

同相供电技术在温州市域铁路 S1 线变电所出口电分相中的应用

蔡端阳

(浙江省轨道交通运营管理集团有限公司, 310005, 杭州//高级工程师)

摘要 以温州市域铁路 S1 线温州牵引变电所出口电分相为依托,引入同相供电技术,实现了以负序为主的电能质量治理。阐述了动车组列车在绝缘锚段关节区域内迫停的危害,并提出了列车在绝缘锚段关节区域的禁停范围,以及列车在绝缘锚段关节禁停区域迫停后的处置措施,避免了不必要的救援对轨道交通运输秩序造成的影响。

关键词 温州;市域铁路;变电所出口;电分相;同相供电技术

中图分类号 U239.58

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.040

Application of In-phase Power Supply Technology in Phase Separation at the Outlet of Wenzhou Rail Transit Line S1 Substation

CAI Duanyang

Abstract Relying on the phase separation at the outlet of Wenzhou Rail Transit Line S1 traction substation, in-phase power supply technology is introduced to realize the power quality control based on negative sequence. The hazard of forced stop of EMU train in the joint area of insulated anchor section is expounded, and the prohibited parking area of train in the joint area of insulated anchor section and the disposal measures after forced stop of train in the joint area of insulated anchor section are put forward, so as to avoid the impact of unnecessary rescue on the transportation order of rail transit.

Key words Wenzhou; suburban railway; substation exit; electric phase separation; in-phase power supply technology

Author's address Zhejiang Rail Transit Operation Management Group Co., Ltd., 310005, Hangzhou, China

与长距离的干线电气化铁路不同,城市轨道交通主要在城市之中穿行,其站间距较短,列车需要频繁地起动与制动,传统的交流牵引供电系统电分相对列车运行的影响较大。为适应城市轨道交通站间距短、列车起停频繁的特点,温州市域铁路 S1

线(以下简为“S1 线”)在采用传统的交流牵引供电系统的基础上,引进了同相供电技术,实现了以负序为主的电能质量治理。同相供电技术在 S1 线运用后,变电所出口处的 4 台电分相隔离开关有 2 台处于常闭状态,上、下行线路各形成 2 个绝缘锚段关节(见图 1)。如若出现紧急情况,列车在绝缘锚段关节区域迫停,再次起动时将可能出现接触网设备烧伤、甚至断线的事故。针对变电所出口绝缘锚段关节的研究,以减小列车迫停于禁停区域的概率为目标,避免不必要的救援对城市轨道交通运输秩序产生影响;提出了列车迫停于禁停区域的自主救援方案,为同相供电技术应用后的行车和供电设备提供了一定的理论依据。

1 S1 线牵引供电系统概况

S1 线线路全长 53.45 km,全线共设置车站 18 座,平均站间距为 2.73 km。牵引供电系统采用交流制式,共设两座 110 kV 牵引变电所。牵引变电所出口电压为 27.5 kV,接触网额定电压为 25 kV^[1]。

S1 线的设计速度为 120 km/h。动车组采用 2 个受电弓,正常运行时,采用单弓受流;另一台备用,处于折叠状态。2 个受电弓的间距为 38.45 m。

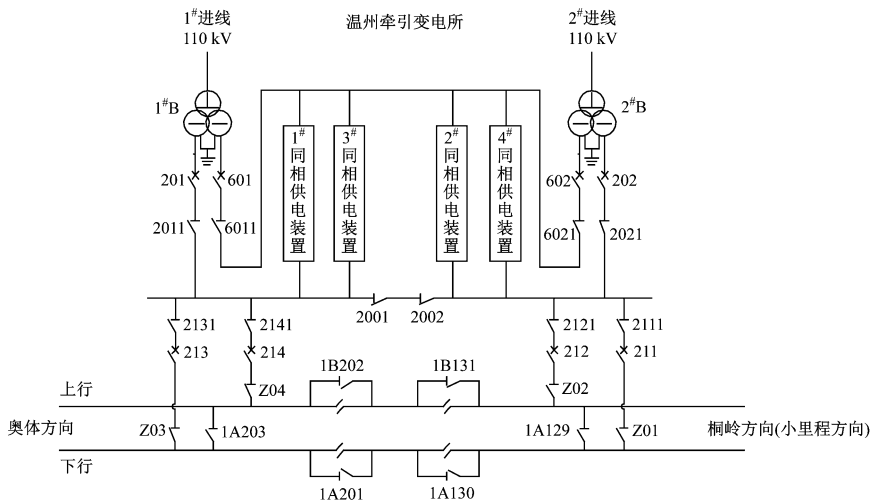
与电气化干线铁路相比, S1 线具有站间距短、列车起停频繁的特点;与传统地铁相比, S1 线具有行车速度快、列车容量大的特点。

