

Construction technology and safety control measures of pilot cable for suspension bridge across canyon

Yongting Wang

Qinghai Provincial Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810001, China

Abstract

As a critical component of transportation infrastructure, the installation of pilot cables in cross-canyon suspension bridges is the primary phase, directly impacting both safety and cost-effectiveness in subsequent main cable construction. This study addresses challenges including complex canyon topography, adverse weather conditions, and high construction difficulty through theoretical exploration of pilot cable installation techniques and safety control measures. It elucidates fundamental principles and significance of pilot cable installation, analyzes how canyon terrain and meteorological factors influence construction processes, and conducts detailed comparisons of commonly used methods such as rocket launch ejection, UAV towing, and airship traction. The research establishes a comprehensive safety management system encompassing risk assessment, risk evaluation, pre-notice procedures, and emergency response protocols. Through theoretical analysis, optimized construction techniques and safety control measures are proposed.

Keywords

cross canyon suspension bridge; pilot cable erection; construction technology; safety control; risk assessment

跨峡谷悬索桥先导索架设施工技术及安全控制措施

王永廷

青海省交通规划设计研究院有限公司, 中国·青海 西宁 810001

摘 要

跨峡谷悬索桥作为交通基础设施中的关键工程, 先导索架设乃首要环节, 直接关乎后续主缆施工的安全保障与经济合理性。聚焦跨峡谷悬索桥先导索架设所遇的复杂峡谷地形、恶劣气象条件及高施工难度等难题, 从理论角度深度钻研先导索架设施工技术及安全控制的相关措施。说明了先导索架设所涉及的基本原理以及重要性, 解析峡谷地形及气象因素对架设施工的影响原理; 细致研究了普遍采用的先导索架设技术, 如火箭发射抛送法、无人机拖曳法、飞艇牵引法等, 对各项技术的适用情形与技术特性予以比较; 搭建起先导索架设的安全管控体系, 有风险判别、风险估价、安全预通知及应急处办等要点; 依托理论分析提出施工技术及安全控制措施的优化方案。

关键词

跨峡谷悬索桥; 先导索架设; 施工技术; 安全控制; 风险评估

1 引言

伴随我国交通建设事业迅猛推进, 跨峡谷悬索桥凭借可跨越深谷、适配复杂地形等长处, 在山区交通网络构建中得以普遍应用。作为跨峡谷悬索桥施工关键, 先导索完成架设, 成为主缆施工的基石, 其成功架设, 为后续诸如猫道架设、主缆架设等工作给予了前提支撑。跨峡谷之处往往存在地形高陡、峡谷跨度较大、风速颇高、风向不稳等情形, 上述因素给先导索架设增添了极大挑战。先导索架设质量及安全, 直接关乎整个桥梁施工的进度与成本, 要是出现差错, 或引发工程滞后、资金损耗乃至安全灾祸。目前, 国内外学

者针对悬索桥先导索架设展开了一定的探究。在施工技术方面, 进行了各种架设方法实践上的探索以及应用层面的总结; 在安全控制方面, 也开展了部分围绕风险分析与安全管理的研究探索, 对跨峡谷特殊环境中先导索架设的理论研究未达系统深入程度, 对地形、气象等因素影响机制的分析深度欠佳, 安全控制体系的搭建有待进一步优化。

2 跨峡谷悬索桥先导索架设概述

2.1 先导索架设的基本原理

先导索为跨峡谷悬索桥施工里率先跨越峡谷的绳索, 主要功能是为后续牵引索、猫道承重索等打造初始的跨越通道。先导索架设基本原理是运用某种牵引手段, 将先导索从峡谷这边牵引到那边, 让其达到合理受力与恰当位置, 为后续工程推进做好铺垫。先导索是用高强度、轻质的材料做成

【作者简介】王永廷 (1991-), 男, 中国青海海东人, 硕士, 高级工程师, 从事大跨径桥梁的设计与施工研究。

的,如高强度聚酯纤维做的绳、钢丝做的绳等。

2.2 先导索架设的重要性

先导索架设成为跨峡谷悬索桥施工的起始点,其成败直接关乎整座桥梁施工进度。若先导索架设未能达成成功,将造成人力、物力、财力的多余浪费,也有导致工期延迟之可能,甚至会给施工人员的生命安全埋下隐患。后续主缆施工质量的优劣,与先导索的架设质量相关。先导索位置及张力偏差过大,会引起主缆架设精度的降低,进一步影响到桥梁受力表现与使用寿命周期^[1]。

2.3 峡谷地形与气象因素的影响

2.3.1 峡谷地形的影响

跨峡谷悬索桥所涉峡谷地形,一般呈现出陡峭崖壁、复杂地质情形等特点。地形因素对先导索架设的影响体现在多个方面:一是峡谷两边的悬崖或许会阻断先导索的牵引路径,提升牵引的难度系数;二是峡谷底部的地形高低起伏可能造成先导索在架设时出现下垂不匀称情况,干扰其受力情形;三是复杂地质状况可能影响到锚碇稳定性的维持,进而对先导索锚固达成的效果造成不利情形。

