

# 城市轨道交通车辆电空制动控制技术应用实践分析

王忠渝

重庆市轨道交通(集团)有限公司, 重庆 400000

**摘要:** 本篇文章主要以某城市轨道交通地铁6号线列车为研究对象, 通过列车采用电制动与空气制动实时协调配合控制技术, 在充分发挥电制动力的前提下, 完成电-空气制动转换, 实现列车在自动驾驶模式(以下称为ATO)下精确对标停车, 而且极大地减少了基础制动系统中闸瓦、闸片及制动盘的磨损, 降低了车辆维修费用, 为企业节约成本。

**关键词:** 城市轨道交通车辆; 电空制动; 技术探究

## Analysis Of Electric-Air Braking Control Technology And Application Practice Of Urban Rail Transit Vehicles

Wang Zhongyu

Chongqing Rail Transit (Group) Co., LTD., Chongqing 400000

**Abstract:** this article mainly in an urban rail transit metro line 6 train as the research object, through the train using electric braking and air brake real-time coordination control technology, on the premise of giving full play to the electric braking force, complete electric-air brake conversion, realize the train in automatic driving mode (hereinafter referred to as ATO) under accurate standard parking, and greatly reduce the basic brake system brake tile, brake plate and brake disc wear, reduce the vehicle maintenance costs, save cost for the enterprise.

**Keywords:** urban rail transit vehicles; electric and air braking; technical exploration

### 引言

某城市轨道交通6号线列车由6辆车组合而成, 其列车编组型式为“+TC1-MP1-M1+M2-MP2-TC2+”, TC为拖车(带司机室), MP为动车(带受电弓), M为动车。列车制动装置为北京某研究院设计生产, 拖车基础制动方式采用轴盘制动, 动车基础制动方式采用踏面制动。制动系统是采用微机控制的模拟式电-空制动系统, 控制系统采用车控方式, 每辆车都配有一套电空制动控制装置(以下称为BCU), BCU内设有监控终端, 具有自诊断和故障记录功能。空气制动系统能在司机控制器或在列车自动保护模式(以下称为ATP)的控制下对列车进行阶段或一次性的制动与缓解。具有反应迅速、操纵灵活、能与电制动混合使用、防滑控制、紧急制动等功能, 是一个充分考虑安全的城轨交通车辆制动系统。

该号线列车设计最高车速为100 km/h, 目前列车已经累计行驶了超过120万公里, 车辆已陆续进行了大修。从车辆实际运营情况来看, ATO自动停车情况以及基础制动闸瓦、闸片及制动盘的磨损情况均较好。列车在ATO模式运行时停车准确度可控制在 $\pm 300$ mm以内。同时, 根据基础制动磨损件实测数据统计, 分析得出: 闸瓦十万公里磨损量在1.2—1.7mm之间, 正常磨损使用寿命在200万—240万公里左右; 闸片十万公里磨损量在0.3—0.4mm之间, 正常磨损使用寿命在700万—900万公里左右; 制动盘的磨损情况则更好, 现所有列车的制动盘实测最大的磨损深度仅为0.15mm, 从目前的磨损情况来看, 制动盘的使用寿命能轻松覆盖列车的整个寿命周期。当然, 取得这样的成果都离不开电-空制动控制技术在列车上的有效运用。

### 一、电空制动控制技术的概述

电空制动控制技术是采用电制动与空气制动实时协调配合、电制动优先使用、空气制动延时投入的混合制动方式。当电制动不足时, 优先在拖车上补充空气制动。全列车交叉混合制动时, 当总电制动力能够满足全列车制动力的需求时, 各车都不需要补充空气制动; 当总的电制动力不满足全列车的制动力需求时, 则先在拖车上根据拖车载荷来补充剩余所需要的制动力, 此时, 如

果总电制动力大于动车所需要的制动力时, 动车上不需要补充空气制动; 如果总电制动力不能满足动车所需要的总制动力时, 拖车根据本车的载荷施加本拖车所需求的制动力, 动车所需要空气补充的制动力也按拖车载荷比例分配到拖车上, 即由拖车的空气制动进行补充, 拖车上施加的总空气制动力受粘着极限限制, 当拖车上的空气制动力未达到极限时, 动车上不需要补充空气制动; 当拖车上的空气制动力达到极限时, 剩余所要补充的制动力平均分配到动车的空气制动上, 每辆动车上所施加的电制动力和

