

预制简支梁桥自承式防护结构施工技术研究

向广林

四川路桥盛通建筑工程有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i5.4532

[摘要] 制简支梁桥自承式防护结构施工技术是装配式桥梁防护的重要发展方向。模块化预制、高精度吊装定位、自承式抗力设计是其核心的特征。通过标准化构件生产、智能化装配和数字化管控,可提升施工效率,节约资源,改善作业条件并增强防撞性能。该技术代表防护工程智能建造新趋势,对推动桥梁防护设施建造变革和行业发展意义重大。

[关键词] 简支梁桥; 自承式防护结构; 施工技术; 策略探究

中图分类号: U448.21+2 **文献标识码:** A

Research on Construction Technology of Self supporting Protective Structure for Prefabricated Simply Supported Beam Bridge

Guanglin Xiang

Sichuan Luqiao Shengtong Construction Engineering Co., Ltd

[Abstract] The construction technology of self-supporting protective structure for simply supported beam bridges is an important development direction for prefabricated bridge protection. Modular prefabrication, high-precision lifting positioning, and self-supporting resistance design are its core features. By standardizing component production, intelligent assembly, and digital control, construction efficiency can be improved, resources can be saved, working conditions can be improved, and collision resistance can be enhanced. This technology represents a new trend in intelligent construction of protective engineering and has significant implications for promoting the transformation of bridge protection facility construction and industry development.

[Key words] simply supported beam bridge; Self supporting protective structure; Construction technology; Strategy exploration

引言

近年来,装配式桥梁防护结构逐渐成为行业关注的热点。其中,预制简支梁桥自承式防护结构施工技术以其独特的结构设计理念与先进施工工艺,在保证防护性能基础上,有效解决了传统工艺固有短板,代表了装配式防护结构的发展方向。为此,深入开展预制简支梁桥自承式防护结构施工技术研究,对于提升防护设施建造水平,保障桥梁安全耐久,推进桥梁建设方式变革,引领行业高质量发展,具有重要的理论意义与实践价值。

1 预制简支梁桥自承式防护结构施工技术介绍

1.1 模块化预制与装配技术

模块化预制与装配技术是基于工厂化生产理念,将防撞墙、纵梁、横梁等构件进行标准化设计和预制,形成高度一致的结构单元。预制构件充分利用工业化流水线作业,在可控环境下完成钢筋绑扎、混凝土浇筑、预埋件安装等工序,确保了防护结构的高精度和耐久性。模块化构件的尺寸、预留孔洞位置等关键参

数实现参数化定义,便于实现精准装配。在现场施工中,专用吊装设备可实现构件的快速吊运和就位,配合激光导航、定位校准等技术,精度可控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。装配式连接采用“螺栓、焊接”相结合的方式,实现全构件的一体化连接。模块化预制大幅减少了现场湿作业,装配化施工也显著降低了资源消耗和环境污染,体现了绿色建造理念。

1.2 高精度吊装与对位技术

高精度吊装与对位技术综合运用激光测距仪、全站仪及高精度GPS定位等先进测量设备,实现防护构件的精准就位与空间定位^[1]。施工前,利用三维建模对防护结构进行数字化模拟,获取关键控制点坐标,为吊装定位提供参数指引。吊装过程中,特制吊具与多点平衡系统的应用确保了构件的平稳起吊和精准落位,避免碰撞损伤。配合活动限位装置与高强螺栓预紧,在 $\pm 2\text{mm}$ 范围内实现构件安装位置与标高的精密控制。同时,无线传输单元将实测数据回传至数字孪生系统,动态监控指导构件吊装。该

项技术有效提升了防护结构施工的效率与精度,为工程质量提供了可靠保障。

1.3 自承式结构设计与抗力分析技术

自承式结构设计与抗力分析技术有别于传统防护,自承式防护采用独立柱式结构,将汽车撞击力直接传递至桥下,免去了对主梁的附加影响。防护结构采用空间桁架体系,提高了整体刚度与稳定性。利用有限元分析软件,对极限工况下的结构进行三维精细化建模,模拟100kN汽车撞击荷载,评估关键构件的应力水平与变形响应,并进行抗力校核。数值分析结果为构件截面优化和节点设计提供了重要依据。通过多工况参数化计算,构建自承式防护结构设计参数库,可实现防撞性能评价的快速迭代。

2 预制简支梁桥自承式防护结构施工技术价值

2.1 施工效率的革命性提升:快速化与资源优化的实现

预制简支梁桥自承式防护结构施工技术带来了施工效率的革命性提升,通过模块化预制与高精度装配,项目流程得以高度优化,全面实现快速化建设。该技术将复杂的构件预制和标准化操作移至工厂环境中,有效缩短了现场作业时间,减少了因环境和气候变化带来的工期不确定性。同时,自承式防护结构在现场的应用,使得施工过程中无需传统的支架支撑,进一步简化了现场安装的工序。这一特点极大地降低了施工资源的占用,特别是在大型工程中,能够显著减少人员和设备的投入,实现资源的最优配置。

