

無線通訊式列車控制 (CBTC) 系統 國際規範 IEEE1474 系列導讀

林逸群* 陳世平** 魏德輝*** 黃劉乾**** 廖正堅***** 邱偉銘*****

摘要

隨著科技的快速發展與普及，鐵路號誌及行車控制系統已從早期由燈號與軌道電路控制的固定式軌道區間，演進成為目前最先進之通訊式列車控制 (CBTC) 系統，以符合現今大都會區的通勤生態需求。通訊式列車控制 (CBTC) 系統強調可增加路線容量、縮短行車間距、減少軌旁設備數量及保養維修費用，且對於更新現有營運中號誌系統較不會造成太大的衝擊，因此電機電子工程師學會 (IEEE) 為無線通訊式列車控制 (CBTC) 系統頒布 IEEE1474 系列作為參考規範，本文欲針對此國際規範做簡略的概述及導讀，以供國內軌道相關興建、營運及顧問服務機構參考。

關鍵字：CBTC、IEEE、行車間距、區域控制器、軌道電路、車載控制器

一、前言

IEEE1474 系列共分為以下 4 個部分：

1. IEEE1474.1 通訊式列車控制系統性能及功能要求規範 (IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements)
2. IEEE1474.2 通訊式列車控制系統使用者介面需求規範 (IEEE Standard for User Interface Requirements in Communications-Based Train Control (CBTC) Systems)
3. IEEE1474.3 通訊式列車控制系統的設計和功能分配 (IEEE Recommended Practice for

Communications-Based Train Control (CBTC) System Design and Functional Allocations)

4. IEEE1474.4 通訊式列車控制系統系統的功能測試。(IEEE Recommended Practice for Functional Testing of a Communications-Based Train Control (CBTC) System)

這 4 份規範雖然歸納為一個系列但並非在同一時間頒布，電機電子工程師學會 (IEEE) 最早於 1999 年頒布了 IEEE1474.1 (2004 年再版)，相較於早期的固定式閉塞號誌系統，這也是最早對新一代號誌控制系統所頒布的規範；2003 年頒布 IEEE1474.2，2008 年頒布 IEEE1474.3，最後在 2011 年頒布 IEEE1474.4。

* 新北市政府捷運工程局副總工程司
** 新北市政府捷運工程局股長
*** 中興工程顧問公司副總工程師兼工程處經理
**** 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處副經理
***** 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處工程師
***** 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處組長

每份規範在名稱上直接敘明欲闡述的內容及範圍，在規範實際的引用上不致發生誤用之疑慮，尤其以專業管理顧問工作在各公共工程所扮演的角色而言，對規範的正確引用非常重要，而這一系列的 CBTC 規範在國際軌道業界，也是專業人士在其各自工作領域上所奉行的圭臬。

二、IEEE1474.1 規範概述

電機電子工程師學會 (IEEE) 於 1999 年頒布了 IEEE1474.1 規範，為 CBTC 系統提高可用性，可操作和行車保護，且建立了一套性能和功能要求。本規範共分為 6 個章節。第 1 章描述本規範的目的及其適用範圍；第 2 章列出了本規範應用時相關的參考文獻；第 3 章將規範中所引用的相關名詞進行說明和定義；第 4 章定義了 CBTC 系統的基本需求，包括系統特性、分類、適用範圍及支援車輛配置、操作模式，另針對車輛進出 CBTC 區域應有的限制條件及速度均提出基本說明；第 5 章是以影響行車間距的因素、影響運轉時間的因素、系統安全性需求、系統保證需求以及環境需求等 5 個部分來定義 CBTC 系統的性能要求，本章對於營運需求、運轉模式、行車間距之間的相互關係及責任界定都有詳盡的描述；第 6 章定義了 CBTC 系統的功能需求，包括列車自動防護 (ATP) 功能、列車自動駕駛 (ATO) 功能、列車自動監控 (ATS) 功能。

本規範在第 4 章對 CBTC 系統做出了明確的定義，主要特徵包括以下部分：

1. 不需要軌道電路的高解析度列車定位
(High-Resolution Train Location Determination, Independent of Track Circuits)
2. 於列車與道旁設備提供雙向連續及大容量資料通訊傳輸
(Continuous, High Capacity, Bidirectional Train-to-Wayside Data Communications)

3. 車載和道旁設備相關處理器具有維生功能
(Train-Borne and Wayside Processors Performing Vital Functions)

該規範認為 CBTC 系統可根據特定的應用要求，有不同的配置。例如 CBTC 系統可以為：

1. 只提供 ATP 功能，沒有 ATO 和 ATS 功能。
2. 提供 ATP 功能，以及某些 ATS 和 (或) ATO 功能，能夠滿足特定應用的操作需求。
3. 於具體的應用中，可作為唯一的列車控制系統，或可以與其他道旁輔助系統結合使用。

