等5座抽水站設備更新及改善工程，總抽水量為104 cms；另外2020年12月14日完成大



圖9 文山區五大排水改善工程

直二抽水站新建工程，增加抽排水能力 20 cms，紓解大直地區長年易積水問題；民生及士林抽水站抽水機組更新工程於 2021 年 9 月 15 日完工，增加抽排容量達 55 cms，解決赤峰街地勢低窪長年易積淹情形，大大降低積水瓶頸區之水患之苦。

落實水利建造物檢查

臺北市政府於每年 11 月中旬即開始投入大量人力，全面檢查所轄管河川、區域排水沿線的各項水利建造物，包括 88 座抽水站、418 部抽水機組、61 座沉砂池、4 座調洪池、111 公里的堤防、36 座疏散門、1,158 座閘（閥）門及 3 座防洪陸閘，翌年 1 月底前，分階段完成初檢及抽查，並於汛期前完成複檢工作，以利儘早發現缺失，確保防洪設施正常運作。為強化整體應變機制，增強災情掌握及橫向聯繫功能，每年辦理水災災害無預警演習，並於汛期前即啟動防汛整備工作，辦理水災防汛演習（圖 10 和圖 11），項目包含抽水站自動化操作、疏散門啟閉、12 英吋及 4 英吋移動式抽水機組操作等，透過平時紮實的整備工作，加上汛期前的防汛演練，確保北市各項防汛設施的安全性及防災動員能力，以保障市民生命財產安全。



圖 10 水災防汛搶險演習



圖 11 防水擋板及抽水機演練

下水道延壽計畫

積極推動雨水下水道維護工作，自 1995 年起約每 10 年完成 1 次全市雨水下水道的縱走調查，並建立雨水下水道地理資訊系統（GIS）作為管理依據；考量系統建立後已經歷多項重大工程，部分現況有變化，從 2008 年至今，以分期分區方式辦理全市集水區縱走調查、檢測及設計，並依據成果辦理結構修補工程，以避免天坑、道路坍塌危害市民生命安全，截至 2021 年已完成全市 716 公里的縱走調查，及完成 596 公里之結構修補長度。

超級堤防 – 洲美堤防新建工程

基隆河右岸洲美堤防堤線經經濟部於 1989 年核定後公告，嗣後配合洲美快速道路工程與 200 年重現期保護標準之洲美堤防新建工程共構施築長約 900 公尺，另配合北投士林科技園區整體防洪需求，賡續辦理自雙溪橋至洲美大橋間堤防新建工程，將洲美堤防之保護標準由 20 年提升至 200 年，即由原堤頂 EL.6 公尺，以緩坡式堤防加高至 EL.9.65 公尺，長度約 1,500 公尺，採用超級堤防（SuperDike）與總合治水概念，打造遭洪水溢流而不致潰決的堤防（圖 12），並配合整體都市計畫，營造河川寬廣開放視野，優質水岸空間增加民眾休閒、親水用地，維護防洪設施整體安全。



圖 12 雙溪橋至洲美大橋之洲美堤防

持續提升全市降雨容受度與承洪韌性

臺北市區開發已近飽和，在既有設施不易大幅擴充情況下，檢討全市 76 個集水區保護標準，以提升本市降雨容受度達 88.8 mm/hr 與承洪韌性，針對近年常接獲積水地區之歷史積淹水紀錄與排水系統水理模式成果，滾動式推動相關改善方案，以期能提升該地區

之降雨容受力，目前優先推動中山及士林集水區改善規劃工作。為解決中山區敦化北路幹線水位在暴雨期間較高，導致幹線兩側較低窪地區較難以排除雨水造成積淹水情形發生，經與地方多次溝通協調，規劃優先推動中山抽水站擴建工程，臺北田徑場暖身場下方興建地下滯洪池則列為提升本區整體排水系統容受度及降低地區積水問題之長期方案（圖 13）。另為解決士林區福林路雨水下水道匯入口之明溝水位易受下游迴水而壅高，導致中山北路 5 段與福林路口周遭地區於暴雨期間易產生冒水情形，於士林官邸北側規劃設置地下滯洪池（圖 14）。此外，為有效降低承德路與錦西街周遭區域之積水發生機率，亦針對圓山、大龍等抽水站容量進行檢討，經評估兩站聯合運轉效應，並考量未來舊站改建時維持既有抽排能力，規劃將圓山抽水站抽水量擴增至 52 cms，大龍抽水站抽水量擴增至 32 cms，經模擬該集水分區積水範圍約下降 54.3%，所留餘裕量利於因應未來之需。



