 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9967

Analysis of Key Points of Formwork Installation Technology in High Pier Construction of Bridge

Jun Zhang

Yunnan Communications Investment Group Yunling Construction Co., Ltd. Green and Beautiful Construction Engineering Branch, Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

Based on the 45-meter high pier project, an integrated template installation technology system of "geology-material-process-monitoring" was proposed. In the early stage, the bearing capacity of the foundation was stabilized at over 250 kPa through drilling and standard penetration tests; the factory-made steel template panels were 6 mm thick, with an elastic modulus of 2.0×10^5 MPa, the pre-assembled flatness was ⩽ 2 mm, and it could be reused 80 times without major repairs. On-site, the total station was used for re-measurement every 0.5 m, and the verticality deviation was controlled within 1/1000 of the pier height, with a measured pass rate of 98.5%; the joint width was ⩽ 1 mm, and the polyurethane sealant + expansion rubber strip combination reduced the leakage rate to 0. The tension bolts were arranged at 1.5 m×2 m intervals, with the pre-tightening force taking 60%-80% of the design value, and the torque compliance rate was 99.2%. After process integration, the installation efficiency reached 5 m/d, which was 11% higher than the target and 2 days ahead of schedule. The results show that the coordinated control of stiffness-sealing-monitoring can simultaneously ensure the geometric accuracy, safety reserve and turnover efficiency of the high pier. This provides a replicable quantitative path for the construction of high-level pier templates.

Keywords

bridge high pier; steel template; installation accuracy; verticality control; turnover efficiency

桥梁高墩施工中模板安装技术要点分析

张俊

云南交投集团云岭建设有限公司绿美建设工程分公司，中国 · 云南 昆明 650000

摘　要

依托45 m高墩工程，提出“地质-材料-工艺-监测”一体化模板安装技术体系。前期通过钻探与标准贯入将地基承载力稳定在250 kPa以上；工厂化钢模板面板厚6 mm、弹性模量2.0×10^5 MPa，预拼平整度≤2 mm，周转80次仍无大修。现场采用全站仪每0.5 m复测，垂直度偏差控制在墩高1/1000以内，实测合格率98.5%；接缝宽度≤1 mm，聚氨酯密封胶+膨胀橡胶条组合使渗漏率降至0。对拉螺栓按1.5 m×2 m交错布设，预紧力取设计值60%–80%，扭矩达标率99.2%。工艺联动后实现安装效率5 m/d，较目标提升11%，工期提前2 d。结果表明：刚度-密封-监测协同控制可同步保证高墩几何精度、安全储备与周转效益，为百米级高墩模板施工提供可复制的量化路径。

关键词

桥梁高墩；钢模板；安装精度；垂直度控制；周转效益

1 引言

我国峡谷跨径持续突破，墩高逾百米已成常态，模板安装误差在百米尺度下呈线性放大，轻则导致墩顶偏位超限，重则引发结构附加弯矩与耐久隐患。传统经验式拼装依赖现场裁改，难以兼顾高侧压、强风场与长节拍多重约束，亟需建立可量化的精度 - 安全 - 经济协同方法[1]。研究立足45 m 高墩实体工程，以地质前置勘察、工厂化预制、全过程测控为主线，系统探讨模板选型、精准安装、加固稳定及效果评估等关键技术，旨在形成一套参数闭合、数据可追溯、工艺可复制的技术体系，为后续百米级高墩提供标准化模板安装解决方案，并丰富现行公路桥梁高墩施工技术指南的定量条款[2]。

2 桥梁高墩模板安装的前期准备工作

围绕高墩模板安装的可实施性审查，准备阶段需要把地质条件勘察作为起点，把风险来源压缩在方案之前。针对墩位组织钻探、静力触探及标准贯入联合勘测，获得岩土分层、地下水位以及软弱夹层的空间分布，地基承载力指在不发生剪切破坏与沉降超限条件下可承受的设计压力，依据勘测数据核定承载力不低于 250 kPa；若未达到阈值，则把换

