

出國報告（出國類別：考察）

鐵路電力供應系統技術、 測試程序及標準

服務機關：交通部鐵路改建工程局

姓名職稱：電力總隊隊長 朱先鑑





東工處電力課課長 徐信鼎

派赴國家：日本

出國期間：104年10月26日至104年11月2日

報告日期：105年01月

出國報告審核表

出國報告名稱：鐵路電力供應系統技術、測試程序及標準			
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位	
徐信鼎	課長	交通部鐵路改建工程局東部工程處	
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：104年10月26日至104年11月02日		報告繳交日期：105年01月25日	
出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審 核 項 目	
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」) 3.無抄襲相關資料 4.內容充實完備 5.建議具參考價值 6.送本機關參考或研辦 7.送上級機關參考 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> (4) 抄襲相關資料之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> (5) 引用相關資料未註明資料來源 <input type="checkbox"/> (6) 電子檔案未依格式辦理 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> (1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> (2) 於本機關業務會報提出報告 <input checked="" type="checkbox"/> (3) 登錄公務出國報告資訊網提供公開閱覽。 10.其他處理意見及方式：	
出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)	計畫主辦機關 審核人	一級單位主管簽章	機關首長或其授權人員簽章
			

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「[公務出國報告資訊網](#)」為原則。

行政院及所屬各機關公務出國報告提要

頁數:32 頁 含附件: 是 否

報告名稱：鐵路電力系統之相關技術、測試程序及標準

主辦機關：交通部鐵路改建工程局東部工程處

聯絡人/電話：徐信鼎/03-9389115#216

出國人員/服務機關/單位/職稱/電話：

朱先鑑/鐵路改建工程局/電力總隊隊長/02-86488224

徐信鼎/鐵路改建工程局/東部工程處電力課課長/03-9389115#216

出國類別：考察

出國期間：104 年 10 月 26 日至 104 年 11 月 02 日

出國地區：日本

報告日期：105 年 01 月 25 日

分類號目：H1/交通建設

關鍵字：電力監控及資料收集系統 SCADA(Supervisory Control and Data

Acquisition System)、電車線系統 OCS (Overhead Contact System)、

櫃式氣體絕緣金屬封閉開關設備 C-GIS(Cubicle-type Gas Insulated

Switchgear)、固態絕緣開關 SIS(Solid Insulated Switchgear)、

氣體絕緣開關 GIS(Gas Insulated Switchgears)、

變壓器 Tr(Transformer)、真空斷路器 VCB(Vacuum Circuit Breaker)、

保護電驛(Relay)等設備。

內容摘要

軌道運輸在世界各國皆屬重要的交通運輸系統，軌道運輸具有高效能載運效率、舒適安全可靠度高之載具，其中電氣化設備，更能減少噪音及環境汙染、提高運轉效能等優點，電車線系統為電化設備重要之系統，其功能為提供電車車輛電力的一套電力供應系統，此系統主要包含變電站、電車線系統、監控及資料收集系統(以下簡稱 SCADA 系統)。其功能為提供電力列車所需之電力，其中變電站類似人體的心臟，主要功能則是提供電力，電車線系統猶如佈滿人體之血管，主要為傳輸鐵路沿線之饋電設備，SCADA 系統類似人體大腦及神經，監視及控制整體電力之調度。

日本在鐵路交通運輸方面已有相當的規模，單就東京都就有將近二十條路線，其中電力可分為高速鐵路使用之高壓交流 AC 系統，及捷運地鐵使用之低壓直流 DC 系統。本次考察，拜訪了日本主要鐵路電力供應商，希望了解（一）變電站系統電驛設備之保護協調、（二）變電站系統 2 次側隔離開關設備、（三）電車線設備之升級（四）電車線系統提速（五）更新電車線系統規範。本次考察日本鐵路電力供應商不同專業，藉由各項先進之技術，提高國內電力系統安全及品質。

關鍵字：電力監控及資料收集系統 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition System)、電車線系統 OCS (Overhead Contact System) 、櫃式氣體絕緣金屬封閉開關設備 C-GIS(Cubicle-type Gas Insulated Switchgear) 、固態絕緣開關 SIS(Solid Insulated Switchgear) 、氣體絕緣開關 GIS(Gas Insulated Switchgears) 、變壓器 Tr(Transformer) 、真空斷路器 VCB(Vacuum Circuit Breaker) 、保護電驛(Relay)等設備。

目 錄

壹、出國考察依據及目的	1
一、出國依據	1
二、考察目的	1
貳、考察行程	2
參、參訪內容	3
一、JR 西日本旅客鐵道株式會社	3
(一)公司簡介	3
(二)日本鐵路電車線系統簡介	4
二、TOSHIBA 東芝株式會社	12
(一)公司簡介	12
(二)臺鐵整體供電網路架構	12
(三)25kV 開關之差異性	14
(四)自動換相設備	23
三、Sumitomo 住友電氣工業株式會社	25
(一)公司簡介	25
肆、考察心得與建議	29
一、考察心得	29
(一)電車線系統更新之困難性	29
二、建議事項	30
(一) 主吊線與接觸線獨立自動張力裝置	30
(二) 電車線自動換相裝置	30
(三) 變電站設備	30
(四) 電車線系統規範之更新	30
伍、參考資料	31

表目錄

表 2.1	考察行程	2
表 1	開關主要規格特性	15
表 2	SIS 饋線盤 設備內容	21
表 3	SIS 詳細規格表	22
表 3.1	接觸線規格表	27

圖目錄

圖 1.1 JR 西日本旅客鐵道株式會社各電氣化系統路線圖(JR 西日本資料)	3
圖 1.2 參訪 JR 西日本公司合影	4
圖 1.3 直流與交流饋電系統(JR 西日本資料)	5
圖 1.4 交流饋電系統可分為直接饋電、AT 與 BT 系統(JR 西日本資料)	6
圖 1.5 新幹線電車線架線形式(JR 西日本資料)	6
圖 1.6 JR 西日本公司員工現場引導參訪	7
圖 1.7 日本大阪車站直流導電軌系統	8
圖 1.8 一般重錘式自動平衡裝置	8
圖 1.9 油壓套管型自動張力裝置	9
圖 1.10 油壓套管型自動裝力裝置	9
圖 1.11 吊掛線股輪顏色來區分群或特別標示	10
圖 1.12 電力調配室(JR 西日本資料)	11
圖 2.1 TOSHIBA 東芝株式會社合影	12
圖 2.2 臺鐵變電站電力系統單線圖	13
圖 2.3 臺鐵變電站 25kV 開關室配置圖	14
圖 2.4 參訪 TOSHIBA 東芝株式會社開關設備部門	15
圖 2.5 真空消弧室剖面圖(資料來源 TOSHIBA)	16
圖 2.6 電流截斷與異常電壓波形圖(資料來源 TOSHIBA)	17
圖 2.7 電極型式(資料來源 TOSHIBA)	17
圖 2.8 斷路器絕緣材質比較(資料來源 TOSHIBA)	18
圖 2.9 C-GIS 斷路器外型構造圖(資料來源 TOSHIBA)	19
圖 2.11 SIS 各設備元件配置現況	21
圖 2.12 高速自動換相電車線系統示意圖	23
圖 2.13 直流集中式電驛使用說明	24
圖 2.14 柴油及電力混合	24

圖 3.1 三陽新幹線與台灣高鐵列車及其電車線接觸線	25
圖 3.2 住友電工接觸線生產流程示意圖	26
圖 3.3 與住友電工導電製品部技術人員合影	26
圖 3.4 日本高鐵使用之特殊新式接觸線斷面圖	27
圖 3.5 Yellow Car(鐵路檢測車)	28
圖 3.6 與 JR 西鐵和住友電工人員大合影	28

壹、出國考察依據及目的

一、出國依據

依據行政院 103 年 7 月 14 日院臺交字第 1030030576 號函及交通部 103 年 7 月 16 日交人字第 1030022388 號函核定出國計畫案。

二、考察目的

電力系統對鐵路運輸負有相當重要之使命，可提高運轉效率、減少噪音及環境汙染等優點，本局目前辦理南迴鐵路電氣化工程，因單軌隧道斷面狹小，不符電化淨空標準，一般懸吊式電車線系統因系統高度及張力設備裝設空間問題無法使用，可使用無張力需求及裝設空間較小的導電軌系統。日本於隧道內及地下車站亦廣泛採用該設備，可藉此考察提升國內導電軌技術及經驗。

變電站設備猶如電力系統之心臟，提供電力車輛所需的能量，變電站設備大略可分為高壓氣體絕緣開關設備 GIS(Gas Insulated Switchgears)，變壓器 Tr(Transformer)，低壓設備之主要設備為真空斷路器 VCB(Vacuum Circuit Breaker)，保護電驛(Relay)等設備，鐵路變電設備沿用舊有規範多年，日本於高壓 GIS 設備方面已有技術可降低絕緣氣體壓力，可方便施工運送及後續保養，並可延長設備壽年。低壓真空斷路器部分也已改用櫃式氣體絕緣金屬封閉開關設備 C-GIS(Cubicle-type Gas Insurated Switchgear)或固態絕緣開關 SIS (Solid Insulated Switchgear)，該設備體積小可以減少使用空間，維護保養容易，於日本已有多年使用實績。

