

# 中華技術

# CECI

## ENGINEERING

## TECHNOLOGY

# 150

## April/2026

2026.4.30 出版

### 雲啟智湧：AI 創生

#### 《人物專訪》

四代交控演進，高公局如何以 AI 智慧賦能  
專訪交通部高速公路局彭煥儒副局長

#### 《工程論著》

雲境重生的安全治理— AI 法規與雲端資安的未來  
AI 革命帶來的挑戰與數位治理發展策略

#### 《專題報導》

雲啟智湧—多元資料整合之高速公路事故情境 AI 應用  
標準領航智慧鐵道—建構全國智慧鐵 Tao 中心與鐵道雲 AI 發展藍圖  
鐵道智慧化應用—臺鐵雲平台資訊整合之創新挑戰  
智慧交通韌性管理—快速公路交控發展與展望  
AI 多代理人智慧號誌控制技術之應用經驗  
結合 AI 與數位孿生，打造雲林科技小智  
基於水位變動率之前饋式自適應抽水控制系統設計與驗證



April/2026

# 150



## 雲啟智湧：AI 創生

# 中華 技術 CECI

# ENGINEERING TECHNOLOGY



中華技術 CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

No.150  
April/2026

# 目錄

## Contents



訂閱  
中華技術電子書



中華顧問  
中華技術電子書平台



台灣世曦  
中華技術電子書平台

本刊文章為作者提供，  
內容正確性及法律責任  
概由作者自行負責

## 匠心獨運

### 004 重塑公共工程系統建設決策邏輯

AI 轉型如何推升服務管理從應變走向預判

## 人物專訪

### 010 四代交控演進，高公局如何以 AI 智慧賦能

專訪交通部高速公路局彭煥儒副局長

## 工程論著

### 018 雲境重生的安全治理—AI 法規與雲端資安的未來

### 026 AI 革命帶來的挑戰與數位治理發展策略

發行人 蔡宗倫  
發行所 財團法人中華顧問工程司  
地址 台北市辛亥路二段 185 號 28 樓  
電話 (02)8732-5567  
網址 <http://www.ceci.org.tw>  
I S S N 1818-4464

編審工作小組

總召集人 鄭運鵬  
副總召集人 黃炳勳

150 期召集人 王子安  
150 期審查委員 陳彥均、范景皓、  
吳錫賢、陳聖堯  
總編輯 陳彥均  
副總編輯 林柏鋒  
企劃 台灣世曦工程顧問股份有限公司  
設計編輯 天下雜誌股份有限公司  
地址 台北市內湖區陽光街 323 號  
電話 (02)8797-3567  
網址 <http://www.ceci.com.tw>

## 封面故事

本期聚焦「AI 驅動系統建置的數位治理」，探討雲端平台與人工智慧技術如何讓台灣基礎建設從被動應變走向主動預判；透過高公局四代交控演進及 AI 技術導入、鐵道雲平台整合與快速公路韌性管理，展現路網治理的智慧化實踐；結合雲林數位孿生與 AI 小智、建國抽水站前饋式自適應控制、高雄多代理人智慧號誌，呈現城市決策邏輯的全面升級；並從 AI 法規趨勢、雲端資安治理與數位決策責任結構，為讀者建立面對 AI 時代的制度思考框架。

## 專題報導

- 038 雲啟智湧—多元資料整合之高速公路事故情境 AI 應用
- 050 標準領航智慧鐵道—建構全國智慧鐵 Tao 中心與鐵道雲 AI 發展藍圖
- 064 鐵道智慧化應用—臺鐵雲平台資訊整合之創新挑戰
- 074 智慧交通韌性管理—快速公路交控發展與展望
- 086 AI 多代理人智慧號誌控制技術之應用經驗
- 100 結合 AI 與數位孿生，打造雲林科技小智
- 120 基於水位變動率之前饋式自適應抽水控制系統設計與驗證

## 科普影音

十大建設後台灣最大公共工程：桃園國際機場第三航廈新建工程  
上有飛機，下有捷運！為了順利施工，還蓋了吊車專用軌道平台！



## 重塑公共工程系統建設決策邏輯

# AI 轉型如何推升服務管理 從應變走向預判

長期以來，鐵公路及城市發展，管理及服務品質迫切提升需求，在資訊分散、分析工具有限的情況下，面對龐大資訊、資訊匯流應用、難以預測等問題，往往缺乏即時且精準的解方。隨著專案規模愈來愈大，複雜度不斷提升，傳統管理模式正逐漸失去效率優勢，而「雲平台+AI」的出現，正為這些結構性問題提供新的解答。

這種轉型並非僅是軟硬體的單點升級，而是透過數據的匯流與標準化，讓過去沉睡在各單位的破碎資料，轉化為具備預測性與連動能力的智慧資產。從高速公路治理、鐵道安全到城市開發，這場由「AI 數據驅動」的數位變革，正持續深入台灣基礎建設的每一處神經末梢。

### 數位感知賦能路網治理，AI 化被動為預判的主動應變

例如，本期人物專訪，交通部高速公路局副局長彭煥儒便分享，透過 AI 數位感知、大數據運算、雲端技術，高公局正化被動為主動，打造具備自主學習能力的智慧雲端路網。

事實上，從 2018 年開始，高公局就整合北、中、南、坪林四區分散式電腦至雲端，作為 AI 運算基礎，並由下而上堆疊的執行策略，核心工作聚焦在壅塞治理、事故偵測，如在易壅塞匝道、地磅站建置「壅堵車流系統」(QLD)，偵測到回堵時自動連動資訊可變標誌(CMS)發布警示，預防後方追撞。

此外，高公局也將傳統影像特徵分析，提升為數位 AI 模型，並導入物件追蹤技術。以北區而言，事故發生後約 1 分鐘即可自動偵測，減少 5 ~ 8 分鐘的人工通報時間，準確率從 80% 到 90%，提升至 98%。目前這套 IID 事件偵測系統已在 17 座隧道導入，預計 2027 年全數國道隧道皆將完成建置，主動鎖定停等、濃煙、散落物、逆行、行人、機車誤闖等高風險行為。此外，高公局也正嘗試將 AI 影像辨識延伸至非隧道的開放路段，主動鎖定事故、停等、散落物、機車誤闖、逆行等高風險行為。

而台灣的電子道路收費系統（ETC），是全球首創的數位收費、多車道自由流系統，也是數位感知的重要管道。彭煥儒指出，該系統每日產生的數百萬筆通行紀錄，偵測率接近 100%，是 AI 預測與分析最重要的依據。高公局更運用移動式測繪車，完成全線超過 6 萬筆基礎設施數位建檔，透過大數據落實預防性養護。

不只是看到車輛，數位感知還能以不同方式「感受」路網狀態。例如，高公局把多元資料整合進高速公路事故情境 AI 應用時，就納入上、下游路段資訊，利用數位感知數據重建物理世界的波動，系統感知到的不再只是單點的低速，而是空間上正在蔓延的「壅塞衝擊波」。

為了讓數位感知所蒐集的數據排除雜訊，高公局還採用數位加權平均，精準提取代表群體行為特徵。在這些量多、品質佳的數據支持下，高公局更具備動態預測能力。

像是在國道 3 號（木柵至龍潭）路段，高公局整合各車道車流量、車速、事故、氣象觀測站、路肩狀態資料，進行多元數據整合，透過大數據與 AI 建立短期交通預測模型，針對未來 15、30 分鐘進行動態預測，不僅可判定壅塞何時達到峰值、何時開始緩解，也能理解同樣的事故規模，在不同天候、道路容量下之回堵擴散情形，這些預測的結果未來可作為匝道儀控策略之前端輸入，結合即時交通狀態與事故影響，動態調整匝道放行率，預防主線壅塞擴散風險。



甚至在鐵路建設中，也有數位感知發揮的空間。交通部鐵道局打造 5G 智慧鐵道的「雲、網、端」架構中，要求末端設備具有標準化資料交換能力的「端」，即是數位感知的發生地。為了實現數據驅動，鐵路沿線、列車上必須佈滿電流、震動、溫度等各種數位感測器，把鐵道物理狀態轉化為數位訊號，進行資訊匯流、資訊分享、輔助決策及數位轉型。

然而，過去受限於網速不足，監視器回傳影片畫質偏低，但隨著 5G 技術到位，系統就能透過 4K 高畫質進行 AI 影像辨識，自動判斷月台是否有乘客不慎落軌，或是施工區是否有非法人士闖入。

正因數位感知蒐集的各項數據派上用場，才能把傳統「故障後維修」轉型為「預測性維護」。以桃園捷運為例，營運可靠度在轉型後大幅提升 7 倍，5 分鐘以上的延誤事件也減少 82%，而透過自動化巡檢，維運人力效能也更有效率。

尤其是地震來襲時，更能看出數位感知技術對鐵路安全產生的效益。透過物聯網技術建立數位感知觸角後，臺灣鐵路公司在雲平台上整合路網圖、軌道路線圖、地理空間資料，並進行時間一致性、資料標準化工序，使資料得以標準化、同步。

因此，當地震發生時，系統偵測地震告警後，會在地理資訊系統 (GIS) 圖台標記震度分布，調度員可直接在圖面上調閱受影響區段的監視器影像，確認路面是否受阻、發生災害。

此外，透過該系統的「全區檢視」視角，調度單位、工務、電務巡查、管理層還可基於同一套地圖語言進行協作，大幅降低溝通成本，使應變流程從告警到巡查回報形成詳實紀錄。

### 數位孿生與雲林小智，將複雜模擬轉化為直觀的決策輔助

AI 除了可以結合數位感知，解決交通行控難題，也可和數位孿生 (Digital Twin) 技術結合，建構和實體城市同步的 3D 數位分身，為民眾、公務單位提供一站式的精準查詢服務，提升行政效能與決策的前瞻性。

雲林縣政府就和台灣世曦工程顧問股份有限公司合作，從坵塊資料蒐集→道路資料取得→容積率資料蒐集→模型風格設定→街道景觀設計→模型成果產製，建立嚴謹流程，目前成果已應用在雲林高鐵特定區、虎尾產業園區、雙語幼兒園興建工程等建設。

如在雲林高鐵特定區，AI 與數位孿生技術結合後，可自動產生不同容積率下的建物模型，縣府決策者能直觀看到區域開發後的天際線、建物密度，評估是否會造成

壓迫感，並進行交通流量與街道設計、日照與陰影分析。

然而，傳統的 GIS、3D 模擬軟體相當複雜，非技術人員難以操作，雲林縣政府和台灣世曦工程顧問運用 Google Vertex AI 架構、Gemini 大語言模型開發的「雲林小智」，把 3D 模型轉化為可被詢問和分析的智慧資訊，使縣府決策從看圖說故事，升級為數據驅動的精準預測。

## 前饋式自適應控制，模擬專家經驗、強化智慧防洪韌性

另外，AI 也能在極端氣候引發的「短延時強降雨」派上用場。相較於過去以固定水位為基準的「階梯式抽水控制」，常因反應滯後，導致排水能量供給不及。有鑑於此，台灣世曦工程顧問在擴建建國抽水站時，提出一套基於水位五分鐘變動率的「前饋式自適應控制」。

這套系統體現 AI 中的專家系統、擬人化決策邏輯，把資深操作員觀察水位漲勢的直覺經驗數位化，以水位變動率作為前饋訊號，使系統具備主動預判、動態調整排水容量的能力。

2024 年 4 月 18 日豪雨事件中，系統成功偵測到水位劇烈變動，主動提前投入排水能量，使前池水位在洪峰期間維持在 1.0m 的平緩受控曲線，優於傳統模式。這種模擬人類經驗、化被動為預判的策略，正是 AI 落實在智慧防洪的體現。

## 從預測邁向自主行動，多代理人強化學習優化路網效能

除了數據→模型→預測結果→人類決策的傳統 AI，具備自主規劃、決策與工具執行能力的 AI 代理人也應用在國內公共工程中。

高雄市建國交流道周邊七處關鍵路口，過去採用的傳統號誌控制面對飽和流量、交互回堵時，較缺乏靈活性，因而導入「多代理人強化學習」，把每個號誌路口設定為一個具備自主決策能力的 AI。這種代理人非但能觀察自身路況，還可和鄰近路口交換資訊，追求「全域路網」，也就是依據即時車流量、車隊長度，自動微調綠燈秒數，回應高度動態的交通環境。

以通行時間來看，導入多代理人強化學習系統後，建國一路平日昏峰改善 16.1%，假日午後雙向改善幅度達 15.3%~27.8%；中正一路平日晨峰雙向改善 6.6%~10.3%，假日上午西向改善 8.8%，顯示這種多代理人強化學習 AI 模型對高變動性的假日時段展現極強調適能力。

## 資安韌性管理，以零信任架構與法治框架守護國家戰略資產

資安也是「AI + 雲平台」的重要課題。台 61 線西濱快速公路全線通車後，已成為台灣西部第三條南北縱貫動脈，而原本委託高公局代管的東西向快速公路，也改接回公路局雲端中央電腦系統，達成統一調度，並和中央氣象署合作，當能見度、風速達門檻時，中央電腦會自動觸發「災害事件反應計畫」，透過資訊可變標誌發布降速、封閉管制資訊。

為了確保資安無虞，該系統也採用「零信任架構」，針對政府 A 級規範導入身分、設備鑑別和信任推斷，並利用虛擬化、容器化技術隔離服務，解決軟體更新與測試時的連動風險。

財團法人電信技術中心執行長、國立臺灣科技大學資訊工程系教授鄧惟中直言，未來的雲端資安戰場是「防止系統失控」。因此，資安合規不再是勾選 Checkbox 的行政程序，而是針對國家級戰略資產——模型與算力的攻防戰。

因此，去年年底通過的《人工智慧基本法》，對醫療、自駕、金融等高風險應用採取嚴格驗證，也明定國科會擔任 AI 監理的統籌，避免過去各局處監管權責不明確



的窘境，也為未來的資安環境打下更扎實基礎。

## 數位治理再定位，建立以人為核心的理解、判斷與責任結構

從以上各案例不難發現，AI 正持續擴張，並深度介入決策。淡江大學資訊工程學系專任特聘教授張志勇、兼任講師黃子嘉建議，有效的數位治理，應該從「結果控管」轉向「過程治理」，打造可信任的制度環境，決策過程需紀錄 AI 介入程度與數據來源，並明確界定「不得完全依賴 AI」的情境，而績效評估也應從速度、產量，轉向批判能力、風險意識審查。

但最重要的是，確保人在任何關鍵節點，都不會被排除在理解與判斷之外，而理解脈絡、影響與價值判斷，則是人類不可外包的能力。

AI 引領公共工程系統建置從「經驗輔助」轉向「智慧治理」的過程中，顯示數據的價值已從單純的紀錄，演進為能預測、能決策的行動能量。然而，科技始終應服務於人，在追求效率提升的同時，建立透明且負責的治理機制，確保人在決策節點的實質參與，才能實現安全、穩定且具溫度的數位未來。



# 四代交控演進， 高公局如何以 AI 智慧賦能



## 專訪交通部高速公路局 彭煥儒副局長

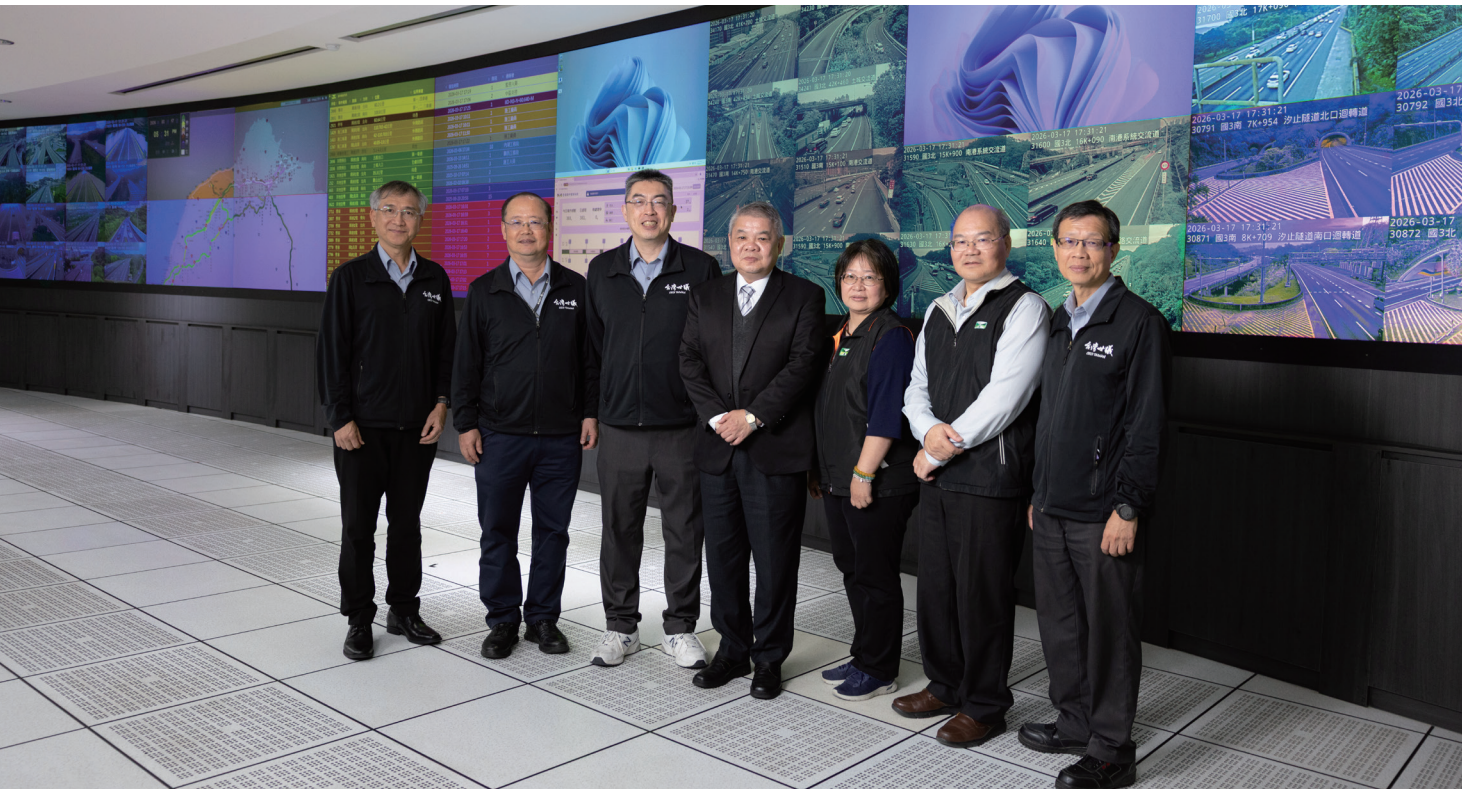
現代人開車出遠門最想知道的資訊就是現在高速公路車況如何？我要花多久時間才能下交流道？我應該走哪一條國道最節省時間？因應科技進步，透過 AI 數位感知、資料蒐集與運算等技術，高速公路局已可明確地提供這些資訊給用路人知曉，而這些現代人看似再平凡不過的旅行日常，其實是高公局歷經四代的交控系統演進才逐步落實。

隨著國道 1 號、3 號、5 號通車，及這 3 條國道延伸路段的新建，高速公路已形成總計超過 1,000 公里的交通路網，加上全台灣交通量攀升，及極端氣候增加道路行駛風險因素，「高公局傳統採取的被動反應式交通管理模式，已無法滿足用路人對取得精準資訊的需求，」高速公路局副局長彭煥儒指出。

回想在過去，高公局都是被動式等待用路人主動告知哪一個路段塞車，或有交通事故後，再統整訊息轉達給其它用路人。雖然上述模式依然存在，但高公局現在化被動為主動，以第四代交控雲端平台為基礎，主動提供智慧偵測、AI 運算、即時預測與告知等服務，並整合大數據與 AI 預測模型建構出一個具備自主學習能力的智慧雲端路網。

### 交控系統歷經四代演進

整體而言，高公局的中央交控系統就是治理高速公路的大腦，「其主要目標是追求安全、順暢與智慧化，」彭煥儒指出，其中，彭煥儒強調安全最重要，「有時為了安全，犧牲一點順暢是必要的。」



交通部高速公路局彭煥儒副局長(中)與世曦團隊合影於交控中心,共同推動台灣高速公路智慧化治理升級



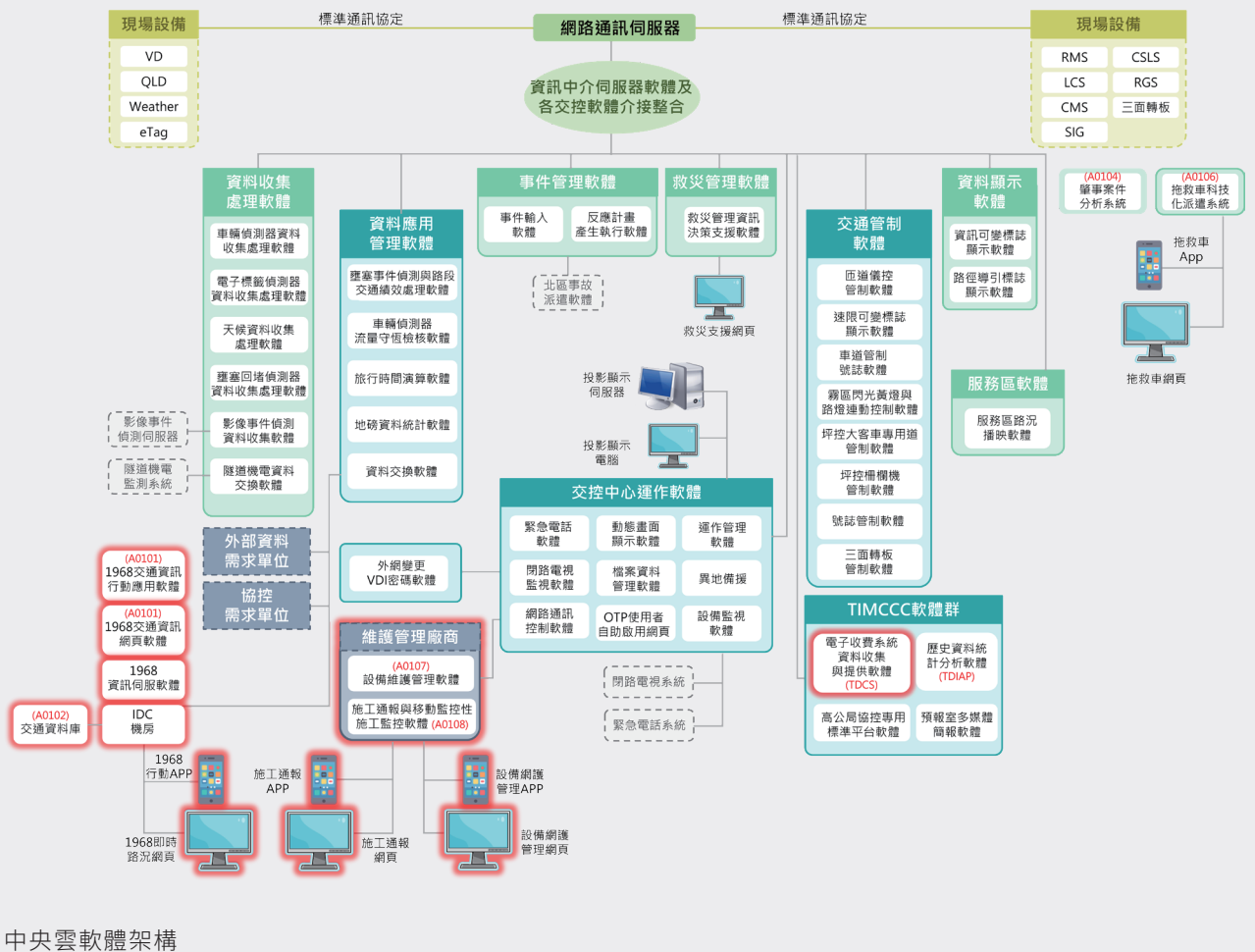
國道交通數據智慧分析平台 (TDIAP) : 匯聚電子收費 (ETC) 與交控系統之巨量數據, 提供數據 API 服務, 讓高公局能透過「即時決策儀表板」精準掌握國道脈動

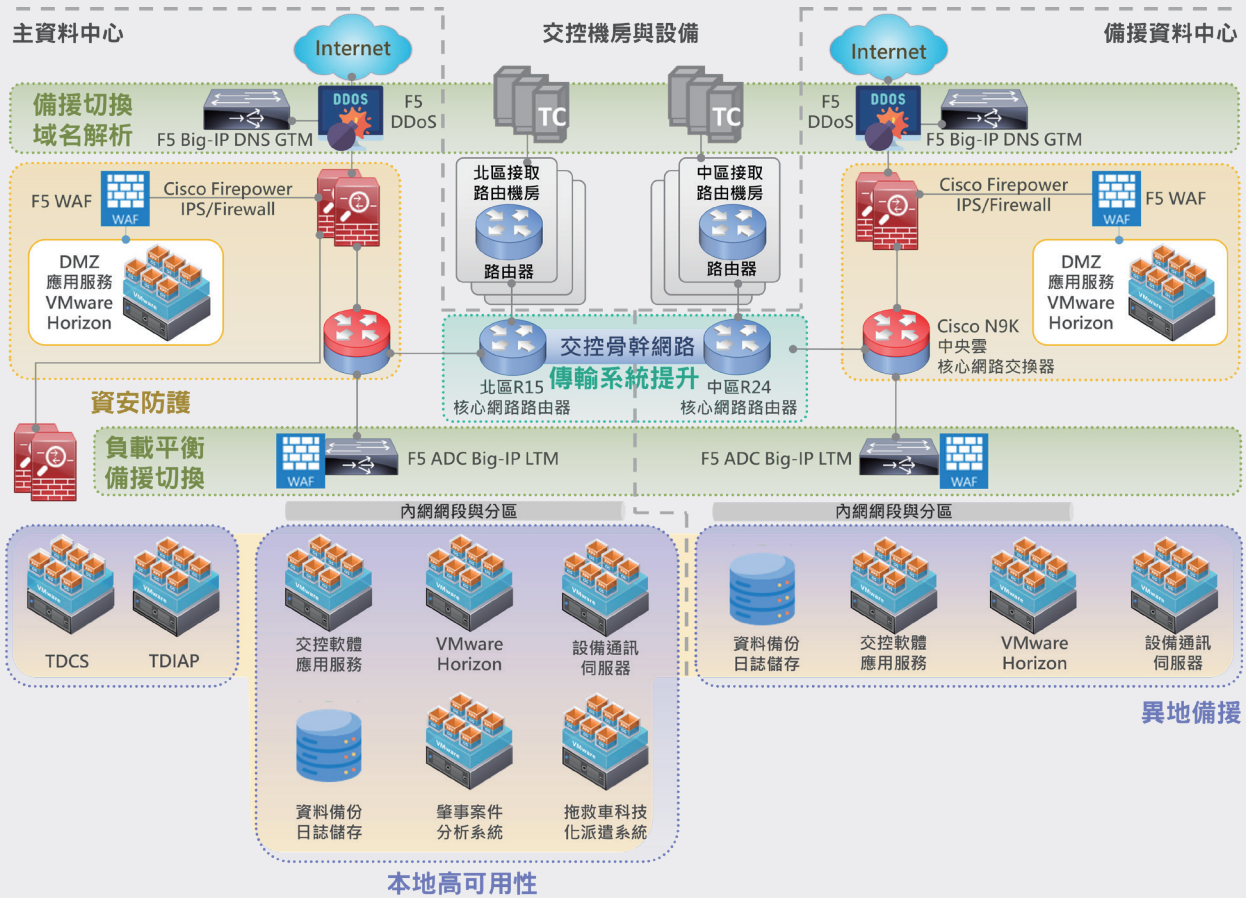
為落實這三項目標, 高公局已在 2022 年 8 月完成第四代的交控系統與今年完成國道交通數據智慧分析平台 (TDIAP), 運用 AI 技術把這顆高速公路資訊決策大腦訓練得愈來愈智慧。但其實高公局交控系統歷經了四代演進過程, 如下:

1980 年代啟動第一代交控系統，高公局主力在建立基礎的交通系統監控能力，從國道 1 號基隆到楊梅路段為起點，首次導入 CCTV（Close-Circuit Television，閉路監視系統）、可變標誌、資訊蒐集與中央電腦等相關設備，這是台灣交控系統的起步階段。

1990 年代啟動第二代交控系統，隨著國道 3 號及多條東西向國道陸續完工，高公局必須面對超過 1,000 公里的公路網管理，這階段因應科技進步，高公局開始引入智慧交通管理概念，從整合更多交通偵測與管制設備著手，並建立更完整的大數據資料庫，促使第二代交控系統變成更準確、更具管理效率。

2010 年代啟動第三代交控系統，這階段隨著東西向 12 條快速公路與台 61 線陸續通車，高公局也正式建立高快速公路整體路網管理概念，並成立 TIMCCC（交通資訊管理及協調指揮中心），從此奠定了全路網「資訊集中、分區控制」的管理架構基礎。





中央雲硬體架構

2018 年代迄今，高公局建立了中央雲，啟動第四代交控系統，治理主軸從 ITS 智慧交通系統 (Intelligent Transportation System) 走向 CITS (C+ ITS) 概念，C 意指 Cooperative，也就是協同，「但主要關鍵在於跨機關、跨資訊、人與車的整合，」彭煥儒指出，於是高公局將原本北、中、南、坪林等 4 區分散式中央電腦，統一整合為雲端化中央電腦系統，成為高公局進行 AI 運算、資料交換與智慧化管理的重要基礎。

### 智慧化壅塞治理，提供即時訊息

進入第四代交控系統後，彭煥儒指出，高公局推動智慧交通主要從 5 個層面逐步堆疊出執行策略，由下往上為感知層、傳輸層、運算與數據層、治理與執行層與服務層，每一層各有不同核心工作與目標。

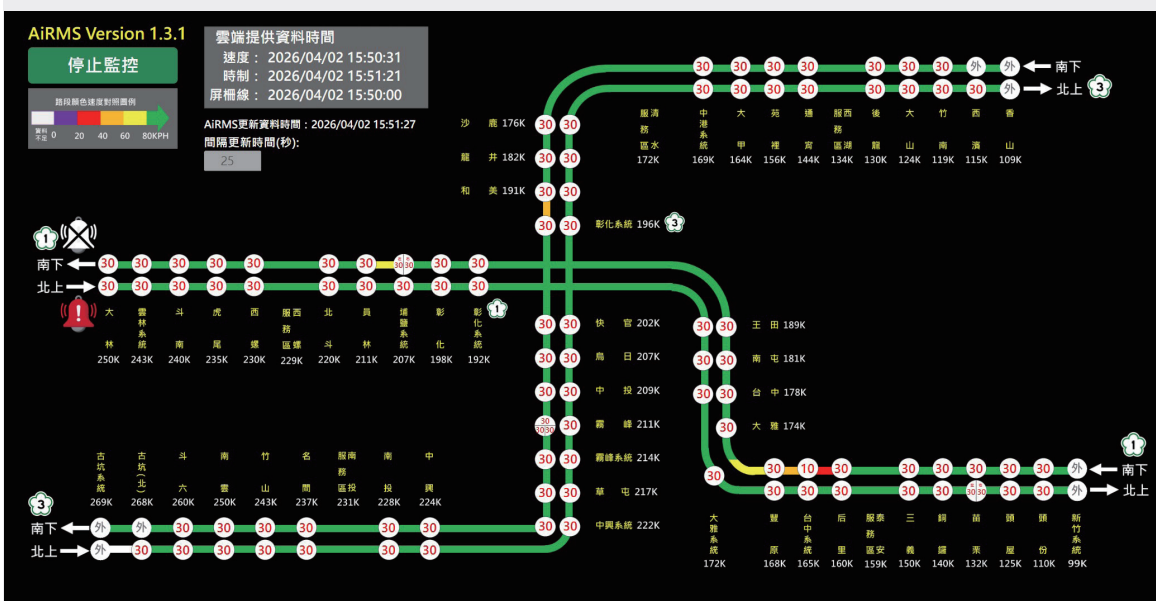
但貫穿這 5 個層面的兩大核心工作是壅塞治理，及事故快速偵測與處理。以壅塞治理來看，現在人們在國道上開車，隨意抬頭看高架可變標誌，就能輕鬆獲知哪些路

段正在塞車、目前車速多少，及預測到某交流道還需多久時間等資訊，而且這裡顯示的預測準確率極高，彭煥儒笑說：「通常用路人若知道更多訊息，就變成可預期狀態，碰到塞車的心情也會好一點。」

為了做到偵測、運算、預測、告知等動作，在平日，高公局會利用 CCTV 進行即時路況監控，也會在易壅塞的匝道與地磅站建置 QLD（壅堵車流系統，Queue Level Detection），當偵測到車輛回堵時，就會立即自動連動周邊可變標誌，發布警示以防後方車輛追撞。

在假日，高公局會進行 AIRMS（智慧化匝道儀控），包括高公局中區的動態規則庫整合 CNN 與 LSTM 雙神經網路，路況預測正確率可達 97%，這套系統還具備自學能力，可根據路況自動再學習，不用人工操控就能產出最適當的儀控時制。同時，高公局中區的施工與壅塞車流平台，也會透過視覺化水波圖演算施工道路封閉後的服務水準，目前累計已節省用路人 8,524 小時的旅行時間，並減少百萬元的無效成本。

另外，每當假日，國道 5 號與雪山隧道必定塞車，高公局也會進行智慧偵測，並智慧計算雪隧即時剩餘容量，再連動上游儀控進行調度，防止一次太多車輛湧入雪山隧道，彭煥儒也指出，隧道的事故處理比起一般道路更複雜，智慧交控也可縮短事故處理與排除時間。



假日運作之 AIRMS（智慧化匝道儀控）系統介面



匝道儀控號誌燈現場照(車輛排隊管制中)

## 智慧化事故偵測，加快處理速度

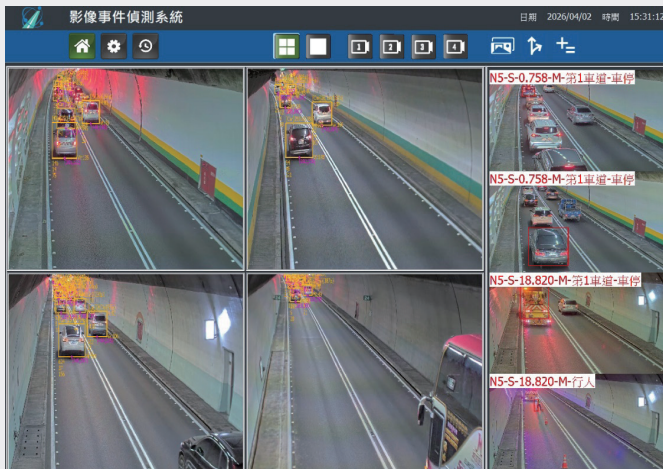
在事故快速偵測與處理上，現在走進高公局的交控中心，偌大的電視牆可以看見所有國道即時路況，除了車輛來來往往，也常上演一幕又一幕的交通事故情節，包括故障車無預期停在路中間等，這些畫面都是既即時，又清楚，「連用路人的面孔都可清楚辨認，」彭煥儒指出。

即時事故智慧偵測，不僅可讓高公局在第一時間掌握所有狀況，還能快速處理事故並排除障礙，過去，每當事故發生會造成多大影響通常難以預測，現在，透過大數據資料庫的 AI 智慧運算，高公局已能預測事故會造成哪些路段回堵、預計處理多久時間等資訊。

為此，高公局還將 IID 事件偵測系統 (Incident Information Detection)，從以前的類比影像特徵分析提升為數位 AI 模型，並導入物件追蹤技術，目前國道 3 號與國道 5 號都在陸續汰換，預計在 2027 前全數完成。同時，高公局正在嘗試運用 IID 針對非隧道的開放路段透過 AI 影像辨識，主動鎖定停等、逆行、機車誤闖等高風險道路行為，增加道路使用安全。

以成果來看，北區 IID 現在對於事故發生大約 1 分鐘，系統就會自動即時偵測到狀況，可減少 5 到 8 分鐘的等待通報時間，準確率也已由 80% 到 90%，提升至 98%，系統還會將同一事件告警歸整，降低重複告警，目前已有 17 座國道隧道導入這項 AI 技術，預計在 2027 年前所有國道隧道都將裝置 IID 功能。

高公局多管齊下以減少交通事件帶來的影響，譬如高公局分析了中區路段 183 件施工追撞事故，從中標定出 76 處高風險路段，再將複雜的數據轉化為 Google 地圖 KMZ 檔與故事繪本，製作出高風險彎道地圖，以警示用路人。



IID 後台事件偵測介面，立即偵測隧道內壅塞情況

同時，過去碰到交通事故，高公局都是用人工電話通知拖救車處理，這不僅搶救時間會拖得比較長，位置說明也可能不夠準確。現在，高公局改採手機 GPS 定位技術，道路感知設備會先偵測出事故位置，系統就會自動計算出距離最短，或可最快到達的派車名單，將救援效率最大化。

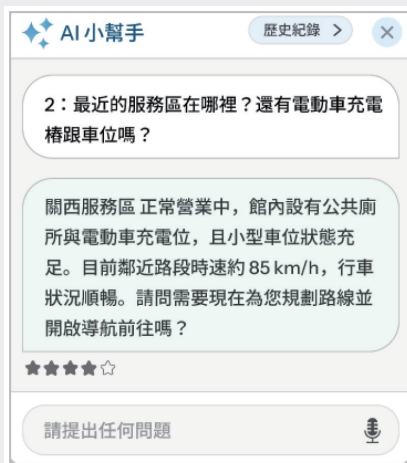
## 智慧化傳播，讓路人一鍵掌握資訊

在交通管理中，資訊對用路人的價值也日益重要，智慧偵測、預測之後，讓用路人明確獲知即時資訊也是提升交通管理效率的關鍵，為此，高公局也正積極建構與民眾溝通的多元管道，甚至跨機關部門合作，期望讓交通資訊可以更完整、更快速地傳達給需要的人。

譬如高公局開發出 1968App，在今年農曆春節期間有超過 100 萬次點閱數，在 1968App 上，民眾不僅可聯絡客服、警政報案，更重要是可獲知即時路況、即時影像與替代道路等資訊，一鍵即可掌握所有國道用路資訊。

其中，當你遇到車子故障無法行駛時，利用 1968App 聯絡客服，高公局就會開始全程監護模式，如同搭 Uber 一樣，1968App 會告訴你派出哪一台拖救車、多久會到、預計行程、預計費用等，還有報案三聯單，「目的就是快速幫助人與車移離開事故現場」彭煥儒直言。

目前 1968App 也正在導入 LLM（大型語言模型）與 RAG 技術，未來民眾只要以自然語言詢問，AI 即可整合即時路況給予用路建議。同時，1968App 也正以國道 5 號為試辦場域，導入更細緻的車道化績效，讓用路人可以更直觀、更方便地檢視路況，並選擇最佳行駛車道。



AI 路況幫手介面。未來民眾只要以自然語言詢問，AI 即可整合即時路況給予用路建議

## 智慧化資料庫，提升預測能力

建立大數據資料庫是成就智慧交通的關鍵一環，高公局除了已在高速公路廣設感知設備以搜集資料之外，ETC 也提供完整的大數據基礎，ETC 每天都會產生數百萬筆的通行記錄，包括哪台車從哪裡上高速公路、哪裡下交流道等，偵測率接近百分百，這也是高公局發展 AI 預測、壅塞分析、事件判讀的重要依據。

ETC 是全世界第一個做到全線數位收費，且全路網、多車道自由流的國家，車輛只要貼上 eTag 貼紙，駕駛人行駛國道不必停車、不必減速就能完成過路繳費，而且走多少、付多少，一方面落實道路公平使用原則，另一方面，ETC 大幅提升道路順暢效益。

如今隨著車聯網、自動駕駛日益盛行，高公局正在超前部署下一代交控系統，未來不管是道路偵知、壅塞治理、事故處理都將更智慧化，「因此，所有建設與裝置預留通訊與電力空間是一大關鍵，」彭煥儒指出。

此外，高公局的道路維護也將朝向智慧監控發展，並從被動維修轉向主動式預防性養護，高公局已運用移動式測繪車完成全線 6 萬多筆基礎設施的數位建檔，並導入自動化巡查與大數據分析，如此將可精準掌握每一路段狀況，以落實對的時間、對的地點、對的方法來進行道路養護。展望未來，高速公路推動智慧交通將更全面、更準確，而目標始終是安全、順暢、智慧化。



# 雲境重生的安全治理—— AI 法規與雲端資安的未來

## 關鍵詞 Keywords

# 基礎模型／生成式 AI 監理 Foundation Model / Generative AI Regulation

# 雲端治理 Cloud Governance

# 中介監管者 Regulatory Intermediaries

國立臺灣科技大學  
資訊工程系

教授  
鄧惟中

近年，人工智慧（AI）技術快速發展，從機器學習到生成式 AI，已全面改變數位產業的運作模式。在多數情境中，AI 的運算、模型訓練與服務部署皆高度依賴雲端基礎設施，使得雲端服務從單純的運算資源提供者，逐漸轉變為 AI 產業的重要治理節點。隨著各國陸續制定 AI 相關法規，雲端服務商不再只是技術平台，而必須承擔更高層次的合規責任與風險管理角色。本文從三個面向分別說明：AI 如何改變雲端產業樣貌、國際與國內法規趨勢，以及這些法規對雲端治理與雲端資安的影響。

## 壹、AI 的發展如何改變雲端服務的樣貌

### 一、作為運算資源的雲端服務

傳統認知的雲端服務，透過大量運算、儲存與網路等基礎資源，提供運算資源服務化、彈性擴展以及集中化管理等核心價值，也就是一般熟知的 SaaS、PaaS，與 IaaS 模式。由於雲端服務的常見型態就是共享，因此自雲端服務的發展初期，所有調查都顯示資訊安全是最被客户重視的議題。

作為基礎的資安功能，雲端服務必須保障所有客戶在共享資源的同時，透過虛擬化技術達到安全隔離的效果。虛擬化環境中的身分與存取控制 (Identity and Access Management) 是確保雲端



與虛擬機安全的核心，一般的做法是透過集中化管理數位身分，依據使用者角色 (Role-based Access Control) 與最小權限原則，精確控制使用者或服務對虛擬資源的存取。

在 B2B 市場方面，雲端服務供應商 (Cloud Service Provider, CSP) 還必須在 SLA (Service Level Agreement) 中保證高可用性與營運韌性，例如多區域部署與備援、災難復原時的恢復時間目標 (Recovery

Time Objective) 和恢復點目標 (Recovery Point Objective) 等。

因此，過去的雲端資安主要聚焦在資訊安全管理、隱私保護、服務可用性與營運控制這三個面向。一個 CSP 基本上必須通過 ISO/IEC 27001、27017 和 27018 這些國際資安標準的第三方驗證來獲取外界信任，其中 27017 定義雲端專屬的加強型安全控制措施，而 27018 則提供公有雲的資安與個資 (personally identifiable

information) 的保護指引。更具規模的 CSP 則會更進一步取得雲端安全聯盟 (Cloud Security Alliance, CSA) 的 CSA Star 第三方 (Level 2) 認證。該認證的基礎 Cloud Controls Matrix (CCM) 定義了雲端資安控制框架，在產品透明度、API 管理層面 (control plane) 保護等有更為明確的要求。

## 二、雲服務轉變為 AI 平台

生成式 AI 的出現，大幅提高了人類的生產力與邏輯推演能力，這個加速不僅在寫作、翻譯、繪圖、影音等創作活動，更包含軟體開發、資料整理與分析等傳統上高人力成本的專門作業。

