

近代海相沉积型海域大桥施工关键技术研究

翁卫军

(福州市交通建设集团有限公司, 福建 福州 350001)

摘要: 近代海相沉积型海域是我国沿海典型地质条件, 由于其构造独特和力学特性复杂, 在建造大桥时必须采取针对性的措施. 因此从跨海大桥施工的测控技术、桥墩桩基和栈桥寿命维护等方面出发, 探讨沉积型海域跨海大桥施工的关键技术, 并在平潭海峡大桥施工中得到了实际应用.

关键词: 近代海相沉积; 桥梁; 施工关键技术

中图分类号: U697

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2013) 01-0117-05

我国沿海地区由于受三大水系的影响, 近代海积软土层分布十分广泛, 大陆周边海域地质基本呈现近代海相沉积型的特点. 近代海相沉积主要由淤泥和淤泥质粘性土组成, 由于其物性和结构的特殊性, 表现出低强度、高压缩性等力学特性. 研究表明, 近海软土层不仅具有上述物理力学特性, 还具有明显的饱和软粘土流变特性, 成为近代海相沉积型海域大桥施工的难点, 受到桥梁工程界的广泛关注^[1].

笔者以平潭海峡大桥工程为例, 探讨近代海相沉积型海域大桥施工中的关键技术, 为今后类似跨海大桥的建设施工提供参考.

1 桥梁施工条件

平潭海峡大桥全长 3 504 m, 双孔单向通航设置于主桥的 43[#]~45[#]墩间, 单孔通航净空为 123 m×38 m. 桥跨布置为 100 m+2×180 m+100 m, 上部结构采用变截面预应力混凝土连续钢构箱梁, 下部结构采用钻孔桩基础. 通航主桥西侧部分为西引桥, 全长 2 090 m; 主桥东侧部分为东引桥, 全长 840 m. 东、西引桥上部结构均为等截面预应力混凝土连续箱梁结构, 下部结构为现浇墩身, 带圆端的矩形承台, 钻孔灌注桩为其基础.

1.1 地质条件

平潭海峡大桥位于福建东南沿海丘陵地貌区,

横跨的海坛海峡属近代海相沉积型海域, 海底沉积有很厚的近代海积层, 海底高程一般为 -5.33~-30.49 m. 在北青屿东侧、娘宫岸边以及主航道处存在较深海槽地形, 整个海底地势呈现“W”型.

地质构造单元为闽东南沿海变质带. 桥位区的地质构造主要受区域性长乐至南澳深大断裂控制, 桥位区范围内构造形迹见挤压带、裂隙带以及小型脉岩构造破碎带. 整个建桥区域上部海积层主要为粉砂、含砂淤泥、含淤泥砂、粉砂、中粗砂、亚粘土和粘土等; 基岩面起伏较大, 岩性为凝灰熔岩, 强风化层较厚, 约为 9.0~25.0 m.

1.2 工程特点

地质条件较复杂, 各土层物理力学性质和厚度变化均较大, 主桥区段软土层分布厚. 引桥部分区段基岩强风化层直接裸露, 下部微风化凝灰熔岩大面积发育, 岩性坚硬、完整, 并夹有孤石分布, 给栈桥和钻孔施工平台搭设造成较大困难.

1[#]桥墩表层岩层突兀, 部分处于潮差区无覆盖层, 桥墩栈桥和施工平台搭设按常规施工方法较为困难, 对施工技术有较高要求. 15[#]墩附近地质情况非常特殊, 最大水深超过 32 m. 覆盖层浅, 只有 1 m 多厚, 下部为碎块状凝灰熔岩以及弱风化凝灰岩, 岩面倾斜角度近 20°, 钻孔桩施工平台的钢管桩以及钢护筒等均无法直接打入并稳固. 采用深水浅覆盖层桩基施工技术就是为解决这一施工难

题而创新出来的。

桥址区所处环境恶劣,水下和土中区属于腐蚀严重的 D 类环境,水面以上 15 m 范围内属于很严重和极端严重的 E 类和 F 类环境,对结构腐蚀作用明显。对钢结构(尤其是施工栈桥)的结构耐久性设计要求严格。