圖 13 暖身場地下滯洪池設置位置



圖 14 士林官邸滯洪池規劃案

公私協力導入

推動在地滯洪 公私協力共同分擔逕流量

由於都市化高度擴張，不透水面積增加，集水區逐漸喪失原有的保水能力，不僅都市涵養水源能力降低，暴雨產生的地表逕流量也大幅增加，僅面對極端降雨挑戰，靠政府投入大量工程經費興築排水防洪設施，恐仍無法倖免市區積淹水之風險，故須公私部門通力合作，逐步提升本市防洪容受度，自 2005 年起持續推動「臺北市公共設施用地開發保水作業要點」，要求各機關學校基地新建、改建面積在 800 m² 以上皆須設計具保水、透水及入滲功能設施，促進水涵養、貯留、滲透雨水功能，降低地表逕流及減緩雨水下水道負荷，截至 2021 年底已審查 204 件，累積計畫保水量約 300 萬 9,213 m³；另於 2013 年起實施「臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準」，建築物於新建或改建時應設置「雨水流出抑制設施」，其單位開發面積最小保水量須貯留 0.078 m³/m² 的雨量、最大排放量不得超過 0.000173 cms/m² 之雨水體積，將基地保水計畫拓展到私部門；2019 年進而提高臺北市政府所屬各機關學校對於公共設施用地開發行為所需分擔之防洪責任，要求各類型公共設施用地開發行為應提高單位開發面積最小保水量須達應貯留 0.109 m³/m² 之雨水體積，截至 2021 年底已通過審查 1,200 件，累積計畫保水量約 28 萬 3,962 m³（圖 15）。

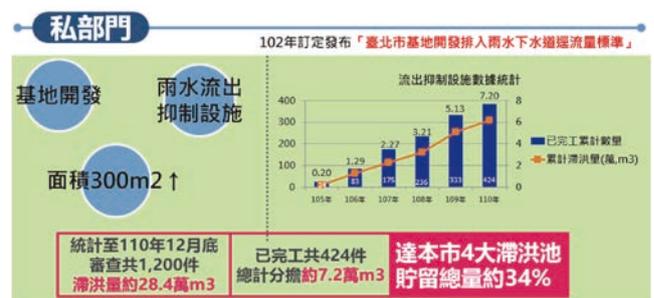


圖 15 流出抑制量體成果統計

北士科開發導入海綿城市元素^[13]

本市以北投士林科技園區開發範圍內導入海綿城市設計理念，修訂「擬定臺北市北投士林科技園區（區段徵收範圍）細部計畫案」土地使用分區管制暨都市設計管制要點契機，納入綠色基礎設施元素，如人行環境改善－人行道透水鋪面、連續帶狀植栽、植栽帶增厚下方濾層、公園導入零出流設計、雨水回收

貯留、配合淹水潛勢擬訂抬高基地出入口及基盤高程標準、雨水流出抑制規定及建築綠屋頂等設計，透過法規修訂及設計面之落實，有效將海綿及韌性城市之概念納入，營造本市韌性永續的水綠環境。

自主防災 組織建構

水災自主韌性防災社區推動

臺北市政府 2019 年起開始推動「北市水災自主韌性防災社區計畫」，由同仁帶著團隊實地走進社區，透過建立防災意識、社區災害診斷、防災演練，將預防水災的專業資訊傳授給市民，讓民眾在第一時間，發揮自助互助的能力，降低災害傷亡及損失（圖 16）。另亦已建置完善水情系統並結合科技防災，可提供即時雨量、下水道水位、抽水站啟抽情形供民眾查詢，亦可利用行動防災 APP 查詢即時水情，提早防範做好防災準備。



圖 16 水災自主防災韌性社區活動

防水閘門補助及優良廠商名冊

為協助實際淹水戶或水災災害潛勢區域住戶，減少民眾因颱風、豪雨造成積水進入建築物之生命財產損失，鼓勵市民於建築物出入口設置防水閘門（板）（圖 17 和圖 18），近 3 年本市補助的家戶已超過 310 戶，另提供國內登記有案及正常繳稅無不良信用證明之合法廠商名冊，公布於臺北市政府工務局水利工程處官網^[14]（圖 19）、民政局、各區公所及里辦公處，讓民眾更方便找到有施作防水閘門經驗的施工廠商。