首先，在技術層面，生成式 AI 承襲自機器學習，高度依賴大規模運算與儲存資源來進行模型的訓練與推論，而配置 GPU、TPU 與專用 AI 加速器的雲端平台，可以讓企業與開發者無需自行建置昂貴的本地環境，即可透過雲端取得模型存取、微調與推論能力。

其次，談到服務模式方面，雲端業者由單純提供基礎設施 (IaaS)、平台服務 (PaaS)，逐步轉變成提供模型服務 (Model as a Service, MaaS) 與生成式應用平台。這個新型態服務讓企業可直接選用大型語言模型、多模態模型或領域專用模型，並透過 API 整合至其業務流程，使雲端服務從運算資源轉型成為 AI 原生雲 (AI-native cloud)。

目前主要 CSP 都已推出成熟的市場商品，如 Microsoft 在其雲平台上提供 Azure OpenAI Service，讓企業可安全地使用大

型語言模型並結合企業內部資料進行應用開發；Amazon 推出 Amazon Bedrock，提供多家模型供應商的基礎模型選擇與統一的 API 介面，支援客製化與部署；Google 則透過 Vertex AI 提供生成式模型管理、微調與應用整合功能。雲端業者提供的預訓練模型、API 介面與生成式 AI 服務，包含資料標註、模型版本管理、模型監測與風險控管等功能，形成完整的機器學習維運 (Machine Learning Operations, MLOps) 生態。

## 三、AI 平台的風險與治理

當雲端平台成為 AI 的運行載體，自然也被動的承接了外界對於 AI 治理的期待，與來自政府的監理要求。首先，生成式 AI 帶來的變化，以及生成式 AI 本身進化的速度，讓各國政府都視其為影響國家競爭力與產業發展的關鍵戰略技術。因此，算力 (常以 GPU 作為單位) 成為競爭資源，而提供算力的雲端平台，自然也無法排除成為這個資源爭奪戰略下的納管對象。

此外，在安全與隱私層面，模型可能因訓練資料或提示輸入而洩漏敏感資訊，並面臨對抗式攻擊、提示注入 (prompt injection) 或模型竊取等威脅，影響系統完整性與機密性。再者，在倫理與社會面向，需防範 AI 被濫用於製作深偽影像、詐騙訊息或大規模操縱輿論。

在此背景下，雲端平台的角色已由單純的基礎設施提供者，轉變為 AI 治理的關鍵控制點 (control point)。除提供運算與儲存資源外，雲端業者亦需建立使用者身分管理、資源使用監測、模型與資料存取控管，以及內容安全與濫用防制機制，以回

應來自科技競賽、資安、隱私、內容治理與社會風險等各種監理需求。

## 貳、近年 AI 法規與雲端資安發展趨勢

### 一、歐盟

#### (一) 人工智慧法 (Artificial Intelligent Act)

歐盟的《人工智慧法》被視為目前全球最完整且具體的人工智慧治理框架，其設計理念在於以風險導向方式，確保創新發展與公共安全之間取得平衡。該法規的核心架構採取分級管理機制，依據 AI 系統應用情境 (use cases) 可能對個人權利與社會安全造成的影響程度進行分類。

對於被認定為「不可接受風險」的應用，例如大規模即時生物識別監控或操控人類行為的系統，原則上予以全面禁止。屬於「高風險」類別的 AI 系統，如應用於關鍵基礎設施、醫療、教育、就業或金融等領域者，則必須遵循嚴格的合規要求，包括資料治理、風險管理、可追溯性、人工監督以及資安與品質管理機制。至於一般用途的有限風險 (limited risk) 或最小風險 AI，則主要透過透明化義務進行管理，例如要求 AI 應確保使用者知悉其正在與 AI 互動。

在生成式 AI 與基礎模型快速發展的背景下，該法亦特別納入對通用型 AI 模型的監管要求。通用型 AI 模型並不限定應用場景，並且可能透過 API、平台服務或再訓練等方式提供下游整合的可能性。相關規範包括揭露訓練資料來源的摘要資訊、遵循著作權與資料使用規範，以及對模型能

力、潛在風險與系統性影響進行評估與管理。此外，業者須建立適當的技術與治理措施，以降低被用於錯誤資訊、深偽內容或其他濫用情境的可能性。

除了依應用情境分類，《人工智慧法》第 51 條中還定義了具備系統性風險 (systemic risk) 的通用型 AI。其判斷標準主要與模型規模與能力相關，例如訓練所使用的累積計算量是否超過特定門檻 (目前以浮點運算量約  $10^{25}$  FLOPs 作為參考指標)，或是否在主管機關的能力評估中顯示出可能對公共安全、資訊環境或經濟運作具有重大影響力者。為了管控風險，執行這類模型運算的雲端業者被課予更多義務，包括模型能力與風險評估、紅隊演練 (red-teaming)、事件通報、網路與資安防護，以及更嚴格的技術文件與治理機制。

《人工智慧法》尚有一項重要特色：供應鏈責任的制度設計。該法並未僅將責任限於模型開發者，而是將義務延伸至平台提供者、系統整合商與實際部署與營運的組織。各參與者須依其角色承擔相應的合規與風險管理責任，形成跨生命週期的治理架構。透過此種全鏈結責任模式，歐盟試圖建立一個可追責且可持續運作的 AI 生態體系，也就是對「AI 系統全生命週期」的監理框架。

從時間軸來看，歐盟的《人工智慧法》草案於 2021 年 4 月提出，2024 年 3 月通過並分階段生效，時間上並不算早，但其立法過程較為完整且審慎，因此就法遵意義上具有最高的參考價值。

## (二) 網路與資訊安全指令 2.0 (Network and Information Systems Directive 2, NIS2 Directive)

歐盟的 NIS2 指令旨在提升歐盟整體網路安全水準，各成員國需在 2024 年 10 月 17 日前將其納入國家法律。該指令相較於 NIS1 顯著擴大了管轄範圍，納入能源、運輸、金融、健康、數位基礎設施 (digital infrastructure)、公共行政等更多關鍵產業。它實施更嚴格的資安風險管理、事件報告義務，並引入針對未遵守企業的「高階管理人員責任」。在附錄中，Cloud computing service providers 和 Data centre service providers 都被列入數位基礎設施清單。

## (三) 網路安全法 (Cybersecurity Act, CSA)

歐盟《網路安全法》於 2019 年通過，其核心目的是強化歐盟網路安全局 (ENISA) 的權限，並建立一個統一的歐盟網路安全認證框架 (EU Cybersecurity Certification Framework)。這個框架中，最重要的子計畫之一稱為 EUCS (European Cybersecurity Certification Scheme for Cloud Services)，旨在消除各成員國之間零散的認證標準 (如德國的 C5 或法國的 SecNumCloud) 以實現「一處認證，全歐通行」。然而，目前最高等級 (High) 的部分條文因涉及政治爭議，整體尚在最終制定階段，但未來可能成為歐盟市場採購與合約的重要門檻。

## 二、美國

美國尚未有統一的 AI 專法，但透過多項政策形成治理架構。相較於多國組成、在性

質上更重視安全與人權保障的歐盟，美國的態度更在意國家安全與科技競爭力。同時，美國的 AI 政策也受到政權更替的影響而呈現不同的 AI 治理態度。

## (一) AI 擴散架構 (Framework for Artificial Intelligence Diffusion)

在拜登政權卸任的前幾天，美國商務部工業與安全局公布了這個聯邦行政法規，該法規將拜登總統時期小院高牆 (small yard, high fence) 政策更進一步的推行到全球三層規管架構。原本的政策只是針對特定科技領域，設定高度障礙來打擊競爭對手中國的推進速度，而這個行政法規直接將全世界國家設定為三個等級 (Tier 1, Tier 2, Tier 3)，分別表示對競爭科技不設任何限制、設定若干限制、以及原則排除的三種不同待遇。這三個等級的清單完全依據美國的戰略需要而決定，用以確保美國及其盟友國家能在競爭賽道上保持領先。受到管制的除了代表算力的 GPU 外，還包含模型權重。由於模型權重是訓練後得到的參數值，因此也有人視為可攜帶的模型能力本體。

原本野心龐大的這個架構在 2025 年 5 月被川普政權撤銷，理由包含監理規則過於複雜難以執行外，還有過度規管，抑制創新。相對的，川普總統提出了他自己的規劃。

## (二) 美國 AI 行動計畫 (America's AI Action Plan)

川普總統在二度上任後，很快頒布了行政命令 14179，隨後根據這個命令的執行再度頒布美國 AI 行動計畫。在這份文件中，

川普政權對 AI 的態度從拜登時期的「風險緩解」徹底轉向「產能霸權」。該計畫的核心邏輯在於：美國必須透過解除監管與強化基礎建設，確保在 AI 競賽中獲得絕對領先。對於雲端服務商（CSP）與資安治理而言，這帶來了兩大關鍵轉變：

### 1. 雲端基礎建設的「戰略脫鉤」與擴張

計畫中的第二大支柱「建設美國 AI 基礎設施」明確要求簡化資料中心（Data Center）的聯邦許可程序。這意味著雲端治理的重點從軟體的合規性檢查，轉向硬體資源的快速擴張。為了確保美國在 AI 科技的領先優勢，川普政權推動「美國 AI 技術出口」，將美國的雲端硬體與模型捆綁輸出給盟友，形成一套以美國為核心的雲端治理標準，藉此在物理層面封鎖敵對國家的算力路徑。

### 2. 資安治理的「實務化」：聚焦漏洞而非內容

在資安方面，川普 2.0 廢除了拜登時期關於 AI 社交風險（如歧視、偏見）的審查要求，將重點限縮於核心資安防護。計畫要求建立「AI 資訊分享與分析中心（AI-ISAC）」，專門針對雲端環境下的資料投毒、對抗性攻擊與系統漏洞進行即時情資交換。對雲端商而言，治理義務從「監控模型說了什麼」轉向「確保模型不被攻破」。這種思維強調「安全源於設計（Secure-by-Design）」，並要求美國網路安全暨基礎設施安全局（Cybersecurity and Infrastructure Security Agency, CISA）針對關鍵基礎設施的 AI 應用建立具體的漏洞管理標準，取代過去較為寬泛的倫理指南。

## 三、我國的政策進展

隨著 2025 年底立法院三讀通過《人工智慧基本法》，臺灣已正式將 AI 發展與治理納入國家法制框架。這部法案不僅定調「以人為本」的發展方向，更深刻影響國內雲端產業與資安合規的格局。

### （一）主管機關確立與戰略協調

法案明確指定國家科學及技術委員會為中央主管機關，並要求行政院成立「國家人工智慧戰略特別委員會」。這賦予了臺灣 AI 治理一個清晰的對接窗口以及最高層級的協調平台，統籌雲端基礎建設、資料共享與資安標準。

### （二）風險分級與「抓大放小」原則

參考歐盟經驗，法案確立了「風險分級框架」。針對醫療、自駕車或關鍵基礎設施等「高風險應用」，政府將實施嚴格的事前驗證與責任歸屬機制；而對於一般商業雲端應用，則採納美國式的彈性監理，透過指引與自律規範保留創新空間。這種分級治理模式讓雲端業者必須對客戶的應用場景進行初步的風險評估，以符合法律對「安全與問責」的要求。

### （三）強化資料治理與資安防禦

法案特別強調「隱私保護」與「資安防護」兩大核心價值。政府將建立資料開放共享機制，並推動隱私增強技術（PETs）的應用。在雲端資安合規方面，法案鼓勵開發者落實安全設計，並針對 AI 系統可能造成的生命或財產損害，建立了救濟與補償機制。

## 參、AI 規管如何影響雲端產業自律與資安合規

要探究 AI 運用型態的改變如何影響雲端產業的合規要求，不妨參考 AI 治理中心 (Centre for the Governance of AI) 在 2024 年發表的白皮書：Governing Through the Cloud: The Intermediary Role of Compute Providers in AI Regulation。白皮書的核心邏輯在於將「算力」視為 AI 治理中唯一具有可觀察性與實體控制權的槓桿。相較於易複製的代碼，雲端基礎設施是高度集中的實體資源，這使得雲端服務商 (CSPs) 在法規演進中被賦予四種關鍵的中介職能：核驗者 (Verifiers)、紀錄保存者 (Record Keepers)、安全保障者 (Securers) 與執行者 (Enforcers)。這套框架正從根本上改寫雲端產業對於自律與資安合規的定義。

首先，規管機制要求業者扮演核驗者，直接衝擊了長期奉行的「責任分擔模型」。過去，業者通常對客戶的運算內容保持技術中立，但現在必須建立深入業務層級的 KYC (認識你的客戶) 機制，主動核實大規模算力租借者的身分與研發意圖。這使得合規審查從單純的技術文件簽署，演變為具備調查性質的盡職調查。隨之而來的是紀錄保存者的職能，業者必須對「算力遙測」進行精細化監控，詳實紀錄訓練任務的計算量是否觸及安全紅線。這要求業者開發深層的審計工具來追蹤資源流動，使資安合規從邊界防護擴展到了全時段的算力透明度監測。

然而，在強化監理的同時，業者更必須承擔起安全保障者的重任。隨著 AI 模型成為國家級戰略資產，雲端業者必須確保極

其脆弱且價值連城的「模型權重」不被竊取。這迫使產業自律轉向硬體層級的信任根 (Root of Trust)，例如推廣機密運算 (Confidential Computing) 與可信執行環境 (TEE)，確保即使是內部維運人員也無法窺視運算內容。資安合規的本質在此演變為一場針對國家級威脅的防禦戰，必須從晶片指令集到物理設施存取控管進行全方位的加固。

最後，最具強制性的職能在於執行者的介入。白皮書論證了業者在發現違規行為時，具備「物理斷電」或限制存取的最終權力。這種規管邏輯將雲端業者的服務契約轉化為行政執法的延伸，要求業者在偵測到特定惡意模式時必須主動阻斷。對於雲端產業而言，資安合規已不再僅是「保護客戶資產」，而是為了確保基礎設施在面對地緣政治風險時的「可控性」。這四位一體的職能轉變，宣告雲端業者已從單純的工具提供者，正式成為全球 AI 治理體系中不可或缺數位海關。

## 肆、結語

AI 技術的推展、應用型態的轉變以及相關法規的制定，正在重新定義雲端服務的角色。當歐盟以《人工智慧法》立下人權與合規的嚴苛標竿，美國則透過行政命令強化算力監控與國安紅線，這不僅是法制的競爭，更重新定義雲端基礎設施的戰略地位。雲端產業的演進不再僅由技術定義，更取決於其在複雜地緣政治中落實治理與透明度的能力。

對使用者而言，雲端治理已成為風險控管的先決條件，唯有深諳合規邏輯才能在高度監管的未來生存；對產業而言，建立超

越傳統框架的自律與治理架構，不僅是為了符合法律義務，更是 AI 時代贏得市場信任、在美歐法制夾縫中實踐永續發展的核心競爭力。

## 參考文獻

1.Omdia, Complete Survey Results: The State of Cloud Security: Navigating Security Offerings From Cloud Service

Providers and Security Vendors (2025.11) .

2.The White House, America's AI Action Plan (2025.7) .

3.Centre for the Governance of AI (GovAI) , Governing Through the Cloud: The Intermediary Role of Compute Providers in AI Regulation (2024.3) .



# AI 革命帶來的挑戰 與數位治理發展策略

## 關鍵詞 Keywords

- # 生成式人工智慧 Generative Artificial Intelligence
- # AI 治理與控管 AI Governance and Control
- # 決策可解釋性 Decision Explainability
- # 數位轉型治理 Digital Transformation Governance

淡江大學  
資訊工程學系

專任特聘教授

中華民國產業發展聯合總會  
台灣產業 AI 轉型學院

院長

張志勇

淡江大學  
資訊工程學系

兼任講師

黃子嘉

生成式人工智慧正快速進入組織的分析、報告與決策流程，使人工智慧從輔助工具轉變為實際影響判斷的參與者。多數組織在享受效率提升的同時，卻逐漸出現一種隱性的結構風險：決策內容部分由模型生成、人類僅負責採用與確認。決策看似更快，實際上責任鏈正在鬆動，判斷依據也愈來愈難被清楚說明。

一旦錯誤被放入正式文件或策略流程，往往難以追溯來源，制度信任與決策品質因而受到侵蝕。生成式 AI 帶來的真正衝擊不在技術本身，其可歸納為責任分散、思考模式轉變、合理性表象掩蓋錯誤，以及制度仍假設人全程掌握決策等面向。

為回應此一變化，本文提出數位治理需從結果控管轉向過程治理，強化決策歷程可追溯性，建立人機協作的責任分層制度，並將判斷品質與風險意識納入組織評估。同時，教育體系與公部門應率先建立透明的 AI 使用規範，確保人在理解與選擇的關鍵節點仍具實質角色。

本文主張，未來組織的競爭力不僅取決於導入多少 AI，同時也取決於是否能在高度自動化環境中，仍維持清晰的責任結構與可信賴的判斷機

# 生成式AI與數位治理



制。數位治理的價值，即在於讓效率提升不以決策穩定性為代價。

## 壹、從工具到代理：生成式 AI 對人類思考與角色的轉變

過去十餘年間，人工智慧的發展速度持續加快，從早期的規則式系統、機器學習，發展至深度學習與大型模型，AI 的能力不斷擴張，應用場景逐步滲透人類生活的各個層面。起初，這些技術多半隱身於搜尋引擎、推薦系統與後端分析之中，對使用者而言，影響仍屬間接。然而，隨著生成式 AI 的出現，如圖 1 所示，人工智慧不再只是藏身於系統底層的運算機制，而是成為可以被直接感知與操作的前台能力。

從圖片生成工具（如 DALL-E、Midjourney、Stable Diffusion 等）、文字生成的大語言模型（如 ChatGPT、Claude、Gemini 等）、影片生成工具（如 Sora、Pika、Genmo 等）、程式碼生成工具（如 GitHub Copilot、Cursor 等）、音樂生成工具（如 Suno、Udio、MusicGen 等）到簡報生成工具（如 Gamma、Canva 等），AI 開始在不同任務之間切換角色，承接原本需要人逐步完成的工作。人工智慧也首次以「可對話、可創作、可即時回應」的形式，直接進入人們的工作與思考現場。

相較於過去僅能輔助單一任務的工具，當前的生成式 AI 已展現出跨任務、跨情境的整合能力。無論是撰寫文章、進行翻譯、



圖 1 以生成式 AI 為核心之應用生態

整理資料，或是根據條件提出建議與判斷，只需簡單的文字輸入，系統便能即時產出結構完整的結果。這些大型語言模型不再僅僅是執行命令的被動工具，而是開始參與內容生成與判斷形成的過程，將部分原本由人完成的思考活動，轉為可即時取得的輸出。

這樣的轉變，使工作與學習方式出現明顯變化。許多使用者不再從空白開始構思內容，而是先取得 AI 生成的初稿，再進行修正；在面對大量資訊或複雜情境時，也傾向先參考 AI 整理後的結果，作為後續行動的依據。於是，人類逐漸從「親自完成」，轉為「檢視與採用」的角色。這種轉換在短期內提升了效率，卻壓縮了人類實際參與思考的深度。當內容與建議能夠被即時

生成，思考的重心便容易從「如何形成觀點」，轉向「是否接受結果」。拆解問題、驗證脈絡的過程逐漸被省略，思考也被簡化為確認動作。

值得我們深思的是，這樣的使用模式並未形成人機協作，反而容易累積為單向依賴。人類將任務交出，專注於取得結果，卻較少將自身的經驗與判斷重新投入過程之中，產出看似增加，參與及學習卻未必隨之累積；效率被放大，對錯誤與來源的敏感度則可能下降。這種影響往往不會立即顯現，直到面對沒有標準答案的情境，或必須為決策結果承擔後果時，人們才發現自己已難以清楚說明判斷的依據。錯誤發生時，責任歸屬變得模糊；影響擴大時，卻仍須由人類承擔後果。於是，一種

表面高效、實際脆弱的依賴關係逐漸形成。

生成式 AI 帶來的改變，並不僅止於工作流程的重組，而是在長期使用中，逐步改變人類的思考位置與角色。當人們愈來愈習慣只投入指令，不再投入理解；只關心結果是否可用，不再關心過程是否被掌握，AI 接手的，便不只是「做事」的部分，而是開始觸及人類原本用來學習、判斷與承擔責任的關鍵位置。這不只是做事方式的改變，也牽動著在 AI 時代，人類如何定位自身。

## 貳、生成式 AI 所帶來的挑戰：責任、判斷與制度的失衡

生成式 AI 帶來的挑戰，在於當它開始深度介入人類的判斷與行動後，我們原本建立的責任結構、決策模式與制度假設，開始出現鬆動。當 AI 不再只是被動工具，而是以「建議者」、「生成者」，甚至「代理者」的角色參與行動流程時，人類社會原本清楚的分工逐漸模糊。錯誤不再集中於單一個體，而是分散在模型、資料、提示語、使用者與組織之間。這並非刻意逃避責任，而是現行制度尚未準備好回應一種「人與機器共同行動」的現實。責任、判斷與制度之間因此出現裂縫，而這些裂縫正是治理失效的起點。

### 一、當錯誤不再有明確的主人

在過去的工作與制度環境中，錯誤通常有清楚的歸屬。即便使用工具輔助，最終的判斷仍被視為由人做出。然而，生成式 AI 的出現，正在削弱這條原本清楚的責任鏈。當內容由 AI 起草、人類潤稿後發佈；當策略是在 AI 提供的選項中擇一執行；責任的歸屬變得難以界定。

更深層的問題在於，當錯誤發生時，責任逐漸從個人的承擔，轉為技術性的歸因。「那不是我想的，是 AI 給的。」這樣的說法將愈來愈常見。久而久之，人們省略對判斷過程的參與，卻仍保留形式上的簽名。這種表面負責、實質抽離的狀態，削弱了問責機制本身的效力。

### 二、我們什麼時候開始不再先想一想？

生成式 AI 改變的，不只是工作流程，而是思考發生的順序。當答案能在問題尚未完全釐清前即時出現，人們自然傾向先看結果，再決定是否思考。思考不再是必要的前置作業，逐漸退居為事後檢查。久而久之，人們習慣接收「已整理好的結論」，不再追問其推導過程。我們從問題的探索者，轉變為答案的篩選者。

例如，在面對大量資料或陌生主題時，許多人會先請 AI 整理重點，再決定是否回頭閱讀原始內容。這並非單純的怠惰，而是一種由環境所塑造的行為適應。當系統隨時準備好給出回應，人類逐漸失去等待與推敲的耐心。判斷力並非一夕消失，而是在一次又一次直接採用中被稀釋。人仍能做出選擇，卻愈來愈難清楚說明其理由。

### 三、「看起來很對」的時代，為何反而更容易出錯

生成式 AI 的語言輸出，往往結構完整、語氣自信、條理分明，甚至能自動補齊前因後果。正因如此，錯誤不再以混亂或荒謬的樣貌出現，而是被包裹在一層「看起來很合理」的外殼之中。這形成了一種新的風險型態：錯誤不再顯眼，反而顯得專業、冷靜且有說服力。人們開始將流暢度誤認為正確

性，將完整性視為可靠性。當一段文字語氣篤定、架構清楚、用詞精準時，閱讀者自然會降低警戒，尤其在資訊密集、工作節奏快速的情境中，更容易直接接受一個彷彿已經「替你想過一切」的答案。

生成式 AI 擅長的是語言組織，並非真實世界的理解。它能把不完整的資料編織成看似完整的敘述，也能將統計上的可能性包裝成彷彿經過深思熟慮的判斷。於是，人類面對的，不再是粗糙、容易察覺的錯誤，而是高度擬真的合理性。這類錯誤往往顯得溫和、不突兀，甚至在第一時間難以引發質疑。

更值得警惕的是，這種錯誤並不會停留在個人層次，而是極易被複製與放大。隨著各類 AI 工具被廣泛導入日常工作流程，未經充分驗證的內容，往往直接被納入簡報、報告或企劃文件，成為後續決策的基礎。當多數人都只是「引用」或「整理」既有內容時，每一個環節都假設前一個步驟已完成確認，實際上，確認從未真正發生。於是，錯誤被制度化、文件化，最後甚至正常化，等到問題浮現，責任來源卻已難以追溯。

#### 四、制度仍假設「人全程負責」，但現實早已不是如此

現行的教育制度、組織管理與法律架構，多半仍建立在一個深層卻少被質疑的前提之上：人是唯一的思考者與決策者。所有流程設計、責任歸屬與績效評估，都是以這個假設為核心展開。這樣的架構，在生成式 AI 普及之前或許仍然成立，但在今日面臨高度數位化與自動化的實務環境中，卻已逐漸顯得力有未逮。

在現實情境中，學生的作業可能由 AI 協助構思架構，員工的報告經常由模型初步生成，專業人士的分析與建議，也愈來愈多建立在 AI 彙整的資料與推論之上。然而，在制度層面，這些產出仍被視為「個人作品」，責任被要求完全由個人承擔。制度一方面默許 AI 深度介入，另一方面卻仍以「人全程掌握理解與判斷」作為責任歸屬前提，這種落差正在各個場域中累積摩擦。不是人不願意負責，而是責任的範圍與性質早已悄然改變。當判斷過程部分外包給系統、推論邏輯隱藏在模型之中，人類實際掌握的，往往只剩下最後的選擇權與簽名權。制度要求的是全責，現實給予的卻是有限的理解。人在形式上仍是決策者，在實質上卻逐漸退居為確認者，而制度本身卻缺乏辨識這種差異的能力。

#### 五、如果不重新定義人的角色，治理只會愈來愈失效

面對生成式 AI 所帶來的挑戰，真正需要被重新設計的，並非單純的技術規範，而是人類在決策與行動中的角色定位。治理的核心問題，不是 AI 能不能做，而是在什麼地方，人不能退出。如果人類只被視為最終簽名者，而非理解與判斷的參與者，那麼責任將難以真正落實；如果制度只要求結果正確，並不關心過程是否被掌握，錯誤便只會被延後，而非被避免。

生成式 AI 所揭示的，其實是一個深層的制度警訊：當我們未能及時調整對「人」的期待與要求，治理將逐步失去效力。這也正是為何，面對這些看似技術性的挑戰，社會必須開始從治理的角度，重新思考人與 AI 之間的分工、界線與責任結構。這樣的反思，並非為了抗拒 AI，而是為了確



圖 2 生成式 AI 帶來的挑戰

保，在高度自動化與智能化的未來，人類仍能清楚知道，哪些地方不能不想、哪些決定不能不負責、哪些角色不能被省略。

綜上所述，如圖 2 所示，生成式 AI 所帶來的挑戰，主要體現在四個彼此交織的面向：錯誤不再有明確歸屬所導致的「責任分散」；人們愈來愈傾向先接收生成式 AI 的結果，不再先行思考所引發的「思考模式改變」；「看起來很對」的內容往往掩蓋了錯誤本身，使判斷更難被質疑；以及制度仍假設「人全程負責」，但現實中的決策過程早已不再如此。這些現象並非彼此獨立，而是在實際運作中相互強化，逐步侵蝕責任的清晰性與判斷的品質，同時在在顯示，在生成式 AI 深度介入人類行動的情境下，我們需要重新思考參與、治理、責任與判斷應如何被定位與實踐。

### 參、面對生成式 AI 的擴張，人類角色、能力與責任的再定位

當生成式 AI 逐步滲透工作流程、知識生

產與決策場域，前文所指出的責任分散、思考順序改變與制度假設失衡，開始在實際行動中同時浮現。我們所面對的，已不只是效率工具的升級，而是一場關於「人還站在什麼位置」的根本提問。過去制度所假設的那個主體，能夠全程理解、獨立判斷並為結果負責的人，正在現實中被拆解、重組，甚至邊緣化。若無法重新界定人類在 AI 協作環境中的角色與責任，所有治理措施終將流於表面。真正的挑戰不在於如何限制 AI，在於如何重新安置人。

首先，人類必須從「結果接收者」回到「理解參與者」的位置。生成式 AI 能快速產出內容與建議，但它無法替人類承擔對情境的理解。正如前文所示，當人們習慣直接接收整理後的結果，不再先行介入問題形成與條件設定，理解便開始被外包。理解不是模型推論，而是人對脈絡、影響與價值的整體掌握。若人只是閱讀結論、接受摘要，未真正介入問題形成與條件設定，那麼再精緻的輸出，也只是漂浮在空中的

資訊。理解，是人類不可外包的能力。

其次，人類必須重新承擔「判斷者」的角色。AI 可以提供選項、模擬結果、整理可能性，但選擇哪一條路、承擔哪種後果，仍應是人的責任。在「看起來很對」的內容愈來愈容易被直接採納的情境下，判斷往往被壓縮為形式上的確認。判斷不是在清單中打勾，而是對不確定性作出承諾。當人將判斷權讓渡給系統，只保留形式上的確認，那麼責任將隨之空洞化。判斷的價值，正在於它不可完全自動化。

第三，人類需要重新學會成為「承擔者」。在高度智慧化的環境中，最容易流失的，正是對後果的內在連結。當錯誤被分散到模型、資料、流程與組織中，責任往往隨之模糊。當決策來自模型建議，錯誤似乎變得不再屬於任何人。但真正成熟的 AI 社會，不是讓責任消散，而是讓人更清楚自己在哪個環節必須站出來。承擔，不只是制度上的問責，更是心理與倫理上的自覺。

這意味著，人類能力的重心必須隨之轉移。未來所需要的，不只是操作工具的技能，而是能與 AI 共存的認知素養，其包括問題建構能力、批判性閱讀能力、風險意識，以及對價值取捨的敏感度。這些能力，正是回應前述治理失效風險的關鍵所在。它們無法由模型代勞，卻正是防止人類被邊緣化的最後防線。

如果教育只教人如何使用 AI，不教人如何質疑 AI；如果組織只追求產出效率，不要求判斷品質；如果制度只關心結果是否正確，不在意決策是否被理解，那麼前文所揭示的責任分散與判斷失靈，將只會被不

斷複製。人類將逐漸退化為系統的附屬節點。更深一層來看，這是一場關於主體性的保衛戰。生成式 AI 的真正風險，不在於它變得多聰明，而在於人類是否願意持續練習思考、保留懷疑、承擔選擇。當我們把太多認知活動交給機器時，失去的不是能力，而是作為判斷主體的存在感。

因此，所謂「再定位」，並不是要人類回到過去，也不是拒絕技術，而是在新的協作架構中，清楚劃定哪些位置不能空缺。人必須留在理解之中，站在判斷之前，並承擔選擇之後的後果。這正是對前文所揭示治理裂縫的直接回應。若沒有這層對人的重新理解，任何技術規範都只會是補丁式修補，無法回應生成式 AI 所帶來的結構性轉變。

## 肆、數位治理的發展策略與實踐之路

在生成式 AI 深度滲透社會運作的時代，數位治理的核心課題，已不再只是如何管理技術，而是如何重建人與系統之間的責任結構。真正有效的治理，不是限制創新，而是為創新建立可被理解、可被問責、也可被信任的制度環境。上節指出的是「人必須重新站回理解與判斷的位置」，此節則是制度如何為這樣的人保留空間。如圖 3 所示，以下我們針對數位治理的五個核心面向，包括：「過程可見」、「人機協作責任分層」、「人類判斷品質」、「教育與公部門率先示範」以及「守護人類主體性」，分別說明數位治理的發展策略。

首先，數位治理必須從「結果導向」轉為「過程可見」。現行制度多半關注輸出是否合格、成果是否正確，卻很少要求決策歷

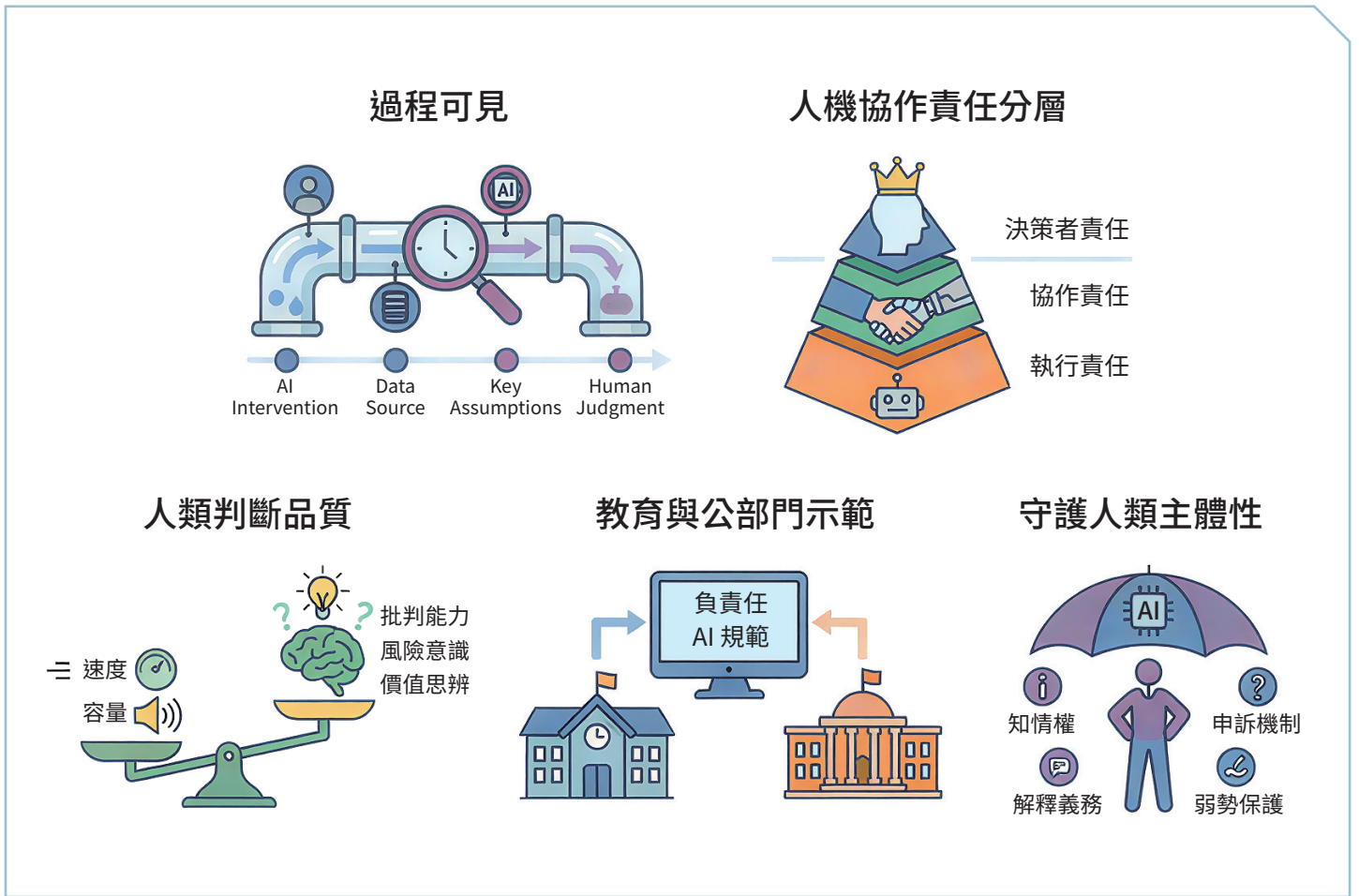


圖 3 數位治理的發展策略與實踐

程能被清楚說明。在生成式 AI 參與決策的環境中，僅檢視結果已不足以支撐問責。未來的制度設計，必須要求關鍵決策具備可追溯性，包括 AI 介入的程度、使用的資料來源、關鍵假設的設定，以及人類在哪些節點做出判斷。治理不該只問「發生了什麼」，更要能回答「是如何發生的」。

其次，必須建立「人機協作責任分層」的制度架構。不能再以單一個人全責的方式，回應多主體共同生成的行動結果。治理系統需要清楚區分：哪些責任屬於技術設計者，哪些屬於組織管理者，哪些仍必須由實際使用者承擔。同時，必須明確界定在

何種情境下，人類不得完全依賴系統輸出，必須重新進行獨立判斷。責任不應被稀釋，而應被重新配置。

第三，治理必須納入「人類判斷品質」作為制度指標。長期以來，我們評估組織效能，多半著重速度、產量與成本。然而，在高度自動化的環境中，真正稀缺的資源，已不再是產出能力，而是高品質的判斷。未來的治理框架，必須將批判能力、風險意識與價值思辨納入績效與專業評量體系，避免人被訓練成只會操作工具的執行節點。制度若不鼓勵思考，社會終將失去判斷。

第四，教育與公部門必須率先示範「負責任使用 AI」的治理文化。教育體系不能只教學生如何使用生成式 AI，而要培養其理解模型限制、辨識偏誤與保持懷疑的能力；公部門則應建立透明的 AI 使用規範，清楚揭露哪些流程已自動化，哪些仍由人主導，並確保公共決策中保留實質的人類審議空間。治理不是寫在法規裡，而是體現在日常運作中。

最後，數位治理需要從「控制技術」轉向「守護人類主體性」。真正成熟的治理，不是把 AI 關進制度的框架，而是確保人在任何關鍵節點都不會被排除在理解與判斷之外。這包括保障知情權、強化解釋義務、建立申訴與修正機制，也包括對弱勢群體的數位保

護，以及對自動化風險的前瞻評估。

治理的終極目標，不是讓系統運作得更順，而是讓人仍然能清楚知道自己在做什麼、為什麼這樣做，以及必須為什麼負責。生成式 AI 所帶來的，是一場結構性的轉變。數位治理若仍停留在零散修補與事後補救，只會不斷追趕技術的腳步。唯有回到對人的角色、責任與尊嚴的根本關懷，治理才能真正成為社會的穩定力量，而非創新的阻礙。

## 伍、數位治理的預期成效與 AI 時代的可持續未來

在前述治理架構與實踐方向逐步落實的情

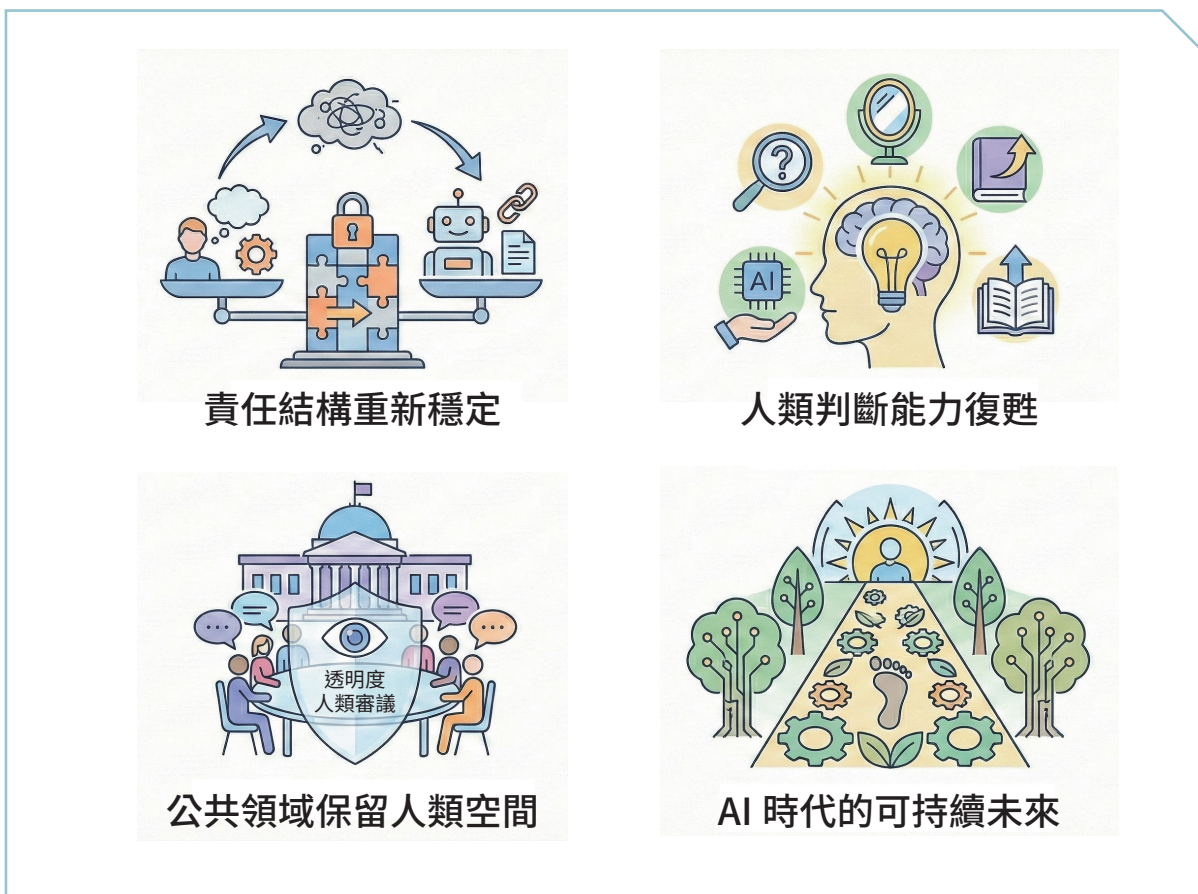


圖 4 數位治理所可能帶來的預期成效

況下，數位治理的價值將不僅止於降低風險或避免錯誤，而是為社會重新建立一套可被理解、可被信任、也可被長期維持的運作基礎。在高度智慧化的環境中，可持續發展不再只是經濟或技術議題，而是關於人類是否仍能保有理解世界、判斷方向與承擔後果的能力。如圖 4 所示，數位治理所帶來的可預期成效，包含了「責任結構重新穩定」、「人類判斷能力復甦」、「公共領域保留人類的空間」，以及「AI 時代的可持續未來」。以下，分別針對這四個可能的預期成效，加以說明。

治理若能落實，首先帶來的，是責任結構的重新穩定。當人機協作的邊界被清楚界定，決策過程具備可追溯性，錯誤不再被模糊化或被系統性掩蓋，人們將逐步重建對制度的信任。責任不再只是形式上的簽名，而是在實質參與理解與判斷之後所承擔的後果。這種清晰的責任配置，將使組織與社會從「集體失準」，回到「共同負責、可被問責」的狀態。

其次，治理將促進人類判斷能力的復甦，而非進一步退化。當制度開始重視理解過程，並鼓勵質疑與反思，教育與專業場域將重新以思考品質作為核心價值。人不再只是追求快速產出的操作者，而是具備脈絡意識與倫理敏感度的決策參與者。在這樣的框架下，AI 成為輔助理解的工具，而非取代判斷的主體。這種轉變，使效率不再以犧牲深度為代價，也為公共領域保留真正的人類空間。

在政策制定、公共服務與社會資源分配等關鍵領域，治理機制若能確保人類審議的實質存在，將避免公共決策被隱性自動化。透明度、可解釋性與參與性，不只是

技術層面的要求，而是民主社會在 AI 時代得以延續的基本條件。治理的成果，將使得人民仍然知道誰做了決定、為何這樣決定，以及如何在必要時修正錯誤。

從更長遠的視角來看，真正可持續的未來，並不是建立在無限自動化之上，而是建立在人類主體性未被侵蝕的前提下。生成式 AI 可以放大能力，但不能取代價值；可以加速流程，但不能消解責任；可以協助分析，但不能承擔選擇。可持續發展的關鍵，不在於技術能走多快，而在於社會是否仍能為人類保留判斷與承擔的位置。

科技的進步，若沒有相應成熟的治理，只會放大既有的脆弱性。成熟的數位治理，應當讓社會在擁抱創新的同時，仍能維持判斷的重量、倫理的邊界與人的尊嚴。這並不是回到過去，而是為未來建立穩固的基礎。最終，AI 時代真正的競爭力，不在於誰擁有最強大的模型，而在於哪個社會能在高度智慧化之中，仍然培養出願意思考的人、敢於負責的制度，以及能自我修正的治理能力。這樣的社會，才能在不確定的未來中持續前行。

