

出國報告（出國類別：考察）

鐵路軌道系統機電工程增建、 擴建及切換

服務機關：交通部鐵路改建工程局

姓名職稱：范金城 中部工程處號誌工程隊隊長

陳俊麟 機電組工程司

派赴國家：中國大陸 上海

報告日期：中華民國104年6月

出國期間：中華民國104年4月6日至104年4月11日

行政院及所屬各機關公務出國報告提要

頁數:102頁含附件：是否

報告名稱：考察鐵路軌道系統機電工程增建、擴建及切換

主辦機關：交通部鐵路改建工程局

聯絡人/電話：陳俊麟/02-89691900#2271

出國人員/服務機關/單位/職稱/電話：

范金城/鐵路改建工程局中部工程處/號誌工程隊隊長/04-2215-0409 #101

陳俊麟/鐵路改建工程局/工程司/02-89691900 #2271

出國類別：考察

出國期間：104年4月6日至104年4月11日

出國地區：中國大陸（上海）

報告日期：104年7月1日

分類號目：H1/交通建設

關鍵字：TDCS (Train Operation Dispatching Command System)

DMIS (Dispatch Management Information System)

LTE (Long Term Evolution)

CBTC (Communication-based Train Control)

GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railway)

接觸線 (contact wire)、列車運行控制系統 CTCS-3、準移動閉

塞

內容摘要

- 一、拜訪上海鐵路局進行技術交流訪談。除針對其辦理軌道機電系統，特別是號誌系統在新建、既有線擴建或改建時，引進之系統技術與原有系統技術之相容性作法並參觀上海鐵路局中央行車調度指揮中心及上海虹橋車站，以及設置於車站之行車調度指揮中心。
- 二、參觀由上海市交通委員會支持，上海市國際展覽中心有限公司舉辦的 2015 年中國國際軌道交通展覽會，以瞭解大陸地區及國際間軌道車輛、機電系統、軌道等產業發展現況並蒐集相關資料。
- 三、拜訪上海申通地鐵有限公司，對於其所興建、營運之城市軌道交通運輸系統之機電、號誌等，在興建或營運過程中，遇到擴建或改建時，機電系統相容及整合經驗，進行技術交流與訪談。

本次考察行程係由中華軌道車輛工業發展協會居間協調，透過上海市鐵道學會蘭濤秘書長協助連繫及安排，拜會對象均以鐵路號誌相關專業人士為主。

目次

壹、出國考察依據及目的	1
貳、考察行程.....	2
參、參訪地點說明.....	3
一、上海鐵路局.....	3
二、上海虹橋車站.....	6
三、2015 中國國際軌道交通展覽會	8
四、上海申通地鐵集團有限公司.....	11
肆、中國鐵道系統機電設備建置概況及切換前相關作業	14
一、 列車調度指揮資訊系統.....	14
二、電車線系統設備.....	32
三、信號(號誌)系統設備.....	43
四、通信系統設備	70
五、中國城市軌道交通機電設備系統的發展歷程	76
六、城市軌道交通系統安全的沿革.....	80
七、前沿技術與最新研究進展	81
八、軌道交通機電系統的國產化動向	82
九、城市軌道交通機電系統的市場空間及前景	83
十、中國高速鐵路聯調聯試及運行試驗	85
伍、參訪紀要、考察心得與建議事項.....	91
一、參訪紀要.....	91
二、考察心得.....	96
三、建議事項.....	98
陸、參考文獻.....	100

表目錄

表 2-1	考察行程表	2
表 4.3-1	制動模式、顯示方式和閉塞方式相互關聯表	57
表 4.5-1	中國城市軌道交通系統機電設備的技術狀況	76

圖目錄

圖 3.1-1	上海鐵路局	4
圖 3.1-2	上鐵局訪談會場	4
圖 3.1-3	上鐵軌道協會人員合影	4
圖 3.1-4	上鐵局調度指揮中心	4
圖 3.1-5	緊急應變指揮中心	4
圖 3.1-6	TDCS 機房	4
圖 3.1-7	TDCS 機房	4
圖 3.1-8	機房網路安全邏輯圖	5
圖 3.1-9	參觀上鐵局調度指揮中心	5
圖 3.1-10	參觀應變指揮中心	5
圖 3.2-1	上海虹橋車站	6
圖 3.2-2	上海虹橋站旅運大廳	6
圖 3.2-3	候車月台(一)	7
圖 3.2-4	候車月台(二)	7
圖 3.2-5	電車線及軌道	7
圖 3.2-6	參訪人員合影	7
圖 3.3-1	展覽中心入口	8
圖 3.3-2	展覽中心遠眺	8
圖 3.3-3	展覽中心入口兩側廣告	8
圖 3.3-4	參展之學術單位	8
圖 3.3-5	中國北車展覽攤位	9
圖 3.3-6	中國南車展覽攤位	9
圖 3.3-7	推動中的懸掛式列車	9
圖 3.3-8	與參展廠商技術資訊交流	9
圖 3.3-9	車頂式空調機展攤	9
圖 3.3-10	捷運車輛牽引馬達	9
圖 3.3-11	集電弓展覽攤位	9
圖 3.3-12	軌道扣件展攤	9
圖 3.3-13	自動售票設備	10

圖 3.3-14	軌道車輛插頭/插座.....	10
圖 3.4-1	上海地鐵營運路線圖.....	12
圖 3.4-2	申通地鐵維保公司訪談.....	13
圖 3.4-3	申通地鐵行控中心(一)	13
圖 3.4-4	申通地鐵行控中心(二)	13
圖 3.4-5	申通地鐵行控中心(三)	13
圖 3.4-6	行車狀況 SNG 室.....	13
圖 3.4-7	行車狀況 SNG 設備	13
圖 3.4-8	行車狀況播報	13
圖 3.4-9	與主播合影	13
圖 4.1-1	行車調度指揮中心.....	14
圖 4.1-2	列車速度控制設備示意圖	14
圖 4.1-3	西南交通大學峨眉校區 鐵路信號講義截圖(一)	15
圖 4.1-4	西南交通大學峨眉校區 鐵路信號講義截圖(二)	16
圖 4.1-5	西南交通大學峨眉校區 鐵路信號講義截圖(三)	17
圖 4.1-6	先進的列車運行控制系統	18
圖 4.1-7	中國鐵路的調度指揮資訊系統架構.....	23
圖 4.1-8	鐵路總公司所屬調度指揮中心	24
圖 4.1-9	鐵路局調度指揮中心大廳(一).....	24
圖 4.1-10	鐵路局調度指揮中心大廳(二).....	24
圖 4.1-11	調度員台(一).....	25
圖 4.1-12	調度員台(二).....	25
圖 4.1-13	上鐵局行車調度指揮管理資訊系統(TDCS)示意圖.....	25
圖 4.1-14	上鐵局調度中心的大型螢幕牆	30
圖 4.1-15	列車控制系統 CTCS-3 相關設備示意圖	30
圖 4.2-1	電力接觸網相關組件示意圖	32
圖 4.2-2	鐵路沿線架設之電車線.....	33
圖 4.2-3	電車線工程施工.....	34
圖 4.2-4	牽引供電系統示意圖.....	36
圖 4.2-5	簡單的牽引供電模型.....	36
圖 4.2-6	交直流型電力機車工作原理圖	37

圖 4.2-7	直接供電方式示意圖.....	37
圖 4.2-8	帶迴流線的直接供電方式示意圖.....	38
圖 4.2-9	AT 供電方式示意圖.....	39
圖 4.2-10	典型的架空接觸網.....	40
圖 4.2-11	弓網系統在高速列車牽引供電系統中的位置.....	41
圖 4.2-12	弓網系統近照.....	41
圖 4.3-1	行車調度指揮中心.....	43
圖 4.3-2	列車運行控制系統示意圖.....	46
圖 4.3-3	準移動閉塞設備控制示意圖.....	52
圖 4.3-4	階梯式速度監控.....	53
圖 4.3-5	分級速度曲線控制.....	54
圖 4.3-6	一次制動與分級速度控制的比較.....	54
圖 4.3-7	信息傳輸系統的選擇.....	60
圖 4.3-8	列車運行控制系統.....	65
圖 4.3-9	目標—距離一次制動模式曲線.....	68
圖 4.4-1	LTE-M 用於承載軌道交通綜合業務.....	70
圖 4.4-2	類比說明圖，源於南京泰通網站.....	72
圖 4.4-3	參考圖片.....	74
圖 4.4-4	參考圖片.....	75
圖 4.5-1	典型的 CBTC 信號系統的結構框圖.....	77
圖 4.10-1	參考圖片.....	85
圖 4.10-2	高速鐵路聯調聯試及運行試驗實施流程示意圖.....	87

壹、出國考察依據及目的

一、出國依據

依據本局 103 年 7 月 11 日鐵工人字第 1030009372 號函轉行政院 103 年 7 月 7 日院臺交字第 1030030473 號函，核定 104 年度派員赴大陸地區計畫案，序號 2、「考察鐵路軌道系統機電工程增建、擴建及切換」辦理。

二、考察目的

近年國際原油價格不斷攀升，加上二氧化碳排放造成全球暖化的議題，在國際間不斷增溫發酵。世界各國無不重視並積極推動具有綠運輸特性的軌道運輸工業。國內交通運輸受能源價格及人口老化問題影響，價格便宜，舒適的軌道交通運輸已成為國人倚重之運具，鐵路運輸載客運量逐年提昇。政府為改善鐵路運輸服務水準，逐年制訂鐵路改建計畫，編列預算，藉由鐵路改建，逐一改善臺鐵局舊有車站及系統設備。

由於鄰近之中國大陸近年來軌道工業發展迅速，除引進不少新的技術及觀念，興建多條高速鐵路系統外，更對既有鐵路進行系統更新及提速改善，成效卓著，值得學習。此外，適逢上海舉辦軌道交通展覽會，故本次參訪活動，除安排拜會上海地區相關鐵路管理營運單位，以瞭解其辦理新建之軌道號誌系統技術、運用情形及蒐集其新、舊系統增建、擴建與切換之經驗外，並藉由參觀國際展覽會產品展示，瞭解國際軌道機電、號誌最新技術，以作為國內未來辦理計畫之推動參考。

貳、 考察行程

日期	行程
4/6 (星期一)	台北松山機場抵達上海浦東國際機場
4/7 (星期二)	拜訪上海鐵路局、參觀上海鐵路局行車調度中心(TDCS)、上海虹橋車站及其行車調度中心(TDCS)
4/8 (星期三)	參觀 2015 中國國際軌道交通展覽會(上海新國際博覽中心)
4/9 (星期四)	上海地鐵系統 1 號線、及軌道機電系統技術參考書籍及資料蒐集(上海書城)
4/10 (星期五)	拜訪上海申通地鐵集團
4/11 (星期六)	上海虹橋機場返回台北松山機場

表 2-1 考察行程表

參、 參訪地點說明

一、上海鐵路局

上鐵局位於上海市閘北區，成立於 1949 年，屬中國鐵路總公司轄下的特大型運輸企業，管轄範圍跨江蘇、浙江、上海市、安徽省等三省一市，有主要運輸單位 71 家、非運輸企業 20 家、合資鐵路公司 24 家。如圖 3.1-1 所示。

依上鐵局網站公布，截至到 2012 年底之統計資料顯示，上鐵局之鐵路營業里程累計約 7804.3 公里。其中時速 200 公里以上線路約 2,490.1 公里，包括京滬、滬寧、滬杭、沿海、合寧、合武、合蚌等 7 條高速鐵路，是目前全中國高鐵運營里程最長的鐵路局。

目前上鐵局共配屬動車組 190 組。其中，16 輛編組有 104 組、8 輛編組有 86 組。又配屬新型大功率電力機車，計有 397 輛；其他型機車，計有 1,270 輛；客車車輛，計有 6,581 輛。

上鐵局日開行列車 1743.5 對，其中貨車 1196 對，客車 547.5 對。依 2012 年統計資料顯示，完成旅客發送量約計 3.36 億人，居全中國鐵路第一；完成之物發送量約計 2.40 億噸，居全中國鐵路第五。

本次拜訪上海鐵路局係由上海市鐵道學會蘭濤秘書長出面陪同，安排與上海鐵路局(以下簡稱「上鐵局」)掌管信號運用及部門(即號誌)業務的呂副處長就上鐵局近年因應鐵路軌道系統發展之技術機電工程增建、擴建，以及切換等作業經驗之進行訪談。接著參觀設於鐵路局管理大樓內之列車調度指揮中心及上海虹橋車站及其車站列車調度指揮中心。



圖 3.1-1 上海鐵路局



圖 3.1-2 上鐵局訪談會場



圖 3.1-3 上鐵軌道協會人員合影



圖 3.1-4 上鐵局調度指揮中心



圖 3.1-5 緊急應變指揮中心



圖 3.1-6 TDCS 機房



圖 3.1-7 TDCS 機房



圖 3.1-8 機房網路安全邏輯圖



圖 3.1-9 參觀上鐵局調度指揮中心



圖 3.1-10 參觀應變指揮中心

二、上海虹橋站

上海虹橋站位於上海，於 2010 年 7 月 1 日啟用，是一座高度現代化的中國鐵路客運車站，位於上海市區偏西部，在閔行區偏北部的位罝，東鄰上海虹橋國際機場 T2 航站樓，是虹橋綜合交通樞紐的重要組成部分。上海虹橋國際機場 T2 航站樓以西，是上海鐵路局直屬的特等站，為華東地區最重要的鐵路客運樞紐。本站為京滬高速鐵路、滬寧城際高速鐵路、滬杭客運專線使用的高速鐵路車站，於 2010 年 7 月 1 日部分啟用。



圖 3.2-1 上海虹橋車站



圖 3.2-2 上海虹橋站旅運大廳

虹橋站設高速和綜合兩個車場，總規模為 16 台 30 線，其中高速場 10 台 19 線，綜合場 6 台 11 線，高速場和綜合場均擁有側式站台各一個。站房總建築面積約 24 萬平方米。上海虹橋站站房、站場工程計劃竣工日期與京滬高速鐵路工程同步。其中，站房主體及綜合場工程滿足 2010 年上海世博會期間投入使用的要求。

目前虹橋火車站接發滬寧高速鐵路、滬杭高速鐵路、滬漢蓉快速客運通道和京滬高速鐵路的全部動車組列車。



圖 3.2-3 候車月台(一)



圖 3.2-4 候車月台(二)



圖 3.2-5 電車線及軌道



圖 3.2-6 參訪人員合影

三、2015 中國國際軌道交通展覽會

2015 中國國際軌道交通展覽會係由上海市交通委員會支持，主辦單位為中國國際工程諮詢公司及上海國際展覽中心有限公司；協辦單位則包括上海申通地鐵集團有限公司、同濟大學鐵道與城市軌道交通研究院、中國南車股份有限公司、中國北車股份有限公司、上海市交通運輸行業協會軌道交通專業委員會及上海鐵道學會。展場位置為上海新國際博覽中心。

本次展覽會展出期間為 4 月 8 日~10 日，期間並舉辦十餘場城市交通發展及技術研討會。參展廠商約有 190 餘家。參展主題主要為車輛、通信、號誌、維修設備、軌道及隧道公程等系統設備產品。



圖 3.3-1 展覽中心入口



圖 3.3-2 展覽中心遠眺



圖 3.3-3 展覽中心入口兩側廣告



圖 3.3-4 參展之學術單位



圖 3.3-5 中國北車展覽攤位



圖 3.3-6 中國南車展覽攤位

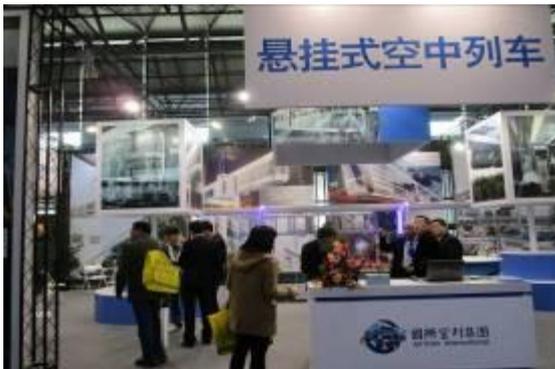


圖 3.3-7 推動中的懸掛式列車



圖 3.3-8 與參展廠商技術資訊交流



圖 3.3-9 車頂式空調機展攤



圖 3.3-10 捷運車輛牽引馬達

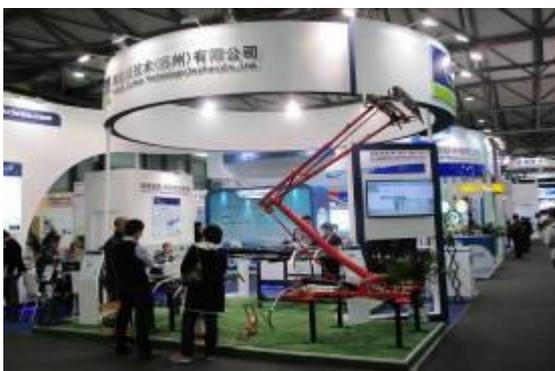


圖 3.3-11 集電弓展覽攤位



圖 3.3-12 軌道扣件展攤



圖 3.3-13 自動售票設備



圖 3.3-14 軌道車輛插頭/插座

四、上海申通地鐵集團有限公司

上海申通地鐵集團有限公司（簡稱申通集團）係於西元 2000 年 4 月 28 日成立，是目前上海地鐵的運營公司，負責上海地鐵的投、融資和運營管理，集團下共有 7 個分公司負責不同線路的運營。申通集團控股之上海申通地鐵股份有限公司（簡稱：申通地鐵）為中國國內第一家從事軌道交通投資經營的上市公司。

2014 年申通地鐵集團內部改組後的分公司組織結構，包括申通地鐵股份有限公司、上海地鐵第一運營公司、上海地鐵第二運營公司、上海地鐵第三運營公司、上海地鐵第四運營公司、上海磁浮交通發展有限公司、上海地鐵維保分公司、上海地鐵運營中心票務管理部、上海地鐵供電分公司、上海軌道交通長寧線發展有限公司、上海軌道交通明珠線發展有限公司、上海軌道交通寶山線發展有限公司、上海軌道交通明珠線（二期）發展有限公司、上海莘閔軌道交通線發展有限公司、上海軌道交通七號線發展有限公司、上海軌道交通楊浦線發展有限公司、上海軌道交通申松線發展有限公司、上海軌道交通十號線發展有限公司、上海軌道交通申嘉線發展有限公司、上海軌道交通十二號線發展有限公司、上海軌道交通十三號線發展有限公司、上海軌道交通十四號線發展有限公司、上海軌道交通十五號線發展有限公司、上海軌道交通十六號線發展有限公司、上海軌道交通十七號線發展有限公司、上海軌道交通十八號線發展有限公司等數十個分公司。其中，申通地鐵股份有限公司，又下轄：

- (一)上海地鐵第一運營公司，負責上海軌道交通 1 號線、5 號線、9 號及 10 號線經營。
- (二)上海地鐵第二運營公司，負責上海軌道交通 2 號線、11 號線、13 號線經營。
- (三)上海地鐵第三運營公司，負責上海軌道交通 3 號線、4 號線、7 號線經營。
- (四)上海地鐵第四運營公司，負責上海軌道交通 6 號線、8 號線、12 號線經營。
- (五)上海磁浮交通發展有限公司，負責上海磁浮示範運營線、上海軌道交通 16 號線經營。
- (六)上海地鐵維保分公司，包括車輛分公司、通號分公司。

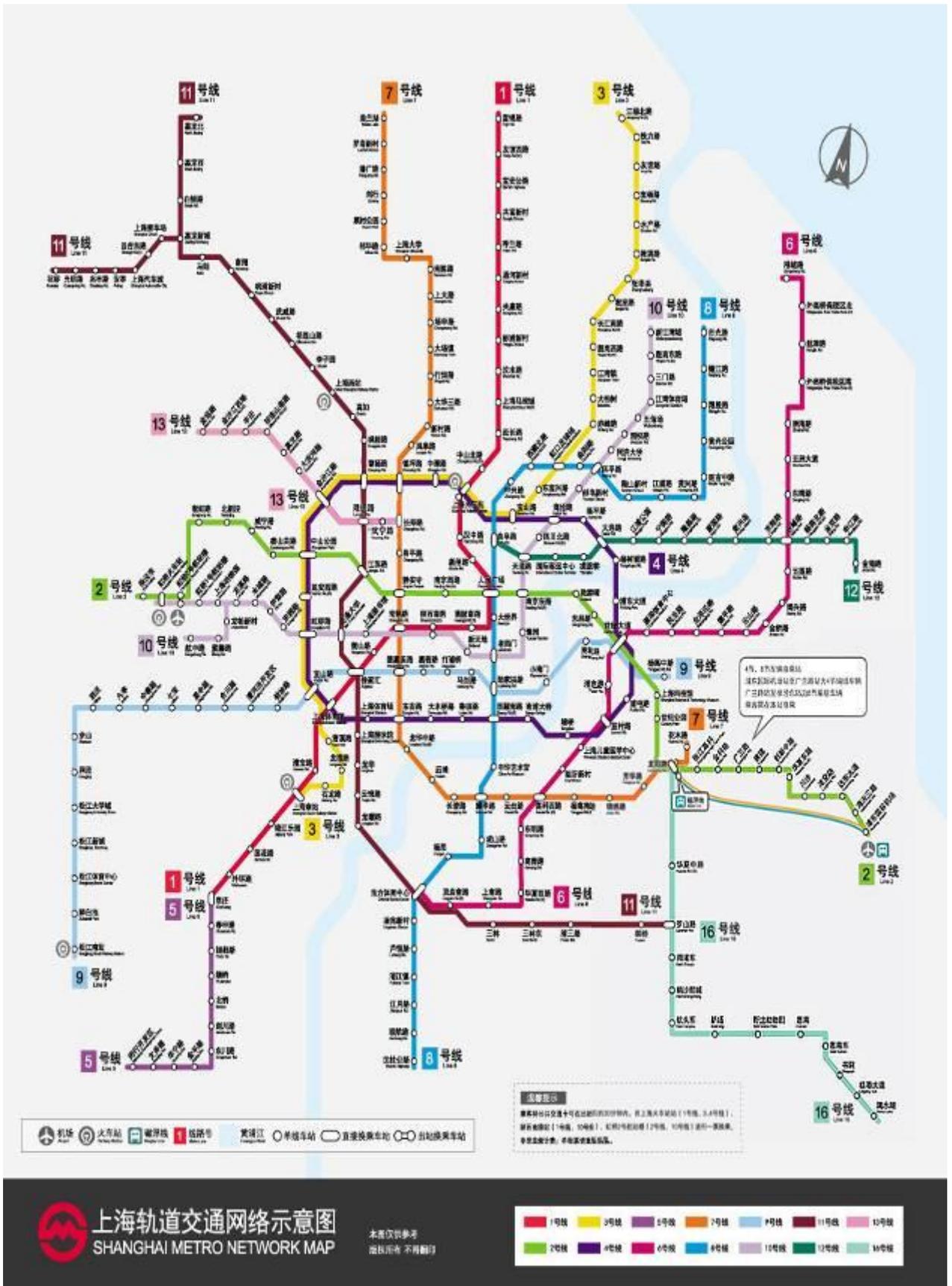


圖 3.4-1 上海地鐵營運路線圖



圖 3.4-2 申通地鐵維保公司訪談



圖 3.4-3 申通地鐵行控中心(一)



圖 3.4-4 申通地鐵行控中心(二)



圖 3.4-5 申通地鐵行控中心(三)



圖 3.4-6 行車狀況 SNG 室



圖 3.4-7 行車狀況 SNG 設備



圖 3.4-8 行車狀況播報



圖 3.4-9 與主播合影

肆、中國鐵道系統機電設備建置概況及切換前相關作業

一、列車調度指揮資訊系統

(一) 先進的列車運行控制系統及其速度控制技術



圖 4.1-1 行車調度指揮中心

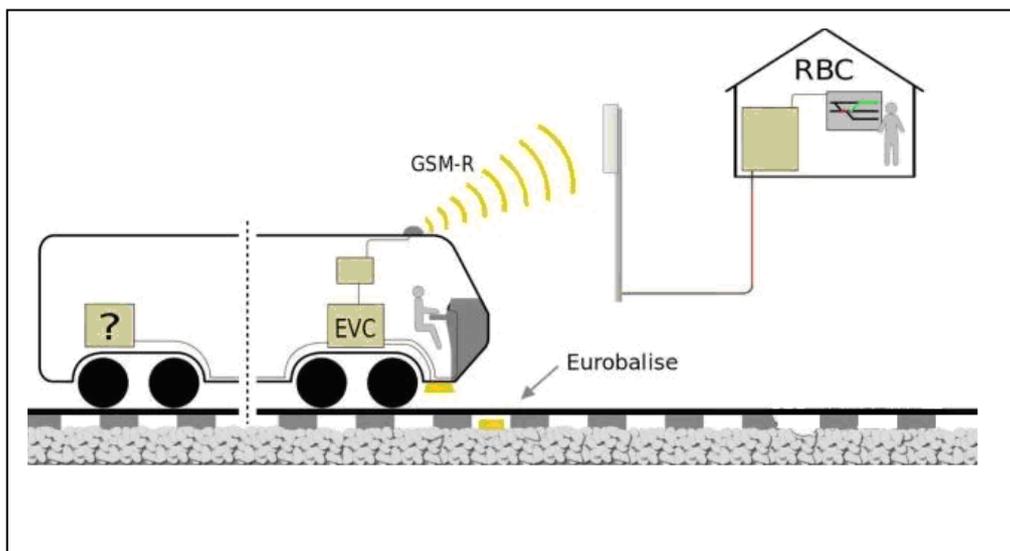


圖 4.1-2 列車速度控制設備示意圖

列車運行控制系統重要部分還有列車速度控制技術。其有階梯控制方式和速度-距離模式曲線控制方式二種：

階梯控制方式

每個閉塞分區預設為 1 個目標速度在 1 個閉塞分區中無論列車在何處都只按照固定的速度鑒定列車是否超速。

階梯控制方式可不需要距離信息，只要在停車信號與最高速度間增加若干中間速度信號，即可使成為階梯控制方式。因此軌道信息量較少，設備相對比較簡單，這種傳統的控制方式是目前高速鐵路最普遍採用的控制方式。

