

桥梁墩台施工中的模板体系设计与安全控制

孙 勇

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：本文围绕桥梁墩台施工中的模板体系设计与安全控制展开研究，先阐述模板体系设计原则，涵盖结构安全性、适配性、经济高效性与可操作性；再详细分析设计要点，包括模板类型与材料选择、结构与连接设计及支撑体系设计；随后介绍模板施工安全控制措施，涉及施工前准备、过程控制、高处防护及应急管理；最后说明质量验收与维护管理内容。通过系统梳理各环节要点，为提升桥梁墩台模板施工质量与安全性提供全面技术参考。

关键词：桥梁墩台；模板体系设计；安全控制；质量验收；维护管理

引言：桥梁墩台作为桥梁基础结构，其施工质量直接影响桥梁整体稳定性与安全性。模板体系是墩台施工关键环节，设计合理性关乎结构成型质量，安全控制则保障施工过程中人员与设备安全。当前，桥梁建设规模扩大、结构复杂化，对模板体系设计与安全控制提出更高要求。研究科学的设计方法与有效的安全控制措施，成为提升桥梁墩台施工水平的重要课题。

1 模板体系设计原则

1.1 结构安全性

模板需全面承受施工各阶段荷载，混凝土自重随浇筑高度增加持续作用，浇筑冲击力源于混凝土下落与布料机作业，施工活荷载包含人员与设备重量，露天施工还需考虑风荷载影响^[1]。这些荷载作用下，模板强度需抵御应力防止开裂，刚度需控制变形避免墩台尺寸偏差，稳定性需通过合理支撑与连接设计保障，所有性能均需通过力学验算验证。荷载组合需覆盖不同施工场景，基本荷载中的混凝土侧压力需结合浇筑速度、温度计算，振捣荷载按振捣器功率核算；偶然荷载中的吊装碰撞力需考虑构件运输安装时的意外接触，确保组合荷载能应对极端工况。设计过程需遵循相关规范要求，确保模板及支架的承载能力、刚度和稳定性全面达标，为施工安全奠定基础。

1.2 适配性

模板类型选择需与桥梁墩台结构形式精准匹配，圆形墩采用弧形模板拼接以贴合曲率，圆端形墩用直线段与弧形段组合模板保证过渡平滑，异形墩因结构特殊需定制专用模板。异形结构模板设计可借助BIM建模技术，在虚拟环境中预演拼装过程，检查拼接缝隙与尺寸精度，提前修正缺陷，避免混凝土浇筑后出现蜂窝、错台等外观问题。模板分块尺寸需结合吊装设备的起重能力与作业半径确定，单块重量一般不超过3吨，既避免超重

导致吊装困难，又减少分块过多增加的拼接工作量，兼顾安装便捷性与施工效率。

1.3 经济高效性

模板设计需平衡成本与周转效率，钢模板材质坚固耐用，经维护后周转次数可达50次以上，适合工程量大、周期长的长期项目，能通过多次复用摊薄成本；木模板成本低、加工简单，但易受环境影响，周转次数 ≤ 5 次，更适用于临时结构或小批量墩台施工。模板配置可通过优化方案降低成本，连续梁桥的墩台若存在共性尺寸段，可设计通用段模板实现多墩复用，特殊造型部位单独定制异形段模板，减少专用模板数量。组合模板如钢框木模体系，以钢框提供刚度支撑，木面板适配异形部位，兼顾稳定性与灵活性，进一步控制整体成本。

1.4 可操作性

模板安装与拆除流程需简化复杂环节，减少高空作业时间与难度，安装时采用模块化拼接方式，通过预制连接部件快速组装，避免现场切割、焊接等耗时操作；拆除时规划合理顺序，确保构件能顺利脱离墩台，减少人工撬动造成的损坏。模板连接方式需选择便于操作的类型，销钉连接可快速固定与拆卸，螺栓连接配套常规扳手工具，避免特殊连接件增加操作难度，节点处还需设计防松措施，防止施工过程中因振动导致连接松动。模板表面处理需注重实用性，涂刷防水涂层防止材质受潮损坏，涂抹脱模剂减少混凝土粘结，延长模板使用寿命，降低后期维护成本，提升整体经济性。

2 模板体系设计要点

2.1 模板类型与材料选择

钢模板以Q235或Q345钢材为基材，面板厚度3~6mm，能承受较大荷载且不易变形，背楞采用槽钢或方钢增强整体刚度，适配大跨度、高荷载的墩台施工场景，其周转率高，长期使用经济性优势明显。木模板以

竹胶板、覆膜板为主,面板厚度12~18mm,重量轻且加工便捷,背楞搭配方木使用,能灵活适配异形截面墩台或临时施工需求,不过使用寿命较短,更适合短期或小体量项目。铝合金模板以6061-T6型材为主要材料,重量仅为钢模板的三分之一,搬运与安装难度降低,周转次数可达300次,标准化程度高,适合批量施工且对工期要求紧的项目。组合模板如钢框木模体系,钢框提供稳定刚度支撑,木面板可根据墩台形状灵活裁剪,能兼顾刚度与异形适配性,适用于多跨变截面桥梁墩台,减少不同截面模板的重复制作成本。