2.2 安全性能的多重保障:从施工过程到结构耐久性的提升

预制简支梁桥自承式防护结构施工技术在安全性能上带来了多重保障,贯穿施工过程与结构耐久性两个维度。自承式防护结构的设计有效减少了施工中对临时支撑的依赖,使桥梁在安装阶段即可自我稳定,降低了施工过程中的安全隐患,尤其适用于复杂环境和高空作业。在结构连接节点和整体受力的设计中,预制构件经过严格的力学分析,确保每个模块在承载和连接中能最大限度地保持稳定。此外,结合智能监测系统的应用,该技术在施工中实现了实时数据反馈,对关键节点的应力、位移等参数进行精准监测,使得施工过程能够及时发现和消解潜在风险。经过科学规划的防护结构不仅提升了桥梁在建设期的安全,也进一步强化了桥梁在全生命周期内的抗变形和抗风化性能,赋予桥梁更长久的结构稳定性。

2.3 绿色建造的创新实践:环境友好与低碳施工的双赢

预制简支梁桥自承式防护结构施工技术以环境友好和低碳施工为核心,实现了资源节约与生态保护的双赢。通过模块化预制,构件在工厂内完成标准化生产,现场施工减少了粉尘和噪声污染,降低了对周围环境的影响。此外,自承式结构减少了支架和模板的使用,显著降低了材料浪费和临时结构的耗材需求,在桥梁建设中实现了低碳化的实际操作^[2]。模块化构件在拆除后的重复利用,进一步推动了桥梁构件的可循环性,使绿色建造的理念得以深入执行。整个施工过程不仅符合现代环保标准,更在施工方式上与生态建设的总体要求保持一致,展现出可持续发展的实践价值,为桥梁工程的低碳化建设提供了有力支持。

3 预制简支梁桥自承式防护结构施工技术应用

3.1 模块化预制与构件标准化生产

模块化预制与构件标准化生产以工业化制造思维为指导,将防护结构划分为若干标准单元,实现设计、生产、安装的一体化。通过构件的模数化、系列化设计,建立参数化的三维模型库,实现构件生产图纸的快速输出。将非标准构件的数量控制在最低限度,减少现场拼装加工,提高构件制作精度。预制场采用固定模架,钢筋笼绑扎实现机械化,混凝土浇筑应用自动布料机,钢筋、预埋件保证定位准确,确保构件零缺陷生产。构件采用唯一编码,信息化管理实现生产、运输、安装全过程数字化溯源。高度一致的模块化构件是工地快速装配的前提,标准化生产则从源头奠定了防护结构的施工品质。

在实际工程应用中,首先应根据桥梁跨径布置、交通荷载等级等因素,确定防撞墙的型式与尺寸。在此基础上,进行标准化构件的模数划分,构建参数化三维模型。模型应包含构件的几何信息、材料属性、预留预埋等,为后续生产提供指引。钢筋骨架宜采用数控智能焊接设备加工,以提高加工精度,减少材料损耗。模架应采用组合钢模,定型异形模,以保证构件截面尺寸一致,表面质量满足要求。混凝土浇筑应采用泵送工艺,并辅以外部振捣,以提高密实度。蒸汽养护可有效缩短脱模时间,提高生产效率。预制场应配备防错装置,在生产环节设置自动检测,对异常工件及时预警。同时,引入信息化管理平台,利用条形码、射频识别等技术手段,实现构件全周期数字化管控。产品出厂前,严格开展出厂检验,确保构件质量稳定可靠。

科学划分构件模数、合理优化结构设计是提高标准化水平的基础。数控化制造、精益化管理、信息化协同是确保构件精度、提高生产效率的有效手段。推行全过程质量管控,强化出厂检验与验收,为后续装配式施工创造有利条件。

3.2 高精度吊装与智能对位系统的应用

吊装作业的精准定位直接关系到防护构件能否快速顺利就位,影响装配效率和施工质量。采用集成化的智能吊装平台,融合北斗卫星定位、激光跟踪、视觉伺服等先进技术,可实现防护构件的高效率、零误差安装。智能对位系统通过三维成像扫描现场环境,将点云数据与BIM模型匹配,生成最优吊点布置方案,指导塔吊、运梁车等设备精确对位。同时,集成式吊具采用液压自动调平技术,配合激光投射仪引导,使构件快速对中就位,偏差控制在±2mm以内。数字孪生系统则实时监测塔吊姿态和受力状态,防止超载吊装,确保施工安全。

