

# 不同载荷状态下列车制动性能对比分析

周洋 袁伟祥 陶福君 王伟

(青岛四方阿尔斯通铁路运输设备有限公司 山东 青岛 266111)

**摘要:** 本文对列车在不同载荷状态下紧急制动性能对比,该测试是在列车正式上线前实施的。通过测量列车的减速度和速度,来计算得到平均减速度、制动距离和响应时间。试验结果表明,列车在不同载荷状态下制动性能满足设计要求且保持稳定,司机需要准确地掌握各个制动参数的影响因素和列车的制动性能,才能准确地控制列车,保证列车的安全运营。

**关键词:** 载荷; 紧急制动; 减速度; 速度; 安全

## 0 引言

列车制动系统优秀的性能是进行安全有序运营最根本的保证,特别是紧急制动(EB)性能,是列车安全最重要的安全防线。非常情况下,紧急制动会保护车辆和乘客的安全,这样的设计增强了列车的可靠性,同时也保证了紧急情况下乘客的出行安全。

紧急制动是根据紧急安全环路的状态施加和缓解的纯空气制动,按照恒减速度控制方式实施的制动控制,它独立于常用制动,具有故障导向安全功能。紧急制动要求极高的响应时间,但是不受冲击极限限制,是制动率最高的制动方式。

## 1 技术介绍

### 1.1 原理

紧急制动(也称为“非常制动”),是紧急情况下施加的制动方式,它的特点是作用比较迅猛而且要把列车制动能力全部用上。从施行制动的瞬间起,到列车速度降为零的瞬间止,列车驶过的距离,称为制动距离。它是综合反映列车制动装置性能和效果的主要技术指标。列车重量越大,运行速度越高,就越不容易在短时间、短距离内停下来。

本项目列车是采用克诺尔的EP2002制动架构系统,该产品具有反应快、准确度高、平稳度高等特点。EP2002智能阀和网关阀提供本转向架独立的电子加权载荷信号紧急制动控制。紧急制动时通过列车紧急制动安全硬线回路控制,正常情况下安全回路一直有电,列车安全运行不施加紧急制动。当列车施加紧急制动时,安全回路失电,列车制动控制单元的紧急电磁阀根据车辆当时空簧的载荷信号控制紧急制动力的施加,并按照规

定的方式分配相应的制动力至各个车辆。紧急制动一旦触发后不能立刻缓解,只有当列车以紧急制动模式停车后并重新建立安全环路,使安全回路重新得电,紧急制动才能缓解。

### 1.2 技术参数

图1是瞬时列车减速度 $a$ 和列车速度 $v$ 与时间的关系曲线。其中 $a_s$ ( $a_s$ )为平均减速度, $a_e$ ( $a_e$ )为等效减速度, $v_0$ 为列车施加制动时的初速度。

图2用于确定 $t_c$ 和 $a_e(a_e)$ 的计算方法,其中 $a$ 为减速度, $t$ 为时间, $t_{10}$ 为滞后时间, $t_{90}$ 响应时间, $t_c$ 为等效时间。 $t_{10}$ 和 $t_{90}$ 分别是瞬时减速度最大值的10%和90%对应的时间。

列车的总制动距离 $S_{3\_corr}$ 分为空走距离( $t_e$ 之前)和有效制动距离( $t_e$ 之后到列车停止)。空走距离可以近似看成 $v_{0\_nom}$ 的匀速运动,主要包含制动指令的时间延迟,制动力的计算和分配时间,制动执行机构的响应时间等。有效制动阶段是列车真正实施制动的过程,是指制动力上升到规定值时刻起,到列车停止,这段距离称之为有效制动距离。

