

桥梁施工技术与安全管理策略研究与质量控制分析

刘 蔚

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430070

[摘要]桥梁施工是一项技术难度高、危险系数大的综合性工程,近年来伴随着我国公路铁路交通基础设施建设蓬勃发展,桥梁工程建设逐步迈向高墩柱大跨径、深基坑方向发展,其施工技术和安全管理的要求也不断提升,文章以桥梁施工技术和安全管控为主线,介绍了桥梁工程施工常用的技术手段并对施工过程中发生的各类事故及造成原因进行解析并提出了相应的重大工序的风险等级划分方法。在此基础上,从管理机构设置以及隐患排查入手,形成一套安全管理体系,对于桥梁施工中的高空操作、吊装作业、支架搭建等重点风险点提出了相应的管控技术措施。研究指出,施工技术和安全管控相互融合,是提高桥梁工程本质安全性的重要途径。技术-安全集成管理以及信息化智慧工地技术的运用,可以做到提前预警、实时监控。将技术措施融入安全管理中去,能明显减少事故的发生概率,可供类似桥梁工程借鉴。

[关键词]桥梁施工;安全风险识别;风险等级划分

DOI: 10.33142/ect.v4i6.19950

中图分类号: U445

文献标识码: A

Research on Bridge Construction Technology and Safety Management Strategy and Quality Control Analysis

LIU Wei

Central South Survey Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430070, China

Abstract: Bridge construction is a comprehensive project with high technical difficulty and high risk factor. In recent years, with the vigorous development of China's highway and railway transportation infrastructure construction, bridge engineering construction has gradually moved towards high pier and large-span, deep foundation pit direction. The requirements for construction technology and safety management have also been continuously improved. This article takes bridge construction technology and safety control as the main line, introduces the commonly used technical means of bridge engineering construction, analyzes various accidents that occur during the construction process and their causes, and proposes corresponding risk level classification methods for major processes. On this basis, starting from the establishment of management institutions and the investigation of hidden dangers, a safety management system has been formed, and corresponding control technical measures have been proposed for key risk points such as high-altitude operations, lifting operations, and support construction in bridge construction. Research has shown that the integration of construction technology and safety control is an important way to improve the intrinsic safety of bridge engineering. The application of technology safety integration management and information technology smart construction site technology can achieve early warning and real-time monitoring. Integrating technical measures into safety management can significantly reduce the probability of accidents, which can be used as a reference for similar bridge engineering projects.

Keywords: bridge construction; safety risk identification; risk level classification

引言

桥梁工程是国家公路交通基础设施的重要组成部分,其工程质量与安全直接关系到人民群众生命财产安全及区域经济发展,随着桥梁建设量越来越大,施工环境也越发复杂,安全事故发生率显著上升,造成工期拖延,成本升高。事故诱因主要分为两类:第一,工程认知不足引发

的结构失稳问题;第二,管理混乱、责任界定不清导致的人为操作问题。现在桥梁工程的安全生产管理面临两个难题,一是复杂的超大跨径,深基坑、高墩柱等结构形式给施工带来新的难题,二是传统的安全管理方式是以经验为主,事后补救的方式很难应对不断变化的施工危险性。施工现场情况复杂多样、高空及水上作业多、危险点分布密

集,安全管理仍主要依靠人工巡视,视频监控也多作为事后追查手段。那么如何建立健全体系化、一体化的安全管理体系,把安全防控技术与施工工艺相结合,做到提前预防,精准管理,成为急需破解的关键问题。本文基于桥梁工程的特点,全面梳理出施工中的各类安全隐患并对其进行分级分类处理,建立了“管理+预防”的双重保障制度,探索出一系列的安全控制新技术以及新技术与安全管理协调发展的新模式,以此来为桥梁工程建设中的安全管理提供参考借鉴。

