

東鐵底盤組件支架裂紋  
成因調查  
最後報告撮要

2005 年 12 月 21 日，一列東鐵中期翻新列車車底主壓縮器支架發生事故後，九廣鐵路公司(九鐵)即時採取措施，使用無損探傷測試，檢查所有中期翻新列車的底盤組件。鑑於在檢查過程中發現更多微細裂紋，為確保中期翻新列車的行車安全，事故發生後，九鐵啟動了裂紋管理計劃。

2006 年 1 月，九鐵的一個內部小組，在專家顧問及中期翻新列車製造商的協助下，展開了一項調查，以找出裂紋的成因，和建議改善措施。公司亦聘用專家顧問，以國際標準作為基準，為九鐵的列車及路軌維修計劃，進行獨立評估，以及為調查提供協助。本最後報告臚列調查結果及解決裂紋問題的改善措施。調查結果及改善措施經由梁廣灝先生領導的獨立調查委員會覆核及認可。

本調查的範疇涵蓋導致裂紋的所有可能成因，其中包括與震動、列車生產、營運、維修及環境有關的，與及東鐵改善工程項目可能造成的影響。

本調查包含一項全面的測試計劃，進行了共超過 164 次的列車試驗運行。為找出底盤組件支架所承受的過度疲勞負荷及震動的潛在來源，以及它們的傳輸途徑，九鐵曾於主要支架位置進行應變量度。量度的結果經分析後所得的結論，亦由 VAMPIRE – 一個有關車輛與路軌互動的最先進電腦模擬工具所確證。

此外，九鐵亦已就其他因素進行全面評審，這些因素包括改善工程項目帶來的影響、列車及路軌的維修系統，以及運作/環境因素的改變。

調查亦包括可能與列車生產有關的原因，目的是確定物料及焊接口的設計及質素是否符合標準。所採用的技術包括金屬疲勞的分析和縮短支架壽命的測試。此外，調查亦包括分析各種裂

紋，以及特別選取某幾類支架以進行詳細金屬檢查。

除了在主壓縮器及自動交流發電機出現的裂紋外，調查結果確定導致底盤組件支架出現裂紋的最主要成因，是由於車身共震<sup>(1)</sup>而引致的過度震動。根據列車製造商進行的 FEA 分析<sup>(2)</sup>，結果顯示支架的原本設計與構造一般可以適合使用。然而，中期翻新列車所承受的過度震動，卻增加了支架的疲勞負荷，以致高達原本設計基準的兩倍。詳細金屬檢查結果亦顯示焊接位不完善，與應力集中點均導致支架出現裂紋。

調查確定在主壓縮器及自動交流發電機出現裂紋的最主要成因是焊接質素不完善，而由壓縮器及發電機的運轉部件所發出的震動及車身的共震亦導致該兩類組件出現裂紋。

根據量度數據的時間性及頻率性<sup>(3)</sup>分析以及電腦模擬的結果，確定東鐵沿線多個路段的軌頂上存在週期性的極輕微波紋。此等波紋是形成過度震動的原因。波紋的縱向間距<sup>(4)</sup>大約為 3 公尺，而垂直波幅則小於 1 毫米。當列車以時速 70-90 公里在這些路段行駛時，車身會產生共震，而導致底盤組件支架震動水平過高。這個列車速度正是東鐵最常用的行車速度。

測試結果確定，該等極輕微的不平滑路軌與 1998-1999 年一批用於路軌更新計劃的路軌有密切關係。該批路軌現時佔東鐵所有路軌 36%。這種軌頂上出現的極輕微不平滑處是無法可以採

- (1) 每一個結構都擁有獨特的自振頻率。當有外來力量刺激某一結構，而這力量的頻率與自振頻率接近時，將產生很大的震動。一個例子是富經驗的跳水員能利用彈板的自振頻率以同步配合他/她的踏跳節奏來達到最高的跳躍高度。
- (2) 一種電腦輔助型設計及分析技術，用以計算在特定的荷載情況下，支架不同部位的應力水平。
- (3) 於每一段時間內，支架所接收的震動包括很多組成部分，各自擁有獨特的頻率。時間性分析綜合所有該等組成部分所得出的值，而頻率性分析則集中分析每一個別組成部分。
- (4) 沿著路軌的每一週期的水平線長度。

用傳統方法量度的，而當時業界所採用的路軌標準亦未能排除輕微不平滑處出現的可能性。此外，現時業內一般用於路軌維修的路軌量度機器及路軌打磨機由於操作上的限制，亦無法量度或確保可以消除這種情況。有見及此，九鐵在更換東鐵路軌時，會優先處理比較嚴重的輕微不平滑路段。

雖然九鐵會更換路軌，不過 2004 年一項由英國鐵路安全及標準局作出的研究報告考慮到路軌運作環境的改變，建議將承托支架的垂直疲勞負荷載提高 3 倍，以增加承托力度。雖然業界尚未廣泛採納是項建議為行內標準，但因其建議與九鐵考慮的幅度相若，故九鐵已決定根據英國鐵路安全及標準局的建議，提升支架的承托力度，來承受現時測到的震動力。

有關提升支架疲勞強度的設計已大致完成。九鐵即將展開安裝工程，計劃於 2007 年中完成。屆時將會拆除所有輔助的臨時支撐系統。

第三項措施是減少車身共震，方法是加強中期翻新列車的懸掛系統，以消滅因軌頂波紋所帶來的震動。公司現正與列車製造商討論強化懸掛系統方案的設計。

根據現時所搜集到的證據以及專家顧問的獨立評審結果顯示，維修標準及程序並沒有導致列車底盤組件支架出現裂紋。不過，九鐵會進一步加強中期翻新列車的維修程序，以便及早找出支架裂紋。此外，亦在列車及路軌安裝儀器，不斷監察車輪與路軌的互動，並在需要時及早主動作出修正。

**九廣鐵路公司**

二零零六年五月三日