階梯制又分為出口速度查抄和入口速度查抄兩種方式：

出口速度查抄控制方式：該方式要求列車在閉塞分區內將列車速度減低到目標速度，設備在閉塞分區出口進行查抄。要是速度未達到目標速度以下，控制設備則進行制動。

出口速度查抄方式由於要在列車到達停車信號處(目標速度為零)才查抄列車速度是否為零，要是列車速度不是零，控制設備才進行制動。由於制動後列車要走一段距離才能停車，因此停車信號後方要有一段安全防護區。

入口速度查抄節制方式：列車在閉塞分區進口處接收到目標速度信號後立即以一定速度舉行查抄，一朝列車超速，則舉行制動使列車速度減低到目標速度以下。

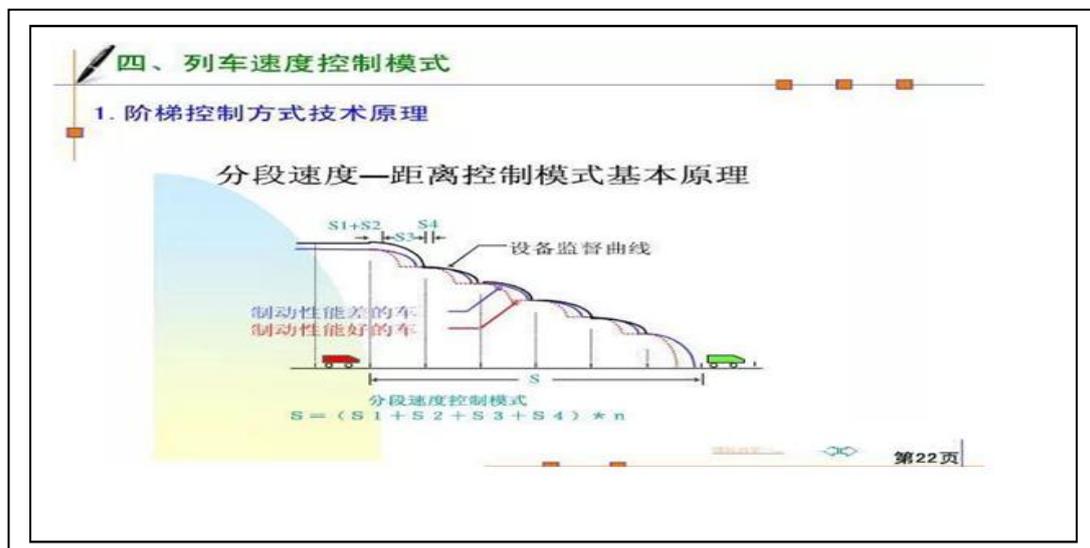


圖 4.1-3 西南交通大學峨眉校區 鐵路信號講義截圖(一)

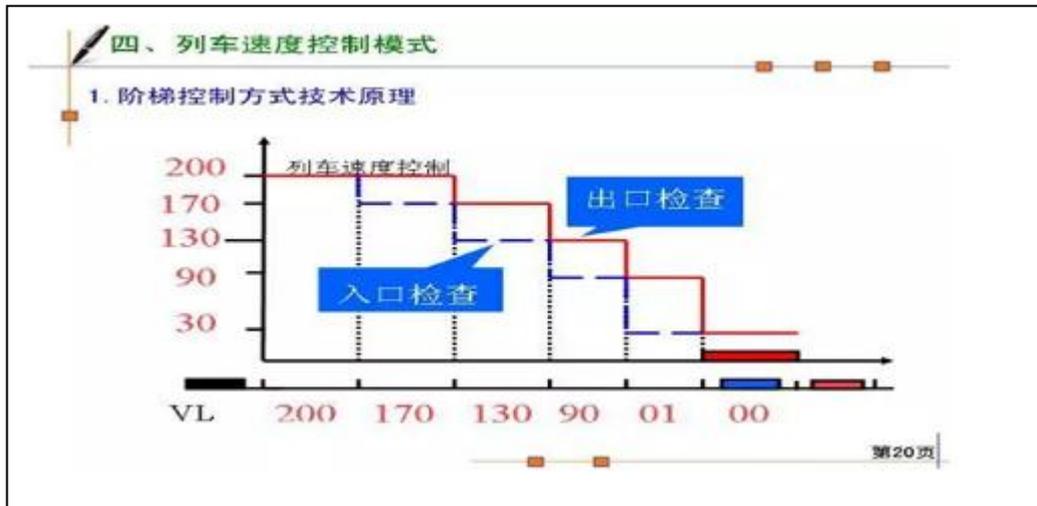


圖 4.1-4 西南交通大學峨眉校區 鐵路信號講義截圖(二)

為了縮短列車間的時間距離，採用速度－距離模式曲線方式實現列車間的安全速度和間隔控制。

速度-距離模式曲線控制

是根據目標速度、線路參數、列車參數、制動性能等確定的反映列車允許速度與目標距離間關係的曲線，速度－距離模式曲線反映了列車在各點允許運行的速度值。列控系統根據速度距離模式曲線實時給出列車當前的允許速度，當列車超過當前允許速度時，設備自動實施常用制動或緊急制動，保證列車能在停車地點前停車。

因此，採用這種控制方式的列控系統不需要設置安全防護區段。在這樣的控制系統中又分成以下兩種方式：分段速度-距離模式曲線控制和一次速度-距離模式曲線控制。

分段速度控制模式是將軌道區段按照制動性能最差列車安全制動距離要求，以一定的速度等級將其劃分成若干固定區段。一旦這種劃分完成，每一列車無論其制動性能如何，其與前行列車的最小追蹤距離只與其運行速度、區段劃分有關，這對於制動性能好的列車其線路通過能力將受到影響，法國 TVM430 就採用這種控制方式。

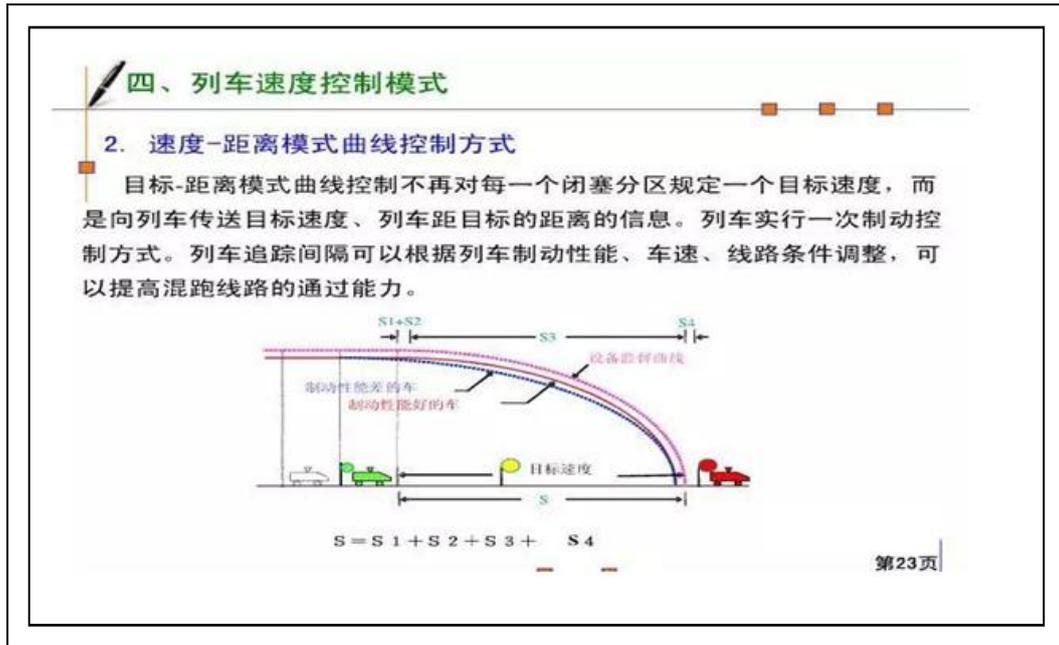


圖 4.1-5 西南交通大學峨眉校區 鐵路信號講義截圖(三)

而一次速度-距離模式曲線控制的制動模式是根據目標距離、目標速度的方式確定的速度－距離模式曲線，該方式不設定每個閉塞分區速度等級，採用一次制動。以前方列車占用閉塞分區入口為目標點，通過地車信息傳輸系統向列車傳送目標速度、目標距離等信息。該方式能減少閉塞分區長度對列車運行間隔時分的影響。一次連續速度－距離模式曲線方式更適於高中速混跑的線路。

在當前世界上，不論是聞名世界的法國高速鐵路、德國高速鐵路、西班牙高速鐵路、日本新幹線等幹線鐵路，還是近幾年開通的城市軌道交通，無一例外地採用了連續式列車運行自動控制系統。換句話說，連續式列車運行自動控制系統是適應高速乾線與高行車密度的地鐵、輕軌交通而發展起來的一項鐵路信號技術，毫無疑問，其技術基礎正是目前飛速發展的信息傳輸與處理技術。

在高速鐵路上，由於行車速度較高，如仍用地面的區間設備來調整列車運行，將產生很大困難。首先是地面信號的顯示距離和顯示數量不能給司機作出一個準確的速度限制，甚至模糊、不確定性極強。另外，固定的閉塞分區將影響區間的行車效率。為此，在高速鐵路的列車運行過程中，必須在實現自動化的前提下，採用新的信號區間設備。首先是取消了分散安裝在地面上，線路兩側的區間中的傳統信號設備，列車運行控制功能全集中於列車上。其次是列車位置由車上設備進行自身檢測，而地面設備是根據由車上傳送的位置信息實現間隔控制。再次是列車運行安全速度是根據地面設備傳遞的信息，由車上設備進行自動控制。還有是地面、列車之間的信息傳遞可採用查詢應達器（Transponder），多信息無絕緣軌道電路與無線傳輸通道來實現。

先進列車控制系統是鐵路在技術上的一次突破，它將使鐵路和整個國民經濟取得巨大的經濟效益。從 80 年代初開始，世界各國研究的先進列車控制系統，現仍處於研究、試驗與完善之中。

如美國的先進列車控制系統英文寫法為 AdvancedTrainControlSystems 縮寫成 ATCS，美國的另外一種先進列車控制系統 ARES。由此推理，歐洲列車控制系統 ETCS，法國的實時追蹤自動化系統 ASTREE，日本的計算機和無線列車控制系統 CARAT 等等。全是英文名稱的縮寫而言。

近年來，許多國家為先進列車控制系統研製了多種基礎技術設備，如列車自動防護系統、衛星定位系統、車載智能控制系統、列車調度決策支持系統、分散式微機聯鎖安全系統、列車微機自動監測與診斷系統等。世界上許多國家如美國、加拿大、日本和西歐各國都將在 20 世紀末到 21 世紀初，已經開始分層次的實施、逐步推廣應用這些新技術。

美國 ARES 系統採用全球定位衛星接收器和車載計算機，通過無線通信與地面控制中心連接起來，實現對列車的智能控制。中心計算機根據線路狀態信息和機車計算機報告的本身位置和其他列車狀態信息等，隨時計算出該採取的相對應措施，使列車有秩序地行駛，並能控制列車實現最佳的制動效果。全球定位衛

星系統定位精確，誤差不超過 1 米，ARES 並利用全球定位衛星來繪製實時地圖，使司機能在駕駛室的監視器上清楚地瞭解列車前方的具體情況，從而解決了夜間和雨霧天氣時的觀察困難。而 ATCS 列車控制系統與 ARES 系統最大區別，在於採用設在地面上的查詢應答器，不用全球定位衛星。

ARES 和 ATCS 的功能不限於列車自動駕駛，它們的潛力還很大。計算機還可以在 30 秒以內，計算出一條鐵路線的最佳運行實時計劃，以便隨時調整列車運行，達到安全效率和節能的最佳綜合指標。

除美國研製的 ATCS 與 ARES 系統外，其他各國發展高速鐵路的國家也都十分重視行車安全與控制系統的開發研究。作為世界高速鐵路發展較快的日本、法國和德國，在地面信號設備中，區間設備都採用了符合本國國情的可靠性高、信息量大、抗干擾能力強的微電子化或微機化的不同形式的自動閉塞制式。車站聯鎖正向微機集中控制方向發展。為了實現高速鐵路道岔轉換的安全，轉轍裝置也向大功率多牽引點方向發展，同時開發研究了道岔裝置的安全監測系統。在車上，世界各國的高速鐵路都積極安裝了列車超速防護和列車自動控制系統。

日本在東海道新幹線採用了 ATC 系統，法國 TGV 高速線採用了 TVW300 和 TVM430 系統，德國在 ICE 高速線上採用了 LZB 系統。這些系統的共同點是新系統完全改變了傳統的信號控制方式，可以連續、實時監督高速列車的運行速度，自動控制列車的制動系統，實現列車超速防護。另外，通過集中運行控制，系統還可以實現列車群體的速度自動調整，使列車均保持在最優運行狀態，在確保列車安全的條件下，最大限度的提高運輸效率，系統進一步還可以發展為以設備控制全面代替人工操作，實現列車控制全盤自動化。這些系統的不同點主要體現在控制方式、制動模式及信息傳輸的結構方面。

德國的 LZB 連續式列車運行控制系統，其運營速度可達 270km/h。它是目前世界上唯一採用以軌道電纜為連續式信息傳輸媒體的列車控制系統，可實現地面與移動列車之間的雙向信息傳輸，同時還可利用軌道電纜交叉環實現列車定位功能，控制方式是以人工控制為主。LZB 系統首先將連續式速度模式曲線應用於高

速列車的制動控制，打破了過去分段速度控制的傳統模式，可以進一步縮短列車運行的時隔時分，因此能更好地發揮硬件設備在提高線路運輸效率方面的潛在能力。

法國的TVM430型是在TVM300系統的基礎上進行數字化改造後的列車控制系統，在TGV北方線上採用，列車運行速度可達320km/h。TVM430系統的地面信息傳輸設備採用UM71型無絕緣數字式軌道電路，由地面向移動列車之間實現地對車信息的單向傳輸。信號編碼總長度為27個信息位，其中有效信息為21位。列車的定位功能也是由軌道電路完成的。

中國採用的“中國列車運行控制系統”（CTCS）。CTCS-1級，人工控制為優先，超速防護，用於傳統普速鐵路。CTCS-2級，機器控制為優先，基於軌道電路+應答器的地對車單向信息傳遞，用於250km/h客運專線，5分鐘追蹤。CTCS-3級：機器控制更為優先，基於無限數據傳輸平台（GSM-R）車地雙向列控信息傳遞。用於350km/h客運專線，3分鐘追蹤。CTCS4級採取目標距離控制模式，列車按移動閉塞或虛擬閉塞方式運行還未實施商業應用。

根據中國的具體情況，高速鐵路要兼容既有鐵路的信號制式，特別是要滿足多種信息傳輸方式，實現傳輸系統故障時的降級需要，就必須採用車載設備智能化的方式。

高速線上運行的均為動車組，並都安裝高速列控系統的車載設備，車載設備採用先進的數字信號處理技術，兼容既有線信號系統，在分界點列車自動識別轉換模式。這樣使高速列車能下既有線運行，如有安裝有高速列控系統車載設備的動車組原在既有線上運行的，也能上高速線運行。每個車站設一個區段控制中心，通過高速鐵路數據通信廣域網絡實現各區段控制中心之間以及與綜合調度中心之間的高速、大容量的信息交換。

（二）TDCS 列車調度指揮資訊系統

中國鐵路的調度指揮資訊系統(Train Operation Dispatching Command System，簡稱 TDCS)是鐵路運輸調度指揮的重要技術裝備，其研製可追溯到上世紀八十年代末。當時，為了改變中國鐵路一張圖、一支筆、一部電話的傳統調度指揮方式，充分發揮車站和區間通過能力，提高行車安全和效率，減輕調度人員的勞動強度，實現中國鐵路調度指揮的現代化和科學化，鐵道部在原有調度監督系統應用的基礎上委託中國通號研究設計院開展鐵路局、鐵路分局車站調度指揮系統研究及試點工作。隨後，組織有關研製單位開始研究適合中國國情路情的鐵路調度指揮管理信息系統（Dispatch Management Information System 簡稱 DMIS）。

在此基礎上，1996 年，鐵道部決定在全路組織建設以鐵道部全路運輸調度為核心的 DMIS 工程。同時，成立了由北京全路通信信號研究設計院有限公司為主，部直屬通信處、鐵道科學研究院通號所、卡斯柯公司參加的總體設計組，集中全路技術專家共同實施這項歷史性工程。2004 年基本實現了 DMIS 一期工程，形成了鐵道部、鐵路局調度指揮中心和四大幹線(京滬、京哈、京廣、京九線)車站基層網。

2005 年 3 月，鐵道部運輸局基礎部提出要以 TDCS 為平台，CTC 為核心，構建中國鐵路現代化的調度指揮系統。自此，一個適用於現代化鐵路運輸的行車調度指揮模式逐步形成。

列車調度指揮系統（簡稱 TDCS）是由調度指揮管理信息系統（簡稱 DMIS）規範而成，它是實現鐵路各級行車調度對列車運行實行集中管理、透明指揮、實時監視的現代化信息系統，是鐵路運輸調度指揮的基礎設施，是鐵路運輸生產的重要技術裝備。

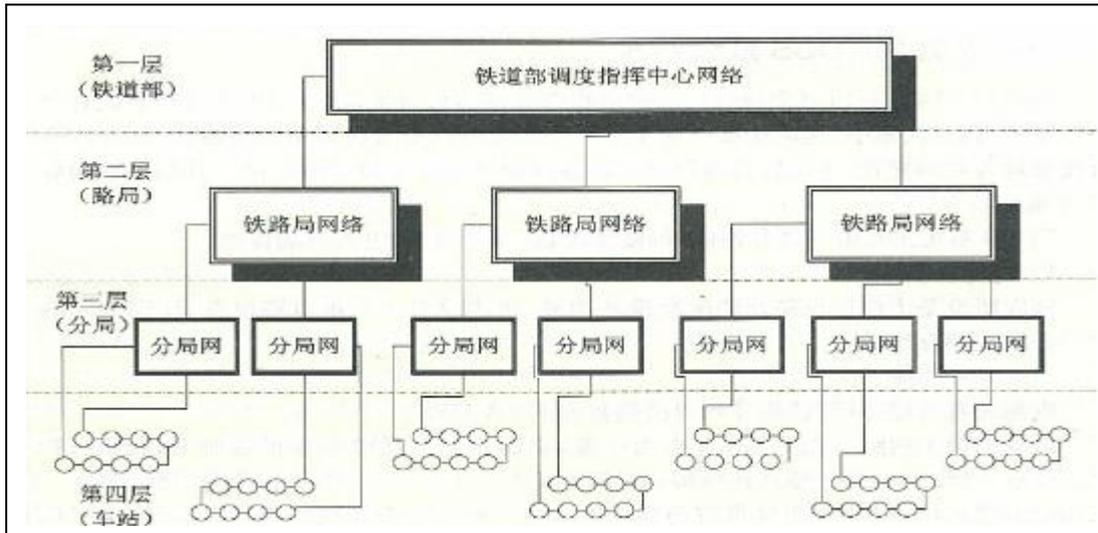


圖 4.1-7 中國鐵路的調度指揮資訊系統架構

TDCS 系統由鐵道部、鐵路局 TDCS 中心和車站基層網三層構成，系統通過鐵路專用數據通道，將鐵道部調度中心、鐵路局調度所和覆蓋全路車站的 TDCS 設備，連接成一個實時、可靠、安全的 TDCS 網絡，並在保證網絡安全的前提下，與 TDMS 等相關系統結合，信息共享，實現了鐵路運輸調度指揮手段的科學化與現代化。

鐵路總公司調度指揮中心

鐵路總公司調度指揮中心是整個鐵路 TDCS 的核心，由高性能的伺服器、工作站、電腦系統、網路設備及相應的軟體構成，並藉專線與各鐵路局相連，接收全國鐵路系統的各种即時資訊與運輸資料，監視各鐵路局主要幹線、鐵路局交接口、大型客站、編組站、樞紐、車站、區間的列車整體運行狀態、運行統計資料、重點列車及車站的列車實際運行位置和站場狀態顯示，並建有全國鐵路調度指揮系統資料庫。



圖 4.1-8 鐵路總公司所屬調度指揮中心

鐵路局/分局調度指揮中心

鐵路局中心採用高性能雙區域網路結構，對下接收各站的即時資訊與資料，監視各站、主要幹線、鐵路局交接口、大型客站、編組站、樞紐、車站、區間的列車整體運行狀態、運行統計資料、重點列車及車站的列車實際運行位置和站場狀態顯示，同時向鐵路總公司傳送鐵路局收集的各類行車表示資訊及到發點資訊。

鐵路局/分局 TDCS 系統具有運行計畫的管理、階段計畫的自動生成和下达、調度命令下达、自動生成實際運行圖的功能。



圖 4.1-9 鐵路局調度指揮中心大廳(一)



圖 4.1-10 鐵路局調度指揮中心大廳(二)

基層資訊蒐集系統

基層資訊採集系統安裝在各車站，採用單局區域網結構，用來從號誌設備及其他設備上採集有關列車運行位置、列車車次/號、號誌設備狀態等相關資料，

接收鐵路局送來的各類資訊，並將基層彙集各項資訊通過專用通信線路傳送到鐵路局。

TDCS 系統在車站安裝了車站值班員台，系統具有人工修改車次/號碼、人工和自動報點、調度命令和階段計畫的簽收。



圖 4.1-11 調度員台(一)



圖 4.1-12 調度員台(二)

上鐵局 TDCS 結構

上鐵局 TDCS 是覆蓋其轄區的行車調度指揮管理資訊系統，鐵路局用它可以實現對全局的行車進行即時、集中、透明指揮。它主要由局調度所設備及底層車站設備構成，調度所所有設備均為雙網配置，底層設備與調度所設備間通過 2m 光纜通道連接。其基本結構參考，如圖 4.1-13 所示。TDCS 系統主要係由調度所設備、車站設備及電務終端設備等三部分構成。

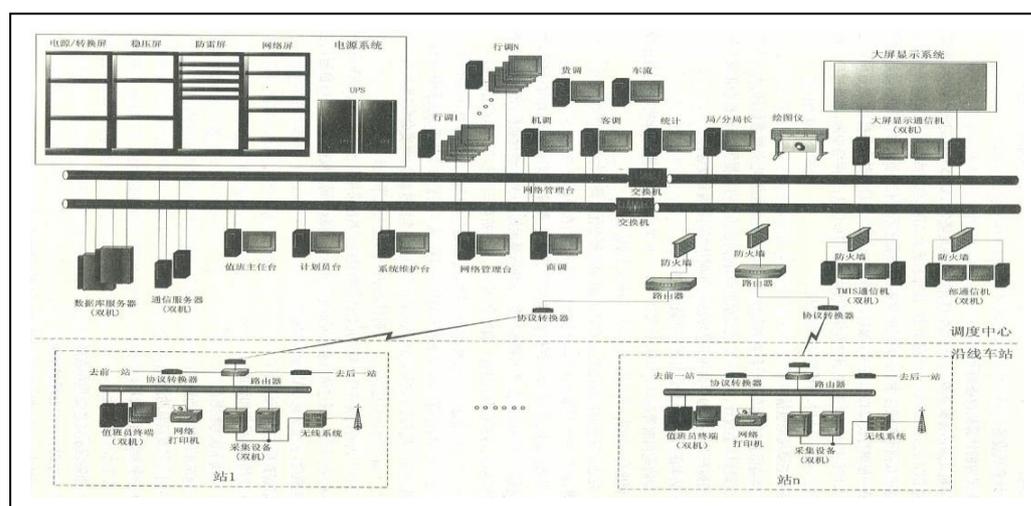


圖 4.1-13 上鐵局行車調度指揮管理資訊系統(TDCS)示意圖

調度所設備係由機房設備及調度台設備構成。其中，機房設備又由電源設備、電腦系統設備及網路設備三部分所組成。各設備之設施內容及功能，整理說明如下：

機房設備

1. 電源設備

完整電源設備係包括穩壓屏、轉換屏和雙機熱備援 30KVA UPS。當外部電網提供兩迴路三相 50KVA 電力電源，除滿足路局基本供電需求外，再根據 TDCS 系統需求，將兩迴路外電先送到轉換屏，轉換時間小於 150ms。經過電源防雷擊措施後，輸出一迴路三相電源到穩壓屏。穩壓屏主要功能係將波動幅度較大的三相外電進行穩壓處理，以確保輸出三相電壓的波動幅度範圍不超過 $380\text{ V}\pm 30\%$ 。另外，兩套大功率 UPS 工作在雙機熱備援狀態下，除將穩壓屏送來的三相電源進一步穩壓，並轉換為 220 V 電壓輸出；另外，當外電網電力供應出現中斷時，由 UPS 內在電池繼續逆變輸出穩定的 220 V 電源電壓，以確保伺服器、通信機等關鍵設備繼續正常工作。