電車線設備方面，日本採用線徑較大之主吊線及接觸線，有利提升系統安全及可靠度，亦可增加饋電容量提升行車密度，另其張力設備採油壓獨立型自動張力調整設備，該設備安裝簡易，易於維修，主吊線和接觸線斷線制止裝置分別獨立安裝，遇有斷線事故時可減少事故意外範圍，減少搶修時間等優點，其張力也較臺鐵系統張力高，可提升接觸線穩定度，提高列車速度。本次考察就上述參訪重點與日本廠商進行經驗分享及觀念交流，期藉由日本新技術提升國內電車線系統及設備。

貳、考察行程

表 2.1 考察行程

時間	起訖地點	參觀項目	拜訪單位
104/10/26	桃園-東京	參訪地區資料研讀	
104/10/27	東京	鐵路變電站 1. 25kV 單相真空斷路器構造及原理 2. GIS 設備	東芝電工株式會社 府中工廠 TOSHIBA CORPORATION
104/10/28	東京	參訪 TOSHIBA 總公司及 TOSHIBA 博物館。	東芝電工株式會社 TOSHIBA CORPORATION
104/10/29	東京-大阪	「JR 東日本」各階段鐵道車輛之沿革。 1. 各階段電車其集電弓之型式與電車電流與電車線輸電線之影響。 2. 集電弓碳刷型式與接觸線磨耗率之了解 搭乘 JR 高鐵從東京前往大阪	東京鐵道博物館 東京埼玉市大成地區。
104/10/30	大阪	1. 會同住友拜訪 JR 瞭解電車線導線系統對電車設備匹配及使用現況。 2. 參觀車站電車線系統 3. 參觀住友商社大阪電線、電纜工廠生產現況 4. 由製造商介紹接觸線採用各種材質適用電車種類 5. 介紹電車線電線生產產品管流程	西日本旅客鐵道株式會社(JR 西日本) 住友電工株式會社 工廠
104/10/31	大阪	參觀大阪地鐵車站及附屬機電設備	大阪地鐵
104/11/1	大阪	彙整參訪資料及討論出國報告內容	
104/11/2	大阪-桃園	賦歸	

叁、參訪內容

一、JR 西日本旅客鐵道株式會社

(一)公司簡介

日本國鐵在 1987 年民營化，分割為 6 家旅客運輸公司及貨運運輸公司，分別為 JR 西日本、JR 北海道、JR 東日本、JR 東海、JR 四國、JR 九州、JR 貨物及 JR 總公司，本次參訪之 JR 西日本旅客鐵道株式會社是負責經營西日本地區的旅客運輸公司，JR 公司總營業里程約計 20,000km，總員工人數約 120,000 人，JR 西日本營業里程約計 5,016km，員工人數約 26,900 人。

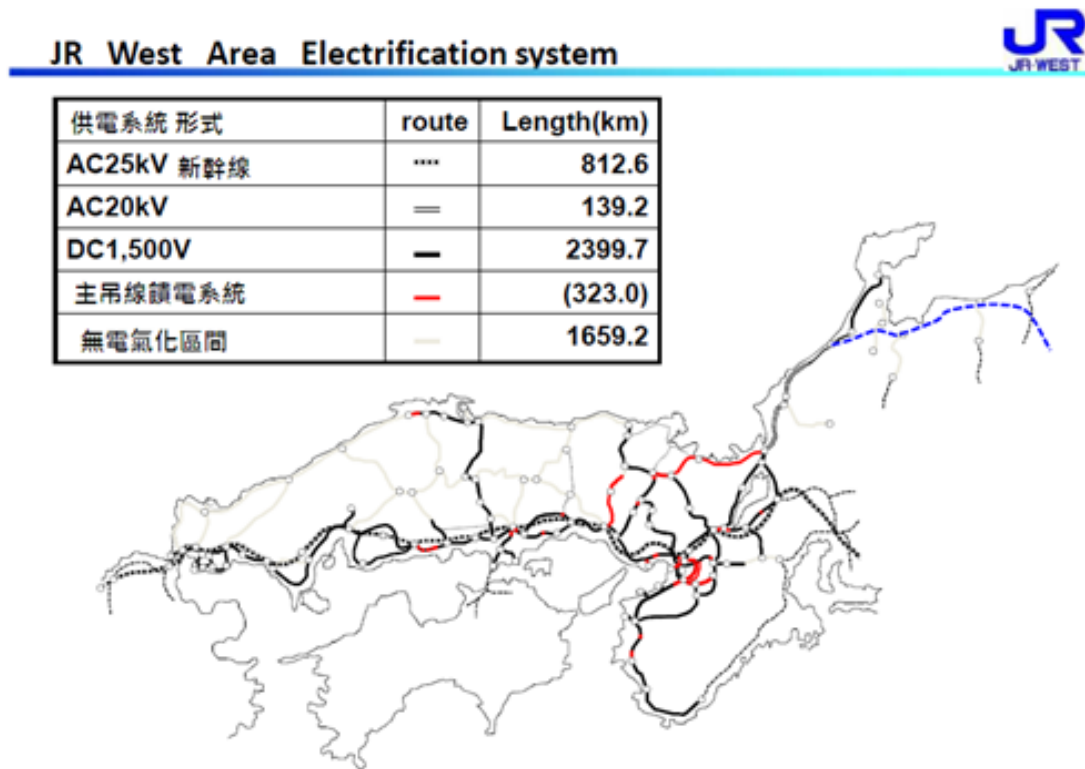


圖 1.1 JR 西日本旅客鐵道株式會社各電氣化系統路線圖(JR 西日本資料)

本次參訪 JR 西日本旅客鐵道株式會社，由鐵道部及電氣部暨新幹線課湯淺素弘課長代理，與鐵道部及電氣部電力課(電車線)福光俊祐課長代理，2 位課長代理分別為新幹線與一般電車線的第一線專家，經由 2 位課長代理詳細簡報該公司電車線系統，並詳細介紹該公司各系統與心得，並實際至現場介紹各系統設備，更能深入了解各系統。



圖 1.2 參訪 JR 西日本公司合影

(二)日本鐵路電車線系統簡介

1. 電車線電氣化概要

電車線電力系統其主要目的為提供電力列車所需的電力，因為一般高壓電力為 3 相 60Hz 電源，平衡電力進而提高電力系統穩定度，經由鐵路電車線變電站，變成直流或單相交流，並將電力分別投入中性區間南北 2 端之架空電車線，電力列車經由集電弓牽引電力，由列車馬達產生動能。變電站除將電力轉換外，也具有保護電車線於短路時可迅速隔離事故之功能，其他附屬設備將於後續章節說明。

2. 電車線饋電系統

(1)直流與交流饋電系統比較

電車線可分為傳統電車線及高速新幹線 2 種，傳統鐵路電車線電壓為直流 (DC)1.5kV 或交流(AC)20kV，新幹線為交流 AC25kV。直流饋電優點為直流馬達特性容易控制速度，適合軌道列車使用。因為直流電可直接供應列車使用，不需加裝變頻設備，所以列車成本較低，可提供較多載客空間，列車也較輕，起步較快速，適合於高密度營運路線區段，如都會區內(地下鐵)，但其地面配件設備成本

較高。相反的，交流系統之優點為容易變換電壓，可以使用高壓傳輸，減少線路傳輸損失及傳輸線路建設成本，因為採用高壓傳輸供應大規模的電力，可擴大變電站間距，減少變電站建設數量，進而減少地面建設成本，惟因使用交流電，車輛需裝設變頻設備，故列車成本較高，車輛較重，載客密度較低，適合城市間運輸，如(地方幹線)新幹線。



圖 1.3 直流與交流饋電系統(JR 西日本資料)

(2)交流饋電系統直接饋電、AT 與 BT 系統

交流饋電系統可分為直接饋電、AT(Auto Transformer)與 BT(Boot Transformer)系統，如圖 1.4 交流饋電系統可分為直接饋電、AT 與 BT 系統所示。現階段臺鐵局系統全線電氣化路線均為直接饋電系統，其優點為電車線系統造價便宜，設備簡單容易維修保養。缺點為其饋電回流系統，因經由鋼軌回流至變電站，因為無任何輔助變壓器，容易產生雜散電流，若遇到短路電流過大時會產生過多的雜散電流，進而影響軌道周邊通訊系統、號誌系統、有可能造成人員傷亡。故該系統雖造價便宜，相對需增加通訊系統、號誌系統電纜干擾防護成本，且鄰近金屬物均須接地，以防止人員感電。

Direct Feeding

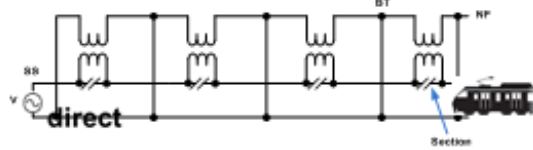


With BT and NF

[Notes]

BT: Booster Transformer

NF: Negative Feeder



AT Feeding System

[Notes]

AT: Auto Transformer

PW: Protective Wire

CPW: Connector to PW

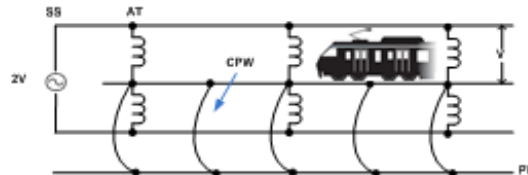


圖 1.4 交流饋電系統可分為直接饋電、AT 與 BT 系統(JR 西日本資料)

