

第四屆 中國國際砂石骨料大會

台灣固廢資源化再生利用技術與工程應用

2017年12月9-10日

報告人：財團法人台灣營建研究院 張俊鴻 專案經理
mermon@cri.org.tw

© Taiwan Construction Research Institute

張俊鴻 經理

- 學歷 交通大學土木工程學研究所碩士
- 現任
 - 臺灣營建研究院工程服務組經理
 - 臺灣營建研究院混凝土訓練課程講師
 - 經濟部標準檢驗局ISO 驗證評審員
 - 優質混凝土驗評師委員



- 資源再利用推廣研究
1. 辦理產廢資源化產品查核及檢測方法評估
 2. 廢輪胎橡膠選育應用技術推廣及輔導使用計畫
 3. 水庫淤泥利用處理專案具體規劃
 4. 廢棄混凝土再生粒料應用
 5. 各類剩餘土石方收貯處理暨淤泥處理規範之研究
 6. 煤灰資源化再利用專案具體規劃
 7. 綠色材料應用於道路橋樑結構可行性與效益分析

- 砂石資源
1. 建置優質砂石標準制度
 2. 優質土石資源及產銷鏈資料產計畫
 3. 高屏溪、曾文溪、大安溪、大甲溪及烏溪水系砂石性質調查分析

- 驗證管理
1. 優質混凝土驗證
 2. 優質混凝土驗證
 3. 新材料新功法新技術驗證

- 災後重建專案管理
1. 921震災專案
 2. 汶川地震後重建專案管理暨管理工作
 3. 88水災重建專案管理
 4. 海地新希望重建工程

大綱

- 01 台灣砂石現況
- 02 砂石品質資料分析
- 03 砂石品質分級
- 04 固廢再利用為替代資源
- 05 結語

© Taiwan Construction Research Institute

01 台灣砂石現況

© Taiwan Construction Research Institute

台灣砂石歷年統計

砂石為工程基礎原料，用量龐大，品質良窳關乎大眾安全
台灣砂石來源多元，各區陸上與河川因地質岩種及河川水力作用差異，故不同地區品質差異大

需求

預計混凝土平均4,112萬m³

遊灣混凝土平均742萬噸

估年砂石需求約7800萬噸

人均砂石用量3.4噸

供給

砂石供應量約7800萬噸

■ 河川砂石 ■ 剩餘土方 ■ 進口砂石 ■ 土石採取 ■ 區區剩餘土石

© Taiwan Construction Research Institute

來源分析與對策

需仰賴大陸進口砂石

取決於公共工程及民間建築開挖

2016年度台灣砂石成品來源分布

- 進口砂石 19%
- 剩餘土方 17%
- 區區砂石 4%

河川砂石需因河防安全而辦理疏濬，在無重大風災情況下，將逐年回至莫拉克風災前標準

民眾抗爭，推動不易

- 1 自有砂石不足
- 2 來源品質不穩定

因砂石資源有限 需妥善利用

- 1 現有砂石品質分析
- 2 研擬砂石品質分級必要性
- 3 固廢再利用

© Taiwan Construction Research Institute

02 砂石品質資料分析

© Taiwan Construction Research Institute

砂石品質數據彙整

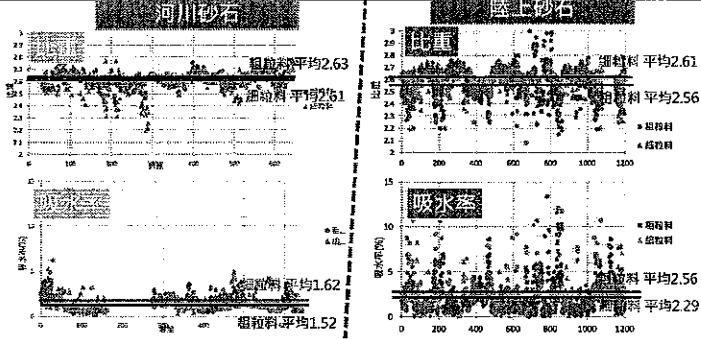
部分項目區分粗細粒料 逐本查閱歷年

編號	年份	粗粒料		細粒料		總計	區別	備註			
		量	品質	量	品質						
17-2214	105	1765.28	1028.35	1746.63	1702.33	17	河川砂石	342	460	802	4062
18-2215	105	1765.28	1028.35	1746.63	1702.33	18	河川砂石	330	932	1262	5905
19-2216	105	1765.28	1028.35	1746.63	1702.33	19	河川砂石	1017	109	1126	3414
20-2217	105	1765.28	1028.35	1746.63	1702.33	20	河川砂石	1689	1501	3190	13381

