

文章编号: 1674—8247(2023)06—0035—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.06.007

## 复杂艰险山区铁路接触网设计技术思考

杨佳 杨洋 鲁小兵 陈奋飞 邵岩 蔡俊宇

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**复杂艰险山区沿线地形地貌复杂、地质灾害频发、气候环境恶劣,接触网工程设计面临着诸多困难和挑战。本文对近年来开展的典型山区铁路(贵广、沪昆、成贵、成兰铁路等)进行了总结,基于接触网服役性能以及功能目标需求,分别从服役环境、工程接口、技术方案、标准规范等多个方面着手,理清接触网系统重难点问题及关键技术,提出有针对性的措施及解决方案,对存在问题展开深入思考并提出研究方向,为后续复杂艰险山区的接触网设计提供设计思路。

**关键词:**复杂艰险山区;接触网;设计;措施;理念

**中图分类号:** U225

**文献标志码:** A

## Reflections on the Design Techniques for the Railway Overhead Contact System in Challenging Mountain Areas

YANG Jia YANG Yang LU Xiaobing CHEN Fenfei SHAO Yan CAI Junyu

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Challenging mountain areas are characterized by complicated terrain, frequent geological disasters, and harsh climates, leaving overhead contact system engineering design facing numerous difficulties and challenges. This paper reviewed typical mountain railways built in recent years (such as Guiyang-Guangzhou, Shanghai-Kunming, Chengdu-Guiyang, Chengdu-Lanzhou). Based on the performance of the overhead contact system and the functional objectives required, it approached the subject from several aspects including operational environment, engineering interfaces, technical plans, and standards and norms. The paper clarified critical technical and complex issues of the overhead contact system, proposing targeted measures and solutions. It offered deep thought into existing issues and suggested research directions, providing conceptual and design ideas for the subsequent design of overhead contact systems in complex and challenging mountain areas.

**Key words:** challenging mountain areas; overhead contact system; design; measures; ideas

复杂艰险山区铁路沿线地形地貌复杂、地质灾害频发、气候环境恶劣,线路多跨越江河,穿越地震断裂带,强雷电、强日照、重覆冰且伴随有极端温度。牵引供电系统特别是裸露在外、无备用的接触网系统面临的工程条件极为复杂,服役环境异常恶劣,且高原山

区人烟稀少、寒冷缺氧、交通困难,在施工建造、抢修运营方面承受着恶劣的外部环境影响<sup>[1]</sup>。复杂艰险山区铁路接触网工程设计面临着诸多的困难和挑战,诸如:如何确保设计方法、技术方案科学合理;如何保障工程安全可靠、持久稳定运行;如何做到设计方案及

收稿日期:2023-03-11

作者简介:杨佳(1980-),男,教授级高级工程师。

引文格式:杨佳,杨洋,鲁小兵,等.复杂艰险山区铁路接触网设计技术思考[J].高速铁路技术,2023,14(6):35-38.

YANG Jia, YANG Yang, LU Xiaobing, et al. Reflections on the Design Techniques for the Railway Overhead Contact System in Challenging Mountain Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(6):35-38.

装备有利于施工建造,如何实现少维护免维修,如何实现灾后快速恢复等。为此,将复杂艰险山区作为电气化铁路接触网系统设计环节的一个重难点方向,研究并建立相应的技术体系,实为当前接触网系统设计领域的重中之重。

本文依托于我国西部山区的沪昆、贵广、成贵、成兰、拉林等电气化铁路,开展复杂艰险山区环境下有关接触网工程设计的剖析与思考,总结、提炼设计中的重难点问题及关键技术,提出科学合理的技术措施及方案,为复杂艰险环境下的接触网施工与运维提供技术支撑及设计理念。

## 1 环境资料收集及设计

电气化铁路接触网设计相关环境基础资料多达10余项,包含地震烈度、风速、温度、覆冰、雷暴日、冻土、地热、日照、污秽、腐蚀等。与土建密切相关的资料可根据土建相关专业获取;但诸如覆冰、污秽、雷暴日等接触网特有的环境资料,一般只能参照电力行业等他领域获取。在实际工程中,如何完整高效地获取复杂艰险山区铁路接触网设计的气象、地质等基础环境资料,是目前接触网工程设计面临的较大难题,主要包括:铁路沿线气象资料匮乏,难以收集;数据样点不足,气象站点少且年限较短;气象数据覆盖范围有限,与沿线地理位置不匹配;数据项点不全,对接触网设计针对性不够,如隧道内环境资料、沿线腐蚀源等基础资料。

