

超 60m 大变幅水位深水基础施工关键技术

乔胜俊¹ 罗雨舟¹ 蔡宇环¹ 王坤¹ 黄兴胜¹

(1. 四川路桥桥梁工程有限责任公司 成都 610039)

摘要: 兰家湾特大桥为全长 1342m 的上承式变高钢桁架连续梁桥, 跨径布置为 70m+115m+6×160m+115m+70m, 大桥位于峨汉高速末段横跨汉源湖, 是高速公路与城区的连接线。受地形条件、水位变化以及地质情况的限制, 创新地采用全桥贯通式高墩钢栈桥的施工, 解决了深水超长超大直径灌注桩的施工平台问题, 为深水基础施工提供了有利条件。同时, 在深水高墩钢栈桥的施工过程中, 采用了大型浮式平台引孔方式解决了高水位插打钢管桩的难题。在桩基施工过程中, 采用冲击钻成孔钢护筒跟进的方式, 解决了稍密砂卵石层垮孔问题。根据施工经验, 总结确定了适应的深水灌注桩混凝土坍落度以及相对应的导管的埋置深度, 为今后类似工程提供借鉴和参考。

关键词: 深水基础; 高墩钢栈桥; 浮式平台; 桩基施工

中图分类号: 文献标识码: 文章编号:

Key Technologies for Construction of Deep-Water Foundation with a Large Variation of Water Level exceeding 60m

QiaoShengjunLUO Yuzhou CAIYuhuanWANGKunHUANGXingsheng

(1.Shudao Investment group CO.,LTD. Chengdu 610095, China; 2.Sichuan Road and Bridge Corporation Bridge Engineering Company CO., Chengdu, 610039,China)

Abstract: Lanjiawan Bridge is a deck type variable height steel truss continuous girder bridge with a total length of 1342m, and the span is arranged as 70m+115m+6×160m+115m+70m. The bridge is located at the end of Emei-Hanyuan Expressway and crosses Hanyuan Lake. It is the connecting line between the expressway and the urban area. Limited by terrain conditions, water level changes and geological conditions, the construction scheme of full bridge through high pier steel trestle is innovatively adopted, which solves the problem of construction platform for deep water super long and super large diameter cast-in-place piles and provides favorable conditions for deep water foundation construction. At the same time, during the construction of steel trestle with high piers in deep water, a large floating platform was used to solve the problem of driving steel pipe piles at high water level. In the process of pile foundation construction, the impact drilling steel casing was used to follow up, which solved the problem of hole collapse in slightly dense sand gravel layer. According to the construction experience, the applicable concrete slump of deep water cast-in-place pile and the corresponding buried depth of tremie are summarized and determined, which can provide reference for similar projects in the future.

Key words: Deep water foundation; High pier steel trestle; Floating platform; Pile foundation construction

1 工程概况

兰家湾大桥为峨眉至汉源高速公路汉源东互通连接线桥, 大桥横跨汉源湖, 连接汉源城区和峨汉高速。结合汉源湖特殊水文地质情况, 兰家湾特大桥上部结构体系为上承式变高钢桁架连续梁桥, 跨径布置为 70m+115m+6×160m+115m+70m, 全长 1342m (含桥台搭板), 桥面宽度 25.5m, 全长 1342m, 其中约 1000m 范围位于湖中深水区, 桥梁整体一联, 仅在起止点桥台处设置伸缩缝。

下部结构采用桩基高墩连系梁设计, 如图 2 所示, 桥墩采用钢管混凝土格构式墩, 共计 2 个边墩和 7 个主墩, 均采用桩墩一体无承台设计, 墩顶设置钢盖梁。主墩左、右幅各 4 根直径 2.5m 桩基, 平均桩长约 90m, 桩基横向间距 5.2m, 纵向间距 8m; 边墩左右幅各 2 根直径 2.5m 桩基, 平均桩长约为 37m, 桩基纵向间距 5.2m, 左右幅桩基间距 16m。桩顶设置钢-混凝土组合结构的过渡段连接。墩顶设置钢盖梁, 墩底设置桁架式横梁, 横联由圆形钢管组成。格构墩钢管采用 Q345D 钢材, 管内混凝土采用 C40 高抛自密实混凝土。