© Taiwan Construction Research Institute

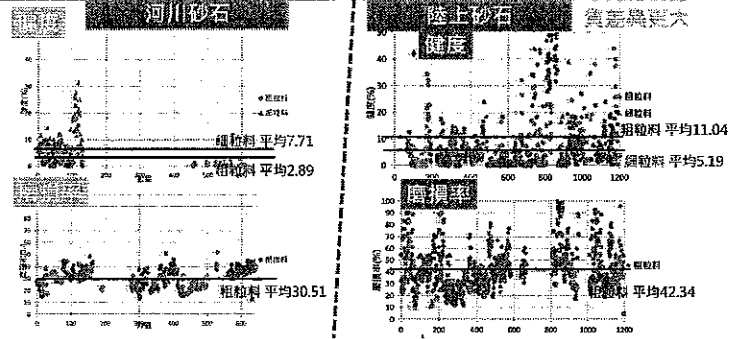
河川與陸上砂石品質數據比較

河川砂石品質較陸上穩定

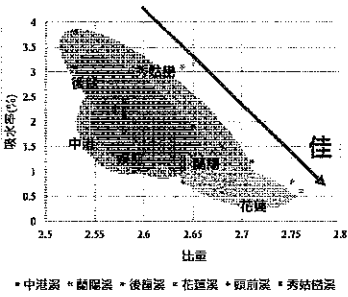


河川與陸上砂石品質數據比較

河川砂石耐久性高於陸上不同地區品質差異較大

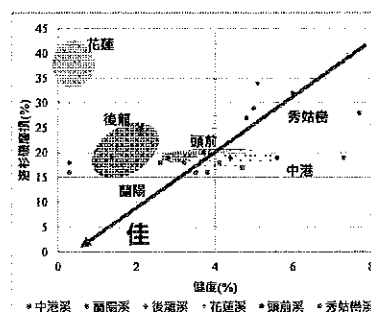


現地採樣試驗結果綜合分析(一)



✓ 比重與吸水率皆反映岩種緻密性，故呈關聯性高

現地採樣試驗結果綜合分析(二)



洛杉磯磨損與健度分析

- ✓ 由本計畫數據推測，磨損率與健度雖為耐久性指標，但兩者無直接關連
- ✓ 各水系之磨損率均接近，河川上下游差距小
- ✓ 工程機關可依設計需求選擇適合的河川砂石，減少優良砂石的低就浪費

02 砂石品質分級

Taiwan Construction Research Institute

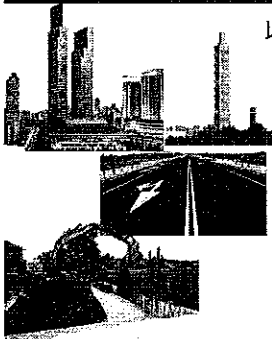
砂石性質分級目的

砂石品質分級之效益：

- 台灣自產砂石有限，讓天然資源得以適材適所利用
- 使用者可快速瞭解所用砂石粒料之品質，判別是否符合工程需求
- 砂石價值區分，讓標售制度更符合市場現況

砂石用途區分

以砂石粗粒料作分級對象，依適合用途分三級



可作高強度混凝土粒料，或重要道路及其他重視粒料強度之特殊工程

第一級

適作一般預拌混凝土、瀝青混凝土粒料，滿足多數工程對國家標準(CNS)的要求

第二級

適用於級配回填、鋪面基層、農業、粉飾用砂，品質要求性低

第三級

砂石品質標準彙整(一)

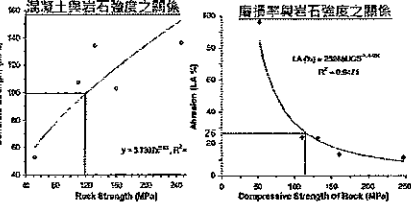
CNS 6299 混凝土用碎石	健性 < 12% 比重 > 2.5 吸水率 < 3.0% 磨損率 < 40%
工程會施工規範 第2743章、第2797章、第2798章 瀝青混凝土對粗骨粒料品質要求	健性 < 12% 比重 > 2.45 吸水率 < 2.0% 磨損率 < 30%
谷泥、亞東預拌混凝土廠 對粗骨粒料收標標準	健性 < 8% 比重 > 2.59 吸水率 < 2.0% 磨損率 < 25%
經濟部礦務局 陸上砂石分級	1.健性 < 12% 2.比重 > 2.5 3.吸水率 < 3.0% 4.磨損率 < 40%