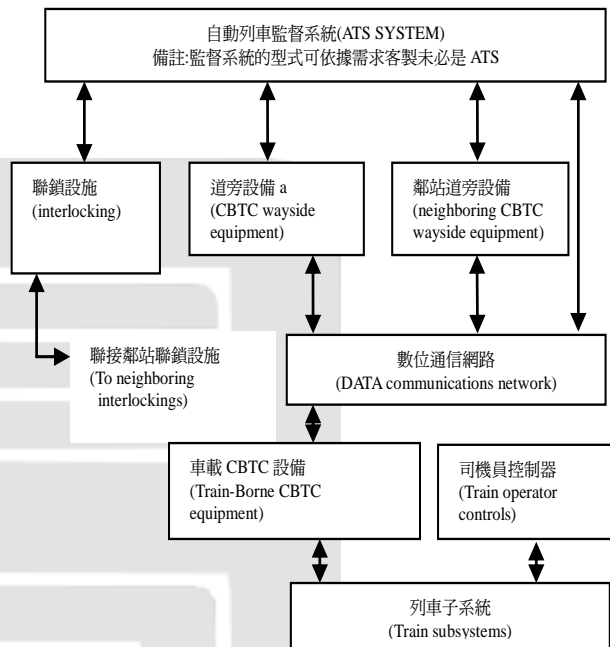


圖 1 典型 CBTC 系統的實例原理框圖
(含 ATS 及 ATO)

本規範定義的 CBTC 性能和功能需求可以滿足所有系統應用，包括輕軌、高運量列車、通勤火車等，也可以應用於其他運輸系統，例如使用 CBTC 做為自動列車控制的 APM (Automated People Movers) 系統。

而第 5 章則強調了 CBTC 系統的性能要求，包含有 5 個小節分別就系統性能、安全評估、系統保證以及環境需求等詳細敘述，對於影響行車

間距原因之內容，應包含位置、速度、通訊延遲、設備運轉時間、性能限制及速度管理方法等；對於系統安全需求，須建立系統安全程序、提供危害識別辨識與評估、設計維生功能、可證明的安全性能定量、驗證系統安全設計原則等作業原則；對於系統保證需求，應包含故障分類，且對於系統可用性、可靠性、可維修性及設計年限等需求均應於設計過程及後續認證作業提出相關佐證資料，其中在 CBTC 系統的計畫/設計階段開始建立系統的安全計畫 (System Safety Program Plan, SSPP)，並串連系統的整個生命週期，甚為重要。且 CBTC 系統的安全計畫應以一系統層級的思維來確定和解決危害，以避免事故，且系統安全工作計畫應完整反映在每一個 CBTC 的應用中。

在第 6 章的 CBTC 系統的功能需求中，主要敘述 ATP、ATO 和 ATS 之功能，並強調 ATP 功能必須滿足故障自趨安全原則，以防止列車碰撞、超速和其他危害，ATP 功能的優先順序將高於 ATO 和 ATS。ATO 是在 ATP 的保護下達成基本的列車駕駛功能，而 ATS 則提供系統狀態及監控系統之各種自動控制功能。在 CBTC 系統中列車對道旁通訊界面必須滿足所有的 ATP、ATO 和 ATS 功能資料傳輸的需要。傳輸設備之連結必須覆蓋整個 CBTC 區域，並支援列車於隧道段、地面段及高架段路段運行。對於 CBTC 資料傳輸方式必須是雙向、低延遲以滿足完整功能需求，且列車控制訊息傳輸之通訊協議架構必須是安全、即時、保密的。對於輔助列車定位的要求也做出以下說明，可以依據規範要求，對於沒有 CBTC 車載設備或若發生車載設備失效的列車，道旁設備應能提供輔助列車定位功能，但不需要在定位精度和解析度功能上，達到與具備 CBTC 列車相同的水準。另本章提出了一個重點，任何一種 CBTC 之研發對於列車安全煞車模式所考量之因素應包含下列：

1. 前方列車位置的不確定性 (包括溜逸公差)
2. 後方跟隨列車位置的不確定性
3. 列車長度
4. 列車的編組配置
5. 系統容許的超速限制
6. CBTC 最大測速誤差
7. 系統的反應時間和延遲
8. 系統偵測到超速時列车的最大加速度
9. CBTC 系統當發生列車超速時，停止牽引動力及實施緊急煞車的最差反應時間
10. 在最不利條件下保證列車緊急煞車率 (Guaranteed Emergency Brake Rate, GEBR)
11. 線路坡度

