

复杂环境下的混凝土连续箱梁桥 支架现浇施工技术

向 聘

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

摘 要 为进一步提升复杂环境下混凝土连续箱梁桥支架现浇施工的技术水平与工程质量, 本文依托某实际桥梁工程案例, 针对施工过程中的核心技术难点展开系统性阐述与深度探讨。聚焦支架体系选型与设计、复杂地基处理技术、支架搭设工艺、支架预压与沉降控制、混凝土浇筑工艺与质量控制等施工技术要点, 结合现场施工数据与实践经验, 剖析各环节的技术原理、操作规范及质量保障措施, 旨在为同类复杂环境下的桥梁现浇施工提供技术路径与实践参考。

关键词 复杂环境; 混凝土; 连续箱梁桥; 支架; 现浇施工

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.016

0 引言

桥梁建设中的复杂环境通常指地形起伏剧烈、地质条件多变以及气候因素交织作用下的施工场景。混凝土连续箱梁桥在遭遇此类环境时, 其支架现浇工艺会面临地基稳定性控制和高空作业风险管控的双重挑战。传统施工方法难以直接套用于高墩密集且填方区域广布的地段, 这要求对支架体系的适应性进行重新评估。开展针对性技术研究的目的在于破解支架变形与地基沉降相互耦合的难题, 从而降低施工过程中的不确定性。系统分析复杂条件对现浇作业的制约机制, 可以为优化施工参数提供理论参考。

1 工程概况

某高速公路桥梁全长 1.56 km, 上部结构采用预应力混凝土连续箱梁, 跨径布置为 (45+70+45) m 与 (35+55+35) m 的组合形式。箱梁为单箱单室截面, 梁高 2.2 m 至 3.8 m 渐变, 顶板宽度 12.75 m, 底板宽度 6.5 m。下部桥墩包含矩形实心墩与圆形墩, 其中矩形墩横向宽度 4.2 m, 纵向宽度 2.2 m 至 2.8 m, 最大墩高 65 m。桥位区属剥蚀丘陵地貌, 地形高差 42 m, 部分墩位处于填土厚度 8 m 至 32 m 的路基回填区。地基土层以粉质黏土和强风化砂岩为主, 填方区压实度离散性较大。沿线分布两条既有乡村道路及一处灌溉渠, 施工期间需保持通行与通水。该地区年平均风速 1.5 m/s, 极大风速 24.8 m/s, 高墩区域受风荷载影响显著。

2 支架体系设计与地基处理

2.1 支架体系选型与设计

本工程地形高差达 42 m 且最大墩高 65 m, 如果按照常规的满堂支架搭设方式稳定性难以保证^[1]。因此, 根据墩高与地形条件将全桥划分为两个区域分别设计支架体系。对于墩高超过 30 m 且地面横坡大于 15° 的 1-5 联区域, 采用钢管立柱结合贝雷梁的梁式支架方案。钢管立柱选用 $\Phi 609 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 规格, 沿桥纵向按 6.0 m 间距布置于腹板正下方, 横向每排设置 3 根。立柱间采用 $\Phi 325 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 钢管设置水平平联与剪刀撑, 平联竖向间距 4.0 m。柱顶布置双拼 45b 工字钢作为主横梁, 主横梁上方铺设 321 型贝雷梁, 贝雷梁间距按 45 cm 布置。贝雷梁顶面设置 I12.6 工字钢分配梁, 间距 60 cm。如果跨径不是很大, 起重能力达到标准, 就可以直接搭建桥梁^[2]。对于墩高低于 15 m 且地形平坦的 6-7 联区域, 采用碗扣式满堂支架, 立杆纵距 0.9 m、横距 0.6 m, 横杆步距 1.2 m。两种支架体系的过渡段设置 30 m 长的渐变衔接区, 通过调整钢管立柱高度与满堂支架立杆间距实现刚度平顺过渡。支架体系主要设计参数见表 1。

单肢立杆轴向力按下式计算:

$$N = [1.2G_{1k} + 1.4(G_{3k} + G_{4k})]L_x L_y + 1.2G_{2k}V \quad (1)$$

式 (1) 中, N 为单肢立杆轴向力 kN, G_{1k} 为支架自重标准值 (kN/m^2), G_{2k} 为新浇混凝土自重标准值 (kN/m^3), G_{3k} 为施工人员及设备荷载标准值 (kN/m^2), G_{4k} 为振

作者简介: 向聘 (1981-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 道路桥梁与隧道施工管理。

表 1 支架体系主要设计参数

序号	项目	钢管立柱支架	满堂支架
1	适用墩高范围	>30 m	≤ 15 m
2	立杆 / 立柱规格	Φ609×16 mm	Φ48×3.5 mm
3	纵距	6.0 m	0.9 m
4	横距	3.0 m (每排 3 根)	0.6 m
5	步距	4.0 m (平联)	1.2 m

