

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.11.047

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

张 敏,石 宏,孙乐宾,师秀锋
(中交路桥建设有限公司,北京市 100027)

摘 要: 随着桥梁工程技术的不断革新和不同类型的桥梁不断涌现,对施工技术提出了更为复杂和严格的要求。目前,为实现市域铁路、快速路等功能于一体,往往采用双层桥梁建设形式,即公轨合建桥。选取合理的支架结构设计和高效的施工工艺,对项目的整体工期及经济效益至关重要。结合浙江永宁大桥项目 H 形墩大悬臂变截面预应力混凝土现浇盖梁施工支架进行研究,深入比选分析现有盖梁施工工艺,最终确定采用“销棒+钢管”支架结构。该工艺在施工工程中受力稳定,且可周转性强、拆卸方便,对主体结构的破坏小,特别适用于这种复杂结构的盖梁,具有显著的社会经济效益。

关键词: 双层桥梁;公轨合建;H 形墩;大悬臂;变截面;预应力混凝土;现浇盖梁;支架结构

中图分类号: U445.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)11-0198-04

0 引 言

公轨合建桥—复合交通发展模式是实现土地集约利用,促进城市空间调整,满足特大、大城市发展需求的途径之一^[1]。

永宁大桥公轨合建桥下部结构为 H 形墩大悬臂变截面预应力混凝土现浇盖梁,项目采用“销棒+钢管”支架法的施工工艺,与传统使用的三种施工工艺销棒法、钢管支架法、托架法,从技术、安全、施工可行性、经济环保等多方面进行详细比对,发现该工艺具有显著的优势。

1 工程概况及重难点

温州市域铁路 S3 线附属配套工程(瑞安段)永宁大桥项目北起飞云江北岸瑞光大道,南至飞云江南岸纬五路附近,长约 3.127 km,其中跨江范围长约 1.1 km。本项目集市域铁路、快速路、一级公路、慢行系统、市政管线过江等功能于一体,采用双层桥梁建设。实施内容包括高架主路(含 S3 线土建工程)、2 对出入口匝道和地面辅路。全线采用双层桥梁建设形式,上层桥为温瑞大道快速路,下层桥为市域铁路

S3 线,地面道路为仙昆线一级公路,如图 1 所示。

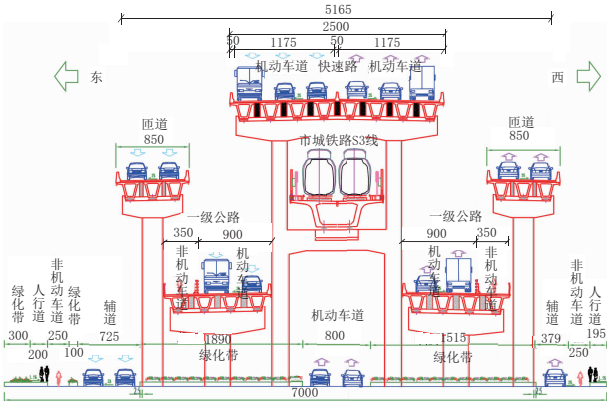


图 1 公路并行横断面(单位:cm)

以永宁大桥主线 S01 号双层 H 形墩为案例,上层盖梁纵向宽 2.7 m,跨中位置盖梁高 2.0 m,横向长 30.5 m。下层横梁纵向宽 2.8 m,跨中位置梁高 2.5 ~ 2.8 m,横向长 8.7 ~ 9.9 m,如图 2 所示。



图 2 H 形墩大悬臂变截面盖梁模型图

收稿日期: 2023-11-30

作者简介: 张敏(1991—),男,本科,高级工程师,从事桥梁施工工作。

通信作者: 孙乐宾(1999—),男,本科,助理工程师,从事桥梁工程设计与施工工作。电子信箱: 2650426264@qq.com

盖梁具有桥墩高,上、下支柱尺寸不同,两侧悬臂长及变截面等特点。故支架结构设计要确保桥梁稳定性和承载能力,同时考虑施工安全和效率。施工技术研究涉及支架搭设、调整和拆除等工艺流程。在实际施工中,需要充分考虑桥梁特点和施工环境,采用合理的设计方案和施工工艺,以确保施工顺利进行并保证质量。因此,支架结构设计和施工技术是盖梁桥梁施工中需要重点关注的问题。

