

工程案例回顧與熱門議題報導

環島鐵路電氣化最後一哩路～南迴線鐵路電氣化工程

高贈智¹、黃鳳岡²、劉雲生³、李怡德¹、李民政¹

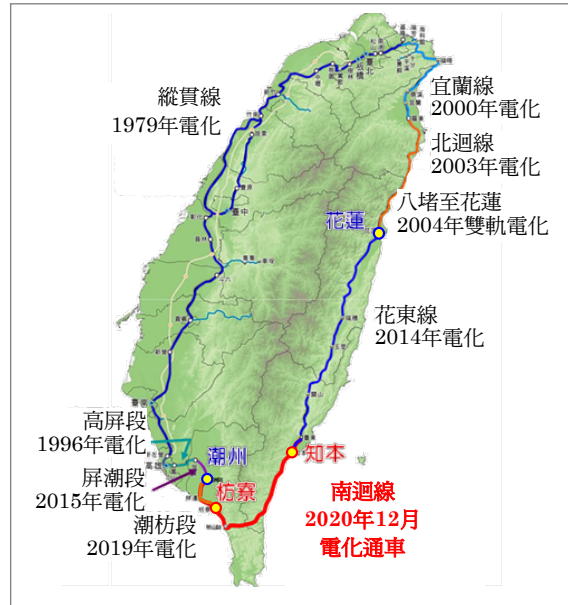
一、計畫緣起及工程範圍

臺鐵鐵路電氣化建設始於1971年10月行政院核定列入國家十大建設，1979年6月完成西部幹線鐵路電氣化工程，率先提供民眾城際間的快捷電化交通。其後，鐵路電氣化推動與時俱進，陸續完成高雄至屏東(1996年)、八堵至羅東(2000年)、羅東至花蓮(2003、2004年)、花蓮至臺東(2014年)、屏東至潮州(2015年)、南迴鐵路潮州至枋寮(2019年)之電化通車。因此，南迴鐵路枋寮至臺東為臺灣環島鐵路電氣網之最後一哩路(詳圖一)。

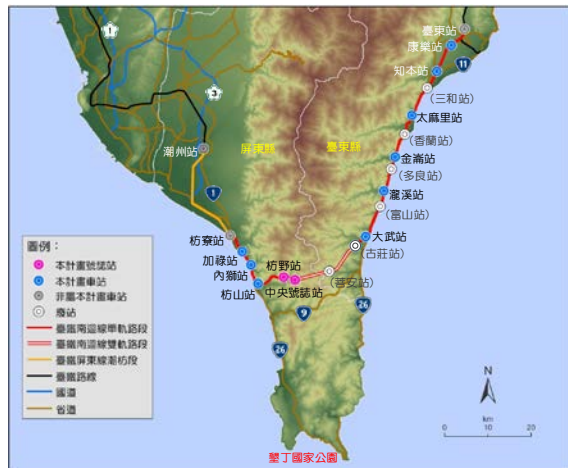
南迴鐵路屬臺灣十二項重大建設工程，於1977年宣布興建，1980年7月成立南迴鐵路工程處正式開工。後為積極推展，於1984年9月納入十四項重要建設續辦。南迴鐵路推行期間，歷經諸多困難，然在全體人員辛勤努力之下，終於1991年12月16日全線通車，1992年10月移交臺灣鐵路管理局正式營運。

而為進一步達成南迴鐵路電化通車之目標，行政院於2013年6月成立「臺鐵南迴鐵路臺東潮州段電氣化工程建設計畫(以下簡稱南迴計畫)」，並交由交通部鐵道局執行。南迴計畫路線總長約123.4公里，包括潮州至枋寮段(長約25.2公里)，及枋寮至臺東段(長約98.2公里，以下簡稱南迴線)，全線預計於2020年12月完成全線電氣化通車，2022年3月全部完工，總經費為新臺幣276.13億元。

本文主要探討之對象為南迴線鐵路電氣化工程(南迴鐵路枋寮至臺東段)，該路段除中央號誌站至古莊站間16.8公里為既有雙軌外，其餘為單軌路段(詳圖二)。而南迴線鐵路電氣化工程之主要工程除進行原線鐵路電氣化外(含車站、平交道及機電設備改善)，亦一併改善提昇沿線橋涵、隧道與邊坡之安全性。



圖一 臺鐵電氣化歷程



圖二 南迴線鐵路電氣化工程路線示意圖

二、橋梁、隧道及邊坡安全檢測、評估與補強

南迴線總長約98.2公里，鐵路依山傍海而行，沿線設置多座隧道及橋梁，包含橋涵170座(總長9.1公里)、隧道42座(總長40.8公里)