佳 符合4項
中 符合2~3項
劣 符合0~1項

砂石品質標準彙整(二)

第一級：
因應高強度混凝土需求，對粒料強度要求更嚴謹，Kihc et al. (2008)
推得粒料抗磨損能力與混凝土強度為正向相關

資料來源：Kihc et al. (2008)



由此關係對應100MPa
超高強度混凝土

磨損率約以26%為佳
一級標準磨損率定25%以下

砂石品質分級標準

研擬砂石分級標準

指標	一級	二級	三級
比重	≥2.6	2.6-2.5	未達2.5
吸水率(%)	≤2.0	2.0-3.0	超過3.0
洛杉磯磨損(%)	≤25	25-40	超過40
含塵(%)	≤8	8-12	超過12

水系	一級	二級	三級
高屏溪全段	37%	14%	29%
旗山溪	78%	0%	22%
老瀨溪	63%	37%	0%
鹿寮溪	0%	80%	20%
曾文溪全段	10%	5%	85%
大安溪全段	100%	0%	0%
大甲溪全段	100%	0%	0%
烏溪全段	68%	12%	20%

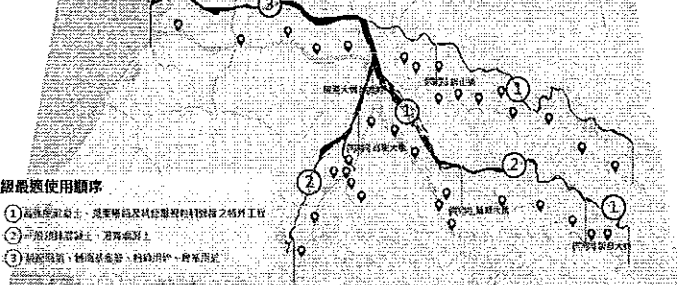


2017.9.27
召開砂石分級標準專家座談會討論

西部河川均有一級砂石，無採購限制疑慮

各河川砂石適用用途整理

高屏溪



各級最應使用順序

- ① 高強度混凝土、重要橋樑及其他重要材料與特殊之特殊工程
- ② 一般用途混凝土、道路工程
- ③ 一般用途、普通建築、一般用途、普通用途

03

固廢再利用為替代資源

Taiwan Construction Research Institute

大宗固廢產出量統計

數量統計資訊

台灣每年約有近2,000萬噸的廢棄物產出，在環保意識高漲的現在，處理問題深蒙重視。

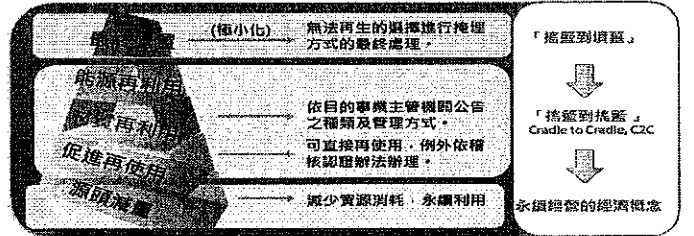
項次	廢棄物種類	年產出量(萬公噸)
1	煤灰 (底灰)	659 (139)
2	廢爐爐渣(石)	184
3	廢建築料	165
4	無機性污泥	146
5	垃圾焚化爐灰化底渣	100
6	有機性污泥	36
7	廢磁泥	28
8	非有害廢棄物或灰或混合物	26
9	廢磁砂	19

全台灣資源總計約2,000萬(不含剩餘土石方及選骨剩餘料、磚磁石、廢磁渣、剩餘石灰)

台灣的資源循環政策

政策目標

促使固廢數量極小化，達永續經營的經濟概念。



固廢資源化的推動，需透過政府單位政策搭配與落實執行，方能達到資源循環目標。

應用技術(1)-氧化矽/瀝青混凝土鋪面

氧化矽性質適於作為鋪面粒料使用。

項目	氧化矽粒料特性
外觀	白色塊狀晶形，表面有微孔，粒面凹凸有角且表面粗糙多孔，孔隙結構複雜。
比重	屬成分重較輕，比重介於 2.5-3.7 間，平均僅有 3.1，較天然砂石比重高。
吸水率	多孔性，吸水率約 1.5-6.8% 之間，平均僅有 3.6，較天然砂石吸水率低。
感油率	氧化矽粒料表面較天然砂石光滑。
耐磨性	氧化矽粒料表面，耐磨性、天然砂、天然磁石、煤矽石(含氧化矽)。



