

城市轨道交通直流牵引供电系统钢轨电位升高原因及控制措施

段立新

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安//教授级高级工程师)

摘要 介绍了直流牵引供电系统的构成及回流系统主要设备运行特点。分析了回流系统运行中的钢轨电位超标、钢轨电位限制装置频繁动作,以及闭锁和排流柜元件故障等问题发生的原因。提出了降低钢轨电位、防止钢轨电位限制装置频繁动作及闭锁现象,以及避免同时投入钢轨电位限制装置及排流柜等控制措施。

关键词 钢轨电位超标;钢轨电位限制装置;排流柜

中图分类号 U224.2*6

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.06.034

Reasons for Rail Potential Rise in Urban Rail Transit DC Traction Power Supply and Control Measures

DUAN Lixin

Abstract With an introduction of the DC traction power supply structure and the characteristics of main equipment running state in reflux system, the reasons for rail potential exceeding standard, frequently movement of rail potential limit equipment and the fault of blocking and discharging cabinet components are analyzed, corresponding measures are proposed to reduce the potential, prevent the frequent action of rail potential limit equipment and locking phenomenon, and avoid imputing control measures like rail potential limit equipment and flow cabinet simultaneously.

Key words rail potential exceeding standard; rail potential limit equipment; flow cabinet

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

采用直流牵引供电系统的城市轨道交通,运营中会出现钢轨电位超标的情况。对此,出于运营安全考虑,常采用将钢轨电位限制装置(OVPD)接地的措施来降低钢轨电位,有时甚至会出现多处OVPD接地的情况。这样做虽能降低钢轨电位,但也会导致杂散电流过大的现象产生。投入排流柜虽能减少杂散电流危害,但又会引起钢轨电位升高。当

OVPD与排流柜同时投入时,会导致设备发热而烧损元器件。本文通过对城市轨道交通直流牵引供电系统运营中出现的钢轨电位超标、OVPD及排流柜故障等问题的深入分析,提出了相应的解决措施和相关建议。

1 直流牵引供电系统的构成及回流系统主要设备运行特点

1.1 直流牵引供电系统的构成

城市轨道交通直流牵引供电系统由牵引系统及回流系统构成,如图1所示。

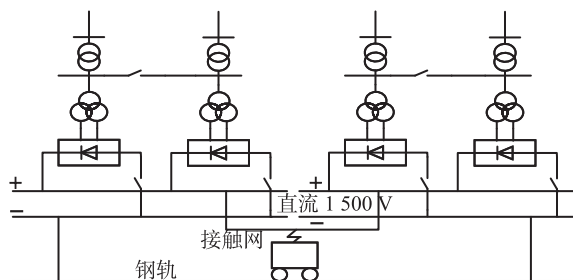
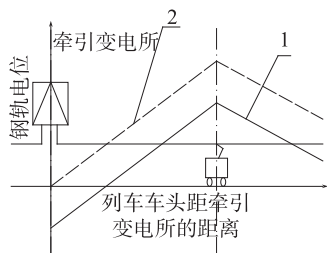


图1 城市轨道交通直流牵引供电系统构成示意图

与交流牵引供电系统相比,直流牵引系统电压低,同等荷载情况下直流牵引电流数倍于交流系统;列车取流均来自接触网,走行钢轨作为回流轨使用,回流电流也数倍于交流系统;无论是轨回流还是入地的少量电流最终都汇聚至牵引变电所负极侧。

直流牵引供电系统其回流系统的电流非常大,钢轨又存在内阻,因此承担回流的钢轨其电位本身就比较高;再加之行车密度高,列车起动频繁,因此会导致钢轨电位的进一步升高。若将OVPD接地,变电所附近的钢轨电位会由低负值变为0,能够保证人员安全(如图2中的曲线2所示)。这样虽降低了变电所附近的钢轨电位,但却升高了其它地方的钢轨电位,列车车头所在位置处的钢轨电位最高,为最高正值。

钢轨作为牵引电流回路,虽然其对地绝缘安装,但仍有部分杂散电流流入道床;同时还有部分杂散电流经道床流入结构钢筋等金属管线,但最终都由钢轨经回流电缆流入变电所负极。



注：曲线1为OVPD处于断开状态；
曲线2为OVPD处于短接于地状态

图2 钢轨电位分布示意图

1.2 回流系统主要设备运行特点

1.2.1 OVPD 运行特点

设置OVPD是为限制钢轨与地之间的电位,以避免轨道区域中的高电位危及人身安全。如果轨电位超出规定值,OVPD会自动将轨道短时接地,断开轨对地之间的连接。OVPD的动作保护根据不同的电压区段和延时按一、二、三段动作保护来考虑。OVPD接线原理如图3所示。

