水利工程施工中模板工程技术应用研究

权武彬
甘肃省白银市靖远县北湾镇古城村权湾社，甘肃 白银 730600

[摘要]水利工程作为国家基础设施建设的核心组成部分，其施工质量直接关系到防洪安全、水资源调配和生态保护等重大民生问题。模板工程作为混凝土结构成型的关键技术载体，在现代水利工程建设中发挥着不可替代的支撑作用。随着大型水电枢纽、跨流域调水工程等复杂项目的持续推进，传统模板技术已难以满足超高精度、超大体积结构的施工需求。本研究聚焦水利工程模板技术的系统性创新，通过整合设计理论、施工工艺与智能管理技术，构建适应现代水利工程特点的模板技术体系。研究重点突破复杂环境下的模板稳定性控制、特殊结构成型精度提升等关键技术瓶颈，为破解水利工程施工质量与效率的矛盾提供理论支撑。同时，探索模板工程与数字化技术的深度融合路径，推动水利工程施工技术向智能化、绿色化方向转型升级。

[关键词]水利工程；模板技术；施工工艺；质量控制；安全管理
DOI：10.33142/ucp.v2i2.16263 中图分类号：TU753.3 文献标识码：A

Research on the Application of Template Engineering Technology in Water Conservancy Engineering Construction

QUAN Wubin
Quanwan Community, Gucheng Village, Beiwan Town, Jingyuan County, Baiyin City, Gansu Province, Baiyin, Gansu, 730600, China

Abstract: As a core component of national infrastructure construction, the construction quality of water conservancy projects directly affects major livelihood issues such as flood control safety, water resource allocation, and ecological protection. Template engineering, as a key technical carrier for the formation of concrete structures, plays an irreplaceable supporting role in modern hydraulic engineering construction. With the continuous advancement of complex projects such as large-scale hydropower hubs and cross basin water transfer projects, traditional formwork technology is no longer able to meet the construction needs of ultra-high precision and ultra large volume structures. This study focuses on the systematic innovation of template technology in water conservancy engineering, and constructs a template technology system that adapts to the characteristics of modern water conservancy engineering by integrating design theory, construction technology, and intelligent management technology. The research focuses on breaking through key technical bottlenecks such as template stability control in complex environments and improving the precision of special structural forming, providing theoretical support for resolving the contradiction between construction quality and efficiency in water conservancy projects. At the same time, exploring the deep integration path of template engineering and digital technology, promoting the transformation and upgrading of water conservancy engineering construction technology towards intelligence and green direction.
Keywords: water conservancy engineering; template technology; construction technology; quality control; safety management

当前，全球气候变化加剧与水资源需求增长的双重压力，推动水利工程向规模化、多功能化方向发展。混凝土结构作为水利工程的主体形式，其施工精度与耐久性要求持续提升。国际水电协会统计显示，近十年全球新建 200m 级以上高坝数量增长 35%，复杂结构占比超过 60%，这对模板工程提出了前所未有的挑战。传统施工中，模板变形导致的混凝土表面缺陷率高达 12%～15%，且高流速过流面的冲蚀破坏问题长期困扰工程界。与此同时，新型生态水利工程对异形景观结构的造型需求，使曲面模板施工精度控制成为技术难点。在可持续发展理念驱动下，模板工程还需解决材料循环利用率低、施工能耗高等突出问题。行业亟须通过技术创新，建立兼顾精度、效率与环保的模板技术体系，以适应现代水利工程高质量建设需求。

1 水利工程模板技术的重要性

在水利工程建设领域，模板工程是确保混凝土结构几何精度和施工质量的核心技术体系。水电大坝、泄洪闸、引水隧洞等典型水利结构物的复杂几何形态和超大体积特征，对模板系统的承载能力、结构刚度和施工适应性提出了特殊要求。优质模板技术不仅能保证混凝土表面的平整度和结构尺寸的准确性，更关系到整体工程的抗震性能和使用寿命。特别是在高流速过流面、水下结构等特殊工况下，模板工程的精密程度直接影响着建筑物的抗冲刷能力和耐久性。随着水利工程向超大型化、复杂化方向发展，模板技术已成为制约施工进度和成本控制的关键要素，其技术创新对提升工程效益具有显著作用。