氧化矽瀝青混凝土鋪面評估

路段總長630公尺，其中150公尺鋪設氧化矽瀝青混凝土路面，其他為再生瀝青混凝土路面。

- ✓ 氧化矽使用量：氧化矽粒料取代細粒料，添加比例為30%細粒料
- ✓ 成效評估：完工後監測結果顯示，氧化矽鋪面的抗磨能力有較佳的表現。

石料種類	方向	磨損指數	IRPN值
氧化矽 瀝青	上行方向	磨損指數	74
	下行方向	磨損指數	75
	上行方向	磨損指數	80
	下行方向	磨損指數	81.5
天然砂 瀝青	上行方向	磨損指數	50
	下行方向	磨損指數	50
	上行方向	磨損指數	80
	下行方向	磨損指數	50

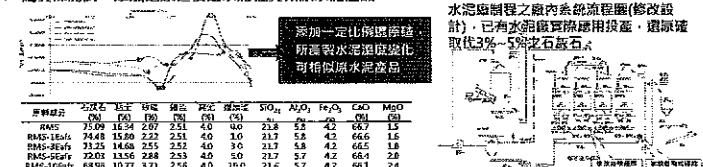


應用技術(2)-還原矽/水泥生料

還原矽性質可取代石灰石



經實際測試，添加還原矽後之水泥性質似原水泥品質



添加一定比例還原矽
所產製水泥強度化
可相似原水泥品質

水泥廠製程之內部系統流程圖(修改設計)，已有水坭廠互換應用機會，選取矽取代3%-5%之石灰石。

應用技術(5)-焚化底渣/控制性低強度回填材料

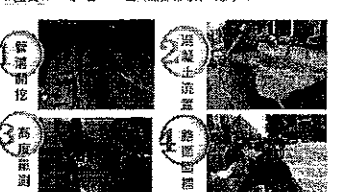
4. 焚化底渣的產出與性質

- 垃圾經高溫焚化後，不可燃物會轉化為性質安定之無機物，並由爐床排出焚化底渣。
- 焚化底渣約占垃圾焚化量15~25%，臺灣每年產量約100萬公噸。

4. 控制性低強度回填材料(CLSM)特點

- 定義** Controlled Low Strength Material (CLSM) 是一種可由石屑或石粉與代價較廉的膠凝材料製成之新穎回填材料。
- 用途** 主要用於填補管溝、路工後填、填塞人力、機械、履帶等因填土不實而造成的下列空腔與裂縫。
- 特點**
 - 高流動性：能填充自己填充空間，並能壓實。
 - 以膠結材料、水、砂石、膠粉比技術，方便人工或機器方式填控的膠凝與水基質材料。
 - 28天抗壓強度不超過1200psi。

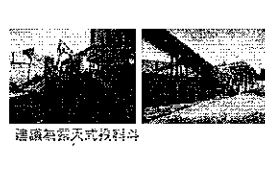
項目	要求
外觀	不含玻璃、腐蝕性、酸鹼性、有機物、有礙衛生、非金屬類之有機物質。
物理性質	粒徑分佈：0.075mm 20~100mm 顆粒，小於1mm 的 15~20%
化學性質	含氯量：≤0.15~2.0%
化學性質	含硫量：≤0.15~2.0%
pH值	與天然砂之 pH 值，約為 9~12



應用技術(3)-焚化底渣/控制性低強度回填材料

4. CLSM規範要求

項目	要求
厚度 (cm)	[15-20][20-30][]
厚度 (cm)	[40][]
厚度 (cm)	[]
厚度 (cm)	[]
厚度 (cm)	[]



4. 含焚化底渣控制性低強度回填材料CLSM配比範例

水灰比 (W/S)	水膠比 (W/C)	砂量 (kg/m³)	灰量 (kg/m³)	底渣量 (kg/m³)	膠粉量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	28天抗壓強度 (MPa)
0.35-0.4	3.33-5	200-300	70-120	800-950	-	-	0-1.2 (管溝)
0.3-0.4	2.72-3.13	350-520	100-150	1200-1500	-	-	1.5 (路工)
0.25	2	300	150	780-900	400	-	0-1.2 (管溝)
0.16-0.24	1.54-1.7	300-384	60-250	558-957 (膠粉)	238-753 (膠粉)	-	0-0.65 (管溝)
1.25-1.43	190-200	133-150	164-326 (膠粉)	1312-1404	-	-	10 (路工)