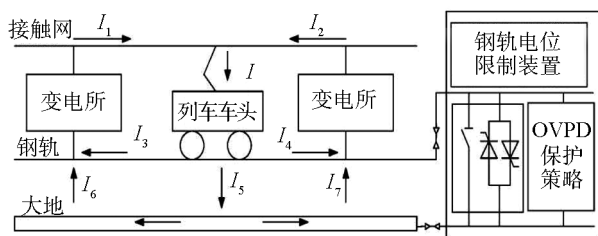


图3 OVPD接线原理示意图

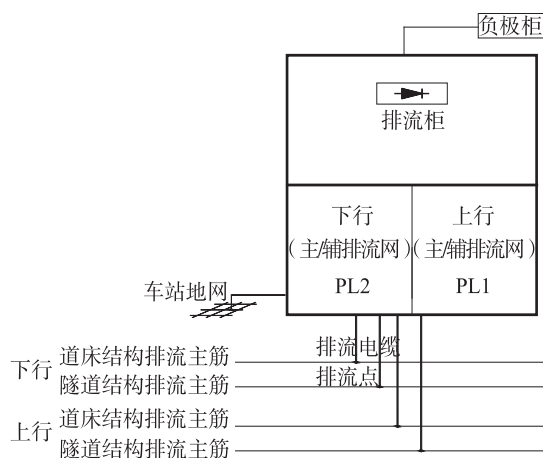
1.2.2 排流柜运行特点

一般情况下,当检测结构钢筋极化电位受杂散电流影响超过规定的0.5V时投入排流柜,将汇集的来自道床收集网等处的杂散电流引入排流柜的负极柜。排流柜接线示意图如图4所示。

2 回流系统运行过程中出现的问题

GB 50490—2009规定,正线钢轨电位不应超过90V。EN 50122—1规定,钢轨电位在120V以内,不应威胁到人身安全。出于经济性考虑,很多线路双边供电时按90V控制正线钢轨电位,而大双边供电时按120V控制钢轨电位。

OVPD检测走行轨对保护地的电位差。当该电

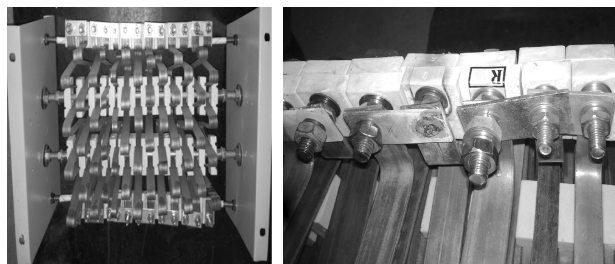


注：PL——排流支路

图4 排流柜接线示意图

位差较大时,如正线钢轨电位超过OVPD一段保护动作阈值90V时,OVPD一段保护动作;当电位差超过OVPD二段保护动作阈值150V时,OVPD频繁报警动作甚至闭锁。

OVPD接地后,钢轨回流入地,附属结构中钢筋网回流加大,极化电位升高;由于附属结构杂散电流是通过排流柜进入负极柜的,因此排流柜也投入运行。此时杂散电流进一步加大,最后出现排流柜电阻箱与母线排搭接处发红及电阻箱烧损等问题。排流柜内电阻箱及母线排接线烧伤的现场照片如图5所示。



a) 电阻箱

b) 母线排接线

图5 排流柜内电阻箱与母排接线烧伤现场照片

3 钢轨电位超标及相关设备问题主因

3.1 钢轨电位升高或超标原因

由于钢轨存在内阻,因此牵引回流在钢轨上有电位差。该电位差的大小与线路上行驶或起动的列车数量、列车功率、牵引所间距等具体情况有关。列车功率越大,距牵引变电所距离越远,钢轨电位越高。比如采用大双边供电时,其钢轨电位比单边供电的高。

如果发生接触网与钢轨或与架空地线短路、DC设备框架泄漏等故障,则会导致钢轨电位升高;回流通道中,比如道岔的回流跳线,以及回流电缆与钢轨或与回流箱、负极柜的母排连接等位置存在缺陷,也会导致钢轨电位超标。

3.2 OVPD 不正常动作原因分析

根据某条城市轨道交通线路的实测数据进行分析,在约 24 h 的测试过程中,控制室记录数据显示,OVPD 曾发生一段、二段保护同时动作 6 次,一、二、三段保护同时动作 3 次。截取其中 9:15—9:22 的一次记录,如图 6 和图 7 所示,发现钢轨电位与回流电流的变化趋势一致,钢轨电位随着回流电流的增加而增加;在记录时段,OVPD 一段、二段电压保护同时动作。