表 1 CBTC 系統的設計參數表

參數	範圍
單一道旁處理器所管轄的最大列車數	10~40 輛
列車位置偵測分辨率 (用於建立後續列車 ATP 防護的最大列車位置誤差)	±0.25~6.25m
正常運行時 (非降級模式) 列車位置偵測精度 (也就是 ATP 防護的最大列車位置誤差)	±5~10m
未安裝月台門的狀況下，列車 (ATO) 停車靠站時列車位置精度	0.25m
安裝月台門的狀況下，列車 (ATO) 停車靠站時列車位置精度	0.05m
列車放行授權分辨率	±0.25~6.25m
ATP 列車速度偵測分辨率	±0.5~5km/h
ATP 列車速度偵測精準度	±0.3km/h
車載對道旁的通信延遲容許度	0.5~2 Sec.
道旁對車載的通信延遲容許度	0.5~2 Sec.
道旁 CBTC 設備反應時間	0.07~1 Sec.
車載 CBTC 設備反應時間	0.07~0.75 Sec.
溜逸 (列車回滑) 判定標準	0.5~2m
零速偵測判定標準	< 1km/h to 3km/h < for 2 Sec.

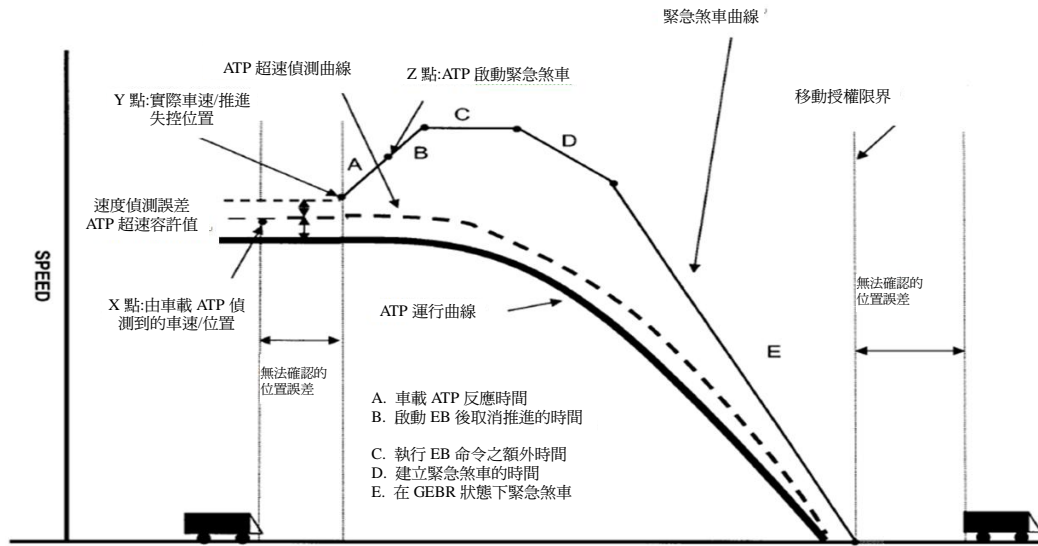


圖 2 CBTC 安全煞車模式示意圖

其中 GEBR 在考慮了環境因素和潛在煞車裝置失效的最壞情形下的煞車效能，是預期可以達到的列車最小緊急煞車率。而列車緊急煞車率應由功能需求規定，在最不利條件下的 GEBR 應考慮最大的載客量、最小的附著力和最大的順風風力等因素。其餘對於超速防護、溜逸防護、軌道末端防護、列車聯掛、列車零速偵測、車門控制防護、發車聯鎖、緊急剎車、連鎖區控制、反向運轉、工作區防護、斷軌偵測等相關功能敘述均於此章節中規範。章節後段也對於 ATO、ATS 功能及其相關介面需求，有詳細的說明及律定，可依各種不同的功能規範參考運用。

三、IEEE1474.2 規範概述

IEEE1474.2 通訊式列車控制系統 CBTC 使用者介面需求規範於 2003 年頒布，該規範明確地定義了通訊式列車控制系統 CBTC 子系統的使用者介面要求。本規範有 7 個章節，第 1 章描述本規範的目的及其適用範圍；第 2 章列出了本規範應用時相關的參考文獻；第 3 章將規範中所引用的相關名詞進行說明和定義；第 4 章定義了適用於有搭載和未搭載 CBTC 車載子系統的一般使用者

界面要求，內容包括營運調度和維修作業支援功能；第 5 章列出 CBTC 車載子系統的特定使用者界面要求，包括應顯示的訊息，以及以何種方式顯示這些訊息的指導原則，並特別強調操作功能；第 6 章列出未搭載 CBTC 車載子系統的模擬使用者界面要求；第 7 章說明適用於 CBTC 子系統進行維修診斷時的使用者界面要求。其目的為使用者提供一致的界面，利用 CBTC 系統的特性來提高軌道交通系統的服務效率，並且適用於包括輕軌，高運量和通勤軌道交通系統在內的所有交通運輸之應用。

規範中特別針對 CBTC 的一般使用者界面在人因工程定義了以下目的：

1. 在系統正常和出現異常時優化操作的狀況，協助和提高使用者的工作效能。
2. 使得訊息展現能與人機互動達到視覺上簡潔和一致性的設計。
3. 所有的界面和顯示須符合直觀反應，以便以最少的訓練過程，使得使用者能按照預期的操作使用該系統。
4. 以符合使用者技術水準的方式來支援使用者需求。