2.2 模板结构与连接设计

面板设计需根据混凝土侧压力计算确定厚度,通过力学分析确保面板挠度控制值 $\leq 1.5\text{mm}$,避免浇筑过程中面板过度变形影响墩台外观尺寸。背楞与支撑体系设计需优化背楞间距与对拉螺栓布局,借助材料力学公式反推背楞与螺栓的构件尺寸,保证荷载能均匀传递,防止局部应力集中导致结构损坏。拼缝处理可采用企口式设计增强拼接密封性,或平口加胶条的组合方式,胶条压缩率需满足使用要求以阻断混凝土浆液渗漏通道,同时避免浇筑后出现错台现象影响墩台表面平整度^[2]。节点设计中,转角处采用圆弧过渡结构分散应力,防止长期受力导致节点开裂;异形模板采用数控切割工艺加工,精准控制构件尺寸,确保模板与墩台设计形状高度贴合。

2.3 支撑体系设计

立杆与水平杆设计需计算立杆轴力、水平杆剪力及支撑体系整体稳定性,根据计算结果确定合理的立杆间距与步距,保证立杆能承受竖向荷载且水平杆可有效传递侧向力,避免支撑体系出现失稳坍塌风险。斜撑与拉杆设置时,斜撑与地面夹角需控制在 $45^\circ\sim 60^\circ$ 范围内,该角度区间能最大化发挥斜撑的抗侧移作用,拉杆间距需按材料抗拉强度设计,两端采用双螺母垫板紧固方式,增强连接可靠性,防止拉杆松动导致支撑位移。地基处理环节,模板支撑区域需采用混凝土硬化处理,确保地基承载力不低于 150kPa ,同时在硬化地面周边设置排水沟,及时排出雨水或施工积水,避免地基受水浸泡后承载力下降,影响支撑体系稳定性。

3 模板施工安全控制措施

3.1 施工前安全准备

安全技术交底需采用书面与口头结合形式,技术人员向施工班组逐环节讲解模板安装、拆除的工作流程,明确各步骤安全要求,如吊装时吊点选择、高空作业防护要点,同时告知坍塌、坠落等风险及对应责任分工,交底后需签字确认留存记录,确保施工人员清晰掌

握操作规范。施工现场标志需设置在醒目位置,施工区用彩旗或围挡划分范围,安全警示标志如“注意高空坠落”“禁止攀爬”张贴于模板支架、作业平台周边,通行禁止标志设在线路入口并配专人值守,限制非施工人员进入,避免无关人员误入引发隐患。材料与设备检查需逐项落实,模板、拉杆、斜撑进场时核查外观有无变形、裂纹,核对规格与设计要求一致;起重设备如塔吊、汽车吊需检查制动系统、钢丝绳磨损情况、限位装置有效性,空载与满载试运行确认性能稳定,验收合格后方可投入使用。

3.2 施工过程安全控制

模板安装按既定顺序推进,先找平定位确保底层模板平整,安装后用临时支撑固定防移位,再通过测量仪器校正位置与垂直度,合格后装模箍增强整体性,按设计间距设拉杆传递横向荷载,最后逐层装上层模板,每完成一层检查连接牢固度。拆除遵循“后支先拆、先支后拆”原则,先拆非承重模板与支撑,再拆承重结构,分段拆除高度不超4米,拆除构件用绳索缓慢下放,严禁整体推倒或高空抛掷。垂直度与标高控制用经纬仪与垂球吊线双重校验,高度30m以下桥墩允许偏差 $\pm 15\text{mm}$,30m以上 $\pm 25\text{mm}$,发现偏差及时调整;标高用水准仪测量,确保墩台高度符合设计。混凝土浇筑分层厚度控制在50cm内,振捣棒插入下层混凝土深度 $\geq 10\text{cm}$,设专人全程观察模板变形、支撑位移,异常时暂停浇筑并加固。

3.3 高处作业安全防护

作业平台需按标准搭建,采用盘扣式脚手架作为支撑框架,脚手架立杆间距与步距符合设计要求,满铺木脚手板并固定牢固,脚手板之间缝隙不超过5cm,防止人员踩空;平台外侧设置1.2m高防护栏杆,底部加装18cm高挡脚板,外侧挂密目安全网,网目密度不低于2000目/ 100cm^2 ,阻挡人员与物体坠落。生命绳与安全带需规范使用,高度超过2m的作业面沿作业方向设置钢丝绳作为生命绳,绳径不小于12mm,固定点牢固可靠;作业人员必须佩戴双钩安全带,施工时将两个挂钩分别挂在不同的牢固构件上,确保始终处于防护状态,避免单钩挂设导致防护失效。休息平台需合理布置,每5m高度设置一道休息平台,平台宽度 $\geq 1.2\text{m}$,脚手板铺设严密且固定牢固,平台周边同样设置防护栏杆与挡脚板,为施工人员提供安全的临时休息区域,避免人员长时间悬空作业引发疲劳导致风险。