2.3.2 气象因素的影响

峡谷区域的气象状况往往欠佳,像强风劲吹、暴雨倾盆、浓雾弥漫等,强风对先导索架设的影响,属主要气象因素范畴,风荷载会让先导索出现振动,进而产生偏移,提升牵引复杂度与受力变数。暴雨加上浓雾会让施工能见度变差,影响到施工人员操作的精确性及安全性,同时或许会对先导索材料的性能造成一定影响。

3 跨峡谷悬索桥先导索架设施工技术

3.1 火箭抛射法

火箭抛射法是借助火箭推力,把先导索一端从峡谷一侧抛射到另一侧的架设方式。其基本原理乃是借助进行火箭发射,使火箭携带先导索一端在空中飘行,跨过峡谷后在对岸实现降落,最终达成先导索初始跨越的目标。

火箭抛射法呈现施工速度快、适应性能强等长处。其不受峡谷宽度与地形约束,能在不太长的时间中完成先导索的铺设。此途径同样存在一些弊病,就好比火箭发射时,冲击力相当大,说不定会对先导索产生损伤;气象条件对火箭飞行轨迹的影响十分突出,精准度不易掌控,若面临峡谷宽度大、地形复杂、其他架设途径难以实施的情况。可选用火箭抛射法,若采用此方法的时候,必须精准计算火箭发射参数,且做好安全方面防护措施,防止对周边环境及相关人员造成损伤^[2]。

3.2 无人机牵引法

无人机牵引法借助无人机达成牵引目的,把先导索从峡谷一侧引至另一侧的架设举措。无人机携带先导索一端自出发岸开始飞行,按既定预设航线飞行至对岸处,引领先导索抵达对岸锚固点,达成先导索的铺设。

无人机牵引法拥有操作灵敏、精度颇高、安全系数好等益处。无人机有在复杂峡谷地形中灵活飞行的本事,可精准把控先导索牵引轨迹与落点。此方法对环境方面的影响偏小,施工实施过程安全系数高,可无人机续航能力以及承载能力有限度,当去跨越较宽峡谷,说不定要进行多次接力牵引,在峡谷宽度合适、地形相对平稳、气象条件良好的情境中。

3.3 飞艇牵引法

飞艇牵引法是借助飞艇浮力与动力,把先导索从峡谷一侧牵引到另一侧的架设方式。飞艇在出发岸携带先导索一端后升空,依靠自带动力飞达对岸,将先导索引至对岸对应的锚固点,促成先导索跨越锚固点。

飞艇牵引法展现出承载量大、续航能力佳等长处,飞艇可携带重量较大的先导索,适合跨越较宽幅的峡谷。同时,飞艇的飞行速率相对缓滞,利于掌控牵引走向与拉力,但飞艇所占据的空间规模较大,在狭窄峡谷内操作灵活性欠佳,而且受气象状况的制约较为显著,强风等情况会干扰飞艇的稳定性。当峡谷宽度大、地形相对开阔、气象稳定时,可采用飞艇牵引法,运用此方法期间,需实时监测飞艇飞行状态,保证其实现安全飞行^[3]。

4 跨峡谷悬索桥先导索架设安全控制措施

4.1 风险识别

跨峡谷悬索桥先导索架设当中,地形风险显示出显著的复杂局面。峡谷两侧崖壁稳定性不仅与岩石风化程度以及地质构造存在联系,也受到长期雨水的冲刷和地震活动潜在牵扯。崖壁上松动的岩体,也许会在施工振动、强风施加影响时坠落,对下方施工区域里的设备及人员有直接的威胁。由于峡谷底部地形起伏,先导索在架设当中会形成多个受力节点,倘若起伏高差处于较高水平,也许会让先导索局部张力急剧上扬,超出材料承载上限,引发断裂的潜在危险。此外,峡谷两边的坡度有差异表现,也许会让先导索在牵引过程里产生横向偏移,提升先导索与崖壁碰撞几率,对架设的精准度和安全性能造成干扰。

先导索架设受气象风险影响,既突发又持续。强风作为气象相关的首要风险因子,风速及风向的变化会让先导索产生复杂多样的振动形式,如涡激振动、颤振等,此类振动会进一步加重先导索的疲劳损耗,甚至会造成牵引设备负荷过大。除了让能见度降低外,还或许引发山洪、泥石流这类灾害,造成施工营地和临时设施冲毁局面,引起施工进程的停滞。浓雾使得施工人员判断先导索位置及状态变得困难,提升操作出错几率。高温情况会加速先导索材料老化现象,引起其力学性能弱化;而低温也许会让材料发生脆化,降低其柔软特性与抗冲击本领^[4]。