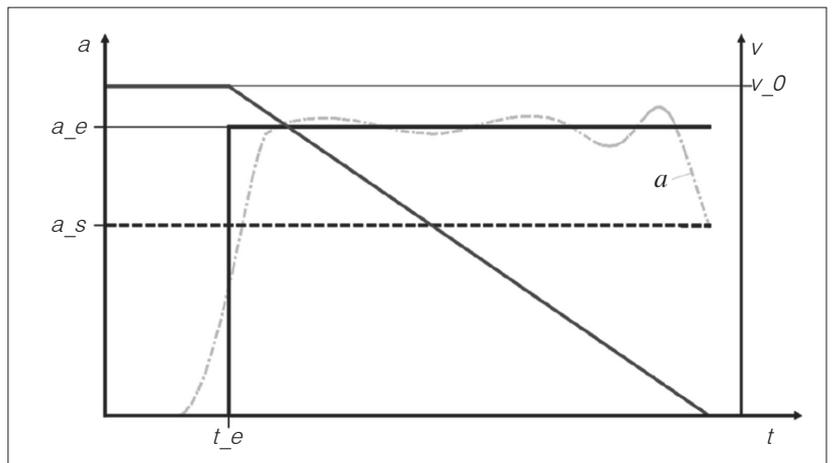


图1 瞬时列车减速度 $a$ 和列车速度 $v$ 与时间的关系曲线

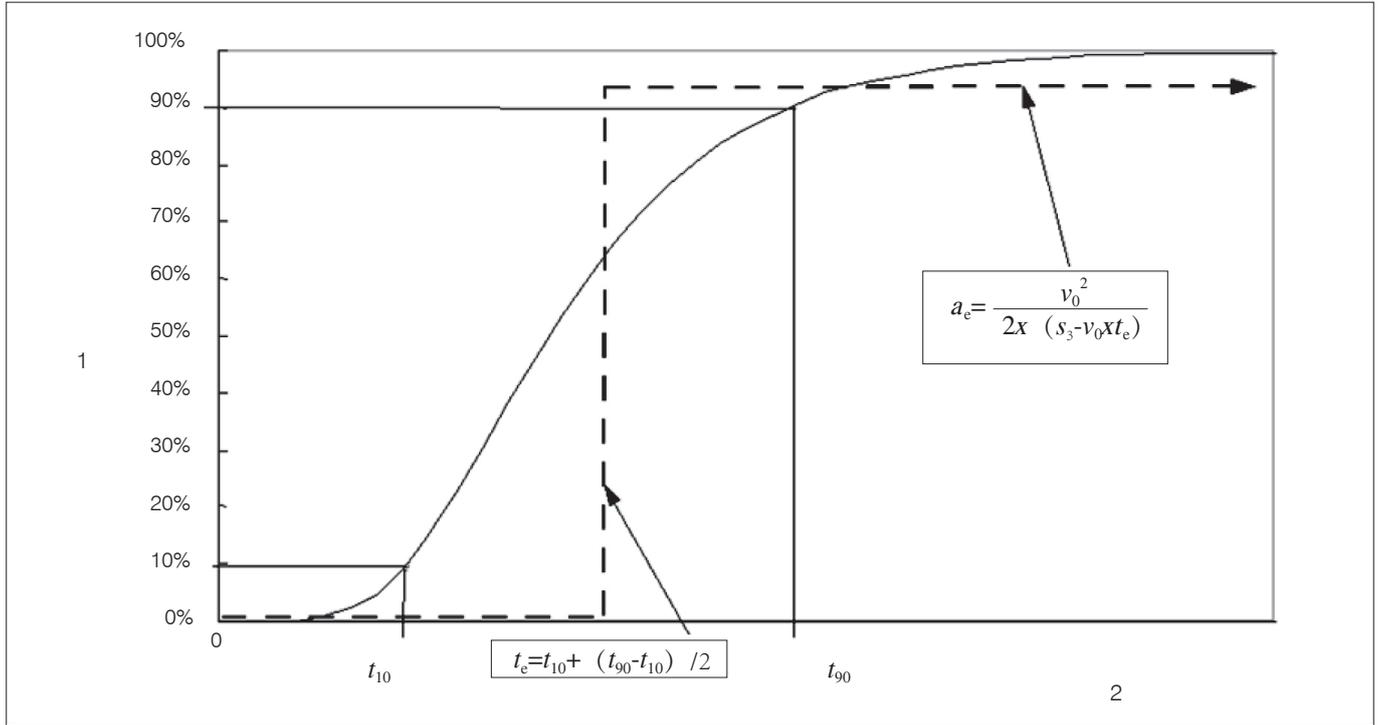


图2  $t_e$  和  $a_e$  的计算方法关系曲线

$$S_{3\_corr} = \frac{v_{0\_nom} \cdot (s_3 - v_i \cdot t_e)}{v_i^2 - 2 \cdot \left(\frac{M_s}{M_d}\right) \cdot g \cdot i \cdot (s_3 - v_i \cdot t_e)} + v_{0\_nom} \cdot t_e$$

$$a_s = \frac{v_{0\_nom}^2}{2 \cdot S_{3\_corr}}$$

式中： $v_{0\_nom}$  — 理论初速度；

$v_i$  — 实际初速度；

$M_s$  — 静态列车重量（AW0 取 231.940kg，AW4 取 346.404kg）；

$M_d$  — 动态列车重量（AW0 取 251.300kg，AW4 取 365.764kg）；

$i$  — 轨道坡度。

### 1.3 设计标准

表 1 是列车在 AW0 和 AW4 载荷和 40km/h 和 90km/h 速度级紧急制动参数设计标准，并且规定该设计标准值是在平直的干燥的轨面上，车轮处于正常磨损状态有效。我们需要通过试验来验证车辆是否满足设计要求。

