

# 臺北捷運信義線之機電系統驗證與認證報告

江信興<sup>1</sup>

## 摘要

依據交通部頒布之「大眾捷運系統履勘作業要點」修訂版第三及第十二條後段規定，工程建設機構於報請辦理初勘前，應確認擬通車營運路段已完成之營運要件中，於已奉行政院核定之計畫，應提出機電系統之驗證與認證報告。

本文就捷運工程信義線機電系統驗證與認證報告作概述，簡介本局履約執行狀況及驗證與認證之作為以供參考。

關鍵詞：機電系統、驗證與認證

## Verification and Validation Reports of Taipei MRT Xinyi Line E&M Systems

Hsin-Hsing Chiang<sup>1</sup>

### Abstract

According to Article 3 and the second half of Article 12 of the revised "Regulations for Mass Rapid Transit Systems Inspection," enacted by the Ministry of Transportation and Communications (MOTC), construction agencies should ensure MRT routes have met operational requisites prior to inauguration. The requisites include E&M systems verification and validation reports for all construction projects approved by the Executive Yuan.

This article gives a general description of E&M systems verification and validation reports of the Taipei MRT Xinyi line as well as an overview of DORTS contract performance and implementation of verification and validation for future reference.

**Keywords:** E&M systems, verification and validation

<sup>1</sup> 臺北市政府捷運工程局工務管理處幫工程司 1A272@trts.dorts.gov.tw

## 一、前言

依交通部99年7月23日頒布之「大眾捷運系統履勘作業要點」規定，本路線在初勘時須提出整體系統驗證與認證（V&V, Verification and Validation）報告供初履勘委員檢視，而所謂系統驗證與認證，係透過一系列技術（工具、模擬程式）與管理手段（方法、邏輯），來改善系統品質與增加可靠度，以確保所生產之產品滿足使用者之營運所需；此機制是從系統安全評估、規範審查、設計審查、製造監工、系統整合測試等進行系統驗證與認證工作，以確定系統功能、品質及安全皆符合要求。

信義線係由中正紀念堂站至象山站，包含6座地下車站（東門站、大安森林公園站、大安站、信義安和站、台北101/世貿站及象山站）；工程興建期間，在依循公共工程品質管理制度下，參與之廠商、業主、上級機關均落實品管各司其職。

在機電系統廠商施工部分，其品質管理系統要求依國際標準ISO 9001建立，在業主之監督下落實其一級自主品管，依契約規定完成各項硬體設施建造及安裝，而機電系統核心工程的品質管理乃依據本局參照美國軍規所制定之系統保證契約章節，由施工廠商提送包含可靠度、維修度、系統安全和人因工程之驗證與認證標準的系統保證計畫書，獲得業主審查通過並順利完成所列各項子系統之測試及整合測試。環境控制系統工程的品質管理由施工廠商提送包含可靠度及維修度之驗證測試計畫書，獲得業主審查通過並順利完成所列各項系統之測試及整合測試。

在業主部分，各工程處依審核通過之監造計畫書執行工程監造相關作業，而機電系統工程處全週期各階段的驗證與認證，包含機電系統核心工程設計審查程序的完成、製造階段之海外檢測和安裝後之系統驗證等工作。土建地區工程處則進行環境控制系統工程施工階段設備材料審查程序、廠測及安裝後各系統測試及整合測試。本局相關單位則依職掌與所訂之作業程序執行各階段包含設計審查、施工督管、稽查與查驗等工作；信義線於102年間完成工程檢查及其改善作業，並通過系統穩定性測試驗證後，交予臺北捷運公司進行營運模擬演練，營運期間將繼續執行可靠度與維修度驗證至達到標準後辦理認證驗收。

## 二、機電系統履約之驗證及認證作為

本驗證與認證係以信義線之機電系統核心工程標及環控系統工程標為主，其分別包括：

### （一）機電系統核心工程

- CR381電聯車標
- CR382號誌系統標
- CR383供電系統標
- CR385通訊系統標

### （二）環境控制系統工程

- CR580A區段標之CR388A環境控制系統工程子標
- CR580B區段標之CR388B環境控制系統工程子標
- CR580B區段標之CR388D監控系統工程子標