据此,首先应收集电气化铁路沿线的气象环境数据,如共建气象、环境观测站点;共享气象、环境观测数据;沿线布置覆冰、污秽等监测装置;绘制电气化铁路专有气象环境分布区等。基于气象环境参数,设计须加强电气、机械、材料、结构及动力学等方面的理论研究。条件可行的情况下建设高原、覆冰、低温、腐蚀、隧道内等复杂环境所具备专业特征的电气化试验站或基地。开展试验并累积经验数据,理清接触网悬挂参数、材料及装备等在各特殊环境条件下的服役机理,并真正掌握其演变规律。

## 2 服役性能保持研究及设计

### 2.1 高海拔电气性能方面

海拔高度的增加伴随着大气密度降低、紫外线增强以及长大隧道内湿度增高等特殊环境影响,电气绝缘性能会受到严重影响。目前高原电气化铁路开展了一些人工气候罐、工程现场的耐压击穿试验,完成了绝缘子、隔离开关及避雷器等设备的空气绝缘间

隙、爬电距离以及耐压水平等维度的高海拔电气绝缘修正<sup>[2]</sup>,具备全面指导高原铁路接触网设备选型的技术能力。此外,还需从以下几个方面开展思考和深化研究:基于高原山区温度、湿度、凝露多因素耦合作用下的绝缘强度修正;基于高海拔环境背景下的机车-接触网-变电所系统间的多维度绝缘配合;基于不同海拔、不同接触网电压等级条件下的空气绝缘间隙精确取值;长大隧道内绝缘污秽取值的监测和研究。

### 2.2 高地震烈度方面

山区铁路往往位于高地震烈度区,多穿越地质断层代。考虑到地震发生的罕见性较高及随机性较大,因此接触网设计对其重视不够、研究甚少。经过汶川、东日本、福岛大地震等调研来看,地震引起了大量的接触网震害,支柱折断、开裂、倾斜,架空线索拉断,支撑定位装置破坏等地震事故仍有发生,且在地震烈度较高时接触网震害率影响运营里程较土建工程更甚,对灾后快速恢复方面要求更加严苛。结合开展的4柱3跨1:1接触网原型锚段、隧道吊柱化学锚栓后锚固等系列原型足尺振动台试验<sup>[3]</sup>,目前已提出接触网抗震设防策略以及主要的设计原则,诸如:高地震烈度区接触网支柱应采用抗震性能更优、便于灾后抢修维护的法兰连接型钢柱;接触网支柱的固有频率应与其所在桥梁的频率不一致、避免共振;同时接触网抗震设计应按“坠砣-支柱-腕臂-线索”共同耦合作用下的完整锚段进行系统考虑等<sup>[4]</sup>。

### 2.3 高深峡谷风方面

山区铁路河谷众多、峡谷风盛行,对接触网结构设计有着更高的要求。相对现行接触网设计规范,其结构设计还应充分结合山区峡谷的实际地形开展CFD地形模拟;开展峡谷风荷载计算;条件允许下可采用接触网气弹模型风洞试验等进行相关验证<sup>[5]</sup>。高山峡谷区段接触网设计应结合实际峡谷地形系统提出风荷载计算方法;精确模拟并得出峡谷地形修正系数;并结合接触网服役特性如补偿与无补偿,单线索、双线索以及考虑吊弦耦联的接触悬挂等因素,科学合理考虑支柱、线索等的风振系数影响及取值。

### 2.4 极端温度(低温、大且频繁温差)

极端温度方面主要包括更低的温度(低于 $-30^{\circ}\text{C}$ ),更大的温差(大于 $100\text{K}$ )以及日频繁温度变化。在接触网工程设计中,应重点考虑接触导线、弹性吊索、附加导线、电气连接线等线索的静态变化及在极端环境下列车通过时的动态空间位移状态;在材料方面,结合不锈钢、铝合金、铜合金以及钢材等不同金属在低温下的屈服、冲击试验<sup>[6]</sup>,可知在极端温度下应优选

有色金属,提高钢材等级,减少焊接、提升焊接质量,积极采用耐候钢、复合材料等高性能材质。

### 2.5 覆冰及雷击方面

在覆冰方面,山区铁路如云贵高原、川西高原部分区段覆冰非常严重,在接触网工程设计中,应充分考虑覆冰前、中以及融冰后悬挂参数、荷载以及结构强度等参数的状态变化及需求。同时,接触网防融冰措施已成为每年冬季运营维护的重难点问题,目前尚未有较为成熟、高效的手段或设备。因此,山区铁路还需在覆冰监测预测、防融除冰设备及工器具等方面加大科研开发及工程应用的力度。

