文章编号:1673-0291(2015)03-0006-04 DOI:10.11860/j.issn.1673-0291.2015.03.002

高铁站内绝缘节烧损解决方案

毕红军[1],丁志东[1],石先明[2],刘 畅[1]
(1.北京交通大学 电子信息工程学院,北京 100044;2.中铁第四勘察设计院集团有限公司,武汉 430063)

摘 要:为了解决高速铁路轨道机械绝缘节的烧损问题,并优化高铁站内回流疏导方案,根据对杭长线长沙南站内绝缘节电位差的实地测试数据,从机械绝缘节的设置点、牵引电流回流疏导设置等方面,提出一种高速铁路站内机械绝缘节烧损问题的解决方案.分析了该方案的可行性原理,结合现场测试数据进行了验证.试验数据表明:提出的方案能够有效降低机械绝缘节两端的电位差,改善机械绝缘节烧损问题.

关键词:高速铁路;机械绝缘节;位置设置;烧损问题;绝缘节烧损;回流疏导
中图分类号:U238 **文献标志码**:A

A solution for burning damage to insulation joints in high-speed railway stations

BI Hongjun[1], *DING Zhidong*[1], *SHI Xianming*[2], *LIU Chang*[1]
(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: Based on the test data in Changsha south station of Hangzhou-Changsha railway, this paper analysed the settings of mechanical insulating joints locations and traction current divert optimizing, which was the solution for the burning and damage phenomenon of mechanical insulating joint. It also analyzed the feasibility, and verified it combining with experimental test data.

Key words: high-speed railway; mechanical insulating joint; location settings; burning problems; mechanical insulating joint burning damage; traction current divert

我国高铁站内设置机械绝缘节,即牵引回流切断点;绝缘节处还可设置扼流变压器,在必要的地点导通牵引回流.通过合理设置回流切断和导通方式,可保证轨道电路中的电流沿钢轨有方向地传输,避免牵引回流成环,使牵引回流畅通,保障轨道电路正常工作[1].

高铁站内机械绝缘节的回流切断点位置普遍存在烧损现象,造成钢轨表面的损伤,影响行车安全.目前该方面的研究还都处在理论研究阶段,本文作者提出了一种可实际操作的解决机械绝缘节烧损问题的方案,并通过现场测试,验证了其可行性.

1 机械绝缘节烧损机理

当前,我国高铁站内机械绝缘节设置方式如图1所示.站台两端分别设置有机械绝缘节,但一端通过将两个扼流变压器连接呈导通状态,一端为回流切断点.以长沙南站为例,回流切断点为S24机械绝缘节,连通点为X24机械绝缘节,长沙南站股道示意如图2所示.但是据观察,在京沪、沪宁、武广等多条线路出现多起高铁站内机械绝缘节及钢轨烧损现象,其都出现在牵引回流切断点处,当动车组部分轮对经过绝缘节时,在轮轨接触位置可观测到高亮的

收稿日期:2014-12-10
基金项目:国家自然科学基金重点项目资助(U1234205)
作者简介:毕红军(1965—),男,山东潍坊人,副教授.研究方向为信号系统防强电干扰及信息安全.**email**:hjbi@bjtu.edu.cn.

弧光,绝缘片被碳化烧损,严重时会造成钢轨表面出现明显的凹凸[2].

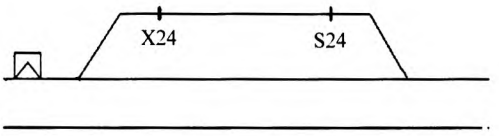


图 1　长沙南站内机械绝缘节位置示意图

Fig. 1　Locations of mechanical insulation joints in Changsha south station

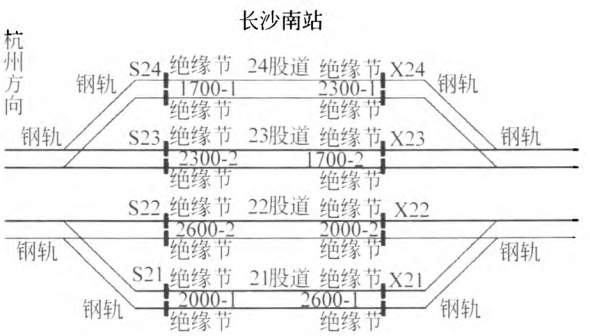


图 2　长沙南站股道示意图

Fig. 2　Rails in Changsha south station

钢轨作为回流通道,其上通过牵引回流.由于通过的电流不恒定,在电压达到一定值时,列车的轮对和绝缘节处钢轨之间的空气会被击穿,产生电晕放电现象,随着电位差的增大,电晕放电会变为刷形放电,当外加电压比阈值电压高很多时,形成火花放电.当能量能够维持放电时,电弧放电形成,绝缘节被烧损,钢轨烧熔.根据电弧产生的机理分析可知,形成大能量的电弧:一是需要足够的电压和电流条件;二是需要导通和切断状态的变化[2].列车轮对通过绝缘节必然会引起机械绝缘节两端钢轨的导通和切断状态的变化,所以,解决方案着眼于减小机械绝缘节上的电压和电流,来消除大能量电弧的形成条件.