AT 與 BT 系統之主要特點為兩變電站間加設輔助變壓器，該變壓器可將變電站饋電與回流電流一比一傳回變電站，其優點為減少雜散電流，電流只局部區段流經鋼軌，對周遭通訊系統、號誌系統減少相對干擾，也提升整體系統安全度、可靠度及穩定度。另外變電站間因裝設 AT 或 BT 系統，藉由偵測輔助變壓器之故障電流，可精準確認事故位置，迅速派員處理事故，減少查修時間。其缺點為需於變電站間加裝 AT 或 BT 系統，增加建設成本。

3. 電車線系統分類

新幹線の架線構成		
	複合懸垂式	高速單純懸垂式
構成	<p>電車線系統高</p> <p>吊掛線 吊架線 補助吊架線 接觸線</p> <p>吊架線 St180mm² 2.5t 補助吊架線 PH150mm² 1.5t 接觸線 GTSNW-MF170mm² 2.0t</p> <p>架線張力 6.0t 架高 1,500mm</p>	<p>吊掛線 吊架線 接觸線</p> <p>吊架線 PH150mm² 2.0t 接觸線 PHC 110mm² 2.0t</p> <p>架線張力 4.0t 架高 950mm</p>
線区	山陽新幹線	北陸新幹線
速度	300km/hr	260km/hr

圖 1.5 新幹線電車線架線形式(JR 西日本資料)

(1)複合懸垂式與高速單純懸垂式

電車線系統主要利用自動張力裝置提供一穩定張力，不受溫度冷縮熱脹影響，常時保持接觸線與軌道間之高度，使列車集電弓於列車高速行駛下，依然可以得到穩定電源。複合懸垂式與高速單純懸垂式如圖 1.5 所示，差別在於複合懸垂式系統，多了一條輔助吊掛線，其功能為減少接觸線弛度，減少列車高速行駛時發生離線狀況，以提升電車線電力品質。複合懸垂式與臺灣高鐵系統相同，高速單純懸垂式與臺鐵系統相同。

(2)剛體電車線(導電軌系統)



圖 1.6 JR 西日本公司員工現場引導參訪

現場 JR 西日本公司員工手掛臂章如圖 1.6 所示，帶領我們進入地下車站實際參訪營運中路線，該路線使用 DC 直流電剛體電車線系統(也稱為導電軌系統)。導電軌系統特色利用固定棒嵌入接觸線，毋需裝設主吊線，系統無張力，故安裝設備所需空間小，進而節省土建建設成本，適合高密度人口都會區或淨空較小之隧道使用，臺灣鐵路北迴線單軌隧道及花東線舊自強隧道，因為隧道淨空較小，亦使用該系統。圖 1.7 為日本大阪車站直流導電軌系統，因該系統採用 1.5kV 直流電壓傳輸，比臺鐵系統 25kV 交流電壓低，故其礙子尺寸較小。



圖 1.7 日本大阪車站直流導電軌系統

4. 電車線自動張力裝置

自動張力平衡裝置為電車線重要設備之一，其主要功能為克服接觸線的弛度在不同溫度下均能使其與鋼軌保持一定高度，可避免集電弓接觸時產生離線火花，讓列車得到穩定電力品質。電車線於張力區間中端固定主吊線，並於每張力終端都裝設自動張力平衡裝置。圖 1.5 為重錘式自動張力裝置之滑輪組，以滑輪負重之原理產生恆定張力，JR 西日本公司將原採用鋼索改採鍊條，可免塗油保養，減少維護人力。



圖 1.8 一般重錘式自動平衡裝置

圖 1.9 為油壓套管型自動平衡裝置，其主要原理係採用油壓式來提供恆定張力，其特色型式簡易，易於安裝及維修保養，也可減少搶修時間，另因無平衡重錘懸垂於電桿邊，可避免斷線重錘墜落時，造成臨近設備損壞，及避免危害維護人員安全。圖 1.10 也是油壓套管型自動平衡裝置，主要的區別為將主吊線及接觸線獨立安裝，於發生斷線時，可獨立搶修主吊或接觸線，減少搶修時間。



圖 1.9 油壓套管型自動張力裝置



圖 1.10 油壓套管型自動裝力裝置

5. 吊掛線設備

吊掛線吊掛於主吊線與接觸線間，其主要作用為減少接觸線之弛度，增加接觸線之平順度，吊掛線下方之鼓輪一般為黑色，使用於主吊線與吊掛線間，其功能為減少吊掛線與接觸線摩擦，另外也避免主吊線與接觸線產生電位差，進而於列車集電弓通過上舉時，吊掛線與主吊線分開時產生火花，長時產生火花及摩擦將造成主吊線斷線，為解決斷線問題，故採用吊掛線鼓輪避免產生摩擦及電位差現象。

在本次參訪中發現日本電車線系統利用不同顏色吊掛線鼓輪來區分電車線分群，或特別標註重要區段，如圖 1.11 所示，是個不錯的用途，值得學習。

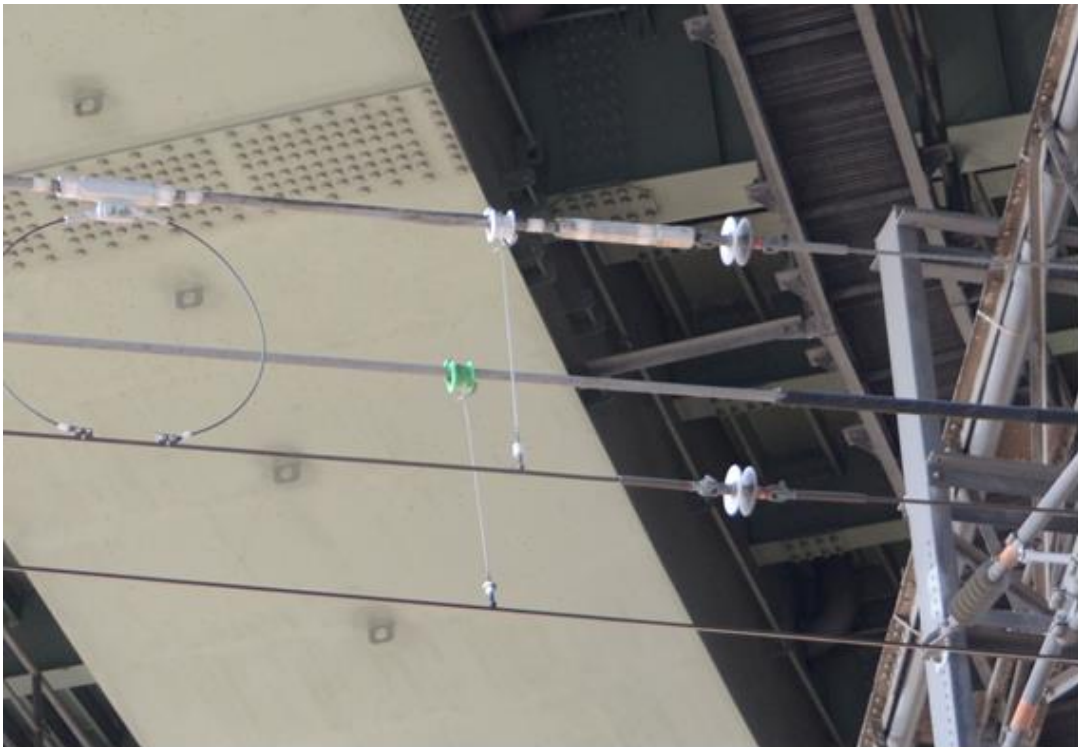


圖 1.11 以吊掛線鼓輪顏色區分分群或特別標示

6. 電力調配室

電車線系統變電站均為無人變電站，利用 SCADA 系統可於遠端集中監視及遙控各個變電站，如圖 1.12 所示電力調配室模擬盤採大型液晶顯示易於辨識系統狀態，各變電站可藉由桌上型電腦來操作及監視各變電站。

臺鐵局現階段模擬盤係採用馬賽克模擬盤方式辦理，馬賽克模擬盤的缺點為修改不易，修改費用高，需使用較大空間裝設設備，擴充不易，維修繁瑣等。若採用大型液晶顯示系統即可改善上述問題。



圖 1.12 日本電力調配室(JR 西日本資料)



圖 1.13 臺鐵局電力調配室

二、TOSHIBA 東芝株式會社

(一)公司簡介

TOSHIBA 東芝株式會社是大家耳熟能詳的大型企業，生產的產品相當多，有遍及全世界的白色家電，如冰箱、電視、洗衣機，三 C 產業中硬碟、電腦、筆記型電腦等，產業觸及我們生活周遭。在鐵路電力供應部分，則專精於變電站及 SCADA 系統，工程實績相當豐富，產品更是遍佈全球。本次參訪該公司汲取其鐵路變電站及 SCADA 系統方面之專長與經驗。



圖 2.1 TOSHIBA 東芝株式會社合影

(二)臺鐵整體供電網路架構

1. 臺鐵環島電氣化

臺鐵變電站約 40 公里設置 1 座變電站，現階段共計 24 座變電站，後續南迴線電氣化將完成大武及內獅變電站，完成後將完整串聯環島電氣化鐵路網。變電站饋電分界點兩側需分為 M 相及 T 相，M 相及 T 相間裝設區分絕緣器分隔，此區間稱為中性區間，以避免開關作業失當致電力機車集電弓(Pantograph)滑行通過時，導致 M 相、T 相兩相接合。避免不同相位間短路應注意下列事項：

- (1)不得使同一變電站之 M 相及 T 相相連接。
- (2)不得使不同變電站之異相相連接。
- (3)不得使集電弓有將兩供電區間相連接之機會。(即應以完整之電車線群(分區間)或中性區間等作為電車線之隔離。)