2 支架设计可行性研究

2.1 型钢体系的结构一致

在工艺分析之前,确定型钢结构体系一致,如图3、图4所示。

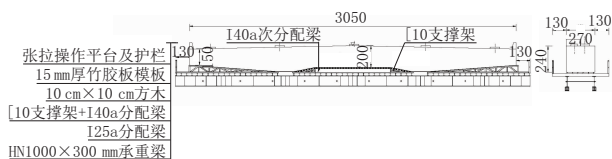


图3 S01# 墩大悬臂盖梁型钢体系示意图(单位:cm)

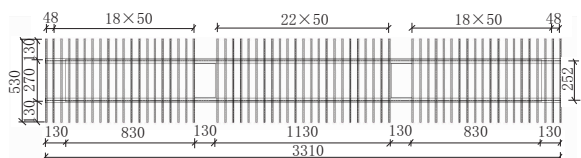


图4 型钢体系结构平面图(单位:cm)

承重梁采用HN1000mm×300mm型钢,长33.1m,分配梁采用I25a工字钢,间距50cm,长5.3m;次分配梁采用I40a工字钢,间距50cm,型钢上布置10cm×10cm方木,间距25cm,底模采用15mm竹胶板,悬臂端及变截面端三角支撑架采用[10槽钢。承重梁开孔并采用对拉精轧螺纹钢限位,如图5所示。



图5 承重梁拉杆限位器(单位:cm)

为了提高施工质量和效率,我部采用装配式精铸卸落块,整体结构性强,可靠性高。上下高度可调节100mm,如图6所示。

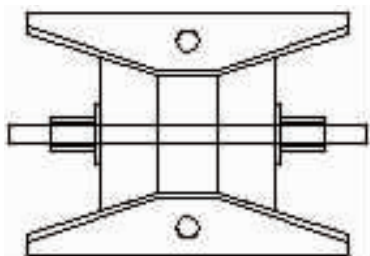


图6 卸落块示意图(单位:cm)

2.2 施工工艺类型

(1)销棒法

安装顺序:销棒→牛腿→卸落块→型钢体系,如图7所示。

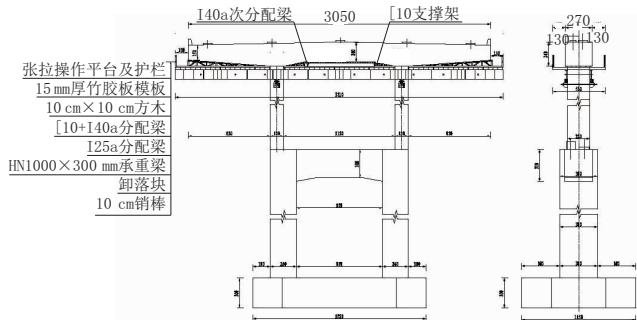


图7 销棒法立面设计图(单位:cm)

采用人工配合汽车吊来进行销棒和牛腿的安装。操作人员引导销棒靠近PVC管并将其缓慢推入预留的孔洞。随后,将牛腿慢慢安装在销棒上,如图8所示。

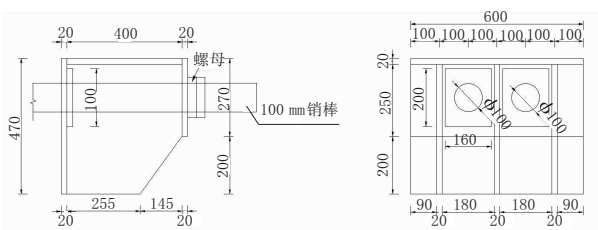


图8 双销棒牛腿示意图(单位:cm)

