

第三章 113 年減碳建議書

鑒於氣候變遷加劇，降低碳排放已成為社會、企業及政府共同關注的趨勢。因應國家 2050 淨零轉型政策，本計畫自 112 年度開始執行礦業減碳技術研究。然為兼顧礦業發展與淨零轉型，必須考量減碳技術可行性與成本效益，同時確保經濟成長與穩定的能源供應。

為落實礦業永續發展及完善礦場管理，並因應國家 2050 淨零轉型政策，地礦中心於 112 年度開始執行礦業淨零技術評估研究。預計於 114 年將研究成果部分內容公告於礦業碳足跡與資源永續平臺，以供礦業界做為減碳參考。去年度（112 年度）以一大理石礦場及一矽砂礦場做為目標礦場，進行現地監測建置背景數據。再利用軟體 Datamine 進行礦場作業優化模擬，提出減碳策略與減碳效益評估及建議報告書。然此減碳效益評估及建議報告書為針對單一礦場提出之減探策略，其中包含礦場特定作業行為之優化建議。例如改變礦場內運輸路線或調整鏟裝機具數量配置等。所編撰之評估報告書僅適用於單一礦場特定工區內之作業行為。經期末審查委員與工作小組之建議，本工作項目調整修正為「減碳建議書」。

3.1 減碳建議書架構說明

「減碳建議書」包含：國外礦場減碳案例分析、本計畫 112-113 年共七礦目標礦場碳熱點影響因子差異分析、112 年專家諮詢會議意見及國內減碳建議。依據以上內容，減碳建議書撰寫及編輯章節架構詳下圖 3.1-1 所示。

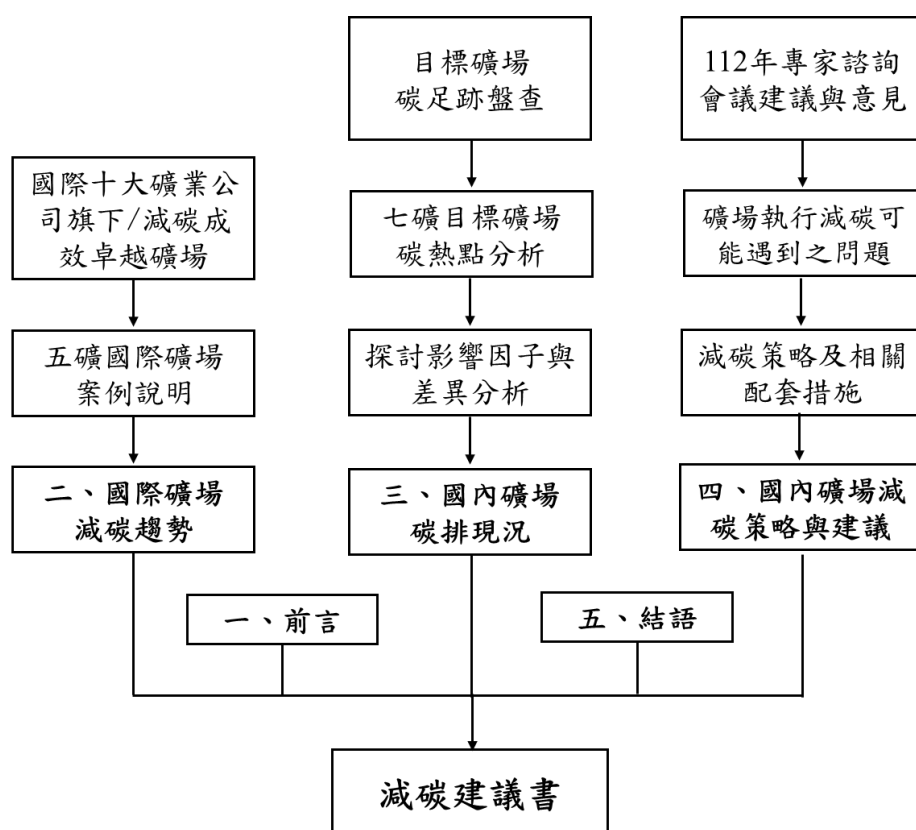


圖 3.1-1 本計畫減碳建議書架構圖

本期中報告先就(一)前言、(二)國際礦場減碳趨勢：國外五礦礦場減碳案例分析、(三)國內礦場碳排現況：112 年兩目標礦場碳排分析、(四)國內礦場減碳策略與建議：112 年專家諮詢會建議結論 四個項目彙整於期中報告。完整減碳建議書將詳述於期末報告。

3.2 前言

3.2.1 前言撰寫說明

前言旨在引導讀者了解礦場減碳的必要性和重要性，並為後續的具體建議和方案提供背景資訊。主要闡述製作本減碳建議書之機關單位與緣由。前言之目的為：

1. 設定背景和脈絡：可以幫助讀者瞭解建議書撰寫之原因及其所處

的背景環境。除提供必要的背景資訊，使讀者明白關注減碳問題的重要性。並於此節闡明本減碳建議書研擬之機關單位。

2. 闡明目的和目標：明確表達建議書的目的，以及通過該建議書所需達成的目標。可讓讀者清楚了解建議書的重要性，並使讀者能對建議書內容有較深入之理解。
3. 強調重要性：通過此節，可以強調減碳對於礦業企業、社會以及環境的重要性，從而引起讀者的關注和重視，讓他們認識到採取行動的迫切性。
4. 建立期望：前言為讀者提供了對建議書內容的概述，使讀者瞭解各相關問題的及所衍生出應討論的問題、方案或建議，從而建立起合理的期望。

3.2.2 前言(草稿)內容

隨著全球氣候變遷議題日益受到重視，各國政府和企業都在積極尋求減少碳排放的解決方案。為呼應全球淨零趨勢，我國於 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，政府將推動能源、產業、生活、社會等四大轉型策略，逐步實現 2050 淨零排放之永續社會。礦業與砂石開發為高能耗產業，從礦石的開採、運輸到加工，都需要消耗大量的能源。為達到 2050 淨零排放，經濟部地質調查及礦業管理中心(以下簡稱地礦中心)於 112 年辦理「礦業與砂石資源永續開發科技策略計畫」。計畫將以資源開發礦產及土石選擇標竿項目，進行供應鏈包括採取、加工、運輸、工程、營造(建)及工業原料等之淨零排放路徑分析與減碳方法研究。本減碳建議書即為依據「

礦業與砂石資源永續開發科技策略計畫之礦業減碳創新技術開發研究」之研究成果進行編撰。。

礦業產品在全球經濟貿易中扮演著重要角色。礦產品從礦場開採過程即必需使用重型設備和機械進行挖掘、鏟裝和運輸作業。此類設備通常以柴油等化石燃料為動力，不可避免地會直接排放大量的溫室氣體。另爆破、選礦作業和其他加工過程中也會排放二氧化碳和其他溫室氣體。除此，在產品的運輸過程中礦對基礎設施的需求（如交通、電力等）依賴，同樣會間接產生碳排放。隨著國內基本工業對礦產品需求的增加，這些直接或間接造成的碳排放在國內碳足跡中佔有顯著比重。