2. 鐵路變電站

臺鐵變電站可以跨越分界點轉供至下一區間，以為電力系統調度，須注意各變電站相序一致性問題。為考量本工程變電站併入整體供電網路之相序一致性，應以負相序引接至 Le Blanc 25MVA 變壓器一次側再降壓為單相 M 相與 T 相，T 相相位角應領先 M 相 90 度，M 相與 R(H1)電源為同相，其系統單線圖如圖 2.2 所示。

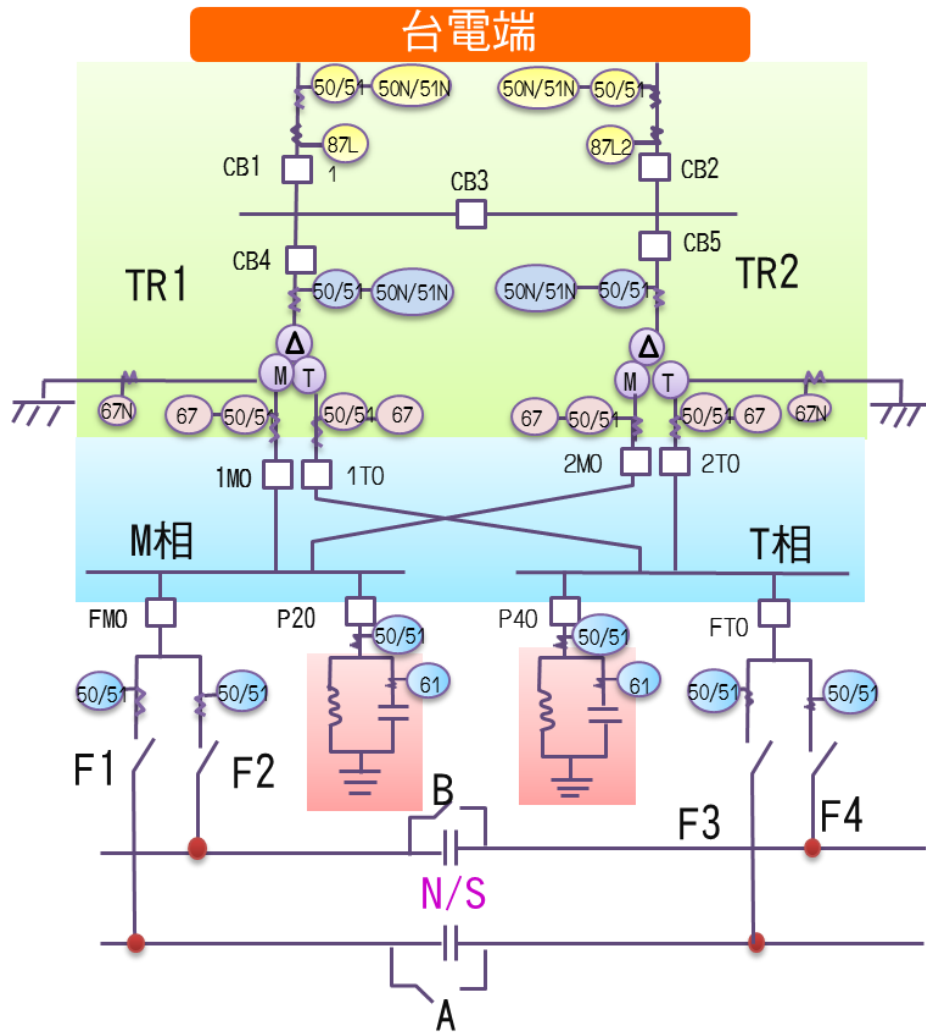


圖 2.2 臺鐵變電站電力系統單線圖

3. 鐵路變電站 25kV 斷路器技術

目前臺鐵變電站變壓器二次側係採單相 25kV VCB(真空斷路器)技術，作為啟斷設備故障及調度使用，但缺點係體積較大及裝設於裝甲型開關箱內，易受外界粉塵及環境汙染，須依臺鐵局維護保養週期定期實施保養維護，增加維運費用，目前既設花東變電站 25kV 開關室配置如圖 2.3 所示。

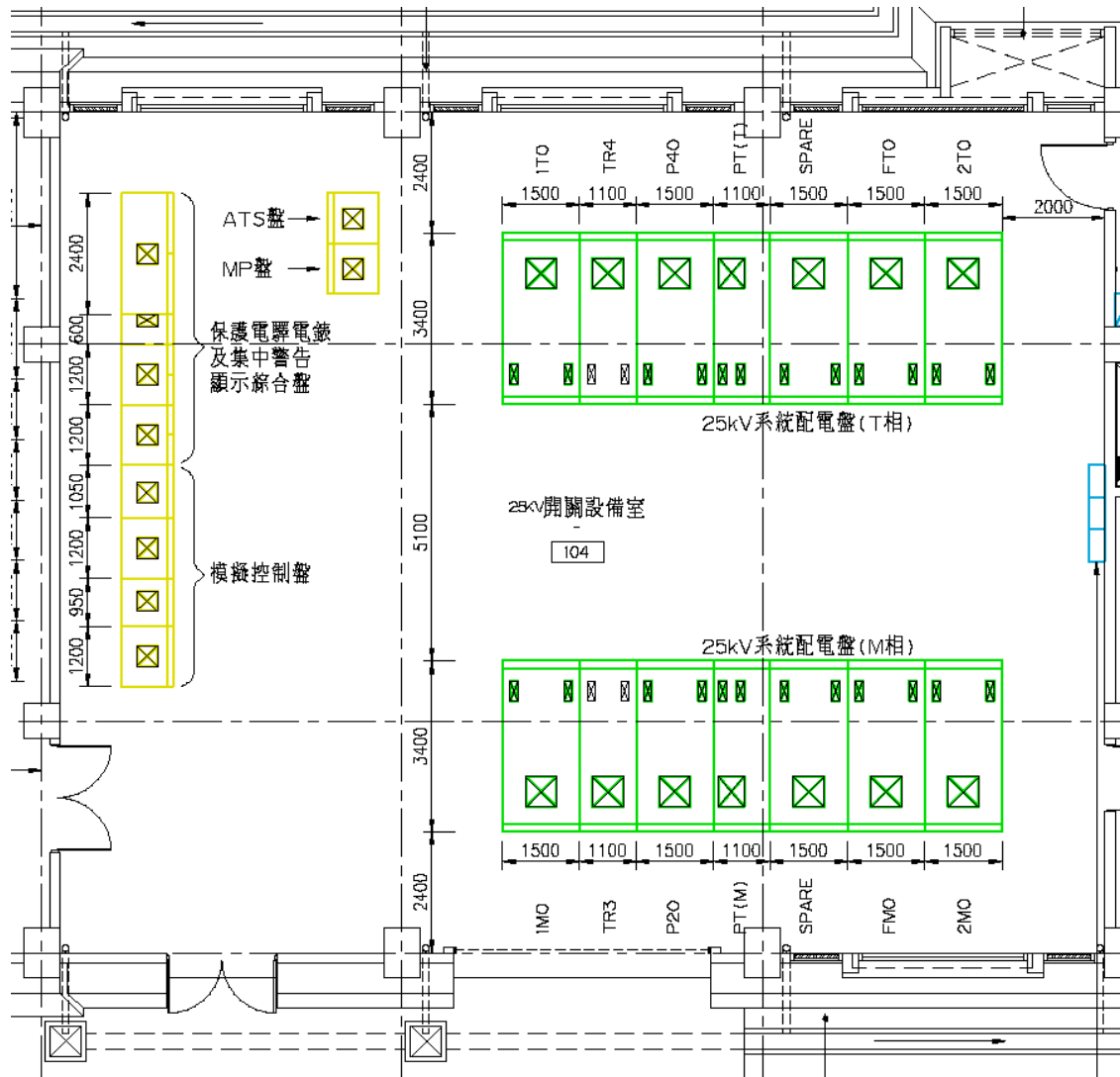


圖 2.3 臺鐵變電站 25kV 開關室配置圖

(三)25kV 開關之差異性

本次參訪日本東芝電器公司，所採用固態絕緣開關組 (Solid Insulated Switchgear ,SIS)，可減少未來維護及營運費用，茲比較 25kV 真空斷路器、高壓 SF6 氣體絕緣開關裝置及 SIS 之差異性，參訪 TOSHIBA 東芝株式會社開關設備部門，如圖 2.4 所示。



圖 2.4 參訪 TOSHIBA 東芝株式會社開關設備部門

1. 目前臺鐵路使用 25kV 真空斷路器

表 1 開關主要規格特性

No.	規格	數據
1	絕緣型式	真空
2	絕緣電壓等級	46kV
3	額定最高電壓	27.5kV
4	額定頻率	60Hz
5	1 分鐘 60 週波交流耐壓	95kV
6	衝擊波耐壓(1.2x50 μ s 全波耐壓)	250kV
7	額定連續電流	1,200A
8	極數	1 pole
9	啟斷容量	對稱容量 20kA RMS，非對稱容量 25kA RMS
10	操作及控制電源	125V DC

臺鐵路使用 25kV 真空斷路，其主要規格特性如表 1 所示。理想斷路器所需具備的各種條件，均可在真空中完成，即真空斷路器為最接近理想的斷路器。斷路器最基本的條件為：消弧快、操作機構簡單、動作時不發生噪音、壽命長、維護簡單且不會著火。這些條件，真空斷路器都做得好。真空斷路器之遮斷電流原理不同於其他種類的斷路器，它不使用任何的消弧媒介，係利用真空中的高絕緣能