圖 17 家戶未裝設防水閘門積水情形



圖 18 防水閘門施作完成照片

**臺北市鼓勵設置防水閘門(板)
110年度專案補助計畫**

補助標準

- ✓ 設置防水閘門(板)高度90cm以上。
- ✓ 未滿90cm者依比例遞減補助金額。
- ✓ 1戶以補助2處為限。

1	2	3	4
地下室車道	地下室車道	1F出入口	1F出入口
出入口單車道	出入口雙車道	寬度1m以下	寬度1m以上
每處補助 32,000元	每處補助 50,000元	每處補助 15,000元	每處補助 20,000元

圖 19 防水閘門專案補助計畫

強化抽水機調度機制

災害防救首重分層負責與現場彈性第一時間應變，臺北市政府於 2021 年 10 月整合跨局處資源修訂「臺北市政府家戶積淹水災情抽水機具優先支援原則」，依災害規模分階段啟動各項協助機制，由區公所妥善利用自有機具及開口契約廠商，搶在黃金救援第一時間就近協助轄區家戶抽水，並由民政局適時啟動跨區機制全力支援。若災害規模持續加劇，市應變中心則指揮調度區公所以外能量支援，逐步應變同時可結合外縣市及國軍支援。考量災害瞬息萬變及第一時間應變，除保留指揮官裁量彈性，強化本府抽水機調度機制，各單位通力合作協助家戶抽除積水，加速災後復原韌性，恢復正常生活，保護人民生命安全。

科技防災、E 化管理

首創建置抽水站自動化及遠端監控系統

為提高抽水站操作及管理維護品質、強化應變指揮能力、提升防洪排水管理效能，針對全市 88 座抽水站建置自動化監控系統，並設置震動監測診斷系統，具有監控震動值、頻譜分析結果及相關警告警示訊息，達到設備損壞前預先防範，保持機組正常運作，提高維護品質及抽水站防汛安全。另推動獨立閘門暨抽水井完成自動化監控系統，將現有獨立閘門 52 座、抽水井 44 座共 96 處，於 2016 至 2019 年度規劃連續工程建置第四、五、六自動化分區，抽水站轄管範圍內抽水井暨獨立閘門監控系統依群組分區集中管理遠端監控，經無線網路傳輸，將運轉或警報等資料回傳，至 2020 年共完成 96 處監控系統建置推動。另將抽水站操作依河系、地域及操作特性採群組管理方式劃分為六個分區，各分區設置「分區管理中心」，可遠端遙控其所轄之抽水站內抽水機及相關防洪設施，並設置「總管理中心」，將所有抽水站防汛設施操作畫面及資訊，傳送至市府防颱中心防汛指揮部(圖 20)，2022 年臺北市已建置完成全市抽水站自動化及監控系統，防洪及應變能力邁向新紀元。

河川水情監控設備建置及水情展示系統

面對全球氣候變遷帶來極端水文條件之挑戰，透過水利防災科技應用於都市洪災管理，以資通訊技術的優勢，彌補傳統都市洪災管理應變能力之不足，為整合眾多水情監測設備回傳資料之展示，亦持續推動

