



軌道車輛煞車性能測試

三聯科技股份有限公司／魏榮俊



一、前言

本文件範圍係義大利日立軌道車輛公司按照特別技術規範執行台北捷運環狀線列車預定採用的列車性能測試程序，以檢查列車在空重和滿載情況下的加速度和煞車表現。

二、測試方法

1. 測試條件

本測試只能在列車完全組裝好及掛載設備後執行，列車在空重配置下可執行空重測試和負載的測試將會使用砂包來做乘客重量模擬。

2. 測試項目

此測試列車煞車性能測試項目如下：

- (1) 空重與滿載負載列車在水平軌道與5.5%最大坡度上之正常情況加速度。
- (2) 空重與滿載負載列車在水平軌道與5.5%最大坡度上之降級情況加速度。
- (3) 空重與滿載負載列車在水平軌道上之最大速度。
- (4) 空重與滿載負載列車在水平軌道上之營運煞車正常情況減速度。
- (5) 空重與滿載負載列車在水平軌道上之營運煞車降級情況減速度。
- (6) 空重與滿載負載列車在水平軌道上之打滑控制緊急煞車正常情況減速度。空重與滿載負載列車在水平軌道上之緊急煞車正常情況減速度。
- (7) 滿載負載列車在水平軌道上之緊急煞車降

級情況減速度。

- (8) 空重與滿載負載於加速與減速情境之急衝度量測。
- (9) 在滿載負載降級情況時於最大坡度5.5%上之駐車煞車。
- (10) 抗空轉與抗打滑測試。

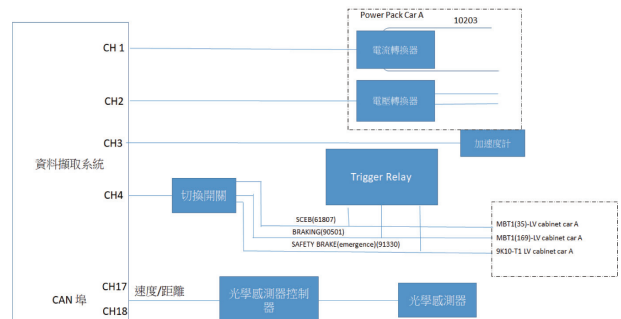
3. 測試地點

線(Y6-Y7、Y9-Y10間)上(包含上行軌與下行軌)執行測試。測試應在乾燥且乾淨的水平直線軌道上執行，因此才能避免損失任何黏著力而造成對測試結果有負面影響。

三、量測系統說明

1. 量測系統架構

此量測系統主要擷取行車速度、行車距離、煞車距離、加速度、急衝度、主電源電壓、主電源電流等數據，然後進行數據分析。量測系統主要由光學感測器、加速度計、電壓轉換器、電流轉換器和動態資料擷取器所構成，其組成架構如圖1所示：



