

# 高原铁路通信工程施工技术要点及质量控制策略研究

赵以亮

中国铁路青藏集团有限公司西宁通信段，青海 西宁 810007

DOI: 10.61369/SSSD.2026060042

**摘 要：** 高原铁路是我国边疆与内陆连通的核心交通枢纽，更是推动高原地区经济发展、促进民族文化交流的关键基础设施。因其穿越复杂的高原地理环境，对通信工程的施工技术与质量控制提出了更高的要求。本文结合现场施工实践，系统分析了各类极端环境对工程施工、设备运行及运维作业的具体影响，梳理总结了施工准备、核心工序施工、设备调试三个关键环节的技术要点，从施工全过程管控、环境适应性防控、人员管理、设备保障四个方面，提出了针对性强、可操作性高的质量控制策略，为后续高原铁路通信工程施工、运维及质量管控工作提供一些理论参考和实践借鉴。

**关 键 词：** 高原铁路；通信工程；施工技术；质量控制策略

## Research on Construction Technology Key Points and Quality Control Strategies of Plateau Railway Communication Engineering

Zhao Yiliang

Xining Communication Section, China State Railway Qinghai-Tibet Group Co., Ltd., Xining, Qinghai 810007

**Abstract：** Plateau railways are the core transportation hubs connecting China's border areas with inland regions, and more importantly, they are the key infrastructure for promoting economic development and facilitating ethnic cultural exchanges in plateau areas. Due to their traversal of the complex plateau geographical environment, higher requirements are put forward for the construction technology and quality control of communication projects. Combined with on-site construction practice, this paper systematically analyzes the specific impacts of various extreme environments on project construction, equipment operation and operation and maintenance work, sorts out and summarizes the key technical points of three critical links: construction preparation, core process construction and equipment commissioning. From four aspects—full-process construction control, environmental adaptability prevention and control, personnel management, and equipment guarantee—it proposes targeted and highly operable quality control strategies, providing certain theoretical references and practical insights for the subsequent construction, operation and maintenance, and quality control of plateau railway communication projects.

**Keywords：** plateau railway; communication engineering; construction technology; quality control strategies

### 引言

青藏、川藏、新藏铁路作为我国铁路交通网络的核心组成部分，承担着连接边疆与内陆的重要使命，既有显著的经济价值，也具备重要的战略意义。通信工程是高原铁路运营的“神经中枢”，列车调度指挥、应急通信保障、行车安全监控等核心任务，都离不开通信系统的稳定支撑。

不同于平原地区铁路通信工程，高原地区存在高海拔低氧、昼夜温差大、冻胀融沉、强风沙侵蚀等独特的恶劣环境，这些环境不仅会影响通信设备的稳定性和耐久性，对施工人员的专业素养、操作技能和应急处置能力也提出了更高要求。本文结合我国在高原铁路通信工程施工、运维中的长期实践，深入研究高原铁路通信工程施工技术要点，结合现场实际工况构建科学可行的质量控制策略，对于保障工程施工顺利推进、确保通信系统长期稳定运行、提升高原铁路运营安全性和可靠性，具有重要的理论价值和现实指导意义。

### 一、高原铁路通信工程施工环境特点及对工程和维护的影响

#### （一）高海拔环境的影响

根据国家铁路数据统计，从实际勘察数据来看，川藏铁路部分路段海拔超过4000m，新藏铁路八成以上路段海拔高于

4500m，青藏铁路唐古拉山垭口海拔更是达到5072m，极高海拔环境给通信工程施工和设备运行带来了诸多难题。在高海拔低氧条件下，施工人员体力消耗快、耐力下降，直接影响施工进度和作业效率；通信设备的散热性能会受到明显影响，加之强紫外线辐射，会加速电子元件老化，侵蚀设备外壳和线缆外套，导致设备破损、性能失效。

此外，低海拔地区常用的电磁波传播规律在高海拔地区不适用，较低的大气密度会阻碍电磁波传播，容易形成信号覆盖盲区，影响通信质量。对于运维人员而言，高海拔环境易引发高原反应，轻微者出现头痛、胸闷等不适，严重时危及人身安全；同时，高原地区昼夜温差悬殊，户外巡检时需携带供氧、保暖设备，不仅增加了作业复杂度，也降低了巡检效率<sup>[1-2]</sup>。

