

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

中興工程 168

SINOTECH ENGINEERING

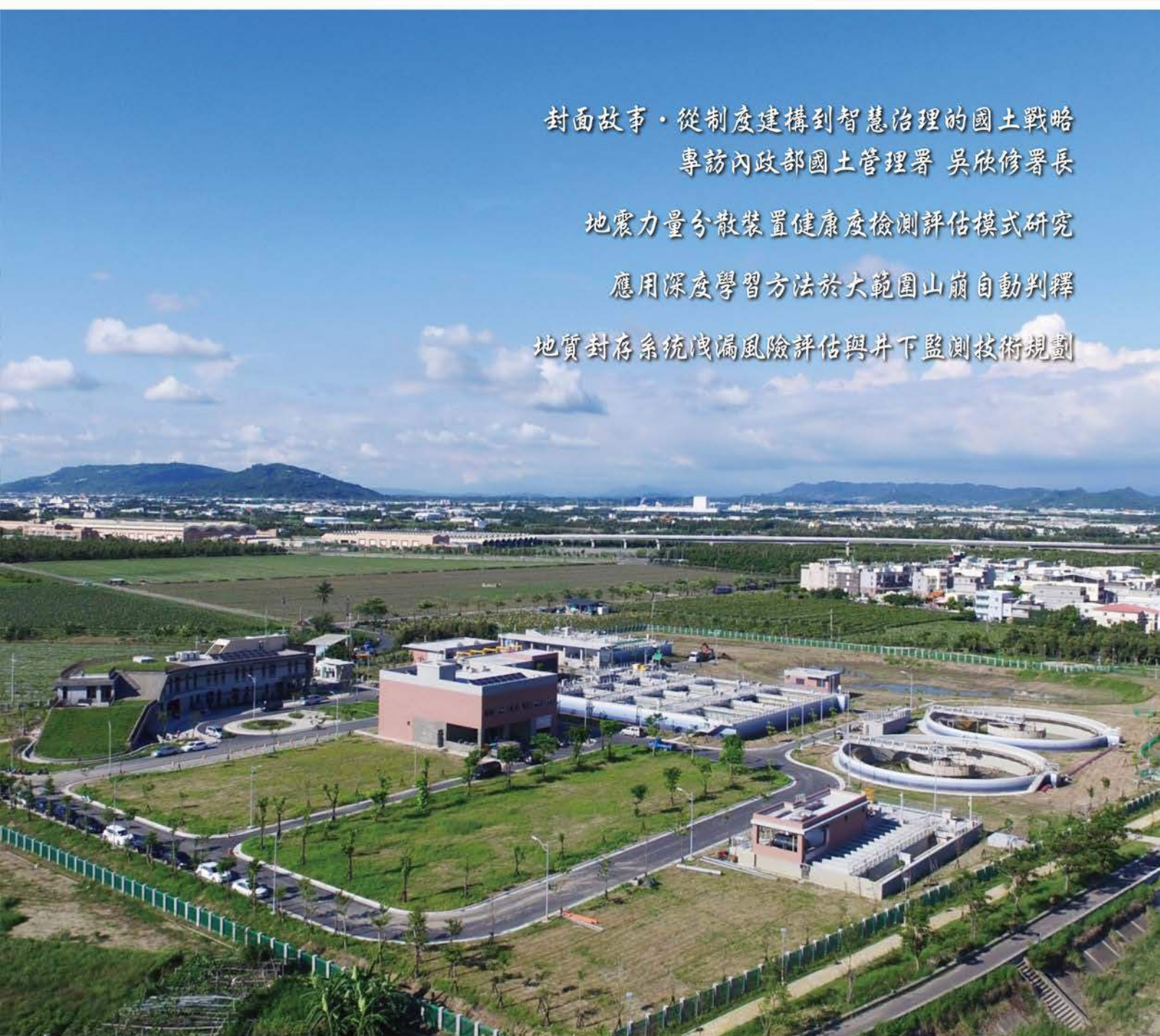
1983年10月創刊 | 2025年07月出刊 | ISSN 0257-554X

封面故事 · 從制度建構到智慧治理的國土戰略
專訪內政部國土管理署 吳欣修署長

地震力量分散裝置健康度檢測評估模式研究

應用深度學習方法於大範圍山崩自動判釋

地質封存系統洩漏風險評估與井下監測技術規劃



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

經營理念

誠信、創新、品質、服務

中興工程顧問

高技術、高實用、高品質、高效率

專業服務：大地工程 水利工程 環境工程 資訊應用 交通運輸 防災科技 結構與耐震

中興工程顧問社係以提昇我國工程相關技術水準為宗旨之研發機構，
並經行政院國科會(科技部前身)評鑑為「科技研發機構」土木工程領域之優等單位
104年度獲中國工程師學會頒發「傑出事業機構獎」

廣告

防災科技研究中心 專業服務

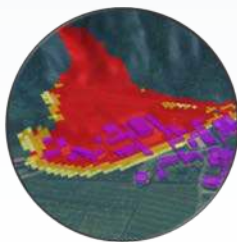
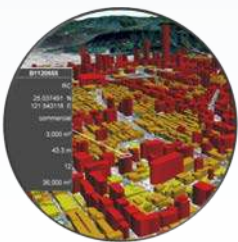
重要實績

- ✓ **農村水保署** 土石流數值模擬與災害風險評估
- ✓ **離岸風電** 地震數值模擬及地震危害分析
- ✓ **公路局** 公路邊坡科技分析管理技術
- ✓ **新加坡** AI於天災風險之廣域資料分析

針對各項天然災害之防災技術，進行研究發展、技術服務、諮詢業務，跨領域整合地質、地工、地震、水保、水利、地球物理、地理資訊、遙測資訊等專業技術，提供全方位具體之國土保育與防災規劃，以確保公共工程之永續經營。

聯絡資訊

114065臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：dptrc-ctr@sinotech.org.tw
<https://dptrc.sinotech.org.tw>



誠信 創新 品質 服務
財團法人 **中興工程顧問社**
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





重要實績 專業服務

蓄水庫安全檢監測及風險管理
隧道安全維護管理系統建置
離岸風場地工試驗與詮釋
隧道鄰近地下水 資源影響評估
二氧化碳封存規劃、監測與風險管理

大地工程研究中心

配合國家永續政策，以傳統地工技術為基礎，針對關鍵基礎設施營運安全、環境保育與綠能產業等相關地工技術進行研發，結合理論與實務，提供高品質之技術服務。

所屬大地工程試驗室為TAF認可，國內目前地工試驗認證項目最完整之試驗室。

聯絡資訊

114065台北市內湖區新湖二路280號
電話: (02)8791-9198 傳真: (02)8791-1536
E-mail: gerc-ctr@sinotech.org.tw
<https://gerc.sinotech.org.tw>



誠信 創新 品質 服務



財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





部門重要實績

鐵道系統營運規劃、營運機構安全管理系統導入
臺鐵第四代票務系統開發、台灣高鐵營運規劃決策輔助系統
鐵公路業者班表及票務分析

長庚醫療財團法人建物耐震評估檢查申報
明志科技大學結構安全監測系統建立
南科管理局振動干擾分析改善

地理資訊系統於國內外之土木、水利、環保、
道路、城市設施維護、風力發電、工業區等領域之應用



土木水利及 軌道運輸研究中心

鐵道系統之運轉及安全管理整合技術服務擊劃
公共運輸營運數據整合分析
耐震評估補強、結構安全監測、振動分析防治、耐久性評估
地表水（河川、水庫、河口等）水理、污染質及泥砂傳輸
模擬分析
工程專業領域電子政務、地理資訊、手持式巡查等資訊系統
之研發與開發

聯絡資訊

地 址：臺北市內湖區新湖二路280號
電 話：(02) 8791-9198
E-mail：chrc-ctr@sinotech.org.tw



誠信 · 創新 · 品質 · 服務
財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



環境工程研究中心

環境部許可環境檢驗測定機構 (國環證檢字第021號)



環境智庫

水處理與水資源
土壤地下水污染
海洋事務與污染防治

檢測分析

新興污染物檢測及調查
環保法規管制需求之特殊污染檢測
溫室氣體採樣及分析
總石油碳氫化合物現地快篩試劑

查證服務

耗水費用水回收率查驗
碳盤查與碳足跡輔導

聯絡資訊



官方網頁

114065 臺北市內湖區新湖二路280號6樓

許國恩 組長
kuoenh@sinotech.org.tw
(02) 8791-9198 Ext.656

吳紗糸 實驗室主任
wushami@sinotech.org.tw
(02) 8791-9198 Ext.669

誠信 創新 品質 服務



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

- 創刊日期 / 中華民國 72 年 10 月
 - 行政院新聞局登記局版臺誌字 第 03793 號
 - 中華郵政登記執照北臺字第 1023 號
 - 發行人 / 李俊毅
 - 編審小組
 - 委員 / 張國揚 嚴世傑 蔡文豪
 - 孫世勤 周頌安 冀樹勇
 - 鍾志成
 - 召集人 / 游麗慧
 - ISSN / 0257-554X
 - 出版者 / 財團法人中興工程顧問社
 - 社址 / 114065 臺北市內湖區新湖二路 280 號
 - 電話 / (02) 8791-9198
 - 傳真 / (02) 8791-2198
 - 電子信箱 / adm-dpt@sinotech.org.tw
 - 網址 / www.sinotech.org.tw
 - 印刷 / 鴻友印前數位整合股份有限公司
- ※ 本刊圖文未經同意不得轉載 ※

徵 稿 簡 則

- 一、本刊歡迎有關水利、電力、地工、環工、都市計畫、交通運輸、生態工法及其他土木工程之論著、譯述、專題研究、新技、新知及報導等學術性文稿，請投稿至「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄，來稿請加註中、英文篇名、摘要及關鍵字。
 - 二、有關介紹工程之遊記、工程界人物軼事等報導性文稿之文體應力求輕鬆活潑，請投稿至「工程窗外」專欄，惟此專欄僅接受中興工程集團之現職或退休同仁投稿。
 - 三、來稿請附「中興工程季刊投稿人暨稿件資料表」並連同文稿電子檔 (.doc) E-mail 至 adm-dpt@sinotech.org.tw，撰寫時請參考「文稿格式範本」及「英文摘要範本」（上述表單及範本請至本社網站 www.sinotech.org.tw 下載，或洽本社行政處提供）。
 - 四、「工程窗外」文稿以 5,000 字為限；「工程技術」及「案例／計畫報導」文稿以排印後 8 頁（約 8,500 字）為原則。
 - 五、本刊所有度量衡單位請採用 SI 國際單位。
 - 六、來稿文責由作者自負，請勿侵害他人智慧財產權或違反其他法律規定。來稿如引用他人論文或著述，務請註明其出處，並儘可能依序將原作者姓名、出版年份（加小括弧）、引用文獻名稱、書刊名稱、卷號、期別、頁次等在參考文獻中註明。所附圖表或照片等須為作者自行創作，或取得原創者授權刊登使用。
 - 七、本刊稿件之審查係由編審小組送請學者專家評審，審查通過後方具刊登資格，惟本刊編審小組保有最終刊登與否之權力。
 - 八、來稿經刊載後將發給稿酬，其著作財產權即為本社所有；本刊對來稿有增刪權。不用稿件，恕不退還。
 - 九、本刊每年刊印四期，逢一、四、七、十月出版，如蒙來稿請於出版前六個月送交本社行政處中興工程季刊編審小組。
- 註：本刊經行政院公共工程委員會名列為水利工程、土木工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、機械工程、冷凍空調工程、電機工程、電子工程、資訊、工業工程、水土保持、應用地質、交通工程等科技師執業執照換發辦法內之「國內外專業期刊」，歡迎踴躍投稿，兼可取得換發執業執照所需積分。作者只需於申請技師訓練積分審查時附上「中興工程」季刊目錄及文稿（前開工程類相關文稿）影印本作為證明，經該會審核確認後，每篇文稿即可獲得六十分，作者兩人以上者，平均分配得分。

自第 166 期起，本刊「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄僅印製中英文摘要。
掃描 QR Code 可連結至電子閱覽系統瀏覽及下載全文。



中興工程第 168 期目錄

封面故事

從制度建構到智慧治理的國土戰略 專訪內政部國土管理署吳欣修署長.....
.....中興工程編審小組..... A1

工程技術

地震力量分散裝置健康度檢測評估模式研究.....
.....邱天宏·汪彥廷·謝崇偉·呂孟瑋·陳品雯·謝素真·張 權.....B1
國土計畫施行對軌道建設之影響與因應作為.....游明進·黃宣鳳·陳冠妤·杜于嫣.....C1
新一代氣水混合式環保滅火系統優勢及應用於鋰電池櫃之探討.....施易陽·邱文益..... D1
新舊影像分割技術於衛星影像萃取建物輪廓之比較.....林恩楷·林政緯·邵國士·高郡汝.....E1

案例／計畫報導

應用深度學習方法於大範圍山崩自動判釋.....
.....簡留玄·余執彰·黃春銘·吳庭瑜·陳德偉·謝有忠..... F1
MaaS 生態系利害關係人需求探討.....胡仲瑋·陳怡蓁·張和盛..... G1
臺中國際會展中心新建工程曲面屋頂桁架及空間桁架工程案例.....
.....黃浩軒·廖志祥·黃崇哲·陳世仰..... H1
淺談臺灣離岸風電場址地質調查作業風險因子.....蘇振清·張博翔·邱華榮..... I1
花蓮縣瑞林地區地熱資源調查與潛能評估.....
.....楊智豪·王曜睿·黃淳銘·俞旗文·陳棋炫..... J1

研發成果介紹

地質封存系統洩漏風險評估與井下監測技術規劃.....周柏儀·吳柏林·譚志豪..... K1



從制度建構到智慧治理的國土戰略

專訪內政部國土管理署吳欣修署長

中興工程編審小組

2023 年內政部組織改造，營建署正式分拆為國土管理署與國家公園署。國土管理署成為中央土地治理與空間規劃的核心機關。吳欣修署長自 2018 年上任，是營建體系中任期最長的首長，是引領國土政策經歷政府組織改造、法制推行到智慧治理轉型的關鍵人物。本刊於 2025 年 6 月 17 日專訪吳署長，訪談聚焦於國土計畫法執行、都市更新、淨零永續、智慧工地以及特定工廠制度施行等方向，完整呈現署長的政策思考、實務策略與願景實踐。

本刊蒐集民眾想了解的議題請署長藉此機會為大家解惑。

● 國土計畫法推動過程面臨地方執行困難時，請問署長如何協助地方提升治理能力？

《國土計畫法》原預定 2025 年 4 月 30 日上路實施，最大的挑戰來自鄉村地區。過去鄉村多以「現況保留」為主，僅強調不開發、不變動，但這樣的制度無法回應人口老化、產業轉型與生活型態變化等新需求。推動國土計畫的目標，是從「畫圖管制」走向「主動治理」，協助地方建立可以操作、可以變通的制度框架。

舉例來說，特定工廠與鄉村共存問題，是最具代表性的挑戰之一。我們透過《工廠輔導法》，建立分級分類機制，將工廠分為「可維持運作」、「須改善」、「需撤離」三種型態，並透過跨部會及在地化輔導機制，啟動溝通平台、制定改善方案，讓產業可以繼續經營，也減少地方居民與民眾疑慮。

同時，我們積極協助地方將土地使用分區與

國土計畫接軌，提供技術支援與圖資平台，讓地方政府有數據、有依據來規劃鄉村空間與產業佈局。更重要的是，我們形成溝通機制，讓政策不只是中央指令，而是中央－地方－民間三方共同協商的制度執行。未來我們將持續強化這些操作機制，確保國土規劃不只是圖畫，而是能走進地方、操作落地的治理策略。

● 都市更新與危老重建制度多依賴「權利變換」，政策上如何強化金融支持與民眾參與？

隨著建築物的老化，預計未來 20 年內，都市更新與危老重建仍會是城市治理的重點。然而，目前都市更新制度設計過度仰賴「權利變換」模式，使得整合過程高度專業化，甚至排除了一般市民自主參與的空間。這些年我們努力引導轉型，嘗試以「金融支持」作為改變局面的關鍵。

回顧過去，經常是建商在主導都更案的進行，原因之一是市民若無足夠信用額度，難以取得資金及技術推動自力都更。早年曾有國宅搭配住都局放款、自建自購與利息補貼等政策方向，這些



經驗值得重新參考。我們希望透過政府提供貸款工具，讓有意願的民眾有能力參與更新計畫，縮短公辦都市更新與民間自辦都市更新之間的落差。

此外，我常說「一坪換一坪」其實對民眾是個誤導，因為沒人說清楚是「總坪」還是「室內坪」，容易造成不必要的糾紛。而建商普遍聲稱容積率不夠，但實際上真正將容積用滿的案子很少。公辦都更由住都中心或建經公司整合，操作思維不同：公辦都更時強調的是建造成本的管控以保障民眾權益；建設公司則多半宣傳改建後的房屋價值與增值以吸引民眾，這也影響了最後的回饋分配。

目前我們已在為下一波的都市更新做準備，以民眾自主都更為例，整體來說，我們會持續強化金融機制與整合專業的角色，協助市民理解制度、參與更新，打造更符合公平與效率的都市再生模式。

● 面對氣候變遷與 2050 淨零碳排路徑，國土署如何將永續觀念納入營建管理與土地政策中？

推動減碳與營建轉型，關鍵在於建築及營造業管理制度設計能否與工程現場對接。我們從政

策源頭著手，導入能實際落地的作法，包括水權交換、綠色工法與金融誘因等機制，逐步建構符合永續目標的執行架構。

首先，水權交換制度的推動，提升了用水彈性，也為開發與環境之間提供更具調適性的空間管理模式。另一方面，國土署與建研所合作，推廣預鑄工法與系統模板等低碳技術，採用這些工法時，模板可重複使用達百次以上，能有效降低碳排放量，並提升工程品質。

為強化產業導入意願，我們也正設計金融配套措施，未來凡導入 ESG 管理或 BIM 技術者，將有機會申請享有貸款優惠與投資抵減，從資金端鼓勵營造產業朝永續升級。同時，我們因應缺工挑戰，推動藍領制度改革，導入配額制，擴大高階技術人力，引導外勞專業化、制度化，縮短培訓期、提升現場效率與安全。

整體而言，我們採取的是多軌並進、系統轉型等策略，這些作法皆具體回應氣候變遷的減碳目標要求，不是單一工具的導入，包含政策、法規、金融、技術與人力配置上同步轉型，建構可持續的國土治理與營建發展模式，不僅回應減碳目標，更為營建業打造永續發展的制度基礎。





● 營建業長期面臨缺工與勞動力老化問題，國土署如何回應這項產業結構性挑戰？

營建產業缺工問題非偶發，而是長期累積的結構性挑戰。我們率先從制度面推動改革。過去管理外籍勞工的形式雖具彈性，但難以有效控管品質與穩定性；在確保國人就業的前提下，內政部提出營造業採「一定規模及聘僱本國勞工一定比率」方案，爭取讓配額制率先在營建業導入，隨後服務業也跟進。這不只是行政手段的改變，而是政策重心轉向藍領人力的制度性支持與長期培育。自 2023 年 8 月公告受理申請至今，共有 1,131 件符合申請要件，並已核配近 1.5 萬移工名額，後續國土署並將持續與勞動部就營造業移工引進數量進行滾動式檢討，以協助民間改善勞動人力不足的問題。

此外，營建現場已逐步導入系統模板與模組化工法，外籍技術工人只需經過二至三個月的培訓，即可投入具效率與安全性的施工作業。以往雜亂無章的施工現場，逐步轉型為制度化、標準化的作業環境。甚至下水道工程也導入塑鋼模，證明產業現場已有足夠的技術成熟度支撐系統性改革。

缺工問題無法以單一手段解決。我們的策略是從源頭改善制度、從技術升級工法，並透過培訓與工地現場管理，確保藍領人力可被穩定納入產業體系，進而提高整體工程效率與品質。

● 在智慧科技快速發展下，國土署如何導入 AI 技術與跨部會合作強化工程管理與執法監控？

AI 與數位科技的導入，例如電子圍籬、人臉辨識技術等，已成為強化工地現場管理的重要工具。國土署近年積極推動智慧工地與數位監管，從工程管理到廢棄物追蹤，逐步建構具備監控力與即時應變能力的治理機制。

在工地安全方面，除了採用 BIM 及 AI 等技術，做工地優化的管理，以提升工地職安衛之落實執行，並鼓勵導入智慧監控，防範公安意外；在工程管理方面，為防止業者將營建混合物及剩餘土石方不法濫倒之行為，國土署與警政署、環境部及地方政府密切合作，強化剩餘土石方管理及稽查措施，運用衛星影像監測科技的監督力量，提高國土利用監測頻率，每周透過衛星影像判釋比對疑似違規資訊，並公布於國土利用監測整合資訊網，由地方政府或目的事業主管機關依法查處。

近期國土署並與環境部簽署合作備忘錄，推動盤點「營建產出物最終去化管道」、「追蹤營建產出物分類後產品最後使用地點」、「結合剩餘土石方、廢棄物、警政追蹤監視系統建置全國智慧圍籬」、「通盤檢視並逐步完備建管、剩餘土石方、廢棄物清理法等法令可用工具」等事項，確保營建廢棄物不會落入非法場址，並達到強制場地管理與資訊透明的目的。

此外，國土署並透過營建廢棄物溯源管理，結合警政署與法務部的資訊系統，建立聯防聯查網絡，當 GPS 資料顯示異常動線，可立即通報執法機關攔截處置。這套制度已成功阻斷多起潛在的非法傾倒案件，是智慧執法與科技治理的具體實例。

未來，我們將持續以數據治理與科技工具，完善監管體系，強化即時應變與風險預警能力，落實安全、透明與永續的國土治理。



中興工程編輯團隊與國土署署長共同合影留念



吳欣修

國土管理署署長

學歷

國立成功大學都市計劃研究所碩士、公務人員高等考試都市計畫類科及格、薦任公務人員晉升簡任官等訓練合格

經歷

臺南縣政府課長、臺南縣政府技正、臺南縣政府副局長

臺南縣政府局長、臺南縣政府秘書、臺南縣政府處長

臺南市政府都市發展局副局長、臺南市政府都市發展局局長

臺南市政府副秘書長、臺南市政府秘書長



地震力量分散裝置健康度檢測評估模式研究

Study on Inspection and Evaluation Method for Lock-up Device

邱天宏 Tien-Hung Chiu¹ 汪彥廷 Yan-Ting Wang² 謝崇偉 Tsung-Wei Hsieh²
呂孟瑋 Meng-Wei Lu³ 陳品雯 Pin-Wen Chen³ 謝素真 Su-Jen Hsieh³ 張 權 Chyuan Chang⁴

摘 要

本研究係利用既有鐵路橋梁上之地震力分散裝置為案例，對其進行現場檢測，判讀檢測結果評估其健康度狀況。地震力分散裝置主要功能為在受低速載重狀態下僅提供輕微阻力，而在動態載重下，可瞬間提供額定設計力以鎖定兩端結構，其對橋梁結構力學系統之影響不容忽視，目前並無明確規範現場檢測項目及標準，因此本研究將針對地震力分散裝置進行檢測評估，確認其功能狀況，確保橋梁結構之安全性。

首先參照橋梁檢測常用之 D.E.R.U. 方法作為本案例目視檢測之方法，並擬定適用於地震力分散裝置檢測項目，包含地震力分散裝置本體及鋼板托架兩大部分，針對各式異常項目進行檢查，同時量測插銷中心之距離（pin-pin）作為評估項目之一，研擬出檢測表並拍照記錄。若發現疑似漏油情形，則進行採集並送實驗室分析，確認油漬之化性。一般而言，外部油污可能是本體漏油或是沾染到之潤滑油，惟其化學成分迥異，藉此可進一步確認漏油的可能性。現階段建立系統化初步安全檢測評估之作業方法，未來考慮納入智慧輔助系統，以利結構全生命週期之管理。

關鍵字：地震力分散裝置、現場檢測、健康度評估

Abstract

This study utilizes existing Lock-up Device (LUD) on railway bridges as case studies, focuses on inspections and structural health evaluation for devices. LUDs or STUs (Shock Transmission Units) connect girders and piers to provide additional strength to resist seismic forces on bridges.

This system temporarily “lock” super-structure and sub-structure of bridge under earthquakes, or other fast-acting loads, while permitting slow movements such as thermal expansion and contraction. Currently, there are no specific standards, guidelines, or criteria for visual inspection items. Therefore, this study aims to evaluate LUD performance to verify its functionality and ensure the safety of bridges

The D.E.R.U. method is widely used in visual inspection, and it is also the most common approach for the bridge inspection. Take the method as a reference, standard inspection forms for LUD are created that include checklist for anomalies, measurement of the pin-to-pin distance, and photographic documentation. Inspection items or checklist includes cylinder, bracket, fixture, and bolt. If any leakage of hydraulic oil is found, samples are collected and analyzed to the basic characteristics of a substance.

A systematic preliminary safety inspection procedure is established in this study, and if conditions allow, new techniques, such as intelligent monitoring, real-time image recognition, can be utilized, the safety inspection procedure can be more accurate in the future.

Keywords: Lock-up device; Inspection; Evaluation method

¹ 中興工程顧問社防震制振技術研究中心組長 Chief, Anti-Seismic and Vibration Control Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社防震制振技術研究中心研究員 Researcher, Anti-Seismic and Vibration Control Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 中興工程顧問社防震制振技術研究中心工程師 Engineer, Anti-Seismic and Vibration Control Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁴ 中興工程顧問社防震制振技術研究中心主任 Director, Anti-Seismic and Vibration Control Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.



一、前言

地震力分散裝置 (Lock-Up Device, LUD 或 Shock Transmission Unit, STU) 為一連接橋梁上部及下部結構之機構，類似速度型制震裝置，當 LUD 承受地震等高速反應時，可提供連接力，有效分散力量於各橋墩之間。台灣重要鐵公路多為橋梁形式結構，其中部分橋梁設有 LUD，此裝置對於橋梁結構安全性至關重要。鑑於台灣並無相關目視檢測方法之規定，僅能參考設備製造商提供之維護管理文件方法進行檢測。

本案例針對台南市鐵路高架橋梁裝設之 10 支 LUD 進行現場檢測，因此參考原廠設計內容以及其他相關資料擬定 LUD 之目視檢測表格，並參考國內現行橋梁檢測 D.E.R.U. 方法進行檢查。

二、LUD 簡介及現況調查

(一) 裝置簡介

地震力分散裝置為一活塞式含內部流體之圓筒狀結構體 (現況照片如圖 1)，其主要功能為利用內部流體在受低速載重狀態下僅提供輕微阻力，而在高速載重 (如地震) 下，可瞬間提供額定設計力以鎖定兩端結構，有效改變整體結構受力行為，作用示意如圖 2。



圖 1 現況圖

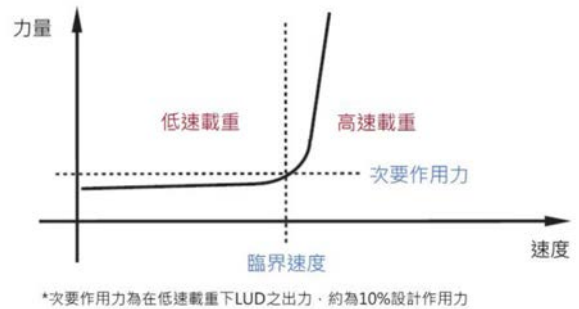


圖 2 LUD 作用示意圖

(二) LUD 安裝位置

本案例三處橋墩 (編號 A、B 及 C) LUD 數量共計 10 支，皆以錨桿貫穿箱梁底板及帽梁之方式安裝於箱梁下方，安裝方向平行於車行向，安裝立面及平面如下圖 3 及圖 4。

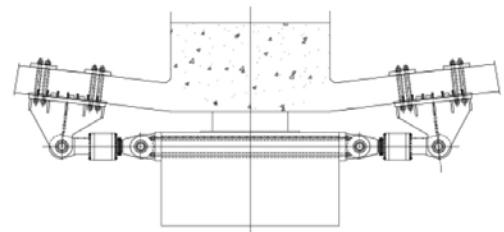


圖 3 安裝立面示意圖

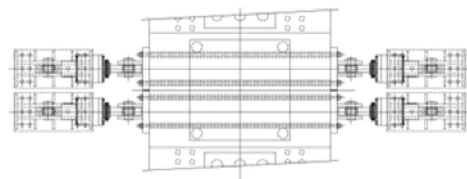


圖 4 安裝平面示意圖

(三) 現況尺寸

LUD 分別安裝於 A、B 及 C 三座橋墩上，依竣工資料三處橋墩安裝之 LUD 詳細資料如表 1 所示，相關尺寸示意圖如圖 5，推測當初安裝 LUD 時，容許誤差 $\pm 50\text{mm}$ 。

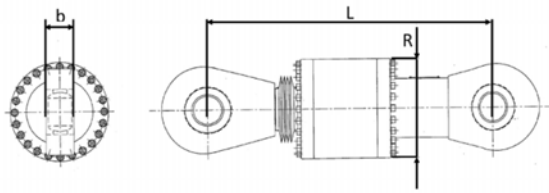


圖 5 尺寸示意圖

表 1 三處橋墩安裝之 LUD 詳細資料

橋墩編號	長度 L (mm)	油缸直徑 R (mm)	鉸接座厚度 b (mm)	LUD 裝設數量 (支)
A	1685 (±50)	570	160	4
B	1800 (±50)	570	160	4
C	1639 (±50)	610	170	2

三、LUD 目視檢測

(一) 現場目視檢測

1. 現場目視檢測方法

本案例目視檢測包含 LUD 外觀檢查及異常紀錄，以及依據原始檢查標準進行 LUD 巡檢。檢測評估法為求標準化，需制訂一套檢測評估系統。目前台灣之橋梁檢測評估系統，大多數採用交通部高速公路局與公路總局使用之 D.E.R.U. 系統。

D.E.R.U. 可快速地進行龐大數量橋梁的初步普檢與篩選評估，故檢測記錄方式甚為精簡、快速。此種評等法不但針對劣化嚴重程度 (Degree) 做評估，同時亦評估劣化範圍 (Extend)，考慮劣化對整體橋梁結構安全性之影響 (Relevancy) 及劣化構件維修的急迫性 (Urgency)。基於以上特點，本案例參考橋梁結構檢測之 D.E.R.U. 表，並針對 LUD 特性，納入必要之項目，研擬適合 LUD 本體及其附屬結構之表單，做為目視檢查之成果。

2. 現場目視檢測調查表單制定

D.E.R.U. 表包含對結構的初步檢測信息，包括結構狀態、損壞情况等。表單內容可能根據橋梁的特定類型、大小和檢測方法而有所不同，但其主要目的是提供一個清晰的檢測結果摘要，幫助工程師和維管單位了解橋梁的狀況和需要採取的行動。其優點包括：(1) 組織化和系統性：D.E.R.U. 表提供了一個組織化和系統性的方法，使得檢測成果易於理解和分析，並且可以方便地用於後續的維護管理和決策制定。(2) 信息完整性：D.E.R.U. 表涵蓋了檢測的各個方面，包括結構外觀、損壞情况等。可提供了一個全面的檢測結果摘要，管理人員可以從中獲得所需的信息。(3) 可追蹤性：追蹤結構的狀態變化，以及維修和改進措施的實施情況。這有助於確保維護工作的進展和準確性。(4) 協助決策制定：D.E.R.U. 表提供了對狀態的評估和可能的維修或改進建議。協助維管人員能夠基於檢測成果和建議制定相應的行動計畫，以維護結構安全性和性能。

本案例訂定之 LUD 目視檢測評估系統主要以 D.E.R.U. 系統為基本架構。檢測人員依照劣化情況，判斷劣化對整體橋梁結構安全性之影響，填寫檢測表。參照現行橋梁目視檢測規定，LUD 劣化狀況之檢測評等原則如表 2。

表 2 LUD 劣化狀況之檢測評等原則

	0	1	2	3	4
D	無此項目或良好	微	尚可	差	嚴重損壞
E	無此項目	< 10% < 30% < 60% <			
R	無法判定	微	小	中	大
U	無法判定	例行維護	3 內	1 內	緊急處理

(二) LUD 檢查項目

依據蒐集資料以及現況觀察結果，我們將檢



查項目分為 LUD 及鋼板托架兩大部分。LUD 部分再細分為 LUD 本體及 LUD 活塞桿，鋼板托架部分則細分為橋墩頂部及大梁底部兩處的鋼板及螺栓進行檢查，如下圖所示。

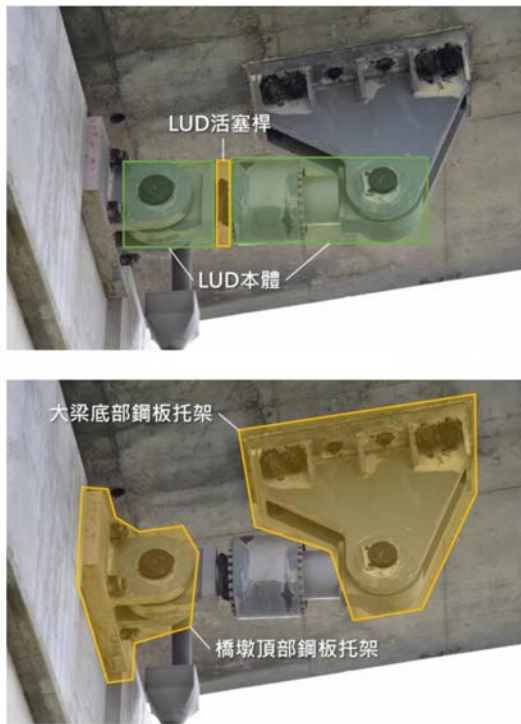


圖 6 檢查位置示意圖

LUD 本體檢查項目包括：(a) 表面污損、(b) 表面鏽蝕、(c) 表面塗裝剝落、(d) 插銷生鏽、(e) U 型插鎖鎖圈脫落、(f) 密封處劣化、(g) 漏油狀況。LUD 活塞桿檢查包含 (a) 活塞桿生鏽、(b) 活塞桿磨損、(c) 防塵套毀損。同時，也需量測 LUD 外觀尺寸，即圖 5 之長度 L 、油缸直徑 R 及鉸接座厚度 b ，確認其與竣工圖資料相符。其中長度 L 為判斷 LUD 功能是否正常之重要判斷依據。LUD 功能正常時，受動態載重會鎖定裝置，不會有過大的伸縮量產生，因此量測長度 L 比對是否符合原始設計長度，並將安裝容許誤差 50mm，以及慢速情況下之伸縮量納入考量。

鋼板托架部分分為接合鋼板及螺栓兩項，接合鋼板檢查包含 (a) 鋼板塗裝剝落、(b) 鋼板生鏽、(c) 鋼板變形等；螺栓檢查包含 (a) 螺栓生鏽、(b) 螺栓斷裂、(c) 螺栓鬆動。

(三) LUD 檢測表單

根據前述研擬出之 LUD 檢測表單如下圖，檢測時首先填入該 LUD 之基本資料，包含所在位置、LUD 編號、既有設計值等，同時也須將檢測日期、溫度及溼度等詳細記錄。於檢測同時也須拍攝照片紀錄，以利於後續管理參考。

(四) 現場油漬採集

在現場調查過程時，應特別注意是否有漏油問題，內部封裝油體一般由油封與插銷交界處滲出，如圖 9 所示。

台灣高鐵橋墩鎖定裝置(LUD)基本檢測表

表單編號: _____

A. 基本資料		B. 檢測資訊		C. 檢測結果		D. 備註 (異常狀況)	
項目	內容	日期	時間	合格	不合格	說明	處理
1. LUD 本體檢查							
101	表面污損	無	無				
102	表面鏽蝕	無	無				
103	表面塗裝剝落	無	無				
104	插銷生鏽	無	無				
105	U型插鎖鎖圈脫落	無	無				
106	密封處劣化	無	無				
107	漏油狀況	無	無				
2. LUD 外觀尺寸							
201	長度 L	mm					
202	油缸直徑 R	mm					
203	鉸接座厚度 b	mm					
3. 其他資訊							
301	檢測人員						
302	檢測日期						

說明：
 1. * 檢測結果為「無」或「有」，應填入「合格」或「不合格」；
 2. 若有異常狀況，請填入備註欄。

圖 7 LUD 基本檢測表



計 10 支。

評估結果 10 支 LUD，U 值最大為 2，為防塵套破裂，防塵套需進行更換，總體而言，LUD 活塞桿狀況尚屬良好，僅進行例行維護及基本保養清潔即可，無立即處置之需求。

3. 接合鋼板檢查成果

本案例共檢測 10 支 LUD 之托座，有接合鋼板塗裝剝落共計 10 支，有接合鋼板生鏽共計 10 支，接合鋼板變形共計 0 支。

評估結果 10 支 LUD 之托座，U 值最大為 1，總體而言，鋼板狀況尚屬良好，僅需進行例行維護及基本保養清潔即可，無立即處置之需求。

4. 接合螺栓檢查成果

本案例共檢測 10 支 LUD 之托座，有螺栓生鏽共計 6 支，有螺栓斷裂共計 0 支，螺栓鬆動共計 0 支。

評估結果 10 支 LUD 之托座，U 值最大為 1，總體而言，螺栓狀況尚屬良好，僅需進行例行維護及基本保養清潔即可，無立即處置之需求。

(二) 表面污漬化驗成份報告

於目視檢查時，針對 3 處漏油疑慮之 LUD 安裝漏油擷取器進行採集，並將採集之樣品於國家環境研究院核可檢測機構進行質譜定性分析試驗，使用 LUD 外部採集之流體與 LUD 內部填充油兩者進行比對，將兩者分別與二氯甲烷混和後注入 GC/MS 後分析，並產出氣相層析質譜儀 TIC 圖。

將兩者氣相層析質譜儀 TIC 圖進行疊圖比對，觀察其主要峰值，判別其相似度，即可推測是否為相同成分之油品，以確認 LUD 外部採集之流體是否為 LUD 缸體內之滲漏油。

比對油品化性，實驗室採用矽油（常見於

LUD 內部之油品）進行分析，藉由試體化性之比對，可以釐清在 LUD 表面油污之化學成分。若上述比對成果非矽油（即可推論非內部油品外漏），則再進一步確認是否為其他可能之物質，本案例另使用硫鉬滑脂（二硫化鉬）及機油進行比對，更得以確認表面油污之成分。

1. 實驗室比對矽油分析成果

實驗室質譜儀分析比對成果如下：將三處 LUD（編號 B-1、編號 C-1 及編號 C-2）所收集到之油漬與矽油比對，質譜儀所得到之資料詳如圖 11。

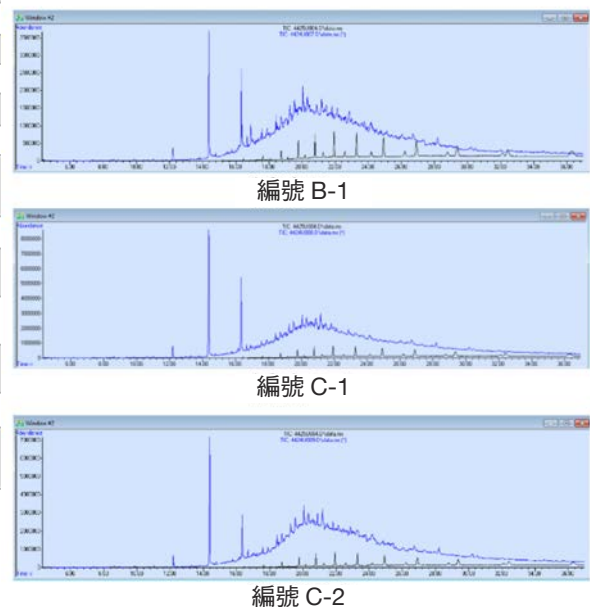


圖 11 現場表面採集試體（藍色）與矽油（黑色）比對結果

由比對資料結果顯示，三處油品皆與矽油特徵峰位置差異性大，重疊部份較少，推斷為不同物質。

2. 比對其餘可能之有機化學物質

將三處 LUD（編號 B-1、編號 C-1 及編號 C-2）所收集到之油漬與國光牌二號硫鉬滑脂、國光牌



CF 車用機油比對，其中國光牌二號硫鋁滑脂及國光牌 CF 車用機油多用在螺栓插銷潤滑保養或是鋼板防鏽等，編號 B-1 與國光牌二號硫鋁滑脂特徵峰位置近似，有較多重疊部份，推斷可能有類似成份性質；編號 C-1、編號 C-2 與國光牌 CF 車用機油特徵峰位置近似，有較多重疊部份，推斷可能有類似成份性質，相關質譜儀化驗結果如下。

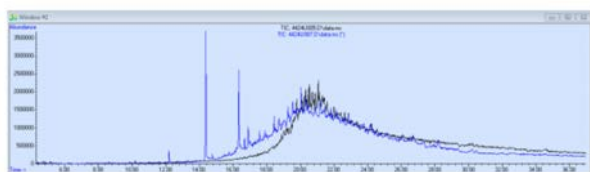


圖 12 編號 B-1 之試體 (藍色) 與硫鋁滑脂 (黑色) 比對結果

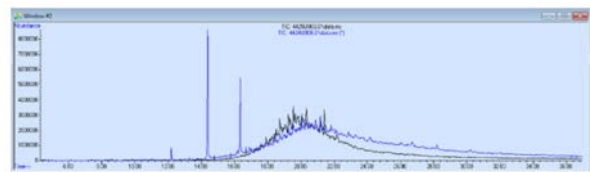


圖 13 編號 C-1 之試體 (藍色) 與車用機油 (黑色) 比對結果

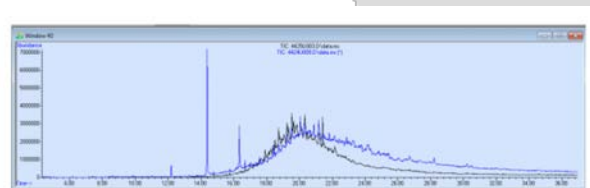


圖 14 編號 C-2 現場之試體 (藍色) 與車用機油 (黑色) 比對結果

依據實驗室化驗結果比對，現場採集到之表面油污 (三處)，與 LUD 內部常見之油品 (矽油) 並無相同化性 (化學成分不同)，反而與常見之潤滑保養油成分較相似，研判目前表面油漬並非內部油品滲漏，初步判斷目前 LUD 皆無漏油之疑慮。

(三) LUD 健康度初步診斷評估

A、B 及 C 橋墩墩頂共計 10 支 LUD，經目視檢測，主要為外觀污損或是防塵套破裂，經評估皆無影響結構之安全，經質譜儀分析化驗結果，也並非內部漏油狀況，皆無立即處置需求，惟 LUD 因長年暴露於戶外，表面有污損、鏽蝕等狀況，建議配合簡易清潔保養進行維護。

五、健康度評估

本案例評估之 10 支 LUD，經現場檢測後，初步皆無立即處置之需求，因此進行健康度評估以及後續處置建議。

評估 LUD 壽命需要考慮多個因素，主要包括 (1) 裝置的設計及材料、(2) 安裝品質、(3) 環境條件以及 (4) 管理與維護情況等。裝置的設計及材料：包含裝置的設計和所使用之金屬部件、密封件、軸承等甚至包含性能測試等。安裝品質檢查：避免由於安裝不當而影響壽命。環境條件：包含溫度、濕度、化學物質等。管理與維護情況：包含定期的檢查和監測，檢查裝置的狀態，例如檢查密封性能、軸承狀況、摩擦情況等，或是監測裝置的運行情況。

簡而言之，LUD 的健康度取決於多個因素，現況僅依據現有資料，針對 LUD 進行安全性評估。依據經驗，有兩大主要指標，分別是衝程量及密封件劣化或漏油狀況。

(一) 衝程量 (或稱伸縮量)

LUD 使用目的在於動態下鎖固橋梁上下構傳遞慣性力，以確保橋梁在正常範圍內工作，同時避免超出其承受範圍而造成損壞或性能下降，因此 LUD 僅容許慢速情況之伸縮 (如熱脹冷縮、混凝土潛變等)。若 LUD 失效會失去鎖固的作用，在高速時 (如地震、風力及列車行進等) 會有較



大的伸縮量；換言之，失效的 LUD 往往會伴隨過大的伸縮量。因此，衝程量的多寡可以做為評估 LUD 失效與否的重要指標之一。

LUD 原始長度，應參考當時竣工資料，因此原始資料的留存更顯重要；此外，LUD 在安裝時，往往會配合施工可行性，保留部分餘裕量，這些資料都是 LUD 安全評估參考重要的依據。

另外，衝程量的上限值同時應考量到（1）混凝土之潛變量、（2）混凝土橋 / 鋼橋上構熱脹冷縮。

（二）密封件劣化、漏油

LUD 健康另一指標為漏油情況，LUD 出力有賴於內部油品所產生之油壓阻尼力，若有漏油之情況，表示內部失壓。目前沒有有效量測內部油量之方法，也因此筒身外部的油漬觀測，便更顯重要，而漏油的速率與密封處劣化、內部壓力、熱脹冷縮等因素有關，提高檢查頻率是提高安全性的有效方法之一。

LUD 初步檢測取決於現場工程師的經驗及能力，雖然結果無法百分百準確，但確實的現場檢測可作為及時決策之依據，有效地提高橋梁結構安全。本案例經現場檢測，目前伸縮量皆在合理範圍，LUD 本體筒身外部油漬經化驗皆排除內部油品的可能性，研判無內部油品漏油情況，LUD 經評估仍可繼續使用。未來檢測 LUD 伸縮量若有超過容許值或是有內部油品漏油，則視該 LUD 有立即失效之風險，建議立即處置；處置方式則因 LUD 及橋梁結構形式、結構動力行為而異，須配合現場情況進行調整。

六、結論與建議

（一）本案例 LUD 現場檢測參考目前橋梁 D.E.R.U. 檢測評分標準，可以精簡、快速記錄 LUD

狀況，並有利未來營運單位整體安全管理。

（二）本案例 LUD 現場檢測項目分為 LUD 及鋼板托架兩部分，並針對 LUD 本體檢查（a）表面污損、（b）表面鏽蝕、（c）表面塗裝剝落、（d）插銷生鏽、（e）U 型插鎖鎖圈脫落、（f）密封處劣化、（g）漏油狀況。LUD 活塞桿檢查包含（a）活塞桿生鏽、（b）活塞桿磨損、（c）防塵套毀損；針對鋼板托架檢查接合鋼板及螺栓是否有塗裝脫落、生鏽、變形、螺栓斷裂及鬆動的情形。

（三）針對 LUD 安全性評估有 2 大重要指標（1）衝程及（2）現場漏油情況，因此於檢測時也須測量伸縮量（pin-pin 距離）以及觀察是否有疑似漏油情況，並在必要時採集油品分析。

（四）系統化檢測作業可提升檢測效率及品質，未來可搭配智慧輔助系統，利用即時影像、無人機及人工智慧辨識等降低人力成本，同時將資料數位化及系統化管理，有助於資料的整合與保存，供未來檢視時有相關資料參考。

參考文獻

- AASHTO(American Association of State Highway Transportation Official). (2017). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.
- Taiwan High Speed Rail Project Contract No. C291 Technical Report for Lock Up Device (2003).
- Taiwan High Speed Rail Project Contract No. C291 Operation and Maintenance Manual (2003).
- Patel, Dinesh J. (2013) Shock Transmission Units in Construction. ICE Publishing



國土計畫施行對軌道建設之影響與因應作為 Impacts of Spatial Planning Implementation on Rail Transit Infrastructure and Countermeasures

游明進 Ming-Chin Yu¹ 黃宣鳳 Shiu-an-Feng Huang² 陳冠妤 Kuan-Yu Chen²
杜于媽 Yu-Yen Tu²

摘 要

政府部門推動軌道建設，於興辦事業計畫奉行政院核定後，工程進場施工前，首先應辦理的要項即為用地變更與取得。因應各縣市國土功能分區圖預定於 120 年 4 月 30 日公告，國土計畫體系的落實執行，除原屬都市計畫範圍內土地外，非都市土地將全面適用國土四大功能分區之土地使用管制規定，由國土計畫法取代區域計畫法，為新舊制度順利銜接，中央主管機關研擬「國土計畫土地使用管制規則」，根據國土功能分區類別與使用行為，區分為「免經申請同意」、「應經申請同意」及「使用許可」等三種使用層次，且不得為開發利用需求等理由任意變更國土功能分區及分類；另外，為確保制度無縫接軌，保障既有合法權益，分別就「既有合法可建築用地」及「開發許可案件」，於「國土計畫土地使用管制規則」及「國土計畫使用許可程序辦法」內制定相關規定以資遵循辦理。

因應國土利用管制體制的變革，本文彙整既有及未來的土地利用與管制許可等規定，研析轉換期間與未來的申請利用方式，軌道建設位於都市計畫地區仍依都市計畫法辦理，涉國家公園者依國家公園法規定辦理，其餘地區須依國土計畫法規定辦理。依國土計畫土地使用管制規定，軌道建設屬路線段等線狀設施使用面積免計入一定規模之認定；非線狀設施使用面積小於 660 平方公尺者，得免經直轄市、縣（市）國土計畫主管機關同意使用，可逕循建管或其他目的事業規定辦理，如申請使用國土保育地區或農業發展地區達 2 公頃以上，或使用城鄉發展地區達 5 公頃以上者，應申請使用許可，未達前述規模時，應經申請同意後使用，後續於辦理軌道建設用地申請使用作業時將依計畫情形依循相關規定申辦，以順利推動軌道建設需用土地之申請變更與使用許可等作業。

關鍵字：國土計畫法、軌道建設、國土功能分區

Abstract

Upon approval of a rail transit infrastructure project by the Executive Yuan, land use rezoning and acquisition must be addressed before construction begins. With the anticipated announcement of the National Land Functional Zoning Maps on April 30, 2025, the Spatial Planning System is expected to be fully implemented. All non-urban land, excluding areas already under urban planning, will be subject to the land use control regulations under the Spatial Plan Act, which will replace the Regional Plan Act. To support this transition, the central authority has issued the Regulations on Land Use Control under the Spatial Plan Act, which categorize land use activities into three levels: Exempt from Consent, Subject to Consent, and Subject to Use Permit. Zoning changes are restricted and may not be made solely for development purposes. Transitional provisions also protect legally buildable land and approved development projects, as defined in the Regulations on Land Use Control under the Spatial Plan Act and the Use Permit Procedure Regulations under the Spatial Plan Act.