▲ 圖1 量測系統的架構

2. 量測系統的設備規格及用途說明

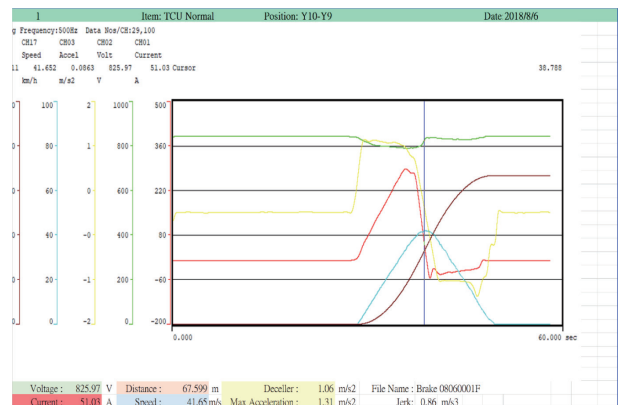
量測系統中各設備的規格和用途分別說明如下：

儀器類型	量測類型	規格
<p>光學感測器</p> 	<p>測量行車速度、距離數據</p>	<p>KISTLER 型號：5335A 速度範圍：0.1~250 kph 距離分辨率：1.0mm 測量誤差：<±0.1% 介面：CAN、USB、Ethernet、DTI 數位輸出：1至1000脈衝/米 類比輸出：-10V至10V 電源供應：10到28V; 35W 工作距離：350±100毫米 工作溫度範圍：-25°C~50°C 儲存：-40到85°C 相對濕度：5%至80%不凝結 系統保護：IP 67 外形尺寸（長x寬x高）：約 118 x70 x45 mm 淨重：600g 衝擊：50 g半正弦波，6毫秒 振動：10 g，10~150 Hz</p>
<p>資料擷取系統</p> 	<p>即時類比訊號數據及數位數據收集</p>	<p>廠牌KYOWA 類比讀入：24頻道 解析：16 bits CAN埠數量：2埠 通訊速度：1000 KPS 電源供應：10~18V</p>
<p>加速度計感測器</p> 	<p>列車行車加速度量測</p>	<p>廠牌KYOWA 型號：AS-5GB 量測範圍：+5G 輸出電壓：±0.5mV/V 驅動電壓：1 to 3VAC or DC輸出 阻抗：121Ω±1.7% 衰減率：0.64 非線性：+0.1% F.R. 磁滯性：1% F.R. 安全使用溫度範圍：-10~60°C 重量：25 g</p>
<p>電壓轉換器</p> 	<p>主電源電壓量測</p>	<p>最高讀入電壓範圍：1500V 供給電壓範圍：±13.4~±26.4V 隔絕電阻：200MΩ(在500 VDC) 訊號輸出電壓：±10V 線性度：±0.5V 反應時間：30 μs</p>

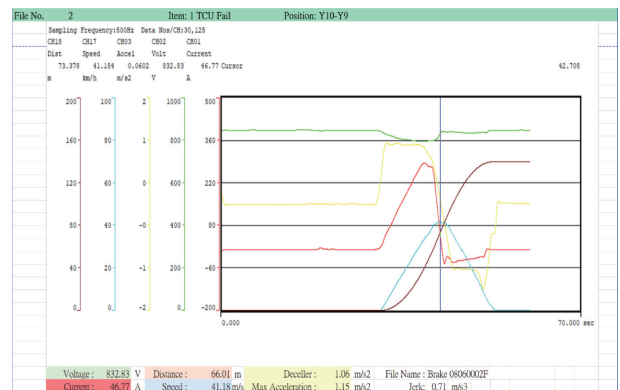
儀器類型	量測類型	規格
<p>電流轉換器</p> 	<p>主電源電流量測</p>	<p>最高讀入電流範圍：±1000A 供給電壓範圍：±15V 隔絕電阻：500MΩ 訊號輸出電壓：±4V 線性度：±0.5% 反應頻率：0~50KHz</p>

四、量測數據

量測系統主要依據列車性能測試程序和環境要求，擷取數據行車速度、行車距離、加速度、主電源電壓、主電源電流等數據，依據觸發開關的訊號和行車速度當基準計算出煞車距離、減速度、最大加速度值和急衝值，其測試數據和計算公式如下：



▲ 圖2 TCU(牽引控制單元)正常狀態下測試數據範例



▲ 圖3 (牽引控制單元)正常失效下測試數據範例



平均減速度計算公式：

$$d_m = \frac{(V_o/3.6)^2}{2 \cdot S_o} \quad [\text{m/s}^2]$$

V_o ：開始速度[km/h]

S_o ：自 V_o 速度的停車距離 [m]

目標速度的停車距離

(平直段測試)

$$S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

(坡度測試)

$$S_r = \frac{\left(\frac{v_r}{3.6} \right)^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{\left(\frac{v_o}{3.6} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{M_s}{M_d} \right) \cdot g \cdot i \cdot \left(S_o - \frac{v_o}{3.6} t_e \right)} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

M_d ：動態質量10500kg

M_s ：動態質量

$$\text{等效減速度 } S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

$$a_e = \frac{\left(\frac{v_o}{3.6} \right)^2}{2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}$$

V_o ：測得開始速度 [km/h]

S_o ：測得煞車距離 [m]

v_r ：目標速度 [km/h]

t_e ：等效煞車反應時間

$$\text{急衝度 } S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

$$S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

$$S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

$$S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

$$S_r = \frac{v_r^2 \cdot \left(S_o - \frac{v_o \cdot t_e}{3.6} \right)}{v_o^2} + \frac{v_r \cdot t_e}{3.6}$$

$$\text{jerk} = \frac{a_{90} - a_{10}}{(t_{90} - t_{10})} \quad [\text{m/s}^3]$$

a_{90} ：減速度數值至最大值之90%

a_{10} ：減速度數值至最大值之10%

t_{90} ：對應於 a_{90} 之時間

t_{10} ：對應於 a_{10} 之時間

五、結語

義大利日立軌道車輛公司按照特別技術規範執行測試，確保台北捷運環狀線列車性能可達合約內容規範和符合列車行車安全，這些性能測試皆為列車行車必備測試項目。列車煞車行車性能測試為行車安全最重要項目，因此測試在測試項目中依據行車中最嚴苛的條件來確保煞車功能在任何狀況下皆可發揮效能，確保乘客安全。