### （二）冻胀环境的影响

冻胀是高原地区冬季最典型的地质现象，也是影响通信工程质量的重要因素。其形成主要是因为低温环境下，土壤孔隙中的水分冻结后体积膨胀，产生向上的冻胀力，这种力量作用于地下通信电缆、光缆等设施，容易导致设备位移、结构变形，严重时会造成线缆断裂，直接中断通信系统运行。

冻胀还会破坏土壤原有结构，使土壤孔隙增大、质地疏松；到了春季，气温回升导致冻土消融，会引发融沉现象，土壤承载力大幅下降，进一步加剧通信设施的融沉、变形，增加后期运维的难度和成本。在施工环节，冬季冻结后的土壤质地坚硬，开挖、敷设等工序难度显著增加，不仅消耗更多人力物力，还容易损坏施工设备，影响施工进度和工程质量<sup>[3-4]</sup>。

### （三）低气压环境的影响

高原地区的低气压环境，对通信工程施工质量和设备运行稳定性的影响不容忽视。高原铁路通信工程中使用的部分精密设备，其参数校准是基于标准大气压环境，在低气压工况下，设备内部元器件的工作性能会发生偏移，进而导致通信质量下降<sup>[5]</sup>。

在现场施工中，低气压会干扰焊接作业的电弧稳定性，导致焊接接头质量不达标，间接影响通信线路的传输性能和使用寿命；同时，低气压环境下空气密度减小，机械设备的散热效率会明显降低，若不能及时采取散热措施，容易导致设备过热故障，影响施工进度和设备正常运维。

### （四）强风沙环境的影响

强风沙是高原铁路通信工程面临的另一大难题，其对工程施工、设备运行和线路运维的影响是长期且多方面的。在强风沙天气中，细小的沙尘颗粒会渗透到通信设备的外部防护结构中，磨损、侵蚀设备外壳，严重时还会侵入设备内部，导致核心零部件卡滞、损坏，影响设备运行稳定性。

此外，强风沙天气会大幅降低户外能见度，给通信工程户外施工、日常检修作业带来极大不便，不仅增加了作业人员的操作难度和安全风险，容易引发安全事故，还会严重影响作业效率。对于架空通信线路，强风会导致线路剧烈摇晃、摆动，影响通信传输的可靠性；对于埋地线路，长期的风沙堆积和侵蚀会改变地表地貌，导致埋地光缆受压、位移，进而引发线路故障。

## 二、高原铁路通信工程施工技术要点

高原铁路通信工程施工技术的核心，是结合高原极端环境特点，在常规铁路通信工程施工技术的基础上，进行针对性调整和优化，确保技术适配现场工况。结合三条高原铁路通信工程施工实践，施工技术要点主要集中在施工准备、核心工序施工、设备

调试三个关键阶段，三个阶段环环相扣、缺一不可，共同保障工程整体质量。

### （一）施工准备阶段技术要点

做好施工准备是工程顺利推进的前提。结合高原施工特点，重点要做好现场勘察、设备材料管控、施工人员培训三项工作。

首先，要对施工现场进行全面勘察和科学评估，重点排查地形地貌、冻土分布、气压变化、气温规律等关键参数，通过收集、分析现场气象、地质数据，制定符合高原实际的施工组织方案和应急处置预案，为工程有序推进提供保障。比如在冻土地段施工，需要专门设计施工方案，配备专用施工机械设备，同时严格筛选施工材料和通信设备，确保其能够适应冻土区域的施工和运行要求。

其次，要对所有进场的设备、材料进行严格检测和性能校验，重点核查其在高海拔、低气压、强风沙、大温差环境下的安全性和可靠性，杜绝不合格设备、材料进场使用。

最后，要加强施工人员专项培训，结合高原施工难点和安全要求，定期开展培训和技能考核，让施工人员熟练掌握高原施工技术和安全规范，提升专业素养和实操能力，降低施工安全风险。

### （二）核心工序施工阶段技术要点

核心工序施工质量直接决定工程整体质量，需要结合不同施工内容的特点，采取针对性技术措施，严格把控质量关口。

在通信线路敷设方面，针对架空线路，要充分考虑冻胀、融沉对杆塔基础的影响，可采用深埋杆塔基础或桩基础工艺，在基础周边设置保温防护措施，防止地基因冻胀融沉发生变形；导线、光缆架设要避开大风天气，选择风力较小的时段作业，确保架设张力均匀，避免线路受损。