調度所中所有設備均採用集中供電方式，由轉換屏統一分配輸出到伺服器、通信前置機、系統維護台、調度員台、值班主任台、計畫員台及網路設備供電。一般而言，在設計上，調度所設備的最大用電負荷為供電系統設計容量的 70%。

2. 電腦系統設備

調度所之總機房內的電腦系統設備，包括：

(1)**雙機冗餘熱備援伺服器**：它是整個 TDCS 系統的核心設備。其主伺服器通過雙網卡與調度中心的局域網相連，伺服器子系統有主備兩台電腦，通過網路(雙網)及一條串列線相連。

(2)**雙機冗餘通信前置機**：其子系統設置兩台伺服器，各有兩塊網卡。通過網路通訊完成主備機狀態判斷和同步資料傳遞，當一台通信前置機為主機時，它負責同電腦輔助調度(CAD)子系統溝通。

(3)**TMIS-TDIS 通信機**：TMIS-TDIS 通信機配置有兩台，一台接入 TDCS 網路，一

台接入 TMIS 網路，中間採用高速 USB 通信。它主要將 TDCS 資訊寫入資料交換伺服器並提供給 TMIS，以及從資料交換伺服器獲得所需的 TMIS 資料。資料交換伺服器由 TMIS 提供並維護。

(4)雙機冗餘分界口通信機：在相鄰兩局 TDCS 總機房分別設一套分界口通信機，通過兩個局間的 2m 光纖通道達到兩局分界口資訊的互相交換及共用。最後通過鐵路局與鐵路總公司的 2m 光纖通道，將分界口資訊傳到鐵路總公司調度指揮中心。

(5)雙機冗餘鐵路總公司通信管理機：鐵路總公司通信管理機將鐵路局收集的資訊經過處理後送到鐵路總公司調度中心伺服器。

(6)系統維護工作站：系統維護台的功能，包括可選擇單站方式或區段方式之站場圖顯示及重播、車次/號顯示、即時顯示各車站列車運行情況。

(7)網路管理工作站：其功能為網路系統邏輯流程圖的顯示、網路設備狀態的監視、監督車站基層網連接情況、即時顯示各個車站局域網與鐵路局系統通信狀態。

(8)培訓工作站：其功能係在安裝調試階段，線上進行模擬調試及正式投入運營後，提供模擬培訓功能。

調度台設備

調度台之功能，包括：行車資訊表示功能，包括站場圖顯示及對任意站的顯示能放大及縮小、號誌狀態顯示、列車進路的顯示、列車早晚點的顯示、車次/號及對應列車的運行顯示、能夠顯示鐵路總公司標準的站場資料、能夠同時顯示不同大小的站場圖。

調度應用功能，包括列車車次/號編輯(含車次/號的輸入、移動、修改、刪除、查詢等)、列車運行圖管理。

鐵路局大型螢幕牆功能

大型螢幕牆顯示系統功能是調閱監看即時資訊和各種管理資訊的綜合呈現。大型螢幕牆顯示系統以電子地圖形式顯示全局鐵路線路圖，並且包括：

分界口運輸狀況整體顯示及展開內容

- 1.分界口交接列車之情況顯示、匯總表顯示、匯總表歷史記錄查詢。
- 2.分界口及鄰站調度監督顯示。
- 3.分界口調度監督資訊 48 小時歷史紀錄重播

主要幹線運輸狀況整體顯示及展開內容

- 1.主要幹線列車運行正點率
- 2.運行正點率整體顯示
- 3.列車運行早晚點時間統計
- 4.列車運行早晚點狀態(包括車站、區間、道岔、號誌、停電、機故、脫軌、顛覆、正面衝突、尾追、天氣、施工等)統計

主要幹線列車運行密度整體顯示

重點列車運行跟蹤顯示

幹線及分段調度監督顯示：

- 1.進站號誌機的開放與關閉
- 2.出發號誌機的開放與關閉
- 3.股道的空閒、鎖閉、佔用
- 4.進路的空閒、鎖閉、佔用
- 5.接近、離去區段的空閒、佔用;
- 6.閉塞分區的空閒、佔用
- 7.道岔定位、反位表示
- 8.列車車次及早晚點時間
- 9.區段調度監督資訊 48 小時歷史紀錄重播。

基層列車運行計畫的顯示

路局樞紐運行狀態整體顯示及展開內容

- 1.樞紐分佈及設備運行狀況示意圖
- 2.任意樞紐的佈置示意圖和股道佔用情況
- 3.任意樞紐的調度監督顯示
- 4.任意樞紐的出發、到達場的列車實際到達、出發時刻
- 5.任意樞紐的大客站的列車到達出發實際運行時刻表
- 6.樞紐的調度監督顯示要求同幹線調度區段的調監顯示。

路局鐵路港口、口岸作業整體顯示及展開內容

- 1.顯示鐵路局港口、口岸分佈及設備運行狀況示意圖;
- 2.顯示港口、口岸站交接列車、車輛數動態資訊及港口日存車輛數累計表;
- 3.港口、口岸交接鐵路站現場動態顯示;
- 4.開窗(即跨屏)顯示港口、口岸裝卸車作業資訊。

全局鐵路大企業站作業整體顯示及展開內容

- 1.大企業站所在地及名稱;
- 2.電廠、鋼廠和煤炭裝卸點名稱和標誌;
- 3.大企業站裝卸車動態資訊。

其他管理資訊：如天氣情況、早晚點原因、鐵路局及總調室安全天數、救援示意圖、防洪示意圖、貨運站示意圖、指標顯示視窗。

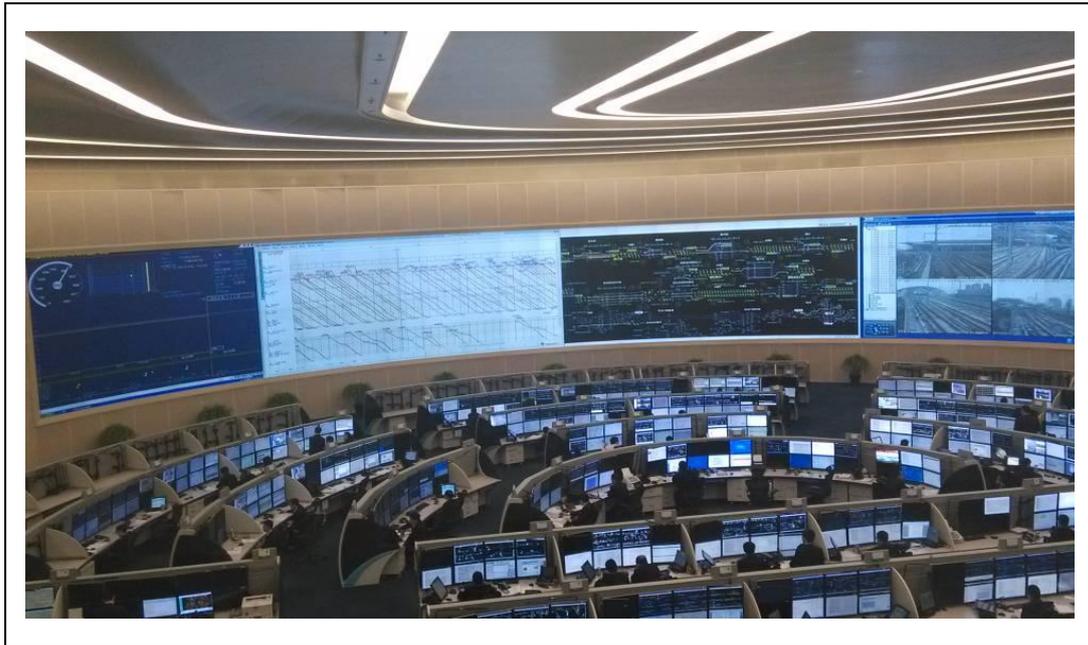


圖 4.1-14 上鐵局調度中心的大型螢幕牆

(三) 列車控制系統 CTCS-3

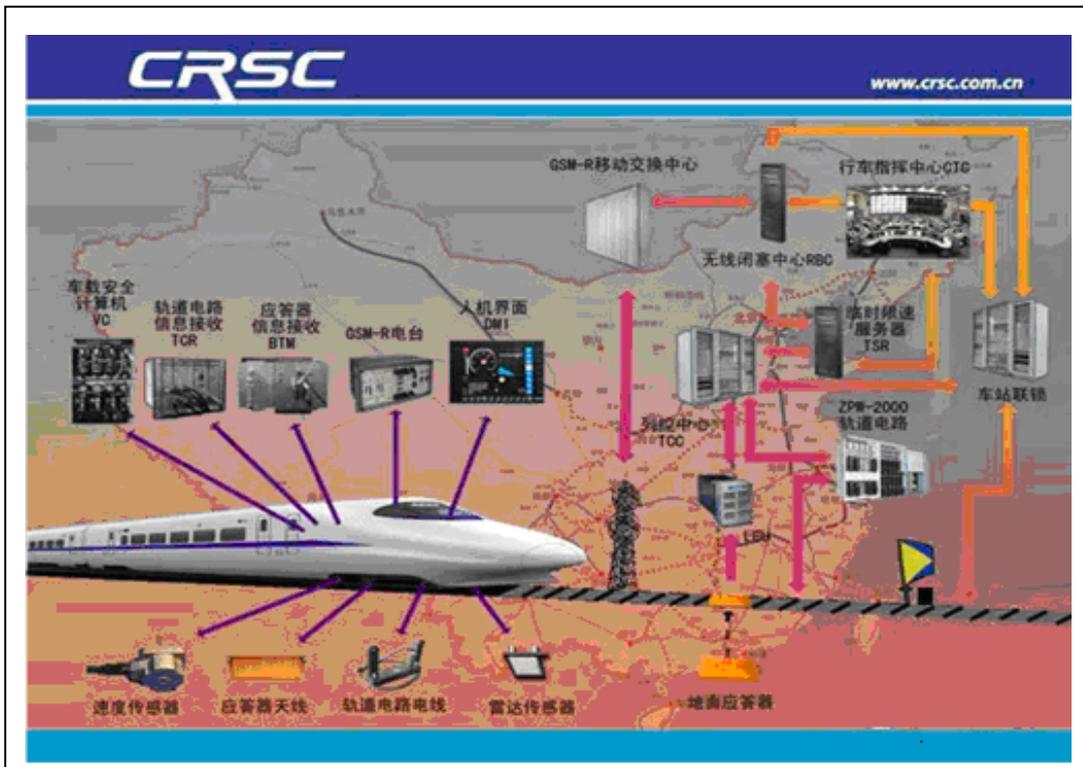


圖 4.1-15 列車控制系統 CTCS-3 相關設備示意圖

當前，中國的高速鐵路列車採用的是 CTCS-3 級國際先進列控系統，為其高速鐵路先進的運營控制系統。

高速鐵路以設備控制為主，人員操作為輔；列控系統能對列車運行速度進行監督與控制，自動調整各列車間的追蹤間隔，避免追撞事件的發生。在駕駛室的螢幕上，司機員能看到前方的路況信息，可以從容地應對突發事件。

CTCS-3 的核心技術在於應用無線傳輸方式控制列車運行。其中有兩個關鍵設備，一在地面，一在車上。地面設備為 RBC 系統，即無線閉塞中心系統；車上的車載設備為 ATP 系統，以連續不間斷地對列車運行速度監督，實現超速防護。

時速 350 公里的高速動車如果瞬間剎車制動，需要減速滑行 6500m。通過 CTCS-3 系統的控制，確保每輛列車自身不超速，確保前後兩個列車之間保持安全行車距離。

高速鐵路的最小行車間隔為 3 分鐘，在如此高速度高密度行車下，保證車輛的正常行駛就顯得格外重要。列控系統是確保高鐵實現高速度、高密度的中樞神經和智慧大腦。

高鐵遵從“高可靠、高可用、高安全原則”，當系統檢測到任何可能影響列車安全運行的因素時，列控系統都會自動採取防護措施，及時防止發生嚴重後果。這些措施包括設備故障切換至備援系統、降級運行（如車載列控設備與 RBC 無線通信故障，超過一定時間而未成功重連時，列車就降級到 CTCS-2 運行），以及減速停車等，即預估一切可能出現的不利因素，採取措施避免出現事故及運營秩序混亂。

二、電車線系統設備

(一)電力接觸網的分類

在電氣化鐵道接觸網中，有接觸線、承力索和輔助承力索等組件組成。接觸線就是與列車頂部的受電弓直接接觸的可以根據需要不斷延長的電力線，列車牽引電流從接觸線流過，為了增強堅韌度，降低電能損耗，一般選用銅等電阻較小的材料。接觸線規格範圍 $85\text{mm}^2\sim 150\text{mm}^2$ 。其結構特點是採用銅、銅銀合金、高強度銅銀合金、銅錫合金、銅鎂合金、高強度銅鎂合金等，來滿足電氣化鐵道接觸網需要。並提供符合鐵道部 TB/T2809 的銅、銅銀合金、高強度銅銀合金、銅錫合金、銅鎂合金、高強度銅鎂合金等各種接觸線。

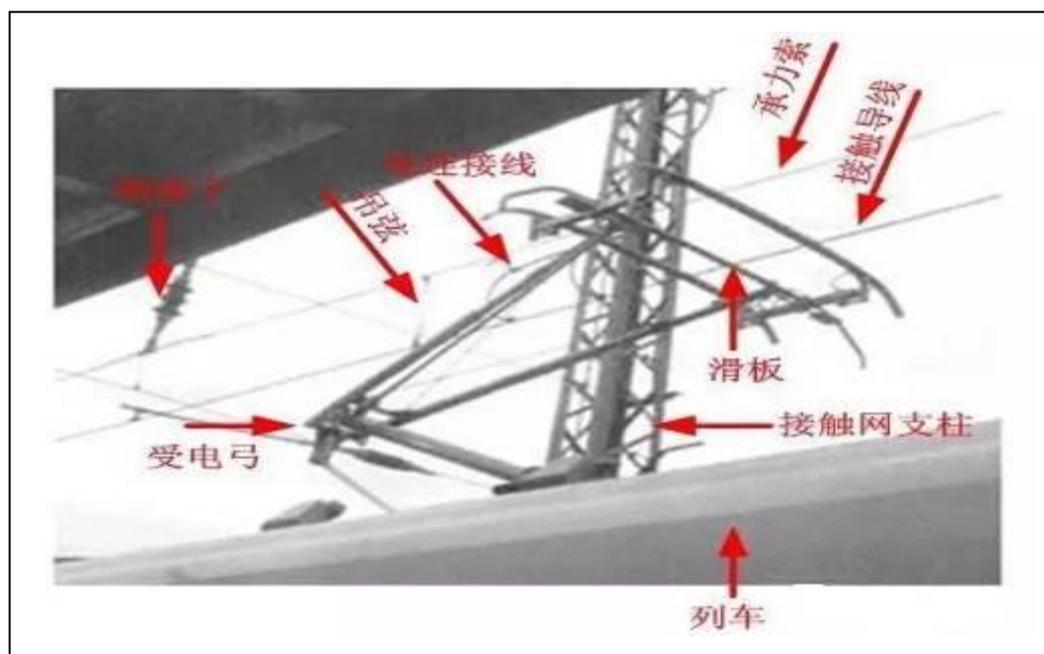


圖 4.2-1 電力接觸網相關組件示意圖

同時，為了保證良好的受流和降低維護成本，還要求接觸線材料結實、輕便、摩擦性能與受電弓滑板相匹配。

承力索就是一根能垂直抓住接觸線的吊弦。(吊弦是鏈形懸掛的重要組成部件之一,接觸線通過吊弦掛在承力索上,調節吊弦的長度可以保證接觸懸掛的結構高度和接觸線距軌面的工作高度,增加了接觸線的懸掛點,這樣使接觸線的弛度和彈

性均得到改善,提高電力機車受電弓的取流質量。)它的作用是讓接觸線水平地懸掛在距離鋼軌軌面一定的高度上。在復鏈形接觸網懸掛中,還多了一條輔助承力索,其主要作用是進一步提高接觸線的水平度,保證良好受流。

接觸網的分類大多以接觸懸掛的類型來區分。為滿足供電、機械方面的分段要求,將接觸網分成若干一定長度和相互獨立的分段,每一分段叫錨段。兩個相鄰錨段銜接部分稱為錨段關節。根據錨段所起的作用可分為電分段非絕緣錨段關節和電分段絕緣錨段關節。另外,在 BT 供電區段還有一種吸變台錨段關節。非絕緣錨段關節只起機械分段作用。絕緣錨段關節既起電分段作用還起機械分段作用。接觸網錨段關節的結構複雜,其狀態和質量的優劣將直接影響接觸網的供電質量和電力機車的取流質量。對錨段關節的一般要求是當電力機車通過時,其受電弓能平滑地、安全地由一個錨段過渡到另一個錨段去,且取流情況良好。



圖 4.2-2 鐵路沿線架設之電車線

錨段的區分在圖紙上主要是看錨段關節,普通電力鐵路(非高鐵)主要是四跨錨段關節,五棵支柱,中間的是中心柱,中心柱兩邊是兩個轉換柱,再向外就是下

錨柱。在中國高速電氣化鐵道建設中,接觸網錨段關節的設計一般採用 Re200C 錨段關節,分為非絕緣三跨、非絕緣/絕緣四跨、絕緣五跨幾種形式。一般情況下,隧道內接觸懸掛設計常採用三跨關節,此項施工技術已經很成熟。然而四跨和五跨關節在施工中經常會遇到絕緣距離無法保證,轉換柱的抬高支很長等實際問題。實事求是講,還有待於在工程實踐中不斷完善優化,從而保持持續創新的動力。

我們所講的接觸懸掛的分類是對接觸網的每個錨段而言的。錨段兩端的承力索和接觸線都直接或通過補償器固定到錨柱上。其作用一是縮小事故範圍。當發生斷線或支柱折斷事故時,由於接觸網在機械受力方面是分成各自獨立的分段(即錨段),使事故限制在一個錨段內從而不致波及相鄰錨段。其二是便於加張力補償裝置,使承力索和接觸線的張力基本保持不變,提高接觸懸掛的穩定性並改善其彈性,減少了接觸網的馳度,有利於電力機車取流。其三是縮小因檢修而停電的範圍。在進行接觸網檢修時,可以打開絕緣錨段的隔離開關,使停電範圍縮小,保證非檢修錨段的正常供電。接觸懸掛的種類較多,一般根據其結構的不同分成簡單接觸懸掛和鏈形接觸懸掛兩大類。



圖 4.2-3 電車線工程施工

一是簡單接觸懸掛（以下簡稱簡單懸掛）：只有一條接觸線固定在支持裝置上的接觸懸掛形式。國內外對簡單懸掛做了不少研究和改進。我國現採用的帶補償裝置的彈性簡單懸掛繫在接觸線下錨處裝設了張力補償裝置，以調節張力和弛度的變化。在懸掛點上加裝 8~16m 長的彈性吊索，通過彈性吊索懸掛接觸線，這就減少了懸掛點處產生的硬點，改善了取流條件。另外跨距適當縮小，增大接觸線的張力去改善弛度對取流的影響。

二是接觸網鏈形懸掛的接觸線，通過吊弦懸掛在承力索上。懸掛於支柱的支持裝置上，承力索在接觸線上方，使接觸線在不增加支柱的情況下增加了懸掛點，利用調整吊弦長度，使接觸線在整個跨距內對軌面的距離保持一致。鏈形懸掛減小了接觸線在跨距中間的弛度，改善了彈性，增加了懸掛重量，提高了穩定性，可以滿足電力機車高速運行取流的要求。

鏈形懸掛比簡單懸掛得到了較好的性能，但也帶來了結構複雜、造價高、施工和維修任務量大等許多問題。鏈形懸掛分類方法較多，按懸掛鏈數的多少可分為單鏈形，雙鏈形和多鏈形（又稱三鏈形）等。目前中國電氣化鐵路和客運專線採用簡單鏈形懸掛；德國高速電化鐵路採用彈性鏈形懸掛；日本新幹線採用復鏈形懸掛。鏈形懸掛根據線索的錨定方式（即線索兩端下錨的方式），可分為下列幾種方式未補償鏈形懸掛、半補償鏈形懸掛、全補償鏈形懸掛。

(二)列車電力的提供

牽引供電分為普速鐵路、高鐵和地鐵三大類。而在地鐵中，一般採用直流電給機車供電。

牽引供電系統兩主要組成部分：牽引變電所和牽引網；要想給列車提供電力，首先要完成從輸入電網電壓到列車運行電壓的轉換，由牽引變電所完成，一般電網給鐵路輸入的電壓為 110KV 或者 220KV，牽引變電所將電壓轉換成 27.5kv 或 55kv(比額定電壓高 10%)，採用兩路進線，一備一用。列車運行電壓 27.5KV,(無