在防雷领域,接触网防雷自海南东环铁路首次采用回流线升高兼做避雷线的防雷设计后,经进一步的发展和丰富,目前在标准规范以及工程应用中已较为成熟;对于山区铁路接触网防雷,还需进一步结合山区微地形条件,开展诸如“V”型峡谷区段防雷设计、高架车站综合防雷技术的研究。

### 2.6 高地热及紫外线方面

在高地热、强日照紫外线方面,设计时要重点考虑特殊气候环境下材料的选择;此外,还需深入探究装备在大电流、高频振动运行条件下的腐蚀、老化的失效机理及演变规律,着力提升重点特殊区段的材料性能及装备选型。从技术性能、产品质量以及使用寿命等方面制定科学合理的运营维护策略。

### 2.7 冻土、污秽及腐蚀方面

在冻土方面,接触网的支柱基础以及接地系统应为工程设计重点考虑内容。在基础设计时,首先应确保基础施工时不造成路基防冻胀工程的二次破坏;此外,还需结合冻土深度以及冻融特性开展基础结构形状、承载力及倾覆等结构设计;同时,还应充分考虑基础施工的可行性及便捷性。

在污秽及腐蚀方面,由于接触网沿线架设的地形地貌的特殊性、接触网装备材料的多样性以及接触网电气及机械间距性能的复杂性,相关环境资料特别是隧道内环境缺乏长期监测和数据累积,现行标准规范缺少细节性、针对性的规定,目前工程设计较为随意或者过于保守,科学性及经济性有待进一步提升。

综上所述,关于山区铁路复杂的服役环境,在接触网工程设计中:第一方面,应重视铁路沿线气象、地质等环境基础大数据的长期累积;第二方面,应重点加强接触网电气、机械、材料、结构及动力学等服役性能方面的基础理论研究;第三方面,有条件时积极建设或共建高海拔、隧道内、覆冰区以及重腐蚀等复杂艰险环境下的铁道电气化专业试验站点或基地,开展

相关试验,不断累积数据,以进一步掌握服役机理和演变规律。

## 3 工程接口配合及设计

复杂艰险山区电气化铁路沿线桥隧比例高、地形地貌复杂,接触网工程接口众多且复杂,与土建工程的接口设计主要涉及隧道、桥梁、路基3个方面。

### 3.1 与长大隧道(群)工程间接口

配合隧道专业科学合理确定隧道断面尺寸是接触网工程设计的关键环节;接触网应根据山区铁路的高海拔电气绝缘修正、覆冰及温度等环境影响,满足接触网安全服役、弓网取流以及抢修维护等功能需求,准确、合理地布设接触悬挂、附加导线、补偿设施及开关设备等,还应充分考虑接触网施工误差、后期轨道变化以及接触网运营调整等多因素的影响,全面、系统地提出接触网所需的隧道断面尺寸以及加宽、加高、增设洞室等要求。同时,在长大隧道内的接地设计中,无论高速铁路还是普速铁路,均应优先考虑采用综合接地或设置共用接地体方式,以便于各专业、各设备的可靠接地,同时还应尽量减少跨越接触网的接地跳线及连接固定件。

### 3.2 与桥梁工程间接口

山区铁路应重点关注峡谷区段及高桥墩区段接触网风荷载的计算及取值,开展支柱选型及悬挂参数设计,并充分考虑桥梁、桥墩挠度影响。做好既有桥梁立杆的勘察工作,加强既有桥梁的结构检算和接口配合,因地制宜地采用独立桩墩、支架、转换底座等方案。同时确保支柱(含法兰底座)、隔离开关及下锚坠砣等设施的施工、维修空间,并设置后期运营维护的操作检修空间及平台。

### 3.3 与路基工程间接口

考虑山区铁路地形地貌复杂、狭小,路基挡墙立柱,在水沟、电缆沟槽处接触网基础设置,电缆敷设方式等是山区电气化铁路的重难点。复杂艰险山区铁路(特别是普速铁路)腕臂柱应优先采用小截面尺寸、轻型钢支柱,车站横跨部分优先采用小截面格构式钢柱或钢管柱。接触网支柱及基础设计不仅应能适应路基宽度,减少培土砌石,同时避免与水沟、电缆槽等设施冲突,还应满足运输方便、施工及抢修便捷等施工和运维的要求。

