

市域轨道交通供电系统设置电分相对于相关专业的 影响分析

邓志翔

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

摘要 市域轨道交通中的交流供电制式^[1],虽具有供电区间较长及建设成本较低等优势,但却带来了电分相(无电区)的问题。基于电分相区域的构成,分析了在最不利情况下列车通过电分相区域需要惰行的最长距离。通过理论计算,明确了信号系统在ATO(列车自动运行)控车的情况下列车进入电分相区域入口的最低速度,从而确定了电分相两侧信号机的布点原则、设置电分相的最小站间距长度及所处节能坡的区段位置。

关键词 市域轨道交通; 交流供电; 电分相; 信号系统; 节能坡

中图分类号 U239.58

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.12.021

Impact of Phase Separation in Suburban Rail Transit AC Power Supply System on the Related Specialties

DENG Zhixiang

Abstract The AC power supply system in urban rail transit has the advantages of long power supply interval and low construction cost. However, it also creates the problem of phase separation (in non-power area). According to the composition of phase separation area, the longest phase separation distance that a train needs to idle through in the worst condition is analyzed. Through theoretical calculation, the lowest speed of signal system under ATO (automatic train operation) control is defined when a train enters the phase separation area, thus the distribution principle of signal machines on both sides of the phase separation area, the minimum station spacing length and the location of energy-saving slope are formulated in setting the phase separation.

Key words suburban rail transit; AC power supply system; phase separation; signal system; energy-saving slope

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

0 引言

我国首条真正意义上的市域轨道交通——温州市域轨道交通 S1 线西段工程的开通试运营^[2],意味着以中心城区与外围新城或组团城区之间通勤为目的的市域轨道交通模式得到了成功验证。市域轨道交通具有更大的站间距、更高的速度目标值、“1 h 都市圈概念”、公交化运营^[3]等需求;相比传统的地铁工程项目,市域轨道交通的建设周期更短、单位工程造价更低,对城市的可持续发展、资源的利用以及生态环境的保护都具有重要意义。

从牵引方式上看,市域轨道交通的建设一般分为两种制式,即交流制式和直流制式。目前,以温州市域轨道交通 S1—S3 线、台州市域轨道交通 S1—S3 线及滁宁城际铁路等为代表的市域轨道交通项目均采用交流制式,以宁高城际、苏州轨道交通 S1 线、锡澄靖城际轨道交通锡澄段工程及郑州机场至许昌市域铁路等为代表的项目均采用直流制式。

交流牵引方式下,其单一主变电所的供电臂可以满足 15~20 km 的供电需求,供电系统的整体投资相对直流供电系统更为经济。然而,由于三相交流电的相位特性,不同相位的交流电之间会形成短路电流,因此必须设置电分相将两个主变电所供电臂之间的不同相位的电流间隔开。

电分相中的“中性区”,又称为“无电区”,即当列车行驶在“无电区”时,其牵引系统无法工作。此时,若列车进入“无电区”的初始速度过低,则可能出现列车无法通过自身惯性冲出“无电区”,从而导致列车“掉进”电分相无法驶出。一旦出现上述故障,后续列车也难以作为救援车辆,将失电列车从电分相中推出或拉出;一般只能等待内燃机车从车辆基地内进入正线然后赶往电分相区段,通过内燃

机车连挂处理,将失电列车救援出来。这样处理该类故障的时间将会变长,甚至会造成运营中断,对于市域轨道交通的正常运行影响极大。

市域轨道交通中,列车的运行都是通过信号系统的控制来实现的。一般信号系统都会配置ATO(列车自动运行)子系统^[4],车载ATO信号系统在ATP(列车自动保护)子系统的保护下,控制列车的牵引和制动,保障列车的运行安全和线路的运营效率。

因此为了规避出现列车因过电分相速度不足而“掉进”电分相的事故,信号系统的设计过程中,应充分考虑电分相的设置位置对于行车能力的影响,同时要确保列车在进入电分相之前有足够的速度和动能以冲过电分相区域。

1 电分相控制区域的构成

根据TB/T 3197—2018《列车过分相系统车载控制自动过分相装置》,针对设计速度为250 km/h以下的工程线路,列车通过感应轨枕上预埋的磁钢,控制牵引电机的“断”和“合”,并利于列车的惯性冲过电分相区域。整个电分相控制区域有4个磁钢G1—G4,分布于“中性区段”两侧,如图1所示。