3.4 应急与风险管理

应急预案需明确具体处置流程,针对模板坍塌事故制定构件清理、人员救援的步骤,针对高空坠落事故规

划伤员转运、医疗救治的路径,明确各环节责任人与联系方式,确保事故发生后能快速响应。应急物资需定期检查补充,救援软梯需测试承重能力,高空救援设备如吊篮、绳索需检查完好性,急救箱内配备止血药、绷带等常用药品,所有应急物资存放于指定位置,便于快速取用;定期组织应急演练,模拟模板坍塌、人员坠落等场景,提升施工人员应急处置能力与协同配合效率。风险排查需形成常态化机制,定期使用扭矩扳手检查模板连接螺栓扭矩值,确保螺栓紧固到位,查看拉杆受力情况有无松动或变形,对排查发现的安全隐患记录在案,明确整改责任人与时限,整改完成后复查验收,确保隐患彻底消除,保障模板施工全过程安全。

4 质量验收与维护管理

4.1 模板验收标准

模板验收需按规范逐项核查关键指标,轴线位置通过全站仪测量模板中心线与设计轴线的偏差,允许偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内,确保墩台整体位置符合设计要求;顶面高程借助水准仪测量模板顶部标高,允许偏差 $\pm 20\text{mm}$,避免后续混凝土浇筑后墩台高度超标^[3]。截面尺寸通过卷尺或卡尺测量模板内侧长宽,允许偏差 $+5\text{mm}/-0\text{mm}$,防止墩台截面尺寸不足影响结构承载或过大造成材料浪费。表面平整度采用2m靠尺配合塞尺检查,偏差需 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$,保障混凝土浇筑后表面平整无明显凹凸;接缝错台用直尺紧贴模板拼缝处测量,偏差 $\leq 1\text{mm}$,避免混凝土表面出现错台痕迹;对角线偏差通过测量模板对角长度差值控制在 $\leq 3\text{mm}$,确保模板形状规整。预埋件验收需重点把控位置精度,采用卷尺或全站仪测量预埋件与设计位置的偏差,控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内,浇筑前需进行三维坐标复测,确认预埋件位置无偏移,防止后续设备安装受影响。

4.2 模板维护与保养

模板拆除后需及时开展维护工作,先用高压水枪冲洗模板表面残留的混凝土,再用钢丝刷清理顽固附着物,对表面划痕、变形部位采用砂轮打磨或整形修复,确保模板外观完好。维护后的模板需分类码放,钢模板、木模板、铝合金模板分开存放于干燥通风的场地,堆放高度 $\leq 2\text{m}$,底部用方木垫高避免受潮,木模板需涂

刷防腐涂料,钢模板与铝合金模板涂刷防锈漆,防止长期存放出现锈蚀或腐朽。模板配件如螺栓、定位销需单独收纳,采用渗锌处理增强耐腐蚀性,使用过程中定期检查配件磨损情况,周转使用次数不超过15次,超过次数后需更换新配件,避免配件失效导致模板连接松动。脱模剂需选用专用水性脱模剂,这类脱模剂易清洗、对混凝土无污染,能有效减少模板与混凝土的粘结,严禁使用废机油等替代材料,废机油易渗入混凝土影响强度,还会污染模板表面缩短使用寿命。

4.3 后续监测与评估

模板拆除后需对墩台结构开展长期监测,定期检查墩台表面有无裂缝、剥落等缺陷,采用全站仪测量墩台垂直度与沉降量,评估结构稳定性;同时检查桥梁防腐涂层有无破损、排水系统是否通畅,防止雨水浸泡或腐蚀影响墩台使用寿命,所有监测数据需详细记录,建立完整监测档案,为后续维护提供依据。模板体系全周期效益评估需覆盖设计、施工、维护各阶段,统计模板周转次数、材料损耗率、维护成本等数据,分析设计参数如模板厚度、支撑间距是否合理,施工工艺如安装顺序、拆除时机是否优化空间,根据评估结果调整后续模板设计方案与施工流程,提升模板体系的经济性与实用性。

结束语

桥梁墩台施工的模板体系设计与安全控制是一项系统且复杂的工作。从设计原则的把握到各环节要点的精准落实,从施工前的充分准备到过程中的精细管控,再到后续的质量验收与维护管理,每个步骤都紧密相连、缺一不可。只有全面做好这些工作,才能确保桥梁墩台施工安全、质量可靠,为桥梁工程的长期稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]叶丹.公路下穿施工对高速铁路桥梁墩台及行车安全影响研究[J].高速铁路技术,2024,15(3):13-18.
- [2]张桃,刘涛.公路桥梁高墩柱空心薄壁墩安全施工技术研究[J].江西建材,2023(11):356-357,360.
- [3]罗亚伟,张萌,李洪星.道路桥梁的墩台施工监测技术优化[J].模型世界,2024(22):146-148.