此規範對 CBTC 系統所需之界面描述甚為詳盡，舉凡對於資訊顯示的顏色、告警聲響的頻率和音量、使用者輸入反饋要求以及警報和建議訊息要求都有清楚的規定，更涵蓋營運及維修需求所需顯示資訊的定義（詳見規範第 7 章）。

四、IEEE1474.3 規範概述

IEEE1474.3 通訊式列車控制系統（CBTC）的設計和功能分配規範頒布於 2008 年，其目的在將每個已辨識完成的 ATP、ATO 和 ATS 功能透過設計的規劃分配到每個 CBTC 子系統中，共分為 9 個章節，第 1 章描述本規範的目的及其適用範圍；第 2 章列出了本規範應用時相關的參考文獻；第 3 章提供了本章節所適用之術語和定義；有關其他 CBTC 相關定義，另請參閱 IEEE Std 1474.1-2004，本規範中未定義的術語應引用 IEEE 標準術語詞典；第 4 章提供應用範圍、操作模式及故障管理；第 5 章定義了 CBTC 系統的整體系統結構、各關聯系統設備、操作原理和外部界面需求等；第 6 章定義了 CBTC 系統之自動列車保護(ATP)子系統詳細的功能要求，並涵蓋為 CBTC 所有子系統分配的子功能；第 7 章定義了自動列車操作 (ATO) 子系統的配置；第 8 章定義了自動列車監督 (ATS) 子系統的配置；第 9 條總結了 CBTC 子系統之間的主要數據傳輸內容。

在本規範第 5 章中提出一個 CBTC 系統應包括以下主要子系統：（與 IEEE1474.1 相呼應）

1. CBTC ATS 設備 (CBTC ATS Equipment)
2. CBTC 道旁設備 (CBTC Wayside Equipment)
3. CBTC 車載設備 (CBTC Train-Borne Equipment)
4. CBTC 數位通訊設備 (CBTC Data Communications Equipment)

CBTC 系統與外部獨立的聯鎖子系統和其他可能的外部道旁設備都設有界面，可參考本規範

之 5.3.1 節—CBTC 道旁設備可能包括聯鎖功能（經需求單位核定後）。

需特別一提的是，CBTC 系統雖然從名稱是就清楚讓人知道是以通訊為基礎架構的號誌控制系統，但在本規範之 5.1.4 節中特別指出：CBTC 的數位通訊設備本身不應該執行任何 CBTC 功能，也不需要是安全的。其意義就是要讓所有欲應用這項技術的單位理解，號誌控制系統的所有維生、故障自趨保護等核心的功能要求，仍然是在 ATP 子系統上確實執行，一旦 CBTC 系統的通訊異常時應可調整為降級營運模式，不致產生任何營運安全之疑慮。

本章也指出 CBTC 系統的操作原則應包括：

1. 不依賴於軌道電路，通過 CBTC 車載設備，進行高解析度的列車定位。
2. 列車位置資訊和其他列車狀態資料是通過搭載 CBTC 之列車對道旁數位通訊鏈路傳輸給 CBTC 道旁設備。
3. 道旁設備為每列搭載 CBTC 之列車確定允行授權，基於其列車位置資訊、外部聯鎖的輸入資訊（包括輔助列車檢測系統，如果有設置的話）和其他能夠檢測到危害列車運行的外部設備。
4. 透過 CBTC 道旁對列車的數位通訊連接，將允行授權和其他列車控制資料傳送給適當的列車。
5. 透過 CBTC 車載設備確定和執行 ATP 運行曲線。
6. 傳遞 CBTC 道旁設備到外部聯鎖必須的命令（用於調整聯鎖區功能），及外部聯鎖設備的狀態到 CBTC 道旁設備，以支援 CBTC 系統營運。
7. 傳輸 CBTC 道旁控制器必要的資訊至相鄰道旁控制器，以支援其他不受干預的列車控制。
8. 建置於同一列車內的多套 CBTC 車載設備之間必要資訊能互相傳遞，用於支援整個 CBTC 系統的運作。

在本規範的第 6 章敘明 IEEE1474-1 標準中對 CBTC 系統之自動列車保護 (ATP) 由以下主要功能組成：

1. 列車定位 (Train Location Determination)
2. 安全路徑測定的範圍 (Limit of Safe Route Determination)
3. 移動界限保護和目標點偵測 (Limit of Movement Protection and Target Point Determination)
4. ATP 運行曲線的確認 (ATP Profile Determination)
5. 授權速度的確認 (Authorized Speed Determination)
6. 列車實際速度/運行方向の確認 (Actual Train Speed/Travel Direction Determination)
7. 監督/執行授權速度 (Supervise/Enforce Authorized Speed)
8. 車門控制聯鎖 (Door Control Interlocks)
9. 外部聯鎖命令 (External Interlocking Commands)
10. 平交道口報警裝置控制/監控 (Highway Grade Crossing Warning Device Control/Supervision)
11. 車載 ATP 使用者界面 (Train-Borne ATP User Interfaces)
12. 固定的 ATP 資料管理 (Fixed ATP Data Management)