配合「交通部大眾捷運系統履勘作業要點」規定，本局所屬單位及本局外部單位，於履

約中各階段的驗證與認證之作為分別列於表1及表2：

表1 本局履約之驗證與認證作為

履約階段	本局/工程處
開工	<ol style="list-style-type: none"> <li>依工務管理使用手冊EMA2-01-A「工程開工前準備作業及鄰里座談會」辦理開工前作業。</li> <li>依工務管理使用手冊EMA2-02-A「工程管理與授權」指派「工程司」及「工程司代表」辦理履約作業。</li> <li>依工務管理使用手冊EMA2-05-A「監造計畫撰寫及審查」工務所撰寫「監造計畫書」執行監造作業。</li> </ol>
細部設計 (機電系統核心標)	<ol style="list-style-type: none"> <li>細部設計時期，採用階段性設計審查之機制，即概念設計審查(CDR)、細部設計審查(DDR)及最終設計審查(FDR)等三階段設計審查會議，監督管制廠商於每一階段中所完成之細部設計作業是否能達成契約中規定之預期目標及任務。</li> <li>依本局機設處品質管理系統程序書QSOP-G9003機電系統標細部設計技術審查品質管制作業程序進行審查</li> </ol>
	召開最終設計審查會議，認證細部設計作業已完成。
	<ol style="list-style-type: none"> <li>本局品保處對工程處及廠商進行品質稽查。</li> <li>工務所對廠商辦理品質稽查，每年至少1次。</li> </ol>
細部設計 (環控系統)	<ol style="list-style-type: none"> <li>細部設計採用階段性設計文件審查之機制，即分第一次送審、期終送審及原件提送等三階段，並分別召開設計審查會議，以確認各階段細設工作內容符合各相關審查單位之要求。</li> <li>依本局土建處品質管理系統程序書QSOP-FB001細部設計階段成果文件之審查作業程序進行審查。</li> </ol>
	本局品保處會同土建處對細設顧問品質稽查，局品保處亦對土建處品質稽查，每年至少1次。
製造 (機電系統核心標)	中/高運量電聯車採派員駐廠監造方式驗證相關作業。
	<ol style="list-style-type: none"> <li>廠測(FAT)及原型機測試。</li> <li>主要設備國內及海外均派員查證廠商設備出廠測試狀況。</li> </ol>
	設備到貨點驗：依據一般條款「對永久性設備點收」及依特定條款「對設備運抵工地，所進行之工程司目視檢驗」。
施工中設備材料送審 (環控系統)	廠商依據契約「設備材料送審一覽表」提送各項設備材料之文件資料，送各單位審查以確認符合契約規範。
施工安裝	本局施工查驗小組查驗。
	主管假日督工：工程處幕僚科科長/副總工程司/總工程司/副處長每週六、日排定1人至工地督工。
施工安裝	督工：工程處幕僚科對廠商及工務所每月至少督工1次。
	本局品保處對工程處及廠商進行品質稽查。本局工務管理處對工程處亦進行督工查核。
	工務所對廠商辦理品質稽查，每年至少1次。
	車站及道旁設備安裝完成後，辦理會驗認證已施工完成。

履約階段	本局/工程處
測試 (機電系統核心標)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 設計驗證係廠商為確認其細部設計的輸出是否符合契約之作業。細部設計驗證包括合格測試(含元件合格測試、子系統合格測試、系統合格測試、初驗測試)、型式測試和原型機測試。</li> <li>2. 依本局機設處制訂之品質管理系統程序書QSOP-G9003機電系統標細部設計技術審查品質管制作業程序第5.6節『設計驗證之見證及審查』辦理。</li> </ol>
測試 (機電系統核心標)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 特別技術規範所列之各項測試項目, 廠商依約應先發展詳細的測試程序, 提送本局相關單位審查後由工程司核可後進行測試。</li> <li>2. 廠商應依核可之測試程序進行測試, 並由本局相關單位及捷運公司派員見證測試是否通過。</li> </ol>
	工務所對廠商辦理品質稽查, 每年至少1次。
	工程實質完工確認會議。
測試 (環控系統)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 各項設備依契約規範完成測試, 並與監控系統進行點對點測試。</li> <li>2. 配合各系統進行系統整合測試(含隧道段塞車、緊急模式測試及緊急發電機加載測試)。</li> </ol>
試運轉	系統穩定性測試。
營運	機電系統核心標依據品質管理系統程序書QSOP- YB006可靠度及維修度驗證測試管制作業。
	廠商提報竣工, 工程處派員會同相關單位及廠商辦理會勘以確定是否竣工。

相關作業依本局工務管理使用手冊及品質管理系統文件之規定辦理。

表2 本局外部單位驗證與認證作為

履約階段	項目
施工安裝	交通部、公共工程委員會及臺北市政府等上級單位之工程施工查核小組查核。
	工程檢查：由本局相關單位及臺北捷運公司派員組成工檢小組。
測試	消防檢查：機電系統標數位無線電、緊急廣播系統及環控系統配合市政府消防局之檢查。
試運轉	系統穩定性測試：依交通部頒規定及核定之測試計畫及捷運公司共同參與。
	營運前試車：在模擬營運條件下, 依捷運公司排定營運班表, 由捷運公司進行所有機電設施整合之全線營運模擬演練。
	初勘：臺北市交通局邀請專家組成初勘小組。
	履勘：交通部邀請專家組成履勘小組。
營運	可靠度及維修度驗證測試管制作業： 由設計單位(機設處)、營運單位(臺北捷運公司)、工程處及廠商組成『可靠度及維修度驗證測試故障審查委員會』審查是否合格。

### 三、系統保證

#### (一) 概述

系統保證作業包含可靠度、維修度、系統安全品質及人因工程等，其目的在於：

1. 將各危險狀況之發生機率降至最低；
2. 提供高可靠度之系統；
3. 減少故障及維修之停機時間；
4. 對於可能引起乘客與個人傷害或設備損壞，且無法完全避免的意外事件，如果不能完全免除，須減少受害區及降低嚴重性；
5. 減少人/機間之界面問題；
6. 提高設備品質。

