

大跨箱梁现浇施工全过程质量管控体系构建探析

刘燕飞

内蒙古路桥集团有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010051

摘要：大跨箱梁现浇施工具有结构复杂、工序繁多、质量影响因素交织度高、隐患隐蔽性强等特点，传统“事后检验”式质量管理难以满足现代工程高质量建设要求。本文基于全过程、全要素、全参与方的系统思维，构建涵盖施工前、施工中、施工后三大阶段，纵向贯通技术准备、材料控制、支架与模板、钢筋与预应力、混凝土浇筑、养护与拆模、监测与验收等关键环节，横向整合组织管理、制度标准、过程控制、信息化监测、责任追溯与持续改进机制的大跨箱梁现浇施工质量管控体系。文章从体系架构设计、阶段化管控要点、关键工序质量控制等维度展开探析，旨在为大跨箱梁现浇施工提供具有操作指导意义的系统化质量管控思路。

关键词：大跨箱梁；现浇施工；全过程质量管控；体系构建；关键工序

引言

随着交通基础设施建设的快速发展，大跨径预应力混凝土连续箱梁桥在城市高架、高速公路及铁路工程中得到广泛应用。现浇施工法因其适应性强、整体性好、线形易控等优势，成为大跨箱梁建设的主流工艺。然而，大跨箱梁现浇施工涉及支架体系搭设、模板安装、钢筋绑扎、预应力管道定位、混凝土大体积浇筑、张拉压浆等多道工序，任何环节的质量偏差均可能引发结构裂缝、线形超差、预应力损失甚至垮塌事故。传统质量管理多依赖事后检验与被动整改，缺乏对施工全过程的主动预控与动态干预，难以有效识别和阻断质量风险链。因此，构建一套覆盖施工全过程、集成组织与技术、融合管理手段与信息化工具的质量管控体系，对提升大跨箱梁现浇施工质量水平具有重要意义。本文以系统论、控制论和全面质量管理理论为学理基础，从全过程视角出发，探析大跨箱梁现浇施工质量管控体系的核心要素、阶段划分、关键控制点，力求形成一套可复制、可推广的体系化管控框架。

1 大跨箱梁现浇施工质量管控的特殊性与体系构建原则

1.1 质量管控的特殊性分析

大跨箱梁现浇施工的质量管控难度显著高于常规中小跨径桥梁或预制拼装结构，主要表现在以下方面。一是工序高度耦合，支架变形、预应力张拉与混凝土收缩徐变之间存在复杂的时变耦合效应，单一工序的质量偏差会沿施工链放大。二是隐蔽工程众多，预应力孔道位置、锚垫板角度、钢筋保护层厚度等一旦覆盖便难以直接检查。三是环境敏感性强烈，温度、湿度、风速等外部因素对混凝土水化热、支架稳定性及线形控制产生显

著干扰。四是质量后果的不可逆性，大跨箱梁多为连续刚构或连续梁体系，后期出现裂缝或过大挠度时难以彻底修复。上述特征决定了管控体系必须具备前瞻性、动态性和闭环性。

1.2 体系构建的基本原则

基于上述特殊性，大跨箱梁现浇施工质量管控体系的构建应遵循以下原则。第一，全过程覆盖原则，从施工准备到竣工验收形成无断点的控制链条。第二，关键工序优先原则，识别并强化对支架、模板、钢筋、预应力、混凝土等核心模块的控制^[1]。第三，数据驱动原则，以监测数据为依据实现质量状态的定量评估与预警。第四，责任可溯原则，明确每道工序、每个岗位的质量责任记录，形成可追溯的文档链。第五，持续改进原则，通过偏差分析、原因追溯与措施优化实现管控体系的迭代升级。

2 全过程质量管控体系的总体架构

本文提出的质量管控体系以“三阶段、七环节、四机制”为总体架构。三阶段指施工准备阶段、施工实施阶段、施工完成与验收阶段；七环节涵盖技术准备、材料与构配件控制、支架与模板系统、钢筋与预应力工程、混凝土工程、养护与拆模、监测与验收；四机制包括组织责任机制、过程控制机制、信息化监测预警机制、持续改进与追溯机制。体系运行的基本逻辑为：在准备阶段完成方案优化、材料检验及体系预调；在实施阶段对各环节进行实时监控与动态纠偏；在完成后进行系统检测、质量评定与数据归档，同时将偏差信息反馈至准备阶段的方案改进，形成闭环。该体系强调从“管结果”向“管过程、管因素”转变，将质量控制的关口前移至每道工序的实施时刻。