是一個強制性的功能, CBTC 車載設備通過使用來自 CBTC 道旁設備的輸入資料來執行此功能。在這個例子中, CBTC 的 ATS 設備和 CBTC 車載設備接收和使用功能輸出的資料。規範透過表格的設計讓設計人員能更清楚了解各個子系統中相關功能的相互關係, 彼此之從屬位置和影響, 這些表格同時也被後續的 IEEE 1474.4 大量的引用, 但這是規範所給出的建議, 需求單位可依各路線的實際需求修訂。

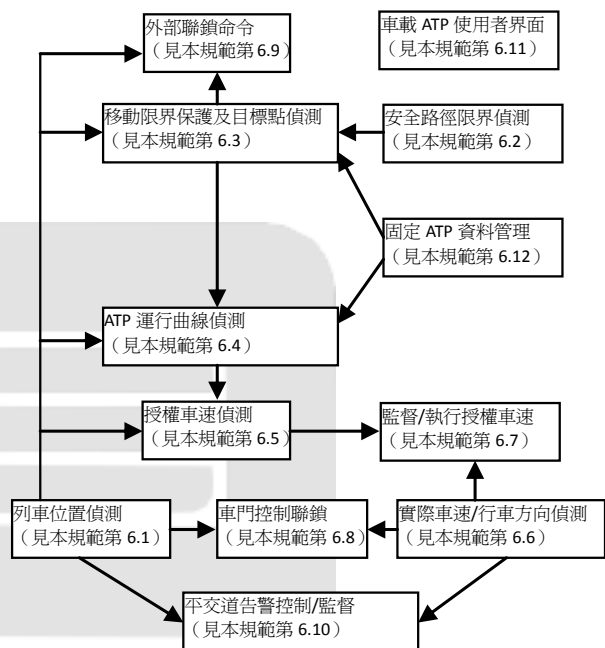


圖 3 ATP 主要功能間的整體關係圖

表 2 本規範功能描述表一例

圖 3 總結了 ATP 主要功能之間的整體關係。後續的章節中 (第 7、8、9 章) 更詳細的描述了 CBTC 子系統之間的資料流程。CBTC ATS、CBTC 道旁設備及 CBTC 車載設備間所有的資料流程都應經由 CBTC 數位通訊設備執行。規範也從第 6 章開始以表格的方式來表述各個子系統內的功能, 針對其負責的子系統、功能屬性、是否為 CBTC 的強制需求、資料的輸入來源、輸出對象及引 (適) 用的規範來源都做出清楚的界定, 舉例在下面的表 2 中, 子功能 6. x. y. z

Subfunction#6.x.y.z: Inserted here is the name of the subfunction				
Inserted here is the requirement to be performed by the subfunction, as stated in or derived from Std 1474.1-2004 or IEEE Std 1474.2-2003				
Mandatory	X	Optional	Vital	Nonvital
Functional Allocation				
	Subsystem providing input	Subsystem performing subfunction	Subsystem receiving output	
	CBTC ATS equipment		X	
	CBTC wayside	X'		
	CBTC train-borne (External)		X	X
Notes:				
NOTE 1—Inserted here are any notes, where the note is referenced to a superscript in this table				
References: Inserted here are any references to IEEE Std 1474.1-2004 or IEEE Std 1474.2-2003.				

第 7 章是 CBTC 系統之自動列車駕駛 (ATO) 系統的要求，對有操作人員 (駕駛員) 的列車，ATO 功能是一種選項的功能，可以依需求單位功能需求所規範，本功能也可以包括抑制在特定區域的 ATO 操作；對於無人駕駛列車，ATO 功能則是強制執行的。

在本規範在 IEEE1474-1 定義的標準中對 ATO 子系統由以下主要功能組成：

1. 確認 ATO 運行曲線 (Determine ATO Profile)
2. 確認列車停靠地點 (Determine Train Berthing Location)
3. 調節列車速度 (Regulate Train Speed)
4. 車門控制 (Door Control)
5. 車載資料顯示界面 (Train-Borne Display Data Interface)