针对埋地光缆，要根据冻土类型和埋藏深度，选择合适的开挖机械和施工方法；季节性冻土地段，优先在非冻结期开展沟槽开挖，若确需在冻结期施工，要采取专项破冻技术，科学处置开挖出的冻土，防止冻土消融后影响沟槽边坡稳定性。同时，在光缆敷设过程中，要合理控制牵引力和敷设速度，避免光缆过度拉伸、弯曲，造成线路损伤<sup>[7-8]</sup>。

在管道施工中，尤其是冻土区域，管道材质要优先选择兼具柔性和耐低温性能的产品，避免管道因冻胀融沉发生破损，同时加强管道接口的密封和防腐处理，延长管道使用寿命。在通信机房和基站建设方面，机房选址要避开风口、地质不稳定区域，房屋结构设计要充分考虑高原抗风、防寒、保温需求，确保机房和基站能够稳定运行。

### （三）设备调试阶段技术要点

高原环境下的设备调试，不能照搬平原地区的调试流程，必须充分考虑高海拔、低气压等环境因素的影响，采取针对性调试方法。

设备安装完成后，首先进行初步调试，重点检查设备通电情况，确认设备能够正常启动；随后开展单机调试，逐一检测发射功率、接收灵敏度等各项功能指标，与设备技术手册标准值进行比对，若出现参数偏差，要重点排查高原环境的影响，及时进行校准调整。

单机调试合格后，开展通信网络系统联网调试，测试各节点间通信链路的畅通性、数据传输的稳定性，以及语音、图像等核心业务的正常性。调试过程中，要重点监测设备在极端温度下的

运行状态，可通过模拟高低温环境进行专项测试，确保设备能够适应高原昼夜温差大的工况。同时，要严格测试系统冗余备份功能和应急切换功能，确保突发故障时，通信链路能够及时切换，保障通信连续性。

调试完成后，要进行一段时间的系统试运行，密切监测各项性能指标，收集运行数据，针对试运行中发现问题及时优化调整，为后续系统常态化运维提供数据支撑。

### 三、高原铁路通信工程质量控制策略

#### （一）施工全过程管控，筑牢质量基础

高原铁路通信工程质量控制，必须贯穿项目立项至竣工验收的全过程，构建全流程闭环管理体系，确保每个环节都有管控、有监督。

施工前期，在完成常规技术交底、资源配置的基础上，要结合高原环境特点，组织技术人员、现场施工人员开展施工方案专项研讨，邀请行业专家进行论证评估，确保施工方案科学可行、贴合现场实际。

同时，建立健全材料进场检验制度，严格执行进场验收流程，定期对进场材料进行抽样检测，坚决杜绝不合格材料进场、以次充好，从源头保障工程质量。施工过程中，推行精细化管理，将整体施工任务分解为若干细分工序，明确每个工序的质量控制点、质量标准和责任人员，严格执行自检、互检、交接检“三检制度”，只有上一道工序质量达标，才能进入下一道工序施工，确保工序质量可控<sup>[6]</sup>。

此外，可依托数字技术构建智能化施工管理平台，整合施工进度、质量检测、环境监测等核心数据，实现质量管控的智能化、高效化，提升管控水平。施工后期，制定严格的验收规范和标准，组建建设、施工、监理、设计等多方联合验收小组，对工程质量进行全面验收，重点核查工程质量是否符合设计要求、行业标准和高原运行适配性，验收合格后方可投入运营。

#### （二）强化环境适应性管控，破解核心难题

针对高原不同极端环境的影响，要制定差异化的防控和优化措施，确保工程质量和设备运行稳定性。

针对冻胀融沉环境，要加强冻土层动态监测，实时掌握冻土变化规律，优化沟槽开挖和防冻垫层铺设工艺，春季融沉期加大巡检频次，及时发现并处置通信设施变形、位移等隐患，防止隐患扩大。

针对低气压环境，优化设备安装和调试工艺，重点提升焊接、熔接合格率，优先选用经高原专项测试合格的专用通信设备，确保设备性能适应高原工况。针对强风沙环境，加强设备密封防护设计，规范线缆标识保护，在风沙频发路段增设防风沙屏障，减少风沙对设备和线路的侵蚀。