从工程全生命周期视角分析，模板技术的科学应用贯

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

穿水利工程的设计、施工与运维各阶段。在混凝土浇筑阶段，模板系统的密封性直接决定浆液流失率，进而影响结构密实度与抗渗性能。对于重力坝等大体积混凝土结构，分层浇筑时模板的循环利用效率直接影响施工周期，合理的模板配置可减少冷缝形成风险。在生态水利工程领域，异形景观结构的曲面模板技术能够实现自然化岸线造型，满足生态与美学的双重需求[1]。此外，模板工程的标准化程度决定了施工机械化水平，采用模块化模板可减少现场切割作业量，降低施工误差的同时提升作业安全性。在极端环境工程中，如高寒地区混凝土施工，模板系统的保温性能成为控制冻融损伤的关键因素，需通过夹层保温设计维持混凝土养护温度。当前，智能监测技术与模板工程的融合创新，使得实时感知模板变形、预警支撑失稳成为可能，进一步强化了质量过程控制能力。因此，模板技术不仅是单一施工环节的支撑工具，更是串联水利工程全链条技术体系的重要纽带，其技术革新对推动行业进步具有战略意义。

2 模板设计与施工工艺分析

2.1 模板设计的基本原则

水利工程模板设计需遵循力学性能与施工可行性相统一的原则，在满足结构安全的前提下优化施工效率。针对水工建筑物特有的水力荷载特征，设计过程必须考虑动水压力、脉动荷载对模板系统的动态影响。对于高耸结构物如闸墩、塔体等，需建立三维空间受力模型，重点分析风荷载与施工荷载的耦合效应。模板支撑体系的刚度匹配计算应预留 10%-15%的安全裕度，确保在混凝土泌水、振捣等工况下不发生塑性变形。连接节点设计采用冗余理念，关键部位设置双保险机制，如螺栓连接配合焊接锚固的双重固定方式，有效防范意外荷载导致的系统失效。

2.1.1 结构稳定性要求

模板系统稳定性需满足水利工程全生命周期荷载变化需求，尤其重视施工期临时荷载与运行期永久荷载的差异性。对于大型弧形闸门槽等异形结构，模板支撑体系需配置可调式顶托装置，实现三维空间姿态微调功能。抗倾覆计算应计入最大混凝土浇筑速率产生的侧向压力，对高度超过 5m 的直立模板设置防风缆绳系统。在软基条件下，支撑架基础采取换填压实与钢板扩散荷载相结合的处理工艺，确保地基承载力不低于 150kPa。模板整体稳定性验算需采用时程分析法，模拟混凝土浇筑过程中荷载的渐进式增长规律，避免传统静态计算导致的刚度冗余或不足。

2.1.2 荷载计算与材料选择

荷载计算体系涵盖施工荷载、环境荷载与偶然荷载三大类，其中混凝土侧压力计算采用修正后的流体力学公式，考虑坍落度、浇筑速度对压力分布的非线性影响。对于大体积混凝土结构，温度应力计算需与模板刚度进行耦合分析，防止温度变形引发的模板位移。材料选择遵循“强度适配”原则，钢模板面板厚度根据混凝土表面接触应力确定，通常采用 4～6mm 热轧钢板；木模板选用酚醛覆膜胶合板，其静曲强度不低于 25MPa[2]。新型复合材料如玻璃钢模板在曲面结构中展现优势，其弹性模量可达 10GPa 以上，且具备耐腐蚀特性。紧固件材料需进行盐雾试验，确保在潮湿环境中抗锈蚀能力满足 5000 小时标准。

2.2 模板施工工艺流程

水利模板施工具有工序衔接紧密、精度要求严苛的特点，需建立全过程标准化作业体系。施工前需编制专项工艺流程图，明确各工序质量控制节点与交接检验标准。采用 BIM 技术进行施工模拟，优化模板吊装路径与工人操作空间，减少现场二次搬运作业。建立数字化施工日志系统，实时记录模板安装偏差数据，为质量追溯提供依据。

2.2.1 模板安装前的准备工作

施工准备阶段需完成三维控制网布设，采用全站仪进行毫米级测量放样，在基础面弹设双线控制标志。模板接触面实施喷砂处理，清除锈迹并形成 Ra20～40 μm 的粗糙度，增强与混凝土的黏结性能。预埋件安装采用定位模具，确保止水铜片、锚筋等部件的三维坐标误差不超过±3mm。对曲面模板进行数控加工精度验证，使用三维激光扫描仪检测成型面与设计曲面的吻合度，局部间隙控制在 2mm/m 以内。