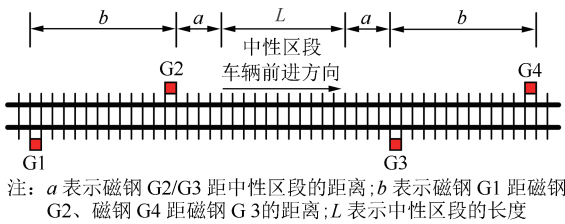


图1 电分相轨枕磁钢预留示意图

- 由图1可知:
- 1) 当列车车载磁钢接收装置越过G1磁钢时,列车进入预告模式,列车控制牵引电机电流平稳下降至零,此时断开辅机系统,最后分断主断路器。
 - 2) 当列车车载磁钢接收装置越过G2磁钢时,列车接收到迫断信号。若列车已经接收到预告信号并按预告模式处理完毕,则接收到的迫断信号不起作用;否则,列车封锁牵引电机电流,并立即分断主断路器。
 - 3) 当列车车载磁钢接收装置越过G3磁钢时,列车接收到“恢复1”信号。
 - 4) 当列车车载磁钢接收装置越过G4磁钢时,列车接收到“恢复2”信号。
- 其中,“恢复1”和“恢复2”信号都可以使得车

辆控制单元进入恢复模式,在该模式下发出“合主断”指令,并控制辅机系统重新启动,待辅机系统启动完毕后,将牵引电机电流恢复到过电分相之前的工况。通常情况下,“恢复2”作为“恢复1”信号的备份,即当车载磁钢接收装置越过G3磁钢并接收到“恢复1”信号时,车辆控制单元立即进入恢复模式;另一方面,G4磁钢也作为列车反向运行时的预告分断主断路器的磁钢。

根据《列车过分相系统车载控制自动过分相装置》规定,通常 a 取35 m, b 取170 m。另外 L 主要根据线路上运营列车的双弓间距进行确定,即需保证其大于双弓间距。

目前,以温州市域铁路S1线为例, L 取180 m,正常情况下,列车失电惰行的距离(G1至G3磁钢之间的距离)为420 m;然而在最不利情况下,即列车越过G3磁钢时未能“合主断”,在越过G4磁钢时才实现恢复主断功能,列车失电惰行的最长距离(G1至G4磁钢之间的距离)为590 m。

2 电分相对于相关专业的影响

一般情况下,市域轨道交通线路纵断面的最大坡度为20‰,困难情况下不超过30‰。根据基础物理模型可知,在不同坡度、不同初始速度条件下,列车最大惰行距离如表1所示。

表1 各种工况下列车的最大惰行距离

工况	坡度/‰	初始速度/(km/h)	时间/s	最大惰行距离/m
1	6	60	283.45	2 362.06
2	6	40	188.96	1 049.80
3	6	15	70.86	147.63
4	10	60	170.07	1 417.23
5	10	40	113.38	629.88
6	10	15	42.52	88.58
7	20	60	85.03	708.62
8	20	40	56.69	314.94
9	20	15	21.26	44.29
10	30	60	56.69	472.41
11	30	40	37.79	209.96
12	30	15	14.17	29.53

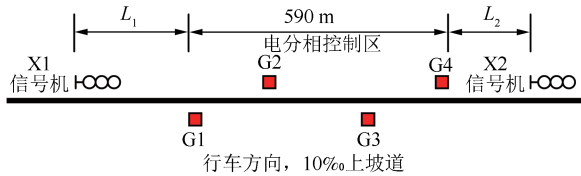
表1中的计算结果与文献[5]中的计算结果吻合,由表1中的数据可知,电分相所处线路的坡度不宜大于10‰,且进入电分相的入口速度不宜小于40 km/h。

对于驾驶列车而言,若采用完全人工驾驶模式,司机应保障列车进入电分相的速度不小于40 km/h;若列车处于ATO控车模式下,建议列车进入

电分相的入口速度不宜小于 60 km/h。

2.1 电分相处信号机的设置原则

在电分相前后设置信号机, 信号机的布局如图 2 所示。



注: L_1 、 L_2 分别表示 G_1 、 G_4 距信号机 X1 和信号机 X2 的距离

图 2 电分相处信号机布局

信号机的设置原则, 需满足以下条件:

1) ATO 模式下, 列车在 X1 信号机前启动, 直至行驶到 G1 磁钢处, 此时列车的运行速度不应小于 60 km/h。根据交流市域动车组的牵引能力曲线 (见图 3) 可知: 当车速为 0~40 km/h 时, 加速度为恒定值 0.8 m/s²; 当车速为 40~140 km/h 时, 加速度不断减小; 当车速为 60 km/h 时, 加速度约为 0.5 m/s²。通过计算可知, 在 10‰坡道上, 当列车从 0 加速至 60 km/h 时, 列车行驶距离约 250 m, 那么 X1 信号机与 G1 磁钢的距离不应小于 250 m, 即 $L_1 \geq 250$ m。

