

箱梁预制自动化施工工艺研究

邓茂良

云南建投第六建设有限公司 云南 昆明 650000

摘要：箱梁预制是桥梁工程建设的关键环节，自动化施工已成为突破传统施工局限的核心路径。本文系统梳理箱梁预制自动化施工的核心支撑技术与全流程体系，详解各工艺模块的自动化作业流程，重点探讨施工精度管控、设备运维及工艺优化策略，提炼自动化施工的应用要点，为箱梁预制自动化技术的推广应用提供实操性参考，助力提升桥梁预制施工的整体质量与效能。

关键词：箱梁预制；自动化施工；工艺优化

引言：箱梁作为桥梁工程关键构件，其预制质量直接影响结构安全与使用寿命。传统人工施工模式存在效率低、精度差、安全风险高等问题。随着工业自动化技术发展，箱梁预制向集成化、智能化转型成为必然趋势。聚焦自动化施工工艺研究，分析其技术特征、工艺模块及管控优化路径，推动箱梁预制施工向高效、精准、安全方向升级。

1 箱梁预制自动化施工工艺概述

1.1 箱梁预制施工技术发展历程

早期箱梁预制施工主要依靠人工完成各项作业，从钢筋的切割、绑扎，到模板的搭设、调整，再到混凝土的浇筑、振捣，每一个环节都需要大量人力投入。这种施工模式不仅耗费时间长，而且施工质量受作业人员的技术水平、责任心影响较大，容易出现钢筋间距不均、模板拼接不严、混凝土密实度不足等问题。随着工程建设规模的不断扩大，对箱梁预制的效率和质量提出了更高要求，传统人工施工模式的短板日益明显，简单的机械化设备开始逐步应用到施工中。起初只是引入单一的机械工具，替代部分人工繁重作业，虽在一定程度上提高了效率，但各工序之间仍缺乏有效衔接，整体施工流程仍较为零散。后来，随着工业自动化技术进步，预制施工开始向集成化、自动化方向转型，整合各工序机械设备，实现多项施工环节的自动化衔接，施工效率和质量显著提升，逐步形成成熟的箱梁预制自动化施工技术体系。

1.2 自动化施工的核心技术特征

箱梁预制自动化施工的技术优势，集中体现在核心技术独特属性上。其最突出的特征是集成化，将钢筋加工、模板安装、混凝土浇筑、养护等道工序整合为一个连贯的自动化系统，打破传统施工中各环节分散作业的局限，实现流程闭环。精准化也是核心特征之一，

自动化设备依托预设程序和传感技术，能精准控制钢筋间距、模板定位、混凝土浇筑厚度及振捣力度，有效规避人工操作带来的误差。智能化体现在设备的自主调节能力上，可根据施工过程中的实时情况，自动调整作业参数，无需人工实时干预，同时能及时反馈作业状态，便于及时排查问题^[1]。此外，自动化施工还具备协同性，各自动化设备之间通过系统联动，实现同步作业，既减少了工序衔接的时间损耗，也进一步保障了施工质量的一致性，让箱梁预制施工更具规范性和高效性。

1.3 自动化施工的综合技术优势

箱梁预制采用自动化施工，相比传统人工和简单机械化模式，能从多方面体现技术优势。其能大幅减少工序衔接的等待时间，各环节自动化联动作业，无需人工频繁介入调度，有效提升整体施工效率。在施工质量上，自动化设备按照预设标准精准作业，避免了人工操作中可能出现的疏忽和误差，让箱梁的尺寸精度、钢筋布设、混凝土密实度等关键指标保持稳定，长久保障构件结构使用性能。同时能减少人力投入，降低人工劳动强度，尤其能规避高空作业、重型作业带来的安全风险，提升施工过程的安全性。自动化施工还能实现施工流程的规范化管控，减少人为因素对施工的影响，让每一批次预制箱梁的质量保持一致，为后续架设施工奠定良好基础，进一步提升箱梁预制施工的整体水平。

1.4 自动化施工核心支撑技术与全流程体系框架

箱梁预制自动化施工的稳定开展，离不开核心支撑技术的保障和全流程体系框架的规范。核心支撑技术主要包括自动化控制技术、传感检测技术和模块化集成技术，自动化控制技术主导各施工设备的协同作业，精准把控每道工序的作业参数；传感检测技术实时捕捉施工过程中各项数据，及时反馈偏差并辅助设备调整；模块化集成技术则将各工序设备整合衔接，形成高效作业

单元。全流程体系框架围绕箱梁预制全环节搭建,涵盖原材料加工、钢筋自动化加工绑扎、模板自动化安装调试、混凝土自动化浇筑振捣、智能养护及脱模转运等环节,各环节紧密衔接、层层递进,依托核心支撑技术实现流程标准化、作业自动化,既保障了施工的连续性,也让整个预制过程更具可控性,推动箱梁预制自动化施工有序高效开展。

