

公路桥梁施工技术研究

周 涛

长江勘测规划设计研究有限责任公司 湖北 武汉 430010

摘要：公路桥梁施工技术对于保障交通基础设施的质量与安全至关重要。本文深入剖析公路桥梁施工技术的基础理论，详细探讨包括基础施工、主体结构施工、桥面与附属设施施工等关键技术，并研究BIM技术、3D打印技术及智能监测技术等新技术应用。同时，对公路桥梁施工技术发展趋势进行展望，阐述智能化与自动化、绿色环保可持续、高性能材料创新应用以及工业化与预制装配化等方向。通过对施工技术全方位的研究，旨在为公路桥梁建设提供技术参考，促进施工技术不断创新与发展，提升公路桥梁工程的整体水平与耐久性。

关键词：公路桥梁；施工技术；研究

引言：公路桥梁作为现代交通网络的关键节点，其建设质量直接关系到交通运输的顺畅与安全。随着经济的快速发展和科技的不断进步，公路桥梁建设面临着更高的要求和挑战。施工技术的不断革新与优化成为提高公路桥梁工程品质的核心要素。从基础施工的稳固性到主体结构的精确构建，再到桥面与附属设施的精细施工，每一个环节都需要先进技术的支撑。同时，新兴技术如BIM技术、3D打印技术等正逐步融入公路桥梁施工领域，为施工过程带来更高效的管理、更精准的建造以及更可靠的质量控制。对公路桥梁施工技术的深入研究，有助于推动交通基础设施建设迈向新的高度，适应社会日益增长的交通需求并保障人民的出行安全。

1 公路桥梁施工技术基础理论

公路桥梁施工技术基础理论是构建稳固、安全且耐用桥梁结构的基石。它涵盖多个关键领域，首先是力学原理，包括结构力学、材料力学与岩土力学等。结构力学用于分析桥梁在各种荷载作用下的内力与变形，确保结构设计符合强度、刚度与稳定性要求；材料力学研究桥梁材料在受力时的性能，助力合理选材与截面设计；岩土力学则专注于基础工程，评估地基承载能力与变形特性，为基础选型与施工提供依据。材料科学理论也极为重要，涉及混凝土、钢材等常用材料的特性、配合比设计及耐久性研究。优质材料与科学配比能提升桥梁结构的整体性能与寿命。此外，施工工艺理论包含各类施工方法的流程、技术要点与质量控制标准。例如桩基施工的不同工艺、混凝土浇筑与振捣方法以及预应力技术原理等，这些理论指导施工人员规范操作，保障施工质量与效率^[1]。

2 公路桥梁施工关键技术研究

2.1 基础施工技术

2.1.1 桩基施工技术

根据成桩方式可分为灌注桩和预制桩。灌注桩施工时，先利用钻孔机械在设计桩位处钻孔，如回旋钻机适合软土地层，冲击钻可应对坚硬岩石层。钻孔过程中，通过泥浆护壁防止孔壁坍塌，保持孔内水位稳定，确保施工安全。清孔后下放钢筋笼，再灌注混凝土形成桩体，其能适应各种复杂地质条件，桩径和桩长可灵活调整。预制桩则是在工厂或现场预制好桩身，然后通过锤击、静压或振动等方式将桩沉入土中。锤击桩施工速度快，但噪音大且可能对桩身造成损伤；静压桩无噪音污染，桩身质量易保证，但对场地要求较高。桩基施工过程中，需严格控制桩位偏差、垂直度、入土深度以及混凝土质量等参数，以确保桩基承载力满足设计要求，为桥梁上部结构提供稳定支撑。

2.1.2 沉井与地下连续墙技术

沉井技术是在地面或基坑内制作开口的钢筋混凝土井身，然后通过挖掘井内土方，使其依靠自重逐渐下沉至设计标高。沉井可作为桥梁墩台基础，适用于大型桥梁基础施工。其施工过程中，需精准控制井壁垂直度和下沉速度，防止倾斜或突沉。在软土地层中，可采用不排水下沉方式，减少对周边土体扰动；在硬土层则可排水下沉并配合爆破等手段。地下连续墙技术是沿桥梁基础周边轴线，在特制泥浆护壁条件下，使用挖槽机械分段挖掘深槽，然后吊放钢筋笼并浇筑混凝土形成连续墙体。地下连续墙刚度大、止水效果好，能有效抵抗侧向土压力和地下水压力，适用于深基坑、地下水位高及周边环境复杂的桥梁基础工程。

2.2 主体结构施工技术

2.2.1 预制构件安装技术

预制构件安装技术在公路桥梁建设中优势显著。首

先在预制场集中生产梁体、墩柱等构件，质量更易管控。例如预制箱梁，可采用标准化模具与成熟工艺，确保尺寸精确、性能稳定。运输至桥位后，利用大型吊车或架桥机进行安装。吊车起吊能力强、机动性好，适用于跨径较小、场地开阔的桥梁；架桥机则专门针对桥梁架设，可沿轨道纵向移动，高效完成多跨梁体安装。安装过程中，通过精准测量定位，严格控制构件的高程、轴线偏差，保证各构件准确对接，使桥梁结构受力均匀，快速形成稳定的主体结构，大幅缩短现场施工周期，提高施工效率与工程质量。

