發佈：2011-08-01, 週一 18:18
點擊數：11317

壹、前言：

在京滬高鐵通車的喜悅還不到一個月，中國的高鐵動車組就發生了嚴重的事故意外，無疑給中國近年來以「全球發展最快高鐵網」的榮耀敲響了一記警鐘。縱然有著發展速度最快的成績，也同時顯示著快速發展卻也可能忽略了許多重要的細節。這顯示著鐵道發展若沒有把安全的文化與理念放在首位、必然會造成嚴重意外的「莫非定律」...

貳、數億人口所促成的鐵路高速化

中國的鐵路高速化是自1999年興建、2003年通車的「秦沈客運專線（河北秦皇島至遼寧瀋陽）」開始，當時的目標就是要以時速200公里以上的客運路線，也就是一般世界技術上對於「高速鐵路」的基礎定義。當時的規劃目的，是希望能藉由高速鐵路，大幅度提昇既有鐵路網服務能力，藉此因應中國經濟蓬勃發展下的運輸需求。時至今日，中國已經擁有8,000多公里的高速鐵路路線、預計到了2012年，搭配「四縱四橫」的規劃下，中國將擁有1.3萬公里的高速鐵路，不僅成為全球最大的高速鐵道網國家，也成為全球高速鐵路網發展速度最快的國家。

這些高速路線中，大致上可以分成三種類別：

a. 第一種是設計時速300KPH以上的高速鐵路路線，這些路線包含連接浦東機場的上海機場磁浮、近年來通車的京滬高速鐵路、滬寧城際高速鐵路等，都是這一類高鐵路線。這些路線上有一種特有的列車等級叫做「G（高速動車）」，通常只會出現在這種時速300KPH以上的高鐵路線中。

b. 第二種是新建、但路線等級只有200~250KPH的高鐵路線，如這次發生意外的路線，就是屬於杭深客運專線中的「甬台溫鐵路」，這一類型路線都是以時速200~250KPH營運的「準」高速路線。在中國鐵路網的分野中，他們多數以「客運專線」的方式稱呼這類型的新建鐵路。

c. 第三種則是依據既有路線重新進行路線升速、速度標準一樣在200~250KPH的鐵路路線。近年來中國快速增加的路線都是第二種鐵路路線，利用較低的路線工程標準，達到全面動車化、全面高速化的目的。在第二種與第三種鐵路之中，他們所普遍使用的客運列車被稱為「和諧號動車組」，這是自2007年中國鐵路系統進行第六次全面提速改造後的全新車種，也是中國現代化的重要象徵。

所謂的「動車組」，其實是指將列車動力分散至各個車廂的列車動力配置形式，這種形式的列車擁有起步速度快、加速度快、車輛重量平均等幾大優勢，因而成為近年來高鐵列車普遍的設計方式。例如日本新幹線系統就都是以「動力分散式」的方式配置動力（承襲自日本新幹線系統的台灣高鐵700T型列車亦同）；德國較新穎的ICE-3高鐵列車也是動力分散式的設計。在中國鐵道部於2004年規劃引進國外技術、以「技術合作方式」製造高鐵列車時，就選擇了加拿大龐巴迪、日本川崎重工、以及德國西門子等世界知名廠商，引進他們的高鐵技術打造出全新的高速動車「和諧號」。「和諧號」的車廂上有大大的三個英文字「CRH」，象徵著「中國鐵路高速化列車（China Railway High-speed）」的意思。因此大家雖然口中講著「動車」，但以世界普遍的定義而言，不管在何種路線上營運，他們就是能夠以200KPH、甚至300KPH以上營運的高鐵列車。

參、高度技術密集的高鐵科技

Phoca PDF

發佈：2011-08-01, 週一 18:18
點擊數：11317

各位讀者可以想像，以台灣高鐵來說，一列重達503噸的高鐵列車、以時速300KPH運行時，加速與減速絕非容易的事情，如何在兼顧安全與效率的情況下讓列車能安全、平穩地運行，其實是高鐵列車中最為核心與關鍵、但也最為困難的技術。在時速300KPH的運轉速度下，不僅列車本體會受到高速氣流的影響、支撐列車重量的轉向架在高速會發生劇烈的振動、列車在高速下使用軌道所需考慮的結構承受能力與平整度都有相當高規格的要求。因此，高鐵技術在全球只有集中在少數幾家軌道業者具備研發與生產的能力，並不是一種可以快速複製、快速學習的工藝技術。

