

预应力混凝土连续梁桥施工技术要点分析

杨 烜

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

摘 要 预应力混凝土连续梁桥在施工过程中需经历多次体系转换, 成桥质量的稳定性直接取决于各阶段施工要点的精准把控。本文从支架预压与预拱度设置、预应力管道定位等关键环节入手, 系统梳理了预应力混凝土连续梁桥的核心施工技术要点, 旨在为帮助施工人员明确各环节的控制重心、强化施工过程的规范性与精准度提供参考, 进而提升预应力混凝土连续梁桥的结构耐久性与服役寿命。

关键词 预应力混凝土; 连续梁桥; 预应力管道; 混凝土浇筑; 预应力张拉

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.015

0 引言

预应力混凝土连续梁桥具有结构刚度大、行车平顺舒适等优点, 在桥梁建设中应用广泛。当前, 《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020) 明确提出了预应力混凝土连续梁桥施工质量的管控要求, 进一步规范了各环节施工的技术标准。本文结合桥梁工程实践梳理预应力混凝土连续梁关键施工技术要点, 以期为保证桥梁施工质量、延长桥梁使用寿命提供有益参考。

1 预应力混凝土连续梁桥的结构特点

预应力混凝土连续梁桥以超静定受力体系为基础, 利用预应力技术抵消混凝土拉应力, 具有刚度大、伸缩缝少等优点, 其施工质量直接关系到桥梁的承载安全, 而明确结构特点是掌握施工技术、把控施工关键环节的前提^[1]。其结构特点为: (1) 受力性能更优, 作为超静定结构, 荷载作用下支点产生负弯矩, 能够有效降低跨中正弯矩峰值, 使梁体截面受力更均匀; (2) 整体刚度大, 变形小, 行车平顺性好, 相较于多跨简支梁, 仅在两端设置伸缩缝, 大幅减少了伸缩装置的养护工作量, 降低了行车过程中的跳车问题; (3) 结构整体性好, 对地基不均匀沉降的适应能力更强, 使用寿命更长。

2 预应力混凝土连续梁桥施工技术要点

2.1 支架与模板系统

1. 地基处理与承载力要求。依据《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020), 地基承载力特征值不宜低于 150 kPa。当天然地基承载力不足时, 可采用换

填、碾压等措施进行加固。换填材料需选用级配良好的砂砾, 换填厚度应依据地质条件确定, 一般为 50 cm ~ 80 cm, 压实度不应小于 95%。

2. 支架预压。支架搭设完毕后需进行预压, 预压荷载取梁体自重的 1.1 倍 ~ 1.2 倍, 采用分级加载方式。其中, 首次加载为预压荷载的 60%, 第二次为 80%, 第三次为 100%, 后续可按 10% 梯度进行补载, 直至达到设计要求预压荷载。每级加载完成后, 要按规范要求间隔时间监测支架沉降量, 待沉降稳定后方可进行下一级加载。

2.2 预应力管道安装

预应力管道的位置准确性直接决定预应力束能否按设计线形建立有效应力^[2]。管道偏位会改变预应力合力作用点, 引起附加弯矩, 严重时会在张拉阶段梁体开裂。因此, 需严格把控管道安装的定位精度。

1. 管道选型与定位。当前, 工程中预应力管道多采用波纹管, 依据预应力束的规格, 选择对应内径的管道, 保证预应力筋能够顺利穿入。管道安装时需借助定位钢筋固定, 定位钢筋需沿纵桥向, 按设计间距布设, 直线段间距 50 cm ~ 80 cm, 曲线段间距 30 cm ~ 40 cm, 以保证管道位置偏差符合标准要求, 防止管道出现凹折破损。其中, 管道坐标允许偏差执行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020), 见表 1。

2. 接头密封。管道接长时要采用大一号的同类型管道作为接头套管, 套管长度为管道直径的 5 倍 ~ 7 倍, 且不小于 20 cm。接头两端必须用密封胶带包裹严密, 缠绕层数不少于 3 层, 防止水泥浆渗入管道造成堵塞。安装过程中还要做好管道防护, 避免电焊作业灼伤管

作者简介: 杨烜 (1995-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 公路建设施工管理。

道、外物戳破管壁，若发现管道存在破损需及时更换。同时，接头位置需避开锚垫板和梁体预留孔位^[3]。

表 1 预应力管道安装允许偏差

检查项目	允许偏差 (mm)
梁长方向坐标	±30
梁高方向坐标	±10
梁宽方向坐标	±10
同层管道间距	±10
上下层管道间距	±10

2.3 混凝土浇筑

混凝土浇筑质量直接影响梁体密实度和预应力管道的完整性。浇筑过程中需重点控制分层厚度、浇筑顺序和振捣工艺，避免冷缝、管道移位。

1. 分段分层浇筑。梁体混凝土要按底板、腹板、顶板顺序分层浇筑。每层浇筑厚度控制在 30 cm~50 cm。上层混凝土需在下层混凝土初凝前覆盖，相邻两层浇筑间隔时间不宜超过混凝土初凝时间。普通硅酸盐水泥混凝土的初凝时间一般为 2 小时~4 小时。超出初凝时间未覆盖，会形成冷缝，降低结构整体性。

2. 浇筑顺序。连续梁桥混凝土浇筑需左右对称进行。单幅梁体浇筑时，要从跨中向支点方向推进。悬臂施工时，各梁段应左右对称浇筑，两端混凝土重量差不超过该梁段自重的 30%。这是因为不对称浇筑会让 T 构两侧受力不均，产生附加弯矩。对于腹板与顶板的交接区域，需在腹板混凝土浇筑完成并初步沉实后，再开展顶板混凝土浇筑作业，避免腹板顶部因混凝土收缩出现开裂问题^[4]。浇筑过程中需安排专人同步检查支架沉降、模板位移情况，若发现异常变形需立即暂停浇筑，及时调整加固后方可恢复施工。

2.4 预应力张拉

预应力张拉是建立梁体预压应力的关键工序。张拉控制是否准确，直接影响结构受力状态。施工中需采用张拉力与伸长值双控措施，严格执行对称张拉顺序。

1. 标定张拉设备。标定周期不超过 6 个月，或单台设备张拉次数超过 200 次时重新标定。压力表精度不低于 1.0 级，表盘直径不小于 150 mm。标定后绘制压力表读数与张拉力关系曲线，现场按曲线查表确定油压值。

2. 张拉控制方式。采用双控法，以张拉力为主控指标，伸长值为校核指标。设计张拉力 (σ_{con}) 按图纸取值。实测伸长值与理论伸长值的偏差应控制在 ±6% 以内。超出该范围时，应停止张拉，查明原因并处理

后方可继续。其中，理论伸长值 ΔL 按下列公式计算：

$$\Delta L = \frac{P_p L}{A_p E_s} \quad (1)$$

式 (1) 中， ΔL 为理论伸长值 (mm)； P_p 是预应力筋平均张拉力 (N)； L 是预应力筋长度 (mm)； A_p 为预应力筋截面面积 (mm²)； E_s 即预应力筋弹性模量 (MPa，一般取 1.95×10^5 MPa)。

3. 张拉顺序与同步。张拉顺序需遵循先长束后短束的原则。同一梁段内的预应力束要保持左右对称。对于箱梁，要交替进行腹板束和顶板束。在张拉过程中，两端伸长值差值不应超过 10%。当差值超限时，要调整油泵供油速度，保持两端同步。

4. 超张拉工艺。为减少锚具变形和孔道摩阻引起的预应力损失，需采用超张拉工艺。超张拉应力取 $1.05 \sigma_{con}$ ，持荷时间不少于 5 分钟，然后回油至 $0.9 \sigma_{con}$ ，释放前期非弹性残余变形，再重新张拉至设计 σ_{con} 锚固。超张拉要在梁体混凝土强度达到设计值的 90% 以上后进行。每束预应力张拉完成后，要记录张拉日期、梁段编号等数据，以便于后续质量追溯核验。

2.5 孔道压浆

孔道压浆要在预应力张拉完成后 48 小时内完成，需采用真空辅助压浆工艺。压浆前，孔道内需清除积水及杂物。关闭所有排气阀，开启真空泵，抽出孔道内空气^[5]。当孔道真空度达到 -0.06 MPa ~ -0.08 MPa 时，保持真空稳定。接着进行压浆，其间要保持真空泵持续工作，直至浆体从另一端排气阀流出。当排气阀流出的浆体与注入端浆体稠度一致时，关闭排气阀。继续加压至 0.5 MPa ~ 0.7 MPa，稳压时间不少于 3 分钟。稳压结束后关闭注浆阀，拆除压浆管 (如图 1 所示)。

压浆完成后，需封锚，锚具外部多余的预应力筋需切割预留不小于 30 mm 的长度，然后浇筑封端混凝土。其中，封端混凝土强度需符合设计要求，表面需做好抹面养护，防止开裂。

2.6 悬臂浇筑

悬臂浇筑是大跨度预应力混凝土连续梁桥常用的施工方法。梁体从墩顶开始，向两侧逐段对称浇筑成型。

1. 挂篮设计与预压。挂篮是悬臂浇筑的主要施工设备，承担梁段混凝土自重、模板重量。挂篮重量与最重梁段重量的比值不宜大于 0.45。挂篮加工完成后，要进行预压试验。预压荷载取最大梁段自重的 1.2 倍，分级加载。分级荷载分别为最大荷载的 60%、80%、100%、120%，每级持荷时间不少于 30 分钟。预压的目的是消除挂篮的非弹性变形，并测定弹性变形量。

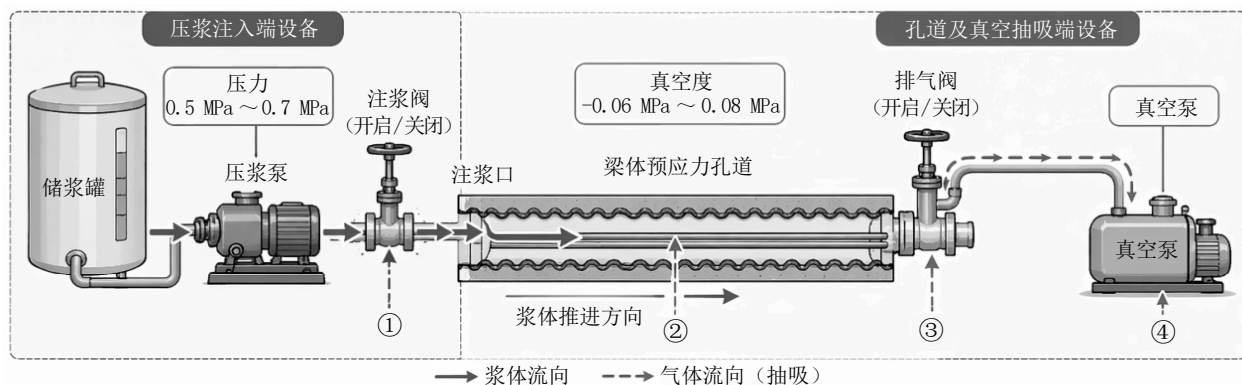


图 1 真空辅助压浆工艺流程示意图

2. 对称平衡浇筑。梁段浇筑要左右对称进行。两端悬臂同时浇筑混凝土，两端浇筑重量差不应超过该梁段自重的 30%。当两端重量差超限时，较重一侧会产生附加弯矩，轻侧可能出现上翘变形，影响结构稳定。浇筑顺序要底板、腹板、顶板分层进行，每层厚度 30 cm ~ 50 cm。若因混凝土供应等原因导致两端速度不同，要在轻侧加配重以保持平衡。

3. 线形监控。每节段浇筑后，需测量梁顶面高程和中线位置。测点布置在梁段前端和根部，每断面不少于 3 个点。测量时间选在温度稳定的时段，避开日照和温差影响。其在，立模标高按下式计算：

$$H_{\text{模}} = H_{\text{设计}} + f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \quad (2)$$

式 (2) 中： $H_{\text{模}}$ 是立模标高 (m)； $H_{\text{设计}}$ 为该截面设计成桥标高 (m)； f_1 是挂篮弹性变形量 (mm)，由预压试验测得； f_2 是梁段自重作用下挠度 (mm)，按设计或有限元计算； f_3 即预应力张拉引起的反拱 (mm)； f_4 是下一节段施工引起的本段挠度变化 (mm)。

每浇筑 3 个 ~ 5 个节段后，要对全线形进行复核。实测标高与理论标高偏差超过 ± 15 mm 时，需在后续节段调整。

2.7 合龙与体系转换

合龙段施工是悬臂浇筑连续梁桥的关键工序。合龙完成后，结构要转换为超静定的连续梁，内力发生重分布。

1. 合龙顺序。合龙顺序要按设计图纸执行，一般为先边跨、后中跨。其中，边跨合龙时，边跨现浇段与悬臂端连接，形成单侧连续。中跨合龙时，两侧悬臂端连接，全桥形成连续梁。

2. 临时锁定。合龙口两侧梁体在温度变化时会产生伸缩变形。若不锁定，合龙段混凝土在硬化过程中可能被拉裂。临时锁定的作用是连接两侧梁体刚性，抵抗温度变形。锁定装置由刚性支撑和临时预应力束

组成。其中，刚性支撑采用钢管，沿合龙口上下缘布置，每处支撑与两侧梁体预埋钢板焊接牢固。临时预应力束对称布置在箱梁腹板和顶底板位置。张拉临时束的应力一般为 $0.3 \sigma_{\text{con}} \sim 0.5 \sigma_{\text{con}}$ ，不注浆。

3. 合龙温度。合龙温度选择会直接影响合龙段混凝土的受力状态。合龙温度宜选择当天最低温度进行合龙，在设计合龙温度 ± 5 °C 范围内。温度确定后，要在该温度下完成临时锁定和混凝土浇筑。若施工期间气温持续高于设计合龙温度上限，应调整合龙时间，不得在高温时段强行合龙。

3 结束语

预应力混凝土连续梁桥施工涉及支架预压、管道定位等多个技术环节，每个环节的质量控制均直接影响成桥结构的受力状态。未来，预应力混凝土连续梁桥施工需进一步聚焦关键工序，通过细化管理标准、强化过程监督、严格参数核验等方式，筑牢核心环节质量防线。同时，要推动施工技术迭代升级，引入智能监测、数字化管控等手段，提高预应力混凝土连续梁桥的施工质量，为交通基础设施的安全稳定运行筑牢坚实的基础。

参考文献：

- [1] 李国俊. 预应力混凝土连续梁桥挂篮施工技术优化分析 [J]. 建筑机械化, 2026, 47(03): 46-49.
- [2] 姚明, 罗朋, 王建龙, 等. 预应力混凝土连续梁桥挂篮智能反力架预压施工技术优化 [J]. 粘接, 2026, 53(02): 435-438.
- [3] 农定立. 预应力混凝土连续梁桥施工技术及其变形监测研究 [J]. 石材, 2026(01): 82-84.
- [4] 来泉泉. 预应力混凝土连续梁桥悬浇施工及线形控制要点 [J]. 交通世界, 2025(22): 122-124, 127.
- [5] 孙雪宏, 杨帆. 跨铁路预应力混凝土连续梁桥顶推施工监测技术分析 [J]. 工程质量, 2025, 43(06): 93-96.