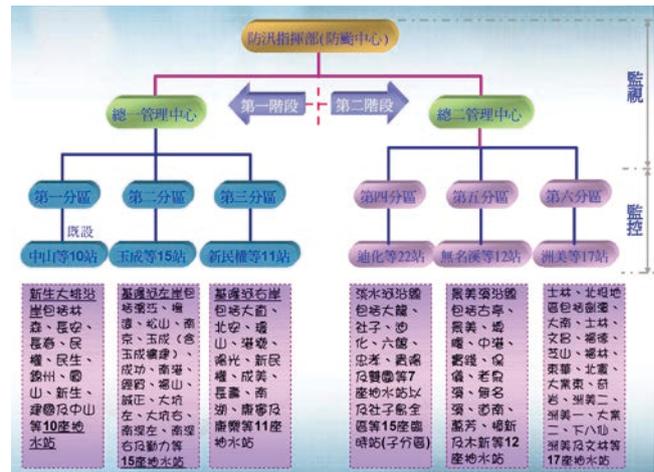


圖 20 抽水站自動化監控系統

優化相關軟體架構及介面，自 2004 年起建置水情整合資訊系統，透過網頁的方式展示抽水站、水位站、雨量站以及下水道水位站即時資訊，並整合 GIS 資訊、衛星雲圖、雷達回波圖等資訊，搭配自動警示功能，可於雨量或水位到達警戒值時自動發出簡訊提醒防災人員注意水位狀況，以提早進行防災應變。目前臺北市已自建河川水位監測站 31 處、水位監測攝影機 111 處、雨量監測站 41 處、雨水下水道監測站 144 處，並透過與中央氣象局、第十河川局、大地工程處等單位共享水情資訊，水情相關資訊站點達 500 處以上，建構了完整的水情資訊網，提升對於都市區降雨量、河川及下水道等水位等水情監測品質與精度，及加強水情資訊公開與利用，達到「智慧洪災管理」的目標。

發展淹水預報系統

淹水預報系統為臺北市政府防災決策支援系統之一，其整合資訊、氣象、水利等專業領域，具水情分析、淹水潛勢分析、預警管理等功能(圖 21)，於防汛期可有效且快速地提供淹水預警相關資訊，作為防災應變作業之參考。2020 年起陸續新增臺灣大學之細胞自動機快速漫地流演算模式，可於短時間完成積淹水模擬結果。另因應人工智慧(AI)時代的來臨，由

