

谈高速公路桥梁土建工程中预制技术

田登省

贵州省公路工程集团有限公司，贵州贵阳，550001；

摘要：本文以高速公路桥梁土建工程为背景，对预制技术在实际工程中的应用进行了系统的探索。本项目以预制梁和预制桥墩为研究对象，对其工业化生产过程进行解构，剖析其运输与安装技术要点，并以典型工程案例进行实证研究。运用定量评价模型，科学地测算了工期、质量和费用控制。研究表明，预制装配技术对提高施工效率、保证工程质量、实现绿色施工具有重要意义，可为促进我国高速公路桥梁施工技术创新提供理论和实践支持。

关键词：高速公路；桥梁；预制技术

DOI：10.69979/3029-2727.25.09.006

随着“交通强国”的持续推进，我国高速公路建设规模不断扩大。桥梁是高速公路的控制性工程，其施工工艺的好坏直接关系到整个工程的施工水平。预制装配技术以其工业化生产和装配化的特点，逐渐成为我国高速公路桥梁建设的主要技术手段。该技术将传统的现场操作迁移到车间环境中，实现了构件的标准化和精细化生产，有效避免了现场施工受到环境约束和质量波动大的缺陷。本项目拟对预制件的全过程进行分析，揭示预制件的技术优势和应用价值。

1 预制技术核心理论与应用现状

1.1 预制技术特征解析

预制技术按照“设计—工厂预制—现场组装”的思路，把桥梁构件的制造过程提前至专业工厂进行。与传统现浇工艺相比，该技术具有四个显著的优点：在工厂化生产环境中，采用流水线作业方式，在高精度机械设备的辅助下，零件的生产效率可以提高60%以上；通过标准化的生产工艺和严格的质量控制系统，保证了构件的尺寸误差小于±2毫米，混凝土的强度分散系数小于0.12；采用封闭式生产工艺，减少了70%的现场湿作业，大大减少了建筑废弃物的排放和扬尘污染；室内生产环境消除季节性因素对施工的影响，有效地保证了施工的连续性^[1]。

1.2 行业应用发展态势

目前，公路桥梁预制技术的应用深度和广度都在不断扩大。预制梁是30~50m跨度桥梁的核心应用构件，已形成预应力梁和小箱梁等较为成熟的产品体系，占30~50m跨度桥梁的85%以上。装配式桥墩技术突破了传统建造方式的限制，在复杂地形、软土地基等环境下的应用案例逐年增多。据统计，近三年来，我国高速公路重点建设项目中，预制件的综合利用率已经达到了75%，

一些示范项目已经超过了90%，显示出了强大的技术生命力。

2 预制构件工业化生产技术体系

2.1 预制梁精细化制造工艺

2.1.1 原材料性能优化与配比设计

对预制梁的原材料进行了严格的选择，水泥选用42.5级以上的硅酸盐水泥，粗骨料选用连续级配碎石，细骨料选用中砂，细度模数为2.3~3.0。在正交试验的基础上，通过正交试验优选出了水泥用量480kg/m³、水胶比0.32、砂率38%、掺加1.2%的高效减水剂，并对其进行了试验研究。结果表明，混凝土的初坍落度达180~220mm，28d强度测试结果为58MPa，达到了高性能混凝土的指标要求。

表1 原材料配比

原材料选择	水泥	42.5级以上硅酸盐水泥
	粗骨料	连续级配碎石
	细骨料	中砂，细度模数2.3-3.0
配合比参数	水泥用量	480kg/m ³
	水胶比	0.32
	砂率	38%
	外加剂	1.2%高效减水剂
性能指标	初坍落度	180-220mm
	28d强度	58MPa

2.1.2 高精度模板系统构建

模板采用自定义钢模板系统，模板板厚6毫米以上，框架采用10#槽钢加固。经数控加工，模板尺寸精度控制在±1.5毫米以内，接缝间隙控制在0.5毫米以内。表面经过抛丸除锈，再喷上长效隔离剂，保证了预制梁的表面光洁度达到Ra3.2μm，有效地提高了构件的外观质量^[2]。

2.1.3 钢筋工程精准施工

用数控机床对钢筋进行调直、裁弯、弯曲等工序,加工精度控制在 ± 3 毫米以内。为了保证接头的强度符合母材要求,采用闪光对焊结合机械连接的方法。安装钢筋骨架时,用定位夹具控制间距不超过 ± 8 毫米,保护层采用高强度塑料垫块,保证厚度偏差不超过 ± 3 毫米。

