

装配式技术在公路工程结构设计中的应用与创新

杨丽花

云南经远工程咨询有限公司 云南昆明 650500

摘要: 在公路工程建设向绿色化、工业化转型的背景下,装配式技术凭借其质量可控、施工高效、环保节能的核心优势,成为突破传统施工模式瓶颈的关键支撑。本文以装配式技术在公路工程结构设计中的实践应用为核心,系统分析该技术在路基、桥梁、涵洞等核心结构中的设计要点与应用逻辑,结合典型工程案例阐述模块化设计、智能装配系统等创新方向,并探讨当前技术应用中面临的标准体系、协同机制等问题,提出针对性优化路径,为推动装配式技术在公路工程领域的深度落地与创新发展提供理论参考。

关键词: 装配式技术;公路工程;结构设计;模块化创新;智能装配

引言

随着我国交通基础设施建设进入提质增效的新阶段,传统公路工程施工中现场湿作业多、工期长、质量波动大、生态扰动严重等问题日益凸显,已难以适应现代交通建设对效率、环保与质量的综合要求。装配式技术通过工厂标准化预制构件、现场精准拼装的模式,实现了公路工程建设从“现场建造”向“工厂制造”的转型,为解决传统施工痛点提供了有效方案。近年来,在政策推动与技术进步的双重驱动下,装配式技术在公路工程中的应用场景不断拓展,从简单构件装配逐步走向全结构体系创新^[1]。深入研究该技术在公路工程结构设计中的应用规律与创新方向,不仅能丰富装配式公路工程的设计理论,更能为实际工程提供科学指导,对推动公路建设行业的工业化升级具有重要现实意义。

一、装配式技术在公路工程结构设计中的核心应用场景

1. 路基结构中的装配式设计应用

路基作为公路的承载基础,其稳定性直接决定公路的通行安全与使用寿命,尤其在软土地基等复杂地质条件下,传统填土路基易出现工后沉降问题。装配式桩板结构作为路基装配式设计的典型形式,通过“预制桩+预制板”的刚性框架体系,有效破解了复杂地质下的路基稳定难题。在设计过程中,需重点把握地质适应性与结构协同性两大核心要点:针对软土地质,采用植入法复合管桩基础技术,通过桩体与地基的嵌固作用提升基础抗变形能力,配合预制承载板形成连续受力体系,从

根源上控制工后沉降;同时结合公路通行荷载要求,优化桩体间距、板体厚度等参数,确保桩板结构与上部路面结构的受力传递顺畅^[2]。

2. 桥梁结构中的装配式设计应用

桥梁作为公路跨越障碍的关键结构,其施工难度大、技术要求高,是装配式技术应用的重点与难点领域。装配式桥梁设计以构件标准化,拼装便捷化为核心原则,涵盖上部结构,下部结构及连接节点三大设计模块,形成全流程装配式解决方案。预制箱梁、T梁在上部结构中,用作装配式构件应用最为广泛,其设计重点是兼顾预制精度和拼装效率。在设计过程中,还要有统一的截面形式和钢筋排布标准,以保证在工厂生产中构件的标准化,预留合适的连接接口,为现场拼装创造条件。对大跨度桥梁,采用模块化节段预制技术,将主梁分为若干节段,在工厂预制,现场采用预应力张拉连接形成整体结构,一方面减少了大型构件的运输与吊装难度,另一方面也通过节段间的协同受力提升了结构整体承载能力。下部结构采用装配式结构,以墩柱、盖梁、基础为骨干,用预制构件代替现场浇筑。墩柱设计采用工厂预制实心或空心墩柱,配合预埋连接钢筋或灌浆套筒技术,使墩柱与基础、盖梁刚性连接,以保证受力传递可靠^[3]。基础部分则结合地质条件选用预制桩基础或预制沉井基础,以标准化生产提高基础施工质量,减少现场作业时间。装配式桥梁设计的连接节点,是关键的一环,它关系到结构的整体性与安全性。设计中应采用刚性和韧性兼具的连接方式,如灌浆套筒连接、预应力钢束连接等,使节点既能承受荷载传递力,又能适应简单的变形。同

