

# 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<sup>[1]</sup>。

### 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/m<sup>3</sup>、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 <sup>3</sup>
	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 Ra3.2 μm, 有效地提高了构件的外观质量<sup>[2]</sup>。

#### 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≤15°C/h）、恒温（温度≤60°C/h）、降温（速度≤10°C/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<sup>[3]</sup>。

#### 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±10mm。

#### 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±2mm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<sup>[4]</sup>。

#### 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了 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，提升工程建设的整体技术水平。

## 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。