3 施工准备阶段的质量预控体系

3.1 技术方案编制与评审

大跨箱梁现浇施工前,必须编制专项施工方案,内容包括支架设计计算、模板配板图、钢筋及预应力布置图、混凝土浇筑顺序、施工监测方案等。方案应经专家论证,重点审查支架体系对地基沉降、风荷载及浇筑偏心荷载的承载能力;预应力束的摩阻损失参数选取是否合理;大体积混凝土温控措施是否完备。方案中还应明确各工序的质量验收标准,将设计图纸要求的尺寸、标高、强度、线形等转化为可执行的现场控制指标。

3.2 材料与构配件源头控制

建立材料“进场检验—存储管理—使用追溯”三级控制。对水泥、骨料、外加剂、预应力筋及锚具等,除核验质保书外,还应按批次进行平行检验,关键指标如骨料级配、含泥量、预应力筋弹性模量等不得采用经验值代替实测值。支架钢管、扣件、碗扣及贝雷片等构配件需逐件检查变形、锈蚀及焊缝质量,拒绝使用超差构件。材料存储场应具备防雨、防潮、防锈蚀条件,并设置标识牌标明检验状态(待检/合格/不合格)。

3.3 测量控制网与线形预控

大跨箱梁的线形控制依赖于高精度的施工测量控制网。在现浇前,应建立独立的平面和高程控制网,并进行至少两次复核联测。根据设计预拱度和施工预拱度(包括支架弹性变形、非弹性变形、地基沉降、预应力反拱等)的叠加计算结果,设置各控制截面的立模标高,形成线形控制表^[2]。预拱度计算应采用现场加载试验数据修正理论公式,避免直接套用经验值。

3.4 支架地基处理与预压方案

地基处理质量直接影响支架整体稳定性。应清除表层软弱土,换填并分层压实至设计承载力,铺设碎石垫层并硬化面层。处理完成后进行承载力检测,每个箱梁节段不宜少于3个测点。支架搭设前,须编制预压方案,预压荷载一般取施工恒载与活载总和的1.1倍,加载分级进行,每级持荷时间不少于2小时,总持荷时间不少于24小时。预压过程中监测沉降量与变形量,实测非弹性变形与弹性变形,据此调整立模标高。

4 施工实施阶段的关键工序质量管控

4.1 支架与模板系统过程控制

支架搭设应严格按照方案执行,控制立杆间距、横杆步距、剪刀撑布置及地锚抗倾覆措施。搭设过程中每完成一层检测一次垂直度与水平度,整体偏差不得超过规范限值。重点检查节点连接:扣件螺栓拧紧扭力矩应控制在40~65N·m之间,碗扣节点上碗扣旋紧到位,承

插型盘扣式支架的插销锤击自锁后露出长度符合要求。模板安装前应涂刷脱模剂,接缝处采用密封条防止漏浆。侧模与底模的拼接缝错台应小于2mm,内模定位筋与底板钢筋点焊固定防止上浮。对曲线箱梁,模板曲率应通过放样加工或现场调整弦线法控制,避免折线感。质量检查要点:支架沉降测点应布置在跨中、支点及1/4跨截面,每跨不少于5个断面,每个断面至少3个测点;模板标高允许偏差 $\pm 5\text{mm}$,轴线偏位不超过8mm,相邻模板表面高差2mm以内。

4.2 钢筋与预应力工程精细化管控

钢筋工程的质量控制聚焦于规格、间距、保护层及连接质量。钢筋绑扎前应进行放样,确定主筋、箍筋及分布筋的准确位置。采用高强砂浆垫块或塑料垫块控制保护层厚度,垫块间距不宜大于0.8m,且呈梅花形布置。机械连接或焊接接头的力学性能应经工艺检验合格,同一截面接头面积百分率不得超过50%。预应力管道采用金属波纹管或塑料波纹管,定位钢筋网片间距应符合设计要求(直线段不大于1m,曲线段不大于0.5m),管道接头应用大一号套管密封缠绕,防止漏浆堵管。锚垫板应垂直于管道轴线,螺旋筋紧贴锚垫板安装,压浆孔与排气孔位置正确。质量检查要点:保护层厚度合格率不低于90%,偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内;预应力管道坐标偏差梁长方向不大于30mm,梁高方向不大于10mm;锚垫板倾角偏差不大于1°。上述数据应逐段记录,形成隐蔽工程影像档案。

4.3 混凝土浇筑与振捣质量控制

大跨箱梁通常采用大流动性混凝土一次或分段浇筑。浇筑前应复核支架及模板的稳定性、钢筋及预埋件位置、混凝土供应能力及备用振捣设备。混凝土应分层浇筑,分层厚度控制在30~50cm,下层混凝土初凝前完成上层覆盖。底板与腹板连接处、锯齿块及锚固区等钢筋密集区域,应采用小直径振捣棒配合人工插捣,防止空鼓。浇筑速度应严格控制,避免过快导致侧压力过大引起模板变形或支架失稳^[3]。对双向预应力箱梁,宜采用对称平衡浇筑顺序,避免偏载造成支架不均匀沉降。混凝土拌合物质量管控:每车检测坍落度,偏差超过20mm应退货;含气量、泌水率及入模温度每工作班不少于3次。高温季节入模温度不超过30℃,低温季节不低于5℃,否则应采取冰水拌和或热水拌和、覆盖保温等措施。

