

Study on the transformation of outdoor grounding device in traction substation in Gobi region of Xinjiang

Jianwei Tang

Xinjiang Railway Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

The extreme climate (extreme heat and cold, strong winds and sandstorms) and high soil resistivity (typically $>1000\Omega\cdot\text{m}$) in Xinjiang's Gobi region have led to severe corrosion of grounding electrodes and low current dissipation efficiency in existing outdoor grounding systems at traction substations, directly threatening the safe operation of traction power supply systems. Taking the outdoor grounding system renovation projects at Baguo, Hongqikan, Erbao, Weiyah, Qiquanhu, Hami South on the Lanzhou-Xinjiang Railway Line, and Zhuzhenquan, Wangbu, Tatar, Malan, Heshuo, Yanqi, and Tashidian on the Tuku Line as case studies, this paper explores the application of 20-meter deep well grounding technology to reduce grounding resistance and extend service life. The findings provide reusable design references for traction substations and power grounding projects in similar high-soil-resistivity, sandstorm-prone environments.

Keywords

Xinjiang Gobi region; traction substation; outdoor grounding device; high soil resistivity; resistance reduction technology; grounding resistance

新疆戈壁地区牵引变电所室外接地装置改造研究

唐建伟

新疆铁道勘察设计院有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘要

新疆戈壁地区极端气候(高温严寒、强风沙)与高土壤电阻率(通常 $>1000\Omega\cdot\text{m}$)特性,导致该区域牵引变电所既有室外接地装置普遍存在接地体腐蚀严重、散流效率低等问题,直接威胁牵引供电系统安全运行。本文以兰新线巴哥、红旗坎、二堡、尾亚、七泉湖、哈密南;吐库线珍珠泉、望布、塔塔尔、马兰、和硕、焉耆、塔什店等新疆戈壁地区牵引变电所室外接地装置改造工程为例,探索采用20m深井接地等技术降低接地电阻和提高使用寿命,可为同类高土壤电阻率、强风沙环境下的牵引变电所及电力接地工程提供可复用的设计参考。

关键词

新疆戈壁地区;牵引变电所;室外接地装置;高土壤电阻率;降阻技术;接地电阻

1 引言

电气化铁路牵引回流系统是保障列车正常运行的核心回路,其功能是将牵引变压器输出的牵引电流(经接触网供给列车),通过钢轨、回流线等路径回送至牵引变电所,形成完整的电流循环。而牵引变电所接地装置作为牵引回流系统的“关键节点”与“安全屏障”,不仅直接影响回流电流的导通效率,更决定着系统运行的安全性与稳定性。

新疆戈壁地区独特的自然环境给牵引变电所接地装置的长期稳定运行带来严峻挑战。该区域常年处于极端气候条件下,夏季最高气温可达 40°C 以上,冬季最低气温低至 -30°C ,昼夜温差普遍超过 30°C ,剧烈的温度变化易导致

接地体出现热胀冷缩,造成机械损伤。戈壁地区土壤以砂卵石层为主,孔隙率高达 $35\% \sim 50\%$,天然含水量长期低于 5% ,导致土壤电阻率显著偏高。更为严重的是该类地区存在显著的土壤盐碱化问题,加剧了接地装置的腐蚀失效风险,成为制约接地网使用寿命的核心因素之一。

这些问题不仅使牵引变电所面临因地回流路径不畅导致钢轨对地电位升高,可能引发钢轨与周边金属结构的电化学腐蚀,同时造成回流电流在大地中无序扩散,对周边通信线路、信号设备的电磁干扰。因此通过采取适当的工程措施,保证新疆戈壁地区牵引变电所室外接地装置的长期稳定运行具有重要的意义。