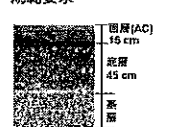
底渣子源既高，不得與金屬接觸

應用技術(4)-焚化底渣/低密度再生透水混凝土

4. 低密度再生透水混凝土 Multi-functional Regeneration Concrete, MRC

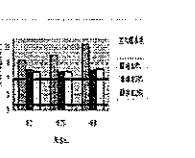
試驗項目	試驗方法	目標值
乾密度 (kg/m³)	CNS 11151	1500-2000
厚度 (mm)	CNS 11178	0-50, 0-100
30天抗壓強度 (N/mm²)	ASTM D4932	10-25, 50-15
28天抗壓強度 (N/mm²)	ASTM D4932	25-50, 35-40
透水性 (ml/155sec)	日本建築技術者協會 JIS A 5201	600以上, 300以上

規範要求



4. 含焚化底渣低密度再生透水混凝土配比範例

水灰比 (C/W)	水膠比 (W/C)	砂量 (kg/m³)	灰量 (kg/m³)	底渣量 (kg/m³)	膠粉量 (kg/m³)	水 (kg/m³)	28天抗壓強度 (MPa)
0.70	0	172	160	1240	400	0	10
0.75	0	133	150	1076	400	164	10
0.80	0	140	200	912	400	328	10
0.70	0	135	180	1240	400	0	10
0.75	0	142	190	1076	400	164	10
0.80	0	150	200	912	400	328	10
0.70	0	144	280	1240	400	0	10
0.75	0	152	190	1076	400	164	10
0.80	0	160	200	912	400	328	10

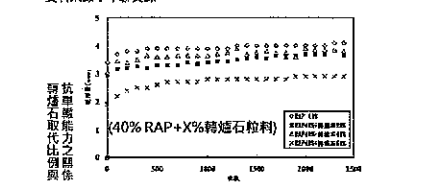


應用技術(5)-轉爐石/瀝青混凝土鋪面

- 轉爐石 年產量約150萬噸
- 鋼鐵廠副產物，非屬廢棄物
- 主要推動再利用於瀝青混凝土與鋪面基層
- 至今台灣已有超過20條道路鋪築實績
- 技術資料完備，工程機關接受度高，會主動使用
- 抗滑能力較優
- 抗車轍能力較優
- 鋼廠免費供料
- 耐久性好，生命週期拉長，可紓解天然粒料使用

轉爐石粒料性質

試驗項目	試驗結果
比重	3.31
吸水率 (%)	2.60
洛杉磯磨損 (%)	11.35



新聞事件造成資源化推動的阻礙

還原值誤用-「爐渣」事件



- 固廢種類多而混淆，名之曰「渣」。
 - 對其使用信心降低，儘量避用。
 - 再利用通路受阻，棄置或試用。
- 造成各界對使用的疑慮

資源化推動策略



1. 土木工程用材料需求總量須大於廢棄物產量，以達資源化目的

2. 經試辦工程執行訂定再生料使用規格，提出法規擬定及技術手冊供參，以維品質使用疑慮

3. 導入驗證管理，提升產出源及處理機構產製能力，確保源頭品質，以維品質管理疑慮

04

結語

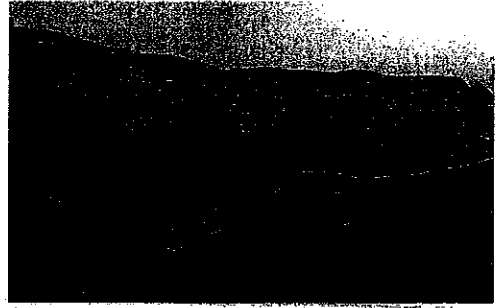
固廢資源化推動建議

- 天然砂石資源有限，應適材適所依各地砂石性質做最有益之利用
- 固廢資源化的推動，需透過政府單位政策搭配落實執行，方能達到資源循環目標。
- 固廢導入工程再利用，首應探詢多元可行的途徑，另完備工程使用相關技術檔案，後再落實管理，建議透過驗證制度的執行，建立環境面與工程品質的連結，以利資源化的推動。
- 固廢的再利用管理應採專廠處理過程的方式，將廢棄資源導入適切的用途中。且廢棄資源工程再利用皆應符合施工規範之要求，先需確保技術的可行性，以滿足工程品質之要求。
- 固廢的再利用推動，除技術為基本考慮基礎外，若能探詢提高經濟附加價值之再利用用途，以提升固廢之再利用效益。
- 台灣固廢于工程應用推廣，依性質評估適用用途，目前設定推廣途徑主要在瀝青鋪面、回填材料、非結構用混凝土及水泥原料添加等方面。