1 桥梁施工技术概述

桥梁工程施工技术主要包括基础、下部结构、上部结构三个方面。基础工程主要是桩基础和扩底基础,桩基础成孔方法有冲击钻成孔、旋挖钻成孔、人工挖孔等;承台施工包括大基坑开挖及大型量混凝土浇筑,对支护及温控条件要求较高。下部结构主体主要是桥墩、桥台,有实心墩、空心墩和薄壁墩等多种形式,高墩施工通常采用翻模或者爬模工艺施工;上部结构按照施工方法可分为现浇和预制拼装两种形式:现浇施工主要采用支架法、移动模架法以及悬臂浇筑法;而预制梁体一般在预制厂进行批量生产,然后通过架桥机或者吊车进行安装。预应力方法是在受拉区域施加应力提高梁体承载能力和抗裂性,后张法要保证张拉力、伸长量以及压浆密实度,超大跨径的桥梁还要采用悬臂拼装、顶推、转体等特殊工艺,近年来,BIM 施工模拟、可视化交底、移动终端隐患排查等一系列智能建造技术的应用,为传统施工方式注入了新的活力。

2 桥梁施工安全风险识别与评价

2.1 主要施工事故类型与成因

桥梁施工安全事故发生的原因多种多样,且呈现复杂、交织的特点。通过对近几年来发生的桥梁事故进行分析,可以将事故分为高处坠落、起重伤害、模板支架坍塌、物体打击、机械伤害及淹溺等几种主要类型。高处坠落事故所占比例最大,主要发生在墩身施工、箱梁悬臂浇筑以及桥面铺装等高处作业部位;起重伤害事故主要在于预制梁吊装、钢笼下放以及大型模板拼装等环节;支架及模板系

统的垮塌虽然发生频率不高,但是往往会引发群死群伤的重大事故。从引发事故的原因来看,影响桥梁施工安全的因素可以概括为人、物、管理三个方面。未预见的技术性事故例如钢箱梁翼缘板局部失稳、支承隔板压溃等情况的发生主要是由于工程技术人员忽视对某个特定的技术方面的了解而导致的;更多的事故发生则是因为人为过失:支架基础质量不合格,支撑体系无加劲肋,临时连接强度不够等问题,基坑开挖、挖孔桩施工、桥梁架设、防坠落都是事故频发的关键部位。此外,施工人员技术水平参差不齐、安全教育流于形式、施工现场监管不到位等因素,均显著增加了安全事故发生的风险。

2.2 关键工序风险等级划分

重点工序危险等级划分是实行分层管理的前提,在考虑发生概率大小、危害程度高低以及控制难易程度的基础上,桥梁工程的重点工序可以分为高度危险、中度危险、轻度危险和较低危险四个层次。其中高度危险工序为:深基坑开挖、高墩悬臂浇筑合龙段施工、大跨径桥梁转体施工等,一旦出现失控会造成严重的损失;中度危险工序为:预制梁吊装、高大模板立模、水上作业等,需要编制专门的安全措施;轻度危险工序为:普通钢筋焊接、混凝土浇筑、小型件吊装等,按照标准作业程序进行即可;低度危险工序为场地平整、临时设施搭建等辅助工种。依据风险等级实施差异化管控,有助于将有限的安全资源精准配置到关键环节。

3 桥梁施工安全管理体系构建

3.1 安全管理组织与责任体系

完善的安全管理机构架构是实现安全事故层层负责的组织保证。以系统论为基础,在研究人的安全、物的安全、能量的安全、信息安全四个方面的基础上建立起全面的安全责任网。大规模工程项目的安全管理要设置独立的安全管理机构、研发适用于工程施工项目的安全生产分析手段、对辨识出的危害因素要提出相应的措施加以管控。组织架构实行三级管理:集团公司层面成立安全生产委员会,确定企业安全生产总体目标及所需资源;项目部层面

表 1 桥梁施工关键工序风险等级划分

风险等级	关键工序示例	风险特征描述	管控层级	管控要求
重大(红色)	深基坑开挖、高墩合龙段浇筑、大跨径转体施工	事故后果严重、波及范围大、救援难度大	公司级+项目级	专项方案专家论证、全过程监测、领导带班
较大(橙色)	预制梁吊装、高大模板安装、水上作业	可能造成多人伤亡、社会影响较大	项目级	专项安全方案、条件验收、旁站监督
一般(黄色)	常规钢筋绑扎、混凝土浇筑、小型吊装	偶发伤害、影响范围有限	班组级	标准操作规程、日常巡检
低(蓝色)	场地平整、临时设施搭建、材料转运	风险可控、事故概率低	岗位级	班前交底、岗位自查