## 陸、結論：當機器變聰明，我們還願意慢下來想一想嗎？

生成式 AI 的出現，並不是單純的一次技術升級，而是一場正在重塑人類角色的深層變革。當系統愈來愈能生成內容、提供建議，甚至參與決策，人類若只是享受效率與便利，卻逐漸退出理解、判斷與承擔的位置，那麼我們失去的，將不只是工作方式，而是作為行動主體的存在感。在 AI 快速擴張的此刻，真正值得警惕的，從來不是 AI 變得多聰明，而是人是否正在悄然退場。

本文所討論的責任模糊、判斷退化與制度失衡，並非不可逆的宿命，而是提醒我們：科技進步必須伴隨治理成熟。數位治理的核心，不在於限制 AI 的能力，而在於確保人在任何關鍵節點都不被排除在理解與選擇之外。唯有如此，創新才能建立在信任之上，而非焦慮之中。AI 可以協助我們處理資訊、放大能力，但不能替代價值判斷；可以優化流程，但不能承擔後果。這條界線若未被清楚劃定，社會將逐步滑向一種表面順暢、實則失去自我校正能力的自動化狀態，制度仍在運作，人卻逐漸失語。

因此，在這生成式 AI 的時代，數位治理不只是制度設計，更是一種文明選擇：我們是否願意在高度智能化的未來，持續培養願意思考的人、敢於負責的組織，以及能自我修正的社會。而這個選擇，終究會決定我們是駕馭技術，還是被技術推著走。

## 參考文獻

1. World Health Organization, "Ethics and governance of artificial intelligence for health: guidance on large multi-modal models," WHO Guidance, Geneva, pp. 5-35 (2024) .
2. UNESCO, "Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence," UNESCO Digital Library, Paris, pp. 10-28 (2021) .
3. 教育人傳媒，「當學生不再思考：生成式 AI 對學習能力的長期衝擊解析」，教育人專題，台北 (2026)。
4. Bubeck, S., et al., "Sparks of Artificial General Intelligence: Early experiments with GPT-4," arXiv:2303.12712, pp. 1-15 (2023) .
5. European Commission, "Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) ," EUR-Lex, Brussels, (2024) .
6. Floridi, L. and Cowls, J., "A Unified Framework of Five Principles for AI in Society," Harvard Data Science Review, Vol. 1, No. 1, pp. 1-15 (2019) .
7. OECD, "Recommendation of the Council on Artificial Intelligence," OECD/LEGAL/0449, Paris, pp. 3-10 (2019) .
8. Glikson, E. and Woolley, A. W., "Human Trust in Artificial Intelligence: Review of Empirical Research," Academy of Management Annals, Vol. 14, No. 2, pp. 627-660 (2020) .
9. Microsoft, "Governing AI: A Blueprint for the Future," Microsoft Corp White Paper, pp. 1-22 (2023) .
10. Santoni de Sio, F. and van den Hoven, J., "Meaningful Human Control over Autonomous Systems: A Philosophical Framework," Frontiers in ICT, Vol. 5, No. 15, pp. 1-14 (2018) .
11. 張志勇，廖文華，石貴平，王勝石，游國忠，「人工智慧」，全華圖書，台北 (2024)。

# DATA GOVERNANCE CATALOG



DATA CATALOG



LINEAGE



ACCESS



PII



TAGS



OWNERS



QUALITY



APPROVALS



# 雲啟智湧——多元資料整合之 高速公路事故情境 AI 應用

## 關鍵詞 Keywords

- # 高速公路事故 Freeway Accidents
- # 交通狀態預測 Traffic State Prediction
- # 多元資料整合 Heterogeneous Data Integration
- # 深度學習 Deep Learning
- # 壅塞預警 Congestion Warning

台灣世曦工程顧問股份有限公司  
電機部

### 工程師

姚尹馨

### 正工程師

周怡均

### 計畫工程師

鄒政修

國立成功大學  
智慧運輸與網路研究中心

### 專案經理

林明翰

交通管理科學所

### 研究生

金唐麒

高速公路局  
交通管理組

### 科長

蘇稚翔



隨著交通量持續成長，為因應高速公路整體路網交通管理與資料整合需求，交通部高速公路局推動中央電腦系統雲端化建置，整合北、中、南及坪林交控中心系統資源，建構具高可用度與彈性擴充能力之私有雲平台，並集中納管各類交通資料。中央電腦雲平台整合歷史與即時交通數據，協助管理單位提升應變效率與決策前瞻性，強化跨系統資料分析與應用，奠定資料導向交通管理之基礎。

為符合交控中心實際作業流程、事故應變模式及管理決策需求，建構事故情境下之交通狀態預測與分析流程，期能於事故發生初期即掌握交通狀態演變趨勢，提供交通管理單位決策支援，本文借本公司與國立成功大學產學協作研究模式，整合高速公路交通管理實務經驗與學術研究能量，協助建構具學理支撐且可驗證之預測模型與分析方法，以作為智慧交通應用之實務示例。



## 壹、前言

自第二高速公路建設計畫起，交通部高速公路局陸續完成北區、坪林、中區及南區交控系統建設。然而，傳統分散式管理架構因建置時程、設備廠商及管理需求不同，於功能整合、維運成本及資料應用層面逐漸顯現限制。各區系統因建置時程與設備差異，衍生操作介面與功能不一致情形，且需重複投入中央系統更新、維運及備援資源，整體資源運用效益有限，亦不利於跨區交通資料之整合與深化分析。為提升系統效能與資源運用效益，交通部高公局推動「高快速公路交通控制系統之中央電腦軟體雲端化建置」計畫，統一納管各區路側終端設備與交通控制作業。

高速公路局與各區交通控制中心（如圖 1）透過雲平台之建置，得以集中蒐集各區交控系統所產製之交通管理數據，並整合電子收費交通資料蒐集支援系統、事件資料等多元交通資料來源，建立跨系統、跨區域之整體交通資料基礎。同時導入大數據處理與分析架構，整合歷史與即時交通數據，提供多面向的統計分析與演算應用。同時，依據交通部即時路況資料標準 v2.0 格式提供相關交通資料，配合運輸資料流通服務平臺持續更新地理與交控設備資料，擴充交通資訊之應用場域，提供用路人更多元且即時之資訊取得管道。

高速公路為支撐國內交通運輸與跨區通勤之重要基礎設施，其路網運作效率與事故應變能力，直接影響整體交通服務品質。事故發生時，常引發車流驟降、車速急遽變化，並伴隨回堵範圍快速擴散，使交通狀態呈現高度不穩定特性，增加交通管理單位的應變挑戰。儘管雲端化交控系統已

提升整體效能，現行交通管理仍仰賴即時資料監控與經驗法則判讀，對事故影響尚未完全顯現的短期交通狀態演變缺乏具體預測支援。當事故影響逐步擴大時，管理單位常需在資訊有限的情況下快速決策，增加管理風險。

故以高速公路事故情境為研究核心，結合人工智慧技術與雲端整合的多元交通資料，建構事故情境下的交通狀態預測架構，期能於事故初期即提供交通趨勢資訊，協助管理單位提升應變效率，促進交通管理由經驗導向轉型為數據驅動的智慧化決策模式，為次世代智慧交通發展奠定基礎。

## 貳、中央電腦雲平台現況

現行雲端化中央電腦已具備跨系統服務整合能力，可集中納管各類交通管理資料，並支援多項應用系統同時運作，配合既有資安控管與備援機制之建置，確保交通管理系統於高負載或突發事件情境下仍能維持穩定服務，為後續資料分析與智慧化應用提供可靠之運算與資料基礎。隨著交通資料累積規模持續擴大，以及人工智慧與資料分析技術日趨成熟，後續將逐步導入車流預測等進階分析功能，強化對交通狀態演變之前瞻掌握能力。相關車流預測功能將以雲端平台所整合之歷史與即時交通資料為基礎，結合事故、天候與交通管理措施等多元情境因素，提供短期交通狀態預測結果，作為交通管理與決策支援之重要依據。

## 參、研究目標與定位

現行高速公路交通管理作業多仰賴交通偵測器即時資料與管理人員經驗進行狀態研

判，雖可反映事故發生後的當下交通現況，但在事故影響尚未完全顯現前，對於短期交通狀態變化趨勢仍缺乏有效預測支援，限制了交通管制、資訊發布及應變策略的前瞻部署能力。

中央電腦雲端化可提供所需之運算效能、資料服務與系統介接能力，使車流預測模型與相關應用得以穩定運作並即時回饋分析成果。透過雲端平台之支援，交通管理亦可由傳統即時監控模式，逐步邁向結合預測分析之智慧化管理模式，提升事故應變與整體路網運作之決策品質。然而當高速公路於事故發生後，常伴隨車道受阻、通行能力驟降與車流重新分配等現象，使交通狀態於短時間內產生劇烈變化，並可能隨時間向上游路段擴散，形成大範圍壅塞，該類事故情境具備高度突發性與不確定性，使交通管理單位在事故初期往往僅能掌握局部即時資訊，對於事故影響程度及後續交通狀態演變方向之判斷，仍存在明顯不確定性。

基此，本研究以「事故情境導向之高速公路交通狀態預測」為核心研究目標，聚焦於事故發生後短時間內（15 至 30 分鐘）交通狀態演變之推估，期望建構一套結合多元資料與人工智慧技術的分析架構，使交通管理單位能於事故初期即掌握交通狀態可能的發展方向，作為後續管理決策的重要參考依據。

在應用定位上，本研究以高速公路交通管理實務為導向，預測結果可作為事故發生初期之交通狀態研判依據，補足現行管理機制於事故應變階段決策支援之不足，提升整體交通管理的即時性與前瞻性。

## 肆、系統架構與資料組成

### 一、多元資料整合

本研究以多元資料整合為核心設計理念，透過系統化架構整合交通偵測、事故通報、氣象觀測及交通管制措施等不同來源資料，形成支援事故情境分析之完整系統



圖 1 交通部高速公路局北區交通控制中心

架構。研究選定國道 3 號木柵交流道至龍潭交流道間路段作為驗證場域，該路段交通需求高、事故發生頻率相對較高，且具備完善交通偵測與事故通報機制，能提供事故前後交通狀態變化所需之完整資訊，交通狀態預測系統如圖 2 所示。

整體系統架構可分為資料蒐集層、資料整合與處理層，以及預測分析與輸出層三個主要模組。資料蒐集層負責彙整各項原始資料來源，包含車輛偵測器 (VD) 所回傳之車流量與車速資料、事故通報系統所記錄之事故發生時間與位置、氣象測站所提供之降雨與天候資訊，以及路肩開放等交通管制措施。

在資料組成方面，本研究以 VD 交通資料作為交通狀態描述之核心資料，反映道路在不同時間點之實際運作情形。事故通報資

料用以界定交通異常事件之時空背景，使預測分析能明確辨識事故發生的影響範圍與可能程度；氣象資料則用以補充環境條件對交通運作的影響，避免僅以交通流資料解釋交通狀態變化；而路肩開放資訊則作為描述道路有效容量變化的重要依據，使預測模型能考量事故處理期間交通管理措施對交通狀態的影響。

資料整合與處理層負責將不同來源、不同時間解析度之資料進行時間對齊與格式一致化處理。由於各類資料在回報頻率與資料結構上存在差異，若未經適當整合，將影響後續預測分析之準確性。因此，本研究透過統一的資料處理流程，將多元資料轉換為可於同一時間尺度下進行分析的資料結構，作為預測模型輸入基礎。

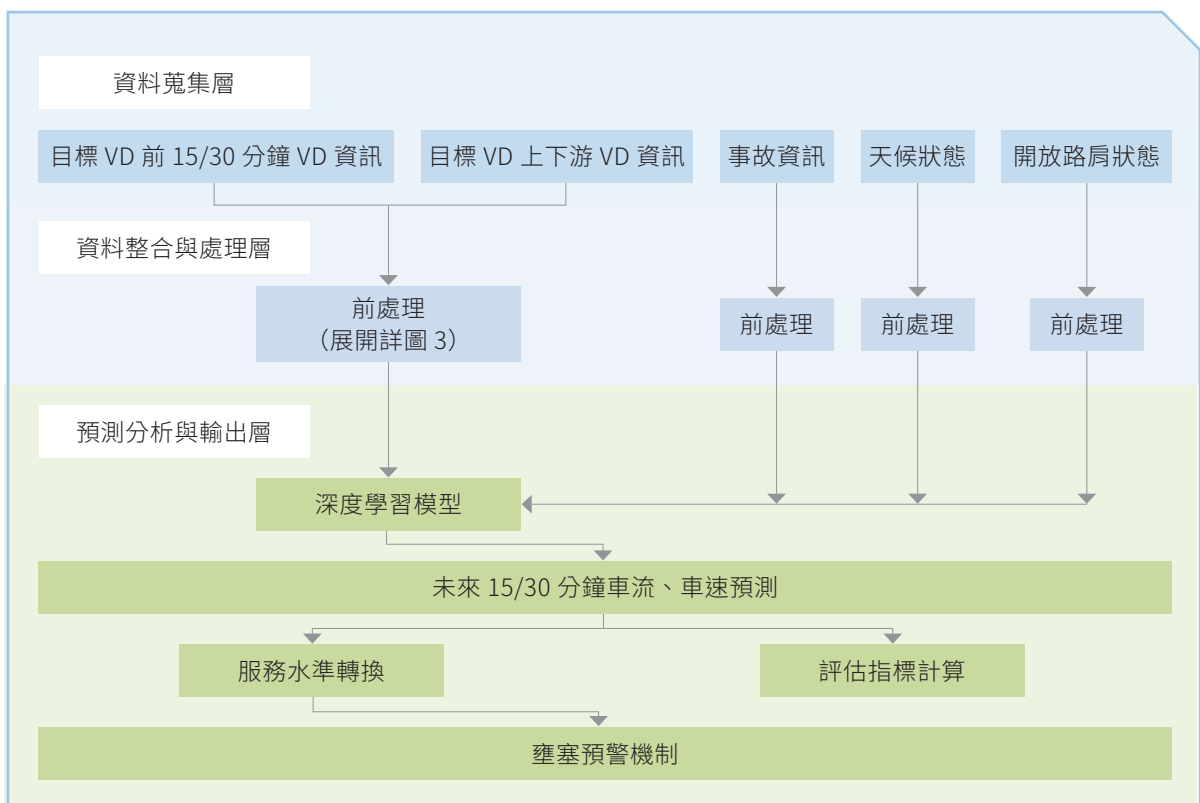


圖 2 車流預測軟體架構圖

透過上述系統架構設計，事故發生後相關交通、事件與環境資訊得以即時彙整，形成完整且一致的事故情境描述，支援後續交通狀態預測與管理應用。

## 二、資料前處理與時間特徵設計

由於交通、事故與氣象資料在資料品質、時間解析度及回報頻率上皆存在差異，若未經妥善前處理，將影響預測模型學習結果與穩定性。故模型建構前應進行系統化

的資料前處理與時間特徵設計，以確保預測分析所使用之資料具備一致性與代表性。

在交通狀態資料處理方面，VD 原始資料可能因設備異常、通訊中斷、道路施工等其他外在環境因素產生缺值或異常值。本研究首先進行資料完整性檢核，辨識缺失區段，並透過圖 3 之補值機制維持時間序列連續性，使交通狀態資料能穩定反映實際運作趨勢，避免資料斷裂影響模型訓練結果。

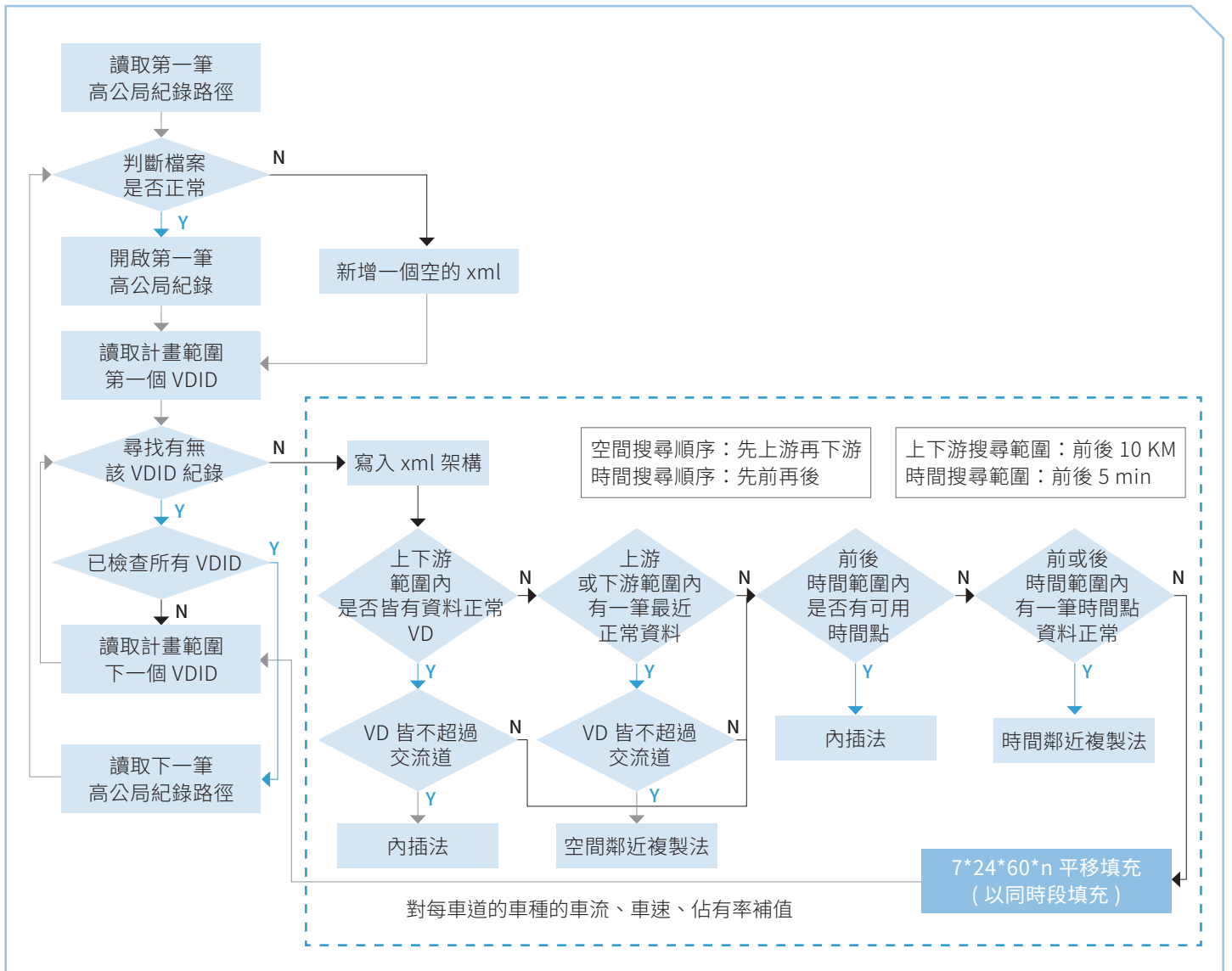


圖 3 車輛偵測器資料前處理流程

考量事故情境下短期交通狀態預測需求，本研究將原始一分鐘交通資料聚合為 15 分鐘時間單位。其中，車流量以加總方式計算，反映該時間區間內實際通行需求；車速則以車流量作為權重進行加權平均，使聚合後之車速能兼顧代表性並降低短時間波動對模型之干擾。

除交通狀態數值外，本研究亦設計時間特徵以描述交通行為之週期性特性，包含月份、星期別與時段等屬性。透過時間特徵納入，使模型在學習交通狀態變化時，能同時考量不同時間條件下交通需求與行為差異，提升預測結果於事故情境下的合理性。

在事故與氣象資料處理上，本研究進一步設計時空篩選與對應機制，僅納入與目標路段於時間與空間上具關聯性之事故與氣象資訊，以降低無關資訊對預測結果之干擾，確保多元資料整合後的分析品質。

### 三、事故情境導向之交通狀態預測

本研究計畫之交通狀態預測模型以事故情境為核心設計考量，重點在於捕捉事故發生後交通狀態於時間與空間上的演變特性。相較於一般情境下之交通預測，事故情境具備突發性高、影響範圍快速擴散等特性，若僅依賴歷史交通狀態進行推估，將難以反映事故造成之實際影響。故在模型設計上，本研究以歷史交通狀態資料作為主要時序輸入，並整合事故、氣象與交通管制等外部資訊，使模型能同時學習交通狀態演變與事故影響特性。此外，模型亦納入上下游路段交通狀態資訊，以反映事故影響沿路網向上游傳遞之現象，使預測結果更貼近實際交通運作情形。

預測輸出以事故發生後 15 分鐘與 30 分鐘

交通狀態為目標，分別推估各車道之車流量與車速變化趨勢。透過事故案例分析結果顯示，模型於事故發生後能即時反映交通狀態惡化方向，並合理呈現交通恢復過程，顯示其於事故情境下具備良好反應能力與實務應用潛力。

### 四、研究成果與管理應用

本研究成果詳圖 4 至圖 7，其呈現同一事故下 15 與 30 分鐘之車流、車速預測結果，其中車速預測誤差最大約 15km/h，流量誤差最大約 20veh/15min；而在預測趨勢的表現上則皆有一定程度的掌握。顯見納入事故情境資訊之交通狀態預測體系，能於事故發生後即時反映車流量與車速之變化趨勢，協助交通管理人員於事故初期即掌握交通狀態可能惡化之方向。相較於僅依賴即時監測資料進行判斷，此類預測資訊可提供更具前瞻性之決策依據，有助於提升事故應變之即時性與整體管理品質。

在管理應用層面，事故情境導向之預測成果可作為交控中心值班人員進行交通狀態研判之重要輔助工具。透過預測資訊之輔助，管理人員得以提前評估是否需啟動疏導措施、調整交通管制策略或強化資訊發布作業，進而降低臨場判斷壓力，並減少因反覆試探性操作所衍生之管理負擔。

綜合本研究成果可見，事故情境導向之交通狀態預測，不僅有助於提升事故應變階段對交通狀態之掌握能力，亦能補足現行交通管理在事故發生初期決策支援不足之問題。透過將多元交通資料與人工智慧分析方法整合於一致之系統架構中，本研究成果具備轉化為實務應用管理工具之可行性與應用價值。

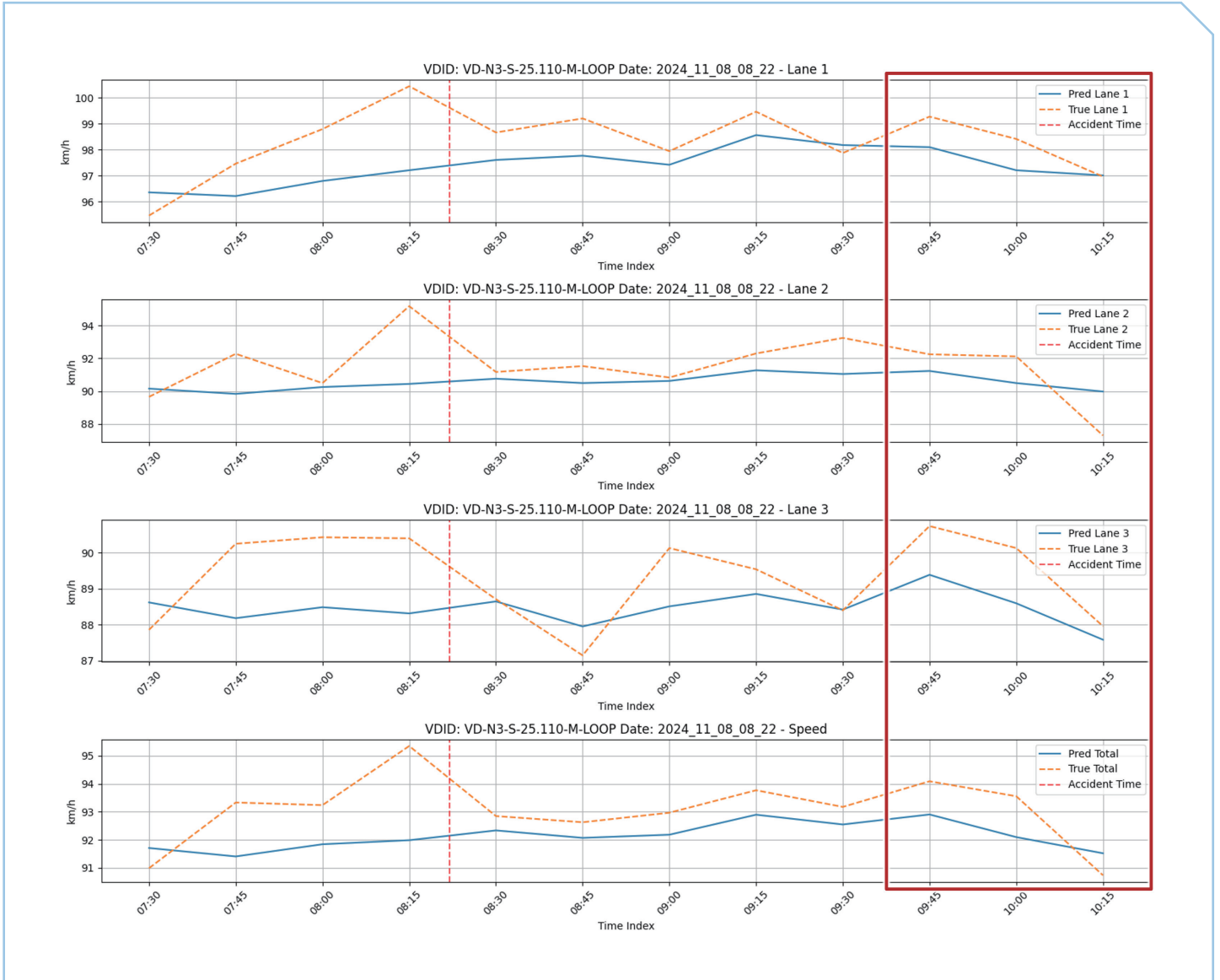


圖 4 15 分鐘車速預測 - 南下 26K-24/11/08-08:22 事故

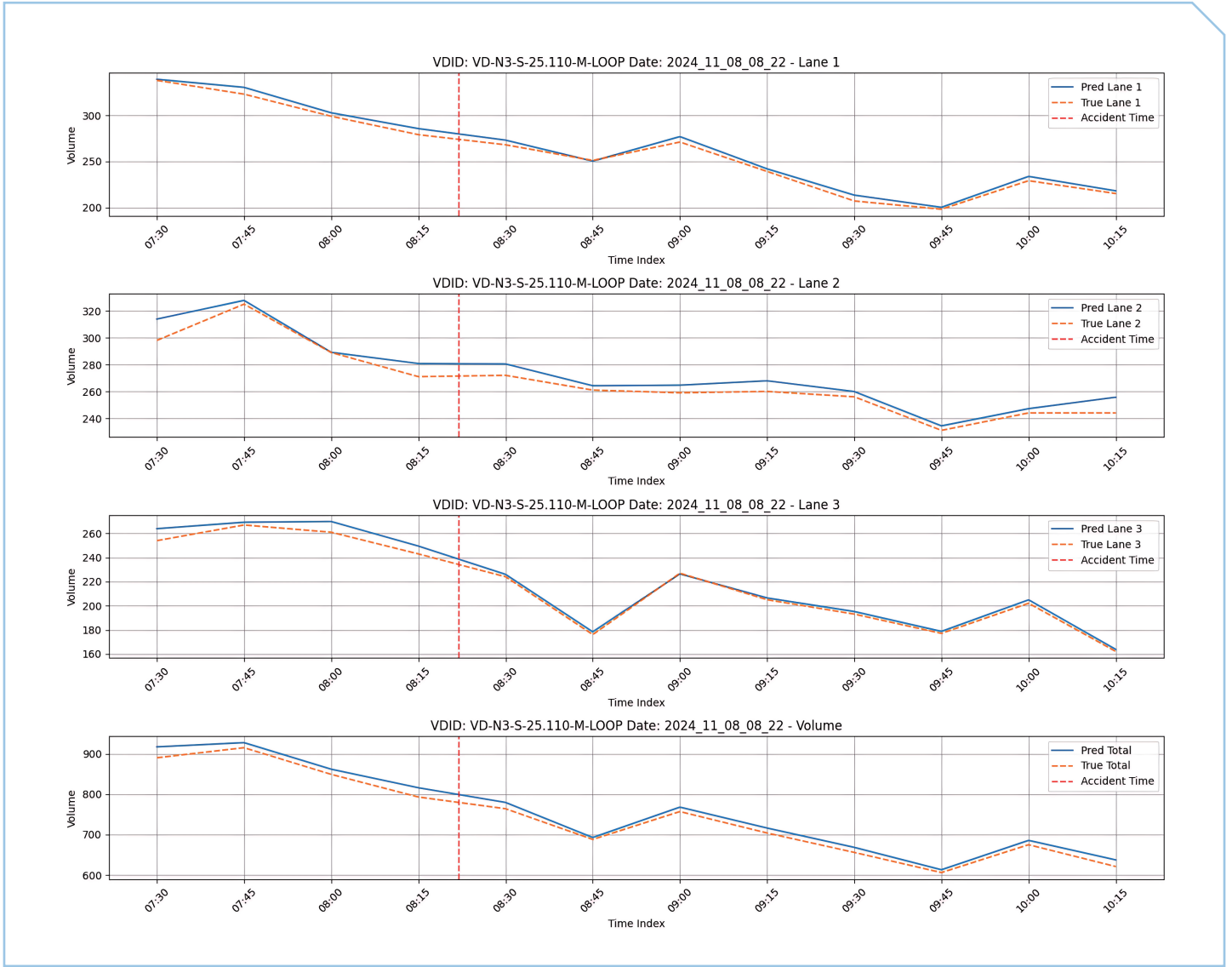


圖 5 15 分鐘車流預測 - 南下 26K-24/11/08-08:22 事故

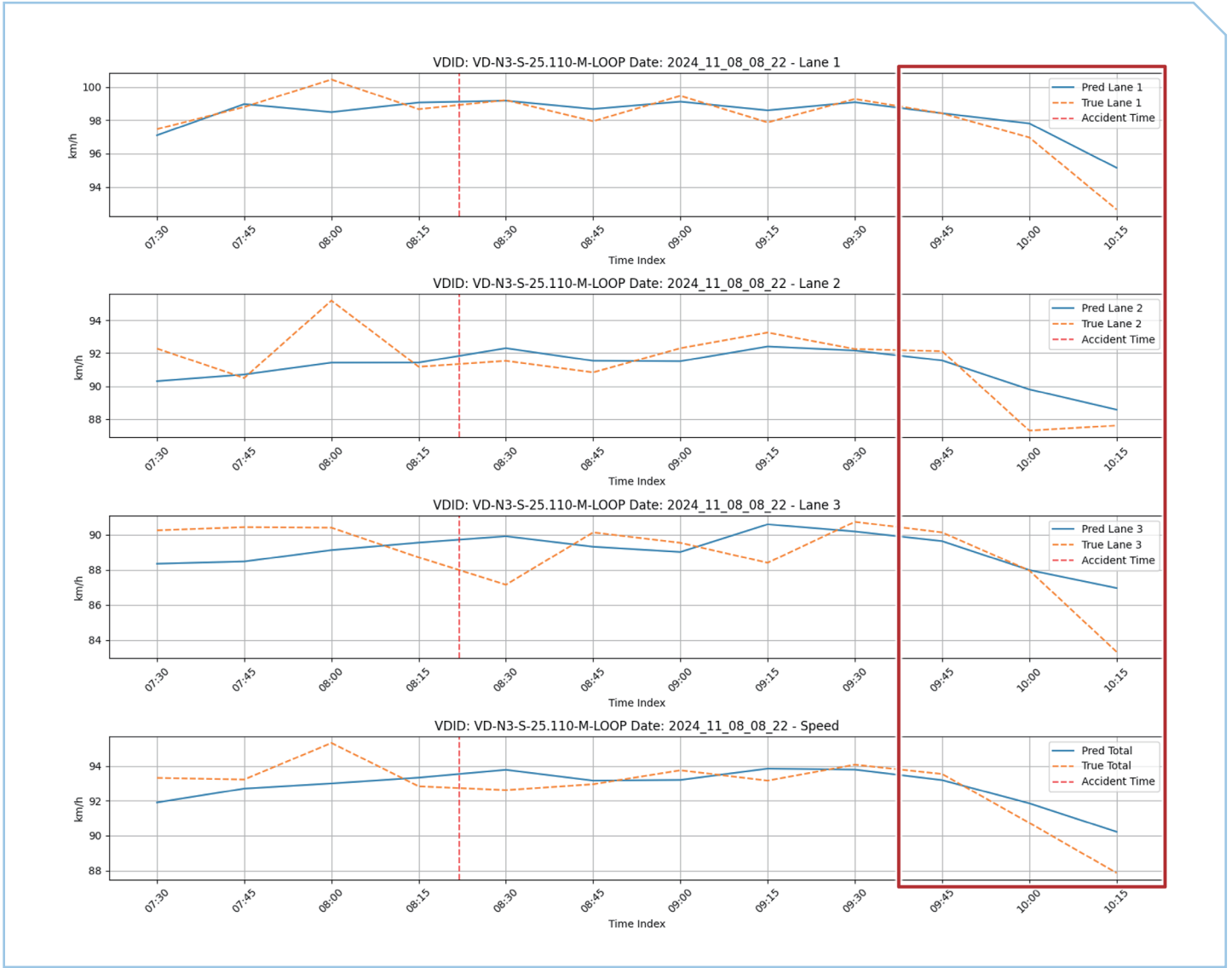


圖 6 30 分鐘車速預測 - 南下 26K-24/11/08-08:22 事故

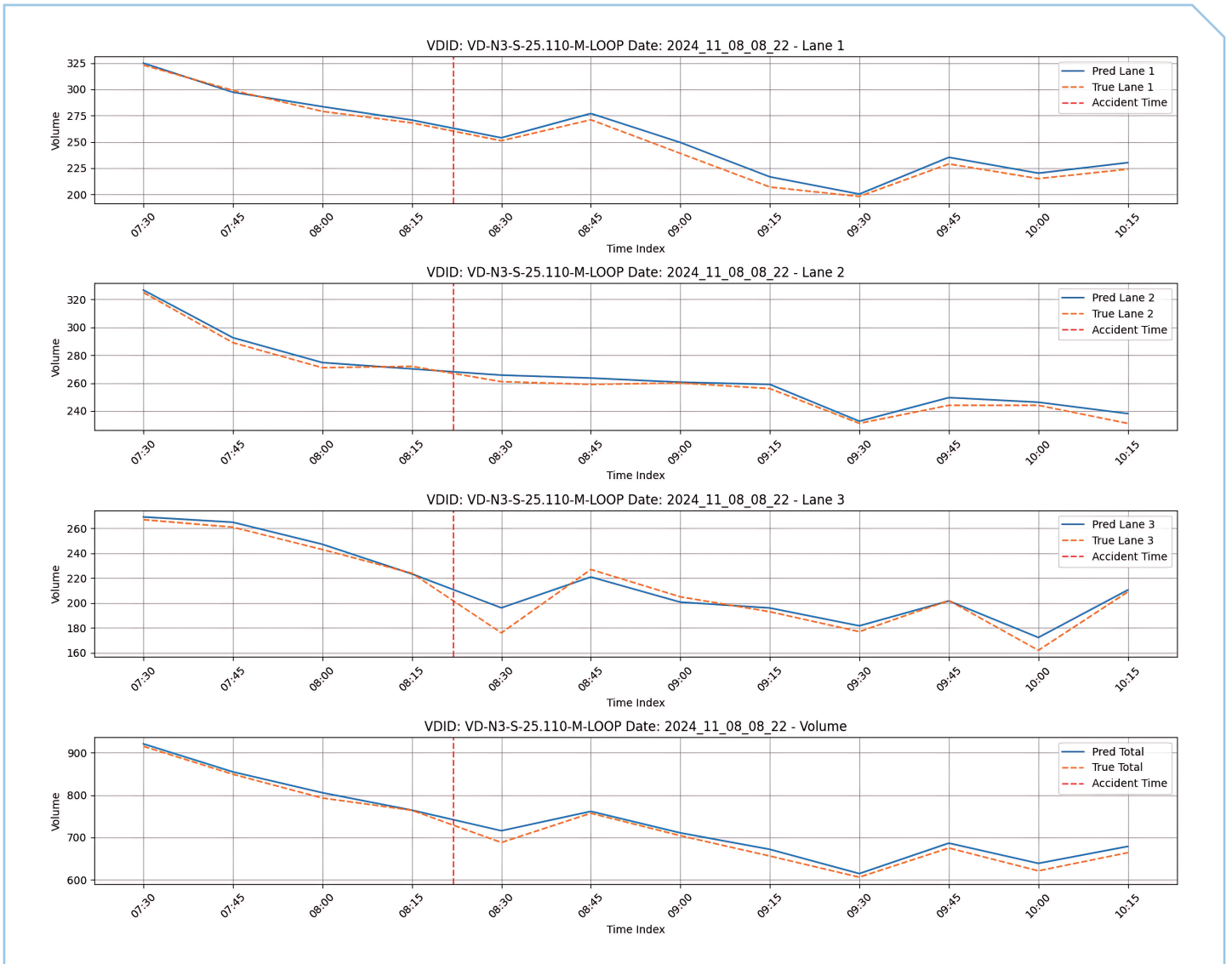


圖 7 30 分鐘車流預測 - 南下 26K-24/11/08-08:22 事故

### 伍、整體效益與發展藍圖

本研究成果具備延伸至交通控制應用之發展潛力，特別是在自動匝道儀控之應用方向上，事故情境預測所提供之短期交通狀態資訊，可作為儀控策略提前調整之重要依據。未來若進一步結合路網內多個匝道之交通狀態資訊，儀控策略將可由以單一匝道為主之控制模式，提升為區域性協同控制架構，以追求整體路網運作效益之最佳化。

透過於壅塞尚未完全形成前即提前介入進行控制調整，有助於降低壅塞擴散或長時間惡化之風險，亦可有效減輕交控中心值班人員於事故高峰時段須即時判斷與頻繁操作之作業負擔，使交通管理模式逐步朝向系統化與智慧化方向發展。

在系統延續性方面，本研究所建立之資料整合與預測架構，可作為下一代中央電腦交控雲 2.0 相關智慧服務之基礎模組，支援後續多元智慧交通應用持續發展。基於本研究架

構所累積之基礎成果，本公司將持續進行相關技術精進與應用延伸，於下一階段研究中，規劃將本研究所預測之車流量與車速資料，作為自動匝道儀控模型輸入資料之一，並結合匝道現場所蒐集之停等車隊長度、延滯時間等具代表性之交通狀態指標，共同納入 AI 智慧匝道儀控之發展。

未來除可持續優化事故情境預測模型之準確度與穩定性外，亦可逐步整合自動匝道儀控與區域性交通協同控制等應用，推動交通管理由即時監控邁向以預測導向與主動控制為核心之新階段。相關系統整合與應用架構之初步構想如圖 8 所示。

透過由單點管理逐步邁向全區路網優化之發展路徑，事故情境預測成果將有助於提升高速公路整體服務水準，降低事故所造成之交通衝擊，並減輕交控中心人員於高負荷時段之管理壓力，作為未來智慧化交通管理持續精進與擴展之重要基石。

## 參考文獻

- 1.Mahajan, D., Pottigar, V. V., Suresh, C., and Fahad, A., “Implementing real-time traffic flow prediction using LSTM networks for urban mobility optimization,” Communications on Applied Nonlinear Analysis, Vol.32, No.2 (2025).
- 2.Chen, Y.-T., Liu, A., Li, C., Li, S., and Yang, X., “Traffic flow prediction based on spatial-temporal multi-factor fusion graph convolutional networks,” Scientific Reports, Vol.15, Article 12612 (2025).
- 3.Fan, Z., Zhang, H., and Zhang, C., “Short-term traffic flow prediction method with multiple factors and deep learning,” Proceedings of the 2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), IEEE, pp.53-57 (2023).