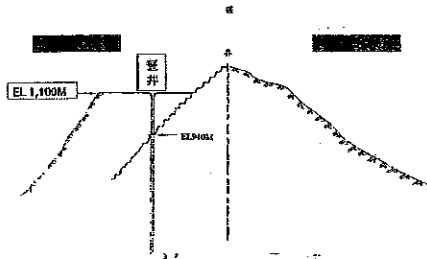
感謝聆聽 敬請指教

礦山環保升級及轉型案例分享

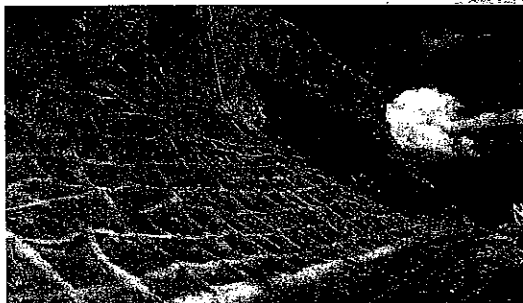
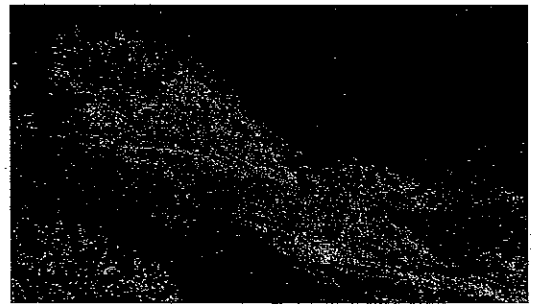
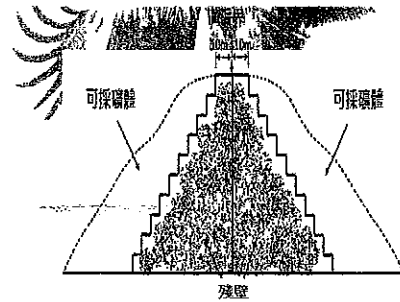
- 壹、前言：
- 30餘年前為4礦區於同座山之不同區位小規模開採
- 貳、礦區整合轉型：
- 1991年-礦區整合開發三原則
 - 1、聯合開採
 - 2、階段平台採掘
 - 3、直井方式運輸
- 1998年提出寶來、合盛原二礦聯合開採
- 2005年提出金昌、寶來、合盛原三礦聯合開採
- 參、資源整合：
- 2002年 廠、電、港 三合一
- 礦山、水泥廠、電廠、港口共生園區
- 肆、管理法規：
- 礦業法、環境影響評估法、水土保持法



豎井進入採掘跡喪失功能、可採量少



20米境界無法開採造成陡峭殘壁



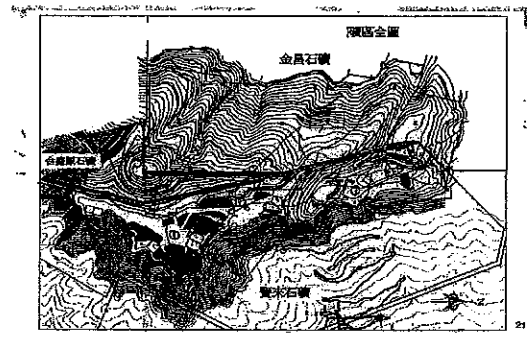
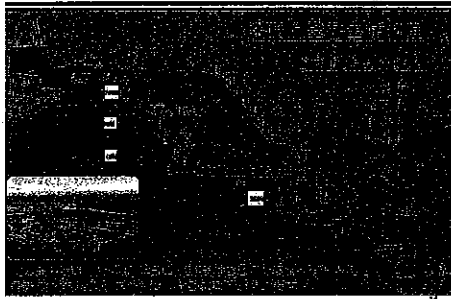
貳、礦區整合轉型：

