

# 城市轨道交通

## 昆明地铁首期工程车辆现场运用 问题分析及改进措施

纪宏伟

(昆明地铁建设管理有限公司, 云南 昆明 650011)

**摘要:** 阐述了昆明地铁首期工程车辆现场运用情况, 对车辆现场运用过程中自主牵引系统与国外进口信号、制动系统出现的接口配合问题进行深入分析, 并提出有效改进措施。

**关键词:** 昆明地铁; 牵引系统; 信号系统; 制动系统  
**中图分类号:** U231; U269.6      **文献标识码:** B  
**文章编号:** 1000-128X(2015)05-0081-03  
**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.05.022

### 1 概况

昆明地铁首期工程为昆明市首条城轨地铁线路, 它由昆明市轨道交通线网规划中的1号线和2号线的各一部分组成, 运行线路全长42 km。首期工程采用6辆编组、DC 750 V 接触轨受流、100 km/h 速度等级的B型车辆, 共计采购40列240辆车辆。信号系统实时对列车运行速度及制动方式等状态进行监督、控制和调整, 车辆牵引、制动系统需及时响应和调整列车状态, 因此车辆与信号系统间协同工作极其重要。昆明地铁首期工程采用自主化牵引系统、进口制动系统与进口信号系统组合的方式, 列车电气牵引系统采用株洲南车时代电气股份有限公司自主研发的电气牵引系统, 包含牵引电传动系统、辅助电源系统和网络控制和诊断系统; 列车制动系统采用了KNORR公司的EP2002制动系统; 列车信号系统采用卡斯柯进口ALSTOM的Urbalis 888信号系统。本文就昆明地铁首期工程列车牵引、信号、制动三大系统在现场运用过程中出现的问题及相关改进措施进行阐述。

### 2 现场应用情况

2012年8月, 首列车运抵昆明, 到目前为止共有30列车辆进驻昆明大梨园车辆段。列车在昆明地铁1号线现场调试过程中, 在人工驾驶模式下, 列车总体牵引/制动性能表现正常, 但在ATO控车模式下, 经常发生列车牵引封锁、列车进站对标不准、列车ATB多车自动折返失败等问题, 经现场多次对相关数据进行对比、分析, 确定引起上述问题的原因均为列车三大系统(牵引系统、信号系统、制动系统)之间在接

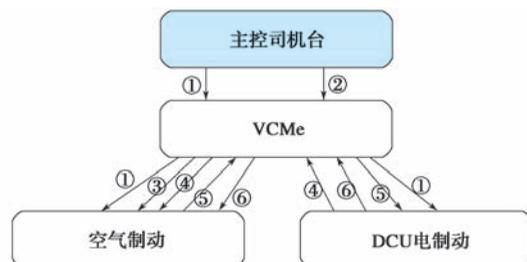
口配合上存在问题。

### 3 与制动系统的空电混合制动接口配合问题

#### 3.1 基本控制原则

根据车辆设计要求, 列车总制动力计算及分配由制动系统负责, 制动系统根据列车载荷及制动级位(0~100%)计算总制动力, 并根据车辆网络控制系统发出的电制动有效状态和可以发挥的电制动能力, 将每台动车所需的电制动力要求发给车辆网络控制系统。车辆网络控制系统将每台动车的实际电制动力信息反馈给制动系统。制动系统根据反馈的实际电制动力大小确定补充空气制动力的大小。

制动信号传输流程如图1。



①制动指令; ②司机手柄级位或ATO制动级位; ③手柄级位百分比; ④DCU电制动力能力; ⑤DCU需发挥电制动力; ⑥DCU实际发挥电制动力

图1 制动信号传输流程图

牵引控制单元计算可以发挥的电制动能力, 正常情况下考虑:

- ①取动车最大设计制动力  $F_1$ 。
- ②取限定的粘着限制  $\mu$ , 则制动力限制  $F_2 = \mu Mg$ 。

$M$  为制动系统发来的当前本动车的质量减去动车的旋转质量。 $F_1$  与  $F_2$  取小值后提交给制动系统作为牵引系统可以发挥的电制动能力。

列车优先采用电制动, 制动系统根据列车载荷大小平均分配电制动力给每台动车。当所有动车的实际发挥的电制动力满足列车制动需求时, 则列车制动力完全由电制动力承担, 空气制动系统只在列车进入低速混合制动停车阶段介入。当所有动车的实际发挥的电制动力不能满足列车制动需求时, 则优先在拖车上补充空气制动。当某个动车电制动失效时, 则制动系统首先将该车损失的制动力尽可能地分配到其他动车上, 同时将该车当拖车对待, 与其他拖车一起分配气制动以承担剩余欠缺的制动力。对所有正常发挥电制动力的动车综合考虑粘着利用的限制后将最大能发挥的电制动能力提供给制动系统。

#### 3.2 现场存在的问题

现场调试期间发现同一套信号、牵引、制动控制软件在不同车辆运用, 列车在空电混合制动阶段表现结果不一致。经现场统计: T04、T21、T06等列车减速度曲线较平缓, 列车进站对标情况良好; 但T12、T14等列车减速度曲线波动较大(如图2所示), 导致列车进站对标不准。

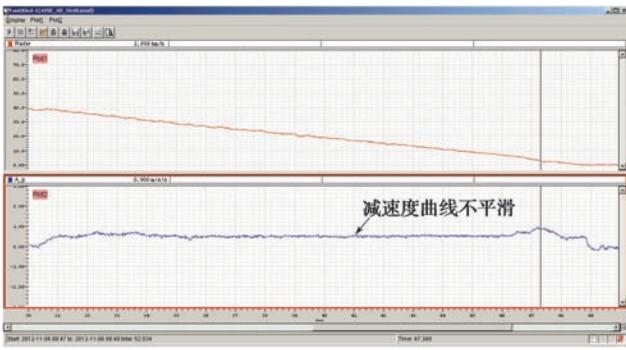


图 2 电空混合制动列车减速度曲线

### 3.3 原因分析及解决方案

通过制动系统的监控软件监视空电混合时气制动和电制动的情况,发现“气制动开始至上升到最大值”的时间与“电制动开始退出至完全退出”的时间不一致,且给定制动级位越大,此时间越长,造成空电混合阶段列车减速度不平滑,列车进站对标不准。

针对此情况,经与主机厂、制动系统供应商分析讨论,确认以下解决方案:

①在制动系统方面修改控制软件:采取了实施预压力的措施,以实现气制动响应的提前,并提高各个动车气制动的一致性。

②电制动下降/气制动上升时间按下式计算得出:

$$t = F / M / J_{erk}$$

式中:  $F$ —总制动力;  $M$ —总载重,  $J_{erk}$ —减速度的变化率。

③重新确认电空混合制动方案:牵引系统在 6 km/h(暂定)向制动系统发出 ED Fade Out 信号,并在 300 ms(暂定)后按照与制动系统相同的冲击限制降低电制动力,直至电制动力下降至 0;同时,制动系统在接收到 ED FadeOut 信号后,开始补充气制动,直至电制动完全退出。整个制动过程将根据现场情况进行调整,以实现制动过程的平稳。具体如图 3 所示。