This paper reviews current and upcoming land use and permitting regulations amid reforms to the national land use control system, and examines application procedures during and after the transition. Rail transit infrastructure projects within urban planning areas are subject to the Urban Planning Act; projects within national parks are governed by the National Park Act; and all other areas fall under the jurisdiction of the Spatial Plan Act. Under this framework, linear infrastructure is exempt from area thresholds. Non-linear facilities under 660 m² do not require consent and may proceed under general building regulations. Land uses exceeding 2 hectares in Conservation or Agricultural Zones, or 5 hectares in Urban-Rural Zones, require a Use Permit; smaller uses require prior consent. Applications for land use for rail transit infrastructure will follow these rules to ensure smooth permitting and land conversion.

Keywords: The Spatial Planning Act; Rail Transit Infrastructure; Land Functional Zoning

¹ 中興工程顧問公司軌道工程二部主任規劃師 Chief Planner, Mass Transit Engineering Dept, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

² 中興工程顧問公司軌道工程二部規劃師 Planner, Mass Transit Engineering Dept, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.



一、前言

為因應氣候變遷，確保國土安全，保育自然環境與人文資產，促進資源與產業合理配置，強化國土整合管理機制，並復育環境敏感與國土破壞地區，追求國家永續發展，我國制定國土計畫法（下稱國土法），依據土地資源特性劃分功能分區實施管制。

國土法業於 105 年 5 月 1 日施行，依該法第 45 條規定，國土計畫將分三階段實施：第一階段由中央主管機關（內政部）於 107 年 4 月 30 日前公告實施「全國國土計畫」作為各縣市訂定國土計畫指導性原則，第二階段由直轄市、縣（市）政府於 110 年 4 月 30 日前公告實施「直轄市、縣（市）國土計畫」，第三階段由直轄市、縣（市）政府於 120 年 4 月 30 日前完成劃設國土功能分區圖並公告，屆時新制國土計畫全面接軌，區域計畫法不再適用，我國空間計畫管制體系將由區域計畫管制非都市土地、都市計畫管制都市土地、國家公園計畫管制國家公園土地之三軌併行制度，轉為由全國國土計畫指導直轄市、縣（市）國土計

畫管制國土四大功能分區土地之制度。

為利新舊制度順利銜接，制度穩定性並保障民眾權益，國土計畫正式上路後，現行都市土地及國家公園土地將續由都市計畫及國家公園計畫管制；非都市土地則由國土計畫管制，以國土保育、海洋資源、農業發展及城鄉發展等國土計畫四大功能分區及其分類之土地使用管制，取代現行區域計畫法及非都市土地使用管制規則劃定為特定農業區、一般農業區、鄉村區等 10 種使用分區，並編定為甲、乙、丙、丁種建築用地、農牧用地等 19 種使用地之土地使用管制。

軌道建設兼具串連空間節點之線狀穿越及設置機廠等營運設施之面狀開發性質，因其開發規模及路線涉及幅員較長，實難依原劃定之土地使用分區或使用地編定類別建設。經檢視桃園國際機場聯外捷運系統、捷運安坑線及花東鐵路雙軌建設計畫等案例之用地變更情形（表 1）可知，軌道建設常需配合調整既有土地使用管制內容，始得提供建設開發運用。因此，辦理用地變更及開發許可屬與辦軌道建設遭遇通常性課題及辦理事項。

表 1 軌道建設案例用地變更情形彙整表

軌道建設	土地使用分區變更情形				
	分類	路線	場站	機廠	
桃園國際機場 聯外捷運系統	非都市 土地	變更前	一般農業區、河川區、山坡地保育區、特定農業區農牧用地、水利用地等	一般農業區（農牧用地）	一般農業區農牧用地、甲種建築用地、水利用地、交通用地、墳墓用地、未登錄地
		變更後	免變更分區，使用地類別變更為交通用地		特定專用區國土保安用地、交通用地、水利用地
	都市 土地	變更前	住宅區、第二種商業區、保護區、行水區、河川區、農業區、醫療專用區、堤防用地、溝渠用地、公園用地、交通用地、道路用地、高速公路用地、綠地用地	農業區、河川區、住宅區、第二種商業區、公園用地、捷運系統用地、停車場用地、交通用地、快速道路用地、道路用地、機關用地	無
		變更後	捷運系統用地、道路用地（兼供捷運使用）等	捷運系統用地、車站專用區	無



表 1 軌道建設案例用地變更情形彙整表 (續表)

軌道建設	土地使用分區變更情形			
	分類	路線	場站	機廠
捷運安坑線	都市土地	變更前 道路用地、自來水用地、保護區、河川區、農業區	住宅區、機關用地、農業區	學校用地、鄰里公園兼兒童遊樂場用地
	變更後	捷運系統用地、捷運系統用地兼供河川使用、道路用地、廣場用地兼供道路使用 (部分變更案係配合捷運路廊辦理道路拓寬)	道路用地、捷運系統用地、機關用地兼供捷運設施使用 (部分變更案係配合捷運路廊辦理道路拓寬)	捷運系統用地
花東雙軌電氣化計畫	非都市土地	變更前 土地使用分區：一般農業區、特定農業區、特定專用區及河川區 使用地類別：農牧用地、水利用地、交通用地、特定目的事業用地、殯葬用地、甲種建築用地	無	無
		變更後	免變更使用分區；使用地類別變更為交通用地	無
	都市土地	變更前 住宅區、河川區、農業區、車站專用區、工業區、機關用地、道路用地、道路用地(兼供廣場使用)等、綠地用地、文教用地、人行步道用地	無	無
		變更後	鐵路用地、鐵路用地兼供河川使用、鐵路用地兼供河川及道路使用	無

資料來源：本文整理。

本文綜整我國現行土地管制、用地變更制度及國土計畫土地管理制度，以興辦軌道建設為例，分析辦理軌道建設用地變更與許可新舊制度差異，提供未來辦理建設參考。

二、現行使用管制及變更制度

我國現行之土地使用，以都市計畫法、國家公園法及區域計畫法為主要上位法令，分別規定都市計畫土地、國家公園土地及非都市土地之使用規定。

(一) 都市計畫土地

我國轄管土地共 416 個都市計畫區，面積約 4,868.88 平方公里，約佔我國土地總面積 13.5% (國家發展委員會國土區域離島發展處，2023)。

軌道建設依大眾捷運法、鐵路法報經行政院同意後，需用都市土地得依都市計畫法第 27 條第 1 項第 4 款規定逕行變更都市土地為合適分區或用地後，辦理用地取得與後續建設開發。



（二）國家公園土地

依國家公園法劃設的國家公園共計 10 處，陸域面積約 311,283.38 平方公里，海域面積約 439,494.97 平方公里，劃設史蹟保存區、特別景觀區、生態保護區、一般管制區及遊憩區等分區（國家發展委員會國土區域離島發展處，2023）。

依國家公園法第 16 條規定，在史蹟保存區、特別景觀區或生態保護區內，除「公私建築物或道路、橋樑之建設或拆除」及「纜車等機械化運輸設備之興建」經許可者外，禁止其他開發行為；一般管制區或遊憩區，依國家公園法第 14 條規定，經國家公園管理處之許可得為前述「公私建築物或道路、橋樑之建設或拆除」及「纜車等機械化運輸設備之興建」在內的 10 種開發利用行為，如屬範圍廣大或性質特別重要者，國家公園管理處應報請內政部核准，並經內政部會同各該事業主管機關審議辦理之。

（三）非都市土地

軌道建設除位於都市土地外，城際交通通常經非都市土地範圍，目前仍依區域計畫法之非都市土地使用管制規定實施管制，區域計畫主要依「土地現況」加以管制，並允許需用土地人透過使用地變更編定、開發許可機制來申請變更分區或使用地類別。

1. 使用地變更編定

現行制度下，若非都市土地類別不符合軌道建設使用所需，申請變更應依「非都市土地使用管制規則」第 30 條規定辦理，由申請人擬具興辦事業計畫，以書面方式提供相關目的事業主管機關審查並辦理會勘確認，於核准變更編定為交通用地後，再請地政事務所辦理地籍分割及異動登

記作業。

而「非都市土地變更編定執行要點」第 10 點更規定，需用土地人申請徵收或撥用土地計畫書內敘明請求一併准予變更編定者，直轄市或縣（市）政府在接到核准徵收或撥用案件時，經審查申請變更編定標的符合非都市土地使用管制規則及本要點相關規定者，應依徵收或撥用土地使用性質逕為核准變更編定為適當使用地及辦理異動程序；前述情形以協議價購或其他方式取得者，應比照前項規定辦理，行政程序上較為簡便且節省作業時程。

2. 使用分區變更

如軌道建設需用土地面積達非都市土地使用管制規則第 11 條規定之 2 公頃以上時，應變更為特定專用區，此時須申請開發許可。

開發許可制係依非都市土地使用管制規則規定程序，及非都市土地開發審議作業規範製作所需書圖文件，送經內政部或地方政府專責審議單位審議、核可後，自行開闢開發計畫所需公共設施，同時繳納聯外道路或學校等相關的開發影響費後，始得變更其使用分區及編定適當使用地別。

（1）開發許可定義

依內政部國土管理署城鄉發展分署對於都市計畫專門術語之釋義，所謂「發展許可制」乃公私團體為事業發展目的，而引申需用土地時，透過土地使用變更、開發與建築管理，經申請許可手續，取得許可。

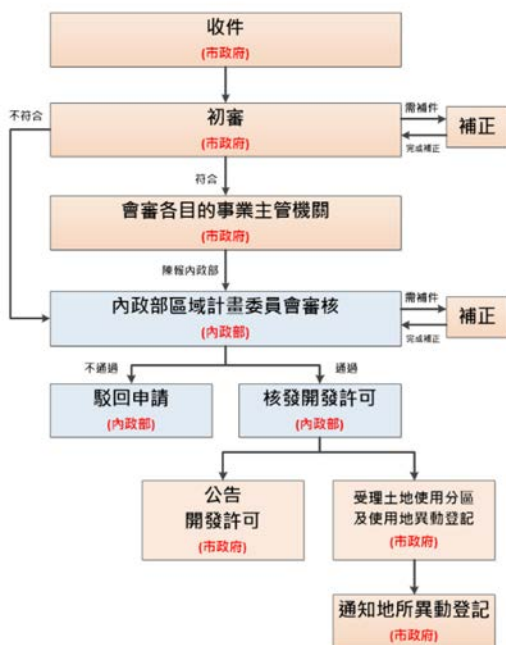
不符合現有土地使用管制之使用行為，為達到目的事業使用需要，必須配置、建設所需之公共設施、挖填土石、設計區劃街廓、整理地界，應提出「開發計畫」申請「開發許可」。核可之條件重視配置之內、外部公共設施能否符合本身需要，區劃配置與設計是否合理及滿足規劃許可



所附帶之條件，許可之結果是「同意」、「附帶條件」或「不同意」給予「開發許可」。

(2) 開發許可辦理程序

申請人應依非都市土地使用管制規則及非都市土地開發審議作業規範之規定製作開發計畫書圖及檢具相關附件，並依下述程序（圖 1）向該直轄市、縣（市）政府送件申請開發許可。



資料來源：桃園市政府地政局網站，2024。

圖 1 開發許可審議流程圖

- A. 提送開發許可及相關文件、圖說。
- B. 由專案小組現場勘查及會議審議。
- C. 審議通過後內政部或地方政府核發開發許可。
- D. 取得開發許可後，續辦土地使用分區變更及使用地異動登記作業。

三、國土計畫法土地使用管制機制

國土法第 8 條明訂國家公園計畫、都市計畫及各目的事業主管機關擬訂之部門計畫，應遵循國土計畫。國土計畫種類則包括全國及直轄市、縣（市）國土計畫，其中依同法第 15 條規定，全部行政轄區均已發布實施都市計畫或國家公園計畫者，得免擬訂國土計畫；同法第 16 條規定，直轄市、縣（市）國土計畫公告實施後，應由直轄市、縣（市）主管機關通知當地都市計畫主管機關按國土計畫之指導，辦理都市計畫之擬定或變更，中央主管機關或直轄市、縣（市）主管機關得指定各該擬定機關限期為之，必要時並得逕為擬定或變更。

國土法第 23 條第 2 項規定，實施都市計畫或國家公園計畫者，仍依都市計畫法、國家公園法及其相關法規實施管制；故「國土計畫土地使用管制規則草案（113 年 9 月送法規會審查版，以下簡稱土管規則）」主要適用都市計畫或國家公園計畫以外之非都市土地，其土地使用係依劃設之國土功能分區實施管制：

(一) 國土功能分區劃設

國土法依據各土地敏感程度、農地生產情形及城鄉發展活動強度等條件劃設國土保育地區、農業發展地區、海洋資源地區及城鄉發展地區等 4 大分區，各功能分區再依據環境敏感程度、農地生產情形及城鄉發展活動強度等條件細分；其功能分區及分類土地使用原則如表 2。

國土法公告實施以後，區域計畫法所劃定之各使用分區及使用地類別即不再適用，為使兩者制度轉換順利，中央主管機關於 107 年 4 月全國國土計畫公告實施版，依各土地性質，訂定各國土功能分區劃設條件，俾直轄市、縣（市）主管機關配合辦理國土功能分區劃設作業。



表 2 國土功能分區、分類及劃設原則

分區	分類	土地使用原則
國土保育地區	第一類	維護自然環境狀態，並禁止或限制其他使用。
	第二類	儘量維護自然環境狀態，允許有條件使用。
	第三類	按環境資源特性給予不同程度之使用管制。
	第四類	
海洋資源地區	第一類之一	供維護海域公共安全及公共福祉，或符合海域管理之有條件排他性使用，並禁止或限制其他使用。
	第一類之二	
	第一類之三	
	第二類	供海域公共通行或公共水域使用之相容使用。
	第三類	其他尚未規劃或使用者，按海洋資源條件，給予不同程度之使用管制。
農業發展地區	第一類	供農業生產及其必要之產銷設施使用，並禁止或限制其他使用。
	第二類	供農業生產及其產業價值鏈發展所需設施使用，並依其產業特性給予不同程度之使用管制、禁止或限制其他使用。
	第三類	按農業資源條件給予不同程度之使用管制。
	第四類	
	第四類(原)	
	第五類	
城鄉發展地區	第一類	供較高強度之居住、產業或其他城鄉發展活動使用。
	第二類之一	供較低強度之居住、產業或其他城鄉發展活動使用。
	第二類之二	
	第二類之三	
	第三類	按城鄉發展情形給予不同程度之使用管制。

資料來源：本文整理。

(二) 國土計畫土地使用管制

為新舊土地使用管制制度順利銜接，內政部

依國土法第 23 條第 2 項規定，擬土管規則規定如下：

依據不同國土功能分區及使用項目分別對應採用不同使用管制規定及申請機制，申請機制包括：「免經申請同意」、「應經申請同意」及「使用許可」等三種，且不能因為開發利用需求等理由變更國土功能分區及其分類，即未來原則無非都市土地因開發需要申請變更土地使用分區之情形。若有國土功能分區調整之需求，應依國土法第 22 條，透過各級國土計畫通盤檢討或鄉村地區整體規劃等計畫檢討後辦理國土功能分區及其分類調整作業。而國防、重大公共設施或公用事業計畫得於各國土功能分區申請同意使用。

1. 免經申請同意案件

「免經申請同意」制度與現行的容許使用中「免經申請許可使用細目」制度類似，其差異點在於「免經申請許可使用細目」是指免向目的事業主管機關、使用地主機關及有關機關許可使用細目，而「免經申請同意」係指免向「國土計畫主管機關」申請使用同意，惟仍須依法洽目的事業主管機關提出申請。例如若農業發展地區之土地要申請農業設施使用，如果該分區及分類為免經申請同意，仍應向農業主管機關申請。

此外，現行的「免經申請許可使用細目」，各分區的免經申請同意項目皆一致，無論開發規模大到何種程度，皆屬免經申請許可；將來的免經申請同意（草案）亦無開發規模限制，其免經申請同意項目雖原則適用全國，但仍保留各直轄市、縣（市）藉由鄉村地區整體規劃方式，提出可因地制宜、適度調整免經同意項目的彈性規定。

2. 應經申請同意案件

應經申請同意之案件原則由地方國土計畫主管機關受理申請後，會商目的事業主管機關及有



關機關（環保、水利、農業或林業等）後進行審查，必要時得組成聯合審查小組進行審查，經審查核發同意使用函後，需登載於國土功能分區及使用地資訊系統，並於國土功能分區通知書註明同意事項。（表3）

表3 現行與應經申請同意案件差異比較表

項目	現行（區域計畫需經目的事業、使用地主管機關及有關機關許可之容許使用細目）	國土計畫應經申請同意使用
同一使用地	各種土地使用分區之同一使用地，管制規定幾乎一樣	<ul style="list-style-type: none"> ■每一種國土功能分區下之同一使用地名稱，管制規定、建蔽率、容積率均有差異 ■縣市政府可以另外再訂管制規定
審查單位	由目的事業主管機關審查（例如：興辦農業設施之主管機關為農業單位）	由縣市國土計畫主管單位審查為原則
變更或許可使用	由變更前後使用地目的事業主管機關同意即可	由國土計畫主管單位會商有關機關審查同意使用後，於國土功能分區通知書上註明同意事項

資料來源：本文整理。

3. 使用許可案件

國土計畫使用許可制度類似於區域計畫之開發許可制度，除機關分工方式差異及強化民眾參與外，兩者最大差異在於是否允許變更使用分區（表4），使用許可案件原則須於政府劃定之國土功能分區下申請使用許可，不得任意變更分區，而開發許可是透過審議變更土地使用分區之制度。

表4 現行區域計畫開發許可與國土計畫使用許可差異比較表

項目	區域計畫開發許可	國土計畫使用許可
變更分區	可以	不可以
中央與地方分工方式	除海埔地開發案以外，面積30公頃以下案件，委辦直轄市、縣（市）政府許可	國土保育地區及海洋資源地區由中央主管機關許可，其餘地區由地方主管機關許可
民眾參與程序	依據非都市土地開發審議作業規範第八條之二規定：直轄市、縣（市）政府依第八點規定受理第一項申請開發案件後，直轄市、縣（市）政府應召開聽取陳情民眾或相關團體意見會議，申請人應就民眾或相關團體陳述意見做成紀錄並研擬回應意見，於提報區域計畫委員會審議時一併檢附。	審議過程中：應辦公開展覽及舉行公聽會，其時間、地點、辦理方式等事項，應廣泛周知。另應以書面送達申請使用範圍內之土地所有權人。審議通過後：主管機關核發使用許可後，將許可之使用計畫書圖、文件，於地方政府及公所公開展覽，並得視實際需要將計畫內容重點廣泛周知。

資料來源：本文整理。

考量大規模使用對外產生之交通、公共設施等外部性有一定程度之衝擊，內政部訂定「一定規模以上或性質特殊土地申請使用許可認定標準」草案（113.8.14再送法規會審查版本，以下簡稱認定標準），律定「一定規模以上」或「性質特殊」情形，其使用面積達一定規模或性質特殊者，應申請使用許可。依認定標準第2條第規定，興辦零售、批發、倉儲、辦公、旅館或工業設施，若位於國土保育地區、農業發展地區開發面積大於2公頃或城鄉發展地區大於5公頃者，須申請使用許可，另針特殊使用項目亦有不同規模及性質認定基準（表5、6），例如教育設施，位於農業發展地區開發面積大於5公頃或位於城



鄉發展地區面積大於 10 公頃，須申請使用許可。

使用許可原則由直轄市、縣（市）層級國土計畫主管機關受理申請後，屬國土保育地區或海洋資源地區者，由直轄市、縣（市）主管機關核轉中央主管機關審議，其餘申請使用許可案件則由地方主管機關審議，經審議並核發使用許可後，申請人應辦理公共設施用地分割及移轉、繳交國土保育費及影響費，最後辦理使用地之變更。

為強化民眾參與，國土計畫實施後，申辦使用許可時，與都市計畫審議一樣有民眾參與程序（公開展覽、說明會等），審議過程中若土地所有權人或相關人民或團體，有相關意見皆可表達，另外核發使用許可後，也會將使用計畫書圖公告周知，以落實「資訊公開、民眾參與」的國土法立法目的。

表 5 國土保育地區、農業發展地區及城鄉發展地區申請使用許可之一定規模以上以及性質特殊認定基準表

使用類別	使用項目	國土保育地區	農業發展地區	城鄉發展地區
一定規模	休閒農業設施	10 公頃以上	10 公頃以上	×
	農作產銷設施、水產設施、畜牧設施、動物保護相關設施、農業改良物及試驗場地及設施	×	5 公頃以上	×
	住宅	×	3 公頃以上	×
	特定工業設施	2 公頃以上未達 5 公頃	2 公頃以上未達 5 公頃	2 公頃以上
	水源保護設施	5 公頃以上	×	×
	水源保護設施（水庫）	2 公頃以上	×	×
	自來水設施	5 公頃以上	5 公頃以上	×
	水利設施	5 公頃以上	5 公頃以上	×

表 5 國土保育地區、農業發展地區及城鄉發展地區申請使用許可之一定規模以上以及性質特殊認定基準表（續表）

使用類別	使用項目	國土保育地區	農業發展地區	城鄉發展地區
一定規模	維生基礎公共設施			
	水利設施（防洪排水設施）	2 公頃以上	2 公頃以上	×
	水利設施（防洪排水設施）之必要附屬設施	×	×	2 公頃以上
	廢（汙）水處理設施	×	×	2 公頃以上
	一般性公共設施			
	教育設施（學校）	×	5 公頃以上	10 公頃以上
	廢棄物清除處理設施	×	×	2 公頃以上
	殯葬設施	×	×	5 公頃以上
	再生能源設施	×	5 公頃以上	×
	能源			
油（氣）設施	×	×	2 公頃以上	
電力設施	×	×	2 公頃以上	
特殊	國防設施	30 公頃以上	30 公頃以上	30 公頃以上
性質特殊	農業			
	寵物生命紀念設施			
	礦業			
	礦業使用及其設施			
	土石採取及其設施			
	廢棄物清除處理設施（限廢棄物衛生掩埋場、廢棄物封閉掩埋場及廢棄物焚化處理廠）	✓	✓	✓
	殯葬設施			
能源	油（氣）設施（石油煉製及其必要附屬設施）			
其他	填海造地			

註：節錄「一定規模以上或性質特殊土地申請使用許可認定標準」草案



表 6 海洋資源地區申請使用許可之一定規模以上及性質特殊認定基準表

使用類別	使用項目	使用長度
一定規模	工程相關使用	輸油（氣）管線（道）及相關設施 長度 30 公里以上
性質特殊	再生能源相關設施	潮汐能發電設施
		海洋溫差能發電設施
		波浪能發電設施
		海流能發電設施
		鹽差能發電設施
		風力發電設施
	土石採取及其設施	採取土石
	礦業使用及設施	採礦（含石油、天然氣採礦）
	港埠航運	港區及其必要附屬設施（位於現有合法防波堤外廓內者，不在此限）
	環境廢棄物處理或排放設施	海洋放流管線及相關設施海洋棄置區

註：節錄「一定規模以上或性質特殊土地申請使用許可認定標準」草案

線狀開發性質，免辦理分區變更，僅需於施工前，依非都市土地使用管制規則第 24 條、92 年 7 月 7 日內授中辦字第 0920083055 號函及非都市土地變更編定執行要點之規定，變更定著於地面設施（例如：平面段路線用地、高架路線橋墩用地等）之使用地為交通用地。

(2) 車站及其相關設施、機廠用地

軌道建設興辦車站及其相關設施或機廠等面狀設施，開發規模未達 2 公頃則視同穿越性開發，免變更區域計畫土地使用分區，於施工前，完成變更編定即可。如開發規模達 2 公頃以上，依現行區域計畫法，係採開發許可制度，由申請人擬具申請書及開發計畫書圖送地方政府收件初審，地方政府再視開發規模大小，續送地方政府或內政部區域計畫委員會審議。經區域計畫委員會審議通過後，由地方政府或內政部核發開發許可，辦理變更分區為特定專用區，並依土地使用計畫編定為交通用地（如機廠設施）、國土保安用地（如隔離綠帶）及水利用地（如滯洪池）等使用地類別。

四、軌道建設用地變更及許可新舊制度差異

(一) 實施都市計畫、國家公園計畫地區

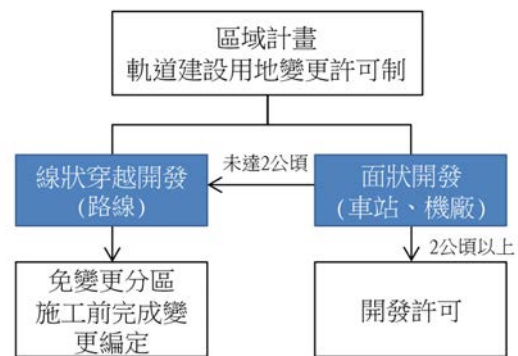
依國土法第 23 條規定，屬實施都市計畫或國家公園計畫者，仍依都市計畫法、國家公園法及其相關法規實施管制，故軌道建設涉及都市計畫及國家公園計畫地區，國土計畫實施後，軌道建設用地變更及許可制度皆循現行制度辦理。

(二) 實施都市計畫、國家公園計畫以外地區

1. 區域計畫體制下用地變更與許可程序

(1) 路線段用地

按內政部營建署 90 年 6 月 20 日營署綜字第 036966 號函釋，興辦軌道建設路線段用地屬穿越



資料來源：本文整理。

圖 2 區域計畫制度用地與可及變更制度

2. 國土計畫體制下用地許可程序

軌道建設依土管規則附表一，屬於「維生基礎公共設施」分類，項次 6-2「運輸設施」下之「鐵



路及其設施（包含高速鐵路）」及「大眾捷運系統及其設施」，於4大國土功能分區內均屬「應經申請同意使用」項目。意即，國土計畫施行後，興辦軌道建設所需用地係於已劃定之國土功能分區內申請許可使用，而非區域計畫體制採變更土地使用分區或編定之方式辦理。

本文進一步依軌道建設開發性質彙整國土計畫制度之用地許可辦理模式如下：

(1) 開發面積小於 660 平方公尺

依土管規則第 10 條，「維生基礎公共設施群組」使用面積小於 660 平方公尺者，得免經直轄市、縣（市）用地主管機關同意使用，可逕循建管或其他目的事業規定辦理。

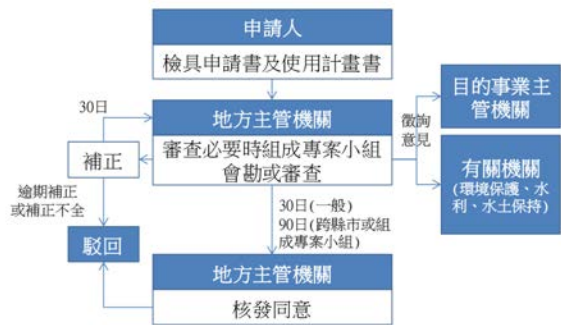
(2) 既有軌道建設之增（改）建

軌道建設於區域計畫停止適用前，已核發許可者，增（改）建行為不逾越原核准內容，依原開發許可管制。如增（改）建涉增減面積及範圍、變更土地使用管制項目等需變更原核准計畫行為，則須依土管規則第 22 條程序辦理變更申請同意。

(3) 新建軌道工程

軌道工程依土管規則附表一屬應經申請同意使用項目，而開發計畫規模如達國土法第 24 條第 1 項授權訂定之認定標準者，須申請使用許可。意即申請使用國土保育地區或農業發展地區面積規模達 2 公頃以上，使用城鄉發展地區面積規模達 5 公頃以上，則須循「申請使用許可」程序辦理，未達一定規模則採「應經申請同意使用」程序辦理。另依認定標準第 2 條，屬線狀設施者，其使用面積免計入一定規模之認定。

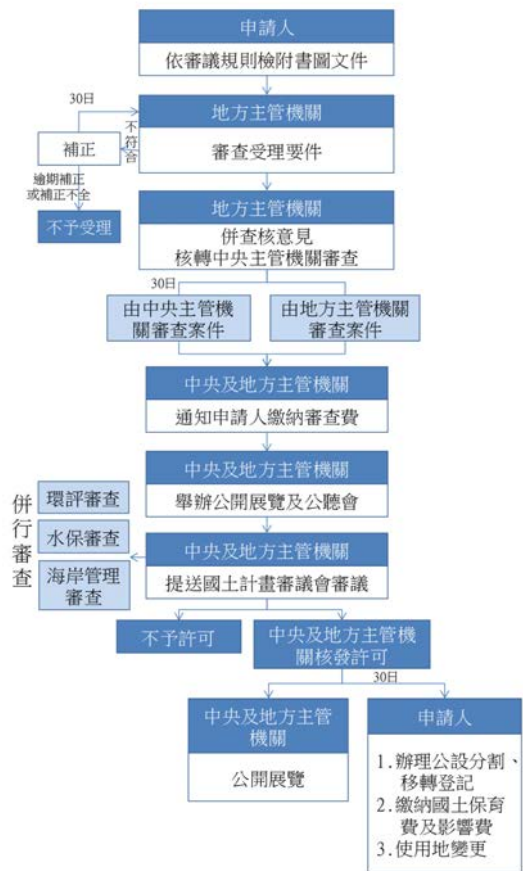
綜上，軌道建設如僅路線段拓寬或線狀穿越開發均循「應經申請同意」程序（如圖 3）辦理，由申請人檢具申請書及使用計畫書向地方主管機關送件審查，審查通過後核發同意。



資料來源：本文整理。

圖 3 應經申請同意作業程序

如軌道建設屬車站及其他相關設施或機廠等面狀型開發，開發面積符合前述一定規模以上者，則須循「申請使用許可」程序（如圖 4）辦理，由申請人向地方政府送件申請後，經地方政府初



資料來源：衍古開發顧問有限公司（2024）。

圖 4 申請使用許可作業程序



審後，併審查意見核轉中央或地方主管機關受理審查後，通知申請人繳納審查費，並由受理機關辦理公開展覽及公聽會，收集民眾意見，提送國土計畫審議會審議，審議通過後核發許可。取得許可後，申請人須辦理開發計畫中公共設施用地地籍分割及移轉登記、繳納國土保育費及影響費、使用地變更。受理審查機關則須將審議通過內容再次辦理公開展覽，公告周知。

五、新舊制度轉換間之過渡性規定

自 120 年 4 月 30 日起，我國土地應依國土法實施土地使用管制，區域計畫法不再適用，在此新舊土地使用管制制度轉換的過渡性期間，政府施政須有無縫接軌的必要性，必須訂定相關執行依據供行政機關遵循。

國土法立法有六個重點：

- (一) 建立國土計畫體系、確認其優位
- (二) 劃設國土功能分區、建立使用許可制度
- (三) 建立資訊公開機制、納入民眾參與監督
- (四) 推動國土復育工作、促進環境永續發展
- (五) 保障民眾既有權利、研訂補償救濟機制
- (六) 因應地方發展特性、保留因地制宜彈性

前述第(五)點考量現行非都市土地多已完成使用地編定，賦予可建築用地合法權益，在依國土法第 32 條規定變更為非可建築用地並完成補償前，該等土地仍得繼續作為建築使用，故為彰顯其土地使用管制的特殊性，須訂定相關轉換規定，以確保或補償對民眾權益的影響。

故全國國土計畫(107年4月)第9章第1

節訂定的土地使用基本方針第 8 點：「保障既有合法權利，允許土地使用」更就『既有合法可建築用地』及『開發許可之案件』提出相關內容，也在土管規則及國土計畫使用許可程序辦法草案(113年4月25日預告版，以下簡稱使用許可程序)訂定相關規定，茲研析說明如下：

(一) 既有合法可建築用地

全國國土計畫提示，原依區域計畫法編定之可建築用地，於不妨礙國土保育保安、海洋資源維護、農業發展需求等情形下，得繼續編定為可建築用地或其他適當使用地，並得為既有合法之使用，但有改建或新建需求時，則依土管規則規定辦理；如經直轄市、縣(市)變更為非可建築用地者，應依法給予適當補償，以保障合法權益。

1. 於國土法實施管制前已依區域計畫法規定核准案件之管制方式

依土管規則第 3 條規定，於區域計畫法停止適用前，經依法核准臨時使用、容許使用、使用地變更編定、開發許可或海域用地區位許可之土地，因已依法取得土地使用權利，其合法權利應予保障，且案件業經依法核准，應依原核准計畫或申請內容進行使用，並得繼續辦理後續程序(例如依計畫配置進行使用或申請建築執照)。

前述之使用地變更編定案件應依原核准興辦事業計畫管制，不得逕依土管規則附表一規定使用，如有變更原核准計畫情形，由原核准之目的事業主管機關認定是否變更原核准興辦事業計畫性質，如未涉及原計畫性質變更，依目的事業主管機關核准變更內容實施管制，無須依土管規則規定重新申請；如涉及變更原核准興辦事業計畫性質者，於原核准計畫經目的事業主管機關認定廢止或失其效力後，應重新申請使用。

考量部分案件於土管規則發布前業經目的事



業機關審查完竣並取得興辦事業計畫核准，惟未及依原區域計畫法完成使用地變更編定，就該類案件規定如興辦事業計畫使用項目符合土管規則第二章『免經、應經申請同意及禁止或限制使用項目』規定，且於土管規則生效日起六個月內提出申請並經核准者，得按原核准興辦事業計畫之使用強度、使用配置（包括隔離綠帶或設施等規劃留設規定）辦理。

如有使用地變更編定或更正編定獲准但未完成異動登記之案件，考量該等案件業經區域計畫主管機關作成行政處分，僅未完成異動登記及將使用地編定登載於土地登記簿，故明定此類案件申請人應於土管規則生效日起六個月內完成原核准文件之附款事項，經原核准機關查核完竣後，由原核准機關通知直轄市或縣（市）主管機關將相關資訊登載於國土功能分區及使用地資訊系統；超過六個月未完成登載者，應依土管規則規定申請使用。

2. 原區域計畫法之合法權利以適當方式揭露

依土管規則第 5 條說明表示，為保障民眾已依原區域計畫法規定取得之合法土地使用權利，有關依原區域計畫法編定之使用地類別資訊，仍將標示於國土功能分區及使用地資訊系統之適當欄位，供民眾查詢。

3. 原區域計畫法之合法權利保障方式

由土管規則第 13 條規定之建蔽率與容積率（參見土管規則附表 3）可發現均已適度調降其開發強度，將建蔽率調降至 10%~60% 之間，容積率則介於 30%~120%，與原區域計畫法編定之可建築用地建蔽率介於 40%~70%、容積率介於 80%~300% 有相當差距；考量依原區域計畫法編定之可建築用地（包括甲建、乙建、丙建、丁種建築用地、窯業、鹽業、礦業、交通、遊憩、

殯葬及特定目的事業用地等），已依法賦予建築利用權利，如經評估不妨礙國土保育保安或農業生產環境者，得持續編定為可建築用地，為避免因土地使用管制制度調整造成社會影響衝擊，於土管規則附表一適度保障原區域計畫法編定之可建築用地原允許之使用項目，並明定此等可建築用地如供前述附表一規定之免經申請同意使用項目，其新建、重建或改建得依原區域計畫法及非都市土地使用管制規則規定之建蔽率及容積率上限（詳土管規則附表 4）辦理；惟如供前述附表一應經申請同意使用項目或申請使用許可者，其建蔽率、容積率上限則應依土管規則附表三規定辦理。

（二）開發許可之案件

全國國土計畫提示，原依區域計畫法第 15 條之 1 第 1 項第 2 款規定取得開發許可之案件，其使用管制及開發建築，仍依許可之開發計畫書圖及其許可之建蔽率及容積率條件辦理；如有變更興辦事業計畫性質時，依下列規定辦理。

1. 原區域計畫核准之開發計畫申請變更興辦事業計畫性質者

依使用許可程序第 10 條規定，原區域計畫法核准之開發計畫屬城鄉發展地區第二類之二範圍辦理變更時，經目的事業主管機關認定變更原興辦事業計畫性質者，應申辦廢止，經主管機關檢討變更國土功能分區及其分類後，再依使用許可程序第 8 條第二項規定重新申請同意或使用許可。

2. 原區域計畫法核准開發許可效力認定與廢止

原區域計畫法核准開發許可是否喪失效力之認定，依使用許可程序第 12 條規定辦理，取得使用地變更或公共設施用地移轉登記之文件，並取得目的事業主管機關認定開發完成或營運登記之



文件、成立管理組織等條件來判定；但其案件情形及收受許可通知之日起算方式，依原區域計畫法及其法規規定辦理。至於原核准開發許可之廢止，依使用許可程序第 14 條規定，是否有（1）違反許可之土地使用計畫，或目的事業、水土保持或環境影響評估等其他相關法規，經該管主管機關提出要求處分，並經限期改善而未改善。（2）興辦事業計畫、水土保持計畫或環境保護相關計畫經主管機關廢止或依法失其效力。（3）造地施工計畫經審議駁回、廢止或不予許可。（4）申請人自行申請廢止等四個情形與程序辦理。

發展地區面積達 5 公頃以上時，則需「申請使用許可」。

從目前國土法相關配套子法的訂定內容而言，土地使用管理法令對軌道建設的管制相對較有限，但並非可直接開發建設，仍須依目的事業主管機關法令，與環境、農業、水利、建管等相關開發利用法令的審查通過後，始能開啟軌道建設與營運利用，故爾後軌道建設從路線勘選、規劃定線與工法、形式選擇等，仍應遵循國土計畫對環境的尊重、道法自然、永續共生。

六、結論與建議

因應國土計畫預計於 120 年 4 月 30 日前公告全面施行的壓力，截至 114 年 5 月底止，所有縣市政府均已提送「國土功能分區圖」草案至中央審查，後續俟審查程序完備後，發布上路實施。

從區域計畫轉變為國土計畫體制的過程中，軌道建設之捷運系統因多位於都市計畫地區，其變更開發利用仍依都市計畫法規定辦理，應無影響；而鐵路建設則多屬城際交通所需，必會經過未來的各類型國土功能分區，為使體制轉換過程順利銜接，中央主管機關在考量自然環境的適宜性、國土保育保安、農業發展與既有合法權利保障等因素，已研擬相關配套措施落實在國土計畫土地使用管制規則與國土計畫使用許可程序辦法草案等規定內；對軌道建設而言，屬 4 大國土功能分區之「維生基礎公共設施」分類，如屬線狀設施部分，其使用面積無須計入一定規模計算；非線狀開發面積小於 660 平方公尺，屬「免經申請同意」項目；非線狀開發面積達 660 平方公尺以上，且未達一定規模者，則屬「應經申請同意使用」程序辦理；但如非線狀開發規模達國土保育地區或農業發展地區 2 公頃以上，或使用城鄉

參考文獻

- 內政部國土管理署國土計畫法及相關子法專區
- 內政部國土管理署城鄉發展分署，國土及都市規劃術語都市計畫最新專門術語釋義
- 內政部國土管理署直轄市、縣（市）國土功能分區圖展示資訊查詢系統
- 余時熏 (2023) 《區域計畫指導非都市土地開發許可之研究》政大地政學系、私立中國地政研究所碩士論文。
- 國土計畫專業教育訓練【核心課程教材】，臺北市：內政部國土管理署。
- 賴宗裕 (2020,3)。〈國土計畫法下使用許可制之介紹〉。政大地政學系地政學訊，79，頁 1-12。
- 國家發展委員會國土區域離島發展處 (2023)。《都市及區域發展統計彙編》




誠信 創新 品質 服務

中興制振 · 智慧防震

防震設備產品

中興社自主研發「國產液流黏滯阻尼器」及各種防震設備，
以提供優質臺灣製造之產品選擇及技術服務！
從零件加工至組裝品管測試皆採用臺灣在地化生產，
並通過認證合格實驗室的多項性能試驗，以確保產品品質與消費者權益。

 液流黏滯阻尼器(FVD) FLUID VISCOUS DAMPER	 位移型消能斜撐(SDB) STEEL DAMPING BRACE
 地震力分散裝置(STU) SHOCK TRANSMISSION UNIT	 效能監測系統(EMS) EFFICIENCY MONITORING SYSTEM
 鋼板制震壁(SDW) STEEL DAMPING WALL	 防震力學實驗室(SML) SINOTECH MECHANICAL LABORATORY FOR VIBRATION

防震制振技術研究中心

專業服務

防震設備研製 新型消能元件研發 設備隔震技術研發 消能元件性能試驗	振控設計技服 防震系統規劃設計 高樓防震/減振工程 設施隔震設計規劃
國防減振研製 高效能減振機械研發客製 國防減振測試方法開發	監測系統技服 工程智慧監測系統 防震效能監測系統

聯絡資訊

A 114065 臺北市內湖區新湖二路280號
W www.sinotech.org.tw
T (02)8791-9198#225 **F** (02)8792-3070
E ast-ctr@sinotech.org.tw

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

 **財團法人中興工程顧問社**
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





新一代氣水混合式環保滅火系統優勢及應用 於鋰電池櫃之探討

Discussion on The Advantages of A New Generation of Hybrid (Water and Inert Gas) Fire Extinguishing Systems and Its Application in Lithium Battery Cabinets

施易陽 Yih-Yang Shih¹ 邱文益 Wen-Yi Chiu²

摘要

為改善低污染氣體滅火系統作動產生的煙塵四處逸散，阻控效果不佳的現象，近期發展新型氣水混合式環保滅火系統。本文說明該系統發展之緣由、主要設備及系統組成、系統啟動之動作流程及控制邏輯，後面並以電纜燃燒之滅火試驗檢視其滅火之效能。

本文續探討儲能系統使用鋰電池櫃之熱失控成因、溫度風險、燃燒衍生的可燃氣體組成、燃燒連鎖反應等特性，據以評估潔淨氣體、細水霧、氣水混合式等環保滅火系統的適用性，其中氣水混合式環保滅火系統憑藉氮氣及超細水霧雙重滅火效果，並允許滅火空間有一定開口尺寸為其最大之競爭優勢。

關鍵字：氣水混合式環保滅火系統、細水霧滅火系統、氣體滅火系統、鋰離子電池、鋰電池櫃

Abstract

In order to improve the problem of smoke and dust generated by the operation of clean agent extinguishing systems escaping everywhere and having poor block and control effects, a new hybrid(water and inert gas) fire extinguishing systems has recently been developed. This article explains the origin of the system development, the main equipment and system components, the system startup process and control logic, and then uses a cable burning fire extinguishing test to examine its fire-extinguishing effectiveness.