2 施工测量控制技术

由于工程线路较长,在施工中主要采用 GPS 施工测量控制技术,进行施工测量放样、定位及施工测量控制,以满足测量精度及施工质量要求。

施工平台、栈桥支撑桩采用打桩船利用 GPS-RTK 定位的方法进行沉桩。GPS-RTK 定位精度(平面位置和高程)已达到厘米级,可以满足沉桩精度要求^[2]。并且,利用 GPS-RTK 定位技术进行沉桩定位测量具有定位方便、速度快的特点,可实时提供放样点的三维坐标且不受天气影响,可全天候作业,在条件复杂的水域作业优点突出。

钢护筒施工方法采用推进法进行施工,现场必须对每个护筒进行单根定位。为保证护筒放样精度,需在每个墩平台或栈桥上加密至少 2 点,以便设站和后视。加密点的平面位置测设采用 GPS-RTK 模式进行;加密点的高程测设用 GPS 高程拟合方法^[3]。

加密点测设完毕后,用全站仪三维坐标法进行钢护筒放样定位。先在钢护筒定位架的搁置梁上放出定位架的安装线;定位架安装固定完毕后,再在定位架上放出要沉放的钢护筒设计纵横轴线并测出高程,以控制钢护筒的平面位置和顶标高。沉放时,在 2 个互相垂直的测站上布设 2 台经纬仪,控制钢护筒的垂直度,并监控其下沉。

3 通航主桥施工关键技术

通航孔主桥为连续刚构桥梁,5 个桥墩基础均采用钻孔灌注桩。主桥桩基础强风化层以上部分直径采用 2.8 m,强风化层及强风化层以下部分桩基直径采用 2.5 m。因此,水下钻孔灌注桩施工是其难点。

3.1 分项施工工序

首先进行钢护筒沉放,钢护筒沉放采用打桩船进行;钢护筒全部下沉到位后,利用钢管平联将

钢护筒连接成整体,安装平联及支撑梁系,形成钻孔平台。主墩布置 4~5 台钻机、边墩布置 4 台钻机进行施工。

主墩、边墩承台封底施工均利用低潮位进行干封底施工。主墩、边墩承台为大体积混凝土,分二层浇筑完成。采取埋设冷却水管以降低混凝土内部的水化热温升、埋设测温元件对混凝土内部温升进行监控。主墩、边墩墩身均采用翻模施工。主桥基础及下部结构分项工程的施工顺序如图 1 所示。

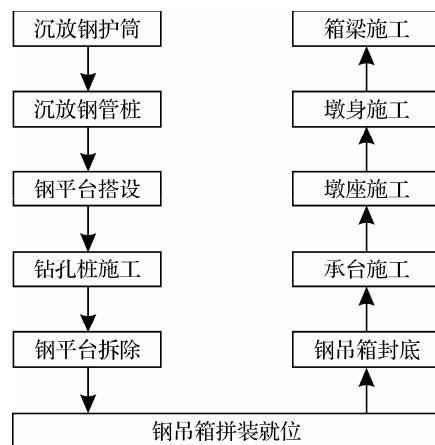


图 1 分项工程的施工顺序

3.2 钻孔桩施工

主墩、边墩基础采用 $\Phi 2.8\text{ m} \sim \Phi 2.5\text{ m}$ 变截面钻孔灌注桩。主墩 43[#]、44[#]、45[#]墩各有钻孔桩 22 根,桩底标高分别为 -81.42 m、-74.92 m、-76.92 m,边墩 42[#]、46[#]墩各有钻孔桩 15 根,桩底标高分别为 -74.92 m、-66.92 m。共计钻孔桩 96 根。

由于桥位区地质条件较复杂,各土层物理性质和厚度变化均较大,软土层分布较厚,水下混凝土灌注是一个难点,其中主墩钻孔桩混凝土理论最大方量为 43[#]墩,即其方量为 472.8 m³。桩身混凝土设计标号 C35,设计采用海工耐久性混凝土配合比,并通过实验试配确定最终配比。由于采用混凝土在水上搅拌站上搅拌,泵送至前场的施工工艺,而水下混凝土浇筑导管采用 $\Phi 325\text{ mm}$ 快速接头导管,因此施工前必须做水密及接头抗拉试验(图 2)。