【作者简介】张俊（1993–），男，中国云南曲靖人，本科，助理工程师，从事高速公路桥梁工程管理研究。

填、预压固结、水泥粉煤灰碎石桩或承台扩大等预处置措施纳入比选清单。材料选型层面，结合墩高、截面变化以及吊装能力，墩高达到或超过 30 m 时优先选用钢模板，钢模板为由型钢与钢板焊接成形并可周转的模板系统，需要在工厂化阶段完成板厚、肋距、对拉螺栓、锁扣节点的承载与耐久复核，同时形成拼装顺序、吊点布置以及周转节拍，借此减少现场裁改导致的累积偏差。施工方案编制环节，把测量放样基准、临时吊装平台布置、爬模或附着式脚手系统的协同边界提前固化，安全验算为依据规范荷载组合开展的承载与变形校核，覆盖模板自重、混凝土侧压力与施工荷载叠加的控制工况，并把区域风场数据折算为风荷载输入；进度计划细化到浇筑节段、混凝土强度增长曲线对应的拆模时间窗，依靠资源流线与工序穿插的统筹，把技术可行性、作业安全性以及工期目标在方案层面形成一致性约束 [3]。

3 桥梁高墩模板安装的核心技术要点

3.1 模板的选型与加工技术

向高墩构造的模板体系，需要把适用性、刚度储备以及加工精度纳入同一评价框架来选用。鉴于高墩混凝土侧压力大、浇筑节奏快并且周转频次高，钢模板更契合大跨与超高墩位的组织；而在中低墩或局部异形处，木胶合板模板依靠易裁切与轻型化完成贴合成形。由此推导，钢模板面板厚度不低于 6 mm，弹性模量不低于 2.0×10^5 MPa，弹性模量用于反映材料抵抗弹性变形的能力，以维持施工期荷载作用下的刚度稳定。加工阶段把数控切割、胎架拼装焊接与整段预拼当作基本工序，面板平整度误差控制在 2 mm 以内，模板拼接缝间隙控制在 1 mm 以内，同时把肋距、吊点及对拉螺栓孔位误差压缩在规范范围，减少现场累积偏差。针对耐久周转，宜配置耐磨涂层与止浆收边条，钢模板周转次数达到 80 次以上更具经济效益；木胶合板模板在面板厚度 12 至 18 mm 与防水等级满足施工期要求的前提下，依靠组合背楞形成整体刚度，平整度与拼缝控制目标与钢模板一致，但对临时支撑的刚度更敏感。为适配变截面墩身线形，可把标准模块与定制过渡段组成模块化库，在工厂内完成阴阳角与门洞边框的预制，以便现场快速吊装与复用。

3.2 模板的精准安装工艺

向高墩现场安装，流程以测量放线为起点，见图 1。把主控轴线与高程点由基坑外控制网稳定传递至墩位，采用全站仪配合激光投线，轴线偏移不大于 5 mm，基准点以 3 点闭合校核。随后开展模板单元吊装拼接，按编号分区就位，临时支架与定位销先行限位，对拉螺栓分级交错拧紧，锁扣以对称顺序施拧，螺栓预紧力按设计值的六至八成实施，以减少早期错台。垂直度调整阶段，把全站仪设为连续观测，竖向每提升 0.5 m 复测一次，并在风速大于 8 m/s 时加密观测，偏差控制为不大于墩高的 1/1000，微调依靠底部千斤顶与侧向斜撑协同，观测值与调整量同步记录进台账。接缝密封处理以止浆与止水双目标来组织，外侧采用聚氨酯密封胶连续打缝，内侧沿拼缝贴设膨胀橡胶止水条规格 20×10 mm，阴阳角位置加设金属压条与背衬胶带形成二道密封，合拢缝实施预压并在试灌水检视无渗漏后方可隐蔽验收。与此相衔接的预检环节，把预埋件坐标复核、排气孔与浇筑口通畅、脱模剂均匀涂布以及模板面清洁度纳入清单化确认，待测控与密封状态稳定后进入浇筑准备。