This article continues to explore the causes for temperature out of control, temperature rise risks, composition of hazardous gases derived from combustion, combustion chain reactions and other characteristics of lithium battery cabinets used on energy storage systems, in accordance to evaluate the applicability of environmentally friendly fire extinguishing systems such as clean agent extinguishing system, water mist extinguishing system, and hybrid(water and inert gas) fire extinguishing systems. Among them, the hybrid(water and inert gas) fire extinguishing systems relies on the dual fire extinguishing effect of nitrogen and ultra-fine water mist, and allows the suitable opening of the fire extinguishing space, which is its greatest competitive advantage.

Keywords: Hybrid (water and inert gas) fire extinguishing systems; Water mist extinguishing system; Clean agent extinguishing systems; Lithium-ion battery; Lithium battery cabinet

¹ 中興工程顧問公司機械工程部工程師 Engineer, Mechanical Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

² 台電公司核火工處 副處長 Deputy Director, Nuclear Engineering Department, Taipower Company.



一、前言

氣水混合式環保滅火系統是當前較新研發出的滅火系統，屬於雙流體滅火系統類型，但與雙流體細水霧滅火系統有著本質上的差異。雙流體細水霧滅火系統是以氮氣作為驅動力，將水進行霧化後，使單位體積水的表面積加以放大後得以吸熱冷卻火焰、火羽流、燃燒物，並在此過程中水蒸汽置換氧氣及降低輻射熱來達到滅火和控火的目的；而氣水混合式環保滅火系統是以氮氣作為主要的滅火介質，透過氮氣來直接稀釋置換氧氣，並以極少量的水滅火劑被超細霧化後（圖1），執行吸熱冷卻並降低輻射熱以達到滅火和控火的目的，同時於環境中的濕度變大時，超細水霧被煙塵吸附後將使煙塵自動沉降，對於四處飄散的煙塵會有很好的阻控飄散效果。所以，氣水混合式環保滅火系統兼具了氣體滅火系統和細水霧滅火系統優點的同時，也針對相互的不足點進行彌補，有效的實現了滅火速度快、火場有效降溫、降煙塵、用水量少、被保護物火災損失小等新式滅火設備優點，此外，滅火場所之空間可不用完全密閉（可應用於開放之空間），且系統維護保養簡單，長期成本低廉等等之競爭優點。



圖 1 水滅火劑超細霧化後滅火圖

二、系統組成及滅火特性

系統主要由儲氣瓶組、儲水瓶組（水槽）、驅動瓶組、啟動組件、集流管、單向閥、一次減壓閥裝置、二次減壓閥裝置、安全泄放裝置、選擇閥（適用於組合分配系統）、低泄高封閥、混合噴頭、過濾部件、自動流量恒定閥、信號回饋裝置、控制盤、連接管、檢漏裝置、管路管件等組合而成。

系統（氣、水滅火劑混合噴灑）之滅火特性：

（一）滅火時釋放氮氣

1. 氮氣迅速降低氧氣濃度，達到快速抑制火災的滅火效果。
2. 空間面積較大時亦適用。
3. 對於大氣環境之空氣無污染，無二次災損。
4. 因相互包容，氮氣相對不易流失，所以保護空間可開口（可應用於開放或有開口之空間）。

（二）滅火時噴灑的超細水霧（10um 左右）

1. 霧化水表面積擴大 1700 倍，快速吸收火中的熱量，吸熱降溫滅火（吸熱時並轉化為蒸氣）。
2. 對大型火災，具有與細水霧滅火系統相同的功效。
3. 蒸氣可置換火中氧氣，同時降低火場溫度，以抑制火災蔓延。
4. 沉降火災時燃燒而產生四處飄散的煙塵。

（三）氣、水噴灑管路釋放時均為「低壓」

1. 貯存氮氣管路釋放時經過一次減壓恒定至 40bar 以下。
2. 輸送氮氣管路經過二次減壓後到噴頭壓力恒定至 1.8 bar-3bar。
3. 水輸送管路壓力僅為 8bar 以下。



三、系統啟動動作流程

圖 2 顯示當火災發生時，感煙 / 感溫探測器或吸氣式氣體探測器 / 離子探測器偵測出火災情況，並將信號傳送至控制盤，控制盤通過邏輯判斷為火災後，即進入 30 秒倒數計時，並同時連動關閉通風、空調及防火閘門等。倒數計時結束後，發出信號啟動火災區域對應的電磁啟動器以開啟驅動鋼瓶，驅動鋼瓶釋放出驅動氣體至相關的選擇閥、啟動電磁閥，使連動拉桿連動開啟氮氣鋼瓶閥，進一步釋放氮氣。氮氣經一次減壓後彙集於集流管並輸送至二次減壓閥（或先經選擇閥），其中有小部分輸送至壓力水槽，驅動水源流向噴頭。然後二次減壓後的氮氣和流向噴頭的水在噴頭出口匯合後一併噴向保護區域以撲滅火災。

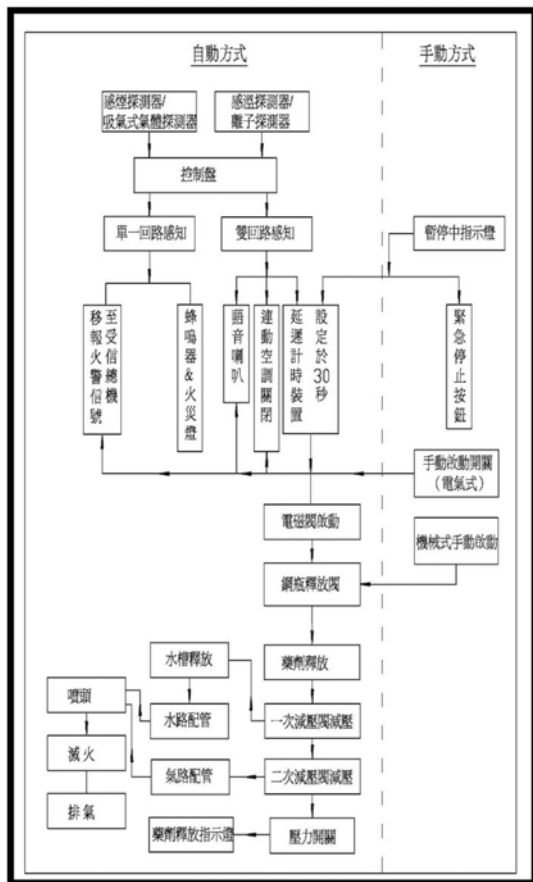


圖 2 動作流程圖

四、滅火（電纜燃燒）試驗成果

（一）試驗條件

試驗長 8 米、寬 2.5 米、高 3 米的模擬電纜在倉內進行，電纜托架佈置七層電纜，每層 8 根直徑 $\Phi 35\text{mm}$ ，長度 1 米的電纜，電纜的引燃採用 1 平方米的油盤，油盤內裝有 10mm 高柴油（約 10L）。油盤點燃並全部充滿火後，再燃燒 30 秒啟動系統進行滅火。

（二）噴頭佈置

採用 4 只噴頭間距 2 米和 2 只噴頭間距 4 米，用這兩種方式分別進行測試。

（三）混合噴頭工作壓力及供水流量

噴頭氮氣管路工作壓力 2.5 bar，噴頭供水流量為 1L/min。

（四）試驗結果

兩種方式試驗結果比較表

4 只噴頭空間氧濃度			2 只噴頭空間氧濃度		
噴灑時間	最低氧濃度	霧狀態	噴灑時間	最低氧濃度	霧狀態
1 分 36 秒	13.5%	噴灑後，空間牆面可見霧滴明顯	3 分 20 秒	13.8%	噴灑後，空間牆面無明顯霧滴
滅火時間					
15 秒			1 分 30 秒		

由上方之比較表得出，當對電纜類似物進行保護時，採用相同容積的氮氣滅火藥劑，不同水量，都能有效的進行滅火。隨著噴頭的減少，噴頭間距的增大，同一空間體積內滅火時間將延長，但仍然可符合理想結果，抑制火災。所以對於比較精密的電子電器的保護，需要較長滅火時間時，



可按較小水流量較大噴頭間距佈置，對於需要較快滅火時間時，絕緣相對要求較低的設備進行保護時，可按較大水流量及可減小噴頭佈置間距。



圖 3 滅火試驗設備圖



圖 4 滅火前試驗狀態



圖 5 滅火過程試驗狀態

進行電纜燃燒試驗時，圖 3 為滅火試驗設備圖，經由圖 4 滅火前圖片顯示，於電纜燃燒產生四處飄散的煙塵（碳灰顆粒）非常明顯，並隨著熱氣流被帶入空氣當中。圖 5 滅火過程中，當啟動滅火系統後，由於超細水霧的作動，很明顯地煙塵被吸附降解並下沉，已變為白色狀態之煙氣。



圖 6 試驗前電纜外觀圖



圖 7 試驗後電纜外觀圖



由前面圖 6、圖 7 兩圖比對，由於滅火速度快，電纜只是外部包覆的聚氯乙烯有局部損壞，整體並無太大破壞。在氣水混合式環保滅火系統的保護下，可以較優越地降低火災產生的損失。

五、氣水混合式環保滅火系統應用於鋰電池櫃之探討

現今，電力儲能行業的發展日新月異，在眾多電力儲能方案中，應用最多的當屬鋰離子電池儲能。由於鋰離子電池的正極材料有磷酸鐵鋰、錳酸鋰和三元鋰，都是鋰的化合物且為含能物質，當熱失控後溫度升高，發生火災事故的機率非常大，當內部持續短路之狀況發生時，高溫持續而容易複燃，所以鋰離子電池儲能櫃火災易發生且速度快，蔓延擴散更快，又易產生爆炸和複燃。

目前，國內外對鋰離子電池儲能櫃/站的火災抑制尚無相關規範，尚處於摸索研究階段，滅火技術大多採用以全氟化合物、氟化酮及氫氟碳化物滅火劑或惰性氣體滅火劑為主，雖能快速的撲滅表面明火，但因電池本身的特性，電池內部的高溫不能快速降溫，當氧氣濃度足以支持燃燒時，將會快速複燃甚至引起爆炸，反而造成更大的損失。所以我們將從以下幾方面依序分別進行專業的探討：

(一) 鋰離子電池熱失控的成因

在現有的相關文獻中，都有對熱失控有各自的定義，但都與「內部溫升」四個字相關，參考如下：

國內定義為電池單體內部放熱反應引起不可控溫升的現象；在 IEC（國際電工協會）62619:2017 定義為 Uncontrolled intensive increase in the temperature of a cell driven by exothermic reaction（電芯內由放熱引發的不可控制劇烈溫升）；

而在 UL（保險商實驗室公司）1973:2018 和 UL9540A：2019 中定義為 The incident when an electrochemical cell increases its temperature through self-heating in an uncontrollable fashion. The thermal runaway progresses when the cell's Generation of heat is at a higher rate than the heat it can dissipate. This may lead to fire, explosion and gas evolution.（當電化學電池以不可控方式透過自熱而升高溫度所發生的事件。當電池產生熱量的速度大過於它可以散發的熱量時，就會發生熱失控。這可能會導致火災、爆炸和氣體逸散。）所以，熱失控的產生是由於電芯內部熱量階段性變化造成的，圖 8 為電芯內部熱量變化與電芯安全的關係圖。

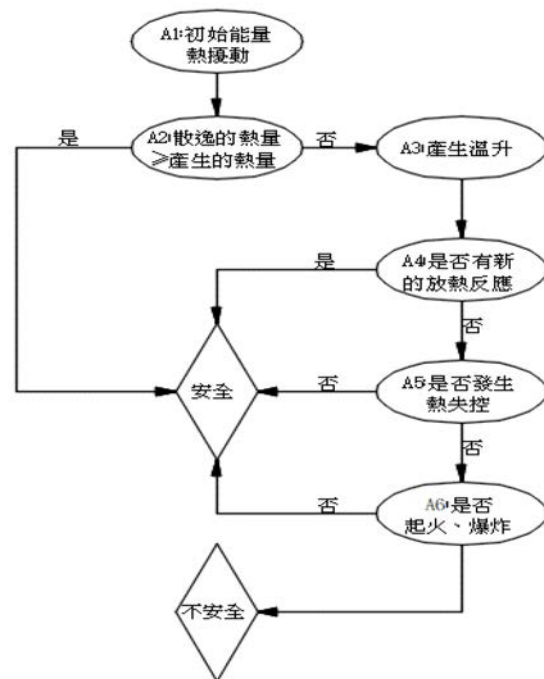


圖 8 電芯內部熱量變化與安全的關係圖

由圖 8 可以看出，由於熱量的不斷上升促使各階段不安全等級也逐步提升，當產生熱量大於散熱量且熱積累後，將使電芯熱失控並釋放可燃氣體，將進一步產生火災、爆炸。所以，階段等



級越高，危險性越大。

在電芯的實際使用過程中，材料可逆容量、SEI（固体電解質界面膜）阻抗、電解液成份、結構件的物理指標等是動態變化的過程，直接影響電芯充放電曲線及內阻動態變化。如果電芯的實際使用條件沒有動態調整與之匹配，將造成電芯內部結構加速損傷和關鍵原材料加速失效的情況，稱之為電芯濫用。電芯濫用最終會導致電芯安全失效，即熱失控。

熱失控現象的產生原因可分為內部原因和外部原因兩類。內部原因主要是指在電池設計及製造過程中產生的原因（如極化等導致內阻增大、鋰金屬沉積刺穿隔膜、內部雜質刺穿隔膜、隔膜缺陷破壞）；外部原因主要是指在電池運輸、安裝及運行維護過程中導致的原因（如異物衝擊及、浸水、熱衝擊、振動、高溫及灼燒、過充過放、過壓欠壓、外短路等電芯濫用問題）。

（二）鋰離子電池熱失控過程風險

鋰離子電池的工作溫度範圍很窄，在 -20°C ~ 60°C 之間，當溫度低於 -30°C 時，電池內部的電解液可能將凝固，若溫度高於 80°C ，電解液可能會裂解。所以，當溫度高於 80°C 時，開始發生熱失控的過程。

過程一：電池內部升溫到 90°C ~ 100°C 左右，鋰鹽 LiPF_6 （六氟磷酸鋰，白色晶體粉末）開始分解。若溫度推高至 150°C 時，發生劇烈放熱反應，例如電解質大量分解生成 PF_5 （五氟化磷， LiPF_6 的核心原材料，具有電絕緣性）並催化有機溶劑發生分解反應。

過程二：電池升溫達 200°C 以上時，正極材料分解，釋放大量熱和氣體，持續升溫到 250°C ~ 350°C 以上時，嵌鋰（是一種重複充電電池，鋰離子在負極之間移動工作，使用一個嵌入的鋰化合物作為一個電極材料）態負極開始與電解液

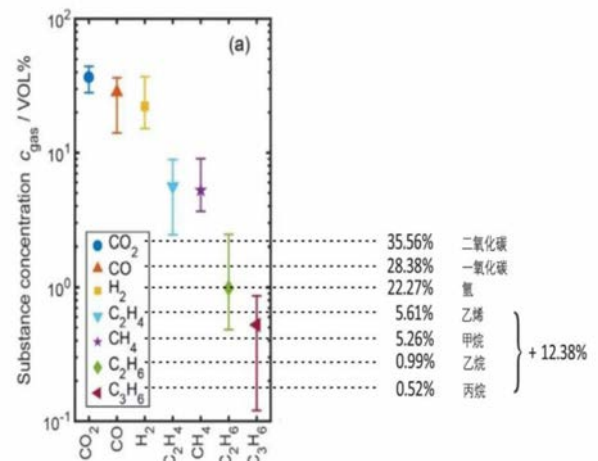
發生反應。

過程三：在反應發生過程中，充電態正極材料劇烈分解反應，電解液也會產生激烈氧化反應，釋放大量的熱量和氣體，造成電池內部溫度驟升至 400°C 時使電解液變成氣體，引起閃燃爆炸。

從以上可以看出，熱失控的風險溫度從 60°C 時開始，而在 100°C 時變得非常關鍵。

（三）鋰離子電池熱失控揮發的可燃氣體組成

鋰離子電池之所以熱失控後造成火災或爆炸，是因為電芯在受熱後釋放出多種氣體，且含有許多的易燃氣體。其中，釋放出較高的七種氣體占鋰離子電池在熱失控中釋放氣體總濃度比例達 99% 左右。所占比例從高到低依次是 CO_2 、 CO 、 H_2 、 C_2H_4 、 CH_4 、 C_2H_6 和 C_3H_6 ，從圖 9 可看到熱失控中釋放數量最多的氣體為 CO_2 、 CO 和 H_2 ，體積百分比分別達到 35.56%、28.38% 和 22.27%，隨後是 C_2H_4 和 CH_4 ，體積百分比分別達到 5.61% 和 5.26%，最後的兩種氣體 C_2H_6 和 C_3H_6 濃度較低，分別為 0.99% 和 0.52%。所以，一旦熱失控後釋放出可燃氣體，將是非常危險的。



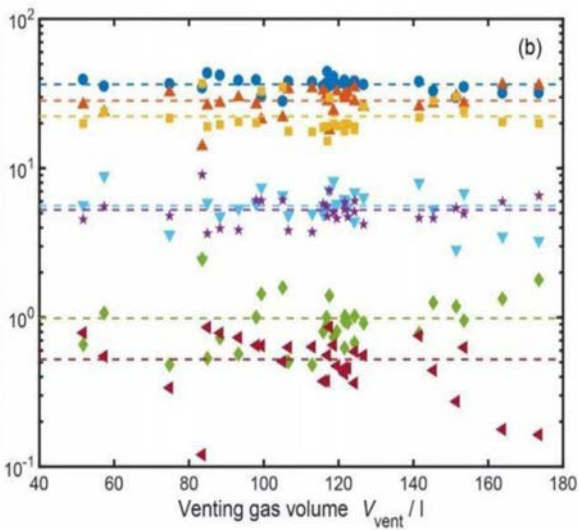


圖 9 電芯受熱後釋放出氣體圖

(四) 鋰離子電池熱失控的連鎖反應 (熱失控擴散)

電池包 由許多的電芯組成，當第 1 只電芯熱失控時，溫升將呈梯度變大，由於熱能的傳導，將使得相鄰的電芯發生熱失控，即熱失控擴散。而且，電芯單體熱失控與隔膜大面積收縮造成內部短路互為因果，造成發生熱失控的電芯能量迅速下降。在電池模組並聯單元中，其餘電芯會向熱失控電芯放電，致使此電芯溫度升高更多，同時靠近熱失控的電芯比遠端電芯放電功率更大，致使溫度也迅速升高，加速熱失控的擴散。一旦熱失控擴散範圍加大，破壞力將增大，到一定程度後，即便設置自動滅火系統，火勢仍將難以控制。

(五) 鋰電池櫃誤用不合宜之滅火系統

著眼當前所瞭解的情況，應用在鋰電池櫃的滅火系統採用氣體滅火系統居多，也有使用細水霧滅火系統。雖然這些滅火系統在電氣設備火災的應用上都有不錯的滅火效果，但是應用在鋰電池櫃確實並不一定能達到很完美的滅火作用，觀

點說明如下：

採氣體滅火系統撲滅火災的疑慮：氣體滅火系統主要是以降低氧濃度達到滅火的目的，為了考量滅火藥劑釋放後人員之安全，不同場所的應用都規定了相對的滅火設計濃度和噴放時間。例如：規定 IG 系列的噴放時間 120 秒內，七氟丙烷的噴放時間最多為 10 秒，且場所不能有開口，對於深層火災的抑制時間為 20 分。在鋰電池櫃火災初期時，熱失控後產生的明火能夠很好的得到抑制，在抑制時間內，空間內的氧濃度也能使熱失控的電芯不發生明火，但是，電芯熱失控後造成的短路溫升，其餘電芯的放電和對熱失控電芯的充電可能還在發生，由於氣體滅火系統滅火藥劑對降溫的效果並不顯著，所以內部熱量不能得到有效控制或降溫，一旦恢復了氧濃度，或將再次複燃，引起更嚴重的爆炸現象。

採細水霧滅火系統撲滅火災疑慮：由於細水霧的滅火原理是以水被霧化成 DV0.99 小於 400 μm ，DV0.50 小於 200 μm 的霧滴，當細水霧抑熱蒸發後能有效達到隔離氧氣功用，且能吸熱降溫來實現滅火的目的。但是，對於鋰電池櫃，它的噴放受到了鋰電池櫃內部空間結構嚴重阻隔的影響，將無法發揮出良好的滅火成效。鋰電池櫃內外部結構情況請參閱下列各圖：



圖 10-1 外部結構圖



圖 10-2 外部結構圖



圖 11-3 內部結構圖

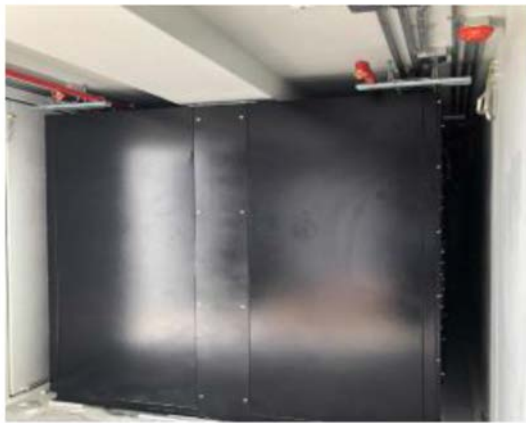


圖 11-1 內部結構圖

由內部結構圖可看出，鋰電池櫃內部的剩餘空間相當狹小，甚至噴頭安裝好後，噴頭距每一模組頂部距離不到 20cm，在此情況，細水霧滅火系統噴出的水霧很難灑向起火部位或充滿空間，且可能造成水滴聚集流淌滲入電氣開關原件、接頭等部位，甚至引起短路，可能造成更嚴重損害。

(六) 鋰電池櫃的火災抑制建議及滅火系統應用

經上述分析，我們認為在熱失控後，易燃氣體被釋放出，進而達到閃點溫度後，即刻發生燃燒，如果燃燒前不能被有效抑制或初期燃燒不能被阻止及主動持續降低溫度或控制溫升，隨後將產生連鎖反應，火勢將會迅速發展或產生爆炸。在此情況下，我們建議鋰電池櫃採用氣水混合式環保滅火系統以抑制火災，其競爭優勢說明如下：

1. 採用極早期預報警設備

當溫度升高但鋰離子電池的安全裝置並未啟動時，可透過離子探測器進行探測，檢測出塑膠的熱分解濃度值，當達到警報值時，輸出第 1 點報警信號（也可透過感溫探測器進行探測，以檢測溫度的方式，透過溫度警報輸出報警信號）。



圖 11-2 內部結構圖



由於溫度的持續升高，安全裝置啟動後，釋出之氣體，可透過極早期氣體探測器檢測出 CO 或 H₂ 的濃度，當達到警報值時，輸出第 2 點報警信號。兩點報警信號傳達到控制盤後，將發出啟動信號。

圖 12 及圖 13 為極早期預報警設備，供參考：



圖 12 吸氣式氣體探測器



圖 13 離子 (電池化學氣體) 探測器

2. 火災抑制應用的效能強化

當控制盤收到兩點報警信號後即發出啟動信號，通知氣水混合式環保滅火系統啟動進行初期滅火。氣水混合式環保滅火系統對鋰電池櫃火災抑制應用的滅火效能如下：

- (1) 氣水混合式環保滅火系統的混合噴頭噴出的氮氣和超細水霧主要是以懸浮狀態並互相包容方式灑向各個有限空間，不會因阻礙而影響滅火功能。
- (2) 因氮氣和超細水霧互相包容懸浮，相對於純氣體滅火系統來說，不易消散在空氣中，所以氣水混合式環保滅火系統可以允許有一定的開口尺寸。
- (3) 超細水霧作為冷卻介質進行持續降溫，設計時，將每只噴頭氮氣噴出流量控制在約 2m³/min，出水量控制在 0.4L/min，噴灑時間持續 20min，這樣既能保證惰性氣體的滅火濃度，又能保證長時間的持續進行冷卻而不因阻礙產生水漬流淌現象反而造成短路等更嚴重的破壞情況。在長時間的冷卻作用下，即便因鋰離子電池的特殊性不能百分之百徹底排除火災隱患，但也已爭取足夠時間讓消防救災人員趕赴事故現場處理後續救災工作，降低損傷。

3. 滿足規範風險管控要求

經濟部所公告之戶外電池儲能系統案場驗證技術規範 CNS 62933-5-2 電能儲能系統 (LESS)：併網式電能儲存系統之安全要求"對於電池儲能系統可能發生火災及火災時各階段之狀態、徵兆及因應風險之管控分別列有處置方法，參照圖 14 內容得知，氣水混合式環保滅火系統確實應可滿足其所述及各階段風險管控滅火系統之所有功能的要求。

六、結論

綜上所述，氣水混合式環保滅火系統集合了氣體滅火系統和細水霧滅火系統的優點，而且還



能有效沉降四處飄散的煙塵，故可運用於許多火災風險較高的場所，如：資料中心、設備間、渦輪機室、開關櫃、控制室、潔淨室、鋰離子電池

櫃、通風管道、發動機測試單元、工藝設備、淬火槽、濕式工作臺、檔案館、圖書館、博物館、醫院、烘爐、軋鋼廠和電纜（托架）整理室等場所。

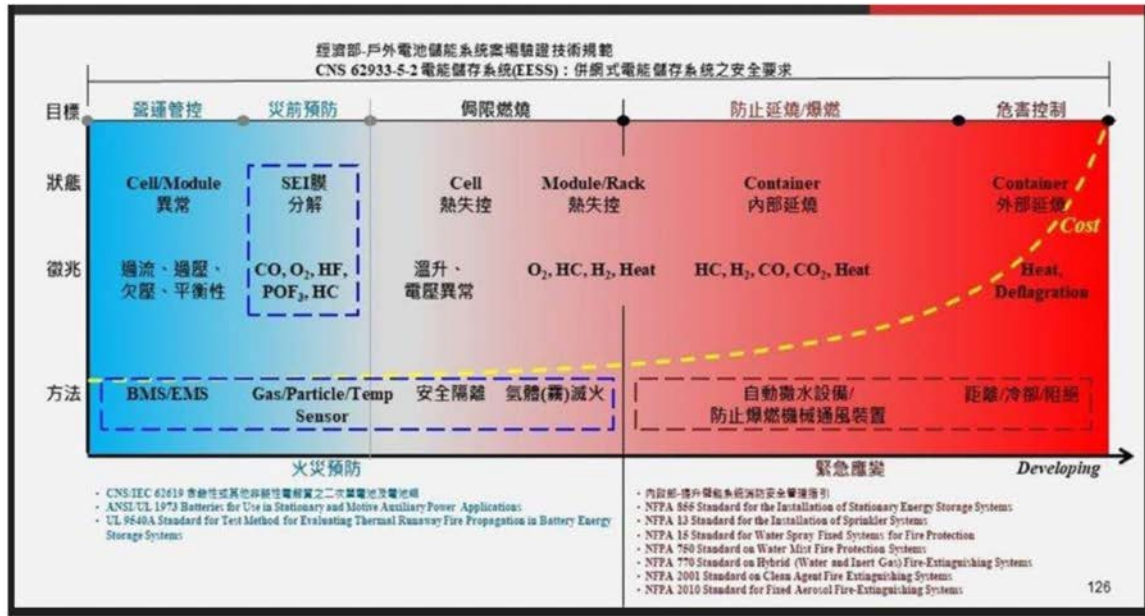


圖 14 戶外電池儲能系統案場驗證技術規範 CNS 62933-5-2 電能儲存系統 (LESS)：併網式電能儲存系統之安全要求

謝 誌

NFPA 2010 Standard for Fixed Aerosol Fire Extinguishing Systems

本文特別感謝臺灣三崎實業股份有限公司總經理吳樹林提供氣水混合式環保滅火系統設備之圖資及滅火（電纜燃燒）試驗相關數據……等技術文件供輔助撰寫本文，僅此提出申謝。

參考文獻

- NFPA 855 Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems
- NFPA 15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection
- NFPA 770 Standard on Hybrid (Water and Inert Gas) Fire Extinguishing Systems 混合式（水 + 惰性氣體）滅火系統。
- NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems



新舊影像分割技術於衛星影像 萃取建物輪廓之比較

Comparison of New and Traditional Image Segmentation Techniques for Extracting Building Footprints from Satellite Imagery

林恩楷 En-Kai Lin¹ 林政緯 Cheng-Wei Lin² 邵國士 Kuo-Shih Shao³ 高郡汝 Jyun-Ru Kao⁴

摘要

利用影像分割概念於遙測影像中萃取各式特徵物已行之有年，然而近年深度學習（Deep Learning）發展快速，已為影像分割領域帶來截然不同的新面貌。本研究以高解析度衛星影像中的建物輪廓為萃取標的，比較 2 種分別於過去、現在之主流影像分割技術，分別是過去常用之多尺度分割法（Multiresolution Segmentation）、及以現今常見的深度學習模型 Mask R-CNN，以探討 2 種影像分割技術對於 LOD-1 建物輪廓萃取的差異。

成果顯示，使用後起之秀—深度學習模型 Mask R-CNN 所萃取的 LOD-1 建物輪廓較多尺度分割法成果佳，且差異顯著，並根據此研究成果，實際運用 Mask R-CNN 於寮國—永珍、越南—胡志明市、柬埔寨—金邊、緬甸—仰光都會區，共 1,400 平方公里之建物輪廓萃取。

關鍵字：影像分割、衛星影像、建物輪廓、Mask R-CNN

Abstract

The concept of using image segmentation to extract various features from remote sensing imagery has been in practice for many years. However, with the rapid development of deep learning in recent years, it has brought a completely new perspective to the field of image segmentation. This study focuses on extracting building footprints from high-resolution satellite images and compares two mainstream image segmentation techniques, one from the past and one from the present. These techniques are the traditional multiresolution segmentation method, commonly used in the past, and the current deep learning model, Mask R-CNN, to investigate the differences between the two methods in extracting LOD-1 building footprints.

The results show that the deep learning model, Mask R-CNN, which is the newer approach, produces better results in extracting LOD-1 building footprints compared to the multiresolution segmentation method, with significant differences. Based on these findings, Mask R-CNN was practically applied to extract building footprints in metropolitan areas across 1,400 square kilometers, including Vientiane (Laos), Ho Chi Minh City (Vietnam), Phnom Penh (Cambodia), and Yangon (Myanmar).

Keywords: Image segmentation; Satellite imagery; Building footprints; Mask R-CNN

¹ 中興工程顧問社防災科技研究中心正研究員 Senior Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員 Associate Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 中興工程顧問社防災科技研究中心天災風險分析組組長 Chief of Natural Disaster Risk Analysis Group, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁴ 財團法人農業工程研究中心資訊組助理研究員 Assistant Researcher, Information Division, Agriculture Engineering Research Center



一、前 言

影像分割技術對於遙測影像的應用非常重要，其不只是將影像中的像元光譜值／灰度值轉換為有資訊含量的向量資料，更是連接後續應用的一道關鍵程序。

在深度學習未大鳴大放之前，傳統上影像分割是利用各式統計方式，將影像上相似、同性質的相鄰像元聚合形成物件，此時影像會被分割成一個個區塊物件，如圖 1 即為使用 DSM (Digital Surface Model) 進行影像分割之成果，一般而言，待影像被分割為一個個區塊化物件後，這些物件將被分類以進行後續應用。過去較為知名的影像分割法有光譜差異分割法 (Spectral Difference Segmentation)、多尺度分割法 (Multiresolution Segmentation)、對比度分割法 (Contrast Split Segmentation)、分水嶺分割法 (Watershed Segmentation) 等，其中以多尺度分割法最常被採用。

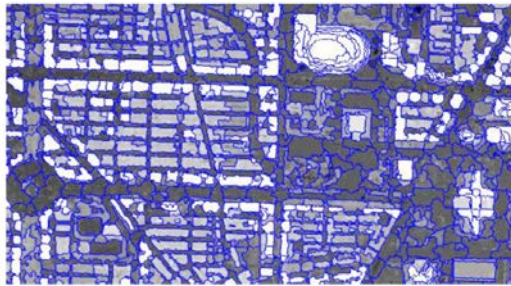


圖 1 DSM 進行影像分割成果

多尺度分割法在遙測影像上的應用廣泛，如黃韋凱等 (2010)、林穎東等 (2018) 應用多尺度分割法進行崩場地種類判釋；Rejaour 等 (2008)、呂明倫 (2015) 應用多尺度分割法於土地覆蓋分類；Rafael 等 (2022) 應用多尺度分割法進行塑膠溫室偵測；Belgiu 等 (2014)、El-naggar (2018) 則使用多尺度分割法於遙測影像上進行建物萃取。

然而，由於近年硬體算力提升以及深度學習技術快速發展，已為影像分割領域帶來截然不同的新面貌。利用深度學習在遙測影像上進行特徵物萃取，多使用卷積類神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 為基礎。以 CNN 為基礎所發展的各式方法中，又可依其目的性進一步分為物件偵測 (Object Detection)、語意分割 (Semantic Segmentation) 與實例分割 (Instance Segmentation) 模型。物件偵測目的是在影像中準確地辨識出多個個體位置，同時賦予每個個體所在區域的邊界框 (Bounding Box) 及類別，但其未真正進行影像分割，典型物件偵測模型有 Faster R-CNN、YOLO 等。語意分割旨在將影像中的像元分類到其對應的語意類別中，但沒有區分出每個個體，典型語意分割模型有 FCN、U-Net 等。而要做到實例分割，先必須正確地偵測影像中個體位置，並對個體準確地進行像元分類 (He 等, 2017)，換句話說，即要兼顧物件偵測與語意分割 (He 等, 2017; Zhao 等, 2018)，且因為有對個體進行像元分類，可得較為精準的個體輪廓，典型實例分割模型有 Mask R-CNN、SOLO 等。

利用深度學習進行遙測影像分割的應用廣泛，如 Kleebauer 等 (2023) 利用深度學習於多種解析度遙測影像上萃取太陽能板；王鈞奕等 (2019) 利用 Mask R-CNN 偵測並分類無人機空拍影像中車輛，有助於在空拍影像中找出車輛轉彎時的完整輪廓，相較 Faster R-CNN 等邊界框成果更適合交通分析上的需求；陳映融等 (2022) 使用 SPOT6/7 衛星影像計算前後期 NDVI 變化，搭配 Faster R-CNN 深度學習進行崩場地辨識，精度可達 92.2%；黎俊成等 (2023) 利用 Mask R-CNN 搭配無人機影像，辨識鋼結構橋梁鏽蝕；Hu 等 (2019)、Lv 等 (2020)、Ohleyer (2018)、



Stiller 等 (2019) 則利用 Mask R-CNN 於遙測影像上萃取建物。

因後續應用需求，需萃取一棟棟獨立建物輪廓，勢必透過實例分割方能滿足，故本研究採用常見的實例分割模型 Mask-R-CNN 進行測試。

二、研究方法概述

(一) 測試區

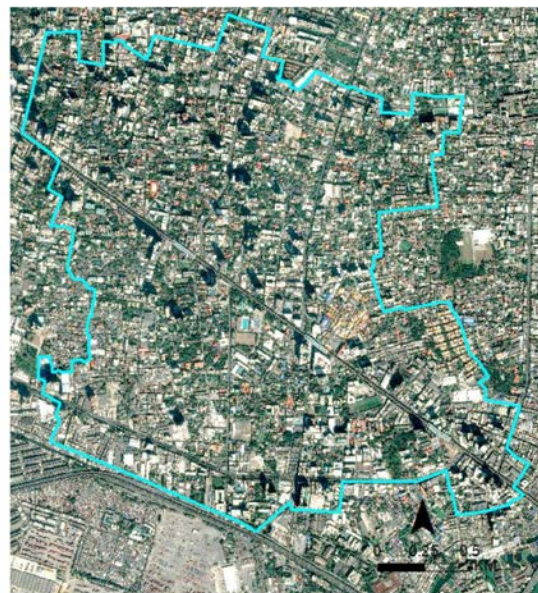
考量未來建物輪廓萃取應用標的為東南亞城市，故本研究選定東南亞較具代表性的城市 - 泰國曼谷 (Bangkok) 進行測試。位於曼谷的測試區分為 3 區，面積共 10 平方公里，如圖 2 中之藍色多邊形所示，第 1 測試區位於曼谷市中心，多為商業大樓及大學校園建築；第 2 測試區除少部分大樓外，其他多為中、低樓層的住宅及商業用建築；第 3 測試區則多為工業廠房及低樓層住宅。這 3 個測試區範圍內具備不同樣態的建物，以確保所訓練的 Mask R-CNN 模型日後較能適用於多樣型態建物輪廓萃取。

(二) Pleiades 衛星影像及其衍生資料

本研究使用之 Pleiades 衛星影像為 2016 年 12 月 18 日拍攝、0.5 公尺解析度全色態銳化 (Pan-Sharpening) 多光譜影像立體對，包含 R、G、B、NIR 波段，並利用 R 及 NIR 波段衍生常態化差值植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 供後續使用。此立體對亦用於產製 DSM，並從 DSM 衍生 DEM (Digital Elevation Model)、物件高度模型 (Object Height Model, OHM, $OHM = DSM - DEM$)、正射影像供後續使用。上述衍生資料產製過程非本文著重之處，故不詳加敘述。



(a) 第 1 測試區 (3 平方公里)



(b) 第 2 測試區 (5 平方公里)



(c) 第 3 測試區 (2 平方公里)

圖 2 曼谷測試區 (共 10 平方公里)



(三) 地真資料

地真資料建物輪廓產製方面，使用前述同幅 Pleiades 衛星影像，利用人工立體繪製 LOD-1 建物輪廓，於 10 平方公里測試區內共繪製 11,982 筆建物輪廓，如圖 3 所示。此建物輪廓資料不但用於檢核成果，亦進一步處理作為 Mask-R-CNN 模型訓練資料。



(a) 第 1 測試區 (部分)



(b) 第 2 測試區 (部分)



(c) 第 3 測試區 (部分)

圖 3 地真資料建物輪廓

(四) 多尺度分割法

此方法為一種由單一像元開始，由下而上聚合 (Bottom-up) 的像元區域合併 (Region-merging) 技術，依據尺度 (Scale)、顏色與形狀，逐步計算異質性以決定是否合併鄰近像元。所謂尺度是指容忍異質性的最高上限，可透過經驗、試誤法依目標物大小、特性做不同的設定，其值愈高，代表能容忍的異質性愈高，意味所分割出來的物件也愈大。異質性 Δh 可由式 1 表示 (Benz 等 2004; 呂明倫 2015)：

$$\Delta h = w_{color} \Delta h_{color} + w_{shape} \Delta h_{shape} \quad (1)$$

$$w_{color} \in [0,1], w_{shape} \in [0,1], w_{color} + w_{shape} = 1$$

式中 w 為權重參數， Δh_{color} 與 Δh_{shape} 可由式 2 及式 3 求得。

$$\Delta h_{color} = \sum_{i=1}^N w_i \left[\frac{n_{merge} \sigma_{i,merge}}{(n_{obj1} \sigma_{i,obj1} + n_{obj2} \sigma_{i,obj2})} \right] \quad (2)$$

式中 N 為衛星影像之波段總數； w_i 為第 i 個波段之權重； n_{merge} 為物件合併後之像元總數； n_{obj1} 與 n_{obj2} 分別為物件 1 與物件 2 之像元總數； σ_i 為第 i 個波段之物件標準偏差。

$$\Delta h_{shape} = w_{compt} \Delta h_{compt} + (1 - w_{compt}) \Delta h_{smooth} \quad (3)$$

式中 Δh_{shape} 是由物件的平滑度 (Smoothness) 與緊密度 (Compactness) 所構成，分別以 Δh_{compt} 與 Δh_{smooth} 表示，可由式 4 及式 5 求解：

$$\Delta h_{smooth} = n_{merge} \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj1} \frac{l_{obj1}}{b_{obj1}} + n_{obj2} \frac{l_{obj2}}{b_{obj2}} \right) \quad (4)$$

$$\Delta h_{compt} = n_{merge} \frac{l_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - \left(n_{obj1} \frac{l_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} \frac{l_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}} \right) \quad (5)$$



以上二式中 l 為物件之周長； b 為物件之邊界框周長。

本研究多尺度分割法是透過物件分類軟體來進行，納入分割之影像波段有 R、G、B、NIR 及 OHM，軟體中進行多尺度分割需設定之主要參數包含尺度參數、形狀權重（即式 1 中的 w_{shape} ）、緊密度權重（即式 3 中的 $w_{compact}$ ），其中尺度參數影響成果甚鉅且最為重要。