以列車工藝水準來看，中國高鐵系統歷經了加拿大、日本與德國三種高鐵列車的技術移轉與合作後，已學習到相當多高鐵列車技術的核心。因此，京滬高鐵所使用的CRH380型列車就是一型由中國完全自主設計、100%自製的列車。不僅列車性能與其他國家的高鐵列車相比絲毫不遜色，在列車內裝、高速運轉的舒適度、平穩度等技術指標上也能擠入世界一流水準，這讓中國鐵道部相當驕傲於京滬高鐵的通車，認為這是中國邁向「高鐵技術輸出國」的一個指標性里程碑。

除了列車的先進外，還必須同時有一套先進程度能相互匹配的行車控制系統。行車控制系統是鐵路運轉的大腦與神經中樞，主要掌管著列車運轉的安全、有序與效率。當軌道運行的速率越高、列車數量越多、列車種類越多（快、慢車混合情形越複雜）時，高度自動化的行車控制系統就開始取代人力，自主地保護列車安全、維持列車正常有序的運轉，甚至是自主地進行列車班次的調度與管理。鐵道系統的設計觀念都是以「Fail-Safe（失效安全保護）」來進行，也就是說一旦系統故障，再系統控制轉換為人力控制的過程中，都必須要保護列車的安全，例如一旦系統無法掌握任何一列運轉中的列車資訊，則相鄰區域的列車必須全面跟隨停駛，這就是木柵內湖線在通車初期頻頻「當機」的原因之一。同時，隨著系統的先進，操作調度系統的調度人員、負責列車運轉的駕駛員也要跟隨行車控制系統的更新而提昇技術，否則很容易被先進的系統帶著走、或者是一旦系統故障改以人力控制時就會造成安全保護的設計嚴重失效，進而導致難以預期的嚴重事故。

為了因應中國複雜的鐵路環境，中國鐵道部並未向國外採購行車控制系統，而是採取自力研發方式因應本土軌道運輸的混合需求。這套稱為「CTCS（Chinese Train Control System，中國列車行車控制系統）」的行車控制系統，目前總共包含五種類型，他們分別被編號為CTCS-0 ~ CTCS-4等5型，提供給不同等級的路線使用。其中CTCS-0/1是提供給160KPH以下的一般路線使用；CTCS-2則是提供給予160~

250KPH提速路線與準高鐵路線使用；CTCS-3與4則是提供給予250KPH以上的路線使用。這些系統彼此之間具備向下相容的特性，讓高等級的列車可以駛入行控系統等級較低的路線區間。在高鐵動車組中，目前所使用的是CTCS-2/3/4系統，這之中最大的差異是CTCS-2採用的是軌道電路、搭配地面感應單元的方式提供列車基礎控制訊號，這是一種固定閉塞制度、但可以透過軌道電路最佳化煞車距離（以前車目標距離為速度控制基準）的控制系統；更高速度的CTCS-3/4則是採用無線通訊（GSM-R）為基礎、搭配軌道電路進行通訊。因此，這次發生意外的D301次CRH2型動車組，她是由京滬高鐵、滬寧高鐵、滬杭高鐵再進入杭深客運專線，本身就具備有CTCS-3行控系統以因應高鐵區間使用，等到由杭州南站出發時，就會轉為CTCS-2行控系統的控制模式、維持列車的運行與安全。

京滬高鐵自2011年6月30日啟用營運以來，中國的高速鐵路擁有了全新的面貌，她不是第一條中國高速鐵路，也不是中國第一個能夠達到時速300KPH以上的高鐵路線，但她卻是一條自路

Phoca PDF

線至列車完全由中國自製的高速鐵路。京滬高鐵雖然風光通車，但通車初期始終小毛病不斷、直到通車後不到一個月的7月23日，一場高鐵列車的追撞意外，不僅撞破了原本的光環、也同時撞毀了中國高鐵技術先進的表象。