## 4 系统方案及设计参数

### 4.1 支(吊)柱基础

一是遵循土建同步预留、预埋的理念,充分考虑



结构可靠性及后期运维便捷性;二是切实加强质量控制,从设计方案、工程管理、施工工法工艺、工程验收等方面提高预留预埋精度;三是加强基础的成品验收和保护,如大瑞、成兰等山区铁路,土建施工工期长达10年及以上,施工期间如何做好成品保护,如何开展验收,如何确保电气化施工进场时成品完好无损,属于应重点关注和解决的问题。

#### 4.2 接触悬挂及装备选型

以可维护性为目标,构建基于复杂艰险环境下的接触网系统及装备的RAMS方法及模型。同时,在满足功能需求及运行长期稳定的前提下应最大程度优化系统方案并减少工程数量,简化装备,优先采用高性能、高可靠性且绿色、环保的材料。

#### 4.3 供电设施

山区铁路桥隧比例非常高、地形地貌复杂,重点应针对复杂艰险特点的设计、运维两个维度共同制定供电抢修、维护策略。在此策略指导下,首先应合理设置电分相,其次应尽量减少供电分段及相应开关、线缆数量,如简化隧道(群)区段电分段设置,取消车站两端电分段,减少车站、枢纽及动车所供电分束等,降低设备运营维护量及安全隐患。

#### 4.4 供电线架设

首先做好供电线路的前期规划和预留,充分利用隧道斜井、横通道等空间进行供电线路的选取。其次,应高度重视并积极参与变电所址选择。山区铁路所亭远离铁路线,应优先采用大跨距高铁塔方案,减少悬挂点,降低危树影响,该方案已在成贵、玉磨、沪昆等山区铁路成熟应用。第三,山区铁路隧道多,需采用大量电缆,需要解决电缆及附件的可靠性、稳定性问题,一是提升电缆在紫外线、覆冰、极端温度等环境的适应性,二是提高电缆附件的施工制作工艺,三是从系统方案上突破:(1)尽量减少电缆附件,如根据规范采取安全措施后,将电缆金属护套感应电势的50 V提升至规范中最大值300 V,增大分段长度以大幅减少电缆头数量;(2)隧道内采用架空供电线代替电缆可行性,通过降低供电灵活性或调整供电检修策略,大幅减少电缆的使用。

#### 4.5 防灾救援

山区铁路灾害频繁,应采用“避→抗→防→消→改”的防灾设计理念,提升技术标准,采用高性能材料及装备,对接触网系统本身强基固本;山区铁路环境恶劣,供电工区间隔较远且交通不便,应配备快捷、高性能的车辆、工器具甚至无人机等设备,科学合理地设置监测预警诊断系统及设备。

#### 4.6 景观设计

在景观设计方面应结合大型车站、重点桥梁做到人文融合、自然和谐。沿线少数民族众多,应尊重当地各民俗和宗教,接触网外观形状、色彩及图案等避免歧义或冲突。

### 5 技术标准规范

山区铁路标准规范方面。目前现行标准缺乏接触网寿命设计,对“大风”、“严重覆冰”等特殊环境定义不清晰;缺少特殊环境下的差异性、匹配性、针对性以及细节性描述;相应装备、施工及运维等标准体系不完善。对于复杂艰险环境下的技术标准应在现有基础上合理提升,逐步建立科学的山区铁路技术标准体系。

山区铁路工程投资方面。结合复杂艰险的外部条件,充分考虑人工机械效率的降低及人工及机械单价的增高;由于影响运输的山体滑坡、道路结冰等现象频发,支柱线材等主材物资在高原山区运输不便。同时,沿线地广人稀且交通设施落后,货物集散地、料库至安装地运输困难。考虑钢柱按重量或外形尺寸等计费方式并结合当地物料水平与一般地区较大差异,因此,应科学合理地提升复杂艰险环境引起的工程投资,编制针对复杂艰险山区、高原等特殊环境下的工程造价体系。

### 6 结论

山区铁路环境恶劣、条件艰险,应通过解决好“三大设计关系”、坚守“四种设计理念”、推进“四个设计方向”,逐步构建复杂艰险山区高速铁路防灾减灾、抗灾救灾技术体系,以保障山区电气化铁路的安全可靠、持续稳定运行。