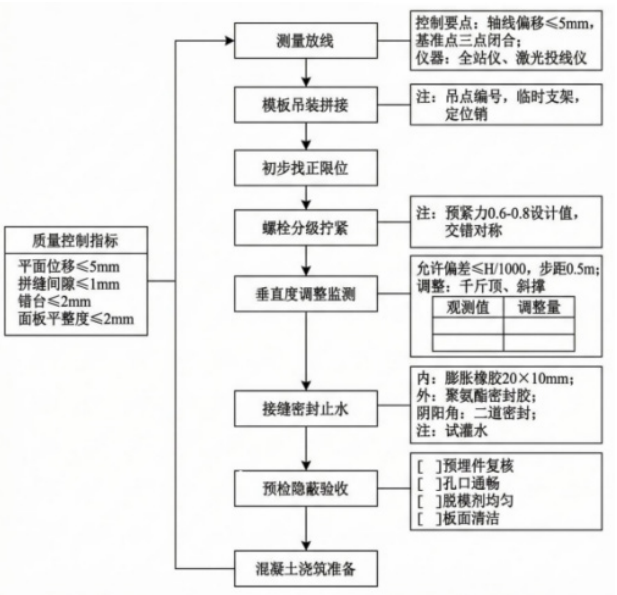


图 1 桥梁高墩模板安装工艺流程图

3.3 模板的加固与稳定性控制

鉴于高墩模板在混凝土侧压力与风致效应叠加下易出现整体失稳与局部开缝的现实情境，把内拉外撑的受力体系进行一体化设计更具适配性。拉杆布置强调密排与均衡传力，水平间距不大于 1.5 m，竖向间距不大于 2 m，采用交错化设布削弱弱向屈曲，端部配置加大垫板与限位套筒，把面板压痕与拼缝张开风险压缩在可控范围。施工组织把拉杆在浇筑前实施分级对称预紧，预紧力按设计值的六至八成执行，并在入模与温升阶段各复核一次，以防早期应力松弛 [4]。外部支撑体系把可调斜撑与满堂脚手架进行组合，斜撑通过化学锚栓联同钢垫板完成锚固，竖向与水平方向设置贯通剪刀撑形成稳定几何，满堂脚手架提供整体侧向刚度与平台功能，再以连墙件把支架与墩身或临建构筑物建立可靠拉结，使传力路径自上而下连续闭合。结合区域风场与施工荷载的组合不利工况，可在上部加设缆风绳与临时斜撑作为强风时段的刚度补偿，同时把底部垫板沉降与关键立杆轴力纳入高频监测，并把阈值与调整策略前置到专项方案。为使拉杆强度与体系刚度实现匹配，应按拉杆许用应力完成下式取值，并把计算结果与模板侧压力峰值分层对照，用以指导预紧力与分层厚度的同步优化。

$$F=k\times\sigma\times A$$

其中，F 表示单根拉杆计算拉力，单位为 N；k 为安全

系数，取 1.5；σ 为拉杆许用应力，单位为 Pa；A 为拉杆净截面积，单位为 m^2。

在此框架下，把拉杆强度校核、支撑刚度分配与施工节奏联动起来组织实施，浇筑分层厚度以及泵送速率随监测数据进行滚动调整，使体系在关键工况下维持变形受控与拼缝闭合。

4 桥梁高墩模板安装的质量控制与效果评估

4.1 模板安装的质量控制要点

合高墩侧压力大与风致扰动的施工场景，把模板垂直度、接缝宽度以及加固螺栓扭矩当作安装阶段的核心质量控制项。垂直度指模板工作面相对设计轴线的偏斜量，采用全站仪建立连续观测，基准点闭合复核后沿墩高每 1.0 m 布设观测层，必要时加密至 0.5 m；按 JTG/T 3650-2020 相关条款并结合本工程节段尺寸，确定验收标准为垂直度偏差不大于墩高的 1/1000，同时单节调整量控制在 3 mm 以内。接缝宽度指相邻模板单元工作面之间的线性缝隙，沿缝全长以塞尺贴压检验，采集步距不大于 200 mm，阴阳角与合拢缝实施全数检测；以密封完整与抗渗为约束，验收标准为接缝宽度不大于 1 mm，发现超限则把锁扣复拧与边条复设纳入即时处置。加固螺栓扭矩用于表征对拉体系的预紧程度，采用经检定的扭矩扳手在浇筑前与浇筑 30 min 后各复核一次，抽检覆盖全部标高变化处以及受风面；根据 JTG/T 3650-2020 的构造要求并结合设计取值，确定验收标准为扭矩不小于 30 N · m，同时不得超过设计上限以避免面板压痕。把上述三项检测结果编入台账，实施自检、复检以及专检的三级闭环，出现超限即按复测、调整、复验的顺序进行处置并记录修正量，以便在后续浇筑阶段维持几何稳定与密封完整 [5]。