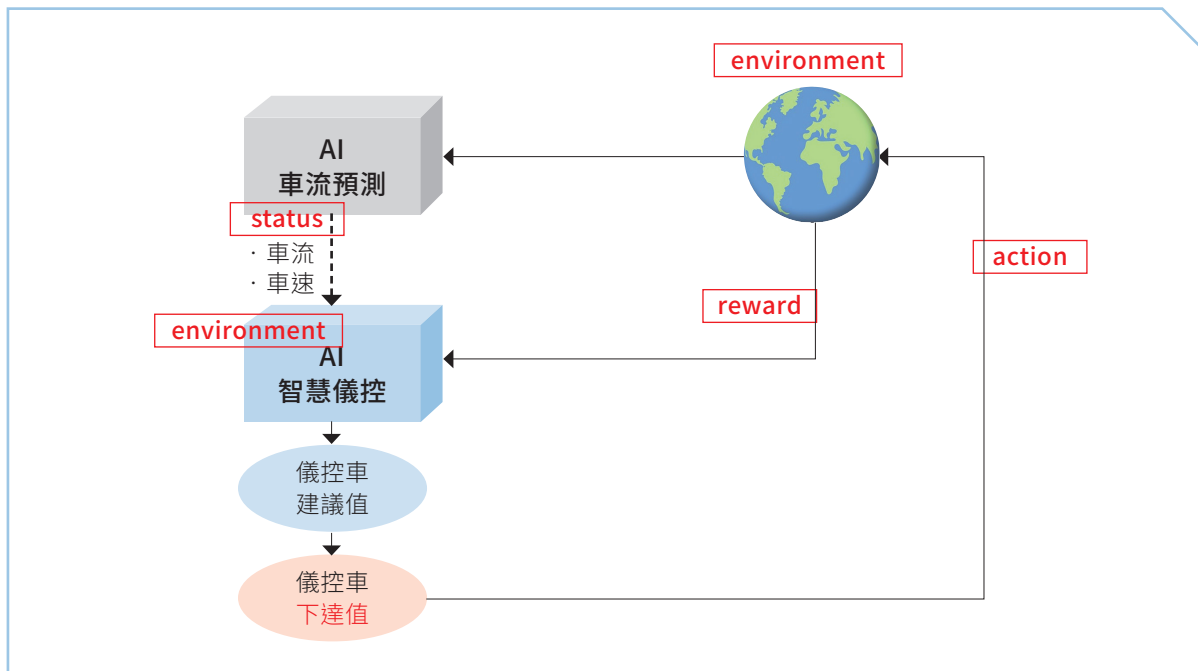


圖 8 AI 智慧匝道儀控系統架構示意圖

# 標準領航智慧鐵道—— 建構全國智慧鐵 Tao 中心 與鐵道雲 AI 發展藍圖

## 關鍵詞 Keywords

- # 智慧鐵道 Smart Railway
- # 鐵 Tao 智慧中心 Railway Tao Smart Center
- # 智慧鐵道補助計畫 Smart Railway Subsidy Program
- # 鐵道 AI 生態系 Railway AI Ecosystem

台灣世曦工程顧問股份有限公司  
電機部

### 工程師

吳浩平

### 正工程師

蔡宗瑩

### 副理

段人豪

交通部鐵道局  
機電組

### 科長

林育賢

### 簡任正工程司

簡憲章

### 組長

李開熙



交通部在「2021 交通科技產業政策白皮書」之鐵道科技產業政策中，將「發展智慧 4.0 鐵道及關聯產業」列為發展策略，透過制定智慧鐵道系統架構及規範，推動鐵道領域知識 (Domain Knowledge) 與智慧 4.0 科技之相互學習與整合，逐步將行動及網路通訊、物聯網、雲端運算、大數據、人工智慧等 4.0 科技導入鐵道系統。

配合交通部政策，交通部鐵道局為推動及發展智慧鐵道環境，於 2021 年開始推動「建立 5G 智慧鐵道運輸及監理環境計畫」(以下簡稱本計畫)，以桃園機場捷運作為試驗場域，透過端網雲驗證「智慧鐵道系統資訊與通訊技術規範」之可行性。

為建立全國一致的智慧鐵道技術體系，透過由上而下的「雲、網、端」架構設計將智慧化分為三個層級：頂層的全國鐵道雲負責跨單位的數據加值與即時監理；中層的營運機構雲端平台則專注於場域安全監控與決策輔助；底層則利用物聯網與邊緣運算將數據與分析結果即時回傳。在執行策略上，交通部鐵道局採取「制度先行、架構先定」與「標準領航」原則，推動「研擬、審查、試驗、修正、部頒」的嚴謹循環機制，確保技術規範能精準對接實際營運需求，並可應用 AI 技術以提升鐵道專業數位轉型。本文概述智慧鐵道數位轉型之經驗與推動歷程，供業界先進參考與指教。



## 壹、前言

在資通訊與人工智慧高速發展的浪潮下，臺灣鐵道運輸正處於由傳統邁向數位化的關鍵轉型期。然而，受限於過去由不同時期、多家廠商及分散需求建置的背景，鐵道環境長期存在高度異質化與系統封閉的結構性問題，導致資料格式破碎且介面標準不一。這種「資訊孤島」現象，不僅使智慧化應用僅能停留在缺乏規模化的單點導入，更阻礙了跨系統整合與創新服務的推廣。

為了突破此困境，交通部鐵道局積極推動本計畫，旨在以雲端技術為核心，融合邊緣運算、人工智慧 (AI) 與 5G 等資通訊技術，構築全國一致且開放的標準化架構，引領鐵道營運從過往依賴直覺的「經驗驅動」轉型為精準實時的「數據驅動」，不僅解決了既有的整合門檻，更為臺灣鐵道體系奠定安全、高效且具備國際競爭力的智慧發展基礎。

在具體應用上，以桃園捷運公司作為試辦場域，發展出包含預測性維修、提升旅客服務、強化決策效能等多元智慧化應用。透過分析轉轍器電流曲線與作動時間，系統能在故障發生前預發警報，實測證實能有效減少延誤事件達八成以上，並提升設備可靠度與降低維運人力負荷。透過推動「規範引導、場域驗證、制度支撐」的模式，本計畫不僅解決了系統整合門檻，更致力於將實證成功的智慧鐵道解決方案輸出至其他營運機構，支撐我國鐵道運輸邁向安全與效率並進的新里程。

## 貳、推動目標與策略發展

在發展策略與推動機制的落實上，交通部

鐵道局採取「制度先行、架構先定、標準領航」的核心策略，系統性地建構智慧鐵道發展所需之共同技術語言。發展策略如圖 1 所示，具體可區分為以下三個關鍵面向。

### 一、研擬開放式的「雲、網、端」整體架構

為了解決系統碎裂化的痛點，本計畫首先研擬具備開放性、可擴充性與高相容性的整體技術架構，作為全國各項鐵道系統建置與採購的統一依循準則。在「雲」層級，明確定義可支援跨系統資料整合與彈性應用部署；在「網」層級，則全面對接國際通訊標準，確保異質設備間能無縫對話；在「端」層級，則要求末端設備必須具備連網與標準化資料交換能力。透過這種分層解構的設計，打破了過往單一廠商封閉式規格的限制，確保系統具備多元性與長期演進的彈性。

### 二、建立「研、審、試、修、頒」的循環推動模式

在推動機制方面，鐵道局採取務實的循環流程，該機制包含：由產學研界共同「研擬」規範草案、邀集專家學者進行嚴謹「審查」、於指定場域進行實地「試驗」、根據數據回饋進行細節「修正」，最終完成「部頒」作業。這種模式能確保規範真實對接營運現場的實際需求，更將資安防護納入系統設計的基本條件 (Security by Design)，可滿足未來預測性維修應用與跨機關監理目標。

### 三、規範引導與制度支撐的建設落地

為了加速策略轉化為實質建設，計畫採取「規範引導、場域驗證、制度支撐」三位一體的落地機制。透過頒布「智慧鐵道系統

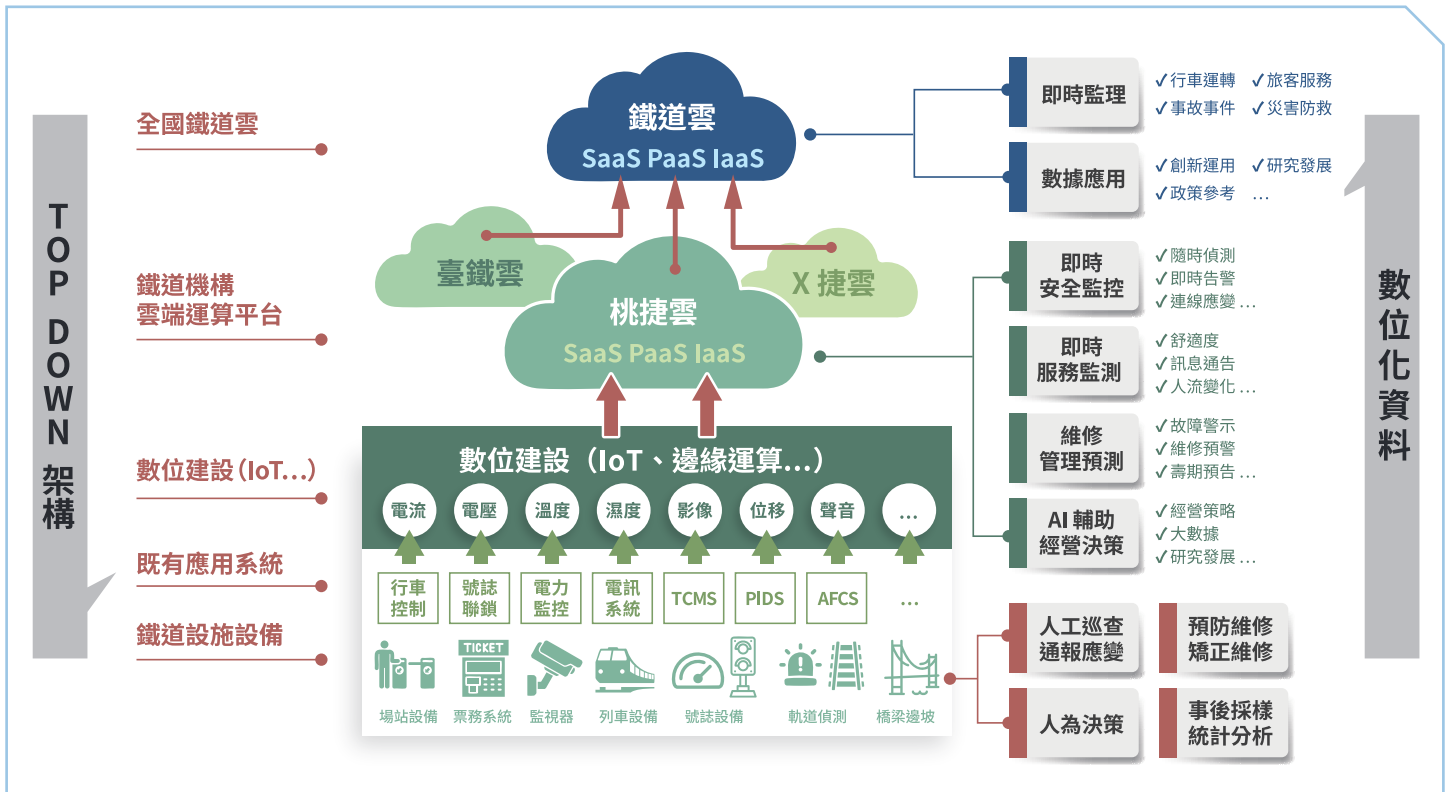


圖 1 智慧鐵道發展策略與關鍵面向

資訊與通訊技術規範」，為各營運機構提供明確的技術對標基礎；同時，結合專案補助制度與試驗場域的推動，有效降低營運單位導入智慧化技術的門檻與風險。這種推動模式不僅解決了既有系統整合困難的問題，更引領國內 ICT 產業依循共同軌跡投入研發，促進產業形成規模經濟，進而提升我國軌道產業的整體競爭力。

整體而言，智慧鐵道技術規範及標準之建立，為我國鐵道長期發展提供了可擴充且符合國際趨勢的技術基礎。未來隨著相關法規與補助機制的持續擴展，該套體系將成為串聯營運、監理與產業發展的重要樞紐，支撐我國智慧鐵道朝向安全、效率與永續發展的目標穩健前行。

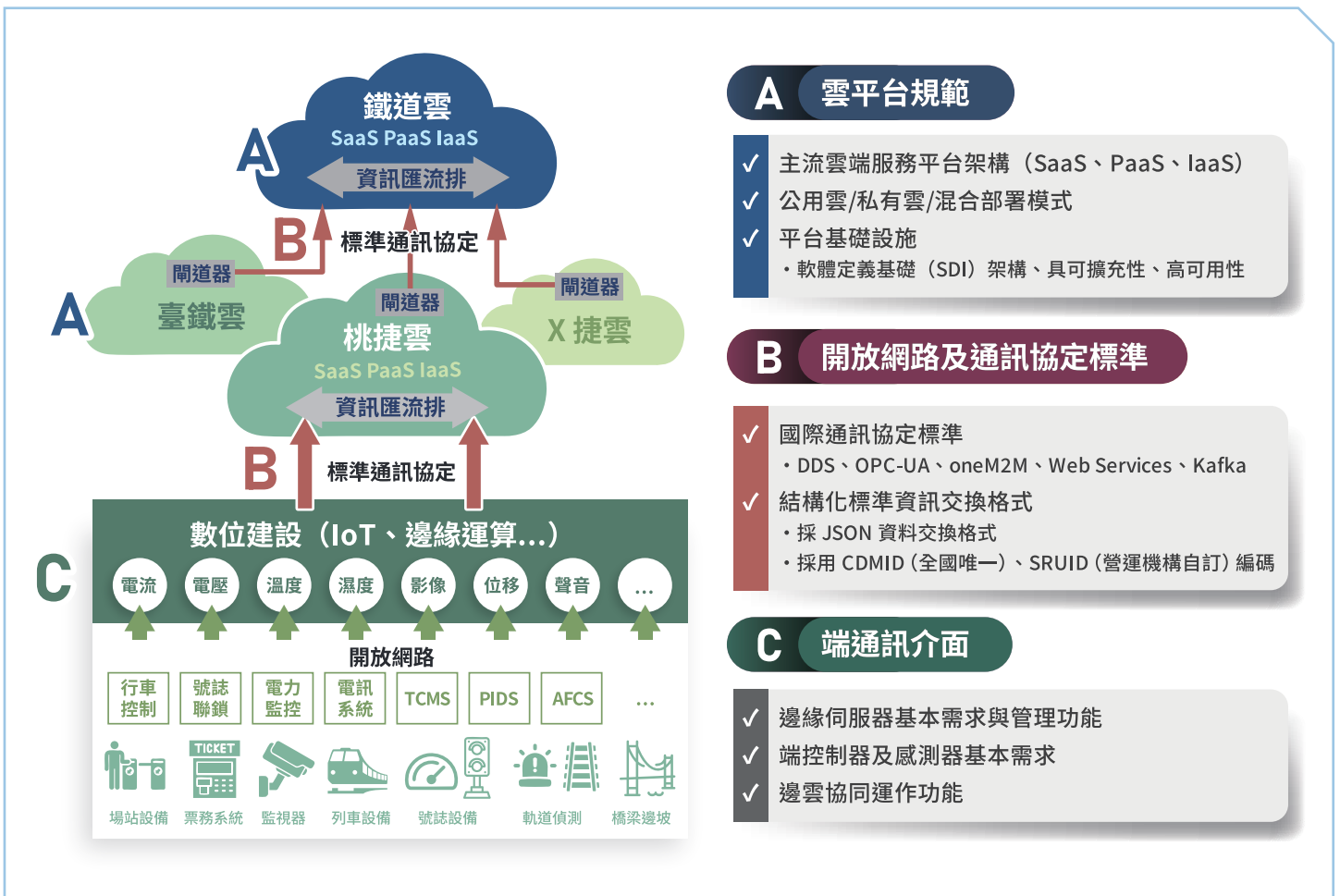
## 參、智慧鐵道技術規範及標準

發展智慧鐵道最重要的核心，莫過於技術規範與標準訂定，這套規範的設計核心依循 Top-Down 導向的「雲、網、端」整體架構，如圖 2 所示，並針對每一層級定義明確的開放性標準。

首先，在「雲平台 (Cloud)」層級，規範定義雲端環境必須涵蓋基礎設施即服務 (IaaS)、平台即服務 (PaaS) 及軟體即服務 (SaaS)。這種階層式設計，可將底層算力資源與上層應用邏輯解構，確保營運機構能根據自身需求，開發如預測性維護、智慧調度等加值應用。

其次，在「通訊網路 (Network)」層級，規範強調採用國際主流的開放標準，不另行訂定封閉式規格，可依照應用場景的即時性需求，彈性選用 DDS、OPC UA、oneM2M 或 Web Services 等工業物聯網 (IIoT) 通訊協定，確保不同品牌、不同年份的設備皆能透過標準協議進行對話，提升系統的互通性與未來擴充的彈性，並運用「典範數據模型 (CDM)」與「智慧鐵道資料交換 (SRX)」等標準化格式，達成跨機構、跨系統的資料匯流。

再者，在「端設備 (Terminal)」層級，規範要求核心安全系統 (如號誌、通訊設備) 在符合既有鐵道安全規範的前提下，必



須具備標準化資料交換能力，使末端設備產生的感測數據能回饋至雲端平台，解決了過去數據蒐集困難且格式不一的痛點。

### 肆、試辦場域與效益分析

為驗證技術規範在真實營運環境中的落地可行性，選定桃園捷運公司作為全國首波 5G 智慧鐵道試驗場域，透過補助機制協助營運機構完成 5G 試驗環境佈建。本計畫之核心在於桃捷雲平台「metro MARS」的開發與應用，該平台深度整合 5G 高頻寬通訊、邊緣運算與大數據分析技術，成功介接包含轉轍器監控、電力系統、車站環境感測及 CCTV 影像等共 58 項關鍵數據類別。透過 5G 等資通訊技術將海量前端數據即時回流至雲端大腦，平台得以執行多項智慧運輸、智慧維修及預警式跨單位資訊分析專案，藉由真實場域的壓力測試，徹底驗證了智慧鐵道技術規範在實際營運中的相容性與穩定度。

在具體效益方面，「metro MARS」將傳統的「故障後維修」轉化為「預測性維護」。以轉轍器 AI 監測為例，系統透過分析電流曲線與作動時間的微小偏差，能在故障發生前發出預警，實現精準維修。根據實測數據顯示，此一智慧化監測模式使機場捷運的營運可靠度 (MKBF) 獲得 7 倍提升；延誤事件大幅減少達 82%，如圖 3 所示。

在人力與設備效能指標上，透過自動化巡檢取代高重複性的人工目視檢查，自 2022 年統計人工維運作業人時為 115,890 (人時/年)，而自 2023 年引進桃捷雲平台 metro MARS 以來，2025 年維運作業人時將降為 92,998 (人時/年)，整體節省營運人時數達 20%  $((115,890-92,998) / 115,890)$ ；同時，經由長期的健康趨勢分析與精準養護，設備的平均故障間隔 (MTBF) 亦成功提高 5% 以上。這些數據實證了智慧化系統能有效阻斷故障連鎖反應，在提升運輸安全品質的同時，亦顯著強化了整體營運與維修的自動化效率。

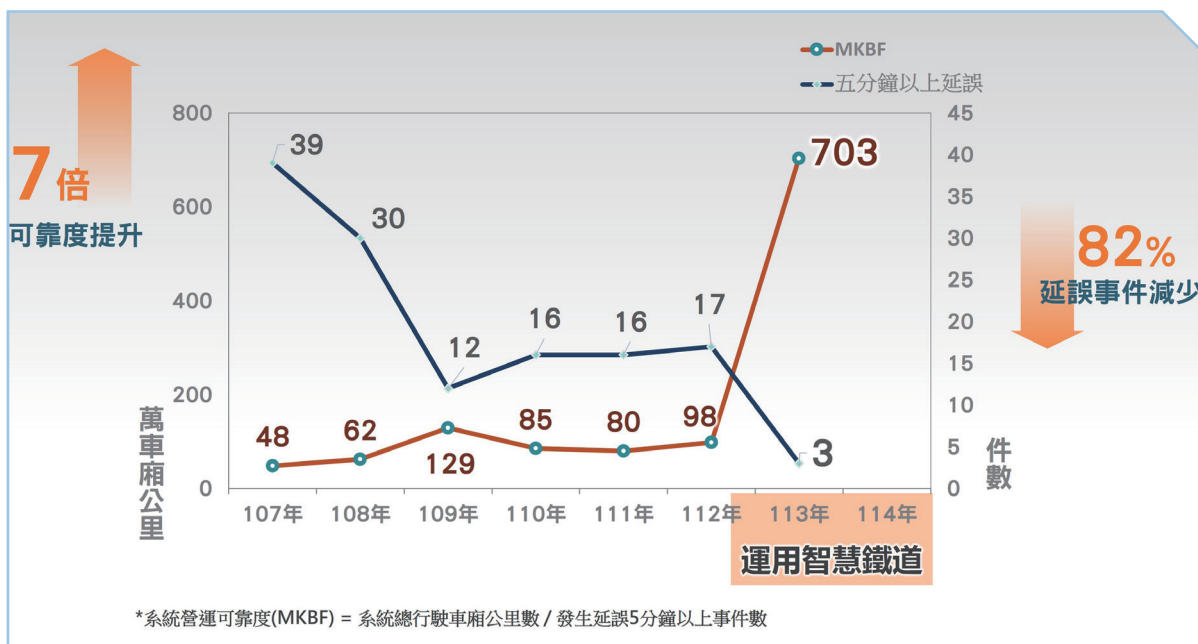


圖 3 機場捷運營運可靠度 (MKBF) 及五分鐘以上延誤事件數據圖

## 伍、5G 智慧鐵道應用：鐵 Tao 智慧中心

### 一、鐵 Tao 智慧中心

交通部鐵道局於板橋車站 22 樓建立鐵 Tao 智慧中心，如圖 4 所示，是國家級智慧鐵道運輸及監理環境的「大腦」，亦即「鐵 Tao 智慧雲平台」的實體指揮中樞。在底層為蒐集跨單位數據與即時監理，不僅整合來自各鐵道營運機構之關鍵營運與監理資料，作為各資訊呈現場域，更是支撐全國鐵道系統即時監控、跨系統整合與智慧決策之關鍵中心。

鐵 Tao 智慧中心之儀表板可彙整即時營運資訊、設備狀態、異常警示及趨勢分析成果，讓管理者能以單一介面掌握整體鐵道系統運作情形。透過大螢幕電視牆呈現列車運行狀態、設備監測數據、數據分析與營運指標，展現即時監控、跨系統資料交換與決策輔助的實際應用成效，充分體現「資料匯流、智慧決策」的核心理念。

鐵 Tao 智慧雲平台架構如圖 5 所示，以兼顧資安防護、系統穩定性與未來擴充需求為核心設計理念，採用符合交通部頒規範

之分層雲端架構，整合各項營運與維運資訊系統，建構具備高可用性、彈性擴充與集中管理能力之智慧鐵道資訊環境。

基礎設施層透過虛擬化與軟體定義技術，提供運算、網路與儲存資源的集中管理與動態配置，支援多台實體伺服器、虛擬機與容器環境，並具備高可用、負載調度與資料保護機制，以確保系統穩定運作。

平台服務層則建置容器管理與微服務架構，提供應用服務快速部署、擴充與版本管理能力，並整合訊息佇列、API 管理及持續整合／持續部署機制，強化系統間資料匯流效率與維運自動化程度。

應用服務層提供多項智慧鐵道應用系統，涵蓋營運管理、設備維修、行車安全及事件通報等功能，並可依業務需求彈性擴充。為掌握各單位即時資訊及支援救災等需求，爰建置跨系統、跨單位之鐵道雲資訊整合平台，可調閱鐵道營運機構即時影像，透過資料匯流排介接 58 項關鍵數據，即時掌握鐵路營運機構之營運狀態、趨勢分析及異常告警資訊，已發展之智慧鐵道應用功能如圖 6 所示。



圖 4 鐵 Tao 智慧中心

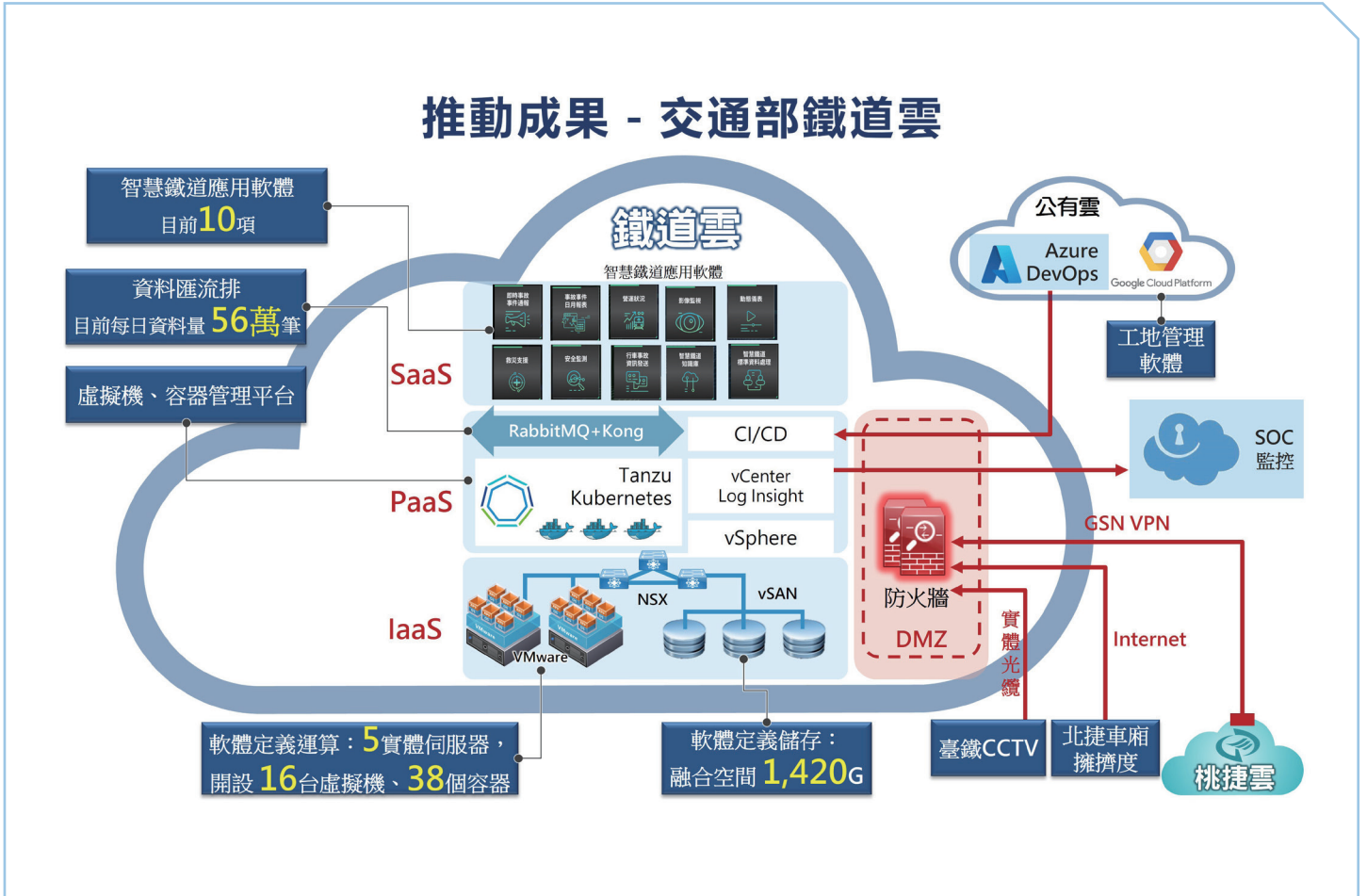


圖 5 鐵 Tao 智慧雲平台架構圖



圖 6 鐵 Tao 智慧雲平台應用功能

在資安與對外連線架構上，系統採用多層防護設計，透過防火牆與隔離區機制區分內外部網路，並結合安全通道與專線連結方式，安全串接外部管理系統、監控中心及公有雲服務，形塑完整且具韌性的智慧鐵道雲端系統架構。

## 二、資訊彙流

### (一) 即時資訊監控與展示

藉由匯集鐵路、捷運等多家營運機構的營運資料，達到跨機構、跨系統的一站式監控，再透過「戰情室動態儀表板」，即時掌握全臺鐵道系統（包含臺鐵、高鐵及各捷運）的列車運作狀態、位置及準誤點情形，有效掌握全臺鐵道即時資訊，降低人工檢視作業負擔並提升安全防護層級。

### (二) 營運與安全監理

管理範圍涵蓋電力監控、轉轍器狀態、車站月台服務，以及邊坡、橋梁與地震等環境監測數據。

### (三) 應變與決策支援

整合影像監視、行車事故通報及救災管理支援軟體，在突發事件發生時提供精準的數據輔助決策，一旦發生事故或突發狀況，更能迅速協調各單位聯防與疏運工作，使應變單位能迅速掌握影響範圍、研判風險等級並協調處置資源，提升整體應變效率與處理即時性。

### (四) 數據統計與分析

彙整各營運機構的營運指標（如 MKBF 可靠度）、維修資訊及碳排指標，進行長期的趨勢預測與效能評估。

### (五) 工程安全掌握

另外，針對鐵道局臨軌施工的安全監理，透過鐵 Tao 智慧中心，可以確保施工前、中、後，每一施工步驟安全檢核都確實執行，並透過 CCTV 影像即時監看高風險工班的施工畫面與作業狀態，強化即時監理能力。實際試辦結果顯示，導入這套機制後，施工意外已有下降趨勢，對第一線作業安全有很大的幫助。

綜合上述，鐵 Tao 智慧中心其價值不僅在於展示資訊，更在於建構一個以全國鐵道網路資料為核心、以 AI 為輔助、支援決策為導向之智慧化營運平台，同時肩負新技術展示、測試驗證與產官學研交流平台的角色，未來將持續支援 AI 智慧維修、異常偵測、鐵道資料應用及跨單位合作，為智慧鐵道之安全管理、智慧維運與永續發展奠定關鍵基礎。

## 陸、智慧鐵道補助計畫

智慧鐵道補助計畫係在 5G 智慧鐵道計畫既有成果基礎上，逐步建構全國一致且可延續之發展方向，透過中央層級政策引導，結合地方與營運機構實際需求，推動智慧鐵道由單點應用邁向系統化、平台化與規模化發展。

在推動架構上，智慧鐵道發展策略結合政策規劃與實務方案，逐步累積可複製、可推廣之推動模式。此一架構有助於整合不同營運機構之發展節奏，形成全國一致的智慧鐵道發展藍圖。

配合整體發展策略，智慧鐵道補助計畫作為重要政策工具，採取分階段、分對象之補助設計，以引導各單位循序推動智慧鐵

道相關建設。補助策略區分規劃階段與建置階段，並依據單位發展成熟度，提供不同補助項目與經費上限，確保資源投入符合實際需求與發展條件。

在補助內容上，規劃階段以協助尚未完成智慧鐵道整體規劃之單位，進行系統性盤點與設計為主，作為後續建置與擴充之基礎；建置階段則聚焦於各鐵道營運機構雲平台與 IoT 相關應用導入，並依優先順序提供不同補助額度，引導各單位先完成必要基礎建設，再逐步擴充智慧應用。整體規劃如圖 7 所示，此一補助設計有助於避免跳躍式建置，確保智慧鐵道發展具備一致性與可持續性。

就整體期程而言，智慧鐵道補助計畫規劃於 2025 至 2029 年間分期推動，透過多期補助機制，兼顧不同單位之準備程度與執行能量。各期補助均包含申請、簽約、招標與計畫執行等階段，並透過明確時程控管，提升補助資源運用效率與計畫執行可行性。

綜合而言，全國智慧鐵道發展策略透過明確的政策定位與補助機制設計，形塑由中央引導、地方與營運機構共同參與之推動模式。藉由策略一致、分階段推進及補助資源配套，全國智慧鐵道發展得以在兼顧彈性與一致性的前提下，穩健推進，為後續智慧應用深化與系統整合奠定共同基礎。

## 柒、鐵道雲 AI 發展藍圖與策略

### 一、發展藍圖

基於鐵 Tao 智慧雲平台架構發展鐵道 AI 生態系，核心目標不僅在於導入若干智慧應用，而是建構一個可持續演進、可規模擴張且可制度化運作之 AI 體系，使鐵道系統能由傳統資訊化階段，邁向以資料驅動、以智慧輔助決策為核心的新世代營運模式，實現 AI 賦能願景。此一生態系願景，強調從底層能力建設出發，逐步累積組織級 AI 動能，最終形成跨單位共享、跨系統協作與跨場域延展之智慧鐵道體系。

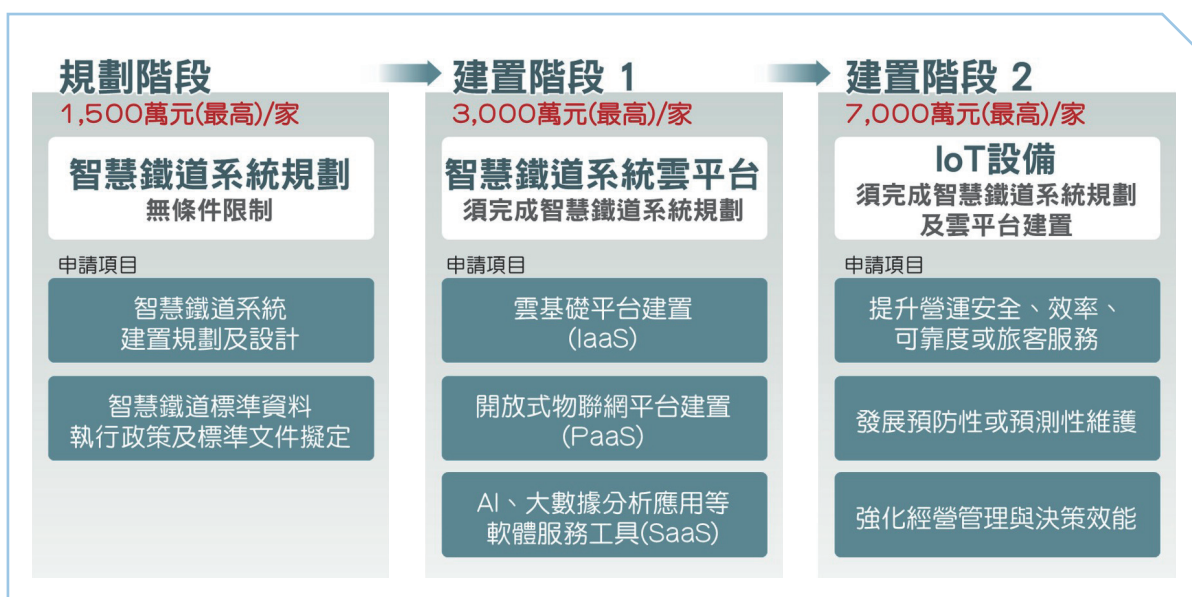


圖 7 補助計畫規劃示意圖

鐵道 AI 生態系透過標準化介面、算力資源治理與資訊安全等機制組成，使模型從資料生成、訓練部署到實際應用形成可持續運作之閉環體系，如圖 8 所示。在此架構中，「AI 模型訓練與推論」涵蓋自動化資料蒐集、模型訓練、部署、監控、維護與機器學習作業 (Machine Learning Operations, MLOps)，將混合雲與邊緣運算整合可擴展之運算資源與高效能儲存設備，並透過資源共享機制，實現模型、算力與資料之集中管理與跨系統調用，以支援系統彈性調度與高度可用性之運作。

「AI 模型運用」則聚焦於資訊數位化轉型價值，將訓練成果導入實際營運機構場域，透過代理型 AI (Agentic AI) 系統架構，使 AI 具備記憶、規劃、工具調用與任務執行能力，達成跨系統流程自動化與智慧協作。不同 Agent 透過模型上下文協定

(Model Context Protocol, MCP) 之標準協定串接，實現模型模組化、跨系統資料互通及資料安全性控管，確保模型可於不同平台或場景間流通與使用。

通過系統標準化，AI 將不再侷限於單一系統，而是形成可擴展、可管理、可整合之 AI 服務網路。

## 二、分層策略與推動構想

鐵道 AI 生態系係以「由內而外、環環相扣」為策略，如圖 9 所示。透過系統性分層建構方式，形成兼具穩定性、可擴充性與永續發展能力之智慧鐵道 AI 體系。生態系不應著眼於單一 AI 應用導入，而係以長期發展為建設導向，將鐵道 AI 發展劃分為基礎、應用與生態系三個層級，形成由底層支撐上層、由內部擴散外部之演進架構。



圖 8 鐵道 AI 生態系發展藍圖

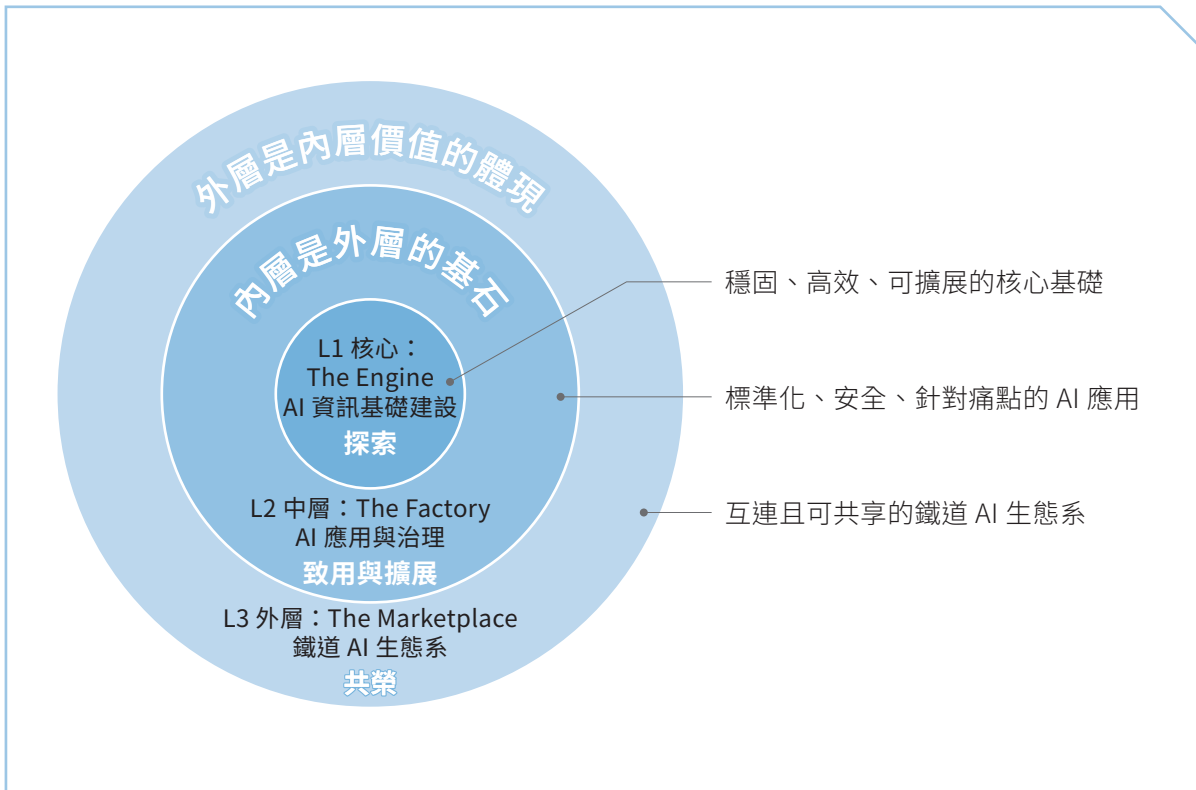


圖 9 鐵道 AI 生態系發展策略

在內層 (L1 The Engine)，重點聚焦於 AI 基礎建設建置，作為整體生態系運算與資料核心。此層級涵蓋 Agentic AI、MCP、算力資源與容器化平台，並納入 GPU 資源調度、模型執行環境與資安防護，確保 AI 模型訓練與推論具備穩定、高效且可持續擴充之運作基礎。此一層級的核心目標，在於建立可長期承載 Agentic AI 及各類 AI 應用的底座，使後續發展不受限於單一專案建置。

中層 (L2 The Factory) 則著重於 AI 應用與治理能力形成，透過 MLOps 機制、資料湖倉 (Data Lakehouse) 與資料匯流排架構，建立標準化之資料處理、模型訓練、部署與監控流程，確保 AI 應用具備可重複、可管理與可稽核之特性；同時，此層

亦整合大語言模型、影像辨識等工具，針對鐵道營運與維運痛點，持續產出 AI 應用之實務價值。

外層 (L3 The Marketplace) 則以生態系擴展為目標，從內部應用導入邁向跨單位、跨系統與跨夥伴之協同發展。此層著重於混合雲架構、算力與模型共享、Agentic AI 平台共用及生態夥伴協作，逐步形塑可互通、可交換、可擴散之鐵道 AI 生態體系。透過資源共享與標準介接，促進創新、AI 人才培育與永續營運模式發展。

藉由此一架構，鐵道 AI 生態系得以同時兼顧「模型生產效率」與「應用價值落地」，為後續智慧營運、預測性維護與決策支援奠定可持續演進之技術基礎。

## 捌、結語

交通部鐵道局 2021 — 2025 年「建立 5G 智慧鐵道運輸及監理環境計畫」相關工作已完成，並於 2025 年 12 月 14 日正式啟用鐵 Tao 智慧中心。Tao 是 Train Advanced Operation 縮寫，象徵智慧鐵道發展的加速平台。Tao 英譯「道」，老子《道德經》第三十二章「譬道之在天下，猶川谷之於江海」，鐵 Tao 智慧中心承載此意象，匯集鐵道營運機構多源數據，形成一個高度開放、跨系統及機構整合的智慧平台；在共同的資料格式與技術架構之上，推動國家鐵道智慧化邁向一致的標準與軌道。藉由「道」所象徵的貫通、協調與順勢而行的精神，使技術、標準、營運與管理自然融合，進而全面提升鐵道運輸的安全性、效率與服務品質。

智慧鐵道發展過程中，係以制度設計與技術規範為起點，透過 5G 智慧鐵道計畫累積

實證經驗，再上升至全國層級策略與補助機制，引導智慧鐵道由單點應用邁向系統化與規模化發展，續推動 2025 至 2029 年計畫，進行鐵 Tao 智慧雲平台優化擴充、其他鐵道營運機構介接及 AI 生態系建立。智慧鐵道技術規範及標準的建立，不僅解決既有系統整合困難問題，更為跨系統整合與 AI 應用奠定共同基礎。未來，隨著補助制度、技術規範與平台架構持續精進，智慧鐵道將可在兼顧安全、效率與永續的前提下，逐步以資料驅動之新型營運模式，為我國智慧鐵道長期發展提供穩定發展基礎。

## 參考文獻

1. 智慧鐵道系統資訊與通訊技術規範，交通部頒布規範（2024.9.30）。
2. 「5G 智慧鐵道運輸及監理環境計畫專案管理」結案報告（2025）。



# 鐵道智慧化應用——臺鐵雲平台 資訊整合之創新挑戰

## 關鍵詞 Keywords

- # 臺鐵雲平台 Taiwan Railways Cloud Platform
- # 資訊整合 Information Integration
- # 行車運轉環境 Operating Environment
- # 時間一致性 Time Synchronization
- # 資料標準化 Data Standardization
- # 基本圖資 Base GIS Data

台灣世曦工程顧問股份有限公司  
電機部

### 正工程師

蔡宗螢

### 工程師

吳浩平

### 副理

段人豪

國營臺灣鐵路股份有限公司  
數位發展處

### 副處長

黃柏景

### 處長

劉傳彥



臺灣鐵路營運體系長期由運務、工務、機務及電務等專業單位分工執行，各單位因應業務需求與技術發展，分別建置相關維運與管理系統，並各自管理所轄資料。此模式雖能滿足單一業務之作業需求，然因系統間缺乏一致之資料介接與整合機制，跨單位資料彙整與整體應用仍面臨挑戰，對營運管理與決策支援之即時性與完整性造成一定限制。

為因應上述課題，本文以國營臺灣鐵路股份有限公司（以下簡稱臺鐵）臺鐵雲平台建置經驗，說明在智慧鐵道整體架構下之定位與功能規劃，並以「數位轉型應用服務」、「智慧鐵道資訊整合平台」及「標準資料介接整合」作為主要推動方向。並透過成果展示之方式，於行車運轉相關情境中進行系統架構與資訊整合流程之驗證，檢視多源資料整合與呈現之可行性，作為後續專業系統實際介接與雲端應用服務持續建置之參考基礎。



## 壹、前言

臺鐵整體營運主要由運務、工務、機務及電務等專業單位分工執行，長期以來，各單位為因應自身業務需求與技術演進，陸續獨立建置相關維運與管理系統，並各自管控所轄之重要業務資料。此一發展模式雖有助於單一業務面向深化，然因缺乏跨單位整合機制，各系統間資料格式、更新頻率與語意定義不一，致使臺鐵長期累積之營運數據難以有效整合分析，亦不利於跨域決策支援與即時應變處置。

隨著組織型態轉變、既有系統逐漸老化，以及旅運需求與營運複雜度持續提升，臺鐵需推動整體營運模式之智慧化與數位化轉型。為回應此一需求，臺鐵首先擬定智慧鐵道整體發展架構，並結合組織分工與業務面向，將相關系統區分為旅運服務、安全管理、行車控制、電務、機務、工務、行政支援、附業營運及資產開發等九

大面向，如圖 1 所示，作為後續系統整合與發展之依據。

在此整體架構下，「臺鐵雲平台」被定位為跨單位、跨系統之核心整合平台，負責彙整各專業系統之關鍵資料，並提供一致的資料介接與應用服務基礎。並透過盤點既有運、工、機、電等專業系統，釐清資料來源、系統特性與介接可行性，作為後續雲平台建置與資料治理之基礎。期能逐步結合物聯網、大數據、雲端運算及人工智慧等技術，強化行車運轉管理、維修作業、安全監控及旅客服務等面向之即時資訊掌握與決策支援能力。

## 貳、臺鐵雲建置計畫

為了滿足對於高效能、高彈性與高安全性的雲端環境需求，臺鐵雲平台採用了現代雲端「架構完善框架 (Well-Architected Framework)」作為核心設計理念，以支持