时，在节点设计中应结合防水密封的要求，通过橡胶密封圈、防腐涂层等处理，防止雨水的进入影响桥梁连接的性能，以提高桥梁结构的耐久性。

3. 装配式设计在涵洞结构中的应用

涵洞是公路排水与通行的辅助结构，数量多、分布散，传统的现场浇筑施工模式，效率低下，且质量难以统一控制。装配式涵洞预制管节、箱涵等构件标准化生产与现场拼装，提高了施工效率与质量稳定性。装配式涵洞设计要根据排水流量、地质条件选择结构形式，预制箱涵与预制管涵是应用最广泛的^[4]。箱涵采用整体式或分片式预制，设计时应优化箱涵的截面尺寸与配筋，以满足抗渗、抗裂要求，涵节端部设置企口或法兰连接结构，再配合密封材料以实现防水功能。预制管涵则适用于中小流量排水场合，采用标准化管节生产与柔性连接技术，适应地基的轻微沉降，不会造成管涵的开裂。

二、装配式技术在公路工程结构设计中的创新方向

1. 模块化设计体系创新

模块化设计是实现装配式技术高效应用的核心前提，将公路工程结构分解成标准化、通用化的模块单元，实现构件的批量生产与灵活组合，突破传统设计“一项目一方案”的局限。在模块划分过程中，要按照“合理受力、便捷装配、功能集成”的原则，既保证单个模块的结构独立性与生产可行性，又确保模块间的兼容性与协同性。桥梁结构的模块化设计已从单一构件模块发展为功能集成模块，例如将桥墩、盖梁、支座集成设计为整体模块，工厂预制时完成内部钢筋、预埋件的精准布设，现场仅需一次吊装即可完成下部结构安装，大幅减少现场作业工序。路基结构中，通过将桩体、承载板、防护栏设计为标准化模块，可根据不同路段的荷载要求与地质条件，灵活调整模块组合形式，实现“模块化拼装、个性化适配”的设计目标。

2. BIM技术驱动的协同设计创新

BIM技术作为数字化设计的核心工具，为装配式公路工程结构设计提供了全流程协同平台，解决了传统设计中各专业信息割裂、构件与施工衔接不畅的问题。通过构建包含构件参数、材料性能、施工工艺等全信息的BIM模型，实现设计、生产、施工、运维各阶段的信息集成与共享。在设计阶段，利用BIM模型的可视化与参数化特性，可完成构件的三维精准设计与碰撞检查，提前发现钢筋排布、连接接口等设计冲突，避免后期施工返工^[5]。同时，BIM模型可直接对接工厂预制生产线，将

构件设计参数转化为生产指令，实现设计与制造的无缝衔接；施工阶段，通过BIM模型与现场吊装设备的联动，可实时监控构件拼装精度，确保装配过程的精准可控，为装配式技术的高效落地提供数字化支撑。

3. 智能装配与监测系统创新

智能装配系统的研发与应用，是提升装配式公路工程施工精度与效率的关键创新方向，其核心在于通过自动化设备与传感技术的融合，实现构件拼装过程的智能化控制与实时监测。在大型桥梁构件拼装中，智能吊装机器人通过搭载激光导航与视觉识别系统，可自动完成构件的定位、对接，其拼装精度较人工操作大幅提升，同时降低了高空作业风险。结构健康监测系统的集成设计，进一步拓展了装配式技术的应用价值。在预制构件生产时嵌入光纤传感、应变片等监测元件，形成“感知型构件”，拼装完成后通过数据传输网络实时采集结构受力、变形等参数，实现公路结构全生命周期的健康监测。

4. 高性能材料融合创新

新材料的研发与应用为装配式公路工程结构设计提供了更多可能性，通过将轻质高强、耐久环保的新型材料与装配式技术结合，可进一步优化构件性能、降低工程成本。高性能混凝土材料的应用是其中的典型代表，相较于传统混凝土，高性能混凝土具有强度高、耐久性好、收缩率小的优势，可减小预制构件的截面尺寸与自重，降低运输与吊装难度，同时延长结构使用寿命。此外，轻质高强复合材料、防腐涂层材料等的应用，进一步提升了预制构件的抗腐蚀能力与环境适应性，尤其适用于恶劣环境下的公路工程，为装配式技术在特殊环境中的应用突破提供了材料支撑。

三、装配式技术在公路工程结构设计中面临的问题

尽管装配式技术在公路工程结构设计中已取得显著进展，但在技术落地与规模化应用过程中，仍面临标准体系不完善、协同机制不健全、成本控制难度大等问题，制约了技术优势的充分发挥。标准体系碎片化是当前最突出的问题之一。目前我国装配式公路工程相关标准多分散于构件生产、施工验收等单一环节，缺乏覆盖设计、生产、拼装、运维全流程的统一标准体系，不同地区、不同项目的设计标准存在差异，导致预制构件难以跨项目复用，制约了模块化设计的推广。同时，针对复杂地质条件、特殊结构形式的专项设计标准缺失，使得设计人员缺乏明确的技术依据，增加了设计风险。设计与施