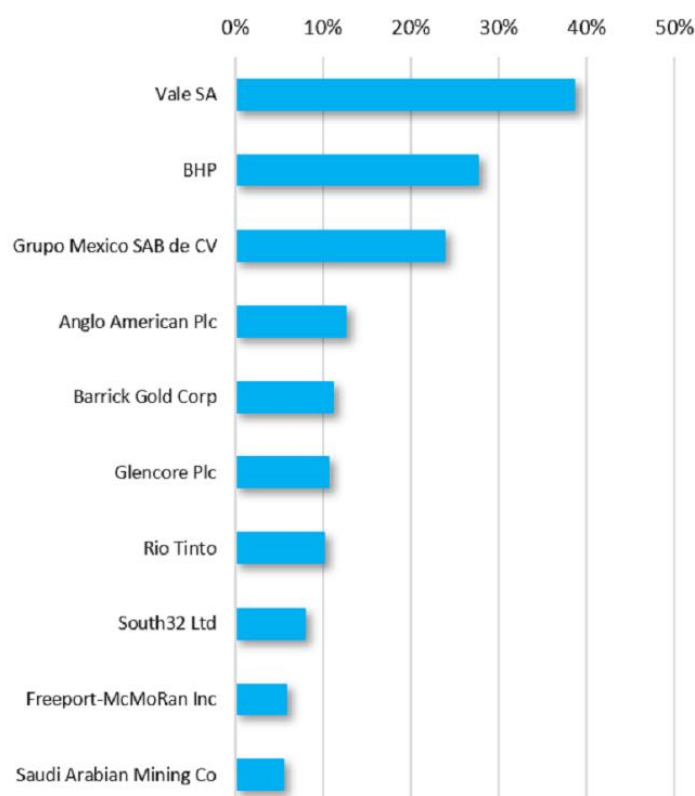
地礦中心為礦業主管機關，為配合政府淨零轉型政策積極檢討相關管理機制，遂提出本礦場減碳建議書。針對國內礦業碳排放議題，本建議書由「排放源」作為出發點，透過建置之國內礦場碳排放資料庫，進行碳排熱點影響因子分析。並借鏡國外礦場成功減碳案例與國內專家學者之意見，研提國內潛在可行的減碳科技及方法，進而提出針對礦場之實質「減碳建議方法」。本減碳建議書提出之減碳建議方法，可作為我國未來礦場科技減碳之重要參考依據。

3.3 國際礦場減碳趨勢

礦業為民生基礎工業，為社會提供原料及動力，是人類生存與社會永續發展的生活基礎。礦產在開採過程中，需要大量的能源進行作業或用以驅動各種重型機具，例如：炸藥爆破、挖掘機、運輸設備等。而這些化學反應及能源消耗則會產生二氧化碳排放。有鑑於全球淨

零排放浪潮與歐美碳邊境調整機制趨勢，全球礦業公司亦特別注重旗下礦場溫室氣體排放問題，其中更針對範疇 1 及範疇 2 訂定 2030 年的短期目標及 2050 年的淨零排放目標。

GlobalData 公司統計分析 2018-2022 年全球 85 個礦業公司公布的碳排放量。5 年內範疇 1 及範疇 2 的排放量整體下降約 14.3%。在 85 家礦業公司中，有 42%的比例在這 5 年(2018 年-2022 年)間成功減少了碳排放，圖 3.3-1 所示。其中減排程度最高者為 Vale S.A.淡水河谷公司，達 38.6%；其次為 BHP 必和必拓公司，28.2%；第三為 Grupo México SAB de CV 墨西哥集團，其減碳程度為 23.7%。Vale 淡水河谷公司在 2018 年至 2022 年間增加 98.6%的再生能源發電，減少了 5.6 噸的二氧化碳當量排放。例如 Barrick Gold Corp 巴里克黃金公司，透過在美國跟 Mali 馬利投資太陽能發電、在 RDC (République démocratique du Congo)剛果民主共和國投資水力發電廠，以減少傳統能源供應。此作為降低了 0.84 噸二氧化碳當量排放。以下自全球知名礦業公司或減碳成效卓越之礦場中，挑選五礦作為減碳案例。分析不同礦場之減碳策略。



資料來源：GlobalData

圖 3.3-1 2018-2022 年減排程度前十大之礦業公司

3.3.1 國外礦場減碳案例

在全球氣候變遷議題與淨零排放趨勢下，礦業行業正在面臨越來越多的壓力。無論是減碳技術或再生能源的基礎工程設施，亦不可避免地需要大量且多樣的礦物。因此過度的降低礦業開發行為、降低礦產產量，亦會直接或間接地阻礙減碳技術、基礎設施的發展。在礦業涉及的龐大產業鏈前提下，也將對工作機會與經濟發展造成負面影響。因此，國際礦業逐步轉向為持續生產同時兼顧降低碳排放的經營趨勢。此種趨勢反映了全球對氣候變化和環境保護的關注不斷增加，以及對可再生能源和低碳技術的需求不斷上升。

除此之外，許多國家和地區都已制定了嚴格的環境法規，要求企業降低碳排放。這些法規通常包括碳排放限額、碳稅等，迫使礦業公司採取行動，以符合法規要求，避免受到罰款或其他法律制裁。例如，在巴西根據特許合約的購電協議，採礦過程中消耗的電力 99.95 % 為再生能源。碳排放與資源的過度消耗密切相關。礦業公司減少碳排放的同時，也在提高資源利用效率，推動礦產的永續開採方式，確保未來資源的可持續利用。以下介紹國際著名礦業公司施行之減碳策略與成效。

一、 Aitik 艾提克銅礦場 - Boliden AB 博利登業公司

(一) 礦場簡介

Aitik 是位於瑞典北部的大型露天銅礦，由 - Boliden AB 博利登礦業公司經營。礦場銅礦石品位僅 0.22 %，一噸礦石只能生產約 10 公斤精礦，因此 99% 的礦石最終成為尾礦，即廢石。然而 Aitik 礦場以其大規模、高生產效率以及先進的開採技術及設備克服低品位礦石的先天條件，並計畫於近年提高產能。該礦採用鑽炸法進行生產作業，並於採礦場先行經過初步破碎後才運送到儲礦倉。Aitik 礦場始建於 1968 年，經過多年擴建和技術升級，成為世界上生產效率最高的銅礦，其先進的採礦技術在國際上也享有聲譽。