4.2 模板安装效果的量化评估

向某高速公路大桥 45 m 高墩的现场组织，把安装效率、垂直度合格率与模板周转次数构建为安装效果的核心量化指标，见表 2。安装效率定义为单位自然日完成的墩身成型高度，统计口径覆盖测量复核、模板吊装拼接与封缝预检三个环节，项目实测为 5 m 每昼夜。结合作业窗受风速与混凝土强度增长曲线的双重约束，该水平与钢模板整段预拼以及对拉体系分级预紧的工艺路径保持一致，未出现节段等待造成的资源空转 [6]。垂直度合格率定义为沿高程分层观测的合格点占比，项目达到 98.5%，与墩高千分之一的控制线相匹配，可推断测量基准稳固与外部斜撑刚度分配较为到位。模板周转次数统计为同标段内的有效循环次数，当前为 8 次，结合耐磨涂层与止浆边条的磨损状态，其经济边际仍处于可接受区间，未触发大修与重涂的阈值。围绕数据合理性从施工组织与荷载效应的耦合关系来看，效率与几何精度已形成互相支撑的状态，但提升空间依旧存在。需把分层厚度与泵送速率进行联动校正，缩短锁扣复拧到位后的等待时段；把扭矩复核从关键标高扩展到全断面，把强风预警与停浇阈值嵌入班组清单化动作；同时扩充标准模块与过渡段的组合库，减少现场裁改引发的累积偏差，并依托数字化台账对偏差与扭矩进行滚动分析，带动后续周转效率与几何稳定性的同步提升。

表 2 某桥梁高墩模板安装效果评估表

指标	评价口径	目标值	实测值	评价结论
安装效率	单位日完成墩身成型高度	4.5 m/d	5 m/d	达到并略优于目标
垂直度合格率	沿高程分层观测合格点占比	98.0%	98.5%	稳定满足控制线
模板周转次数	同标段有效循环次数	8 次	8 次	达到阶段目标
接缝宽度合格率	按步距 200 mm 抽检的合格率	97.0%	97.8%	风致工况下保持可控
加固螺栓扭矩达标率	浇筑前后双时点达标率	98.0%	99.2%	预紧策略有效
计划工期偏差	以节段节点计的时间偏差	0 d	-2 d	工序穿插组织顺畅

5 结语

研究将地质、材料、工艺与监测数据纳入同一控制闭环，实现了高墩模板安装由“经验驱动”向“参数驱动”的转化。现场验证表明，只要前置勘察把地基承载力稳定在阈值以上、工厂化预制把板面精度控制在毫米级、现场把垂直度、接缝与扭矩作为强制指标纳入班组清单，即可在百米级高墩条件下同步获得毫米级几何精度、80 次以上周转寿命与 5 m/d 以上安装效率。后续建议将数字孪生技术与北斗高精度定位引入模板安装全过程，把风速、温升、混凝土强度增长曲线实时映射至模型，实现偏差预测与自适应调整；同时扩充模块化模板库，减少异形段现场裁改，进一步提升超高墩模板施工的智能化与绿色化水平。

参考文献

[1] 汪江洪.基于装配式技术的桥梁模板快速搭建系统[J].中国建筑金属结构,2025,24(11):149-151.

[2] 李庆辉;伍柏宏.桥梁墩身模板与挂篮模板模块化周转设计研究.建筑技术开发,2024(09)

[3] 曾锋.桥梁结构物模板测控定位装置技术.科学技术创新,2025(09)

[4] 李家荣;罗七斤;查国正;蒋文龙;杨斌;刘大春.真空冶金的研究现状与进展. 有色金属(冶炼部分),2025(08)

[5] 张宪堂;高熙阳;田新海;徐帮树;周红敏.基于智能设计的隧道爆破课程设计教学实践研究. 爆破,2025(03)

[6] 孙小飞;田龙飞;杨璐.整体预制 π 型组合梁混凝土固化分布式光纤监测研究[J]. 公路,2023(02)