

在此先介紹其中台灣工程師其中一篇論文，讓讀者能夠一同參與這個研討會。

綠色價值工程於臺灣軌道建設上之運用

賴建名 / 中興工程顧問股份有限公司計畫經理



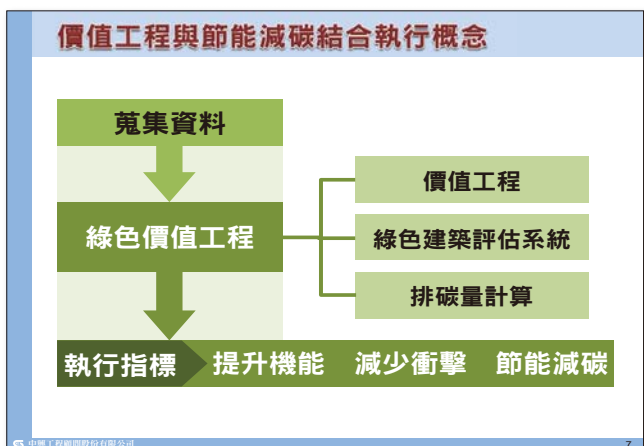
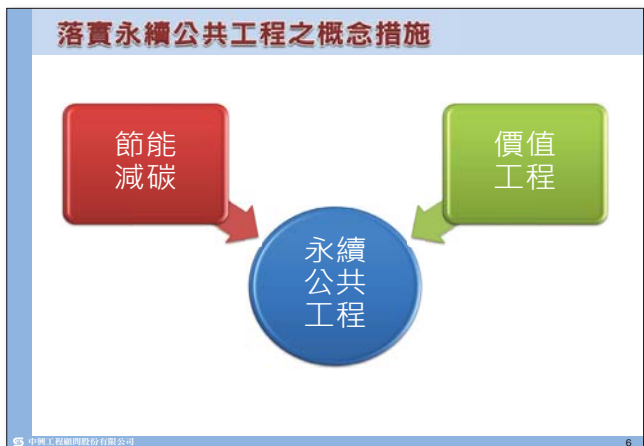
節能減碳的趨勢

- ❏ 世界的脈動
 - 京都議定書(2009年183國簽訂)，碳交易(二氧化碳的排放量)
 - 2009年12月哥本哈根會議，未來氣溫的增幅控制在攝氏2度以內。全球二氧化碳的排放量必須在2050年時減至1990年時的一半
- ❏ 台灣的努力
 - 2008年6月5日通過「永續能源政策綱領」揭示目標：2020年回到2008年排放量的水準、2025年回到2000年排放量水準