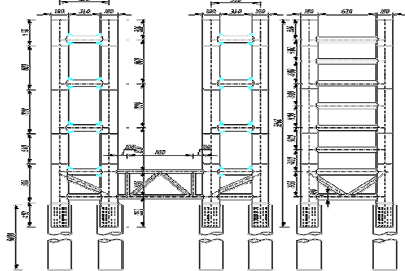


图 2 兰家湾特大桥主墩立面布置图
Figure 2 Elevation layout of main pier

汉源湖为瀑布沟水电站水库, 由于水电站对水位的控制常年动态变化, 桥址区最高水位标高 850m, 最低水位标高 790m, 年水位变化达 60m, 最低水位标高约为桥位处河床最低标高, 汉源湖近四年水位曲线如图 1 所示。汉源湖全年水位变化由 790 至 850m 高达 60m, 其中 6、7 月份水位变化达 3.65m/d, 如表 1 所示。

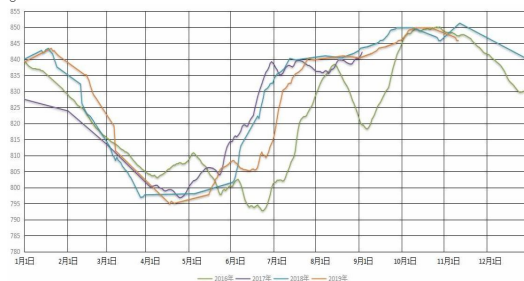


图 1 汉源湖 2016 年至 2019 年水位变化曲线图

Figure 1 Curve of water level from 2016 to 2019

表 1 汉源湖 2016-2019 年水位涨跌幅

Table 1 Water level from 2016 to 2019

年份	水位下降期		水位上升期	
	平均降幅	最大降幅	平均涨幅	最大涨幅
2016	-0.43m/天	-1.77m/天	+1.02m/天	+3.65m/天
2017	-0.42m/天	-1.01m/天	+0.95m/天	+2.16m/天
2018	-0.41m/天	-1.85m/天	+0.98m/天	+3.12m/天
2019	-0.43m/天	-1.82m/天	+0.93m/天	+2.86m/天

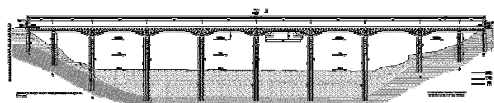


图3 兰家湾特大桥立面布置图

Figure 3 Bridge layout

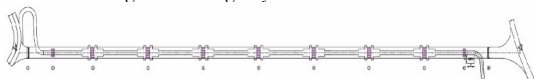


图4 钢栈桥平面布置图

Figure 4 Layout of steel truss bridge

2 深水基础总体施工方案

大桥施工条件受水库蓄水水位制约,为抓住有利施工时机,缩短工期,采用上述高桩格构墩设计。0#、10#桥台以及1#、9#边墩桩基在水位下降后,采用冲击钻进行桩基施工。2#~8#号墩施工搭设全贯通式深水高墩钢桥,在主墩位置设置钢平台作为桩基冲孔平台,并在平台上安装龙门吊用于设备吊运及钢筋笼安装以及后期的钢管格构墩和钢盖梁吊装。钢栈桥桥面标高选择为846.5m,既能最大限度的减小汉源湖水位大幅度涨跌给桩基施工带来的影响,同时又能大型吊装设备提供足够操作净空,满足吊装可操作性和安全性相关要求。

桩基采用全护筒跟进配合冲击钻技术,将高桩钢护筒打入卵石土直至岩层顶面,钢护筒内径为2.6m,板厚2cm,采用Q235C钢材,河床以上部分桩基直径设计为2.5m,为避免模板转换影响工期,采用内径为2.6m的钢护筒做模板浇筑桩基砼,而桩基配筋仍按设计桩径2.5m制作钢筋笼。为防止桩基砼表面由于保护层较厚而开裂,钢护筒不拆除,并按设计要求做防腐涂装处理。