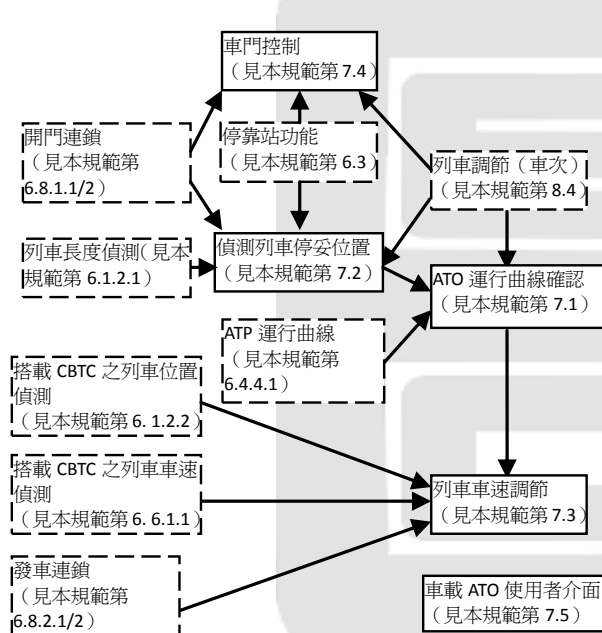


圖 4 本規範中主要的 ATO 子功能連結圖

本規範的第 8 章一開頭便指出，CBTC 系統得介接到 ATS 子系統或與其整合，與 CBTC 系統相關聯的 ATS 子系統在本章節中的定義，應完全與其他傳統的 ATS 子系統的功能整合，而其他無關 ATS 子系統的功能，這個部分可由需求單位

的指定，提供一致性的使用者界面用來支援交通系統全面的營運管理。

在 IEEE1474-1 就定義了規範中對 ATS 子系統之要求，由以下主要功能組成：

1. 列車識別 (Train Identification)
2. 列車追蹤 (Train Tracking)
3. 列車路徑 (Train Routing)
4. 自動列車 (車次) 調節 (Automatic Train Regulation)
5. 靠站功能 (Station Stop Functions)
6. 限制的列車運行 (Restricting Train Operations)
7. 旅客資訊系統界面 (Passenger Information System Interfaces)
8. 故障報告 (Fault Reporting)
9. 使用者界面 (ATS User Interfaces)

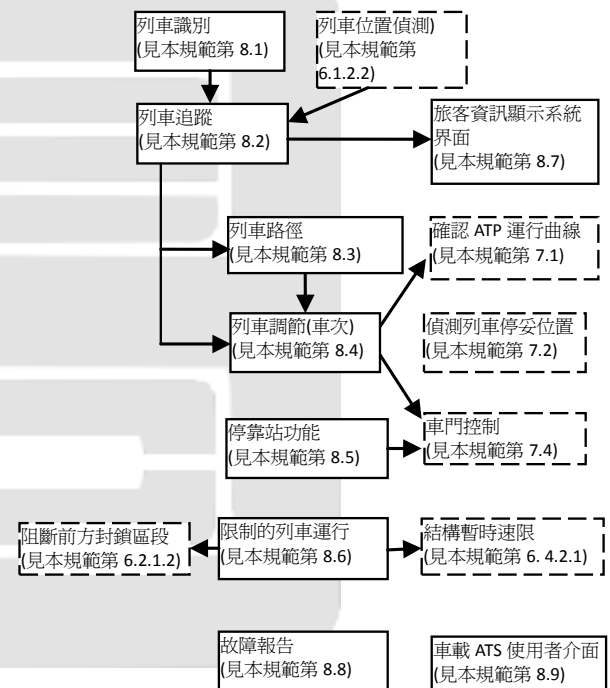


圖 5 本規範中主要的 ATS 子功能連結圖

第 9 章總結第 6 章到 8 章中所有提及的 CBTC 子系統間的功能配置中，所有資料流程的定義，並以對照表的方式呈現，方便使用者對照引用。(詳表 3)

表 3 本規範資料流程表-例

9.1.1	From CBTC ATS	To CBTC wayside
Data	Subfunction generating data	Subfunction receiving data
Temporary speed restrictions *	8.6.2.1	6.4.2.1
Route/section blocking	8.6.3.1	6.1.4.4 6.2.1.5
Work zones	8.6.4.1	7.1.1.1

五、IEEE1474.4 規範概述

本規範為 CBTC 系統的功能測試建立了一個較佳的建議執行方式。規範的第 1 章描述本規範的目的及其適用範圍；第 2 章列出了本規範應用時相關的參考文獻；第 3 章提供了本章節所適用之術語和定義；第 4 章描述了 CBTC 系統和典型應用的基本特性；第 5 章概述了整個建議的測試流程；第 6 章提供了工廠測試（出廠測試）的執行方式；第 7 章提供了測試軌測試的執行方式。第 8 章提供了現地功能測試的執行方式。