簡報內容

- ❏ 綠色價值工程概念
- ❏ 綠色價值工程執行方式
- ❏ 綠色價值工程於軌道建設上之運用實例
- ❏ 結論與建議





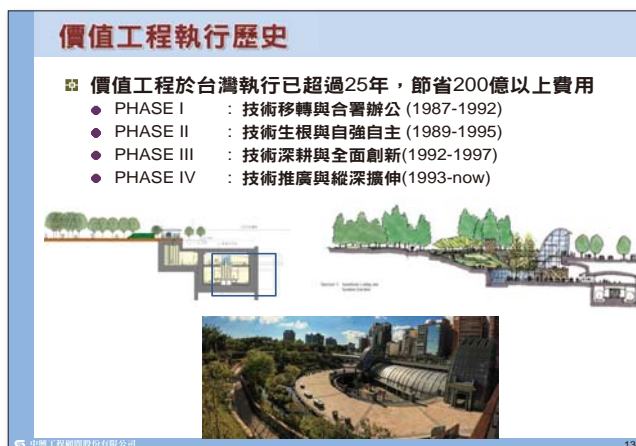
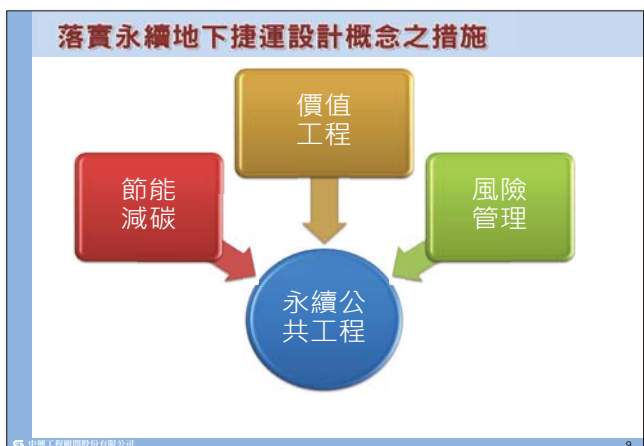
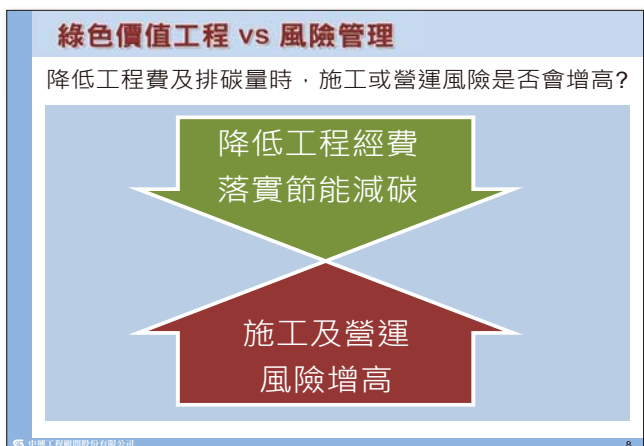
軌道系統全生命週期風險矩陣表

融合機率與衝擊程度，風險矩陣法(Risk matrix)將風險等級分為4類，各別為R1、R2、R3及R4

風險矩陣圖	等級	嚴重性 結果 (I)				
		I1	I2	I3	I4	I5
職工/承包商安全	死亡	微不足道	可以忽略	輕微	嚴重	重大
	輕傷	< 5	< 5	< 5	< 5	> 5
施工進度	工期延誤	3天	3天-14天	14天-2個月	2個月-6個月	6個月-2年
	承包商的財務損失	1萬以下	1萬-10萬	10萬-100萬	100萬-1000萬	1000萬以上
旅客/大眾安全	死亡				< 5	5-50
	輕傷				5-50	51-500
營運服務	系統中斷	< 20分	20分-60分	60分-1天	1天-1週	1週-1個月
	車站關閉	< 20分	20分-60分	60分-1天	1天-1週	1週-1個月
發生機率 (P)	P6 每週發生數次	超過100	R3	R1	R1	R1
	P5 每年/每月發生數次	1 - 100	R4	R2	R1	R1
	P4 數年/數十年發生一次		R4	R3	R2	R1
	P3 本世紀可能發生		R4	R4	R3	R2
	P2 很少或未必會發生		R4	R4	R4	R3
	P1 難以置信會發生		R4	R4	R4	R4

本表附為中興工程顧問股份有限公司研究報告

中興工程顧問股份有限公司 11



價值工程於捷運執行成果摘錄(中興)

計畫名稱	研析時間	建議案數	接受案數	節省費用(百萬元)	佔總工程費百分比	減碳量(噸)
板南線177細設標	1989.12	17	3	12.6	0.33%	-
板南線176細設標	1990.2	11	2	19.6	0.32%	-
中和線190細設標	1990.4	8	1	24.4	0.30%	-
土城線188細設標	1992.6	11	5	27.3	0.91%	-
土城線189細設標	1997.3	11	9	304.1	6.27%	-
新莊線192細設標	1998.4	12	10	126.4	1.30%	-
新莊線194細設標	1999.5	9	7	369.6	3.08%	-
信義線147細設標	2003.4	11	7	408.0	4.67%	-
松山線168細設標	2004.7	10	5	625.7	7.58%	-
環狀線111細設標	2009.1	9	9	613.0	10.46%	-
	2012.1	12	11	1306.0	15.36%	30,601
Total		120	68	3837.1	6.64%	30,601