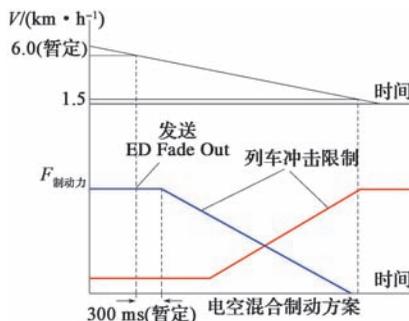


图 3 空电混合方案示意图

经牵引、制动系统更新软件后再次上线测试,列车空电混合制动减速度曲线平滑(如图 4 所示),满

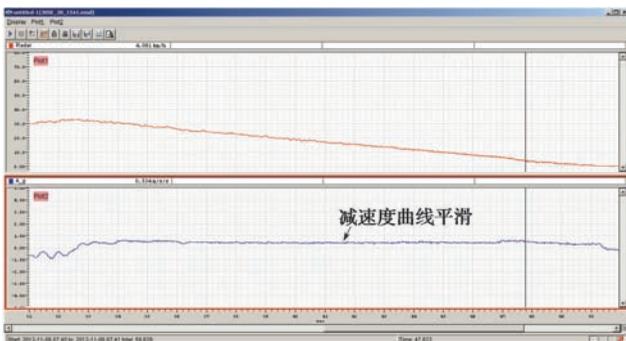


图 4 修改软件后电空混合制动列车减速度曲线

足 ATO 控车列车进站对标要求。

## 4 与信号系统的接口配合问题

### 4.1 基本概念

在城市轨道交通系统中,信号系统是一个集行车指挥和列车运行控制于一体的非常重要的机电设备,它直接关系到城市轨道交通系统的运营安全、运营效率以及服务质量,它既保证乘客和列车的安全,又确保实现列车快速、高密度、有序运行的功能。

CBTC 基于通信的列控系统是目前应用最先进的信号系统,通过高精度的列车定位、实时高速车地通信实现对列车连续、实时的运行速度监控,自动控制列车的运行、间隔、精确停车,实现列车的超速防护,保证列车的安全、高效、可靠运行。列车驾驶模式包括 ATO 无人驾驶模式、ATP 保护下的人工驾驶模式以及 ATB 无人自动折返等驾驶模式。

### 4.2 现场存在的问题

昆明地铁首期工程项目车辆在进行 ATB 无人驾驶模式折返功能调试时,会偶尔出现牵引封锁导致列车 ATB 自动折返失败现象。

### 4.3 原因分析及解决方案

通过现场进行多次试验发现:单列车能很好完成 ATB 无人驾驶自动折返功能,但多列车同时进行交替折返时存在最先折返入段的列车无法正常折返出段。查看信号系统提供的技术文件发现:ATB 无人驾驶模式在采用多车同时进行交替折返时,首先进入折返段的列车在等待第二列进入折返段的列车过程中,首列车不会给出列车的钥匙和方向信号,待该列车具备可折返出段条件后,信号系统会将相关控制(方向、牵引等)指令信号同时给出。目前车辆牵引系统对方向信号的处理逻辑为:当检测到方向信号消失一定后,牵引系统会自动跳开牵引设备箱中的充电、短接接触器,此时,牵引逆变器处于放电状态,主电路断开,列车禁止牵引。

因此,当进入折返段的首列车具备出折返段条件时,信号系统会首先激活列车 ATB 模式(如图 5 所示,无相关控制指令输出,列车牵引封锁),然后将方向、牵引、级位等相关信息同时给出(如图 6 所示)。

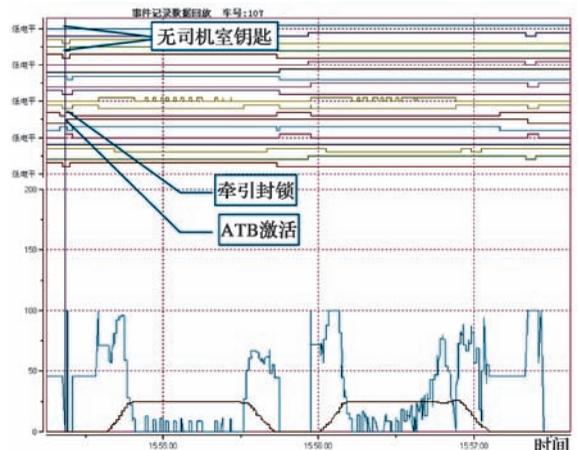


图 5 ATB 模式被激活