2 牵引变电所接地装置的重要性

牵引变电所接地装置不仅是牵引回流系统的“电流通道”,更是“安全防线”与“稳定基石”。其性能优劣直接

【作者简介】唐建伟(1983-),男,中国新疆人,本科,高级工程师,从事铁路电力、牵引变电研究。

决定牵引回流系统的导通效率、故障响应能力与设备运行寿命，对保障电气化铁路列车安全、高效运行具有不可替代的作用。

首先，接地装置是牵引回流系统的“强制回流通道”，确保电流高效归位。在电气化铁路牵引供电中，列车牵引电流虽主要通过钢轨、回流线回流，但受钢轨与大地之间存在接触电阻（尤其在戈壁地区干燥土壤环境下，钢轨对地电阻更高）的影响，部分回流电流会通过“钢轨→大地→接地装置→牵引变电所负极”的路径分流（即“地回流”）。此时，牵引变电所接地装置需具备低阻抗特性，将地回流高效导入变电所主接地网，再回送至牵引变压器负极，避免因地回流路径不畅导致钢轨对地电位升高（可能引发钢轨与周边金属结构的电化学腐蚀），同时防止回流电流在大地中无序扩散，减少对周边通信线路、信号设备的电磁干扰（如避免信号电缆出现感应电压，影响列车信号接收准确性）。

其次，接地装置是牵引回流系统的“故障保护屏障”，规避设备与人员安全风险。当牵引回流系统出现故障（如回流线断线、钢轨接头松动导致接触不良）时，故障电流会瞬间增大，若无法及时导泄，可能引发钢轨过热、回流设备烧毁等事故。牵引变电所接地装置可通过低阻抗特性，快速将故障电流导入大地，同时配合变电所内的继电保护装置（如回流电流保护继电器），实现故障电流的快速检测与跳闸，切断故障回路，避免事故扩大。此外，当回流系统出现“杂散电流”（如因钢轨绝缘破损导致的泄漏电流）时，接地装置可将杂散电流强制导入大地，防止其对地下金属管线（如输油管道、电缆铠甲）造成电化学腐蚀，也避免人员接触带电设备外壳或钢轨时发生触电事故。

最后，接地装置是维持牵引回流系统“电位稳定”的核心保障，确保设备绝缘安全。在牵引回流正常运行时，接地装置通过与大地形成稳定的电位参考点，将牵引变电所内回流设备（如回流开关、接地隔离开关）的外壳电位钳位在大地电位，避免因回流电流波动导致设备外壳出现悬浮电位（可能与其他设备形成电位差，引发放电击穿）。尤其在新疆戈壁地区等极端环境下，牵引回流系统受风沙、温差影响易出现接触电阻波动，接地装置可通过稳定的散流能力，抑

制回流过程中地电位的异常抬升，确保牵引变压器、回流电抗器等核心设备的绝缘水平不受损害，避免因绝缘击穿导致的牵引供电中断。

3 牵引变电所接地装置改造前存在的问题和分析

供电段变电车间开展接地专项排查工作，兰新线、南疆线等已投运的牵引变电所接地电阻测试试验，测试结果如表1所示。

表1 既有牵引变电所主接地网接地电阻

兰新线			南疆线		
序号	牵引变电所	主接地网接地电阻 Ω	序号	牵引变电所	主接地网接地电阻 Ω
1	巴哥	0.99	1	珍珠泉	4.18
2	红旗坎	3.12	2	望布	3.10
3	二堡	1.35	3	塔塔尔	2.42
4	尾亚	1.52	4	马兰	2.28
5	七泉湖	2.41	5	和硕	2.74
6	哈密南	3.36	6		

由测试结果得出，牵引变电所接地电阻不满足《铁路电力牵引供电设计规范》TB10009规定，牵引变电所接地电阻计算公式见式（1）。

$$R_j \leq \frac{2000}{I_j} \quad (1)$$

式中， I_j 为计算用的流经接地装置的人地短路电流，安培。

牵引变电所接地网长期埋于地下，受盐碱土壤腐蚀、电化学腐蚀、施工工艺缺陷等因素影响，会逐渐出现性能退化，主要体现在下面两个方面：

第一，接地体锈蚀。地下阴暗潮湿环境（尤其是土壤含氧浓度高的区域）会导致接地体（圆钢、扁钢、铜包钢等）腐蚀，严重时会造成接地网局部断裂或接地线与地网脱离，接地网完整性受损，形成安全隐患。牵引变电所接地网开挖后现场情况如图1所示。