中興工程顧問股份有限公司

14

綠色價值工程執行小組成員建議

- 具有十年以上設計經驗之資深工程師
- AVS證照及多次參與價工研析的經驗
- 因應節能減碳的加入增列具有LEED證照之建築師、BIM應用之日照、通風模擬工程師、排碳量估算工程師以及具有ISO 14064及14067證照之碳排放查證員。

綠色價值工程研析小組

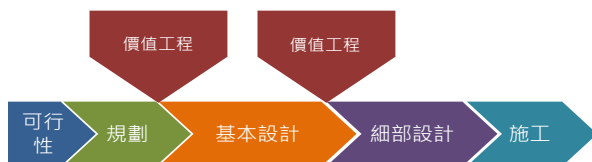
VE01 領隊(資深)	VE09 環控工程(資深)
VE02 施工規劃(資深)	VE10 施工估價(資深)
VE03 建築設計(LEED證照)	VE11 排碳量估算工程師
VE04 結構工程(資深)	VE12 ISO14064查證員
VE05 大地工程(資深)	VE13 BIM日照模擬工程師
VE06 隧道工程(資深)	VE14 BIM通風模擬工程師
VE07 土木工程(資深)	VE15 協調人
VE08 電氣工程(資深)	

中興工程顧問股份有限公司

18

綠色價值工程執行階段

- 工程全生命週期各階段均可導入
- 政府採購法第35條(機關得於招標時規定.....)
- 透過價值工程創新工程設計技術，及節省工程經費

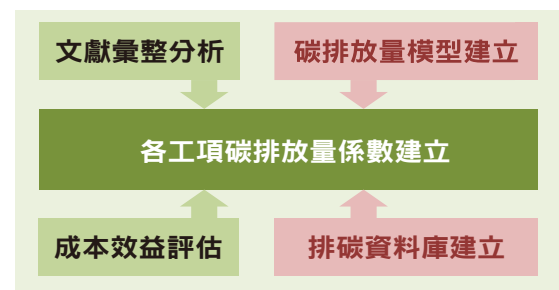


中興工程顧問股份有限公司

15

本土化碳排放係數的建立

碳排放量減少之估算方式



中興工程顧問股份有限公司

19

綠色價值工程研析構想及目標

- 研析目標：
 - 機能維持或增加
 - 節省成本約總工程經費5~10%
 - 節能減碳量總排碳量5~10%



中興工程顧問股份有限公司

16

本土化碳排放係數的建立

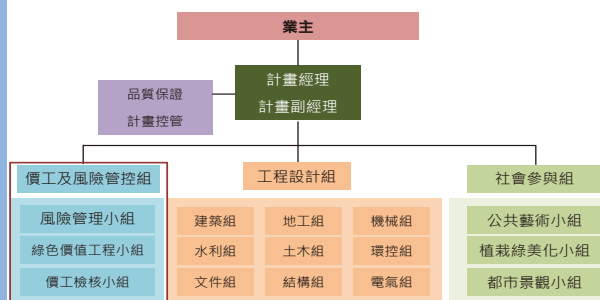
- 溫室氣體排放量評估與計算：排放係數法
 - 溫室氣體排放量(二氧化碳當量)=Σ排放強度(排碳活動量)×排碳係數
 - 以工程數量為活動量，透過單價分析表(人工、機具、材料)之分析
- 排碳係數
 - 引用運研所「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」
 - 引用工程會「電腦估價系統(PCCES)架構估算工程二氧化碳排放量委託研究」