論是高鐵還是普速列車，雖然高鐵在供電方式上是 AT 供電，變壓後是 55KV，但是軌-接觸網之間的電壓還是 27.5KV。）

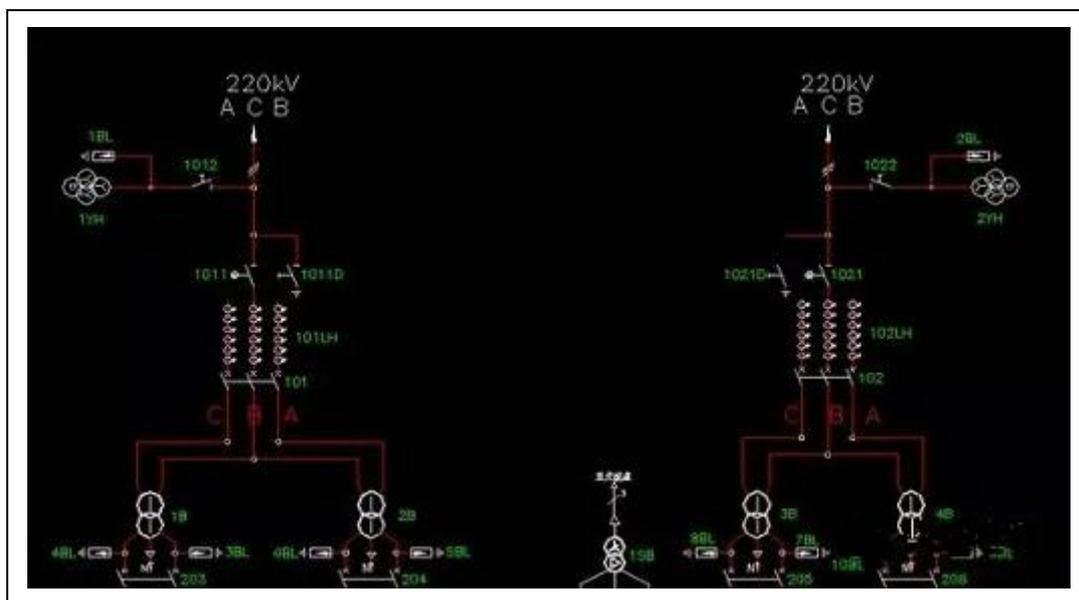


圖 4.2-4 牽引供電系統示意圖

牽引變電所完成降壓後，給整個鐵路供電系統提供了電力電源，但是一個電路光有電源還是不行的，還得有一個迴路。這個時候就得有牽引網了。一個最簡單的牽引供電模型就是：



圖 4.2-5 簡單的牽引供電模型

牽引網包括接觸網，承力索、迴流線等等，AT 供電更複雜；機車要運行就要有一個完整的電路迴路，迴路則由牽引網部分構成。普速和高鐵的牽引網組成

結構是不一樣，結構不一樣，本質是供電方式不一樣。

在中國大部分運營鐵路牽引供電方式主要有兩種：

- 1、帶迴流線的直接供電方式(普速列車)
- 2、AT 供電方式（動車高鐵）

其他類似於 BT 供電、直接供電、CC 供電僅僅存在於教科書和少部分實驗線路。

帶迴流線的直接供電方式----- 主要組成：接觸網、鋼軌、迴流線

帶迴流線的直接供電方式，是在直接供電方式下的一種改進的方式，增加了一條迴流線。

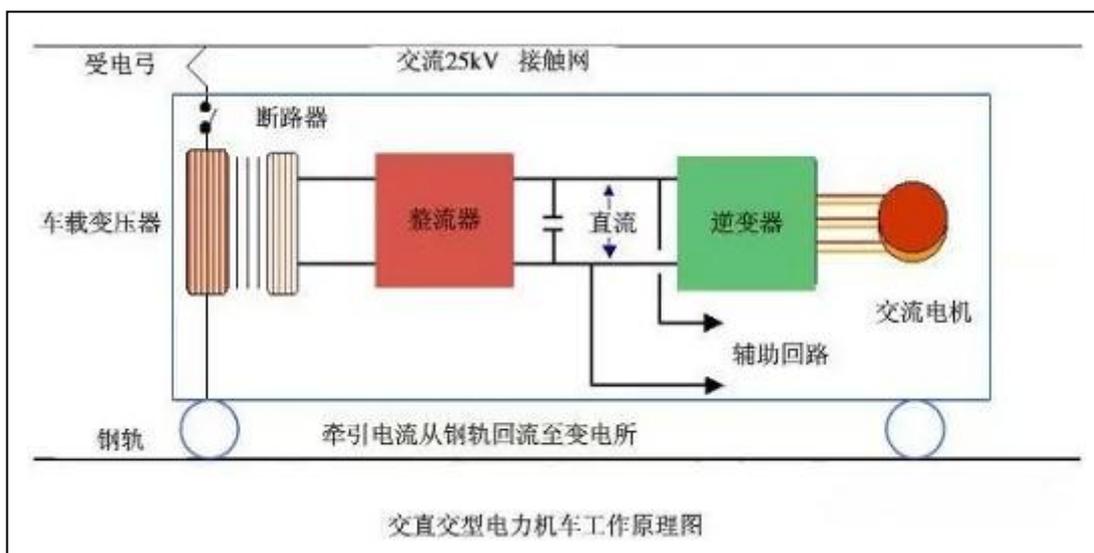


圖 4.2-6 交直流型電力機車工作原理圖

直接供電方式，是最簡單的牽引供電模型，示意圖如下：

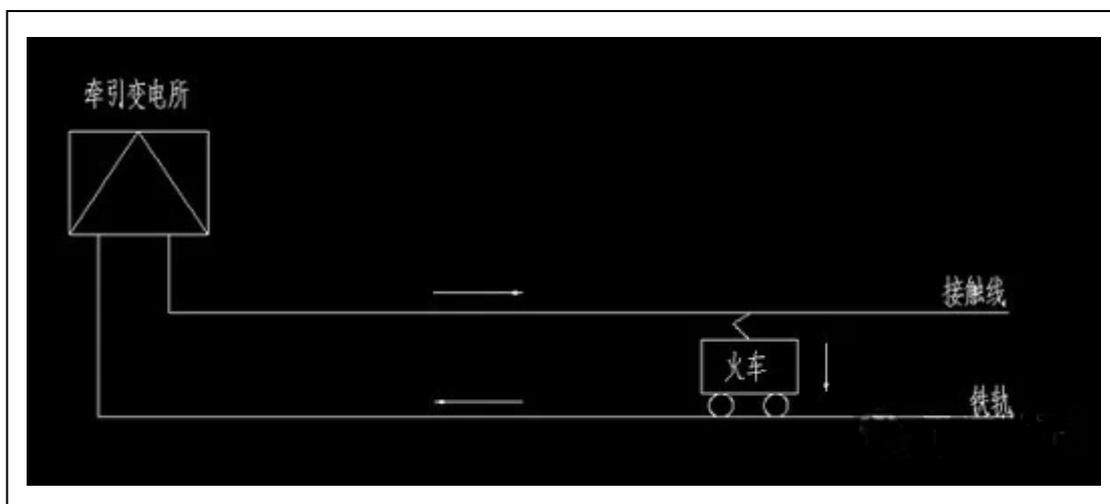


圖 4.2-7 直接供電方式示意圖

帶迴流線的直接供電方式，示意圖如下：

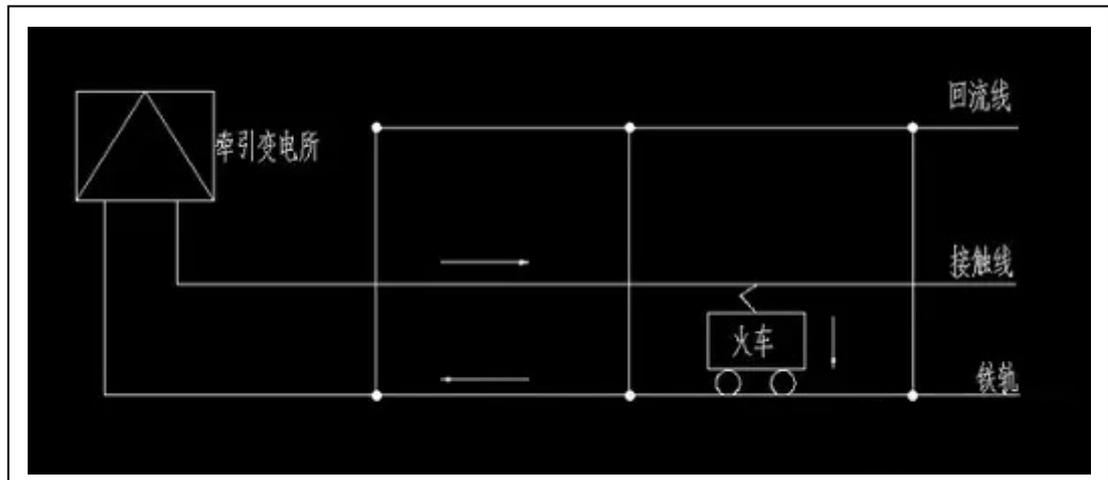


圖 4.2-8 帶迴流線的直接供電方式示意圖

在直接供電方式下增加了一條迴流線，迴流線在工程上每 5-6km 和鋼軌並聯一次；，整個迴路在機車運行的時候，電流從牽引變電所出來經過接觸網流入機車，在通過機車流向鋼軌，通過鋼軌和大地流回牽引變電所。

如何抑制干擾，我們設想將經過鋼軌和大地的電流控制在一根導線上流回牽引變電所，大小與接觸網電流相等，方向相反，則可以抵消干擾。所以就增加了一根迴流線，迴流線由於電阻較小，鋼軌上的電流會往迴流線上走，迴流線隔一段距離與鋼軌相連，將原來鋼軌和大地大部分電流都吸上迴流線，這樣的效果就是迴流線的電流和接觸網的電流大小基本相等，方向相反。使得迴流線的感應電流抵消接觸網的感應電流，完成了抑制通信線的干擾。（實際上還是有一部分電流通過鋼軌和大地流回變電所，所以還是有干擾無法完全抵消）

鋼軌上的很大一部分電流分流到迴流線上，鋼軌本身電位也會下降，在設計過程中，鋼軌電位在規範上也是有嚴格的限制。鋼軌在機車通過的時候，還是有電壓的，只是在安全範圍內。

AT 供電方式----- 主要組成：接觸網、鋼軌、正饋線高速鐵路（高鐵及

城際鐵路等) 都採用的是 AT 供電方式，其示意圖如下：

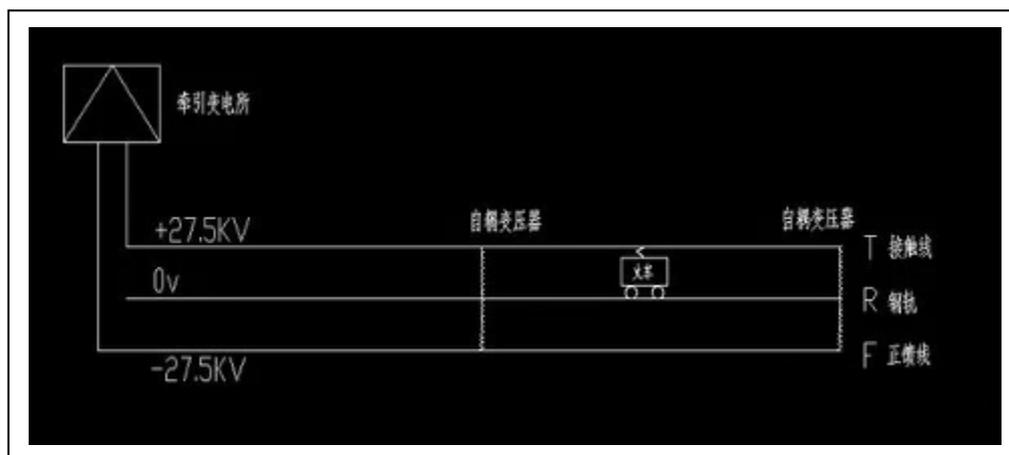


圖 4.2-9 AT 供電方式示意圖

從示意圖可以看出，牽引變電所出來的兩條線接觸線和正饋線之間的電壓是 55KV，但是由於鋼軌接地為 0V（理想狀態下），所以鋼軌和接觸線上的電壓還是 27.5KV，即火車實際用的電壓還是 27.5kv，這也就是 高速鐵路和普速鐵路雖然供電方式不一樣，但是動車也可以在普速鐵路上慢速跑。

高鐵或者是重載鐵路（大秦運煤專線），由於速度快重載，所以在相同電壓下電流肯定大，而不管什麼導線（接觸線）肯定是有阻抗 R， $\Delta U=IR$ ，電流越大，電阻一定的條件下，電壓損失就大。這個時候，供電電壓成倍的提高，牽引網阻抗就會變小，壓降就會變小。所以 AT 供電方式在這種情況下網上電壓損失減小，一個牽引變電所覆蓋的區域就要大。自耦變壓器在這裡的作用就是將鋼軌的電流洗上至正饋線及接觸網，目的依舊是儘量是鋼軌電流變小，降低鋼軌電位，減小對通信干擾。

牽引變電所

牽引變電所為架空接觸網提供電能。



圖 4.2-10 典型的架空接觸網

架空接觸網的末端是牽引變電站，平均數十千米/座。每個變電站伸出兩個供電支，提供不同相的交流電，這就是“供電段”。據此可認為鐵路供電是按照“供電段”來進行劃分的；列車經過兩個變電站的“供電段”時，先後通過A1-B1-A2-B2 四個供電支。為保證供電安全，各供電支之間並非直接連結，而是存在確保電氣絕緣（隔離）的結構或設計，因此各供電支之間不會短路。

列車從一相運行到另一相的過程，叫做列車的過分相（電分相是線路上極短的一個區域，列車運行過程中，過分相瞬時完成）

因此，牽引變電所給架空接觸網供能的過程為牽引變電所給各供電支提供電能，列車接受供電支的電能以維持運動，不斷完成過分相-受流的循環（供電段）的同時向前運行。

架空接觸網及弓網系統

受電弓與架空接觸網合稱受電弓-接觸網系統，簡稱弓網系統。架空接觸網，

是弓網系統的一部分；弓網系統是牽引供電系統中的固定/移動設備結合點。即列車運行過程中，牽引系統從變電站一直到接觸網都是靜止的，而從受電弓部分開始，整個高速列車，都是運動的。



圖 4.2-11 弓網系統在高速列車牽引供電系統中的位置

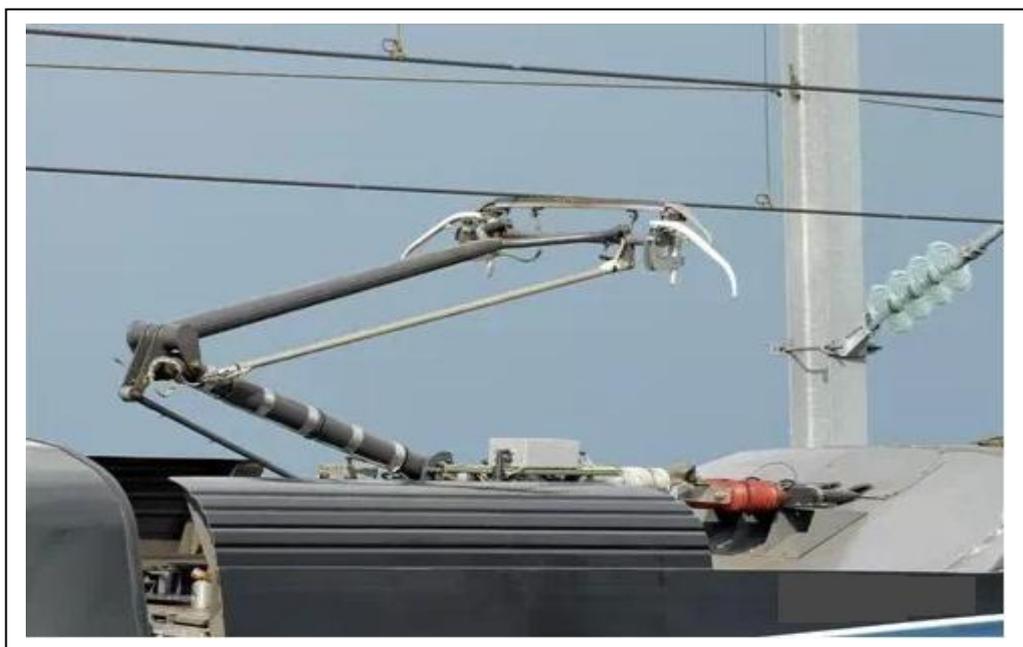


圖 4.2-12 弓網系統近照

上圖為弓網系統的大致結構。受電弓係位於列車車頂的摺疊裝置；與受電弓直接接觸的即為接觸線，接觸線是架空接觸網的一部分；高速列車通過受電弓將架空接觸線上的電能取回車內。

三、信號(號誌)系統設備

(一)高速鐵路促進鐵路信號的發展

高速鐵路對鐵路信號提出了很多需求，促進了鐵路信號的大發展，無論從概念、原則、構成、技術上都發生很大的變化。

自武廣 350 km/h 的高速鐵路順利開通，以無線通信為車地信息傳輸系統的中國列車運行控制系統 CTCS-3 得到成功運用，200 km/h 以上的高速鐵路網建設也已初具規模，中國鐵路和鐵路信號的面貌為之一新。

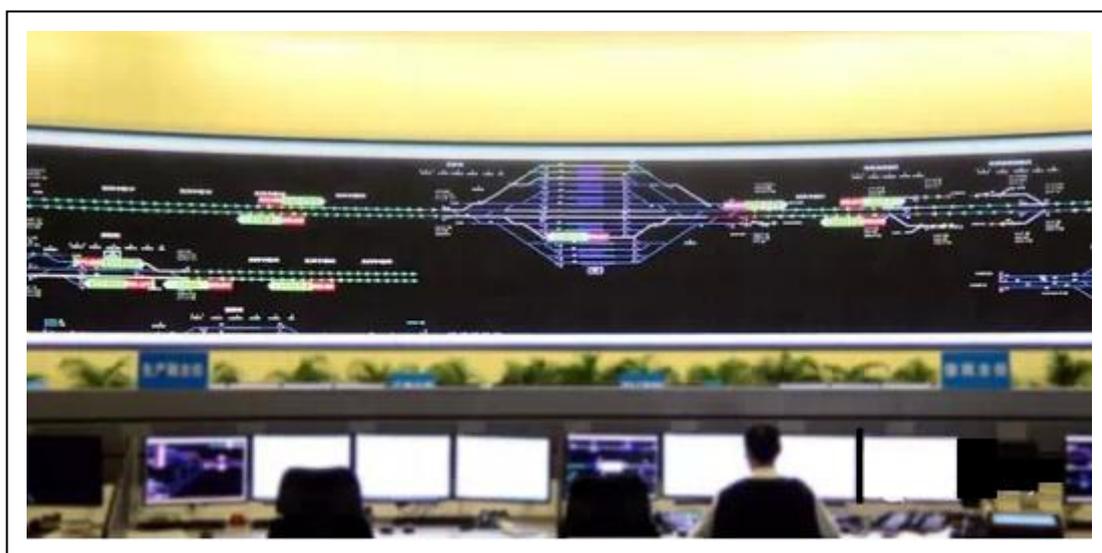


圖 4.3-1 行車調度指揮中心

高速鐵路對鐵路信號提出了很多需求，促進了鐵路信號的大發展，無論從概念、原則、構成、技術上都發生很大的變化。較大的變化如下。

高速鐵路的鐵路信號系統從傳統的車站聯鎖、區間閉塞、調度監督，發展為列控系統、車站聯鎖、綜合行車調度 3 大系統。

鐵路信號從以車站聯鎖為中心向以列車運行控制系統為中心轉化。

列車運行調度指揮從調度員—車站值班員—司機 3 級管理向實現由調度員直接控制移動體（列車）轉化。

列車運行由以人為主確認信號和操作向實現車載設備的智能化轉化。

車地信息傳輸從小信息量到大信息量，線路數據從車上貯存方式到地面實時上傳方式。

信號顯示制式從進路式、速差式，發展為目標-距離式；信號機構從地面信號機為主，發展為車載信號為主，甚至取消地面信號機。

閉塞方式從三顯示、四顯示的固定閉塞，發展為準移動閉塞。

列車制動方式從分級制動到模式曲線一次制動，制動控制方式從失電制動發展到得電和失電制動優化組合。

信號設備從繼電、電子技術為主，發展到信號控制、計算機、通信技術的一體化。

車站聯鎖從繼電聯鎖發展到計算機聯鎖，從傳統聯鎖發展到信息聯鎖。

信號系統從孤立設備組成，發展到通過網絡化、信息化構成大系統。

主流移頻軌道電路的載頻從 600 Hz 系列調整為 2000 Hz，從少信息向多信息發展，數字化軌道電路的研究也取得初步成功。

軌道電路從在有砟軌道上運用，發展到在無砟軌道上運用。

站內軌道電路從疊加電碼化向一體化站內軌道電路發展。

應答器和計軸設備廣泛應用於信號系統。

道岔轉換設備改內鎖閉為外鎖閉，提高轉轍機功率，加大轉換動程，改尖軌聯動為分動，採用密貼檢查器實現大號碼道岔尖軌的密貼檢查，對大號碼道岔由單點牽引改為多點牽引，解決了可動心軌的牽引鎖閉問題。

調度指揮系統從調度監督，發展到分佈自律的調度集中，構建綜合調度指揮系統，建設大型的客運專線調度中心。

高速鐵路安全性要求更高，防災報警系統納入綜合調度指揮系統，開始與信號發生聯鎖。

高速鐵路要求開天窗維護，電務集中監測納入綜合調度指揮系統。

調度集中的安全等級提高，限速系統採用專門的安全通信通道。

信號系統採用的通信通道從傳統的電線路，發展到光通信，從有線通信發展

到無線通信，非安全通信通道用於信號安全領域。

故障- 安全理念從傳統的追求絕對安全，發展到以概率論為基礎的安全性系統設計。

確立以歐洲鐵路標準體系為參考標準，建立安全評估機制，通過第三方進行安全認證，對系統進行綜合仿真與測試。

鐵路現代化、信息化擴大了“鐵路信號”的內涵，鐵路信號技術向數字化、網絡化、智能化和綜合化方向邁進。

350 km/h 的高速鐵路，是當今國際鐵路技術的高峰。對鐵路信號來說是一個重要的里程碑，CTCS-2 和 CTCS-3 的成功運用，標誌著中國鐵路有了自己的列車運行控制系統，鐵路信號重要裝備水平開始進入了世界先進行列。

鐵路信號為鐵路高速保駕護航，鐵路高速推動了鐵路信號的發展。

的路發展的，是從點式、點連式、接近式到連續式，從固定閉塞到準移動閉塞，從分級速度控制到一次模式曲線連續控制，從點式、軌道電路到無線傳輸……經歷了多次的研發、試驗和引進，其實尋找 CTCS-2 和 CTCS-3 之路還是漫長的，是經濟和技術發展的必然結果。

北京全路通信信號研究設計院（以下簡稱通號院）在 1965 年，為完成北京地鐵一號線的通信信號工程，組建專門從事地鐵通信信號研究與設計的 650 設計科，那時就有列控組，從事地鐵的列控系統的研究與設計。

早期的列控系統是從列車速度監督開始的，1985 年在雙頻點式機車信號的基礎上研究了點式列車速度監督設備，在膠濟、黔桂、蘭新線試驗過；1987 年在三顯示自動閉塞基礎上研究了階梯式列車速度監督設備，在山海關試驗過；1988 年在交流計數機車信號基礎上研究了列車運行記錄裝置，在馬角壩試驗過。

1993 年鐵道部從瑞典 ABB 公司引進 EBICAB-900 型列車超速防護系統，1995 年在川黔線試驗成功，此時已將應答器與連續式機車信號結合，構成點連式列車超速防護系統。

早期的列控系統之所以不成功，其主要原因有以下 2 點。其一，早期的列控系統基於機車信號，由於安全性和可靠性不理想，當時的機車信號始終未能成為主體信號，基礎不牢靠，列控系統也不可能穩定，全路進行 ZPW-2000 自動閉塞改造和統一機車信號低頻信息碼是列控系統成功的基礎之一；其二，由於機車信號只有少量信息，早期的列控系統只能採用固定閉塞方式，機車信號不穩定時，就導致閃白燈或制動，司機不滿意，所以 CTCS-2 和 CTCS-3 列控系統都採用準移動閉塞方式。

提速是高速的基礎

1994 年竣工的廣深準高速鐵路，採用了引進的 UM71/TVM300 系統，這是階梯式的列車超速防護系統，當時稱其為四顯示自動閉塞，這是針對地面信號而言，實際上機車信號是按多信息自動閉塞設計的，除正常的綠、綠黃、黃、紅四顯示外，機車信號還有綠 1、綠 2、綠 3 之分，這就為以後從速度 160km/h 提高

到 200km/h 鋪墊了條件。

鐵科院自行開發的列車運行控制系統 ZLSK 和 LSK 系統也在廣深線投入運營。1995 年 6 月鐵道部決定在既有幹線“提速”，“九五”期間，鐵路實現了 3 次較大範圍的提速，“十五”期間進行了第 4、5 兩次提速，2007 年 6 月 18 日鐵路實施了第 6 次大提速。

鐵路提速需要技術支撐，涉及多工種多專業，鐵路提速對鐵路信號也提出了更高的要求。經過 6 次鐵路提速，從鐵路信號技術的角度最重要幾次如下。

第 1 次提速，衝擊了鐵路信號的傳統概念，快速客車最高速度衝破了 120km/h 的界線，推動鐵路信號向速差式信號顯示和四顯示自動閉塞發展，加速了機車信號主體化的進程。

第 2 次提速，速度達到 160km/h，形成了一個標準速度等級，是鐵路信號的一個重要里程碑，列車最高速度超過 160 km/h 的鐵路區段，必須採用列車運行控制系統，以車載信號顯示為主，實現列車超速防護。

第 6 次提速，速度達到了 200 km/h，中國鐵路列車運行控制系統 CTCS-2 開始亮相。這對鐵路信號來說是一個重要的里程碑，它標誌著鐵路信號重要裝備水平開始進入了世界先進行列。

通過提速，鐵路信號基礎水平提高了：全路進行 ZPW-2000 四顯示自動閉塞改造；全路統一機車信號低頻信息碼；全路建成鐵路調度指揮系統（TDCS）。

列車速度的提高到 160 km/h 及以下，信號顯示制度向速差式發展；列車速度的提高到 160 km/h 以上時，以車載信號顯示為主，列車運行控制系統採用目標-距離方式，車載信號提供了連續的速度顯示，固定閉塞向準移動閉塞發展。

以車載信號顯示為主，採用目標-距離方式，這是列車運行控制系統成功的選擇。

高速鐵路信號的前期研究

1990 年在“四部一委”組織的《京滬高速鐵路前期研究》中明確提出：隨着列車速度的提高，採用以地面信號機為主的自動閉塞已經不能滿足高速列車運

行安全，應以車載速度信號作為行車憑證。

1991 年通號院開始參加京滬高速鐵路的通信信號、綜合調度及信息化的前期研究和設計。1992 年完成《京滬高速鐵路信號專題可行性報告》，1993 年深化了可行性報告。1995 年前有 3 家研究單位分別做了大量分析研究工作，各自提出了總體方案報告，未能形成統一文件。

1995 年“高速辦”成立，年底主持了方案論證會，會議建議由通號院牽頭三單位組成總體組並統一了對京滬高速鐵路列控系統的意見：採用基於數字編碼軌道電路傳輸、一次制動模式的列控系統，首次提出中國鐵路列車運行控制系統 CTCS 的概念。1996 年完成了《京滬高速鐵路預可行性研究報告》(徵求意見稿)。1997 年完成《京滬高速鐵路初步設計》。從 1991~2003 年國家級及部級科研項目有關通信信號的達上百多項，通號院開展的國家級及部級科研項目就達 60 多項。

1997 年通號院與法國 CSEE 公司就 TVM430 系統能否實現一次制動模式進行了合作研究，結論基本可行，但受信息量不足的影響，只能實現簡單的一次模式。1998 年，鐵科院與日本合作，將日本提供的數字 ATC 在環行道上試驗，結論可行，但採用自然衰耗方式的無絕緣軌道電路，模糊區較長（日本實際使用的仍採用的有絕緣數字編碼方式）。

2000 年，秦沈客運專線的建設為高速、客運專線列控系統的建設積累了寶貴經驗。鐵道部慎重決策，選定了以 SEI/TVM430 系統為核心的信號綜合系統方案，2003 年 10 月完成系統調試開通。