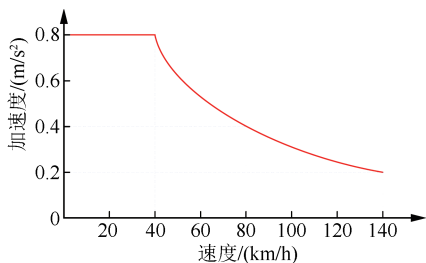


图 3 牵引能力曲线

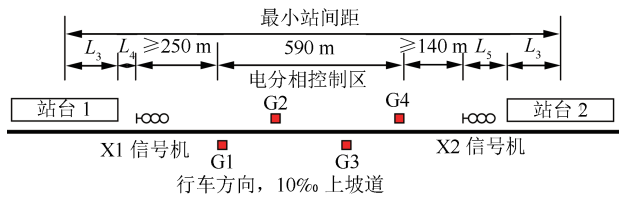
2) 列车冲过电分相之后, 若需在 X2 信号机前停车, 必须保障列车自动过分相停车后, 至少有 1 个弓能受电。按照最不利情况考虑, G4 磁钢与 X2 信号机的距离不应小于 1 列列车车长。以温州市域铁路 S1 线为例, 1 列远期列车车长为 140 m, 即 $L_2 \geq 140$ m。

2.2 电分相对于最小站间距的影响

市域轨道交通的平均站间距一般不小于 2.5 km, 但考虑到城市站点布局, 市区部分设站会相对密集, 即市区内的站间距较小; 市郊部分设站相对稀疏, 即市郊区域的站间距较大。正常情况下, 建议电分相设置在站间距较大的区间, 则列车在该区间运营调整的余量较大, 有利于列车运营及节能运

行。但电分相的设置受到主变电所地理位置、供电臂长度及行车密度等因素影响, 不排除电分相必须设置于较小站间距的区间, 则对于设置电分相的最小站间距则有一定的要求。区间组成具体要求如下:

- 1) 电分相区段的线路纵断面坡度不宜大于 10‰, 一般设置在平坡地段为宜;
- 2) 最小站间距的设备布局如图 4 所示, 其中 X1 信号机距离 G1 磁钢不小于 250 m, G4 磁钢距离 X2 信号机不小于 140 m;
- 3) 考虑到站台长度为 140 m, 则 L_3 为 70 m;
- 4) 站台 1 的站台端距出站信号机 X1 的距离 L_4 不小于 5 m, 进站信号机^[6] X2 距站台 2 的站台端的距离 L_5 不小于 8 m。



注: L_3 为 1/2 站台长度

图 4 区间信号布点示意图

综上所述, 在 10‰上坡道条件下, 设置电分相的最小站间距的长度为 1 133 m。若反向行车时, 即列车处于下坡道的情况下, 即使 G4 磁钢与站台 2 的距离较小, 列车在自身重力加速度下亦可完成惰行通过电分相。

2.3 节能坡对于电分相的影响

从工程实例出发, 考虑到市域轨道交通一般采用的是高架和地面线路。若站间距较小时, 区间节能坡^[7]效应更加明显, 如图 5 所示。

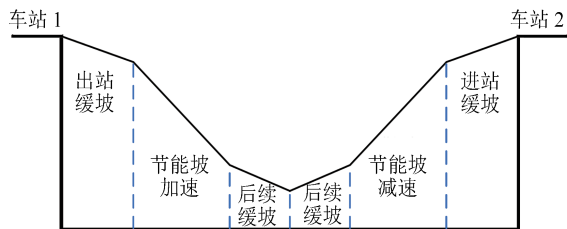


图 5 节能坡示意图

由于双线线路上下行区间的电分相一般为同坐标设置, 因此电分相的设置应满足:

- 1) 不宜设置电分相在出站缓坡和进站缓坡上, 因为出站缓坡和进站缓坡的长度一般较短, 距离

(下转第 95 页)