力達成隔離作用，且因真空中之電弧離子建立困難，所以電弧很容易被消除，其電弧消失之方式及真空遮斷器之詳細結構如圖 2.5 所示。

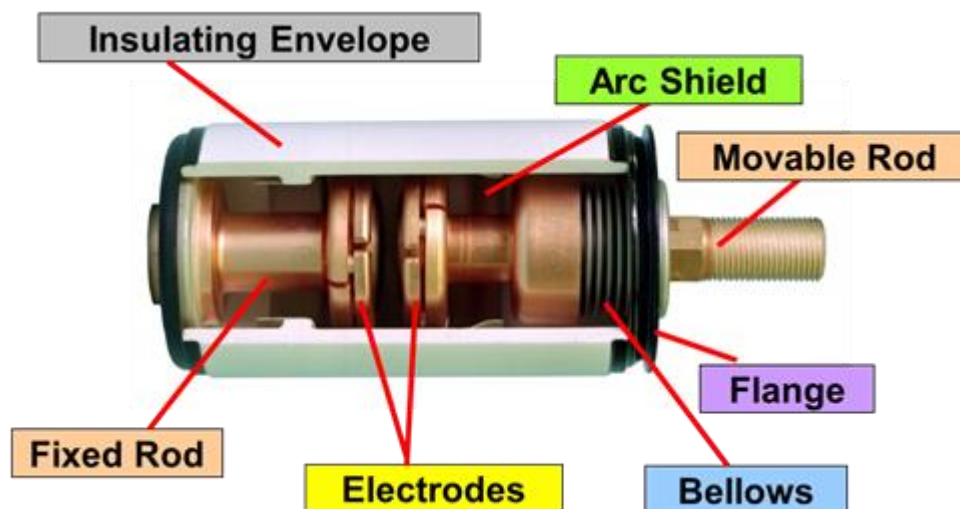


圖 2.5 真空消弧室剖面圖(資料來源 TOSHIBA)

2. 真空斷路器外型構造

消弧室絕緣筒，以精密陶瓷（氧化鋁等）或特殊玻璃等製成，具有良好的絕緣及足夠的機械強度外，必須不漏氣、不滲氣等特性，並且可與金屬接合密封。

真空消弧室中的真空度約為 $1n$ (nenon, $1/10^{-9}$) mm HG，在真空中絕緣強度很高，每 1mm 的間隙可耐壓數萬伏特，所以真空消弧室可動與固定接觸子間的距離僅約為 1/2 吋。

真空中電弧會使接觸子的金屬蒸發，經多次研究及實驗，在消弧室內接觸子的四周裝一金屬遮蔽罩 (Shield)，因電弧所發生的金屬蒸氣，再凝固成金屬，附著於遮蔽罩，效果良好。

一般交流斷路器，都是在電流值為零的瞬間消弧，使電弧產生的離子中和，並恢復接觸子之間的絕緣，完成啟斷電路及消弧。

在真空中，因為絕緣強度很高，啟斷時電流會突然遮斷，這現象稱為“電流截斷” (Current Chopping)，當時間為 t ，電流值 i 突然變為零，此時電流對時間的變動率 di/dt 之值甚大，引起異常電壓；其原理如圖 2.6 所示。

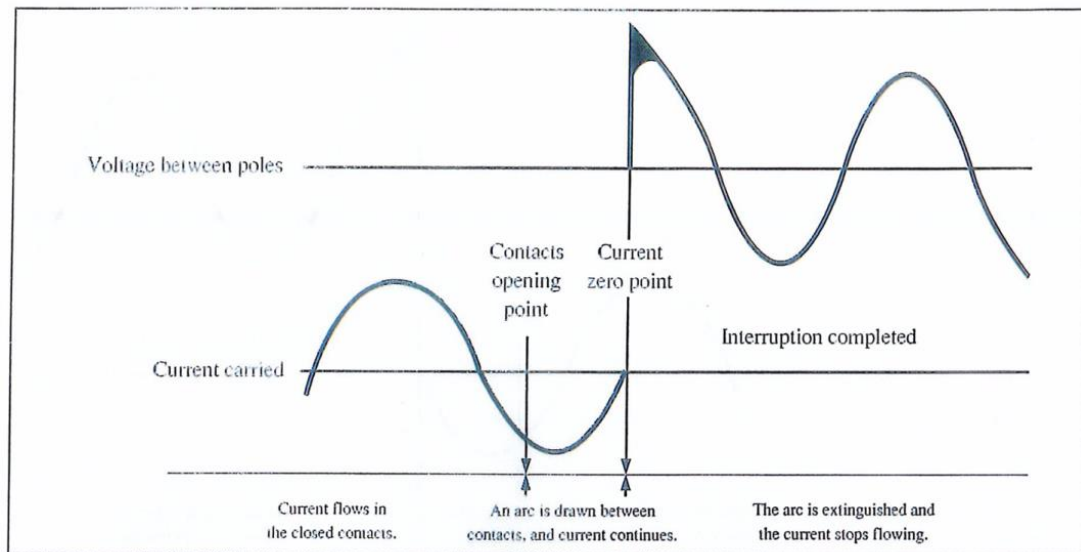


圖 2.6 電流截斷與異常電壓波形圖(資料來源 TOSHIBA)

必須使用特殊金屬材料的接觸子及適當開閉速度等，以使產生的異常電壓限制在適當範圍內，目前電極採用型式如圖 2.7 所示，由左至右計為螺旋型、軸磁型(Toshiba)、端面型等三種。

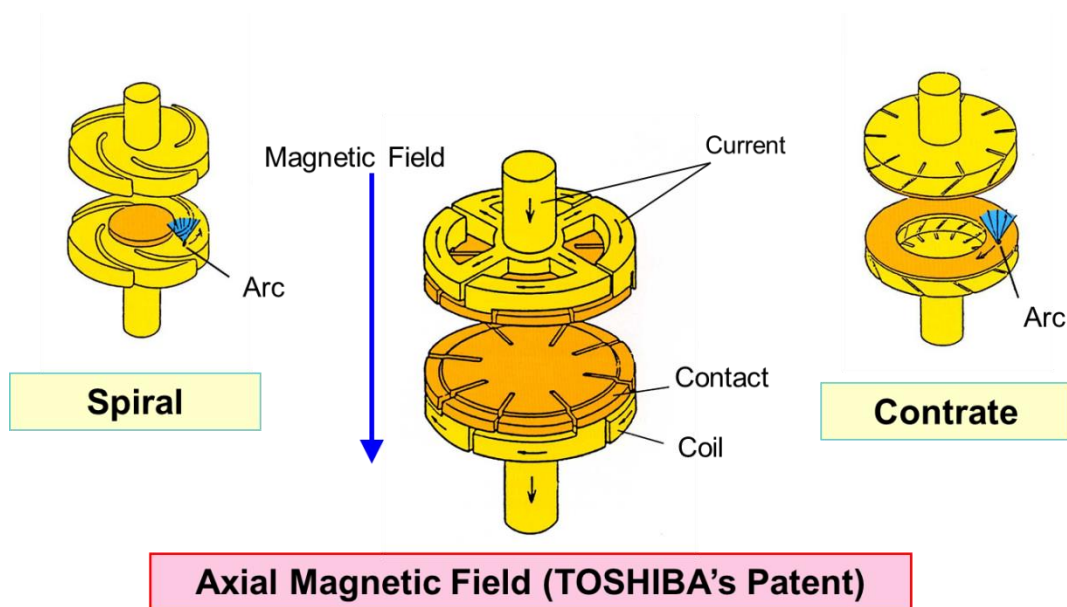
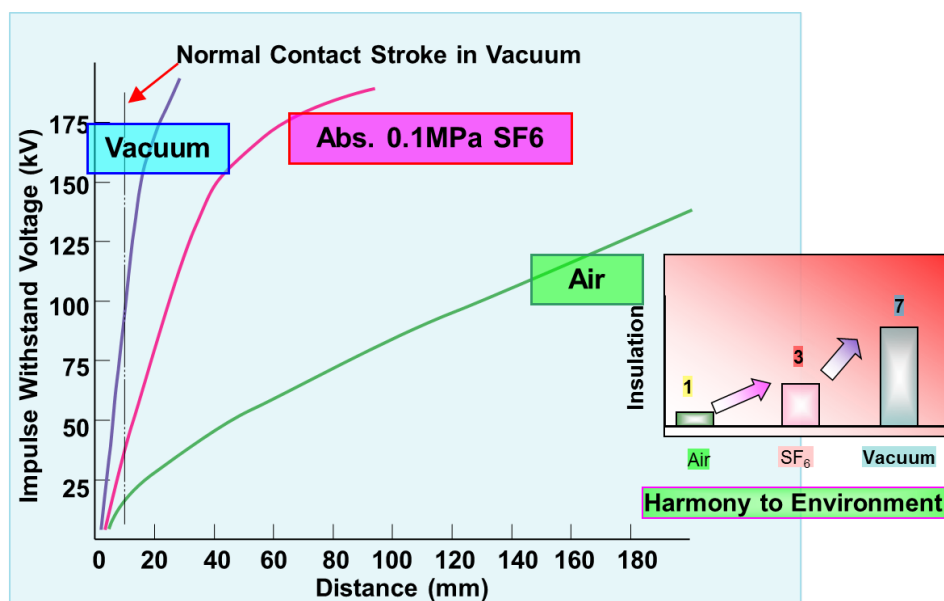