歐洲鐵路網為了保證互通運營，歐盟組織編製的系統性的規範與標準 ERTMS/ETCS 於 1999 年發佈，規範與標準詳細規定了系統與子系統的功能與技術要求。其中 ETCS 系統就是完成列車運行控制的系統。

採用國際標準，吸納國際技術發展成果，可以免受個別國外公司制約。鐵道部組織編製中國鐵路列車運行控制系統（CTCS）規範與標準。

CTCS 系統的形成是經過部內多次論證、試驗驗證逐步形成的，是根據中國既有設備狀況、技術政策，參照歐州 ETCS 的有關標準、思路提出的。它的發佈

對中國鐵路信號技術的發展起着重要的作用。

2002 年 12 月，在中國召開的 UIC 國際大會上，鐵道部向世界宣佈了發展中國列車運行控制系統（簡稱 CTCS）的規劃，明確：CTCS-2 級為既有 200km/h 以下的線路採用的列控模式；CTCS-3 級為基於 GSM-R 的超防系統設備主要用於高速鐵路。

2003 年 7 月京滬高速預審前，出於對數字編碼軌道電路壟斷性的擔憂，列控主方案轉向 CTCS-3 級(相當 ETCS 2 級)方案。鐵道部決定採用基於 GSM-R 的無線列控系統，否定了基於數字軌道電路列控系統的技術路線。

又考慮到當時基於無線的高速列控系統還沒有開通應用的先例，於是提出了 CTCS-2 作為兼用和備用的設計方案，即所謂 CTCS-3+CTCS-2 的雙標設計方案。據此完成了《京滬高速鐵路工程通信信號、綜合調度及信息化可行性研究》，確定了京滬高速的列控系統設計方案：列車運行控制系統採用 CTCS-3+CTCS-2 雙重系統，高速動車組高速線正常情況下採用基於無線傳輸的 CTCS-3（ETCS2）列控系統，下高速線和後備模式採用 CTCS-2 列控系統；跨線動車組上高速線運行時採用 CTCS-2 列控系統。

CTCS-2+ETCS2（CTCS-3）應當說明是成功的工程設計方案，當時 ETCS2 在歐洲試驗段的進度推遲，而 CTCS-2 提速鐵路上已成功運用，CTCS-3 作為主用系統代表了技術方向，CTCS-2 作為兼用和備用系統是確保工程成功的法寶，既成功取決了與既有提速鐵路動車組互聯互通的難題，達到兼用的目的，又能作為 CTCS-3 的降級備用系統，也能防備萬一 CTCS-3 不能同時開通的風險。

2004 年客專設計的全面啟動，設計方案延續京滬高速的思路按 CTCS-2+ETCS2 考慮。

基於軌道電路和點式設備構成的列控系統是成熟技術的組合，但畢竟也沒有應用先例，2004 年初，部決定在鐵科環行線進行 CTCS-2 和 ETCS-2 的相關試驗。主要試驗工程內容：CTCS-2 級列控系統的主要功能和可用性試驗；GSM-R 作為列控系統傳輸平台的主要功能及適用、可靠性試驗；ETCS 2 級列控系統的

主要功能和可用性試驗； ETCS 2 級與 CTCS-2 級兼容試驗。

2005 年初，既有線 CTCS-2 車載設備招標，以市場換技術，通過引進國內能夠掌握關鍵，進行自我研發。

CTCS-2 系統大規模應用於第 6 次提速工程（200km/h），包括京廣線、京滬線等。至今 CTCS-2 系統已經成熟並成為我國鐵路主要的列控系統之一。

CTCS-2 系統與 ETCS2 系統技術規範是基本相同的，它們僅在運行許可傳輸媒介上存在着不同，CTCS-2 採用軌道電路+查詢應答器，ETCS2 採用 GSM-R 無線數字移動通信網絡，這使兩系統模式在同一系統設備、同一線路上共同使用成為可能。

ETCS2 的無線閉塞中心根據列車對線路軌道的占用、進路及限速等信息的處理，產生運行許可信息，信息按兩系統各自的通信協議進行編碼處理後分別通過 GSM-R 和軌道電路+查詢應答器送到高速線上，裝置 ETCS2 系統的列車通過 GSM-R 進行接收，其他列車則通過軌道電路+查詢應答器進行接收，接受運行許可後兩系統列控車載設備所做的 ATP 超速防護監控工作是完全相同，從而實現了兩個裝置不同 ATP 系統的列車在高速線上共線運行。

結合武廣 350km/H 高速鐵路的建設，貫徹引進、消化、創新、研究的技術路線，終於形成了具有自主知識產權的中國列車運行控制系統 CTCS-3，CTCS-3 直接融合了 CTCS-2，功能相當於 ETCS2+ CTCS-2。

中國鐵路有了高端列車運行控制系統 CTCS-3，鐵路信號重要裝備水平開始進入了世界先進行列。在 CTCS-3 實施過程中有很多艱難、研究和創新。

京津城際高速是例外，限於奧運獻禮，當時成熟、有把握的唯有 ETCS1，所以採用了 CTCS-2+ ETCS1 並預留了 ETCS2 方案。

有力的領導決策，長期周密的前期研究、正確的技術路線、合理的系統方案和高速鐵路建設的機遇等都是成功之路中不可缺少的因素。

(三)準移動閉塞的選擇

在高速鐵路列車運行控制系統前期探索時，最早統一意見的目標-距離一次制動方式，也就是說採用準移動閉塞方式。一次制動模式、目標一距離和準移動閉塞是相互關聯，相互對應，存在着必然的聯繫，從 3 個不同角度來描述的概念。

1.選擇準移動閉塞

列車運行控制系統是保證列車按照空間間隔控制運行的技術方法，是靠控制列車運行速度的方式來實現的。

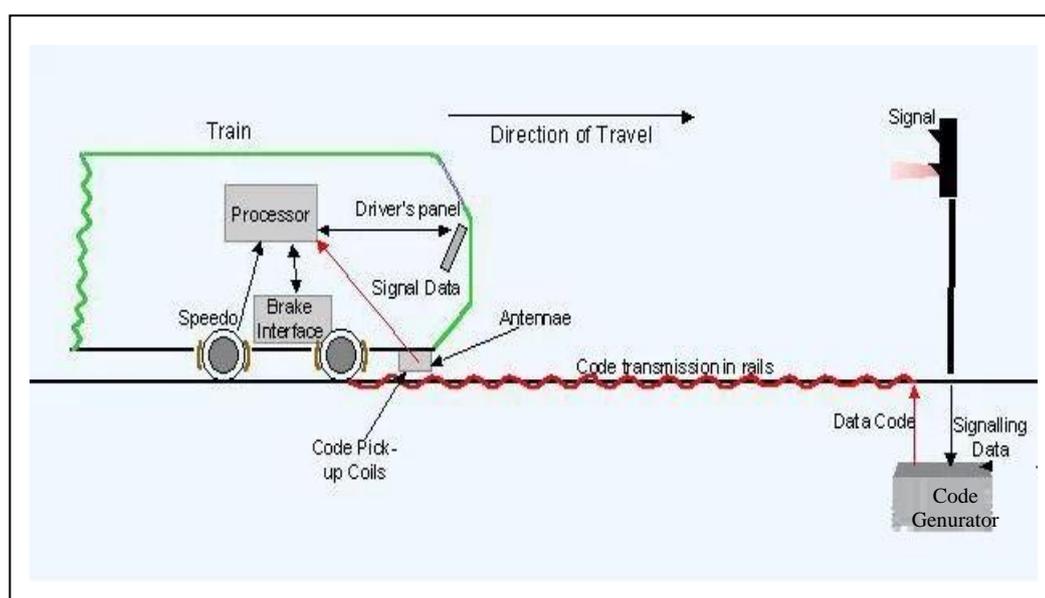


圖 4.3-3 準移動閉塞設備控制示意圖

運行列車之間必須保持的空間間隔首先是滿足制動距離的需要，當然還要考慮適當的安全余量和確認信號時間內的運行距離。所以根據列控系統採取的不同控制模式會產生不同的閉塞制式。列車間的追蹤運行間隔越小，運輸能力就越大。

在高速鐵路列車運行控制系統前期探索時，最早統一意見的就是決定發展目標-距離式列車運行控制系統，也就是說採用準移動閉塞方式，這是經過長期的選擇和體驗的結果。

鐵道部組織制定的中國列車運行自動控制系統 CTCS 技術規範中分 5 個應用等級，各應用等級均採用目標-距離一次制動方式。控制模式是列控系統主要技

術特徵和性能之一，控制模式也決定了閉塞方式和列車運行間隔，從而決定了運輸能力。

我國階梯式和曲線式分級速度控制都曾用過，取得了經驗，好在並未形成規模，CTCS 規範推薦採用目標距離控制模式是適宜的，符合國際列控系統的發展趨勢。

廣深準高速鐵路採用了法國 CSEE 公司的列控系統 TVM300。該系統採用滯後階梯式速度監控方式，只檢查列車進入閉塞分區軌道區段的入口速度，不檢查出口速度，因此為確保安全，它需要有一個保護區段，這對線路的通過能力有一定影響，如圖圖 4.3-4 所示。

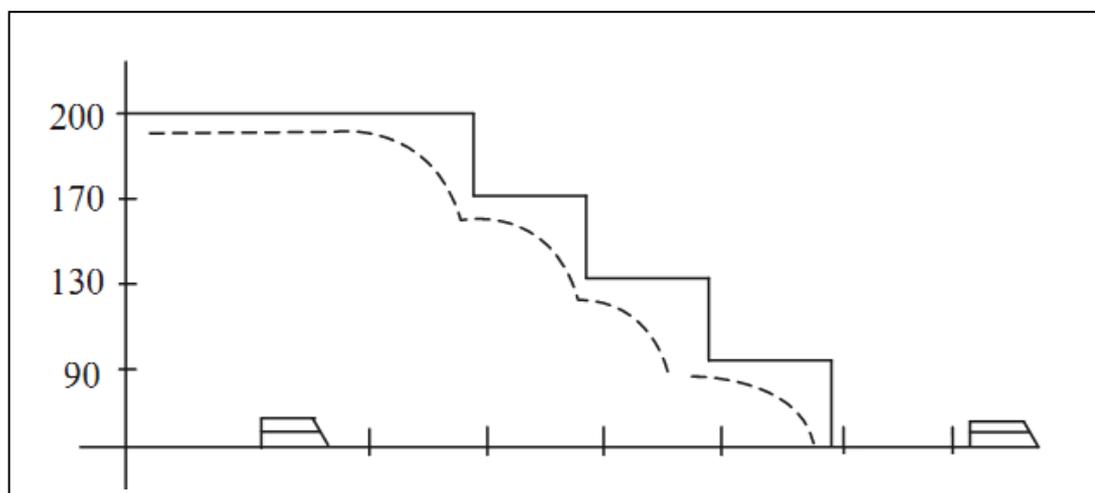


圖 4.3-4 階梯式速度監控

圖中實線條為階梯式速度監控曲線，虛線條為列車實際運行曲線。階梯式速度監控曲線只控制列車進入閉塞分區軌道區段的入口速度，在閉塞分區範圍內速度監控線是條平直線，由司機自行控制減速至下一閉塞分區的入口速度。萬一控制不當就會撞上監控曲線的橫線或豎線，產生緊急制動。若在最後一個閉塞分區範圍內撞上監控曲線，則列車會進入下一個閉塞分區，所以要把下一個閉塞分區設成保護區段。運用實踐證明，司機並不喜歡這種控制方式。

秦沈客運專線採用了 TVM430 列控系統，該系統採用分級速度曲線控制方式進行速度監控，也按速度等級分段制動的，其列車追蹤間隔主要與閉塞分區的

劃分和列車速度有關，而一般閉塞分區的長度的確定是以線路上運行的最壞性能的列車為依據，對高中速列車混合運行的線路採用這種模式能力是要受到較大影響，如圖 4.3-5 所示。

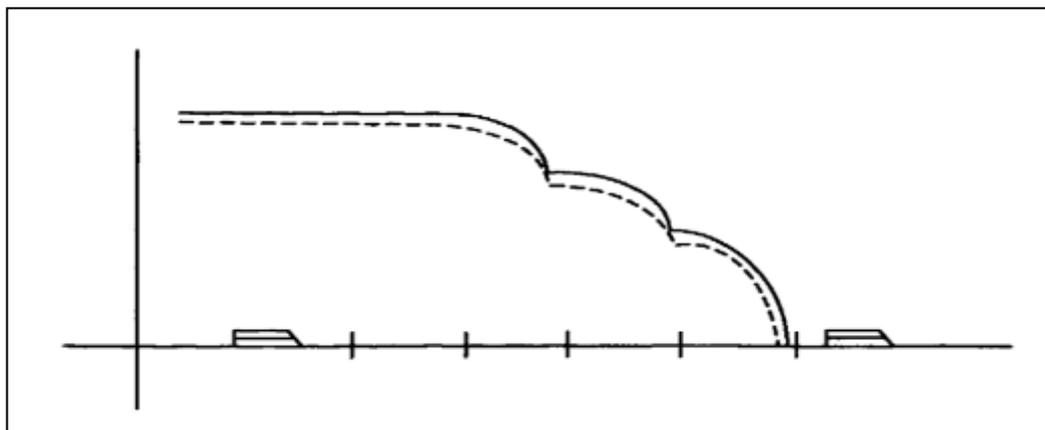


圖 4.3-5 分級速度曲線控制

中國列車運行控制系統 CTCS-2 級和 CTCS-3 級，採用目標-距離一次制動模式曲線方式，車載設備根據地面傳送來的移動許可和線路數據，車載信號設備根據列車性能計算列車運行速度，若列車接近前方減速點時，即刻生成目標-距離一次制動模式曲線。

目標-距離一次制動模式曲線縮短了制動距離，並可根據列車性能給出不同的模式曲線，提高了運輸效率，如圖 4.3-6 所示。

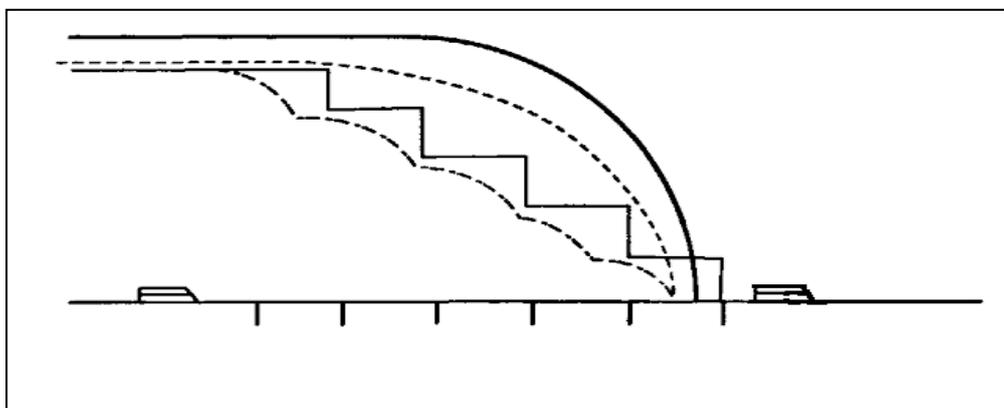


圖 4.3-6 一次制動與分級速度控制的比較

圖 3 中由外至內，粗實線為目標-距離一次制動模式的緊急制動曲線；點虛線為目標-距離一次制動模式的常用制動曲線；階梯式細實線為滯後階梯式速度監控曲線；點劃虛線為分級曲線式監控曲線。

準移動閉塞的概念

列控系統有兩大基本要素：列車運行控制方式與車地信息傳輸方式。列控系統往往以兩者一來命名，例如，“基於準移動閉塞的列控系統”或“基於無線通信的列控系統”。

與列車運行控制方式緊密相關的有 3 個概念：一次制動模式、目標-距離和準移動閉塞。

一次制動模式、目標-距離和準移動閉塞是相互關聯，相互對應，存在着必然的聯繫，從三個不同角度來描述的概念。

一次制動模式和目標-距離是列控系統最基本的技術特徵，標誌著列控系統的技術水平和主要性能，所以介紹列控系統時說的多。準移動閉塞是列控系統採取的閉塞方式，標誌著列控系統的追蹤間隔，是運輸能力的體現，工程設計方面的人員常提及。

準移動閉塞的提法最早見於城軌交通，現鐵路方面也開始習慣於如此稱呼。

鐵路信號過去概括為“信集閉”，信號是給司機的命令；集中是車站電氣集中；閉塞是區間運行間隔控制。

閉塞是控制區間列車運行間隔的方式，其主要的安全需求是防止列車追尾和對撞。列控系統是採取控制列車速度來達到控制區間列車運行間隔的系統，是信號設備的整合，把閉塞的概念包含其中，也可說是實行閉塞的設備。

當今介紹鐵路信號時，多見列車運行控制系統，少提閉塞方式，難怪有人提問：區間閉塞那去了？本文以講基本概念為主，所以題名冠以準移動閉塞，實際上是在講三者的關係。

三個角度

從列車制動方式角度，有一次制動模式和分級制動模式之分，分級制動模式

又可分為階梯式、曲線式，而階梯式中又細分為超前式和滯後式。分級制動模式是指列車在制動時按速度等級分步實施制動，有制動-緩解，再製動-緩解，直至停車的過程；一次制動模式是指列車在制動時按常用制動或緊急制動曲線實施一次操作。

從車載信號顯示方式角度，有速差式、目標-距離式之分。速差式在車載信號顯示屏上僅能顯示出列車運行前方閉塞分區入口速度和出口限制速度；目標-距離式在車載信號顯示屏上顯示出本列車距前行列車所占用軌道區段始端的全長距離和全程制動曲線。引發制動的目標點可以是前行列車所占用軌道區段始端，也可以是其它限速點。當前行列車出清所占用的軌道區段時車載信號顯示的距離和全程制動曲線會發生突然前伸。

從閉塞方式角度，有固定閉塞、準移動閉塞和移動閉塞之分。

固定閉塞的追蹤目標點為前行列車所占用閉塞分區的始端，後行列車從最高速開始制動的計算點為要求開始減速的閉塞分區的始端，這兩個點都是固定的，空間間隔的長度也是固定的，所以稱為固定閉塞。

準移動閉塞的追蹤目標點是前行列車所占用閉塞分區的始端，而後行列車從最高速度開始制動的計算點是根據目標距離、目標速度及列車本身的性能計算決定的。目標點相對固定，在同一閉塞分區內不依前行列車的走行而變化，而制動的起始點是隨線路參數和列車本身性能不同而變化的。空間間隔的長度是不固定的，由於要與移動閉塞相區別，所以稱為準移動閉塞。

移動閉塞的追蹤目標為前行列車的尾部，與前行列車的走行和速度有關，是隨時變化的，後行列車從最高速開始制動的計算點是根據目標距離、目標速度及列車本身的性能計算決定的，是隨線路參數和列車本身性能不同而變化的。空間間隔的長度是不固定的，所以稱為移動閉塞。

相互關聯

一次制動模式、目標-距離和準移動閉塞是相互關聯，相互對應，存在着必然的聯繫。

固定閉塞時列控系統採取分級速度控制模式，是要把速度分級的，兩個速度等級間存在一個速差，其對應的信號顯示就表達了這個速差意義，所以稱為速差式信號顯示。固定閉塞中，採用階梯式速度控制模式時，只要求地對車傳輸運行前方制動距離範圍內閉塞分區空閒個數就行，所以機車信號的信息量就可滿足；採用分級速度曲線式控制模式時，還需要地對車傳輸就近一個閉塞分區的距離和線路參數，列控系統 TVM430，地面採用 UM2000 數字化軌道電路，信息量達 228 位。

準移動閉塞時車載列控設備給出的一次連續的制動速度控制曲線是根據目標距離、線路參數和列車自身的性能計算而定，線路參數可以通過地對車信息實時傳輸。因為給出的制動速度控制曲線是一次連續的，需要一個全制動距離內所有的線路參數，地對車信息傳輸的信息量相當大，可以通過無線通信、數字軌道電路、軌道電纜、應答器等地對車信息傳輸系統傳輸。據測算信息量應當在 250 位以上。

實現何種閉塞方式需要車地信息傳輸系統的技術支撐。車地信息傳輸系統有足夠的信息量，可以把全制動距離內所有的線路參數和目標距離傳輸給車載列控設備，車載列控設備才能給出一次連續的制動速度控制曲線，才能實現準移動閉塞。

制動模式、顯示方式和閉塞方式相互關聯如表 4.3-1 所示。

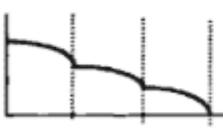
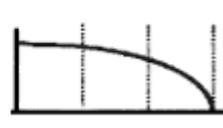
控制模式	分級速度式		一次連續式
制動模式	階梯式	分段曲線式	一次連續式
信號顯示	速差式		目標-距離式
閉塞方式	固定閉塞		準移動閉塞或 移動閉塞
制動模式 圖示			

表 4.3-1 制動模式、顯示方式和閉塞方式相互關聯表

準移動閉塞的優越性

準移動閉塞的優越性就是目標-距離一次制動模式的優越性。

準移動閉塞的列車運行追蹤間隔要小於固定閉塞

固定閉塞的每個閉塞分區都要滿足每一速度級差的制動距離加上確認信號時間內列車的走行距離，而且還以制動性能最差的列車為準，所以閉塞分區的長度較長。列車運行追蹤間隔也是以制動性能最差的列車為準，以固定的若干個閉塞分區來計算，列車開始制動起始點為閉塞分區始端。

目標-距離一次制動模式制動的起始點是車載信號設備根據自身列車性能計算的，不是由閉塞分區分界點來決定的，沒有速度等級的劃分，閉塞分區長度與制動無關，可以按軌道電路性能等長設計。所以列車運行追蹤間隔準移動閉塞的要小於固定閉塞。

準移動閉塞適用於不同性能的列車混合運輸

固定閉塞的最小閉塞分區長度是由性能最差的列車來決定的，對性能良好的列車是一種損失，準移動閉塞時，不同性能不同速度的列車可以根據本身性能決定製動的起始點和模式曲線。

駕駛輕鬆，舒適度好，全制動過程縮短，提高了旅行速度

目標-距離一次制動模式司機能知道從最高速到目標點（停車點或限速點）全程的平滑的速度曲線（含速度和距離），所以司機採用一次制動，與分級速度控制相比，減少了制動-緩解，再製動-緩解的過程，司機駕駛輕鬆，旅客舒適度好，全制動過程縮短，提高了旅行速度。

便於設計和施工

準移動閉塞的能力閉塞分區長度關係不大，所以閉塞分區原則上可以等長劃分，可以充分利用軌道電路的最大長度，節省設備，也減小了設計的工作量，並便於施工。

安全性和可用性提高

CTCS-2 的目標距離是靠軌道電路提供的信息計算的，由於信息量有限，目標距離的長度有限，但足夠。CTCS-3 的目標距離是靠無線傳送的信息計算的，信息量大，可以更提前預告。也就是說司機距前行列車較遠有可能獲得目標距離，司機更事先早知道。

在不考慮前行列車後退的前提下，全程的平滑的速度曲線只會前伸，不會丟失，系統可以容忍瞬時的信息中斷，例如無線通信規定容許中斷 6s 以下，又例如，列車過道岔側向無電碼化時，即使 CTCS-2 沒有無線通信，也能智能掌握道岔區段的長度而安全渡過。

採用固定閉塞的列控系統基於機車信號，機車信號稍不穩定，就導致閃白燈或制動，造成司機不滿意，旅客受驚。我們曾下很大的功夫提高機車信號的安全性、可靠性、連續性，曾下很大功夫研究進路電碼化、車站閉環電碼化等，這對機車信號主體化是非常必要的。固定閉塞的列控系統對車地信息傳輸的連續性要求很高。但是目標-距離一次制動模式的列控系統由於智能化能容忍瞬時的信息中斷，使列控系統的安全性和可用性提高了。

CTCS-3 的工程開通初期，無線通信網絡不可能即時穩定，可以暫時加大容許中斷信息的時間，以求系統穩定，即使無線通信長時間中斷，還可以系統降級為 CTCS-2 模式，不會影響正常運輸，如此的系統設計才能保證 CTCS-3 的順利開通。從系統設計角度看，準移動閉塞具有更多的寬容度。

所以，閉塞制式從固定閉塞發展到準移動閉塞是一個重要的里程碑。

(四) 信息傳輸系統的選擇

車-地信息傳輸方式往往決定了列控系統的設備構成、功能和技術水平。CTCS-2 級選擇點連式是結合國情構思的，是當時歷史背景下最佳和最實際的選擇，CTCS-3 級選擇基於無線通信是符合國際化技術發展趨勢的明智之舉。

