

流塑状淤泥质土软基地质下 支架组合设计和施工技术

贺志成

(中铁二十五局集团第一工程有限公司, 广东 广州 510010)

摘要 本文概述了珠海西部中心城区(B片区)IV标段金城路中段1号桥的现浇连续箱梁支架设计及施工流程,指出该项目面临流塑状淤泥质土软基地质条件(复杂程度一级)的挑战,并分享了在此类地质情况下处理现浇梁支架的宝贵经验,包括支架组合设计的创新思路与精细施工的关键技术,这些经验基于深厚的专业知识和丰富的实践经验,确保了桥梁结构的稳固与安全,以期同类工程的施工提供有益参考。

关键词 流塑状淤泥质土; 现浇梁支架组合; 支架预压

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.005

0 引言

在桥梁建设领域,面对复杂多变的地质条件,如何确保施工的安全与质量,一直是工程师们关注的重点。珠海西部中心城区(B片区)IV标段金城路中段1号桥,正是在复杂的软土地质条件下,不仅需要克服流塑状淤泥质土软基地质条件带来的施工难题,还要确保现浇连续箱梁支架设计与施工的稳定性和安全性^[1]。相关人员通过深入研究和精心策划,成功探索出一套创新的支架组合设计方案,并结合精细化施工的关键技术,确保了桥梁结构的稳固与安全。这一过程中积累的宝贵经验,不仅为同类工程的施工提供了重要参考,也彰显了专业知识的深厚与实践经验的丰富^[2]。

1 工程简介

珠海西部中心城区B片区IV标段金城路中段为城市次干道,双向6车道,红线宽40 m。其中1号桥跨西城中央水系,需满足通航(孔径 ≥ 30 m、净空 ≥ 3.2 m、水位0.6 m)及桥下行人通行净空要求。桥长96.08 m、宽40 m,跨径布置25.5+40+25.5 m,上部为变截面预

应力混凝土连续箱梁,下部采用薄壁桥台、双柱式花瓶型门式框架墩,群桩基础。桥址位于金湾区红旗镇,地质自上而下为2 m人工素填土、20~30 m淤泥质土、中(粗)砂、砂质黏土及花岗岩。

2 现浇梁支架组合方案设计

现浇连续箱梁采用支架组合施工,跨越中央水系部分采用“预应力管桩+贝雷梁支架+承插式盘扣脚手架”组合方案。管桩基础顶设I56a工字钢分配横梁,桥墩处用 $\Phi 630 \times 12$ mm钢管桩。贝雷梁上方设横向分配梁及盘扣架,顶托调梁底线形,两幅梁同时施工。施工前支架预压重量为最大荷载120%,结构从上至下含底模、分配梁等六层,四周设防护栏杆^[3]。

3 现浇梁支架组合结构计算

3.1 荷载计算种类

现浇砼容重按26 kN/m计算,超灌系数取1.05,考虑箱梁特性,各贝雷梁片荷载按分块计算,以墩顶截面为例,计算分块见图1。

①按图1分块计算现浇混凝土自重,得出各分块

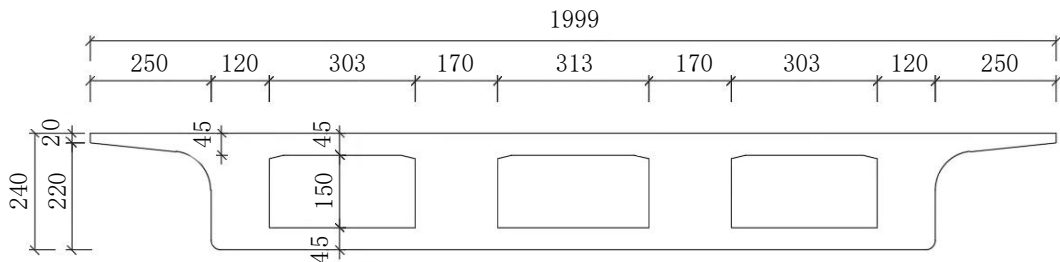


图1 箱梁自重计算截面分块

宽度（横桥向）内的荷载集度 Q ，向下部传递由 I20a 工字钢横梁承担，I20a 工字钢沿纵向间隔 60 cm 均匀布置。计算模型中混凝土自重换算成 I20a 工字钢上的线性荷载，计算如下：

翼板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_1 = (0.2 + 0.45) \times 2.5 \div 2 \times 0.6 \times 26 \div 2.5 = 5.07 \text{ kN/m}$

边腹板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_2 = 2.4 \times 1.2 \times 0.6 \times 26 \div 1.2 = 37.44 \text{ kN/m}$

中腹板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_3 = 1.7 \times 2.4 \times 0.6 \times 26 \div 1.7 = 37.44 \text{ kN/m}$