(2)钢管支架法

制作条形基础→基础预埋连接钢板→钢管立柱搭设→平联426mm×6mm管焊接→卸落块→型钢体系,如图9、图10所示。

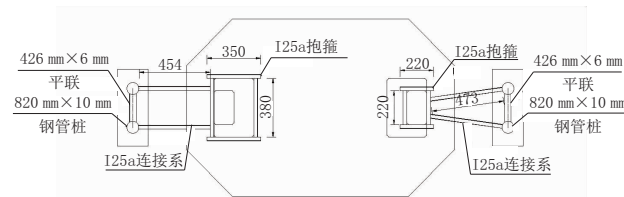


图9 钢管支架法平面设计图(单位:cm)

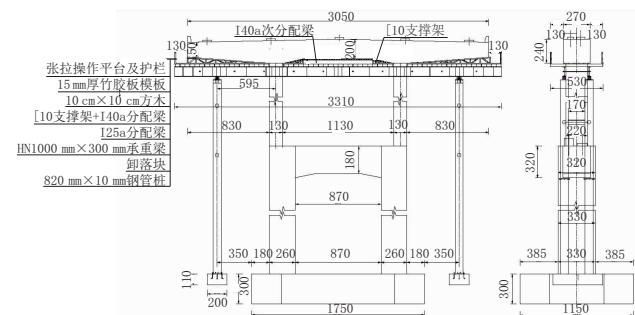


图10 钢管支架法立面设计图(单位:cm)

820mm×10mm钢管支架搭设在2.0m×5.0m×1.1m的条形基础上,通过锚固件固定。平联管6~8m一道。

(3)托架法

安装顺序:双销棒→牛腿→卸落块→桁架安

装→型钢体系(上桁架代替原有的承重梁)。

桁架分片吊装形式,先采用2台汽车吊吊装一侧桁架,使桁架立于牛腿上,完成就位,再调整垂直度并通过螺栓固定,最后吊装安装另一侧桁架。桁架上弦杆采用HN1000 mm×300 mm型钢,上弦杆长33.1 m,下弦杆采用HN600 mm×200 mm型钢,下弦杆长18 m,如图11所示。

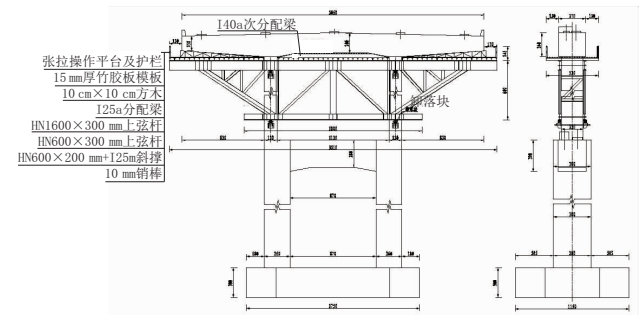


图11 托架法立面设计图(单位:cm)

(4)“销棒+钢管”支架法

将销棒法与钢管支架法进行组合,顺序如(1)、(2)中所述,如图12所示。

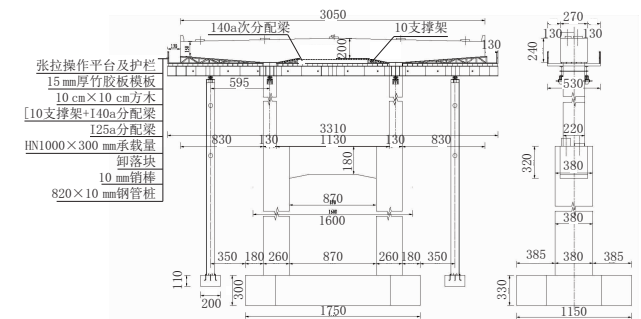


图12 “销棒+钢管”支架法立面设计图(单位:cm)

2.3 结构整体工况分析

2.3.1 钢材及焊缝强度设计值

钢材采用Q235B,Q235钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值为215 MPa,抗剪强度设计值为125 MPa。其余可参考《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)^[2]、《钢结构焊接规范》(GB 50661—2011)^[3]。