(二) 礦場減碳策略

Aitik 礦場採取了多種措施以達到減碳目標，這些措施不僅可有效減少碳排放，還可提升礦場的運營效率。下述即為該礦主要的減碳措施：

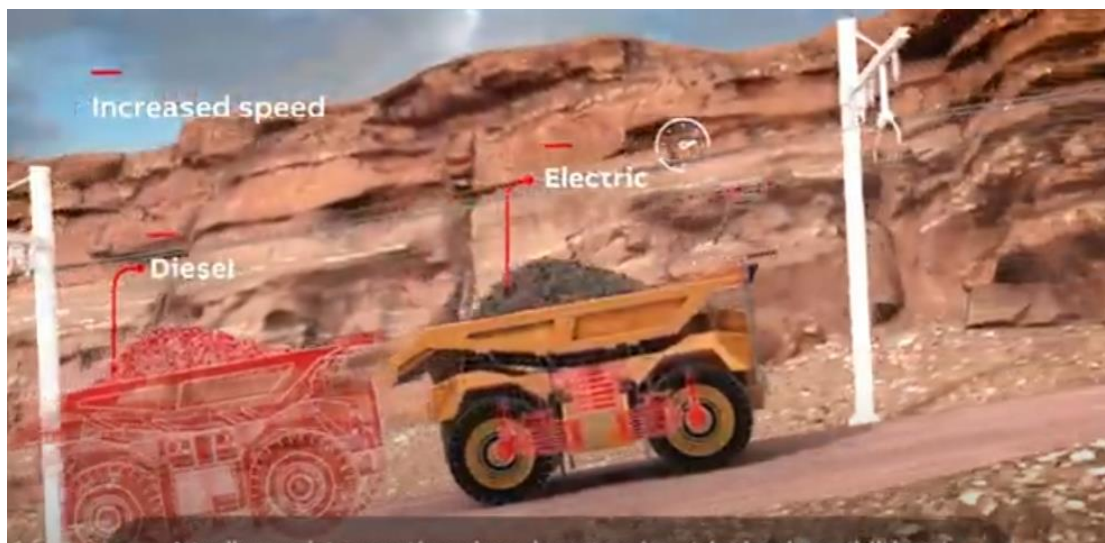
1. 電氣化運輸

Aitik 礦場自 2018 年起開始推動運輸系統的電氣化，包括使用柴油電力混合動力卡車和電纜吊架系統。這些卡車在某些路段由道路上方架設的電纜系統提供電力，以減少柴油的使用，從而降低碳排放。這種混合動力的卡車在需要時可切換到柴油動力，特別是在無電纜覆蓋的區域(詳圖 3.3-2、圖 3.3-3)。Aitik 礦場每年運輸約 7,000 萬公噸礦石，此一油電運輸系統預計每年可節省約 83 萬公升的柴油，經換算可減少約 2,200 噸的二氧化碳排放 (Global Mining, 2022)。



圖片來源：Abb 官網

圖 3.3-2 艾提克礦場使用的混合動力卡車和電纜吊架系統



圖片來源：Abb 官方 YOUTUBE

圖 3.3-3 艾提克礦場使用的混合動卡車示意圖

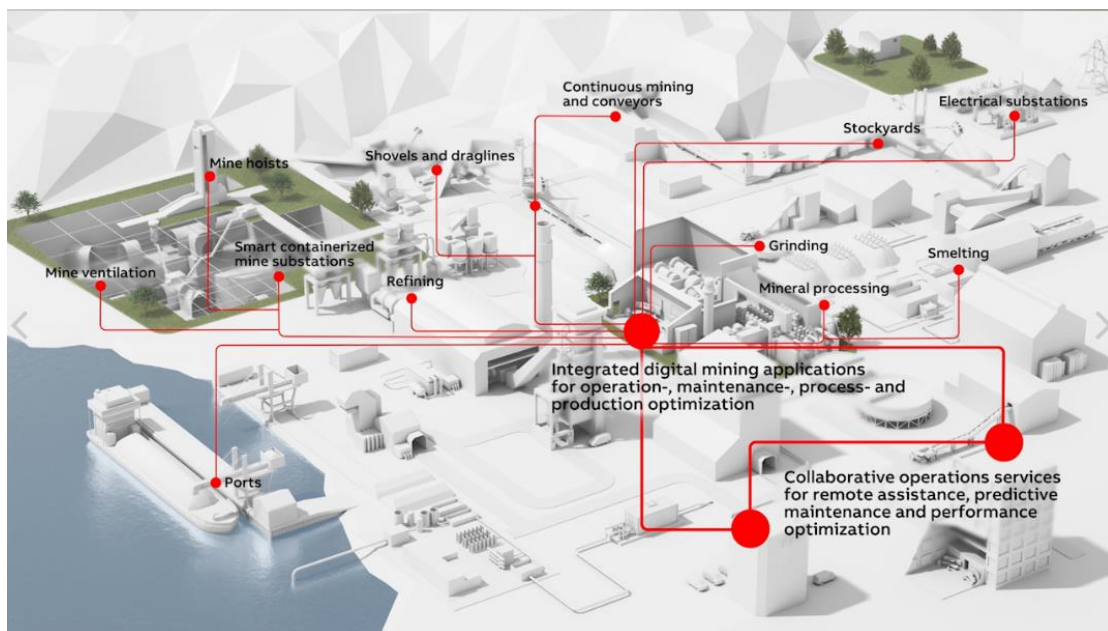
2. 使用可再生能源

逐步轉向使用風能和水力發電來供電，減少對化石燃料的依賴。此類再生能源能大幅減少碳足跡，同時滿足工業發展及市場不斷增長的銅需求，尤其是來自電動汽車的需求。

3. 優化開採作業

Aitik 礦場引入自動化和數位化技術，如 ABB 的 Mine Optimize 系統，以優化能源使用，降低運營中的碳排放。Mine Optimize 利用先進的自動化技術控制和優化礦場的各個作業流程，包括礦石處理、運輸和生產過程。由於自動化系統可以減少人為錯誤，因此可大幅提高操作效率。Mine Optimizeve 系統可視為一數位化變電站，內含一個 4.8 兆瓦的整流器，可有效地將交流電 AC 轉換為直流電 DC，從而能夠提供最大的可用性

和最高的生產率並進而減少能耗，並降低碳排放。此系統以自動化和遠程監控，無需人工干預，提高安全性 (ABB, 2024)。Mine Optimizeve 系統詳圖 3.3-4 所示。



圖片來源：Abb 官網

圖 3.3-4 ABB Ability™ Mine Optimize 系統示意圖

4. 擴展綠色基礎設施

礦場進一步擴展電纜吊架系統，並計劃將更多的礦用卡車轉換為電動模式，以提高運輸速度並減少燃料消耗和排放。

5. 投資技術研發(碳捕集與碳封存)

Aitik 礦場積極投入研究並試點碳捕集與封存技術，試圖捕集和封存礦場在運營過程中所排放的二氧化碳，進一步降低其對環境影響。

二、 Carajás 卡拉加斯礦場- Vale S.A. 淡水河谷公司

(一) 礦場簡介

卡拉加斯礦場是全球最大的露天鐵礦之一，礦場位於巴西的帕拉州(Pará)，擁有超過 70 億噸的鐵礦石儲量，由淡水河谷公司經營，以其高品位的鐵礦聞名，礦石鐵含量通常超過 65% (Mining Technology, 2020)。Carajás 卡拉加斯礦場如圖 3.3-5 所示。



圖片出處：Americas Quarterly

圖 3.3-5 巴西卡拉加斯鐵礦場

(二) 礦場減碳策略

Vale 公司在 Carajás 礦區採取全面措施來應對碳排放問題。具體減碳策略包含：

1. 無卡車運輸系統

Carajás 礦區採用無卡車運輸系統，運輸系統使用皮帶輸送機以代替傳統的重型柴油卡車，顯著減少礦

石運輸過程中產生的碳排放，該系統不僅提高能源效率，還可減少礦場內的燃料消耗和溫室氣體排放。

2. 自動化與電氣化設備

礦區引入自動化設備和電氣化採礦設備，以減少對化石燃料的依賴。例如，Vale 目前正在測試電動礦用卡車和其他低碳技術，可有助於進一步降低運營中的碳足跡 (NASA JPL, 2018)。

3. 使用可再生能源

Vale 公司在 Carajás 礦區及其周邊區域推動使用水力發電的再生能源，水力發電系統減少該礦區的間接碳排放，特別是在電力供應方面的碳足跡 (NASA Earth Observatory, 2018)。

4. 環保基礎設施投資

Vale 投資建置礦場的環保基礎設施，可提升資源利用效率和減少環境影響，其中包括污水處理設施、廢棄物管理系統以及生態復育系統，以確保礦區在開採過程中對環境的影響降到最低。