为了解决“站间距短、列车起停频繁”与“行车速度快、列车容量大”之间存在的矛盾, S1 线在采用传统的交流牵引供电系统的基础上,引进了同相供电技术,实现了以负序为主的电能质量治理。

S1 线牵引供电系统示意如图 1 所示。

2 列车在绝缘锚段关节区域内迫停的危害

同相供电技术的应用,解决了电能质量的问



注:① 牵引变压器 1[#]B 和 2[#]B 互为备用,隔离开关 2011、6011、2021、6021 处于闭合状态;1[#]B 主用时,断路器 201、601 处于闭合状态,断路器 202、602 处于断开状态;2[#]B 主用时,断路器 202、602 处于闭合状态,断路器 201、601 处于断开状态。② 同相供电装置 1[#]、3[#]与 2[#]、4[#]互为备用。③ 母联开关 2001、2002 处于闭合状态。④ 馈线隔离开关 2111、2121、2131、2141,馈线断路器 211、212、213、214,上网隔离开关 Z01、Z02、Z03、Z04 均处于闭合状态。⑤ 上下行并联开关 1A203、1A129 处于断开状态。⑥ 分相开关 1B131、1B130 处于闭合状态;分相开关 1B202、1A201 处于断开状态。

图 1 S1 线牵引供电系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of traction power supply system of Line S1

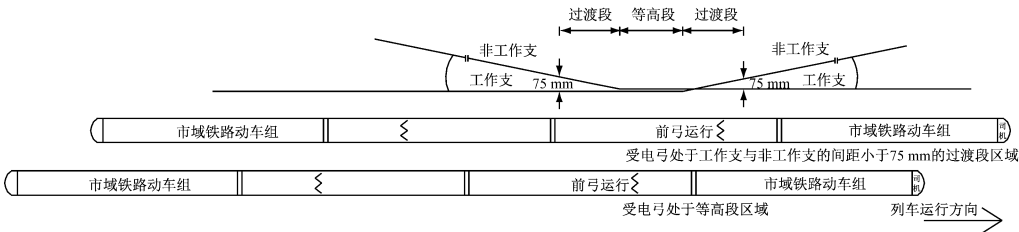
题,提高了电源适应性,同时也提升了列车的运力,具有较好的节能效果。但由于同相供电技术的应用,变电所出口电分相区域无电区域消失,取而代之的是绝缘锚段关节。文献[2]规定,站场、区间接触网中不同供电臂的电分段两端为列车禁停区域,因此认为该规定对于变电所出口绝缘锚段关节区域同样适用。

列车在绝缘锚段关节区域迫停(见图 2)分为如下两种情况:

一是列车迫停于绝缘锚段关节过渡段。列车受电弓处于绝缘锚段关节过渡段时,受电弓与接触网工作支接触良好,但与非工作支接触不良。当接触网工作支与非工作支的间距小于 75 mm^[3],列车再次启动时,由于启动电流较大,将会导致工作支

的接触网电压瞬时下降,此时非工作支的电压维持不变,从而在工作支和非工作支之间瞬时形成较大的电位差,导致非工作支与列车受电弓之间出现严重的拉弧、放电现象。由于列车启动初速度低,无法迅速熄弧,弧光产生的能量将迅速积聚,在接触网补偿张力的作用下,轻则烧伤接触网,重则出现断线事故^[4]。

二是列车迫停于绝缘锚段关节等高段区域。列车受电弓处于绝缘锚段关节等高段区域时,理论上列车启动不会导致拉弧、放电的现象;但由于等高段区域较短,列车启动后初速度低,加速过程受电弓取流较大,列车在等高段区域内启动后进入其过渡段时,仍有可能出现较为严重的拉弧、放电现象。



注:市域铁路动车组为 4 节编组;单节车厢长度约为 26 m;两弓间距为 38.45 m。

图 2 列车在绝缘锚段关节区域迫停示意图

Fig. 2 Schematic diagram of forced stop of train in insulated anchor section

由此可知,列车迫停后,如若受电弓处于绝缘锚段关节等高段区域,以及受电弓处于工作支与非

工作支的间距小于75 mm^[3]的过渡段区域时,列车再次起动运行都会给接触网设备运行带来极大的安全风险。

因此,在列车正常运行过程中,应严禁在绝缘锚段关节等高段区域及工作支与非工作支的间距小于75 mm^[3]的过渡段区域内停车。

3 列车在绝缘锚段关节区域的禁停范围

S1 线牵引变电所出口设置有四跨式电分相,由于上、下行线路各有1把电分相开关(小里程方向)处于闭合状态,故电分相部位不存在无电区,上、下行线路各形成了两个绝缘锚段关节。S1 线小里程方向的绝缘锚段关节等高段两侧的过渡段工作支与非工作支的供电取自同一供电臂,不存在第2节阐述的危害问题;S1 线大里程方向的绝缘锚段关节等高段两侧的过渡段工作支与非工作支的供电取自不同供电臂,列车如果迫停于第2节阐述的禁停范围内,列车重新启动将会给接触网设备造成较大的风险。

