

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.02.021

引用格式:王俊.内河深水超长钢护筒节段拼接及沉桩施工工艺研究[J].公路与汽运,2025,41(2):98-102+112.

Citation: WANG Jun. Research on construction technology of section splicing and pile sinking for segmented of ultra-long steel casings in deep water of inland river[J]. Highways & Automotive Applications, 2025, 41(2): 98-102+112.

内河深水超长钢护筒节段拼接及沉桩施工工艺研究

王俊

(中交路桥华东工程有限公司, 上海 200120)

摘要: 针对内河深水环境下桥梁施工中超长钢护筒的施工技术难题,以湖南益阳—常德高速公路扩容工程中沅水特大桥主桥主墩深水桩基础施工为例,分析适应该工程地质、水文条件的钢护筒结构参数,提出采用“履带吊+振桩锤”吊挂法插打钢护筒、结合长导向架及“抱箍对接+旋挖钻引孔助沉”的施工工艺。结果表明,该施工工艺能成功施沉超长钢护筒至设计标高,并有效控制施工垂直度;相较于传统方法,该工艺能提高施工效率,节约施工成本约22.5万元。

关键词: 桥梁;深水桩基础;“履带吊+振桩锤”吊挂法;抱箍对接+旋挖钻引孔助沉;钢护筒

中图分类号:U443.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)02-0098-05

随着人们对交通出行便捷性和效率要求的提高,高速公路建设向更快、更便捷的方向发展^[1-2]。桥梁在跨江跨河时常遇到深水施工的挑战^[3-4],尤其是在内河深水环境中,大型打桩船难以到达桥位,加上复杂的地质条件和水文环境,传统施工方法难以适应^[5-6],迫切需要创新施工技术来应对这些挑战。针对深水环境下施工难度高、效率低等问题,曾健等依托重庆嘉华轨道专用桥主墩承台施工,采用理论分析、数值计算和工程实施验证相结合的方法,探讨了深水硬质岩嵌入式承台无封底施工技术^[7];李怡辰等采用组合网络分析法(ANP)和云模型的综合风险评估方法,考虑风险因素之间的相互影响,对深水桥梁基础系统进行了风险评估^[8];张豪等从桩基施工平台拼装、运输、护筒精确定位等方面,介绍了在水位剧变的情况下把钻孔施工平台和围堰底龙骨合为一体沿护筒导向下沉的施工技术^[9]。上述研究均实现了深水环境下施工技术的突破,但对地质、水文变化极复杂的跨河跨海大型桥梁是否适用还存在疑问。田杰研究了秀山跨海大桥副通航孔桥无(浅)覆盖层桩基的设计与施工,该工程施工区域风-浪-流联合作用且位于倾斜裸岩处,极大增加了桩基施工难度^[10]。针对大跨桥梁深水环境下传统施工技术效率低、质量难以保证的问题,本文依托湖南益阳—常德高速公路扩容工程中沅水特大桥,探讨采用“履带吊+振桩锤”吊挂法插打钢护筒,结合长导

向架及“抱箍对接+旋挖钻引孔助沉”的施工工艺,为大跨桥梁深水桩基础工程施工提供技术方案。

1 工程概况

1.1 工程简介

沅水特大桥主桥为钢-混凝土梁连续刚构,跨径组合为118 m+240 m+118 m(见图1),全长476 m。主梁悬浇段采用混凝土梁,主梁中心线高度由悬臂端按1.8次抛物线加高至支座处。桥梁跨中80 m处采用钢箱梁,并在与混凝土梁的连接位置设置5 m钢-混结合段。主墩基础采用钻孔灌注桩,布置37根桩径为2.0 m的桩基,主墩8#墩桩长96 m,9#墩桩长90 m。

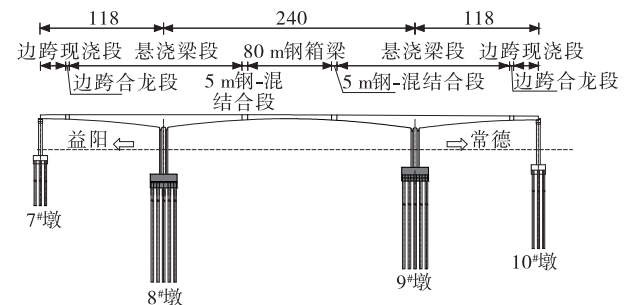


图1 沅水特大桥主桥立面布置示意图(单位:m)