## 2 试验分析

### 2.1 试验搭建

试验选用一辆 6 编组（4 动 2 拖）的列车进行试验，

表 1 不同载荷和速度级下列车紧急制动设计标准

工况	速度级 $v_i$ /(km/h)	平均加速度 $a_e$ /(m/s <sup>2</sup> )	等效减速度 $a_e$ /(m/s <sup>2</sup> )	总制动距离 $S_{3\_corr}$ /m	响应时间 $t_{90}$ /s
AW0	40	$\geq 1.08$	$1.3 \pm 15\%$ (1.11, 1.49)	60	$\leq 1.5$
AW4	90	$\geq 1.19$		269	

该测试设备仅安装一个单元组（3 辆车，2 动 1 拖），主要测量列车的速度、减速度和制动缸压力。速度计是采用激光式，悬架安装在列车底架横梁处。减速度计安装在 2 号车的地板上。压力计通过快速接头的方式安装在克诺尔的 EP2002 制动设备处。

### 2.2 试验工况

在平直干燥的轨道上，列车分别在不在载荷状态下（AW0 和 AW4），司机操控司控手柄从列车静止满级牵引至目标速度（40km/h 和 90km/h），惰性 3s 后，通过司控手柄或者蘑菇按钮施加紧急制动（EB）直到列车停稳。数据采集设备利用 EB 施加信号作为触发信号，这里选用司控手柄 EB 或者司控台上的蘑菇按钮作为触发信号，直至采集到列车停止的整个过程数据。因此整个数据包含空走阶段和有效制动阶段。

由于紧急制动是纯空气制动，是完全依靠闸瓦的机械制动，闸瓦的温度会瞬间升温，所以试验过程中要注意观察制动闸瓦的温度，每次紧急制动后需要等待 5 ~ 10min 确保闸瓦温度降至 50 ~ 60℃，否则会影响闸瓦的制动性能。同时，试验前也要热闸瓦，让闸瓦温度上升至 50 ~ 60℃，以发挥其最佳性能。