#### （三）加强人员管控，提升施工质量

人员是工程施工和运维的核心，加强人员管控，是保障高原铁路通信工程质量和安全的关键。在施工人员管理方面，要严格筛选具备高原施工经验的从业人员，结合高原施工特点，开展专项培训和技能考核，规范施工操作流程，确保施工人员熟练掌握高原施工技术和安全要求。同时，科学配置施工人员，合理排班，避免人员过度劳累，配备专业医疗保障人员和应急救援设

备，全方位保障施工人员人身安全<sup>[9]</sup>。

在运维人员管理方面，同样要加强专项培训，重点提升运维人员的高原环境适应能力和设备故障排查、处置能力，为运维人员配备齐全的防护装备，优化户外运维作业流程，降低作业风险，提升运维效率和质量。

#### （四）严格设备管控，保障设备性能

设备运行稳定性直接关系到通信系统的正常运行，需要构建设备全流程闭环管控体系，实现设备选型、进场、安装调试、运维的全环节规范化管控。在设备选型阶段，要优先选用经高原极端环境专项测试合格的专用通信设备，确保设备能够适应高海拔、低气压、强风沙、大温差的运行环境。

设备进场阶段，严格执行质量检验流程，重点核查设备质量、防护性能和高原适配性，杜绝不合格设备投入使用。安装调试阶段，规范操作流程，重点测试设备在极端环境下的运行稳定性，精准校准设备参数，确保调试质量达标。运维阶段，建立设备定期巡检制度，结合青藏、川藏、新藏三条铁路的实际工况，优化巡检方案，定期开展设备保养维护，完善故障应急预案，足额储备应急物资，提升故障快速处置能力，及时处理设备故障，降低运维人员户外作业压力，保障通信系统持续稳定运行。

### 四、结语

结合青藏、川藏、新藏三条高原铁路通信工程施工实践来看，高原铁路通信工程施工面临着高海拔、冻胀融沉、低气压、强风沙等极端环境的综合制约，加之高海拔低氧环境对运维人员作业能力和人身安全的影响，其施工难度和运维压力远高于平原地区铁路通信工程<sup>[10]</sup>。

本文结合在高原铁路通信工程施工、运维中的长期实践经验，系统分析了各类极端环境对工程施工、设备运行和人员作业的影响，梳理总结了施工准备、核心工序施工、设备调试三个关键环节的技术要点，从施工全过程管控、环境适应性防控、人员管理、设备保障四个方面，提出了针对性强、可落地的质量控制策略。希望本文的研究成果，能够为我国高原铁路通信工程施工、质量管控和后期运维提供参考和借鉴，助力提升高原铁路通信工程建设质量和通信系统长期稳定运行水平，为高原铁路高质量发展提供技术支撑。

### 参考文献

- [1] 赵亚雄. 高原长大铁路隧道施工安全风险分级管控研究 [D]. 石家庄铁道大学, 2024.
- [2] 樊子路. 重大铁路工程项目路地多主体协同管理研究 [D]. 北京交通大学, 2024.
- [3] 王昱. 山区铁路隧道钻爆法施工安全风险演化路径及防控研究 [D]. 中南大学, 2024.
- [4] 刘凯. 重大铁路隧道工程施工安全韧性形成机理与提升机制研究 [D]. 北京交通大学, 2025.
- [5] 梁雨灵. 铁路桥梁施工安全风险因素聚类分析及其数据库研究 [D]. 中南大学, 2024.
- [6] 刘雅倩. 西部山区桥梁工程施工安全风险演化及管控研究 [D]. 中南大学, 2024.
- [7] 周委. 高原铁路混凝土制备与施工质量控制技术 [J]. 建设监理, 2024, (04): 88-90+115.
- [8] 郭浩然. 高原单线铁路隧道富水段超前注浆堵水施工技术 [J]. 现代盐化工, 2024, 51(02): 68-70.
- [9] 王小虎. 我国西部铁路建设项目监理的主要风险及应对措施 [J]. 今日财富, 2024, (10): 11-13.
- [10] 陈曦. 大型铁路建设对高原地区土壤侵蚀影响的研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2024.