2.2.2 悬臂浇筑与顶推施工技术

悬臂浇筑施工借助挂篮在桥墩两侧对称逐段浇筑混凝土并张拉预应力筋。挂篮可移动且能提供浇筑与张拉平台，无需大量支架，适用于大跨径预应力混凝土梁桥。施工时，需精确控制挂篮移动定位、混凝土浇筑顺序与质量以及预应力施加，确保各节段线形流畅、内力合理，最终合龙成桥。顶推施工则是在桥台后方预制梁体，通过千斤顶施加水平推力，使梁体沿滑道逐段向前顶推就位。其设备简单、施工平稳，对桥下交通干扰小，适合跨越铁路、道路等障碍物的桥梁施工。

2.2.3 拱桥施工关键技术

拱桥施工关键技术因拱桥类型而异。对于有支架施工的拱桥，需先搭建满堂支架，要保证支架强度、刚度与稳定性，防止在拱圈施工过程中出现变形或坍塌。拱圈砌筑或浇筑时，需沿拱轴线对称进行，控制加载顺序与速度，使拱圈受力均匀。无支架施工的缆索吊装法利用缆索起重机吊运预制拱肋节段，在空中完成拼装合龙，对吊装设备与操作精度要求高，要确保拱肋节段的准确对位与连接。劲性骨架法先构建劲性骨架，再围绕其浇筑混凝土形成拱圈，骨架设计与施工是关键，需考虑其承载能力与稳定性，同时要处理好骨架与混凝土的协同工作问题，保障拱桥结构的安全与美观，充分发挥拱桥的力学性能优势。

2.3 桥面与附属设施施工

2.3.1 桥面铺装技术

桥面铺装是直接承受车辆荷载并保护主梁的关键构造。主要分为沥青混凝土铺装和水泥混凝土铺装两类。沥青混凝土铺装具有行车舒适、噪音小、维修便捷等优点。施工时，先对桥面进行细致清理，确保平整干燥，接着铺设防水层，如防水卷材或涂料，防止水分侵蚀主梁。然后采用摊铺机均匀摊铺沥青混合料，严格控制摊铺厚度、平整度与温度，摊铺后及时用压路机碾压，遵循初压、复压、终压的顺序，确保压实度符合规范要

求，使路面平整密实。水泥混凝土铺装则强度高、耐久性好。先安装模板，保证模板稳固顺直，再绑扎钢筋网，增强铺装层的承载能力^[2]。

2.3.2 护栏与排水系统施工

护栏是保障桥梁行车安全的重要设施。钢筋混凝土护栏施工时，首先进行精确测量放线，确定护栏位置。接着绑扎钢筋，严格按照设计要求控制钢筋数量、规格、间距，确保其结构强度。然后安装模板，模板要牢固且拼接紧密，保证护栏外观线条顺直。最后浇筑混凝土，充分振捣使混凝土密实，表面平整光洁。金属护栏施工，先安装立柱，对立柱的垂直度、间距进行严格控制，一般采用焊接或螺栓连接方式固定在桥面上。再将护栏板与立柱连接，确保连接牢固，调整护栏板高程，使其线形美观流畅，能有效阻挡车辆越出桥面。排水系统施工对于保护桥梁结构至关重要。在桥面设置横坡与纵坡，引导雨水流向排水口。排水口通常设置在桥梁两侧，通过排水管将雨水引至桥下排水设施。

2.4 新技术应用

2.4.1 BIM技术在施工中的应用

通过构建三维信息模型，整合桥梁的结构设计、施工进度、材料设备等多方面信息。在设计阶段，能提前发现设计冲突与不合理之处，优化设计方案。施工前可进行虚拟施工模拟，预演施工流程，确定最佳施工顺序与资源分配计划，减少施工中的错误与变更。在施工过程中，基于BIM平台实现各参建方信息实时共享与协同工作，方便对工程进度、质量、安全进行可视化管理。例如，精准控制材料采购与使用量，及时调整施工进度偏差，有效提高施工效率、降低成本，并保障桥梁施工质量与工期目标的达成。

2.4.2 3D打印技术在桥梁建设中的探索

3D打印技术在桥梁建设领域正处于积极探索阶段。它能够依据预先设计的三维模型数据，逐层打印建筑材料构建桥梁构件或整体结构。在材料方面，不断研发适配的高性能混凝土、复合材料等，以满足桥梁结构强度与耐久性要求。与传统施工方法相比，3D打印可实现复杂形状构件的精确制造，减少模具制作成本与时间。例如，一些小型桥梁试验段已成功打印，展现出独特的造型与结构优势。然而，目前该技术仍面临打印速度、设备成本、材料性能优化等诸多挑战，大规模应用于公路桥梁建设尚需进一步技术突破与实践验证。