3 桩基施工技术

3.1 高墩钢栈桥设计

全贯通高墩钢栈桥是施工主墩深水基础的主要施工措施,栈桥起点位于K0+085,止于K1+309,总长1224m,布置7联,栈桥标准跨径15米,总体平面布置如图4所示。栈桥由钢管桩基础、横梁、贝雷梁纵梁、分配梁、桥面板及附属设施组成,标准断面宽度9m,桩基冲孔平台加宽段宽度17m,冲孔平台宽度32m,如图5所示。为保证钢栈桥深水基础的横向及纵向稳定性,栈桥墩柱采用格构墩设计,栈桥格构墩设置2排每排3根 $\phi 800 \times 8\text{mm}$ 钢管,横向间距4米,纵向间距6米,钢管间设2[20b型钢横联,并设置2[20b交叉斜撑,墩顶横梁为2140b的工字钢,横向联系间钢管自由长度为8m。

标宽段钢栈桥由12片贝雷梁拼装而成,其上纵向按0.75m间距铺设I25b横梁,再按30cm间距铺设I14b纵向分配梁,桥面层铺设8mm花纹钢板,主纵梁选用“321”普通型贝雷架。

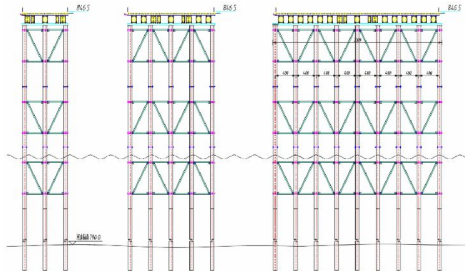


图5 栈桥及平台断面图

Figure 5 Cross section of steel truss bridge and platform

通过Midas Civil有限元软件进行计算分析。栈桥基础按钢管桩插入中密实砂卵石层中6m考虑,边界通过土弹簧模拟,其刚度采用“m法”进行计算,根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)中相关规定,m值取 10^4 kN/m^4 。考虑风荷载、150t履带、40t混凝土罐车、龙门吊以及人群荷载等。

经计算分析该栈桥强度、刚度以及稳定性均满足规范要求。高桩栈桥采用的格构墩基础相较于普通的单排桩基础,其稳定性明显提高,在高耸临时结构中的应用具有显著优势,从格构墩的失稳模态来看,其格构横联间距可以是影响格构墩稳定性

的主要因素^[1]。采用Lanczos法对本结构进行特征值分析,结构前三阶振型为:一阶平动、二阶平动和三阶扭转,扭转阶数较高表明其结构布置合理^[1]。

3.2 高墩钢栈桥施工

由于桥址区地质特殊,2~3m淤泥覆盖层下有砂卵石地层,若采用一般钢管桩振动锤插打工艺,施工困难且无法保证钢管埋入深度,且受水文条件限制,大多数时间为高水位作业,安全质量难以保证。为保证施工质量、提高施工效率,将格构钢管桩施工和栈桥其它构造施工分开进行。钢栈桥格构钢管桩采用大型浮式平台上振动锤与旋挖钻机辅助引孔方式施工,格构柱横联则采用小型浮式平台紧随其后进行安装,钢栈桥上部构造则通过桥面履带吊通过钓鱼法向前安装。浮式平台引孔插打钢管桩施工工艺流程为:浮式平台定位→钢管下放安装→旋挖钻就位引孔→钢管桩插打跟进→竖直度检测→管内灌砂→钢管横向联系安装→栈桥上部结构安装。

大型浮式平台侧面设置动力船,平台上四个角点布置卷扬机,配合水中锚碇以及钢丝绳作为平台的定位锚固系统,水中施工锚碇均采用100kN钢筋砼锚。在浮式平台上根据钢管桩间距设置导向架,并对接钢管,保证钢管对接竖直度。对接完成后,用浮式平台上的履带吊起吊钢管桩,并利用导向架配合测量人员进行定位并安装钢管桩。如下方河床的原因导致钢管桩不平,则将钢管桩临时固定到导向架上,以保证竖直度和平面位置满足要求,如图6所示。定位完毕后,安装钢管桩,经测量人员复核无误后,用振动锤插打,直至贯入度和钢管埋深达到要求后停止。停锤控制标准:1、根据贯入度变化并对照地质资料,确认桩尖已沉入稍密砂卵石土层,贯入度达到控制要求,并且埋置深度超过6m方可停锤。2、当贯入度已达到控制要求,而埋置深度未到达设计标高时,则采用旋挖钻引孔,待穿过砂卵石层后继续插打,当贯入度达到控制要求,并且埋置深度超过6m方可停锤。当钢管桩安装完成后,使用超声波检孔仪测量钢管桩竖直度,合格后向钢管插入河床段灌注机制砂以提高稳定性。