圖 2.7 電極型式(資料來源 TOSHIBA)

真空斷路器的優點如下：

真空斷路器較 SF6 斷路器及空氣消弧斷路器無論在耐壓及對環境破壞方面皆較佳，其絕緣材質比較如圖 2.8 所示。

- (1)消弧快，通常消弧時間為 1 週波，最長為 2 週波。
- (2)無油、不會發生火災危險。
- (3)維護簡單。
- (4)操作機構簡單、衝程短、操作快，在 20 週波時間內可完成快速復閉。
- (5)操作時不會發生噪音。
- (6)重量輕，動作時不會震動，基礎工程可以簡化。
- (7)壽命長，可使用 100 萬次以上。



Withstand Voltage Characteristic by Insulation Media

圖 2.8 斷路器絕緣材質比較(資料來源 TOSHIBA)

2. C-GIS 斷路器

櫃式氣體絕緣金屬封閉開關設備簡稱為 C-GIS，它是採用低氣壓的 SF6 氣體、N2 氣體或混合氣體作為開關設備的絕緣介質，用真空或 SF6 為消弧介質，將母線、斷路器、隔離開關等中壓元件集中密閉在箱體中，綜合運用現代絕緣材料、開斷技術、製造工藝、感測技術、數位技術生產的及智慧控制、保護、監視、測量、通訊於一體的高技術產品，具有體積小、重量輕、安全及可靠性高、能適應惡劣環境條件等優點。

(1)原理

SF6 氣體絕緣開關(Gas Insulated Switchgear;GIS)是將斷路器、分段開關、接地開關、比壓器、比流器、匯流排、避雷器、套管/電纜終端設備等電氣元件封閉組裝於接地的金屬外殼中，並充填高壓的 SF6 氣體做為絕緣及消弧的媒介，由於具有體積小、佔地面積少、不受外界環境影響、運轉安全可靠、配置彈性大、維修簡單且週期長等優點，所以廣為世界以及國內所採用。然而因構造複雜，舉凡絕緣技術、消弧器構造、操作介質及監控系統等各廠家均有不同。

(2)外型構造

盤體面板附有電表、保護電驛、操作開關、輔助電驛等，盤體內部則有手動操作機構，電纜銜接則採用插入式電纜處理頭，其外型如圖 2.9 所示。

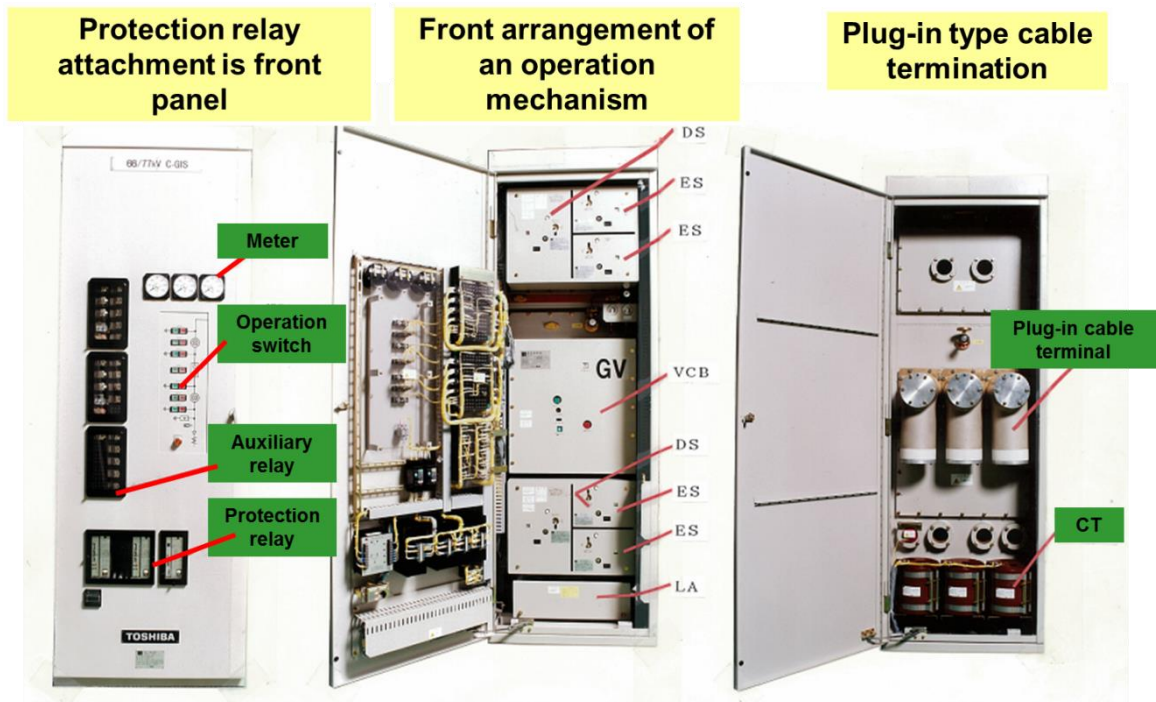
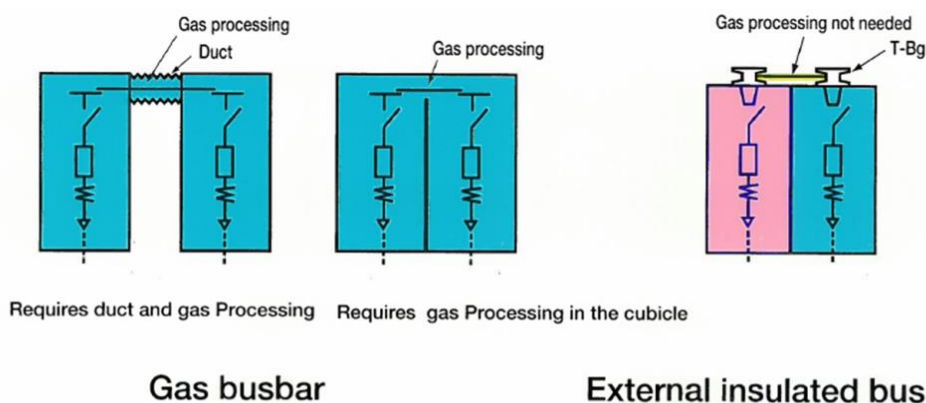


圖 2.9 C-GIS 斷路器外型構造圖(資料來源 TOSHIBA)

(3)跨盤匯流排連接型式

首先要慎重的選擇產品結構形式，C-GIS 產品都採取了簡化的一次主接線方式，從母線連接技術來分，大致有兩種結構形式：一種是氣體絕緣母線，安裝時必須在現場充氣；另一種為固體絕緣母線，目前一般都採用了插接式母線技術，利用界面絕緣來實現櫃與櫃之間主母線的連通，現場不需要充氣。

兩種方法各有優缺點，氣體絕緣母線的方式，由於現場涉及到氣的處理，需要專門的抽真空，充氣設備給安裝帶來了一定的不便，同時受安裝環境的限制，有可能導致灰塵，導體電微粒雜質進入空氣中影響開關設備的絕緣性能。第二種方式可避免上述問題，但是有一些新的問題，界面絕緣及定位要配合精準，其匯流排連接方式如圖 2.10 所示。



BUSBAR CONNECTION BETWEEN CUBICLES

圖 2.10 C-GIS 斷路器外型構造圖(資料來源 TOSHIBA)

3. SIS 斷路器

固體絕緣利用環氧樹脂絕緣，環氧樹脂中 65% 為 SiO_2 材料， SiO_2 對環境沒有影響，產品使用後還可回收再用，固封絕緣用作真空斷路器外絕緣使產品結構緊湊、小型化和環保。

國外製造商近年來大力發展固封絕緣技術，如 ABB 艾波比股份有限公司 1997 年起將固封絕緣用於它的 VM1 型、eVM1 型及 VD4 型戶內真空斷路器，而且最新用於戶外重合器等。如在 2006 漢諾威博覽會上，ABB 展出的 VD4 型戶內真空斷路器，做到額定電壓 36kV，額定短路電流 50kA。

固封開關櫃結構更加緊湊、佔地面積小、可靠又環保，代表了中壓開關櫃的一種發展方向。在這方面，國外有的企業已作出努力，其中日本東芝已取得這方面的初步經驗。東芝公司於 1999 年開發出高性能環氧樹脂及高效能環氧澆注技術，並於 2002 年生產出 24kV SIS 固體絕緣開關櫃，之後又進行了系列化生產，

迄今已經生產出 36kV SIS 固體絕緣開關櫃，目前已進行 72kV 及 84kV 更高電壓等級產品的開發。

表 2 SIS 饋線盤 設備內容

編號	內容
1	Vacuum Circuit Breaker (VCB)，真空斷路器
2	Vacuum Disconnecting Switch (VDS)，真空隔離開關
3	Earthing Switch (ES)，接地開關
4	Protection Relay，保護電驛
5	Busbar，匯流排
6	Operation mechanism for each device，操作機構
7	Main cable，主電纜
8	Current transformer(CT)，比流器
9	Voltage detector(VD)，電壓偵測器

東芝公司 SIS 固體絕緣櫃自 2002 年正式投入運行以來，預計今後固體絕緣開關櫃的市場使用量將會更加擴大。構造原理東芝 27.5kV SIS 饋線盤其主要設備器材內容如表 2 說明，其各設備元件配置現況如圖 2.11 所示。

