

地下隧道工安監測之智慧應用

曾孝欽 亞新工程顧問股份有限公司 / 大地技師

黃士翊 鎧烽科技有限公司 / 負責人

陳文通 台灣電力公司輸變電工程處 / 副處長

王東海 台灣電力公司輸變電工程處北區施工處 / 副處長

謝明達 台灣電力公司輸變電工程處北區施工處 / 經理

余維文 台灣電力公司輸變電工程處北區施工處 / 經理

摘要

本文係以台電 161kV 大潭（甲）－梅湖管路統包工程（一工區）高風險施工項目，導入運用新型態之科技管理方式，提供更高標準之安全衛生措施案例。介紹推管工程採用之智慧安全監控系統，其系統功能包括即時影像、人員管制、控制中心、主動警報、4G 無線網路訊號、氣體偵測等。透過 4G 及 WiFi 架設，建置全覆蓋之網路環境，並以整合式之控制中心作為控管，用以進行安全衛生管理，達到人員管制、主動警報、氣體偵測、即時影像之功能，達到強化工安管理、降低施工風險之目標。

一、前言

本文係以 161kV 大潭（甲）－梅湖管路統包工程（一工區）設計階段導入電纜隧道工安監測智慧應用為例，考量本案之地下洞道工程屬局限空間作業場所，於推管工程中可能造成勞工暴露於缺氧、中毒、爆炸之作業風險，屬高風險施工項目，需特別注意管內施工人員之作業安全，故於推管作業進行之場域，規劃運用新形態之科技管理系統，實施雙向主動式安全管理系統，提供更高標準的安全措施。本文將介紹該系統架構、功能與實際應用情形，提供讀者作為相關案例之參考。

二、工程概述

台灣電力股份有限公司為提昇北部地區離岸風電併網容量及供電品質，依行政院核定之「離岸風電加強電力網」第一期計畫規劃新建 161kV 大潭（甲）－梅湖線。本線路由桃園市觀

音區大潭電廠（以下簡稱大潭 G/S）向東南至新竹縣湖口鄉梅湖一次變電所（以下簡稱梅湖 P/S），總長度約 27.8 公里，全線共分為兩個工區，並採統包方式辦理工程發包。本工程為第一工區，位於桃園市觀音區、新屋區、新竹縣新豐鄉、湖口鄉，自桃園市觀音區大潭 G/S 起，沿台 61 線，過大波溪後轉台 15 線，再轉至 117 縣道，最終沿湖口鄉德興路過德豐路後與第二工區交界處銜接，全長約 18 餘公里，如圖 1 所示。

本工程全線主要以明挖管路施設電纜，過河段則採用推管工法施作推管洞道。本工程共計 4 處推管洞道段，包含：穿越小飯壠溪、新屋溪及 114 縣道（下田溪）以及福興溪等。其中穿越小飯壠溪、新屋溪及 114 縣道（下田溪）須容納六回線電纜，採 $\Phi 2.4$ m 推管段；另穿越羊寮溪（福興溪）須容納八回線電纜，將採 $\Phi 2.0$ m 推管段上、下層配置（上、下層各容納四回線電纜），如圖 2 所示。