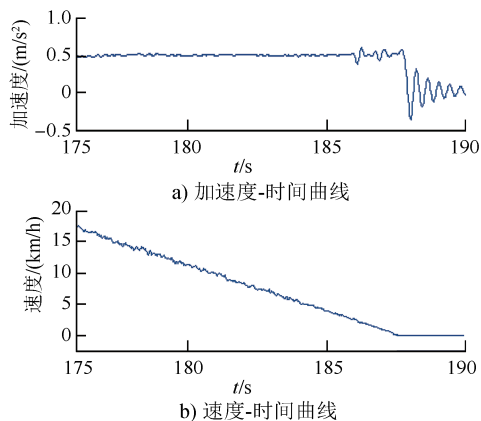


图 6 参数调整后的电空制动转换过程(二)

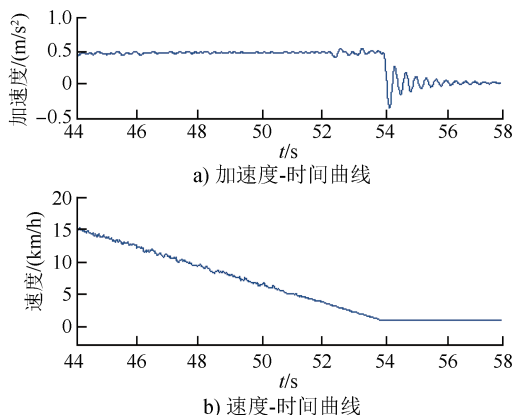


图 7 参数调整后的电空制动转换过程(三)

制动力大小、制动力延迟时间及制动力建立时间的测定,有助于信号系统采用合适的控制策略来进行速度闭环控制。通过对电空制动转换控制参数的优化调整,使得制动系统的系统特性更加稳定,以满足信号系统的控制要求,有助于信号系统进一步对车辆进行精确控制。

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(6): 77.
- [2] 赵红.列车自动驾驶系统(ATO系统)在地铁中的应用[J].电子世界,2014(7): 30.
- [3] 夏付炳.地铁车辆再生制动能量利用方案[J].科技创新与应用,2016(16): 30.
- [4] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通车辆制动系统 第1部分:电空制动系统通用技术规范: T/CAMET 04004.1—2018 [S].北京:中国铁道出版社,2018.
- [5] 王冬雷.地铁车辆电空混合制动平滑过渡问题分析及改进建议[J].电力机车与城轨车辆,2010(3): 51.
- [6] 路象群.广州地铁A5型车电空混合制动关键参数对列车停车精度的影响分析[J].机电信息,2016(18): 145.
- [7] 魏晓婷.广州地铁3号线列车ATO模式对标原理及异常故障分析[J].铁道机车车辆,2016(2): 112.
- [8] 张海龙,郑月宾,牛化鹏,等.地铁再生制动能量回馈装置框架保护配置研究[J].城市轨道交通研究,2015(11): 136.

(收稿日期:2019-04-03)

(上接第 91 页)

车站较近,且列车进站时经过节能坡减速后的速度较低,容易出现列车无法惰行通过电分相的事故。

2) 电分相不宜设置在节能坡加速和减速区域,该区域内的纵断面坡度较大,不利于列车惰行通过电分相。建议电分相设置在后续缓坡上,该区域内的纵断面坡度较小,且列车运行至该区域的速度较高,具有足够的速度可保证惰行通过电分相。

3 结语

交流供电制式在以高架和地面为主的市域轨道交通项目中,相对于传统城市轨道交通的直流供电制式具有一定的造价成本优势,然而交流供电制式所带来的电分相对于区间行车存在一定的影响。为最大程度上减少电客车“掉进”电分相的风险,通过理论计算,分析得出了电分相所处区间的最大坡度值、最小站间距,以及电分相两侧的信号布点原则。其结论可以作为工程设计之初主变电所选址、

站点及电分相设置及区间纵断面坡度设计的参考依据,亦可作为信号专业在电分相处的布点设计依据。

参考文献

- [1] 闵国水.关于市域铁路系统制式选择的探讨[J].中国铁路,2014(12): 27.
- [2] 丁建宇.温州市域铁路发展与思考[J].都市轨道交通,2018(4): 6.
- [3] 孙见.市域铁路公交化运营管理辅助系统建设[J].都市轨道交通,2014(2): 58.
- [4] 潘亮.市域铁路信号系统制式的选择[J].城市轨道交通研究,2016(增刊2): 69.
- [5] 黄足平.轨道交通采用25 kV交流制的电分相影响分析及处理对策[J].铁道标准设计,2016(11): 119.
- [6] 邓志翔.市域快轨信号机显示方案研究[J].都市轨道交通,2017(6): 77.
- [7] 徐慧智,张文会.地铁线路节能坡设计显著性影响因素分析[J].城市轨道交通研究,2016(3): 12.

(收稿日期:2019-01-03)