成立专门的安全管理机构,协调管理施工现场安全事宜;班组层面配备安全员,进行监督检查并上报安全隐患情况。责任制采用层层签订安全生产目标责任书的方式固定下来,把安全生产作为一项重要指标纳入各个工作岗位的考核范围,做到人人有责、事事有人管。

3.2 风险分级管控与隐患排查机制

风险分级管控以及隐患排查治理是安全管理“双控”的重点环节。其中风险分级管控主要在于防患于未然,在对危险源进行辨识、风险评价的基础上判定不同工序的风险级别并采取不同的防控措施;隐患排查治理主要是针对已经发生的问题进行控制处理,采取的是排查-登记-评估-整改-验收-销号的闭环式管理模式,排查方法包括常规性的巡视、专门性检查以及全面性检查,检查范围包括人、机、环三个方面;隐患根据危害程度分层次进行治理:一般的隐患由班组自行解决,较大的隐患由项目部限时整改,严重的隐患必须停止作业上报公司。实现将事故扼杀在萌芽状态的目标。

4 桥梁施工安全控制关键技术

4.1 高空作业安全控制

高空作业遍及桥梁建设始终是安全管理的一个重点和难点,高墩施工、梁体悬臂浇筑、桥面系作业等都属于高空作业,安全管理也从技术和管理两个方面同时入手。技术上首先考虑采取主动防护的方式,如使用装配式操作平台、双层安全网、速差防坠器等^[1]。针对高墩施工可以采用附着式的施工电梯来代替人工上下爬升,在顶部设置封闭式休息室;对于悬臂浇筑可以采用在挂篮四周设置全封闭防护栏杆,底部加装兜底网片等措施;管理上要严格执行高空作业人员持证上岗制度,进行班前的身体状态询问及安全教育告知。遇到六级以上的强风、暴雨、大雾等不良气候条件,严禁进行高处作业并且要对高处作业平台进行加固处理,进行高处作业时需佩戴安全带且要遵守高挂低用的原则,悬挂点必须经过专门的设计并验收合格。

4.2 起重吊装与支架安全控制

起重吊装及支撑体系是桥梁工程施工中最危险的一个环节,而其中起重吊装的安全控制主要包括以下四个部分:设备的选择;检查吊索具;设计吊点以及对吊装范围的管理。起重吊装使用的设备必须经过检验合格才能投入使用,钢丝绳、卸扣、吊带等吊索具实行定期检查及报废制度。起重吊装之前要制定专项施工方案,确定吊点的位置及吊装角度以及指挥手势,在其周围设立警戒区域并派专人巡视^[2]。对于大型预制梁的吊装还应对其进行整个吊

装过程模拟,核实设备能力以及基础承载力是否满足要求。支撑体系的安全控制主要关注三个方面即设计计算、搭设质量和拆除顺序。脚手架垮塌事故主要有以下几类:一是安全防护不到位;二是所用原材料不合格;三是支架立柱受力不平衡;四是搭建不符合标准要求。为了防止架子坍塌,要增设斜撑,强化基础处理工作,做好防风措施,合理确定拆除次序。在搭建之前要对地面承受能力进行测试,在安装的过程中要保证立杆垂直度,水平杆步距合理,搭建完成之后要做好预压试验验收,在拆除的过程中要严格遵守先搭后拆,后搭先拆的原则,严禁上下交叉作业,严禁随意抛掷物料。

4.3 施工监测与预警技术

施工监控预警技术是实行安全风险动态化监督管理的有效工具。传统的监测方式主要是依靠人力观测,存在着频率少、时间滞后、信息封闭等问题。而传感技术、物联网及人工智能技术的发展使得自动化的监测以及智能化预警装置逐渐运用于桥梁工程施工的安全管理中。基于计算机视觉的主动式预警系统能够及时发现施工现场高处坠落防护用品穿戴情况、起重机吊装危险区入侵、支撑体变形异常等一系列现象并及时提醒^[3]。而在结构监测上利用应变片、位移计、测斜仪、风速计等多种传感器来实时监测支架下沉、挂篮变形、塔座位移等情况的数据变化。检测数据经无线网络传递到云端服务器,系统依据设定警戒线进行自动的风险级别判定并启动分级报警(蓝色,黄色,橙色和红色四级别)告警消息会以广播方式,短信方式与设备提醒的方式迅速通知相关负责人从而达到由事后处理转为主动防御的效果。