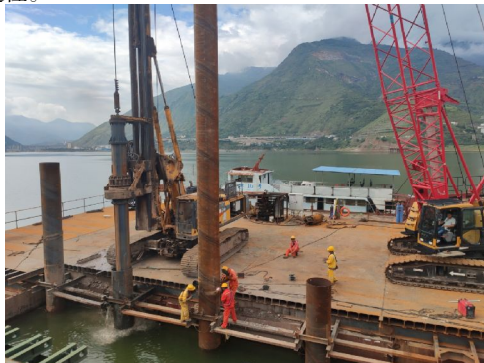


图6 浮式平台施工图

Figure 6 Floating platform construction

3.3 桩基护筒施工

兰家湾大桥主墩左、右幅共有8根桩基,桩径 $\phi 2.5\text{m}$,设计桩长90m;边墩左右幅共4根桩基,桩径 $\phi 2.5\text{m}$,桩长34m。在实际施工过程中,由于主墩桩位处覆盖层较厚,在采用冲击钻施工过程中,多次出现垮孔现象^[2],因此调整为桩基护筒跟进方式施工,穿过稍密砂卵石层,实际桩长可达100m以上,从钢平台顶面起算,钢护筒总下放高度达80m。钢护筒分阶段运输至施工平台上,在现场采用二氧化碳保护焊进行对接,预先设置坡口,并将坡口上切割废料完全清除^[3]。

为确保钢护筒下放竖直度以及平面位置准确,在钢平台顶面设置了导向架,着床前在钢护筒上设置牛腿,临时固定在导向架上进行护筒对接,并在四个方向焊接吊耳,通过吊架起吊和下放防止钢护筒失圆,如图7所示。钢护筒着床时,需测量人员进行准确定位,着床后通过超声波检孔仪检测钢护筒竖直度,如果竖直度不满足要求,则用龙门吊起吊后重新下放。待竖直度满足要求后,在护筒顶安装夹具及振动锤,夹紧护筒后,

放松吊点开始振动^[4]。振动过程中需保持吊点放松,保持对平面位置观察,一旦护筒发生倾斜、偏转则立即停止,校正并进行有效导向后方可继续振入,同时利用超声波检测仪对钢护筒垂直度进行监测^[5]。当钢护筒连续 2min 均不再下沉,且振动锤达到最大激振力后终止振动。



图 7 钢护筒对接
Figure 7 Docking steel casing

3.4 桩基施工

桩基成孔采用冲击钻错位施工,主墩桩基分两批次成孔,不得同时施工同一侧桩基。冲击钻施工流程为:施工准备→钻机就位、调试→钻孔→钢护筒跟进→钻孔→终孔→第一层清孔→检测孔形、孔深以及垂直度→安装钢筋笼→导管水密性试验→安装导管→第二次清孔→浇注水下混凝土→泥浆回收、外运→桩基检测→破除桩头。

钻孔过程中严格控制泥浆相对密度、黏度以及胶体率等指标防止塌孔,在稍密卵石层中每进尺 2~3m 跟进一次护筒,直至进入中密砂卵石层。冲击钻采用 $\phi 2.4\text{m}$ 钻头,使用小冲程冲孔造浆,并应使初成的孔壁坚实、竖直、圆顺,能起到导向的作用,待进深度超过钻头全高加冲程后,方可进行正常的冲击。冲击钻进过程中,孔内水位应高于常水位 1m 以上,掏取钻渣和停钻时,及时向孔内补水,保持水头高度。