两侧底板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_4 = 0.45 \times 3.0 \times 2 \times 0.6 \times 26 \div 3.0 = 14.04 \text{ kN/m}$

中间底板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_5 = 0.45 \times 3.1 \times 2 \times 0.6 \times 26 \div 3.1 = 14.04 \text{ kN/m}$

② 支架自重：支架长度按钢管桩顶箱梁处支架长度计算，为方便计算，全部支架荷载均按此处计算，为最不利荷载，一排 I20a 上支撑的碗扣支架共长 263.85 m，钢管每米重 0.0447 kN，换算到作用于 I20a 工字钢上的均布荷载： $263.85 \times 0.0447 \div 19.99 = 0.59 \text{ kN/m}$ 。

③ 施工人员、施工料具堆放、运输荷载：2.5 kN/m

④ 倾倒混凝土时产生的冲击荷载：2 kN/m

⑤ 振捣混凝土产生的荷载：2 kN/m

⑥ 模板自重，按实际模板尺寸计入：3 kN/m

③、④、⑤ 属于施工可变荷载，荷载乘以放大系数 1.2。

3.2 荷载组合

荷载组合： $Q = ① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥$

表 1 构件最大组合应力及对应位置（单位：MPa）

构件	材料型号	最大应力	对应位置	容许应力
贝雷梁	16Mn 钢材	211	箱梁中支承处竖腹杆	255
分配梁	Q235 钢材	57.7	第六、七排 PHC 桩处	215
横梁	Q235 钢材	112.4	第五排 PHC 桩处	215
钢管桩	Q235 钢材	82.1	第二排钢管桩处	160

表 2 构件最大剪应力及对应位置（单位：MPa）

构件	材料型号	最大应力	对应位置	容许应力
贝雷梁	16Mn 钢材	80.4	箱梁中支承处竖腹杆	208
分配梁	Q235 钢材	22.4	第二、三排钢管桩处	125
横梁	Q235 钢材	48.9	第三、五排 PHC 桩处	125
钢管桩	Q235 钢材	12.7	第二排钢管桩处	125

翼板下工字钢受线荷载： $Q_1 = 5.07 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 11.36 \text{ kN/m}$

边腹板下工字钢受线荷载： $Q_2 = 37.44 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 43.73 \text{ kN/m}$

中腹板下工字钢受线荷载： $Q_3 = 37.44 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 43.73 \text{ kN/m}$

底板下工字钢线荷载： $Q_4 = 14.04 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 20.33 \text{ kN/m}$

3.3 计算模型

根据支架结构图，以梁单元建立有限元计算模型，共 23 223 个节点和 31 407 个单元，采用 MidasCivil 软件进行计算。荷载加在贝雷梁上方的 I20a 工字钢上，按梁单元荷载加载，钢管与基础采用刚结模拟，钢管之上的工字钢、贝雷片皆采用竖向弹性支撑体系模拟。

3.4 正应力检算

施加计算强度时的荷载组合，膺架各类构件最大、最小应力及对应位置见表 1，各截面（轴向 + 弯曲）按组合应力（绝对值）最不利值计算。

由计算模型可知：贝雷梁、分配梁、横梁、钢管桩等构件材料的最大组合应力、容许正应力均满足《钢结构设计标准》要求。

3.5 剪应力检算

施加荷载组合，支架各类构件最大剪应力（绝对值）及对应位置见表 2。

由计算模型可知：贝雷梁、分配梁、横梁、钢管桩等构件材料的最大剪应力、容许剪应力均满足《钢结构设计标准》要求。

3.6 刚度检算

施加荷载组合, 计算得出荷载组合作用下贝雷梁最大竖向位移 $f_c/1=7.02 \text{ mm}/9\ 000 \text{ mm}=1/1\ 282 < 1/400$, 满足《公路钢结构桥梁设计规范》要求。变形最大位置为支架结构中间桩左右两跨跨中。

4 现浇梁支架组合关键施工技术

为降低施工安全风险、有效解除工期压力、减小交叉作业之间干扰、提高支架组合搭设, 我们结合现浇箱梁结构和实际软土地质情况采用钢管桩+PHC管桩组合支架, 保障了梁体施工、混凝土浇筑的安全^[4]。

4.1 管桩基础施工

钢管桩由汽车吊与挖机配合定位组装, PHC管桩采用静压桩机沉桩, 两台全站仪(90°夹角)双向控制平面位置与垂直度(偏差 $\leq 0.5\%$, $> 1\%$ 需纠偏), 记录入土深度、贯入度等数据, 焊口冷却 $\geq 8 \text{ min}$ 。桩顶套 $\Phi 529$ 钢管并焊 $600 \times 600 \times 5 \text{ mm}$ 钢板, 与 $600 \times 200 \times 8 \text{ mm}$ 工字钢分配梁锁扣固定。经计算, PHC管桩最大承载 $1\ 210 \text{ kN}$ (极限荷载 $6\ 000 \text{ kN}$), 按规范设定特征值, 采用堆载预压验证单桩承载力。