2.1.4 混凝土浇筑养护一体化控制

采用分层连续浇筑的方法,每层混凝土厚度控制在300~500mm之间,采用高频振捣器振捣,振捣时间控制在20~25秒以内。在养护环节中,蒸汽养护分为升温(速度 $\leq 15^{\circ}\text{C}/\text{h}$)、恒温(温度 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{h}$)、降温(速度 $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$)三个阶段,总养护时间不少于12小时,有效地缩短了养护时间,提高了生产效率。

2.2 预制桥墩创新制造技术

2.2.1 结构优化设计

根据不同的地质条件和受力要求,装配式桥墩形成了柱型和薄壁型等不同的结构型式。采用有限元方法对钢筋配筋设计进行了优化设计,使钢筋配筋比例减小15%~20%,满足承载力要求。为保证桥墩与基础及梁体的可靠连接,采用了预留灌浆套管和预应力筋连接的新技术^[3]。

2.2.2 生产工艺创新

采用垂直浇注工艺,配以专用翻板装置,实现零件的成型。模板采用整体钢模板,采用液压系统实现快速开模和合模。为防止离析,采用串筒入模,控制自由落体高度在2米以内。在养护过程中,采用智能温控系统,对养护温湿度进行实时监控和调整,保证了混凝土的强度稳步增长。

2.3 预制技术的关键技术要点

2.3.1 构件制作精度控制

模具的精度控制:模具对于保证零件的尺寸精度至关重要,要定期检查、保养模具,及时修理或更换磨损的零件。在模具安装时,必须使用高精度的测量仪器对模具进行标定,以保证模具的尺寸偏差不超过允许的范围。

钢筋加工及安装的精度控制:在钢筋加工过程中,必须严格按设计要求下料、弯曲。在安装钢筋时,应确保钢筋位置准确,并通过定位钢筋、垫块等措施对钢筋进行固定,以防止其移位。

混凝土浇注成型精度控制:对混凝土坍落度及浇筑速度进行控制,防止混凝土流动度过大或过小造成构件表面不平、孔洞等缺陷。混凝土初凝前,对构件表面进行抹面,以确保其平整。

2.3.2 连接技术

湿式接缝:湿式接缝是一种常见的接缝形式,主要用于梁-梁、板-板的连接。施工时,应确保湿接缝的宽度、深度满足设计要求,清除接缝处杂物、浮浆,浇注高性能混凝土,加强养护,保证湿接缝混凝土与预制件的粘结强度。

预应力节点:预应力节点是一种能有效提高结构整体性和承载力的结构形式。张拉时,为保证预应力筋应力分布均匀,应严格控制张拉力及伸长量。为防止预应力筋锈蚀,张拉结束后应及时封锚。

灌浆套管接头:套管套管接头主要应用于预制桩和基础、桩与桩的连接。在施工过程中,应确保套管的质量、安装位置的精确、灌浆材料的性能满足要求。在注浆时,应选择适当的注浆设备及工艺,以保证注浆密实,使套管与钢筋牢固结合。

2.3.3 运输与安装过程中的构件保护

运输防护:在运输期间,应对预制件进行合理的加固与保护,以避免构件在运输途中碰撞、变形及损伤。例如,将橡胶垫设置在部件和运输车之间,以保护易损部件。安装防护:吊装及安装时,应正确选择起吊点及吊装方法,以防止构件因受力不均匀引起的开裂、损伤。在吊装过程中应注意控制吊装速度及吊装高度,避免吊装过程中部件与其它物体发生碰撞。

3 预制构件运输安装关键技术

3.1 运输过程质量保障

根据构件的尺寸和重量,选用专用的运输设备,采用模块化液压平板拖车进行运输,并配备智能监控系统,实时监测运输状况。运输线路的勘察设计,关键节点如桥梁和隧道的荷载校核。在部件和运输设备之间,安装了减震橡胶垫和可调节的固定装置,以保证部件在运输过程中的位移量不超过 $\pm 10\text{mm}$ 。

3.2 高精度安装技术体系

根据跨度的大小,采用架桥机和吊车等设备进行预制梁的安装。安装前先对桥墩顶面进行铣刨,平整度误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。采用全站仪和GPS联合测量,保证梁的纵、横、竖向偏差在3.0mm以内。在预制桥墩安装过程中,采用压浆灌浆技术,保证了连接强度,灌浆饱满度检验合格率达到100%。