1.2 钢护筒设计

主墩8#墩钢护筒设计底标高以承台封底混凝土以下50 cm进行取值,取为-13.5 m,钢护筒顶标

高为 38.5 m;单根钢护筒长达 52 m,由第一节底节、第二节和第三节标准节及第四节顶节组成(见图 2)。9#墩单根钢护筒长达 42 m,由第一节底节、第二节标准节及第三节顶节组成(见图 3)。其中:底节长 15.5 m,底口设 75 cm 加强圈;标准节长 15.5 m,不设加强圈;顶节调节整体高度,顶口设 75 cm 加强圈。桩基及钢护筒的参数取值见表 1。

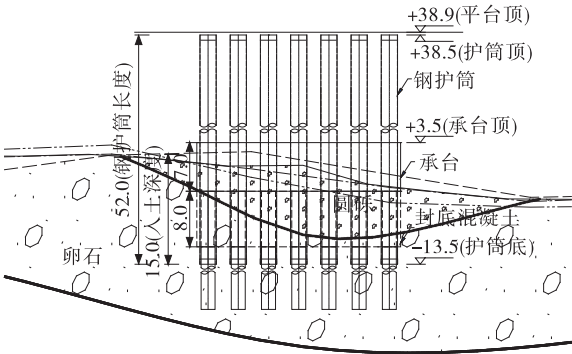


图 2 8#墩地层分布与钢护筒的相关关系(单位:m)

图 4 为钢护筒结构设计图,其中钢护筒内径为 2.25 m,壁厚为 1.80 cm。图 5 为钢护筒加强圈及接高设计图,钢护筒外壁套有加强圈,起到保护钢护筒和加强结构刚度的作用;钢护筒之间采用连接板连接,达到护筒接高的目的。

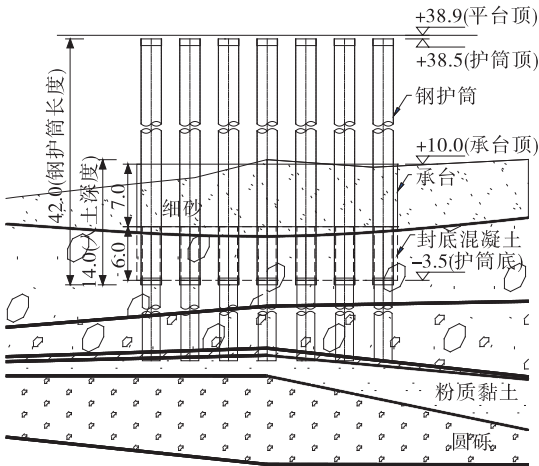


图 3 9#墩地层分布与钢护筒的相关关系(单位:m)

表 1 桩基及钢护筒参数

主墩 编号	桩径/ m	设计桩底 标高/m	设计桩顶 标高/m	封底混凝土 底标高/m	设计桩 长/m	护筒底设计 标高/m	护筒顶设计 标高/m	护筒设计 长度/m	穿越地层描述
8#	2.0	-99.5	-3.5	-11.5	96	-13.5	38.5	52	护筒须穿越圆砾,到达卵石层
9#	2.0	-87.0	3.0	-3.0	90	-3.5	38.5	42	护筒须穿越细砂、卵石,到达圆砾夹卵石层

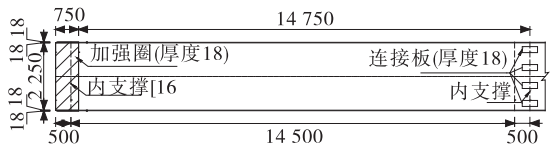


图 4 钢护筒结构设计图(单位:mm)

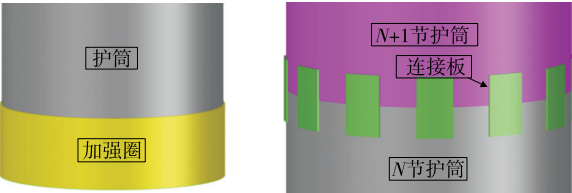


图 5 护筒加强圈、接高设计图

1.3 地质和水文情况

桥位区的工程地质条件一般,覆盖层很厚,主要为细砂、圆砾、淤泥、卵石、圆砾夹卵石、中砂、黏土、全风化粉砂质泥岩、强风化粉砂质泥岩。

桥址区地表水主要为沅江,水面约 600 m,常年流水,河道平均坡降 0.185‰,随季节变化明显。近

些年最高水位发生在 2014 年,为 40.293 m;枯水期历史最低水位为 26.99 m。主要补给方式为大气降水及上游水沟、水塘汇入补给。栈桥、平台设防水位为 36.5 m(平台顶标高为 38.9 m)。