混凝土浇筑采用拔塞法和隔水球相结合的工艺,混凝土经泵送,通过大集料斗(12 m³)、浇筑小料斗及导管灌注至水下,直至完成整根桩的浇筑。钻孔桩混凝土浇筑如图 3 所示。需要注意的是,在混凝土浇筑时,保持护筒内泥浆面高于水位 2 m。

混凝土灌注过程中, 应实时测量混凝土面的高度, 导管埋深严格控制在 2~6 m 范围内。

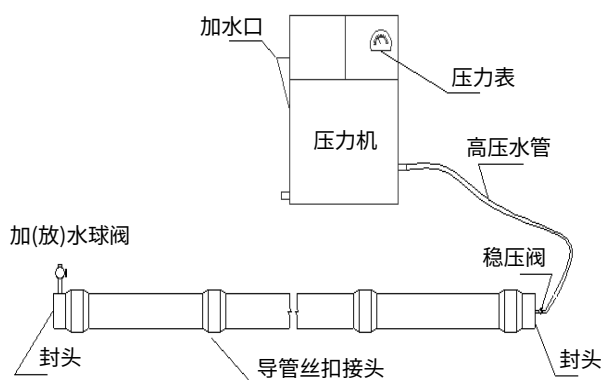


图2 导管水密试验

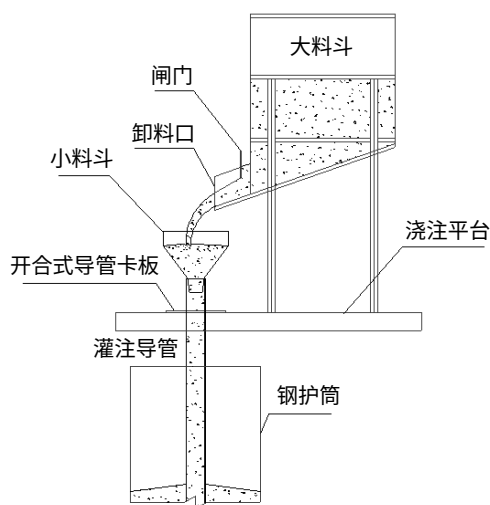


图3 钻孔桩混凝土浇注

3.3 故障处理及预防措施

在钻孔桩施工时经常会出现漏浆、掉钻和卡锤等故障, 因此及时处理和积极预防是其关键^[4]。

开钻前需准备足够的锯末和粘土等堵漏材料, 当发生轻微漏浆时, 可向孔内加入膨润土; 若漏浆不能止住可再向孔内加入锯末, 循环堵漏。当发生严重漏浆时, 应立即提出钻头, 并向孔内加入 1.0~2.0 m 的粘土, 同时向孔内加泥浆, 保证孔内水头高度, 再向孔内加入 1 m 左右的片石, 重新冲击, 将粘土挤到缝隙内堵漏。

应事先在冲锤顶部 1/3 位置穿好打捞绳, 当因故障掉钻时, 可以利用钻机或吊机打捞钻具, 同时进行泥浆循环, 防止钻渣埋钻, 必要时进行水下爆破, 使冲锤松动后提出。

由于桥位地质微风化岩层较厚, 岩石不易大

块破碎, 钻孔扩孔系数较小, 同时反循环钻机的钻头在孔底为被动转向, 因此反循环钻机的钻头在成孔过程中可能发生卡锤现象。为防止卡锤, 钻头底部合金块应加密, 并伸出钻头护圈 1~2 cm, 护圈和肋板顶部做成倾斜的倒角。当发生卡锤时, 保持泥浆循环, 用千斤顶进行顶升排除故障。

4 栈桥施工关键技术

4.1 栈桥结构布置

大桥施工栈桥建在桥南侧, 与桥轴线之间的距离为 16.9 m。0[#]台~15[#]墩之间搭设栈桥, 栈桥总长 750 m。栈桥桥面宽 6 m, 设计顶标高+6.5 m, 栈桥两侧设栏杆。16[#]~41[#]、47[#]~61[#]墩之间不搭设栈桥, 利用原有栈桥进行施工, 在钻孔平台与老栈桥之间搭设连接通道, 连接通道采用桁架结构形式, 桁架长约 50 m、宽 2 m、高 2~2.5 m, 采用分节段进行加工, 现场进行拼装成整体。