5. 植被復育與保護

由於 Carajás 礦區位於亞馬遜雨林，Vale 公司實施大規模的植被復育計畫，以抵消採礦活動帶來的生態破壞，相關措施有助於維持區域內的生物多樣性，同時減少碳排放。

三、Olympic Dam 奧林匹克壩礦場- BHP Group Limited 必和必

拓集團

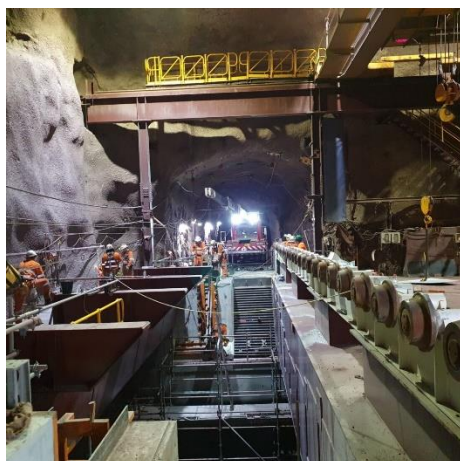
(一) 礦場簡介

奧林匹克壩礦場位於南澳州，是同時包含露天及地下開採作業的多金屬礦。主要開採銅、鈾、銀和黃金。該礦是世界上第四大銅礦床和已知最大的單一鈾礦床。自 2005 年起由 BHP 集團擁有並經營該礦。整個礦場的作業包括從礦石開採、破碎、磨礦、選礦到最終產品的冶煉和精煉。Olympic Dam 礦場的複雜性及多樣性亦成為研究礦產資源管理、環境保護和永續發展實踐的重要案例。奧林匹克壩露天及地下礦場如圖 3.3-6 及圖 3.3-7 所示。



圖片出處：<https://www.psm.com>

圖 3.3-6 Olympic Dam 露天礦場



圖片出處：<https://wga.com>

圖 3.3-7 Olympic Dam 地下礦場

(二) 礦場減碳策略

BHP 集團在 Olympic Dam 礦場時實施了多項減碳措施，以減少其對環境的影響，並推動礦業永續發展。主要減碳策略包含：

1. 優化開採作業

通過優化採礦和加工過程中的能源使用來減少碳排放。例如，礦場採用更高效率和先進技術及開採流程，以減少能耗。透過這些技術，使 BHP 達到其在 2030 年將運營中的溫室氣體減少 30 % 排放目標 (BHP, 2021)。

2. 電氣化設備

BHP 在 Olympic Dam 礦場推出一型全電動地下鑽孔機 Epiroc Boomer M2 Jumbo。重達 28.7 噸、長 14.5 公尺的電動鑽孔機由 150kW 牽引馬達和 150kW 電池系統提供動力。該設備可透過減少噪音和振動、消除熱

和柴油顆粒物排放，從而降低溫室氣體排放。目前 Olympic Dam 礦場已具備 16 台 Epiroc Boomer M2 Jumbo 進行開採作業。此全電動 Jumbo 機具將實現 BHP 2030 年降低 30% 碳排放的中期目標(BHP, James Agar, 2022)

3. 使用再生能源

BHP 集團與澳洲再生能源供應商 Iberdrola Australia 簽訂了一項重要協議。從位於澳洲南部的 Port Augusta 再生能源園區購滿電力。該園區擁有 210 兆瓦風電和 110 兆瓦大型太陽能發電設施，為澳洲最大的太陽能-風能混合發電廠。通過這一合作，Olympic Dam 礦場計畫到 2025 年將其電力消耗中的 50% 轉換為再生能源，顯著減少碳排放(International Mining, 2021)。

4. 水資源管理

Olympic Dam 礦場實施嚴格的水資源管理策略，經由提高水的再利用率和減少用水需求，間接減少了與水處理和供給相關的能源消耗和碳排放。。

5. 投資減少碳排放的創新技術研究

BHP 投資於新技術的開發和應用，以減少礦場運營過程中的碳排放。例如：研究電動設備的使用，以替代傳統的柴油驅動機械，從而減少礦場的直接碳排放。

四、 戈夫(Gove)礦場 - Rio Tinto 力拓集團

(一) 礦場簡介

Gove 礦場位於澳洲北領地的阿納姆地 (Arnhem Land)，是全球主要的鋁土礦生產地之一，Gove 礦場自 1970 年代開始營運，礦場採用露天開採方式，鋁土礦通過皮帶輸送機運輸到附近的氧化鋁精煉廠。在整個礦區內，有複雜的基礎設施用於支援礦石的開採、運輸和加工。近年來 Rio Tinto 集對 Gove 礦場進行營運調整，關閉了氧化鋁精煉廠，目前保留鋁土礦的開採作業。

(二) 礦場減碳策略

為減少碳排放並推動可持續發展，Gove 礦場採取一系列關鍵的減碳措施：

1. 建設太陽能發電廠

Rio Tinto 在 Gove 半島建設兩個 10.5 兆瓦的太陽能發電廠，於 2024 年 7 月開始動工，預計於 2025 年初竣工。太陽能發電廠預計將減少 Gove 礦場約 17% 的年度柴油消耗。相當於每年減少碳排放超過 12,000 噸，這一措施不僅減少了礦場的碳足跡，還為當地社區提供了再生能源解決方案(Rio Tinto, 2024)。

2. 復墾與生態復育

Rio Tinto 已經開始進行土地復墾和生態復育工作。這些措施旨在恢復礦場區域的自然環境，減少礦業活動對生態系統的長期影響，並為未來的碳中和目標奠定基礎。

3. 廢棄物管理和循環利用

Rio Tinto 在 Gove 礦場實施了嚴格的廢棄物管理政策，有效減少廢棄物產生和促進廢棄物的循環利用，這些措施不僅減少了對環境的影響，並有機會降低碳排放。

五、 Chuquicamata 丘基卡馬塔銅礦場 - Codelco 智利國營銅業公司

(一) 礦場簡介

Chuquicamata 礦場位於智利北部的阿塔卡馬沙漠，由智利國家銅業公司(Codelco)經營。礦場自 20 世紀初開始運營，曾經是全球產量最高的銅礦。該礦還可產出含有鉬、金和銀等副產品，是支持智利經濟成長的重要產業。該礦最初為露天開採，近年來由於礦體的深入地層故而轉向地下開採。礦石在現地經過初步破碎和磨礦後，進行浮選和冶煉，生產出精煉銅。由於 Chuquicamata 礦場面臨礦體深度增加帶來的開採難度，以及環保要求的不斷提升，Codelco 正在通過技術改進和資源管理來延長礦場的壽命，並確保其在全球銅市場的持續競爭力。

(二) 礦場減碳策略

Codelco 採取相關措施來減少碳排放並推動礦場的持續發展。關鍵的減碳措施包含：

1. 轉向地下開採

Chuquicamata 礦場正在從露天開採轉向地下開採。

這一轉變不僅延長了礦場的壽命，還減少了露天開採帶來的環境影響，包括土地使用和碳排放。

2. 能源使用效率提升

通過改進採礦設備和流程，減少能源消耗並降低碳排放。新技術和優化的生產流程有助於提高能源利用效率，減少礦場的碳足跡(Sika 網站，2019)。

3. 空氣品質控制

4. 在冶煉和精煉過程中，Chuquicamata 礦場實施了嚴格的空氣品質控制措施，減少了二氧化硫和其他污染物的排放，這對減少溫室氣體排放也有間接貢獻(Mining Tecknology, 2023)可用於國內礦場之減碳建議