5 施工技术与安全管理的协同优化

5.1 技术-安全一体化管理模式

传统的工程项目管理模式把技术和安全分别归口到不同的部门管理,在一定程度上造成了工程项目的管理和实施过程中出现了技术先行,而安全滞后的问题。技术-安全一体化管理模式强调的是在工程项目的方案设计时即进行相应的安全预估,把安全管理的要求融入技术方案之中而不是附加在管理程序之上。以安全系统论为基础,在人、物、能量、信息四个方面同时开展安全管理的工作。把班组管理、教育培训、标准化管理、危险源辨识、专控工程、施工方案管理等作为安全管理的重要手段综合起来进行管控。在实际工作中,重大工程技术方案的选择一定要有安全保障的风险评价指标,工艺参数的选择要同时考虑安全冗余度,临时设施布置也要达到安全通道和人员撤

离的要求,把安全管理的关键因素提前到技术决策层面来,在设计之初就将风险排除或者是减少到最低限度,做到技术可行性和安全可控。

5.2 信息化与智慧工地应用

信息技术对施工技术和安全管理联动提供了助力。BIM 的应用主要表现在三个方面:一是利用 BIM 技术进行施工方案预演。二是使用可视化技术交底。三是开展移动端隐患巡查。基于 BIM 施工方案模拟可以预见施工方案存在的不足并改进方案,并以可视化的方式进行交底。BIM 虚拟建造功能可以在施工之前就可以看出工艺之间的碰撞以及空间上的问题,从而优化吊装路线以及设备位置等。移动端隐患巡查系统把 BIM 模型与巡查过程结合起来,巡查人员可以直接在三维模型中找到隐患点并拍照上传并且指定整改人,做到隐患的闭环式处理。智慧工地平台上人员定位、环境监测、视频监控以及设备运行情况全部接入到一起,形成施工现场的数字映射。通过多维数据分析找出事故发生预兆属性给予管理者参考建议,在智慧工地体系中人的系统、物的系统、能量系统、信息系统互相连接起来构成感知-分析-预警-控制的安全管理循环圈。

6 结语

桥梁工程施工技术和安全管理密不可分,相辅相成。本文对桥梁工程的主要施工技术进行了归纳总结,探讨了几类典型的施工安全事故及发生原因,并制定了根据危险

程度进行分级管理的方法;同时针对组织结构、隐患治理、技术管理以及协调联动等方面提出了具体的安全管理措施,研究发现:施工安全管理的核心问题就在于人、机、环、管四个方面的相互关联出现失调现象,仅仅依靠某一单一的技术或者管理方式都无法达到本质的安全。因此要建立一种技术与安全管理相结合的方式,在实施之初便把安全因素提前考虑到工程的设计中,通过 BIM、物联网以及智慧工地等方式来进行实时监测并及时报警是最为有效的方式。今后的研究可以对人工智能用于安全风险预测方面进行探究还有基于大数据的致因因素定量评估的方法,推动桥梁工程施工安全管理向更加信息化、精准化的方向发展。

[参考文献]

- [1]蒋香梅.桥梁施工技术与安全管理策略研究[J].运输经理世界,2025(6):74-76.
- [2]申建红,张静.基于复杂网络和免疫策略的斜拉桥主梁施工安全风险耦合分析[J].安全与环境学报,2024,24(2):450-460.
- [3]王海英,楚林,许建.融合 N-K 模型的复杂网络架桥机施工安全风险因素分析[J].中国安全科学学报,2023,33(9):10-17.

作者简介:刘蔚(1994—),男,汉族,湖北孝感人,硕士,长安大学桥梁与隧道工程专业毕业,工程师,现主要从事新建及改扩建工程桥梁工程设计。