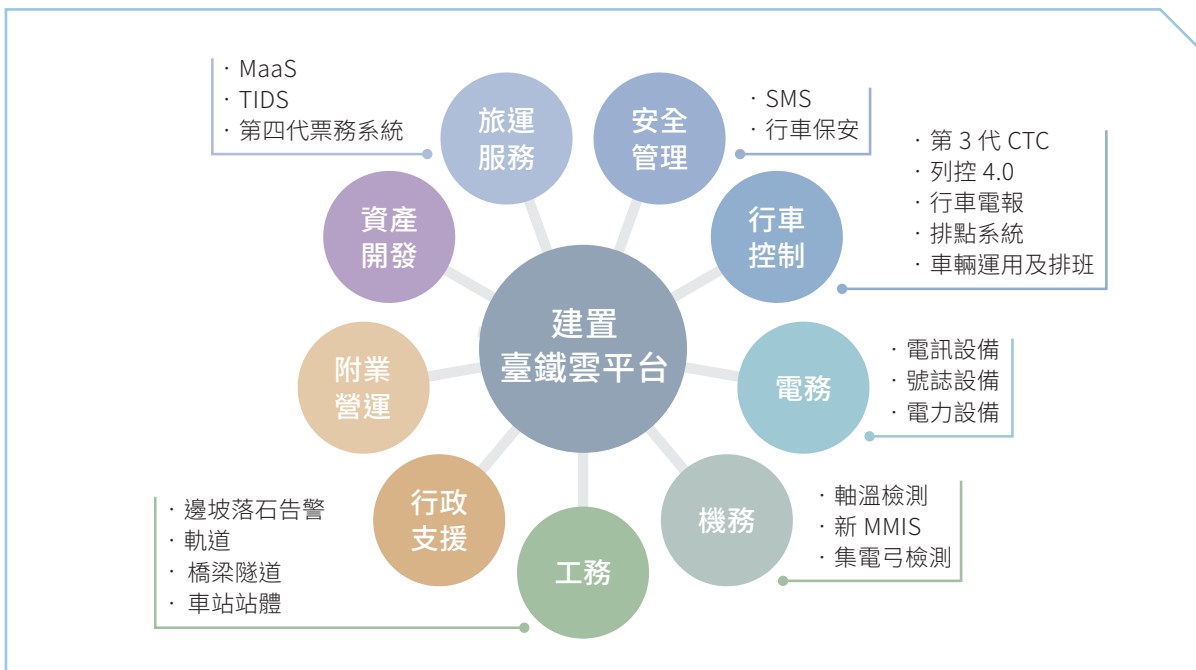


圖 1 臺鐵智慧化發展架構示意圖

「建立一致性資料介接規格標準」、「建立數據分析資料庫」與「提供決策支援及資料介接」三大主軸策略。此框架的五大支柱「安全性、可靠性、效能效率、成本優化與卓越營運」不僅確保系統的高穩定性和高可用性，還為平台的靈活性與可擴展性提供了堅實的基礎，如圖 2 所示

### 一、臺鐵雲系統平台架構與配置

為提供臺鐵雲平台一個具備高可用性、備份復原架構之 PaaS 私有雲，主要建置主資料中心與副資料中心，透過既設網路 (Internet) 傳輸系統連接鐵道局鐵道雲平

台與租用之公有雲服務，用於大數據分析軟體、資料儲存及相關套件資源使用。搭配廣域負載平衡機制，在主資料中心異常時，提供服務轉移異地備援能力。

雲平台設置所需的軟硬體設備，以提供高性能、安全、穩健 IT 基礎設施，採用複數備援設計原則，強化可用性、可靠度，確保服務可持續性。設計區分為核心區、內網 DMZ 區、資料儲存區、外網 DMZ 區及網際網路區，以核心交換器為主體與各功能區連線，並提供相應的資安方案提供隔離管控保護，各區之間原則上以實體網路設備或虛擬網路隔離。

依循世界主流雲端架構框架，設計本案達到彈性擴展，分布式計算，安全可靠，快速部署

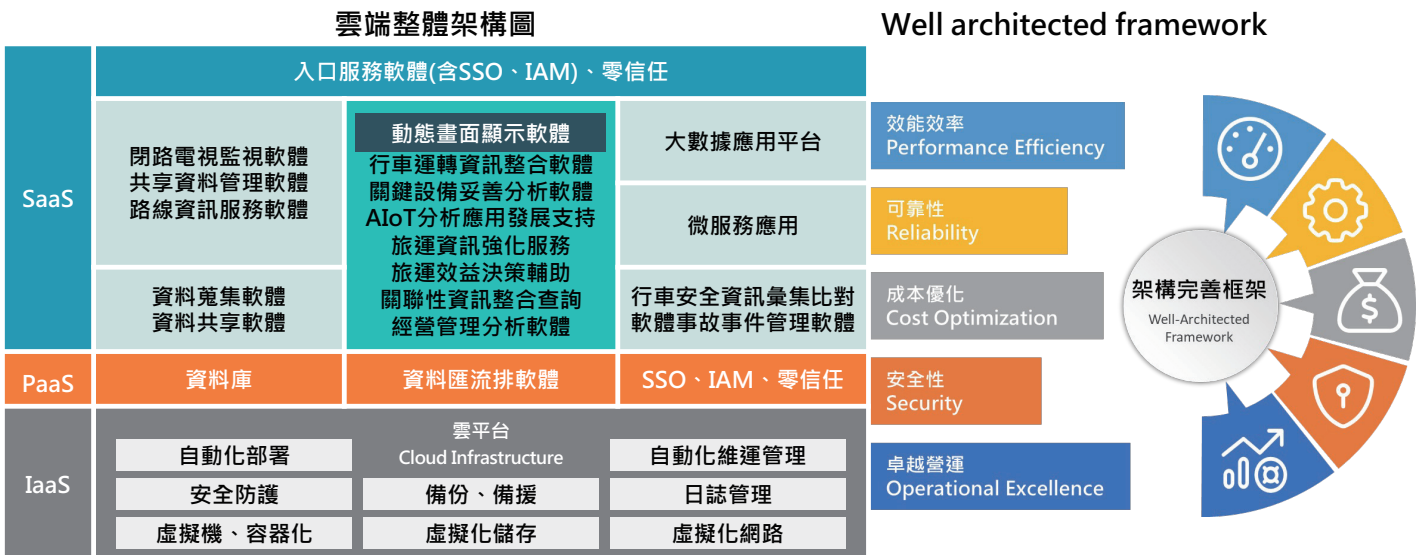


圖 2 臺鐵雲端整體架構圖

雲平台運作架構設計採用虛擬主機 (Virtual Machine, VM) 和容器微服務平台架構，實體伺服器主機群採用叢集 (Cluster) 技術，將計算、網路、儲存建構為資源池的模式，便於彈性調整，提供故障容錯能力。資源池內的虛擬主機或容器依據性質分區，透過虛擬交換器連接該區區域網路交換器提供隔離與資料傳輸，臺鐵雲平台整體系統架構如圖 3 所示。

## 二、行車運轉環境之資訊整合範疇與介接系統

本平台先以「行車運轉環境之資訊整合」為主軸，聚焦於災害或異常狀況下，營運人

員需要在短時間內彙整多源資訊並完成判斷與處置的工作情境，整合範疇涵蓋：

### (一) GIS 圖台 (地理空間資訊)

展現列車即時位置、事件資訊、閉路電視影像、環境資訊等資訊。

### (二) 軌道路線圖

展現平交道、列車即時位置、車次佔用軌道、事件資訊、閉路電視影像等資訊。

### (三) 路網圖

路網與車站營運狀態、事件資訊等如圖 4 所示。

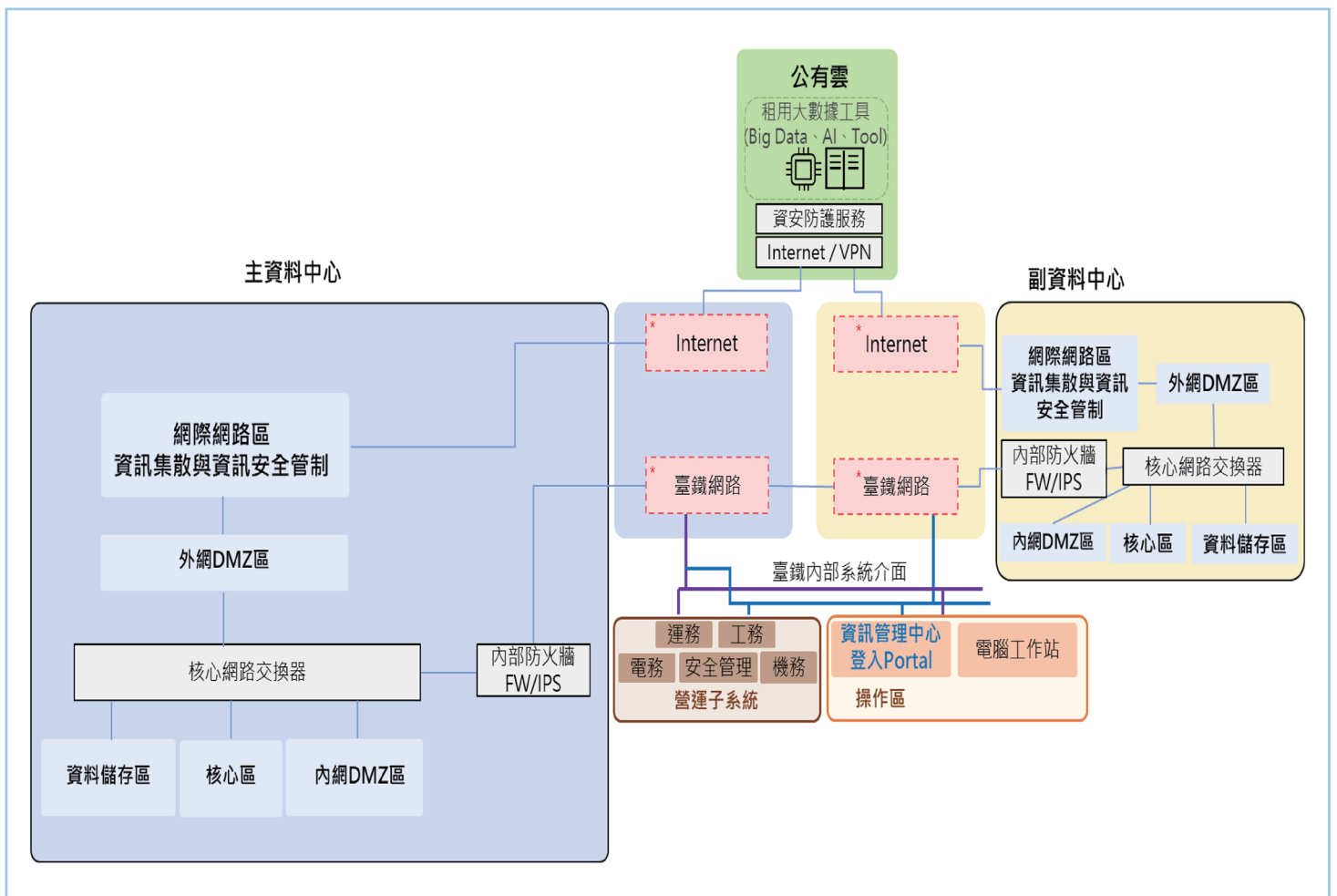


圖 3 臺鐵雲平台整體系統架構示意圖

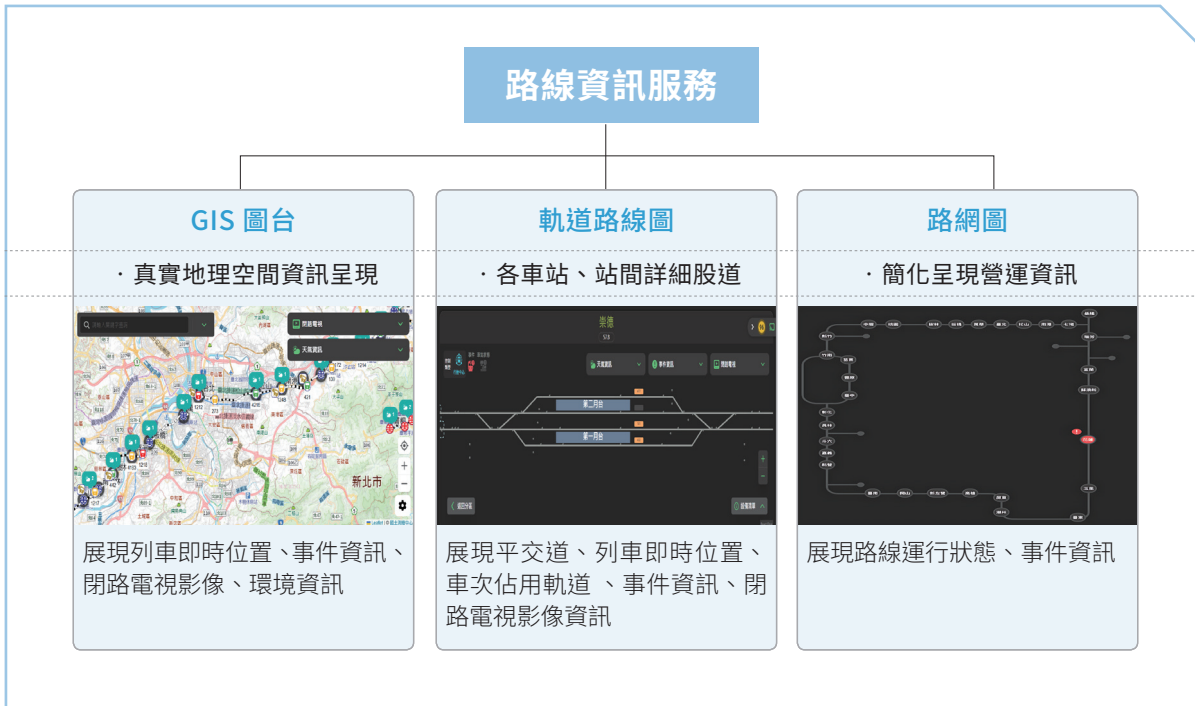


圖 4 點(路網圖)、線(軌道路線圖)、面(GIS 圖)之多維呈現概念

## 參、臺鐵各專業系統介接整合方法

### (一) 專案管理辦理方式與追蹤機制

為降低臺鐵既有專業系統彼此獨立建置所造成之資料孤島與介接不確定性，於規劃階段採用「跨單位需求訪談+系統盤點」並行方式，訪談與盤點重點包含各系統可提供資料範圍與更新頻率；網路介接方式

與環境可行性；資料欄位定義與編碼一致性；既有系統限制與合約約束等，該訪談與盤點成果可用以支撐後續治理分工與資料標準化之設計依據。另為利雲平台建置工作推動，採雙層結構方式即以五個小型 PMO 整合各業務領域複雜的系統問題後，再以定期會議方式解決整合過程中的不確定性，如圖 5 所示。

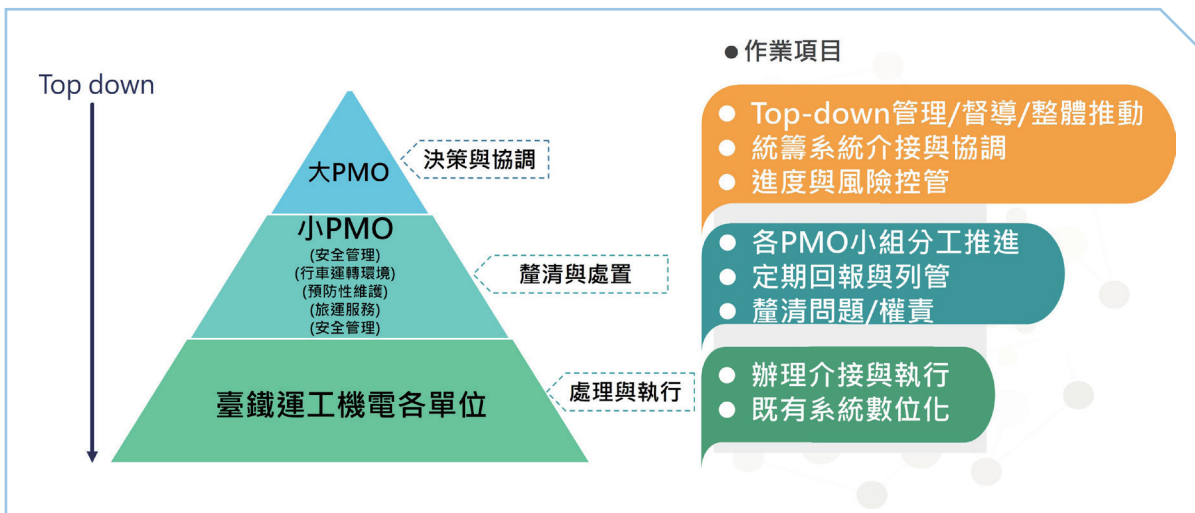


圖 5 智慧鐵道發展推動 PMO 工作小組

## (二) 常見整合議題和標準化策略

針對雲平台與各專業系統介接，歸納三項共通性議題：時間不一致、資料標準化不足、基礎圖資不一致，且需優先處理以確保後續建置之精準性與穩定性。

### 1. 時間一致性 (Time Synchronization)：

規劃母鐘來源與標準作業程序，要求既有連網系統之 NTP 與數位發展處 NTP (母鐘) 同步；未具對時機制者可直接對母鐘或自建子鐘並同步；車輛端建議以 GPS / Wi-Fi / 行動網路等方式校時，並將時間一致性納入未來發包與列管要求。

### 2. 資料標準化 (Data Standardization)

依循一致性資料介接規範資料標準，如平交道、車站基本資料、車站代碼、線別等共用資料，明確資料權管單位與存取權

限，律定資料內容詮釋方式；由雲平台依標準化內容建置共用資料服務與 API，以提升共享效率。

### 3. 基本圖資 (Base GIS Data)

針對圖資更新與一致性問題，要求建立定期更新機制，並在軟體開發階段以指定權管來源作為基準，以避免圖資不一致與重複投資。

## 肆、現況成果展示

本建置「臺鐵雲平台」係透過具體情境與可視化介面，展示外部資料與專業系統資料整合對整體行車運轉管理上的支援價值，透過「全區檢視」視角關注全線態勢、災害風險研判與跨域協作的資訊調度，以下將以震度標記，CCTV 圖層及全區檢視調閱為例，分述說明如下。

### 一、震度標記

地震情境因具「告警密集、資訊量大、時間緊迫」的特性，且涵蓋路線安全、列車運行與外勤巡查等跨域協作需求，透過全域震度分布與事件清單整合，地震告警發生後，系統同樣以燈號與事件列表呈現告

警狀態，全區檢視人員的第一步是切換至「地震資訊」圖層，於 GIS 地圖上直接呈現各站震度分布與標記。此作法可在短時間內將全台多點資訊轉為可視化空間圖像，並避免僅靠文字清單造成的認知負荷。如圖 6 所示。



圖 6 臺鐵各震度分布與標記

## 二、CCTV 圖層

CCTV 圖層與路線運行狀態頁面，輔助確認是否存在路線阻斷或站場異常，並在巡查回報後更新事件狀態，如圖 7 所示。透過

上述流程，全區檢視人員得以在多來源告警湧入時，維持全域態勢掌握，並以資料整合支援跨域協作，最終促成事件的有效收斂。



圖 7 CCTV 視覺化整合監視調閱

## 三、全區檢視

全區檢視的核心價值在於促進跨域協作。當全區檢視人員完成初步風險研判後，可將關注區段、里程點與影響範圍回饋至調度與外勤單位，作為行車命令範圍設定、

巡查派遣與回報彙整的共同依據。以同一套地圖與圖層為共享語言，可降低不同單位因資料定義或位置描述不一致而產生的溝通成本，並使各單位在流程銜接上形成可追溯的資訊鏈，如圖 8 所示

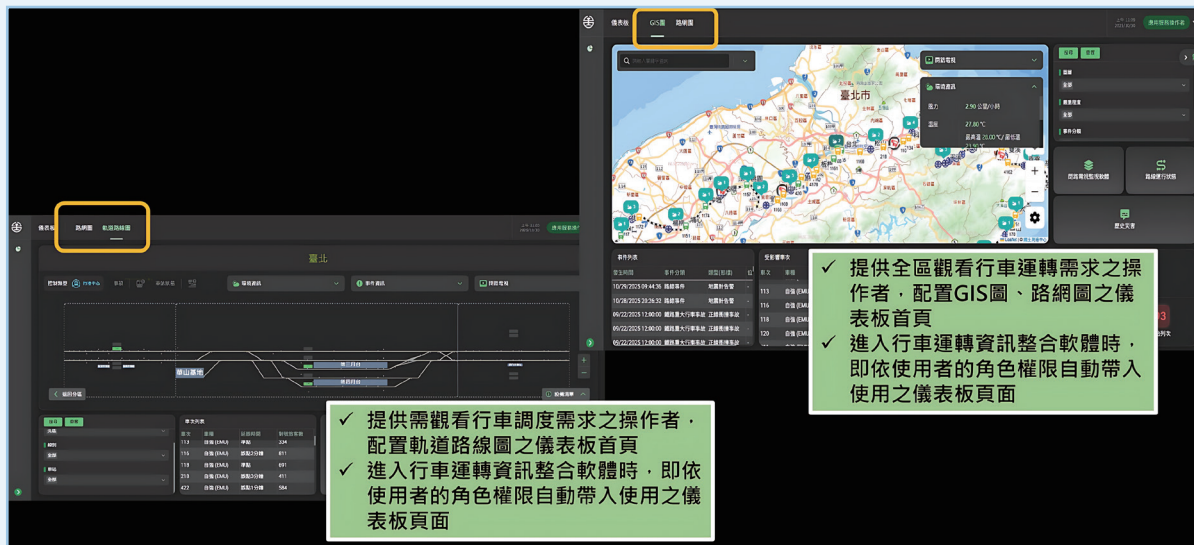


圖 8 全區監視調閱

## 伍、結語

因調度與跨域協作的實務需求須將事件處置需要同時引用多源資訊（如告警、位置、影像、風險圖資、列車狀態）整合，臺鐵雲平台跨系統資訊整合於行車運轉管理情境，並可歸納為下列三項主要效益。

首先，在資訊整合效益方面，透過 GIS 圖、路網圖與軌道路線圖之多維呈現方式，將列車動態、事件告警、影像資料與靜態圖資整合於同一介面中，讓使用者得以於單一畫面完成多源資訊比對，降低跨系統切換與資訊判讀成本。其次，在流程銜接效益方面，系統以事件或告警作為觸發點，串聯事件管理與標準作業流程（SOP）處置機制，使調度、工電巡查及管理決策得以在同一事件脈絡下完成指派、回報與追蹤，有助於提升作業流程一致性與處置效率。第三，在跨域協作效益方面，「全區檢視」所提供之共通作業圖像，讓不同專業單位得以在一致的空間、里程與事件語言基礎上進行溝通與協調，降低因資料定義差異所產生之溝通落差，強化

跨單位協作效率。

整體而言，透過雲平台建置逐步完成臺鐵數位轉型「資訊交換格式待統一」、「資訊孤島待整合」及「決策支援成效待精進」等重要課題。後續隨著既有專業系統資料持續介接與雲端應用服務逐步建置完成，臺鐵雲平台將可進一步匯集更完整且具時效性之營運數據，作為推動資料治理、大數據分析與人工智慧應用之基礎。

未來，透過臺鐵雲平台整合架構與智慧化分析技術之導入，期能協助經營管理者更即時、直覺地掌握營運態勢與關鍵資訊，進而優化業務執行效率、提升決策支援品質，並持續強化臺鐵整體營運效能，朝向前瞻智慧鐵道管理目標穩健邁進。

## 參考文獻

1. 交通部鐵道局，智慧鐵道系統資訊與通訊技術規範（2023）。
2. 國營臺灣鐵路股份有限公司，建立一致性資料介接規範（2025）。

# 智慧交通韌性管理—— 快速公路交控發展與展望

## 關鍵詞 Keywords

- # 交控系統 Traffic Control System
- # 智慧運輸系統 Intelligent Transportation System
- # 動態地磅系統 Weigh-In-Motion System
- # 光纖傳輸系統 Optical Fiber Transmission System
- # 天候管理 Weather Condition Management

台灣世曦工程顧問股份有限公司  
電機部

### 計畫副理

劉品均

### 工程師

吳浩平

### 正工程師

葉鳴紳

### 業務經理

林柏鋒



隨著台 61 線西濱快速公路全線通車，台 61 線與東西向快速公路形成完整西部快速公路路網，針對路網變化，交通部公路局重新規劃交控策略並更新、導入交控系統，將東西向快速公路逐年改接整合回公路局交控系統進行統一運作，並針對快速公路面臨的交通問題及交通管理需求，透過交控系統升級、傳輸網路建置及備援、動態地磅系統、天候管理策略等手段，強化整體快速公路交控系統運作效率及韌性，進而提升整體路網行車效率及安全性。

近年 AI 技術在智慧交通管理中已有諸多發展，且能有效提升各項交通管理策略效率，並強化系統對於道路事件應變能力，後續將持續導入創新科技及應用方案，以打造安全與效率兼顧的智慧道路。



## 壹、前言

台 61 線西濱快速公路於 2019 年底全線通車，成為西部地區第 3 條直通南北的高快速公路系統，並以東西向快速公路為橫向聯絡道路，與國道形成完整的西部高快速公路路網。配合台 61 線定位逐漸提升為準國道等級，交通部公路局對於整體西部快速公路路網交控策略進行規劃，藉由交控系統升級、重車管理、天候資訊發布等交通管理手段，並建置光纖傳輸備援架構及雲端化中央電腦系統，以提升西部快速公路路網整體交通安全及服務品質，並於未來逐步導入 AI、車聯網等創新技術，持續強化快速公路及省道之交控系統應用發展，以達到智慧交通韌性管理。

## 貳、近年快速公路交控系統發展

### 一、西濱快交控系統演進

台 61 線西濱快速公路興建初期，主要為國道短程替代道路及提供濱海地區用路人使用，無全線設置交控系統，僅針對與東西

向快速公路及國道銜接之重點交流道周邊設置。隨著台 61 線全線通車後交通量有所增加，且配合其串連銜接之東西向快速公路、鄰近重要省道及地方道路等，逐漸發展為以台 61 線為骨幹的濱海幹道系統，故於 2019 年交通部公路局重新對於西部快速公路路網整體交通管理與控制策略進行規劃，並逐年提升台 61 線交控系統建置範圍，資料蒐集範圍由重點交流道周邊逐步提升為台 61 線全線，並持續導入重車管理、天候資訊管理發布等交管機制，以提升台 61 線整體運作效率及安全性，後續將朝向準國道化交控系統等級邁進，台 61 定位及交控設備建置如圖 1 所示。

### 二、西部快速公路交控系統整合運作

東西向快速公路交控系統始於「高快速公路整體路網交控系統工程」時規劃建置，由於當時台 61 線尚未全線通車，故於東西快交控設備規劃建置時，僅針對東西快路況偵測、路況監視，以及與國道間資訊交換、路網控制為主，並將東西快交控系統

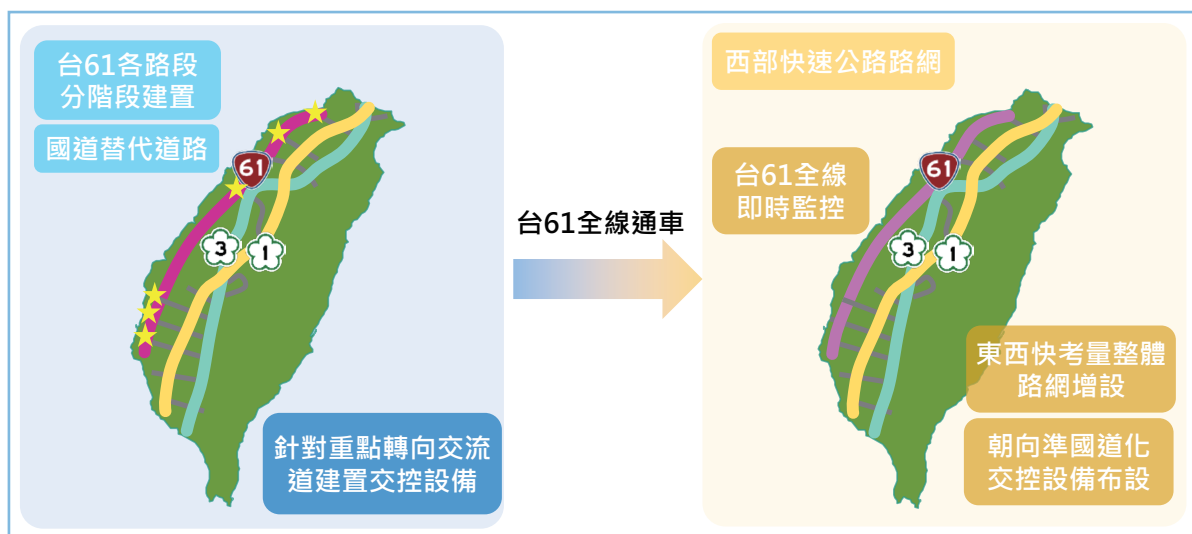


圖 1 台 61 定位及交控設備建置示意圖

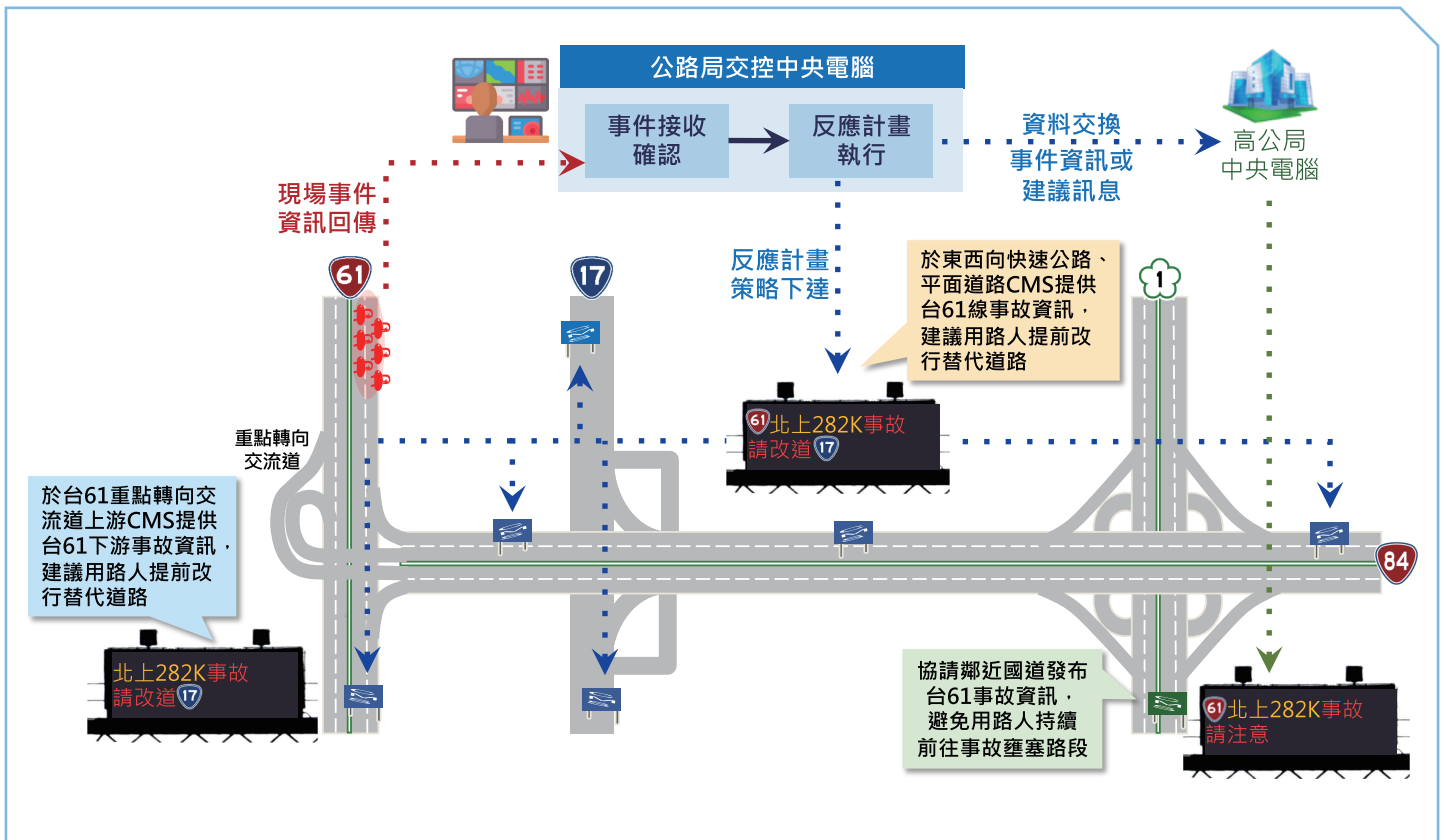


圖 2 整體西部快速公路路網轉向資訊整合運作

委由交通部高速公路局代管。考量台 61 線全線通車後所形成的快速公路路網交通管理策略規劃，交通部公路局已逐步將台 62 線～台 88 線等東西向快速公路交控系統改接整合回公路局交控雲端中央電腦系統控管，以整體西部快速公路交控策略整合運作，並與國道間採資料交換或區域協控機制進行路網資訊整合，整體西部快速公路路網轉向資訊整合運作詳圖 2 所示。

## 參、智慧交通韌性管理

### 一、傳輸網路升級與備援

交通部公路局管轄省道及快速公路幅員廣，台 61 線交控系統建置初期多設置於

重點交流道及其上下游處，交控設備點位較為集中，故採交流道區域小範圍建置光纜，設備透過光纜銜接至戶外型交換式集線器後，經由無線傳輸或 GSN VPN 網路回傳至公路局中央電腦端；後續隨著台 61 線路段逐年通車，交控設備建置密度提高且分散於各路段中，交通部公路局考量建置成本、網路穩定度及安全性以及後續維護管理，於台 61 線建置光纖網路傳輸系統，並於台 61 線北、中、南各地區建置核心及區域傳輸機房，如圖 3 所示，透過南下、北上光纜及傳輸設備達到雙路由備援機制，可避免單一傳輸設備故障而導致傳輸中斷，提升設備運作穩定度及安全性。



圖 3 台 61 線傳輸網路機房

## 二、重車管理機制

台 61 線串連台灣西部各港口及加工出口區、工業區，部分路段重車通行量高，如重車違規超載易影響路面品質及橋梁安全，另超載亦影響行車操控性，威脅一般用路人之行車安全。為利於台 61 線路面、橋梁養護之環境永續及行車安全，交通部公路局已於桃園蘆竹、台中清水、雲林湖仔內等地設置靜態地磅站，如圖 4 所示。

為更有效率控管地磅站運行，目前交通部公路局已於台 61 線地磅站上游主線設置主線篩選式動態地磅，透過動態地磅及車牌

辨識系統確認通過車輛重量，並透過出口上游設置之資訊可變標誌，顯示未超載車輛之車牌號碼，導引其續行台 61 線主線；其餘疑似超載車輛，則引導至靜態地磅站過磅取締。

經由主線篩選有效提升重車管理效率，並減少重車因過磅等候回堵至主線而影響車流之可能性，整體運作架構如圖 5 所示，在達到重車管理取締的目的下，透過動態地磅先行判斷，以減少過磅車流對主線用路人之干擾，同時減少超重車輛對路面之破壞及對於其他用路人之危害。



圖 4 台 61 線地磅站建置概況

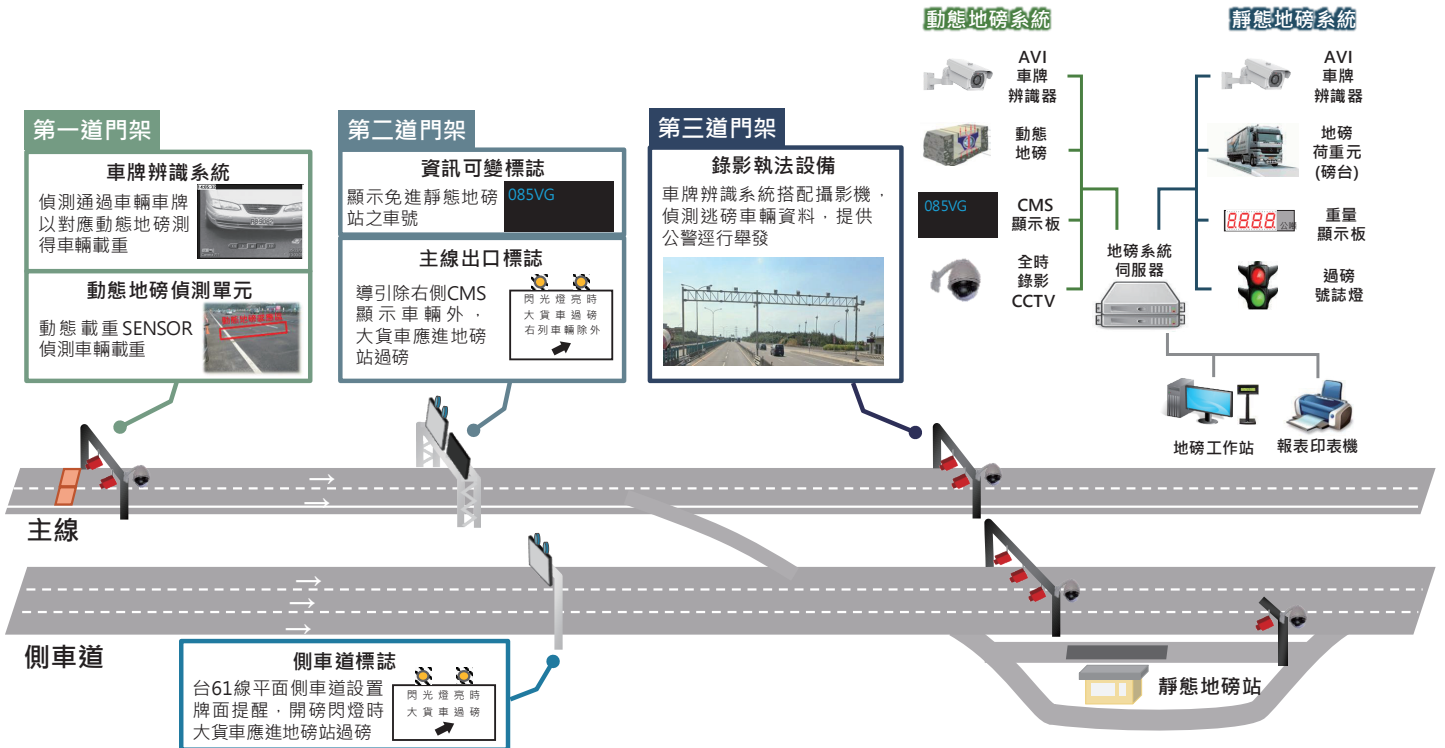


圖 5 台 61 線動態地磅系統運作架構

### 三、天候資訊管理

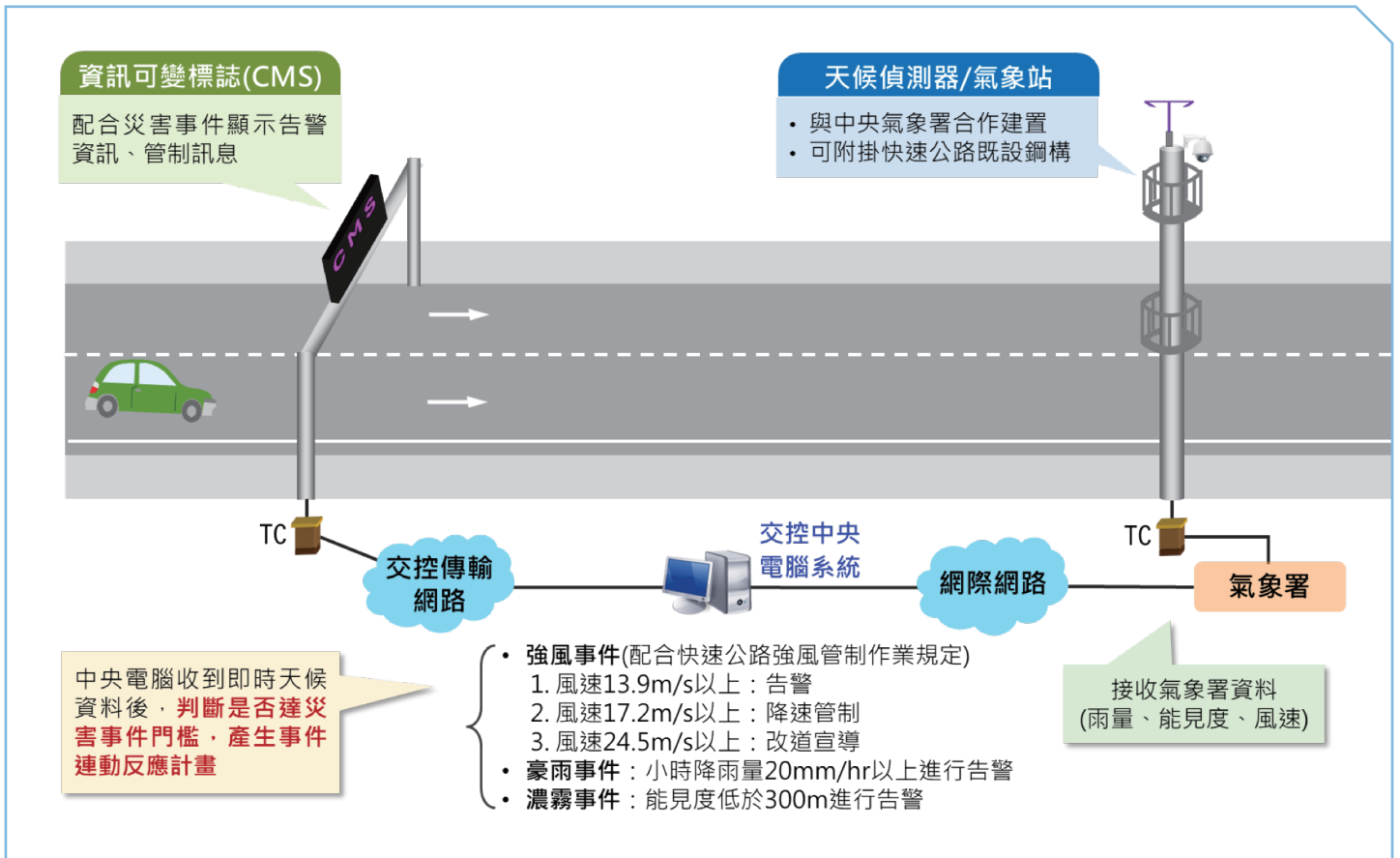
風、雨、霧等天候因素為影響車輛運動之外在條件之一，在強風、豪雨、濃霧或能見度不良等情況下，可能造成行車不穩定，進而危害行車安全，如台 61 線沿海地區於冬天受東北季風影響，部分高架橋路段受側風影響較為嚴重，沿海地區則易受輻射霧造成路段能見度不佳，且快速公路

可通行大型重型機車，更易受天候影響行駛安全。

目前交通部公路局已與中央氣象署合作，優先於台 61 線共同設置氣象站或天候偵測器，如圖 6 所示。並透過中央電腦系統資料交換取得即時天候資料，並根據即時資料判斷是否達強風、豪雨、濃霧門檻，藉由自動或半自動方式觸發天候不



圖 6 台 61 線地磅站建置概況



良事件，啟動災害事件反應計畫，透過天候不良路段上游及平面道路之資訊可變標誌 (CMS)，顯示即時天候不良告警資訊，如加強提醒用路人小心駕駛或實施降速管制、改道宣導、封閉管制等即時管制資訊，藉由強化即時天候及管制資訊發布以提升行駛安全性，台 61 線天候資訊管理運作架構如圖 7 所示。

#### 四、中央電腦雲端化發展

目前交通部公路局省道及快速公路交控設備 (不含長隧道路段) 已統一由雲端交控中央電腦系統進行控管，為省道及快速公路整體交控系統運作核心平台，整體系統採

Web 版開發，公路局及各分局可透過雲端化的交控中央電腦系統操作、監視交控設備運作狀況。

系統除可接收現場設備回傳蒐集資料，亦可與外部單位交換資料 (如天候即時資料、警廣資料等)，透過事件管理平台，依預先規劃事件反應計畫規則進行判斷，當達事件成立門檻時，將自動成立事件，並下達相應之反應計畫內容至現場交控設備進行顯示，以提升交控系統對事件反應效率，減少事件發生對於道路車流影響以提高韌性，公路局雲端中央電腦系統與現場設備運作架構詳圖 8 所示。