2.4.3 智能监测与质量控制技术

智能监测与质量控制技术为公路桥梁施工保驾护航。利用传感器网络，如应变片、位移计、加速度传感

器等,实时采集桥梁施工过程中的结构受力、变形、振动等数据。通过无线传输技术将数据传输至监控中心,经数据分析处理,可及时发现施工中的异常情况,如混凝土浇筑不密实、结构受力超限等问题,并预警提示。在质量控制方面,采用无损检测技术,如超声波检测混凝土内部缺陷、雷达探测钢筋分布情况等,精准评估施工质量。结合大数据与人工智能算法,对监测数据进行深度挖掘与分析,预测施工质量趋势,为施工决策提供科学依据,确保公路桥梁施工全过程质量处于可控状态,保障桥梁结构安全可靠。

3 公路桥梁施工技术发展趋势

3.1 智能化与自动化

智能化与自动化是公路桥梁施工技术的显著发展趋势。借助物联网、大数据、人工智能等先进技术,实现施工全过程的智能化管控。例如,智能施工设备可依据预设程序自主作业,提高施工精准度与效率,降低人力成本与误差。自动化监测系统实时收集桥梁结构的各类数据,运用数据分析技术预测结构性能变化,提前预警安全隐患,为维护决策提供科学依据。建筑信息模型(BIM)技术在施工规划、进度管理与协同作业中广泛应用,促进各环节无缝对接,优化资源配置,推动公路桥梁施工朝着高效、智能、安全的方向加速迈进,开启智慧桥梁建设新时代。

3.2 绿色环保可持续

绿色环保可持续已成为公路桥梁施工技术的核心追求。在材料选择上,积极推广应用环保型材料,如再生骨料混凝土、可降解材料等,减少对天然资源的依赖与环境破坏。施工过程中,注重节能减排,采用太阳能、风能等清洁能源驱动施工设备,降低碳排放。同时,优化施工工艺以减少扬尘、噪声、污水等污染物排放,通过合理规划施工场地、设置环保设施实现废弃物的分类回收与循环利用。此外,在桥梁设计阶段充分考量生态因素,采用生态友好型结构形式,促进桥梁与周边自然环境和谐共生,实现公路桥梁建设从规划到运营全生命周期的绿色可持续发展。

3.3 高性能材料创新应用

新型高性能混凝土具备高强度、高耐久性、良好的抗裂性与自修复能力等特性,可显著提升桥梁结构的承

载能力与服役寿命,减少维护成本。纤维增强复合材料(FRP)以其轻质、高强、耐腐蚀的优势在桥梁建设中崭露头角,应用于索结构、桥面板等部位可减轻结构自重、增大跨越能力。智能材料如形状记忆合金、压电材料等的引入,使桥梁结构具备自感知、自适应与自修复功能,能实时监测结构健康状况并自动调节受力状态,有效提高桥梁的安全性与可靠性,为公路桥梁的设计与施工开辟全新的可能性与发展空间^[3]。

3.4 工业化与预制装配化

预制装配式桥梁将构件在工厂标准化生产加工,质量更稳定可控,有效避免现场施工因环境、人为等因素导致的质量波动。运输至现场后进行快速装配,显著缩短施工周期,提高施工效率,减少对周边交通与环境的影响。同时,工业化生产有利于推动建筑产业转型升级,促进资源整合与优化配置,实现规模化效益。随着预制装配技术的不断成熟,包括新型连接技术研发、高精度构件制造技术提升以及装配工艺优化等方面的进步,公路桥梁工业化建造模式将在未来基础设施建设中占据主导地位,引领公路桥梁施工技术迈向高效、优质、可持续的新高度。

结束语

公路桥梁施工技术的进步对交通事业发展起着关键推动作用。通过对基础施工、主体结构施工、桥面与附属设施施工以及新技术应用等多方面的深入研究,我们明确了各类技术要点与发展方向。从传统工艺的精进到智能化、绿色化、高性能材料及工业化等新兴趋势的崛起,为构建更安全、耐用、环保且高效的公路桥梁提供了坚实保障。未来,持续的技术创新与优化将进一步提升公路桥梁的品质,更好地连接地域,促进经济繁荣与社会交流,助力交通基础设施迈向新的辉煌征程。

参考文献

- [1] 张晓腾. 建筑施工中桩基施工技术探析[J]. 科技创新与应用. 2020(34):153-154.
- [2] 张金海. 关于建筑工程中桩基施工技术的思考思路构建[J]. 建材与装饰. 2020(17):27-29.
- [3] 张明. 铁路桥梁桩基施工技术分析[J]. 建筑技术开发. 2019(4):126-127.