圖 1 本工程平面位置圖

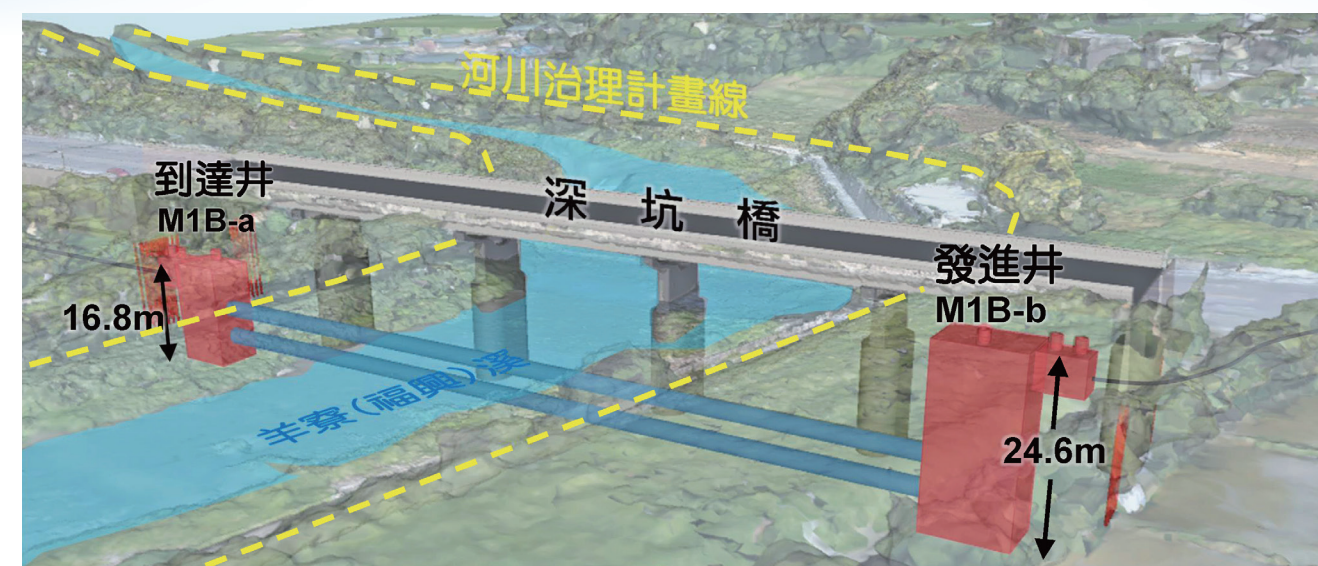


圖 2 福興溪電纜洞道示意

前述推管段兩側須設置直井以銜接明挖管路，其中穿越福興溪推管段直井（兼工作井）採壓入式沉箱工法施作，其餘推管工作井採鋼襯板擋土（配合降水及地盤改良）明挖工法施作，推管完成後再施作直井及電纜涵洞結構。

三、系統特色與功能

本案例藉由隧道內覆蓋率完整之網路、即時連接整合型基地台、資訊傳遞整合及隧道內外雙向溝通之控制中心，建構新型態科技應用之安全管理系統，達到人員管制、主動警報、氣體偵測、即時影像之功能。本系統特色及功能詳如圖 3 所示。

四、系統架構簡介

地下隧道由於環境阻隔，地面的 4G/5G/ 網路訊號難以到達隧道深處，可以透過無線網路橋接 / Mesh / 強波... 等技術，將隧道內佈滿無線網路訊號，讓隧道內的氣體偵測設備回傳資料到雲端，遠端工務所以及地面人員可以即時監看隧道內氣體資訊。

隧道施工時，地下隧道人員無法與外界通話聯繫，透過本系統，地下人員可以接收工務所警報，也可對外發出警報與通話。進入隧道前，可使用本系統在地面監看氣體指標，中控平台自動統計隧道內人員，以維護施工安全。



圖 3 系統特色與功能

本雙向主動式安全管理系統架構如圖 4 所示，只需於施工現場安裝包含：4G/5G 網路轉換器、氣體偵測人員定位器，工務所與施工人員即可透過工安 APP 或中控平台來查看氣體與人員定位資訊。相關管理系統組成與功能詳如表 1 所示。

本系統由五大部分組成，分述如下：

1. 雲端伺服器

氣體與人員定位資訊皆儲存於雲端伺服器，可簡化施工現場與工務所設備，讓管理人員可以遠端查看隧道氣體資訊與人員定位。

表 1 雙向主動式安全管理系統組成與各功能

品項	功能	備註
A	雲端伺服器	儲存氣體偵測數值、人員位置資訊
B	4G/5G 網路轉換器	傳送網路訊號至使用場域、串聯為單一域
C	五合一氣體偵測人員定位器	網路傳送氣體偵測數值、燈光/聲音警示與工安 APP 協作人員定位
D	工安 APP	觀看氣體資訊、傳送位置資訊發送/接收警報
E	中控平台	觀看氣體資訊與人員位置發送/接收 APP 警報訊息
數量限制	B、C、D、E 無數量限制	
系統容錯	A、B、C、D、E 各自獨立運作	