中铁第四勘察设计院集团有限公司制定了“预留接触网电分相处设置禁停标的说明”^[5],该说明将整个电分相范围全部划入列车禁停区域,但该四跨式电分相总长度为123 m(线路小里程方向绝缘锚段关节长51 m、无电区长22 m,大里程方向绝缘锚段关节长50 m)。S1 线动车组两弓间距为38.45 m,远远小于设计方给出的禁停区域长度。如若列车在设计方给出的禁停区域内迫停,司机无法确认受电弓的实际位置,更无法确定重新启动列车是否会导致接触网放电、拉弧现象。为避免该事故,需

出动救援列车或采用其中1个供电臂停电的方式进行救援,救援时间将会较长,影响范围很大,将严重影响轨道交通正常运营秩序。

通过深入分析可知,并非列车在整个电分相区域内迫停都会对接触网设备造成危害,因此可对设计方给出的禁停范围进行优化。

由于S1 线小里程方向的绝缘锚段关节工作支和非工作支为同一供电臂取电,不存在列车重新启动危害问题,因此可将小里程方向的绝缘锚段关节排除在禁停区域以外,只考虑大里程方向的绝缘锚段关节。

S1 线大里程方向的绝缘锚段关节总长度为50 m,等高段长度为5~10 m(视现场工艺而定),中心柱等高点两侧过渡段长度分别为20 m和22.5 m(等高段长度为10 m时,其两侧过渡段的长度为20 m;等高段长度为5 m时,其两侧过渡段的长度为22.5 m)。通过本文第2节的分析可知,只有在非工作支与工作支间距小于75 mm时,重新启动列车才会对接触网设备造成损害。

在绝缘锚段关节处,在接触网工作支至转换柱一跨的距离内,将导线升高500 mm成为非工作支,并将其拉至锚柱处下锚。因此,本文按照非工作支距工作支的最大距离500 mm来计算非工作支与工作支间距小于75 mm的过渡段长度,如图3所示。等高段长度为5 m时,两侧过渡段长度为22.5 m,则非工作支与工作支间距小于75 mm时的过渡段长度为3.375 m;等高段长度为10 m时,两侧过渡段长度为20 m,则非工作支与工作支间距小于75 mm时的过渡段长度为3 m。通过计算可知,列车重新启动真正会有危险的过渡段长度为3.000~3.375 m。

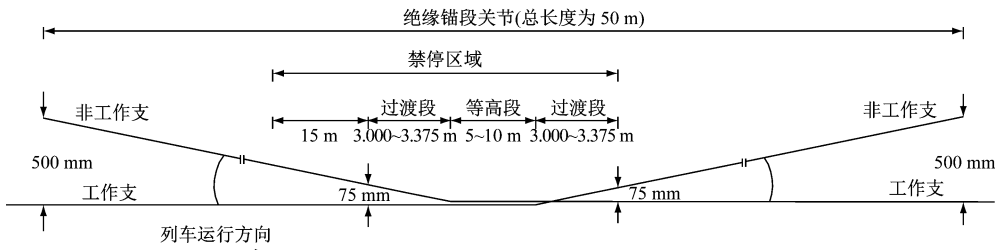


图3 绝缘锚段关节禁停区域核算示意图
Fig. 3 Calculation diagram of joint prohibited parking area of insulated anchor section

为了安全起见,绝缘锚段关节等高段长度取最大限度10 m,两侧非工作支与工作支间距小于75 mm的过渡段长度取最大限值3.375 m,故列车重新启动真正会影响到的接触网设备造成危害的区域长度为16.75 m。

为了进一步确保安全,应避免列车低速起动直接进入禁停区域,在列车行车方向接近禁停过渡段的区域,再考虑15 m的列车提速距离,通过计算得出列车在绝缘锚段关节处的禁停区域长度为32 m。