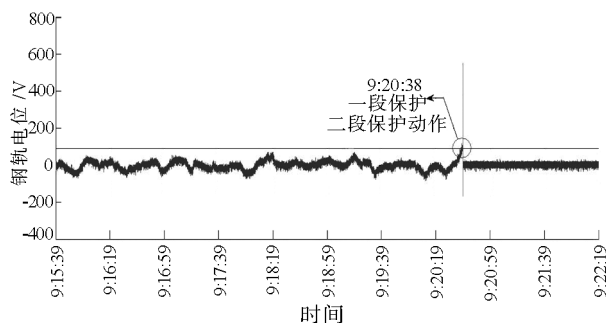


图 6 钢轨电位现场实测数据截图

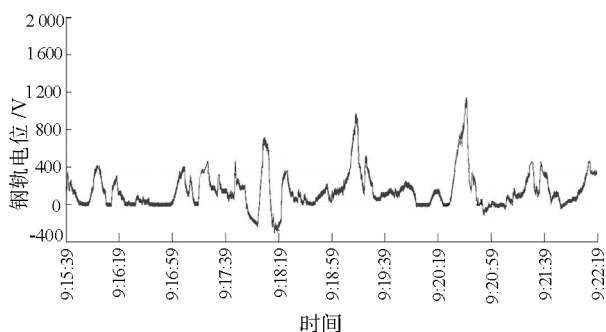


图 7 钢轨回流电流现场实测数据截图

图 6 中,当钢轨电位超过一段电压保护动作阈值 90 V 时,OVPD 一段保护动作正常;但 OVPD 一、二段保护间隔出现了一定延时,一、二段保护分别动作,此时也出现了 OVPD 闭锁。从现场测试数据看,OVPD 发生一段、二段保护动作时,钢轨电位均没有超过二段保护动作阈值 150 V,因此 OVPD 二段保护动作不是由于钢轨电位异常偏高引起的。OVPD 二段保护动作时刻记录的约 550 V 电压值,应是接触器合闸所产生的操作过电压。文献[2]也提

到个别线路中发生 OVPD 一、二、三段保护同时动作时,动作时刻记录的最高电压为 886 V,远超过了 OVPD 三段保护动作的阈值 600 V。

分析后认为,引起 OVPD 二、三段保护异常动作的主要原因是:接触器分合闸次数较多,导致接触器触头磨损严重,从而在分合闸时产生异常过电压;在 OVPD 二、三段保护电路中,有可能因晶闸管损坏而使得导通电压不正常;OVPD 中 PLC(可编程逻辑控制器)保护算法异常以及其他可能的保护装置故障。

3.3 投入 OVPD 和排流柜后问题分析

3.3.1 OVPD 长时间接地后果

OVPD 长时间接地与直流系统为不接地系统的方式相矛盾。OVPD 长时间接地会抬升其他位置的钢轨电位和增加该区段的人身安全隐患。因为每个变电所都设有 OVPD,若存在多处 OVPD 接地的情况,杂散电流扩散严重。

3.3.2 直接排流法的不足

排流柜排流时,钢轨接地后电位为 0,电流沿电缆和二极管流向负母线,负母线的负电位变为接近零电位,两变电所间轨对地电位增加 1 倍,两变电所均成为阳极区域,则杂散电流上升了数倍。

3.3.3 排流柜故障

OVPD 接地后增加的杂散电流到一定程度后排流柜会投入;当排流柜处于排流状态时,钢轨电位会上升甚至超标,此时 OVPD 又会投入。这两种情况均造成 OVPD 与排流柜同时投入。根据文献[3]中等效的轨道-埋地金属-大地的电阻分布网络(见图 8),泄漏到地下的杂散电流 $i_s(x)$ 可用式(1)简化计算。

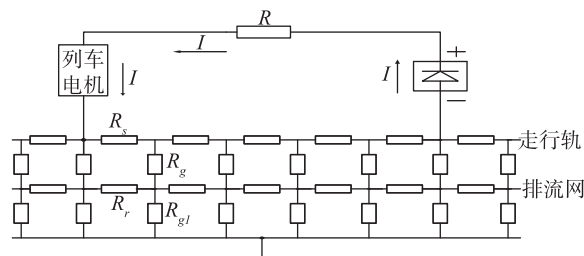


图 8 轨道-埋地金属-大地的电阻分布网络图

$$i_s(x) = I - \frac{I}{R_s + R_r} \left[-R_s \operatorname{th}\left(\frac{\partial L}{2}\right) \operatorname{sh}(\partial x) + R_s \operatorname{ch}(\partial x) + R_r \right] \quad (1)$$

其中, $\partial = \sqrt{\frac{R_s + R_r}{R_g}}$

式中:

L ——列车车头距牵引变电所的距离;

I ——列车电流;

R_s ——钢轨电阻;

R_r ——排流网电阻;

R_g ——轨对地过渡电阻。

若 L 为 4 km, I 取 3 500 A, R_s 为 0.019 Ω/km , R_r 为 0.05 Ω/km , R_g 分别取 15.00 $\Omega \cdot \text{km}$ 和 0.02 $\Omega \cdot \text{km}$ 时, 计算得到最大 $i_s(x)$ 分别为 9 A 和 825 A。轨对地过渡电阻接近 0 时, 测算靠近变电所的钢轨和埋地金属结构之间跨接电流超过 900 A。分析后认为, 最不利的情况下同时投入 OVPD 和排流柜时, 排流柜支路电流远超过自身额定电流值, 造成排流柜相关器件因通过电流增大而发热甚至烧坏。

4 应对措施

4.1 降低钢轨电位

目前, 我国各城市的轨道交通线路在运营初期的行车对数就达到了远期高峰小时的指标, 因此, 应使客流预测及系统能力配套适应超预期客流增长的需要, 做到防患于未然。

减少回流通路电阻, 也可采取与轨道并联电缆、增加回流电缆的截面积等措施, 但其并联的范围及电缆的截面积需要通过测试或计算来确定。

应仔细检查回流通道中回流线或电缆与钢轨、道岔、汇流箱、负极柜等连接处接头的牢固程度。

可采用如低温软钎焊加栓接的方式将 L 形铜排与钢轨连接, 或将电缆与铜牌预留孔通过螺栓连接, 完成回流或均流电缆与轨之间的连接。

4.2 防止 OVPD 频繁动作及闭锁

若出现 OVPD 频繁动作及闭锁的现象, 应重点检修接触器触头及保护电路用晶闸管等部件; 还可按文献[2]的方法, 采取在接触器两端加装过电压抑

制电路的方法。

4.3 避免同时投入 OVPD 及排流柜

文献[1]认为, OVPD 具有保护人身安全的作用, 其重要程度比排流柜等级高。当 OVPD 投入时应避免与排流柜通过地连接。为此应对排流柜做短时屏蔽, 当确认 OVPD 断开后才能投入排流柜。

因 OVPD 与排流柜在各变电所相互独立, 因此可将所有 OVPD 和排流柜信号信息上传至 SCADA (电力监控) 系统进行检测, 若检测到 OVPD 动作, 则给相应的排流柜发出断开信号。

5 结语

直流牵引供电系统较为复杂, 存在以钢轨回流为主的钢轨电位超标、回流通路不畅、杂散电流泄漏, 以及杂散电流扩散引起主体结构金属腐蚀等问题。因此, 应综合考虑, 避免出现如钢轨电位超标等诸多问题。一旦出现钢轨电位超标, 应及时查找并排除接触网短路及 OVPD 等设备故障, 检查并保持回流通路通畅, 采取防止 OVPD 操作过电压措施, 采用逻辑控制和加强监测等方式避免 OVPD 与排流柜同时动作问题, 避免故障范围扩大。另外, 建议新建城市轨道交通线路的直流牵引供电系统采用单独设置回流轨方案。这个方案可从根本上解决直流牵引供电系统中诸多以走行轨回流为主的问题。

参考文献

- [1] 李国欣, 吴培林, 裴文龙. 钢轨电位与杂散电流综合抑制研究[J]. 城市轨道交通研究, 2017(4): 56.
- [2] 陈明武, 赵鑫, 丁大鹏, 等. 城市轨道交通供电系统钢轨电位限制装置操作过电压研究[J]. 中国铁道科学, 2017, 38(6): 94.
- [3] 李威. 地铁杂散电流腐蚀检测及防护技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004: 10.

(收稿日期: 2018-05-18)

有人“买短乘长”恶意逃票 9 次被拘

上海铁路局在 5 月 1 日发布假期出行提示, 称“买短补长乘车不可行”, 希望旅客在节假日期间严格按照实际到站购买车票, 按票面标明的车次、区间乘车, 不要买短乘长、越站乘车, 以免造成列车超员, 影响列车安全运行和后续正常购票旅客的乘车出行。上海铁路局 5 月 5 日上午发布微博, 再次提醒旅客不要买短乘长、越站乘车, 并附上一则“买短乘长”恶意逃票被抓的案例。该微博显示, 一安徽籍男子近日发朋友圈炫耀乘车逃票, 被江西九江铁路警方查获。据了解, 该男子自 2018 年起, 利用“买短乘长”恶意逃票 9 次, 逃票金额达 800 余元, 目前已被行政拘留 10 日。

(摘自 2019 年 5 月 7 日光明网)