因萃取標的為建物，故植被、道路，會先透過 NDVI、道路圖層（多邊形向量資料）進行濾除。濾除後之其他區域，則依建物高度 9 及 34 公尺區分為高、中、低樓層建物，使用不同尺度參數及影像進行影像分割。高、中樓層建物，使用 OHM 進行分割，尺度參數分別為 90、50；低樓層建物因在 OHM 上不易一棟一棟分割區隔，故使用正射影像（R、G、B、NIR）進行分割，尺度參數為 70；另因大型工業廠房外型與一般建物外型差異較大，故額外繪製工業區範圍，並在此範圍內使用正射影像進行分割，尺度參數為 200。上述尺度參數為針對曼谷測試所得之較佳參數，不一定適用於其他城市。

（五）Mask R-CNN

如圖 4 所示，Mask-R-CNN 先藉由 FPN（Feature Pyramid Network）萃取原影像之特徵圖（Feature Map），再由 RPN（Region Proposal Network）以 Region Proposal 在特徵圖上尋找標的物，並產製其所在的 ROI（Region of Interest）。後續則由 RoI Align 透過 ROI 在特徵圖上進行雙線性特徵取樣，計算出精確特徵值及位置，接著將這些特徵值組成固定大小的特徵圖（Aligned Feature Map），這些特徵圖可以準確地反映輸入的 ROI 於原始特徵圖中的資訊。

RoI Align 之後的流程分為兩分支，一支是進行物件偵測，如圖 4 左下區塊所示，透過全連接層（Fully Connection Layer）分別對邊界框位置進行迴歸與物件分類，進一步產出物件之邊界框（Bounding Box）及類別（Class）；RoI Align 之後的另一分支作用是遮罩產製，如圖 4 右下區塊所示，主要是藉由 FCN（Fully Convolution Network）產製物件遮罩（Mask）。本文後續進行分析時，則是採用帶有類別屬性之物件遮罩（建物輪廓）資料。

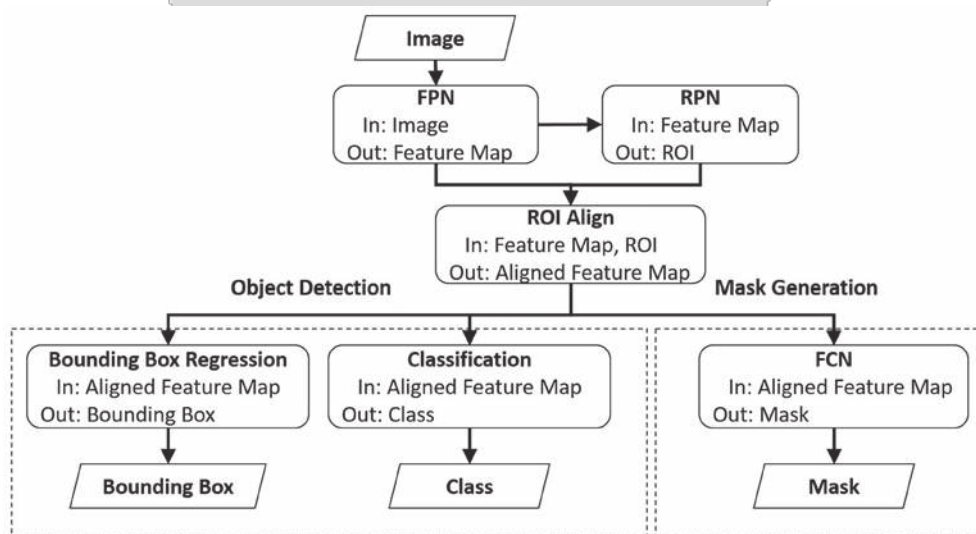


圖 4 Mask R-CNN 架構



本研究使用 Mask R-CNN，採用之影像波段有 R、G、B、NIR 及 OHM，與前述之多尺度分割法相同。模型訓練方面，首先將 10 平方公里地真資料套疊正射影像及 OHM，其中 9 平方公里依 50% 重疊比例，依序裁切成 256×256 像素之影像切片 (Image Chip)，如圖 5 所示。這些影像切片的 80% 用為訓練 (Training)、20% 用為驗證 (Validation)。其餘 1 公里的地真資料，則分散分布於 10 平方公里測試區範圍內，並涵蓋各式建物，作為測試檢核成果之用，不納入訓練模型使用。訓練模型時使用之主要參數如下：學習率 (Learning Rate) 設為自動最佳化、曆元 (Epoch) 為 90、批次尺寸 (Batch Size) 為 2。上述影像切片尺寸及主要參數為試誤法所得之較佳參數。

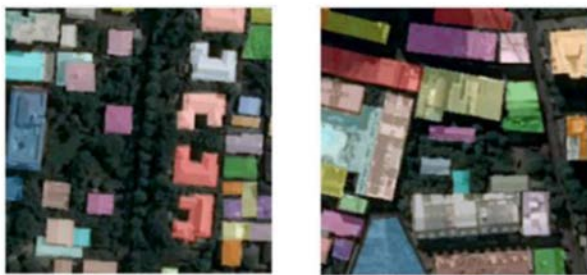


圖 5 訓練用樣本 (部分)

三、研究成果

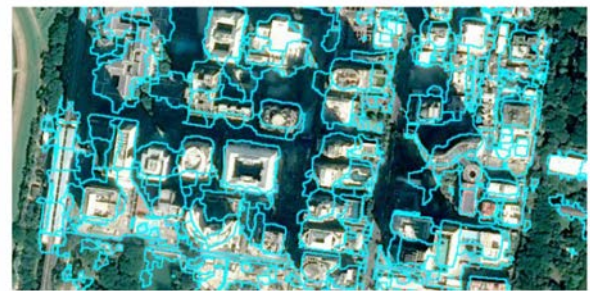
分別由多尺度分割法、Mask R-CNN 產製之建物輪廓如圖 6 ~ 圖 9 所示，視覺比較相對應之地真資料建物輪廓，可初步了解新舊兩種影像分割法成果之差異。

高樓區方面，如圖 6 所示，因建物較高，在影像上常伴隨著大面積的陰影及高差位移造成的遮蔽，且大樓樣態大都較為多變、複雜，對任何建物輪廓萃取演算法都是挑戰。多尺度分割法產製之建物輪廓頗為曲折，且包含部分非建物區域，如影像下緣之裸露地被誤判為建物；而 Mask-R-

CNN 建物輪廓與地真資料較為相似，雖陰影中的高架捷運軌道部分 (影像左上部) 被誤判為建物，但整體表現相對較佳。



(a) 衛星影像



(b) 多尺度分割法



(c) Mask R-CNN



(d) 地真資料

圖 6 第 1 測試區建物輪廓 (部分)



(a) 衛星影像



(b) 多尺度分割法



(c) Mask R-CNN



(d) 地真資料

圖 7 第 2 測試區建物輪廓 (部分)



(a) 衛星影像



(b) 多尺度分割法



(c) Mask R-CNN



(d) 地真資料

圖 8 第 3 測試區建物輪廓 (部分)



(a) 衛星影像



(b) 多尺度分割法



(c) Mask R-CNN



(d) 地真資料

圖 9 第 3 測試區工業廠房建物輪廓 (部分)

中、低樓區方面，如圖 7 所示，多尺度分割法產製之建物輪廓仍曲折，且部分無法棟棟分明區隔；Mask-R-CNN 相對表現較佳。

高密度低樓區方面，如圖 8 所示，多尺度分

割法產製之建物輪廓仍曲折，且有多棟建物合併成為一筆建物輪廓的情況，無法有效區分較為鄰近、樣態相似的建物；Mask-R-CNN 所萃取之建物輪廓則棟棟分明，表現明顯較佳。

工業廠房方面，如圖 9 所示，多尺度分割法產製之建物輪廓仍曲折，且有工業廠房被過度分割的情況，亦有裸露地被誤判為建物；Mask-R-CNN 所萃取之工業廠房輪廓雖有部分近似圓弧，與實際建物情況略有出入，但整體表現仍較佳。

除上述用視覺方式進行的定性比較外，亦在 IOU (Intersection Over Union) > 0.5 之條件下，透過量化數值來計算 TP (True Positive)、FP (False Positive)、FN (False Negative)、Precision、Recall、F1 Score 等常見之精度指標。其中 IOU 為計算萃取的建物輪廓與地真資料間的重疊比例，如式 6 所示；TP 表示萃取的建物輪廓與地真資料不但重疊，且 IOU 超過 0.5；FP 表示所萃取的建物輪廓在地真資料中並無相對應的建物輪廓；FN 表示地真資料中有建物輪廓，但卻沒有萃取到相對應的建物輪廓；Precision 代表所萃取的建物輪廓中，有多少比例與地真資料是相吻合的，如式 7 所示，當 Precision 越小時，表示有較多的非建物物件被誤判為建物；Recall 則是表示有多少比例的地真資料有被正確辨識，如式 8 所示，當 Recall 越小時，表示有較多沒萃取到的建物輪廓。F1 Score 則為綜合的精度評估指標，其為 Precision 和 Recall 的調和平均，如式 9 所示。

$$IOU = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}} \quad (6)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (7)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

$$F1 \text{ Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (9)$$



精度分析時，多尺度分割法分別使用了 10 平方公里（含 11,982 筆建物輪廓）及 1 平方公里（含 1,260 筆建物輪廓）的地真資料進行精度檢核，而 Mask R-CNN 僅使用 1 平方公里地真資料進行精度檢核，此 1 平方公里地真資料即為當初訓練 Mask R-CNN 模型時特意不納入訓練的地真資料，以求檢核 Mask R-CNN 成果的獨立性。精度分析成果如表 1 所示，多尺度分割法於 10 及 1 平方公里地真資料檢核精度皆不甚理想。而比較基準相同的 1 平方公里地真資料檢核成果可知，Mask R-CNN 各項精度指標皆優於多尺度分割法，其 Precision、Recall、F1 Score 精度分別可達 0.72、0.70、0.71。而多尺度分割法 Precision、Recall、F1 Score 精度分別僅有 0.11、0.15、0.13，精度不佳主因在於 FP、FN 數量較 Mask R-CNN 多。

表 1 精度指標 (IOU > 0.5)

精度指標	多尺度分割法		Mask R-CNN
	10 km ²	1 km ²	
TP*	2,040	187	877
FP*	13,861	1,488	348
FN*	9,942	1,073	383
Precision	0.13	0.11	0.72
Recall	0.17	0.15	0.70
F1 Score	0.15	0.13	0.71

*：單位為建物輪廓數量

四、結論與心得

本研究以曼谷為測試區，以高解析度衛星影像中的建物輪廓為萃取標的，比較 2 種分別於過去、現在之主流影像分割技術對於 LOD-1 建物輪廓萃取的差異。經與地真資料比較分析後之結論與心得如下：

- (一) 在遙測的領域，多尺度分割法於過去常用於影像分割及物件式分類，顯見其成果於當時多被使用者認同並廣為使用，成為眾多影像分割法之首選，然而近年深度學習的崛起，多尺度分割法已面臨強勁對手挑戰。
- (二) 由本研究之定性、定量比較分析可知，後起之秀—深度學習模型 Mask R-CNN 之 Precision、Recall、F1 Score 精度分別為 0.72、0.70、0.71，而多尺度分割分別僅有 0.11、0.15、0.13，顯示 Mask R-CNN 萃取的 LOD-1 建物輪廓較多尺度分割成果佳，且進步幅度顯著。
- (三) 透過 Mask R-CNN 萃取的建物輪廓較過去有明顯進步，但仔細觀察，其輪廓線段並非直線，且於建物轉角處多為弧線，與建物實際輪廓稍有出入，因此於後續實際應用時，還需以透過減少節點數來自動拉直線段。
- (四) 本研究成果已實際應用於寮國—永珍、越南—胡志明市、柬埔寨—金邊、緬甸—仰光都會區，共 1,400 平方公里之建物輪廓萃取，成果如圖 10、圖 11 所示。



圖 10 寮國—永珍建物輪廓（線段拉直後）



圖 11 越南一胡志明市建物輪廓（線段拉直後）

謝 誌

本研究特別感謝新加坡南洋理工大學潘則建院長、羅逸文教授，在測試過程中之指導與建議，在此一併申謝。

參考文獻

Belgiu, M., Drăguț, L. (2014). Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 96, Pages 67-75, ISSN 0924-2716.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 58, Issues 3-4, Pages 239-258, ISSN 0924-2716.

El-naggar, A. M. (2018). Determination of optimum segmentation parameter values for extracting building from remote sensing images. *Alexandria Engineering Journal*, Volume 57, Issue 4, Pages 3089-3097, ISSN 1110-0168.

He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., Girshick, R. (2017). Mask r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, Pages 2961-2969.

Hu, Y., Guo, F. (2019). Automatic Building Extraction Based on High Resolution Aerial Images. In *2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE)*, Pages 1017-1020, IEEE.

Kleebauer M., Marz C., Reudenbach C., Braun M. (2023). Multi-Resolution Segmentation of Solar Photovoltaic Systems Using Deep Learning. *Remote Sensing*, 15(24):5687.

Lv, B., Peng, L., Wu, T., Chen, R. (2020). Research on Urban Building Extraction Method Based on Deep Learning Convolutional Neural Network. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 502, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.

Ohleyer, S. (2018). Building segmentation on satellite images. Web: https://project.inria.fr/aerialimagelabeling/files/2018/01/fp_ohleyer_compressed.pdf.

Rafael, J. L., Aguilar, M. A., Ladisa, C., Aguilar, F.J., Nemmaoui, A. (2022). Multiresolution Segmentation for Extracting Plastic Greenhouses From Deimos-2 Imagery, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume V-2-2022 XXIV ISPRS Congress, 6-11 June 2022, Nice, France.

Rejaur R, M., Saha, S. K. (2008). Multi-resolution segmentation for object-based classification and accuracy assessment of land use/land cover classification using remotely sensed data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36, 189-201.

Stiller, D., Stark, T., Wurm, M., Dech, S., Taubenböck, H. (2019). Large-scale building extraction in very high-resolution aerial imagery using Mask R-CNN. In *2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 1-4, IEEE.

Zhao, K., Kang, J., Jung, J., Sohn, G. (2018). Building Extraction From Satellite Images Using Mask R-CNN With Building Boundary Regularization. In *CVPR Workshops*.

王鈞奕、蘇志文、黃家耀、張開國、葉祖宏、林樹德、孔垂昌、溫基信 (2019)，利用 Mask R-CNN 偵測並分類空拍影像中車輛，*交通學報*，第 19 卷第 2 期，第 103-118 頁。

呂明倫 (2015)，物件式影像分析技術應用於土地覆蓋分類之研究，*台灣生物多樣性研究* 17 (4)：307-320。

林穎東、張國楨、楊啟見 (2018)，利用物件式導向進行崩塌地種類判釋、復育追蹤—以高雄市寶來地區為例，*中華水土保持學報*，49 (2)：98-109。

陳映融、繆紹綱、徐于軒、林映丞 (2022)，利用深度學習神經網路進行衛星影像的崩塌地辨識，*中華水土保持學報*，第 53 卷第 1 期，第 25-34 頁。

黃韋凱、林銘郎、陳良健、林彥亨、蕭震洋 (2010)，物件導向分析方法應用於遙測影像之分區及崩塌地與人工設施分類，*航測及遙測學刊*，第 15 卷，第 1 期，第 29-49 頁。

黎俊成、高書屏、王豐良、林志憲 (2023)，利用深度學習模型 Mask R-CNN 辨識鋼結構橋梁鏽蝕之研究，*航測及遙測學刊*，第 28 卷，第 3 期，第 195-208 頁。



應用深度學習方法於大範圍山崩自動判釋

Application of Deep Learning Methods for Wide-area Automated Landslide Detection

簡留玄 Liu-Xuan Jian¹ 余執彰 Chih-Chang Yu² 黃春銘 Chuen-Ming Huang³
吳庭瑜 Ting-Yu Wu⁴ 陳德偉 Te-Wei Chen⁵ 謝有忠 Yu-Chung Hsieh⁶

摘要

山崩調查對坡地整治規劃至關重要。近年來，隨著遙測技術的發展，人力難以到達的偏遠山區也能透過遙測技術有效揭露山崩現況，進而有助於臺灣大範圍山崩調查工作。過去山崩調查主要仰賴人力判讀衛星影像，耗時費力，隨著機器學習與深度學習的興起，這些技術已延伸至衛星影像、航照等遙測影像的分析，使得即時且廣域的山崩調查成為防災工作的重要目標之一。遙測影像與一般影像有著不同的特性，因具有空間資訊，得以疊加不同種類的資料進行分析，過去的研究除了利用影像外，也加入了地形資訊以排除誤判。然而，山崩具有自然物不規則的特徵，並受地質、地形的影響，因此在不同區域有著差異，為了降低區域差異對模型的干擾，本研究將利用深度學習模型，以影像與坡度作為模型訓練資料，並進行分區訓練。

關鍵字：深度學習、卷積神經網路、山崩判釋

Abstract

Landslide investigations are crucial for planning and implementing slope stabilization projects. Recent advances in remote sensing technologies have enabled effective detection and study of landslides in remote mountainous areas that were previously inaccessible. While traditional manual interpretation of satellite imagery was labor-intensive and time-consuming, the emergence of machine learning and deep learning has made automated analysis possible. These techniques can process remote sensing imagery—including satellite and aerial photographs—enabling real-time, wide-area landslide detection for disaster risk reduction.

The key advantage of remote sensing imagery lies in its spatial information, enabling integration and analysis across multiple data layers. Previous studies have reduced false positives by combining visual imagery with topographic data. However, landslides are irregular natural phenomena shaped by local geological and topographic conditions, leading to regional variations that might affect model performance. This study addresses these spatial differences and improves model performance through a deep learning-based approach, combining imagery and slope data with a zonal training strategy.

Keywords: Deep learning; CNN; Landslide detection

¹ 中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員 Associate Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中原大學資訊工程系教授 Professor, Department of Information and Computer Engineering, Chung Yuan Christian University

³ 中興工程顧問社防災科技研究中心正研究員 Senior Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁴ 中興工程顧問社深地質研究專案計畫助理研究員 Assistant Researcher, Advanced Geosciences Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁵ 中興工程顧問社深地質研究專案計畫副研究員 Associate Researcher, Advanced Geosciences Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁶ 經濟部地質調查及礦業管理中心應用地質組技正 Technical Specialist, Applied Geology Division, Geological Survey and Mining Management Agency, Ministry of Economic Affairs



一、前言

臺灣有 70% 的面積屬於山地，且民生經濟活動與坡地息息相關，因此基於坡地開發須兼顧環境保育之前提，山崩調查技術的成熟與否，攸關對於公共設施及人民生命財產安全所造成的衝擊。廣域的山崩調查常仰賴遙測影像的辨識，近年人工智慧技術崛起，在影像辨識任務中也引進了深度學習方法，試圖減少人力參與，提高作業效率，期待可快速反應山崩災害的狀況。

影像辨識涉及到分類問題，模型透過大量的資料分析，獲得某種規律的模型，同時利用規律模型對未知資料加以預測或分類，其中資料的標籤與否，可將模型分為監督式 (supervised learning) 與非監督式 (unsupervised learning) 學習。分類任務中常用監督式分類器，利用具有標籤的資料，讓模型學習資料的分布。具有標籤的資料如同正確解答，讓模型透過與正確解答的誤差，持續修正模型的預測能力。因此，監督式學習具有較高的準確率，同時當資料量越多，越有助於模型學習。

然而，目前大部分山崩偵測的研究多執行於單個山崩至數張影像的範圍 (Chen et al., 2018; Ding et al., 2016; Ghorbanzadeh et al., 2019; Liu et al., 2020; Liu et al., 2023; Stumpf and Kerle, 2011; Tehrani et al., 2022; Yu et al., 2020)，除了受限於地真資料的取得、硬體的限制之外，山崩外型特徵受地形、地質控制的特性，不規則的自然物特徵使模型的泛用性受到限制 (Meena. et al., 2021)。

山崩的形貌多樣，山崩之面積、型態，皆隨著地質、地形而有地區差異。臺灣北部的山崩面積大多小於南部，多數造成社會經濟嚴重傷害的山崩位於南部山區，如 2009 年位於高雄小林村的大規模崩塌，2021 年盧碧颱風，荖濃溪上游因大量降雨造成土石流；不同山崩分類，如落石、岩

屑崩滑、岩體滑動，其形貌也有所差別，落石多發生於陡峭邊坡，在影像上所佔面積較小，岩屑崩滑發生於淺層，形狀多細長或是湯匙型，岩體滑動則規模較大，深入岩盤，受地質弱面控制。

因此，為彌補影像資訊不足，過去山崩自動判釋相關研究利用山崩具有「裸露」、「位於邊坡」、「具地貌變遷概念」等特徵，挑選使用衛星影像本身資訊外，另外補充地形與常態化差值植生指標 (NDVI) 等能代表崩塌地位於「坡地」與「裸露」特徵的資料，為主要的訓練資料。

Ding et al. (2016) 使用前、後期影像，利用變遷的概念偵測山崩的可能區域。Liu et al. (2020) 則使用 RGB 影像、DSM、坡度、坡向作為 U-Net 模型的輸入層偵測山崩。Liu et al. (2023) 先將高解析度的 RGB 衛星影像與 DEM 做特徵圖的融合，再進入到模型做山崩偵測。Meena. et al. (2021) 使用影像 R、G、B、NIR 四個波段，再外加坡度與常態化差值植生指標 (NDVI)，作為 CNN (Convolutional Neural Network) 模型的輸入層。

綜合上述，針對臺灣廣域之山崩自動辨識任務，本研究除了影像亦加入坡度圖，增加地形描述降低誤判，再將以集水區劃分，採取分區訓練模型，減少山崩態樣的多樣性。

二、研究方法

本研究採用經濟部中央地質調查所於民國 96 年至 102 年之「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置——集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫」(後續簡稱為易淹水計畫) 成果，並將山崩偵測視為語意分割之問題，使用同屬於 CNN 架構中的 deeplab v3+ 模型，以 SPOT-5 衛星影像作為模型輸入，集水區分區之事件後山崩目錄作為標記資料，並測驗加入坡度圖與分區訓練模型之效能。分區模型之驗



證採用同一集水區但不同影像，以避免過度配適 (overfitting) 的問題。

(一) 研究區域

本研究以全臺山崩自動判釋為目標，為求得足量的訓練及驗證樣本，採用易淹水計畫，該計畫建置的山崩目錄皆選用重大事件，因計畫建置之資料橫跨時間較長，數化之影像包含 SPOT-1 至 SPOT-5，為求使用之影像規格一致，本研究則蒐集各集水區最新一期，以 SPOT-5 衛星影像建置之事件後山崩目錄 (圖 1)，各水區與相應事件如表 1，部分集水區之山崩數量較少，或是使用影像數量較少，無法有效訓練模型以及驗證，則不採納。

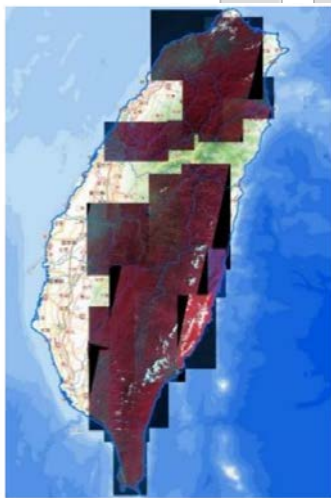


圖 1 訓練資料 (SPOT-5) 範圍圖

表 1 訓練資料時間

分區	颱風事件 (後)	年分 (西元)
淡水河、蘭陽溪	艾利、海馬、納坦	2004
大漢溪	艾利	2004
大安溪	辛樂克	2004
濁水溪	敏督利	2004
高屏溪、知本溪	海棠	2005
四重溪	莫拉克	2009
花蓮溪	海棠、龍王	2005
秀姑巒溪、卑南溪	南瑪都	2011

(二) 研究資料

本研究使用 SPOT-5 衛星 level 3 影像作為模型訓練以及測試資料，相關規格如表 2。由於 SPOT-5 缺少藍光波段，無法組合成自然光影像，則使用對植被較敏感的近紅外光波段，並結合紅光、綠光組合成假色影像。另外，SPOT-5 原始空間解析度為 10 公尺，為求得詳細的地表資訊，本研究透過與全色態影像融合得到 2.5 公尺解析度影像。地形資訊則使用 1 公尺光達數值地形產製之坡度圖，為與衛星影像套疊，透過重新採樣獲得 2.5 公尺解析度之坡度圖。過去易淹水計畫利用衛星影像繪製山崩目錄，乃為計算各集水區之山崩潛勢，其繪製對象為現生山崩，且以滑走區為重點。山崩目錄內註記為堆積區、裸岩、碎石坡、惡地皆已排除，僅保留註記為山崩之資料，山崩數量達一萬以上。

一般模型進行影像辨識任務，多將單張影像作為模型輸入，但衛星影像覆蓋範圍廣大，尺寸較為巨大，囿於硬體計算的能力，影像需先切成圖塊 (patch)，再進入模型運算。圖塊尺寸大小除影響計算效能外，亦影響能否描述山崩於影像之特徵，若圖塊尺寸比一般山崩面積要小，則圖塊難以呈現山崩的外型特徵，若圖塊面積過大，又將面臨計算效能不足的問題。本研究試驗後，將影像資料切割為 256×256 網格大小的圖塊進行分析 (如圖 2)，在提高模型運算效率的同時，亦能保留並代表山崩在影像中的外觀與大小特性。然而，影像中非山崩的區域占大多數，切成圖塊之後，完全無山崩 (負樣本) 的圖塊占影像的大多數，假使直接依照圖塊的數量分為驗證資料與訓練資料，很有可能大多數圖塊皆全為負樣本，使模型訓練有困難，因此，本研究僅利用含有正樣本的圖塊來進行模型訓練與驗證。



表 2 訓練影像 (SPOT-5) 規格表

	SPOT-5		
	全色態波段	多光譜波段	短波紅外線波段
光譜解析度 (μm)	0.48—0.71	綠光段 (B1) : 0.5—0.59 紅光段 (B2) : 0.61—0.68 近紅外光段 (B3) : 0.79—0.89	1.58—1.75
空間解析度 (公尺)	5 (單張) 2.5 (兩張)	10	20
輻射解析度 (bits/pixel)	8		
任務期間	2002.05—2015.08		

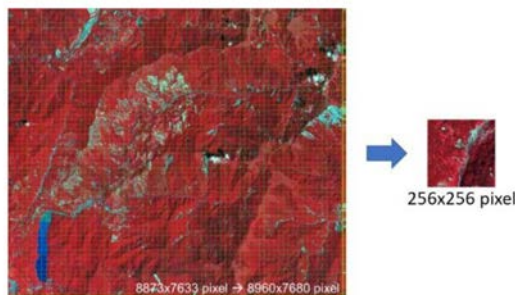


圖 2 圖塊 (patch) 切割示意圖

(三) Deeplab v3+ 模型

Deeplab v3+ 大致可歸為 CNN 架構，亦透過卷積層 (convolution layer) 顯化影像的特徵，再經由池化層 (pooling layer) 保留主要特徵，同時刪除過多不重要的運算參數增加效率，也減少過度配適 (overfitting) 的問題。deeplab v3+ 的主要特徵在於使用空間金字塔池化模組 (spatial pyramid pooling module) 以及編碼—解碼架構 (encoder-decoder structure) (圖 3)，空間金字塔池化模組可疊加不同尺度特徵資訊，保留因層層卷積而消失的特徵；編碼 - 解碼的架構，在解碼時因與編碼過程中的 low-level feature map 作連接，補足深層卷積所造成的資訊遺失，使對邊緣、

邊界的描述更加準確，模型語義分割的能力更強 (Chen et al., 2018)，以符合描繪山崩邊界之需求。

本研究基於 pytorch 框架，建立 deeplab v3+ 之山崩模型，其運行之系統配置為 Intel® Core™ i9 9900K CPU、NVIDIA GeForce RTX 4090 GPU 以及 Ubuntu 20.04 系統，記憶體為 64GB。本研究模型超參數 (hyperparameter) 之設置，週期 (epoch) 為 20000 次、學習率 (learning rate) 為 0.01、batch size 為 4。

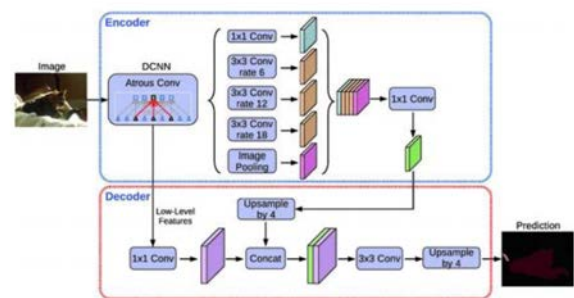


圖 3 deeplab v3+ 模型架構 (Chen et al., 2018)

(四) 分區訓練

考量山崩在不同地質、地形區表現有所差異，為提高模型的準確率，本研究分集水區建製模型，減少地質地形條件的多樣性，降低山崩態樣的複雜度，除此之外，訓練樣本數量足夠與否與模型是否具有代表性亦是關鍵考量。基於易淹水計畫的分區，部分影像覆蓋數個集水區，本研究再依照影像範圍，將鄰近集水區合併為同一區，以獲得足夠的山崩樣本及影像數量。再者，模型的訓練與驗證採用不同張影像，用以驗證模型是否具有該集水區之代表性，而非受過度適配的影響。

三、研究成果

本研究之臺灣廣域山崩自動辨識任務，使用 deeplab v3+ 模型，分為兩階段進行，首先將影像



輸入加入坡度圖，以驗證增加地形描述能否有效降低誤判。接著，以集水區劃分的方式，對模型進行分區訓練。

山崩判釋於本研究視為語意分割的問題，語意分割為像素級的分類結果，因此模型以像素為單位進行模型預測表現的評估，其評估方式係以之混淆矩陣所示（表3），混淆矩陣中，真實資料分為山崩和非山崩，而預測結果也分為山崩和非山崩。根據真實資料和預測結果的組合，評估結果可分為正確預測為山崩（TP）、正確預測為非山崩（TN）、模型誤判為山崩（FP）、模型漏判山崩（FN）等四種（如圖4）。衛星影像中屬於非山崩網格占大多數，若評估模型表現時亦考慮非山崩的正確判釋，會有過度樂觀的情況，因此本研究採準確率（precision）以及召回率（recall）兩指標來評估模型表現。準確率（precision）注重所有預測結果中，正樣本正確判釋的比例，可表示出模型預測準確的程度；召回率（recall）表現所有地真山崩中，正樣本能被模型正確判讀的比例，意指模型無漏判的程度，兩指標皆越高越好。其算式各如下：

$$\text{準確率 (precision)} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) \quad (\text{式 1})$$

$$\text{召回率 (recall)} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (\text{式 2})$$

表 3 混淆矩陣示意圖

地真 預測 \	山崩	非山崩
山崩	正確預測為山崩 (TP)	模型誤判為山崩 (FP)
非山崩	模型漏判山崩 (FN)	正確預測為非山崩 (TN)



圖 4 預測結果示意圖

（一）坡度

一般而言，深度學習可以透過模型層層的特徵萃取，學習到抽象的物件特徵，然而利用單純的光譜資訊於山崩判釋，則易對建物、河道，等與山崩光譜資訊接近的地物類型產生誤判，此時準確率為 35.1%，召回率為 69.9%（表4）。本研究加入坡度資訊與影像一同訓練後，則能有效減少誤判（圖5、圖6），準確率增加至 46.8%，召回率增加至 71.5%。

表 4 模型對坡度圖有無之表現評估

	準確率 (precision)	召回率 (recall)
純影像	35.1	69.9
影像加坡度圖	46.8	71.5



圖 5 坡度圖用於 deeplab v3+ 模型成果圖 (1)

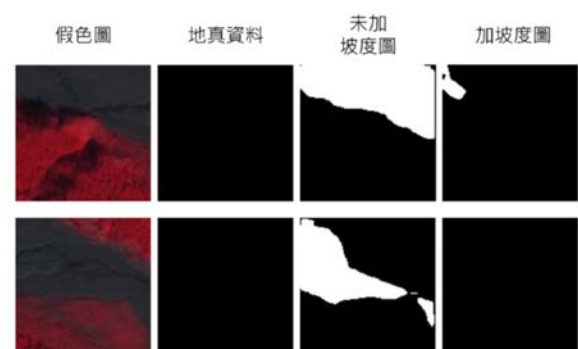


圖 6 坡度圖用於 deeplab v3+ 模型成果圖 (2)



(二) 分區驗證

為提高模型的準確率，本研究採分區訓練模型，降低分區內山崩特徵的多樣性，除此之外，為降低過度配適造成的樂觀結果，本研究訓練及驗證採用的影像以同集水區但不同天拍攝之影像為優先，若範圍內為有足夠的影像可使用，則使用鄰近集水區的模型進行判釋及驗證。

在同為 SPOT-5 資料集上，當分集水區建置模型，山崩偵測的準確率普遍可達 8 成以上，召回率 6 成以上（表 5）。其中，蘭陽溪的準確率最高，召回率最低，意指模型判釋出來的結果近乎正確，但漏判的情形較多，可歸因於樣本數量較少，且訓練樣本多集中蘭陽溪下游及台北盆地周圍山區，山崩型態與驗證區有所差異。整體表現較佳的為四重溪，誤判及漏判的情況皆為較少，因訓練區及驗證區之影像、山崩標記差異皆為較小。本研究判釋的成果如圖 7 至圖 13 所示，明顯的主要河道皆少有誤判，且易發生誤判的白雲，也近幾無誤判。

過去研究中，地物較為複雜的地區，如河道、農田、建物、堆積區，通常需要輔以許多圖資剔除誤判，本研究之深度學習模型則有較佳的辨別能力（如圖 14），可大幅減少後續人工檢核的時間，且深度學習較能描述「單一」山崩的概念，並未出現地形陰影導致的畸零區塊，甚至是邊界較為模糊的情形，模型皆能給予不錯的結果

表 5 分區訓練模型之各分區預測表現

驗證區	訓練區	準確率 (precision)	召回率 (recall)
蘭陽溪	淡水河及蘭陽溪下游	90	57
大安溪	大安溪	83	69
濁水溪	濁水溪	84	67
知本溪	高屏溪	82	68
四重溪	四重溪	87	67
花蓮溪	花蓮溪	88	64
秀姑巒溪	卑南溪	85	58

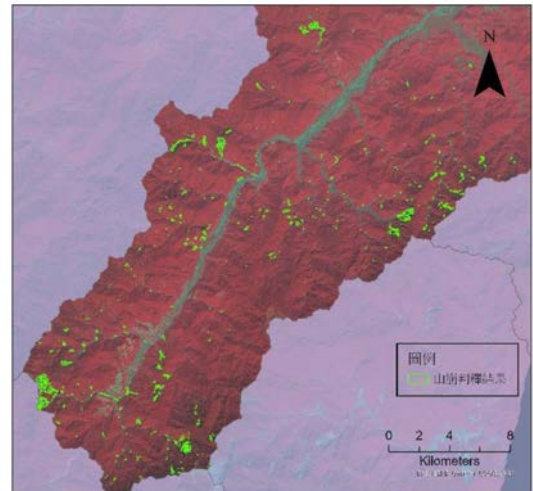


圖 7 蘭陽溪山崩驗證結果

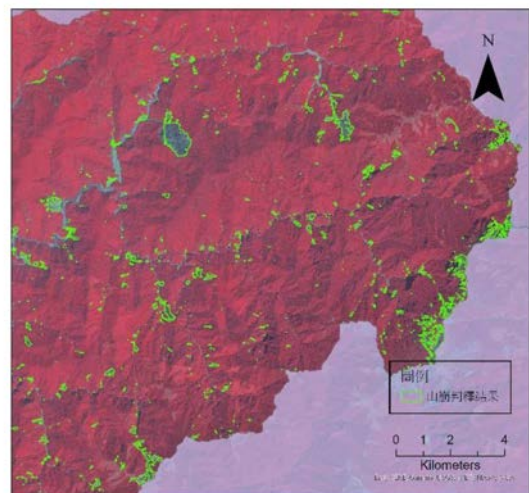


圖 8 大安溪山崩驗證結果

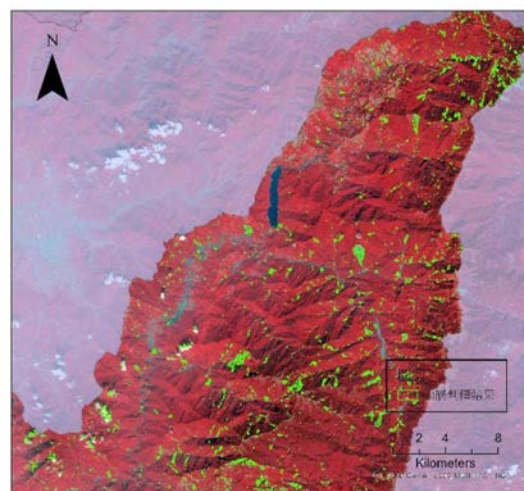


圖 9 濁水溪山崩驗證結果

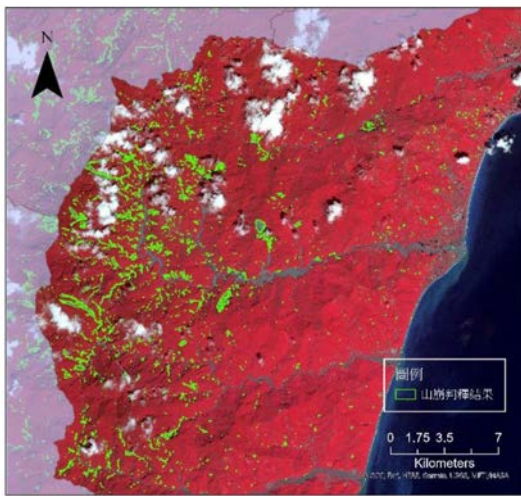


圖 10 知本溪山崩驗證結果

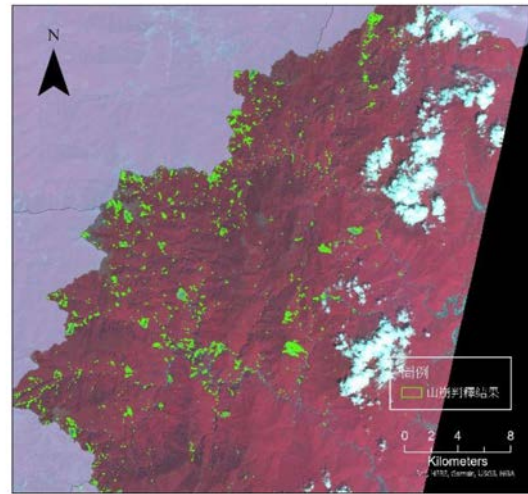


圖 13 秀姑巒溪山崩驗證結果

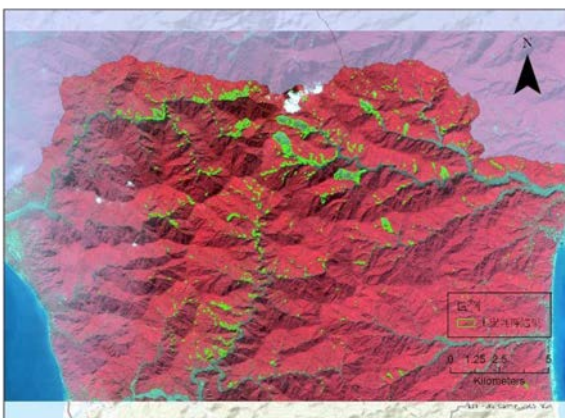


圖 11 四重溪山崩驗證結果

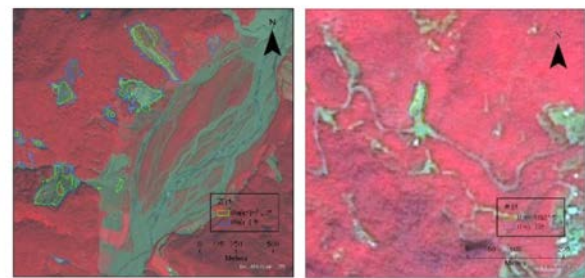


圖 14 河道及聚落之山崩驗證結果

(三) 限制

本研究判釋成果對災害即時應變、初步廣蒐山崩分布已有不錯成效，較為明顯的現生山崩皆有成功辨識，且可大幅降低檢核山崩的時間。但為了解其未來的發展及應用的可能，本研究深度學習於山崩辨識之限制可造因為人工標記誤差、地形誤差，以及模型萃取特徵方法的限制。

1. 人工標記誤差

山崩標記高度仰賴專家的知識與經驗，不同專家對山崩與其邊界的判定皆有不同標準，且為求數化最完整之山崩目錄，部分將影像作適當的調色再進行人工數化。但模型進行判釋時，須求統一標準及呈現真實的樣貌，影像皆原始檔作正

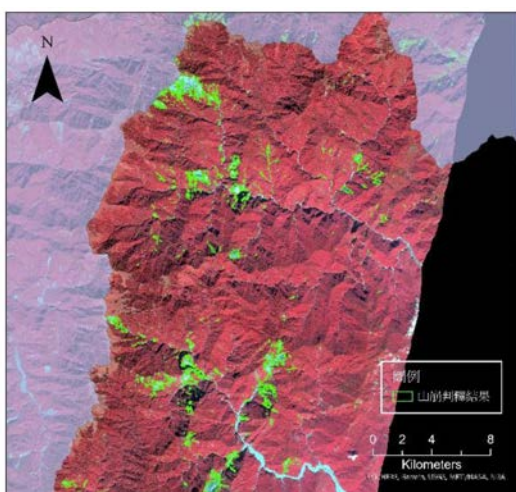


圖 12 花蓮溪山崩驗證結果



規化作為輸入。

模型學習的是整體的概念，考慮所有訓練樣本給予的特徵，逐漸找出合適的方程式擬合問題，本研究樣本多數集中於現生山崩，影像有明顯裸露之地區，模型便易忽略影像中不明顯的山崩（圖 15）。

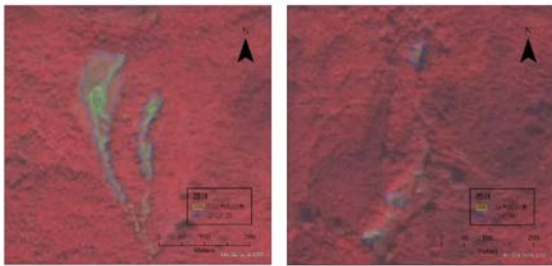


圖 15 人工標記誤差案例

2. 地形誤差

本研究加入坡度圖提供模型地形資訊，減少地形平緩區的誤判。當模型在擷取特徵時，會參考一部分地形給予的權重，鄰近河道的山崩藉由坡度進入平緩區來分辨山崩與河道，然而，如圖 16 中位於邊坡的山崩，坡度變化並非相似於河道，平緩、無明顯梯度改變，從圖 16 左圖發現，模型的判釋結果未依顏色轉折的邊界，反而依照圖 16 右圖的坡度圖特徵，為受地形資料控制的結果。

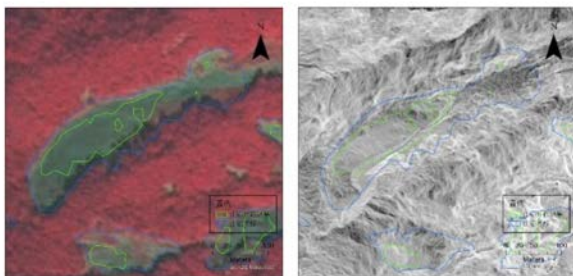


圖 16 地形誤差案例（左圖底圖為衛星影像，右圖底圖為坡度圖）

3. 模型萃取特徵方法的限制

CNN 系列模型的特徵在於使用多層卷積層萃取物件特徵，並去除雜訊，網格占比較小的物件將被視為雜訊，其資訊會消失於較深層的運算。雖 deeplab v3+ 嘗試透過空間金字塔池化模組保留小物件的特徵，但仍容易漏判一部分面積較小或是形狀細長的山崩（圖 17）。

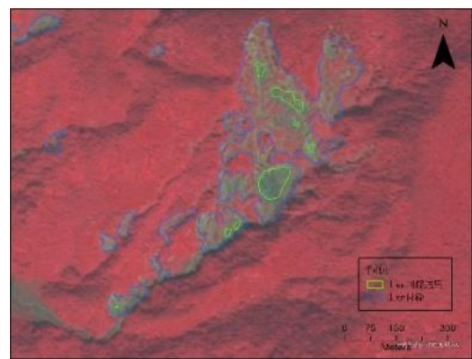


圖 17 小面積及細長型山崩之漏判案例

四、結論與建議

透過在輸入層額外加入坡度圖，本研究有效減少了對河道和建物的誤判。經分區訓練模型後，大部分區域準確率可達 8 成以上，召回率 6 成以上，在丘陵區或是地物種類較為複雜容易出現誤判及漏判的地區，皆有不錯成果。蘭陽溪有較差的召回率可歸因於樣本數不足，以及訓練區與驗證區的山崩樣態差異性大。四重溪整體有較佳的結果，則可能為訓練區與驗證區的資料差異性小。

根據實驗成果，山崩等自然物雖擁有不規則且具地區性差異的特徵，致使模型面臨辨識困難，但適當的分區，可有助於模型學習山崩特徵，提高山崩辨識的準確率。本研究亦發現 deeplab v3+ 模型較能描述單一山崩範圍，大多數山崩皆能被完整描述、框選外型，非單純受顏色所控制。山崩內因地形、陰影、植被、復育造成的顏色不均，



若使用傳統 NDVI 門檻值挑選的方法，山崩內容易有畸零區塊未被框選，在本研究中，模型能將其視為山崩，據此，深度學習有較佳的能力描述整體的物件，可有效減少人力對判釋結果的干預。

然而，受到訓練資料與模型的限制，模型對不明顯裸露及小面積山崩較不敏感，且山崩範圍除受顏色控制，亦受坡度圖影響。

在應用上，本模型可提供初步廣域的山崩判釋結果，若要進行常態性分析，則會面臨使用不同規格影像的問題，例如，當前 SPOT 系列中仍在運行的 SPOT-6 與 7 衛星，其規格與 SPOT-5 的配置不同，不管是波段、波長、空間解析度、輻射解析度皆已改良，可與 SPOT-5 影像視為不同資料，將使深度學習模型面臨資料泛用性難關。若要重新建立合適的模型，則會面臨樣本數不足的難題，如何快速有效地建立樣本，亦是當前深度學習研究的重要目標。

參考文獻

Chen, L. C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2018). Encoder-Decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation. In: Ferrari, V., Hebert, M., Sminchisescu, C., Weiss, Y. (eds) Computer Vision – ECCV 2018. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science(), vol. 11211. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01234-2_49

Ding, A., Zhang, Q., Zhou, X., Dai, B. (2016). Automatic recognition of landslide based on CNN and texture change detection, 2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC), Wuhan, China, 444-448.