在实际工程应用中,首先应利用倾斜摄影、激光扫描等技术获取桥位地形,建立高精度三维模型,为吊装作业提供数字化指引。塔吊宜配备RTK定位装置,实时获取吊具坐标,控制精度达±10mm以内。塔吊还应装载防碰撞系统,通过雷达或红外探测障碍物,自动规避风险。运梁车可采用自调平液压系统,配合高精度位移传感器,动态跟踪梁体姿态,确保平稳起吊。在构件精准对位时,宜采用激光投射结合机器视觉的方式。投射仪在预定位置投射定位靶标,高分辨率相机采集靶标图像,通过图像识别分析,

控制运梁小车微调对位,直至满足安装精度要求。同时,现场宜搭建视频监控系统,通过数字孪生实时映射塔吊状态,对起重量、回转角度等指标实施预警,避免危险工况。管理人员可通过远程监控平台,及时掌握施工动态,优化资源调度,确保吊装作业安全高效。

高精度吊装与智能对位技术是实现防护结构装配化施工的有力保障。北斗定位、激光跟踪、机器视觉等技术赋予塔机精准定位能力。自调平吊具、防碰撞系统则确保起吊过程平稳安全。数字孪生、远程监管等信息化手段,则实现施工全流程的数据化管控。新技术与传统工艺的协同,必将推动防护结构建造迈向自动化、智能化,助力交通基础设施高质量发展。

3.3 自承式结构的受力计算与无支架安装

自承式结构的受力计算与无支架安装不同于传统防撞护栏依靠桥面板或主梁支撑,自承式防护采用独立柱式结构,将汽车撞击荷载直接传递至桥下台座,大大减轻了主体结构的附加应力^[3]。基于空间桁架体系,防护结构整体刚度更高,受力路径更为合理。采用大型通用有限元软件,建立防护结构精细化数值模型,模拟极端工况下结构的动力响应,优化构件布置,校核抗冲击性能。利用参数化设计方法,建立防护结构设计参数库,为快速、经济的方案比选提供依据。

在工程设计中,应根据桥梁跨径组合、交通量等级、防撞等级等因素,确定自承式防护结构的总体布置形式。在此基础上,利用三维建模软件构建精细化有限元模型,录入主要构件的材料参数、截面尺寸等属性信息。在规范荷载组合下,分析防护结构在多工况下的受力分布、变形特征,识别薄弱区段。可通过静力弹塑性分析,模拟极限状态下关键构件的屈服破坏过程,评估结构的倒塌阻力及延性。在满足强度、刚度要求的前提下,应优化构件材料用量,平衡安全性、经济性目标。针对超高墩柱、曲线段等特殊部位,应进行抗冲击动力分析,评价防护结构的吸能耗能能力,必要时设置缓冲装置。无支架施工应用于防护构件的实际安装,可有效减少现场湿作业量。安装前,宜采用BIM技术对

作业过程进行三维可视化模拟,优化机械设备布置与作业时序。采用顶升或滑移等定位工艺,配合激光导向,实现构件的精准安装。在临时固定阶段,可利用液压千斤顶等装置进行高精度调平,确保平整度满足要求。应控制预应力施加过程,防止构件开裂。

自承式防护结构的受力特点决定了其设计施工理念的创新。基于精细化数值模拟的结构优化设计,是确保防撞性能、提高经济性的必由之路。无支架安装是减少现场工序、降低劳动强度的有效举措

4 结束语

综上所述,预制简支梁桥自承式防护结构施工技术的应用,开启了桥梁防护设施建造模式的崭新篇章。工厂化预制、装配化施工、一体化设计,是该项技术的鲜明特征。标准化构件生产、高精度吊装定位、无支架快速安装,则是其核心工艺方法。BIM正向设计、数字化管控、智能化监测,为防护结构提供了全生命期的数字化解决方案。防护结构设计思路从依附走向自承,施工理念从现浇转变为拼装,建造方式从经验迈向科技,管理手段从粗放升级为精益,标志着防护工程迎来了智能建造时代。大量工程实践表明,预制装配式防护技术可显著提升施工效率,减少资源消耗,改善作业环境,提高防撞性能,已成为引领行业高质量发展的先进范式。

[参考文献]

- [1]刘国军,梁锐,杨元兵.复杂环境下钢筋混凝土简支梁式桥爆破拆除[J].爆破,2017,34(4):115-119.
- [2]胡涛.环境温度对上承式钢管混凝土拱桥自振特性的影响及地震响应分析研究[D].四川:西南交通大学,2018.
- [3]徐蝶.大跨上承式拱桥梁式拱上建筑多维地震易损性研究[D].重庆:重庆交通大学,2023.

作者简介:

向广林(1986--),男,汉族,四川省蓬溪县人,大学本科/工程师,从事的研究方向或工作领域:道路桥梁项目施工。