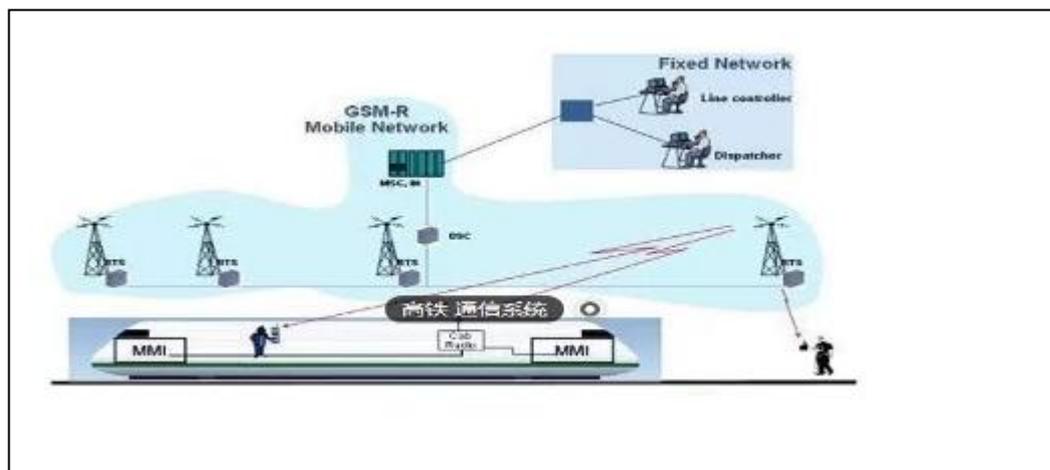


圖 4.3-7 信息傳輸系統的選擇

車地信息傳輸系統的方式

列控系統有兩大基本要素：列車運行控制方式與車-地信息傳輸方式。列控系統往往以兩者之一來命名，例如，“基於準移動閉塞的列控系統”或“基於無線通信的列控系統”。

車-地信息傳輸方式是列控系統最基本的技術特徵之一，車-地信息傳輸方式往往決定了列控系統的設備構成、功能和技術水平。

在高速前期研究時，分析了各國高速鐵路列控系統採用的信息傳輸系統，車地間傳輸媒介主要包括以下幾種方式，有的列控系統僅用一種傳輸媒介，有的列控系統以一種為主，輔以其他方式。

軌道電路

列控系統信息基於軌道電路傳輸是傳統方式，有多信息與數字化軌道電路兩類。

TVM300 系統在 1981 年投入使用，採用無絕緣軌道電路 UM71，地對車的信息

傳輸容量僅有 18 個，速度監控是滯後階梯式的。

TVM430 系統在 1993 年投入使用。當時列車速度已達 320km/h，採用數字化的無絕緣軌道電路 U M2000，車地間的信息傳輸數字編碼化，速度監控方式改為分級速度曲線控制模式。、日本於 1964 年開通了世界上第一條高速鐵路，採用基於有絕緣軌道電路的列控系統 ATC，速度監控方式為超前階梯式，制動方式是設備優先的模式。從 1991 年日本開始試驗和運用基於數字式軌道電路的數字列控系統 I-ATC。

軌道電纜

德國鑒於國情採用鋼枕，不用軌道電路，以計軸設備實現列車位置檢查，德國列控系統 LZB 採用軌道電纜實現了列控系統的雙向信息傳輸。

點式設備

利用點式設備提供列控系統信息傳輸通道的方式已經廣泛採用。點式設備主要包括點式應答器和點式環線兩種。

在歐洲 ETCS2 級標準中主要提供列控系統的輔助信息，如里程標、線路數據、切換點等；在歐洲 ETCS1 級標準中利用點式設備提供全部控車信息。

無線傳輸

歐洲列控系統 ETCS2 及 ETCS3 級技術標準明確利用 GSM-R 無線系統進行列控信息車地雙向傳輸。無線傳輸具有信息量大、雙向傳輸、通用及兼容性強等特點。

CTCS 對信息傳輸系統的選擇

CTCS 規範中各應用等級均採取目標距離式，各應用等級是根據設備配置來劃分的，其主要差別在於地對車信息傳輸的方式和線路數據的來源。

CTCS-0 級的控制模式是目標距離式，它在既有地面信號設備的基礎上，採取大貯存的方式把線路數據全部貯存在車載設備中，靠邏輯推斷地址調取所需的線路數據，結合列車性能計算給出目標距離式制動曲線。

CTCS-1 級的控制模式為目標距離式，採取大貯存的方式把線路數據全部貯

存在車載設備中，靠邏輯推斷地址調取所需的線路數據，結合列車性能計算給出目標距離式制動曲線。在車站附近增加點式信息設備，傳輸定位信息，以減少邏輯推斷地址產生錯誤的可能性。

CTCS-1 級與 CTCS-0 級的差別在於全面提高了系統的安全性，是對 CTCS-0 級的全面加強，可稱為線路數據全部貯存在車載設備上的列車運行控制系統。CTCS 規範中對 CTCS-2 級的總體描述為：“CTCS-2 級，是基於軌道傳輸信息的列車運行控制系統，……”

應用等級 CTCS-2 級標準的規定是比較寬的，基於軌道傳輸信息的列車運行控制系統可以是多樣的，例如，基於數字軌道電路的列控系統。但當時國內研究的數字軌道電路尚不成熟，又不願受制於國外公司，於是鐵道部組織研究了一種基本符合 CTCS-2 級標準的列控系統：基於 ZPW-2000A 型軌道電路和應答器進行車地間信息傳輸的列控系統，以後該列控系統就直接稱為 CTCS-2 級列控系統，第 6 次鐵路大提速中裝備了 CTCS-2 級列控系統。

CTCS-2 級列控系統是結合國情構思的，它的構成是當時歷史背景下最佳和最實際的選擇：當時 ZPW-2000A 型無絕緣軌道電路具有自主知識產權，已經作為統一的軌道電路制式推廣使用，用其構成 CTCS-2 級列控系統更有把握，更便於與既有信號系統兼容。充分發揮 ZPW-2000A 型無絕緣軌道電路 18 個信息的作用，目標距離（移動授權憑證）由軌道電路進行連續信息傳輸，線路數據由應答器提供，構成了點連式的列控系統。系統具有自主知識產權：採用了具有自主知識產權的 ZPW-2000A 型無絕緣軌道電路；採用通用設備的歐標應答器；列控中心由中國自主研發，符合歐洲標準；車載信號設備也符合歐洲標準，通過引進設備實現技術引進，最終實現國產化。

CTCS-3 級是基於無線通信（如 GSM-R）的列車運行控制系統，它可以疊加在既有幹線信號系統上。軌道電路完成列車占用檢測及完整性檢查，點式信息設備提供列車用於測距修正的定位基準信息。無線通信系統實現地-車間連續、雙向的信息傳輸，行車許可由無線閉塞中心產生，通過無線通信系統傳送到車上。

CTCS-3 級選擇基於無線通信是符合國際化技術發展趨勢的明智之舉。

CTCS-4 級是完全基於無線通信（如 GSM-R）的列車運行控制系統。由地面無線閉塞中心（RBC）和車載設備完成列車占用檢測及完整性檢查，點式信息設備提供列車用於測距修正的定位基準信息。

車地信息傳輸系統的影響

車-地信息傳輸方式是列控系統最基本的技術特徵之一，車-地信息傳輸方式往往決定了列控系統的設備構成、功能和技術水平。

車-地信息傳輸方式是多樣的，信息量有大小，對列控系統的構成影響很大。

信息量的大小決定列車運行控制模式

採用階梯式速度控制模式時，只要求地對車傳輸運行前方制動距離範圍內閉塞分區空閒個數就行，所以多信息機車信號就可滿足。

採用分級速度控制模式時，還需要地對車傳輸就近一個閉塞分區的距離和線路參數。列控系統 TVM430，地面採用 UM2000 數字化軌道電路，信息量達 228 位。

一次連續速度控制模式時，車載列控設備需要一個全制動距離內所有的線路參數，信息量相當大，可以通過無線通信、數字軌道電路、軌道電纜、應答器等對車信息傳輸系統傳輸，據測算信息量應當在 250 位以上。

實現移動閉塞還需要前行列車的運行信息。

點式、連續式信息傳輸的影響

車-地間傳輸媒介中，應答器和點式環線是點式的，無線通信、軌道電路、軌道電纜等是連續式的。

利用點式設備提供列控系統信息傳輸通道的方式也有廣泛採用。

在歐洲 ETCS1 級標準中，利用點式設備提供全部控車信息。

由於信息的不連續，系統功能的完整性、安全性和運營效率等遠遠不如 ETCS2 級。

CTCS-1 級採取大貯存的方式把線路數據全部貯存在車載設備中，靠邏輯推

斷地址調取所需的線路數據，結合列車性能計算給出目標距離式制動曲線。在車站附近增加點式信息設備，傳輸定位信息，以減少邏輯推斷地址產生錯誤的可能性。

日本的數字列控系統 I-ATC 就是採取車載信號設備貯存電子地圖，通過每一軌道區段的地址編碼來調取所需的線路數據，這種方式可以使地-車信息傳輸的需求量減少。

採取大貯存的方式，一旦線路數據有變化，需及時更換車上數據庫，日本國家小，鐵路夜裡不行車，動車組統一更換車上數據庫是可行的。中國鐵路動車組統一更換車上數據庫是不可行的。

3.3 信息量的大小決定系統功能的完整性同樣採取一次連續速度控制模式的列控系統也因信息量的大小而功能不同。

CTCS-2 級採用了 ZPW-2000A 型無絕緣軌道電路，僅有 18 個信息，還要兼顧既有信號系統的使用，相對而言，信息量少了一些，因而會產生系統的侷限性：傳輸目標距離的信息量偏緊；軌道電路不能給出目標速度信息；道岔的限速採取變通方式解決；臨時限速是由設在進站口的有源應答器來預告；防災系統報警沒有專門的信息；軌道電路沒有編號（編號可以有效防止同頻干擾）。

例如，目標距離的長度至少要滿足全制動距離加上確認信號的長度，CTCS-2 級的軌道電路只能給出 7 個閉塞分區的預告，顯然不夠充裕。目標距離能預告快一點，讓司機早一點知道目標距離，心中更有數，對安全更有利。

車地信息傳輸雙向優於單向

CTCS-2 級採用軌道電路和應答器只能實現地對車單向信息傳輸，CTCS-3 級採用無線通信 GSM-R 能實現地-車間連續、雙向的大信息量傳輸。車對地的信息傳輸可以將列車的制動狀況、司機駕駛狀況、設備故障和列車速度等重要信息傳給控制中心，使系統更趨安全和功能更趨完善。實現移動閉塞還需要車-車間信息傳輸。

(五) 幾個主要技術原則的選擇

CTCS-2 級和 CTCS-3 級的車載信號設備具有一定的智能化，制動曲線的產生採取車上模式，線路數據採取由地面提供的方式，與制動系統接口方式選擇了“得電制動”與“失電制動”的組合方式。

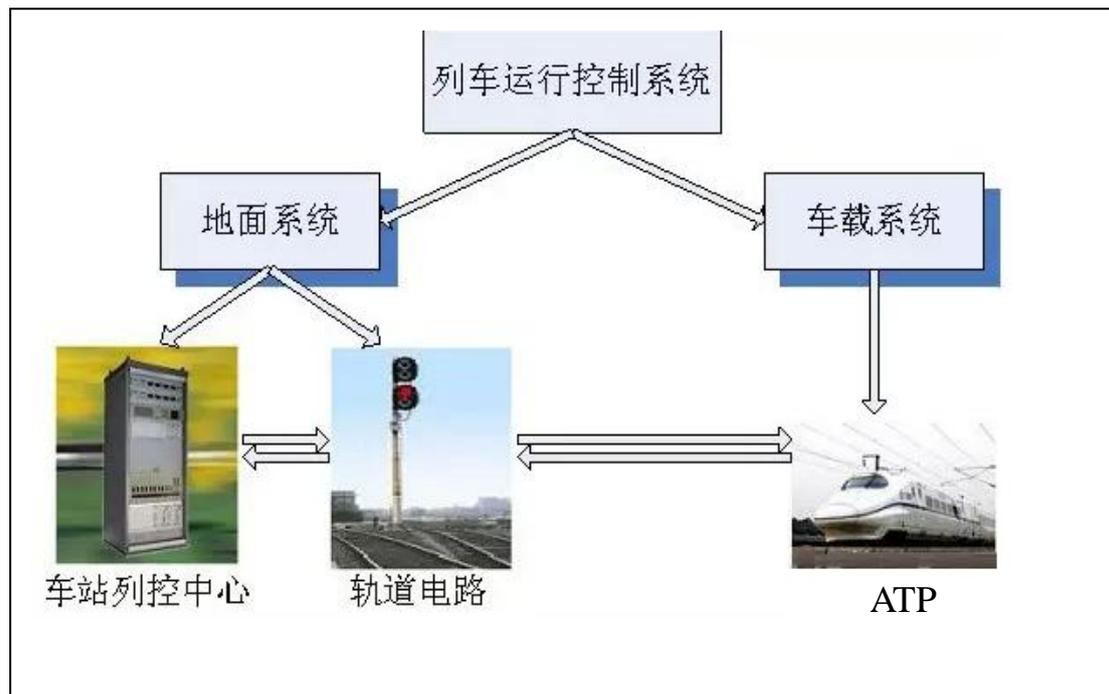


圖 4.3-8 列車運行控制系統

車上模式的選擇

從制動曲線的產生分為地面模式和車上模式。

德國 LZB 系統是基於軌道電纜傳輸的列控系統，是 1965 年以前開發的系統，是世界上首次實現連續速度控制模式的列控系統，早期探索中國高速列控方案時曾關注過。LZB 系統基於能雙向信息傳輸的軌道電纜，信息量有 83.5bit，地面控制中心可以獲得列車性能的重要信息，以地面控制中心為主計算制動曲線後，發送指令傳至車載設備，車上存有多種制動曲線，按地面指令執行。地面控制中心掌握在線所有列車的運行情況，並可以直接指揮列車運行。例如，地面控制中心可能組織前後行駛的列車加減速，以調整追蹤間隔、運行時分和平衡牽引

供電網；地面控制中心可以監督列車的制動、速度、故障和司機操作等。我們考察時印象很深的是：司機表演“自動駕駛”，以及列車將設備故障情況報給地面動車段，列車一回段，替換設備和維修者已在站台等候。

地面模式的車載信號設備相應簡單，但智能化不夠，與其他列控系統兼容比較困難。在早期計算機技術還沒發展到當前水平時，採用地面模式是可以理解的，此模式在城軌交通中也有採用。

中國高速鐵路網廣大，還與普速線互連互通，長途列車較多，要求實現高、普速列車跨線運行。所以 CTCS-2 級和 CTCS-3 級均採取車上模式，列車運行速度曲線是車載信號設備根據地面上傳的移動許可和線路數據及列車本身的性能計算的。車載信號設備具有一定的智能化，只要各線路移動許可和線路數據的信息標準化，可以實現系統兼容和跨線運行。

線路數據地面提供方式的選擇

CTCS-0 級和 CTCS-1 級採取大貯存的方式把線路數據全部貯存在車載設備中，靠邏輯推斷地址調取所需的線路數據，結合列車性能計算給出目標-距離式制動曲線。CTCS-1 級在車站附近增加點式信息設備，傳輸定位信息，以減少邏輯推斷地址產生錯誤的可能性。

日本數字 ATC 使用 575Hz 和 675Hz 的頻帶，碼長 64bit，對用戶開放 43bit。將列車控制所需的全部信息都通過鋼軌傳送是不可能的，日本採用變通辦法：在車上數據庫預存閉塞分區的長度、坡道及區間曲線等地面信息，當列車收到地面傳來 ATC 信息中的軌道電路編碼為地址，從車上數據庫中取出列車控制所必要的固定數據，結合其他編碼信息生成列車控制模式曲線。為了彌補傳輸速率低的缺陷，日本設計了 4 種編碼。列車壓入本閉塞分區時，首先收到第一種編碼，以判斷確認閉塞分區分界點；經一定時間後自動轉為發送第二種編碼，列車獲得距停車點距離等列車控制信息；本軌道區段內容有變化時，為了及時向車上傳遞，發送 2 組縮短的第三種編碼或第四種編碼，然後再正常傳送第二種編碼。

採用第一種編碼方式有效控制了分界點的確認，使電氣絕緣誤差控制在 10m

以內，安全距離只有 50m。採用第二、三、四種編碼方式，實際上既加快了應變速度，又擴大了信息含量，使列車控制精度較細。軌道電路有編碼也有利於抗干擾。

由此可見，日本採用了數字軌道電路傳輸信息，傳輸速率低，信息量不夠，又要利用軌道電路編碼利於抗干擾，所以採取了車上預存線路數據的方式。日本高速鐵路網相對短小，白天行車，有利於車上數據庫的版本管理和修改，採用車上數據庫預存線路數據的方式是有道理的。

CTCS-2 級和 CTCS-3 級列控系統採取線路數據由地面提供方式。這種方式最大優勢在於一旦地麵線路數據因故需要變動，由地面修改，與車上設備無關，這非常適用於國情。我國地域廣大，需要跨局、跨線的長途列車多，又日夜行車，大量列車在線運行，想統一修改車載設備的數據庫是很難的。

CTCS-2 級採取由地面應答器提供一個全制動距離範圍內的線路數據，包括每一個軌道區段的坡道、曲線、長度等。由於 ZPW-2000A 型無絕緣軌道電路只有 18 個信息量，軌道電路只能提供列車運行前方有若干個軌道區段空閒數來作為移動授權憑證，通過和區段長度數據的計算求得若干個空閒軌道區段總長度，列車到第一個空閒軌道區段始端的距離則由測速測距系統計算後求得，兩者相加就能求得目標距離。車載設備根據地面傳送來的移動許可、線路數據和列車性能計算列車運行速度，若列車接近前方減速點時，即刻生成目標-距離一次制動模式曲線。

CTCS-3 級車載設備則是通過無線通信獲得地面傳送來的移動許可和線路數據，車載信號設備根據列車性能計算列車運行速度。若列車接近前方減速點時，即刻生成目標-距離一次制動模式曲線。

與制動系統接口方式的選擇

列控車載信號設備判斷列車超速，引發列車制動時，總會有一個車載信號設備與制動系統的接口。在接口方式上歷來有“得電制動”與“失電制動”之爭。例如，車載信號設備與制動系統的接口是一個繼電器，繼電器常態是失磁落下狀

態，需要時給電，使繼電器勵磁吸起，引發列車制動，這就稱為“得電制動”；如繼電器常態是勵磁吸起狀態，需要時斷電，使繼電器失磁落下，引發列車制動，這就稱為“失電制動”。如車載信號設備與制動系統的接口採取其他方式，仍然會存在“得電制動”與“失電制動”之意思，其道理是一樣的。

顯然，“失電制動”方式符合傳統的故障-安全理念，任何斷線、斷電、斷信號等常見故障時都會導致“失電制動”，因為制動停車是安全取向。採取分級制動模式時，只有一條模式曲線，列車超速，所謂“撞線”時，會限時引發列車緊急制動。這種方式有點副作用，當遇到常見故障時，司機緊張，旅客受驚，系統的可用性受到影響。

相反，“得電制動”可用性強些，但不符合故障安全理念，信號專業人士不易接受。CTCS-0 級由通用機車信號+列車運行監控裝置組成，就採取“得電制動”方式。

CTCS-2 級和 CTCS-3 級列控系統的車載設備根據地面傳送來的移動許可和線路數據，車載信號設備根據列車性能計算列車運行速度。若列車接近前方減速點時，即刻生成目標-距離一次制動模式曲線。一次制動模式曲線除緊急制動模式曲線外，還可生成若干條常用制動模式曲線，例，0.7 或 0.8 全制動力的常用制動模式曲線。列車進站停車時採用 0.7 常用制動模式曲線，旅客舒適性更好。在高速列車時代，應儘量避免使用緊急制動，緊急制動雖確保了列車不會闖過安全點，但旅客難免易受驚或受傷。如圖 4.3-9 所示。

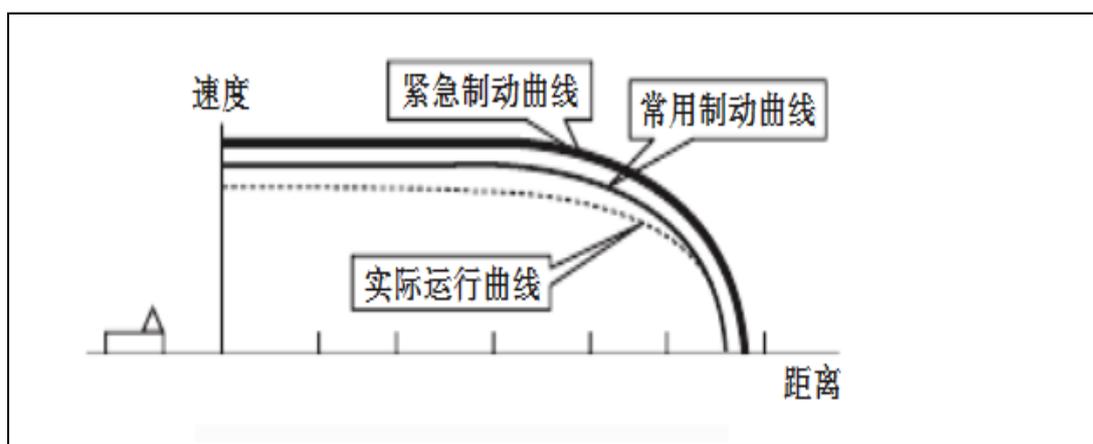


圖 4.3-9 目標—距離一次制動模式曲線

上圖中示意 3 條曲線。正常情況司機按實際列車運行速度曲線駕駛，一旦超速碰撞常用制動速度曲線時，採取“得電制動”方式，以提高系統的可用性。如繼續超速碰撞緊急制動模式曲線時，採取“失電制動”方式。

“得電制動”與“失電制動”的組合運用兼顧了安全性與可用性。

四、通信系統設備

LTE-M 系統助力車地無線通信系統跨入綜合承載 4G 新時代

近日，LTE 系統性研究工作，完成了技術方案和實施方案的實施試驗、測試驗證及實物對接測試，表明 LTE-M 能夠用於承載軌道交通綜合業務，城市軌道交通的無線通信系統將跨入 4G 新時代。

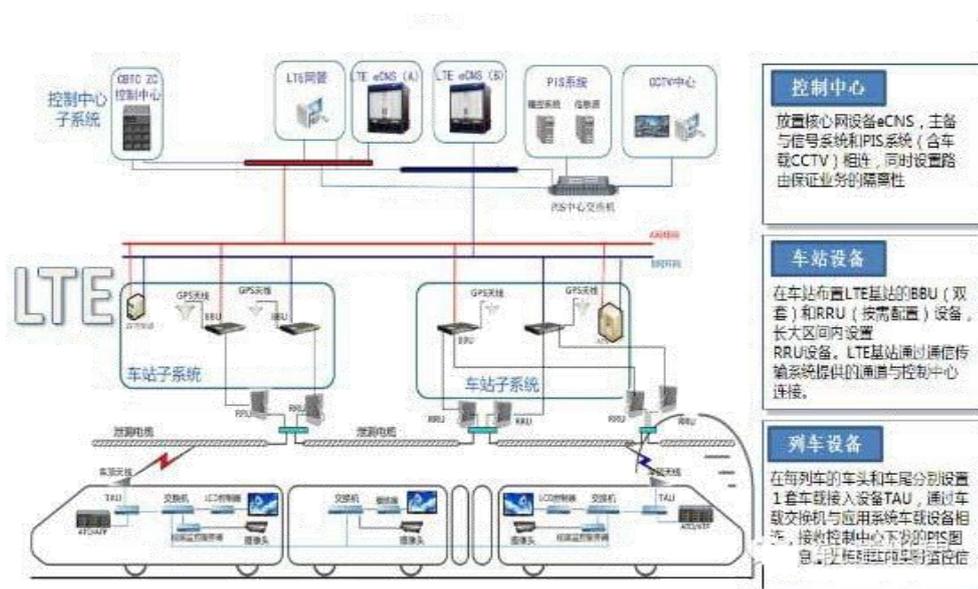


圖 4.4-1 LTE-M 用於承載軌道交通綜合業務

以北京地鐵為例，車地通信面臨的挑戰

北京地鐵現已開通 17 條線 465 公里，日均客運量超過千萬人次，高峰時同時有 900 多列車運行，是世界上最繁忙的城市軌道交通系統之一。隨着北京地鐵的快速發展，支撐安全運營的生產業務不斷增加，車地通信功能和性能面臨挑戰，迫切需要可靠傳輸信號系統（CBTC）的列車狀態信息和行車控制命令以保證行車安全；迫切需要及時回傳在線列車車內視頻，向乘客通報緊急情況，以保證公共安全和緊急狀況的應急處置。與國內其他城市一樣，目前目前北京地鐵

CBTC 信號系統、PIS (CCTV) 中車地信息傳輸均獨立設置的 WiFi 系統。由於 WiFi 系統存在如下問題：採用公用頻段，易受干擾；沒有多業務優先級保障機制，不適用於綜合承載；高速移動場景頻寬的穩定性也無法保障；CBTC 系統、PIS(CCTV)系統獨立建網，頻率資源浪費。因此車地通信已經成為北京地鐵安全運營面臨的主要瓶頸之一。