4.2 支架主横梁安装

在桩顶上放出横梁轴线及下边线位置, 将在后场拼装成整体的主横梁 I56a 工字钢整体吊装(两点起吊法)并焊接限位板, 限位板焊缝质量等级符合Ⅲ级焊缝质量要求, 工字钢接头部位宜设在柱顶部位, 接头部位采用外加连接钢板焊接。柱顶与工字钢底面必须密贴, 对于因柱顶标高存在微小误差造成的不平, 可采用钢板进行支垫^[5]。

4.3 贝雷梁安装

先将贝雷片在地面上按设计片数拼装, 并分组联结好。在 I56a 工字钢横梁上按设计间距, 将各组贝雷架纵横向位置用油漆标好。用 2 台 25 t 吊车将已联结好的贝雷梁架按先中间后两边的顺序吊装到位, 并用自制 U 型卡将贝雷架固定在支撑横梁上。纵向贝雷主梁的水平偏差应 $\leq 10 \text{ mm}$ 。且全架长的水平偏差不大于 50 mm 。

4.4 横向分配梁安装

横向分配梁为 I25 工字钢, 横向分配梁及面板在材料堆放区加工为半成品后, 成捆吊装运输至现场安装, 纵桥向布置步距与盘扣架间距一致为 60 cm 。为确保工字钢钢铺设位置准确, 在贝雷梁上每 5 m 设一断面, 放样现浇箱梁结构中、边线, 工字钢按桩位放样安放。

4.5 盘扣式钢管支架安装

支架上部采用承插型盘扣式满堂脚手架, 架立杆纵向的布置步距为 0.6 m , 横向布置间距为 0.6 m 。盘扣式钢管支架杆件组装顺序为: 立杆底托 $\rightarrow$ 立杆 $\rightarrow$ 横杆 $\rightarrow$ 接头插销锁紧 $\rightarrow$ 上层立杆 $\rightarrow$ 横杆 $\rightarrow$ 竖向斜杆 $\rightarrow$ 剪刀撑 $\rightarrow$ 顶托。盘扣式钢管支架纵横向应设置扫地杆, 扫地杆距底托应 $\leq 350 \text{ mm}$, 剪刀撑应在钢管支架外侧周边设置, 斜杆与地面倾角为 $45^\circ \sim 60^\circ$ 并与地面顶紧。盘扣式钢管支架立杆上端包括顶托可调螺杆伸出顶层水平杆的长度不得大于 0.7 m 。

4.6 支架预压

浇筑箱梁混凝土前, 对支架进行不小于箱梁湿重 120% 的荷载预压, 采用水袋模拟加载。加载顺序为 $0 \rightarrow 60\% \rightarrow 80\% \rightarrow 100\% \rightarrow 120\% \rightarrow$ 逐级卸载至 0 , 按“先两边后中间”对称压(卸)载。沿纵桥向每 5 m 设观测断面, 单幅桥每个断面布置 5 个观测点, 监测支架顶沉降与侧位移。每级持荷 30 分钟(120% 荷载持荷 1 小时), 加载完成后每 12 小时测一次, 直至连续三日日沉降 $< 2 \text{ mm}$ 时卸载。通过计算弹性变形(卸荷后标高 -100% 荷载标高)、非弹性变形, 调整顶托使模板标高=设计标高+弹性变形值, 为模板安装提供依据。

5 结束语

珠海金城路中段 1 号桥地质复杂, 面临 30 m 厚流塑状淤泥质土、高水位等挑战。项目部采用支架组合方案施工, 于 2021 年 12 月完成梁体施工, 如期履约。该方案降低了安全风险, 提升了施工功效, 保障了施工安全, 兼具社会效益与经济效益, 为同类地质条件下现浇箱梁支架施工积累了经验, 具有推广价值。

参考文献:

- [1] 文延庆. 流塑状淤泥质土地层连续墙成槽软基预处理施工[J]. 山西建筑, 2013(35):39.
- [2] 许辉. 流塑状淤泥质地基连续梁支架方案分析及基础加固控制技术[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(09):40-43.
- [3] 王泓颖. 滨海滩涂区流塑状淤泥质土层盾构隧道施工关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [4] 万利民, 李凯, 林文豪, 等. 局部流塑状淤泥质土体坑中坑支护结构及其施工方法: CN201510509490.2[P]. 2025-04-15.
- [5] 计克贤, 王松, 陈衍庆, 等. 饱和流塑状淤泥质土方开挖及桩位质量控制技术[J]. 建筑知识: 学术刊, 2014(B04): 358-360, 368.