肆、連鎖失誤下所造成的嚴重事故

採用CTCS-2的杭深客運專線之「甬溫客運專線段（寧波至溫州）」，是一個透過軌道電路、固定閉塞區間為主要行車控制邏輯的軌道路線。CTCS-2將1,500公尺切成一個閉塞區間，每一個區間內只能放置一列車；在車站的週邊、以及列車行駛在某個閉塞區間內時，軌道電路會如同唱歌一般、針對相鄰的連續閉塞區中、以不同頻率發送電路訊號，當列車收到不同頻率的音頻信號時，行車控制電腦會自動換算對應的速限、提醒駕駛員或強制進行減速停車。以CTCS-2的控制邏輯而言，當列車行駛於250KPH時，與前車的距離必須保持約10公里、也就是兩列車之間需要保持7個閉塞區間的距離，隨著列車相對速度減慢、兩車間維持的閉塞區間數量就可以對應地減少，但一個閉塞區間容許一列車運行的原則依舊存在。

當D3115次遭到D301次列車追撞時，我們幾乎可以斷定，若不是軌道電路故障、導致軌道電路無法唱出正確的音頻提供跟隨車輛進行安全的跟車行為，就是安全保護系統遭到關閉、導致列車駕駛員無法準確地得知前車訊息。事故當天晚上，有乘客指出D3115次與D301次列車都在永嘉站（溫州南站的前一站）停了一段時間，加上車站、調度中心都可能沒發現D3115次列車與D301次距離過近的問題，即代表軌道電路故障或遭到隔離，等同於最基礎的軌道自動安全防護失效，後續人為判斷若再失誤，死神的鐮刀就很難放過無辜的旅客。

現代化的行控系統都需要透過電腦進行路徑設定，這個路徑設定包含進站列車與停站位置的設定，藉以確保轉轍器與路線都會在正確位置、同時也能保護列車進站的速度與安全。進路設定一旦故障，則列車運行就會受到影響，行控中心或車站當然可以透過手動方式進行運轉，但如果進路設定加上軌道電路故障，就會導致不僅進路設定無法設定（無法給予列車電腦正確的防護指令）、也會使得調度中心難以掌握列車實際位置。台灣高鐵通車初期偶爾發生的轉轍器故障案例，多數都是因為轉轍器定位感應器故障、導致無法設定轉轍器於定位所導致的進路設定故障，使得高鐵列車必須採取「單線雙向」運轉的模式，這時候掌握列車的實際位置就變得非常重要。同樣的，一旦進路設定與軌道電路同時失效，這時最保險的方式，就只能讓列車在兩座車站保持一列車運行，也就是前一列車進站後、後一列車才得以出發的模式，雖然效率將大幅度地降低，由於無法掌握列車實際相對位置，卻也是一種相對安全的方式。

以乘客的敘述，D3115次與D301次都曾一前一後地同時停靠於永嘉站，永嘉站並非D301次的預定停靠車站，這顯示D301次行車控制系統有發揮保護的功效，這列車的進路設定就被保護在永嘉站不再繼續前進。不管是由行控中心或者車站下達發車指令，都是在D3115次尚未抵達溫州南站時、且未確認系統可安全跟隨的情況下，就讓D301次跟隨出發，才導致兩列車於進站前發生追撞意外；如果軌道電路已受損，則很有可能軌道電路不能發出穩定的音頻訊號（甚至沒辦法發送訊號），則跟車的安全距離就只能仰賴行控中心或車站的TDCS（列車狀態控制系統）來顯示；若是人為隔離，則更無法確保軌道電路壓佔訊號的正確。在列車位置無法準確掌握的情形下，導致兩車間距過短、後方列車安全系統失去保護功能，使得後車煞車不及而發生了嚴重的追撞意外。