方木弹性模量 $E=1.1 \times 10^4$ MPa,竹胶板弹性模量 $E=6.9 \times 10^3$ MPa。

2.3.2 挠度控制设计值

计算挠度值按“简支或连续板梁”限值控制,即 $L/400$ 。

2.3.3 各工况环境参数

本结构设计遵循安全、经济、高效三个原则,参考《公路桥涵通用设计规范》(JTG D60—2015)^[4]提供的相关数据资料,各工况环境参数如下:

(1)结构自重

根据支架实际结构建立模型,并赋予相应的材

料,自重由MIDAS计算软件自动计入。

(2)现浇盖梁、横梁自重

将盖梁、横自重转换为线荷载加载到分配梁上,钢筋混凝土容重按 $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$,混凝土等参数见表1。

表1 S01#墩盖梁钢筋混凝土自重汇总表

位置	混凝土 / m^3	混凝土荷载 / kN	Q 分配梁 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)
S01#墩	275.3	7 160.4	29.8

(3)人群和施工机械荷载

结构在设计和计算过程中考虑了 2.5 kN/m^2 的人群和施工机械荷载。

(4)振捣荷载

结构在设计和计算过程中考虑了 2 kN/m^2 的振捣荷载。

(5)模板荷载

根据《路桥施工计算手册》可知,模板自重 0.75 kN/m^2 ;

(6)风荷载

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)可知,作用在支架上的风荷载可按式进行计算:

$$W_K = \beta_z \mu_s \mu_z W_0 = 1.19 \text{ kN/m}^2$$

式中: W_K 为风荷载标准值, kN/m^2 ; β_z 为高度 Z 处的风振系数,取1; μ_z 为风压高度变化系数,取1.52; μ_s 为风荷载体型系数,1.3; W_0 为基本风压, kN/m^2 ,按50 a一遇的风压采用取 0.6 kN/m^2 ,风速 $V=29 \text{ m/s}$ 时(设计最大风速),为极限风荷载。

2.3.4 最不利荷载工况

支架侧模安装完成,浇筑混凝土,支架受到a.支架结构自重荷载;b.盖梁自重荷载;c.人群机械荷载;d.振捣荷载;e.倾倒荷载;f.模板荷载;g.风荷载。荷载组合为 $1.2 \times a + 1.2 \times b + 1.4 \times c + 1.4 \times d + 1.4 \times e + 1.2 \times f + 1.4 \times g$ 。

2.3.5 模型构建

根据不同施工工艺类型分析,发现销棒法、钢管支架法、“销棒+钢管”支架法,可通过施加约束、删减节点操作,进行转换,故建一个模型即可,如图13、图14。

2.3.6 强度验算比对

对上述施工工艺进行强度验算,如表2所列。

由上述模型计算结果可知,销棒法、钢管支架法不满足规范设计要求,且模型弯曲变形严重,托架法和销棒+钢管支架法均满足要求,前者托架结构较笨重,且墩身预埋孔过多,施工周期长,后者更加稳