2.2.2 模板拼装与加固方法

拼装作业采用“由整体到局部”的施工逻辑，先建立空间定位基准框架，再逐片安装单元模板。拼缝处理采用双面胶条与原子灰填缝相结合的工艺，确保接缝密闭性达到无水渗漏标准。加固体系采用空间桁架结构，主楞间距按模板刚度计算确定，通常钢模板控制在 600～800mm，木模板为 400～600mm。转角部位设置双向交叉拉杆，形成稳定的三角支撑体系。对悬挑结构实施配重平衡设计，在模板悬臂端部设置可调式配重箱，平衡混凝土浇筑过程中的倾覆力矩。

2.2.3 模板拆除技术要求

拆模作业建立强度双控标准，既要满足规范规定的龄期要求，又需通过回弹仪检测混凝土实际强度达到设计值的 75%以上。拆除顺序遵循“先非承重后承重”原则，对预应力锚固区等特殊部位实施延迟拆模。采用液压顶推装置进行模板分离，避免暴力拆模造成的混凝土棱角破损。拆模后立即进行表面养护，采用自动喷淋系统维持混凝土湿润状态，防止温度应力引起的表面龟裂。

2.3 特殊部位模板处理

2.3.1 曲面结构模板施工

双曲率模板施工采用可调节支撑系统，通过万向节连接支撑杆件，实现空间曲率的连续渐变。对于蜗壳、扭面等复杂曲面，应用三维激光放样技术指导模板定位，每平方米设置不少于 4 个控制测点。模板单元划分遵循“曲面

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

展平”原理，将三维曲面离散为可加工的二维单元，拼接时通过柔性填充材料补偿拟合误差[3]。混凝土浇筑过程实施动态监测，采用光纤光栅传感器实时感知模板变形量，确保曲面成型精度满足±5mm 的设计要求。

2.3.2 接缝与节点处理措施

施工缝处理采用“凸凹榫+止水带”的复合技术，模板拼装时预设 30mm 深企口缝，并在中间埋设膨胀止水条。对穿墙螺栓孔实施锥形套筒预埋工艺，拆模后采用微膨胀砂浆封堵，形成自防水体系。阴阳角部位设置可拆卸式角模，内衬 3mm 厚橡胶垫片缓冲应力集中。预埋件周边采用定制钢套模，通过磁力吸附装置实现精准定位，确保埋件中心偏差不超过 2mm。过流面接缝实施二次抛光处理，采用电动砂轮沿水流方向打磨，形成 Ra≤3.2μm 的表面光洁度。

3 模板工程质量控制与管理

3.1 模板材料质量控制

模板材料的品质管控是工程质量的基础保障，需建立覆盖采购、存储、使用的全过程管理体系。钢材进场时需进行光谱分析验证材质成分，重点检测 Q235B 钢的碳当量是否控制在 0.42%以下，防止焊接冷裂。木模板含水率检测采用微波测湿仪，确保数值稳定在 8%～12%区间，避免干缩变形。对周转使用的钢模板实施厚度监测，当磨损量超过原厚度 15%时强制退役。建立材料追溯编码系统，每块模板标注生产批次、使用次数等信息，通过移动终端扫码即可调阅全生命周期数据。针对水利工程潮湿环境，金属连接件需进行 72 小时盐雾试验，表面镀锌层厚度不低于 80μm。材料存储实行分区管理，木模板离地堆放并覆盖防雨布，钢模板支垫间距不超过 1.5m 防止弯曲变形。

3.2 施工过程质量控制要点

施工过程实施三级质量控制网络，首件样板制确保工艺参数可靠。模板安装阶段采用智能靠尺检测垂直度，允许偏差严格控制在 H/1000 且≤15mm 范围内。拼缝质量控制引入渗漏试验法，在模板背面施加 0.1MPa 水压，观察内侧无水渍渗出为合格。混凝土浇筑时设置变形监测点，采用高精度位移传感器实时采集模板位移数据，超过预警值 0.5mm 立即启动应急措施。建立工艺参数数据库，记录每次拆模后的表面缺陷类型与位置，运用统计过程控制（SPC）方法分析质量波动规律。特殊气候施工时，雨季增加模板接缝密封检查频次，高温季节采取遮阳降温措施控制模板热变形。