中興工程顧問股份有限公司

20

綠色價工及風險組織架構



中興工程顧問股份有限公司

17

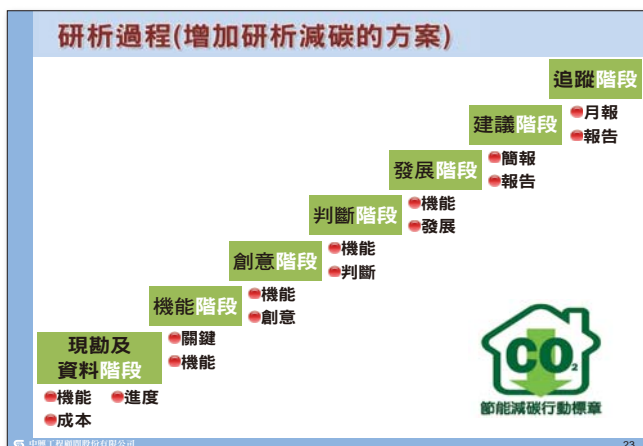
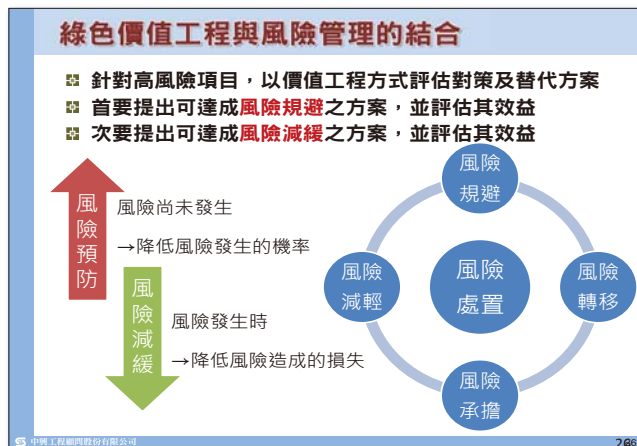
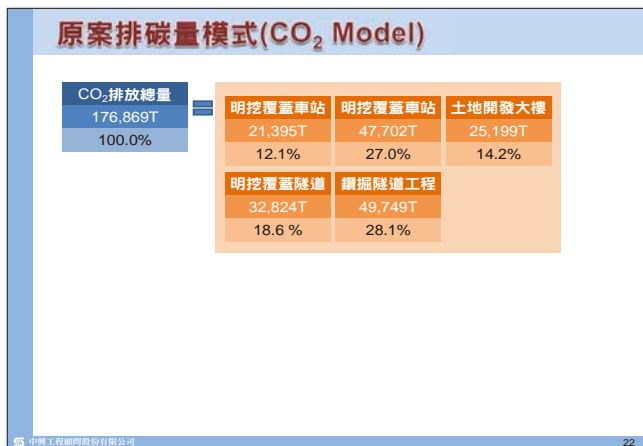
原案成本模式(Cost Model)

工程成本	8,765,918,670	100%
直接費用	7,389,760,517	84.3%
間接費用	1,376,158,153	15.7%
工區作業費	796,253,002	10.8%
明挖覆蓋車站	783,144,696	10.6%
明挖覆蓋車站	1,714,621,312	23.2%
土開大樓	690,980,070	9.4%
明挖覆蓋隧道	943,610,477	12.8%
鑽掘隧道工程	1,799,824,730	24.4%
標誌景觀工程	11,066,730	0.1%
配合機電設施	5,869,000	0.1%
水電工程	256,075,000	3.5%
環控工程	319,381,000	4.3%
電梯電扶梯	66,000,000	0.9%
植栽移植工程	2,934,500	0.1%

金額數字僅為示意

中興工程顧問股份有限公司

21



研析成果示意

編號	設計替代案	預估節省金額(百萬元)	預估節省碳排放量(噸)
CC-01	隧道平面線形截彎取直，縮短路線(風險減緩)	4.7	50
CG-01	隧道縱面線形調整，避免與堤防衝突(風險規避)	565.0	1138
CG-02	明挖覆蓋車站將臺式月台改為島式月台(風險減緩)	510.0	12252
CT-01	明挖覆蓋車站縮短明挖覆蓋隧道長度(風險減緩)	402.0	11342
CG-03	明挖覆蓋通風豎井深度檢討(風險減緩)	76.0	2135

編號	設計建議案	預估節省金額(百萬元)	預估節省碳排放量(噸)
A-3	設置植生綠牆(濾牆)，淨化室內空氣		0.739/年
E-2	車站設置採光通風井及採光通風廊設置		161.5/年
G-3	地下水冷卻空調之構想		6.7/年