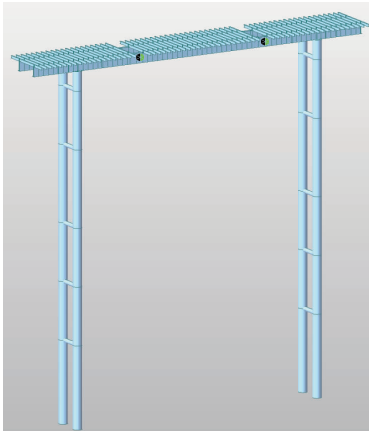


图 13 销棒法等计算模型图

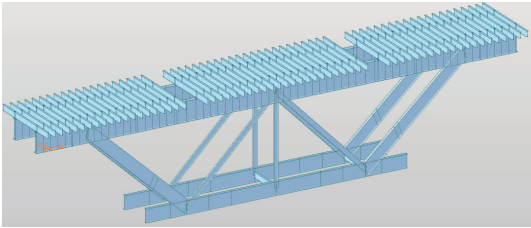


图 14 托架法计算模型图

表 2 各工艺应力计算结果

施工工艺	支架整体 组合应力 / MPa	支架整体 剪应力 /MPa	规范及 设计值 / MPa	结果	模型效果
销棒法	376.1	50.9	215/125	组合应力 过大,不 满足要求	两侧悬臂型 钢发生向下 弯曲变形
钢管 支架法	388.1	66.1	215/125	组合应力 过大,不 满足要求	桥墩中间处 型钢发生向 下弯曲变形
托架法	186.8	35.5	215/125	应力均满 足要求	有微小变形, 忽略不计
销棒 + 钢 管支架法	127.3	33.6	215/125	应力均满 足要求	有微小变形, 忽略不计

定,且可周转性好,易于施工。

根据建模结果分析,采用销棒 + 钢管支架法更为安全合理。

3 “销棒 + 钢管”支架验算结果汇总分析

根据整体验算比对结果,将选出的最佳工艺所含结构进行强度、刚度、稳定性验算。

3.1 强度验算

在最不利工况作用下,支架各结构强度验算结果,如表 3 所列。

3.2 刚度验算

在最不利工况作用下,支架各杆件刚度验算结果,见表 4。

3.3 稳定性验算

对整体稳定性和 820 mm × 10 mm 钢管稳定性

表 3 结构强度验算结果

结构	组合应力 / MPa	剪应力 / MPa	规范设计值 / MPa	结果
钢管桩	35.8	0.7	215/125	满足要求
平联钢管	15.4	1.1	215/125	满足要求
销棒	—	82.1	156	满足要求
承重梁	127.3	33.6	215/125	满足要求
分配梁	58.7	23.2	215/125	满足要求
方木	4.8	0.8	12/1.5	满足要求
竹胶板	21.33	—	33	满足要求

表 4 杆件刚度验算结果

杆件	最大总变形值 /mm	挠度设计值 /mm	结果
钢管桩	3.594	20	满足要求
平联钢管	0.164	6.25	满足要求
承重梁	9.292	11.14	满足要求
分配梁	0.31	3.25	满足要求
方木	0.16	1.25	满足要求
竹胶板	0.39	0.625	满足要求

进行验算。

(1)整体稳定性验算

分析一阶模态,得出临界荷载系数为 5.799>4.2,满足要求。

(2)钢管桩验算

计算模型得出钢管桩内力,最大轴向力为 617.8 kN。

回转半径:

$$i = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4} = 286.4 \text{ mm}$$

按钢管桩自由长度为 lo=8 000 mm,钢管桩截面面积:

$$A_m = \frac{\sqrt{\pi (D^2 + d^2)}}{4} = 25\,446.9 \text{ mm}^2$$

式中:Am 为钢管柱截面积,mm²;D 为钢管桩外径,mm;d 为钢管桩内径;长细比为 λ=lo/i=27.93,稳定性系数为 ψ=0.943。

钢管容许压力:

$$[N] = \psi \times A_m \times [\sigma] = 5\,159.23 \text{ kN} > 617.8 \text{ kN}$$

式中:ψ 为受压稳定系数;[σ]为抗压强度设计值 215 MPa。

单根钢管稳定性满足要求,即钢管立柱稳定性满足要求。

3.4 结果分析

从文章中 3.1、3.2、3.3 章节,可以得知,在最不

(下转第 224 页)

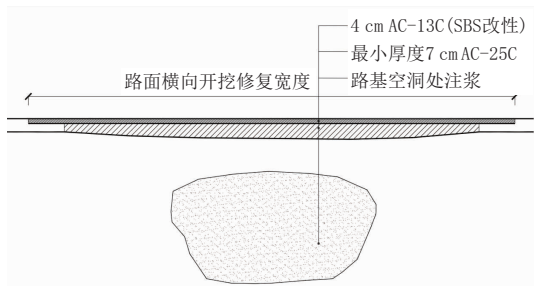


图8 非开挖注浆修复方案横断面示意图

方案二从施工工艺、施工周期、交通影响、工程投资、碳排放等方面进行综合分析和比选,具体如下。

(1)在施工工艺方面,方案一采用常规工艺,施工较为简单,能较好地确保工程质量;方案二对注浆的施工工艺要求稍高,若注浆未达到充分密实或填充过程有空隙,会影响修复后路面的使用寿命。