4.4 预应力张拉与压浆过程控制

混凝土强度达到设计强度85%以上且弹性模量达到要求后方可张拉。张拉应遵循“对称、分级、同步”原则,采用两端张拉时两端伸长量差值不超过10%。张拉

控制采用“双控法”——以张拉力为主、伸长值校核，实测伸长值与理论值偏差应在 $\pm 6\%$ 以内。每束钢绞线应完成张拉后持荷5分钟锚固，观察回缩值是否符合要求（一般不超过5mm）。张拉完成24小时内应完成孔道压浆，压浆采用真空辅助压浆工艺，浆液水胶比控制在0.26~0.28，流动度、泌水率及膨胀率经检验合格。压浆压力稳定在0.5~0.7MPa，稳压期不少于2分钟，出浆口流出的浆液稠度与进浆口一致时方可封闭。质量管控难点：避免“滑丝”“断丝”，每束钢绞线断丝或滑丝数量不得超过1丝，且每断面断丝总和不超过该断面钢丝总数的1%；孔道压浆饱满度检测可采用无损冲击回波法，不密实区域应钻孔补压。

5 施工完成阶段的质量检验与反馈机制

5.1 养护与拆模质量控制

混凝土浇筑完成后应及时进行保湿养护，顶板采用土工布覆盖洒水，腹板和底板可采用养护剂喷涂或塑料薄膜包裹。养护时间不少于7天，对掺用缓凝剂或大掺量矿物掺合料的混凝土不少于14天。拆模时间应根据同条件养护试块强度确定：侧模在强度达到2.5MPa且表面棱角不损坏时拆除；底模及支架需在混凝土强度达到设计值100%后，按对称、缓慢原则逐级卸载拆除^[4]。拆模后检查混凝土外观，对蜂窝、麻面、孔洞等缺陷记录并编制修补方案，修补后应重新检测平整度与色差。

5.2 实体质量检验与验收

最终检验包括几何尺寸、线形、强度、弹性模量、预应力孔道压浆密实度及结构裂缝等。采用全站仪与精密水准仪测量箱梁顶面、底面及翼缘板的实际线形，与设计线形对比，挠度偏差应控制在 $L/3000$ 以内（ L 为跨径）。混凝土强度采用回弹法结合钻芯法修正，每个测试断面不少于10个测区。裂缝检查重点观察底板、腹板及锚固区，裂缝宽度超过0.15mm应标注并分析成因，根据具体情况采取表面封闭或压力注浆处理。

5.3 质量数据集成与反馈

将施工准备、实施及完成阶段的所有检验记录、监测数据、整改通知单及验收报告等，按工序、时间、部位集成形成质量档案。采用统计分析方法识别质量问题的频发环节与共性原因，例如支架沉降超差集中于地基处理不足区域，或预应力伸长值偏差大与管道定位误差相关。这些分析结论应反馈至后续同类型桥梁的施工技术方案编制与交底环节，实现经验驱动的体系改进。

6 结语

大跨箱梁现浇施工质量管控是一项多因素耦合、跨工序协同的系统工程。本文基于全过程质量管理理念，构建了涵盖施工准备、实施与验收三个阶段，集成支架与模板、钢筋与预应力、混凝土浇筑等关键工序，辅以组织责任、信息化监测及持续改进机制的质量管控体系。该体系的核心要点为：准备阶段通过方案论证、预压试验与线形预设实现源头控制；实施阶段对支架沉降、预应力定位、混凝土浇筑对称性及张拉同步性实施动态监控；完成阶段依托实体检测与数据反馈驱动改进机制。体系的有效运行依赖于明确的岗位责任、智能化的监测预警手段以及闭环的问题处置流程。通过上述体系的建立与落实，可将大跨箱梁现浇施工的质量风险从事后处理前移至过程预控与动态干预，从而显著提升结构安全性与耐久性。后续研究可进一步探索基于大数据与人工智能的质量风险预测模型，以及装配式与现浇结合的混合施工质量管控策略。

参考文献

- [1]王凯.市政桥梁大跨径现浇箱梁施工关键技术及质量控制研究[J].中国建筑金属结构,2026,25(7):92-94.
- [2]陈鸿洋.互通匝道现浇箱梁全过程施工质量控制分析[J].汽车周刊,2026,(3):84-86.
- [3]徐忠.预应力混凝土现浇箱梁的施工技术及质量控制措施[J].运输经理世界,2025,(34):93-95.
- [4]陈旻.桥梁工程中现浇箱梁施工工艺与质量控制[J].交通世界,2025,(8):112-114.