Ghorbanzadeh, O., Blaschke, T., Gholamnia, K., Meena, S. R., Tiede, D., & Aryal, J. (2019). Evaluation of different machine learning methods and deep-learning convolutional neural networks for landslide detection. *Remote Sensing*, 11(2), 196.

Liu, P., Wei, Y., Wang, Q., Chen, Y., Xie, J. (2020). Research on post-earthquake landslide extraction algorithm based on improved U-Net model. *Remote Sens.*, 12, 894.

Liu, X., Peng, Y., Lu, Z., Li, W., Yu, J., Ge, D., Xiang, W. (2023). Feature-fusion segmentation network for landslide detection using high-resolution remote sensing images and digital elevation model data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1-14.

Meena, S. R., Ghorbanzadeh, O., van Westen, C. J., Nachappa, T. G., Blaschke, T., Singh, R. P., Sarkar, R. (2021). Rapid mapping of landslides in the Western Ghats (India) triggered by 2018 extreme monsoon rainfall using a deep learning approach. *Landslides*, 18, 1937-1950.

Stumpf, A., & Kerle, N. (2011) Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2564-2577.

Tehrani, F. S., Calvello, M., Liu, Z., & Zhang, L. (2022). Machine learning and landslide studies: recent advances and applications. *Natural Hazards*, 114(1), 1197-1245.

Yu, B., Chen, F., Xu, C. (2020). Landslide detection based on contour-based deep learning framework in case of national scale of Nepal in 2015. *Comput. Geosci.*, 135, 104388.

新書推介

(一) 環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發

許國恩、劉婉儀、吳佳娟、
林宜璇、吳紗糸、李品蕙、
楊淑娟、林淑滿 編著

2023年2月初版



「跨山渡河無畏懼，探深納淺我都行！」 「橫向東西縱南北，惟有中興深地質！」

我們是一群擁有十年以上山區及平原區地下水資源調查經驗的探勘者，也是觀遍全台崩塌地影像的鑑識家，未來將整合創新科技ABCD*，邁向深地質科技跨領域結合研究！
* A (Artificial Intelligence), B (Big data), C (Cloud computing), D (Domain Knowledge)



▼ 部門重要業績

臺灣山區及平原補注敏感區之地下水資源調查研究
區域地質描述模型建置及評估模式應用
山崩巨量資料應用及智慧動態山崩模式發展
潛在大規模崩塌調查、監測及規劃

▼ 聯絡資訊

114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
Email：agr-proj@sinotech.org.tw

深地質研究 專案計畫

▼ 專業服務內容

- I. 進階型孔內水文地質調查**
高精度地下水流速 / 深層水化學特性調查 / 單(跨)孔示蹤劑試驗
- II. 智慧崩塌地(坡地)調查分析技術**
空拍影像之PIV分析 / UAV露頭調查及位態分析
多尺度地球物理 / 地球化學觀測系統整合規劃
智慧山崩目錄判釋與檢核技術
- III. 數值模式分析**
裂隙岩體之複合DFN-EPM模型建立與分析
地球科學領域之場址描述模型建置
- IV. 高階岩石力學試驗 (Carried out by MTS Model 815 System)**
高強度(460T)單壓試驗 / 高圍壓(80MPa) 三軸試驗

廣告

誠信 創新 品質 服務

財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



MaaS 生態系利害關係人需求探討

Exploring Stakeholder Needs in the MaaS Ecosystem

胡仲瑋 Chung-Wei Hu¹ 陳怡蓁 Yi-Chen Chen² 張和盛 Ho-Sheng Chang³

摘要

近年來，交通行動服務（Mobility as a Service, MaaS）已成為多國交通服務發展的主要趨勢，由於 MaaS 涉及廣泛面向且持續在全球多個城市推動，相關服務如何滿足永續發展目標成為關鍵議題；同時亦衍生多項應用與研究議題，如門到門（door-to-door）服務的優化、異業合作推廣及擴大 MaaS 服務使用者族群等。本研究定義 MaaS 生態系中主要利害關係人，並聚焦於 MaaS 服務的建置期、推廣期及永續發展期及其需求與關注議題，最後依據服務發展階段與關注議題面向進行議題歸類，提供未來 MaaS 建置與推廣策略參考。

關鍵字：交通行動服務（Mobility as a Service, MaaS）、交通永續發展、利害關係人需求分析

Abstract

In recent years, Mobility as a Service (MaaS) has emerged as a major trend in transportation service development across many countries. As MaaS encompasses a wide range of aspects and is continually being promoted in various cities globally, a key issue is how related services can meet sustainable development goals. This has also given rise to numerous application and research topics, such as the optimization of door-to-door services, the promotion of cross-industry collaboration, and the expansion of the MaaS user base. This study defines the primary stakeholders within the MaaS ecosystem and focuses on the establishment, promotion, and sustainable development phases of MaaS services, along with their respective demands and concerns. Finally, issues are categorized based on their service development stage and areas of concern, providing a reference for future MaaS establishment and promotion strategies.

Keywords: Mobility as a Service (MaaS); Sustainable Transportation Development; Stakeholder Needs Analysis

¹ 中興工程顧問社土木水利及鐵道運輸研究中心副研究員 Associate Research Fellow, Civil, Hydraulic Engineering and Railway Transportation Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社土木水利及鐵道運輸研究中心助理研究員 Assistant Research Fellow, Civil, Hydraulic Engineering and Railway Transportation Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 逢甲大學建設規劃與工程博士學位學程博士生 Ph.D. Student, Ph.D. Program for Infrastructure Planning and Engineering, Feng-Chia University.



一、前言

近年來，整合各種公共運具與共享運具，並利用資訊通訊技術、智慧運輸系統服務與個人化行動應用程式推動交通行動服務（Mobility as a Service, MaaS），已成為多國在交通服務方面的主要發展趨勢，其中 MaaS 指的是用單一平台整合行前規劃、多元運輸服務及行程體驗等服務，提高從出門前至抵達目的後的交通移動便利性及便捷度。

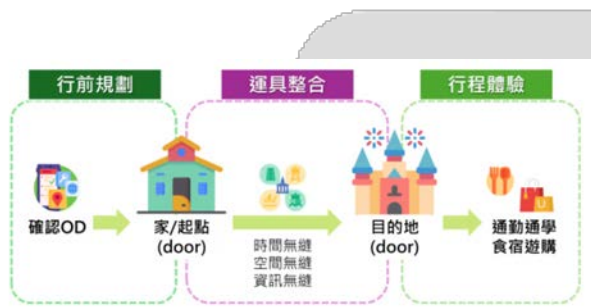


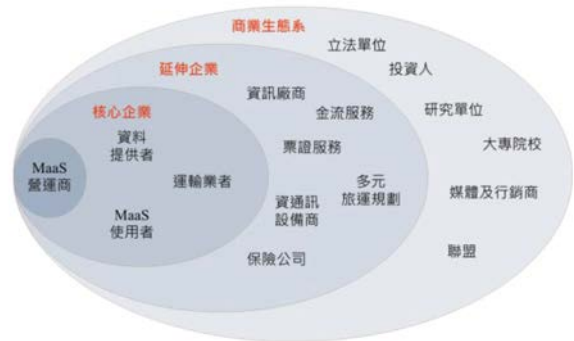
圖 1 MaaS 服務範疇示意圖

由於 MaaS 涉及面向廣大且多元，且越來越多地區進行建置、推動與發展，並期望 MaaS 服務可達成永續發展之目標，衍生許多值得進一步探討及擴充應用之議題。例如在 MaaS 服務的建置期、推廣期以及永續發展期間，可透過系統自身或相關管道蒐集許多數據資料以進行整體服務的提升，像是改善門到門服務、異業合作的推廣等，進而掌握現行 MaaS 服務之特徵，便成為達成永續發展目標的重要應用議題之一。然而，針對上述之應用層面及內容，必須清楚定義 MaaS 生態系中之所有利害關係人，方能接續研擬 MaaS 發展階段中進行持續改善行動方案，並使其具有運用價值。故本研究首先將進行 MaaS 生態系利害關係人進行定義，再針對其關心之議題或需求痛點進行描述，並依照 MaaS 服務發展階段進行歸類。對於未來 MaaS 服務之發展，可依建置、

推廣等階段性陸續探討、解決相關議題。

二、MaaS 生態系利害關係人

MaaS 服務牽涉到的利害關係人多元且複雜，為順利發展出具永續性的商業模型，需針對 MaaS 生態系進行定義，盤點該生態系所涉及的各個參與者以及其所對應的角色定位與貢獻。有關 MaaS 生態系中各個利害關係人之界定，Kamargianni 與 Matyas (2017) 從上位角度分析 MaaS 生態系之組成，以 MaaS 營運商為核心企業 (focal firm)，描述其創造與獲取價值的過程中所有的互動成員 (actors)，並依照互動的密切程度進一步劃分出核心企業、延伸企業、商業生態系三個層次 (如圖 2 所示)。以下擷取核心企業之利害關係人進行說明：



資料來源：Kamargianni 與 Matyas (2017)

圖 2 MaaS 生態系概念圖

(一) MaaS 營運商

適合擔任 MaaS 營運商角色的生態系成員有兩個候選對象：交通主管機關或是私人企業。由於交通服務的授權與採購均屬於其管轄範圍，所以若由交通主管機關做為 MaaS 營運商，將更容易的確保運輸業者配合參與 MaaS 服務模式。然而推動 MaaS 意味著交通主管機關必須打破既有



的權責劃分，對於官僚系統可能需要數年的時間以形成必要的改革，此外，交通主管機關相較於利潤導向的私人企業而言，精進 MaaS 服務之動機較為缺乏，同時也受到更多的法律約束。

而在私人企業做為 MaaS 營運商的情境下，基於企業經營原則係以擴張市場為發展目標，可預期 MaaS 市場將取得更快的發展速度，而且在跨區域整合上較交通主管機關主導的 MaaS 更具彈性。然而因為交通主管機關長久以來作為交通服務的整合與提供者，故私人企業主導的 MaaS 將面對的主要困難為各機關的參與意願。

(二) 資料提供者

資料提供者是 MaaS 生態系中核心企業的另一個關鍵角色。資料提供者為 MaaS 營運商提供資料與分析能力，除了運輸業者的資料，還會從其他多元來源（例如 MaaS 使用者的手機信令資料）進行蒐集。MaaS 服務中所需的這些資料，資料提供者須依照隱私保護、資通訊技術與資料交換等規範，實現資料得以快速、可靠且安全的提供給 MaaS 營運商。

(三) 運輸業者

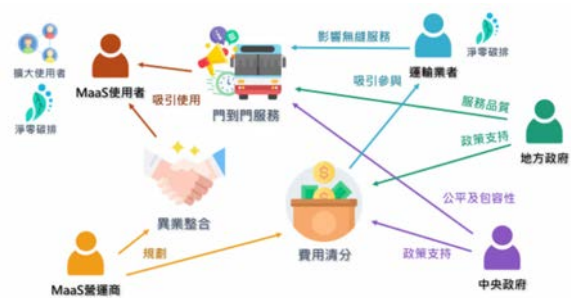
運輸業者作為 MaaS 營運商最主要的服務供應者，將其運輸服務容量（capacity）販售給 MaaS 營運商並藉由加密的 API 管道提供車隊相關資料。對運輸業者而言，參與 MaaS 服務可望創造更多商機。然而，在各個屬於競爭關係的業者之間建立信任，鼓勵彼此主動的分享資料與相關資源，在鞏固共同利益的同時創造公共利益，也是一大挑戰。

(四) MaaS 使用者

由於 MaaS 服務模型是以使用者為中心，故 MaaS 服務的使用者可能是個人、公司或是兩者皆

是。關於服務產品規劃、願付價格以及 MaaS 服務對旅運模式的影響等議題，皆為 MaaS 使用者所期待的。

因應我國情勢以及對應現行 MaaS 服務案例——MeNGo——實際營運情形，將我國 MaaS 生態系利害關係人角色另對應如下：



資料來源：林良泰等（2024）

圖 3 適用我國情境之 MaaS 生態系概念圖

(一) 中央政府

中央政府係指交通部以及其所屬機關，根據《運輸政策白皮書》，善用公務預算以及其他既有資源，編列常態性經費供地方政府、運輸業者提供資金來支持、鼓勵 MaaS 服務的創新和發展，期望從交通面向最大化的改善人民生活，同時確保交通服務的公平性與包容性。

(二) 地方政府

地方政府擁有自己的預算和財政管理，用以推動地方經濟發展，由於部分的預算和財政資金係來自中央政府的補助，意謂著地方政府需要配合中央政策，執行政策要求。在地方政府的組織架構中，係由地方交通局負責主導辦理地方 MaaS 服務系統的建置與推廣。

(三) MaaS 營運商

MaaS 營運商定義為具備交通資通訊技術與商



業專長之組織，並整合運輸服務提供者提供交通服務產品（如公共運輸月票、時數票等）。由於目前 MaaS 生態系中的各層級角色尚未完全發展到位，MaaS 營運商是否能實現永續服務提供的願景仍需時間證明。以我國營運實際情形來看，MaaS 營運商在生態圈中之角色，由地方政府委託資訊業者或運輸業者扮演，並兼具資料提供者之職責，負責彙整運輸業者所提供的資訊。

（四）運輸業者

運輸業者主要是提供運輸服務的個人、企業或組織，在 MaaS 生態系中負責提供旅客公共運輸服務，例如捷運、公車業者等。公共運輸的價格基於社會、經濟和公共福利公平性的考量而受到政府管制，最主要的理由是確保交通服務為全民皆可負擔，同時鼓勵民眾使用公共運輸；但也正因為受到政府價格管制，運輸業者的營收成長存在天花板的限制。若運輸業者加入 MaaS，便可納入 MaaS 營運商提供之交通服務，增加提高收入的機會；但同時也需要提供如票證紀錄、營運資訊等資料給予 MaaS 營運商。

（五）MaaS 使用者

MaaS 使用者利用 MaaS 平台來購買交通服務產品，由於 MaaS 的服務核心是提供額外的便利性給 MaaS 使用者，因此使用者對於 MaaS 服務的接受與滿意程度，將直接影響中央及地方政府評估 MaaS 服務永續的政策正當性，以決定是否支持提供補助以供應 MaaS 服務的持續運作。

為三個階段，分別為建置期、推廣期及永續服務期，以循序漸進的方式邁向永續經營。

在建置期階段，多元運具整合及擴大 MaaS 服務範圍為首要課題，為滿足使用者日益複雜的旅運需求，提供門到門服務，吸引運輸業者參與 MaaS 服務至關重要。以運輸業者角度而言，費用清分的正確性為其關注議題之一，若 MaaS 營運商未與運輸業者取得清分規則的共識，恐降低運輸業者加入意願，進而影響運輸無縫並可能導致使用者的使用率下降。然而，對 MaaS 使用者而言，除公共運輸提供之時空無縫服務會影響使用意願外，價格亦是使用者考量的條件之一，若產品定價過高，恐造成使用者不願意購買，導致無法成功將私人運具旅次轉移至公共運輸；反之則造成 MaaS 營運商及運輸業者損失。因此，中央及地方政府制定合理的費率結構及補貼政策具有重要意義；同時，也需要透過資訊無縫的服務，讓 MaaS 使用者了解其使用 MaaS 服務之效益。

待建置期打下良好基礎後，推廣期著重提升 MaaS 產品價值，與異業建立合作關係拓展 MaaS 服務範疇，除鞏固既有 MaaS 使用者並吸引潛在使用者加入外，亦替 MaaS 服務引入外部財源及增加其曝光度。最後，永續服務期則是精進建置期與推廣期的成果，除與異業聯盟整合，持續擴大使用者並維持其黏著度外，鑑於全球暖化日趨嚴峻，淨零碳排已是萬眾矚目之議題，而 MaaS 服務正是使得使用者能更方便、有效使用公共運輸工具，減少對私人運具的需求，進而減少碳排放量及交通壅擠。

三、我國 MaaS 服務發展階段

為使 MaaS 服務能永續經營，除系統本身的財務穩定性外，MaaS 使用者持續增長並持續使用亦為關鍵。基此，我國 MaaS 永續服務可概分

四、各利害關係人關注議題

依據前節所述之 MaaS 生態系利害關係人，包括中央政府、地方政府、MaaS 營運商、運輸業者及 MaaS 使用者，本文進一步探討其對 MaaS



服務發展的關注議題。此處所稱關注議題，係指各利害關係人基於其角色與立場，於參與 MaaS 生態系過程中所表現之訴求與關切，涵蓋實務需求、發展期待與目標追求等層面。雖然三者定義各異，但實務上常交織並存，故本文以「關注議題」作為整合分析概念，呈現其具體立場與訴求。為掌握各利害關係人之關注議題與痛點需求，本文援引 2023 年 10 月邀集各利害關係人代表召開之「MaaS 使用數據分析座談會」所得若干共識，作為後續需求盤點與策略研擬之依據。

(一) 中央政府

1. 保障公共運輸對行動不便者的包容性

為保障社會上各族群行的權利，期望了解高齡行動不便者之使用公共運輸起訖、時段與人次分布，建議適合低底盤公車之班次，確保該族群同樣能享受便捷的公共運輸服務。此舉不僅提升了交通系統的包容性，還有助於促進交通資源的公平分配。

2. 滿足學生族群和高齡族群對公共運輸的需求

學生族群及高齡族群為公共運輸固有使用者 (Captive Rider)，為了解兩族群對公共運輸的需求，若能瞭解此兩族群的搭乘起訖、時段與人次分布，再與現行各公共運輸供給狀況 (如班距、營運車輛數等) 進行比較，以評估現行公共運輸供給狀況是否符合其運輸需求。分析結果同樣助於中央政府探討推動 MaaS 服務對社會福利之貢獻。

3. 確保公共運輸轉乘無縫

為吸引民眾搭乘公共運輸，運具間無縫轉乘為提升公共運輸使用率的策略之一。若能探討使用者轉乘過程中，前後段運具上下車位置及時間，確認轉乘時空縫隙是否在合理範圍內，分析結果

可供中央政府檢視現行公共運輸轉乘服務水準，作為未來研擬公共運輸相關策略時之參考。

4. 制定定期檢討套票補貼機制之依據

在營運過程中，MaaS 服務產品的價格是 MaaS 使用者最在意的條件之一，若產品定價過高，可能造成 MaaS 使用者的流失；但定價過低，可能造成地方政府及 MaaS 營運商的損失。因此，適時滾動檢討 MaaS 服務營運成本及使用者使用情況，調整相關補貼機制，對於制定合理的票價政策、優化收費結構以及監控財務運營具有重要意義。

5. 掌握推動 MaaS 服務後私人運具移轉之成效

MaaS 服務期望透過整合運具、票證及支付服務，吸引私人運具旅客改變交通行為，轉而使用公共運輸服務，以降低民眾對私人運具的依賴，同時提升公共運輸使用量。因此，掌握 MaaS 服務上線後使用者外出主要運具變化，計算公共運輸既有使用者與私人運具使用者移轉比例，能夠協助中央政府檢視 MaaS 服務對私人運具移轉至公共運輸之成效，以達 MaaS 服務之願景。

6. 了解推動 MaaS 服務對淨零碳排之效益

鑑於全球暖化造成的影響日趨嚴重，根據行政院環境保護署公布之臺灣 2050 淨零轉型「淨零綠生活」關鍵戰略行動計畫，鼓勵民眾從日常各層面選擇較低碳的生活方式。其中，針對行和樂推出低碳運輸網路，其具體措施包含推廣公共運輸、管理私人運具使用、推廣綠色觀光與綠色旅遊等。然而，MaaS 服務即是透過整合多元運輸服務，期待私人運具使用者轉而使用公共運輸服務，進而降低私人運具所造成之碳排放。

(二) 地方政府

1. 確保公共運輸服務品質



為吸引民眾多使用公共運輸運具，良好的服務品質尤其關鍵，研擬相關指標並滾動檢討各路線 / 運具站間旅客搭乘狀況，有助於地方政府檢視現行公共運輸乘載服務水準，作為督促運輸業者及 MaaS 營運商改善之依據，進而提升民眾搭乘公共運輸的使用者體驗。

2. 確保公共運輸轉乘無縫

公共運輸轉乘無縫可作為提升公共運輸乘載率策略之一，分析使用者轉乘前後運具位置及時間，可幫助地方政府掌握現行公共運輸轉乘縫隙情況，作為公共運輸政策擬定之參考及督促運輸業者改善之依據，有助於提高民眾使用公共運輸之意願，進而增加乘載率。

3. 確保地方 MaaS 服務使用量穩定成長以爭取公共運輸補助預算

隨著 MaaS 的普及，地方政府透過結合不同運具來提供一體化的旅運服務，提升民眾使用公共運輸的便捷性與意願。若能驗證 MaaS 使用者運量的穩定增長，則可證明 MaaS 服務的有效性，還能反映出其對減少私有運具依賴、交通擁堵及淨零碳排的貢獻，進而使地方政府有更充分的理由爭取補助資金。

4. 制定 MaaS 服務的費率結構之依據

MaaS 服務套票價格除影響民眾使用意願外，對 MaaS 服務商及運輸業者影響甚大，若價格過高，恐造成使用者流失，並且無法達成移轉私人運具運量的成效；反之則造成 MaaS 營運商虧損，並影響運輸業者加入意願。因此，藉由分析 MaaS 營運成本、運輸業者票收、補助款項與以私人運具旅運之成本後，作為擬定及檢討套票定價之依據。

5. 吸引企業主替員工團購 MaaS 套票

為擴大 MaaS 使用者群體，可將 MaaS 服務

推廣至民間企業，並協助計算團購 MaaS 套票對企業 ESG 之貢獻，藉此吸引企業主替員工團購 MaaS 套票。

6. 掌握推動 MaaS 服務後私人運具移轉之成效

為檢視 MaaS 服務推動後之成效，私人運具移轉量為大眾關注焦點，若能透過問卷調查 MaaS 服務推動後，MaaS 使用者的外出主要運具變化，有助於地方政府了解 MaaS 服務對私人運具移轉之拉力，作為評估 MaaS 服務成效參考。

7. 了解推動 MaaS 服務對淨零碳排之影響

隨著中央政府公布臺灣 2050 淨零轉型「淨零綠生活」關鍵戰略行動計畫，各地方政府也陸續規劃淨零治理架構及相關政策，推動 MaaS 服務為其中一環。分析 MaaS 服務上線前後大眾運輸整體碳排放量變化，有助於地方政府檢視推動 MaaS 服務對地方淨零目標之效益，作為檢討或規劃淨零相關政策之依據。

(三) MaaS 營運商

1. 制定合理清分機制，吸引運輸業者加入

優良的清分機制使得運輸業者加入 MaaS 服務後可快速得到合理的收入，故為吸引運輸業者加入，合理、公平的清分機制至關重要。使用者搭乘各運具之狀況、使用比例等，皆可作為 MaaS 營運商制定合理清分機制之參考。

2. 探討適合延攬異業合作的場站或地點

為達到永續經營的目的，MaaS 營運商可能透過與食、宿、遊、購等異業進行特約合作，以吸引更多人加入 MaaS 服務，進而提升營運收入。因此，掌握不同屬性的使用者人流分布，尋找適合延攬異業合作的場站或地點，甚至適合的異業類型，以利在各場域與異業洽談合作變得相



當重要。

3. 確保 MaaS 營運商提供之服務符合使用者需求

MaaS 服務的永續經營須以符合使用者需求為核心，才能持續吸引並留住使用者。MaaS 使用者數據提供了關於運具偏好、使用頻率及旅次鏈等方面的寶貴洞察力，這些資訊幫助 MaaS 營運商更準確地理解使用者行為和需求，並能透過此資訊進行詳細的市場研究。

4. 透過精進服務細緻度，提升 MaaS 服務的使用者體驗

MaaS 營運商若能了解每位使用者的偏好、行為模式和移動需求，便能夠提供個人化的建議，如依 MaaS 使用者的起訖次數推測其規律、常態行為，推播相關資訊給予 MaaS 使用者。此外，MaaS 營運商可以依據分析結果調整產品設計（如定期票涵蓋之運具、使用效期等），以增強使用者體驗。

（四）運輸業者

1. 因應服務供給量能衝擊進行營運調整之參考

鑑於目前司機員招募困難、車輛持續汰換等服務供給量能有限的現況，MaaS 服務的上線可能對既有運輸量能產生顯著衝擊，其對運輸業者的影響不容忽視。在司機員資源有限的前提下，如何將人力資源有效分配至重點路線，成為關鍵議題。因此，除了關注 MaaS 服務推行後整體運量的提升外，更需深入檢視個別班次的乘載效益。個別班次之乘載效益有助於掌握乘客需求的變化趨勢，亦能成為優化車輛調度與路線規劃的重要依據，以靈活調整運輸服務的供應策略與營運模式。

2. 新闢路線規劃評估

使用者的旅運行為可能會因使用 MaaS 服務而發生改變，若能整併相同轉乘旅次及營運區間的乘載人數作為新的營運路線，將門到門的服務做得更加完善，不僅能減少使用者的轉乘不便，還能大幅提高公共運輸的吸引力，從而吸引更多使用者選擇公共運輸作為主要的出行方式。如此一來，MaaS 服務能夠有效整合不同運具，提供更便捷的行程方案，並以此拓展客源。

3. 偏遠地區 DRTS 服務推動評估

偏遠路線對補助款項的依賴度較高，但偏鄉地區因交通不便利、路線收入不高，致使較少運輸業者願意提供服務。為提高公共運輸的公平性，若能提升偏遠地區公共運輸服務品質，甚至引入需求反應式交通服務（Demand Responsive Transport Service, DRTS），將能更靈活地滿足當地居民的交通需求，並據此研擬符合當地需求的最低服務班次水準，向地方政府爭取補助資金。這樣的措施不僅能保障偏遠地區居民的基本交通權益，亦可減輕業者對虧損的顧慮，促使偏遠地區的公共運輸服務更加普及與便利。

4. 確認清分費用的正確性

運輸業者在重視 MaaS 服務產品的費用清分時，需以自家運具的原始票箱收入為基礎，透過對應付金額的清分比例進行驗算，以確保清分金額的準確性並維持公平分配。這過程涉及原始票箱收入的精確計算、清分比例的協議與驗證，以及應付金額的檢核與必要調整。若具備一套機制進行上述項目的進行，運輸業者不僅能精確核算應收金額，還能建立高效、透明且互信的合作模式，促使更多元的運輸服務參與 MaaS 服務。

（五）MaaS 使用者

1. 了解使用 MaaS 服務的金錢效益



若能量化 MaaS 使用者參與 MaaS 服務後的公共運輸支出節省效益，便能增加其行為改變之動機，以提升其對於綠色出行的接受度。此外，這些資訊還能為平台提供價值回饋，優化票價與服務策略，最終實現 MaaS 生態系的良性循環與永續發展。

2. 期待公共運輸轉乘無縫

公共運輸轉乘的無縫化不僅能顯著提升公共運輸系統的整體服務效率，更能增強 MaaS 使用者對公共運輸的接受度與使用意願。若能深入探索使用者搭乘行為，便可以識別出轉乘過程中的時空縫隙，例如班次銜接的空白期或步行距離與環境設施的限制等。這些資訊可做為跨運具班表的整合與熱門轉乘站設置與優化規劃的重要參考，確保不同運具之間的時間同步性與空間連接性，進一步降低出行的不確定性，進而提高 MaaS 使用者對 MaaS 服務黏著度。

3. 期待公共運輸服務範圍擴大

從使用者的角度而言，若能在其住家及工作點附近合理設置公共運輸站點或增設服務路線，將顯著提升其使用公共運輸的吸引力。為實現此目標，需以精細化的旅運需求分析為基礎，全面蒐集使用者的起訖點數據，並進行多層次的時空分布整合。此過程應結合使用者的出行時間特性、距離容忍度及多元運具間的轉乘銜接，確保新增的公共運輸供給能滿足其旅運需求。

4. 期待提供客製化之公共運輸套票

一般而言 MaaS 服務範圍越大，對使用者的吸引力越高，但對於旅運範圍小的使用者而言，服務規模較小但相對便宜的 MaaS 服務套票則較具吸引力。若能了解非 MaaS 使用者之搭乘次數及費用的分布情形，從中評估客製方案的潛在顧

客數量，便能作為規劃新產品之參考，以擴充使用者群體。

5. 期待提供長期之公共運輸套票

長期套票通常相較於短期套票，其價格更為優惠，對於長期忠誠的使用者而言更具吸引力，不僅降低其出行成本，還增強使用黏著度。而對 MaaS 營運商而言也提供穩定的收入來源，以支持服務精進所需費用。同時，透過蒐集長期使用者的意見，MaaS 營運商將更能精準改善服務品質。

6. 期待 MaaS 服務細緻度提升

從 MaaS 使用者角度而言，若 MaaS 服務能依據使用者搭乘習慣提供精緻的個人化服務，例如主動推播人潮擁擠、轉乘時間等資訊，應能提升 MaaS 使用者搭乘公共運輸之便利性及意願，鞏固既有使用者並吸引潛在客群使用 MaaS 服務。

五、總結

我國 MaaS 生態系利害關係人關注議題大致分為門到門服務、異業整合、補貼與清分、擴大使用者與淨零碳排五大面向，需由中央政府與地方政府提供改善門到門服務與服務費用補貼的資源與支持，再由 MaaS 營運商規劃清分機制，藉以吸引運輸業者加入 MaaS 生態系，進而影響公共運輸無縫服務，同時營運商也規劃異業整合服務方案，雙管齊下吸引使用者加入 MaaS 服務，最終達成持續擴大使用者族群與淨零碳排之永續發展目標。各利害關係人關注議題與永續發展階段之關聯，彙整如表 1 所示。後續研究可依照各利害關係人關注之議題，搭配 MaaS 生態系及相關系統之數據資料，研擬相關解決方案或分析行動方案以進行議題之追蹤與改善。



表 1 MaaS 利害關係人與關注議題對照表

利害關係人	永續發展階段	關注議題面向	關注議題
中央政府	建置期	門到門服務—時空無縫	保障公共運輸對行動不便者的包容性
			滿足學生族群和高齡族群對公共運輸的需求
			確保公共運輸轉乘無縫
	補貼與清分	制定定期檢討套票補貼機制之依據	
推廣期	<ul style="list-style-type: none"> • 擴大使用者 • 淨零碳排 	掌握推動 MaaS 服務後私人運具移轉之成效	
永續服務期	淨零碳排	了解推動 MaaS 服務對淨零碳排之效益	
地方政府	建置期	門到門服務—時空無縫	確保公共運輸服務品質
			確保公共運輸轉乘無縫
			確保地方 MaaS 服務使用量穩定成長以爭取公共運輸補助預算
	補貼與清分	制定 MaaS 服務的費率結構之依據	
	推廣期	<ul style="list-style-type: none"> • 擴大使用者 • 淨零碳排 	吸引企業主替員工團購 MaaS 套票
永續服務期	淨零碳排	掌握推動 MaaS 服務後私人運具移轉之成效	
MaaS 營運商	推廣期	異業整合—特約合作	了解推動 MaaS 服務對淨零碳排之影響
	建置期	補貼與清分	探討適合延攬異業合作的場站或地點
	推廣期、永續服務期	擴大使用者	制定合理的清分機制，吸引運輸業者加入
運輸業者	建置期	門到門服務—時空無縫	確保 MaaS 營運商提供之服務符合使用者需求
			透過精進服務細緻度，提升 MaaS 服務的使用者體驗
			因應服務供給量能衝擊進行營運調整之參考
MaaS 使用者	建置期	門到門服務—資訊無縫	新闢路線規劃評估
			偏遠地區 DRTS 服務推動評估
			確認費用清分的正確性
	推廣期	擴大使用者	了解使用 MaaS 服務的金錢效益
永續服務期	<ul style="list-style-type: none"> • 門到門服務—資訊無縫 • 擴大使用者 	期待公共運輸轉乘無縫	
		期待公共運輸服務範圍擴大	
MaaS 使用者	推廣期	擴大使用者	期待提供客製化之公共運輸套票
			期待提供長期之公共運輸套票
MaaS 使用者	永續服務期	<ul style="list-style-type: none"> • 門到門服務—資訊無縫 • 擴大使用者 	期待 MaaS 服務細緻度提升

參考文獻

Kamargianni, M., & Matyas, M. (2017). The business ecosystem of mobility-as-a-service. In transportation research board (Vol. 96). Transportation Research Board.

林良泰等 (2024) , 交通行動服務 (MaaS) 跨域合作與應用優化之研究 (1/2) —— 應用探討與推動規劃。交通部運輸研究所。



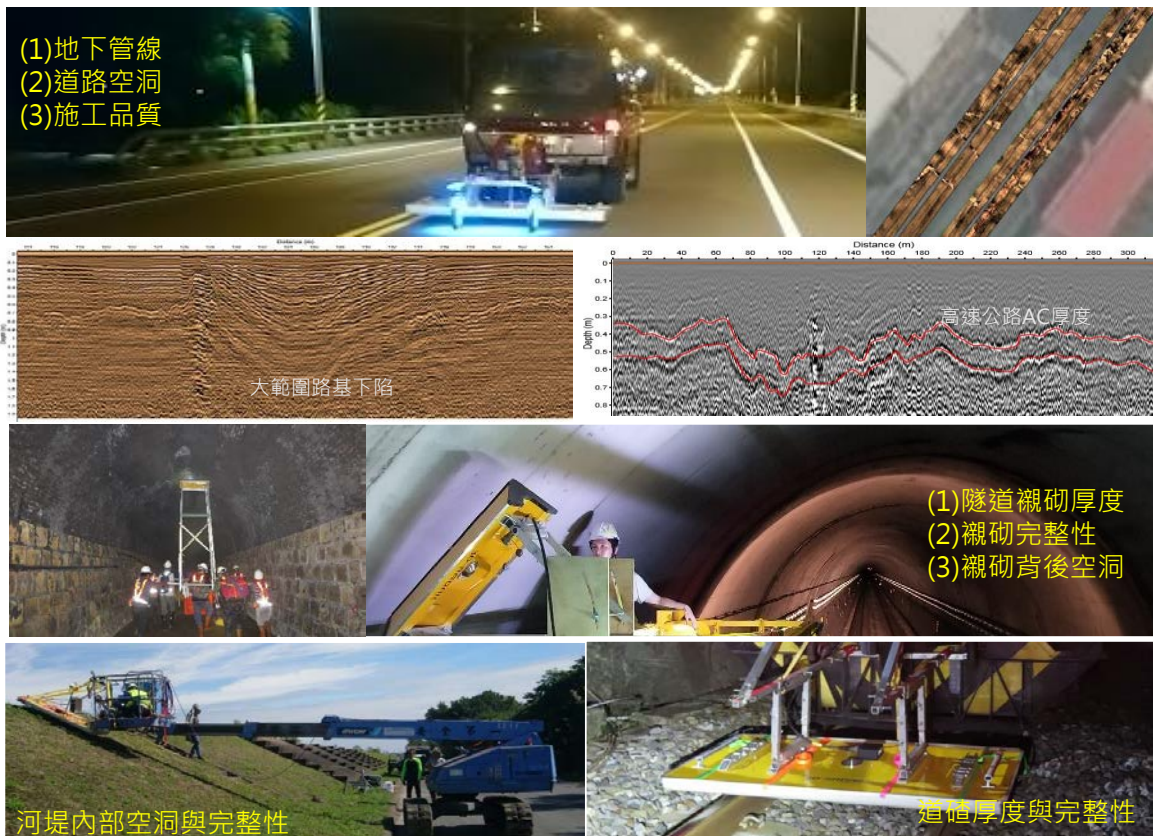
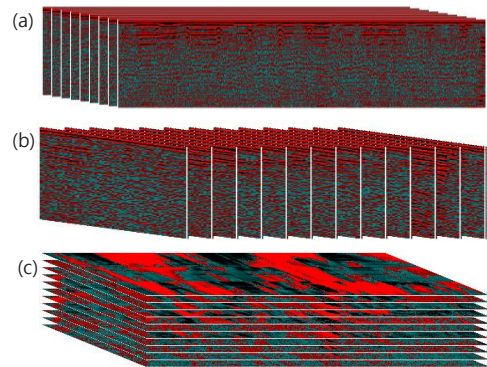
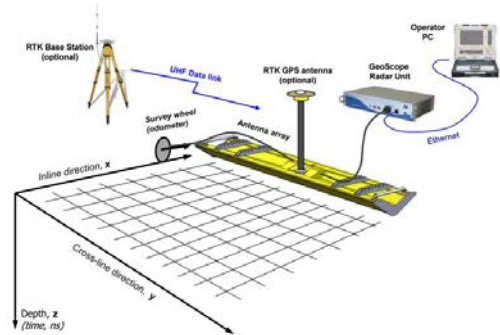
Looking into the earth

-3D GPR

三維透地雷達(3D GPR)特徵如下:

- (1)多組頻道天線(9組/20組)
- (2)空氣耦合(天線不需貼地)
- (3)步頻雷達波(多重頻段)
- (4)全球衛星定位

三維透地雷達設備採車載方式,沿道路方向進行快速探查,車速最高可達30公里/小時,所得探查資料為格點形成的立方體,可獲得三方向剖面,分別為(a)沿測線剖面(b)垂直測線剖面與(c)深度切面,對探查目標物內部構造有更清楚的了解。主要應用在道路/隧道/河堤/道碴等探查工作。定期探查與資料比對,可作為安全監測方式。



如需進一步了解,請洽:財團法人中興工程顧問社 大地工程研究中心
 葛文忠研究員 (02)87919198#352 wcko@sinotech.org.tw



臺中國際會展中心新建工程曲面屋頂桁架及空間桁架工程案例

Case Study: Curved Roof and Space Truss Engineering for the Taichung International Convention and Exhibition Center

黃浩軒 Hao-Hsuan Huang¹ 廖志祥 Chih-Hsiang Liao² 黃崇哲 Chung-Che Huang³
陳世仰 Shih-Yang Chen⁴

摘要

臺中國際會展中心為臺中市政府於水滸經貿園區規劃之主領產業，期望藉由會展平台將臺中六大優勢產業的產品行銷國際，也藉此帶動臺中市觀光、住宿、餐飲、交通等龐大觀展商機，提高臺中市國際能見度及核心競爭力，競圖階段雖非國際標仍鼓勵邀請國際知名建築師加入，以期規劃出一個國際級的會展中心，本案設計團隊即邀請東京國際展示場之日本佐藤綜合株式會社（AXS SATOW）參與，由大樹戶門意象進而設計出曲面屋頂桁架及模擬樹洞的空間桁架，矗立於中央公園北端頗具特色更獨樹一格，未來也將成為水滸經貿園區北側入口門戶意象及市民交流、休閒、活動之重要場所。

造型特殊的曲面屋頂桁架及空間桁架雖為建築師贏取標案，然將設計圖上天馬行空之曲線實踐於現場著實為施工團隊之一大課題，本文將分享臺中國際會展中心計畫緣起、工程特色及工程設計，以及曲面屋頂桁架及空間桁架施工規劃及施工重點，也會將施工過程產生之難題及施工團隊如何克服一一陳述，希望藉由記錄工程過程之點滴及教訓，引領未來後輩遭遇相似施工困難時，記取前人經驗提前排除相關困難，妥善規劃出更完整之施工計畫，將建築師描繪之意象一處一處實現於生活，使偉大建築物持續提供人類美好生活。

關鍵字：曲面屋頂桁架、空間桁架、造型鋼構、臺中國際會展中心

Abstract

The Taichung International Convention and Exhibition Center is a primary initiative planned by the Taichung City Government within the Shuinan Economic and Trade Park. This project aims to utilize the exhibition platform to promote Taichung's six key industries on an international scale, thereby enhancing the city's tourism, accommodation, catering, and transportation sectors. By capitalizing on exhibition business opportunities, Taichung City seeks to boost its international visibility and core competitiveness.

Although the design competition was not conducted as an international bid, the Taichung City Government encouraged the participation of internationally renowned architects to design a world-class convention and exhibition center. The design team invited AXS SATOW, the designer of the Tokyo International Exhibition Center, to participate. Their design features curved roof trusses and space trusses inspired by the image of a large tree gateway, positioned at the northern end of Central Park. This distinctive and unique design is anticipated to become a future landmark. The entrance on the north side of the Economic and Trade Park symbolizes a portal, serving as a significant venue for public interaction, relaxation, and activities.

While the uniquely shaped curved roof trusses and space trusses secured the bid for the architects, the construction team's primary challenge was to implement these imaginative designs on site. This article details the origins and engineering of the Taichung International Convention and Exhibition Center, focusing on the characteristics and engineering design, as well as the construction planning and key points of the curved roof trusses and space trusses. It also discusses the difficulties encountered during construction and how the construction team overcame them. By documenting the project's details and lessons learned, we hope to provide valuable insights for future projects facing similar construction challenges. This will enable better planning and the realization of architectural visions, ensuring that great buildings continue to enhance human life.

Keywords: Curved roof trusses; Space trusses; Custom-shaped steel structures; Taichung International Convention and Exhibition Center

¹ 達欣工程股份有限公司水滸國際會展中心新建工程施工處施工組組長 Construction Supervisor, New Construction Project of the Shuinan International Convention and Exhibition Center, Dacin Construction Co., Ltd.

² 中興工程顧問公司中部工程中心專案經理 Project Manager, Central Taiwan Project Center, Sinotech Engineering Consultants Co., Ltd.

³ 中興工程顧問公司中部工程中心技術經理 Technical Manager, Central Taiwan Project Center, Sinotech Engineering Consultants Co., Ltd.

⁴ 中興工程顧問公司中部工程中心中心協理 Associate Vice President, Central Taiwan Project Center, Sinotech Engineering Consultants Co., Ltd.