1991年 礦區整合開發三原則

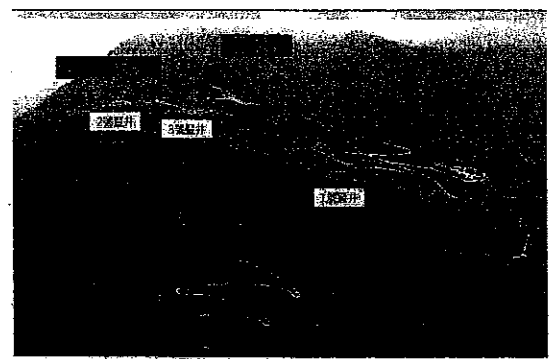
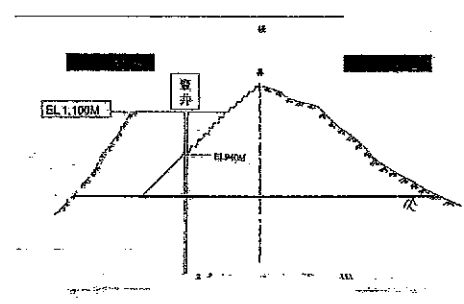
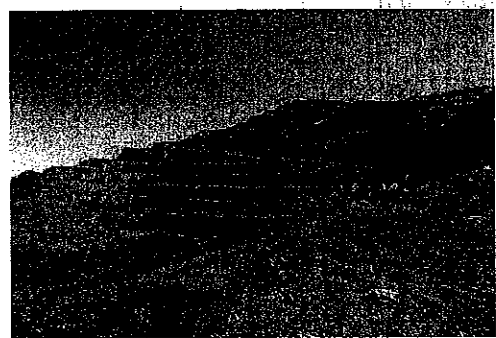
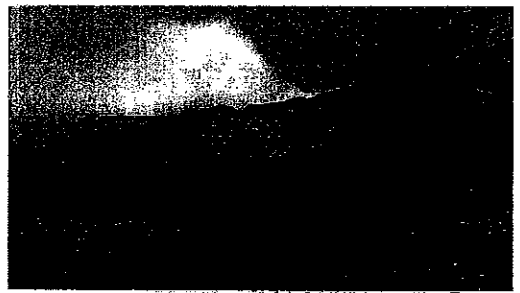
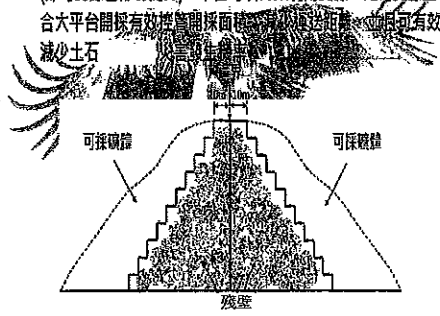
- 1、聯合開採
- 2、階段平台採掘
- 3、直井方式運輸

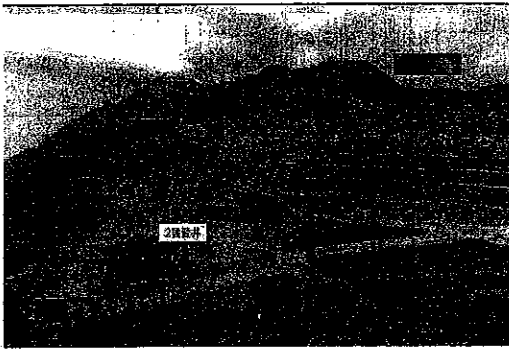
1998年提出寶來、合盛原二礦聯合開採

2005年提出金昌、寶來、合盛原三礦聯合開採



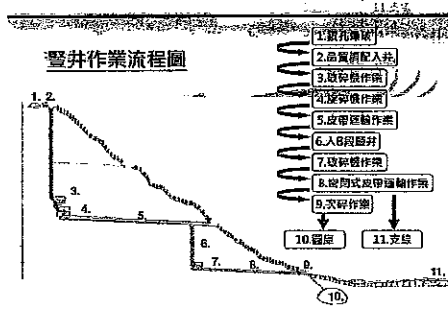
■ 辦理聯合開採並以露天階段式方式開採，可解除兩相鄰的礦界（即可將綠色部份開採），不僅可以有效利用資源，更可有效整合大平台開採有效控管開採面積，並且可有效減少土石





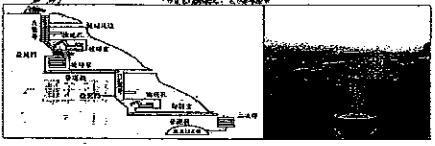
尊重環境資源-聯合開採、鑿井輸送

- > 山頂採用三礦區聯合開採法，減少落塵，充分利用現場資源，兼顧環保。
- > 山頂短距離運，以鑿井系統運送，無粉塵逸散及降低礦車運輸油耗，環保又節能。
- > 現場全面實施綠化，平地完全不具採掘作業。



鑿井運輸系統運輸

1. 利用三套鑿井，每套鑿井有二個直井及二個設置輸送皮帶的膠洞將矽石由高海拔運至低海拔處，再採用閉閉圓管輸送皮帶送至廠內，以除塵器及...
2. 如果無利用...