综上所述,将设计方给出的禁停区域由整个电

分相长度 123 m 优化缩短至 32 m,将极大地减小列车迫停于禁停区域的概率,以避免不必要的救援给轨道交通线路正常运营造成影响。

4 列车在绝缘锚段关节禁停区域迫停后的处置措施

列车运行过程中,倘若因紧急状况迫停于禁停区域时,紧急状况解除后不可直接起动列车。禁停

区域的长度仅为 32 m,动车组两弓间距为 38.45 m。司机可以通过对照判断受电弓的位置,实现自主救援。具体措施如下:

一是列车前弓处于工作状态,并落入禁停区域时,应降前弓、升后弓后再起动列车运行;二是列车后弓处于工作状态,并落入禁停区域时,应降后弓、升前弓后再起动列车运行,如图 4 所示。

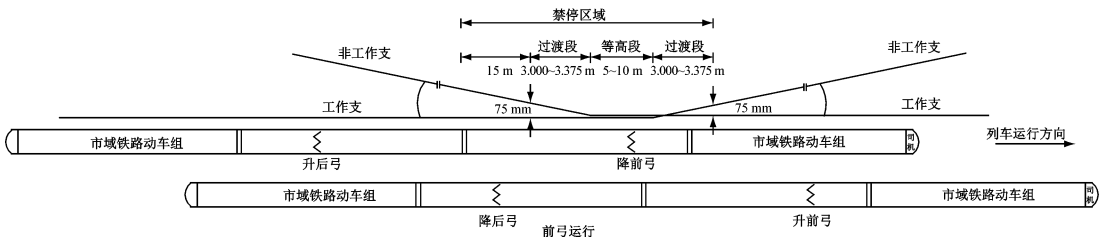


图 4 动车组列车升、降弓示意图

Fig. 4 Schematic diagram of pantograph bow raising and lowering of EMU train

动车组列车受电弓间距要比禁停区域的长度至少长 6.45 m,该余量保证了两个受电弓不可能同时落入禁停区域,弥补了司机的观测误差,确保了行车安全。

5 列车受电弓位置标志的设置

列车迫停后,为便于司机准确判断受电弓的所处位置,可采取如下措施:

1) 结合禁停区域的长度和动车组受电弓的实际位置,在适当位置设置醒目标志(见图 5)。列车迫停后,司机可通过对照标志来判断受电弓的所处位置。

2) 结合禁停区域的长度和动车组受电弓的实际位置,对相邻防护栏的相应范围喷涂醒目颜色(见图 5)。列车迫停后,司机可通过对照颜色来判断受电弓的所处位置。

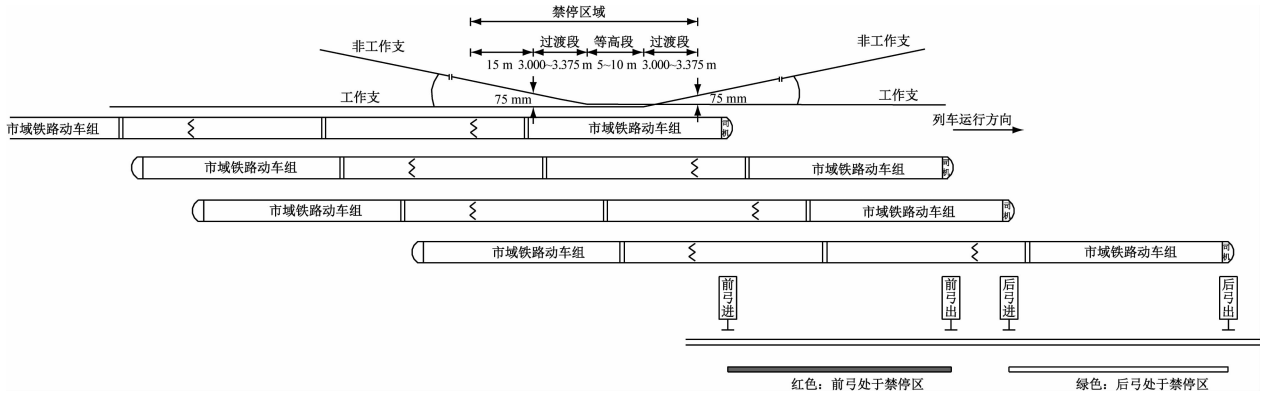


图 5 列车受电弓所处位置标志设置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of location mark setting of train pantograph

在设置辅助标志或颜色的基础上,再给司机配发应急处置提示卡,卡片上注明标志或颜色与列车受电弓的对应关系。当列车在禁停区出现迫停状况后,司机可以借助提示卡准确地对受电弓位置进行判断,从而避免误判的情况发生。

6 结论

1) S1 线采用交流牵引供电系统,并引进了同相供电技术,解决了列车设计速度高、容量大与站间距小、列车起停频繁之间的矛盾。

(下转第 210 页)