作者简介: 姓名: 王忠渝, 出生日期: 1972年11月11日, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 四川省渠县, 学历: 本科, 职称: 工程师, 研究方向: 交通运输(轨道交通机电-轨道交通车辆)技术。

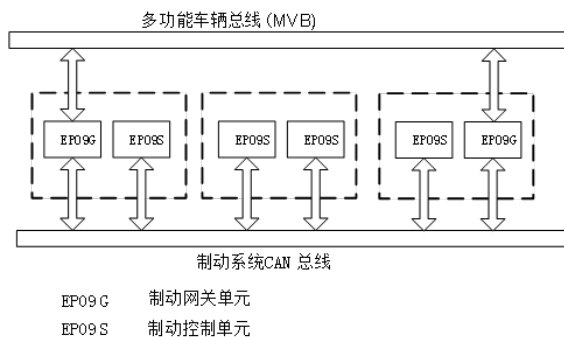
空气制动力的总和同样受粘着极限限制。

## 二、电空制动技术的应用

### (一) 列车制动控制单元

列车制动控制单元包括微机控制的模拟电空制动控制模块和微机控制的空气防滑控制装置等，每辆车有两套制动控制单元，从控制方式上，可分为制动网关单元（以下称为 EP09G）和制动控制单元（以下称为 EP09S）。EP09G 负责与列车监控管理系统（以下称为 TCMS）通讯，在 TCMS 不工作时，EP09G 还接收列车硬线信号执行相应的操作模式。

网络指令采用 MVB 总线结构，架控制动系统的网络接口方式如图1所示，每个动车和1个拖车（Tc 车）组成的单元中配置2个 EP09G，负责与 MVB 总线的网络接口。EP09G 通过 MVB 总线接收制动指令和电制动信号，并计算出本单元中各个转向架上应施加的空气制动，通过制动系统 CAN 总线传递给本单元的各架控 EP09S。正常情况下，一个单元内的 EP09G 只有一个工作在主控模式，另一个作为备用工作在从模式。



> 图1 架控制动系统的网络接口方式

### (二) 制动力计算方式

电空制动计算由各车的电子制动控制单元（以下称为 EBCU）根据 TCMS 发送给 EBCU 的信息独立计算。

记列车制动力要求为  $F$ ，各车的重量分别为  $M(1), M(2), \dots, M(6)$ ，动车的电制动力分别为  $Fed(2), Fed(3), Fed(4), Fed(5)$

列车重量  $M = M(1) + M(2) + M(3) + M(4) + M(5) + M(6)$

各车所需求的制动力  $F(i) = M(i) * F / M$  ( $i=1 \sim 6$ )

◎ 当  $Fed(2) + Fed(3) + Fed(4) + Fed(5) \geq F$  时，各车均不需要补充空气制动；

◎ 当  $Fed(2) + Fed(3) + Fed(4) + Fed(5) < F$  时，拖车需要补充的空气制动力为：

$$Fa(j) = [F - (Fed(2) + Fed(3) + Fed(4) + Fed(5))] * M(j) / [M(1) + M(6)]$$

( $j = 1, 6$ )

◎ 当  $Fed(2) + Fed(3) + Fed(4) + Fed(5) \geq F(2) + F(3) + F(4) + F(5)$  时，动车上不需要补充空气制动；

◎ 当  $Fed(2) + Fed(3) + Fed(4) + Fed(5) < F(2) + F(3) + F(4) + F(5)$  时，各拖车上补充的空气制动为拖车自身所需要的制动力及动车所需要补充的制动力。

此时要求： $Fa(j) \leq FLimit(j)$  ( $j = 1, 6$ )

$FLimit(j)$  ( $j=1, 6$ ) 为拖车受粘着限制所能施加的最大制动力。

◎ 当拖车满足式（1）时不再在动车上补充空气制动。

◎ 若拖车不满足（1）式，则剩余的空气制动平均补充到各个动车的空气制动上。

各电动车所补充的空气制动为：

$$Fa(j) = [F - (Fed(2) + Fed(3) + Fed(4) + Fed(5)) - FLimit(1) - FLimit(6)] / 4$$

( $j = 2, 3, 4, 5$ )

动车上的电制动和空气制动力总和为：

$$Fsum(j) = Fa(j) + Fed(j) \quad (j = 2, 3, 4, 5)$$

此时要求： $Fsum(j) \leq FLimit(j)$  ( $j = 2, 3, 4, 5$ )