¹中興工程顧問股份有限公司 ²交通部鐵道局東部工程處 ³交通部鐵道局南部工程處

及邊坡164處(總長48.3公里)，無論是在工程規模、施工難度、新工法之引用等方面，皆在當時留下多項紀錄。

南迴線鐵路電氣化工程係於原線鐵路沿線進行電氣化工程，考量南迴線自1991年通車至今已逾20餘年，沿線橋梁、隧道、邊坡保護設施多有劣化，故計畫執行之初即先針對沿線既有結構設施進行安全評估並予以分級，並依分級結果規劃補強順序，俾提升營運安全。

依安全評估結果顯示，南迴線多良一號隧道及利嘉溪橋兩路段之結構設施已無法繼續使用，需進行局部改線，其餘路段則可採用加固補強方式滿足鐵路電氣化需求，說明如下。

2.1 橋梁安全評估與補強措施

依橋梁檢測結果顯示，南迴線沿線橋涵設施普遍有混凝土剝落、裂縫、鋼筋外露銹蝕、欄杆損壞及基礎裸露之問題(詳圖三及圖四)，需進行適當之補強以滿足鐵路電氣化需求。

為確保南迴線橋涵功能符合鐵路電氣化需求，茲設定橋涵補強基準如下：1.承載能力以2004年版鐵路橋梁設計規範為基準，使橋涵上部結構能承受KS-18列車載重；2.耐震能力以2006年版鐵路橋梁耐震設計規範為基準，使橋涵結構可承受5級地震；3.耐洪能力以河川計畫治理洪水位為基準，依橋基冲刷深度進行補強，以提升橋梁耐洪及基礎耐冲刷之能力。依據上述基準，並配合目視評估與各項檢測結果，進行南迴線既有橋涵承載能力、耐震能力及耐洪能力分析，並據以擬定維修補強對策工法(詳表一)。

針對沉箱基礎裸露嚴重之利嘉溪橋(詳圖四)，考量補強經費甚鉅，施工風險較高，復以未來該橋存在雙軌化需求，故決議於上游側新建一雙軌橋梁辦理局部改線。

利嘉溪為縣管冲刷型河川，新建橋梁長度約455公尺，跨河段共10跨，採樁基礎。橋型部分，因受兩側堤防堤頂高及鄰近平交道限制，採下路式U型梁。至於軌道型式，則採用較易維管之彈性基扳無道碴軌道。新建利嘉溪橋已於2021年3月25日切換通車(詳圖五)。



圖三 加津林橋橋墩混凝土剝落及鋼筋銹蝕情形



圖四 利嘉溪橋沉箱基礎裸露情形

表一 橋梁維修補強對策工法

橋梁異狀	可選用對策工法
一般性異狀	混凝土剝落、蜂窩、裂縫修復、欄杆更新
承載能力不足	梁構件鋼板/碳纖維貼片補強、箱涵版/牆構件補強
橋墩(台)耐震能力不足	橋墩(台)混凝土/鋼板包覆補強
基礎耐震或耐洪能力不足	拋石保護、擴展基礎加大、沉箱基礎補樁
支承剪力及防落長度不足	增設混凝土/鋼板止震塊/增設防落長度裝置
近海橋涵鹽害	距海岸300m內之橋梁，進行混凝土表面塗料保護



圖五 新建利嘉溪雙軌橋

2.2 隧道安全評估與補強措施

依隧道檢測結果顯示，沿線隧道多有滲漏水、混凝土剝落、裂縫、鋼筋外露銹蝕等之問題(詳圖六)，需進行適當之補強以滿足鐵路電氣化需求。

南迴線隧道補強之目標，係將各隧道安全等級從「須立即／或儘早採取處理對策」之A、B級，提升至「須定期檢視並擇期實施處理對策」之C級以上，另針對可能影響電化營運之區段進行重點補強。

針對隧道安全評估作業，係汲取日本鐵路隧道維護管理作法，並融合國內最新之隧道異狀肇因診斷概念進行之。首先，利用襯砌影像掃描建立全線隧道襯砌表面影像(詳圖七)，再交由隧道工程師進行：1.異狀判釋；2.狀展開圖繪製；3.項安全檢測項目施作位置之規劃。其次，由工程師攜帶異狀展開圖至現場進行目視查核比對，同時進行襯砌剝落判定與各項安全檢測項目(如史密特錘試驗與鑽心抗壓試驗等)，據以進行外力肇因診斷與隧道安全等級評估，並提出隧道監測與維修補強對策工法(詳表二)。