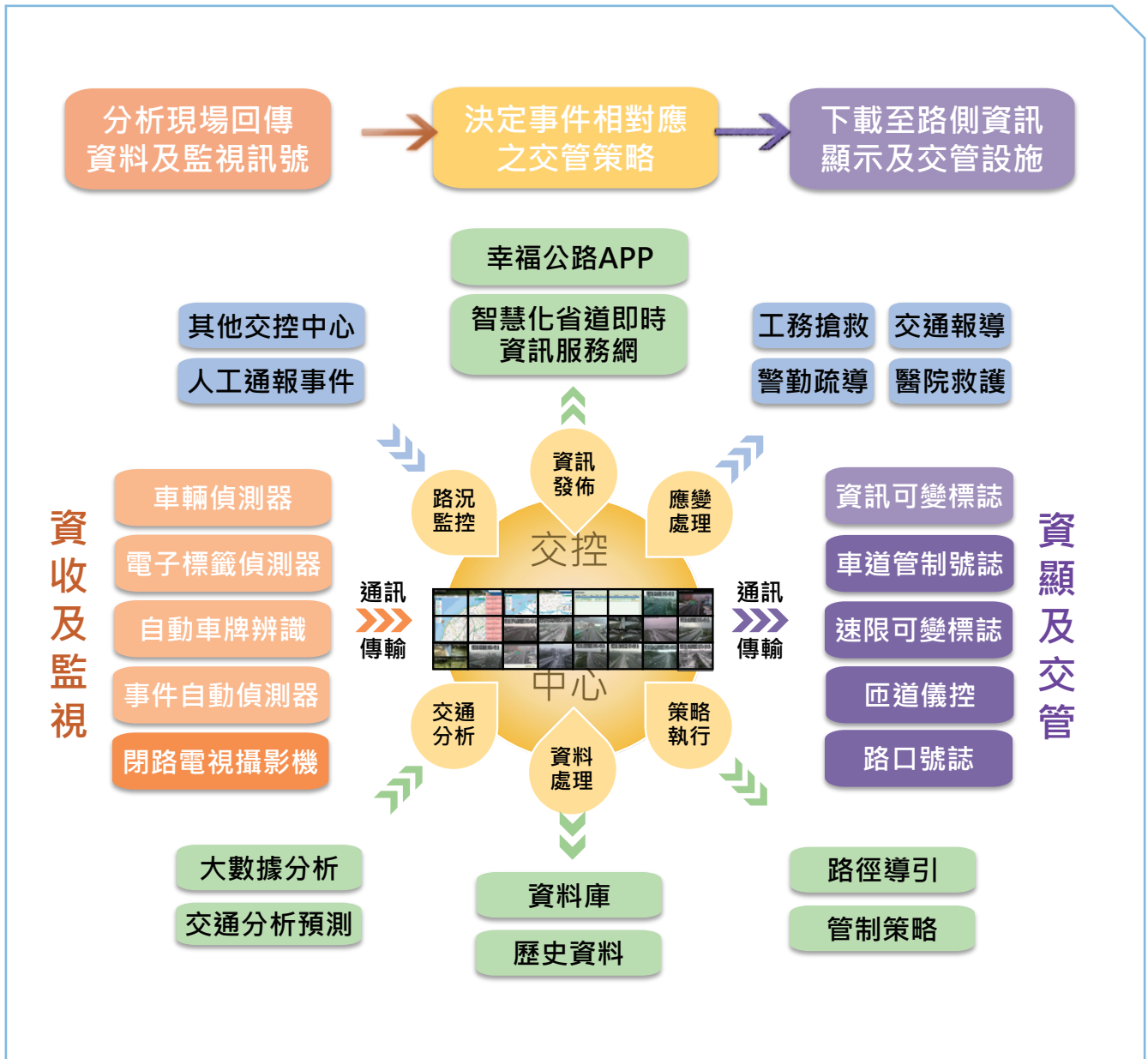


圖 8 公路局雲端中央電腦系統與現場設備運作架構

## 肆、資訊安全挑戰

### 肆、資訊安全挑戰

#### 一、資安強化

雲端交控中央電腦系統為整個交控系統的決策與控制核心，負責整合所有前端數據、進行分析運算，並下達控制指令至各

個子系統，其穩定性、完整性與可用性是整個交控系統能否正常運作根本，其核心風險在於控制權的喪失與數據安全漏洞。

近年來，政府機關為了保護資訊系統、關鍵基礎設施與個資，逐步制定完整資訊安全法規與執行政策。公路局交控中央電腦系統自 2016 年建置以來，依不同時期及不

同標別分案建置開發，各案開發廠商使用之開發工具、中介程式可能會有所差異，導致存在層層疊疊的複雜架構，不易於限縮服務及存取權限。面對持續進化的系統威脅與入侵手法所帶來的資安風險，須針對不同性質之服務採取相應之法規基準。

根據行政院資安處統計，隨著國際情勢發展，我國政府機關遭受網路攻擊每月超過 3 千萬次，約為全球平均值的 2 倍，而民間企業每週受到攻擊的次數，亦高達全球平均值的 3.5 倍。數位發展部資通安全署規劃，優先推動 A 級機關導入零信任架構，以完善防禦縱深與廣度。零信任架構以決策引擎為核心，包含身分鑑別、設備鑑別及信任推斷 3 大關鍵技術，如圖 9 所示。

實施零信任會是一段過程，未來可配合政府政策分階段逐年導入零信任網路作業，以精進資安風險控制與因應。

## 二、資安攻擊及防禦

### (一) 資安攻擊探討

因應資安攻擊手法日新月異，傳統邊界防

禦的侷限性與橫向移動風險，防火牆規則疏漏與內部網路缺乏微隔離，容易導致單點突破後引發連鎖反應；網頁套件未即時修補，則反映出傳統架構在面對零日漏洞時，往往受限於軟體互存串接之複雜關係，且修補、測試至上線的週期過長，或弱點掃描與即時修補機制影響，導致惡意程式得以在網段擴散。

此外，帳號密碼遭盜用與異常帳號植入，凸顯了特權帳號管理與集中式稽核紀錄的重要性，缺乏即時審計與身分驗證強化，使得攻擊者能在內部環境潛伏並造成威脅，故例行資安防禦工作尤為重要，包含系統防火牆規則設定、網頁套件弱點即時修補 CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) 漏洞等，可以對惡意流量的識別並阻擋而觸發防止資安事件發生。

### (二) 架構轉型與資安防禦

基於上述資安攻擊威脅，單純的「補丁式」防禦已無法應對複雜威脅，必須從底層架構進行優化，系統目前採三層式架構建置雲端化平台，融合資訊科技

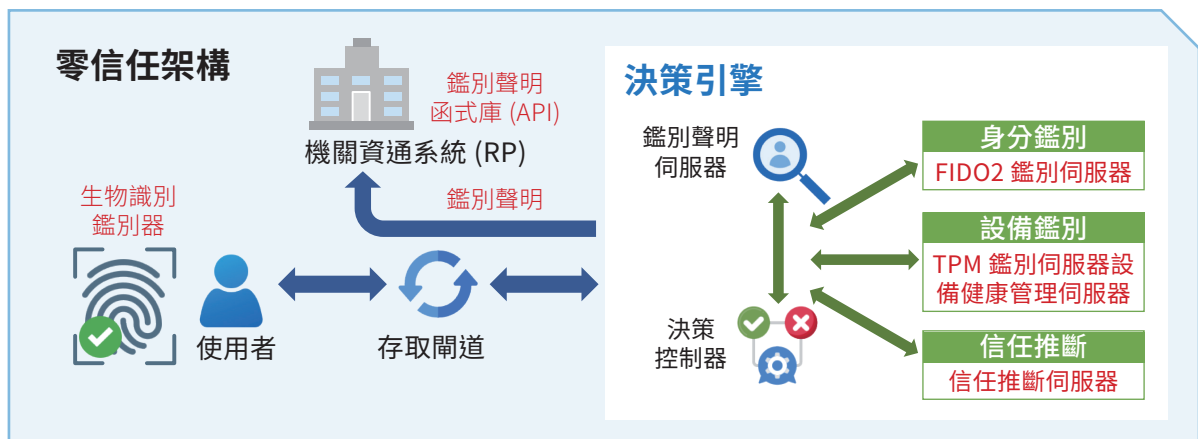


圖 9 零信任架構示意圖

(Information Technology, IT) 與營運技術 (Operational Technology, OT) 統一控管公路局轄管交控設備。

隨著軟體開發技術與時俱進，在雲端與容器已成為主流的情況下，虛擬化及容器化微服務架構對系統開發運用已相當普遍，如圖 10 所示，主要是因為超融合技術 (HCI) 大幅提升開發效率與部署彈性之間的落差問題。

軟體開發趨勢亦朝向微服務 (Microservices) 架構發展，提供應用軟體需求開發多變性與部署彈性，滿足繁複的應用軟體服務上版、系統更版作業、系統橫向擴充與資安防護框架等應用需求，透過超融合架構及

微服務，達成環境隔離與自動化檢核，消除人為設定失誤風險。

此外，結合 CI/CD 自動化流水線管理，從受限及管理的通道，將正式版本由測試區布放到線上環境，提升系統橫向擴充彈性與資安防禦韌性，並強化系統穩定性。

### 三、未來挑戰與執行策略

面對資安攻擊手法日益進化，且交通運輸人工智能應用快速推展，資安威脅已演變為具備自動化與高度隱蔽性動態攻擊，為確保交控系統符合《資通安全管理法》及交通部《交通領域工業控制系統資安防護基準》等國家規範，公路局已制定完成

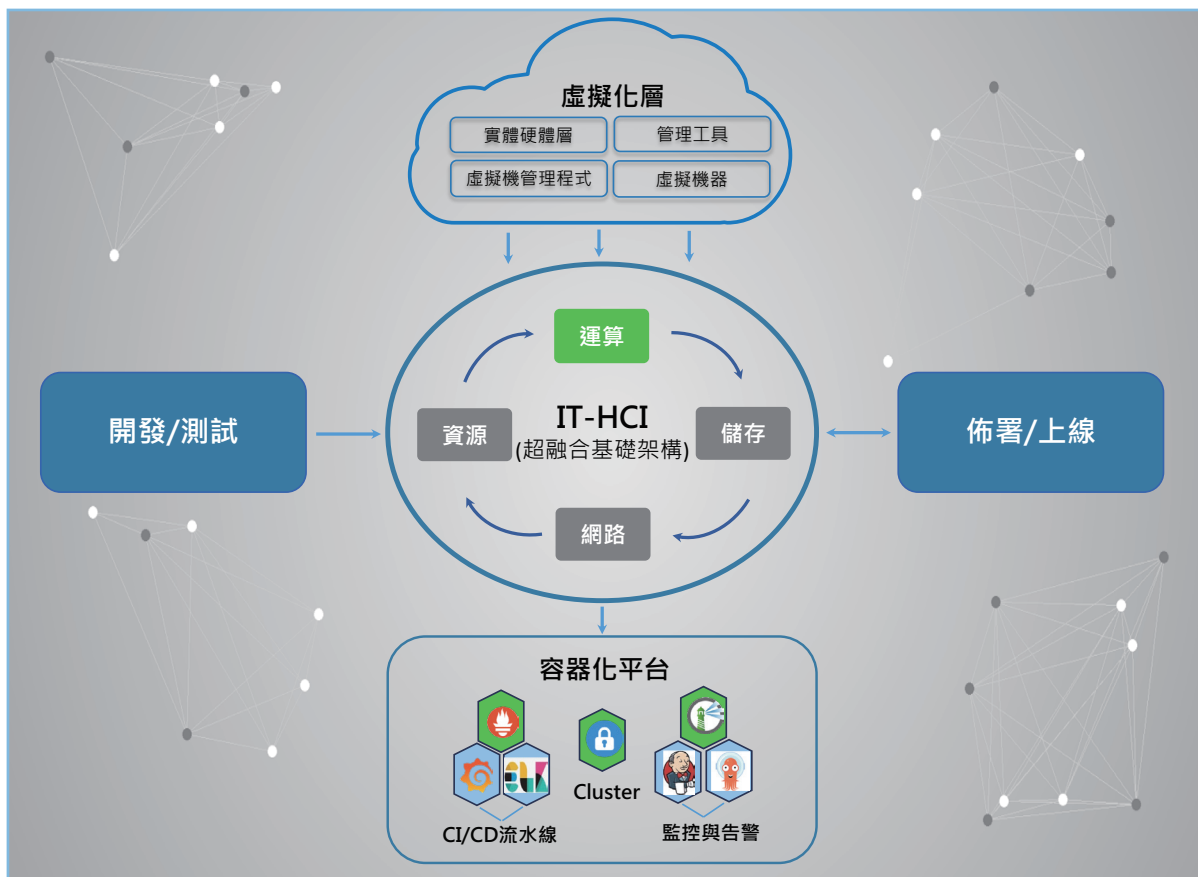


圖 10 超融合架構示意圖

《路側設備工業控制系統安全需求及安全等級規範》，未來將頒布給局內相關單位作為指引。

中央電腦系統則依循公路局資安治理縱深防禦 (Defense-in-Depth) 原則，也從被動防堵，朝高彈性與主動應對能力的防禦體系演進，持續配合落實資產盤點與雲端安控，包括全面性硬體清查、資料流向與權限的梳理，並依數據敏感度進行安全等級評估，確保雲端配置符合安全標準。

同時配合機關規範，詳實填報相關 ISMS 表單，並定期辦理業務持續運作演練 (BCP)，透過模擬真實災害情境，驗證營運團隊應變速度與系統復原韌性；另經由公路局及外部定期稽核作業，從單點稽核發現疏漏驅動持續優化，達成由稽核、發現弱點、核心工具更版及驗證的標準化標準作業程序，確保防禦體系能隨威脅演進而持續進化，在威脅發生前即能預警，或在事件發生時將損害降至最低。

## 伍、結語與未來展望

目前，公路局正積極辦理快速公路交控設備建置，透過交控設備及搭配上上述傳輸備援、重車管理、天候資訊管理、雲端化中央電腦及強化資安措施等機制，建立完善快速公路交控系統運作模式，可有效控管快速公路即時交通，達到智慧交通韌性管理目的，提供用路人先進安全的行車環境及道路服務品質。

隨著智慧運輸系統、5G、人工智慧 AI、車聯網等先進技術發展迅速，後續將持續導入創新科技及應用方案，以打造安全與效率兼顧的智慧道路。綜觀快速公路交通現

況及需求，未來發展方向建議可朝向智慧交通策略精進與規劃、新世代設備應用及 AI 技術導入優化系統運作等。

於現場設備端，可透過 CCTV 影像導入 AI 辨識技術分析，應用於隧道事件偵測或匝道逆行偵測，提高事件偵測準確率及系統偵測反應速度。於中央電腦端，則建議導入服務導向架構、虛擬化、容器化的資料中心架構，於軟體應用導入 AI 服務功能，自動清洗判斷多元資料內容，生成資訊發布內容及策略。針對大量布署之物聯網 (IoT) 設備，同步強化終端設備之韌體安全更新機制與實體防範入侵檢測，防止路側設備成為駭客入侵之跳板，並完善整體系統資安防護及備援機制，打造可長期維運、具備擴充彈性之新一代交控中央電腦系統。

透過創新技術的導入，對於交通管理發展，將有效提高系統運作效率與韌性，並作為未來發展智慧道路基礎。

## 參考文獻

1. 交通部公路局，西部快速公路路網整體交通管理與控制策略設計工作 (2024)。
2. 交通部公路局，西部快速公路路網整體交通管理與控制策略設計工作，交控機電設備資安風險評估成果報告 (2025)。
3. 交通部公路局，個人資料保護暨資通安全管理政策 (2024)。
4. ISO/IEC 27001:2022 及 ISA/IEC 62443 系列標準。

# AI 多代理人智慧號誌控制技術之應用經驗

## 關鍵詞 Keywords

- # AI 人工智慧 Artificial Intelligence
- # 多代理人強化學習 Multi-Agent Reinforcement Learning
- # 智慧號誌 Intelligent Traffic Signal Control

## 台灣世曦工程顧問股份有限公司 智慧系統部

### 工程師

徐偉哲

### 工程師

張悅朗

### 工程師

黃昱嘉

### 副理

林銘樂

### 經理

張智華

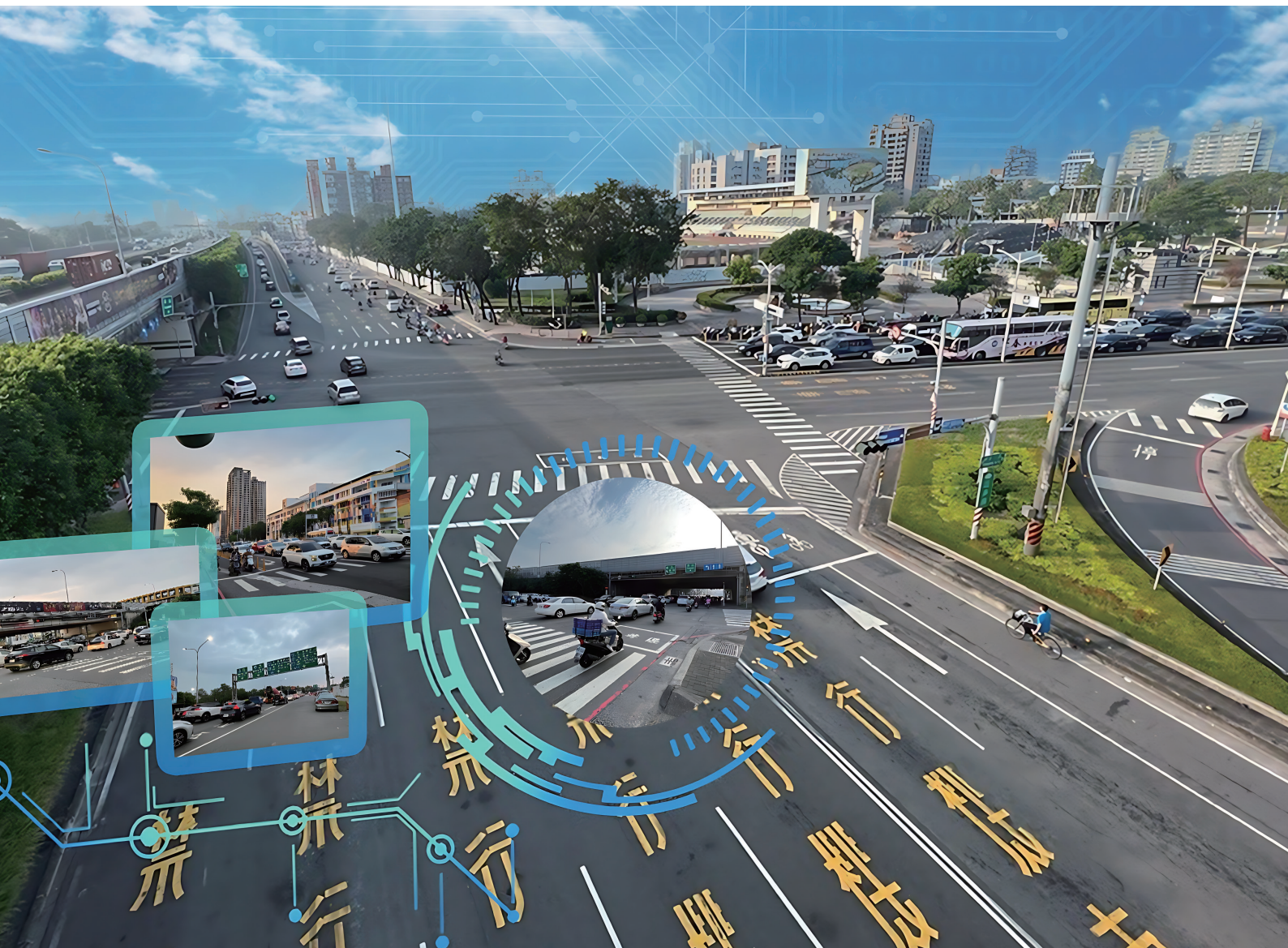
隨著都會區交通需求持續成長，交流道周邊路網經常面臨路口過飽和、車流回堵及壅塞擴散等複雜問題，使得傳統號誌控制策略已難以有效因應高度動態且交互影響之交通環境。

為回應此一挑戰，本團隊導入人工智慧技術，探討多代理人強化學習（Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL）於都會區智慧號誌控制之應用潛力，並建構一套以 MARL 為核心之智慧號誌控制架構。



在方法設計上，研究將路網內各號誌化路口設定為具自主決策能力之代理人，透過與鄰近代理人之資訊交換與協同決策，在追求系統整體效能最優之目標下，動態調整號誌控制策略，以即時回應交通狀態變化。

本研究以「112-113 年度高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用計畫」為案例進行實證分析。結果顯示，所提出之 MARL 號誌控制架構於不同交通需求條件下，皆能維持穩定且一致之效能表現，在通行效率與車輛延滯等關鍵指標上均呈現顯著改善，並兼具節能減碳效益。研究成果不僅驗證 MARL 模型應用於智慧號誌控制之可行性與實務價值，亦突顯其於都會區智慧交通治理與路網協調控制之發展潛力。



## 壹、前言

隨著經濟發展與交通需求快速成長，都市路網承受日益沉重之運行壓力。在道路容量難以大幅擴充之限制下，亟需導入創新科技以提升既有交通設施運作效率與管理效能。本研究採用深度強化學習方法，建構多代理人決策模型，並透過車流模擬環境進行訓練，設計兼顧效益最大化與成本最小化之獎勵函數，使號誌控制策略得以依據即時交通狀態進行動態調整。

研究結果顯示，所提出之方法能有效提升整體路網運行效率與通行順暢度，並顯著降低路口延滯與停等時間，彌補傳統定時控制難以即時回應交通變化之不足。本文首先回顧強化學習於號誌控制之相關研究及 Actor-Critic 架構發展脈絡，其次說明本研究所建構之多代理人 AI 控制架構與模

型建置流程，最後呈現訓練成果並探討未來發展方向與應用潛力。

## 貳、文獻回顧

### 一、深度強化學習應用於號誌時制策略

近年來，深度強化學習 (Deep Reinforcement Learning, DRL) 於智慧號誌控制領域逐漸受到重視並快速發展。此類方法通常將號誌化路口視為代理人 (Agent)，整體路網則構成其運作環境 (Environment)。代理人依據即時交通狀態 (如車流量與車隊長度) 進行決策，動作包含延長或切換時相、調整綠燈長度，或設定下一週期之綠燈時比，並透過獎勵函數 (Reward Function) 引導策略學習。其基本互動流程如圖 1 所示。

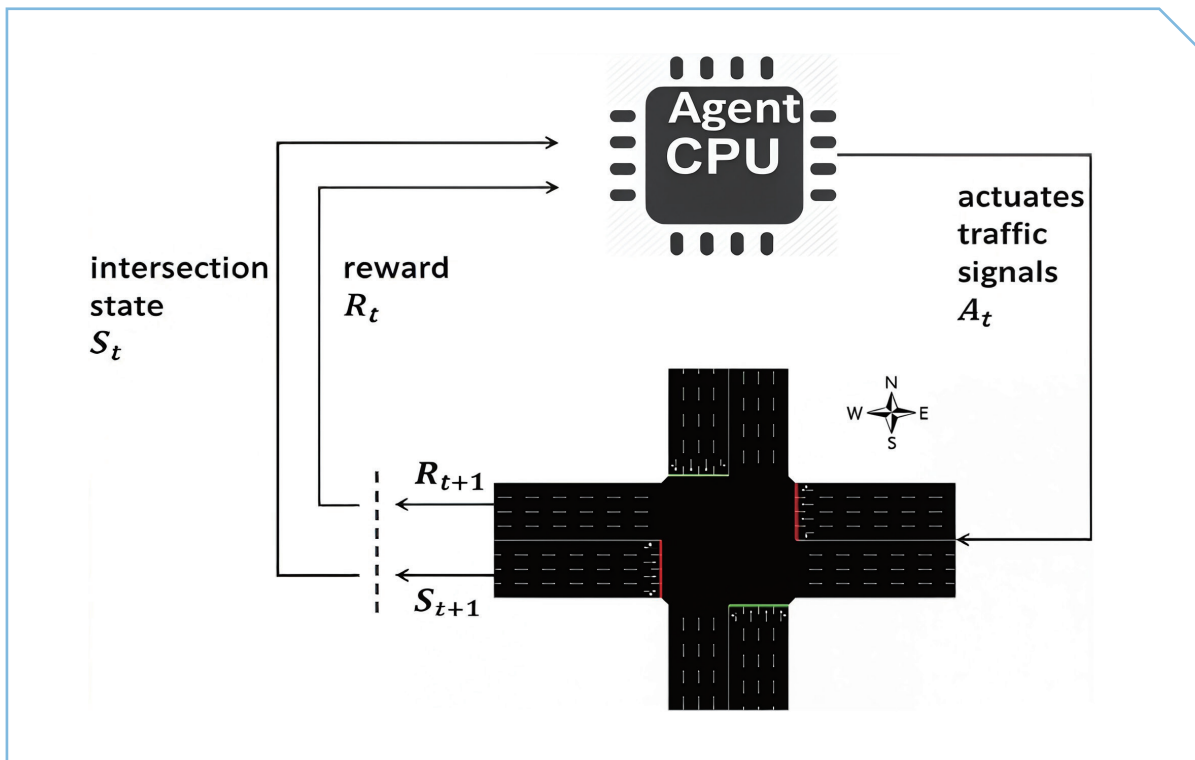


圖 1 代理人與環境互動過程

Liang 等人 (2019) 率先提出以格位傳遞模式，將車輛位置與速度資訊作為狀態輸入，並以調整下一週期長度作為動作、停等時間作為獎勵函數。實驗結果顯示，DRL 所產生之號誌時制相較於傳統定時控制可減少約 20% 的總停等時間，證實強化學習於號誌控制優化之潛力。

隨著控制路口數量增加及資料來源日趨多元，Wei 等人 (2021) 在深度學習於模型運算效率與網路結構設計上的發展研究，促使 AI 號誌控制技術逐步邁向可行化。其研究進一步對強化學習應用於號誌控制之研究架構進行系統性整理，從狀態、動作與獎勵等基本要素的設計切入，延伸至演算法層級的分類與比較，涵蓋以價值估計為基礎、以策略學習為導向，以及行為者評論家等主要技術路徑，並整體性地分析各類方法於號誌控制應用中的特性與限制。

近年研究則進一步關注路網範圍與實務應用層面。Xiao 等人 (2025) 指出，DRL 在可擴充性、彈性與系統整合上的優勢，並強調即時性與跨域整合為智慧號誌發展之核心挑戰，特別是結合車聯網 (V2X)、感測網路與大數據治理等新興技術需求。另一方面，Michailidis 等人 (2025) 系統性探討強化學習於單一路口、路廊及整體路網應用，涵蓋函數近似、策略梯度與多代理人學習等技術路徑，並指出多代理人強化學習 (MARL) 因具備分散式決策與協作控制特性，已成為面對實際都市交通場域時極具潛力的核心架構。

綜合前述研究可知，AI 智慧號誌控制已由早期單一路口之模擬驗證，逐步發展至路網整合與實務導向應用，顯示強化學習正由理論研究邁向全面實踐，並透過多代理

人學習機制，為未來整體路網之智慧交通治理提供具前瞻性的解決途徑。

## 二、Actor-Critic 在多代理號誌控制的應用

Actor-Critic 類型之強化學習演算法近年來於交通號誌控制領域逐漸受到重視，其核心優勢在於同時進行策略 (Actor) 與價值函數 (Critic) 之估計，兼顧策略更新之穩定性與收斂速度。其中，SAC (Soft Actor-Critic) 屬於離線學習 (off-policy) 演算法，可透過經驗回放機制 (replay buffer) 利用歷史樣本進行訓練，使模型能在多樣化車流情境下提升學習效率與泛化能力。SAC 適用於多代理人架構與連續動作空間，可平滑調整號誌時比與秒數配置，提升控制彈性。此外，SAC 納入熵 (entropy) 項以鼓勵策略探索，有助於因應車流變化所帶來之環境不確定性。整體而言，SAC 能提升獎勵搜尋效率，改善傳統強化學習方法易出現收斂不穩之問題。

在多代理人應用方面，Mao 等人 (2022) 提出 MASAC (Multi-Agent SAC) 模型，應用於幹道協調控制時，使平均旅行時間縮短約 15%，平均延滯降低 18-22%。Wang 等人 (2025) 則將 SAC 融合時空圖結構，以強化多路口間之全域關聯性，結果顯示，MASAC 於多種交通情境下，皆能顯著降低旅行時間並提升通行效率。Cai 等人 (2025) 於模擬環境中採用多代理 SAC (Multi-Agent Regulatable Soft Actor-Critic, MARSAC)，在多種模擬情境下展現顯著量化成效，相較於固定時制號誌，在平均旅行時間 (ATT) 指標上，提升 9.55%，亦使安全性指標提升 4.04%，並降低燃油消耗 3.21%。整體結果顯示，該方法在兼顧可解釋性的前提下，仍能於效

率、安全與節能等面向達到顯著改善。

綜合而言，SAC 引入代表 Actor-Critic 方法於多代理號誌控制領域的重要演進，不僅兼顧效能提升與策略穩定性，亦具備良好之可擴充性與實務應用潛力。

### 參、AI 控制模型說明

#### 一、控制邏輯及架構設計

本研究建構一套以交通模擬環境訓練之 AI 控制模型，使系統能於與交通環境互動過程中自主學習最適號誌時制策略，以提升整體路網通行效率與運行穩定性。

控制流程首先由路側偵測器蒐集現地交通資料，並進行前處理與資料檢核。資料通過品質驗證後，輸入 AI 控制模型計算各分相之綠燈秒數配置；經確認符合時限制條件與安全約束後，方下達控制指令至現場號誌控制器執行。

整體流程在兼顧資料品質與控制安全性的前提下，實現動態且具協調性的號誌控制機制。AI 控制模型之控制邏輯設計如圖 2 所示。

AI 控制模型以各號誌化路口為代理人，採用多代理人強化學習進行協同控制。所有代理人於同一整體路網模擬環境中進行訓練與決策，並透過參數共享機制提升代理人學習效率與協作一致性；各路口獎勵值依其交通狀態分別計算，並納入整體路網績效指標作為評估依據，使代理人在優化局部效能之際，亦能兼顧路網整體運作表現。模型於每一控制週期中，依據即時交通狀態取得環境觀測，動態調整各時相秒數配置，逐步形成具路口連動性之協調控制策略，其 AI 演算控制參數，如狀態、動作與獎勵等彙整如圖 3 所示。

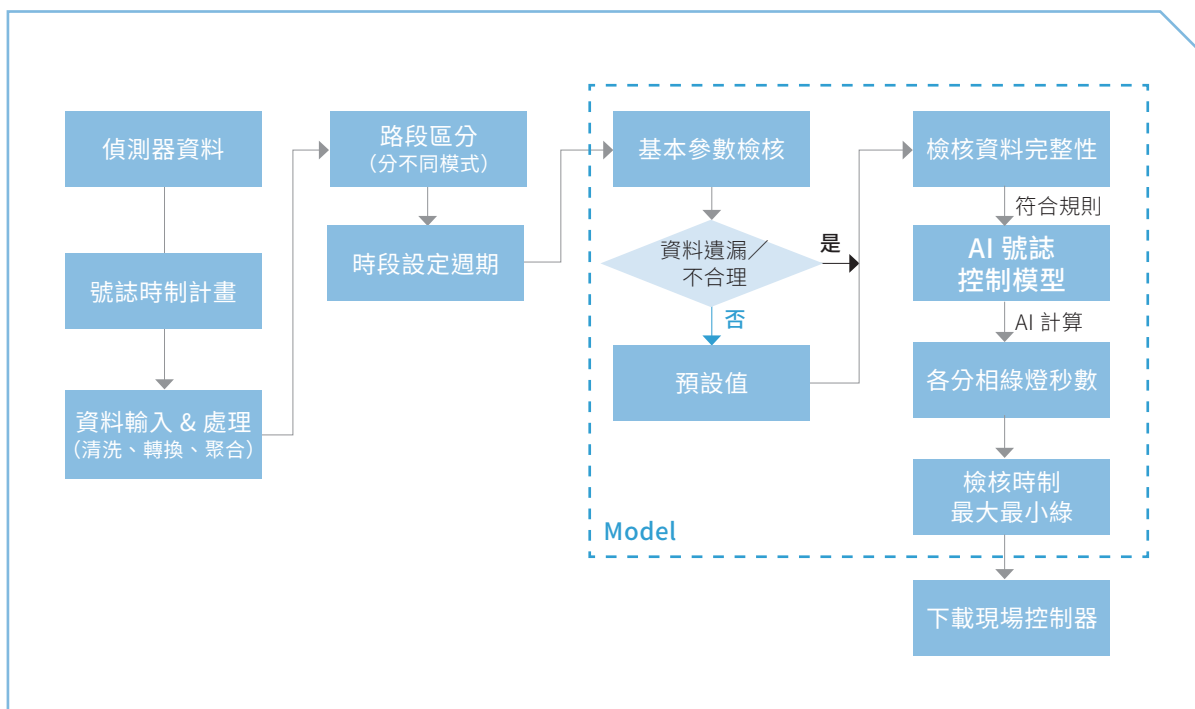


圖 2 AI 控制模型控制邏輯

代理人 agent	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 代表路口號誌的多代理人<b>強化學習模型</b></li> <li>● <b>Soft Actor Critic (SAC)</b> 演算法</li> </ul>
狀態 state	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>現場號誌資料</b></li> <li>● <b>偵測器輸入</b>：路口轉向量、等候線長度、通過量、車道佔有率、時空圖綠燈帶</li> </ul>
行動 action	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 週期不變前提下，<b>分配各號誌之時比</b></li> <li>● 製作新時制計畫輸出</li> </ul>
獎勵 reward	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>組合式參數 (bag-of-rewards)</b></li> <li>● 正獎勵：進入路網車輛數、離開路網車輛數之變化、綠燈帶面積</li> <li>● 負獎勵：路網車輛總延滯、分相車流壓力</li> </ul>

圖 3 AI 演算控制參數

### (一) 代理人

多代理人強化學習模型，以 SAC 作為訓練演算法。各號誌化路口視為一獨立代理人，具備各自之狀態、動作與獎勵設計，但共享同一決策網路，以提升學習效率與協作一致性。多代理人強化學習以深度類

神經網路為核心，如圖 4 所示，其模型參數透過 SUMO 模擬環境訓練取得。於時制產生階段，系統將現場偵測設備與號誌控制系統所蒐集狀態參數作為輸入，經隱藏層運算後，輸出下一週期各分相之綠燈秒數配置。

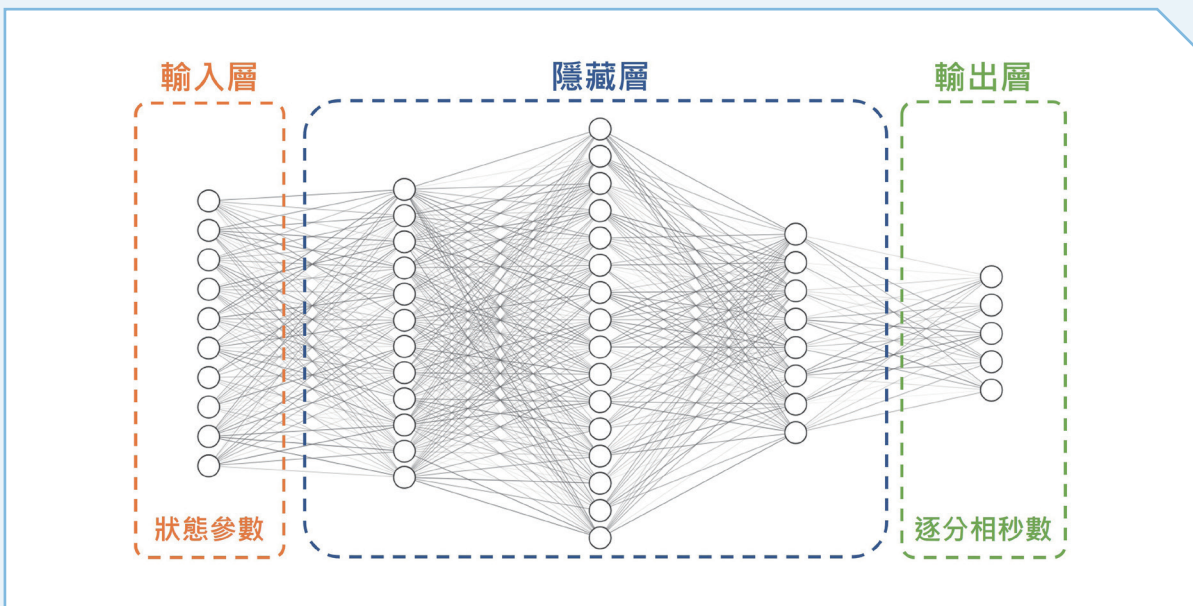


圖 4 AI 號控模型神經網路示意圖

## (二) 狀態 state

狀態 (state) 為反映現場交通特徵之參數集合，亦稱觀察值 (observation)，由偵測設備與號誌控制系統取得，作為 AI 決策基礎。為符合實際部署需求，狀態設計須對應可取得之現地資料，包含當前時制計畫、轉向量、等候線長度、車道佔有率、車輛通過量及綠燈帶參數等。

其中，綠燈帶為本研究新增之狀態變數，用以強化多路口代理人間之協同能力；研

究依主要車流方向選定關鍵路徑，結合當前時制計畫計算可連續通行之時間窗，並加總路口間綠燈帶面積，形成關鍵路徑之綜合綠燈帶指標。綠燈帶面積計算如式 (1) 所示，其中， $N$  為關鍵路口集合， $i$  為個別路口， $g$  為順行方向之綠燈時比長度 (含早開 / 遲閉，並以車輛到達路口時起算)， $D$  為路口間距離。綠燈帶面積愈大，代表路口間協調程度愈高，有助於提升車流續進效果並降低停等時間。

$$grnArea = \sum_{i \in N} \frac{(g_i + g_{i+1}) \times D_{ij}}{2} \quad (1)$$

## (三) 行動 action

AI 透過最適化機制動態調整各分相之綠燈秒數，並於每一控制週期產生各代理人 (號誌) 之時制計畫。在既定組態條件下，包含時相組成、時相順序及固定週期與時差設定，AI 計算各分相秒數配置，並確保符合最大綠、最小綠及週期長度等限制條件，最終將完成之時制計畫輸出至現場號誌控制器執行。

## (四) 獎勵 reward

獎勵函數為強化學習之核心機制，用以引導 AI 代理人學習最適行動策略，其目標在於最大化累積獎勵值。於 Soft Actor-Critic (SAC) 架構下，獎勵訊號用於更新動作價值並優化策略。

為使控制行為符合整體路網目標，本研究採組合式獎勵設計 (bag-of-rewards)，

以車輛進出量與綠燈帶面積改善作為正獎勵，並以路網總延滯與分相車流壓力作為負獎勵。各獎勵項目經加權整合後形成最終獎勵值，其定義如式 (2) 所示。

該獎勵函數透過比較相鄰時間步階之狀態變化，以反映 AI 行動對交通運行所帶來之即時影響。當中  $w$  代表獎勵項目權重， $t$  代表時間步階， $N$  代表所有路口的集合， $R$  代表路口  $j$  的關鍵路徑集合， $p_j$  代表路口  $j$  的分相集合， $L$  代表 SUMO 路網車輛列表， $1_{entered(t,i)}$  代表現在車輛列表中新增車輛數， $1_{exited(t,i)}$  代表現在車輛列表中被刪除的車輛數， $waitingTime_i$  是介接 SUMO 車輛總延滯， $Car_t^l$  代表進入車道  $l$  在時間  $t$  的來車數量， $q_t^l$ 、 $q_t^m$  分別表示與時相  $p_j$  關聯的進入車道  $l$  和離開車道  $m$  (outgoing lane) 在時刻  $t$  的等候線長度。

$$reward_t = w_{CI} \sum_{i \in N} \Delta CI + w_{CO} \sum_{i \in N} \Delta CO + w_{GA} \sum_{r \in R_j} \Delta GA + w_T \sum_{i \in N} \Delta T + w_{BP} \sum_{i \in p_j} \Delta BP \quad (2)$$

Where

$$\Delta CI = CI_t - CI_{t-1} \quad (3)$$

$$\Delta CO = CO_t - CO_{t-1} \quad (4)$$

$$\Delta GA = GA_t - GA_{t-1} \quad (5)$$

$$\Delta T = -(T_t - T_{t-1}) \quad (6)$$

$$\Delta BP = -(BP_t - BP_{t-1}) \quad (7)$$

$$CI = \sum_{i \in L} 1_{entered(t,i)} \quad (8)$$

$$CO = \sum_{i \in L} 1_{exited(t,i)} \quad (9)$$

$$T = \sum_{i \in L} waitingTime_i \quad (10)$$

$$BP_t^{p_j} = \sum_{i \in p_j} Car_t^l + \sum_{(l,m) \in p_j} [q_t^l - q_t^m] \quad (11)$$

## 二、訓練環境建構

模擬環境為強化學習訓練基礎，透過交通模擬器進行訓練與測試，使 AI 能於短時間內嘗試多種行動組合並評估其對交通運行之影響。本研究採用開放原始碼微觀交通模擬軟體 SUMO 作為代理人與交通環境互動之平台。

SUMO 基於跟車、車道變換與路口行為模型，以時間離散、空間連續方式模擬多種運具於路網中的運行狀態，並具備高度彈性與參數可調特性。此外，透過 SUMO 提供 Python 介面工具 TraCI，可藉由 TCP 架構進行即時指令控制與資訊回傳，直接操作號誌、車輛與路網物件，支援強化學習模型與交通模擬環境之整合，其連接流程如圖 5 所示。

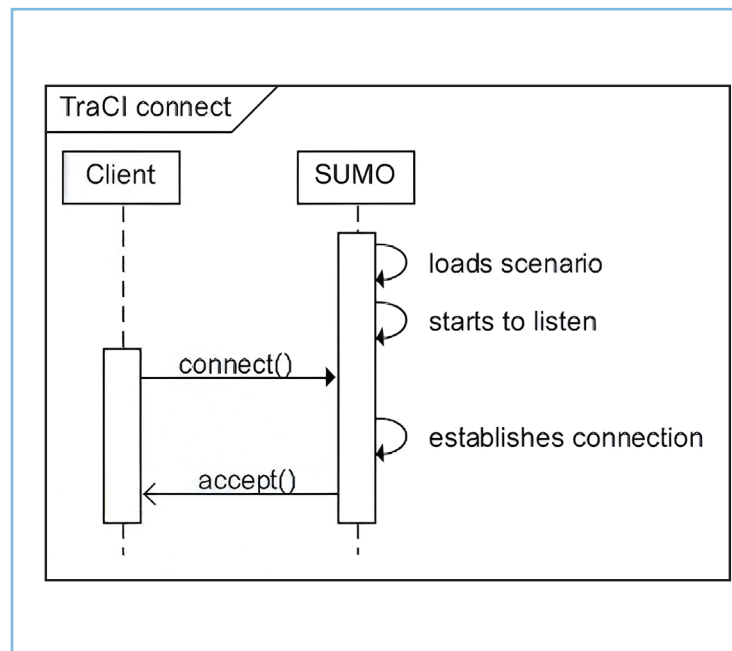


圖 5 TraCI 連接 SUMO 流程示意圖

資料來源：<https://sumo.dlr.de/docs/TraCI/Protocol.html>

本研究於 SUMO 中建構完整路網模擬環境，設定車流組態與既有號誌時制作為 AI 訓練基礎，並透過自行開發程式擴充號誌控制功能，使系統具備時制同步下載與時差調整能力；同時建置模擬偵測器蒐集車流量、轉向量與車道佔有率等觀測資料，作為 AI 決策與環境回饋依據。

於訓練過程中，AI 代理人於每一控制週期觀測環境狀態，結合前一回合之獎勵回饋，決策下一週期最適分相秒數，並將更新後之時制計畫回傳至模擬環境以觀察車流反應；此互動流程持續迭代至單一訓練回合結束，模型再依累積獎勵調整策略網路參數，逐步提升整體控制效能。

### 三、系統開發流程

#### (一) 訓練沙盒建構

透過時制計畫、交通量調查等相關資料，建構目前控制範圍之 SUMO 環境，並調校至符合實際調查結果。

#### (二) 訓練模型建立

AI 控制模型依據前述強化學習架構設計，使用 Python 進行撰寫，並利用 PyTorch 框架進行深度神經網路建構。根據現況問題、實務績效指標，擬定獎勵原則和所需之狀態參數。

#### (三) 訓練資料投入

本模型訓練車流資料集使用隨機交通量，基於路徑起迄點投入車輛，其產生方式有二，包括基於交通調查資料路徑進行隨機產生車流量及基於交通調查資料車流量隨機指派路徑，可以模擬平假日時段不同方向交通量、車種轉向比例等，以使 AI 於各種交通情境下進行訓練，反覆訓練 AI 參數以使最終通過績效驗證。

#### (四) 控制模型訓練

AI 控制模型透過 SUMO 進行模擬學習，如圖 6 所示。於每一控制週期中，AI 取得環

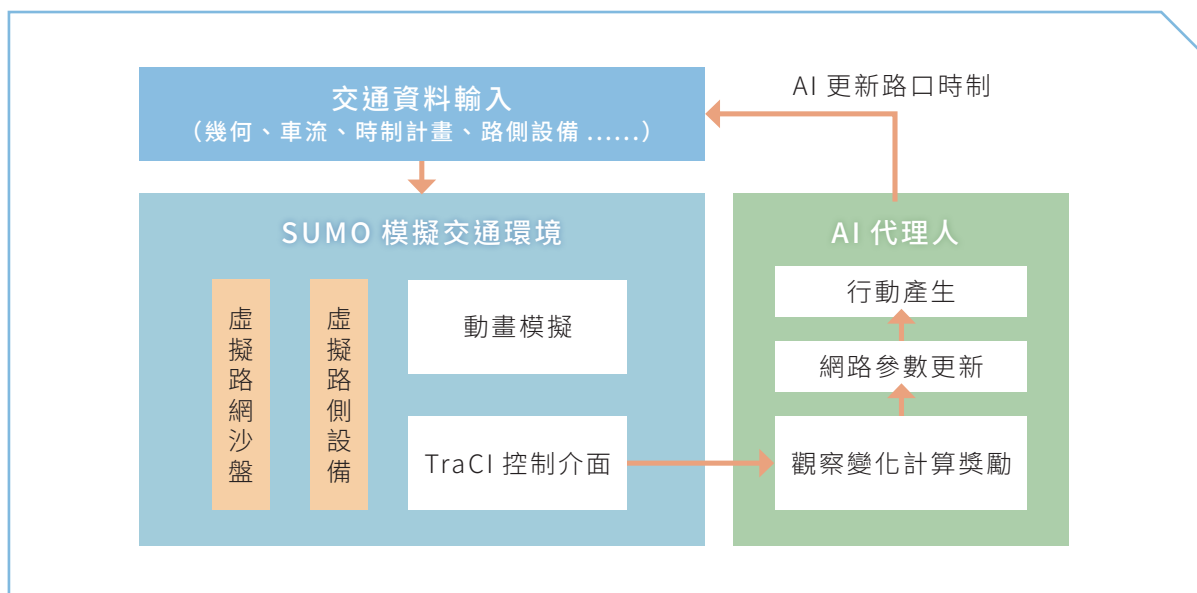


圖 6 AI 控制模型透過 SUMO 模擬訓練示意圖

境狀態 (state) 並結合歷史回合之獎勵值 (reward)，據以決策下一週期最適時相秒數 (action)，並將生成之時制計畫回傳至模擬環境以觀察車流反應。上述互動流程持續迭代至回合結束，隨後依累積獎勵變化更新策略網路參數，使 AI 逐步學習群組路口之協調控制，朝向最佳化目標收斂。

#### (五) 控制模型驗證

透過觀察獎勵值變化趨勢，可判斷模型是否逐步收斂並穩定提升，反映其對控制策略之掌握程度；若獎勵值波動過大或未能收斂，則需檢視模型架構、參數設定與訓練環境是否存在問題。另依交通調查資料 (如晨峰、昏峰) 建構 SUMO 模擬情境進行驗證，驗證方式包括：

#### 1. 效能比較

比較 TOD 時制與 AI 控制策略，採用總停等延滯秒數作為關鍵績效指標，評估 AI 是否能有效減少車流延滯。

#### 2. 控制邏輯檢查

模擬多個號誌週期，觀察 AI 的控制行為，確保其輸出邏輯無異常，例如不合理的時制秒數或過度偏向特定路口。

若發現控制效果不足或異常行為，會分析模型表現與輸出時制，適當調整相關獎勵函數、模型超參數、參數權重等，並重新訓練 AI 模型，直到其穩定通過性能驗證並展現良好的適應性與穩定性。

A large, stylized white 'AI' text is centered on the page. The background is a futuristic, abstract digital landscape with glowing blue and orange lines, suggesting data flow and technology. The overall aesthetic is clean and modern.