洪峰过后进行水流速度测量,结果见图 6。由图 6 可知:沅水表面水流速度最大约 1.6 m/s;实测水流速度与水深近似呈线性关系,随着水深的加大,水流速度减小,在水深约 30 m 处接近于零。表明

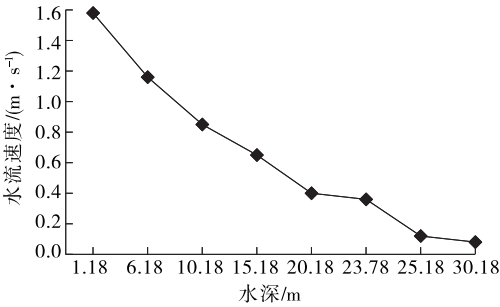


图 6 沅水水流速度实测结果

该段河流的表面水流速度较快,接近河床底部时水流速度减慢。

2 施工工艺

2.1 施工准备

2.1.1 抱箍制作

考虑到钢护筒直径大及装运过程可能导致护筒微变形,传统的两半式抱箍难以与护筒完全贴紧达到紧固效果,将抱箍分为 4 个单元,单元间用 2 cm 法兰板通过 3 颗 M24 mm×80 mm(外径×长度)高强度螺栓连接,连接处面板外侧设置加劲板(见图 7);各单元中间位置设置定位板,定位板距抱箍边缘 2 cm,为定位后焊接接头预留作业空间;定位板上设置 2 个销孔,配合冲钉使用可调整钢护筒的相对位置。



图 7 抱箍组拼实物图

2.1.2 导向装置安装

在平台上设置导向框,在平台平联位置设置导向架,用于抵消水流力作用,保证钢护筒下放的垂直度。导向框和导向架组合高度约 6 m。

导向框采用 I45a 型钢拼接而成,并在角点处加设斜杆支撑。型钢跨中位置设置 I20a 护筒限位装置,限位装置底部与导向框焊接,钢护筒与导向架之间留 6 cm 间隙。导向框加工时严格控制焊接质量,安装时导向框中心与护筒中心一致,就位后焊接于平台面板上(见图 8)。



图 8 导向框的安装

底部导向架设置于平台底部平联管上,采用 I45a 型钢搭设(见图 9)。导向架中心与护筒中心一致,导向架垂直于水流方向为主要受力边,主要受力

边与平联管焊接固定,顺水流方向的导向边与主要受力边焊接。导向装置均周转重复使用。



图 9 导向架的安装

2.2 测量放样、定位

(1) 坐标计算与护筒沉放规划。根据桩位图计算各钢护筒的中心平面坐标,同时确定沉桩顺序,防止先施打的钢护筒妨碍后续钢护筒施工。

(2) 平面放样。准确放出桩位并做好标识,放出拼装胎架范围内平台的平整度,并配合拼装胎架调平型钢的安装(见图 10)。

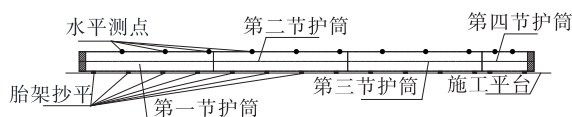


图 10 护筒预拼装调平

(3) 垂直度控制。先在钢护筒表面均匀布置垂直度观测点,监测沉放单元间垂直度;然后在平台面上利用既有测量控制网设置全站仪实时观测;最后将观测成果采用测锤引入平台以下(见图 11)。

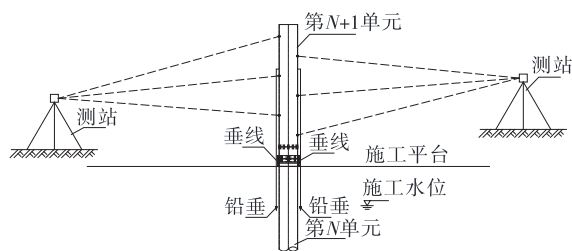


图 11 垂直度控制测量方案

2.3 拼装胎架安装

钢护筒后场拼接在胎架上完成。胎架由两榀 I45a 型钢调平, I20a 作为支撑定位框架,内侧采用钢楔固定。胎架结构见图 12。



图 12 预拼装胎架

2.4 钢护筒拼接

2.4.1 第一单元钢护筒拼接

第一节、第二节钢护筒在后场胎架上拼接完成。拼接时将接头处坡口满焊,用 $20\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 1.8\text{ cm}$ 连接板连接,连接板环向均匀布置 12 块。