4.2 栈桥桩基础分类

栈桥按照各墩位地质情况, 可分为四大类:

A、11[#]、62[#]、桥台属于陆地施工;

B、1[#]、2[#]、10[#]、12[#]、60[#]、61[#]属于无覆盖层裸露岩石基础;

C、15[#]属于浅覆盖层的岩石基础;

D、其他墩位的地质条件可采用常规施工工艺进行。

4.3 栈桥桩施工特点

对于第 A 类区域, 由于其地面标高在 18.70~22.37 m 之间, 高出栈桥顶标高+6.5 m, 则此区域栈桥施工需局部开挖, 部分区段需填土整平, 满足栈桥宽度 7.0 m 要求。

对于第 B 类区域, 由于其基本无覆盖层, 且处于潮差区, 栈桥桩施工采用低潮位施工。首先将裸露岩面作适当清理, 然后用 C20 混凝土做 50 cm 找平层, 作为支墩基础; 之后在上面浆砌片石, 浆砌片石每 2~3 层砌块组成一个工作层, 用水泥砂浆找平, 顶层 50 cm 范围内直接支模浇筑 C20 砼, 并埋好固定纵向贝雷片预埋件; 最后用 50 吨履带吊逐片安装贝雷片, 之后安装各辅助连接杆件。

对于第 C 类区域, 即 15[#]墩位具有一定的浅覆盖层, 但又不能满足钢管桩的嵌固要求, 可采用海上施工平台冲孔成桩工艺。

对于第 D 类区域, 其他各墩水位相对较深, 且具有一定的覆盖层, 能够满足钢管桩的嵌固要求. 浅水区域采用“钓鱼法”使用履带吊结合打桩锤施打栈桥钢管桩, 深水区域使用打桩船施工.

5 栈桥防腐加固及有限元数值模拟

平潭海峡大桥的栈桥区域地质结构复杂, 风力、波浪、潮流等环境荷载具有较大的随机性且强度大, 水流冲刷严重. 在如此恶劣的环境中修建施工栈桥, 可供借鉴和参考的现成案例较少. 同时, 栈桥防腐和强度计算等方面在桥梁规范中也找不到相应的规定. 因此, 有关栈桥安全的关键性因素研究就显得非常重要.

5.1 栈桥防腐加固

栈桥在海洋环境长时间的腐蚀作用下, 部分栈桥锈蚀会非常严重^[5], 海坛海峡(平潭海峡大桥所处的海域)尤其严重, 为保证施工过程中栈桥的使用安全, 采用独特的处理栈桥防腐措施(图 4).



图 4 栈桥防腐及加固

虽然栈桥贝雷片进行 3 年防腐处理, 但施工期间部分结构锈蚀依然会很严重, 除更换贝雷片、变形的面板和分配梁外, 还需定期进行表面除锈清

理, 除锈的等级应符合标准规定的要求. 除锈后的表面应该是无明显锈斑, 且表面应干燥, 无油污, 无氧化皮, 无锈迹斑.

在钢结构表面涂覆 SIGMACOVER 380 高固态环氧漆耐腐蚀环氧树脂涂料是一种非常有效的方法. 在钢结构表面严重腐蚀的环境中, 对钢材表面处理后的清洁度很难达到理想状态, 而一般的涂料很难适应这样的环境, 因此必须采用双组份高固态聚酰胺固化环氧底面漆.

刷漆油漆厚度控制: 底漆 200 μm ; 面漆 50 μm , 总厚度 250 μm .

损伤修补措施: 补修时, 现场外部涂层应当制作完好, 不允许露铁, 不管是何原因造成的损伤, 都必须用沙皮打磨平后, 进行毛刷刷刷修补处理, 均需达到规定要求.