## (六) 模型部署

選定最佳訓練成果的 AI 模型，透過 API 進行部署，以實現動態號誌控制。當動態號誌系統進行決策時，AI 模型所需的觀察變數會由現場資料提供，包括偵測器數據與當前號誌內容等。API 架構能根據路網特性及模型適用的執行時段，選擇對應的 AI 模型，計算並輸出最佳化時制計畫，確保決策的即時運算和下載效率。

## 肆、模型訓練與實證

### 一、AI 控制模型訓練

依前述流程完成模型開發後，本研究以「112-113 年度高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用計畫」為案例，整合現場號誌控制器、交通偵測設備與高公局資料，並結合

交通調查與現地觀察成果，針對不同時段車流特性建構分時 AI 模型，以因應交通需求差異、週期長短及時制組成變化。

為確保決策結果能精準反映各時段運行特性，各分時模型雖採一致之演算法架構，然其訓練環境仍依據時制計畫、綠燈時間上下限及車流特性進行差異化參數設定，圖 7 模擬範圍以高雄建國交流道周邊道路系統為核心，涵蓋交流道上下匝道口及其銜接之主要幹道與鄰近重要平面路口，共計 7 處關鍵路口。

此外，為評估群組號誌控制對鄰近群組及整體路網影響，模擬階段納入完整路網進行車流互動模擬；各群組模型於驗證階段則分別產出獨立結果，以檢核其於實際運行條件下之穩定性與適用性。

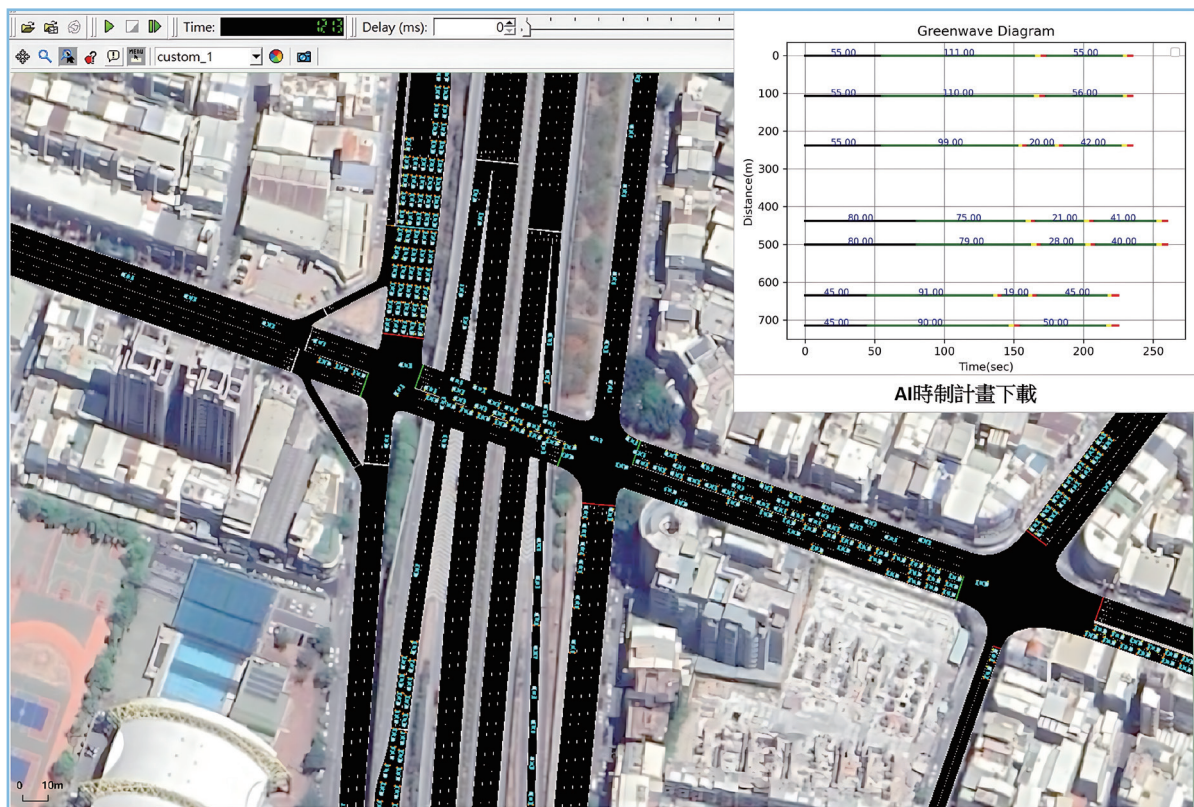


圖 7 AI 控制模型訓練環境 - 建國交流道周邊

## 二、AI 控制模型實證

本研究透過 GVP 旅行時間資料，分析研究範圍內平日與假日之事後旅行時間改善效益，並於表 1 彙整 AI 智慧號誌控制啟動前後之比較結果。整體而言，建國路段與中正路段於導入 AI 號控後皆呈現明顯下降趨勢，顯示通行效率獲得提升。

建國一路以平日昏峰東向改善最為顯著，旅行時間減少約 16.1%；假日午後雙向改

善幅度約 15.3% 至 27.8%，顯示 AI 對假日高變動需求具良好調適能力。中正一路則以平日晨峰雙向及假日上午西向改善較為明顯，旅行時間分別降低約 6.6% 至 10.3% 及 8.8%，呈現穩定效益。

整體而言，AI 智慧號誌控制於不同路段與時段皆能有效縮短旅行時間，尤其尖峰與假日時段成效更為顯著，展現良好的適應性與實務應用。

表 1 事前事後旅行時間比較

道路名稱	旅行時間： 減少 增加							
	平日晨峰		平日昏峰		假日上午		假日下午	
	(向西)	(向東)	(向西)	(向東)	(向西)	(向東)	(向西)	(向東)
建國一路	5.80%	-3.60%	6.90%	-16.10%	-1.90%	4.70%	-15.30%	-27.80%
中正一路	-6.60%	-10.30%	1.10%	-3.20%	-8.80%	3.90%	0.70%	-2.90%

## 伍、結論與未來展望

### 一、結論

本研究以交流道周邊路網為應用情境，導入多代理人強化學習 (MARL) 智慧號誌控制方法，結合即時交通資料與模擬訓練，建構可長時間穩定運作之 AI 號誌控制架構。透過獎勵函數設計與控制約束設定，使模型在符合交通安全與號誌規範前提下，依交通狀態動態調整號誌秒數，提升整體路網運行效率。

所提出之 MARL 架構將綠燈帶效果、各時相停等與車輛延滯等關鍵指標納入決策機制，使策略能反映路網層級之交通需求，改善傳統固定或準動態時制於尖峰時段適應性不足之問題，並透過多代理人協同決策兼顧局部效能與整體協調控制。

此外，本研究建立模型訓練、模擬驗證、即時控制與安全降階之整合流程，確保 AI 號誌控制於實務應用之穩定與可靠。

研究結果顯示，本方法具良好可擴充性與

應用潛力，可作為智慧號誌控制與交通治理數位化發展之重要技術基礎。

## 二、未來展望

### (一) AI 控制模型設計精進發展方向

在模型設計方面，除既有之 Soft Actor-Critic (SAC) 強化學習架構外，未來可進一步考量導入層級式強化學習 (Hierarchical Reinforcement Learning) 設計概念，透過決策層級拆分，分別處理區域層 (如單一路口或鄰近路口群) 與全域層 (如主要幹道或走廊層級) 控制目標，使模型能在不同空間尺度下進行策略學習與協同決策。此作法有助於降低狀態與行動空間的複雜度，並提升多路口協調控制的穩定性與可解釋性。

此外，亦可評估結合圖神經網路 (Graph Neural Networks, GNN) 以刻畫都市路網中路口之拓樸關係與交通互動特性，將路口視為節點、道路連結視為邊，並將交通流量、佔有率或延滯等資訊作為節點與邊的特徵輸入，使模型能有效學習路口間的空間關聯性與交通傳遞效應。透過 GNN 與強化學習之整合，可提升模型對不同路網結構的適應能力，並強化策略於跨場域或不同路段配置下的遷移與泛化表現。

整體而言，藉由引入層級式決策架構與圖結構化表徵方式，可進一步增強多路口智慧號誌控制模型於複雜都市路網環境中的擴充性、協同性與實務應用潛力。

### (二) 多元交通數據應用與資料串聯

在資料應用層面，建議進一步整合具時效性之多元外部資料來源，如氣候條件、交通事故、道路施工及臨時活動等資訊，以

提升模型對非典型交通情境之感知與即時應變能力。將此類動態事件納入模型輸入與模擬機制，可補強僅依賴歷史交通流資料之侷限，使系統更能因應高度不確定且難以重現之交通變化。

未來亦可透過情境式模擬建構多樣化之非重現性事件，並比較不同號誌控制策略 (如動態時段劃分、感應式、適應式與強化學習) 於相同事件條件下之行為差異與應對邏輯。藉由系統化測試各類演算法在突發事件或需求劇變情境下之反應表現，可進一步釐清其適用條件與限制。

整體而言，透過事件導向與情境導向之資料整合與模擬設計，可逐步強化模型之情境辨識與策略生成能力，提升其於複雜高變動環境下之決策彈性，並為不同道路型態與應用場域提出更具針對性之智慧號誌控制方案。

## 參考文獻

- 1.Liang, X., Du, X., Wang, G., and Han, Z., "A deep reinforcement learning network for traffic light cycle control," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 68, No. 2, pp. 1243–1253 (2019).
- 2.Wei, H., Zheng, G. J., Gayah, V. V., and Li, Z. H., "Recent Advances in Reinforcement Learning for Traffic Signal Control: A Survey of Models and Evaluation," ACM SIGKDD Explorations Newsletter, Vol. 22, No. 2, pp. 12–18 (2021).
- 3.Xiao, L., Li, Tu, Li, "Advances in reinforcement learning for traffic signal control: a review of recent progress,"

Intelligent Transportation Infrastructure, Vol. 4 (2025).

4. Michailidis, P., Michailidis, I., Lazaridis, C. R., and Kosmatopoulos, E., “Traffic Signal Control via Reinforcement Learning: A Review on Applications and Innovations,” *Infrastructures*, Vol. 10, No. 5, Article No. 114 (2025).

5. Mao, F., Li, Z., Lin, Y., and Li, L., “Mastering arterial traffic signal control with multi-agent attention-based soft actor-critic model,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 24, No. 12, pp. 13447–13459 (2022).

6. Wang, K., Shen, Z., Lei, Z., and Zhang, T., “Towards multi-agent reinforcement learning based traffic signal control through spatio-temporal hypergraphs,” *IEEE Transactions on Mobile Computing* (2025).

7. Cai, S., “XLight: An interpretable multi-agent reinforcement learning framework for adaptive traffic signal control,” *Expert Systems with Applications*, Vol. 259, Article No. 125634 (2025).

8. Sutton, R. S., and Barto, A. G., *Reinforcement learning: An Introduction*, MIT Press, (2018).

9. Rasheed, F., Yau, K.-L. A., Noor, R. M., Wu, C., and Low, Y.-C., “Deep Reinforcement Learning for Traffic Signal Control: A review,” *IEEE Access* (2020).

10. 高雄市政府，2014 年高屏區域交控整合計畫委託專業服務案 (2014)。

11. 高雄市政府，2015 年高屏區域交控整合計畫委託專業服務案 (2015)。

12. 高雄市政府，2017 年區域整合智慧化號誌交通控制應用服務案委託專業服務案 (2017)。

13. 高雄市政府，緊急車輛優先通行號誌及路口防碰撞系統試辦計畫委託專業服務案 (2020)。

14. 高雄市政府，高雄港聯外交通改善－區域性交控及大貨車行車安全提升計畫委託專業服務案 (2020)。

15. 高雄市政府，2022–2023 年度高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用計畫委託專業服務案 (2022)。

16. 高雄市政府，2023–2024 年度高雄市脆弱路段智慧化號誌交控應用計畫委託專業服務案 (2024)。

# 結合 AI 與數位孿生， 打造雲林科技小智

## 關鍵詞 Keywords

- # AI Artificial Intelligence
- # 數位孿生 Digital Twins
- # 地理資訊 Geographic Information System
- # 智慧治理 Smart Governance

### 雲林縣政府 計畫處

#### 處長

李明岳

#### 資訊科科長

林欣生

#### 資訊科管理師

錢君恩

### 台灣世曦工程顧問股份有限公司 地理空間資訊部

#### 協理

吳錫賢

#### 副理

許家成

#### 計畫工程師

許智翔



雲林縣政府自 2023 年起推動「地理資訊整合應用平台」，透過數位轉型盤點內部基礎資料，將地形、都計、地政、建管及稅務等龐雜圖資匯聚於雲端，並導入 3D 視覺化與跨域整合技術。平台依循「跨域串接、圖資建置、系統開發、創新應用」之策略，為民眾及公務單位提供高效的一站式互動查詢服務，不僅落實空間資訊的實質應用，更旨在優化行政流程，全面提升縣府的治理效能。

平台開發之亮點「AI 雲林小助理」目前已應用於都計、地政、防災避難及醫療文化資產查詢，本計畫執行成效備受肯定，於 2025 年度榮獲台灣地理資訊學會 (TGIS) 金圖獎「最佳應用系統獎」殊榮。未來將持續深化 AI 技術，擴展至不動產投資評估、防救災及公共安全等多元領域，期能透過持續的創新應用，為雲林智慧治理帶來實質效益。



## 壹、前言

雲林縣政府自 2023 年起推動地理資訊整合應用平台，除將基礎圖籍資料轉為數位雲端服務外，更積極導入「AI 人工智慧」與「數位孿生」技術，透過建構與實體城市同步的 3D 數位分身，模擬都市計畫變遷與環境影響，並運用 AI 進行空間數據的智慧分析與自動化判讀。整合地形圖、正射影像、都市計畫圖、地籍圖及門牌等核心圖資，提供民眾與公務單位精準的互動查詢服務。透過「跨域串接」、「圖資建置」、「系統開發」、「創新應用」的循環，結合數位孿生的視覺化模擬與 AI 的決策輔助，不僅落實具實質效益的空間資訊整合，更全面提升雲林縣政府的行政效能與智慧治理能量。

## 貳、課題分析

分析過去各縣市整合平台推動案例，發現

地理資訊整合平台推動不易或難以維繫，共計有 5 大因素，分別為：未擬定中長期推動計畫、缺少資訊整合平台、圖資無法持續更新、不同單位整合不易、缺少創新應用亮點等 5 項，如圖 1。

### 一、未擬定中長期推動計畫

地理資訊系統推動並非短時間一蹴可及，須從基礎資料建置、資料標準化、空間化、以及業務面之應用、權責分工、資料交換等擬定中長期推動計畫，並需有縣府主管單位積極推動、協調整合以及持續性的經費挹注與支持等，以利推動並累積成效。

### 二、缺少資訊整合平台

雲林縣政府業務繁多，皆與空間資訊及地圖關聯，例如：指定建築線、使用分區核發、建物保存登記、現有巷道認定、雨水下水道及水位監測站分布、工程案件分



圖 1 推動不易原因分析圖

布、地籍圖、門牌、地形圖、影像、觀光景點、管線及閘栓圖資、土壤液化及淹水潛勢圖等，缺少整合平台彙整空間資訊。

### 三、圖資無法持續更新

過去縣府相關圖資如竣工圖、使用分區圖資等，缺少資料收納、更新機制，以至於相關資料多為紙圖保存，並無建置數值檔，使用上相當不方便，且資料更新相當費時耗工，不利於業務應用與資料共享。

### 四、不同單位整合不易

府內相關單位之核心資料，如門牌、地籍圖、都市計畫、建管資料、樁位、權屬資料等，由於基於機關權責、資安保密、或資料因坐標不同無法套疊等因素，造成不同單位資料不易整合，須進行資料清理、溝通協調等耗時甚巨。

### 五、缺少創新應用亮點

過去地理資訊系統多為單一主題，缺乏資訊跨域整合，視覺化效果過於單調，缺乏創新應用，因此應加強核心資料應用、改善使用者操作介面與互動，並以三維場景化敘事方式及增加個人化應用，並持續創新，以增加使用者體驗，並創造應用亮點。

## 參、創新策略

現針對上述五大課題，參照其他縣市成功經驗，擬定五項解決策略，包含：整合架構 (Architecture)、願景模型 (Model)、AI (智能輔助)、數位孿生 (Reality) 及行銷推廣 (Training)，雲林縣政府在落實這五項解決策略的行動方案，已預先進行妥善規劃，期能達成「智慧雲林 整合創新」的總目標，如圖 2。



圖 2 整合應用平台開發關鍵課題構想圖

### 一、整合架構 (Structure)

雲林縣政府於 2023 年展開圖資收納盤點及系統基礎建置規劃，但整合縣府跨領域、多維度空間資訊圖資及系統建置工作，如欲展現效益，非單一期計畫即可完成。為使本計畫具備可延續性及落實應用目標，因此研擬雲林縣中長程建議發展規劃，藉由初步訪談及地理資訊系統應用面向多方探索後，建議分為三階段加以推動，包含基礎奠基 (2023 - 2024 年)、成果展現 (2025 年) 及支援決策 (2026 年) 三大階段，發展策略架構如圖 3。

第一階段以建立基礎環境為主體，完成系統軟硬體基礎架構建置及多維度空間圖資收納整合做為基礎，建構初始可套疊展示查詢平台。第二階段開始推動相關應用，展現計畫成效，最後階段完成動態資訊介接，提供關鍵數據分析結果，協助決策支援。

### 二、願景模型 (Model)

數位孿生 (Digital Twin) 在全球受到關注之程度日增，它透過將實際物體或數位資料與虛擬模型相連結，完成視覺化呈現及模擬作業。從政府到產業，眾多領域都積極投入數位孿生的研究發展，政府積極投入數位孿生，打造數位孿生平台藉以實現數位治理，因此如何建立數位孿生的情景，即為重要課題之一。

針對數位孿生場景，從研究發展、模型產製、服務規劃、資料供應管理等，須完整的前瞻技術與專案累積，願景模型製作流程如圖 4 所示，共包括六個執行步驟，分別為坵塊資料蒐集、道路資料取得、容積率資料蒐集、模型風格設定、街道景觀設計及最後模型成果產製，模型成果如圖 5 ~ 圖 8。



圖 3 系統中長程發展架構圖



圖 4 模型製作流程圖



圖 5 雲林高鐵特定區願景模型製作成果



圖 6 虎尾產業園區願景模型製作成果



圖 7 虎尾產業園區願景模型製作成果



圖 8 地理資訊應用平台展現願景模型製作成果

### 三、AI 整合應用

本系統突破傳統 GIS 介面的操作門檻，串接縣內地籍、都市計畫、觀光景點、醫療資源及防災避難設施等多維度大數據。透過「自然語言互動+AI 大模型分析+GIS 空間技術」的三位一體架構，開發「雲林小智」AI 應用工具，其具備以下四大核心特色：

#### (一) 直覺式自然語言互動 (Conversational Interface)

民眾或公務人員無需具備專業 GIS 操作背景，只需透過類似聊天的口語化指令（例如：「幫我找斗六市附近的避難收容所」或「查詢這塊地的都市計畫分區」），AI 即可語意理解並自動調用相關圖資，大幅降低使用門檻。

#### (二) 跨域圖資智慧關聯 (Cross-Domain Data Synthesis)

藉由 Gemini 模型的強大分析力，系統能

即時串接並整合不同領域的異質資料。例如，將「醫療設施」與「防災路徑」結合分析，或將「觀光景點」與「交通路網」相互參照，提供比單一圖層更具深度的綜合資訊服務。

#### (三) 適地性智慧導引 (Location-Based Service & Spatial Reasoning)

結合 GIS 的空間運算技術，AI 助理不僅能回答「是什麼」，更能回答「在哪裡」與「怎麼去」。系統能根據使用者的位置或指定區域，精準呈現地圖定位、周邊環境分析及路徑規劃，實現真正的適地性服務 (LBS)。

#### (四) 以門牌、地籍為基礎，串接各類資料

系統以門牌地址、地段地號作為空間單元，整合跨部門數據，Gemini 能在數秒內從大量資料中檢索、綜合分析，以自然語言取代複雜操作，實現秒級大數據查詢，如圖 9 至圖 11。



圖 9 雲林小智 AI 數位助理應用 - 地段地號查詢都計地政整合資訊

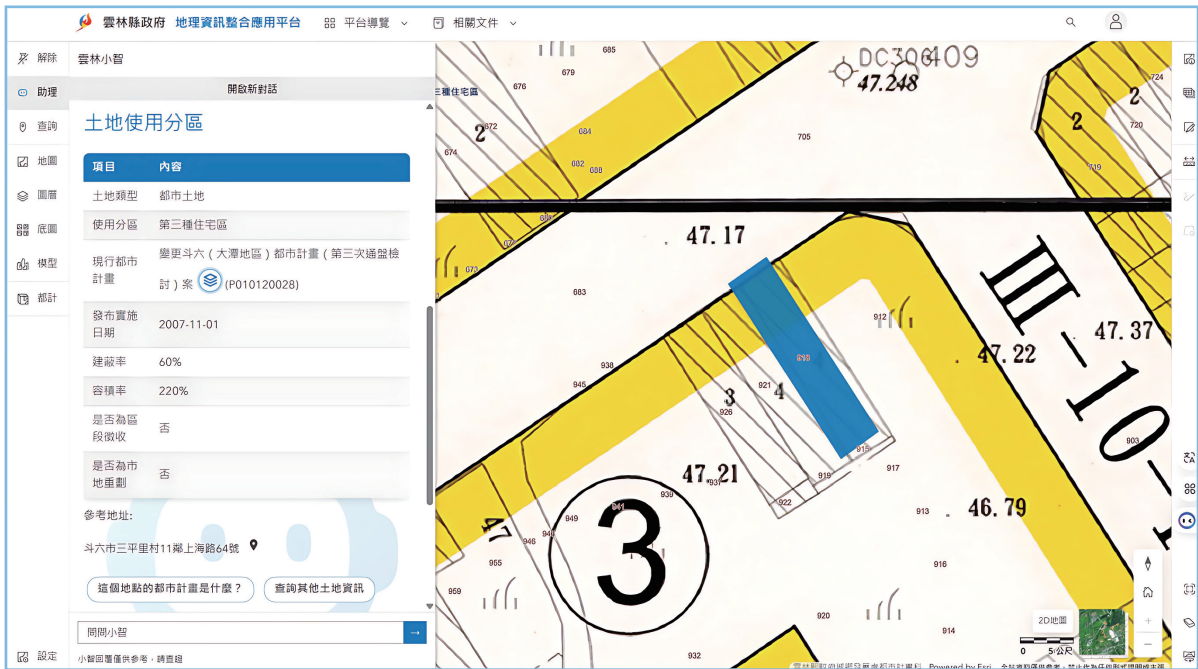


圖 10 雲林小智 AI 數位助理與地圖互動 - 歷史都市計畫資訊查詢



圖 11 雲林小智 AI 數位助理應用 - 都市計畫摘要查詢

(五) 跨維度資料 OCR (Optical Character Recognition) 辨識，結構化呈現摘要關聯

透過整合非結構化文件 (如雲林縣都市計畫書)，透過 Document AI 進行光學字元

辨識，判斷章節並透過 AI 將各章節產生之摘要儲存，並透過關聯之地籍資料綁定 Vertex AI Search，自動產生量化與索引，如圖 12。



圖 12 Document OCR 辨識、自動產生結構化摘要

(六) 建置快速且具備未來擴充之潛力

導入模型上下文協定 (Model Context Protocol, MCP) 及託管式檢索增強生成 (Retrieval-Augmented Generation, RAG)

架構，顯著降低初始成本與維護複雜度，並且能藉由開發新的 API 函式呼叫擴展 AI 助理的能力，確保長期價值與未來擴充性，如圖 13。

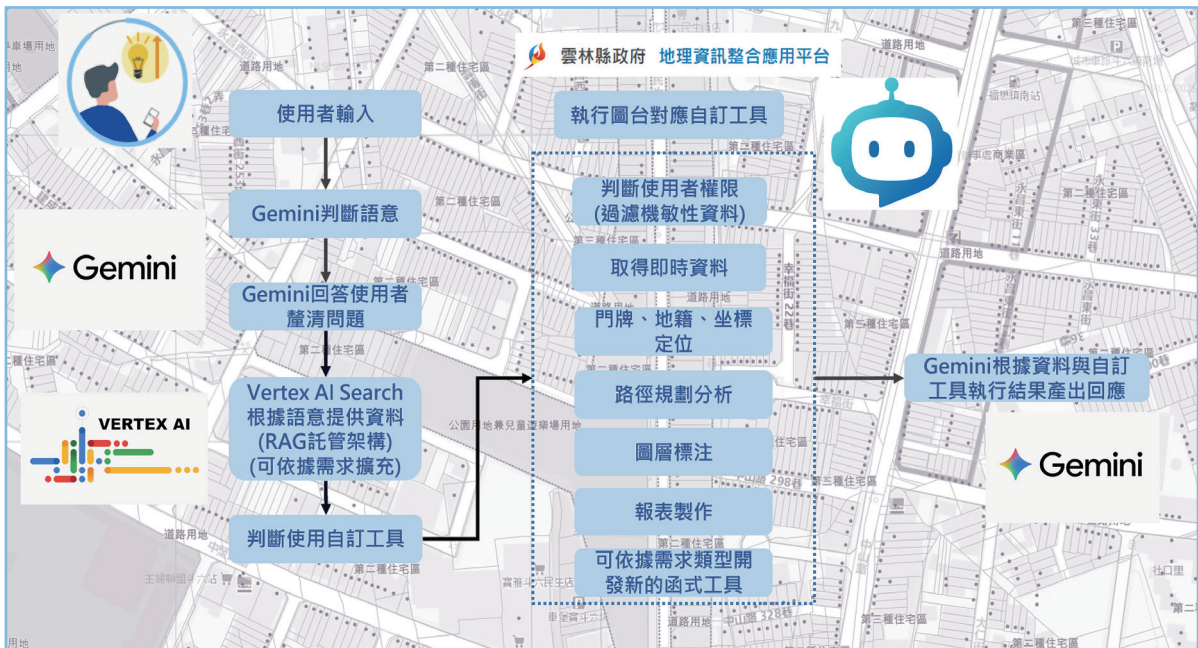


圖 13 雲林小智技術架構

#### 四、應用展示 (Represent)

系統應用展示包括以雙視窗比對歷史古地圖、2D 與 3D 連動展示願景模型、3D 都市規劃模擬系統、都市計畫歷史時間軸、農業部林業及自然保育署航測及遙測分署 (簡稱：航遙測分署) 多年期影像比對、以及數位孿生模擬等，說明如下。

##### (一) 歷史古地圖數位保存

雲林縣斗六地政事務所保存完整日治時期地籍測量原圖，經過掃描保存及空間數位化後，將該項圖資納入整合應用平台保存，可利用雙視窗展示古地圖與現今地籍圖之比對，並可開啟街景模式，提供古地圖數位展示。如圖 14。



圖 14 歷史古地圖雙視窗比對

## (二) 雲林未來發展願景 3D 模型展示

雲林高鐵特定區未來發展為雲林新都心，智能移居焦點之新門戶，將具備中科虎尾園區、虎尾科大分校、雲林縣立美術館、

虎尾運動園區等重大建設計畫，透過數位平台之 2D/3D 平台，可以 3D 展示未來發展願景 BIM 模型，並與 2D 圖台連動查詢，同時展示 2D 及 3D 相關資訊。如圖 15。



圖 15 雲林高鐵特區未來發展願景 3D 模型

### (三) 3D 都市規劃模擬系統

本平台提供 3D 都市規劃模擬系統，可依據現有 3D 場景套疊都計、地籍圖資，並可由使用者上傳模型資料，如 glb、fbx、obj，

或自行繪製建物模型，模擬建物量體、高度、鄰棟距離、視域模擬、日照模擬、氣候模擬、天際線模擬等，提供未來都市設計、都市景觀模擬之運用，如圖 16。

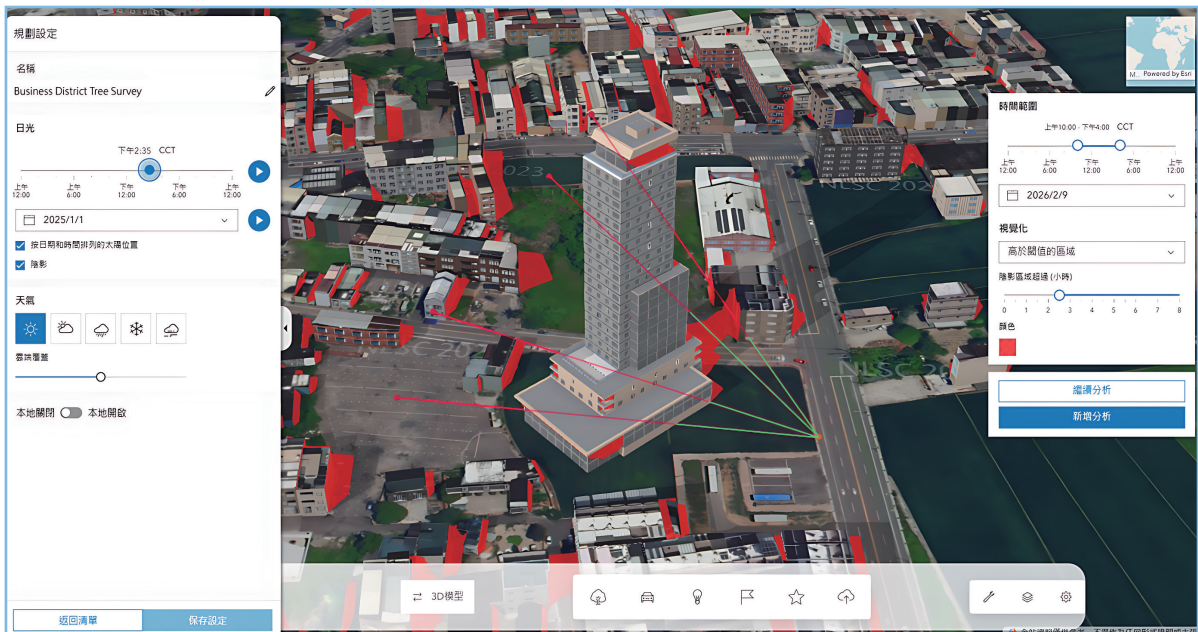


圖 16 都市 3D 規劃模擬系統

### (四) 都市計畫發展歷史時間軸

本平台在時間軸線上加強整合雲林縣各項地理資訊，並建置都市計畫歷史發展數位資

料，包括都市計畫書圖、個案變更案件、土地使用分區資訊、附帶條件資訊、容積率、建蔽率等、並整合地籍資訊，促進資訊化及時間脈絡的關聯運用，如圖 17。



圖 17 都市計畫歷史時間軸查詢

(五) 多年期影像比對

介接航遙測分署歷史影像系統、內政部國土測繪中心歷史影像及 Google 街景圖資、

可顯示早期高鐵特定區開發歷程，並與街景搭配，可查詢多年期影像，提供工務影像查詢應用，如圖 18。

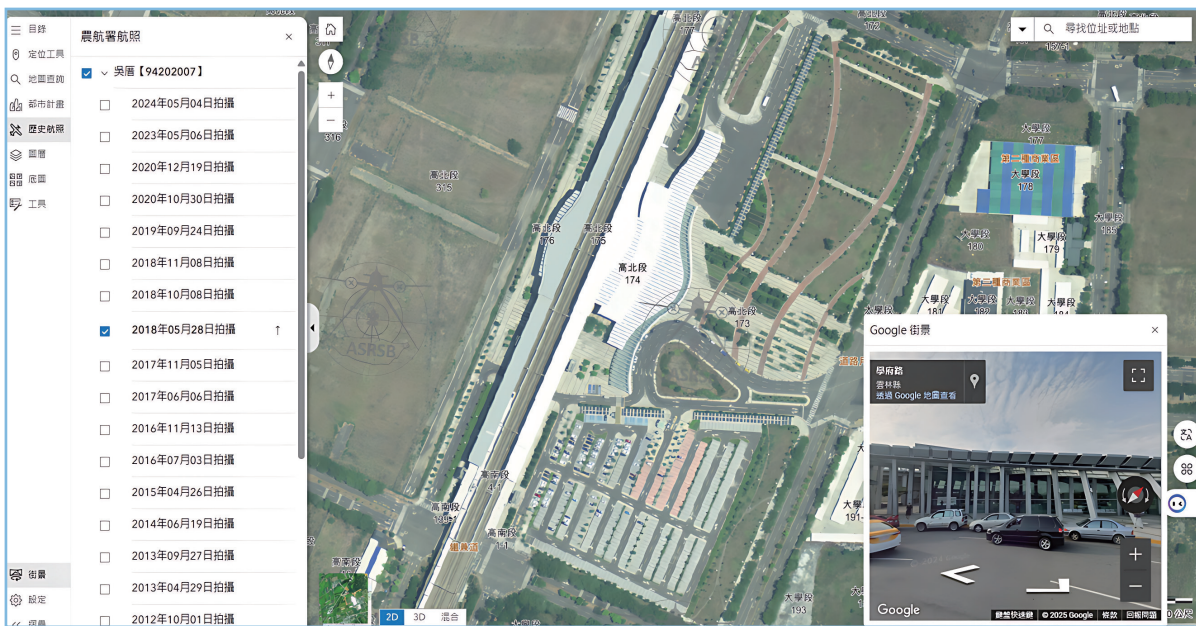


圖 18 多年期影像比對查詢

### (六) 數位孿生模擬

雲林高鐵站特區（虎尾科技大學高鐵校區）發展無人車自動駕駛巴士，規劃未來行駛於高鐵周邊固定路線，為展現未來願景，因此以數位孿生進行數位道路模型建置及模擬，可切換為車行視角，以行車角度視覺化顯示目前行駛位置，依據模擬之

號誌系統，自駕巴士可停等紅綠燈，路口轉向，並顯示目前車行速度，如圖 19 及圖 20。另以斗六縣政特定區設置之智慧停車桿接收之資訊為例，橘色為已停車、綠色為空格，展示智慧停車之應用，如圖 21。雲林離島工業區以丁二烯（烯烴三廠）災害在風力、風向模擬毒化物擴散之影響，可作為民眾宣導及防救災之應用，如圖 22。



圖 19 雲林高鐵自駕巴士路線數位道路模型



圖 20 雲林縣高鐵特區自駕巴士路線行駛模擬

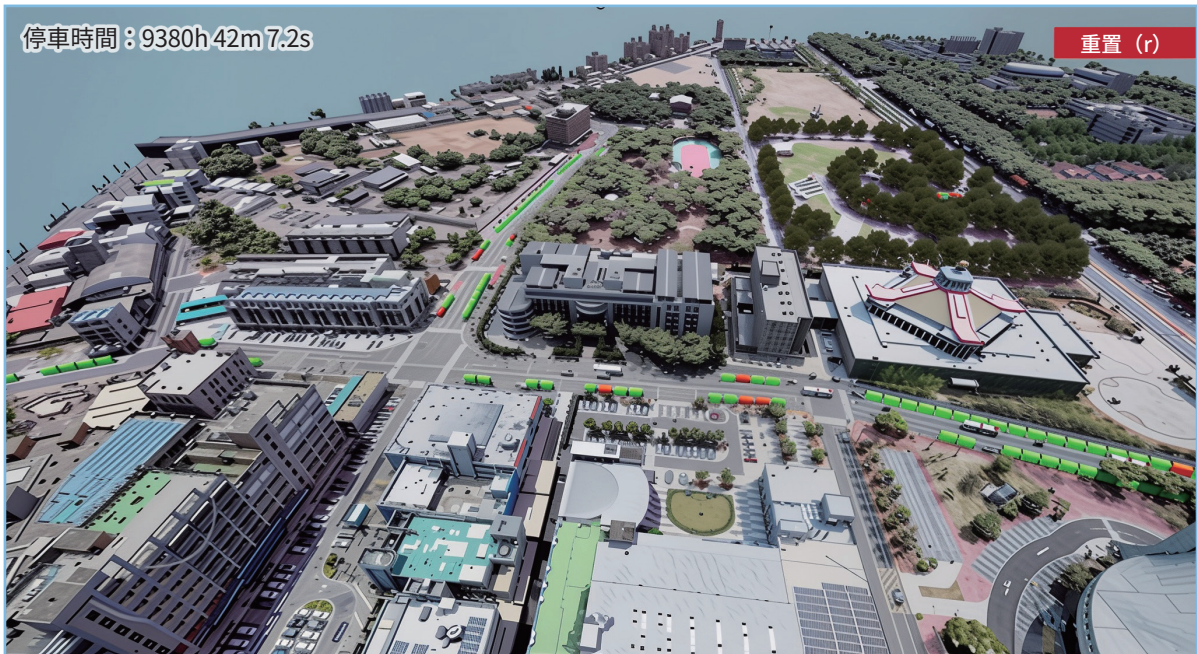


圖 21 雲林縣斗六特區智慧停車應用

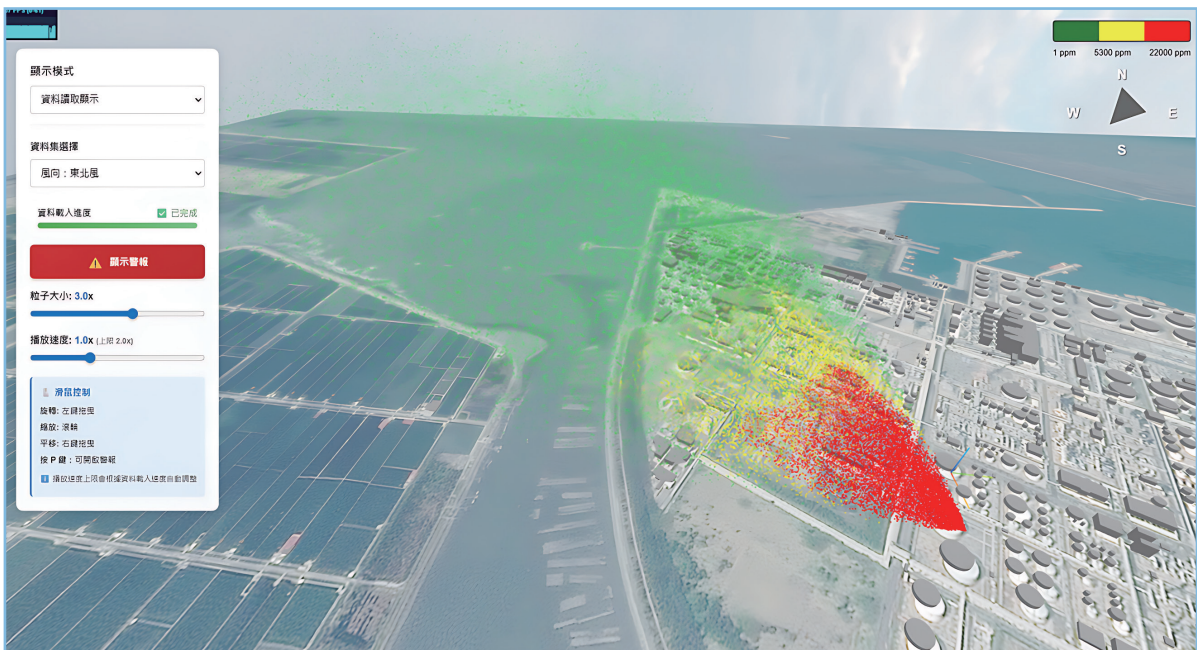


圖 22 雲林縣離島工業區毒化物擴散、風力及視覺化模擬

## 五、行銷推廣 (Training)

### (一) 爭取榮獲第 21 屆金圖獎應用系統獎

本專案於 2025 年度參與國內空間資訊領域最具權威與代表性之盛會——TGIS 2025 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。在年度指標性獎項「金圖獎」的激烈評比中，雲林縣地理資訊整合應用平台憑藉導入 Google Vertex AI 架構與 Gemini 大語言模型，成功打造「雲林小智」數位助理及數位孿生應用，展現了卓越的技術創新與實務應用價值。經產官學界專家嚴格審查，本系統從眾多參賽單位中脫穎而出，榮獲『最佳應用系統獎』殊榮，這不僅是對雲林縣政府推動智慧治理與數位轉型的高度肯定，更樹立了國內地方政府結合 AI 與 GIS