2 箱梁预制自动化施工核心工艺模块

2.1 钢筋加工与安装自动化工艺

钢筋工序是箱梁预制的核心环节,自动化施工能大幅提升工序效率和施工质量,规避人工操作带来的偏差。钢筋加工环节采用自动化生产线,从原材料进场到成品下料、弯曲、焊接,全程无需人工过多干预,能精准把控钢筋的尺寸和形状,避免人工测量、弯折出现的误差。加工完成的钢筋构件,通过自动化输送设备转运至拼装区域,无需人工搬运,既减少劳动强度,也降低构件碰撞损坏的概率。钢筋安装环节依托自动化定位架和吊装设备,将加工好的钢筋骨架精准对位,安装过程中可自动调整位置和间距,确保钢筋保护层厚度符合施工要求。自动化焊接设备能实现钢筋节点的连续焊接,焊缝饱满、牢固,有效提升钢筋骨架的整体稳定性。整个工序衔接顺畅,从加工到安装形成闭环,既减少了人为操作的失误,也加快了施工进度,让钢筋施工环节更规范、更高效。

2.2 模板拼装与拆除自动化工艺

模板工序直接影响箱梁预制的外观质量和结构尺寸,自动化作业能有效解决人工操作的短板,提升施工规范性。拼装前需对模板进行自动化清理和打磨,去除表面杂物和锈迹,再通过自动化涂刷设备均匀涂抹脱模剂,确保后续脱模顺畅。拼装过程依托自动化定位导向系统,将底模、侧模、端模精准对接,通过电动驱动装置调整模板的垂直度和平面位置,无需人工反复校准,能有效控制模板拼接缝隙,避免漏浆问题。拼装完成后,自动化检测设备会对模板的安装精度进行全面核查,确保符合施工标准后再进入下一道工序^[2]。待箱梁混凝土达到规定强度后,启动自动化拆除设备,按照先侧模、后端模、再底模的顺序分步拆除,拆除过程平稳可控,能避免模板碰撞箱梁表面造成损伤,同时拆除后的模板可通过自动化输送设备转运至指定区域,便于后续清理和重复利用,既提升了施工效率,也保障了箱梁预制质量。

2.3 混凝土浇筑与养护自动化工艺

混凝土工序的施工质量直接决定箱梁的结构强度和

耐久性,自动化作业能有效规避人工操作的不确定性,提升工序稳定性。浇筑前,混凝土通过自动化搅拌系统按配比精准搅拌,搅拌完成后由自动化输送设备直接转运至浇筑区域,无需人工转运,避免混凝土在转运过程中出现离析现象。浇筑过程采用自动化布料机,均匀布料、分层浇筑,配合自动化振捣设备,确保混凝土振捣密实,杜绝蜂窝、麻面等质量缺陷。浇筑完成后,自动化养护系统立即启动,根据环境条件自动调节温湿度,通过喷淋或覆膜养护的方式,保持混凝土表面湿润。养护过程无需人工洒水,能实现全程恒温恒湿控制,有效减少混凝土收缩裂缝的产生^[3]。自动化浇筑与养护工序衔接紧密,全程由设备精准把控,既提升了施工效率,也能稳定保障混凝土强度,让箱梁预制质量更具可靠性。

2.4 预应力张拉与压浆自动化工艺

预应力工序是保障箱梁承载性能的关键,自动化作业能精准把控施工细节,解决人工操作中易出现的精度不足问题。张拉作业前,自动化设备会对钢绞线进行精准定位和清理,去除表面杂质,确保钢绞线受力均匀。张拉时,自动化张拉设备按照预设参数分步作业,精准控制拉力大小和伸长量,避免人工操作中可能出现的超张拉、欠张拉等问题,确保张拉效果符合施工标准。张拉完成后,自动化压浆设备立即启动,将搅拌均匀的浆体高压注入孔道,设备可自动调节压浆压力和速度,确保浆体充分填充孔道,杜绝空洞、断浆等质量缺陷。压浆结束后,设备会自动完成管路清理,减少后续人工清理工作量。整个工序无需人工过多干预,从张拉到压浆衔接紧密,既提升了施工效率,也能有效保障预应力体系的稳定性,为箱梁长期安全使用提供保障。