表二 隧道維修補強對策工法

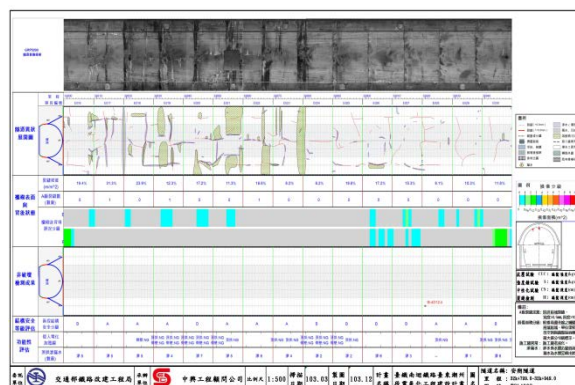
隧道異狀		可選用對策工法
功能	淨空不足	降道及調整線形；改線
	滲漏水	襯砌裂縫灌漿、止水灌漿 導排水措施、電力設備保護板
結構	剝落	局部剝落填補、碳纖維貼片補強
	裂縫	襯砌裂縫補強灌漿、岩栓補強
	其他	回填灌漿、襯砌鋼筋外露處理 底板補強處理

依南迴線隧道之安全評估結果顯示，A、B級區段長約15.4公里(佔約38%)，餘屬C、D級隧道。其中，多良一號隧道圍岩逐年弱化潛變，致使襯砌承受過大岩壓而開裂剪壞，現場已加設鋼支保予以加固補強(詳圖八)。

考量加固後之隧道淨空無法滿足電化需求，經研析後，於海側辦理局部改線工程。改線路線總長約2.7公里，含兩座總長2.2公里之橋梁，及一座152公尺之短隧道。其中橋梁結構採三跨(跨度以33、35公尺為主)連續梁以降低梁深，避免開挖山壁，另採用井式基礎竹削工法以避免大規模開挖。多良改線段已於2020年5月28日切換通車(詳圖九)。



圖六 金崙隧道內滲漏水情形



圖七 安朔隧道襯砌異狀判釋評估成果展開圖



圖八 多良一號隧道鋼肋補強及淨空不足情形



圖九 多良改線段切換通車情形

2.3 邊坡安全評估與補強措施

依邊坡檢測結果顯示，南迴線部分邊坡及隧道洞口有蝕溝土砂入侵軌道疑慮(詳圖十)，擋土設施則有擋土牆開裂、鋼筋外露銹蝕等問題，而地錨邊坡亦有地錨設施損害及預力損失情況(詳圖十一)，需進行適當之補強以滿足鐵路電氣化需求。

南迴線邊坡補強之目標，係將邊坡安全等級從「有不穩定徵兆，需加強監測及巡查並進行穩定狀態評估及採取必要之修復或補強措施」之A、B級邊坡，提升至「須定期巡查或視需要進行監測或修復措施」之C級以上，俾確保邊坡穩定性。

經檢視南迴線原164處邊坡中，有47處屬地錨邊坡，現場計設置7,403支地錨。安全評估階段，針對736支地錨進行鑿開檢視(含內視鏡檢視、保護座復舊及防蝕處理)，並挑選570支地錨進行揚起試驗，相關檢測及試驗結果繪製於地錨展開圖(詳圖十二)，並據此進行各地錨邊坡之評級作業。

依據目視檢測評估與各項非破壞性檢測結果顯示，A、B級邊坡共64處，佔約39%，餘屬C、D級邊坡。

本計畫依上述評估結果擬定維修補強對策工法(詳表三)，其中A、B級邊坡之加固補強方式包括增設地錨、土釘、格梁護坡、防坍架、擋土牆及裂縫修補等，C、D級邊坡則進行增設攔石柵、防坍架、擋土牆及裂縫修補等重點補強，俾提昇營運安全。其中，富山邊坡補強後之情形請參閱圖十三。

表三 邊坡維修補強對策工法

邊坡異狀	可選用對策工法
隧道洞口落石	攔石柵、防坍架
土砂入侵鐵軌	攔石柵、防坍架
地錨護坡劣化	增設地錨、地錨防蝕處理、RC面/裂縫修補、孔洞回填夯實
蝕溝土石入侵	排水設施、導流設施
枋山溪沖刷	基樁式擋土牆
邊坡其他異狀	擋土牆、地錨、岩栓、土釘、格梁護坡、橫向排水管



圖十 大武二號隧道北口蝕溝保護設施



(a) 錨頭掉落

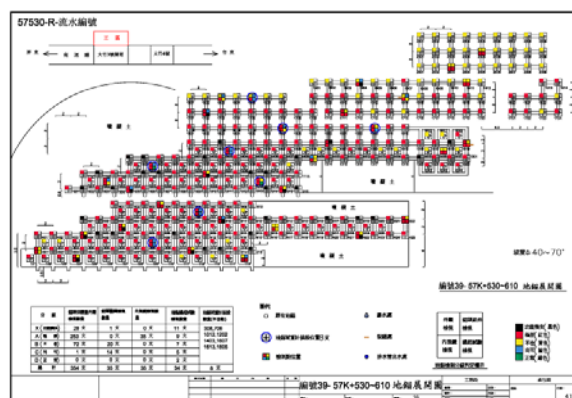
(b) 錨頭鏽蝕



(c) 錨頭掉落

(d) 地錨邊坡外凸變形

圖十一 南迴線地錨邊坡異狀



圖十二 南迴線K57+530~610邊坡地錨展開圖



圖十三 富山邊坡補強後情形

三、南迴線主線標工程分標及執行內容

針對南迴線主線標工程之分標方式，考量南迴線自枋寮站至臺東站長達98.2公里，幅員遼闊，故基於工程特性、區域性、工程規模、工程界面整合等因素，茲以金崙站及菩安站為介，將主線標工程(含一般機電)分成三標執行(詳圖十四)，主要工程內容詳表四，其他相關重要資訊詳表五。