钢筋笼制作时设置多道三角内撑保证钢筋笼刚度,防止在吊运过程中发生变形。运输至现场后,用 75t 履带吊双吊点进行起吊,避免根部受弯变形,吊点应选在加强箍筋处并加强焊接,吊起钢筋笼并从水平状态调整到位即可下放^[7]。钢筋笼放入孔后,用 2 工 25b 工字钢在加强箍筋位置支撑钢筋笼,再进行下一段吊装、对接,上下主筋位置应对正,保证钢筋笼上下轴线一致,主筋搭接位置应错开 50% 以上。吊放钢筋笼入孔时应对准孔位轻放、慢放,不允许左右旋转,若遇阻按应停止下放,查明原因并处理后再行下方,严禁高起猛落、刮蹭孔壁以及强行下放。桩基段钢筋笼对接完成后,由于桩基顶部位于护筒口之下,需在其上方对接临时吊笼。临时吊笼由 8 根 $\phi 32$ 主筋以及加劲环焊接而成,每 9m 为一段,每段之间由直螺纹套筒连接,最上层吊笼设置挂钩,由 80t 龙门吊将钢筋笼整体下放并悬吊固定在钢护筒顶口^[6],如图 7 所示。



图 8 钢筋吊笼
Figure 8 Hoisting steel reinforcement cage

桩基混凝土浇筑采用导管法,导管底部距离孔底 40cm,为了能够一次性封底成功,在导管顶部采用 14m³ 料斗,并在两侧准备两辆 10m³ 混凝土罐车跟进,使混凝土前 30m³ 浇筑不间断,如图 8 所示。经过多次浇注总结,宜将导管埋深控制在 7~9m 范围,保证将最初浇注的封底混凝土控制在顶部,待浇筑完成后将其破除。混凝土配合比也是深水桩基浇注控制的重难点,本工程采用普通硅酸盐水下混凝土,在保证强度的前提下,严格控制其和易性,为增加其流动性,可适量掺和硅粉。在出站时检测坍落度,控制在 200~210cm 范围内,运输到现场后不得低于 190cm。同时,应保证混凝土粘聚性,在浇注过程中,不得发生分层、离析现象。



图 8 桩基混凝土浇筑
Figure 8

4 结语

兰家湾特大桥作为峨汉高速末段与汉源城区之间的连接线,是汉源县的重要民生工程,其结构形式新颖,受库区水位影响现场施工条件苛刻,施工精度要求高,工序复杂、难度大。经对工程概况的综合分析,本工程总体施工方案创新式地采用全贯通式深水高墩钢桥,为整座大桥的施工提供了有利条件。在深水钢栈桥搭设过程中,钢栈桥创新采用钢管格构式桥墩,解决了高墩钢栈桥稳定性问题。同时,采用大型浮式平台引孔插打的方式解决了高水位施工钢管桩的难题。在深水基础桩墩一体无承台结构施工过程中,高墩钢栈桥作业平台发挥了重要作用,不仅解决了高水位施工场地问题,也为后续墩柱、及上部构造永久钢结构安装提供了通道。桩基施工采用的冲击成孔护筒跟进方式,解决了桩墩位置覆盖层厚极易垮孔的问题。在后续桩基水下混凝土浇注过程中,通过不断总结经验,确定了适合混凝土坍落度以及相对应的导管的埋置深度。通过上述一系列关键技术,解决了高水位施工难题,增加了施工实际可用工期,保证了桩墩一体化施工精度,加快了施工进度,为今后深水基础施工提供了有力参考,并具有较大的指导意义。

参考文献:

- [1] 罗雨舟,黄永红,等.超 60m 深水钢栈桥及作业平台结构设计与分析[J]. 中外公路, 2021, 41:46-50.
- [2] 吴甜宇, 邱文亮,等.海冰与波流联合作用下深水基础桥梁动力反应分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2018(6): 930-936.
- [3] 李汉军.桥梁深水基础三壁钢套箱围堰施工技术研究[J]. 国防交通工程与技术, 2018(6):62-65,76.
- [4] 张松.桥梁深水基础施工中钢护筒变形的原因及对策实践分析[J]. 交通世界, 2019(30): 94-95.
- [5] 刘忠友.已沉放钻孔桩变形钢护筒处理施工技术[J]水运工程, 2018(5):209-212.
- [6] 姚帅彪,商朋朋,等.某桥梁深水基础施工中钢护筒变形原因分析及对策[J].
- [7] 汪德隆,何旭斌,等.大直径钻孔桩变形及处理[J]. 桥梁建设, 2006(1):66-69.