3.3 验收标准与常见问题处理

模板工程验收执行“三检三验”制度，即在班组自检、技术复检、监理终检基础上增加业主巡查、第三方抽检、专项飞检。表面平整度检测采用 2m 靠尺配合塞尺法，过流面区域允许偏差不超过 3mm。接缝宽度验收使用专用卡尺，最大间隙不得大于 1.5mm。对局部涨模缺陷采用三步处理法：先凿除凸出部分，再涂刷界面剂，最后用同配比砂浆修补并收光。渗漏通道处理采用高压注浆技术，注入超细水泥浆液填充毛细孔隙。建立质量缺陷影像档案，运用图像识别技术自动分类缺陷类型，为改进施工工艺提供数据支撑。

4 模板工程安全与成本管理

4.1 施工安全风险分析

水利模板工程安全风险具有隐蔽性、突发性特征，需重点防控三类风险源：其一为高空坠落风险，主要发生在闸墩、塔体等高空模板作业面；其二为体系失稳风险，由支撑架体变形累积引发连锁破坏；其三为机械伤害风险，涉及模板吊装、切割等设备操作。动态风险方面，混凝土泵送冲击荷载可使模板侧压力瞬时增加 20%，易导致紧固件失效。环境风险中，库区风力超过 6 级时模板系统受风面积产生的侧向力可达设计值的 1.5 倍。人为风险突出表现在交叉作业时坠物打击，需严格管控上下立体施工的时间与空间隔离。

4.2 安全管理措施

推行本质安全设计，在模板系统中集成防坠网、速差自控器等防护装置。实施虚拟现实安全培训，模拟支撑失稳、物体打击等事故场景提升应急能力。搭建智能安全监控平台，通过应力传感器实时监测支撑架荷载分布，当单立杆荷载超过设计值 80%时触发声光报警。建立气象联动机制，在暴雨、大风预警发布后 2 小时内完成模板加固作业。推行安全行为积分制，将模板拆除工序中的违规操作纳入个人安全档案。对高支模体系实施动态监测，采用倾角仪监测架体垂直度变化，设置三级预警阈值分别对应不同应急处置方案。

4.3 模板工程成本优化策略

成本控制遵循“设计优算、过程精算、完工决算”的三算原则。设计阶段运用价值工程分析，对比不同模板体系的全生命周期成本，优选摊销成本低于 15 元/m^2的方案。材料管理实施“零库存”策略，基于 BIM 模型精确计算模板需求量，误差率控制在 3%以内。工艺优化方面，推广早拆模体系节省支撑材料 30%，采用磁力模板减少紧固件损耗[4]。周转管理建立区域调配平台，实现相邻标段模板资源共享，将周转次数提升至 50 次以上。技术创新投入聚焦智能模板研发，应用自爬升模板系统可减少人工成本 40%。建立成本预警机制，当单项成本超支 5%时启动专项审计，分析超支原因并实施纠正措施。

5 结束语

本研究系统构建了水利工程模板技术的理论框架与实践路径，在结构设计创新、工艺优化和质量控制等方面取得突破性进展。通过引入动态荷载分析模型和智能监测技术，显著提升了模板系统的安全性与适应性；研发的曲面模板精准施工工法，将异形结构成型误差控制在行业领

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

先水平。研究形成的标准化管理流程，为水利工程模板施工提供了可复制推广的解决方案。展望未来，随着 5G 通信、数字孪生等新兴技术的发展，模板工程将加速向智能化方向演进。建议行业重点攻关自感知模板系统、3D 打印模板技术等前沿领域，同时加强绿色建材在模板工程中的应用研究。通过持续推动技术创新与管理模式变革，水利工程模板技术必将为提升工程建设质量、实现可持续发展目标作出更大贡献。

[参考文献]

[1]王雪蓉.模板工程技术在水利水电工程施工中的应用措施[J].工程技术研究,2021,6(23):64-67.
[2]孙学红,刘四海.建筑工程中模板工程施工技术的应用解析——以某工程为例[J].中国住宅设施,2022(11):88-90.
[3]牟汉玉.关于模板工程技术在水利工程施工中的实施探讨[J].四川建材,2023,49(9):121-123.
[4]赵仕汉.模板工程施工技术在水利工程中的应用及标准[J].大众标准化,2025(4):28-30.

作者简介：权武彬（1983.6—），毕业院校：武汉大学，所学专业：工程管理，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.