伍、掌握技術快狠準、人員素質難跟進

Phoca PDF

發佈：2011-08-01, 週一 18:18
點擊數：11317

以這次中國高鐵的意外來看，其實我們可以發現中國現在的高鐵技術並不差，不論是京滬高鐵所使用、最新穎的CTCS-4行車控制系統，或者是在中國多數200~250KPH路線上所使用的CTCS-2行車控制系統，都與目前全球一流軌道系統的規格與性能相仿。如果以軌道硬體層面的技術來說，依據相同的設計技術，中國的確有資格擁有像是京滬高速鐵路一般、時速300KPH以上的先進高速鐵路。然而綜觀這幾年全球所發生的重大鐵路意外，多數都是以人為操作疏失為主因，硬體層面的故障較為少見。高速鐵路由於速度高、成本昂貴，因此往往會使用安全等級較高的人力與設備，但人依舊是軌道系統中的最後一道把關者，而高速鐵路更是具備這樣的特性。

如果我們從人為的遠程因素來看，其實列車的誤點是另一個造成事故的因子。D3115次與D301次列車兩列車原本應該是D301次在前、D3115次在後。然而來自於北京南站的D301次，早在當日07:05就從北京出發，經過了京滬、滬寧、滬杭高速鐵路之後繼續往南進入杭深客運專線行駛，以中國鐵路的狀況與化，要保持準點並不是一件容易的事情。依據該日撞上的時刻，D301次已至少誤點15分鐘以上，由於列車誤點都需要進行「運轉整理（也就是儘快讓列車追回正常時刻）」，可能會提昇車速以進行趕點。列車發生誤點這不僅導致行車順序的混亂、提昇調度的複雜性，也可能會忽視前方可能存在的列車而未保持兩列車間的安全距離。

如果從近程因素來看，各項因素皆顯示在事故發生的當下，負責掌管列車安全的行車控制系統可能已經發生故障，這時要怎麼去控制列車、保持兩列車的安全距離，就成為調度人員的重要考驗。當行車控制系統發生故障時，列車仍然可以繼續行駛，但這時由於完全只能仰賴駕駛的眼睛，因此可能需要保持非常低的速度、以便隨時停車。以CTCS-2的運作規範來說，當行控系統顯示為「閉鎖（紅燈）」時，容許列車駕駛員以20KPH的速度行駛，以便可以隨時停車；若要讓列車正常行駛，可以透過車站間進行調度，把兩個車站間視為一個大的閉塞區間，讓列車駕駛依據正常速限往前行駛以減少誤點。以這次發生的區間來說，永嘉站至溫州南站相距23公里，依照這個區間的平均排點，行駛時間為10分鐘、平均行駛車速約為135KPH。有調度紀錄指出，D3115次列車與D301次列車發車時間相隔10分鐘、D3115次遭到撞擊時已出發20分鐘、D301次列車遭撞擊時已行駛10分鐘，顯示D3115次和D301次列車皆非正常運轉速度行駛、但明顯的D301次車速比D3115次快得多，因而導致嚴重的追撞意外。撇開設備故障不提，這次事故是一個前車、後車、車站與行控中心等四方面都有人為責任的意外。首先，一般鐵路系統都有通用的無線電可以進行通訊，當號誌可能出現故障、前車或後車進入區間時，就應該建立「列車防護」的觀念，確保自己列車前後有一定的安全隔離距離，前方是必須避免自己闖入安全距離後煞車不及、後方則是避免其他列車追撞；二者，當號誌系統故障或不穩定時，對於列車位置的掌握即成為行控中心與車站兩邊必須同步關注的問題，今天就算車站改採取「就地控制」的方式，車站的調度人員也要確保確實掌握列車位置以避免衝撞，然而造成追撞就是調度人員的防護功能不足、直到列車駕駛成為最後一道防線；三者，整體人員都沒有「安全閉塞」的觀念，今天當行控系統出現問題時，最後一個手段為「人工閉塞制度」，就是可以利用車站之間設定為一個閉塞區域，至少必須等到前方列車已完成列車閉塞區域保護（例如利用進站前方一定距離的燈號為保護）當列車進入此區間後方能使後方列車發車，藉此維護列車運行的安全；四者，依據調度紀錄顯示兩列車發車的相距時間是符合正常運轉狀態下、兩站間只容許一列車存在的情形，但明顯的調度總所並未向溫州站再次確認D3115次是否進站、而逕自將D301次列車由永嘉站開出。由這四個角度來看，整個軟體系統的安全觀念幾乎蕩然無存，因此讓「人」這個最後的防線失守而造成意外。