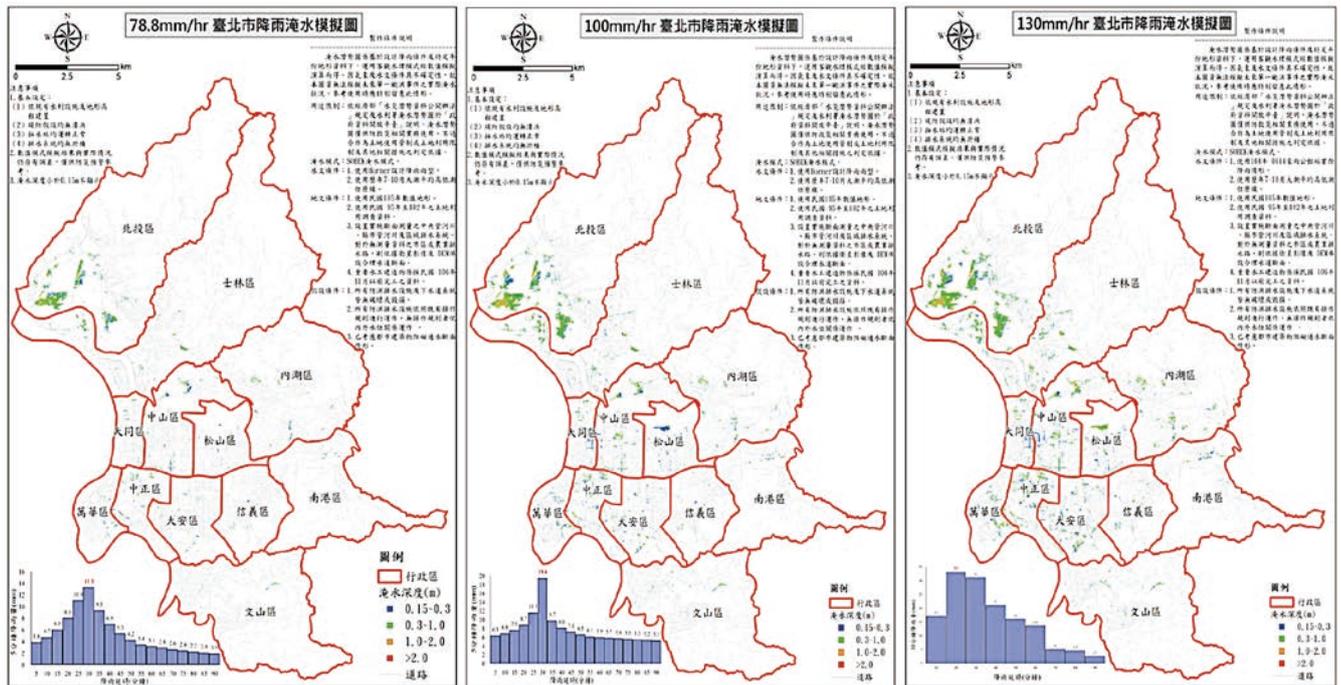


圖 21 淹水潛勢圖

淡江大學依二維淹水模式產製之各種情境淹水模擬結果，作為模擬淹水大數據，建置 AI 城市淹水預報系統，協助在颱風暴雨期間能快速決策進行後續相關防災與救援工作。

因應氣候變遷調適創新科技技術研究

本府自 2019 年為推動符合本市社會及環境條件之創新工務建設或管理技術，鼓勵公私立大專學校、法人及團體創新研究促進應用，以提升公共建設服務品質，依「臺北市政府工務局工務建設科學研究創新計畫補助要點」陸續補助 20 項專案計畫，其中因應氣候變遷調適創新科技技術研究包括「基於細胞自動機淹水模式進行都市暴雨內澇即時模擬與預報」、「應用邊際運算技術及快扣式物聯網建置主動淹水監測預警系統」及「抽水站最佳操作策略分析與樹林雙偏極降雨雷達回波之應用」等，透過利用細胞自動機快速演算的特性，提供未來 30 分鐘可能會發生淹水區域，以提前預警並針對該區域作防災預佈相關作為，以及利用 AI 大數據模式優化現有抽水站操作機制，於暴雨來臨時快速反應，降低市區積淹水風險等，對於淹水預警及抽水站智慧化操作，提供創新性或前瞻性之政策規劃、技術工法或管理模式，以利本府在氣候變遷極端降雨頻仍下作為防洪調適策略及決策參考。

水環境生態美學營造

市區溪溝環境營造

臺北市自古以來即有豐富的水文地景，且發展出綿密的埤塘、河川排水與舊水路等水文系統，在都市化水路失去農作灌溉功能之後，這些溪溝水圳也逐漸成為道路、綠地與都市排水系統的一部分，為營造出自然生態親水環境供民眾休閒遊憩，於北投區中崙仔溝以生態式理念施工，如就地取材、土方平衡近運利用、近自然友善生態設計及兼顧區域動植物生存空間考量等，避免對生物棲息環境造成過大衝擊，如在崇仰公園內既有生態池營造斜坡，以植生袋裝填現地土壤，提供龜蟹兩棲類活動、棲息環境，並串聯生態島與生態池邊坡形成連接通道，引導水流流往較遠處增加流經路程，增加池水交換效率，改善池內水質（圖 22 和圖 23）。另外士林官邸旁具有大片公園綠地，腹地充足，於明溝親水渠段之左、右岸新建預鑄生態槽護岸，供生物棲息，另於明溝旁設置階梯、親水步道、人行步道及景觀欄杆，並於渠底設置跳石與鋪放卵塊石，以連接左右護岸供民眾作親水空間（圖 24），營造符合自然生態之美感，臺北市政府率先全國進行幸福水岸之推動，並開始思考如何恢復既有的水圳溪流，朝向生態城市邁進。



圖 22 丹鳳公園內中崙仔溝親水區



圖 23 崇仰公園生態池生物友善斜坡



圖 24 士林官邸明溝親水渠段營造自然生態親水環境

金瑞治水園區

金瑞治水園區用地面積約 1.827 公頃，集水面積約 211 公頃，計畫蓄水量高達 2 萬 7,000 m³，位於內湖區陽光及港墘抽水站集水分區內山區，鑑於內湖路三段 348 巷上游為公告之土石流潛勢溪流，且下游部分內湖路、金龍路等地區曾於納莉風災發生積淹水事件，為保護下游內湖路一帶的居民遠離洪災和土石流，推動設置本調洪沉砂池，完工後不僅可削減洪峰量達 27.9% 調節暴雨帶來的洪水，並可舒緩上游沖刷而來的土石。園區於 2018 年規劃成為臺北市第一座蜻蜓主題園區，蜻

蛉目種類數多達臺灣現有紀錄種之三分之一，生態資源相當豐富。為兼顧防洪、休閒、生態及教育等多重功能，本園區採生態工法及利用本工區內挖掘出塊石作為渠道改建材料，除土石資源有效利用及節省工程費外，亦能創造渠道生態景觀效益。其調洪池進水口及出水口皆採用重力式排水設計，於渠首工處設置高地排水箱涵及溢流堰，調洪池之進流及出流控制皆無須人為及機械操作，除可降低操作風險及維護性低外，有助於節能減碳，整座園區不僅有防災功能，豐富的生態，更是休閒踏青好去處（圖 25 和圖 26）。