綜合 3.3.1 節之國外礦場效果卓越之減碳方法，結合國內礦場現況與條件，歸納以下建議：

一、電氣化運輸

(一) 國外經驗：國外礦場如 Carajás 礦場、lympic Dam 礦場正逐步引入全電動開採機械，如皮帶輸送機、電動卡車、電動鑽孔機。這些設備有助於減少運營中的碳排放。另 Aitik 礦場及其他歐洲礦場採用混合動力的運輸系統，如架空電纜為重型卡車提供電力，亦可有效減少大量的柴油使用。

(二) 國內可行建議：在台灣的礦場中，大型礦場可以評估在礦場礦石運輸路徑上安裝電纜吊架系統的可行性，並逐步引入混合動力或電動運輸車輛，尤其是在距離電力供應場較近，具有位置優勢的礦場。

中小型礦場可以考慮以電動卡車替換掉老舊之柴油卡車。

二、再生能源的使用

(一) 國外經驗：BH 的 Olympic Dam 礦場已經開始使用風能和太陽能、Aitik 礦場以風力和水力發電來供電、Gove 礦場亦建設太陽能發電廠。國外許多礦場紛紛發展再生能源，如太陽能、風力、水力發電等，替代部分傳統能源供應。

(二) 國內可行建議：台灣礦場(不含海域礦場)截至 112 年共有 113 礦，其中多數為小型礦場。興建綠能發電廠或混合動力設備電纜僅適合大型礦場。國內多數中小型礦場在評估礦場用電需求及場地條件後，可選擇設置成本較低、效率高且耐用的太陽能電池板，並配合合適的逆變器將直流電轉換為交流電。此外亦考慮是否需要安裝電池儲能系統，以確保電力供應的穩定性。

三、優化開採作業

(一) 國外經驗：透過自動化和數位化技術優化開採作業，如 BHP 集團在 Olympic Dam 礦場透過優化鑽孔、爆破、鏟裝、運輸的開採過程，提高開採效率、降低能耗。而 ABB 的 MineOptimize 系統已經在 Aitik 礦場成功實施，通過自動化和數位化技術優化開採作業，降低碳排放。

(二) 國內可行建議：台灣礦場可以考慮引入類似的自動化和數位化技術，進行實時監控和優化能源使用，減少人工干預並提高運營效率。這可以結合現有的基礎設施，根據具體需求進行定制化開發。

四、社區與員工參與

- (一) 國外經驗：許多國外礦場積極與當地社區合作，推動環保意識教育和減碳措施的落實。
- (二) 國內可行建議：台灣的礦場可以開展社區和員工的環保教育活動，增強減碳意識。並鼓勵社區參與礦場的環保措施，從而提升整體減碳效果。

3.4 國內礦場碳排現況

為了達到礦場減少碳足跡的目的，必須先瞭解國內礦場的碳盤放狀況。礦場的碳排放量會因其所生產的礦物種類、開採方式、能源使用情況以及管理措施等因素而有所不同。本建議書針對國內礦場：「四礦(台泥寶來石礦、合盛原石礦、金昌石礦及台泥和平石礦)聯合礦場」、「北河矽砂礦」進行碳排放調查與碳熱點分析。透過精確定位碳熱點區域(開採流程)，可以集中資源進行優化和改進，還能提高整體運營效率、降低能源成本，實現最大的減排效果。

3.4.1 四礦聯合礦場

四礦聯合礦場為大理石露天礦場，年產量為 600 萬公噸。作業流程包含鑽孔、爆破、鏟裝及運輸四大項目。依照爆破設計規劃內容鑽孔，將炸藥填入砲孔內，以爆破方式將礦石與母岩剝離，再以挖掘鏟裝機具裝入卡車進行運輸。運輸方式亦有卡車運輸與直井運輸。四礦聯合礦場開採流程詳圖 3.4-1 所示。

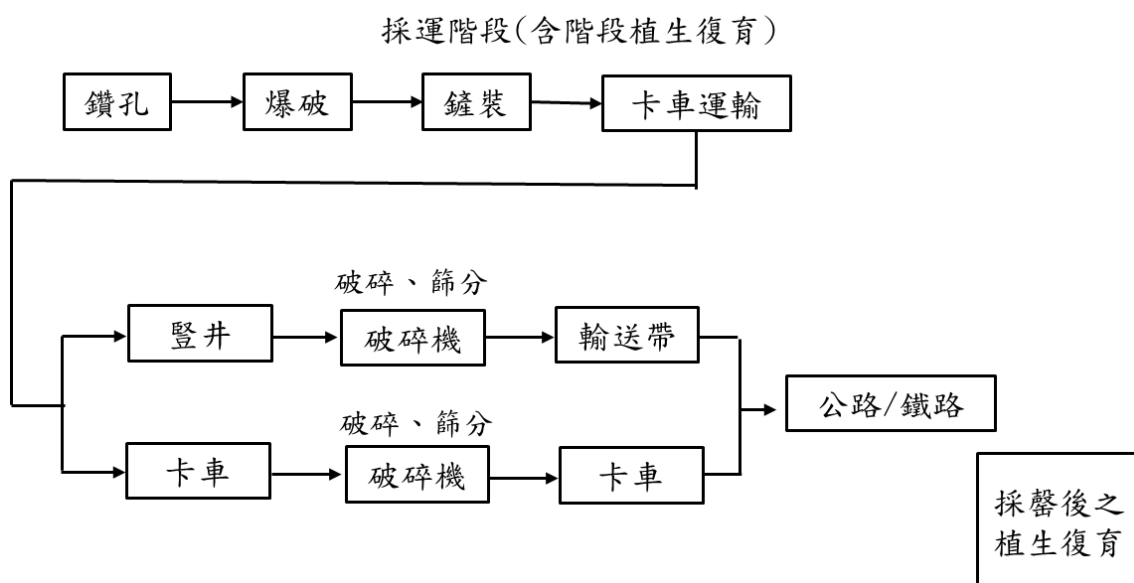


圖 3.4-1 四礦聯合礦場開採流程圖

一、碳足跡調查

經本研究團隊 2023 年 7 月對四礦聯合礦場進行碳足跡調查，碳足跡來源詳表 3.4-1。原物料主要為爆破用途的炸藥（包括硝油藥及乳膠炸藥等），能源主要為製造過程的柴油及用電量，柴油供應鑽孔機、挖土機及卡車等重型機具（各機具的柴油用量並無分開統計，因此無法區分各製程及運輸階段的用油量）。調查結果顯示，四礦聯合礦場 2022 年大理石(原料石)總開採量為 5,396,967 公噸，每開採一公噸的大理石原料石，會產生 1.65 公斤的二氧化碳當量。碳排放結果詳表 3.4-2 所示。

表 3.4-1 四礦聯合礦場碳足跡計算來源表

資料數據	說明
總開採量 5,396,967 噸	2022 年數據
能資源：廠區總用電量 284,960,939.6 度	台電電費單統計
能資源：礦山用電量 4,316,266 度	廠區抄表計算 包括豎井及圓庫
能資源：柴油：1,442,220 公升	包括鑽孔機、挖土機、卡車及其它製程用途 來源為中油北埔油庫
能資源：汽油：12425 公升	公務用車
原物料：硝酸銨 720.5899 噸	提供廠商為地景實業
原物料：柴油 45.9951 噸	來源為中油北埔油庫
原物料：乳膠炸藥共 6.516 噸	提供廠商為地景實業
製程保養：廢潤滑油 46.58 噸	焚化處理
廠區人員*工時為 149,072 人員小時	推估化糞池碳排量
礦山復育：復育面積 3.2371 公頃	原生種喬木：青剛櫟、台灣赤楊、相思樹、光臘樹、無患子 原生種灌木：台灣山桂花、山水柳、蘆竹、腎蕨 草籽：黑麥草、高狐草