(2)从施工周期方面分析,方案一采用整体开挖和修复方法,施工周期较方案二略长,主要控制因素是水泥稳定碎石的养护周期;方案二则仅需进行路基脱空注浆、路面铣刨加罩,在基层完好的情况下无需修复基层、垫层以及上路床,施工周期较短。

(3)关于对交通运行的影响,方案一整体开挖修复的施工周期略长,开挖区一般采用封闭围挡,又由于道路断面车道较窄,因此对交通影响较大;方案二则采用路基脱空注浆、路面铣刨加罩方法,路面沉降区无需进行整体开挖施工,故施工期间交通影响较小,周期短,对临时交通组织也较为有利。

(4)从工程投资方面分析,方案一包括路面翻挖修复、上路床翻挖回填、路基脱空回填等工作量,工程投资较方案二高。方案二工作量较方案一小,工程投资少。

(5)根据行业实现“双碳”的背景目标,本项目增加碳排放方面的分析对比,碳排放计算过程范围包括老路翻挖、原材料准备、原材料运输、沥青混合料拌和生产、水泥稳定碎石拌和生产、成品运输、现场

摊铺施工过程。方案一包括老路面层铣刨、翻挖基层、垫层和土方翻挖回填,旧料外运,黄砂回填、新建垫层和基层、新建沥青面层,按排放因子方法进行计算,得到过程的碳排放 CO_2e 为 23 657 kg;方案二包括路基脱空注浆、沥青面层铣刨、旧料外运、新建沥青面层,按排放因子方法进行计算,得到过程的碳排放 CO_2e 为 3 288 kg,小于方案一的碳排放。

综上所述,目前在空洞体积不大的情况下,经综合对比和分析,可以看出方案二的优势更为明显,因此推荐采用方案二。

但也要注意,方案二的注浆施工工艺要求较高,因此施工过程还需要进行严格控制,以确保注浆质量。

2.4.2 专家咨询

在本项目中,同时采用了专家咨询法,邀请3位行业领域内有经验的技术专家,以专家会议的形式对两种技术方案进行专业评估,最终专家意见同意采用推荐方案二。

3 结 语

城市道路设施质量完好是城市公用基础设施安全运行的前提,而道路路基脱空是一类道路基础设施质量病害,对该类病害的全面调查和科学处治有利于确保工程建设质量,减少社会影响,节约资源和能源,降低工程投资,并保障道路设施的安全运行。

本文总结提出道路路基脱空维修方案综合技术决策法,主要是采取调查研究法、对比分析法相结合的方法,有必要时增加专家咨询法。相较于单一的经验决策法,相对更为全面、科学。

参考文献:

- [1] 庞晓明.某道路地下空洞检测与修复方案研究[J].城市道桥与防洪, 2023(10):184-187.

(上接第201页)

利工况荷载作用下,“销棒+钢管”支架结构的强度、刚度、稳定满足要求。

4 结 语

本项目对经过不同工艺支架设计进行比对分析,H形墩大悬臂变截面盖梁最终采用“销棒+钢管”支架法。

此工艺在施工工程中受力稳定,且可周转性强、

拆卸方便,对主体结构的破坏小。特别是适用于这种复杂结构的盖梁,具有显著的社会经济效益。

参考文献:

- [1] 屈东洋.复合交通发展模式及趋势分析[J].工程技术研究,2022(11): 216-218.
[2] GB 50017—2017,钢结构设计标准[S].
[3] GB 50661—2011,钢结构焊接规范[S].
[4] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].