專家驗證 LTE-M 綜合業務承載解決方案匹配軌道交通需求

對於車地通信面臨的挑戰，北京市軌道交通安全運營領導小組高度重視，在北京市交通委，科委，經信委領導下，北京市軌道交通建設管理有限公司會同軌道交通指揮中心，北京地鐵運營公司，組織北京交通大學，通號院有限公司以及通信和信號的國內主流廠商華為、中興、鼎橋、北京交控科技、卡斯柯等在 LTE 基礎上共同提出了滿足城市軌道交通綜合業務需求的車地通信系統 (LTE-M) 成立聯合攻關組展開系統性研究工作。LTE-M 是針對軌道交通安全運營綜合業務需求定製的專用通信系統，全網配置完全冗餘，能夠確保單點故障下信號系統安全。與傳統解決方案相比，LTE-M 系統有高可靠的抗干擾能力、高效的多業務優先級保障機制、高速移動下的穩定傳輸等多項優點。

目前，LTE-M 系統已完成了實驗室和試驗段測試並通過了專家評審，測試結果證明：LTE-M 系統用於承載軌道交通綜合業務，在保障 CBTC 業務高可靠傳輸的同時，能夠同時滿足緊急文本下發和列車實時狀態的傳輸需求，且能為車載視頻監控和乘客信息等業務提供有效的傳輸通道。



圖 4.4-2 類比說明圖，源於南京泰通網站

LTE-M 綜合承載簡介

LTE-M 是針對軌道交通安全運營綜合業務需求定製的專用通信系統，全網配置完全冗餘，能夠確保單點故障下信號系統安全。與傳統解決方案相比，LTE-M 系統有以下優點：

1. 高可靠的抗干擾能力

LTE 有着系統的抗干擾設計，可將干擾控制到最低來保證整體網絡環境，有效降低網絡整體干擾水平。LTE-M 在繼承了 LTE 高可靠抗干擾能力的同時，還創新性的引入了工程部署的抗干擾措施，通過車載天線和地面漏纜的布放實現了對干擾信號的最大屏蔽，同時優化了上行調度算法，使得上行業務的頻寬保障更加精確和高效。在試驗段測試中，面對干擾源-45dbm 極高強度的干擾，LTE-M 系統通過工程化抗干擾措施以及優化調度算法，依然能夠滿足 CBTC 業務的正常運行。

2. 高效的多業務優先級保障機制

LTE 提供 9 級 QoS 保障機制，LTE-M 針對軌道交通業務進行了定製化優先級匹配，對低優先級業務進行了需求頻寬控制。LTE-M 無線綜合通信系統承載了 CBTC 業務信息、緊急文本信息、列車運行狀態監測信息、車載視頻監控信息和乘客信息，根據各業務對可靠性、時延的要求，系統為其分配不同的優先級。在同時傳輸 CBTC、列車狀態監測、車載視頻監控信息和乘客信息時，高優先級業務頻寬保障就能確保高優先級業務，如 CBTC 業務信息的傳輸，保障行車安全，提升運營效率。



圖 4.4-3 參考圖片

3. 高速移動下的穩定傳輸

LTE 在設計上已考慮了高速移動場景，通過自動頻率控制改善無線鏈路的穩定性，提升高速場景下的傳輸穩定性，能夠滿足每小時 200 公里高速移動場景下列車車地通信傳輸要求。LTE-M 系統繼承了 LTE 高速傳輸穩定的特性，還針對軌道交通的特性引入了基於頻偏的切換技術，確保了高可靠性的無損切換。

城市軌道交通跨入 4G 無線通信時代



圖 4.4-4 參考圖片

為使 LTE-M 技術在城市軌道交通得以應用，還需在實際的運營線路驗證和考核其適配性及綜合性能。結合近期北京市軌道交通建設情況，選取燕房線作為 LTE-M 示範應用線。燕房線是北京市確定的軌道交通科技示範線，將採用自主研发的全自動駕駛和綜合自動化等多項先進技術，實現無人駕駛，也迫切需要高性能的車地通信系統為支撐。北京市科委已將“城市軌道交通專用車地綜合通信系統（LTE-M）研製與示範應用”列入 2015 年重大科研項目。

LTE-M 示範線的建設運營標誌著成功打造一個高速、穩定、可靠的車地雙向車地通信傳輸網絡，樹立城市軌道交通行業對車地通信的新認識，增強了運用新技術的能力與信心，使我國城市軌道交通跨入 4G 無線通信時代。

五、中國城市軌道交通機電設備系統的發展歷程

发展阶段 Stage of development	年代 Years	城市 City	系统构成 System Components	技术水平 Technical level	制造厂商 Manufacturers	运营管理 Operations Management
第一阶段 Phase I	1965-1984	北京 Beijing	独立分散 Independent distributed	传统工艺 Traditional crafts	国内生产 Domestic production	手工操作为主 Manual-based
第二阶段 Phase II	1985-1999	上海 Shanghai 广州 Guangzhou	部分集成 Part of the integration	核心设备 采用最新技术 Core equipment Using the latest technology	关键设备 大部分国外 Key equipment Most foreign	自动化程度低 Low degree of automation
第三阶段 Phase III	2000以后 After 2000	各城市 Cities	多数集成 Most integrated	广泛采用 最新技术 Widely used Latest technology	国内为主 Domestic-based	自动化程度高 High degree of automation

表 4.5-1 中國城市軌道交通系統機電設備的技術狀況

鐵道系統機電設備的發展概況

(一)供電（PS）：

供電系統組成：外部電源、主變電所及中壓環網、牽引供電系統（牽引變電所及牽引網）、低壓配電及照明供電系統（降壓變電所及動力照明配電系統）、電力監控系統（SCADA）、雜散電流防護及接地系統。

外部供電電壓等級：500 kV、220 kV、110kV、35kV。

內部供電電壓等級：35kV、0.4 kV。110kV和35kV斷路器採用GIS設備。

牽引供電電壓等級：直流750V、1500V。

車輛供電方式：接觸網或接觸軌

接觸軌主體材質：主要有低碳鋼和鋼鋁復合兩種。

電力監控系統（SCADA）的電力調度系統由ISCS整合。

供電系統的絕大部分設備都由其國內生產廠商供貨。

(二)信號（SIG；即號誌）：

信號系統的核心是列車自動控制系統ATC（automatic train control system），ATC系統，包括三個子系統：

列車自動監控子系統ATS（automatic train supervision subsystem）；

列車自動防護子系統ATP（automatic train protection subsystem）；

列車自動運行子系統ATO（automatic train operation subsystem）。

國內城市軌道交通的信號系統的制式，最早為固定閉塞信號系統，後來發展到準移動閉塞信號系統，近些年新建的項目大多為移動閉塞信號系統。CBTC系統已成為大多數城市軌道交通信號系統的發展趨勢。

今後，信號系統將逐步走向綜合監控列的發展方向，納入綜合監控系統，實現城市軌道交通機電系統資源共享。

1990年代，信號系統設備完全由國外廠商提供，目前部分產品可由其國內廠商提供。

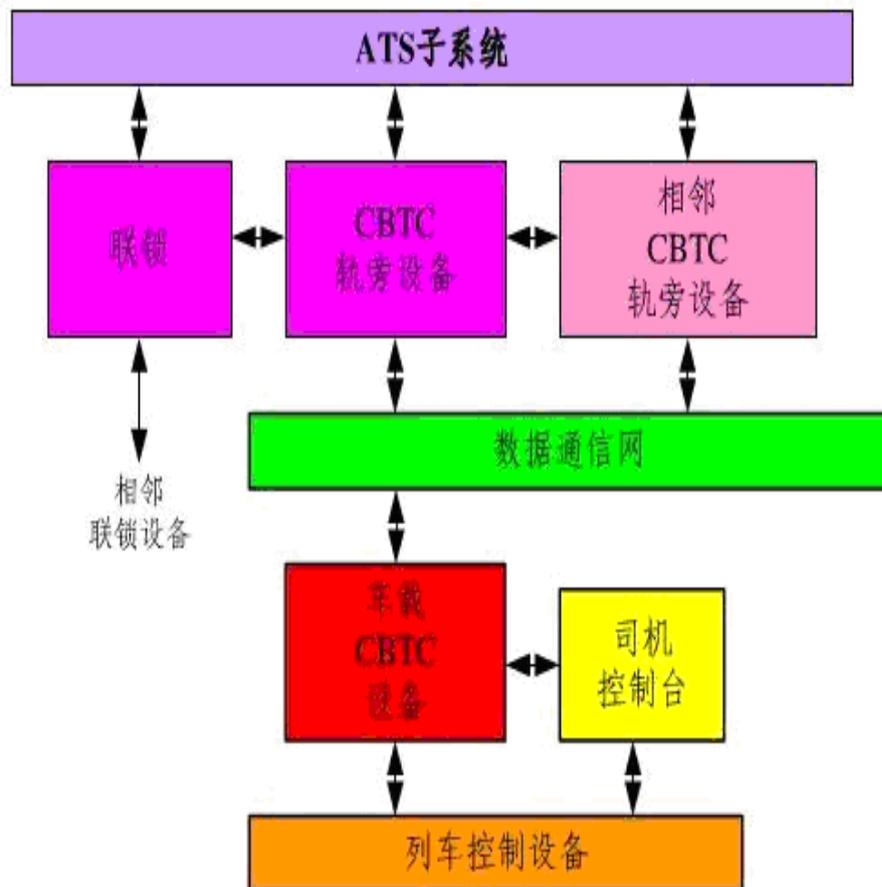


圖 4.5-1 典型的 CBTC 信號系統的結構框圖

(三)通信 (COM) :

通信系統一般設置專用通信、公安通信、公共通信三大通信系統。

專用通信系統由傳輸系統、專用電話系統、無線通信系統、公務通信系統、時鐘系統、信息網絡系統、通信電源系統、集中網絡管理等子系統和通信線路共同組成。

傳輸系統普遍採用光纜組成環網，採用國際上最新的傳輸技術。

公共通信系統為移動通信設置有技術升級換代的條件。

早期通信設備大部分由國外廠商提供，目前，除了無線子系統的部分設備由國外廠商提供，絕大部分設備都由其國內廠商提供。

(四)售檢票 (AFC) :

自動售檢票系統由清分中心CCHS (Central Clearing House System)、線路中央計算機系統LCC (Line Central Computer)、車站計算機系統SC (Station Computer)、車站AFC設備SLE (Station Level Computer) 以及車票等組成。整個系統經由通信傳輸網和網絡設備連接構成。

中國城市軌道交通的自動售檢票系統，從最早的磁卡式發展到現在普遍採用的非接觸式IC卡制式，並與城市其它交通系統通用。

系統設備大部分可以由其國內承包商提供。

(五)屏蔽門 (PSD) :

早期建設的城市軌道交通項目未設置屏蔽門和安全門系統，根據中國的國情，近期建設的項目一般都設置了屏蔽門和安全門系統，對節能和提高運營管理的安全性起到較好作用。

系統設備絕大部分可由其國內生產廠商提供。

(六)綜合監控 (Integrated Supervision Control System, ISCS) :

早期的城市軌道交通內，各種設備的監控系統採用獨立設置方式，系統間一般很少或不進行互聯。1990年代出現了對少數系統進行整合的主控系統。

2000年代後建設的城市軌道交通項目，一般都採用整合度較高的綜合監控系統。通過單一的軟硬件平台，實現多個分立系統原有的管理監控功能。採用中央控制室和車站兩級管理的三級監控體系，實施集中監視分散控制。

ISCS整合的子系統有：電力監控系統(SCADA)、火災自動報警系統(FAS)、環境與設備監控系統(BAS)、廣播系統(PA)、閉路電視監視系統(CCTV)、乘客信息系統(PIS)、屏蔽門監控系統(PSD)、防淹門系統(FG)。ISCS還可與自動售檢票系統(AFC)、信號系統(SIG)、無線傳輸系統(RTS)、時鐘系統(CLK)等進行互聯實現部分管理信息的交換。

(七)環境控制及隧道通風：

地下車站的環境控制系統：由車站公共區空調通風與排煙系統、車站車軌區域排熱系統、區間隧道活塞通風、機械通風(兼火災防排煙)、車站設備及管理用房空調通風排煙系統、製冷空調循環水系統組成。新建設的地鐵大都採用設置屏蔽門的閉式通風系統。

環控系統控制由就地、車站控制室、中央控制室三級控制組成。

設備完全由其國內廠商生產。

(八)給排水及消防：

給排水及消防主要包括給水系統、排水系統及消防設施。車站、區間及車輛段給水水源採用城市自來水。

給排水及消防設備完全由其國內廠商提供。

(九)電梯、自動扶梯：

設備完全由其國內廠商提供。

(十)安防設施：

由於國際恐怖活動的氾濫，中國內部所有城市軌道交通近期都設置了安防設施。包括監視設備、安檢設備、防暴設備等。設備完全由其國內廠商提供。

2.13 機電設備技術更新對城市軌道交通節能、減排、低碳、環保方略的實施起到了積極

的推進作用。

六、城市軌道交通系統安全的沿革

中國高度重視軌道交通建設和運營的安全問題（包括應對各種突發事件），2007年頒發了《城市軌道交通運營管理辦法》等一系列法規，加強軌道交通的安全管理工作，建立城市軌道交通安全評價制度，督促落實安全責任機制。早期的城市軌道交通沿用中國鐵路建設運營的安全管理模式。

RAMS（可靠性、可用性、可維護性、安全性）管理在世界各國鐵路行業應用十分廣泛。

自2000年後，中國部分城市軌道交通項目（如上海地鐵10號線、磁浮線、北京4號線、深圳3號線、成都1號線）開展了RAMS工作。目前，中國正在制定和完善城市軌道交通RAMS相關的法規，今後RAMS工作將成為所有城市建設軌道交通必須遵循的強制性法規。國家對城市軌道交通機電設備的安全認證體制也正在建立和完善過程中。

七、前沿技術與最新研究進展

目前研究重點：

- ◎技術制式的整合，標準化、模組化系統及標準體系研究
- ◎車輛：低地板技術，轉向架技術
- ◎信號：CBTC技術、無人駕駛技術
- ◎直線電機成套技術
- ◎導向式軌道交通技術
- ◎綜合自動化控制系統：ISCS技術
- ◎大城市軌道交通網絡化運營資源共享
- ◎運營及乘客信息管理技術
- ◎系統安全可靠技術
- ◎城市軌道交通安全防範體系研究。綜合研究具有高度智能化、整合化的快速反應事故
防範預警系統和安全疏散、救援系統，保證軌道交通乘客安全。並能對突發的事故，
尤其是恐怖性事故提供緊急疏散預案。
- ◎環境控制研究：主要包括地下車站與周圍環境的協調、高架及地麵線景觀、環境影響及控制對策等。
- ◎中低速磁懸浮技術-試驗階段，2015年前開通。
- ◎真空管道運輸系統-前期研究

八、軌道交通機電系統的國產化動向

機電設備費用數量巨大，約占項目投資的35-40%。

1990年代，中國生產廠商當時不能提供技術水平較高的系統設備，較早進行城市軌道交通建設的上海1號線和廣州1號線，大量採用進口設備，導致項目建設費用過高。

1999年，中國發佈“關於城市軌道交通設備國產化實施意見”，提出：城市軌道交通全部車輛和機電設備的平均國產化率要確保不低於70%。在國產化政策扶持下，在中國國內逐步形成軌道交通工業生產體系。一批國外企業已在國內合資設廠，設備採購價格比全進口產品大幅下降。根據對廣州地鐵2號線後評價的情況，與廣州地鐵1號線相比，機電設備費用從2.550億元/km下降到1.307億元/km，降價效果明顯。

2000年後，大批國內生產廠商通過研發、更新、引進技術或合資，使得中國國內軌道交通工業生產體系快速發展。城市軌道交通全部車輛和機電設備的平均國產化率已超過70%，並且還在不斷提高。

中國城軌製造業，已經形成了一定水平的產業。近年來通過引進技術和消化吸收以及再創新，中國企業掌握了城軌的設計、製造、工藝等等關鍵技術和配套技術，基本能夠滿足中國客戶和市場的需求，產品的可靠性、安全性已經在一定程度上得到國內用戶的認可，並走向國際市場。

九、城市軌道交通機電系統的市場空間及前景

中國城市軌道交通經過40多年的發展，在城市經濟發展中的地位已日顯重要，中國已成為世界城市軌道交通發展最大和最快的地區。數十個城市正在大規模地進行城市軌道交通網絡的規劃和建設，已有十幾個城市開始進入運營階段，形成了空前規模的城市軌道交通機電設備系統市場。未來20年內，中國城市軌道交通機電設備的總投資將達數千億元人民幣，給世界帶來了巨大的市場機遇。

生產製造：

目前，中國已具備很強的車輛生產製造能力，可為世界各國提供各種類型的軌道交通車輛。中國南車集團公司與中國北車集團公司所屬車輛的主要生產廠商包括：長春客車廠、青島四方機車車輛廠、株洲電力機車廠、浦鎮車輛廠、唐山機車車輛廠等。

其它分佈在上海、北京、廣東、江蘇及其它各城市的機電設備生產製造廠家，已能為中國各城市軌道交通項目提供絕大部分的機電設備。

例如：江蘇常州地區已形成較大規模的軌道交通各類設備生產和研究的產業鏈，每年軌道交通機電設備的生產銷售額已達到數百億人民幣。

在車輛牽引制動、控制、信號、計算機、通信無線、售檢票等領域，還需要國外廠商提供部分技術和產品。

技術研究和開發：

包括鐵道科學研究院等科研院所和許多大學以及生產廠家，成立了許多專門從事軌道交通技術的研究機構，已培育了大批高級技術開發人員，成為促進城市軌道交通機電設備系統的技術進步的人力資源。中國每年提供大量資金給與這些機構進行軌道交通新型技術和工藝的研究和開發。

系統整合和工程承包：

早期中國的城市軌道交通機電設備系統整合和工程承包大多由國外著名公司承擔，目前，幾乎所有的機電設備系統，都可由中國承包商單獨承包，少量進行合作承包。

諮詢顧問和技術服務：

早期中國城市軌道交通的諮詢顧問和技術服務幾乎全部由國外諮詢機構承擔，目前也有許多其國內機構開始從事該領域的服務，有較多中國國內機構與國

外機構合作的成功案例。

關鍵設備質量認證：

中國有關部門正在着手制定城市軌道交通關鍵設備產品的質量認證標準和實施方案，建立適合中國國情的城市軌道交通產品質量認證體系。市場上將形成一批獨立第三方認證評估機構，培訓一批合格的認證審核人員。與城市軌道交通產品認證相關的認證、測試、培訓等技術服務將逐步展開。

十、中國高速鐵路聯調聯試及運行試驗

高速鐵路建設是一項龐大的系統工程，標準高，綜合性強，技術複雜；涉及工務工程、動車組、牽引供電、通信信號、運營調度、客運服務等眾多子系統，各子系統間介面複雜又各具相對的獨立性，其設備配置必須滿足整體系統的功能要求；設備種類繁多，且來自不同的廠商，彼此間銜接均有特定要求等；所有這一切決定了在高速鐵路建設中應進行綜合性的大系統調試，即開展聯調聯試，通過聯調聯試經由大系統、子系統間的多次反饋與調整，使各子系統功能結構完整與合理，使整體系統的功能達到最優，滿足運輸要求；另一方面，通過聯調聯試，使移動設備與固定設備間得到相互磨合，在系統總體目標的協調下實現移動設備與固定設備間的最佳整體匹配。



圖 4.10-1 參考圖片

高速鐵路完成聯調聯試後，還需要對高速鐵路整體系統在正常和非正常運行條件下的行車組織和應急救援等能力進行演練，對運營人員進行培訓，對設備進行運用考驗，因此在正式運營之前，需要專門一段時間進行運行試驗。通過運行試驗，綜合檢驗高速鐵路各子系統、各專業之間的統籌、協調、溝通能力，重點檢驗調度指揮在設備故障等非正常條件下的指揮協調、應急應變能力，提高應急

救援和指揮水平。同時進一步使運營管理人員能夠熟悉規章，熟練設備的使用，提高正式運營時的工作效率。

聯調聯試及運行試驗是高速鐵路建設和運營準備的重要組成部分和必要環節，是高速鐵路系統功能綜合調試，驗證高速鐵路建設是否達到設計目標，以及是否滿足開通運營的重要過程。

中國高速鐵路聯調聯試內容涵蓋高速鐵路所有系統，在廣度和深度上均有所突破。主要包括：軌道、接觸網、供變電、通信、信號、運營調度、客運服務、防災安全監控、綜合視頻監控等系統聯調聯試，以及綜合接地、電磁兼容、振動雜訊、路基狀況、路基及過渡段動力性能、橋樑動力性能、隧道內氣動效應、列車空氣動力學性能測試等。

運行試驗主要包括：運行圖參數測試、故障模擬、應急演練和按圖行車等。中國高速鐵路聯調聯試最高速度為 2010 年 9 月 28 日滬杭高速鐵路運營動車組 416.6km/h。

聯調聯試及運行試驗實施組織：從京津城際、鄭西、武廣、滬寧等已投入運營的 13 條高速鐵路情況看，中國高速鐵路聯調聯試及運行試驗有以下特點。

(1) 標準高。高速鐵路最高設計速度達 350km/h，技術標準高；高速鐵路是一個集眾多高新技術於一體的龐大複雜系統，需進行的試驗項目多、測試工作量大。武廣高速鐵路聯調聯試包括十九大類、4000 余項測試內容試驗列車累計運行 100 余萬 km，重聯動車組最高試驗速度達 394.2km/h。

(2) 時間緊。中國高速鐵路聯調聯試及運行試驗時間一般為 3-6 個月，目前用時最長的武廣高速鐵路也不到 1 年。

(3) 組織難度大。一是需要協調建設、運營、施工、測試、設計、監理等多家單位各方關係，難度大；二是試驗測試與系統和設備的調整優化同步推進，需高效與科學的統籌與協調。

高速鐵路聯調聯試及運行試驗以速度為主線，以開通運營時一次達到設計速度和設計密度為目標，在確保安全的前提下採用逐級提速的方法進行。通過不同

速度等級的全方位測試，依據測試結果對各子系統和整體系統進行評估、調整與優化，實行閉環控制，直至達到設計目標。

依據國情，為保證聯調聯試及運行試驗工作科學有序、安全高效推進，中國高速鐵路聯調聯試及運行試驗工作在鐵道部統一指揮和協調下，由運營單位牽頭，與建設、測試、施工、設計、監理等單位共同組織實施。

鐵道部負責組織試驗大綱的審查、批覆，工作指導和檢查，以及重大問題的協調；運營單位負責現場的實施組織，包括行車組織、施工管理、安全防護、系統和設備的調整優化等；建設單位負責施工現場安全管理和後勤保障，組織設計和施工等單位配合試驗、系統和設備的調整優化、安全防護等；測試單位負責大綱的編製、具體的試驗測試工作，根據試驗測試結果提出試驗和問題整改的要求，進行試驗數據的整理分析、編寫試驗報告。

聯調聯試及運行試驗實施的主要流程包括項目委託，大綱編製、審查和批覆，實施方案的編製和規章制度的制定、現場實施，報告編寫、報告審查等環節。實施組織流程見圖 4.10-2。

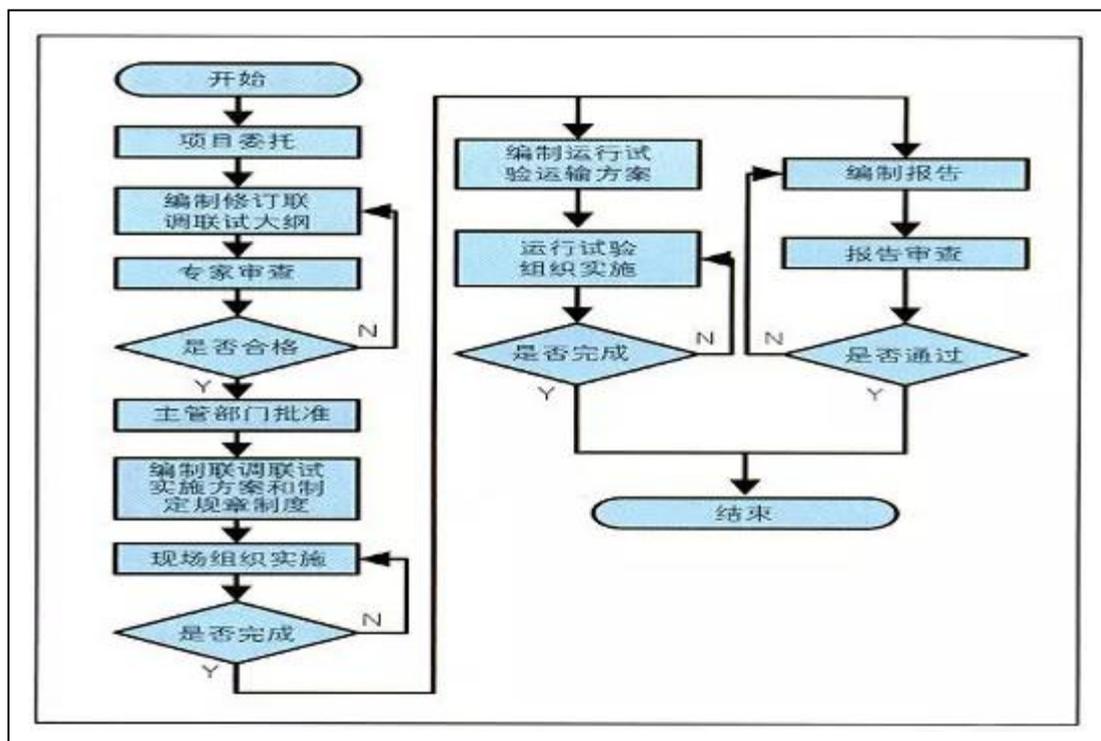


圖 4.10-2 高速鐵路聯調聯試及運行試驗實施流程示意圖

(1) 項目委託。根據項目建設計劃，由建設單位於聯調聯試開始前 3 個月向測試單位進行項目委託。

(2) 大綱編製、審查和批覆。在聯調聯試開始 2 個月前，由測試單位牽頭，會同運營、建設等單位共同編製大綱，由鐵道部組織專家審查並批准執行。

(3) 實施方案的編製和規章制度的制定。在聯調聯試開始 1 個月前，依據大綱和線路特點，由運營單位牽頭與建設、測試等單位共同編製實施方案，報鐵道部備案。

在聯調聯試開始半個月前，依據工程技術特點、設備配置情況、工程狀態和試驗要求，由運營單位牽頭制定試驗期間行車組織、施工管理、設備使用和維修、安全管理及應急處理等規章制度。