#### (二) 可靠度

1. 影響整體可靠度需特別注意：首先是經由周全的設計及適當之預防或校正性維修，使營運故障次數降至最低；其次是設備中之關鍵項目，可以快速抽換。
2. 機電設備，須設計成毋需特別注意，即可長時間運轉；且設備經由預防維修，即可達成所需之可靠度。電路或關鍵設備，須能警示故障。
3. 可靠度功能描述及預估分析，包含下列各項：
  - (1) 定義完整的子系統，詳細地說明各子系統所包含的設備及元件；
  - (2) 子系統功能性描述，包含子系統概要圖及功能流程圖；
  - (3) 可靠度方塊圖；
  - (4) 子系統及構成子系統之設備/元件的可靠度配當；
  - (5) 系統、子系統的可靠度預測及資料庫的描述；
  - (6) 可靠度預測與可靠度要求配當值的比較。
4. 故障模式、效應與嚴重性分析，分析對象從最低替換單元至工程司核准之零件層次。各階層所有故障模式皆須提出，該故障對於較高層次的影響亦應確認。FMECA應考量故障模式、故障效應及嚴重性，及故障時對駕駛及維修人員之顯示。本分析須與設計同時進行及完成，俾使設計能反應出分析的結論及建議。
5. MTBF規範要求：設備的設計及測試須符合特別技術規範所規定的可靠度需求。施工廠商在做可靠度分析時，除此各子系統標之特別技術規範所列之設備外，還依需要考慮相關子系統內的所有設備。可靠度之需求係依設備特性分別以平均故障間隔週期(MCBF)或平均故障間隔時間(MTBF)表示，透過分析須能達到或優於其標準。廠商須依契約規範規定提送可靠度驗證計畫書供本局審核，並依契約特別技術規範規定執行可靠度驗證測試。

#### (三) 維修度

本節用以建立維修度觀念，以確保營運可用度，不致受到漫長維修作業的影響。下列之維修度特性，應納入系統設計中：

1. 元件及設備機櫃之配置，應使最常需維修的物件有最佳之可及性。本項應基於故障及校準之頻率而定。
2. 設備因設定值移動、飄移及老化所需進行之校準，應儘量避免或降至最低。

3. 維修人員所需之技術水準及特殊訓練降至最低。
4. 特殊工具的數量降至最低。
5. 控制盤及開口必須具有足夠之數量、尺寸及空間，俾從一般工作區域即可進行工作。校準控制器、配件及安全閥等，應能從控制盤或開口便可直接觸及。扣件應儘量使用自持式。除非有被破壞之虞慮，非經工程司核准，最好不要使用特殊的開啟工具。
6. 電纜連接器之間應有適當空間，俾能在緊握後連接或分離。連接器應有正確的標籤及對正槽，以避免互換或安裝錯誤。訊號管腳及電力管腳不可相鄰。
7. 對於笨重或不易觸及之元件應視情形設置握把，以利操控。
8. 設備應儘可能目視即可檢查。
9. 若可行的話，扣件應避免規範扭力值。
10. 電路板之設計應使其無法插入錯誤的插槽。
11. 功能上能互換之組件及元件，其實體上即能互換。功能上不能互換之組件及元件，其實體上即不能互換。

維修度需求是以最大修理前基準線時間（Maximum Baseline Time To Repair, MAXMBTTR）表示。MAXMBTTR值代表主要子系統之修理基準時間分配的第90百分位，透過分析須能達到或優於此標準。

廠商必須依契約規定提出維修度分析、維修度驗證計畫及維修度驗證測試表資料供本局審核後，並據以進行維修度之驗證測試。

#### (四) 系統安全

系統安全作業目的在於早期發現可能導致潛在傷害的來源或可能造成損失的狀況，藉由以下列步驟予以排除或控制在分析中所確認的危險：

1. 最低危險設計
2. 使用安全裝置
3. 使用警告裝置
4. 使用特殊程序

另為提高系統運轉之安全性，無論因元件故障或喪失輸入訊號，或相同原因或相關原因所造成多個元件同時故障，不得導致危險，以故障自趨安全功能和維生電路設計。本局為驗證整體系統之安全性，採下列方式進行安全評量：

1. 當系統之任何元件、設備或子系統之故障會導致人員受傷、主系統損壞，或易疏忽使用之安全關鍵設備，則應具備故障自趨安全設計。
2. 危險等級/機率：廠商應參考「臺北捷運機電系統工程系統保證計畫書廠商指南」，確認危險等級及機率，以評估危險衝擊。
3. 對可能危害乘客及營運維修人員之狀況，施工廠商應提出警告性之標示。必要之關機聯鎖及安全符號、警告標示皆應納入維修程序中，並張貼在各相關使用設備附近。
4. 所有設計須符合一般工業安全規定，不能有危險性的銳角、突出物、利邊。所有的金屬不應有銳角。
5. 施工廠商應針對乘客緊急逃生予以特別之安全考量，且確保通訊故障時不致影響旅客、維修人員之安全及設備損壞。
6. 任何非順序會導致危險之操作，系統設計中應包含元件聯鎖。
7. 供大眾使用之緊急設備/裝置應清楚地標示且可觸及。聯鎖、切離、配件等裝置，其