4.2 风险评估

需依据工程具体的特点以及风险评估的目的选择评估

方法。定性评估法里的风险矩阵法借助对风险发生可能性与影响程度划分不同级别,构建起风险矩阵格局,由此界定风险等级。此方法操作起来既简单又直观,用于风险评估刚起步时,或对风险做初步排查。专家调查法则采用邀请相关领域专家针对风险进行打分、评价的方式,集纳专家观点得到风险评估结论,可有效借助专家的专业经验与知识,但此法则受专家主观因素的影响不容小觑。定量评估法里的蒙特卡洛模拟方式借助构建数学模型,模拟风险诸因素的随机化变动,计算风险降临概率与损失期望数值,显现较高的精准性和科学水平。

4.3 安全预警

监测系统的搭建要覆盖先导索架设的所有关键环节及风险点。气象监测系统需于峡谷两侧及施工区域布设若干自动气象站,实时采集风速、风向、气温、湿度、降水的量、能见度等气象数据项。这些气象站应配备数据自动传输的本事,实时把监测数据传输至中央控制系统,以可迅速知晓气象变化情形。对于风速的监测,应当采用高精度风速监测传感器,可实现对瞬时风速与平均风速变化的监测,鉴于瞬时强风对先导索的影响格外突出。先导索监测系统得于先导索上安装多个张力、位移跟振动传感器,实时对先导索的张力数值、位置变动以及振动频次等参量开展监测。张力传感器可精准测定先导索于不同位置的张力数值,及时察觉张力出现异常的增大与减小现象;位移传感器可对先导索横向及纵向位移开展监测,判定其是否脱离预设位置;振动传感器可捕获先导索的振动状态,为探究其振动特性以及疲劳损伤情况提供数据辅助。施工设备监测系统要在诸如火箭发射装置、无人机、飞艇等设备安装状态监测传感器,实时掌握设备运行的各项参数,诸如发动机运转速度、电池蓄电量、导航信号强度等,及时找出设备的故障苗头,杜绝设备故障造成的安全灾祸^[5]。

4.4 应急处置

应急处置是安全事故或紧急情况降临的时刻,采取的一系列处理手段,以实现人员伤亡和财产损失的最大幅度降低。应急预案制定要全面权衡先导索架设过程中或许会发生的种种安全事故及紧急情形,如先导索断开、火箭发射未成功、无人机掉落、飞艇飞行失控、人员有伤亡现象、碰到自然灾害等。应急预案应清晰应急组织机构的组成及职责范畴,涉及到应急指挥集体、抢险救援方阵、医疗救护阵列、

后勤保障组合、信息发布班子等,保障紧急状况下各部门实现协同配合,高效推进应急事宜。应急响应程序需详细载明事故报告、应急启动、应急管控、应急结束等环节操作流程与时间标准,保障应急处置工作按规开展。要是先导索断裂事故发生了,现场人员要赶紧向应急指挥部报告相关事宜。应急指挥部接到相关报告后,应于既定时间段内触发应急响应,组建抢险救援群体开展现场处理事宜,应急救援方案要体现出针对性与操作可行性,若遭遇人员伤亡方面的事故,要界定医疗救护的流程及方式,涉及现场初步急救、伤员转送至医疗点等;就设备出现的事故而言,需拟定设备抢险或回收的预案,制止事故进一步扩大;对于自然灾害而言,须拟定人员撤离跟财产守护举措。

5 结语

本文从理论范畴系统探究了跨峡谷悬索桥先导索架设施工技术与安全控制规程。首先,阐明了先导索架设的基础原理及关键意义,审视了峡谷地形跟气象因素对施工的负面效应;其次,探讨了火箭抛射法、无人机牵引法、飞艇牵引法等常用架设技术开展探讨,对它们的特性与适用情形予以对比;然后,构建起涉及风险辨识、评估、预警与应急处置方面的安全防控体系;最后,提出对施工技术和安全控制措施实施优化的建议,且对未来发展趋势展开展望。经研究可得,跨峡谷悬索桥先导索的架设为一项复杂系统工程,得综合顾及地形、气象、技术、人为等多维度因素,选取合适的架设技术,采用有效的安全控制手段,对施工安全的维护和施工效率的增进意义重大。未来,应持续拓展技术创新和管理创新维度,促进跨峡谷悬索桥先导索架设技术的长足进步。

参考文献

- [1] 董蒙蒙.悬索桥小断面连续式猫道施工关键技术研究[J].交通世界,2024,(32):109-111.
- [2] 刘安金,廖金贵,彭先振,熊佳雯.悬索桥牵引系统设计及施工技术应用[J].工程质量,2023,41(07):99-102.
- [3] 钟相海.山区大跨度悬索桥猫道施工技术[J].科技资讯,2022,20(15):95-97.
- [4] 张晨星.悬索桥主缆施工中的静力特性及调控研究[D].长沙理工大学,2021.
- [5] 张磊,杨益波.山区千米级悬索桥猫道设计及施工技术[J].公路,2021,66(01):153-157.