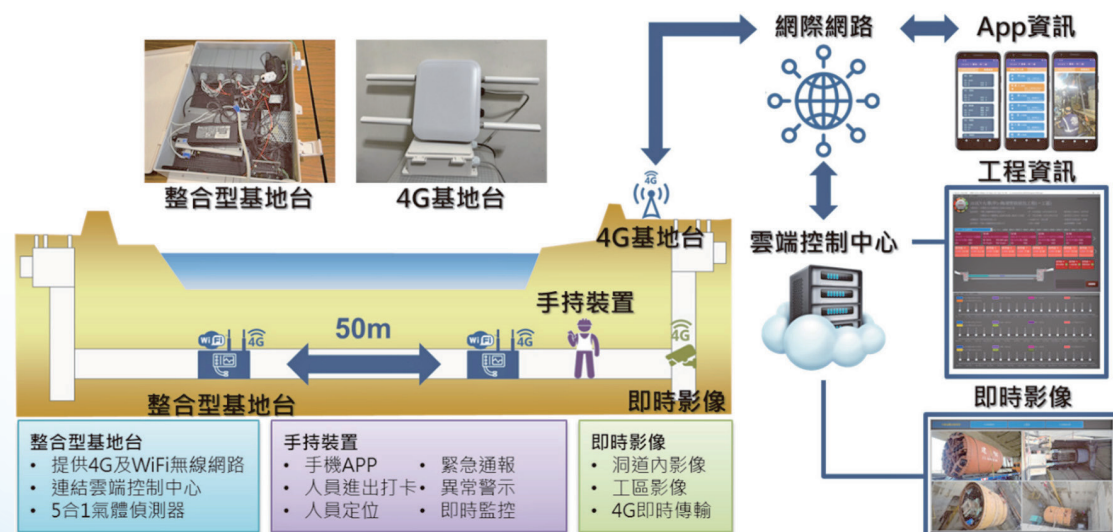


圖 4 系統架構圖

2. 4G/5G 網路轉換器

負責將地面 4G/5G 網路訊號轉入地下隧道，讓隧道內透過網路訊號，即使隧道最深施工處，也可連上網路，確保施工人員與設備可與地面交換訊息。圖 5 是網路測速圖，整條隧道需通體測試，確保網路訊號均勻覆蓋，確認設備資訊可以即時回傳雲端伺服器。

3. 五合一氣體偵測人員定位器

氣體偵測人員定位器透過網路，傳送資料至雲端伺服器，佈署氣體偵測人員定位器時，只需要提供電力，不需安裝其他線材，可簡化安裝工程。氣體偵測人員定位器必須採主動式氣體交換，以維持氣體偵測精準度，兼具防水潑濺與防塵，以耐受嚴苛施工環境。

當網路斷網時，氣體偵測人員定位器依然可以離線運作，可單機偵測氣體，氣體超標時提

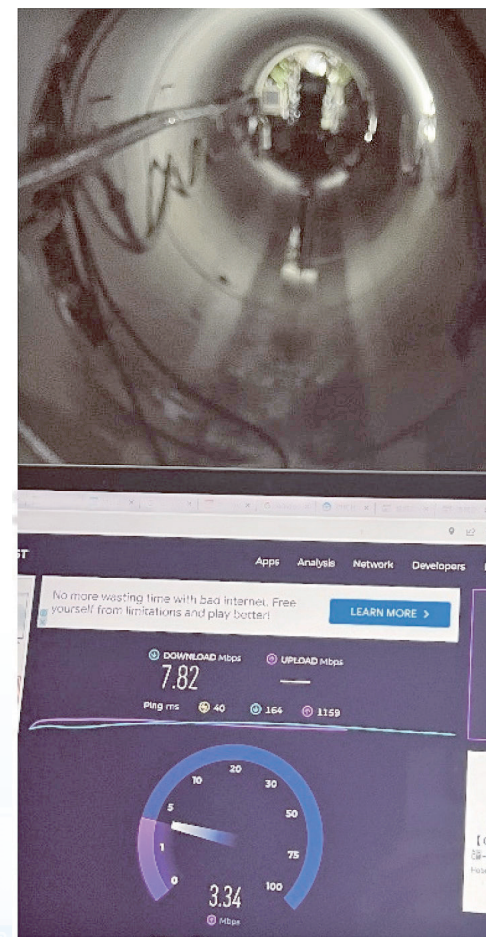


圖 5 隧道網路測速圖

供燈光與聲音警報。聲音警報可於 30 公尺外聽到，以維施工安全。

圖 6 與圖 7 為氣體偵測人員定位器實際安裝圖，可單人施工安裝，同時不影響施工空間與機具進出，圖中左中藍光代表氣體指標正常，施工人員可以藉由燈光顏色檢視氣體指標（紅光是氣體指標異常）。

隧道入口與地面距離 20 多公尺，實測氣體指標異常時，可在地面聽到隧道內氣體偵測人員定位器的警報聲，施工人員進入隧道前，可透過聲音，確認隧道氣體環境。相關氣體警報值設定如表 2 所示。



圖 6 氣體偵測人員定位器



圖 7 五合一氣體偵測人員定位器

表 2 氣體警報值

偵測氣體項目	容許值
O ₂ (氧氣)	18% 以上
CO (一氧化碳)	35 PPM 以下
CO ₂ (二氧化碳)	5,000 PPM 以下
H ₂ S (硫化氫)	10 PPM 以下
其他可燃性氣體	爆炸下限值 30% 以下

4. 工安 APP

施工與管理人員可使用手機 APP 觀看氣體與人員定位資訊，可於遠端即時獲取隧道資訊，如圖 8 所示。

工安 APP 可接收警報，也可發送警報到中控平台。工安 APP 定時將定位資訊回傳雲端伺服器，遠端管理人員可以透過工安 APP 或中控平台，得知施工人員於隧道位置。