鑲板應可防止玩弄及破壞。

8. 安全分析文件應清楚地描述其目的、範圍、方法，及與其他文件之關係。危險解決，須說明引用之細部設計送審文件或/及相關操作、維修手冊的主題及文件號碼。其分析文件包括：

(1) 電聯車：系統保證計畫、初期危險分析、子系統危險分析、系統危險分析、操作危險分析、重大致命項目列表。

(2) 號誌系統：系統保證計畫、初期危險分析、子系統危險分析、系統危險分析、操作危險分析、重大致命項目列表。

(3) 供電系統：子系統危險分析、操作危險分析、重大致命項目列表。

(4) 通訊系統：系統保證計畫、初期危險分析、子系統危險分析、系統危險分析、操作危險分析、重大/致命項目列表。

#### (五) 人因工程

施工廠商須應用人因工程原理，確保系統或子系統在設計、發展、製造、測試、維修及操作時，會應用有關人體工學之安全及舒適性，將人為錯誤減至最少。須依照美軍標準規範 U.S. MIL-STD-1472 的人因工程條款及「臺北捷運機電系統工程系統保證計畫書廠商指南」來設計號誌設備。

## 四、細部設計階段

機電系統核心標係由本局機電系統設計處完成基本設計，再由得標之機電系統廠商完成細部設計後施工。廠商必須依契約規定提送設計管理計畫供本局審核，工程司採設計審查和稽核以監督廠商設計績效。細部設計之作業分別概述如后：

### (一) 概念設計審查 (CDR)

本階段之審查係以確保機電系統在系統層面上之設計及契約基準文件一致。概念設計審查應著重於系統及子系統之架構，並透過必要之系統模擬分析以確認系統層面之設計能符合契約之規定；此外針對構成系統及子系統，就其功能及規格進行配置 (Allocation) 及定義。

施工廠商對每一個系統、子系統、設備、零組件所建議之取得之方式，如採用市場上標準商業 (Commercial-Off-The-Shelf, COTS) 產品、或修改現有標準商業產品、或特為本契約自行研發產製及其所需之作業時程亦應於本階段整體考量。系統發展期間之所有風險 (Risk) 項目應初步加以評估並列入管控。工程司對概念設計審查之意見及施工廠商執行狀況回覆表，施工廠商應列入待辦事項加以管控，並據以修正所有型態基準文件、規範、圖說及時程，以作為後續階段各審查、稽核作業之依據。

### (二) 細部設計審查 (DDR)

本階段審查應針對契約規範及概念設計階段所定義之系統、子系統之規格及功能，以及各項型態系統設備之發展及設計成果進行審查。施工廠商應確實依據概念設計審查所確立之系統、子系統功能及型態基準完成各項設備、零組件及其現場安裝施工之各項細部設計，並確保其完全符合契約基準文件之規定。審查之另一個目的，在驗證施工廠商所採行之設計是否確實可行並符合需求，且該項設計可如期進行後續之產製、安裝、檢測及整合測試等作業，以及確認施工廠商已完成產製或採購之各項準備作業，其中包括對原型測試或首件產品檢測之結果及設計確認其相符性。先前各項審查意見、結論、施工廠商執行狀況回覆表及應辦事項亦應納入

設計審查以確認辦理現況。施工廠商應提供完整而具體之文件及資料供本階段審查使用，包括各類機電系統設備之組裝件及次組裝件（包括軟、硬體）之設計圖說及規範。本階段審查意見應列入待辦事項管控，並據以修正所有型態基準文件、規範、圖說及時程。

### (三) 最終設計審查 (FDR)：

最終設計審查之目的是在確認所有先前審查的意見及作業項目均經處理，並所有應修訂之部分亦已納入可以交送的最後設計中。審查的基準為先前所有各階段之細部設計審查會議之待辦事項，及各項細部設計資料之審查意見，施工廠商應於細部設計審查會議結束後30天內辦理完竣。當下列事項完成時，施工廠商應準備相關文件及圖說，並申請召開最終設計審查會議，已確認細部設計之完成，並依契約規定申請細部設計付款：

1. 所有細部設計項目依契約及核准之細部設計管理計畫完成。
2. 各階段設計審查會議之待辦事項已完成，並依程序完成相關必要之細部設計資料之修正及核定作業。
3. 送審細部設計資料之審查意見已解決，並依程序完成相關文件之修正及核定作業。

為達成契約要求，本局制定相關管制作業程序書及依契約規定予以管控廠商設計作業之進行；廠商所提送之文件，依權責分送予本局相關單位審查。部分系統如電聯車、供電、通訊以及環控系統工程之設計資料需送技師簽證。