圖 25 金瑞治水園區調洪池



圖 26 金瑞治水園區調洪池人行步道

北投磺港溪再造計畫

自 2019 起推動「北投磺港溪再造可行性評估工作」，計畫於磺港溪沿線進行空間活化、創造滯洪空間及施設生態防洪設施等，透過地區說明會、工作坊、專家學者座談會及成果發表會凝聚在地多方共識。上游段計畫以綠化為主軸，賦予通學友善巷弄；中游段則打造公園結合水體，提升生態復育機能，縫合藍綠基盤設施；下游段以低衝擊開發原則下，優先著重河口至新北投之人本系統串接，藉由韌性城市的治理新思維出發，加上實踐生態水綠環境開發理念，期望透過整個磺港溪再造計畫，增強韌性安全水環境，透過友善水空間，提供生態串聯機會，創造綠水美學新價值（圖 27）。

臺北蓋水－彩繪人孔

臺北市雨水人孔有近 1 萬 6,000 座，其中配合「人孔減量」政策已下地約 7,000 座，保留必要常設之人孔約 9,000 座於路面。為了扭轉普遍大眾對於人孔蓋之負面印象，於 2020 年啟動「臺北蓋水」計畫，利用臺語「很美」的諧音推出 8 款彩繪人孔蓋設計，融入地方特色風貌與美感，並分別座落於本市中正區、萬華區、南港區及大同區的行人徒步區，如中正紀念堂、龍山寺、永樂市場及南港轉運站等著名景點地標，總共設置 25 座的特色人孔蓋，為街道景觀增添亮點（圖 28）。2020 年 9 月啟動第二季計畫延伸至其他 8 個行政區（北投區、士林區、中山區、松山區、內湖區、信義區、大安區及文山區），各設計 2 款總共 16 款特色雨水人孔蓋圖樣，預計於 2022 年底前完成設置。



圖 27 磺港溪再造計畫



圖 28 極具特色之彩繪人孔蓋

臺北新畫堤

自 2012 年起陸續於具景觀價值及人潮聚集的堤段，將原本高聳灰暗的混凝土牆進行堤防美化，截至 2021 年已完成 74 處堤防美化，創造水岸空間的親水性及景觀多元性，重塑臺北河岸城市都市特質，另為增加在地特色與多元性，2020 年啟動「臺北新畫堤」計畫，以「畫」堤為特色，強化每面堤壁獨特性與專屬當地故事。近 2 年堤防美化地點包含通河西街一、二段、通河東街一、二段、潭美街、松河街、大坑溪左岸、塔悠路（基五、六號水門旁）、河雙 21 休息站、水源路與紹安街堤外、光復橋下等地點，令民眾攜家帶眷前往河濱遊玩時可停留觀賞堤壁，更加親近河濱（圖 29）。

未來展望

在聯合國永續發展目標趨勢下，臺北市以海綿城市理念做為都市水環境政策的核心，更以「韌性水調適」為首要願景「提升防洪容受度」為優先目標，除透過設置相關綠色基礎設施外，運用各種工程與非工程手段，採取逕流分擔與淹水風險管理方式，進行內水排除、外水治理工作，同時配合土地利用的規劃與管制，視需要訂定相關法規，公布淹水資訊並納入民眾意見，達到降低區域淹水風險的全方位治水方式，未來將持續盤點評估本市公共設施用地設置雨水貯留設施之可行性，以提升本市降雨容受能力，同時積極落實開發基地保水法規、持續推動公私協力共同分擔暴雨逕流，落實本市海綿城市理念，目標於 2030 年都市降雨容受度提升至 88.8 mm/hr，以提升本市保水能力及降雨容受力。

結語

為抑制暖化避免氣候浩劫，透過各項氣候行動及水環境調適工作接軌減排路徑，朝向 2050 年達到溫室氣體淨零排放國際主流共識。臺北市勇於承擔國際減碳責任，本府在 2021 年地球日宣布追求 2050 年淨零排放願景，與全球共同努力確保氣候安全。在氣候議題與永續發展密切結合的國際潮流中，臺北市的永續發展目標特