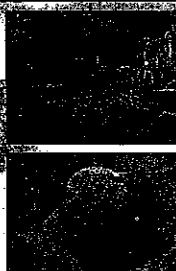


破碎機作業

矽石進入鑿井破碎室後通過80cm間距隔欄進入下方Ore Bin，停留在隔欄上粒徑太大的矽石再由碎機破碎。

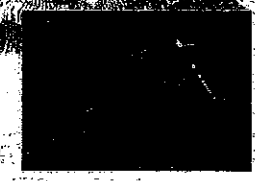
裝粉機作業

矽石經過破碎室篩選及碎機破碎後存至鑿井儲石倉，當儲石倉底部之指閘門開啟，矽石落下經由滾筒機進入旋轉機，並被破碎至13~15公分以下。



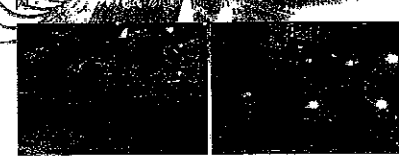
皮帶運輸作業

3A皮帶總長1780m，寬度1200mm；3B皮帶總長1740m，寬度1200mm，在長皮帶下對點的位置床設有防穿刺破磁器，在短皮帶下則設有防刺破磁器。




圖庫(石灰石儲存)

石灰石回庫儲存量為16萬噸，布料機由帶運機、油壓缸、中心轉盤組成，可施行360度布料及高低料倉高度調整，增加石灰石料堆高度，增加料堆容積。



自動化

生產流程採自動化控制，以最少人力維持生產力，由中央控制室(Center Control Room)掌握設備狀況及產量控制，負責現場人員則負責主要設備之維護與修理。



參、資源整合：水泥廠、電廠、港口
三合一

1. 石灰石礦山採聯合開採，豎井通輸，兼顧環保與節能價值；堪稱世界首屈一指。
2. 電廠使用水渣作為粉煤灰，兼收併蓄。
3. 電廠產生灰渣，用作水泥等廢棄物送水泥廠作原料，完全回收利用。
4. 港區進口原料、煤炭除水泥廠及電廠，水泥產品直接密封輸送至港區裝船；最小碳足跡。

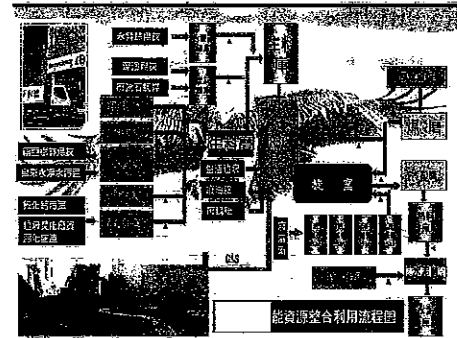
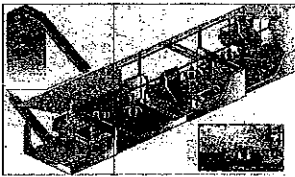


參、資源整合：礦山、水泥廠、電廠、港口
共生園區



參、資源整合：

- 廢輪胎處理：
- ✓ 2016.12 依環保署基金會通知，開始本廠協助處理廢輪胎，並向政府商酌處理方式。
 - ✓ 2017.01 與環保局商酌輪胎數量及處理方式。
 - ✓ 2017.03 提送「固定污染源操作許可異動申請資料」、「生煤使用許可異動申請資料」及「廢棄物再利用檢核申請資料」。
 - ✓ 預計每年處理廢輪胎 2000 噸/年。
 - ✓ 設備預計 7 月完工，初期處理能力 8000 噸/年。(4 月下旬開始使用)



肆、管理法規：

- 水土保持法：水土保持計畫
- 評估水文環境變化及地表擾動可能造成之災害，應妥善規劃滯洪、防砂、沉砂等設施，並注意安全排水、邊坡穩定、植生綠化等水土保持之處理與維護，以減免土砂災害。
- 施工監造。
- 環境影響評估法：環境影響說明書
- 可能影響項目：空氣、水質、地文、廢棄物、噪音、振動、植物、動物、人文及社會環境。
- 現況調查、影響範圍及程度分析、有利與不利影響、減輕或避免不利影響對策。
- 施工監測。