## 五、製造階段

完成細設進入製造階段，以電聯車為例，依據契約一般條款GPJ.11製造期間檢驗及測試：製造期間內之任何合理時間，工程司有權在廠商之場所或其他地點，檢驗、檢查和測試依本契約供應構成永久性設備之材料和施工品質。如果該永久性設備之部分係在他處製造，廠商應代工程司取得檢驗、檢查和測試許可，就如同該永久性設備係在廠商場所上製造一般。該項檢驗、檢查或測試，並不免除廠商在本契約中任何責任。永久性設備之各部分在運抵依契約規範之規定或經工程司同意之施工或安裝工地前，應接受測試。依本契約之規定，有關永久性設備之任何部分準備接受測試之日期和地點，廠商應於工程司認可之合理時間前或於本契約規範或它處所規定之期限內以書面通知工程司，工程司至遲應於預定測試之日期前二十四小時，以書面通知廠商出席測試之意願，如工程司未能按預定之時間和地點出席測試，則廠商得逕行測試、視同工程司已到場，並於測試後立刻將正式簽證之測試結果及相關資料之副本送交工程司。當永久性設備之任何部分通過工程司依契約規定所指定之測試，工程司應對該事實以書面給予廠商一份檢驗合格證明。除非先取得該證明，任何需測試之永久性設備不得組合或使用於本工程。在製造廠出廠前，工程司也有權檢驗永久性設備各部分之包裝情形。廠商應通知工程司預期包裝之永久性設備何時可以受檢。工程司應通知廠商是否放棄檢驗。如未放棄檢驗，除非針對永久性設備之該部分，由工程司發給廠商一份裝運證明，說明檢驗證明業已備妥，且包裝亦已經通過檢驗，否則永久性設備之任何部分皆不得出廠。

電聯車採用駐廠監造方式，其餘機電設備則採用品質稽查及廠測管制設備品質，並於機電設備運送至工地時，辦理查驗作業避免不合格設備進入工地。

### (一) 電聯車駐廠監造目的

1. 監督施工廠商是否依工程司核定之圖說施作。
2. 檢視施工廠商製程電銲、螺栓鎖固、噴漆及組裝等施作品質。

3. 要求施工廠商改正相關瑕疵並複檢其改正結果。
4. 參與並見證相關之製程檢測及出廠前檢測作業。
5. 確認相關檢測結果並簽署相關紀錄文件。
6. 掌握現場作業動態並推估其整體製程進度。
7. 查察施工廠商履約作為是否確實符合契約相關規定。

電聯車分製程前段及製程後段針對不同監造項目進行監造外，相關駐廠監造人員之派選，皆有訂定資格條件，以及駐廠期間應辦理之事項，工務所對駐廠人員所傳回之報告紀錄必須予以審查，並考核其監造成效。其他系統本局亦有派員針對原型機測試及廠測，其作業方式及相關規定皆大同小異。

## (二) 機電設備運送交付作業

設備到貨點驗係依據一般條款對永久性設備點收，及依特定條款對設備運抵工地，所進行之工程司目視檢驗。並於機電設備運送至工地時，辦理查驗作業避免不合格設備進入工地進行施工。本局亦訂定作業程序，以規範機電設備運抵工地時，本局相關人員應辦理事項。

## 六、安裝階段

施工廠商安裝完成應依契約自主檢查後，由工程處派員抽查或全面複查，車站及道旁設備安裝完成後，辦理相關會驗。

### (一) 契約要求

施工廠商應切實依工程司核定之品質計畫辦理本契約工程之品管工作，並於每施工階段完成其材料、設備及工程安裝、製造、施工自主檢查後，填報檢查表經工地授權代表及品管負責人或其授權之主管人員（應經工程司核定）簽認，並聲明表示施工廠商及其供應商使用於本工程之材料、設備及工程製造、安裝、施工均符合本契約規定（其屬重要施工項目者，應經依相關法規聘用之專任工程人員簽認）後送交工程司，工程司得進行抽查或全面複查，並俟工程司核可後，始得進行次一階段施工項目。每一工作項目完成時，施工廠商之品管負責人應會同工程司辦理完工審查，審查時該工作項目應予查驗。

### (二) 督工作業

藉由工地現場之督導查核，達成工程有效管控進度及安全衛生執行，並提昇捷運工程品質。其中重大缺失：係指(1)進度落後達5%以上且未做適當處置、(2)有重大品質瑕疵、(3)影響結構安全、(4)有立即發生危險之虞的安全衛生缺失項目。而一般缺失係指非為重大缺失之項目。

### (三) 控制重點

1. 依督工作業流程應先線上登錄預定督工行程，再執行督工查核。
2. 督工結果屬重大缺失項目，應依『督導查核缺失改善情形追蹤管制表』追蹤管制。
3. 缺失改善項目應檢附相關佐證資料辦理結案。
4. 工程處技術科應對年度內工程督導報告內容，進行分析及歸納作業，進一步研判及提出改進建議。

## 七、測試階段

測試為驗證廠商其細部設計是否符合契約，及設備製造及安裝是否符合契約。測試由施工廠商提送測試項目及程序，經審查通過後，由單機至單一車站/標到最後啟動區段或全系統模擬營運測試，需整合介面標、統包標之子系統介面間之申請、進場、人員與設備之安全管理作業，並配合臺北捷運公司行車規章進行測試。

契約要求：

### (一) 檢、試驗與測試

1. 施工廠商應依契約規定及工程司指示辦理檢試驗/測試工作，以確保全部工作符合本契約規定。
2. 為辦理本工程相關之檢試驗/測試工作，施工廠商得於工程司核定後，委託經工程司認可之檢試驗/測試機構提供服務。
3. 施工廠商辦理檢試驗/測試使用自有之試驗室，應將試驗室之人員、組織、作業程序與設備等於三十天前提報工程司代表核定。
4. 各檢試驗/測試日期應至少於檢試驗/測試七天前或工程司代表之指定天數通知工程司代表。
5. 工程司有權使用其自有或獨立試驗機構之試驗設備，以辦理查證檢試驗/測試及核對檢試驗/測試程序、技術與結果，並在施工廠商自行或委託他人辦理所有檢試驗/測試時，至現場監督。