河雙 21 休息站旁（堤外）



磺溪堤防（堤外）



內湖區潭美街（堤內）



南港區松河街

圖 29 堤防美化成果

別以「SDG 13 氣候行動」為核心，配合淨零排放願景目標，檢視氣候行動的永續成果。面臨氣候緊急狀態，本市由建構城市的韌性基礎設施著手，並確保水資源與生物多樣性。各項氣候行動推動成果均為臺北市未來更進一步達成城市轉型的起點和利基，未來仍將仰賴公私協力合作方有可能實現淨零排放願景，因此市府將持續推動公民參與，與各界進行氣候對話並凝聚共識，一同攜手建立宜居永續的韌性零碳臺北。

參考文獻

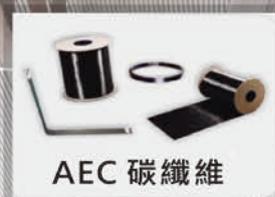
1. 臺北市政府，臺北市水利及坡地防災韌性評估暨策進作為報告，2019年5月31日。
2. 臺北市政府主計處，臺北 123 – 土地人口，<https://w2.dbas.gov.taipei/tp123/tb01.html>
3. 維基百科 – 世界百大城市都會區人口統計，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8C%89%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E6%8E%92%E5%88%97%E7%9A%84%E4%B8%96%E7%95%8C%E5%9F%8E%E5%B8%82%E5%9C%B0%E5%8C%BA%E5%88%97%E8%A1%A8>
4. 行政院國家災害防救科技中心，電子報第 188 期 2020 年全球重大天然災害回顧，2021 年 3 月、第 200 期 – 2021 年全球災害回顧，2022 年 3 月。
5. EM-DAT The International Disaster Database, <https://www.emdat.be/>
6. 陳韻如，氣候變遷之災害衝擊與調適 – 面對未來的災害風險，土木水利，第四十二卷，第五期，2015 年 10 月。
7. 臺北市政府，2021 臺北市自願檢視報告 2021 年 9 月。
8. 聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)，IPCC 氣候變遷第六次評估報告「衝擊、調適與脆弱度」之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷衝擊評析更新報告，2021 年 8 月 9 日。
9. 臺北市政府，110 年度臺北市淹水預報系統操作及維護案期末報告書，2021 年 12 月。
10. 林松青、羅俊昇，台北市雨水下水道建設之世紀回顧，臺灣水利第 53 卷，第 2 期，2005 年 6 月。
11. 彭振聲、林士斌、余世凱，永續臺北 海綿城市，土木水利，第 43 卷，第 5 期，第 38-54 頁，2016 年 10 月。
12. Cheng-Sheng Pong, Shih-Bin Lin, and Yung-Chia Hsu, "Climate Change Adaptation Strategy-Taipei's Wenshan Flood Prevention and Drainage Plan as a Case Study", 21st Congress of International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR), Asia Pacific Division (APD), Yogyakarta, INDONESIA, 2-5 September 2018.
13. 林志峯、林士斌、余世凱、林鎮洋、何嘉浚、李永展、林詩穎，臺北海綿城市規劃與示範案例效益分析，第 24 屆水利工程研討會，第 170-177 頁，2019 年 9 月 26-27 日。
14. 臺北市政府工務局水利工程處，臺北市公告「臺北市私有建築設置補助防水閘門廠商」名冊，2020 年 8 月 7 日，<https://reurl.cc/anv1xG>。



安得固



AD減隔震系列



AEC碳纖維



AEG錨固系列

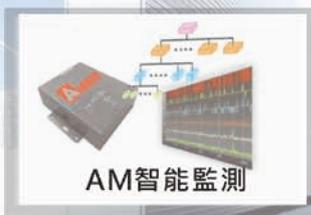


建築修復結構補強

STRUCTURE REPAIR & REINFORCE SYSTEM



AE結構補強系列



AM智能監測



AC無收縮水泥
AEX 樹脂砂漿



免費服務電話 台北 02-29813223 台中 04-23810055 高雄 07-3500090
0800-009-666 桃園 03-4022192 雲林 05-5967603 上海 021-54370088
更多的資訊請上安固官方網站 www.anchors.com.tw