圖十四 南迴線鐵路電氣化工程主線標分標圖

表四 南迴線鐵路電氣化工程主線標主要工程內容

標名	C711標枋寮(不含)~菩安	C712A標菩安~金崙	C712B標金崙~臺東(不含)
項目	枋寮	菩安	金崙
軌道工程	◆ 隧道降道 枋山站新增副軌	◆ 隧道降道 多良改線段無道碴軌道 瀨溪站調整副軌	◆ 隧道降道 利嘉溪橋無道碴軌道 康樂站調整副軌
隧道工程	◆ 襯砌補強、導排水	◆ 襯砌補強、導排水	◆ 襯砌補強、導排水
邊坡工程	◆ 增設地錨(第一階地錨) 排水管、防坍架、岩栓格梁護坡、鑽石柵、基樁式擋土牆等	◆ 增設地錨(第一階地錨) 排水管、防坍架、岩栓格梁護坡、鑽石柵等	◆ 增設地錨、排水管 防坍架岩栓格梁護坡 鑽石柵等
橋梁工程	◆ 增設防落設施 上、下部結構及基礎改善 保護塗漆	◆ 增設防落設施 上、下部結構及基礎改善 保護塗漆	◆ 增設防落設施 上、下部結構及基礎改善 保護塗漆
建築工程	◆ 月台改(新)建 雨棚新建及改建 月台端木斜坡設施改善 ◆ 枋寮電力分駐所新建 ◆ 系統機電機房新建	◆ 月台改建 雨棚新建及改建 月台端木斜坡設施改善 ◆ 大武電力分駐所新建 ◆ 系統機電機房新建	◆ 月台改建 雨棚新建及改建 月台端木斜坡設施改善 ◆ 系統機電機房新建
其他工程	◆ 附屬一般機電工程 ◆ 站房及月台電梯 ◆ 系統機電配合工程	◆ 多良路段局部改線工程 ◆ 附屬一般機電工程 ◆ 站房及月台電梯 ◆ 系統機電配合工程	◆ 新建利嘉溪橋工程 ◆ 附屬一般機電工程 ◆ 站房及月台電梯 ◆ 系統機電配合工程

表五 主線標相關重要資訊

	C711標	C712A標	C712B標
決標金額	24.10億	51.57億	17.39億
開工日期	2017.8.21	2017.5.16	2018.1.26
執行單位	鐵道局 南工處	鐵道局 東工處	鐵道局 東工處
設計單位	中興工程 顧問公司	中興工程 顧問公司	中興工程 顧問公司
監造單位	美商同棧 顧問公司	美商同棧 顧問公司	美商同棧 顧問公司
承攬廠商	利德工程	根基營造	榮金營造

四、如期如質電化通車

南迴線鐵路電氣化工程為國內首次於既有營運路線上進行大規模橋梁、隧道、邊坡加固補強之工程，加以路線超過80%為單軌路段，更大幅提升了工程之困難度。為順利達成任務，本工程採取下列因應作為：

1. 鄰軌作業，夜間施工：為確保鐵路營運需求及安全，針對隧道補強、隧道降道、第一階邊坡補強等鄰軌作業，限定於夜間封鎖時段施工。

2. 減班接駁，增加工時：積極與臺鐵局及地方政府協商，召開多場民眾說明會，減少施工期間之南迴線夜間列車班次，並提供公路替運接駁，增加夜間工作時間。

3. 鐵路運輸，減少衝擊：鐵道局特增購工程維修車，並增派人員參加司機員及指揮員訓練，協助載運廠商施工所需機具及材料，並利用南迴線各車站作為夜間施工作業之人、機、料集散場地，上述作為可減少施工道路之開關，大幅減輕環境衝擊。

南迴線鐵路電氣化工程自開工以來，施工進度超前，無重大工安意外發生。在各單位的努力之下，於2020年12月20日假臺東車站舉行南迴鐵路電氣化通車典禮(圖十五)，完成環島鐵路電氣化最後一哩路，此有助於未來建構全島一日生活圈願景，擴大公共運輸服務，為臺灣鐵路工程建立一個新的里程碑。



圖十五 南迴線鐵路電氣化工程通車典禮