### (二) 檢驗及測試

1. 設備檢測之要求，不論是在製造地點或在工地，均包含於適當之文件中。當不同契約所提供之設備於跨越介面之性能驗證時，應參考相關之特別技術規範（PTS）。此種情況下，工程司應與有關施工廠商連繫測試時間，並安排量測或評估受介面影響諸參數。
2. 所需之測試應遵照政府主管當局之檢驗測試程序及要求，以及相關之國家/國際法規與標準。本局亦可斟酌派遣其人員/檢驗員或檢驗專家以監督此種測試。
3. 工程司至製造地點監督之測試應儘量安排配合在一起，以便每次往訪能監督最多可能之測試。
4. 工程司保留下令由獨立代理人執行測試之權力，於此情況，施工廠商應負責測試用材料或物品之供應及運送，且一切相關之測試費用應由施工廠商負擔。

### (三) 測試計畫

此計畫之目的係確保施工廠商已考量本規範內之所有測試要求，並在整體計畫中已有充分準備以執行測試之程序。測試計畫之架構須能提供一完全整合之測試計畫。施工廠商須負責測試程序之規劃、整合及管理，並須提送予工程司核准。測試計畫至少須包含下列資料：

1. 流程圖表：表示測試邏輯程序之流程圖。此流程圖至少須包括自工廠組合測試起至全程計畫中必要之測試，至少應包括本節所訂之所有測試。此流程圖表應說明測試工作、設計審查、安裝里程碑與測試步驟送審間之關連。
2. 測試程序清單：送審之測試程序清單，應列明測試程序之編號及送審時程。
3. 測試樣品控制計畫（Test Specimen Control Plan）：說明施工廠商在全程計畫中測試樣品之型態控制系統，應包括零件清單、圖說、檢測記錄和維修記錄。

4. 測試組織說明：說明施工廠商在工廠及現場測試之組織；其中包括組織之成員和職掌。
5. 測試故障解決方法：說明解決測試問題所需依循之程序，故障再出現之控制方法和執行一般測試之基本規定。
6. 檢查清單：為利於檢視測試完成，於各測試程序中所應測試之重要事件清單。

#### (四) 測試程序

測試計畫核准後，施工廠商須提送詳細的測試程序供工程司審核。任何測試前，本測試程序須取得工程司核准，未獲得核准前不得實施測試。每一測試程序須至少包括下列需求：

1. 測試目的；
2. 測試環境條件；
3. 測試樣品之詳細說明，包括圖說，零件號碼、檢測記錄和維修記錄；
4. 詳細的測試程序；
5. 測試設備，包括所有測量設備及任何因執行本測試所須的額外設備，並提供測試配置圖；
6. 通過/失敗的測試標準值；
7. 重新測試之程序；
8. 人員要求和資格；
9. 若有必要，須說明本捷運局所須提供支援的設施及人員；
10. 在測試期間預防維修之等級和時程；
11. 測試資料表之格式；
12. 資料評估步驟。

#### (五) 測試報告

施工廠商應於每項測試完成後，儘快準備六份測試報告，不論其是否經由工程司或其代表目擊驗證，應將該六份報告送交捷運局。若工程司或其代表參與目擊測試，其將連署測試報告並表明其同意或其它意見。若工程司或其代表未參與目視測試，但其結果與讀數令人滿意，其將送還施工廠商一份測試報告，並附帶一份書面通知，表明其對該測試以及測試結果與讀數之同意，而與該測試有關之契約要求，其對照之條款號碼應於測試報告中明白陳述。

#### (六) 拒絕之權利

工程司應有權拒絕所有不合格之材料或工作，並要求工程之重作和修改，費用由施工廠商負擔。

#### (七) 施工廠商提報竣工

##### 1. 會驗

當本系統工程標一個或數個車站或經工程司認可為一獨立且完整之子系統施工項目安裝完成後，施工廠商應通知工程司參與其安裝測試。完成特別技術規範規定應執行之安裝測試（或系統測試）後，施工廠商應準備妥當並事先通知工程司俾供業主及有關機關辦理會驗。工程司於接獲施工廠商會驗通知後，應安排於30天內辦理會驗。會驗時將檢查每一車站的測試報告，所有安裝項目之功能測試及目視檢驗。在會驗中若發現工程或測試報告有任何瑕疵，施工廠商應儘速改正此瑕疵。當所有瑕疵完成修正之後，施工廠商應通知工程司辦理複驗。此複驗需至上述瑕疵完全改正至工程司滿意為止。