当列车轮对通过回流断点机械绝缘节时,会使机械绝缘节两端钢轨产生通断状态的瞬间变化,如此时绝缘节两端钢轨有较大的电流或电压就会产生拉弧现象,造成钢轨的熔融.以 CRH2 列车为例,每节车厢设 4 对轮对,前后两两为一组,一组内两轮对之间圆心距为 2.5 m,机械绝缘节厚度约为 10 mm,所以,各轮对经过绝缘节的时间非常短.经计算,该时间间隔约为 0.000 5 s.动车组以 0.406 m/s 的加速度开启,根据计算可知,经过 34.03 s 的时间第 1 次到达绝缘节处.因此可得出列车经过绝缘节的整个过程中,其两端钢轨的通断状态,见图 3.其中柱形条表示绝缘节两端钢轨处于导通状态[1].

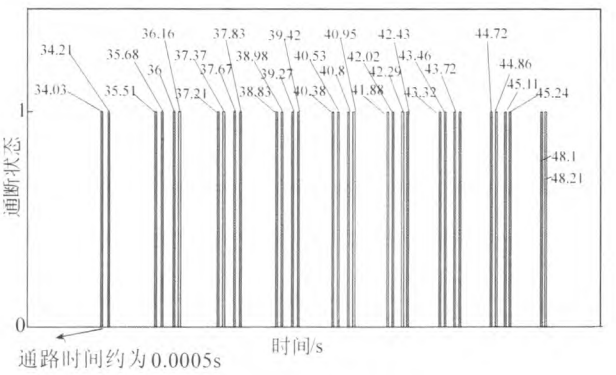


图 3　绝缘节两端钢轨通断状态示意图

Fig. 3　States of turn on and off of insulation joints

2　解决方案

本文作者针对机械绝缘节的烧损问题提出一种解决方案,方案示意如图 4 所示.将 S24 和 X24 的机械绝缘节均设置为回流切断点,同时在 23 股道和 24 股道之间用一个扼流变压器连接,以疏导 24 股道两个绝缘节之间的回流,图中 A、B 分别为 X24 和 S24 机械绝缘节,直线 EF 为两个股道间的连接线,并分别标有各个区段的距离.

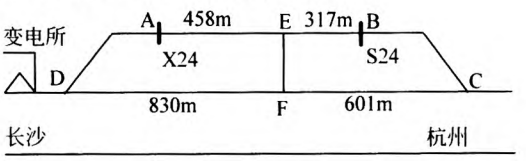


图 4　解决方案示意图

Fig. 4　Solution schematic

选取的 E、F 点应该具备两方面的作用,①有效减小绝缘节两端的电位差和通过电流;②由于此时两个绝缘节均为回流断点,在其两端都会产生电位差,故 E、F 点要保证两个绝缘节两端能同时获得较小的电位差.其计算公式如下[1-6]

$$\begin{cases} I_A l_A + I_A' l_A' = U_A \\ I_B l_B = U_B \\ I_A' = \dfrac{L_2 - l_A'}{l_A'}(I_A + I_B + l_A') \end{cases} \tag{1}$$

式中:L_2 为已知 DC 段的距离;L 为 AB 段的距离;l_A、l_B 分别为 AE、BE 的距离;I_A、I_B 分别为 AE、BE 段的钢轨回流值,且已知 $l_A + l_B = L$ 的值;I_A' 为 DF 段钢轨回流值;l_A' 为 DF 段距离.由最优化理论求解得 l_A 与 l_A' 分别位于 L 和 L_2 的中点位置.该位置为回流路径上靠近变电所一侧的 1/3 的位置.由于现场条件限制,EF 选取在图 4 所示位置.

3　绝缘节两端电位差计算

牵引供电系统中,当电力机车位于 AT 段内时

牵引供电系统如图5所示.

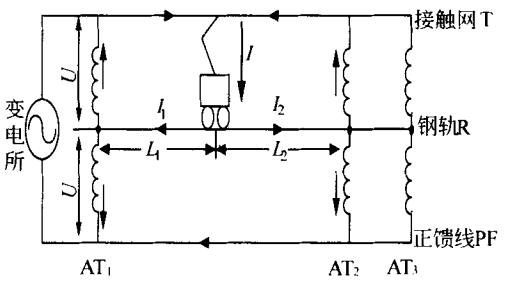


图5 AT供电方式电路

Fig.5 Schematic diagram of AT power supply

图5中设机车至AT_1和AT_2的距离分别为L_1和L_2.AT_1和AT_2次边供给机车的电流I_1和I_2就是钢轨连支电流,它们与各自的距离成反比,亦即电流矩为

$$I_1L_2 = I_2L_1 \tag{2}$$

同时,I_1和I_2在轨道中的流动方向相反.可以根据式(2)计算出I_1和I_2的值[1].