3 箱梁预制自动化施工工艺的管控与优化发展

3.1 施工精度管控与自动化监测技术

箱梁预制的精度直接关系到后续安装和使用安全,自动化监测技术为精度管控提供了可靠支撑,能实现施工全过程的精准把控。施工各环节均嵌入自动化监测设备,对钢筋间距、模板安装精度、混凝土浇筑厚度及预应力张拉参数等进行实时监测,监测数据可自动传输至控制终端,无需人工手动记录和分析。一旦监测到参数偏离预设标准,系统会自动发出预警,便于操作人员及时调整施工流程,避免误差累积。精度管控贯穿施工全流程,从原材料加工到成品预制,通过自动化监测实现各工序的无缝衔接,确保每一道工序都符合精度要求。自动化监测技术的应用,替代了传统人工监测的繁琐流程,减少了人为判断的误差,既能精准把控施工精度,也能为后续工艺优化提供真实有效的参考,让箱梁预制

的精度管控更高效、更精准。

3.2 全流程协同管理与智能调度

箱梁预制工序繁杂且衔接紧密,高效的协同管理与智能调度能破解各环节脱节难题,提升施工整体效能。全流程协同管理打破了各工序各自作业的壁垒,将钢筋加工、模板拼装、混凝土浇筑、预应力张拉等各环节整合为一个有机整体,实现作业信息的实时共享和同步推进。智能调度系统可统筹调配施工设备、人员和原材料,根据各工序的作业进度自动调整资源分配,避免出现设备闲置、人员冗余或原材料供应滞后等问题。作业过程中,系统能实时反馈各环节的施工状态,及时发现并协调解决工序衔接中的矛盾,确保施工流程顺畅有序。通过协同管理与智能调度,无需人工手动协调各环节,既减少了沟通成本,也避免了因人为调度失误导致的工期延误^[4]。这种全流程统筹管控的模式,让自动化施工的优势得到充分发挥,进一步提升了箱梁预制施工的协调性和高效性。

3.3 施工设备集成控制与智能运维保障

自动化施工的高效运转,离不开设备的集成管控和常态化运维,二者结合能有效避免设备故障导致的施工停滞,保障施工连续性。施工设备集成控制将各工序的自动化设备整合为统一系统,实现集中操控和联动作业,无需人工分别操作各台设备,既能减少操作流程,也能确保各设备运行节奏一致,避免因设备协同不畅影响施工进度。集成控制系统可实时反馈各设备的运行参数,便于操作人员精准把控设备运行状态,及时调整操作指令。智能运维保障则聚焦设备日常维护,通过自动化监测设备实时排查设备隐患,对易损耗部件进行提前预警,提醒操作人员及时检修更换。运维过程无需人工全面排查,既减少了运维工作量,也能降低设备故障发生率,延长设备使用寿命。通过集成控制与智能运维的配合,让自动化施工设备始终保持良好运行状态,为箱梁预制各工序的顺畅推进提供有力支撑,进一步提升自动化施工的稳定性和可靠性。

3.4 工艺优化升级与前沿技术融合应用

箱梁预制自动化施工的持续提升,离不开工艺的不断优化和前沿技术的深度融合,这是进一步提升施工质量和效率的关键。工艺优化聚焦现有自动化工序的短板,针对各环节衔接中的冗余步骤、设备运行中的不合理之处进行调整,简化操作流程,提升工序衔接的顺畅度,让自动化设备的效能得到充分发挥。优化过程中,结合施工实际需求,完善各工艺的操作标准,解决自动化施工中可能出现的衔接不畅、效率不均等问题。同时积极融合前沿技术,将数字化、智能化技术融入施工全流程,优化设备运行参数,实现施工过程的精准调控,进一步提升自动化施工的智能化水平^[5]。通过工艺优化与前沿技术的深度融合,打破传统自动化施工的局限,弥补现有工艺的不足,让箱梁预制自动化施工更具科学性和高效性,推动整个施工体系不断完善,更好地适配箱梁预制的高质量施工需求。

结束语:未来,箱梁预制自动化施工将深度融合数字化、智能化前沿技术,实现工艺流程再优化与设备性能再提升。通过全流程协同管理与智能调度,进一步减少工序衔接损耗,提高施工连续性。持续推进工艺优化升级与智能运维保障,构建更科学、高效的自动化施工体系,为桥梁工程建设高质量发展提供坚实技术支撑,引领预制施工工艺向更高水平迈进。

参考文献

- [1]王江花,王会清,钟俊林,等.基于自动化的箱型梁边梁焊接工艺研究及应用[J].金属制品,2025,51(5):60-62+66.
- [2]毛聪,安恩奇,王薪程,等.预制箱梁钢模板工作面自动仿形抛光设备研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2025,22(2):142-154
- [3]王雪.钢结构箱梁自动化焊接工艺研究[J].今日制造与升级,2025(3):84-86.
- [4]吴洋.制梁场箱梁预制智能自动张拉施工关键技术研究与应用[J].建筑机械,2025(11):310-314.
- [5]孙谋飞.预制装配式箱梁智能管控流水线预制施工技术研究[J].低碳世界,2025,15(2):148-150.