

公路桥梁预应力混凝土连续箱梁施工关键技术

马 超

安徽省新路建设工程集团有限责任公司 安徽 阜阳 236000

【摘要】：公路桥梁建设持续推进，预应力混凝土连续箱梁应用愈发广泛，施工质量直接关系到桥梁安全与使用寿命。针对支架稳定、线形控制、预应力精度及结构耐久性等关键问题，本文从原材料管控、支架模板、钢筋布设、混凝土浇筑到预应力施工各环节实施全过程技术管控，应用组合支架体系、分层浇筑工艺、双控张拉及线形动态监测等技术，能够有效控制结构偏差，消除施工缺陷，提升箱梁整体质量与耐久性，为同类桥梁工程施工提供可靠技术支撑。

【关键词】：预应力混凝土；连续箱梁；施工技术；质量控制；结构耐久性

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.069

引言

现代公路桥梁正朝大跨径、高荷载与长寿命方向演进，预应力混凝土连续箱梁因受力性能优良且经济性好，成为主流桥型。施工过程中涉及支架搭设、混凝土作业、预应力张拉等多项关键工艺，任一项管控不到位都可能诱发结构裂缝、线形偏差或预应力失效。在绿色建造与精细化施工理念下，有必要加强全过程质量管控，优化核心工艺，确保结构线形、受力状态及长期耐久性，推动公路桥梁施工技术向标准化、精准化、高效化升级。

1 公路桥梁预应力混凝土连续箱梁施工基础概况

1.1 连续箱梁结构工程特性

公路桥梁预应力混凝土连续箱梁整体受力性能稳定，具备较强跨越能力与结构刚度，在大跨径桥梁工程中适用性突出。该结构采用整体封闭式截面形式，抗弯与抗扭性能优异，能够分散车辆荷载及外部环境作用产生的内力，降低结构局部应力集中风险。变截面连续箱梁可适应跨中与支座位置的内力分布差异，提升桥梁整体受力合理性。连续箱梁多采用分幅布置形式，单幅宽度与箱梁中心距可依据交通需求灵活调整，结构对称性强，便于支架搭设、混凝土浇筑及预应力张拉等工序对称作业。箱梁内部空间规整，可满足各类管线布设与后期养护检修需求，整体结构整体性强、变形小，能够长期保持良好线形与使用性能，适配公路桥梁重载通行及长期服役的工程要求。

1.2 预应力施工技术应用优势

预应力施工技术能够提升连续箱梁的承载能力与抗裂性能，主动施加预应力可抵消荷载作用下的拉应力，避免混凝土早期开裂，保障结构耐久性。预应力张拉与压浆工艺可控制结构变形，减小箱梁挠度，维持桥面线形平顺。该技术还能优化结构截面尺寸，减少混凝土与钢筋用量，降低结构自重，提升桥梁跨越能力，同时降低工程整体造价^[1]。预应力施工工序衔接紧密，适配挂篮悬臂浇筑、支架现浇等多种施工工艺，可适应跨大堤、跨交通线路等复杂施工场景。采用张拉力与伸长量双控校核方式，施工精度可控性高，能够保证预应力作用均匀

且充分发挥，提升箱梁整体施工质量与结构安全储备，延长桥梁使用寿命。

1.3 现场施工环境与条件分析

连续箱梁施工现场多位于交通要道或防洪通道区域，上部施工需兼顾桥下通行安全与防洪要求，施工组织协调难度较大。桥梁跨径较大、墩身高度较高，需搭设大规模高承载支架体系，这对地基承载力与结构稳定性提出严苛要求。箱梁截面尺寸偏大，钢筋与预应力管道布设密集，作业空间有限，增加了混凝土浇筑、振捣及预应力张拉的操作难度。大体积混凝土施工受环境温度影响明显，高温下水化热积聚容易引发温度裂缝，低温条件下需做好保温防护，对养护工艺要求较高。现场施工受地形、交通、气候等多重因素制约，需采用标准化与精细化结合的施工方案，合理规划工序及安全防护措施，保障施工连续推进并确保工程质量达标。

2 公路桥梁预应力混凝土连续箱梁施工前期管控

2.1 施工原材料质量检验把控

预应力混凝土连续箱梁施工所用原材料需执行全流程进场检验与现场复核制度，从源头保障结构强度及耐久性。水泥优先选用水化热平稳、安定性合格的品种，进场后检测强度与凝结时间等关键指标，避免大体积混凝土施工过程中出现温度裂缝。粗细骨料严格把控含泥量、级配及压碎指标，骨料表面保持洁净且粒径匹配浇筑工艺要求，防止产生蜂窝麻面。钢筋与预应力钢绞线需核查力学性能与屈服强度，确保满足设计受力要求。波纹管、锚具等配套构件重点检查尺寸精度与密封性能，防止孔道漏浆影响张拉效果。所有原材料按批次留存试样，检验合格方可使用，不合格材料严禁进场并及时清场，通过标准化检验流程为后续支架搭设、混凝土浇筑与预应力施工奠定稳定基础。

2.2 箱梁支架模板体系搭建

箱梁支架模板体系需依据跨径、墩高及荷载条件进行专项设计，保障承载能力、整体稳定性与高程精度。支架采用承台预埋件、钢管混凝土立柱、托架和分配梁组合形式，立柱之间

设置连接系提升整体刚度，顶部通过钢楔块实现底模高程精准调节，调整完成后焊接固定以保结构稳固^[2]。模板选用刚度充足的钢制材料，表面平整光洁，拼缝严密且不漏浆，支撑体系均匀受力避免局部变形。跨交通线路区域同步搭设防护棚架，借助扩大基础与钢管立柱支撑，配置分配梁及防护面板形成封闭结构，满足通行净空与安全防护要求。支架搭设完成后进行预压监测，消除非弹性变形并严格控制沉降量，为混凝土浇筑提供稳定可靠的作业平台。

2.3 钢筋加工与精准布设作业

钢筋加工需严格按照设计尺寸执行切断、弯曲与焊接工序，加工精度满足规范要求，焊接接头饱满且牢固，避免出现应力集中。绑扎时遵循先主筋后箍筋、先底层后顶层的顺序，间距均匀、定位准确，与预应力管道及预埋件位置相互避让。钢筋加工与绑扎前应完成技术交底，明确节点做法及控制标准，减少现场返工与尺寸偏差。预应力孔道周边增设加密钢筋，防止浇筑过程中发生管道移位。钢筋保护层采用标准化垫块，厚度均匀且固定牢靠，以保障结构耐久性。钢筋骨架整体顺直、绑扎稳固，具备足够刚度抵抗混凝土浇筑冲击力。布设过程中全程复核坐标与间距，确保钢筋受力体系与设计一致，为混凝土结构提供可靠受力支撑，同时为后续预应力张拉及结构受力创造稳定条件。

3 公路桥梁预应力混凝土连续箱梁核心施工工艺

3.1 箱梁混凝土浇筑与养护施工

箱梁混凝土浇筑需结合大截面、钢筋密集的结构特点，采用分层分段对称施工方式，从箱梁两侧腹板同步推进，严格控制两侧浇筑高度差，避免内模承受偏压而产生位移。腹板浇筑完成后借助内模预留下料孔完成底板补浇，再向上浇筑至腹板与顶板结合部位，最后整体一次性完成顶板混凝土浇筑，以此保证结构整体性。振捣作业选用插入式振捣棒，按梅花形布点并遵循快插慢拔原则，振捣棒插入下层混凝土深度不小于10厘米，确保上下层结合紧密，振捣过程中需避开波纹管、钢筋及预埋件，防止构件移位或孔道破损^[3]。大体积混凝土施工应做好水化热控制，通过优化配合比降低水泥用量以减少内部温升。浇筑完成后及时覆盖土工布并持续洒水保湿养护，养护时间不少于7天，环境温度低于5摄氏度时采取保温措施，高温天气则加强遮阳与补水，防止混凝土表面快速失水产生干缩裂缝，确保混凝土强度均匀增长且外观密实无蜂窝麻面，整体达到设计受力与耐久性要求。

3.2 预应力孔道预留及安装施工

预应力孔道预留直接影响张拉受力均匀性及结构安全，需依据设计坐标精准定位波纹管，固定间距与支撑刚度满足施工荷载要求，避免浇筑过程中出现上浮、偏移或扭曲。安装前检查波纹管外观完整性，确保无破损、无变形，接头连接严密并

做好密封处理，防止混凝土浆液渗入造成堵管。采用定位钢筋牢固固定，梁长方向坐标偏差控制在30毫米以内，梁高方向偏差控制在10毫米以内，同排与上下层管道间距均控制在10毫米以内，确保预应力筋布设顺直^[4]。孔道端部锚垫板与波纹管垂直对接并密封牢固，保证张拉受力方向准确。混凝土浇筑前对孔道进行封堵保护，浇筑过程中避免振捣棒直接接触，防止管壁破裂漏浆。浇筑完成后及时通孔检查，清除孔内杂物与残留浆液，确保孔道通畅，为后续穿束、张拉与压浆提供可靠条件，避免因孔道缺陷导致预应力受力不均或张拉失效。

3.3 预应力张拉与压浆关键操作

预应力张拉需在混凝土强度与弹性模量达到设计值90%以上且龄期不少于7天时进行，张拉前全面检查设备状态，确保千斤顶与油泵配套校验合格。张拉顺序为先纵向后横向、先长束后短束、先腹板后底板和顶板，两端同步作业，采用张拉力控制为主、伸长量校核为辅的双控标准。张拉流程从初始应力开始，先加载至20%控制应力并标记伸长量，继续加载到设计控制应力，持荷5分钟完成自锚，测量回缩量与夹片外露量后回油退顶，全过程安排专人记录数据，确保实测伸长值与理论值偏差在允许范围。张拉完成后及时开展孔道压浆，选用符合设计强度的水泥浆，保证流动性与饱满度，压浆过程连续均匀且排气通畅，确保孔道内浆液密实无空隙、完全包裹预应力筋。压浆完成后封闭锚具并做好防护处理，防止预应力筋锈蚀，提升结构整体耐久性与长期受力稳定性。如图1。

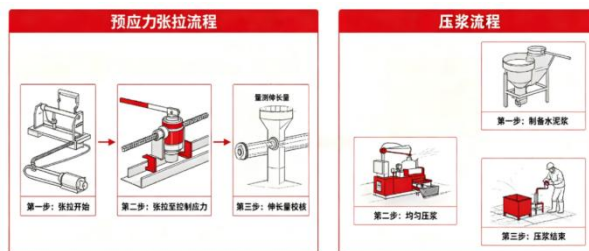


图1 预应力张拉与压浆施工工艺流程

4 公路桥梁预应力混凝土连续箱梁施工质量控制要点

4.1 结构线形偏差综合管控

结构线形偏差综合管控是保障连续箱梁整体受力与外观平顺的核心环节，需贯穿支架搭设、混凝土浇筑、预应力张拉直至合龙的全流程。施工前建立高精度测量控制网，对箱梁轴线、高程及预拱度进行全程动态监测，每道工序完成后及时复核数据，避免偏差累积。支架体系通过预压消除非弹性变形，将累计最大沉降量控制在8毫米以内，确保底模高程稳定，为线形控制提供基础。混凝土浇筑采用对称分层工艺，严格控制两侧腹板浇筑高差，防止偏压导致模板移位与线形扭曲。预应力张拉严格遵循对称同步原则，按设计顺序逐级加载，避免因

受力不均引起梁体侧向偏移或竖向变形。合龙段施工前精准监测悬臂端高差,将其控制在12毫米以内,中心线偏差控制在8毫米以内,通过实时调整张拉应力与浇筑顺序,确保合龙后桥面平顺顺滑。全过程建立线形偏差预警机制,超出限值立即停工校正,借助多维度、全过程的精细化管控,使桥梁线形完全符合设计要求,保障结构受力合理与行车舒适性。

4.2 预应力施工缺陷防治措施

预应力施工缺陷防治需从孔道安装、张拉操作及压浆密封等关键环节入手,建立全流程防控体系,避免出现滑丝、断束、张拉不到位或孔道堵塞等问题。孔道安装采用定位钢筋牢固固定,严格控制坐标与间距,接头密封严实,混凝土浇筑时避免振捣棒触碰管壁,防止漏浆堵管。张拉设备定期校验,确保千斤顶与油泵精度达标,操作人员持证上岗,严格按流程对称张拉,杜绝单侧张拉、超张拉或张拉不足现象。张拉过程执行张拉力与伸长量双控标准,及时核对数据,发现偏差立即排查原因,待处理完成后再继续施工。加强锚具与夹片质量检验,安装时保证锚垫板垂直,防止受力偏心引发滑丝断束。张拉完成后及时压浆,保证水泥浆配合比合理、压浆压力稳定,确保孔道密实无空隙。针对施工空间狭小的场景,优化张拉设备布置与操作流程以减少人为误差。通过事前预防、过程控制与事后检测的闭环管理,有效消除预应力施工各类缺陷,保障结构受力安全可靠。

4.3 箱梁整体耐久性强化管控

箱梁整体耐久性强化管控围绕混凝土质量、预应力防护及

结构防裂等核心目标展开,以全面提升桥梁长期服役性能。混凝土施工严控原材料质量与配合比来降低水化热,采用分层振捣与保湿养护,养护时间不少于7天,避免温度裂缝与干缩裂缝出现,确保混凝土强度达到设计值的105%以上。钢筋保护层厚度均匀达标,借助标准化垫块固定,防止钢筋锈蚀引发混凝土胀裂。预应力筋张拉后及时进行孔道压浆,形成完整密封体系,阻断空气与水分侵入路径,避免预应力筋锈蚀失效^[5]。施工全过程中避免混凝土表面产生蜂窝、麻面或露筋等缺陷,发现问题及时修补处理,保证结构密实完整。跨交通与防洪区域的箱梁增设防护设施,减少外部环境侵蚀及意外冲击。定期开展结构检测,跟踪强度、线形及裂缝等指标变化,建立耐久性健康档案。通过材料管控、工艺优化、防护加强与长期监测的综合手段,从根本上提升箱梁抗渗、抗裂与抗锈蚀能力,延长桥梁使用寿命,满足公路桥梁长期安全运营需求。

5 结语

预应力混凝土连续箱梁施工需以全过程质量管控为核心,严格落实原材料检验、支架模板搭设、钢筋布设、混凝土浇筑及预应力张拉等关键工序的管控要求。依托组合式支架体系、分层分段浇筑、精细化张拉与线形动态监测技术,能够有效控制结构线形偏差、预防施工缺陷并提升箱梁整体强度与耐久性。各项施工技术的规范应用及协同管控,可保障连续箱梁结构安全稳定、线形平顺,满足公路桥梁长期服役要求,为大跨径桥梁工程高质量建设提供坚实技术保障。

参考文献:

- [1] 徐哲,孙志海.大跨度现浇预应力混凝土连续箱梁在铁路桥梁施工中的应用[J].建筑技术开发,2025,52(10):22-24.
- [2] 陈厚鹏.公路大桥项目预应力混凝土连续箱梁施工技术探讨[J].交通科技与管理,2025,6(15):31-33.
- [3] 罗侃.预应力混凝土连续梁桥施工控制研究[J].交通世界,2024,(24):176-178.
- [4] 周磊.支架现浇预应力混凝土连续箱梁施工关键技术[J].设备管理与维修,2024,(10):187-190.
- [5] 李文丽.预应力混凝土箱梁施工关键技术[J].工程机械与维修,2024,(03):87-89.