列车由杭州方向进站,经S24绝缘节到达站台停车,而后启动,经X24绝缘节出站在列车未过绝缘节(B点)以前,S24绝缘节两端的电位差U_{FCB}等于

$$U_{FCB} = L_{FCB} \cdot i_{FCB} \cdot \gamma_{FCB} \tag{3}$$

式中:L_{FCB}为钢轨FCB段的长度;i_{FCB}为牵引回流值;γ_{FCB}为钢轨有效电阻.

当动车组的泄流轮对经过绝缘节时,电流会以绝缘节为分界点,沿钢轨流向两边,此时,绝缘节两端的电压为两部分的电压之差即:

$$U = U_{BCF} - U_{BE} \tag{4}$$

其中,

$$U_{BCF} = L_{BCF} \cdot i_{BCF} \cdot \gamma_{BCF} \tag{5}$$

$$U_{BE} = L_{BE} \cdot i_{BE} \cdot \gamma_{BE} \tag{6}$$

式中:L_{BCF}为BCF段长度;i_{BCF}为BCF段牵引回流;L_{BE}为BE段长度;i_{BE}为BE段牵引回流;γ_{BCF}和γ_{BE}分别为BCF段钢轨和BE段钢轨的有效电阻值.

列车在两绝缘节中间部分的轨道上时绝缘节电压的计算

$$U = U_{FEB} = L_{FEB} \cdot i_{FEB} \cdot \gamma_{FEB} \tag{7}$$

式中:L_{FEB}钢轨FEB段的长度;i_{FEB}牵引回流值;γ_{FEB}钢轨有效电阻.

列车经过S24后绝缘节两端电位差的计算

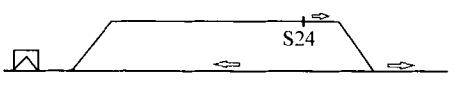
$$U = U_{DA} - U_{DFA} \tag{8}$$

$$U_{DA} = L_{DA} \cdot i_{DA} \cdot \gamma_{DA} \tag{9}$$

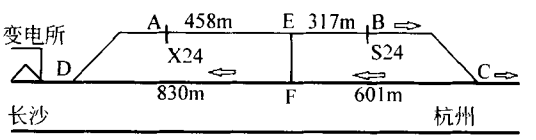
$$U_{DFA} = U_{DF} + U_{EA} \tag{10}$$

式中:L_{DA}为钢轨DA段的长度;i_{DA}为钢轨DA段的牵引回流值;γ_{DA}为钢轨DA段的有效电阻值.X24绝缘节电位差与S24绝缘节电位差计算相似.

列车进站时,对比未实施解决方案时钢轨牵引回流路径如图6(a)所示,实施解决方案时钢轨牵引回流路径如图6(b)所示,虽然两种情况下钢轨牵引回流的回流路径一致,但由于EF线的存在,使得S24绝缘节的内侧(靠E点一侧)电位被拉高,而S24绝缘节外侧(靠C点一侧)电位基本无变化,根据式(1)易得此时S24绝缘节两端电位差减小.同时,由于解决方案中将X24绝缘节处原本联通的两个扼流变压器断开使得X24绝缘节亦成为回流断点,所以此时X24绝缘节两端也将产生电位差,此时X24绝缘节电位差与S24绝缘节电位差的计算原理相同,由长沙南站内实际数据计算得到X24绝缘节电位差小于S24绝缘节电位差,并与实验数据相符.



(a)未实施解决方案



(b)实施解决方案

图6 钢轨回流路径示意图

Fig.6 Traction return path

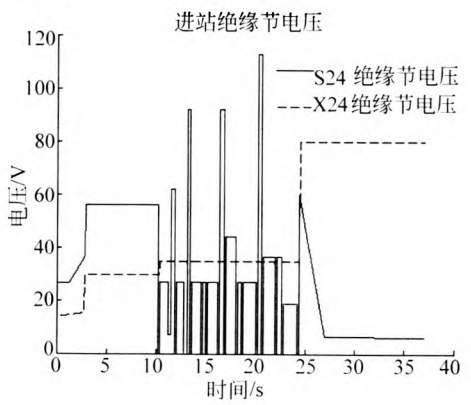
列车驶过S24绝缘节过程中,对比该情况下未实施解决方案时的钢轨牵引回流路径和实施解决方案后的钢轨牵引回流路径.由于引入EF线使得牵引回流到变电所的回流路径变短,同时在F点形成分流,减小了回流电流值,根据式(4)~式(6)计算得知,此时有效减小了绝缘节两端电位差.