表 3.4-2 四礦聯合礦場碳足跡分析表

活動數據名稱	每單位數量	單位	排放係數名稱	數值	宣告單位	數據來源	碳足跡(公斤CO ₂ e)	碳足跡占比(%)
柴油(鑽孔、鏟裝、運輸等)用	2.67E-001	公升(L)	柴油(於公路運輸移動源使用, 2020)	3.38E+000	公升(L)	產品碳足跡資訊網	9.03E-001	54.63
標的物總用電量(製程用電)	8.00E-001	度(kwh)	電力碳足跡(2020)	5.90E-001	度(kwh)	產品碳足跡資訊網	4.72E-001	28.54
硝油炸藥(原料)-硝酸銨	1.34E-001	公斤(kg)	硝酸銨	1.76E+000	公斤(kg)	產品碳足跡資訊網	2.35E-001	14.21
柴油(硝油炸藥)用	7.09E-003	公升(L)	柴油(於公路運輸移動源使用, 2020)	3.38E+000	公升(L)	產品碳足跡資訊網	2.40E-002	1.45
汽油(公務用)	2.30E-003	公升(L)	車用汽油(於移動源使用, 2020)	3.01E+000	公升(L)	產品碳足跡資訊網	6.93E-003	0.42
製程階段物料來料運輸-陸運(TKM)	2.87E-002	延噸公里(tkm)	營業大貨車(柴油)	1.31E-001	延噸公里(tkm)	產品碳足跡資訊網	3.75E-003	0.23
原料階段來料運輸-海運(TKM)	1.78E-001	延噸公里(tkm)	國際海運貨物運輸服務(燃料油動力)	1.98E-002	延噸公里(tkm)	產品碳足跡資訊網	3.52E-003	0.21
廢潤滑油	8.63E-006	公噸(mt)	廢棄物焚化處理服務(苗栗縣垃圾焚化廠)	3.40E+002	公噸(mt)	產品碳足跡資訊網	2.93E-003	0.18
乳膠炸藥-硝酸銨	1.21E-003	公斤(kg)	硝酸銨	1.76E+000	公斤(kg)	產品碳足跡資訊網	2.13E-003	0.13
主原料-大理石	1.00E+000	公斤(kg)	calcium carbonate	0.00E+000	公斤(kg)	工研院 DoItPro 資料庫(code=41569)	0.00E+000	0.00
硝油炸藥-硝酸銨	1.34E-004	公噸(mt)	Amex™	1.82E-001	公噸(mt)	製造商 Orica 提供	2.43E-005	0.00
乳膠炸藥	1.21E-006	公噸(mt)	Senatel™, Magnum™, packaged, emulsion explosive	1.39E-001	公噸(mt)	製造商 Orica 提供	1.68E-007	0.00
廢炸藥紙箱	1.11E-007	公噸(mt)	廢棄物焚化處理服務(苗栗縣垃圾焚化廠)	3.40E+002	公噸(mt)	產品碳足跡資訊網	3.78E-005	0.00
化糞池逸散	1.24E-006	kg CO ₂ e	化糞池 CO ₂ 排放	1.00E+000	kg CO ₂ e	溫室氣體管理係數對照表 6.0.4 版	1.24E-006	0.00
製造階段廢棄物出廠運輸-陸運(TKM)	1.67E-005	延噸公里(tkm)	營業大貨車(柴油)	1.31E-001	延噸公里(tkm)	產品碳足跡資訊網	2.18E-006	0.00

二、碳熱點分析

四礦聯合礦場每開採一公噸的大理石原料石，會產生 1.65 公斤的二氧化碳當量，其中碳排放熱點集中在生產作業階段的柴油（鑽孔、鏟裝、運輸等）(佔 54.63%)，以及用電量（豎井運輸過程，包括破碎及篩分作業）(佔 28.54%)，兩者佔比合計約 83%。此外，在原料取得階段，爆破使用的硝油炸藥（硝酸銨），則是碳排放的第三大熱點，佔比約 14%。硝油炸藥(硝酸銨)的碳足跡主要來源包括製造過程產生以及爆破過程產生兩部分。

四礦聯合礦場月產量約 45 萬公噸，平均每小時需要運輸 2,500 公噸以上之礦石。以四礦聯合礦場以 50 噸級卡車計算，每小時至少需要 102 趟車次(包含來回)由階段面至豎井口的卡車運輸，並配合鏟裝機挖掘作業。卡車及鏟裝機皆使用柴油做為動力。礦場的礦石運輸系統使用了大量的柴油車輛，此為礦場碳熱點的主要來源。其次，四礦聯合礦場以豎井取代傳統卡車的長距離運輸，以豎井作為主要運輸系統。除豎井外，豎井口的初碎設備、井內的次碎與篩分設備皆以電力作為動力來源，而電力供應依賴於礦區旁的燃煤發電和平電廠，亦形成較高的二氧化碳排放。

3.4.2 北河礦場

北河礦場為露天矽砂礦場，年產量約為 18,000 公噸。開採流程包含挖掘、鏟裝及運輸三大項目。而開採後必須再經過洗選作業，因此洗砂程序亦須納入矽砂開採過程的碳足跡計算。

依照礦場規劃，採掘時直接以挖土機將表土與矽砂礦石剝離，直

接進行矽砂挖掘，再以挖掘鏟裝機具裝入卡車將矽砂運輸至洗砂場。

北河礦場開採流程詳圖 3.4-2 所示。

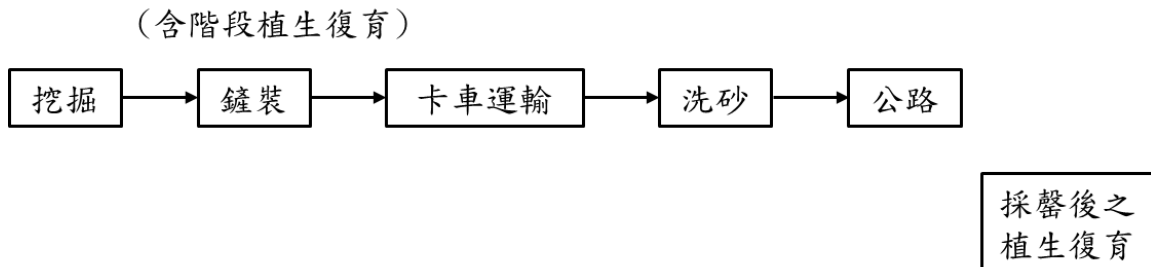


圖 3.4-2 北河礦場開採流程圖

一、碳足跡調查

經本研究團隊 2023 年 8 月對北河礦場進行碳足跡調查，碳足跡來源詳表 3.4-3。排碳熱點主要為能資源，包括前期採礦（挖掘、鏟裝及運輸）的耗油量，以及後期洗選作業（洗砂過程）的用電量。由於各機具的柴油用量並無分開統計，因此無法區分各製程及運輸階段的用油量。採礦後進行洗砂的用電量，可由總開採量與委託洗砂量的比例進行換算。調查結果顯示，北河礦場 2023 年 1~6 月矽砂總開採量為 9,140 公噸，每開採一公噸的大理石原料石，會產生 93.83 公斤的二氧化碳當量。碳排放結果詳表 3.4-4 所示。