風險對策效益評估

- 風險對策以價值工程技術進行評估
- 風險對策執行效益指數達10以上，對策才具有經濟效益

$$\text{風險對策執行效益指數} = \frac{R(\text{對策執行前}) - R(\text{對策執行後})}{\text{風險對策執行費用}}$$

風險對策執行費用範圍	風險對策執行效益指數	備註
5000萬以上	>10	風險對策執行效益佳
1000~5000萬	5~10	風險對策初步再評估
500~1000萬元	<5	提出替代風險對策並再行檢討其適切性
100~500萬元		
50~100萬元		
10萬以下		



案件編號:C-G01 設計階段 施工階段 營運階段

案 號：C-G01
 項 目：潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突
 內容摘要：潛盾隧道與基樁衝突，施工過程須破堤托底，若遇汛期時，恐會造成大規模之淹水，經調整縱斷面線形，潛盾隧道於兩側堤防基樁下方通過，避免衝突，故不需破堤或改建，且經分析環片仍可維持長期安全性，除可節省造價外，另可大幅免除破堤風險。

風險規避 費用降低 節能減碳

風險規避：由原破堤高風險改為不破堤
 節省金額：565百萬元
 減少CO₂排放量：1138公噸

中興工程顧問股份有限公司 30

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

設計階段因應對策

- 經三維分析確認基樁下方環片之安全性

中興工程顧問股份有限公司 34

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

原案

- 堤防基樁與潛盾隧道衝突，須以破堤托底切樁方式通過

堤防 溪 堤防
 車站
 堤防基樁
 坡度約2.7%
 疊式隧道，堤防基樁與潛盾隧道衝突

中興工程顧問股份有限公司 31

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

施工階段因應對策

- 潛盾環片安裝自動安全監測系統
- 現場的安全監測訊息，即時傳送至潛盾操作室及相關單位

監測儀器 規格

混凝土應變計	最大應變範圍：±1000微應變 (1000 Micro-mm/mm)。 非線性度：±2% R.O. 遲滯效應：±3% R.O. 適用溫度範圍：-20至+50 (需透過預鑄環片之混凝土澆置、蒸氣貫注、運送安裝等過程)
環片混凝土應變計 自動化擷取系統	<ul style="list-style-type: none"> 系統內容應包含 <ol style="list-style-type: none"> 資料記錄器 (Data Logger) 多工掃描器 (Multiplexer) 控制終端電腦 UPS不斷電系統及穩壓器 雷射印表機 監測資料庫存取、資料處理軟體

環片內混凝土應變計與資料擷取系統

中興工程顧問股份有限公司 35

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

建議案

- 調整縱面線形，於堤防基樁下方通過，避免破堤托底切樁

堤防 溪 堤防
 車站
 堤防基樁
 坡度約5.2%
 水平隧道，由基樁下方通過，避免衝突

中興工程顧問股份有限公司 32

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

建議案

- 節能減碳計算(摘錄)

材料	原案	建議案	減少	單位	原案	建議案	減少	單位
鋼筋	125,300 kg	117,700 kg	7,600 kg	kg	117,700	110,100	7,600	kg
高強度預力鋼筋	300 m ³	298 m ³	2 m ³	m ³	298	296	2	m ³
混凝土	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³
砂	280,330 m ³	280,330 m ³	0 m ³	m ³	280,330	280,330	0	m ³
碎石	181,401 m ³	181,401 m ³	0 m ³	m ³	181,401	181,401	0	m ³
水泥	24,310 kg	24,310 kg	0 kg	kg	24,310	24,310	0	kg
鋼管	70,200 kg	70,200 kg	0 kg	kg	70,200	70,200	0	kg
鐵骨	1,300 m ²	1,300 m ²	0 m ²	m ²	1,300	1,300	0	m ²
鋼板	750 L	750 L	0 L	L	750	750	0	L
鋼筋	1,800 m ²	1,800 m ²	0 m ²	m ²	1,800	1,800	0	m ²
鋼管	180 m ³	180 m ³	0 m ³	m ³	180	180	0	m ³
鋼板	32,000 kg	32,000 kg	0 kg	kg	32,000	32,000	0	kg
鋼管	18 m	18 m	0 m	m	18	18	0	m
鋼板	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³
鋼管	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³