一、前言

臺中市工業發展以傳統機械機具製造業起步，逐步升級為精密機械科技，尤其工具機產業具有世界領導優勢，位居全球第五大出口國，細數位於臺中大肚山脈下六大產業，包括有工具機暨機械零組件、木工機械、手工具、光電面板產業、自行車及零組件、航太產業，以往臺灣產業發展的黑手窟，如今已成為影響全世界的黃金精密縱谷，蘋果產品、Google 太陽能、西門子生技、保時捷關鍵齒輪、Tesla 電動車馬達、臺積電 15 廠用機器手臂等，都須仰賴黃金縱谷的精密技術。

臺中如此堅強的產業基礎，極需搭配完善的行銷平台，才能讓國際買家來臺中參展的同時能夠完成一站式採購，為完成產業行銷這塊重要的拼圖，臺中市政府於規劃水滄經貿園區時即劃定經貿專用區，設定以「經貿發展」為核心，「會展產業」為主領產業，設置大型國際會展中心，藉此建構未來都市發展的新契機；因此臺中國際會展中心在臺中產業界殷殷期盼下蘊育而出，中興工程顧問公司於本案擔任專案管理角色，除協助業主辦理契約文件審查，施工階段時程控管及品質督導也是首重課題，本案設計之曲面屋頂桁架及空間桁架極具特色，相對而言施工難度也是極高，為工程如期如質完成需克服的一大課題，以下將針對本案曲面屋頂桁架及空間桁架之設計、施工規劃、施工重點等過程進行分享。

二、工程簡介及工程特色

本案係由大壯聯合建築師事務所及何鴻志建築師事務所共同投標進行規劃設計，為達成需求計畫書初步需求構想：符合國際級之大型會展中心（展覽館、多功能會議中心）以及開發應保持兩側公園連通（公 138 延伸至公 139）及達到視

覺貫穿之設計，建築師經由「以往人類交流總是聚集在大樹下廣場」為設計發想，發展出大樹之門「TREE GATE」之設計概念，臺中國際會展中心兩棟建物（展覽棟及會議棟）就像是中央公園中的大樹，連接兩建物之曲面屋頂猶如連綿的樹冠層，會議棟週圍透過空間桁架與展覽棟、屋頂桁架連結組成之結構外型，為建築師實現大樹之門「TREE GATE」藍圖，詳圖 1，牆面並由無數個三角形擴張網拼接而成，經由陽光反射出波光粼粼，未來讓市民在會展中心廣場進行交流、休閒、活動時，猶如漫步在樹下光影享受美好氛圍，整體設計也符合需求計畫書展覽館、多功能會議中心以及保持兩側公園連通、視覺貫穿等設計需求。



圖 1 TREEGATE 規劃藍圖

本案位於水滄經貿園區北側，屬第二種經貿專用區，原址為舊軍事設施及水滄機場用地，基地面積約 7.34 公頃，總樓地板面積約 130,428 平方公尺，主要由展覽棟及會議棟兩棟建築物組成，其中展覽棟為地上五層、地下二層，會議棟為地上四層、地下一層，地下一層另設有地下連通道作為工作人員維管使用，地上二層則有空橋廊道相互連通，搭起會議跟展覽空間的橋梁；有關展覽及會議空間機能：展覽棟上下層各可提供 800 攤標準攤位，會議棟下層兼具展覽及會議功能可提供 200 攤標準攤位，戶外空間（TREE GATE



廣場 260 攤，西側停車場 300 攤）另可提供臨時展攤 560 攤，本案辦理展覽最多共可提供室內外 2360 攤標準攤位，會議棟上下層各可提供 2200 人及 2400 人會議空間，展覽棟上層規劃一 54 公尺 × 180 公尺的無柱超大空間，可提供作為 8000 人集會空間，本案最多可提供 1 萬 2600 人的會議集會空間。

臺中國際會展中心座落於中央公園北端，南北兩側鄰公 138、公 139 公園，公園綠地面積達 193,580 平方公尺，為降低建築量體對週遭環境之壓迫感，採低樓層設計，也使得建築物面寬達 356 公尺，為全台面寬最大之會展中心，為保持兩端公園連通於兩棟建物間設置高度約 26 公尺之半戶外空間，並以空間桁架、擴張網營造大樹戶門（TREEGATE），作為市民交流、活動使用，空間桁架面積達 16,907 平方公尺，桿件及鋼球規格多達 25 種，桿件 21,644 支及鋼球 5,561 顆，為全台使用空間桁架面積最大之建築物，全案屋頂採複雜 3D 曲面設計，屋頂高地落差最多為 13.5 公尺，堪稱最複雜造型鋼構桁架，曲面屋頂與空間桁架複合而成之建築外型極具特色，未來將成為水湳經貿園區北側入口門戶意象。

三、工程設計

為實踐建築師設計構想、挑高樓層、大跨距空間、展覽空間之高承載需求及不規則曲面屋頂造型等，本案建築結構系統屬於特殊結構，主要以鋼骨構造為主，取其輕量、製作彈性等特性，為經濟、安全並可充分融入建築美學之最佳構造系統，上部結構以鋼骨梁、柱及斜桿、桁架為主要支撐系統，下部結構則以鋼筋混凝土為主，梁、柱、地下室外牆為主要結構支撐系統，一樓為結構型式轉換層，柱底採用 RC 柱設計，結構耐震設計考量上較接近韌性抗彎矩構架系統之特殊鋼

桁抗彎矩構架，韌性容量採 $R = 4.0$ 設計。

展覽棟為為矩形規則建築，地下二層、地上五層的長跨柱距、挑高樓層高度及高承載重量需求的建築物，展場分別設置於一樓及四樓，一樓挑高至四樓，層高為 16.2 公尺，四樓挑高至屋頂，層高約為 20 公尺。一樓展場面積為 78.2 公尺 × 181 公尺，可承載活動載重 5 tf/m^2 ，構造型式為鋼骨鋼筋混凝土結構，系統採用雙向托肩梁、柱構架，四樓展場面積為 78.2 公尺 × 187 公尺，可承載活動載重 2 tf/m^2 ，構造採用雙向鋼構桁架，桁架上、下弦及腹梁均為 H 型鋼，鋼柱為方型 SRC 柱，四樓展場鋼柱僅需承載曲面屋頂載重（ $DL = 100 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ），鋼柱間距 18 公尺 × 54 公尺，展場中間呈現 54 公尺 × 180 公尺的無柱超大空間，挑高約 15 ~ 16 公尺，除供展覽場地外，可作為大型活動用途。

會議棟則為一近似橢圓建築（平面約旋轉 20 度），地下一層、地上四層的長跨柱距、挑高樓層的建築物，會議空間分設於一樓及三樓，一樓多功能會議室挑高至三樓，層高為 13.2 公尺，可承載活動載重 5 tf/m^2 ，構造型式為鋼筋混凝土結構，系統採用梁、柱構架，三樓為多功能會議廳挑空至屋頂層，層高約為 17.0~20.5 公尺，可承載活動載重 1.2 tf/m^2 ，觀眾席為平面式座位，主要構造為鋼筋混凝土和鋼骨鋼筋混凝土，詳圖 2。

屋頂桁架結構系統，主要是以展覽棟和會議棟為兩座大基座，各棟屋頂鋼構桁架與鋼柱、繫梁、環梁連結鎖固後，成為一完整結構系統，另屋頂鋼構桁架需延伸並跨越 TREEGATE 戶外廣場（跨距約 77.2 ~ 98.6 公尺），兩棟屋頂鋼構桁架連結後形成一座超大型的立體韌性抗彎矩的構架，另會議棟屋頂桁架為呈現整體流線造型，東南側懸挑長度最多達 47.7 公尺；全案屋頂桁架由雙向互相垂直鋼構件組成，桁架深度 4.4 公尺，上弦、下弦及腹梁為 H 型鋼，屋頂桁架邊緣的下



弦及腹梁為圓鋼管，每一上弦單元網格內設置斜向 H 型鋼，形成米字型網格，用於制約屋頂桁架

水平的相對變位，下弦 H 型鋼則交錯形成井字型網格。

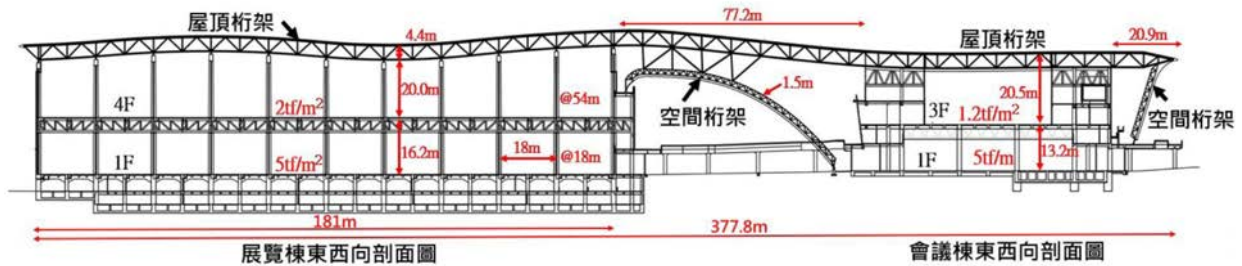


圖 2 展覽棟及會議棟剖面圖

為形塑 TREGATE 意象，會議棟結構的外圈另設計網格結構（本案稱之空間桁架），主要係以圓鋼管及鋼球組成的立體桁架，桁架深度為 1.5 公尺，與屋頂桁架圓鋼管結合後組成複合結構支撐系統；空間桁架除作為該區結構系統外，亦成為三角形擴張網骨架，由空間桁架及擴張網組合形成本案的大樹戶門。

區施工，展覽棟因結構量體大且開挖深度較深先行展開施作，考量中間展場區桁架大跨度吊裝需求，採南北兩側筏基及鋼結構吊裝為前期施工重點，中間區域再由東往西逐步施築筏基、四樓鋼構桁架及屋頂桁架吊裝，本案歷經三年四個月始完成展覽棟屋頂桁架吊裝；會議棟配合展覽棟施工進度展開，依序施作筏基、鋼構吊裝、SRC 結構施築及屋頂桁架（含 TREGATE 區）吊裝，歷經二年六個月始完成會議棟及 TREGATE 屋頂桁架吊裝，施工順序詳圖 3、圖 4。

四、施工規劃

臺中國際會展中心曲面屋頂連接展覽棟及會議棟，東西向長度約 377.8 公尺、南北向長度約 112.5 公尺，為完整呈現曲面屋頂外型，屋頂鋼構件採大跨度不規則曲面雙向桁架結構，桁架構件由型鋼（最大尺寸：BH800×500×14×22 + 2×PL22 mm，材質 SN490）及圓管（最大尺寸：Ø711-25mm，材質 STK500）組成，桁架高度約 4.4 公尺，且展覽棟展場區最大跨度達 80 公尺，展覽棟連接會議棟 TREGATE 區屋頂桁架高低落差達 13.5 公尺，如此大深度桁架架構搭配大跨度、高落差，且吊裝精度需控制於 25 公釐，另因空間桁架與屋頂桁架屬複合結構，兩者吊裝順序需綜合考量現場可施工性、安全性、經濟性等，整體施工難度甚高。

工程施工初期即規劃將展覽棟、會議棟分兩

TREGATE 區屋頂桁架及空間桁架為上下兩層鋼構件，相互結合後形成複合性結構，然組裝過程礙於臨時支撐位置不同、地組用地需求、吊裝能量等，詳圖五，施工順序檢討至為重要，經檢討後採補強屋頂桁架構件強度，使其組裝完成後可先行拆除臨時支撐，屋頂桁架可自立且沉陷量小於容許值，再進行空間桁架安裝作業；空間桁架主要由 21,644 支桿件及 5,561 顆鋼球組成三角異形空間結構，其結構接合型式複雜且分布面積大（約 16,907M²），桿件圓管直徑 76 ~ 273mm 及鋼球直徑 117 ~ 297mm 規格多達 25 種，因安裝角度不同各零件皆有其獨特性，安裝前相關零件製作時程控管以及完成件管理也是重要課題。



展覽棟施工順序：南北側筏基，吊裝兩側鋼構梁柱，再施作中間挑空區筏基，吊裝4F鋼桁架及屋頂桁架，施工方向採由西向東。

圖 3 展覽棟施工順序



會議棟施工順序：先施作筏基，吊裝鋼梁柱，地上層結構施築，TREEGATE及會議棟屋頂桁架吊裝，施工方向由中間向兩側。

圖 4 會議棟施工順序



圖 5 TREEGATE 區屋頂桁架及空間桁架施工考量因素示意圖

五、曲面屋頂桁架施工重點

公尺其最大預拱值為 137mm。

(一) 工廠製作規劃

曲面屋頂桁架依長短軸向(強弱軸)，區分為主、副桁架，主桁架最大跨度為 80 公尺，評估構件廠製空間、運輸問題、地組及吊裝方式後，將主桁架構件分割為五單元，以桁架腹桿及弦桿為接合位置，每一單元尺寸長約 10 ~ 20 公尺；另考量大跨度桁架支撐卸載後下沉變形，工廠製作前需先進行屋頂桁架結構分析預拱值，於製作階段，先行預拱作業(弦桿主材料一型鋼進行彎曲加工(曲率半徑大於 80 公尺)，本案單跨 80

(二) 桁架廠製流程

1. 材料進場；2. 型鋼加工(切割及彎曲)；3. 一次加工(加勁板組銲)；4. 噴砂底漆；5. 二次加工(桁架大組及電銲)；6. 噴砂塗裝。

(三) 安裝作業規劃與評估

1. 屋頂桁架吊裝作業採二階段安裝(展覽棟、會議棟及 TREEGATE 區)，第一階段進行展覽棟屋桁吊裝作業，規劃於一樓樓版使用 200 噸吊車進行吊掛作業，第二階段於會議棟週



- 遭地面使用 2 部 500 噸吊車合同吊掛作業。
- 吊裝順序展覽棟由東向西（每一階段 4-6 座主桁架，共 4 階段），會議棟部分由內向外（每階段主桁架 3-4 座，共 8 階段），詳圖 6。



圖 6 會議棟及 TREEGATE 屋頂桁架吊裝

- 桁架最大跨度為 80 公尺，為避免單跨弧形桁架於吊掛揚昇過程中，因吊車捲揚速度不一，造成桁架偏心扭轉問題發生，主桁架採用二分段（各 40 公尺）吊裝方式，於每一軸線（間距 9 公尺）主桁架中心位置處架設臨時重型支撐架，各階段桁架於安裝電銲完成後，依軸線順序卸載拆撐，每一階段須安裝電銲完成 6 座以上主桁架，才能解壓拆除支撐架；展覽棟臨時重型支撐架由東向西依序卸載拆撐，會議棟由內向外依序卸載拆撐。
- 為控制屋頂桁架安裝精度，鋼柱安裝高程控制至為重要，於每一節鋼柱安裝完成後，測量回饋鋼構廠進行次節鋼柱製作微調，確保末節鋼柱與桁架托梁接合位置無誤，另於臨時重型支撐架墊梁上設置 250 噸千斤頂，於安裝屋頂桁架時進行微調，透過兩階段縝密調整可妥善控制屋頂桁架安裝高程。
- 屋頂桁架地面組裝方式採用立式組裝模台，地組作業以對接平整度、拱度檢測及對接銲道檢驗（目視檢測法及超音波檢測法）為品管重點。

- 屋頂桁架安裝過程中，須進行大量的測量校正工作，於每一階段主桁架地組、支撐架組立、吊裝及調整等作業，均利用光波測距儀針對桁架 XYZ 軸漸變弧型線以多點測量方式逐一檢測及複核，以確保屋頂曲面造型及後續空間桁架的安裝精度需求（屋頂桁架容許誤差 $\leq 25\text{mm}$ ）。

（四）安裝作業流程

- 構件進場；2. 屋頂桁架地組（含組裝、拱度檢驗、螺栓鎖固及電銲）；3. 支撐架組立；4. 主桁架吊裝；5. 副桁架吊裝；6. 連結梁及斜桿梁吊裝；7. 屋頂桁架調整；8. 螺栓鎖固；9. 電銲作業；10. 補漆作業。

（五）屋頂桁架安裝過程中

每 2 週進行高程監測，每一階段卸載拆撐隔天亦須進行高程監測，以確保桁架安裝作業安全。

六、空間桁架施工重點

（一）工廠製作規劃

因空間桁架由桿件及鋼球組合而成，每一鋼球與 2 ~ 8 支桿件螺栓接合（內、外弦及斜桿件），詳圖 7，安裝精度要求極高（接合容許誤差 $< 2\text{mm}$ ），故須於會議棟 Tree Gate 區屋頂桁架拆撐後收測與空間桁架連結區域之位置，因本案施工範圍大且連結區域皆屬 3D 曲面，故採用點雲（Point Cloud）掃描建模，套繪於原 3D 模型進行差異分析，確認及調整尺寸後再行繪製空間桁架圓管鋼構、桿件及鋼球施工圖。

點雲掃描建模係利用 3D 掃描儀器，根據三維座標（X,Y,Z）、激光測量（激光反射強度）及攝影測量（顏色訊息 R,G,B）原理，獲得安裝完成之屋頂桁架表面每個採樣點的空間座標後，得



到的一個點集合，稱之為點雲（Point Cloud），可作為後續空間桁架構件尺寸規劃參考。

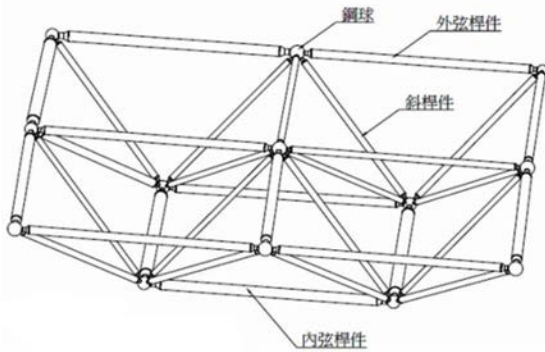


圖 7 空間桁架系統示意圖

（二）工廠廠製流程

空間桁架鋼球及桿件等構件，加工精度要求高，無論是鋼球真圓度、鑽孔攻牙角度深度及桿件長度、螺套平整度……等均須利用 CNC 加工機進行作業（加工廠共計 14 間），並訂定標準作業流程及精密加工誤差允收標準，以確保桿件鋼球鎖接密合及桁架組合尺寸準確度，詳圖 8。

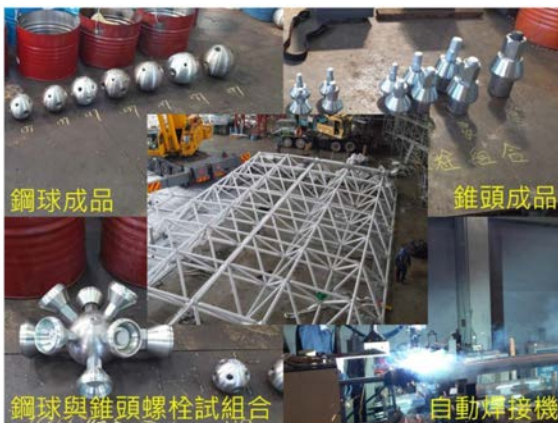


圖 8 空間桁架製作組裝流程簡圖

鋼球加工流程：1. 採購圓鋼棒（尺寸）；2. 裁切及鐵削成圓球；3. 鑽孔（專利五軸 CNC 加工機）；4. 鋼印打號；5. 攻牙；6. 電鍍。

桿件加工流程：1. 圓管裁切（CNC 切割機）；2. 錐頭鍛造切削加工；3. 鋼印打號；4. 桿件組裝；5. 錐頭與桿件電銲（自動銲接機）；6. 烤漆。

（三）安裝作業規劃與評估

1. 空間桁架工地安裝因屋頂桁架已安裝完成，考量現場吊裝淨高及 200 噸吊車吊掛量能，將空間桁架劃分為 76 個分區，每分區再依吊裝需求，分為 2 ~ 3 個單元，每單元重量控制於 14 公噸內。
2. 安裝順序為先進行 TREEGATE 區圓拱造型安裝，各單元透過高強度螺栓與鋼球連結（鉸接），並與會議棟水平環梁、展覽棟 SF3 造型鋼構及屋頂桁架圓管連結（固接），再進行會議棟外圈圓筒造型安裝，整體安裝規劃係配合會議棟結構施作進度，原則由西向東安裝，並於東側閉合。
3. 空間桁架各分區單元組成係由鋼球及桿件組成，每個構件都有獨立編號，需依照施工組裝圖於地面排料並逐一組合鎖固，鎖固標準係參照鋼構造建築物鋼結構設計技術規範鋼結構極限設計法規範及解說第 10 章接合設計 10.3 栓及螺牙桿件，對於設計上無明確指定預拉力的承壓型螺栓，安裝時則仍需鎖至「緊貼狀態（snug-tight）」，本案係使用開口扳手以人工全力旋緊，使得接合面達接觸緊密狀態。
4. 空間桁架各單元地組完成後需依序吊裝，然各單元於空中接合後尚無法自立，需設置重型支撐架作為臨時支撐用，主要架設於大跨度及大懸挑區域，如 TREEGATE 區、會議棟東北角隅及東南角隅，重型支撐架拆除時機為相鄰單元完成連結並鎖固於兩端基座，以及與屋頂桁架連結拉桿安裝完成後，才可拆除中間排的重型支撐架，並依空間桁架吊



裝順序由內往外拆除；另各重型支撐架上方亦設置墊梁及千斤頂，做為高程微調及支撐架拆卸使用。

（四）安裝作業流程

1. 水平環梁、展覽棟 SF3 造型鋼構安裝；2. 桿件及鋼球地面組裝；3. 支撐架組裝；4. 空間桁架單元吊裝；5. 各單元桿件連結；6. TREEGATE 區拉桿安裝（屋頂桁架與空間桁架連結構件）；7. 屋簷連結座安裝電銲；8. 支撐架卸載及拆除；9. 擴張網安裝。

（五）空間桁架安裝過程中

每 2 週進行高程監測，並依結構分析數值設定警戒值（最大變位量之 80%），每一階段卸載拆撐隔天亦須進行高程監測，以確保安裝作業安全。本案空間桁架安裝及支撐架卸載完成後，經檢測其安裝精度及變位值均小於結構分析數值（28.5 ~ 40.9mm）。

面屋頂桁架吊裝完成後，屋頂桁架安裝誤差皆小於 2.5 公分。

（二）空間桁架空間桁件構件採 CNC 機台精密製作

單元地組後可呈現曲面外型，本案屋頂桁架及空間桁架為複合式結構，於屋頂桁架、水平環梁、圓拱安裝過程中均會產生容許誤差，TREEGATE 區曲面平順，詳圖 9，空間桁架安裝（水平吊裝）可由兩端固接連接座將誤差值收斂，然會讓棟周圍弧形曲面變化較大，因鋼球銑孔角度已定，空間桁架單元容易因前述容許誤差造成偏移以致末端無法固接於連結座，需進行桿件長度調整或鋼球重製方可完成固定。



圖 9 TREEGATE 區曲面平順（R=56m）

七、施工困難及克服

（一）曲面屋頂桁架

為完美呈現屋頂 3D 曲面造型，克服 13.5 公尺高低落差之屋頂桁架精準安裝之課題，可分為廠製及現場安裝兩部分說明，廠製階段以前期規劃與廠製品質為主要考量，首先需遴選有造型鋼構實績之大型鋼構廠商（本案為長榮鋼鐵股份有限公司），於製作規劃、品質皆有一定水準，另於屋頂桁架廠製完成後經假組立確認並由測量檢視精度把關，才可運至工地現場；現場安裝除妥善運用 BIM 軟體規劃模擬吊裝動線，相關鋼柱吊裝成果需第一時間回饋鋼構廠調整後續鋼柱製作，以確保鋼柱高程、位置無誤，吊裝階段透過不斷測量量測並回饋廠製調整製作，本案 3D 曲

本案東北角隅及東南角隅因屋頂桁架懸挑長度大、下方環梁為三維方向圓拱，製作安裝累積誤差多，空間桁架單元安裝（垂直吊裝）即遭遇無法閉合之問題，詳圖 10，以桿件長度調整方式完成兩角隅安裝已耗時近三個月，造成整體施作進度延宕，且東側已完成製作且組立完成之空間桁架單元，因前述調整再次遭遇無法閉合問題；東北、東南角隅安裝完成後，與東側單元銜接之鋼球之銑孔位置已無法對位使用，經與設計單位討論，建議將原先孔位填平並於鋼球增設錐型螺栓組，詳圖 11，及修改連結之空間桁架桿件尺寸，



完成東側空間桁架安裝作業，然而工期延宕已成事實。

測，透過不同型式接合設計解決閉合問題，以確保整體安裝作業如期如質完成。



圖 10 會議棟東南角隅單元無法閉合樣態

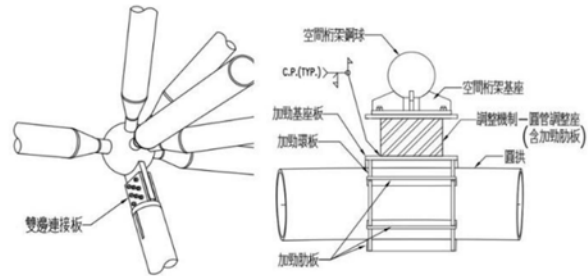


圖 12 空間桁架接合機制

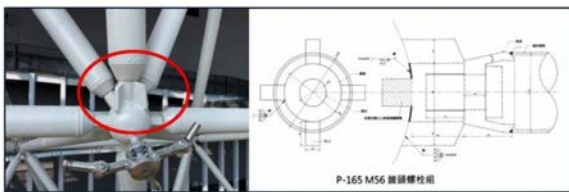


圖 11 錐型螺栓組

參考文獻

- 臺中市泊嵐匯會展中心新建工程委託規劃設計及監造服務案(三)需求計畫書。
- 臺中市泊嵐匯會展中心新建工程結構計算書，2015年4月23日。
- 鋼構造建築物鋼結構設計技術規範，2012年9月，取自：<https://www.nlma.gov.tw/>
- 水滄國際會展中心新建工程整體施工計畫書，2019年3月。
- 水滄國際會展中心新建工程空間桁架施工計畫書(修正一版)，2023年12月。

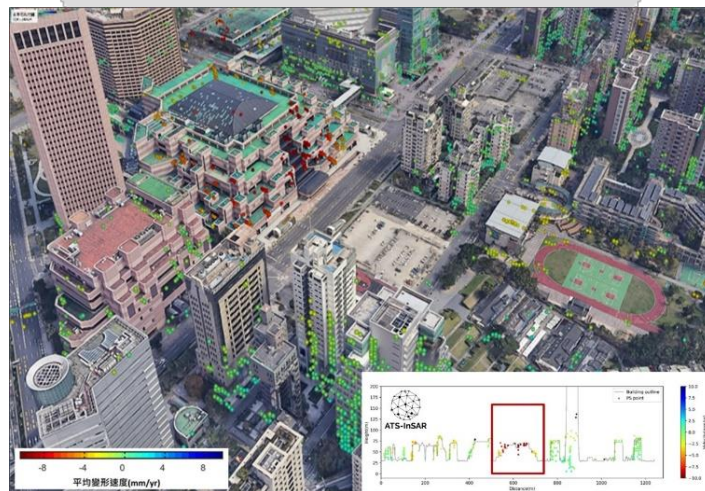
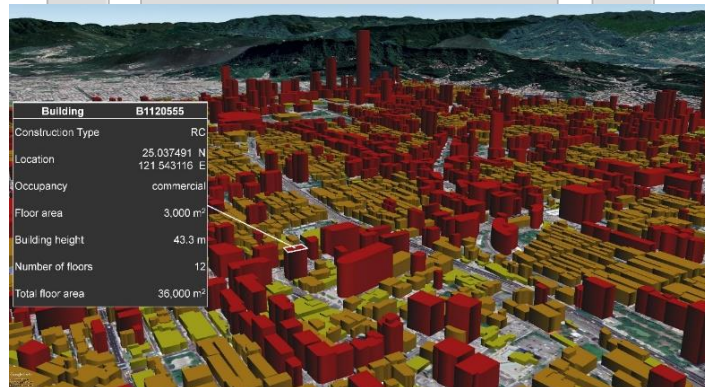
八、結語

本案曲面屋頂桁架造型特殊，空間桁架為全台灣面積最大之曲面構架，兩者複合之結構複雜，施工困難度極高，雖於設計、規劃、施工階段均有進行作業前模擬分析評估作為，但仍於閉合階段因各分項細部作業之累計誤差，致無法閉合產生工期延宕的狀況，嚴重可能影響整體營運時程；建議後續曲面空間桁架設計者，可考量增加連結座調整機制及提供多種桿件鋼球接合型式於設計圖，詳圖 12，施工廠商即可以依現場條件調整選用，另施工者於吊裝規劃時可將曲面變化較大的位置設為閉合點，於兩端單元安裝完成後進行收



人工智慧與衛星影像於廣域智慧防災 之多元應用技術

有鑑於政府與民間單位對於導入人工智慧用在廣域智慧防災為未來的需求，中興社以 AI 技術主軸研發了：(1)AI 辨識及萃取都會區建物屬性技術，結合遙測影像與 AI 為都會區建置建物曝險基本資料庫且效率式更新，可用於都市巨災風險評估與防災措施規劃。(2) AI 於合成孔徑雷達影像分析技術與都會區廣域防災應用，結合 SAR 影像與 AI 技術建立都會區房建物安全監測分析方法，可評估工址開挖或地下施工於不同時期之沉陷槽與影響範圍，提供鄰損鑑定之量化數據，亦可結合土壤液化高潛勢圖進行變形區監測分析，評估潛在地層下陷熱區或建物潛在沉陷。(3)AI 機器學習於廣域邊坡安全評估技術，透過 AI 資料庫與使用者介面輸入岩坡基本參數如擾動因子 D、地質強度指標 GSI、岩性係數 m_i 、坡度、坡高(m)、地下水位比、岩石單壓強度與單位重等，可初步求得廣域岩坡淺層岩屑滑動之安全係數與機率。



相關資訊請洽 財團法人中興工程顧問社 防災科技研究中心
邵國士博士(02-87919198，分機 323)
臺北市內湖區新湖二路 280 號



淺談臺灣離岸風電場址地質調查作業風險因子 A Brief Discussion of the Potential Risk Factors Associated with Marine Geological Investigations at Offshore Wind Power Sites in Taiwan

蘇振清 Cheng-Ching Su¹ 張博翔 Po-Hsiang Chang² 邱華榮 Hua-Jueng Chiou³

摘要

自經濟部能源署於 2015 年公告「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」，並公開 36 處潛力場址的基本資料與既有海域資料後，概估總開發潛能約可達 23GW。國內外有意投入離岸風力發電的開發業者隨即積極展開籌備，期望能在市場中取得開發先機。根據規定，若同一潛力場址內有二件或以上申請案時，以先取得通過或有條件通過環境影響評估審查結論之申請案者，方可優先申請籌備創設登記備案；然因目前臺灣海峽既有之相關場址條件資料仍相對匱乏，尤其在場址的土質、地質、地形等方面。因此無論是在環境影響評估前或後續之規劃設計及施工，均需先進行海域地質（含地球物理）調查，以獲取相關之場址條件資料。

由於海域地質調查是否能如期如質完成，為風場開發之首要關鍵課題，因此本文基於過往承辦之離岸風力發電計畫及近岸海域之場址地質調查作業經驗，結合既有的海事事故案例，探討並歸納海域地質調查期間可能面臨之風險因子，以避免在海域地質調查作業期間發生機具損壞或人員受傷，並防止調查進度延宕影響後續設計和施工，從而減少潛在的開發成本。

關鍵字：離岸風力發電、海域地質調查、風險因子

Abstract

Since the Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs announced “Directions of the Application for Offshore Wind Power Planning Zone” in 2015 and released basic environmental information about 36 offshore wind power potential sites, the total development potential has been estimated at approximately 23 GW, attracting active participation from both domestic and international developers. According to the regulations, if multiple applications are submitted for the same site, priority is given to the one that first obtains Environmental Impact Assessment (EIA) approval. However, the environmental data for most sites in the Taiwan Strait is generally insufficient, particularly regarding soil, geology, topography, and other related information. Therefore, the timely and high-quality completion of marine geological (including geophysical) investigation to obtain essential in-situ data and parameters for the EIA, as well as for subsequent design and construction, is a key issue in offshore wind power farm development.

This article is based on previous practical experience and maritime cases to analyze potential risk factors in marine geological investigation, intending to prevent equipment damage, personal injury, and project delays, thereby reducing overall development costs.

Keywords: Offshore Wind Power; Marine Geological Investigation; Risk Factor

¹ 中興工程顧問公司電力及能源工程部計畫副經理 Deputy Manager, Department of Power and Energy Engineering, Sinotech Engineering Consults, Ltd.

² 中興工程顧問公司電力及能源工程部計畫經理 Project Manager, Department of Power and Energy Engineering, Sinotech Engineering Consults, Ltd

³ 中興工程顧問公司電力及能源工程部協理 Associate Vice President, Department of Power and Energy Engineering, Sinotech Engineering Consults, Ltd



一、前言

臺灣西部沿海 36 處離岸風電潛力場址位於臺灣海峽，因其獨特的地理位置和自然環境導致海象條件多變，古人以黑水溝稱之，正顯示其海象十分凶險。因此，執行海域地質調查工作的首要風險因子即為臺灣海峽的海象條件。此外，臺灣冬季盛行之東北季風與夏季的颱風，直接限制海域地質調查的工作窗期，因此，氣象條件亦為不可忽視的關鍵風險因子。

除了海、氣象天然風險因子，船舶及探測儀器等硬體設備的故障風險也不容忽視。例如，某離岸風電計畫曾因船舶故障，差點無法在有利的氣象窗期期間完成海域地質調查，導致些微延誤了實驗室試驗工作及相關評估與設計進度，甚至波及後續採購作業。此外，Covid-19 疫情期間的相關管制措施，加劇作業人員的工作壓力，導致安全意識和應變能力下降，進而增加探查人員在操作及管理上之風險。

因此，本文認為，海域地質調查工作必須全面考量並理性應對上述風險因子，採取適當的預防和應對措施，才能確保作業順利進行和作業人員的安全。

二、海域地質調查工作概述

海域地質調查的工作項目相當廣泛，大致包括海域水深地形調查、海域地球物理探勘，以及大地工程調查與試驗等（經濟部標準檢驗局，2023）。

（一）海域水深地形調查

海域水深地形調查方法係利用聲納的聲波傳遞與接收原理進行。在近岸地區（水深 <10m）使用單音速測深儀（SBES），在離岸地區（水

深 >10m）則使用多音速測深儀（MBES）。調查結果除提供設計階段所需之水深及地形資料外，主要目的為獲取開發場址海床地形的動態變化特徵，包括沙波的形成、侵淤或淘刷等漂沙特性。

目前，離岸風電計畫水深地形調查的項目、內容與等級，均需遵循及符合內政部「水深測量作業規範」之規定，以確保調查結果的準確性和可靠性。

（二）海域地球物理探勘

海域地球物理探勘工作包括側掃聲納探測、底質剖面探測、磁力探測及震波測勘。探勘結果主要提供離岸風電計畫場址之地質構造、海床土質分層及其水平分布情況等資料，以作為離岸風力機組與變電站基礎設計的參考依據。

1. 側掃聲納探測（Side Scan Sonar, SSS）

採用 100 kHz 或更高聲納頻率之側掃聲納系統，進行全覆式的海床探測，以調查海床地貌。調查結果除可提供海床地貌之描繪影像外，亦可作為海床地貌特徵、表層沉積物特性、疑似水中目標物判釋、海底管線鋪設及海底崩移調查等之評估參考。

2. 底質剖面探測（Sub-Bottom Profile, SBP）

採用底質剖面儀（Sub-Bottom Profiler）探測海床表層的沉積地層特性。以泥質沉積層為例，一般可解析至海床下深度 20m 內沉積層結構特徵，包括不同沉積層之間的界面（如沉積層的厚度和其水平延伸或連續性）、海床表層近期地質構造特性（如斷層、褶皺等），以及海床表層之地層滑坡或沉積物移動特性等。藉由高解析度的底質剖面影像，可作為海纜路由沿線佈纜分析、設計和施工等評估之參考。

另探測測線與側掃聲納規劃相配合時，亦可



透過側掃聲納描繪的海床地貌影像，進行疑似水中目標物的判釋及埋藏物體的特性分析與評估。

3. 磁力探測 (Magnetic Survey)

由於海床上沉積物及其下方之基礎岩盤大多為非磁性物質，因此藉由磁力儀 (Magnetometer) 偵測海床上磁性物質之磁力值，經過資料處理後可繪製成沿測線之殘餘磁力異常剖面圖，解析出磁力反應物的分布。結合側掃聲納描繪的海床地貌影像，可進一步確認疑似水中目標物之特性，例如海床上的管線、沉船或未爆彈 (Unexploded Ordnance) 等。

4. 震波測勘

包括高解析淺層震測和多頻道反射震測兩種技術。其中，高解析淺層震測通常使用電火花震源 (Sparker Source)，可探測至海床下深度約 200 m 內的沉積地層構造特性；而多頻道反射震測則使用氣槍震源 (Air Gun)，能探測至海床下深度 200 ~ 800 m 以上較深層的地層構造。震波測勘可探測之地層結構特徵，包括沉積層的變化及其界面特徵 (如厚度、分層及水平延伸)，斷層和褶皺等地質構造特性，基礎岩盤的深度、形狀和分布，古地貌 (如河道、古海盆) 特徵，以及特殊地質結構 (如泥火山或氣體聚集區) 等，可作為風機場址地質特性分析、基礎設計和施工等之評估參考。

(三) 大地工程調查與試驗

大地工程調查與試驗目的為取得離岸風力機支撐結構預定位置基礎設計深度範圍內地層參數資料 (包含物理、化學、靜態及動態力學等特性)，以作為基礎設計與分析之依據。主要工作項目包括地質鑽探與取樣、現地試驗與室內試驗等。調查成果則需提供足以建立各風力機基礎地

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。

1. 地質鑽探與取樣

海域地質鑽探作業所使用的鑽探機具、現地試驗儀器及相關設備，需有適宜之工作平台或載具，才能確保施工安全，提高鑽探工作之精確性，以及取樣與現地試驗資料的品質。

(1) 工作平台或載具

依據水深狀況及規劃之調查工項，採用不同船舶或載具執行鑽探作業。例如，水深小於 5m 之濱海區或潮間帶，可採搭架或浮台進行鑽探作業；潮間帶至水深 <25m 海域，則採不同規模之自升式平台進行；水深 >25m 海域，基於工作安全原則，採用探勘船進行，並透過差分全球定位系統 (Differential Global Positioning System, 簡稱 DGPS) 進行船舶導航、定位；鑽探作業時使用船舶動態定位系統 (Dynamic Positioning System, 簡稱 DP)，可使船舶維持於定點，確保鑽探孔位的精確性及取樣過程時船舶之穩定性。(黃宗宸, 2016)

(2) 取樣

採集海床下沉積物的現地原狀土樣 (Intact Samples)，除用於了解土層特性外，可結合實驗室試驗結果，並與地質鑽孔紀錄、CPT 推衍建立之地質剖面，以及底質剖面、側掃聲納海床影像等探測結果進行比對分析，以利評估後續設計所需要的地層物理/化學、靜態及動態力學特性等工程地質參數。取樣方式包括靜壓式薄管取樣、貫入式取樣及抓取式取樣等。

其中靜壓式薄管取樣通常使用鑽機進行；貫入式取樣在近岸可配合標準貫入試驗 (SPT) 的劈管取樣器，在深海域則可採用震盪岩心取樣器



(Geo-vibro corer) (圖 1)、重力取樣器 (Gravity Corer)、活塞取樣器 (Piston Corer) 等，將長管 (如 PVC 管) 垂直下放至海床，再插入沉積物中進行取樣；抓取式取樣則以抓斗取樣器 (Grab Sampler) 或抽吸式取樣器 (Suction Sampler) 等，直接抓取海床表層較鬆散的細顆粒沉積物。



圖 1 靜壓式薄管、劈管銅圈及震盪岩心取樣器

2. 現地試驗：

除配合地質鑽探進行之標準貫入試驗 (SPT) 外，圓錐貫入試驗 (CPT)、懸盪式震測試驗 (PS Suspension Logging)、土壤熱阻抗 (熱傳導) 試驗等為較常見之現地試驗。

(1) 標準貫入試驗 (SPT, Standard Penetration Test)

於水深較淺區域 (約 < 25m)，配合自升式平台進行地質鑽探取樣工作，通常每隔 1.5m 進行一次試驗。透過試驗取得的劈管取樣試體，經實驗室分析後可獲得土壤參數。此外，現地試驗所取得之標準貫入 SPT-N 值，除可作為評估土壤密實度、強度和其他物理特性的參考外，亦可推估土壤參數及評估基礎承载力與液化潛勢。

(2) 圓錐貫入試驗 (CPT, Cone Penetration Test)

於水深較淺區域 (約 < 25m)，配合自升式平台進行平台式圓錐貫入試驗；於水深較深區域 (約 > 25m) 但試驗深度需求較淺時，採海床式

圓錐貫入試驗 (Seabed CPT)，其目的主要規畫用於海纜路由調查；而在水深較深 (約 > 25m) 且試驗深度需求較深時，常採通用型的下孔式圓錐貫入試驗 (Down-hole CPT) (如圖 2)，因其可配合鑽探船上的地質鑽探機具進行，主要規畫用於風機基礎調查。藉由試驗所取得之貫入值，包括錐尖阻抗 (Tip Resistance, q_c)、袖套摩擦力 (Sleeve Friction, f_s) 與孔隙水壓 (Pore Water Pressure, u) 等，可推估地層參數或進行土壤分類。

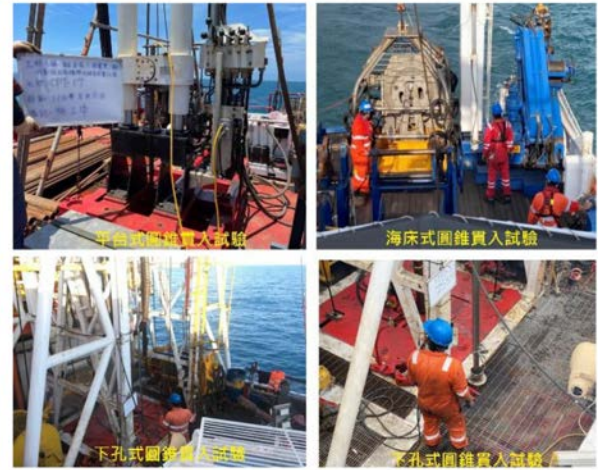


圖 2 圓錐貫入試驗

(3) 懸盪式震測試驗 (PS Suspension Logging)

由於試驗需要在地質鑽孔取樣完成後的裸孔內進行，為確保試驗設備的安全，通常會先在孔內注入高濃度的穩定液，以穩定鑽孔孔壁後再進行試驗。試驗目的主要測定土層的動態彈性模數，包括地層的剪力波速 (V_s)、壓力波速 (V_p) 及波松比 (ν)。此外，亦可配合地質鑽孔取樣方式進行下孔式震測試驗 (Downhole Seismic Test)；或與圓錐貫入試驗 (CPT) 結合，進行圓錐貫入震測試驗 (Seismic Cone Penetration Test, SCPT)。



(4) 土壤熱阻抗(熱傳導)試驗

主要檢測土壤之熱阻抗/熱傳導特性，做為海纜埋設深度之規劃參考。

三、海域地質調查作業風險因子

海域地質調查作業的風險可大致分為直接風險與間接風險兩類。直接風險主要包括海象與氣象條件的變化，對作業效率與安全性產生立即性的影響；間接風險則涉及硬體設備的故障、人員管理不當等問題，可能間接導致作業中斷或效率不彰，進而影響調查作業的安全性與最終成果的準確性。詳細說明如下：

(一) 直接風險

在臺灣海峽進行海域地質調查作業時，海象和氣象條件直接影響作業的效率與安全。除東北季風期及颱風季節外，尚需考量的風險因子包括風向、風速、雨勢、落雷、濃霧、波高、海流以及潮汐與潮流等。

1. 東北季風

每年 10 月至次年 4 月，臺灣海峽受東北季風影響，海象環境因強勁風力及其引發的湧浪變得嚴峻，導致海浪高度增加、海流加速，增加海域地質調查作業的操作難度和風險。因此，規劃海域地質調查時，應儘量避免於東北季風期間進行。若因工期需求被迫於此期間作業，則需特別注意天氣預報和海況變化，確保調查作業的安全。