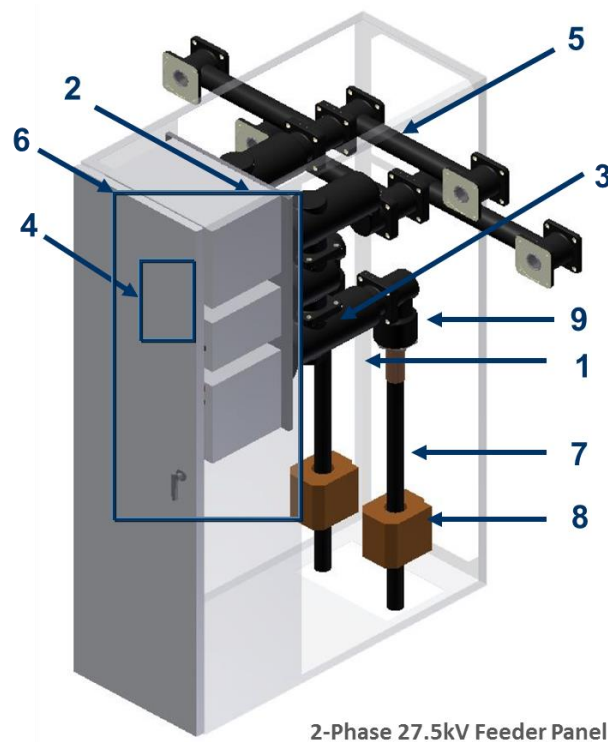


圖 2.11 SIS 各設備元件配置現況

目前東芝公司生產之 SIS 包括 3 相及 2 相，其最大額定電壓達 84kV，詳細規格如表 3 所示，優點如表 4 所示。

表 3 SIS 詳細規格表



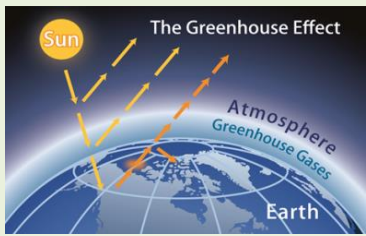
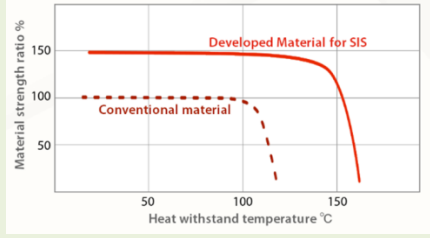


Classification								
	3-Phase SIS					2-Phase SIS		
Rated voltage (kV)	24	36	40.5	72	84	27.5		
Rated with stand voltage	Lightning impulse (kV)		125	170	185	350	400	200
	Power frequency (kV)		50	70	95	140	160	95
Rated current (A)	630 / 1250 / 2000		1250	800 / 1250		1250		
Rated short time withstand current (kA)	25 / 31.5							
Applicable Standard	JEC / IEC							

表 4 SIS 優點表

優點	內容
因採樹酯絕緣不會產生 SF6 破壞臭氧層	
材質强度高較傳統之開關可抵抗較高溫升	
所有帶電體全部封裝，減少維護	
減少空間需求，可彈性組裝及配置	

(四)自動換相設備

電車線系統之變電站，會將三相 60hz 電源轉換為 2 個角度相差 90 度之 T 相與 M 相電源，故變電站出口端之電源須隔離，會採用中性區間方式隔離，即無電區間，臺鐵系統列車經過該無電區間需切離車上電源，經過中性區間時會有預、切、復告示牌，提醒司機員切換車上開關，新式列車亦採 APC 列車自動感應系統，切換列車開關。若車輛無切離開關直接通過該中性區間，變電站開關將跳脫，產生異常警報，恐造成事故事件誤判。

東芝公司所提供之換相裝置，可讓列車在不斷電狀態，經過 T 相、中性區間、M 相電車線區間時，主要原理係利用饋電電流確認列車位置，於通過中性區間時利用高速自動換相設備快速切換，若採用該設備，即可改善車輛無切離開關直接通過該中性區間，變電站開關將跳脫問題，列車可不斷電亦可提高列車速度，減少司機員業務，提高列車行駛可靠度，如圖 2.12 所示。

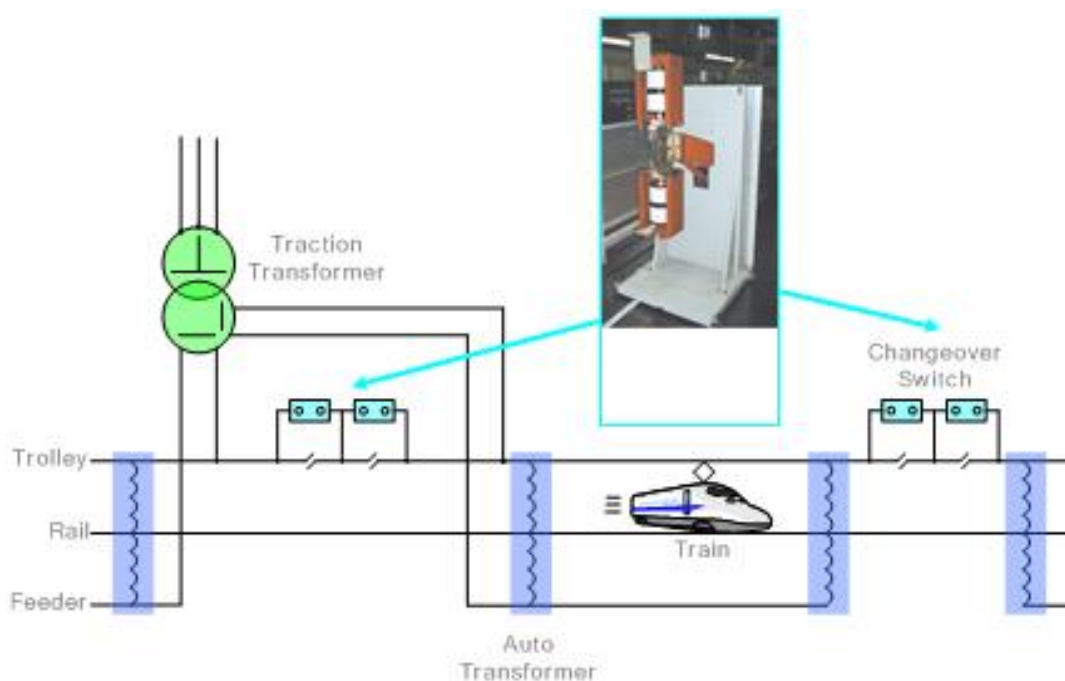


圖 2.12 高速自動換相電車線系統示意圖

換相裝置與一般開關不同，因 2 相間電壓差為根號 2 倍額定電壓，電壓等級高需較高之隔離及消弧裝置，換相時間需快速減少電弧，每日列車通過時即切換一次，故使用次數頻繁，該設備已於日本使用多年，是值得採用設備。

本次參訪東芝公司，該公司提供集中式電驛使用說明，由該工廠技師專業實作說明如圖 2.13 所示，該電子集中式電驛可與電腦連線，依客戶需求設定，也可收集故障事故電壓電流，藉此更新設定提高可靠度及系統穩定度。