中興工程顧問股份有限公司 36

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

破堤與否比較表

	原案(需破堤托底及拔樁)	建議案(調整線形直接下方通過)
隧道縱坡	○ 約2.7%	○ 約5.2%，符合機電系統規定
成本	× 破堤或托底費用高	○ 無須破堤，節省工程費約10,100萬
工期	× 破堤需於非汛期且界面複雜	○ 無須破堤，節省工期6個月
應辦事項	× 河川公地申請、水理分析、交通影響分析	○ 傳統潛盾施工，簡易水理分析
交通影響	× 施工期間嚴重影響堤外道路交通	○ 全程於地下施工，不影響交通
施工風險	× 臨時堤防需於非汛期施作，破堤、拔樁並改建堤防時風險高。	○ 全程於地下施工，不影響防汛安全

中興工程顧問股份有限公司 33

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

結論

- 不需破堤、切樁及托底，降低施工風險及節省施工工期，節省1.01億及縮短6個月工期。

發生機率	經常	P6	R2	R1	R1	R1	R1	R1
	有可能	P5	R2	R2	R2	R1	R1	R1
	偶爾	P4	R3	R3	R2	R2	R2	R1
	絕少	P3	R4	R3	R3	R3	R2	R2
	不太可能	P2	R4	R4	R4	R3	R3	R3
	非常不可能	P1	R4	R4	R4	R4	R4	R4
			I1	I2	I3	I4	I5	I6
		輕微	不嚴重	嚴重	重大	災難	大災難	
		衝擊程度						

風險對策執行效益指數 = $\frac{R(\text{風險對策執行前}) - R(\text{風險對策執行後})}{\text{風險對策執行費用(較原案節省經費)}} = \infty$

中興工程顧問股份有限公司 37

案件編號:C-G02 設計階段 施工階段 營運階段

案 號：C-G02
 項 目：明挖覆蓋車站開挖過深
 內容摘要：原案為地下4層疊式月台車站，開挖深度達36m，工程造價及施工風險高，工期長，旅客搭乘便利性不佳。替代案改採地下3層島式月台車站，開挖深度減為25m，工程造價及風險相對大幅降低，易便利於旅客搭乘，並創造節能減碳地下車站。