三大设计关系:一是做好理论研究和工程试验的有效联系,做到理论和方案成熟可靠;二是统一设计方案与供电抢修、维护维修策略的关系,做到方案和装备简洁耐用、易于维护;三是兼顾提升技术标准和经济合理性的关系,做到工程科学合理。

四种设计理念:一是在结构安全方面做加法,技术方案上提高系统及装备的抗灾能力,运营维护上提升救灾能力;二是在设备数量方面做减法,最大程度优化方案,减少设备数量,简化装备;三是在系统性能方面做乘法,充分考虑系统、环境、接口的迭代影响,提升防灾能力;四是在故障风险方面做除法,主动规范风险,理清边界接口,将工程风险前置,提升减灾能

(下转第61页)

- Preparation of Feasibility Study Report of Investment Projects [S].
- [3] 周勇政,陈良江,高策. 我国高速铁路桥梁设计技术及探索[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 11–15.
- ZHOU Yongzheng, CHEN Liangjiang, GAO Ce. Design Techniques and Exploration of High-speed Railway Bridges in China [J]. Bridge Construction, 2018, 48(5): 11–15.
- [4] 铁建设〔2010〕241号,高速铁路桥涵工程施工技术指南[S].
- Tie Jian She〔2010〕No. 241, Construction Technology Guidelines for High-speed Railway Bridge and Tunnel Projects [S].
- [5] WRI, WBCSD. The Greenhouse Gas Protocol [S].
- [6] BSI, PAS 2050: 2008 Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Service [S].
- [7] GB/T 51366–2019 建筑碳排放计算标准[S].
- GB/T 51366–2019 Building Carbon Emission Standards [S].
- [8] 环办气候函〔2022〕111号,关于做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作通知[S].
- Huan Ban Qi Hou Han〔2022〕No. 111, Work Notice Related to Management of Enterprise Greenhouse Gas Emissions Report in 2022 [S].
- [9] T/CECA-G 0219–2023 企业碳达峰行动方案编制指南[S].
- T/CECA-G 0219–2023 Guidance for Compiling Plan of Enterprise Carbon Dioxide Peaking [S].
- [10] 银发〔2021〕96号,绿色债券支持项目目录(2021年版)[S].
- Yin Fa〔2021〕No. 96, Catalogue of Green Bond-supported Projects (2021 Edition) [S].
- [11] 谢毅,肖杰. 高速铁路发展现状及趋势研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 23–26.
- XIE Yi, XIAO Jie. Research on High-speed Railway Development Status and Trend [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 23–26.

(上接第38页)

力,消除故障风险。

四个设计方向:第一,建立健全环境、试验数据,建设有电气化专业特色的观测试验站点基地;第二,深化基础理论研究,建立 RAMS 指标体系;第三,采用建维一体化的设计方案,合理提高标准,科学优化,优配材料及装备,实现全生命周期设计理念;第四,逐步完善并丰富标准规范和造价体系。

## 参考文献:

- [1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 高地震烈度复杂山区接触网抗震设计技术研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.
- China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Research on Seismic Design Technology of Catenary System in High Seismic Intensity Complex Mountain Area [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.
- [2] 杨佳,陈奋飞,陈可,等. 电气化铁路接触网系统抗震设防策略探讨[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(10): 85–89.
- YANG Jia, CHEN Fenfei, CHEN Ke, et al. Discussion on the Seismic Fortification Strategy for Overhead Contact System in Electrified Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(10): 85–89.
- [3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 严寒环境下接触网零部件的适应性研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.
- China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Study on Adaptability of Catenary Components in Cold Environment [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.
- [4] TB 10009–2016 铁路电力牵引供电设计规范[S].
- TB 10009–2016 Code for Design of Railway Traction Power Supply [S].
- [5] 陈可,陈奋飞,梁婧文,等. 拉林铁路隧道内接触网腕臂结构研究[J]. 电气化铁道, 2021, 32(S1): 180–181.
- CHEN Ke, Chen Fenfei, Liang Jingwen, et al. Study on Bracket Structure of OCS in Lalin Railway Tunnel [J]. Electric Railway, 2021, 32(S1): 180–181.
- [6] 杨佳. 复杂艰险山区电气化铁路接触网关键技术问题及应对措施[J]. 铁道标准设计, 2021, 64(5): 149–152.
- YANG Jia. Key Technical Problems and Corresponding Solutions of the Overhead Contact System of Electrified Railway in Complicated and Dangerous Mountainous Areas [J]. Railway Standard Design, 2021, 64(5): 149–152.