本規範第 4 章由 CBTC 系統的特點和實際應用為出發點，開始設定這份測試規範的建議做法。

在 CBTC 系統的特點本規範直接引用了 IEEE1474.1 所定義的 CBTC 系統的主要特徵。

1. 不需要軌道電路的高解析度列車定位。
2. 於列車與道旁設備提供雙向連續及大容量資料通訊傳輸。
3. 車載和道旁設備相關處理器具有維生功能。

這些主要特徵對功能測試過程會產生以下對應的影響：

- (1) 不需要軌道電路的高解析度列車定位：由於列車位置的確定不依賴於固定式軌道電路，因此在 CBTC 功能測試過程中將反映，替代的控制策略將可以被驗證（列車移動範圍不受限於固定式軌道電路實體的界限）。

- (2) 列車與道旁設備提供雙向連續及大容量資料通訊傳輸：將列車地理位置相關資料連續雙向的傳輸至道旁所採用的數據通訊網絡，其性能和可用度對於 CBTC 的運作非常重要。因此，網路系統的性能和可用度（包括網絡穩定性，數據鏈接頻寬和資料延遲等）須成為系統層級之功能測試的一部分，必須得到驗證，並在必要時，透過分析得到工廠或現場不易展現的較差情況。

- (3) 車載及道旁的維生處理器：配置在列車車載和道旁的維生處理器，掌握了列車狀態和控制數據並提供連續的自動列車保護（ATP），自動列車運行（ATO）和自動列車監視（ATS）等子系統功能，上述這些功能通常會被高度整合的，因此最終的功能測試必須在系統層級執行，必須先確認所有主要的子系統都可以正常運作後，再進行整合最終可以執行多列車輛運行；CBTC 系統通常還包括一定程度的備援系統（計畫），以實現所需滿足的高系統可用度特性。

- (4) 實際應用上的特定需求：不同的系統（專案）有其特定路線數據（即基礎設施數據（土建），如線形，坡度，車站位置等，以及特定於列車的數據，如煞車率和反應時間等），其正確性以及是否已正確應用在系統數據庫中，也應該被驗證為功能測試過程的一個要素。

測試工作最主要的目的就是去驗證該系統能完全達到設計的要求，第 5 章整體測試過程建議的做法只涉及到系統層級的功能測試，作為整個測試過程的一個部分，以一個 V 型模型圖示（圖 6）標註出在工廠測試、測試軌以及現地功能測試時所需滿足的 CBTC 系統階段性要求。

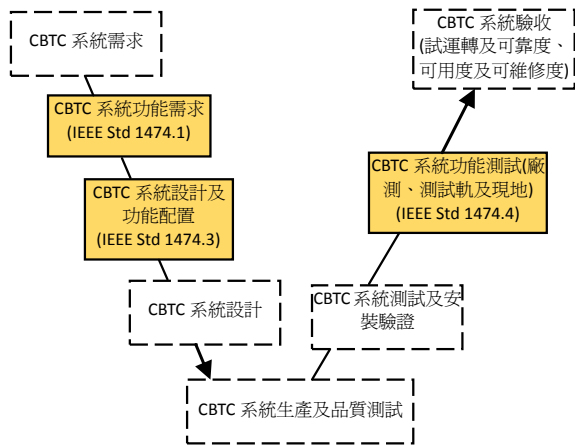


圖 6 CBTC 系統設計/驗證圖

另外本章還將所有建議的功能測試過程列成流程（見圖 7），用來檢視所有功能要求是否都已滿足。

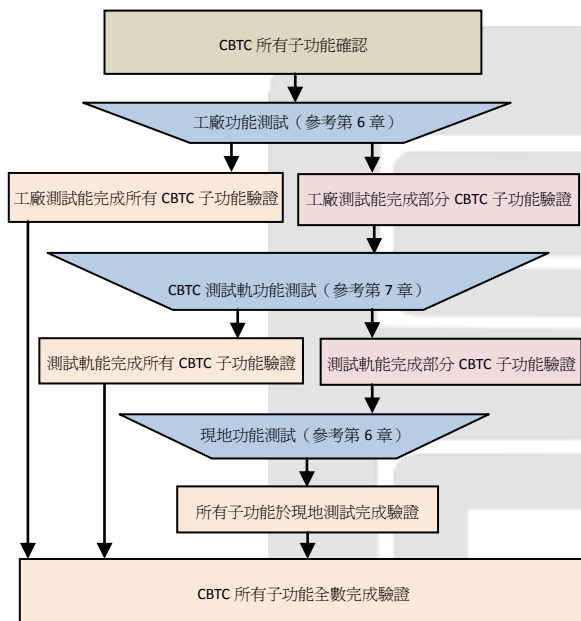


圖 7 測試流程圖

第 6 章到第 9 章分別講述的是工廠測試的執行、測試軌及最後的現地功能測試執行方式。每一章都先列出該測試過程中需包含之項目。

(一) 工廠整合系統測試應該包括以下項目

1. 測試每個 CBTC 功能/子功能，目的是減少在測試軌及現地功能測試的工項，或者提供系統可成功完成這些後續測試的可信度。

2. 對每個內部和外部界面進行最大程度的實際測試。
3. 複製在現地功能測試期間或在設備切換到營運服務之後發現的現場問題。
4. 模擬數據通訊的實際延遲範圍和內部/外部設備反應時間。
5. 進行壓力測試，以盡可能具有代表性地模擬 CBTC 系統可在任何時間點可以控制運行的最大列車數量。
6. 運行符合預期之營運程序的一系列運行方案，包括適用於該路線專案的混合模式運行。
7. 模擬一系列失效模式，包括在 ATS 子系統，道旁設備及車載設備的備援系統之間切換。
8. 能夠離線複製（模擬）測試場景，然後自動運行測試場景。
9. 能夠擷取和記錄測試結果並自動提供合格/不合格的確定。