##### 2. 工程實質完工

當所有本系統工程之各子系統工程項目，依據特別技術規範順利完成會驗後，施

工廠商須依照特別技術規範規定執行實質完工前應完成之各項測試及營運前之先期運轉（包括動態測試）。施工廠商須立即改正工程司所指定之瑕疵。當完成各系統動態測試後，將在模擬營運的狀態下，順利完成以號誌系統為主軸的整合測試。施工廠商應於開始執行動態和整合測試前，通知業主。施工廠商應全程負責執行、督導和協同控制本系統施工廠商及所有其他關連施工廠商依特別技術規範規定及關連施工廠商契約條款之規定及工程司所要求的整個測試過程。本系統有任何項目無法圓滿達成特別技術規範中動態及整合測試之規定，施工廠商應在工程司的同意下，重新設計、更換和修正所有缺失項目，直至工程司滿意為止，才可重新開始動態和整合測試，所產生之費用由施工廠商自行負擔。當完成系統動態和整合測試項目且測試報告經工程司核定，並經目視檢驗後工程司將確認本契約已達實質完工。

### 3. 營運前試車支援

在商業營運前，業主將在模擬營運條件下進行所有機電設施整合之全線營運前試車。此營運前試車將於商業營運日前完成，且施工廠商必需提供工程司所需之所有支援及完成訓練服務。

### 4. 營運可靠度及維修度驗證

開始營運通車之最初九十天為試用調整期。施工廠商應於試用調整期屆滿時依特別技術規範之規定進行營運可靠度及維修度驗證。施工廠商得對部分或全線之試用調整期予以縮短俾提早辦理營運可靠度及維修度驗證，惟此情況應俟工程司書面核准後始得辦理。施工廠商驗證之結果必須達到或超過契約規範最低之要求標準。若驗證結果無法達到上述標準，則需重新設計並改善此工程至工程司滿意之程度，並對此工程重做上述之驗證，直到驗證結果達到要求標準。在驗證期間，施工廠商提送之驗證報告應包括機電系統工程之全部性能資料。本驗證應於契約規定之竣工日前完成。

### 5. 施工廠商提報竣工

施工廠商認為全部工程，包括圓滿達成營運可靠度及維修度驗證、系統動態及整合測試；備品、特殊工具、測試設備的運抵並經驗收；訓練服務完成；工地清理、地面復舊及公共設施修復，皆可於三十天內完成時，應通知工程司，並依契約規定提供完整文件之清單，同時列出未完成工作項目之文件及預定完成日期。工程司應即派員會同相關單位及施工廠商辦理會勘以確定是否竣工。如確定全部工作項目皆已完成，則施工廠商提報之竣工日即視為實際竣工日，否則應依約繼續進行本工程並重新提報竣工。

## 八、工程檢查與系統穩定性測試

本局為驗證整體工程之功能符合契約規定、營運需求，以及系統穩定性已達規定，而額外辦理契約外之工程檢查及系統穩定性測試。

### (一) 工程檢查

工程檢查係以本局主辦之工程為檢查內容，由本局及臺北捷運公司派員組成檢查小組，依土木建築、軌道、車站設施及水電環控、系統工程等工程之特性進行檢查，以確認相關軟體設備功能符合契約規範，俾及早進行改善作業。相關規定：

### 1. 檢查定位

工程檢查之進行不免除工程處監造及品管之權責。工程檢查之結果不作為驗收依據。工程檢查之方向係以營運安全、乘客使用及後續維修之角度檢視工程之完整性。

### 2. 檢查內容涵蓋

土木建築：車站、隧道、軌道等之土木結構及建築裝修等。系統工程：電聯車、號誌、供電、通訊、自動收費等，除個別系統之檢查外，並須查驗與介面標及既有系統之相容性。

水電環控及車站設施：車站內電梯、電扶梯、水電、空調、照明、消防等設施設備，隧道內照明、通風及消防安全設施，以及站體外之人行步道、無障礙人行設施等。

### 3. 各受檢單位自主性檢查

各工程處參酌工務管理處企業網頁提供之自主檢查表範例，依所主辦之工程特性自行研擬適用之項目進行檢查，並將檢查結果提送工作小組上傳企業網站，自主檢查之缺失項目由各工程處自行控管至結案。

### 4. 工程檢查委員之檢查

書面文件檢閱，含各類調查報告、計算書、設計文件及測試報告等現場勘查/模擬測試/會議研討。

### 5. 執行流程

- (1) 檢查小組進行檢查後，其建議改善項目由工作小組製成分辦表，由受檢工程處填報辦理情形及預定完成時間回覆，以送請檢查委員複查。
- (2) 對於須改善作業屬契約範圍內之項目者，由工程處責成廠商儘早辦理；若涉及變更設計，則依本局程序辦理變更。
- (3) 檢查作業執行階段由總召集人定期召開會議，由檢查委員報告執行狀況，受檢單位則就各項改善作業辦理情形提出報告。
- (4) 工程檢查進行中，各建議改善項目由工作小組持續列管至結案
- (5) 工檢報告書編印後，針對未結案件應由受檢工程處持續列管追蹤至結案，並應於初勘時提出書面補充資料。

## (二) 系統穩定性測試

系統穩定性測試係依據交通部99年7月23日頒佈布之「大眾捷運系統履勘作業要點」，暨交通部102年7月4日交路字第1025009258號函核定之「信義線系統穩定性測試計算方式及基準」辦理。本通車路段之系統工程已於102年7月6日至102年9月7日間，完成本案之系統穩定性測試。參與單位如下：