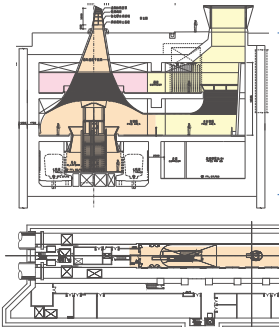
風險減緩 費用降低 節能減碳

風險減緩:由R1降至R3
 預估節省金額：510百萬元
 預估減少CO₂排放量：12,252公噸

中興工程顧問股份有限公司 38

建議案

為三層島式月台，並創造引入風光的條件



1 改為地下三層島式月台車站，便利營運管理及旅客使用性
 2 減少車站覆土，開挖深度減少11m，大幅節省造價
 3 將風、光、綠引入車站，塑造節能綠意之車站

中興工程顧問股份有限公司 42

C-G02:明挖覆蓋車站開挖過深

替代方案說明

原案 為地下4層疊式月台車站，開挖深度達36m



疊式隧道 R=60m

7.7m 覆土深，車站開挖深，工程造價高

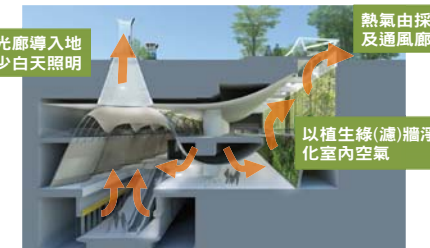
36m

中興工程顧問股份有限公司 39

創造環境

引風導光、創造室內舒適環境

於秋冬外氣溫度較低時，開啟採光通風井及採光通風廊，同時月台層及穿堂層送全外氣，回風機運轉。



光線由光廊導入地下，減少白天照明
 熱氣由採光通風井及通風廊排出
 以植生綠(牆)牆淨化室內空氣

中興工程顧問股份有限公司 43

C-G02:明挖覆蓋車站開挖過深

替代方案說明

替代案 調整線形，改為地下3層島式月台，開挖深度減少11m



水平隧道 車站移動角度微調 R=57m

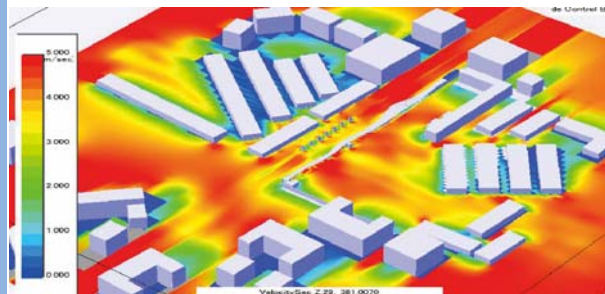
3m 減少覆土深，減少開挖深度，大幅節省造價

25m

中興工程顧問股份有限公司 40

物理環境分析-環境通風及出入口方向分析

車站出入口通風環境分析



Velocity: 0.000 to 5.000 m/s

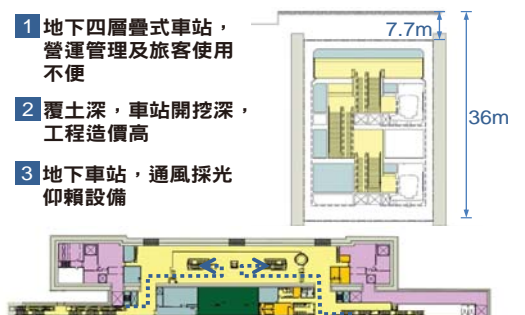
Velocity: 2.29, 261.0070

中興工程顧問股份有限公司 44

原案

為四層疊式車站，開挖深使用不便

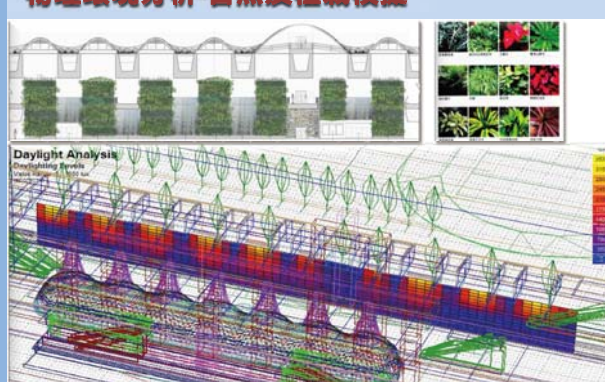
- 1 地下四層疊式車站，營運管理及旅客使用不便
- 2 覆土深，車站開挖深，工程造價高
- 3 地下車站，通風採光仰賴設備