圖 9 是工安 APP 發送警報介面，預設警報類型，使用者長按即可發送警報，無需打字，減少發送警報時間與複雜度。

5. 中控平台

隧道氣體與人員定位資訊皆儲存於雲端伺服器，工務所可如圖 10 觀看氣體與人員定位資訊，自動標示人員於隧道位置。中控平台可以多套同時開啟，讓多位管理人同時多地觀看。當超標氣體發生時，或隧道內施工人員長時間沒移動，中控平台可以發出聲音警報與顏色警示，通知管理人員。此外，中控平台可標誌施工進度資訊，視覺化顯示整體工程進度，如圖 11 所示。



圖 8 工安 APP 氣體資訊



圖 9 工安 APP 發送警報

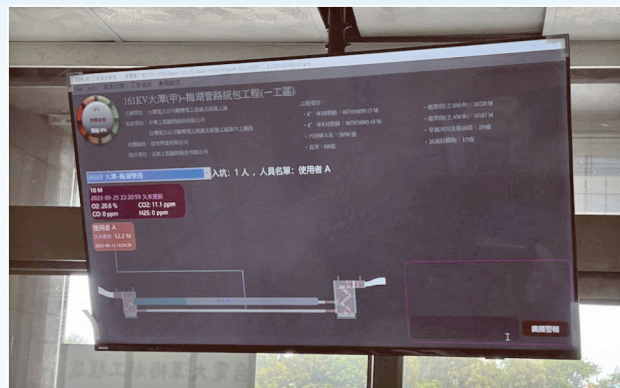


圖 10 工務所之中控平台



圖 11 整體進度管控

五、系統成效

經本工程實際應用後，初步達成以下成效：

1. 遠端警報

透過工安 APP 與中控平台，可以多人多地同時監看隧道氣體與入隧道人員。

工務所人員可以透過中控平台發送警報給遠端工安 APP，中控平台也可接收遠端工安 APP 的警報。

2. 現場警報

氣體偵測人員定位器有燈光與聲音警示，現場人員可藉由燈光與聲音，遠端監看隧道氣體環境。

3. 安裝便利

只需提供電源，就可讓氣體偵測人員定位器運作。可單人安裝佈署，不影響施工機具運作。

4. 智能警示

本系統自動識別氣體指標、人員定位，提供聲音／燈光／畫面警示，免除人力維護。

5. 隧道內通訊

本系統內施工人員可與地面通訊聯絡，確保施工安全。

6. 無數量限制

本系統智能識別，可多隧道於同一中控平台監看，氣體偵測人員定位器數量無上限，可適用各種隧道長度。

本系統自隧道施工起即逐步安裝相關設備，在歷經泥水噴濺、環境溫度及局限空間等種種嚴苛的施工條件下，設備均可持續良好運作，施工完成後亦可成功拆除並投入下個工程使用（如圖 12 所示），充分顯示其設備之耐候性與耐用性。



圖 12 本案例設備卸除後照片

六、結論

本案成功導入智慧化工安監控系統於 161kV 大潭（甲）－梅湖統包工程推管段施工期間，透過即時影像、人員管制、主動警報與氣體偵測等整合功能，有效提升施工現

場之安全防護層級，確保隧道內外通訊順暢與資訊透明。

本系統應用 4G/5G 無線網路與雲端技術，建立完整之網路環境，並整合工安 APP 與中控平台，達到遠端多點即時監控與警示功能，實現高效率且低人力依賴之安全管理模式。

採用之氣體偵測人員定位器具備高頻率監測與聲光警報功能，即便在斷網狀態下亦可持續離線運作，確保突發狀況下仍能即時發出警示，提升施工人員作業期間之防災應變能力。

系統安裝簡便，僅需電源即可運作，且不影響推管設備與作業動線，具備高耐候性與重複使用性，顯示其於地下工程環境下具備實用與經濟價值。

經實際應用驗證，本系統可適用於多隧道及不同長度之地下工程場域，具備良好之擴充性與操作彈性，未來可作為推廣智慧工安管理系統之參考範例。

誌謝

亞新工程顧問股份有限公司受建智營造有限公司委託辦理「161kV 大潭（甲）－梅湖管路統包工程（一工區）」細部設計服務工作，本計畫執行期間承蒙台灣電力股份有限公司輸變電工程處北區施工處及建智營造有限公司之協助，特表謝忱。本文為本工作的成果之一，承蒙台灣電力股份有限公司輸變電工程處北區施工處、建智營造有限公司與亞新工程顧問股份有限公司同意發表，在此一併表達謝意。

參考文獻

- 「161kV 大潭（甲）－梅湖管路統包工程（一工區）」丁類危險性工作場所申請書，建智營造有限公司，民國 111 年 7 月。
- 「161kV 大潭（甲）－梅湖管路統包工程（一工區）」技術專刊，建智營造有限公司，民國 114 年 4 月。