捣混凝土荷载标准值 (kN/m²)， L_x 、 L_y 分别为立杆横向与纵向间距 (m)， V 为单肢立杆承担的混凝土体积 (m³)。经计算，满堂支架单肢立杆最大轴力为 42.6 kN，钢管立柱单肢最大轴力为 285 kN。高墩区钢管立柱支架尚需验算风荷载作用下的抗倾覆稳定性，倾覆稳定性系数 $K(f)$ 按下式计算。

$$K(f) = \frac{M_R}{M_S} \quad (2)$$

式 (2) 中， M_R 为抗倾覆力矩 (kN·m)， M_S 为倾覆力矩 (kN·m)。本工程最不利工况下 $K(f)=1.58$ ，大于规范限值 1.3。

2.2 复杂地基处理技术

本工程 12#-16# 墩位于填土厚度 8 m ~ 32 m 的路基回填区，填料为土石混填，地基处理成为支架稳定的控制性环节。填方区地基采用分层强夯处理，每层填土厚度控制为 8 m，夯击能量采用 3 000 kN·m，最后以 500 kN·m 能量进行满夯。强夯处理范围超出支架外缘线 5 m，处理完成后采用平板载荷试验检测承载力，要求地基承载力特征值不低于 180 kPa。对于满堂支架区域，清除表层虚土 30 cm 后回填级配碎石，分层压实厚度不大于 25 cm，压实度按 93% 控制。压实层顶部浇筑 20 cm 厚 C20 混凝土硬化层，硬化层设置 1% 横坡。钢管立柱支架基础采用独立 C30 混凝土扩大基础，尺寸为 2.5 m×2.5 m×0.8 m。位于承台顶面的立柱直接利用承台作为基础，通过预埋 Φ20 钢筋与立柱底板焊接固定。其余位置设置直径 1.2 m 的钻孔桩基础，桩长按进入持力层不小于 3 倍桩径控制。沿支架周边 50 cm ~ 100 cm 处设置排水沟，沟底纵坡不小于 0.5%。处理地基时需考虑的因素众多，如施工荷载、自重以及张拉预应力损失等^[3]。地基处理主要控制指标见表 2。

3 支架搭设与预压施工

3.1 支架搭设工艺

采用汽车吊分节吊装钢管立柱，单节长度控制在 9 m 或 12 m，节段间通过法兰盘采用高强螺栓连接。立柱吊装就位后采用两台经纬仪在相互垂直的方向校正垂直

表 2 地基处理主要控制指标

序号	处理部位	处理方法	控制指标	目标值
1	填方区	分层强夯	夯击能量	3 000 kN·m
2	满堂支架区	换填压实	压实度	≥ 93%
3	满堂支架区	混凝土硬化	厚度 / 强度	20 cm/C20
4	钢管立柱基础	扩大基础	尺寸	(2.5×2.5×0.8) m

度，垂直度偏差按不大于 1/1 000 控制。每根立柱安装完成后随即安装水平平联和剪刀撑，平联与立柱采用抱箍连接。平联安装滞后立柱不得超过两个节段，防止单根立柱在风荷载下出现过大的独立悬臂高度。贝雷梁在场地内分组预拼，每组由 3 片或 4 片组成，拼装时检查销子连接质量并安装保险插销。预拼组采用汽车吊整体吊装就位，吊装过程中设置两根缆风绳。分配梁与贝雷梁上弦采用 U 型螺栓固定。满堂支架搭设按先测量放线后铺设垫板的顺序进行，垫板采用 5 cm 厚木板通长布置。立杆底部设置可调底座，顶部设置可调顶托。剪刀撑按横向每 4 排立杆、纵向每 5 排立杆布置一道，剪刀撑与地面的夹角控制在 45° 至 60° 之间。支架搭设完成后，检查节点紧固扭矩和剪刀撑。扣件螺栓紧固扭矩采用扭矩扳手抽检，抽检比例不低于总数的 5%，紧固扭矩值按下式确定。

$$T=K \cdot d \cdot F \quad (3)$$

式 (3) 中， T 为扭矩 (N·m)， K 为扭矩系数 (取 0.2)， d 为螺栓直径 (mm)， F 为预紧力 (kN)。Φ48 mm 钢管扣件预紧力取 8 kN，计算得紧固扭矩应为 76.8 N·m，施工控制按 80 N·m 执行。

3.2 支架预压与沉降控制

预压荷载取箱梁自重的 1.1 倍，采用混凝土预制块作为压重材料，单块重量 50 kg。加载按四级进行：50%、80%、100%、110%，每级加载完成后，应等待至少 2 h，让支架充分沉降稳定后，再进行下一级加载^[4]。测点沿顺桥向每 5 m 布置一个断面，每个断面在底板两侧及中心位置设置 3 个测点。采用精密水准仪进行

高程测量,加载前读取初始读数,每级加载后及持荷期间每隔 2 h 读数一次。满载后持续观测 48 h,最后 24 h 内沉降量不超过 2 mm 时判定支架趋于稳定。卸荷按加载的反向分级进行,每级卸荷后观测 2 h。卸荷完成后根据实测数据分离弹性变形与非弹性变形,其中非弹性变形为加载前与卸载后标高之差,弹性变形为卸载后与满载时标高之差。本工程实测支架平均非弹性变形为 12.6 mm,弹性变形为 9.8 mm。高墩区预压期间需同步监测立柱顶部的水平位移,水平位移量超过 5 mm 时暂停加载。不同地基条件下支架沉降的差异是控制重点,填方区、天然地基交界处需加密测点,实测沉降差控制在 3 mm 以内方可进行混凝土浇筑。支架预压分级参数见表 3。