2.4.2 第一单元、第二单元护筒预拼接

第一节、第二节钢护筒拼接完成后,将第三节与第二节钢护筒在胎架上安装抱箍进行预拼接。在胎架上进行预拼接的作用为:拼装胎架时已进行测量调平,钢护筒在胎架上拼接垂直度易保证;在胎架上进行预拼接,钢护筒之间处于静止状态,方便调节相对位置,拼接精度更高;通过预拼接可提前检查钢护筒的成品质量,若加工或运输过程中已变形,可将问题提前暴露。

预拼接完成后,标记抱箍与钢护筒及 2 个抱箍之间的相对位置,后续拼接时还原预拼接时的相对位置,达到精准对接的效果。吊装时仅拆除定位板间的连接,抱箍不予拆除,保持现有状态,随钢护筒一同吊装。钢护筒节段拼接及沉桩施工流程见图 13。

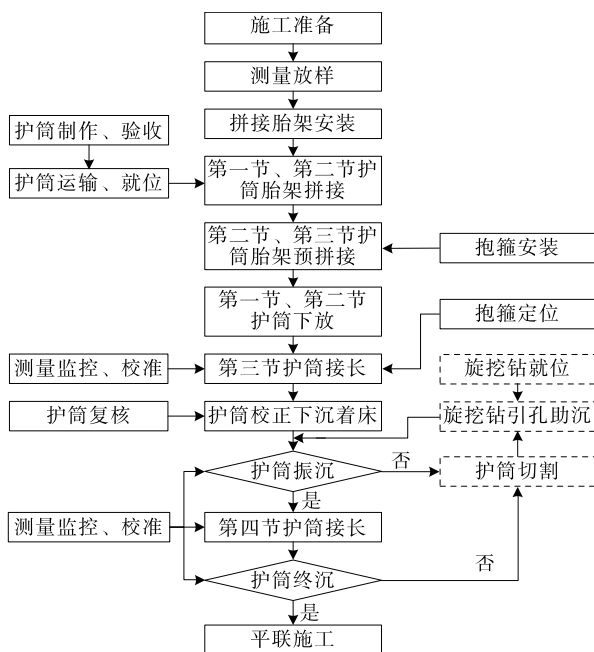


图 13 钢护筒节段拼接及沉桩施工流程

2.5 首次钢护筒下放

图 14 为钢护筒的起吊与下放。钢护筒首次下放长度为 31 m,使用 25 t 汽车吊配合 150 t 履带吊起吊,在空中实现钢护筒的转体,待护筒转体竖直后由 150 t 履带吊进行下放。由于首节钢护筒下放后

并未着床,通过导向框上的限位装置将护筒临时固定在导向框上。



图 14 钢护筒的起吊和放下

2.6 沉放第二单元钢护筒及护筒接长

第一单元钢护筒沉放到位并临时固定后,起吊、沉放底部带有抱箍的第二单元钢护筒并与第一单元对接,对接时通过抱箍定位板使用冲钉校正相对位置,使其还原到预拼接时的状态。通过预留缝进行环缝施工,环缝焊接完成后拆除抱箍,焊接钢护筒连接板。焊接完成后解除导向框上的限位装置,履带吊下放钢护筒。第三节护筒接长后,护筒总长度为 46.5 m。钢护筒节段的现场拼接见图 15。



图 15 钢护筒节段的现场拼接

2.7 钢护筒校正

钢护筒对接完成后由履带吊起吊,并解除导向框上的临时固定装置缓慢下放,在距河床 1 m 左右处停止下放,进行护筒最终定位。图 16 为钢护筒校正定位示意图。

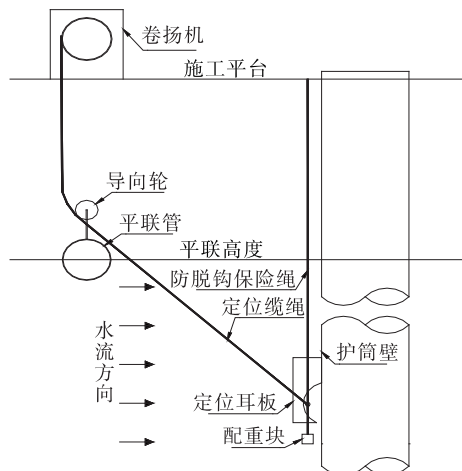


图 16 钢护筒校正定位示意图

护筒校正定位装置由卷扬机、导向轮、定位耳板、定位缆绳、防脱钩保险绳和配重块组成,通过在平台上设置卷扬机用缆绳与护筒外侧耳环相连并经过导向轮实现方向转换。测量定位完成后,卷扬机配合履带吊将护筒着床。缆绳悬挂重物,在护筒着床后缆绳实现自卸。