图1 牵引变电所主接地网现场情况

第二，接地材质。在2016年9月之前，既有牵引变电所接地采用的复合接地网，其中垂直接地体选用铜包钢接地棒 LDB- $\varnothing 20 \times 2500\text{mm}$ ，室外接地母线选用铜包钢绞线

LDJ-150mm²；没有纯铜棒+铜绞线的复合接地网卓越的导电性和耐腐蚀性及抗氧化性，接地网材质也影响接地效果。

这些问题会导致接地网的泄流能力下降，必须通过改

造(如更换腐蚀接地体、补充接地极)恢复其性能。

4 深井接地技术

深井接地技术,是在高土壤电阻率等复杂环境下,实现高效接地的关键手段。其核心原理是借助专业钻孔设备,在地面钻出深度达20m的深井,将垂直接地极精准放置其中,并在接地极与井壁间填充低电阻率材料,以此构建起稳定、低阻的接地通道。

在高土壤电阻率地区,如新疆戈壁,表层土壤受干旱、风沙影响,电阻率常超 $1000\Omega\cdot m$,传统浅埋接地极难以满足需求。深井接地技术能穿透高阻表层,抵达深层相对稳定、电阻率较低的土壤层。以在土壤电阻率 $1000\Omega\cdot m$ 区域的实践为例,敷设20m深井接地后,接地电阻可降低70%以上,大幅提升接地系统效能。

在一些对空间占用有严格限制的区域,常规水平接地网施工难度大、干扰多。深井接地仅需直径 $0.5\sim 1m$ 的井口,垂直向下安装接地极,极大减少了地面开挖面积,降低对周边设施的影响。

在实际应用中,深井接地技术常与水平接地网配合使用,形成立体接地系统。水平接地网负责浅层电流散流,深井接地则主攻深层土壤,两者优势互补,进一步降低整体接地电阻,提升接地系统应对不同工况的能力。

5 改造工程的实际效果

通过牵引变电所接地网的改造,改造后的接地电阻满足《铁路电力牵引供电设计规范》TB10009规定,牵引变电所接地电阻值满足公式(1)的要求。变电车间的预防性试验中的接地测试实际数据如表2所示。

表2 既有牵引变电所主接地网实测接地电阻

兰新线					南疆线				
序号	牵引变电所	主接地网接地电阻 Ω	深井(个)	接地网面积(m^2)	序号	牵引变电所	主接地网接地电阻 Ω	深井(个)	接地网面积(m^2)
1	巴哥	0.43	7	14800	1	珍珠泉	0.43	16	22500
2	红旗坎	0.42	8	14800	2	望布	0.48	11	16640
3	二堡	0.44	0	10400	3	塔塔尔	0.32	6	16776
4	尾亚	0.46	16	15840	4	马兰	0.42	4	9476
5	七泉湖	0.45	4	12900	5	和硕	0.45	8	17624
6	哈密南	0.38	4	16552	6				

6 结语

本文以新疆戈壁地区牵引变电所室外接地装置改造工程为研究载体,针对该区域高土壤电阻率、强风沙腐蚀、极端温差及局部盐碱化等特殊环境挑战,完成了从原接地系统问题诊断到改造方案设计、施工落地与效果验证的全流程研究,最终形成了适配戈壁地区的牵引变电所室外接地装置改造技术体系,为同类工程提供了可借鉴的实践经验与技术参考。

本文总结的接地装置改造技术,不仅为该地区既有牵引变电所接地系统升级提供了可行路径,也为后续新建牵引

变电所接地设计提供了优化方向,对推动西部极端环境下电力接地工程技术进步、保障电气化铁路安全高效运行具有重要的现实意义与工程价值。

参考文献

[1] 魏宏伟.高速铁路牵引变电所接地技术研究[J].电气铁道,2011(4):1-4
 [2] 王果,任恩,赵海涛.考虑季节变化的牵引变电所接地电阻计算机测量[J].电磁避雷器,2018(5):154-159
 [3] 浅谈110kV变电站接地电阻超标问题及改造.张桂荣.科技与创新,2014(03)