表 3 支架预压分级参数

序号	加载级别	荷载比例	持荷时间	沉降控制标准
1	一级	50%	2 h	沉降速率<1 mm/h
2	二级	80%	2 h	沉降速率<1 mm/h
3	三级	100%	2 h	沉降速率<1 mm/h
4	四级	110%	48 h	最后 24 h 沉降 ≤ 2 mm

4 混凝土浇筑与质量控制

4.1 混凝土浇筑工艺

箱梁混凝土采用 C50 商品混凝土,坍落度控制在 160 mm 至 200 mm,扩展度不小于 450 mm。混凝土泵送至浇筑面时出料口自由下落高度不超过 2 m,超出时设置串筒或溜槽。浇筑按“纵向分段、水平分层”原则组织,分段长度取 8 m 至 12 m。水平分层厚度控制在 30 cm 至 40 cm,每层混凝土的浇筑方向沿桥向从低端向高端推进,如图 1 所示。对于大跨径预应力混凝土连续箱梁桥,其底板位置需要进行齿板设置工作^[5]。

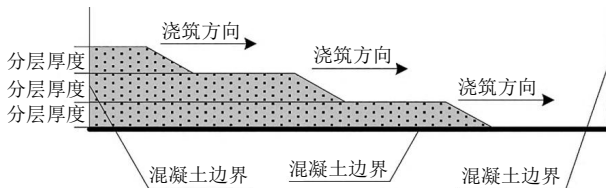


图 1 分层浇筑方法原理示意图

每层混凝土采用插入式振捣器振捣,振捣点间距不大于 1.5 倍振捣半径,单点振捣持续 15 s 至 20 s。相邻两层混凝土的浇筑间隔不得超过混凝土初凝时间,夏季施工时该间隔控制在 90 min 以内。合拢段设置在第六联第二跨跨中位置,长度为 2 m,合拢段劲性骨架采用 I25b 工字钢焊接锁定,合拢浇筑选择在当日气温最低的时段进行。高墩区泵管沿墩身垂直布设,每 3 m

设置一个减震支架,泵管转弯处采用大半径弯头。泵送作业暂停超过 30 min 时需对泵管内的混凝土进行间隔推送,防止堵管。

4.2 浇筑质量控制措施

泵送压力波动直接影响出料均匀性,应保持泵送速度稳定在 30 m³/h 至 40 m³/h 范围内,压力表读数波动超过 15% 时需排查泵管堵塞点。振捣作业遵循快插慢拔的操作规程,振捣棒插入下层混凝土 5 cm 至 10 cm。混凝土浇筑过程中应同步监测支架沉降,每浇筑完成一个分段后读取各测点沉降数据,沉降突变超过 2 mm 时暂停浇筑。气温高于 25 ℃ 时混凝土初凝后立即覆盖土工布并洒水养护,洒水间隔以土工布始终保持湿润为准;气温低于 10 ℃ 时采用塑料薄膜加保温被双层覆盖,养护期内混凝土内部温度与表面温差控制在 20 ℃ 以内。养护期限不少于 14 d,同条件养护试块强度达到设计强度 100% 后方可进行预应力张拉。跨中合拢段混凝土强度需比相邻梁段提高一个等级,采用 C55 混凝土浇筑。

5 结束语

复杂环境下,混凝土连续箱梁桥的支架现浇施工面临多重约束条件,地形起伏、地质差异、风荷载干扰往往相互叠加。本工程针对高墩密集、填方广布的特点,采用钢管立柱与满堂支架分区组合的方案。填方区通过分层强夯处理地基,配合换填压实及混凝土硬化层,支架沉降差异得到有效控制。预压阶段实施四级加载,分离弹性变形和非弹性变形,据此调整底模标高。分层浇筑沿桥向从低端向高端推进,合拢段选在低温时段锁定。实践表明,这套技术体系在高墩区复杂地基条件下运行稳定,其设计逻辑、控制参数等可为同类工程提供参考。

参考文献:

- [1] 黄伟斌.复杂环境下的混凝土连续箱梁桥支架现浇施工技术[J].工程机械与维修,2024(09):125-127.
- [2] 王佳宾.基于多环境因素的混凝土连续箱梁桥支架现浇施工技术[J].九江学院学报(自然科学版),2021,36(04):51-54.
- [3] 李建民.支架现浇预应力混凝土连续箱梁桥施工控制技术研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2020,22(02):5-7.
- [4] 张翼.公路混凝土连续梁桥支架现浇施工技术[J].建设机械技术与管理,2025,38(02):137-139.
- [5] 王杰.大跨径预应力混凝土连续箱梁桥设计[J].黑龙江交通科技,2025,48(11):66-69.