因此，縱然有領先全球的硬體技術，人員的觀念、訓練與素質無法跟進時，不僅會導致許多先進的設備功效無法發揮、當設備故障時更可能因為觀念的不足使系統安全性大打折扣。當中國只有唯一一條高速鐵路時，整條鐵路的車站、駕駛、調度與維護人員可能都以精英方式招募；但當今天中國擁有的是高速軌道網、先進的行車控制系統遍布於全國各地時，讓相關人員都維持

Phoca PDF

發佈：2011-08-01, 週一 18:18
點擊數：11317

一定水準就有很高的難度。今天的事故證明了中國擁有一流技術水平、但人員的素質無法跟進的現實，這對於近期十分自傲的中國高鐵產業無疑是一記當頭棒喝。

除此之外，這一次的事故更可能導致中國高鐵技術進軍全球的夢想被完全粉碎。人為因素導致高鐵事故的事實，不僅讓民眾質疑中國高速鐵路的營運安全，與人員相關的還包含了製造、組裝、興建、安裝、訓練等議題，縱然今天中國的高鐵技術使用全球最先進的製造機具與製造流程，但是在這些過程中，「人」還是佔有很大的因素。尤其時速300KPH的高鐵列車涉及精密的組裝過程，有些金屬故障的議題是在系統新穎時無法顯現、而往往在使用一段時間才導致嚴重的意外。全球第一起的高鐵事故「德國艾雪德ICE列車出軌事故」，就是肇因於ICE列車營運初期在高速下的車廂振動、因此換裝了原本為低速鐵路設計的雙層鋼輪。換裝初期的確解決了車廂振動的問題、同時獲得乘客的好評，但難以發現的金屬疲勞卻在偶然的瞬間造成了列車出軌、再撞上橋墩的嚴重意外。這一場中國高鐵的意外，不僅是對於中國高鐵的輸出造成嚴重的衝擊，任何在中國製造的高精密度產品（例如民用客機），都可能因此在國際市場上失去競爭力，損失嚴重商機。

軌道營運的可靠與安全，從另外一種層面來說也是人文素質的展現。日本新幹線近半個世紀以來、無人為因素的死亡意外紀錄不僅讓許多國家稱羨與讚嘆，從人禍到天災的全面性防護、以及極佳的營運準點率更是許多軌道業者的優先表率；法國TGV的高度自動化科技不僅補足了許多人為的不足，靈活的搭配方式也讓法國高鐵技術立足歐洲、並進軍全球市場；德國ICE雖然發生過嚴重的意外，但德國人精密且嚴謹的技術水平、加上得國工藝科技長期以來獲得廣大的信任，也讓德國往中國輸出了第一條商用高速磁浮、並將高鐵技術移轉給中國。同樣是外來的軌道技術來到台灣，在台灣高鐵、台北/高雄捷運、台鐵、或者是阿里山林鐵等業者上也展現著不同的文化。我們無法避免人為的失誤，但重大的意外往往是連鎖的「事故鍊」所造成，唯有透過層層防護、打斷事故鍊的任何一個可能環節，才能夠獲得長久的安全。

筆者後話：這篇文稿撰寫時，筆者正搭乘著京滬高鐵、以時速300KPH的平穩速度由北京前往南京。中國高速鐵路所使用的CRH系列高速列車、正是筆者在中國往四處移動時的最佳交通工具。相較於飛機不受到天候威脅且服務網路更綿密、相較於一般鐵路車輛更迅速且舒適，是CRH高鐵列車在中國得以廣受歡迎的主因，然而高鐵所需要的技術與人員素質卻是中國最大的隱憂，一場事故的衝擊未必說明一切、但卻帶給人們深自的警惕。航空、軌道、核能這類型的高技術密集行業，人員依舊是最後一道防線，我們享受科技進步的美好時，其實掌握科技才是保護人們安全的最後關卡...

作者鄭羽哲為鐵道研究者，台灣鐵道暨國土規劃學會理事
（本文僅代表作者個人意見，不代表本智庫立場）

Phoca PDF