4 工程应用实证分析

4.1 项目概况

某山区高速公路特大桥全长6.8公里,包括32个桥墩和64个预制梁,在施工过程中起着至关重要的作用。

用。工程所在地地形复杂,地质条件复杂,工期紧。经过技术和经济的比较,决定采用预制工艺,采用 40 米预应力混凝土小箱梁预制梁,采用柱式预制桥墩。

4.2 预制技术的应用方案

本项目采用预应力混凝土 T 梁、小箱梁、柱式墩等预制梁形式,并对其进行了试验研究。在附近的预制工厂生产预制梁,将其运到工地。预制桥墩在工厂预制,用吊车吊装。在预制梁制作时,严格控制原材料质量,配合比设计,以保证梁的强度与耐久性。通过对预制桥墩制作过程中模板设计及钢筋制作工艺的优化,提高桥墩外观质量及承载力。对预制件的运输、安装进行了详细的施工计划,选用了适当的运输及吊装设备,以保证预制件的安全运输及精确安装^[4]。

4.3 应用效果分析

该工程采用预制工艺,效果显著。相对于传统的现浇方式,全桥工期缩短了 30%。工程质量得到有效保证,预制件质量稳定,梁体及桥墩外观质量良好,经检测各项质量指标满足设计要求,可用于现场施工。同时,利用预制技术降低施工现场的噪声和灰尘污染,减少建筑废弃物的产生,达到环保和节能的目的。从经济效益上看,尽管预制构件的生产成本比较高,但是由于缩短了施工时间,降低了建筑设备租赁费用、人工费用等,使整体成本下降了约 15%。

5 技术优势量化评估

5.1 施工效率提升分析

与同类工程的数据进行比较,现浇工艺的单跨箱梁平均施工期 14 天,预制工序 8 天,施工效率提高 42.9%。采用该技术,可使整个桥梁项目的总工期减少 30%-35%,大大加快了工程的进度。

5.2 质量性能提升分析

结果表明:预制件的尺寸合格率达到 99.2%,大大高于现浇构件的 95.6%;结果表明,混凝土强度标准差由现浇时的 4.2MPa 下降到了 2.8MPa,强度离散系数下降了 33.3%;构件外观质量优良率由现浇时的 82%提高到预制时的 95%,使工程质量得到明显提高。

5.3 成本效益分析

以一座 1km 长的桥梁为例,采用预制技术可以降低构件制造成本 12%,但是在现场建造费用方面却可以节省 28%,在缩短工期的情况下,可以节省 15%的间接成本和 16.7%的综合成本。同时,由于质量提高,后期维修成本降低了 30%,经济效益显著。

6 技术发展趋势展望

6.1 标准化与智能化融合

预制件的标准化和智能化是今后预制件发展的趋势。在此基础上,提出了一种通用的组件标准体系。将 BIM 技术和物联网技术相结合,建立了预制构件的生命周期管理平台,对设计、生产、运输和安装进行了全过程的数字化监控。

6.2 绿色低碳技术创新

研发新型绿色环保材料,如再生骨料混凝土、低碳水泥等,降低生产过程碳排放。优化生产工艺,采用光伏发电、余热回收等技术,实现生产环节的节能减排。推广预制构件回收再利用技术,提高资源循环利用率,推动行业绿色发展。

6.3 技术集成创新发展

加强预制技术与新型基础施工、智能监测等技术的集成应用。开发适应复杂地质条件的预制桥墩基础一体化技术,研究智能传感器与预制构件的融合技术,实现桥梁结构健康状态的实时监测,提升工程建设的技术水平。

7 结束语

综上所述,预制装配技术以其工业化生产和装配化的特点,在公路桥梁土建工程中表现出明显的优势。通过精细的生产控制和专业的运输和安装,有效地提高了施工效率,保证了工程的质量,降低了工程的造价。在技术创新和产业升级的推动下,预制装配技术不断朝着标准化、智能化和绿色化的方向发展,为我国高等级公路桥梁建设提供核心技术支持。未来,需要进一步加强技术研究和应用推广,促进交通基础设施预制装配技术的深度融合和创新发展。

参考文献

- [1] 翁卫明. 高速公路桥梁工程中下部结构预制拼装技术研究[J]. 运输经理世界, 2024, (36): 104-106.
- [2] 吕德权. 高速公路桥梁工程中预制梁架设技术研究[J]. 工程机械与维修, 2024, (03): 44-46.
- [3] 王永学, 张强. 预制梁施工技术在高速公路桥梁工程中的应用[J]. 低碳世界, 2021, 11(05): 253-254.
- [4] 赵海龙. 高速公路桥梁土建工程中预制技术探析[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(07): 112-113.

作者简介: 田登省(1989.03-), 男, 汉族, 贵州盘县人, 本科, 工程师, 研究方向: 试验检测。