臺北捷運實現國際都會願景

- 1986年行政院核定臺北都會區大眾捷運系統初期路網迄今，已陸續完成文湖線、淡水信義線、松山新店線、中和新蘆線、板南線及環狀線第一階段，捷運系統建設里程數達152.3公里，營運車站已擴展成131座車站。
- 目前中央核定興建之捷運路線，包括信義線東延段、萬大線與環狀線北環段及南環段等，共計44.9公里、41座車站。規劃中路線，包括環狀線東環段、民生汐止線及社子/士林/北投區域輕軌路網等。
- 展望未來，臺北市政府捷運局積極推動首都環狀線（環狀線第一階段、北環段、南環段及東環段串聯構成）而努力，此路線將橫跨雙北市14個行政轄區，沿線行經密集發展區域，串聯臺北都會區16條輻射軌道路線；透過交會轉乘大幅縮短旅行時間，有效提高公共運輸系統之可及性與機動性，帶動區域產業與環境均衡永續發展。

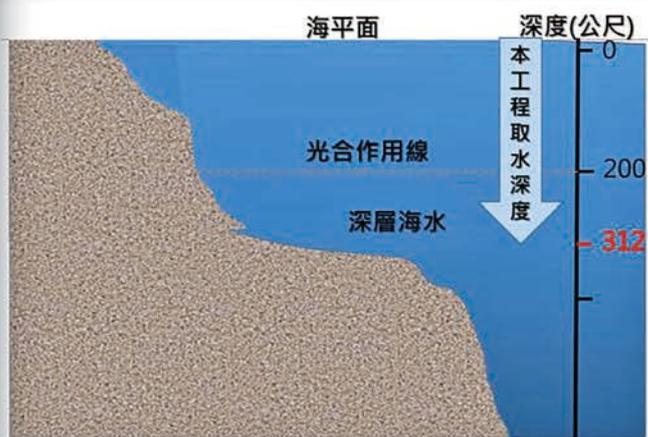


▼ 中和新蘆線三重站公共藝術-時代的回聲

臺北市政府捷運工程局
 臺北市中山北路二段48巷7號
 電話:(02)25215550



臺東深層海水試驗管工程



工程效益

取水總長管線約1,400公尺

取水深度達312公尺

取水量約每日2,400噸





台灣世曦
工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



金門大橋工程

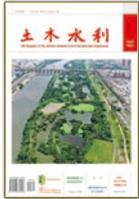


Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號
No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN
Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw

用心 做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質
誠心，才足以貫徹「人本」信念
悉心，才可以恢宏「關懷」情操
台灣世曦永遠以「心」為出發
持續履行對土地、對人民不變的承諾
一個環境永續的生態樂園
一個幸福溫馨的生活家園



茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登位置	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

○ 49.4 ○ 49.5 ○ 49.6 ○ 50.1 ○ 50.2 ○ 50.3 共 次
(8月) (10月) (12月) (2月) (4月) (6月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：
商號 (請蓋公司印)

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: service@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號 0 0 0 3 0 6 7 8 金額 仟萬 佰萬 拾萬 萬 仟 佰 拾 元
新台幣 (小寫)

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

繳納會費

- 常年會員年費 1,200元
 初級會員年費 300元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期

- 國內·個人會員 新台幣300元
 國內·非會員及機關團體 新台幣1,800元
自第 卷第 期起， 年期雙月刊 份

訂閱中國土木工程學刊，一年八期

- 國內·個人會員 新台幣1,600元
 國內·非會員及機關團體 新台幣3,600元
 國外·個人 美金80元
 國外·機關團體 美金200元
自第 卷第 期起 年期學刊 份

收款戶名	社團法人中國土木工程學會	
姓名	寄 款 人	
地 址	主 管：	
電 話	經辦局收款戳	

- ◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫



* 湖山水庫工程 掌握億萬年記錄的奧秘

湖山水庫由湖山主壩、湖山副壩及湖南壩等壩所組成於清水溪建置桶頭攔河堰越域引水，並與集集攔河堰聯合運用中興自2002年起參與大壩及溢洪道等結構物之規劃與設計從大壩完工至今，持續負責水庫安全檢查與監測工作



大地工程團隊

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

105409 臺北市松山區南京東路五段171號
電話：(02) 2769-8388 傳真：(02) 2763-4555
E-mail：sinotech@sinotech.com.tw
<https://www.sinotech.com.tw>

正派經營 · 品質保證 · 追求卓越 · 創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.





壯觀帷幕牆股份有限公司

帷幕牆專業製造工廠

統一編號：52819235



地址：台中市神岡區堤南路32號(豐洲科技園區)

e-mail：ckcw.taiwan@gmail.com

電話：04-25159827

傳真：04-25159828

金屬帷幕 · 石材帷幕 · 單元帷幕