4 实验验证

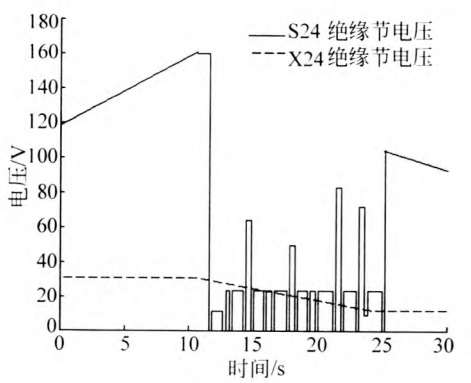
测试试验在长沙南站沪昆场试运行阶段进行,测试了车型为CRH380A.测试列车通过时的S24和X24机械绝缘节电位差和钢轨回流,鉴于现场条件的限制,EF无法选在理论上的中点位置,故采取折中选在图4所示位置,E与A、B处机械绝缘节的距离如图6中现场实测数据所示.根据测试数据绘出两个绝缘节的电位差变化曲线.测试时考虑列车进站、列车出站、列车双向接、发车等环境,并进行多组测试以排除可能出现的错误数据.

列车进站测试数据如图 7(a)所示,列车经过 S24 绝缘节前的 S24 绝缘节电位差测试值为 56 V、X24 绝缘节电位差测试值为 32 V;列车经过绝缘节过程中的 S24 绝缘节电位差最大测试值为 116 V、X24 绝缘节电位差测试值为 35 V;列车位于两个绝缘节中间部分的轨道上时,S24 绝缘节电位差测试值为 24 V,X24 绝缘节电位差测试值为 78 V,此时 S24 绝缘节电位差约为 X24 绝缘节电位差的 1/3.

将实施解决方案后的测试数据与未实施解决方案的测试数据(如图 7(b)所示)进行对比,可以发现,解决方案所提出的方法使 S24 绝缘节的最大电位差从 157 V 变为 56 V,出现了较大的下降幅度;X24 绝缘节电位差从 38 V 变为 32 V,也出现了一定程度的下降.解决方案能够起到有效抑制大能量电弧形成的作用.



(a)实施解决方案



(b)未实施解决方案

图 7　绝缘节电位差曲线

Fig. 7　Insulation section potential difference curves

5　结论

提出了一种解决高铁站内机械绝缘节烧损问题的解决方案,通过将铁路原有的机械绝缘节"一头断"变为两边绝缘节均为回流断点的"两头断"方式,同时在侧线和正线间通过电缆(EF 线)连接以优化回流疏导方式.通过合理选择 EF 的位置,使 S24 绝缘节和 X24 绝缘节同时获得最小的电位差,此时应将 EF 设置回流路径上靠近变电所侧的 1/3 处.

试验证明,该方案能够有效减小列车通过时机械绝缘节上的电压和电流,能够有效抑制大能量电弧的形成,避免了拉弧现象对绝缘节和铁轨的损害.同时该方案只需对铁路现有机械绝缘节设置方案进行较小的改动,就提高了经济效益.

参考文献(References):

[1] 毕红军,赵幸,张敏慧.高铁站内绝缘节两端电位差的分析计算[J].北京交通大学学报,2013,37(5):151－156.
BI Hongjun, ZHAO Xing, ZHANG Minhui. Analysis of potential difference of mechanical insulating joint in high-speed railway station[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2013,37(5):151－156(in Chinese)

[2] 张德权.关于沪宁高铁绝缘节烧熔问题的分析研究[J].上海铁道科技,2011,2(2):43－44.
ZHANG Dequan. Analysis study on burning insulted joint problem of Shanghai-Nanjing high-speed railway [J]. Shanghai Railway Technology, 2011, 2 (2): 43-44. (in Chinese)

[3] 杨世武,姜锡义,王星晖,等.高速铁路站内绝缘节和钢轨烧损模拟测试及研究[J].铁道学报,2013,35(10):82-88.
YANG Shiwu, JIANG Xiyi, WANG Xinghui, et al. Study and simulation tests of burning damage to insulation joints and rails in high-speed railway stations[J]. Journal of China Railway Society,2013,35(10):82－88. (in Chinese)

[4] Midya S, Bormann D, Schutte T, et al. Pantograph arcing in electrified railways-mechanism and influence of various parameters[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(4):1931－1938.

[5] 喻奇,吴江涛.客运专线牵引供电系统电气特性的仿真研究[J].电气化铁道,2010,21(5):11－13.
YU Qi, WU Jiangtao. Simulation study on the electrical characteristics of the traction power supply system in passenger special line[J]. Electrified Railway, 2010,21(5): 11－13. (in Chinese)

[6] Holm R. Electric contacts: theory and applications[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1967.