(4) 現場實施。根據試驗需要，成立現場指揮組織，搭建工作環境，進行人員培訓和配置，完成測試設備儀器、車輛等所有試驗前的準備工作，按照實施計劃和確定的工作程序組織實施。

(5) 聯調聯試報告編寫。在試驗結束後，由測試單位及時進行數據處理、分析，完成試驗報告的編寫。

(6) 報告審查。由鐵道部組織專家對試驗報告進行審查。

科研及大學院校等單位全力以赴參與試驗測試、調整優化工作，確保試驗組織強而有力。

為進一步提高行車設備整治精調效率，確保聯調聯試安全，併進行充分的運營準備，強化運營單位提前介入工作。聯調聯試開始前，運營單位組織相關專業人員提前介入，熟悉技術方案、優化設計、加強建設質量監督、瞭解系統和設備的功能及使用；從聯調聯試開始，運營單位接管行車設備，負責牽頭組織設備整治精調，統籌安排和指導施工單位和系統整合商的設備調試、問題整改、系統優化等工作。通過提前介入，一方面確保設計方案合理，加快運營單位各業務部門人員熟悉和掌握行車設備，另一方面充分發揮運營人員的優勢，保證試驗期間的安全和設備整治精調的進度和質量。

在聯調聯試及運行試驗期間採用總體計劃和日計劃兩級計劃管理。

總體計劃主要包括：試驗內容、區段劃分、軌道占用、試驗用車、開始和完成日期、實施單位等。總體計劃的制定有利於加強組織管理，有利於各單位統一步調、協調一致，有利於資源的合理調配和充分利用，保證關鍵節點目標和整體目標按期實現。

日計劃是總體計劃實施的具體體現，日計劃的執行是聯調聯試工作的實現單元，主要包括次日的具體試驗和設備整治精調項目、工作區段、軌道占用、試驗用車、試驗速度、起止時間、試驗條件、實施單位和配合要求等。日計劃編製的依據為當日試驗完成情況和總體計劃，根據總體計劃確定次日計劃，根據當日試驗完成情況對次日計劃進行合理調整。日計劃的制定有利於任務明確和運輸組織方案的制定，有利於試驗和精調工作的有效實施，有利於保證高速行車試驗與精調作業的安全。

為保證聯調聯試各項工作按計劃推進，及時溝通和傳遞相關信息，及時反映和快速協調解決有關問題，實行日交班會議制度和問題庫管理機制。每日由運營單位牽頭組織參試各方共同召開試驗交班會，總結當日測試項目開展情況、發現的問題和初步結果、整治精調作業進展和質量，對各項工作進行考核，對已整改完成的問題進行銷號，對當日試驗中發現的問題落實整改要求、責任單位和責任人，更新問題庫。

針對問題難點，實行專項診斷、專家論證、專家治理的整治做法，提升問題整改能力和效率，加快設備問題整改和達標進程。

強化安全管理

保證試驗期間安全是聯調聯試及運行試驗成功與否的重要前提。為保證試驗期間安全，強化以下管理措施。

- 1.認真確認試驗條件。聯調聯試開始前，由運營單位牽頭組織進行工程靜態驗收，確認試驗條件和試驗動車組上線條件。每天試驗前，由建設單位對前一日

各系統檢測所發現問題的整改情況進行書面反饋，同時，由運營、建設和施工等單位共同簽字確認線路、牽引供電、接觸網等設備狀態是否達到試驗條件的要求。

2. 強化聯調聯試期間現場安全管理制度。嚴格執行“行車不施工、施工不行車”紀律，嚴格按營業線相關規定進行施工管理，嚴格作業登銷記制度。根據聯調聯試期間的工程、設備狀況，針對性地制定特定條件下的行車組織管理辦法並貫徹執行。
3. 制定行車限速表。在試驗列車開行前，由運營、建設、測試單位根據設備狀態、前一日試驗情況和當日前行列車檢測結果，提出後續列車運行限速表，經三方共同簽字確認後嚴格執行。

強化考評和獎懲機制

針對各參試單位分工和人員職責，制定對應的考評和獎懲辦法，嚴格執行，獎勵先進、懲治落後，激勵鬥志，構造積極爭優向上的良好工作氛圍。

近年來，組織完成的膠濟、合寧、合武、石太、甬台溫、溫福、福廈、成灌、昌九、京津城際、武廣、鄭西、滬寧城際、滬杭 14 條高速鐵路聯調聯試及運行試驗工作為其開通運營提供了堅實的技術支撐、科學依據和人員準備；為完善中國高速鐵路技術和理論，優化高速鐵路設計、建設、施工和運輸組織等提供了試驗支撐；形成並完善了中國高速鐵路聯調聯試及運行試驗技術體系和管理體系。

中國高速鐵路建設和運營實踐充分證明聯調聯試及運行試驗是高速鐵路建設與運營準備的重要組成部分和必要環節。各國高速鐵路聯調聯試及運行試驗應始終堅持將安全放在首位，應結合本國國情和項目特點選擇適宜的組織形式、工作流程、考核措施，應依據項目技術特點和系統、設備配置方案及調試狀態制定對應的作業規範，優化試驗計劃，加強信息溝通，強化問題整治，嚴格過程管理，確保試驗工作安全、有序、高效。

伍、參訪紀要、考察心得與建議事項

一、參訪紀要

(一)上海鐵路局訪談記錄整理

1. 中國大陸地區之軌道機電系統發展也是採行對世界開放招標方式處理，供電、號誌等系統，最初主要為歐洲系統，車輛及車載機電則是日本系統、歐洲系統均有，並不單一。目前已藉採由國內廠商技術移轉及制訂大陸地區的統一標準方式，將不同系統予以整合。
2. 大陸地區鐵路分為高速鐵路(時速 310km/hr 以上)及既有線(時速 160km/hr)。既有線亦如同臺灣現況，於平面道路通過平交道。車輛接近平交道，採人工管理。當車輛進入接近區段，於 40 秒內自動放下柵欄。
3. 臺灣的鐵路平交道設置手動按鈕之手動報警號訊器。當平交道有狀況，則在平交道按下警急按鈕後，於列車接近平交道 400m、800m 處司機員採取剎車動作。大陸車輛時速 160km/hr 以下的道口(即平交道)並未設置自動防護系統，而是採人工管理方式。當車輛於臨站發車時，站務人員即以電話通知道口管理員，告知預計抵達時間。若道口發生突發狀況時，則由管理人員採取下列措施管制：
道口管理員以對講機通知列車司機停車。
由管理人員對道口兩端平面道路之行車及行人採紅旗攔停。
4. 道口之控制均是由車站就地控制管理。
5. 行車控制方式與臺灣目前採行中央調度集中調度控制兼可授權車站就地控制的模式相同。但既有路線車輛時速低於 160km/hr 的路線，基本上均採車站就地控制方式。高速鐵路則均採中央集中調度控制方式。
6. 大陸鐵路等級劃分上，車輛行駛時速在 200km/hr 以上均稱為高速鐵路；時速低於 200km/hr 則稱為普通鐵路，惟普通鐵路最高行駛速度為 160km/hr 並無再高的速度。兩種速度車輛於不同軌道系統運行。200km/hr 以上均為新建的鐵路系統；行駛速度 160km/hr 以下則係利用原既有鐵路系統提速改善。

7. 大陸鐵路軌道均為標準軌距，採用 60 公斤軌道，惟部份供貨車行駛之支線，則仍有採用 50 公斤或 43 公斤軌道。
8. 大陸目前新建或改建鐵路號誌系統均採電子聯鎖，僅原來既有線尚未改建的部份，仍有採繼電聯鎖。繼電聯鎖方式尚未完全淘汰。惟統一採用電子聯鎖是未來的趨勢。
9. 關於計繼電聯鎖與電子聯鎖使用優劣的看法，繼電聯鎖因接點太多，整體而言，可靠性不好。又配線太多，造成穩定性不好且需耗用大量人力維護。採電子聯鎖可大幅減輕上述負擔。但電子聯鎖亦有其弱點，如怕雷擊及突波、電子元件較易受環境，如溫度、濕度影響，以致使用壽命較短等，大陸採行的解決方式，如下：
 - (1) 雷擊防護之解決方式為電子聯鎖計算機房規定採法拉第籠方式設計，以避免雷擊或電磁波、突波侵入。
 - (2) 明訂設備使用壽命自系統開通使用起算，保證、保固 15 年。由廠商確保產品品質及後續服務。備品、耗材的供應有由廠商負責一部分、路局亦採購供應一部分，各案狀況不一。
10. 對於如何達到設備使用壽命保證、保固 15 年的方式，主要係工程之系統設備供應廠商均為國內廠商，藉由國家頒行法規規定，達到可執行目地。若涉及國外技術部分，則係由國內廠商與其對口，做到技術掌握。基本上，業主並不直接與國外廠商直接接觸。
11. 全中國的鐵路號誌系統因有國家制訂統一規範及標準，各局可相互溝通，並無問題。例如，上海鐵路局與相交之濟南鐵路局、北京鐵路局因標準一致，故無溝通問題。
12. 歐盟推動之 ETCS，大陸並未照單採用，而是考慮本身國情及條件參照制定 CTCS。
13. 對於現有鐵路號誌系統進行增建、擴建，以及切換的作法，由於大陸對未來任何鐵路機電系統的增建、擴建及切換作業，號誌系統均採用電子聯鎖，因此既

有系統改建切換係採先以電腦模擬方式，完成測試後，直接切換。較無採用傳統繼電聯鎖方式，需俟繼電裝置完成安裝後，以實體執行測試無誤後，始可切換之耗時問題。

14. 依據大陸發展經驗，新舊不同技術及觀念交替或同時運用期間，常是重大事故發生之肇因。其理由係操作人員常在不完全認識新系統的狀況下，仍依據其熟悉的習慣或模式進行操作，以致發生誤操作。依大陸過去系統轉換發生事故之經驗提出的建議，包括明確的訂定作業規矩(即標準作業程序)及劃分權責並進行管理人員與操作人員再教育訓練，不允許任何員工憑藉經驗，不按規矩操作是預防重大事故發生之不二法門。
15. 臺灣鐵路目前仍有採用軌道電路系統，大陸則是採用移頻軌道電路，頻率為2600Hz、2300Hz、2000Hz、1700Hz。正線均無需切鋼軌，僅車站有切鋼軌，利用絕緣接頭連接。絕緣接頭均採用國產之膠結接頭(同臺鐵路夾膠絕緣接頭)。
16. 大陸規道鋪設方式為行車速度 300km/h 以上，均採無道碴軌道，普通鐵路則仍採用道碴軌道。
17. 大陸車站車班時刻安排採整點為快車、其餘時間均為普通車班方式。

(二)上海申通地鐵集團有限公司參觀及訪談紀要

本次參訪係透過上海國台辦經濟處鄒紅軍先生陪同，由負責申通地鐵營運維修的上海地鐵維護保障有限公司接待並安排其轄下負責地鐵通信、號誌之通號分公司王偉總經理負責技術介紹及解說。以下茲就參訪資料整理說明如后。

1. 申通地鐵集團分 8 大中心，維保公司為維護保障中心內的一個公司，負責集團內各線地鐵之車輛、供電、號誌、通信及軌道道等之建設及維修作業。集團內各公司營運非利潤責任制，仍由集團進行統一籌措、分配。
2. 地鐵之機電系統，特別是號誌系統是否有比照國鐵之機電系統建立有統一的規範或標準，以解決系統增建、擴建及切換相容性的情事乙節，在大陸國鐵與地鐵雖同屬交通板塊，但國鐵係歸鐵道部管轄，城市地鐵則是歸建設部管轄。機電系統在改建或擴建時，除號誌系統外，其他系統較易處理。地鐵因是採不同路線興建營運，系統建設也是採公開招標方式，故機電系統並未統一。若原系統需增建、擴建時，號誌系統仍需尋求原廠商供應。
3. 由於城市地鐵與國鐵之形態不同，對廠商提供之號誌系統之需求，亦不一致。由於號誌系統技術軟體、硬體發展快速。城市地鐵之號誌系統依經濟、技術及政策層面來看，制定統一的規範或標準，對城市發展及地鐵之興建是不切實際的，反而會限制更新、更好的技術引進及運用。未來可利用市場主導方式，要求廠商提供之技術具有相互兼容性較為適宜。
4. 中國軌道號誌工業的發展，最初係由河南鄭州引進法國的技術。由當時鐵道部指派一批專業人員學習，採引進、消化、吸收之步驟，俟通盤瞭解後，進而開發創新，再委託給公司生產，以統一研究、共同生產、分散競爭手段，達到國產自製目地。上海地鐵系統目前有 3 個號誌供應商，其號誌系統間互不相容。上海地鐵之供電系統，電壓均為 1500V，目前有三種型式，分別是柔性觸網(即傳統架空線)、剛性觸網及第三軌型式。新建的 16 號線、17 號線均是採第三軌型式。

5. 目前第 10 號線之車上裝設之閉路監測系統有將視頻傳回控制中心可監看，其餘路線並無裝設。
6. 控制中心之營運監測可顯示各路線之營運狀態、車輛運用狀態、客流狀態並可將各線運行之各車站順暢、擁塞或路線故障等資訊利用網站、APP 及電視新聞、廣播及車站入口電子看板等通知旅客，達到預告轉換乘資訊。另外，控制中心亦可利用設置車站及車上之旅客資訊系統通知乘客營運狀況及建議換乘資訊。
7. 控制中心與上海電視台合作社有 SNG 直播連線，每日早、中、晚三次進行地鐵各線營運狀態之電視播放。

二、考察心得

本次考察過程，藉由與上海鐵路局、申通地鐵公司訪談及現場實地參觀過程，以及交通展覽會參展攤位之商品訊息，總結大陸地區在辦理軌道機電工程之新建、擴建或改建，以及切換作業時，特別是號誌系統較無國內辦理類似工程常遭遇的相容性或系統界面整合不易等問題，究其原因，初步歸納如下：

(一) 軌道機電系統產業已具有相當高程度自主性及自製率

經與相關單位及展覽會之參展廠商訪談後瞭解，本次參展之軌道車輛及機電系統設施展覽攤位，多為大陸廠商或大陸與國外技術擁有廠商合資廠商參展，其產品均是在大陸生產，且已形成上、下技術供應鏈。故上鐵局等政府機關在辦理工程發包採購作業時，其對象均為國內廠商，較無工程機電系統因分段發包，以致因不同廠商得標，造成機電技術受制於國外，而發生不相容的情形。

(二) 產、官、學界對軌道產業技術發展發揮緊密結合及角色互補作用。

本次拜訪的相關單位均表示，大陸在鐵路開始提速及推動高速鐵路發展初期，在引進國外技術時，亦曾發生機電系統，特別是號誌系統受制於國外原供應廠商情事。後經鐵道部出面組織一批技術人員赴國外學習技術，並採「引進」、「消化」、「吸收」、「創新」等4大步驟，以達到徹底熟悉及掌握關鍵技術。對於引進之技術，由政府出面，結合產業及學界採「統一研究」、「共同生產」、「分散競爭」手段，將研究成果以成立公司或轉移給國內數個廠商方式生產，達到市場供應管道多元化目的，並利用其之間的相互競爭，以提昇技術水準，而完成國產自製及創新開發之目標。深究此方式能夠成功的最大原因係所有學術單位、研究機構及事業單位均為國家所擁有。因此，較能避開公務部門、私人企業之間的利益輸送、圖利特定對象之關係及衝突，又所有參予單位及機構因係公家單位，均可受政府政策規定之約制，達到整合之目的。

(三) 利用其國內龐大市場及商機作為誘因及後盾，迫使國外廠商配合進行技術投入

及移轉

由於大陸市場龐大，商機無限，故國外廠商為了換取進入大陸市場機會，達到擴大商品銷售量及市場佔有率目的，常同意配合大陸以技術換取市場之政策，提供技術轉移。對於某些技術雖仍掌握於國外廠商手中，惟為提供使用單位之售後服務，其合資之國內公司仍做到徹底瞭解深層技術的能力。故當遇有工程界面問題時，均有能力及時提供完成整合所需要技術。

(四) 藉由國家力量主導，建立統一的規範及標準。

經訪談瞭解大陸軌道機電系統，特別是鐵路系統均有建制一套全國通用之標準或準則，用以降低系統界面及相容性問題。以上海地鐵為例，目前尚未建立通用標準，各路線之號誌系統並不一致。若一路線須擴建時，仍需洽原號誌供應廠商。對負責營運、維修的維修保障公司而言，十數條路線中，愈多不同號誌系統型式，意味著維修業務愈繁重及需耗用愈多的人力及備品購置與管理成本。若能制定機電系統單一標準，則應可大幅簡化相關維修作業人力及成本。惟地鐵(捷運)之號誌系統、通訊系統的技術發展日新月異，若建立統一機電系統規範或標準，一段時間後可能之反而造成新技術引進化發展的限制。

三、建議事項

(一) 建議國內軌道公共工程，若引進大陸之軌道系統、機電產品前應建立使用壽年保證及維護之契約範本與機制，以及一套可追究工程品質缺失責任之管道機制。

目前國內軌道機電工程並未開放給大陸廠商參與投標，軌道機電系統、設備亦未全面開放使用大陸產品，惟依大陸相關技術之發展，總有同意開放進口及使用之日。依本次參訪之觀察，大陸相關軌道機電系統設備之技術雖有長足發展，但供應產品之品質常係依靠供應對象決定。例如，供應給上海鐵路局之系統設備，依大陸相關法規須提供使用壽年保證。若期間發生故障，甚至發生事故時，因供應商也是國營企業，相關人員均受國家公務人員責任追究及約制。因此，對於廠商所提供之工程或產品品質較能有效要求及滿足一定保障。否則，一般外銷產品品質未必與其對內公共工程銷售之品質一致。

(二) 持續協商取回 GSM-R 頻帶

GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railway；上行鏈路：885 - 889MHz；下行鏈路：930 - 934MHz) 是國際無線通信標準用於鐵路通信和應用。歐洲鐵路交通管理系統的子系統使用 GSM-R 完成列車和調度中心的通信。該系統基於 GSM 和 EIRENE - MORANE，當速度高達 500 公里/小時 (310 英里每小時)，也不會丟失任何通信。

中國國家鐵路局 2015 年第一批公告《鐵路 GSM-R 智能網技術條件》等 14 項鐵道行業標準規範，其中 GSM-R 相關規範即佔了 5 項之多，包含：

- (1) TB/T 3362-2015 鐵路數字移動通信系統 (GSM-R) 智能網技術條件
- (2) TB/T 3363-2015 鐵路數字移動通信系統 (GSM-R) 通用分組無線業務 (GPRS) 子系統技術條件
- (3) TB/T 3364-2015 鐵路數字移動通信系統 (GSM-R) 模擬光纖直放站
- (4) TB/T 3365.1-2015 鐵路數字移動通信系統 (GSM-R) SIM 卡 第 1 部分：技術

條件

(5) TB/T 3365.2-2015 鐵路數字移動通信系統 (GSM-R) SIM 卡 第 2 部分：試驗方法

中國對於 GSM-R 頻帶提供鐵道號誌通訊專用態度十分堅決明確；CBTC 系統為大多數城市軌道交通先進號誌系統的發展趨勢；但此系統本質上需要一特定頻帶（即 GSM-R）來執行通訊傳輸，唯此一頻帶在臺灣，目前為廠商所佔用，作為商業用途，現階段若要發展先進的號誌系統，取回 GSM-R 為眼前一項重要的課題。

(三) 人才應長期培養，用長遠眼光培植國家未來尖端鐵道科技精英。

中國在高鐵走向國際之政策下，其高鐵設備遍及程度儼然成為世界之冠；在中國，政府組織了包括鐵道科學研究院等科研院所和許多大學以及生產廠家，成立了許多專門從事軌道交通技術的研究機構，這些學界的研究機構包含西南交通大學、北京交通大學、蘭州交通大學、同濟大學、中南大學、大連交通大學、石家莊鐵道大學、華東交通大學、南京東南大學，均為致力鐵道工程研究之知名學府，已培育了大批高級技術開發人員，成為促進城市軌道交通機電設備系統的技術進步的人力資源。

臺灣學界為培養未來尖端鐵道科技精英著眼，應加強與對岸交流，針對這些鐵道相關院校交換學生前往深入研習；產、官界亦應篩選年輕精英赴大陸，作中、長期深入的學習研究，始有可能觸及其專業技術之核心，才有機會在未來提升臺灣鐵道工業的技術水平。

參考文獻

- 【1】上海鐵路局，維基百科，自由的百科全書，2015.06.12
- 【2】上海虹橋車站，維基百科，自由的百科全書，2015.02.16
- 【3】上海申通地鐵集團有限公司，維基百科，自由的百科全書，2015.03.29
- 【4】陸嘉森，漫話通信信號，中國鐵道出版社，2009 北京
- 【5】鄭州鐵路局鄭州電務段，鄭州站信號設備大修工程技術總結，中國鐵道出版社，2014 北京
- 【6】《當代中國鐵路信號(2006-2010)》編輯委員會，當代中國鐵路信號(2006-2010)，中國鐵道出版社，2013 北京
- 【7】中國鐵路總公司，鐵路信號中的通信技術應用，中國鐵道出版社，2013 北京
- 【8】中國鐵路總公司，高速鐵路信號系統，中國鐵道出版社，2013 北京
- 【9】「城市軌道交通營運與信號」，中國科學技術大學出版社
- 【10】軌道大講堂 | 列車運行控制，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-03-25
- 【11】高速鐵路設備系列介紹<8>：《電力接觸網與受電弓》，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-03-17
- 【12】LTE 無線專網引領軌道交通車地無線跨入新時代，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2014-07-03
- 【13】科普 | 高鐵電力是如何提供的，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-04-16
- 【14】列車電力是如何提供的 | 鐵路供電專欄，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-04-18
- 【15】高速鐵路設備系列介紹<10>：《列車運行控制系統的速度控制》，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-03-24
- 【16】中國城市軌道交通機電設備系統發展歷程及趨勢，CRTS2015 獨家支持

新媒體：軌道世界，2015-03-30

- 【17】 高速鐵路設備系列介紹<14>：《電力接觸網的分類》，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-04-06
- 【18】 高鐵列車控制系統 CTCS-3 通俗解讀 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-06-03
- 【19】 高速鐵路與鐵路信號<1>高速鐵路促進鐵路信號的發展 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-05-05
- 【20】 高速鐵路與鐵路信號<2>尋找中國列車運行控制系統之路 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-05-07
- 【21】 高速鐵路與鐵路信號<3>準移動閉塞的選擇 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-05-10
- 【22】 高速鐵路與鐵路信號<4>信息傳輸系統的選擇 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-05-12
- 【23】 高速鐵路與鐵路信號<5>幾個主要技術原則的選擇 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-05-14
- 【24】 高速鐵路信號系統結構分析方法 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-04-23
- 【25】 鐵路調度員的數字故事（高清圖集） | 鐵路調度指揮中心解密 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-02-16
- 【26】 中國高速鐵路聯調聯試 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2015-02-05
- 【27】 LTE-M 系統助力車地無線通信系統跨入綜合承載 4G 新時代 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2014-11-25
- 【28】 軌道供電 | 世界上首台 220kV 超低損耗卷鐵芯節能型牽引變壓器研製成功 ，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界，2014-11-28
- 【29】 高速鐵路設備系列介紹<2>：《先進的列車運行控制系統》，CRTS2015

獨家支持新媒體：軌道世界， 2015-01-19

【30】軌道智能化 | 全球首個基於 LTE 的城市軌道車地無線傳輸網絡通過專家評審，CRTS2015 獨家支持新媒體：軌道世界， 2014-12-23

【31】北車交付我國首台高鐵接觸網專用“救護車” | 時速 160 公里，CRTS2015，獨家支持新媒體：軌道世界， 2014-12-25

【32】中國鐵路商務網/出版雜誌/正文

【33】運營 3 年如何實現盈利？——京滬高鐵帶來的啟示 | 新華網專題·特別關注·中國高鐵再調查，CRTS2015，獨家支持新媒體：軌道世界， 2015-01-25