◎ 若某动车制动力总和不满足式（2），则在该动车上不能补充的空气制动力平均到其他动车的空气制动力上。

若在制动过程中出现电制动滑行造成制动力的损失，空气制动不进行补偿，以便于电制动的防滑控制。

在有电制动时，即使不需要施加空气制动制动缸也要保留一定压力（30kPa 左右），以补偿在电制动衰减时空气制动补充的滞后。当列车制动在电制动快要衰减时由 VVVF 发出一个电制动退出（衰减）预告信号，BCU 收到电制动退出预告信号后，按预定速率预补充空气制动。

### (三) 列车运行时各阶段电空制动控制的情况

#### 1. 制动初期阶段的电空制动控制实时协调配合情况

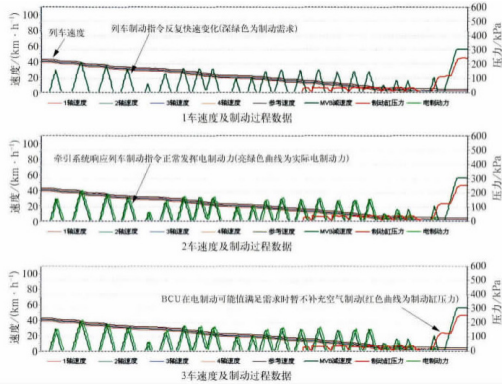
当列车在进行制动的过程中，TCMS 可以从司控器手柄或者 ATO 的制动命令中，详细的计算出整个列车所需要的制动力参数，同时，这个时候再给牵引系统发送一个电制动力，接着牵引系统按照需要，把电制动力送回 TCMS，之后，TCMS 再把它送到 BCU，可见，由于信号传输在传输的过程中，其到达 BCU 的实际电制动力会有延迟性。当列车出现制动需求的早期，BCU 收到 TCMS 的制动指令的时候，这时因为牵引系统还没有进入电制动，这个时候的电制动力的真实值仅仅为“0”，BCU 就会因为电制动力不能满足列车所需的制动力，而采用空气制动的方式进行补充，这样即不利于制动控制，同时也会造成基础制动不必要的磨损。为了解决这一问题，在 TCMS 向 BCU 传输的网络数据中添加了每个牵引系统的电制动力可能值，其就可以用以反映牵引系统在目前阶段运行状态下能否产生电制动力和实际需要发挥的电制动力。在制动开始的 1.5 秒之内，BCU 把每节动车的电制动力的可能值，当作实际的电制动力来计算。通常情况下，在制动初期阶段电制动力的可能值可以满足整个列车的制动力要求，BCU 无需再进行空气制动补充，这样就可以避免在制动初期阶段就使用空气制动力的情况。若出现牵引系统无法产生电制动力时，电制动力可能值就变为“0”，这个时候由 BCU 根据整列车的情况来判断，应怎样进行补充空气制动力。

#### 2. 制动过程中电空制动控制实时协调配合情况

列车在行驶过程中，必定有大量的制动调速控制，因此这个时候对列车制动力的需求会产生很大的改变。因为牵引系统网络的电制动力在进行发挥的过程中必须一定的反应时长，所以 BCU 在按照列车所需要制动力以及电制动力的实际值来进行制动计算的过程中，经常会遇到因为此刻制动力的总和不能达成整个列车所需的制动力的问题，所以 BCU 在制动力的计算过程中，也会对电制动力的可能值进行认真的考虑，也就是当电制动力的可能值

达成整台列车所需的制动力的时候，这个时候就不需要进行空气制动力补充，若在一定的延时时间之后，实际电制动力还是不能满足全列车所需的制动力的时候，就需要进行空气制动力补充。

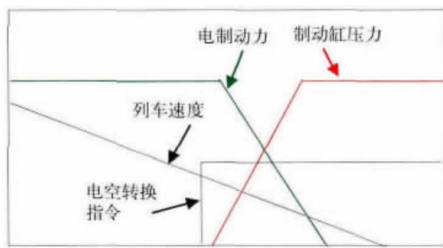
图2为列车制动控制过程中的实际数据图，反映了制动过程中电空制动控制实时协调配合情况。其中深绿色曲线为列车制动控制需求力，亮绿色曲线为列车实际电制动发挥力，红色曲线为制动缸实际施加压力值。通过列车实际制动数据可以看出，在制动过程中需要施加空气制动力的情况很少，这样可以大大降低闸瓦、闸片及制动盘的磨损，减少车辆维修成本。