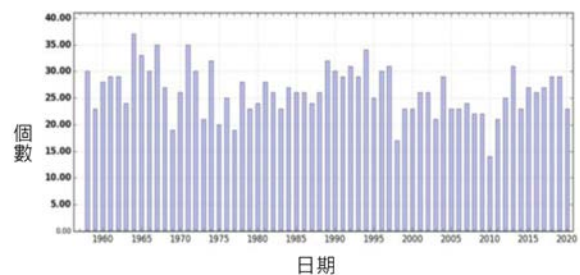
2. 颱風

自 1958 年至 2020 年，西北太平洋每年平均生成約 25.43 個颱風(如圖 3a)，其中平均每年約 3.23 個侵襲臺灣(如圖 3b)。颱風季節集中在

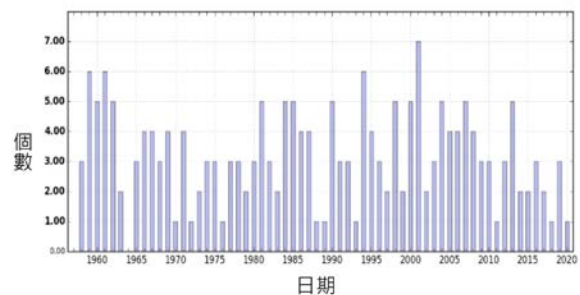
5 月至 10 月，而 7 月至 9 月的侵臺機率最高(如圖 4)。颱風帶來強風巨浪，可能造成船舶機具設備損害，為海上作業的重大風險因子，因此颱風來臨前需提前結束作業並返港避颱。颱風過後，需等待其影響範圍完全遠離場址，且海氣象恢復穩定後，方可再次進場作業。

3. 風向及風速

風向和風速的急劇變化對海域地質調查作業帶來風險，包括：影響船舶航向之穩定性，降低測量儀器的精度和數據可靠性。船舶穩定性下降亦會減弱作業員的操縱能力，增加作業風險。此外，強風還會提高甲板作業人員的意外事故風險，威脅人員安全。



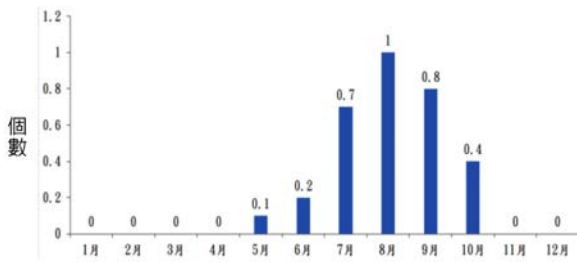
(a) 1958 ~ 2020 年 1 月至 12 月北太平洋西部海域颱風生成數(氣候平均 25.43 個)



(b) 1958 ~ 2020 年 1 月至 12 月北太平洋西部海域侵臺颱風數(氣候平均 3.23 個)

(https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/climate/climate5_list.html#climate5-02)

圖 3 1958 ~ 2020 年西北太平洋颱風生成及侵臺之颱風個數



(https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/climate/climate5_list.html#climate5-01)

圖 4 1991-2020 年間侵臺之颱風個數

4. 雨勢

暴風雨帶來強風、巨浪和強降雨，增加海域地質調查作業的風險，可能導致作業中斷，甚至需緊急撤離以保障人員和設備安全。

5. 落雷

雷電發生時，作業船舶和設備可能面臨雷擊風險，不僅可能損壞電子設備和導航系統，並對甲板作業人員構成生命威脅。

6. 濃霧

濃霧會顯著降低作業船舶能見度，增加碰撞風險，並對導航和定位的精確度產生不利影響。

7. 波高

高波浪可能使作業船舶劇烈搖晃，影響穩定性，增加翻覆或失控的風險。此外，還會影響船舶的航行速度和方向，降低測量儀器的精度和數據可靠性，並增加甲板上人員作業的風險及設備損壞的可能性。

8. 海流

強勁或急速變化的海流流向可能導致作業船舶偏離預定探查（如鑽孔）位置、影響作業精確度，並增加船舶操控的難度；也會影響水下拖曳

式測量設備或儀器（如震測源、磁力儀、多音束儀等），導致數據失真或需要頻繁校正。此外，也會增加底拖曳式測量設備與海床或其他障礙物碰撞的風險，甚而導致設備損壞；進行海域地質鑽探作業時，還會增加甲板作業人員操作水下鑽探設備的難度和風險。

9. 潮汐與潮流

潮汐漲退會影響船舶的吃水深度，淺水區域可能導致船舶觸礁或設備損壞，增加靠泊和進出港的難度。潮汐變化也會影響作業船和測量設備的高度，導致高精度測深或水下測繪的數據偏差。船舶的穩定性和定位精度亦因潮流變化，增加拖曳式調查設備的操作難度。潮差大的近岸區域，需根據潮汐時間調整作業計畫，以保障船舶和人員安全；同時，固定或拖曳在水中的測量設備（如震測源、聲納和多音束儀）也會受到影響，增加數據失真的風險，或需要更頻繁的校正。

至於強潮流則會影響船舶的定位和航行，增加船位保持的難度，從而影響海域地質鑽孔定位的準確性及鑽探操作難度。

10. 其他海、氣象風險因子

盡量避免在夜間進行海域調查，特別是照明設備較為不足的作業船或平台。因為光線不足會降低作業人員視覺辨識度，增加操作的難度與風險。此外，海面上無法預期的漂流物或障礙物，以及臺灣不常發生的氣候現象，如：降雪和冰雹、漂浮的海冰或冰山等，亦為調查作業之潛在風險因子，可能對船舶航行安全和設備的正常運作造成不利影響。

（二）間接風險

海域地質調查作業的硬體設備，包括作業船舶及探查儀器，通常會在確保良好狀態及安全無



虞的情況下出海執行任務。然而，若因操作或維護不當導致硬體設備故障，調查成果不佳，甚至造成儀器設備或人員損傷，將間接影響調查作業的效率與安全。因此，除難以避免之硬體設備故障外，海域地質調查作業還需考量間接風險因子，包括：操作人員之專業涵養及工作經驗、職業安全與衛生意識、體力狀態及身心壓力之承受能力等。

1. 操作人員的專業涵養及工作經驗

調查作業船舶、相關探查儀器設備的操作與維護，以及地質調查探勘作業等，都需要由具備豐富經驗和專業技能的人員來執行，如：船長、輪機長、地質調查技術員等。如果人員經驗不足或專業訓練不夠，可能因決策錯誤導致作業延誤，增加調查作業的安全風險，影響調查工作效率和調查成果的準確性。

2. 職業安全與衛生意識

職業安全與衛生教育訓練可以提升作業人員的安全意識，並減少職業傷害。職業災害往往發生在職業安全與衛生意識不足或過於自信而掉以輕心的情況下，例如作業人員可能不經意地做出不當或不安全的行為，忽略硬體設備與作業環境中的潛在危險，導致意外發生。任何人員預見潛在風險的可能性時，都應勇於提醒、適時矯正，並避免在具有潛在風險的工作環境中進行作業，以維持安全的工作環境。

3. 體力狀態及身心壓力之承受能力

由於船舶空間侷限、海上工作環境艱辛且工作壓力大，加上工時長，作業人員容易感到身心疲憊，導致工作注意力和反應速度降低，增加意外發生的風險。除了船上適當的休閒活動及合理的人員管理，並應避免超時工作或長時間無法上

岸休息，唯有維持身心狀態的平衡才能確保良好的工作品質、效率與作業安全。

4. 其他間接風險因子

主要是團隊領導者的溝通與協調能力。參與海域地質調查的單位和人員組成廣泛，包括業主或其代表、作業船上的航海員、輪機技術員及船務員等；地質調查團隊則由鑽探團隊、現場試驗團隊及船上實驗室技術員組成。為確保作業安全順利，各團隊之間的緊密合作至關重要。領導者需具備出色的決策力和應變能力，快速應對突發情況，並在作業期間與其他團隊保持有效的橫向溝通與協調，確保作業順利進行。

四、海域地質調查作業海事案例探討

(一) 研究船觸礁沉沒

某研究船在出海作業期間遭遇颱風外圍環流引發的風暴潮，伴隨強風和巨浪。在返回臺灣途中，船舶行經澎湖水道西側海域時（圖5），因擦撞暗礁導致船體破損，船艙嚴重進水，損害控制未能奏效，最終沉沒（交通部航港局，2016）。以下簡述事故的直接、間接風險因子和事故發生緣由：

1. 直接風險因子

執行海域調查前，已知海氣象條件不佳，但仍決定出海執行任務，顯示工作團隊對海氣象預報資料的風險評估不夠充分，以及對惡劣天氣的潛在危險影響的重視程度不足。

2. 間接風險因子

船長多次向領隊報告海氣象條件不佳，建議採取避風措施，但仍因任務需求考量，最終選擇繼續執行海上調查作業，反映出在面臨風險挑戰



時，分工團隊領導者的決策能力和判斷力明顯不足。

作業執行期間，忽視了風浪惡化可能導致船體損壞或航行不安全的風險、未能充分考慮硬體設備在惡劣海氣象環境中的承受能力，顯示分工團隊領導者對潛在危險過於自信而掉以輕心。

返航期間，船長及相關航海員對規劃航行路徑沿線海域的海床地形狀況不夠熟悉，導致船舶撞上暗礁，顯示人員專業素養及工作經驗明顯不足，最終導致海事事故發生。



(套繪自航港局公布之研究船失事航跡圖)
圖 5 研究船失事前航跡示意圖

3. 事故發生緣由

本海事事故的發生是多種直接和間接風險因子相互交織作用的結果。主要包括團隊決策者對惡劣海氣象風險的評估與應對能力不足、決策過程中欠缺專業判斷能力，以及工作執行者的專業素養和工作經驗不足。此外，人為疏忽也是導致船舶沉沒和人員死傷的關鍵因素。

(二) 海域鑽探作業平台人員溺斃

某計畫近岸海域地質調查先期作業，於架設地質鑽探作業平台收工時發生意外。一名工作人員經由平台的懸掛繩梯爬下，準備登上接駁船，於跳至船頭舢舨的過程中，因海浪影響導致船頭突然下降約 1.5 米，導致該人員踩空、失去平衡，後仰墜入海中。雖然船上人員迅速投擲救生圈，但因該員未穿著救生衣且不諳水性，無法及時抓住救生圈。最後該員雖被救起並送醫急救，仍不幸罹難（勞動部職業安全衛生署，2016）。以下簡述事故的直接、間接風險因子和事故發生緣由：

1. 直接風險因子

事故發生時，海氣象條件穩定，波高變化亦在預期範圍內，因此直接風險因子的影響甚小。

2. 間接風險因子

在良好的海氣象條件下仍發生事故，顯示該員缺乏職業安全與衛生意識，忽視作業環境中的潛在危險，導致不當且危險的行為。此外，人員過度自信與安全意識不足也是事故發生的主要原因。

3. 事故發生緣由

本海事事故發生的主要原因是雇主與作業人員缺乏職業安全與衛生意識。平台距海面超過 5 公尺，但僅設有繩梯，沒有提供防墜落設備。進行海域地質鑽探時，勞工有落水風險，但雇主並未要求穿著救生衣，亦未提供適當的救生及急救設備。此外，接駁船船頭缺乏防滑甲板、扶手及安全監護人員等基本安全設施，進一步增加了作業風險。

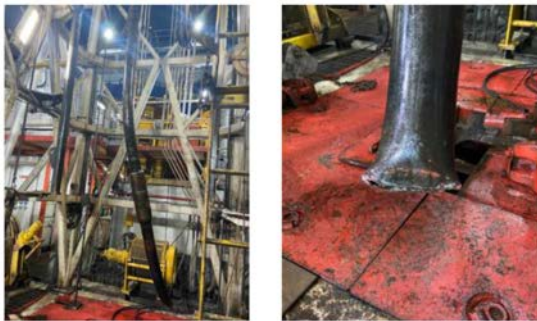
(三) 海域鑽探船部分鑽機設備遺留於海床

某風場在水深約 40 公尺海域進行圓錐貫入試



驗 (CPT) 時，因鑽探船舶引擎電子元件故障，導致動態定位 (DP, Dynamic Positioning) 失靈，船舶漂移數百公尺。試驗中的鑽桿未能即時回收，致部分設備受損，部分設備遺留於海床 (圖 6) (台灣電力公司，2022)。以下簡述事故的直接、間接風險因子和事故發生緣由：

機艙值班工程師因經驗不足或反應不佳，未能及時修護引擎，也可能未迅速通知動態定位操作手 (DPO, Dynamic Position Operator) 和駕駛台人員，導致船舶漂移。相關團隊人員經驗不足、處置不當與溝通不良等，最終導致設備受損並遺留於海床。



(上：船上設備損壞樣態)



(下：遺留海床之鑽桿回收樣態)

圖 6 鑽機設備損壞 (上) 及遺留設備回收 (下)

3. 事故發生緣由

本海事事故的發生是多種間接風險因子交織的結果。雖然設備故障難以完全避免，然而引擎的關鍵電子元件損壞，應是日常維護不確實，且備品庫存不足所致。事故後，團隊領導的溝通協調、風險評估和決策應對的專業判斷能力不足，操作人員經驗亦欠缺，最終導致試驗設備損壞及部分遺留於海床。

(四) 外籍鑽探船舶故障及技術人員士氣低落

某風場引進外籍鑽探船進行海域地質調查，但因船舶引擎損壞，修繕停工超過兩個月，導致調查進度延宕。此外，正值 Covid-19 疫情，外籍船員及技術人員受居隔政策影響，無法正常下船輪休或替換，使團隊士氣低落。在缺乏工作進展與無法適時休息的情況下，導致部分人員注意力不集中，進而引發環安衛事故 (台灣電力公司，2022)。以下簡述事故的直接、間接風險因子和事故發生緣由：

1. 直接風險因子

事故發生時，浪高約 1m，風速約 3 節，天氣晴朗，海況平穩。因此，直接風險因子的影響很小。

2. 間接風險因子

雖然設備故障難以完全避免，但在良好的海氣象下發生事故，尤其是關鍵引擎設備的電子元件損壞，可能反映出設備維護或管理不當。此外，

1. 直接風險因子

船舶上船塢修繕前曾發生兩次引擎故障，當時浪高均約 0.5m，風速約 7 ~ 9 節，天氣晴朗，海況平穩屬於輕微浪。因此，海氣象條件對事故影響甚微。

2. 間接風險因子

儘管硬體設備故障難以完全避免，但在海氣象



條件良好的情況下仍發生意外，尤其本事故主要原因是引擎設備損壞，顯示設備維護或管理不當。

3. 事故發生緣由

船舶引擎故障事故的檢討顯示，統包商為縮短探查工期及求好心切，高估國外鑽探船舶和團隊能力而選擇引進協助，卻未充分評估外籍鑽探船舶品質參差不齊的風險，導致事故發生。此外，由於疫情居隔政策，船舶進場前的檢驗程序不完善，導致施工準備不足。

相比之下，同一風場委任的本國船舶，在經過船檢和修正缺失後才進場作業，雖然亦曾發生過類似的引擎故障，但修護後迅速復工，並未延誤工期，船舶的運作狀況明顯較好。環安衛意外事故檢討顯示，由於居隔政策，外籍船員和技術人員無法正常下船輪休和更換，長時間被限制在船上，導致身心疲憊。體力和心理壓力失衡的情況下，工作注意力和反應速度下降，增加了環安衛意外事件的風險。

五、結論與建議

在海域地質調查前，必須充分考量並理性應對直接和間接風險，採取適當的預防和應對措施，以確保作業順利進行和人員安全。具體措施包括：

- (一) 擬定詳細作業計畫：目前海氣象預報系統多能有效預測並掌握海況，出海作業前，應根據可行的工作窗期和機具設備狀況，擬定詳細作業計畫，以確保在最佳條件下完成調查工作。
- (二) 風險評估和應變計畫：在地質調查前，進行全面風險評估，並根據評估結果制定相應的風險管理與應變計畫，以降低事故風險。

- (三) 設備維護與庫存管理：為降低設備故障率，需建立船舶及探查儀器關鍵元件的保固年限和庫存清單，並設立定期維護的安全觀察卡總表（Safety Observation Card Register）。此外，制定緊急應變計畫，以妥善處理可能的突發事故。
- (四) 職業安全與衛生教育訓練：加強作業人員的專業技術，定期進行職業安全與衛生教育訓練，提升對潛在風險（尤其是疫情影響下的作業環境）的警覺性，增強應對突發事件的能力。此外，設置調劑身心及減壓設施，並建立完善的輪休制度，提高作業人員的體能與身心抗壓能力，以降低環安衛事故的風險。

參考文獻

- 自由時報電子報（2016）航港局：海研五號沉船確認是人為因素，2015年3月，取自：<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1267435>
- 交通部航港局（2016）海研五號沉沒海事案海事評議書，2016年1月，取自：<https://www.motcmpb.gov.tw/Information/Detail/7ca10691-774d-4c9f-8e43-4980f8359b80?SiteId=1&NodeId=566>
- 勞動部職業安全衛生署（2016）從事海上地質調查作業發生溺斃致死災害，2016年10月，取自：<https://www.osha.gov.tw/48110/48417/48427/57363/>
- 黃宗宸（2016）海上地質鑽探機具，地工技術 No.150，2016年12月
- 勞動部職業安全衛生署（2019）離岸風電海域作業安全指引，2019年1月，取自：<https://file.motcmpb.gov.tw/files/201901/54910e5b-a7fc-4b5e-b5f5-decab751e538.pdf>
- 內政部（2022）水深測量作業規範，2022年3月，取自：<https://www.land.moi.gov.tw/upload/k1-20220315164147.pdf>
- 台灣電力公司（2022）海域測量及鑽探一風場區與路由區海上鑽探CPT及取樣作業之施作、紀實及調查報告書，2022年7月
- 經濟部標準檢驗局（2023）離岸風力發電場址調查及設計技術指引，2023年2月，取自：<https://www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xItem=106724&ctNode=8322&mp=1>
- 交通部中央氣象署（2023）船級作業風險，2023年9月，取自：https://www.cwa.gov.tw/Data/data_catalog/4-5-2.pdf



花蓮縣瑞林地地區地熱資源調查與潛能評估 Survey and Potential Assessment of Geothermal Resources in Ruilin Area, Hualien County

楊智豪 Chih-Hao Yang¹ 王曜睿 Yao-Jui Wang² 黃淳銘 Chun-Ming Huang²
俞旗文 Chi-Wen Yu³ 陳棋炫 Chi-Hsuan Chen⁴

摘要

本文以花蓮縣瑞林地地區的地熱資源探勘經驗為例，系統性探討展示一般傳統地熱區的探勘計畫的實作過程，從地質調查、鑽井驗證到地熱潛能評估的全流程。其中包含多項關鍵技術，諸如現地地質調查、地球物理探勘、地球化學分析、地熱概念模型建立、鑽井技術精進、以及三維地質模型建置與更新。透過詳細的調查和探測，確定探勘地區地熱儲集層的可能位置與地熱發電開發潛力。

本研究場址位於花蓮縣瑞林地地區，主要地層由台灣東部玉里帶石英雲母片岩所組成，岩層中的裂隙通道對地熱儲層的形成有關鍵影響。特別是在瑞林與紅葉兩處溫泉露頭附近的地下水循環模式主要是以淺循環為主。本研究進一步以大地電磁探查成果評估本地區蘊藏熱儲量，並預估發電潛能約為 14 MWe 左右。執行之探勘計畫同時強調鑽井技術與井下測量。另鑽掘兩口地質調查井總長度超過 800 公尺，並提取總共 470 公尺長的岩芯進行詳細分析。鑽井完成後執行溫度壓力井測以驗證井下是否有熱儲集層，調查結果顯示淺部高壓熱儲集層約在井下 250~500 公尺左右。另根據溫度場模型顯示該區域地下儲熱層的溫度可達 200°C 以上，顯示研究區域具良好的地熱開發潛力，亦驗證本研究所建置之三維地質模型的可靠性。

本文所述案例為台灣未來的地熱能源開發提供重要參考數據，所完成一系列地熱調查、探勘、驗證的程序，可供未來其他地區的地熱探勘參考借鑒。最終，研究成果將納入台灣的地熱資源資料庫，提供政府及私人開發單位決策依據，以降低地熱開發風險、加速開發時程。

關鍵字：花蓮、地熱、資源調查、潛能評估

Abstract

This project discusses the development potential of geothermal resource in the Ruilin area of Hualien County. It systematically presents the entire process, from geological surveys, drilling verification to geothermal potential assessment. It incorporates various technologies, including field geological surveys, geophysical exploration, geochemical analysis, geothermal conceptual model establishment, advancements in drilling techniques, and the construction and updating of 3D geological models. Determine the possible locations of geothermal reservoirs in the region through detailed surveys and investigations.

This project provides important reference data for Taiwan's future geothermal energy development, offering insights for future geothermal explorations in other regions. The research results will be incorporated into Taiwan's geothermal resource database, equipping government and private development entities with critical decision-making support, reducing development risks, and accelerating the timeline for geothermal development.

Keywords: Hualien; Geothermal; Resource investigating; Potential assessment

¹ 中興工程顧問社大地工程研究中心副研究員 Associate Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社大地工程研究中心助理研究員 Assistant Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 中興工程顧問社大地工程研究中心副主任 Deputy Director, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁴ 經濟部地質調查及礦業管理中心科長 Section Chief, Regional Geology Division, Geological Survey and Mining Management Agency, MOEA.



一、前言

因應全球氣候變遷及政府推動能源轉型政策，經濟部地質調查及礦業管理中心（簡稱地礦中心）提出加速全面性地熱資源調查及資訊供應相關計畫。其目標在於尋找國家未來所需的綠色能源，促進環境永續的綠能基礎建設。計畫內容包括地熱潛能區基礎探勘，結合新興科技以擴大探勘範圍與深度，全面掌握地熱資源的基礎地質資訊。地礦中心彙整國內相關單位的地熱探勘資料，建立地熱潛能區探勘資訊整合平台，供有意投入開發的業者參考，以降低探勘風險並縮短開發時程。

二、執行方法與技術應用

針對地礦中心委辦之花蓮縣瑞林地區的區域地熱調查計畫（以下簡稱本計畫），主要分成三階段：（1）初步調查、（2）資源探勘、（3）鑽井調查。首先是區域尺度的資料蒐集，透過既有文獻回顧，經整合與評估，找出可能的候選場址。經過篩選後，進到場址尺度的調查分析，執行地質調查、地球物理探勘、地球化學分析，經綜合評估分析，建立地熱概念模型。最後以鑽井調查資料來進一步精進地熱概念模型。上述流程如圖 1 所示。

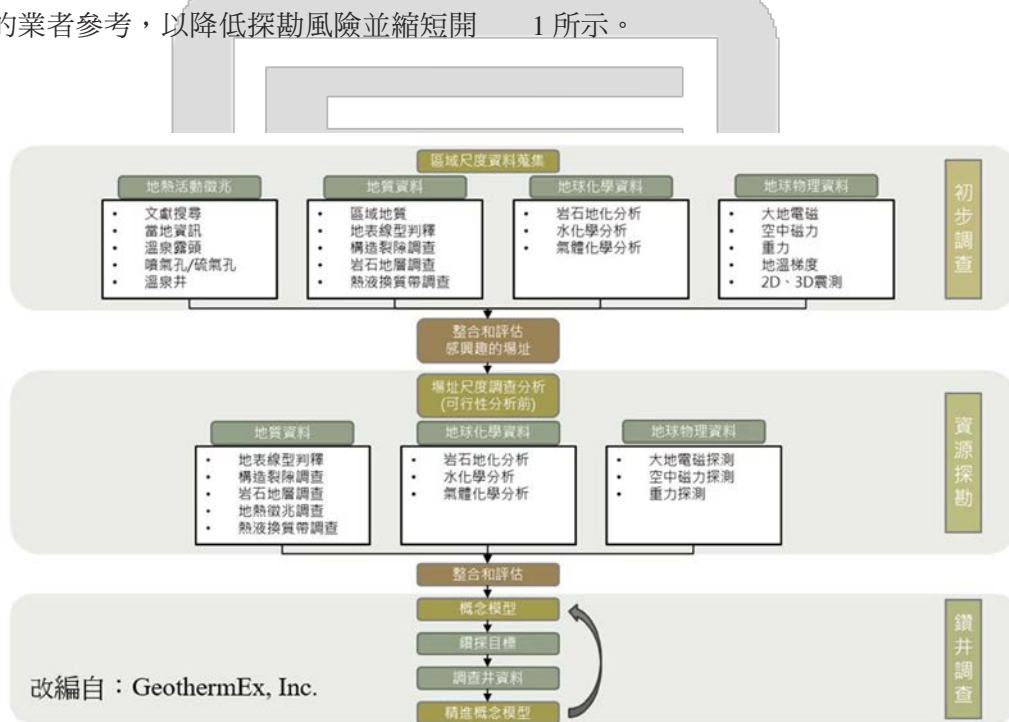


圖 1 區域地熱調查流程

於 110 年計畫執行之初，首先盤點台灣東部花蓮地區具有地熱開發潛能的地點，針對四處候選場址篩選出優先重點調查區域，篩選結果在萬榮鄉與卓溪鄉交界的瑞林 - 紅葉地區為第一優選場址，後續調查作業將著重在此區域進行地熱資源探勘與調查。下面簡單說明幾項主要的調查工作。

（一）地質調查

首先使用高解析度數值地形多向陰影圖進行人工判讀，分析線型構造。結果顯示該區域主要存在三組線型方向：（1）東西走向（ ~ 090 ）、（2）西北—東南走向（ $130 \sim 150$ ）、（3）北北東—南南西（ ~ 020 ）。其中，北北東—南南西（ ~ 020 ）的線型為整個區域中穿透性最強者。



野外露頭調查顯示，瑞林—紅葉地區的節理主要分為四組：(1) 走向為 290~330，傾斜角度多為陡直；(2) 走向為 020 ~ 040，亦為穿透性

強的地表線型；(3) 走向為 E-W；(4) 走向為 N-S (如圖 2 所示)。裂隙中偶見方解石脈或石英脈充填。

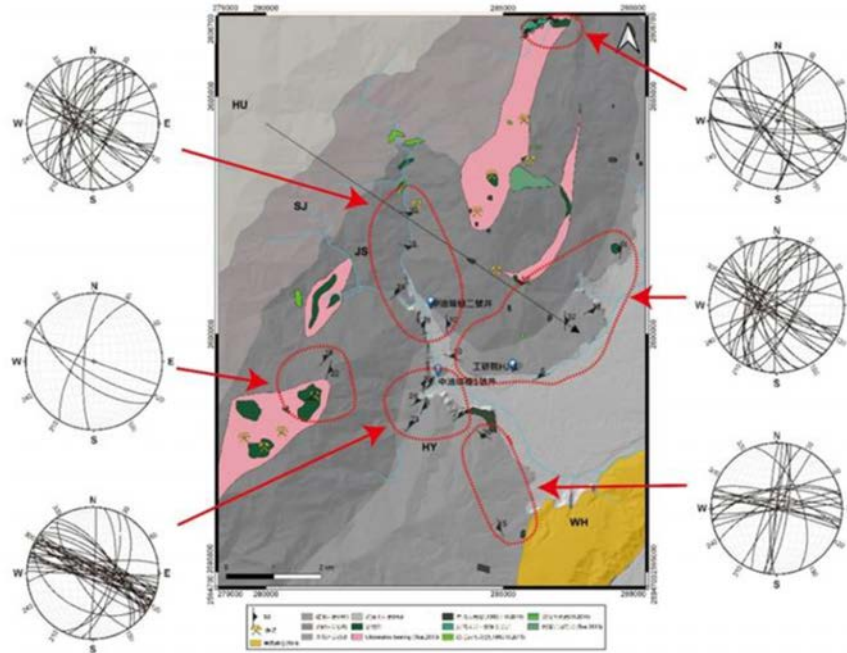


圖 2 瑞林—紅葉地區節理分布與節理面位態下半球投影

台灣東部中央山脈東翼地區蘊藏豐富的地熱資源。該地區地下深埋的岩石因隱沒及碰撞作用，經受高溫壓影響形成多種不同化學成分的變質岩，後續又因掘升作用快速抬升至近地表，形成主要的變質岩地熱區。然而，這類地熱區因地質構造複雜、水源補注不明確及易結垢等問題，使得開發技術面臨較大挑戰。在紅葉河流域區域，西北—東南走向的張裂縫節理為主要構造，其走向大致垂直於大地張應力方向（東北—西南伸張）。此類張裂縫可能是天水（淺部循環）及溫泉水（淺部與深部循環）流通的重要管道。

0.001Hz（來自電離層）至 100Hz（來自全球雷暴活動）寬頻率範圍內大地自然電場和磁場的起伏變化測勘深部之地下構造。透過野外施測所量測視電阻率資料，再利用逆推技術，得到實際地層電阻率分佈剖面。大地電磁測點及三維逆推成果如圖 3 所示。

(二) 地球物理調查

於 111 年完成瑞林—紅葉地區 35 個大地電磁調查測點探勘作業。大地電磁法 (MT) 是利用自

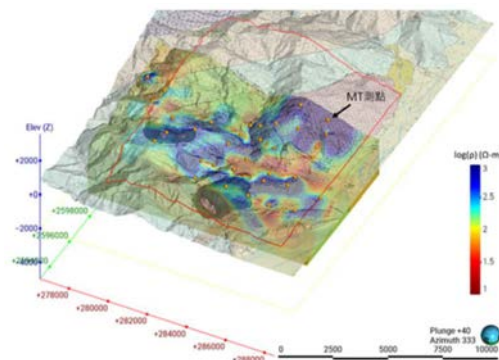


圖 3 大地電磁測點及三維逆推成果



地層由於組成材料及膠結等狀況不同，會有不同的導電特性。透過地電阻影像剖面法，分析地下不同地層岩性及不同含水狀況時所對應的電阻率分佈情形。112年完成2條地電阻影像剖面

(RIP)，目的為利用地電阻影像剖面探測法於探測瑞林地區目標測線位置的淺部地層構造分布。探測成果如圖4所示。

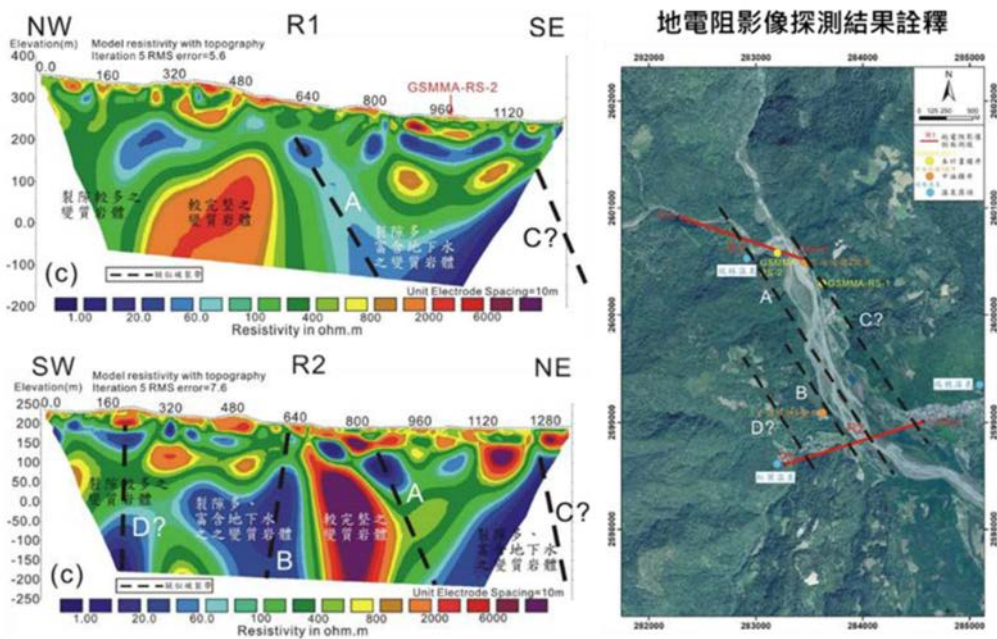


圖4 地電阻影像剖面探測成果

若地層裂隙多且富含地下水，該地層容易導電，故電阻率低。因此判定探測成果電阻率小於 $80\Omega\cdot m$ （藍色）為裂隙多、富含地下水之變質岩體。R1剖面東側下方有一低電阻區（ $<80\Omega\cdot m$ ）向東朝地表延伸，推測剖面東緣附近可能存在一破裂帶（C），而破裂帶（A）與破裂帶（C）間在深部可能均為裂隙多、富含地下水之變質岩體。

（三）地球化學分析

本計畫整合歷史文獻、既有溫泉井的井下量測數據及能源署前期地熱計畫調查成果，彙整歷史鑽井相關地化分析數據、地溫梯度和熱源分布。針對花蓮瑞林—紅葉、瑞穗和鄰近地區溫泉水成

分組成和結垢沉澱物進行分析，包括熱水水質特性、陰陽離子組成與氫氧同位素比值及結垢物之礦物組成和分析等地球化學資料，進行化學分析資料庫，並進行地熱儲集層溫度估算與資料投圖分析等，以解析熱液來源和特性，提供建構地熱概念模式及地熱發電潛能評估所需之基本資訊。

透過計畫區域內溫泉、地表水、地下水等不同水體的水質採樣分析，結果顯示水質可以區分「內溫泉區—紅葉溫泉」與「外溫泉區-瑞穗溫泉」，內溫泉區水質清澈、無色無味，出水溫度約為 $61^{\circ}C$ ，儲集層原始溫度約為 $130\sim 190^{\circ}C$ ，為硫酸鹽碳酸氫鈉泉。外溫泉區出水溫度約為 $45^{\circ}C$ ，儲集層原始溫度約為 $140\sim 180^{\circ}C$ ，屬於氯化物碳酸氫鈉泉。由於水中富含鐵離子，接觸



空氣後鐵離子迅速氧化為三價鐵，導致水質渾濁呈赭紅色，

並伴隨嚴重結垢問題，如圖 5 所示。氫氧同位素分析結果顯示，瑞穗大部分的溫泉補助來自於海拔 830 ~ 925 公尺。紅葉溫泉與瑞林溫泉的補注區

來自於海拔 925 ~ 1,100 公尺的高山，皆為淺循環。此外，外溫泉有一組樣本碳酸鹽濃度高，鄰近山區無碳酸鹽質岩石，故推論有來自中央山脈的深循環補注水體。



圖 5 內、外溫泉結垢潛勢示意圖

主要的張裂縫節理，走向大致垂直於大地張應力（東北-西南伸張），可能是提供天水（淺部循環）以及溫泉水（淺部及深部循環）流通的重要管道。在紅葉溫泉附近山壁，觀察到幾條接近垂直的主要斷層帶，其走向約為 N120E，如圖 6 所示。這些斷層應該扮演上湧熱液通道的角色，可將地下約 1 ~ 2 公里深地熱儲集層的熱水引流至地表。這些斷層甚至也有可能穿透到 4 ~ 5 公里或更深，將深部熱源的熱水引流到 1 ~ 2 公里的地熱儲集層，這進一步增強了區域地熱資源的開發潛力。

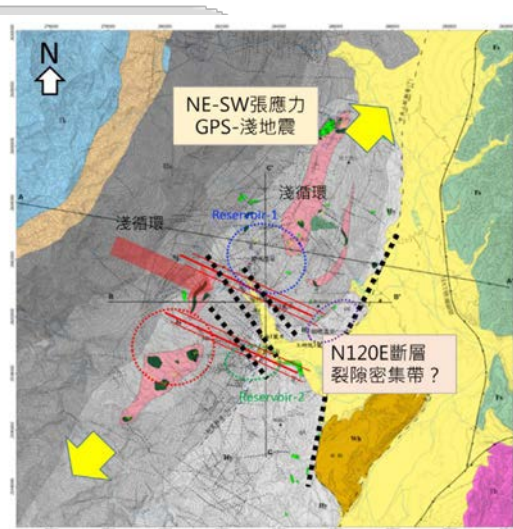


圖 6 熱液上湧的路徑推斷

（四）地熱地質概念模型

整合蒐集過去文獻資料與本計畫的調查資料，本文綜整後提出瑞林—紅葉地區的地熱地質概念模型。研究區域內最大的儲熱構造存在兩種可能性：（1）石英雲母片岩中的裂隙發達的岩體，上覆較不透水的蓋層（可能是基性岩體片岩），構成含有高液壓熱水的深部儲熱構造（深循環地熱）；（2）快速掘升的高溫壓熱岩體本身所提供的高地溫梯度岩石「乾熱儲集層」（淺循環地熱）。這兩種可能的解釋，還需要再進一步的驗證。

研究顯示，西北-東南走向為研究區域內最

（五）鑽井驗證

根據上述調查資料，本計畫於 111 年、113 年分別完成兩口鑽井，井位分布如圖 7 所示，用以驗證前述的調查資料與地熱地質概念模型。透過瑞穗 1 號井、瑞穗 2 號井的驗證得知，在井下約 250 ~ 500 公尺左右有一層高壓熱儲集層。兩口井在鑽井過程皆遭遇高溫壓湧井與井噴現象，導致取心鑽進作業難度大幅提升。鑽探相關資訊彙整如表 1 所示。

為進一步確定在瑞林溫泉鄰近區域的地熱資源範圍與潛能，已規劃於 114 年上半年續鑽瑞穗



3 號井。

表 1 鑽探資料表

井名	完成鑽探	完成取心	井下最高溫
瑞穗 1 號井	414.47m	169.69m	175°C
瑞穗 2 號井	478m	372.79m	174°C



圖 7 鑽井位置圖

(六) 三維地熱地質模型

經過本計畫初步調查及資源探勘階段後，已建立初步的三維地質模型。隨著後續計畫更新的

探勘調查資料及鑽探資料的補充，可進一步改善既有模型，提升地質模型的精準度，並為後續調查規劃提供有力支援。本文將瑞穗 1 號井與瑞穗 2 號井的井溫剖面輸入既有模型，生成新的溫度場模型，如圖 8 所示。結果顯示深部地層溫度超過 200°C，且淺部地層溫度略高於預期，代表調查範圍內具有豐富的地熱資源。

將瑞穗 2 號井的溫度資料與既有調查資料比對，與 RIP 剖面 R1 測線對照，可以發現 RIP 剖面的高低電阻變化可與溫度表現有良好的對應，加強資料的可信度，如圖 9 所示。RIP 剖面的綜合判釋說明如下：深度 64 ~ 109 公尺：裂隙發達、富含地下水之片岩，屬相對較冷之含水層，因受下方蓋層高溫影響，溫度略為升高並滯留於其上。西北、東南側河道通過位置下方可能為地下水入滲補注之區域。深度 109 ~ 241.31 公尺：相對較緻密之片岩，可能為下部較熱的含水層之蓋層，受下方高溫含水層加熱而使溫度較高。深度 241.31 ~ 400 公尺：裂隙多且富含高溫熱水之含水層。

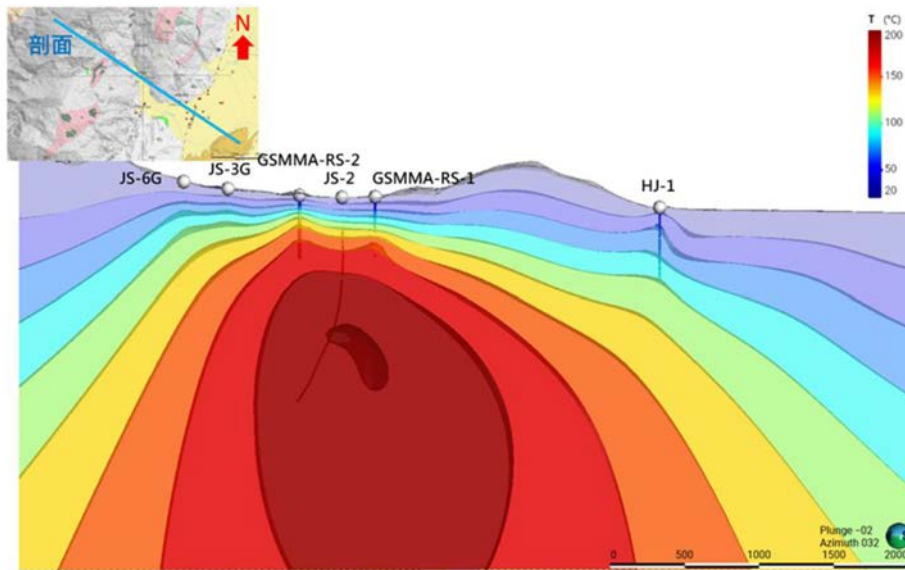


圖 8 模型持續更新後的溫度場

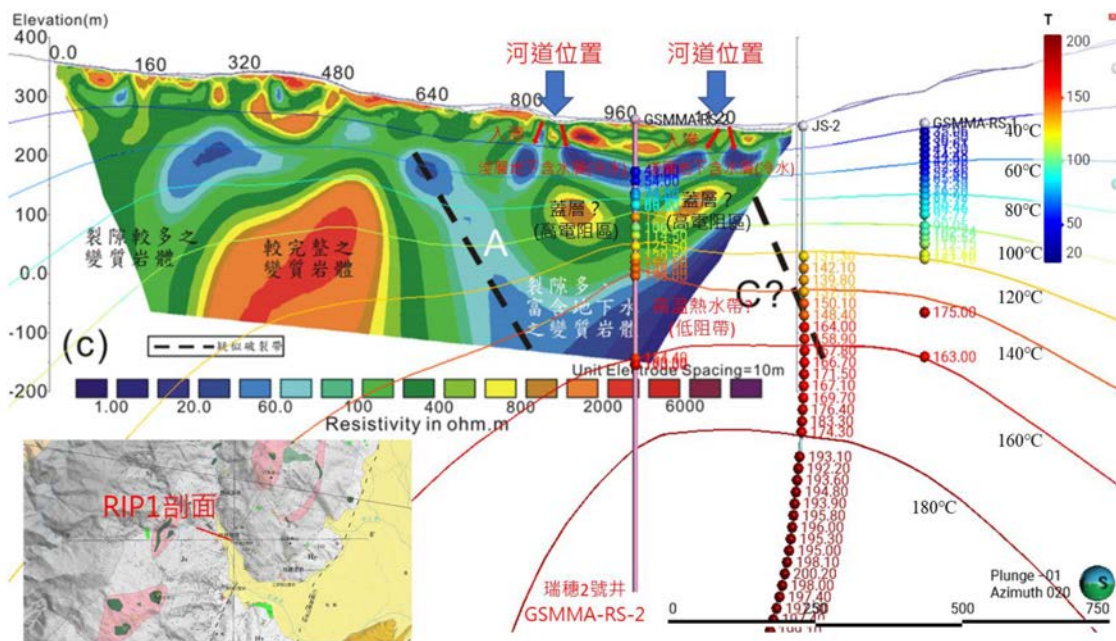


圖 9 RIP 與溫度場模型比對

(七) 資源蘊藏量精進評估

利用 USGS 體積評估法，搭配利用大地電磁法施測結果，並取得大地電磁法三維電阻率模型，分析較為精確的目標區地下儲層的低地電阻區分佈空間，取代粗略的面積與厚度估計。大地電磁法量測電阻率小於 $50 \Omega\text{-m}$ ，且溫度場模型之溫度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 之塊體形貌，其溫度以 20°C 作為一個區間，並以溫度區間之平均溫度進行該塊體之地熱潛能評估。本文以溫度壓力井測建置之溫度場分析，其總蘊藏熱能推估約為 $9.59 \times 10^{17}\text{J}$ ，估計本計畫目標區發電潛能估計為 14.56MWe 。

三、工程實作與挑戰

本計畫進行調查作業曾遇到較大的難題是：

(一) 鑽井場址距離居民居住環境過近

鑽探施工產生的噪音會影響居民的作息，因此施工時間限制在早上七點到晚上七點間，其餘

時候機具不能運作。這導致鑽探遇到井下高壓時，不能持續使用泥漿循環方式來調整井內壓力。故每日開工時，還需額外耗時平衡前一天收工關井後井內累積的壓力。故日可鑽進的工時有限，若欲改採行 24 小時鑽進，需要投入更多的民眾溝通資源。

(二) 鑽探遭遇堅硬岩石

於瑞穗 1 號井鑽進期間遭遇堅硬岩石，以致於取心鑽頭快速磨耗。經鑽探公司洽詢國外顧問，建議通過提高鑽機的轉速解決此問題，瑞穗 2 號井鑽探期間使用新購置的高轉速鑽機（轉速約 $400 \sim 600\text{RPM}$ ），成功克服堅硬岩石取心不易的挑戰。