## 3 试验结果

AW0 和 AW4 载荷 40km/h 和 90km/h 速度级列车 EB 性能曲线如图 3 所示。

其中曲线 1 代表列车速度 (km/h)，这里包含单独安装的激光式速度传感器，

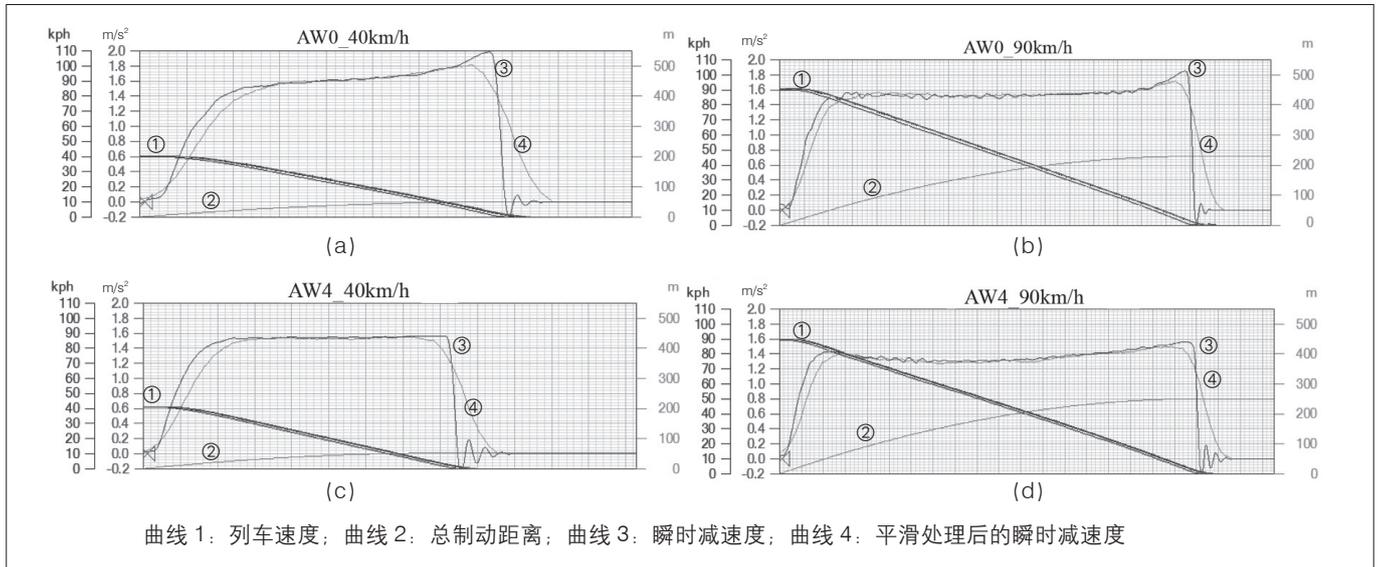


图3 AW0和AW4 载荷 40km/h 和 90km/h 速度级地铁制动性能曲线

也包含取自测试车辆控制网络里的轴速信号，这两类速度曲线重合说明列车在制动过程中没有起用防滑，可以确认满足试验要求。曲线3代表列车制动施加后的瞬时减速度，曲线4代表对瞬时减速度进行了数学加权平均的平滑处理。曲线2代表总制动距离。以图3中AW0\_40km/h为例做了文字标准。

图3中，分图(a)和(b)是AW0载荷下40km/h和90km/h速度级的曲线数据，分图(c)和分图(d)是AW4载荷下40km/h和90km/h速度级的曲线数据，收集并整理得到表2所示的测试结果。

表2 不同载荷和速度级下列车紧急制动测试结果

工况	速度级 $v_i/(km/h)$	平均加速度 $a_s/(m/s^2)$	等效减速度 $a_e/(m/s^2)$	总制动距离 $S_{3\_corr}/m$	响应时间 $t_{90}/s$
AW0	40	1.21	1.44	50	1.34
AW0	90	1.23	1.33	251.5	1.37
AW4	40	1.22	1.47	49.4	1.42
AW4	90	1.37	1.49	226.8	1.45

通过表2的试验结果分析可以看出：

(1) 在AW0和AW4载荷40km/h速度级下，紧急制动最小平均减速度为 $1.21 m/s^2$ ，满足设计要求的大于等于 $1.08 m/s^2$ 。最大制动距离为50m，远小于设计要求的60m，安全余量达16%。最大响应时间1.42s，满足设计要求小于1.5s。

(2) 在AW0和AW4载荷90km/h速度级下，紧急制动最小平均减速度为 $1.23 m/s^2$ ，满足设计要求的大于 $1.19 m/s^2$ 。最大制动距离为251.5m，小于设计要求的269m，安全余量达6.5%。最大响应时间1.45s，满足设计要求小于1.5s。

(3) 在同样速度级下AW4载荷较AW0载荷的紧急制动参数，AW4的制动距离比AW0的制动距离短，但是AW0响应时间比AW4来说更短。

#### 4 结语

通过数据分析可以看出，车辆紧急制动减速度、响应时间和制动距离均满足设计指标，其中制动距离有6.5%~16%设计余量，增加了列车的运行可靠性，给乘客的出行提供安全保障。

由于本测试是在标准的轨道和车辆条件下得到的，建议实际运营列车需要在运营线路上实施同样的测试，以让司机准确地掌握制动距离和响应时间等关键参数，切记不能套用理论设计值作为实际的参考。如果运营线路有地面的情况，更应该根据一年四季天气变化情况，研究紧急制动参数与天气变化的规律。司机需要准确地掌握各个制动参数的影响因素和列车的制动性能，才能准确地控制列车运行，保证车辆的安全运营。

#### 参考文献：

[1] 李伟, 徐文海, 杜昭童. 地铁车辆紧急制动功能分析与计算[J]. 铁道机车车辆, 2018, 38(1): 100-102.  
 [2] 董晓鹏, 韩文娟. 南京地铁1号线紧急制动分析[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(1): 87-88.

作者简介: 周洋(1983-), 男, 汉族, 山东烟台人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 动车组/地铁试验项目。