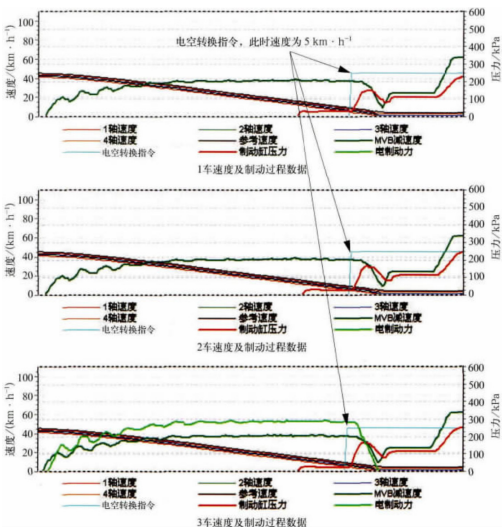
> 图2 列车制动控制过程中的实际数据图

### 3. 制动后期阶段的电空制动控制实时协调配合情况

当列车的速度下降到5 km/h左右的时候，TCMS会发出电空转换的命令，由VVVF发出一个电制动衰减预告信号（当速度降低至3 km/h左右时，电制动力将变为“0”），BCU收到电制动退出预告信号后，按预定速率预补空气制动。这种电-空的转换方式是当前国内大多数城市轨道交通列车电-空转换的方式。



> 图3 电-空制动转换示意图



> 图4 列车在ATO模式下进站停车过程中的实际数据图

图3为列车制动后期阶段的电-空转换示意图，图4为列车在ATO模式下减速进站停车过程中的实际数据图。根据数据所示，当列车速度为5 km/h左右时，电-空制动转换命令被下达，电制动力逐渐衰减，空气制动力逐渐增加。当速度降低至3 km/h左右时，电制动力已降为“0”，空气制动力达到列车所需制动力，最终完成列车进站后精准对标停车。

## 三、关于城市轨道交通车辆电空制动控制技术的未来展望

城市轨道交通车辆电空制动控制技术是城市轨道交通系统中非常重要的一环。目前，随着城市轨道交通的不断发展和技术的不断进步，电空制动控制技术也在不断地发展和完善。未来，这项技术将会有更广泛的应用和更加丰富的功能。

首先，通过人工智能技术的应用，轨道交通车辆的电空制动控制系统将会更加自动化和智能化。采用先进的传感器、控制器和数据分析预测技术，实现对列车制动过程的精确控制，从而提高轨道交通车辆制动系统的运行效率和安全性。其次，随着社会环保意识的不断提高，轨道交通电空制动控制技术将会更加注重节能和环保，通过采用更加环保的制动材料和控制技术，以降低对环境的影响。并通过能量回收技术来减少能源的浪费，实现节能环保的目标，从而更好地满足人们对于环境保护的需求。最后，随着城市轨道交通系统网络化运营规模的不断扩大，对车辆制动系统可靠性和安全性的要求也越来越高，轨道交通车辆电空制动控制技术将会更加可靠和安全，从而更好地保障城市轨道交通系统的安全运行。总之，未来的城市轨道交通车辆电空制动控制技术将会更加智能化、环保节能和安全可靠，从而更好地满足人们对于城市轨道交通运营系统的服务需求。

## 结束语

电空制动控制技术对于城市轨道交通车辆安全运行至关重要，其拥有响应快、制动效果好、基础制动部件磨损低的优越特性。保证电空制动系统稳定运行，可以有效提高城市轨道交通车辆的安全、准点运行，同时可以减少基础制动闸瓦、闸片及制动盘的磨损，降低车辆维修成本，为企业节约运营成本。

## 参考文献：

- [1] 王鹏飞, 樊贵新, 王新海, 等. 城轨车辆在ATO模式下停车精度问题的分析与探讨[J]. 铁道机车车辆, 2011, 31(6):77-79.
- [2] 周波, 张新永, 刘中华. 地铁车辆两种典型制动方式的对比分析[J]. 中国高新技术企业, 2016(18):102-103.
- [3] 杨丰萍, 陈振华, 李玉庆. 地铁微机控制直通电空制动系统研究[J]. 华东交通大学学报, 2014, 31(03):55-59.
- [4] 方宇, 张同宏, 穆华东, 等. 制动模式对城市轨道交通车辆车轮异常磨损的影响分析[J]. 铁道机车车辆, 2010, 30(4):67-70.