7.7m 36m

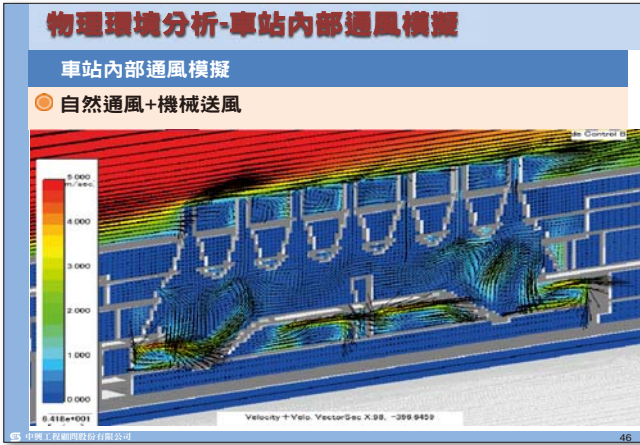
中興工程顧問股份有限公司 41

物理環境分析-日照及植栽模擬



Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Green: 1000-1500 lux

中興工程顧問股份有限公司 45



全生命週期節能減碳效益

階段	具體作法	節省CO ₂ 排放量(噸)
設計施工	透過價工程序，減少車站開挖深度	12,252
階段	具體作法	每年節省CO ₂ 排放量(噸)
營運階段	採用採光通風井，於秋冬季採用自然機械通風時，不開啟回風機，每年節省使用電能約25萬度	275
	車站使用高效率之變頻空調，每年節省使用電能20萬度	
	開光井引進自然光源至穿堂及月台層，每年減少白日照明使用之電能約35,027度	227
	使用自動啟閉系統照明(LED燈具)，每年節省電能約33萬度	
	給水	採用省水衛生設備，每年可省水1500度
再生能源	採用26KW BIPV太陽能發電，每年可產生電能23,345度	15
合計		517.4

中興工程顧問股份有限公司 50

創造室內自然淨化空氣-吸收二氧化碳

植生綠(濾)牆淨化空氣能力

地下植物園

室內植物在24小時內可以排除87%的室內污染物

- 淨化有毒物質
- 吸收CO₂
- 捷運芬多精
- 降低室內溫度
- 減少落塵汙染

中興工程顧問股份有限公司 47

C-G02:明挖覆蓋車站開挖過深

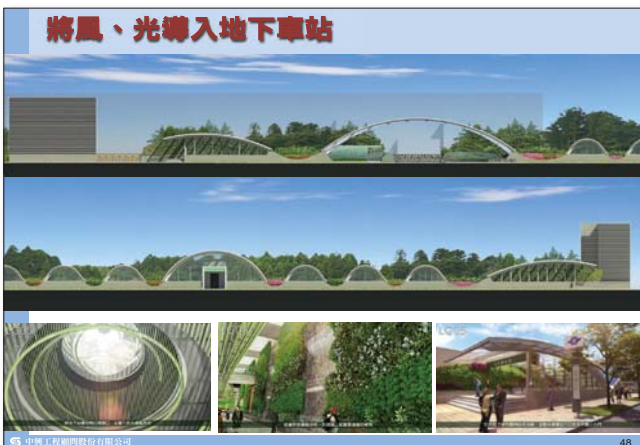
結論：開挖深度由原先36M，透過平面及縱面線形調整，將車站開挖深度減為25M。

發生機率		P6	R2	R1	R1	R1	R1	R1
		經常	P6	R2	R1	R1	R1	R1
有可能	P5	R2	R2	R2	R1	R1	R1	R1
偶爾	P4	R3	R3	R2	R2	R2	R2	R1
絕少	P3	R4	R3	R3	R3	R2	R2	R2
不太可能	P2	R4	R4	R4	R3	R3	R3	R3
非常不可能	P1	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I6
		輕微	不嚴重	嚴重	重大	災難	大災難	

衝擊程度

風險對策執行效益指數 = $\frac{R(\text{風險對策執行前}) - R(\text{風險對策執行後})}{\text{風險對策執行費用(較原案節省經費)}} = \infty$

中興工程顧問股份有限公司 51



施工中節能減碳之計算

建議案：開挖深度減少11m

項目	單位	數量	單位消耗	總消耗	備註
鋼筋	kg	13,214	0.002	26.428	減少CO ₂ 排放量
水泥	m ³	1,000	0.001	1.000	
砂石	m ³	10,000	0.001	10.000	減少CO ₂ 排放量
柴油	kg	100	0.001	0.100	
電力	kWh	10,000	0.001	10.000	減少CO ₂ 排放量
水	m ³	10,000	0.001	10.000	

中興工程顧問股份有限公司 49

結論與建議

- 節能減碳與價值工程結合為目前世界潮流與趨勢，透過綠色價值工程研析，可達到經實節省及降低碳排放量的目標。
- 於設計階段即以全生命週期概念將風險管理與綠色價值工程結合，除可規避或減緩風險外，另可降低工程費用，運用此技術使工程更有效益。
- 未來兩岸工程所面對的困難與挑戰日益增加，透過不同專業的整合與創新，讓工程與環境共存，邁向永續。

中興工程顧問股份有限公司 53