#### 1. 臺北捷運公司

負責測試期間之操作及例行檢修（諸如測試運轉時刻表下載、司機員、行控中心、機廠控制員與各車站站務人員安排、調度及測試期間之故障排除等）與資料提供。

#### 2. 本局

負責試運轉期間之監督（含缺失改善）、參與會議並協調各地區工程處配合辦理。

#### 3. 本局機電系統工程處

測試期間之監督、協調與會議召開及提供測試電費之支付等。另於行控中心設置聯絡人員，以利整體測試作業之進行。

#### 4. 核心標施工廠商

提供技術支援（含行控中心、機廠及各連鎖重點車站人力派駐）、故障處理、排除及測試期間發生缺失項目之改善。另廠商亦配合成立「緊急故障排除待命小組」。

#### (三) 系統穩定性測試執行方式

本次系統穩定性測試為避免影響旅客搭乘權益，係採夜間非營運時段測試方式進行；基於臺北捷運公司日常維修需要，並以隔天且每週進行4天之測試方式，於營運結束後，依營運班表執行尖峰和離峰模式之驗證，以累積系統穩定性測試之尖峰離峰時數，完成本案之系統穩定性測試；另為避免夜間測試噪音擾民，夜間測試區段自象山站（R05）至民權西路站（R16）。至於民權西路站（R16）至北投站（R26）因屬已營運路線，且係屬既有設備，僅行車控制中心電腦及軟體更新，俟其更新完成後再提列連續7天試營運紀錄資料供初履勘時檢視。

#### (四) 綜合評論

##### 1. 系統可用度

本次穩定性測試期間，因故障所造成5分鐘以上之延誤共0次，5分鐘以下之延誤共1次，系統可用度達99.97%，已符合交通部新頒布之「大眾捷運系統履勘作業要點」規定暨交通部102年7月4日核定之「信義線系統穩定性測試計算方式及基準」所規定「系統可用度達99%以上，且延誤5分鐘以上事件不得超過2件」之測試指標。

##### 2. 平均列車妥善率

本穩定性測試期間，累計每日可用車組數為1360列，累計每日全車隊車組為1309列，平均列車妥善率達96.25%，已符合交通部新頒布之「大眾捷運系統履勘作業要點」規定暨交通部核定之「信義線系統穩定性測試計算方式及基準」所規定之測試指標。

##### 3. 總結

依據交通部99年7月23日修定之「大眾捷運系統履勘作業要點」規定暨交通部102年7月4日1025009258號函同意之「信義線系統穩定性測試計算方式及基準」，本次系統穩定性測試尖峰共測試8天，計32小時（最少應執行31.5小時），離峰共測試26天，計102小時（最少應執行101.5小時），合計測試34天，已執行達134小時（最少應執行133小時），執行率達100.75%，符合交通部之要求。本次信義線之系統穩定性測試數據為：系統可用度99.97%、平均列車妥善率96.25%，已符合「大眾捷運系統履勘作業要點」規定，並達成預期目標。

## 九、結語

本文介紹信義線之機電系統驗證與認證，依前述本局品管政策作為執行依據，全面品質管理系統權責區分為：

- (一) 本局所屬工程處（南區工程處及機電系統工程處）執行工程監造相關作業。
- (二) 品保處除規劃建置本局與廠商遵循之品質管理系統外，並執行稽查/查驗作業。
- (三) 工務管理處執行施工階段督管作業。
- (四) 機電系統設計處為工程規劃設計階段之品質管理作業單位，執行機電核心系統基本設計、細部設計及驗證測試結果審查。
- (五) 土木建築設計處為工程規劃設計階段之品質管理作業單位，執行環境控制系統工程細部設計審查。

本局對信義線之機電系統驗證與認證項目，均已依照經ISO 9001驗證通過之本局品質管理系統權責及內部查核監督機制，完成機電系統相關文件之審查及核定。另本局外部單位臺北捷運公司皆協助參與相關設計文件審查、測試及工程檢查，工程施工階段，包括交通部、公共工程委員會及臺北市政府等上級單位之工程施工查核小組，亦針對本工程予以施工查核。在此多重審核制度下，已達成驗證與認證之目的，並符合各契約規範，落實本局品管之政策。另依政府法規規定，車站均已完成消防檢查，部分工程標亦已委外完成專業技師簽證。信義線之機電系統驗證與認證報告並納入初、履勘受檢文件中，接受初、履勘委員之檢查。

## 參考文獻

1. 交通部(99年7月23日)，大眾捷運系統履勘作業要點。
2. 臺北市政府捷運工程局(102年)，臺北捷運系統捷運信義線中正紀念堂站至象山站機電系統驗證與認證報告。
3. 臺北市政府捷運工程局，臺北都會區大眾捷運系統信義線之特別技術規範。
4. 臺北市政府捷運工程局，臺北都會區大眾捷運系統信義線之一般技術規範。
5. 臺北市政府捷運工程局，工務管理使用手冊。
6. 臺北市政府捷運工程局，品質管理系統。
7. 臺北市政府捷運工程局，臺北捷運系統信義線工程檢查報告。
8. 臺北市政府捷運工程局，信義線系統穩定性測試報告。