跨域應用的新標竿，如圖 23。

### (二) 成果行銷推廣、展示雲林縣智慧城市施政成果

2024 年配合斗六地政事務所參加國發會第七屆政府服務獎，展示數位平台整合地政資訊成果及數位孿生應用，榮獲數位創新加值獎，並於 2024 年底配合雲林縣推動「AI 智慧城市 2.0」之願景，以及縣長施政 6 週年全面升級科技產業、智慧城市與健康樂活之施政目標，將地理資訊整合應用平台進行展示與行銷推廣，獲得肯定與回饋，如圖 24；2026 年配合雲林縣政府辦理黑客松競賽，透過競賽形式激發創新思維，促進圖資在地方治理與公共服務上的多元發展，如圖 25。



圖 23 金圖獎得獎照片



圖 24 協助斗六地政事務所參展榮獲第七屆政府服務獎



圖 25 協助辦理地理資訊整合平台應用黑客松

## 肆、成果效益

### 一、提升縣府空間資訊整合、應用及分享能力

整合雲林縣建物、門牌、地籍、都市計畫、正射影像、電子地圖，並透過整合應用平台建立定期更新及自動化轉換機制，除圖資廣泛建置蒐集更新外，並收納各類圖資包括：資料交換介接（6項）、數化收納建檔（105項）、API介接（9項），提昇縣府空間資訊整合、應用及分享能力。

### 二、AI 都計小幫手試辦，串接地籍、都計便民服務

利用 Google AI 技術打造雲林縣 AI 小幫手，可與民眾進行對話，提供雲林縣景點相關資訊，並可串接地理資訊整合平台之都計、地籍相關資訊，提升平台之互動性與可操作性，提昇便民服務之便利性。

### 三、整合運用先進 3D 圖資視覺化技術輔助業務應用

採用 2D、3D 圖資平台技術，同時針對示範區建置更具備應用潛力之三維城市示範場景、3D 建物模型、3D 規劃模擬系統，以及結合 UAV 技術快速 3D 建模技術，結合本案建置之都市計畫整合圖資資訊，以視覺化方式協助雲林縣提升智慧治理概念與能力。

### 四、數位孿生應用

打造數位城市全雲端平臺，建立高擬真 3D 場景及城市數據交換整合空間數據模擬，協助解決都計、建管、交通及防災相關問題。

## 五、實質績效統計

雲林縣地理資訊整合應用平台可節省縣府承辦人調閱文件、查詢地籍資訊、都市計畫資訊、以及跨平台查詢文件、影像、圖資等之時間，並且透過資料介接、可減輕購置歷史影像之相關費用，實質績效統計如表 1 及圖 26。

## 伍、結語

展望未來，雲林縣政府展現強烈決心，透過挹注自有財源，持續強化資料品質與跨單位整合，確立平台作為全縣數據匯流中樞的地位。我們將緊扣整合架構 (Structure)、願景模型 (Model)、AI 智能輔助 (AI)、數位孿生 (Represent) 及行銷推廣 (Training) 等五大策略主軸，持續進行關鍵基礎圖資建置整合與更新、擴大主題地圖應用與圖資介接、並納入極端氣候資料與決策支援建置，增加防災決策支援功能，並擴大各局處圖資應用，以紮實的空間資訊基礎，全方位落實「智慧雲林、整合創新」之願景與目標。

## 參考文獻

1. 雲林縣政府，114 年雲林縣政府地理資訊整合應用平台功能擴充案期末報告書 (2025)。
2. 雲林縣政府，113 年雲林縣政府地理資訊整合應用平台功能擴充案期末報告書 (2024)。

表 1 實質績效統計表

項次	項目	節省時間統計	產出 / 節省金額統計
1	節省都市計畫書圖調閱時間	民眾調閱都計畫圖約 30 件 / 月，使用系統後，每件可節省 1.5 小時，每年可節省 540 小時。	以每人 40,000 估算，節省 12.3 萬元 (以 8 小時，22 工作日估算)
2	節省使用分區 / 地籍圖資套繪時間	使用分區套繪案件約 10 件 / 日，使用系統套繪圖資後，每件可節省 2.5 小時，每年可節省 9,125 小時。	以每人 40,000 估算，節省 207.3 萬元 (以 8 小時，22 工作日估算)
3	節省指定建築線案件調閱時間	建築線案件約 1000 件 / 年，使用系統調閱及街景比對，每件可節省 1.5 小時，每年可節省 1500 小時。	以每人 40,000 估算，節省 34.1 萬元 (以 8 小時，22 工作日估算)
4	節省歷史正射影像調閱時間	人民陳情案件約 150 件 / 年，使用系統調閱多年期歷史影像，每幅 500 元，每年可節省 75,000 元。	節省影像購置 7.5 萬元。
5	其他圖資收納 - 資料交換 (6 項)、圖資收納 (105 項)、API 介接 9 項	使用系統進行地籍、門牌、查詢各類圖資，600 次 / 月，每次節省 0.5 小時，每年可節省 3,600 小時。	以每人 40,000 估算，節省 81.8 萬元 (以 8 小時，22 工作日估算)
		<b>小計</b>	<b>節省 343 萬元 / 年</b>

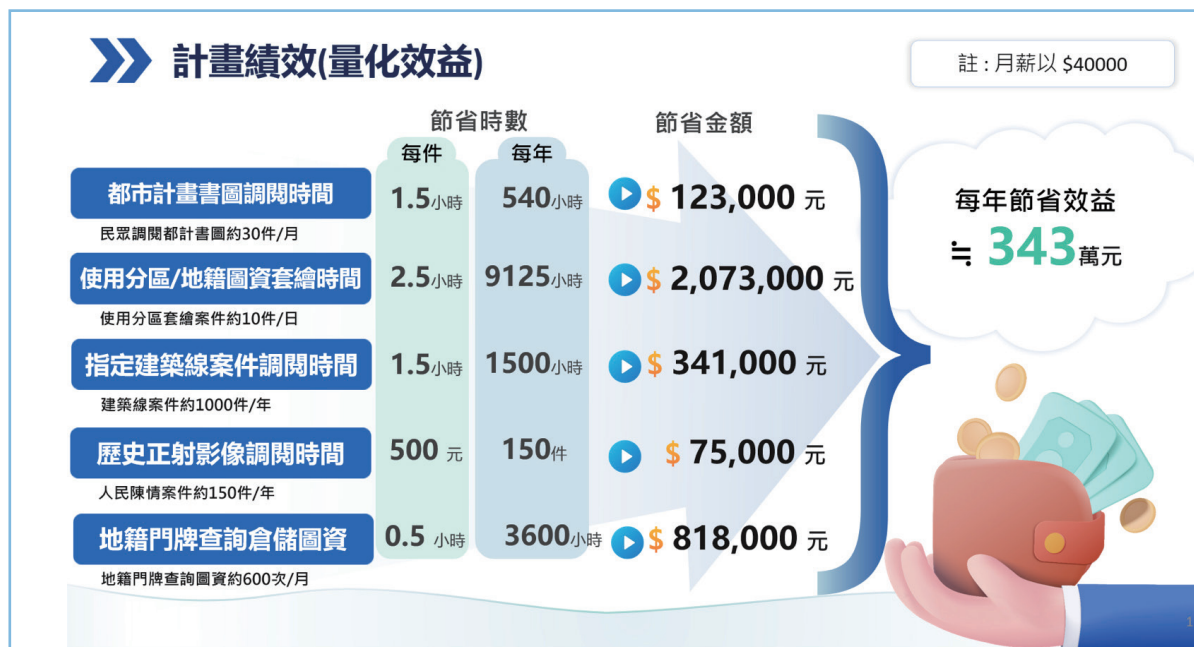


圖 26 計畫效益每年節省經費統計圖

# 基於水位變動率之 前饋式自適應抽水控制系統 設計與驗證

## 關鍵詞 Keywords

- # 智慧化抽水站 Smart Pumping Station
- # 自適應控制 Adaptive Control
- # 水位變動率 Water Level Rate of Change
- # 擬人化操作 Human-like Operation
- # 動態容量調控 Dynamic Capacity Control

台灣世曦工程顧問股份有限公司  
機械工程部

### 副理

游勝祥

### 協理

陳聖堯



面對近年短延時急暴雨所造成之前池水位急遽攀升，傳統以固定水位為基準之階梯式抽水控制往往反應滯後，導致排水能量不足，並使現場操作人員因水位瞬間飆升而傾向切換手動模式，一次啟動多台機組，使自動化系統在關鍵時刻失效。為克服此問題，本研究以建國擴建抽水站為實證場域，提出一套基於「水位五分鐘變動率 ( $\Delta H_{5min}$ )」之前饋式自適應預抽控制機制。

本研究首先以水位五分鐘變動率 ( $\Delta H_{5min}$ ) 作為水位上升速度之即時指標，並依據變動率大小切換正常、預警與暴雨三種控制模式，包含啟動水位之動態下修與多機組聯動啟動邏輯，以模擬資深操作人員在危急情況下之直覺判斷。該機制以 PLC 為核心實作，透過週期性計算與決策矩陣比對，即時寫入各機組啟抽水水位設定值，當偵測到高變動率時，本系統轉為主動防禦，不僅下修起抽水水位，更同步執行多機組聯動預抽，使系統得以主動調整排水容量因應短延時急暴雨抽排水需求。實證顯示，以 2024 年 4 月 18 日豪雨事件為例，當水位五分鐘變動率 ( $\Delta H_{5min}$ ) 急遽上升時，系統成功觸發多機組同步下修啟動值並提前投入運轉，使前池水位得以在洪峰期間形成平緩受控之水位曲線，最高水位約維持在 1.0m，顯著優於傳統控制模式。研究結果證明，導入水位變動率可有效提升抽水站於短延時暴雨下之排水反應速度，並改善操作人員對自動化系統之信任度，進而提升都市防洪韌性。



## 壹、前言

### 一、研究背景與防洪挑戰

臺北市位處盆地地形，隨著高度都市化發展，地表不透水率顯著提升，導致雨水下水道系統之集流時間極短。依據近年氣象觀測資料，臺北市過去降雨紀錄多由颱風所致，惟近年受氣候變遷影響，「午後熱對流」與「梅雨鋒面」所致之瞬間暴雨，其強度往往超越颱風等級，呈現顯著的極端化趨勢。

根據歷史觀測資料，2015 年 7 月臺灣大學觀測站曾測得時雨量高達 209 毫米之極端紀錄；2021 年 6 月 4 日受梅雨鋒面與彩雲颱風外圍環流雙重影響，大安、信義、文山區多處時雨量突破 100 毫米，臺大站再次測得 209 毫米追平歷史紀錄。此外，本研究之實證案例「2024 年 4 月 18 日清晨豪雨」，雖累積雨量未破紀錄，但南港、北投等區時雨量瞬間達 50 – 70 毫米，已逼近雨水下水道設計標準。此事件導致北投中央北路涵洞及臺北車站連通道積水，凸顯了「非颱風期間」且「發生於通勤尖峰」之短延時強降雨，對都市運作造成的瞬間巨大衝擊。隨後於同年 7 月 10 日，信義區午後暴雨亦測得 105.5 毫米之時雨量。

綜上所述，臺北市降雨趨勢已轉變為集中於短時間內之「傾盆式」降雨，且空間分布極為局部（如信義區暴雨時，士林區可能無雨），此特徵大幅增加了傳統防洪預警與機組調度難度。面對既有防洪設施擴建不易的限制，如何透過軟體邏輯的優化來釋放硬體潛能，成為重要課題。本文以建國擴建抽水站為例，探討如何於既有設施架構下，導入自適應控制邏輯，以提升其面對急暴雨之應變效能。

### 二、以固定水位為基準之傳統階梯式抽水控制反應滯後疑慮

#### (一) 傳統階梯式控制邏輯之運作機制

現行抽水站之自動化操作，普遍採用如圖 1 所示之「階梯式控制」邏輯。以建國擴建抽水站之原始邏輯為例，其運作機制嚴格依據前池水位 (EL.) 之絕對高程進行順序控制。

需特別註明的是，圖 1 為建站初期原始設計基準。考量近年極端降雨頻繁，現場實際營運時，管理人員已將日常待命之起抽與停止設定值全面下修，如第肆章之實際監控畫面與實測圖所示，以爭取更多應變時間。惟其「依賴絕對水位高低、一台接一台啟動」的僵化順控本質並未改變，其原始邏輯如下：

#### 1. 溫機待命區間

當水位上升至 EL.1.3M (警戒水位) 時，No.1 機組依據「○」符號邏輯進入運轉水位。此時 No.2 機組仍在停機狀態。

#### 2. 分級啟動區間

當水位突破 EL.1.5M (起抽水水位) 時，No.2 機組才進入「▲」階梯調速模式。換言之，系統是依據水位高度「一台接一台」地投入運轉。

#### (二) 僵化邏輯於急暴雨下之防洪漏洞

上述邏輯在面對短延時強降雨時，顯露出其結構性僵化：

#### 1. 無效等待時間

在 EL.1.3M 至 1.5M 過程中，若水位因暴

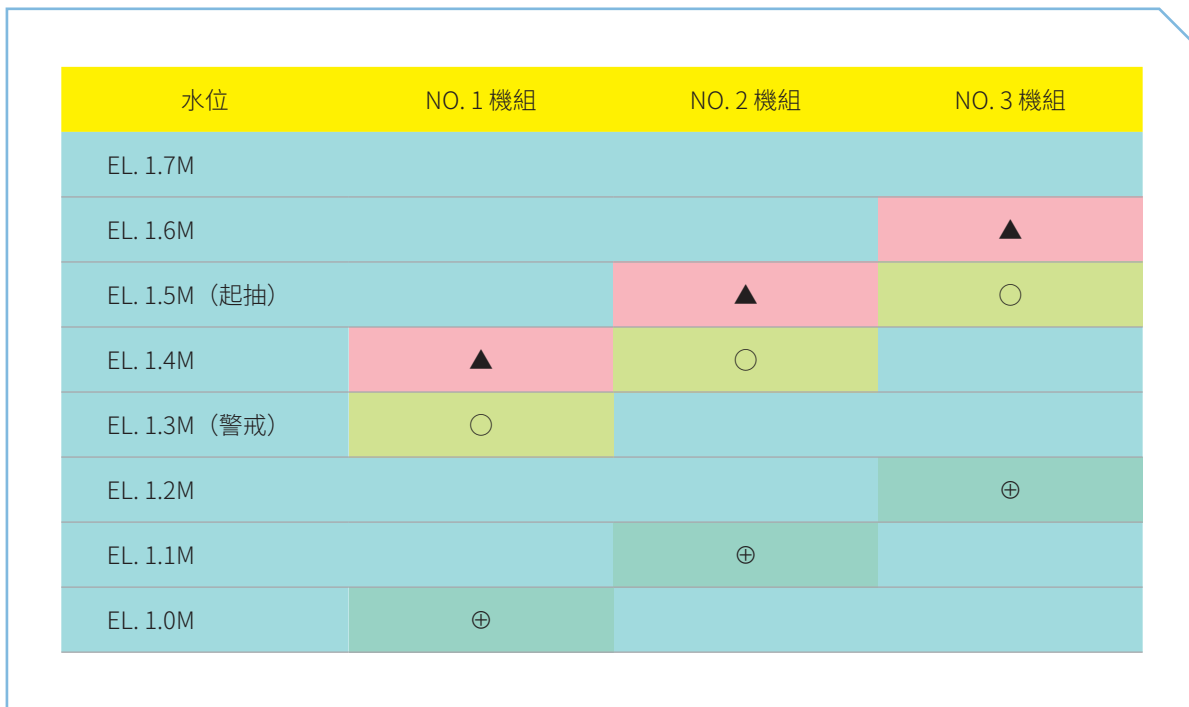


圖 1 建國擴建站抽水機組啟閉操作機制

兩瞬間爬升，系統仍僅由 No.1 機組單獨應對，導致前池水位無謂累積。

## 2. 排水能量供給滯後

階梯狀設計限制了 No.2 與 No.3 機組的提早介入，造成排水能量的供給速度遠遠落後於洪峰到達速度。

## 3. 誘發人為介入之心理因素

當現場操作人員目睹水位快速衝過 EL.1.3M 直逼 EL.1.5M，但系統依照圖表邏輯，此刻僅有 No.1 機組在運轉。這種「水位急漲但後續機組靜止」的視覺與心理衝擊，即是造成操作人員恐慌，進而強制切換手動的主因。

## 三、研究目的

本文旨在橋接「傳統階梯式控制」與「人性

直覺」的鴻溝，核心目標包括：

### (一) 導入自適應算法

使控制邏輯不再死守固定水位。

### (二) 模擬操作直覺

將人員「看到水漲得快就一次全開」的經驗法則數位化。

### (三) 動態容量調控

實現從「單機順控」進化為「多機聯防」。

### (四) 效能對照驗證

透過實際降雨事件之情境推演，量化自適應控制相較於傳統邏輯，在「反應時間」與「初期排水容量」上之具體優勢。

## 貳、自適應控制系統設計

### 一、設計理念：擬人化控制與容量調控

本研究的核心設計理念，在於模仿資深操作人員在面對危機時的決策模式。在水力學上，前池水位的變化遵循連續方程式：

$$A \times (dH/dt) = Q_{in} - Q_{out}$$

其中 A 為前池面積，dH/dt 為水位變動率。

當暴雨發生時， $Q_{in}$ （入流量）瞬間暴增。若採用傳統階梯控制， $Q_{out}$ （抽水量）因機組啟動延遲及台數限制而增加緩慢。本研究利用 dH/dt 作為前饋訊號，提前並加大  $Q_{out}$  的投入。這不僅是調整「何時開」，更是調整「開幾台」。

### 二、物理參數定義

本系統定義關鍵參數如下：

- 計算視窗：設定為 5 分鐘。
- 五分鐘水位變動率 ( $\Delta H_{5min}$ )：  

$$\Delta H_{5min} = H(t) - H(t-5min)$$

本研究將計算視窗設定為 5 分鐘，其核心考量係基於抽水機組之硬體機械特性 (Mechanical Response Time)。大型抽水機組從接收啟動指令開始，必須歷經建立冷卻水、燃油等附屬系統，直至引擎完成溫機、離合器確實接合，最終方能達到滿載實際抽水，此一完整物理遲滯程序約需歷時 3 至 5 分鐘。

若取樣時間過短（如 1 分鐘），系統極易受前池表面波浪擾動或感測器雜訊影響，導致計算出虛假的極端升率，進而引發機組頻繁且錯誤的啟動指令震盪 (Hunting) 現

象，徒增設備無謂耗損。反之，若取樣時間過長（如 10 分鐘），因時間平均效應過大，將無法即時反映「短延時強降雨」瞬間暴漲之特性；待系統確認變動率達標時，前池往往已逼近溢淹邊緣，完全失去「預抽」之防洪先機。

因此，5 分鐘視窗完美契合了「機組硬體啟動所需之時間差」，使系統能恰好在洪峰抵達、水位尚未失控前，讓機組完成所有附屬設施之準備並無縫投入排水陣線。

### 三、分級啟動邏輯：從單機順控到多機聯防

為對應不同降雨強度及操作人員的心理狀態，本系統設計了三階段的自適應邏輯：

#### (一) 正常模式

##### 1. 判斷條件

$$\Delta H_{5min} < 2 \text{ (cm)}。$$

##### 2. 模擬狀態

人員心態平穩。

##### 3. 系統動作

維持原設計順序

(No.1@EL.1.3M, No.2@EL.1.5M)。

#### (二) 豪雨預警模式

##### 1. 判斷條件

$$2 \leq \Delta H_{5min} < 3 \text{ (cm)}。$$

##### 2. 模擬狀態

人員開始警覺 (Alert)。

### 3. 系統動作

No.1 機組啟動水位下修至「正常值 - 0.05M」(即 EL.1.25M)，No.2 機組同步微調。

#### (三) 暴雨緊急模式 - 容量調控核心

##### 1. 判斷條件

$\Delta H_{5min} \geq 3$  (cm)。

##### 2. 模擬狀態

人員感到緊急，直覺判斷單機無法壓制，必須「全機運轉」。

### 3. 系統動作

#### (1) 全面下修

系統判定單機  $Q_{out}$  不足以應付  $Q_{in}$ ，將所有可用機組之啟動水位大幅下修(例如 -0.10M)。

#### (2) 連鎖啟動

若變動率極大(如  $\geq 6$ cm)，本系統將觸發「群組啟動」邏輯。此時，No.2 與 No.3 機組的啟動條件將被修正為與 No.1 機組趨近一致。

本系統之控制核心建構於可程式邏輯控制器 (PLC) 內，其具體運算流程如圖 2 所示。程式邏輯採迴圈掃描方式運作，主要包含三個核心階段：

#### 1. 訊號採樣與運算階段

程式首先確認機組是否處於「全自動模式」。隨後，系統持續讀取內池水位訊號，並執行「N 分鐘變化比對」運算(即本文定義之  $\Delta H_{5min}$ )，計算出即時變動率數值(圖中以 X 表示)。

#### 2. 多路平行判斷與決策階段

取得 X 值後，系統進入分流判斷邏輯，將 X 與預設參數 (A,B,C,D) 進行比對：

##### (1) 正常區間 ( $X < A$ )

若變動率低於閾值，路徑指向「各機組維持原運轉水位」，系統保持靜默監控。

##### (2) 預警區間 ( $A \leq X < B$ )

若變動率微幅升高，觸發第一階修正，指令寫入記憶體，執行「各機組運轉水位降 Y 公分」。

##### (3) 緊急區間 ( $B \leq X < C$ )

若變動率顯著升高，觸發第二階修正，執行「各機組運轉水位降 Z 公分」。

(4) 極端連鎖區間 (註 1 說明)

當變動率突破極限值時，邏輯進入特殊迴路。依據圖中「註 1」定義，系統不僅將第一順位機組啟動水位大幅調降 0.1M，更關鍵的是執行「跟隨控制」，強制將第二順位及第三順位機組之啟動水位，調整至與第一順位相同或極為接近之數值。此邏輯即為實現「多機齊發」之程式根源。

3. 執行與回授階段

一旦新的啟動水位被寫入暫存器，程式即進入標準啟動序列：「啟動水位判斷」→「離合器投入檢測」→「引擎轉速控制」。若水位仍持續上升，系統將持續循環上述步驟，直至水位受到壓制，變動率 X 回落至正常區間為止。

參、系統運轉策略與人機協作機制

一、訊號處理與優化策略

水位計訊號常受水面波浪影響而產生雜訊。為確保前饋訊號之穩定性，本研究應用了既有 PLC 程式中內建之移動平均濾波器 (Moving Average Filter) 功能

$$H_{avg}(t) = (1/N) \times \sum H(t-i)$$

透過沿用此一內建算法，並確認其取樣視窗 N 設定為 10~20 筆取樣數據，即能有效平滑化水位曲線。此舉確保了後續計算之  $\Delta H_{5min}$  能精確反映真實的水位趨勢，避免因瞬間感測雜訊引發機組之誤動作。

二、參數化設定與策略彈性

考量氣候變遷導致降雨型態的不確定性，以及不同集水區之匯流特性差異，本系統摒棄了傳統將控制參數固定於 PLC 程式碼

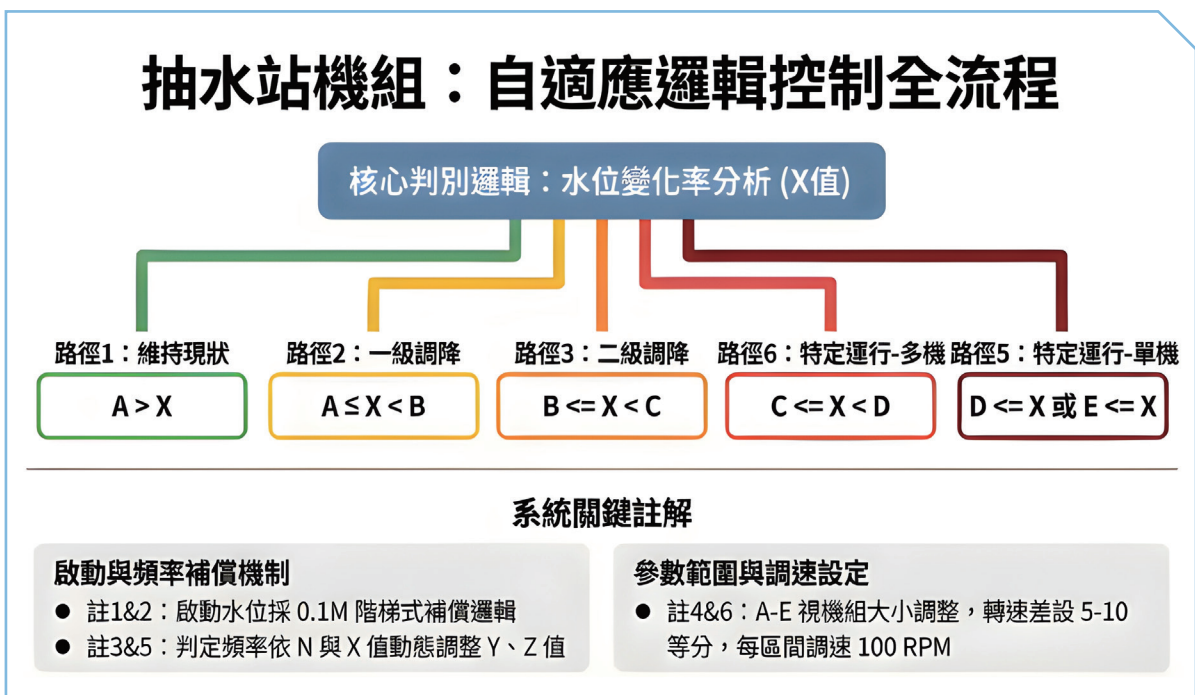


圖 2 自適應邏輯控制流程圖

中的作法。本研究於 SCADA 圖控系統中建置了專屬的「預抽機制參數設定頁面」，介面配置請參照圖 3，賦予現場管理人員高度的裁量權與策略彈性。

依據實際介面配置，本節將說明如何透過人機介面實現策略管理：

### (一) 閾值 (Threshold) 之可視化與動態調整

相較於傳統系統僅能看到最終結果，本系統介面將核心判斷參數 (如： $\Delta H_{5min}$  之閾值) 設計為可輸入之欄位，如圖 3 中綠色數據框所示。

#### 1. 閾值 (Threshold)

閾值指的是一個臨界點、判斷界線或觸發條件。當某項數值「超過」、「低於」或「達到」這個界線時，系統就會做出相對應的反應或切換模式。

#### 2. 應用場景

若氣象預報指出本次為「長延時強降雨 (如颱風)」，操作人員可維持標準設定 (如預警值 2cm)；若預報為「短延時急暴雨」，人員可將敏感度調高 (例如將閾值下修至 1.5cm)，使系統反應更靈敏，而無需修改底層程式。

#### (二) 極端情境之聯鎖權限開放

針對前述之「多機聯鎖」邏輯，本介面亦開放了觸發條件的設定權限。

設定說明：如圖 3 中白色區域所示，針對「靜態極端判斷」與「動態追趕」邏輯，系統允許管理者依據機組健康狀況或季節需求，調整觸發多機齊發的升率門檻 (目前設定為 6cm 與 3cm)。此設計確保了自動化邏輯不會因為單一參數的不適用而失效。

建國擴建抽水站抽水機預抽機制	
機組全部未啟動時 判斷啟動順位	
內水位時間差值 < <input type="text" value="2"/>	➔ 正常啟動水位
<input type="text" value="3"/> cm > 內水位時間差值 ≥ <input type="text" value="2"/>	➔ 豪雨啟動水位(正常啟動水位-0.05M)
內水位時間差值 ≥ <input type="text" value="3"/>	➔ 暴雨啟動水位(正常啟動水位-0.1M)
無機組運作時 <input type="text" value="6"/> 內水位時間差值 ≥ <input type="text" value="4"/> cm	➔ 第二順位啟動水位 修改為 第一啟動順位暴雨啟動水位 第三順位啟動水位 修改為 第二啟動順位暴雨啟動水位
無機組運作時 內水位時間差值 ≥ <input type="text" value="6"/>	➔ 第二順位啟動水位 及 第三啟動順位暴雨啟動水位 修改為 第一啟動順位暴雨啟動水位
一台機組運轉抽水兩分鐘 且 水位差值 ≥ <input type="text" value="3"/>	➔ 第三順位啟動水位 修改為 第二啟動順位暴雨啟動水位
當前內水位 ≤ 第一順位起抽水位	➔ 第二順位啟動水位 修改為 第一啟動順位暴雨啟動水位
當前內水位 > 第一順位起抽水位	➔ 第二順位啟動水位 修改為 當前內池水位

圖 3 建國擴建抽水站預抽機制參數設定介面

### (三) 運轉策略之迭代優化

透過此參數化介面，管理單位可於每次災後進行回顧。若發現某次降雨中機組啟動稍慢，可於介面上微調參數，並於下次降雨驗證成效。這種「設定－驗證－優化」的循環機制，使防洪系統具備了持續演進的能力。

### 三、可視化介面：建立信任感

為了消除操作人員在自動化模式下的不安全感，本系統之圖控畫面進行了心理層面的優化設計：

#### (一) 資訊透明化

在主畫面顯著位置新增「內池水位五分鐘時間差值」即時顯示欄位。

#### (二) 主動回饋機制

當系統觸發預抽邏輯時，畫面會出現醒目的紅色警示文字。

#### (三) 多機聯動視覺化

操作人員會看到介面上多台機組的「啟動設定值」同時下降，這種視覺回饋讓人員清楚知道：「系統已經在幫我執行多機操作了」，從而放下切換手動的念頭。

## 肆、實證分析與討論

### 一、案例分析：2024 年 4 月 18 日豪雨事件

#### (一) 事件背景與數據源說明

本研究選取 2024 年 4 月 18 日清晨發生於臺北市之短延時強降雨事件為實證對象。數據來源為建國擴建抽水站 SCADA 歷史趨勢圖，完整時序軌跡請參照圖 4，圖中關鍵

曲線定義如下：

#### 1. 藍色實線

前池水位 (Inner Pool Water Level)。

#### 2. 橘色鋸齒線

五分鐘水位變動率 ( $\Delta H_{5min}$ )。

#### 3. 紅色 / 綠色 / 紫色階梯線

分別代表 1 號、2 號、3 號機組之即時「起抽水設定值」。

### (二) 系統動態響應過程解析

觀察圖 4 之時序變化，本系統之作動可細分為以下四個關鍵階段：

#### 1. 階段一：平穩潛伏期 (06:00 – 07:00)

##### (1) 降雨特徵

此時段雨勢尚未顯著，前池水位 (藍線) 處於低檔 (約 -0.4M 至 0.0M)，且變動率 (橘線) 在 0 軸附近微幅震盪。

##### (2) 系統狀態

由於  $\Delta H_{5min}$  未達觸發門檻，系統維持「正常模式」。此時可見 1 號 (紅)、2 號 (綠)、3 號 (紫) 機組之起抽水設定值均維持在圖表上方呈現水平線。須說明的是，圖 4 中這些起抽數值 (介於 1.1M 至 1.3M 之間) 為現場因應實務已全面下修的「日常營運設定值」，而非圖 1 的原始設計高程。在此階段，起抽設定值維持不動，顯示系統處於平穩的節能待命狀態。

#### 2. 階段二：急暴雨觸發與多機聯鎖 (07:10 – 07:20)

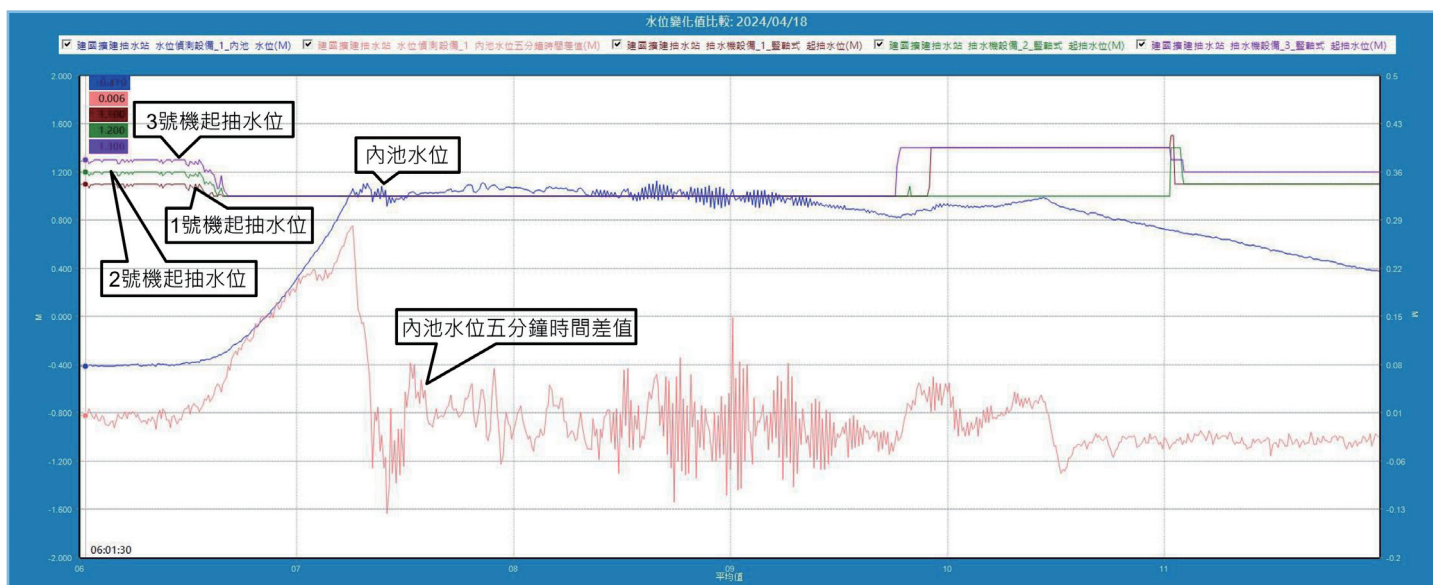


圖 4 2024/04/18 建國擴建站水位變動率與機組啟動值趨勢圖

### (1) 危機發生

07:10 左右，強降雨逕流匯入，前池水位（藍線）呈現近乎垂直的仰角攀升。關鍵指標變動率（橘線）瞬間出現劇烈尖峰（Spike），數值迅速突破本研究設定之 3cm (0.03M) 暴雨閾值，甚至一度衝高至 0.15M（圖中橘色最高點）。

### (2) 系統介入

此為本案例最關鍵之時刻。在 07:12 左右，當橘線突破閾值的瞬間，圖中可清晰觀察到紅線（No.1）、綠線（No.2）與紫線（No.3）之起抽水位設定值，呈現「同步、大幅度」的階梯式下墜。

### (3) 戰術意涵

這證明了系統並非僅調整第一台機組，而是觸發了「暴雨緊急模式」之聯鎖邏輯，強制將後續機組（2 號、3 號）之啟動標準拉低至與 1 號機組齊平。此動作完美模擬了資深操作員「一次全開」的手動操作直覺。

### 3. 階段三：洪峰壓制與平頭曲線（07:20 — 09:00）

### (1) 壓制效果

由於起抽門檻大幅降低，多部機組在水位尚未到達傳統警戒值前即已投入運轉。強大的排水能量（ $Q_{out}$ ）迅速抵銷了入流量（ $Q_{in}$ ）。

### (2) 結果驗證

觀察藍色水位線，在經過初期爬升後，並未如傳統控制般衝高至溢淹邊緣，而是呈現一個受控的「平頭狀」弧線，最高水位被壓制在約 1.0M 左右，遠低於警戒水位。

### 4. 階段四：災後復歸（09:30 後）

隨著雨勢趨緩，橘色變動率曲線回落至低檔區。系統偵測到威脅解除，隨即自動將各機組之起抽水位設定值（紅 / 綠 / 紫線）拉回至高檔位，恢復正常待命模式，展現了系統具備「放得出去，收得回來」的自動化韌性。

圖 4 最顯著特徵為「紅、綠、紫三色線的同步下墜」。若採傳統邏輯，這三條線應為固定不動之水平線，水位勢必突破防線。此軌跡為本系統「主動迎擊」之最佳鐵證。

## 二、傳統控制與自適應邏輯之情境推演與效能對照

為具體呈現預抽控制之效益，本研究以該次真實降雨事件為基礎，將「傳統階梯式邏輯」與「自適應邏輯」置於同等降雨條件下進行推演對照。

### (一) 排水能量供給滯後之理論推演

若該次豪雨發生於系統未更新前，系統將面臨嚴重「排水能量供給滯後」。於 07:12 關鍵時刻，當水位以極高仰角攀升但尚未觸及 1.5M 時，傳統邏輯將強制 No.2 與 No.3 機組保持靜止。在單機無法壓制的情

境下，水位勢必快速衝破 1.5M。加上機組啟動需歷經 3 – 5 分鐘溫機程序，前池水位將因慣性飆高，形成具高度溢淹風險的「尖峰狀」水位過衝曲線。

### (二) 兩種控制邏輯之應變特徵比較

兩種控制邏輯在面對極端短延時強降雨時的系統特徵如表 1 所示：

綜合上述對照可知，自適應控制系統的價值在於透過軟體邏輯優化，將既有硬體容量的「投入時機」大幅提前，成功消弭了傳統自動化系統的防洪死角。

表 1 傳統控制與自適應控制於急暴雨情境下之效能對照

比較項目	傳統階梯式邏輯 (模擬推演)	預抽自適應邏輯 (2024 實測)	差異分析與工程意涵
控制維度	一維： 僅判斷「空間（水位高低）」	二維： 同時判斷「空間」與「時間（速率）」	自適應具備提前預判趨勢之能力
機組投入時機	被動等待： 水位達 1.5M 才允許 No.2 啟動	主動迎擊： 水位未達 1.5M，機組即提前啟動	消除機組啟動所需 3 – 5 分鐘的硬體空窗期
初期排水容量	供給不足： 單機苦撐， $Q_{out} < Q_{in}$	瞬間放大： 多機齊發， $Q_{out}$ 快速追平 $Q_{in}$	解決暴雨初期蓄洪空間迅速耗竭之痛點
水位曲線特徵	尖峰狀： 易產生 Overshoot，逼近警戒線	平頭狀： 水位提早受控，最高壓制於約 1.0M	實質降低市區下水道頂托與溢淹風險
人機協作關係	人機對立： 人員因系統反應慢而切換手動	人機信任： 人員目視系統主動下修，安心監控	大幅降低人員心理壓力與人為誤操作風險

## 伍、結論與效益

### 一、結論

本研究成功將現場操作人員的「應變直覺」轉化為 PLC 控制邏輯。透過引入水位變動率作為前饋訊號，本系統從僵化的階梯圖控制，進化為具備彈性的自適應控制。經由 2024 年真實豪雨事件之情境推演與對照分析，實證結果證明，本研究提出的邏輯不僅能做到「提早啟動」，更能做到「動態調整啟動台數」，完美復刻了資深操作人員在緊急時刻的應變智慧，從根本上解決了傳統自動化系統「能量供給滯後」的防洪死角。

### 二、綜合效益

#### (一) 心理層面（人機信任與壓力釋放）

傳統階梯式邏輯常因反應滯後，導致現場操作人員在目睹水位急遽攀升時產生極大焦慮，進而頻繁介入切換為手動操作，使自動化系統形同虛設。透過本系統導入變動率指標並主動執行「多機預抽」，不僅能精準模擬資深人員的應變直覺，更配合 SCADA 圖控介面即時展現「設定值同步下修」的視覺回饋。此機制成功向操作人員傳遞「系統已主動防禦」的安全感，徹底消除了因單機壓制力不足而產生的恐慌，成功重建了人與自動化系統間的信任關係，大幅降低極端氣候下第一線值班人員的心理壓力。

#### (二) 實質層面（防洪韌性與硬體潛能釋放）

本系統打破了過去「水位到才開機」的被動防禦框架，精準補足了大型抽水機組啟動

所需的 3 至 5 分鐘物理遲滯時間。在急暴雨發生初期，系統即提前並聯多部機組，瞬間提供龐大的排水容量 ( $Q_{out}$ )，有效對抗瞬間暴增的入流量 ( $Q_{in}$ )。此一「時間換取空間」的策略，不僅從根本上解決了洪峰過高與水位過衝的致命弱點，使水位曲線呈現安全的平頭狀；更實質降低了市區下水道系統的頂托風險，在無須耗費鉅資擴建實體抽水池的前提下，最大化釋放了既有硬體設施的防洪潛能。

## 參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，《基隆河抽水站管理中心委託規劃工作—抽水站自動化監控系統規劃設計報告書》，臺北市政府工務局水利工程處委託技術服務案（採購案號：H98023）（2009）。
2. 交通部中央氣象署，《歷史氣象資料觀測查詢系統》，取自：<https://e-service.cwa.gov.tw/HistoryDataQuery/>（瀏覽日期：2024）。
3. 林坤滄、周振發、陳聖堯，「抽水站自動化監控系統整合應用」，《中華技術》，第 91 期，頁 144 — 156（2011）。
4. 健格科技股份有限公司，《建國擴建站抽水機緊急應變預抽機制控制系統試辦實作測試資料》，臺北市政府工務局水利工程處抽水站管理科（2023）。
5. 臺北市政府工務局水利工程處抽水站管理科，《未來智慧抽水站推動規劃進度與成果專題簡報》（2024）。



投稿本刊之稿約格式說明，請參考：

[https://www.ceci.com.tw/page/book/ceciet\\_submit\\_format.html](https://www.ceci.com.tw/page/book/ceciet_submit_format.html)



# 分毫不差

## 才足以教人驚豔

搏得滿堂喝采的每一場演出，廣為客戶信賴的每一回肯定，  
台灣世曦連番榮耀背後的，永遠都只是「專業」的累積，  
以及「用心」的執著。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity



台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號  
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568  
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw