大悬臂盖梁现浇施工在公路桥梁中的应用研究

赖　可

保利长大工程有限公司　广东　广州　510000

摘　要： 大悬臂盖梁悬臂长、截面大、施工荷载集中，对支撑体系稳定性、混凝土温控及预应力精度要求极高。本文依托实际工程，系统研究了盖梁现浇施工成套工艺与质量控制要点。通过对钢管贝雷支架分级加载预压沉降数据的回归分析，精准区分了非弹性与弹性变形；基于水化热温度时程监测，验证了分层浇筑与冷却水管联合控裂效果；结合智能张拉实测数据，完成了预应力双控指标偏差溯源。结果表明：支架沉降与荷载线性相关性良好，混凝土内外温差控制在20℃以内，预应力伸长量偏差率稳定在±4%以内。通过全过程动态反馈管控，保障了结构线形与受力安全。

关键词： 大悬臂盖梁；现浇施工；公路桥梁；支架体系；预应力张拉；质量控制

引言： 大悬臂盖梁能显著减少桥墩数量、增大桥下净空、优化地面交通组织，在城市快速路、互通立交中得到广泛应用。但其悬臂长度常超 5 米，截面尺寸大、混凝土方量多、施工荷载集中，对支撑体系承载能力与稳定性要求极高。同时，该类盖梁多采用后张法预应力结构，孔道定位精度要求高、张拉控制对受力影响显著。本文结合工程实测数据，对钢管贝雷支架体系受力变形、混凝土温度场变化及预应力张拉精度进行量化分析，旨在形成具有指导意义的施工控制方法。

1 工程概况与结构特点

1.1 工程概况

某城市快速路互通立交主线桥采用预应力混凝土大悬臂盖梁，悬臂长度 6.2m，盖梁全长 24.5m，截面为变高度形式，支点处梁高 3.2m，端部梁高 1.8m。桥墩为双柱式矩形墩，柱间距 7.5m，墩高 8.5m。盖梁混凝土设计强度等级为 C50，单座盖梁混凝土方量为 186m³。预应力体系采用后张法，配置 15-Φs15.2 低松弛钢绞线，标准强度 1860MPa，锚下控制应力 1395MPa。

1.2 结构受力特点与施工难点

大悬臂盖梁最显著的特征是悬臂长度显著增加，悬臂根部负弯矩巨大，对预应力钢束的布置和张拉提出了更高要求，梁高相应增加至 3.2m 以满足抗弯需求。施工难点主要体现在四个方面：其一，支撑体系承受的荷载集中且偏心，支架的强度、刚度和稳定性直接关系到施工安全；其二，单次浇筑方量达 186m³，水化热集中释放，内外温差控制不当易产生温度裂缝；其三，悬臂根部负弯矩区预应力束的定位精度、张拉控制应力及伸长量的双控要求极为严格；其四，高空作业面狭窄，安全风险突出[1]。

2 施工方案设计与工艺总体流程

2.1 施工方案选型

结合本工程墩高 8.5m、施工场地狭窄、原地基地质条件复杂的现场特点，项目采用适用性更强、经济性更优的钢管贝雷支架现浇方案。该方案依托钢管立柱传递竖向荷载，搭配贝雷主梁、分配梁形成整体支承平台，荷载直接传递至承台及扩大基础，无需大范围处理软弱地基，适配高墩、窄场地、复杂地基施工工况。相比传统支架体系，钢管贝雷支架用钢量少、拼装便捷、搭拆周期短、构件可周转复用，可有效缩减地基处理范围、节约施工工期与工程造价，完全适配本项目大悬臂盖梁现浇施工需求，综合施工效益显著[2]。

2.2 钢管贝雷支架体系设计

本工程支架体系由混凝土扩大基础、钢管立柱、横向连接系、顶部工字钢盖梁、贝雷主梁及分配梁组成完整受力体系。立柱基础采用 C30 混凝土扩大基础，单基础尺寸 2.0m×2.0m×1.5m，底部铺设 10cm 厚碎石垫层找平压实。竖向承重构件采用 Φ630×10mm 螺旋焊管钢管立柱，纵向布置间距为 3.0m+4.5m+3.0m，横桥向每排布设 3 根钢管立柱。立柱之间设置 Φ219×6mm 钢管横向连接系，竖向每 3m 设置一道，增强支架整体稳定性与空间刚度，防止侧向位移。钢管立柱顶部布设双拼 I40b 工字钢作为盖梁，上方架设 321 型标准贝雷梁，采用简支布置形式，跨径与立柱间距匹配。贝雷梁顶部铺设 I14 工字钢分配梁，布置间距 0.75m，分配梁上方直接铺设盖梁

底模。钢管立柱底部与基础预埋钢板满焊固定，贝雷梁与顶部工字钢之间设置限位挡块，有效限制支架水平位移，保障整个支撑体系受力均匀、整体稳定。

2.3 工艺总体流程

施工工艺流程为：施工准备 → 测量放样 → 立柱基础施工 → 钢管立柱安装与连接系焊接 → 立柱盖梁安装 → 贝雷梁拼装与吊装 → 分配梁铺设 → 底模安装 → 分级加载预压与沉降观测 → 钢筋骨架绑扎 → 预应力孔道安装 → 侧模安装 → 分层浇筑混凝土与智能养护 → 预应力智能张拉 → 孔道压浆 → 封锚 → 支架拆除。支架预压分析、混凝土温度场监测和预应力张拉偏差分析是三个核心数据控制环节。支架搭设前对主要构件进行检验，立柱安装采用 25t 汽车吊，经纬仪双向观测垂直度，偏差控制在 H/1000 以内。贝雷梁地面拼装成组（每两片一组，45cm 支撑架连接），整体吊装就位。全部搭设完成后组织专项验收，合格后方可进行后续作业[3]。

3 关键施工技术与数据分析

3.1 支架体系受力变形分析

为消除支架拼装间隙、构件接触面压缩等非弹性变形，检验钢管贝雷支架整体承载能力与稳定性，支架搭设完成后按 60%、80%、100%、120% 四级加载预压，预压荷载为盖梁总自重的 1.2 倍（约 2230kN），在支架关键部位布设 24 个沉降观测点，每级加载后静置 30min 至沉降稳定后记录数据。回归分析表明，在 60%~100% 荷载区间内，沉降量与荷载呈显著线性相关（$R^2 = 0.97$），支架处于弹性工作状态。加载至 100% 设计荷载时弹性变形量为 8.6mm，加载至 120% 时沉降增量仅 0.8mm，沉降趋稳，表明支架承载储备充足、刚度满足规范要求。预压完成后，非弹性变形总量为 2.1mm，主要源于贝雷销轴间隙、构件接触压缩及基础微小沉降，已在预压阶段基本消除。卸载后回弹变形为 8.2mm，残余变形仅 0.4mm（占总沉降量 4.5%），表明支架以弹性变形为主，整体连接牢固、稳定性优良。本工程采用钢管贝雷刚性支架，不设预拱度，依靠高刚度保障盖梁成型线形精度。

3.2 大体积混凝土温度场监测与裂缝控制

为控制水化热温度裂缝，采取优化配合比（掺 20% 粉煤灰）、控制入模温度（≤ 26℃）、分层浇筑（每层 40cm）并布设冷却水管的综合措施。在盖梁根部及跨中埋设 12 个温度传感器，监测混凝土内部及表面温度变化。数据显示：浇筑后 24h 内温度上升最快，内部最高温度出现在浇筑后 52h，峰值为 62.8℃，表面最高为 44.5℃，最大内外温差 18.3℃，小于规范限值 25℃。冷却水管通水后，内部温升速率由 1.8℃/h 降至 0.4℃/h。养护至 7d 时，内部温度降至 32.5℃，表面降至 29.2℃，温差仅 3.3℃。拆模后检查，盖梁表面未见温度裂缝，表明综合控温方案能有效控制温度梯度，避免裂缝产生[4]。

3.3 预应力智能张拉与双控指标偏差分析

混凝土强度达设计等级 92%（实测 58.7MPa）且龄期不少于 10d 时方可张拉。采用智能张拉系统实现张拉力与伸长量双控自动记录，遵循“对称、分级、同步”原则，分四级加载：10%、30%、60%、100%。对全桥 8 束钢绞线张拉数据分析：理论伸长量 196mm，实测平均 198.3mm，平均偏差率 +1.17%，最大正偏差 +3.8%，最大负偏差-2.5%，均满足 ±6% 规范要求。锚固回缩量平均 4.2mm，与设计值 4mm 基本吻合。偏差来源分析：正偏差因孔道摩阻系数 μ 实测值（0.22）低于设计值（0.25）；负偏差集中在曲线段腹板束，因局部定位钢筋间距偏大（80cm，设计 60cm）导致摩阻增大。后续将定位钢筋加密至 50cm 并加强坐标复核，使后续三座盖梁偏差率收窄至 ±2.8% 以内，张拉质量显著提升。

3.4 孔道压浆质量控制

张拉完成 24h 内采用真空辅助压浆工艺进行孔道压浆。压浆前对孔道抽真空，真空度稳定在-0.06~-0.08MPa。浆体水胶比 0.27，流动度初始值 18s，30min 后 22s，泌水率为 0，3h 自由膨胀率 0.2%，各项指标满足规范要求。压浆压力控制在 0.5~0.7MPa，持压不少于 3 分钟。采用智能压浆系统实时记录压力-流量曲线，出浆口流量计数据分析显示，单孔道实际压浆量与理论计算量充盈系数平均为 1.07，最小 1.03，最大 1.12，表明孔道填充密实。压浆后 3d 采用地质雷达对 6 个孔道进行无损检测抽查，未发现空洞或不密实区域。压浆完成后及时采用与梁体同强度等级无收缩混凝土封锚，洒水养护不少于 7d。

4 质量控制体系与效果评价

4.1 原材料质量控制

所有进场材料严格执行进场检验制度。水泥选用 P · O42.5 低水化热品种，检验其安定性、凝结时间和强度等级，安定性检验合格，初凝时间为 185min，终凝时间为 260min，3d 强度为 26.8MPa，28d 强度为 48.5MPa。粗骨料采用 5~25mm 连续级配碎石，针片状含量为 4.2%，含泥量为 0.6%；细骨料采用中砂，细度模数为 2.7，含泥量为 1.8%，泥块含量为 0.3%。钢绞线逐盘检验抗拉强度、弹性模量和松弛率，抗拉强度均值为 1892MPa

（满足≥ 1860MPa），弹性模量均值为 197GPa（设计取 195GPa），偏差在合理范围内。锚具、夹片进行硬度检验和锚固性能抽样检验，所有检验应具有完整记录，检验合格后方可使用。

4.2 工序质量检验制度

每道工序完成后经质量检验合格方可进入下一道工序，隐蔽工程留存完整的影像资料。钢筋安装完成后重点检查钢筋规格、间距、保护层厚度及连接接头质量，经检验钢筋间距偏差最大为 +6mm、最小为-4mm，保护层厚度合格率为 96.2%。预应力孔道安装完成后重点检查孔道坐标、曲线形状、定位钢筋间距及锚垫板垂直度，孔道坐标偏差最大为 +5mm，锚垫板垂直度偏差最大为 0.5°。模板安装完成后重点检查结构尺寸、接缝严密性和支撑牢固度，结构尺寸偏差最大为 +4mm。

4.3 施工全过程数据控制

本工程建立了从原材料到成桥的全过程数据采集与追溯体系。混凝土试件 28d 抗压强度平均值为 62.4MPa，标准差为 1.8MPa，强度保证率达 100%，满足 C50 设计要求。施工过程中对支架沉降、混凝土温度、张拉力及伸长量等关键参数实施动态监测，发现偏差超过预警阈值时及时调整施工参数[5]。根据本工程的数据积累，建议将大悬臂盖梁现浇施工的预警阈值设定为：支架加载沉降速率大于 1.0mm/h 时即启动应急预案，检查地基和支架节点；混凝土内外温差超过 22℃时加大冷却水流量或调整养护措施；张拉实测伸长量偏差达 ±4%时即暂停张拉，复核孔道摩阻参数及定位精度。通过对施工过程中实测数据的动态监控和偏差预警，实现了从“事后检验”向“过程预控”的转变。

4.4 成桥质量效果评价

最终成桥后线形测量结果显示，盖梁顶面实际标高与设计标高偏差最大为 +5mm、最小为-3mm，远小于规范 ±10mm 的限值。盖梁轴线偏位最大为 4mm，满足规范≤ 10mm 的要求。混凝土外观检查未见蜂窝、麻面及温度裂缝等质量缺陷，结构密实、色泽均匀。预应力有效预应力检测采用反拉法，实测有效预应力与设计值的偏差在 ±2.5%以内，满足规范要求。总体来看，通过施工全过程的数据采集与反馈控制，盖梁的几何线形、混凝土质量和预应力受力状态均达到了优良等级。

结束语

大悬臂盖梁现浇施工技术复杂、系统性强。本文结合工程实测数据，对钢管贝雷支架预压沉降、混凝土温度场及预应力张拉精度进行了量化分析。研究表明：分级加载可精确区分弹性和非弹性变形，支架弹性变形与荷载呈显著线性相关，验证了支架设计的合理性与施工安全性；温度时程曲线验证了分层浇筑与水管冷却的控裂效果；智能张拉系统能有效溯源孔道摩阻及定位偏差。将理论计算与现场监测深度融合，通过偏差预警实现动态调控，是保障施工质量与安全的关键。

参考文献

[1] 潘泽伟, 郝鹏. 公路桥梁大悬臂盖梁现浇施工技术与支撑体系分析 [J]. 现代工程科技,2026,5(4):77-80.

[2] 阮彩霞, 毛洪广, 陈炼, 等. 大悬臂盖梁现浇施工支撑体系的设计与选型 [J]. 浙江交通职业技术学院学报,2024,25(2):40-44.

[3] 张敏, 石宏, 孙乐宾, 等.H 形墩大悬臂变截面预应力混凝土现浇盖梁施工支架设计与研究 [J]. 城市道桥与防洪,2024(11):198-201,224.

[4] 朱江. 大悬臂现浇盖梁支架体系受力有限元分析 [J]. 广州建筑，2025，53(1)：50-54.

[5] 迟占华. 大悬臂盖梁现浇支架结构设计与应用 [J]. 建筑机械，2025(9)：204-209.