圖 2.13 直流集中式電驛使用說明



圖 2.14 柴油及電力混合

東芝公司亦可提供客製化機車頭，如圖 2.14 所示，該機車頭特點可使用柴油及電力雙動力，機車於有電氣化或無電氣化區間均可使用。

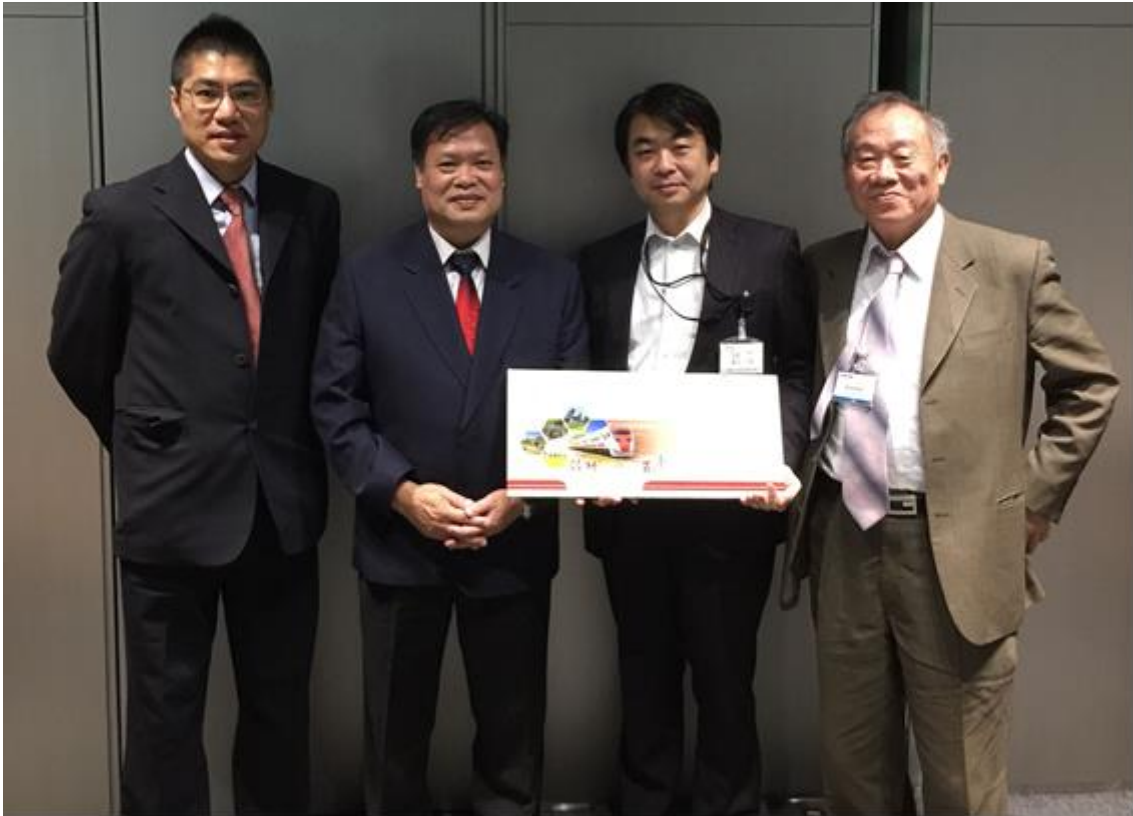


圖 2.14 與東芝公司參事合影

三、Sumitomo 住友電氣工業株式會社

(一)公司簡介

住友電氣工業株式會社，自西元 1914 年開始生產高品質之接觸線，該公司以最新技術生產銅質或銅合金材質接觸線，多年來為日本鐵路接觸線之主要供應商。

1997 年日本三陽新幹線(Sanyo Shinkansen)使用住友電氣工業株式會社所生產之高強度錫銅合金接觸線，其時速為 300km/hr，其後，台灣高鐵亦全線採用該公司之接觸線。其列車及電車線接觸線如圖 3.1 所示。



圖 3.1 三陽新幹線與台灣高鐵列車及其電車線接觸線

參訪當日由該公司導電製品部技術人員導引介紹接觸線生產設備及流程，從銅原料加入其他金屬進入高溫鍋爐煉製成銅合金，冷卻塑形後經由模具壓製成線材，再捲繞入線軸，所有製程於一廠區內一氣呵成，全數自動化生產。

接觸線生產流程如圖 3.2。

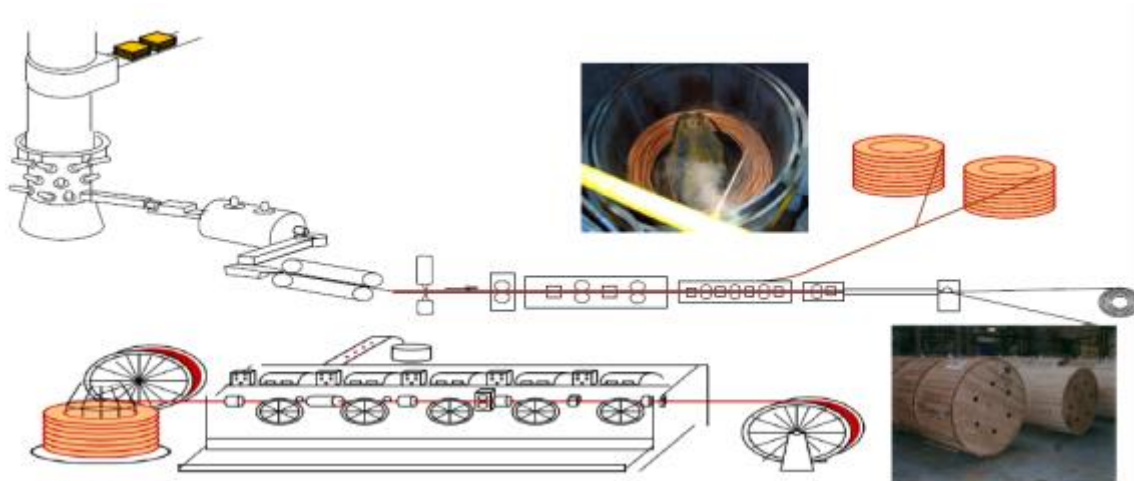


圖 3.2 住友電工接觸線生產流程示意圖



圖 3.3 與住友電工導電製品部技術人員合影

住友電工可因應系統列車速度及客戶需求，以銅、錫銅或銀銅等不同合金產製不同強度及線徑之接觸線，其造價會依不同合金或不同線徑而有差異，一般 160km/hr 以下之系統會採銅製電車線，速度 250km/hr 以上者則採強度較高之錫銅或銀銅，其中銀銅因導電率最好，故其價格較高。

表 3.1 接觸線規格表

TYPE	Material	Size	Typical use
GT (Copper Grooved contact wire)	Cu	85~170mm ²	Conventional line
GT-SN (Copper-Tin alloy contact wire)	Cu-Sn (Sn:0.25~0.35%)	85~170mm ²	Conventional line High-Speed line Heat and Wear resistance
GT-AG (Copper-Silver alloy contact wire)	Cu-Ag (Ag 0.12%min.)	85~170mm ²	Conventional line High-Speed line Heat and Wear resistance
GT-SN-W (High-strength Cu-Sn alloy contact wire)	Cu-Sn (Sn:0.3~0.4%)	110~170mm ²	High-Speed line High-Strength Heat and Wear resistance

生產日本高鐵所使用之特殊新式接觸線，接觸線斷面如圖 3.4 所示，該接觸線左右兩側凹槽下方之凸出形狀便於利用圖 3.5 Yellow Car(鐵路檢測車)來檢查接觸線磨損程度，比起傳統接觸線以目視檢查之方式節省人力並提高效率。



圖 3.4 日本高鐵使用之特殊新式接觸線斷面圖



圖 3.5 Yellow Car(鐵路檢測車)



圖 3.6 與 JR 西鐵和住友電工人員大合影

肆、考察心得與建議

日本新幹線系統運轉歷經 40 載，從未發生重大事故，為舉世公認最為安全、舒適的高速鐵路系統。本次得有機會考察日本鐵道電車線相關設施，並拜會日本電車線相關設備廠商，藉此學習並了解日本鐵道發展之技術，並期望得有機會將其先進技術用於臺灣鐵路，進以提昇臺灣之鐵道環境。針對本次考察內容，謹就參訪所習內容與知識，彙整心得及建議如下：

一、考察心得

(一) 電車線系統更新之困難性

1. 臺灣鐵路電車線系統係延續英國鐵路系統建構，後續引入日系雙軌隧道電車線系統，及為解決單軌隧道淨空不足，無足夠淨空裝設自動張力平衡錘組而採用無張力之導電軌系統，以及高密度運行地下車站所使用雙接觸線系統等，故系統眾多，且電車線供應市場不大，恐造成後續營運單位維修備品採購不易或價格過高問題。
2. 西部幹線變電站設備均已達汰換年限須更新，於供電狀態下更換設備成本及困難度相對增加。另現階段於都市新建或改建變電站，易引發民眾抗爭，相對影響工程更新進度。
3. SCADA 系統更新快速，臺鐵全線工程非同步電氣化，陸續完成之系統須併入既有系統，或新建系統串連既有系統，於系統完成後，常常陷入須採限制性招標方式，由原系統商擴充系統，恐有違採購法精神。臺灣鐵道電車線系統更新，係採用舊有規範更新，或採新式規範更新，是一重大課題。

二、建議事項

(一) 主吊線與接觸線獨立自動張力裝置

提升電車線系統維修度，可靠度，安全度，因未來考量列車須提速，所採用之接觸線及主吊線線徑差異較大，且主吊線與接觸線具不同材質及不同膨脹係數，單一自動張力裝置亦不適用使用在兩種導線，故未來設計發展仍將朝向不同自動張力裝置分別設置。

(二) 電車線自動換相裝置

目前鐵路供電系統於變電站中性區間，依系統特性分成 M 相及 T 相，列車於行經該區段，皆須斷電後滑行進入下一供電區段，常因列車未自動或手動斷電，滑行進入無電區間導致系統保護電驛 50 動作，瞬間跳脫後再自動復閉，若採用換相裝置於中性區間可減少電弧，每日列車通過時即切換一次，故避免列車於預、切、復區間誤操作，該設備已於日本使用多年，是值得未來設計時考量。

(三) 變電站設備

變電站 25kV 開關，目前採用裝甲型開關箱真空斷路器型式，其缺點為所佔空間較大，維護保養不容易，目前市場上已逐步採用 SF6 氣體絕緣開關(C-GIS)或固態絕緣開關 SIS (Solid Insulated Switchgear)，其優點為體積小及維護保養容易。

(四) 電車線系統規範之更新

臺灣鐵路電車線系統於 60 年初新建，至今快 50 年，相關設備不斷更新加入，規範至今尚未整合更新。為符時代需求，本次南迴計畫系統機電擬採統包設計，可藉此計畫評選優良電車線系統，於南迴系統打造全新符合臺灣鐵路系統，並制定相關規範，祈如願完成，該案例可讓臺鐵局借鏡，更新已於系統使用 50 年設備，而非沿用舊系統更換新品，以提升鐵路電車線系統品質。

伍、參考資料

- 一、東芝公司 TSB_AC feeding system 簡報資料
- 二、東芝公司 SIS 簡報資料
- 三、東芝公司 Relay 簡報資料
- 四、東芝公司 VCB 2015 簡報資料
- 五、東芝公司 Battery TESS Catalogue 簡報資料
- 六、東芝公司 GR200 brochure_6661-0.1 簡報資料
- 七、東芝公司 Railway Power Supply Systems Catalogue_0424 簡報資料
- 八、JR 西鐵公司簡報資料
- 九、住友電工公司 Products for Railway Industry - SUMITOMO 簡報資料
- 十、住友電工公司 SEI Contact Wire & Rigid Rail 簡報資料