表 3.4-3 北河礦場碳足跡計算來源表

資料數據	說明
總開採量 9,140 噸	2023 年 1~6 月數據
能資源：柴油：228,500 公升	包括挖土機、卡車(運輸至洗選場)及其它用途(例如雨天整地等)
能資源：洗選區總用電量 215,635 度	台電電費單統計
其他業者委託洗砂量 4,500 噸	
礦山復育	原生種喬木：相思樹、山麻黃、野桐 草本植物：台灣蘆竹、台灣芭蕉、五節芒、鋪地黍、姑婆芋、觀音座蓮

表 3.4-4 北河礦場碳足跡分析表

活動數據名稱	每單位數量	單位	排放係數名稱	數值	宣告單位	數據來源	碳足跡(公斤 CO2e)	碳足跡占比(%)
柴油(挖掘、鏟裝、運輸等)用	2.50E+001	公升(L)	柴油(於公路運輸移動源使用,2020)	3.38E+000	公升(L)	產品碳足跡資訊網	8.45E+001	90.06
標的物總用電量(製程用電+公共用電)	1.58E+001	度(kwh)	電力碳足跡(2020)	5.90E-001	度(kwh)	產品碳足跡資訊網	9.33E+000	9.94
主原料-砂砂	1.00E+000	公斤(kg)	Quartz sand	0.00E+000	公斤(kg)	工研院 DoItPro 資料庫 (code 80696)	0.00E+000	0.00

二、碳熱點分析

北河礦場每開採一公噸的矽砂，會產生 93.83 公斤的二氧化碳當量，其中碳排放熱點 90.06 %集中在開採階段的柴油（挖掘、鏟裝、運輸用途等）。由於採礦區與洗選區的距離約 10 公里，推估此段距離的運輸碳足跡為 1.34 公斤的二氧化碳當量/公噸（由環境部產品碳足跡資訊網之排放係數推估，其中排放係數為營業大貨車(柴油)，數值為 1.31×10^{-1} 延噸公里）。因此，碳足跡應是集中在挖掘及鏟裝階段。

矽砂開採涉及大量的挖掘和搬運，需要使用重型機械如挖掘機、裝載機和卡車。北河礦場的開採設備動力來源為柴油，導致直接的碳排放。研判北河礦場碳足跡高之原因，可能是 3~4 月間為當地雨季，機具主要用於礦區的整地，而非實際的採礦作業。雖然雨季時，礦區整地的頻率較高，但礦區整地亦屬於整體採礦過程中的一環，因此整地過程產生的碳足跡，必須納入矽砂採礦過程的盤查範圍。至於洗砂使用的水源為地下水，不納入盤查範圍，但抽水使用的能資源耗用量應納入（此部分已納入洗選區總用電量）。

3.5 國內礦場減碳策略與建議

隨著全球氣候變遷議題的重要性日益凸顯，採礦業作為能源密集型產業，正面臨日益嚴峻的環保挑戰。儘管礦業對全球經濟發展起到了不可或缺的支柱作用，但其運營過程中產生的大量二氧化碳排放，使其成為氣候變化問題的一大推動者。政府已經承諾在 2050 年前達到淨零碳排放，這意味著所有行業，包括礦業，都需要採取措施減少碳排放。因應未來供應鏈的要求及政府法規和政策可能規範，都將進

一步推動礦業公司採取減碳措施。因此，推動礦場減碳策略的制定和實施已成為當前礦業企業的重要課題。

礦場的碳排放主要來自於礦石開採、運輸、加工等環節中所消耗的大量能源，尤其是化石燃料的使用。隨著全球向低碳經濟轉型，採礦業必須採取積極的措施來減少碳足跡，確保其市場競爭力並可永續經營。而國內礦場若欲實質執行減碳，需考量特有的地理、環境及經濟背景。就礦產資源種類而言，台灣幾乎沒有商業化開採規模的金屬礦產，因此主要集中在非金屬礦產。依據地礦中心統計資料，主要包含大理石、白雲石、矽砂.....等。以大理石為大宗，112 年產量佔礦產總產量 97.8 %，是台灣最主要的自產礦產資源。若以生產規模而言，全台 133 礦場中，年產量高於 50 萬公噸者，共 8 礦。年產量介於 5 萬公噸至 50 萬公噸，共 12 家。年產量 5 萬公噸以下共 113 礦。由歷年統計資料可知台灣多為年產量 50 萬公噸以下的中小型礦場。此外，台灣的山地和丘陵地形佔全島面積的三分之二以上，導致礦業開採在地理上具有挑戰性。由於複雜的地形結構增加了開採的難度和成本，因此在評估國內礦場減碳策略時，需考量上述礦場特性。希冀台灣的礦業能以創新技術和永續發展為導向，以本建議書作為參考依據，實際執行減碳策略。如此方可應對市場需求和環保要求，實現綠色轉型。

就國內礦場減碳策略而言，由於涉及機具的更換及能源基礎設施的建構，非短期能達成，宜制定長期發展計畫結合之減碳策略。而由礦業產品碳足跡的碳排熱點分析，主要碳排在機具使用能源的直接排放(包括挖掘、鏟裝、運輸等)，其次為製程用電及公共用電等間接排放，因此，針對礦場減碳策略可包括降低使用機具碳排放及導入使用再

生能源兩個面向：

3.5.1 降低使用機具碳排放

一、透過評估需求及節能效益，進行汰換老舊耗能設備

國內礦場很多長年經營，業者考量經營成本，機具或設備多會長期使用缺乏更新動力，而老舊機具或設備多為低效率或高耗能，因此，若能透過政府補助或綠色融資的導入，鼓勵業者換成高效、節能設備，將有助於降低礦產品碳足跡主要的碳排放來源。

二、導入電動機具設備

將礦業從高碳產業轉型為低碳運具並非易事。以卡車的脫碳方案為例，生產煤炭或鐵礦石等大宗商品的礦業若要轉向零排放車隊，同時保持產量，則需投入更多資金以部署更多的卡車和充電基礎設施。由於電池充電所需的時間比柴油加油長，這將導致典型礦用卡車的工作效率降低約 12.5%。此外，電池的重量也會減少卡車可運載的礦石量。一輛典型的 230 噸卡車所需的電池重量至少是柴油油箱和引擎的兩倍，甚至可能達到三倍。澳洲的研究顯示，與柴油驅動的替代品相比，電池驅動的礦用卡車運輸的礦石更少，但速度提高，減少運輸時間，這可能導致澳洲最大出口產業(礦產品)的生產率下降 19 %至 33 %。因此，在全面導入電動卡車或機具時，這些問題需要仔細考量。國內的一般礦業投資者可能會需要政府在充電設施上的協助，這與國內推動電動車所面臨的充電樁設置挑戰相似。

隨著市場減碳需求的增加，儘管目前面臨基礎設施的挑戰

，這些問題將逐步得到解決。因此，低碳機具的開發仍將持續推進。根據 Frost & Sullivan 公司的預測，從長遠來看，低碳機具在非公路(OHW)卡車市場中的應用將加速推動電氣設備的採用。原始設備製造商和主要利益相關者已經開始建立解決方案網絡，以便在市場中更順利地整合零排放動力系統。