工、生产的协同机制不畅同样影响技术应用效果。传统设计模式中,设计环节与工厂生产、现场施工相互脱节,设计人员对构件生产工艺、吊装设备能力考虑不足,导致部分设计方案虽满足受力要求,但存在生产难度大、拼装效率低的问题。成本控制难题成为制约装配式技术规模化应用的重要因素。虽然装配式技术可通过缩短工期、减少后期维修实现间接效益,但前期工厂建设、模具投入、大型设备购置等初始成本较高,且部分特殊构件的定制化生产进一步推高了成本。在中小规模公路项目中,成本优势不明显,导致业主方对装配式技术的接受度有待提升。

四、推动装配式技术在公路工程结构设计中优化发展的路径

1. 构建全流程标准体系

由行业主管部门牵头,联合设计单位、科研机构、施工企业共同编制覆盖设计、生产、拼装、运维的统一标准规范,明确各环节的技术要求与质量指标。针对软土地基、大跨度桥梁等特殊场景,制定专项设计指南,为精准设计提供依据。同时推动标准的动态更新,结合技术创新成果及时补充完善标准内容,实现标准与技术发展的同频同步。鼓励企业参与制定企业标准与团体标准,形成国家、行业、企业三级标准体系,提升标准的适用性与灵活性。

2. 建立多主体协同机制

推广“设计—生产—施工”一体化模式,将工厂生产、现场施工需求融入设计全过程,通过联合设计会议、BIM协同平台等方式,实现设计、生产、施工单位的实时沟通。在项目初期组建包含各方专业人员的联合团队,共同参与设计方案论证,确保设计方案既满足结构安全要求,又具备生产可行性与施工便捷性。例如在构件接口设计阶段,邀请工厂技术人员与施工人员参与评审,优化接口形式,提升拼装效率。

3. 强化核心技术研发与转化

加大对模块化设计、智能装配设备、高性能材料等关键技术的科研投入,鼓励产学研合作,推动技术创新成果的工程化转化。重点研发适用于中小规模项目的小型化、低成本智能装配设备,降低技术应用门槛;针对成本敏感问题,优化构件生产工艺,通过模具复用、批量生产降低单位构件成本;同时加强BIM技术与物联网、

人工智能的融合应用,构建全生命周期数字化管理平台,提升技术应用的综合效益。

4. 完善政策支持与市场引导

政府部门可以通过专项补贴、税收优惠等政策降低企业应用装配式技术的初始成本,在招投标环节对采用装配式技术的项目给予加分鼓励,提高企业的积极性。同时加强典型工程案例的推广,总结成功经验形成可复制的设计与施工模式,为行业提供示范参考。培育一批装配式公路工程专业设计与施工队伍,提高行业整体技术水平,促进装配式技术在公路工程领域的良性发展。

结论

公路工程结构设计中装配式技术的应用和创新,是公路建设行业工业化升级的必然趋势,它的价值在于通过工厂标准化和现场精准化相统一,使工程质量、效率与环保得到协同提升。本文研究发现,装配式技术在公路路基,桥梁,涵洞等核心结构中的应用已经较为成熟,模块化设计,BIM协同,智能监测等创新方向已促使其技术应用向更高层次发展。虽然目前技术应用中还存在标准不完善,协同不畅,成本较高等问题,但构建全流程标准体系,构建多主体协同机制,强化技术研发与转化,完善政策支持可有效破解这些瓶颈。未来,随着技术的不断创新与应用模式的不断优化,装配式技术将在公路工程结构设计中得到更广泛的应用,为推动我国公路建设事业向高质量、绿色化、工业化方向发展提供坚实的支撑。

参考文献

- [1] 赵维杰. 公路工程装配式预制箱形通道施工技术分析[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(23): 154-156.
- [2] 曾冬霞, 褚肖肖, 罗鹏蛟, 汪韬. 公路工程半重力式装配式生态挡墙应用技术研究[J]. 中国水运, 2023, (07): 151-153.
- [3] 卢金龙. 装配式结构在公路工程中的应用分析[J]. 西部交通科技, 2022, (09): 178-179.
- [4] 唐楠. 公路工程装配式混凝土路面施工技术及其效益研究[J]. 科学技术创新, 2022, (17): 118-121.
- [5] 王辉. 公路工程建设中预制装配式桥梁的应用[J]. 智能城市, 2020, 6(08): 29-30.