(三) 高壓流體增加鑽探困難

瑞穗 1 號井鑽探期間遇到高壓流體，進行取心作業時發生湧氣、湧水之工況。雖然增加泥漿比重仍無法有效壓制井噴之狀況。為完成施工，



採用套管封隔並背填水泥的方式隔絕壓力。但以此工法處理湧氣、湧水工況，後續會無法執行裸孔電測；亦無法利用溫度壓力井測準確得知裂隙出水段落。

瑞穗 2 號井鑽探時，為獲取更多井下資訊，未再次採用封隔方式，而是在高壓流體間歇噴發的空檔中進行鑽進作業，最終鑽探深度達 478 公尺，完成鑽探後執行裸孔電測與溫度壓力井測。

四、結論與建議

透過本計畫的一系列調查與探勘，結合公部門、學界及私人企業的探勘技術，成功在變質岩地區發現一處具高溫資源的地熱潛能區。瑞林—紅葉地區的地熱資源調查與潛能評估具有指標性意義，不僅闡明台灣變質岩地區的熱源可能來自快速掘升的高溫壓熱岩體，亦初步確認下方深部岩體屬於可提供高地溫梯度的「乾熱岩儲集層」。

研究結果顯示，該區淺部地層在天水循環條件下可提供傳統型地熱資源，而深部地層則蘊藏大量深層地熱資源，兩者均具有足夠潛在熱源以支持發電需求。期望經濟部地質調查及礦業管理中心能在本調查區域規劃更多新鑽井，以確認資源分布範圍，並通過更完整的產能測試，進一步評估本區域的資源蘊藏量，為地熱產業的發展提供重要參考依據。

參考文獻

- 王源、楊昭南、陳文山(1992)。五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 48 號，玉里圖幅。經濟部中央地質調查所。
- 衣德成、陳治宇、林慶偉(2012)。五萬分之一臺灣地質圖及說明書—第 41 號，光復圖幅。經濟部中央地質調查所，共 95 頁。
- 經濟部地質調查及礦業管理中心(2022)區域地熱探勘與重點潛能評估——花蓮地區期末報告。
- 經濟部地質調查及礦業管理中心(2023)花蓮縣瑞林地區地質模型建置與資源潛能評估(1/2)期末報告。

水利工程應用程式

公開發售

SEC-HY21 (二維泛用地表水分析軟體)

- 網格及地形建立等前處理介面、電腦繪圖及流場視覺化
- 定床水理模組
- 水中生物物理棲地分析模組

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02)8791-2198

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw



地質封存系統洩漏風險評估與井下 監測技術規劃

周柏儀¹ 吳柏林² 譚志豪³

一、前言

碳捕捉與封存（Carbon Capture and Storage, CCS）的技術概念是一種針對減少溫室氣體排放的技術方法，其核心目標是將各種工業源（如發電廠、鋼鐵廠、化工廠）所排放的二氧化碳進行分離收集，利用高壓機制使其轉變為超臨界流體狀態後，透過鑽井技術以安全且永久的方式注入深度在 800 ~ 2500 公尺具有大量開放孔隙的地質構造中。這樣的地層儲存機制在國際上已成認是相當有效的巨量負碳技術，許多國家因此已展開工程灌注試驗與實證，迄今全球已有為數眾多碳封存先導試驗案例正在運作或籌畫實施中。

為順應國際減碳趨勢與國家能源轉型，台灣電力公司規劃在臺中火力發電廠（簡稱中火）減碳技術園區建置碳捕捉設備，其以每日 6.7 噸的二氧化碳捕捉量來設計，每年預計灌注兩千噸二氧化碳，計畫執行 15 年，總灌注量達到 3 萬公噸。依此目標，台灣電力公司設定在本（2025）年將陸續完成先導碳捕集技術試驗、小規模碳捕集技術導入、整合先導測試等，誓言成為國內首座擁有碳捕捉技術的燃煤發電廠，有效降低中火碳排放量。而為使該願景能順利達成，台灣電力公司於 2022 年委託本社執行二氧化碳地質封存先導試

驗規劃與技術可行性評估研究計畫，目標除了完成場址初步規劃與評選，執行碳封存先導試驗可行性研究與環境影響差異分析，也提出場址基本概念設計與發包文件草案。

本專題研究案之提出，即是為因應該計畫核心基礎工作之需求，特別就試驗工程配置、灌注風險分析、井下流體移棲監測技術等課題進行資訊蒐集與探討。本案研發成果與歷程可就以下三個主要議題進行歸納，包括：

1. 先導試驗地表設施及管線規劃設計
2. 封存場址的天然結構安全性與破壞逸散情境耦合模擬
3. 井下流體移棲監測技術盤點

二、先導試驗地表設施及管線規劃設計

地表設施及管線規劃不僅與系統運行安全性息息相關，對於經濟效益提升與滿足長期監測也很重要。就二氧化碳地質封存先導試驗場址的營運來說，地表設施及管線設計需以地層特性、工作流體性質、灌注壓力變化、封存層穩定性等關鍵數據的掌握為基礎，更需整合監測設備，將灌注歷程中眾多數據訊息存儲於資料庫中，實現即

¹ 中興工程顧問社大地工程研究中心地工維安組高級研究員

² 中興工程顧問社大地工程研究中心再生能源組正研究員

³ 中興工程顧問社大地工程研究中心再生能源組資深研究員兼組長



時分析與調整，做為未來進行民眾溝通之依據。

中火二氧化碳地質封存先導試驗預定以桂竹林層（地表下 2,450 ~ 2,700m）為灌注目標，該地層為鹽水層且孔隙度和滲透率適中，具備良好的儲存能力與封閉條件，上覆厚層的低滲透性錦水頁岩層，可提供天然的封閉屏障。有鑑於我國並無設置二氧化碳灌注試驗場先例，經專家評估指出就地質條件與先導試驗規模來說，應可選擇日本已成功進行二氧化碳地質封存先導試驗的岩野原場址（Nagaoka CO₂ Storage Project）（俞旗文等，2009）做為規劃參考，其同樣以鹽水層為封存地層，與我國地區地質條件類似，試驗規模適中，適合做為我國初期先導試驗規劃之借鏡。

為使二氧化碳地質封存先導試驗在設計與執行過程安全性獲得保障，本案係與專精於承辦大型電廠高層次土木、結構、機械、電機、儀控及環保技術經驗的吉興工程顧問股份有限公司合作執行。地表設施規劃作業因此完成了包括先導試驗場區配置、儲槽區（液化二氧化碳接收、儲存與供應設施）、液化二氧化碳加溫加壓區、監控需求、地表設施用水（供水系統）、設施用電、地表設施設備基礎型式等項目之規劃。在輸送管線規劃上，為確保實現二氧化碳符合液化之溫度與壓力條件實現單相流（液態），參考岩野原封存計畫經驗，為確保管件能承受二氧化碳超臨界態（高壓）傳輸過程中的壓力要求，建議以液態二氧化碳使用的操作壓力 1.96 ~ 30 MPa，溫度範圍為 -23°C ~ -18°C 之間 / 32°C 為輸送條件，選用壓力等級 2500 lb，厚度 SCH XXS 為傳輸管材。

三、封存場址的天然結構安全性與破壞逸散情境耦合模擬

傳統上針對場址天然結構安全性的關注多集

中在封存地層與蓋層的完整性評估、注入壓力與地應力耦合效應、岩石力學與流體動力學交互影響與洩漏途徑及環境風險分析。然而，對於異常高壓下經由井孔材料損壞引發的洩漏機制，包括井結構瑕疵、水泥封填劣化，以及未封閉鄰井存在的機制過去較少考慮。如何從力學角度評估二氧化碳封存場址的天然結構安全性，分析井孔材料破壞對逸散機制的影響乃一關鍵課題。為此，本案與國立陽明交通大學合作利用水—力學耦合數值軟體 COMSOL Multiphysics® 進行不同井孔材料破壞逸散情境所造成地層局部孔隙率改變，並計算發生儲集層張力裂隙或蓋層貫穿可能發生的破壞機制，建立全面性的分析模式。研究流程首先選定一數值基準問題做為分析之驗證。待驗證分析模型可行後，將針對目標場址進行二氧化碳實場分析，以評估灌注量、速率對於儲存層及蓋層之穩定性影響，探討靜態封存的常時安全儲存容量，和外在應力影響下二氧化碳逸散的可能機制。

本研究三維模型建立如圖 1 所示，上下兩層為含水層厚度為 30 m，中間為不透水層厚度為 100m，模型設定於地下 2840 ~ 3000 m，二氧化碳以 8.87 kg/s 速率自模型正中間注入井注入，注入井右方 100 公尺處為洩漏井，注入之二氧化碳可能從此洩漏井洩漏。以注入 80 天之二氧化碳飽和度進行模型驗證，本研究結果與文獻（Ebigbo et al., 2006）成果高度吻合（圖 2）。

為貼近現實生活中場址狀況，本研究進一步將不透水層列入計算，在此基礎上加入固體力學模組，耦合水力及力學部分，確認可求出區域內的破壞因子（Damage Factor，DF）以瞭解岩層是否已達裂裂狀態後，修改相對滲透率模式，並考量毛細壓力所造成的影響，修改完模型理論以貼近實際場址後，進一步以此模型進行敏感度分析，確認對封存二氧化碳會造成顯著影響之參數。

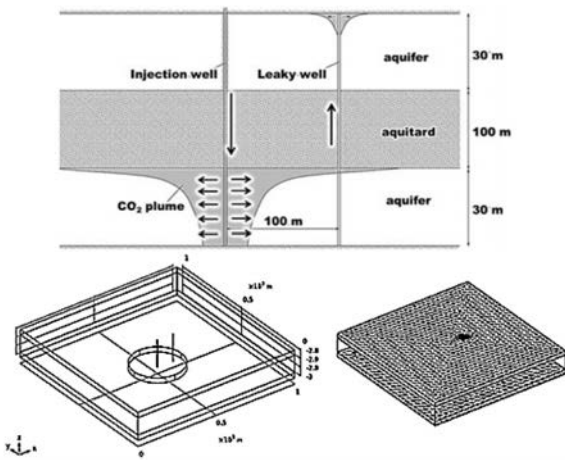


圖 1 本案數值基準問題模型與模型網格示意圖

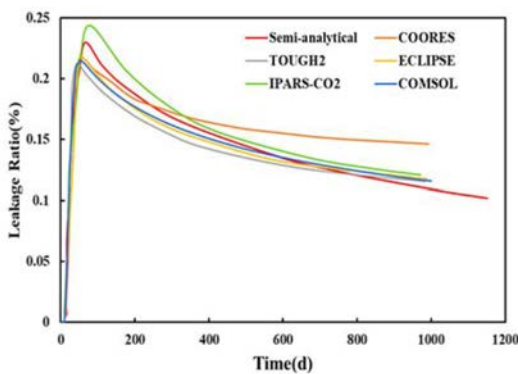


圖 2 COMSOL 與其他學術單位洩漏量結果對比

數值模擬結果亦發現當提高注入速率時，二氧化碳之擴散範圍、壓力及破壞因子皆有變大之趨勢，當提高孔隙率時，因二氧化碳有更多儲存空間而使其擴散範圍變小，但壓力、剪應力、剪應變及破壞因子未有顯著影響；而當滲透係數降低，模擬發現二氧化碳擴散形式會發生改變。

四、井下流體移棲監測技術盤點

如何在封存場址中適當位置設置合適的監測工具，建置完善的監測系統來降低二氧化碳洩漏風險是相當重要的技術課題，確保二氧化碳流體

的安全性與可操作性是成功商轉關鍵。分佈式光纖感測技術在大地工程領域的應用正逐年擴展且獲得重視，就井下流體移棲監測技術盤點這項議題本案因此將重點首先擺在分佈式光纖感測技術原理和關鍵設計參數進行探討，並就基於拉曼散射的分佈式溫度感測技術與基於瑞利散射的分佈式聲學振動感測技術進行較詳細探討。

文獻指出分佈式光纖感測市場在近十年來有相當顯著的成長，企業不斷增加研發支出投資將現有基礎設施升級，部署節能和微型感測器已成為全球主要趨勢，其中又以石油和天然氣開採領域為市場大宗，其次為電力電纜、管道、基礎建設與工業廠房安全監測需求的增加。推動分佈式光纖感測市場不斷擴大的主要因素包括對於在複雜或惡劣工作環境中進行監測需求的增加、光纖溫度感測技術的高可靠性，以及對於安全系統改善的需求不斷提升。總括而言，就中火所執行的碳捕捉與封存先導試驗場來說，光纖感測技術的配置有以下若干課題須審慎考量：

1. 光纖感測技術的選擇高度依賴於地層的特性，包括孔隙度、滲透率、壓力和溫度的變化。因此需要先建立井下地質狀態的了解才能進一步就光纖感測技術細項如分佈式或單點式、相位調變或強度調變等的選擇進行研判，從而提供最準確與代表性監測數據。
2. 試驗場址的具體監測目標需進行確認並滾動檢討，如果主要目標是連續監測二氧化碳的移動，分佈式感測技術會更合適；但如果僅需要在特定點進行高精度監測，單點式感測器可能更具優勢。
3. 光纖感測技術的安裝方式（可取回、半固定或永久固定）和相應的成本也應審慎考量。如果安裝環境不允許進行永久性安裝，或預算不足以支持更複雜的安裝方式，那麼選擇可能會受到限制。



4. 光纖感測技術選擇也取決於現場可用的設備和技術可行性。要注意如果現場缺乏支援複雜安裝或訊號處理技術的基礎設施，那麼高精度或長期高密度監測技術可能會受到限制。

五、U-tube 流體取樣系統

U-tube 流體取樣技術可理解為一種為提供大量體且不受污染的特定地下流體樣本而開發的技術方法，其目標主要在於提供精確的地層水樣、了解地下水的水文地質特徵，進行污染源追蹤和環境影響評估，提供長期環境監測數據與監測地層穩定性，包括美國德州 Frio Brine Pilot 實驗計畫、密西西比州油田 Cranfield 地質封存研究計畫、加拿大 Saskatchewan Weyburn-Midale 二氧化碳監測計畫、澳洲 CO2CRC Otway 碳捕捉與封存計畫中，皆仰賴 U-tube 流體取樣技術採集封層中關鍵水樣來掌握化學成分變化，幫助監管機構進行環境影響評估，值得我國未來技術發展借鏡。

U-tube 流體取樣管可看做是一種使用高壓氣體驅動的正壓流體排放泵裝置（positive fluid displacement pump），施加高壓氣體或液體通過控制閥門進入泵腔，藉由產生壓力差來推動流體，再引入單向止回閥的設計來維持流體保持同一方向避免回流，確保流體的穩定和連續性輸送。這種類型的泵在化工、製藥、水處理、石油和天然氣、環境監測等需要精確控制高壓流體的領域都很常見。U-tube 流體取樣系統即利用此概念快速有效地從深層地質環境中採集流體樣本，確保可在原始壓力狀態下回收未被污染的地層水樣本。與 1970 年代早期的流體取樣技術相比，當時的技術僅能在約 10 米的淺層深度運行，而現代 U-tube 系統設計顯著改進包括材料耐用性、系統效率和

在極端地下環境（高壓和高溫）下的操作能力，可以部署在超過 3000 米的深度，與早期僅能在較淺深度運行的技術形成鮮明對比。

六、CO2CRC Otway 計畫之啟示

CO2CRC Limited 執行長 Dr Matthias Raab 曾提到碳捕捉與封存的成功取決於技術創新、健全的監管框架和持續的財務投資（Success in CCS depends on technological innovation, robust and appropriate regulatory frameworks and the financial investments to achieve scalable and sustainable solutions），這說明地質封存系統洩漏風險評估計畫需要在技術、政策和資金三方面達到平衡才能順利推進（Raab and O'Brien, 2023）。監測 CO₂ 地質封存的有效性是一項具有挑戰性的任務，這些挑戰源自於技術、環境、經濟和法規等綜合因素使然，一般常規淺層地表監測技術（如地震監測、井下監測、地球化學分析等）的精確度和靈敏度仍存在局限，在嚴苛的地下環境中要維持長久運行自然其技術難度也相對較高，若缺乏穩定且持續的技術支持和資金投入，都將使得預測和監測變得困難。而應對地下環境的複雜性，科研單位需要不斷改進監測技術、提高數據分析能力、尋找成本效益更高的方案，以及促進國際合作和標準化，才足以確保地質封存的安全性獲得保障。

CO2CRC Otway 計畫是世界少數碳捕存示範場址之一，其搭載了相當多監測溫室氣體洩漏與遷移的尖端設備，提供了一個讓科研人員能夠持續測試與開發新型監測技術的場域，從許多科研報告與文獻可知該計畫解決了一系列與監測、深層鹽水層性質、封存層中岩石的力學行為以及 CO₂ 注入引起的流體 - 岩石相互作用等領域的相關問題，自成立年以來所推出的地質封存和監測



示範計畫皆得到澳洲政府 CCS 旗艦計畫的支持。本案回顧了 CO₂CRC Otway 計畫不同階段性的研究進展與工作經驗，對於我國未來發展地質封存相關技術具有啟示性的深遠意義。

(一) 面對地質封存的適用性與資料不足

CO₂CRC 強調地質封存需要深入的地質調查與場址選擇，而我國目前在大規模地質封存研究方面資料相對缺乏，可能面臨適合封存區域有限的挑戰。此外，對沉積盆地的地質數據不完整，可能使得場址評估和風險評估工作複雜化。封存二氧化碳涉及到對地質結構、儲層與蓋層的組合、地下水動態等多方面的評估，若缺乏足夠的地質數據，這些風險評估就會變得不精確，進而增加不確定性和潛在風險。

(二) 重視長期封存安全與遷移監測

CO₂CRC 在封存安全性和二氧化碳地下遷移監測上進行了多年的技術探索 (Schacht et al., 2011; Sharma et al., 2011; Watson, 2015; Jenkins et al., 2017)，我國應借鏡這些經驗並開發或引入長期封存的監測技術，如垂直地震剖面、3D 地震成像、地球化學和地球物理感測技術。也須體認到這些技術的本地化應用會面臨技術門檻和設備成本上的挑戰。尤其是高精度的地球物理和地球化學感測器系統的引進或進行本地生產需要較高的資本投入。

(三) 二氧化碳捕捉效率與成本控制

CO₂CRC 強調了降低捕捉成本的必要性，而我國在大規模工業應用中的捕捉技術仍處於早期階段，可能面臨技術效率低、成本高的問題。具體技術如吸收、吸附或膜技術，在大型工業應用中可能還不夠高效，導致捕捉的二氧化碳量較少，或者需要消耗大量的能源，這樣會降低整體運行

效率，未來需要開展更多技術或技術轉移做為配套，來提高捕捉效率並降低運行成本。

(四) 技術集成與基礎設施建設

CO₂CRC 的經驗顯示整合捕捉、運輸和封存技術，分別涉及不同的專業領域和技術流程，這些技術必須能夠無縫協同工作，並建立相應的基礎設施，會是 CCS 發展的重要技術門檻 (Cook, 2013)。我國需要針對現有基礎設施的不足進行技術集成與升級，並在地理和經濟上合理規劃捕捉後的二氧化碳運輸網絡。進一步來說，這些基礎設施的建設和運營成本很高，並且需要克服技術上的挑戰，例如地質條件的變化、管道腐蝕防護以及長期監測等。這對台灣來說，意味著要發展 CCS 技術不能僅關注單一技術突破，而是需要建設完整的基礎設施網絡，並確保不同技術之間的高效整合。

(五) 封存區的風險評估與不確定性控制

在地質封存中，控制不確定性和風險至關重要。CO₂CRC 花費了大量時間進行風險評估 (Bowden et al., 2002; Pawar et al., 2015) 和動態模擬 (Dance et al., 2009)，我國則需要發展高精度的儲層模型和動態模擬技術，來預測二氧化碳的長期行為；前者基於地質數據構建的三維模型，用來模擬儲存區域的地質結構、岩層組合、斷層分布等特徵。高精度的儲層模型能夠幫助科學家了解儲存區域的地質穩定性，並確保該區域適合長期封存二氧化碳，後者可以模擬二氧化碳在地下的行為，如二氧化碳在注入後如何在儲層中擴散、遷移，或者它與地層中的其他礦物物質進行反應的過程。通過這些模擬，可以預測未來幾十年或幾百年內二氧化碳的變化情況，並評估是否存在洩漏風險或其他潛在問題。



(六) 數據收集與監測設備的技術門檻

我國在現場數據收集和監測方面的技術門檻較高，特別是涉及集成多種感測器系統的應用，如地球物理感測器和地球化學分析設備，這些高端技術需要進口或進行技術轉移，並且維護和數據解釋也需要高水平的專業技能。未來應加強研發投入、技術合作與人才培育，減少對外部技術的依賴。

參考文獻

- Bowden, A. R., Lane, M. R., & Martin, J. H. (2002). Triple bottom line risk management: enhancing profit, environmental performance, and community benefits. John Wiley & Sons.
- Cook, P. J. (2013). The CO2CRC Otway project in Australia. In Geological Storage of Carbon Dioxide (CO2) (pp. 251-277). Woodhead Publishing.
- Dance, T., Spencer, L., & Xu, J. Q. (2009). Geological characterisation of the Otway project pilot site: What a difference a well makes. Energy Procedia, 1(1), 2871-2878.
- Ebigbo, A., Class, H., Helmig, R., (2007) CO2 leakage through an abandoned well: problem-oriented benchmarks, Comput Geosci, 11:103-115.
- Jenkins, C. R., Marshall, S., Dance, T., Ennis-King, J., Glubokovskikh, S., Gurevich, B. & Watson, M. (2017). Validating subsurface monitoring as an alternative option to Surface M&V-the CO2CRC's Otway Stage 3 Injection. Energy Procedia, 114, 3374-3384.
- Pawar, R. J., Bromhal, G. S., Carey, J. W., Foxall, W., Korre, A., Ringrose, P. S., Tucker, O., Watson, M., & White, J. A. (2015). Recent advances in risk assessment and risk management of geologic CO2 storage. International Journal of Greenhouse Gas Control, 40, 292-311.
- Raab, M., & O'Brien, G. (2023). Carbon capture and storage's role within Australia's energy transition: necessary, safe, and reliable. The APPEA Journal, 63(2), S419-S422.
- Schacht, U., Regan, M., Boreham, C., & Sharma, S. (2011). CO2CRC Otway project—soil gas baseline and assurance monitoring 2007–2010. Energy Procedia, 4, 3346-3353.
- Sharma, S., Cook, P., Jenkins, C., Steeper, T., Lees, M., & Ranasinghe, N. (2011). The CO2CRC Otway Project: Leveraging experience and exploiting new opportunities at Australia's first CCS project site. Energy Procedia, 4, 5447-5454.
- Watson, M. (2015). CO2CRC Otway stage 2: CO2 storage in saline formation. Presentations of CSLF Technical Group Meeting, Riyadh, Saudi Arabia, PIRT-7.
- 俞旗文、鄭錦桐、邵國士、焦中輝、黃連通 (2009) 二氧化碳地質封存的先導計畫—日本經驗，台電工程月刊，第 729 期 (98 年 5 月號)，第 91-102 頁。

叢書訊息

(一) 堆填壩施工手冊(增修版)

邱鴻章 編著

2022 年 2 月初版

(二) 廢污水生物急毒性檢測與應用評析

許國恩、林宜璇、吳佳娟、
鳥春梅、林淑滿等 編著

2020 年 11 月初版

(三) 台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究

詹穎雯、陳育聖、邱暉仁、
何季軒等 編著

2020 年 7 月初版



財團法人中興工程顧問社經累積多年之研發成果，已出版下列各項工程類別之銷售叢書，其內容精闢專業，深具參考價值。若有需要，歡迎申購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

網址：http://www.sinotech.org.tw

類別	序號	書名	編號
水利工程類	1	台灣南部區域枯旱特性	R-HY-01-01
	2	河川水理輸砂模式 SEC-HY11	R-HY-01-02
	3	台灣地區地面水及地下水調查與運用	R-HY-01-03
	4	混凝土壩非線性分析商業化程式發展(一)	R-HY-01-04
	5	攔河堰二維水理分析軟體 SEC-HY20	R-HY-01-05
	6	敲擊彈性波技術應用在巨積混凝土結構物裂縫之檢測	R-HY-01-06
	7	近岸地形變化之數值模式	R-HY-01-07
	8	敲擊回音儀器改善開發及在混凝土波速與裂縫檢測上之應用	R-HY-02-02
	9	巨積混凝土非破壞品質檢測技術之研發	R-HY-02-03
	10	橋基側向侵蝕防治技術與設計指引(彩色版)	R-HY-02-04
	11	水平二維動床模式之應用	R-HY-02-05
	12	多座水庫系統聯合運轉模式(四)多目標水庫串聯系統與攔河堰聯合運轉	R-HY-02-06
	13	混凝土壩應力分析之工程應用模式建立(一)	R-HY-03-01
	14	即時逕流與河川演算人機介面模式	R-HY-03-02
	15	敲擊回音儀器改善開發及其在巨積混凝土裂縫與隧道襯砌厚度檢測上之應用	R-HY-03-04
	16	區域水資源系統即時操作模式之建立	R-HY-04-02
	17	混凝土壩非線性分析商業化程式發展(二)	R-HY-04-03
	18	混凝土壩非線性分析商業化程式發展(三)	R-HY-04-04
	19	河川水理、輸砂及污染質傳輸模式 SEC-HY11	R-HY-05-01
	20	混凝土非破壞檢測儀(Sino-NDT-IE)之改良	R-HY-05-04
	21	含自由液面之三維不可壓縮黏性流數值模式發展與應用	R-HY-05-05
	22	類神經網路於河川洪水預報系統	R-HY-07-02
	23	蝶閥啟閉過程中閘體受力之數值模擬	R-HY-07-03
	24	橋梁水理資訊系統	R-HY-09-01
	25	蓄水庫風險管理(二)風險辨識與風險控制及壩安全導則研訂	R-HY-09-02
	26	水平二維動床模式之研發及應用(二)岸壁沖刷	R-HY-10-01
	27	都市水岸縫合與環境改善研究——以美崙溪為例	R-HY-13-01
	28	宜蘭東澳地區海洋深層水多目標園區可行性研究	R-HY-14-01
	29	集集南岸三小水力發電計畫可行性研究	R-HY-16-01
大地工程類	1	堆石壩靜態與動態行為研究(二)軟岩材料含量對工程性質之影響	R-GT-01-01
	2	大地工程流形數值分析方法之發展(一)流形方法之引進與大地工程上之應用	R-GT-01-02
	3	隧道設計整合系統之發展(一)隧道支撐設計	R-GT-01-03
	4	隧道水文地質調查準則(含解說)	R-GT-01-04
	5	基樁完整性檢測技術發展與應用	R-GT-02-01
	6	多功能壓密沉陷數值程式之開發、模擬與驗證〔二〕施工模擬與尺寸效應	R-GT-02-02
	7	軟弱土層特性與深開挖行為〔三〕深開挖施工訊息化系統	R-GT-02-03
	8	岩盤隧道施工資料自動化處理系統	R-GT-02-04
	9	鬆軟地盤改良作業之評估、設計與檢驗方法	R-GT-03-01
	10	Seismic Resistance Design of Earth Structures and Deep Foundation-(1) Dynamic Effective	R-GT-03-02
	11	隧道施工專家系統	R-GT-04-01
	12	節理岩體力學特性研究(二)實際工程岩體力學參數之評估與應用	R-GT-04-02
	13	大地工程流形數值分析方法之發展(二)節理岩體斷裂破壞程式發展	R-GT-04-03
	14	地震時潛盾隧道與既有建築物之互制分析	R-GT-04-04
	15	樁基礎分析及設計程式發展	R-GT-05-01
	16	粉土細砂現地觸探結果設計參數之 CPT 標度	R-GT-05-02
	17	隧道交叉段力學行為與支稱對策	R-GT-05-03
	18	地理資訊系統於大地工程之應用(一)地質資料輸入、地質模型建立與地工分析模式發展	R-GT-05-04
	19	新興感測科技於環片計測之應用(一)	R-GT-06-01



大地工程類	20	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發 (一)	R-GT-06-02	
	21	預力混凝土既有應力非破壞檢測技術開發	R-GT-07-01	
	22	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法	R-GT-07-02	
	23	台灣地區地震危害度分析程式發展與強地動衰減模式建立	R-GT-09-01	
	24	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發 (二) 台灣地區隱沒帶強震資料建立	R-GT-09-03	
	25	暨有混凝土橋梁內部損傷監測資料無線傳輸技術開發及應用測試 (二) 無線音射資料感測模組研製	R-GT-10-01	
	26	落石問題分析技術	R-GT-10-02	
	27	隧道施工專家系統整合應用與改進	R-GT-10-03	
	28	集水區土砂災害分析	R-GT-10-05	
	29	遙測技術於土木水利工程上之應用 (一) —— 台灣中部地區土石災害潛勢研究	R-GT-10-06	
	30	景美礫石層降水工法於大台北都會區深開挖工程之應用	R-GT-10-07	
	31	隧道前方地質弱帶探查技術	R-GT-12-01	
	32	高岩覆對隧道設計與施工影響研究 —— 完整岩盤隧道影響探討	R-GT-12-02	
	33	隧道開炸振動環境影響評估與技術準則之研訂	R-GT-12-06	
	34	堆填壩施工手冊 (增修版)	E-GT-12-01	
	35	台灣山區地下水資源調查與評估技術之建立	R-GT-13-01	
	36	隧道施工資料管理系統 (二) —— 應用與改進	R-GT-13-02	
	37	地下水補注敏感區判釋與評估技術之建立	R-GT-15-02	
	38	流體注儲行為之力學機制研究與工程應用	R-GT-16-01	
	39	高岩覆對隧道設計與施工影響研究 (二) 脆性破壞特性評估與因應對策	R-GT-17-01	
	環境工程類	1	加速型溶劑萃取法萃取底泥樣品中有機錫	R-EV-01-01
		2	土壤樣品中 Cu、Cd、Hg 和 Pb 的直接分析 —— 利用 USS-ETV-ICP-MS 法	R-EV-01-02
		3	粉狀活性炭在降低消毒副產物生成之應用	R-EV-01-03
		4	界面活性劑液相層析質譜分析方法	R-EV-01-04
		5	自來水水質生物穩定性評估方法	R-EV-01-05
		6	應用固相微萃取法偵測水中微量亞拉生長素	R-EV-01-06
		7	消毒系統在工業區廢水處理之應用	R-EV-01-07
		8	國內污水下水道管材使用現況與發展趨勢	R-EV-02-01
		9	去除染整廢水中色度及殘餘 COD 高級處理技術	R-EV-02-02
		10	石化業製程廢水及污泥處理技術	R-EV-02-03
		11	以 Fenton 法處理柴油污染之土壤	R-EV-02-04
		12	工業區污水處理廠提升生物處理技術	R-EV-02-05
		13	下水道污泥之矽直接分析	R-EV-02-06
		14	粉狀活性炭對自來水中土臭味物質之控制應用	R-EV-03-01
		15	自來水處理之薄膜積垢物去除技術	R-EV-03-02
		16	空氣污染排放總量及背景空氣品質預測	R-EV-03-03
		17	利用陰離子界面活性劑移除土壤中重金屬	R-EV-03-04
		18	利用不要的米 (Unwanted Rice) 製造活性炭之技術研發	R-EV-03-05
		19	周界空氣中揮發性有機物分析 TO-14A 樣品製備及質譜鑑定分析	R-EV-03-06
20		水中鹵化乙酸 (HAA) 之鑑定	R-EV-03-07	
21		幾丁聚醣擔體固定化細胞技術處理水中 VOCs	R-EV-04-01	
22		不明廢棄物棄置 (掩埋) 調查採樣計畫及污染判定標準程序訂定	R-EV-04-02	
23		以 HPLC/Fluo 分析環境空氣中真菌含量	R-EV-04-03	
24		空氣污染控制策略及成本效益分析	R-EV-04-04	
25		彰濱金屬區電鍍廢水高級處理與資源化技術	R-EV-04-05	
26		地下水 MTBE/BTEX 油品污染之物理處理技術	R-EV-04-06	
27		固定化微生物擔體於反應式阻牆技術之應用	R-EV-04-07	
28		以化學氧氣法處理受有機物污染之土壤	R-EV-04-08	
29		自來水供水系統微量臭味物質鑑定技術	R-EV-05-01	
30		塑膠管長期管剛性評估機制 (一)	R-EV-05-02	
31		污染場址水文地質調查技術之發展	R-EV-05-03	
32		高錳酸鉀氧化技術於地下水污染整治之應用	R-EV-06-01	
33		薄膜海水淡化廠出水水質穩定化控制技術	R-EV-06-02	



環境工程類	34	含高濃度 BTEX 尾氣之處理技術評估	E-EV-06-01	
	35	生物反應式透水阻牆整治工法應用研究——材質開發與模場驗證	R-EV-06-03	
	36	工業區污水處理廠放流水再生利用	R-EV-07-01	
	37	三合系統於場址評估之應用與方法建立	R-EV-07-02	
	38	塑膠管長期管剛性評估機制 (二)	R-EV-07-04	
	39	Bio-MF 應用於都市污水處理之探討研究	R-EV-07-05	
	40	交通噪音振動改善措施研究	R-EV-08-02	
	41	生物性緩釋材之開發與應用	R-EV-08-03	
	42	MBR 薄膜系統原型機開發與應用	R-EV-08-04	
	43	廢水處理廠生物即時監測系統	R-EV-09-01	
	44	現地氧化試劑配方之快速評估程序開發	R-EV-09-03	
	45	以截流式微過濾膜回收淨水場快濾池反沖洗水並產生污泥餅之研究	R-EV-10-01	
	46	不同化學氧化法搭配生物復育技術降解土壤中 BTEX 污染物	R-EV-10-02	
	47	生質物之造粒、裂解與氣化	R-EV-11-01	
	48	中空絲超過濾膜膠體性阻塞趨勢與系統效能之評估	R-EV-11-02	
	49	以末端過濾操作微過濾薄膜分離富含油脂之藻類	R-EV-12-02	
	50	以液相層析串聯質譜儀建立水中全氟化物及抗生素之分析方法	R-EV-12-06	
	51	溫室氣體總量管制政策工具應用於能源技術服務之法規機制可行性評估	R-EV-12-08	
	52	以雙槽式薄膜反應器 (Dual MBR) 進行小球藻培養及濃縮之研究	R-EV-13-02	
	53	碳抵換合作模式分析研究	R-EV-13-03	
	54	人工濕地作為低碳污水處理單元之生命週期研究——以高雄洲仔濕地為個案探討	R-EV-15-01	
	55	添加生物炭對土壤污染之影響研究——針對重金屬污染土壤與酸洗後土壤改良之評估	R-EV-16-01	
	56	廢污水生物急毒性檢測與應用評析	R-EV-20-01	
	57	環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發	R-EV-23-01	
	結構與耐震工程類	1	高壓阻尼器之研發	R-ST-01-01
		2	封閉式液流阻尼器結構減震之模型試驗	R-ST-01-02
		3	加長型單肋板補強梁柱接頭耐震行為與設計	R-ST-01-03
		4	鋼筋混凝土耐震結構性能設計法 (二) 直接位移法及其結構實驗	R-ST-01-04
5		鐵路橋梁耐震設計可靠度分析 (三) RC 連續橋梁地震反應分析	R-ST-01-05	
6		雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為 (一)——軸力與彎矩	R-ST-02-01	
7		斜張橋空氣動力穩定性之風洞實驗與數值分析	R-ST-02-02	
8		遲滯型消能器減震技術改良與應用加勁阻尼系統之結構耐震性能設計方法	R-ST-02-03	
9		預鑄混凝土橋墩之耐震行為 (三) 綜合應力行為	R-ST-02-04	
10		鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為 (一) 鋼骨箱型柱肋板補強梁柱接頭耐震行為	R-ST-02-05	
11		地震工程性能設計法之應用 (一) 單自由度橋柱及建築物之耐震性能評析與設計	R-ST-02-06	
12		鋼筋混凝土耐震結構性能設計 (三) 消能隔減震系統之位移設計法	R-ST-03-01	
13		液流阻尼器全尺寸結構防振功能之振動台測試	R-ST-03-02	
14		雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為 (三) 中空雙鋼管混凝土柱與基礎接合耐震行為	R-ST-03-03	
15		斜張橋空氣動力穩定性之風動實驗與數值分析 (二)	R-ST-03-04	
16		高韌性鋼橋柱耐震行為 (一)——先期試驗	R-ST-03-06	
17		流場引致結構物振動之分析技術現況評析	R-ST-03-07	
18		垂提式閘門振動分析及評估指南	R-ST-04-03	
19		鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為 (二) 箱型柱與鋼梁偏心接合耐震行為	R-ST-04-04	
20		載荷 100 噸級液流阻尼器特性試驗及技術推廣之預備工作	R-ST-05-03	
21		加消能裝置鋼構架位移設計法之試驗	R-ST-05-04	
22		建築結構之多振態性能評析與設計方法應用 (一) 考慮多振態之位移導向耐震評估與設計	R-ST-06-01	
23		特殊形狀建築物承受風壓分析——Phoenics 軟體應用手冊	E-ST-10-01	
24		雙間隙液流阻尼器	R-ST-10-01	
25		工程保險巨災風險評估模型開發	R-ST-10-02	
26		不規則建築物耐震性能導向設計與評析	R-ST-12-01	
27		建築物環控分析 Flair 軟體應用指引	E-ST-12-01	
28		橋梁監測及緊急調查回報系統	R-ST-14-02	



資 訊 應 用 類	1	台灣地區水庫資訊系統 (二)	R-CS-01-01
	2	電腦繪圖支援系統 (一)——Visual Fortran 繪圖程式庫	R-CS-01-02
	3	地理資訊系統的發展及在營建工程上的應用與研發	R-CS-01-03
	4	向量式地理資料在 Internet-Intranet 之應用	R-CS-01-04
	5	台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統 (一)	R-CS-02-01
	6	PDA 圖型編繪核心及無線通訊、GPS 整合	R-CS-03-01
	7	Development of Neural Networks for Seismic Safety Evaluation of Prestressed Concrete Bridges	R-CS-03-02
	8	PDA 與無線通訊、GPS 整合之應用——現場調查	R-CS-04-01
	9	知識管理系統 (一) 電子圖書館	R-CS-04-02
	10	PDA 圖形編繪核心與 Web GIS 整合	R-CS-06-01
	11	台灣地區大眾捷運安全管理系統 (I)：緊急應變及視訊監控子系統	R-CS-08-01
	12	台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統 (二)	R-CS-08-02
	13	射頻識別應用在設施與設備安全管理之研究	R-CS-12-01
	14	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (二)——設施巡檢、監測預警與基於風險之決策支援子系統	R-CS-12-03
工 程 管 理 類	1	工程契約模式 (一) EPC 統包與簡易型工程契約 EPC 統包與簡易型工程契約中興樣本	R-CM-02-02
	2	公共工程施工管理與作業要點第一篇工務管理與作業標準 (全兩冊)	E-CM-03-03
	3	契約管理常見問題及其解決預防之道	E-CM-03-05
	4	契約管理作業概要	E-CM-04-01
	5	公共工程品質管理作業指南	E-CM-05-01
	6	公共工程施工品質查核常見錯誤態樣及改善對策	E-CM-06-01
	7	工程專業管理人員處理及預防工程爭議之研究	R-CM-07-01
	8	工程規劃設計階段之安衛風險管理研究	R-CM-09-01
	9	工程契約管理與爭議處理案例研析	E-CM-10-01
	10	公營事業閒置土地資產活化開發模式研究——以台鐵局及都更再開發案為例	R-CM-14-01
工 程 材 料	1	於地熱環境下澆置的鋼筋混凝土強度與耐久性	R-MT-06-01
	2	自充填混凝土施工監造技術指引	E-MT-06-01
	3	混凝土問題診斷與處理對策	E-MT-07-01
	4	新舊混凝土黏結介面品質之非破壞檢測評估	R-MT-07-02
	5	卜作嵐混凝土使用手冊	E-MT-07-03
	6	自充填混凝土最佳化配比與水合特性之整合	R-MT-08-01
	7	混凝土結構物修補技術指引	E-MT-09-01
	8	混凝土工程監造技術指引	E-MT-09-02
	9	高流動化混凝土材料配比及施工規範探討	R-MT-10-01
	10	開發應力波檢測技術以推估混凝土之早齡期強度	R-MT-12-01
	11	高飛灰摻量混凝土於中興社研發大樓新建工程之應用	R-MT-13-01
交 通 運 輸	1	台北與東部運輸走廊交通預測模式建立	R-TR-07-01
	2	台灣高鐵營收管理模式研發 (一)	R-TR-08-01
	3	鐵路車站轉乘設施設計準則	R-TR-11-03
防 災 科 技	1	遙測技術於土木水利工程上之應用 (二)——土砂災害資料倉儲系統建置及莫拉克災區案例分析	R-DP-13-01
	2	坡地災害風險管理及其應用 (一) 莫拉克颱風災區坡地災害研究	R-DP-13-02
	3	因應地質法與極端氣候研擬坡地防災調適策略——以坡地住宅及土地利用為例	R-DP-14-01
	4	應用雷達影像評估坡地災害	R-DP-16-01
其 他	1	軌道運輸系統營運模式現狀評估	R-MS-01-01
	2	半導體廠製程排氣設計方法 (二)	R-MS-01-02
	3	捷運地下車站火災時人員安全避難容許時間之探討與分析模式	R-MS-01-03
	4	3C 最佳化風管設計方法	R-MS-02-01
	5	發電系統穩定度	R-MS-02-03
	6	寬頻接取技術現況與趨勢	R-MS-02-04
	7	長隧道通風研究 (一) 列車隧道空氣動力模擬程式研發	R-MS-08-01
	8	長隧道通風研究 (二) 隧道空氣動力模擬程式視窗展示前後處理軟體研發	R-MS-09-01
	9	建築節能之被動冷卻系統分析法——FDS5 軟體應用指引	E-MS-12-01
	10	台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究	R-MS-20-01



風力開發工程

廣博深奧的綠能技術 點亮世代的重要推手

> 綠色新能源“風能”可提供乾淨新能源 中興工程顧問公司是全方位的工程技術單位具有高專業技術，將持續推動綠色新能源之發展並為人們打造節能減碳及永續發展環境持續前進。

離岸風力發電業務

SINOTECH

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告



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.





機械工程

動力文明創造樂活世界

國家生技研究園區以創新研發為導向，跨部會機構進駐的群聚效應，將加速國內生技產業之發展能量。國家生技研究園區係以研究及發展為主的新一代國家型研究園區，建築物取得綠建築黃金級標章、智慧建築銀級標章及耐震設計標章。本案為統包工程，中興公司負責工作包括整地、道路、排水、管溝、結構、地工、水保變更、環境差異分析、水電、消防、電梯、空調、蒸汽、空壓、真空、純水、氣體、P2,P2+,P3 Lab、潔淨室、動物房等之設計（須以 BIM 設計）。

國家生技研究園區·細部設計

SINOTECH

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告

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.



- 產業園區
- 新市鎮
- 區段徵收
- 市地重劃
- 大型土地開發
- 城鄉規劃
- 用地變更

綠能·農業·循環·新南向



台南科學工業園區(二期)



和平工業區



淡海新市鎮



GREEN

- 總體政策
- 產業策劃
- 可行評估
- 實質規劃
- 用地變更
- 都市設計
- 市場財務
- 投資招商
- 工程設計
- 施工監造
- 維護管理

園區土地開發工程
綠色·韌性·循環·智慧

DESIGN

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告

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.



正派經營·品質保證·追求卓越·創新突破
工程不只源於需求，更在於生活價值的實現

中興工程顧問

業務範圍：水利／電力／環境／交通／建築／機電

規劃設計·施工監造·專案管理

封面(底)照片 | 岡山橋頭污水處理廠第一期工程

高雄市岡山橋頭污水處理廠坐落典寶溪畔，採高效節能三段AO處理流程，提升用地效率及降低放流水總氮，並將再生水供應台積電循環利用。因基地周邊地勢較低，乃利用後期預留地作為備援滯洪池；開挖土方用於填高基地高程以降低淹水風險。

全區景觀以「綠樹微風」及「水波漣漪」為主題，保留大面積綠地圍塑綠意概念。控制中心採地景式建築，為高雄市首座黃金級綠建築污水處理廠，並取得建築園冶獎、國家卓越獎及高雄市高雄盾綠建築大獎等多項殊榮。



中興工程 Vol.168 / JULY 2025
ISSN 0257-554X



出版者：財團法人中興工程顧問社
社址：114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02) 8791-9198
傳真：(02) 8791-2198
網址：www.sinotech.org.tw
E-mail：adm-dpt@sinotech.org.tw
* 本刊圖文未經同意不得轉載 *

誠信·創新·品質·服務

 財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.