目前礦業相關電動機具已逐漸商業化，例如 CATERPILLAR 公司在 2022 年 10 月即在德國慕尼黑國際工程機械展展出四款電池驅動設備-挖掘機及鏟裝機（詳圖 3.5-1）。

	
■ CAT 320 中型電動挖掘機 • 工作重量 22.1 公噸 • 斗容 1.3m³ • 搭載 600V/320kWh 電池組 • 續航 8 小時	■ CAT 301.9 小型電動鏟裝機 • 工作重量 1.99 公噸 • 斗容 0.1m³ • 搭載 48V/32kWh 電池組 • 續航 6-8 小時
	
■ CAT 906 緊湊型電動鏟裝機 • 工作重量 6.2 公噸 • 斗容 1.05m³ • 搭載 300V/64kWh 電池組 • 續航 6 小時	■ CAT 950GC 中型電動鏟裝機 • 工作重量 19.7 公噸 • 斗容 3.1m³ • 搭載 600V/256kWh 電池組 • 續航 6-8 小時

圖 3.5-1 CATERPILLAR 公司電池驅動挖掘機及鏟裝

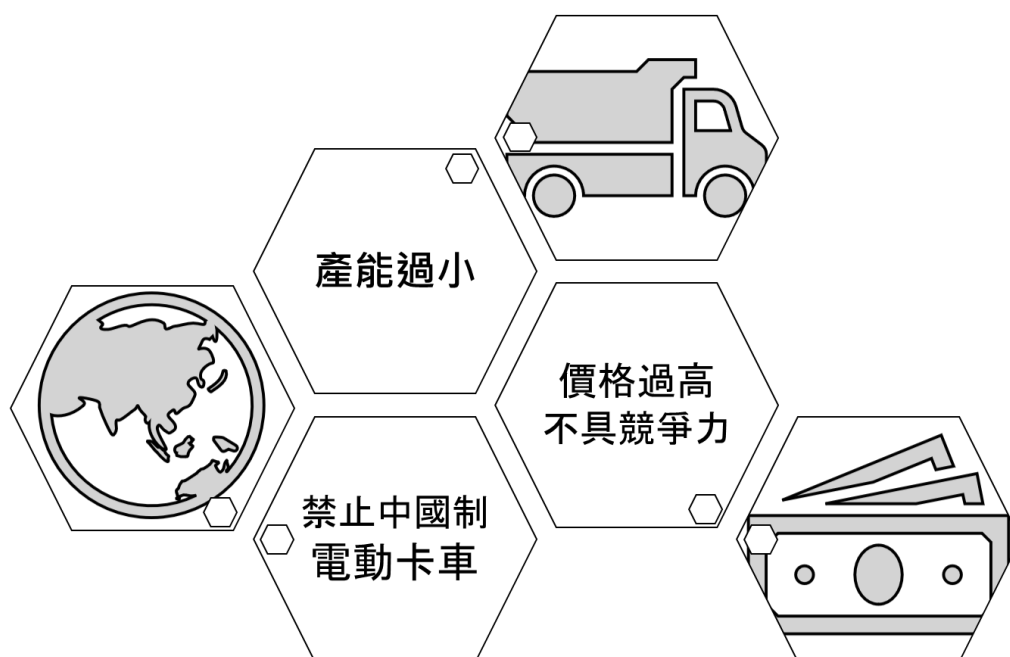


圖 3.5-2 國內進口電動礦用機具之困難

目前國內市面上的礦用電動化設備存在產能過小或價格過高等問題(如圖 3.5-2 所示)，難以滿足礦場的需求。據與會業者的經驗分享，一些礦場引進的 VOLVO 電動運輸車輛，裝載量僅為 20 公噸，無法滿足大型礦場的需求。CATERPILLAR 的第一款大型礦用電動卡車（CAT 793，裝載量約 50 公噸）雖然備受關注，但其量產時程尚未確定。

此外，大陸製造的電動化傾卸卡車因台灣地區與大陸地區人民關係條例及相關法規限制，無法引進至國內使用。根據本次專家諮詢會議的討論，顯示出部分業者對引進全電動化設備和車輛設備有強烈意願，但不願被動等待未量產的電動化設備品牌的生產時程。

因此，建議可以以專案方式引進能夠配合礦場產能需求的電動機具設備，這將有助於提升國內礦業的減碳成效和國際競爭力。

大陸製電動機具進口限制說明

依「臺灣地區與大陸地區貿易許可辦法」(此辦法依「臺灣地區與大陸地區人民關係條例」第三十五條第三項規定訂定之)，臺灣地區與大陸地區間之貿易，皆依此辦法之規定辦理，其中主管機關為經濟部，業務由經濟部國際貿易局辦理(2023年已升格為經濟部國際貿易署)。此辦法第七條第一項說明，大陸地區物品，除下列各款規定外，不得輸入臺灣地區：

- 一、主管機關公告准許輸入項目及其條件之物品。
- 二、古物、宗教文物、民族藝術品、民俗文物、藝術品、文化資產維修材料及文教活動所需之少量物品。
- 三、(以下省略)

而財政部關務署的網站亦說明，海關職司邊境管理，於貨物進口時，協助其他機關查核是否符合其規定。各機關需海關協助查核事項，原則上由經濟部國際貿易署彙總，根據該署編定之「中華民國輸入貨品分類表」，「輸入規定」欄列有「MW0」代號者，為「大陸物品不准輸入」項目，列有「MP1」代號者，為「大陸物品有條件准許輸入」項目，其餘未列有「MW0」或「MP1」代號者，為「大陸物品准許輸入」項目。

研究團隊彙整「中華民國輸入貨品分類表」中，適合礦用之電動機具，所有機具皆列於上述分類表之「大陸物品不准許輸入項目彙總表」中，如表 3.5-1 所示。

表 3.5-1 「中華民國輸入貨品分類表」適合礦用之大陸製電動機具

貨品號列	貨品名稱	輸入規定
8704.10.90.00-2	其他設計供公路用之傾卸車	MW0
8704.42.90.00-4	其他貨車，兼具有壓縮點火內燃活 塞引擎（柴油或半柴油）及電動機動 力，總重量超過 5 公噸，但不超過 20 公噸者	MW0
8704.43.90.00-3	其他貨車，兼具有壓縮點火內燃活 塞引擎（柴油或半柴油）及電動機動 力，總重量超過 20 公噸者	MW0

考量電動機具有助於減碳目標的達成，若礦場業者認為上述大陸製電動機具符合其業務需求，建議以專案方式向主管機關提出申請。

3.5.2 導入使用再生能源

一、建置再生能源發電設備

國內多數中小型礦場在評估礦場用電需求及場地條件後，可選擇設置成本較低、效率高且耐用的太陽能電池板，並配合合適的逆變器將直流電轉換為交流電。此外亦考慮是否需要安裝電池儲能系統，以確保電力供應的穩定性。

二、購買再生能源

購買台電轉供綠電作為礦場電力使用，現行台電轉供綠電分為二階段，第一階段是發電和用電每 15 分鐘進行一次媒合；

第二階段則是分電價時段的尖峰、半尖峰、離峰、週六半尖峰四個區段。一般綠電減碳需考量用電時間匹配，對於夜間用電需求可以配合負載調移手法，來平衡綠電供給與用電需求，如利用儲能系統進行負載移轉，有助提升綠電利用率。