2.8 钢护筒下沉

钢护筒下沉使用 150 t 履带吊配合 YZ-400 液压振桩锤进行。钢护筒进入卵石层后难以下沉,下沉受阻时割除平台以上钢护筒,利用旋挖钻在护筒内引孔。旋挖钻配备 1.8 m 钻头,单次引孔深度按不超出护筒范围控制。引孔后接长钢护筒,继续使用液压振桩锤振动下沉。再次受阻时重复引孔,直至护筒下沉至设计标高。

3 施工管理和效益分析

3.1 质量控制

(1) 为避免钢护筒下沉过程中发生变形,对钢护筒孔口进行加强,以满足钢护筒顶口振打和底口入土刚度要求。护筒孔口采用同厚度钢板进行加强,将钢板卷成钢护筒外径相同的加强管,采用满焊连接。

(2) 利用全站仪对钢护筒正面及侧面进行定位,插打钢护筒时校正其垂直度,并保持振桩锤与钢护筒在同一纵轴线上。每插打 1 m,校正钢护筒垂直度一次,调整后继续插打。

(3) 护筒施工质量按 JTG/T 3650—2020《公路桥涵施工技术规范》的规定执行,对于深水基础中的护筒,在竖直方向的倾斜度宜不大于 $1/150^{[1]}$ 。钢护筒轴线偏位按设计要求执行,成孔后桩中心轴线偏位应不大于 40 mm。

3.2 安全措施

(1) 根据平台结构划分履带吊和旋挖钻行走区域,设备在钻孔区域只允许沿贝雷组方向行走,不得掉头,履带宽度不得超过贝雷组宽度。

(2) 施工现场设立危险源告示牌、安全警示标志和标牌;电焊工佩戴护目镜和面罩。

(3) 施工完成后及时对孔口进行防护。

(4) 设备进场前均进行检查验收。机械操作人员必须严格执行安全操作规程,做到持证上岗。

(5) 吊装指挥人员、吊车司机统一指挥,明确信号和手势;吊装作业时周边设置警戒区域,防止无关人员进入;经常检查起吊设备和吊索、吊具的使用

性能。

(6) 为保证桩基施工期间护筒的稳定性并综合考虑后期围堰施工工况,护筒施工完成后利用平联管将其连接成整体。

3.3 环保措施

(1) 施工过程中钻渣在渣箱中储存后通过封闭型运渣车外运处理。

(2) 平台上设置机械设备加油点和维修点,该区域下垫吸油毡,防止油污污染水体。

(3) 设备维修产生的废油统一收集后由专业环保单位处理。

3.4 效益分析

采用“履带吊+振桩锤”吊挂法插打,辅以长导向架及“抱箍对接+旋挖钻引孔助沉”的施工方法施沉超长直径钢护筒,可有效解决传统施工工艺中超长钢护筒对接耗时长、质量难以控制、钢护筒进入卵石层后下沉受阻等难题,且施工效率高。

桩基钢护筒插打施工垂直度控制好,且通过提高施工效率节省机械租赁费及人工费约 22.5 万元,经济效益显著。

4 结语

针对内河深水环境下桥梁施工中超大钢护筒的应用问题,提出采用“履带吊+振桩锤”吊挂法,结合长导向架及“抱箍对接+旋挖钻引孔助沉”的内河深水超长钢护筒节段拼接及沉桩施工工艺,该工艺能应对深水环境下超长钢护筒施工中的对接、质量和下沉等技术挑战,在提高施工效率的同时,能显著降低施工成本,节约机械租赁费和人工费用,经济效益显著。该施工工艺在湖南益阳—常德高速公路扩容工程中沅水特大桥主桥主墩深水桩基础施工中的成功应用,为深水桩基础工程施工提供了重要技术参考和应用示范,具有广阔的推广价值和应用前景。

参考文献:

- [1] 薛新风,彭巍,胡芷菁,等.湖南省智慧高速公路发展趋势及实践应用[J].公路与汽运,2024,40(5):20-25.
- [2] 孙付春.“双碳”背景下零碳高速公路建设探索与实践[J].公路,2024,69(12):433-439.
- [3] 杨金龙,赵林,江群龙.深水高桩系梁新型单壁钢吊箱围堰施工关键技术研究[J].中外公路,2024,44(6):219-225.
- [4] 郭红雨.南村黄河特大桥主桥总体设计[J].公路与汽运,2020(2):103-107.

(下转第 112 页)