工廠整合系統測試設施的功能應撰寫在系統測試計劃中。

(二) CBTC 測試軌應該具有以下項目

1. 確認車輛界面特徵（例如包括多車組列車、工程車等）。
2. 確認道旁界面/特徵（例如與外部設備的連接，如聯鎖區和月台門）
3. 驗證車輛/道旁數據通信連結。
4. 模擬在營運軌上進行試運轉測試。
5. 測試現有系統和新系統之間的切換（當測試軌是營運軌的一個部分時—專用區段）。

CBTC 測試軌功能應該撰寫在系統測試計畫中。

(三) 現地測試應至少包括以下功能測試

1. 列車子系統的界面：
 - (1) 列車進入 CBTC 區域進行 CBTC 列車位置初始化

- (2) 在 CBTC 設備故障恢復後的 CBTC 列車位置初始化
- (3) CBTC 列車定位
- (4) 列車速度調節
2. 對道旁子系統的界面：
 - (1) 軌道的占用狀態
 - (2) 當 CBTC 列車漏失位置報告時之聯鎖區防護
 - (3) 聯鎖區前方路徑未確認
 - (4) 前方反向路徑
 - (5) 斷軌狀況
 - (6) 列車運行的軌道區段不安全
 - (7) 轉轍器狀態遺失
 - (8) CBTC 列車趨近
 - (9) 趨近(時間)閉鎖覆蓋
 - (10) 交通方向鎖定覆蓋
 - (11) 路徑鎖定覆蓋
 - (12) 自動行車路徑
 - (13) 手動行車路徑
 - (14) 路徑/區間閉鎖
 - (15) 開門連鎖—月台門
 - (16) 發車連鎖—月台門
 - (17) 月台門狀態遺失反應
 - (18) 門開啟—月台門
 - (19) 門關閉—月台門
 - (20) 車門操作抑制(連同月台門)
 - (21) 平交道告警裝置控制
 - (22) 告警啟動信號確認監督
 - (23) 道旁旅客資訊觸發
 - (24) 異常及超出容許值狀態回報
 - (25) ATS 顯示資料
3. 系統層級驗證：
 - (1) 自動派(發)車
 - (2) 時刻表/班距調節
 - (3) 匯線管理—系統內有 2 條(含以上)路線
 - (4) 能源優化

六、結語

為了滿足現在社會大眾運輸系統高容量高效率的嚴格要求, CBTC 號誌控制系統勢必成為未來鐵路號誌及行車控制系統發展的趨勢。而國內近年來所執行或即將執行的捷運系統專案, 也多採用本類型之號誌系統, 繼臺北捷運內湖線, 臺灣桃園國際機場聯外捷運、臺北環狀線、臺中綠線、新北三鶯線, 甚至未來桃園綠線都已經或將採用 CBTC 系統, 顯示 CBTC 將成為我國未來鐵路號誌及行車控制系統發展的趨勢。而國際上有關 CBTC 號誌控制系統的相關規範, 電機電子工程師學會(IEEE)為無線通訊式列車控制(CBTC)系統頒布 IEEE1474 系列是為不二選擇, 內容涵蓋完整, 從系統架構需求介紹、使用界面、設計需求, 乃至於系統測試範圍等鉅細靡遺, 對應國內目前推動前瞻計畫對軌道工業的重視程度, 本規範的重要性更為彰顯, 這份導讀僅為筆者在接觸 IEEE1474 系列後, 再結合近年來軌道專案之工作經驗後, 嘗試以概述方式說明規範要點, 期望能讓本刊讀者有另一個視野來認識這份規範, 文中所引用之圖表皆為規範的建議做法, 使用者或需求單位應依照各個專案的路線特性及營運需求來發展所需的表單。

參考文獻

- IEEE (1999) IEEE1474.1-1999 Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements
- IEEE (2003) IEEE1474.2-2003 IEEE Standard for User Interface Requirements in Communications-Based Train Control (CBTC) Systems
- IEEE (2008) IEEE1474.3-2008 IEEE Recommended Practice for Communications-Based Train Control(CBTC)System Design and Functional Allocations
- IEEE (2011) IEEE 1474.4-2011 Recommended Practice for Functional Testing of a Communications-Based Train Control (CBTC) System