5.2 栈桥连接通道有限元计算

栈桥连接通道为以后施工电缆、混凝土泵管、人群荷载的重要通道. 具体荷载取值如下: 施工电缆及混凝土泵管: $1.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$, 人群及其他: $3.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$. 材料规格如下: 上弦杆: $2 \angle 10$, 下弦杆: $2 \angle 10$, 竖杆、斜杆、横向连接杆: $2 \angle 5$, 全部采用 Q235 钢材加工制作, 采用通用有限元结构与分析软件 MIDAS 进行计算^[6], 具体结果如图 5~7 所示, 斜杆、竖杆最大应力: 126 MPa, 弦杆最大应力: 153 MPa, 最大位移: 5.4 cm, 满足要求.

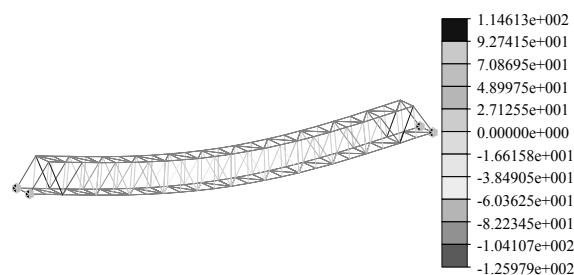


图 5 组合作用下竖杆斜杆最大应力图

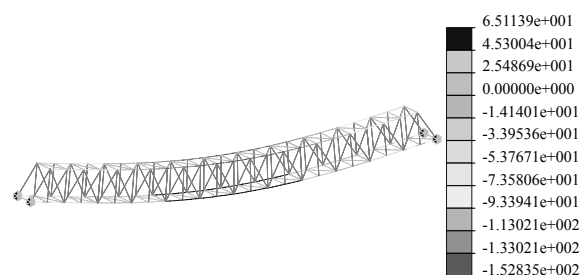


图 6 组合作用下弦杆最大应力图

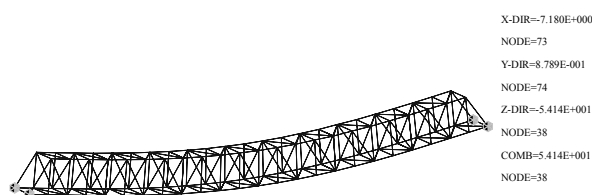


图 7 组合作用下最大位移图

6 总结

近代海相沉积的软土具有非线性蠕变的特点,是我国沿海地区分布最广泛的地质状况。研究该地质条件下建设跨海大桥的关键技术,有其理论和现实意义。通过平潭海峡大桥施工实践,总结其关键技术主要包括如下几个方面:

(1) 由于跨海大桥一般跨度大,线路长,建议采用 GPS 施工测量控制技术和全站仪三维坐标法复合测量定位技术。同时,高程测量采用加密点的 GPS 高程拟合方法。

(2) 针对土层物理性质、厚度变化较大和软土层分布较厚的特点,水下混凝土灌注是其关键之

一。宜对混凝土浇筑采用拔塞法和隔水球相结合的工艺。并且,必须进行输送管道的水密及接头抗拉试验,以便保证施工的连续性和混凝土质量。

(3) 沿海地区具有强侵蚀和风力大等恶劣环境条件,栈桥耐久性防腐设计和强度计算必须留有足够的余量,以适应桥梁施工周期长的特点,保证施工的安全。

参考文献:

- [1] 王常明,王清,张淑华. 滨海软土蠕变特性及蠕变模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(2):227-230.
- [2] 袁立. 复杂桥梁群施工测量技术实践[J]. 铁道建筑技术, 2012(2):68-72.
- [3] 朱为纲,李全文. 桥梁高程施工测量技术研究[J]. 公路交通科技, 2011(4):189-190.
- [4] 张召. 钻孔灌注桩施工中的断桩防治[J]. 中国公路, 2012, 16:155-156.
- [5] 李明刚. 钢结构栈桥的防腐设计[J]. 钢结构, 2010(2): 72-76.
- [6] 蒋涛,曹峰铭. 基于 Midas 的桥梁加固模拟分析[J]. 企业技术开发, 2010, 29(5):15-18

Key Technology on Cross-sea Bridge Construction for Modern Marine Sedimentary Environment: Research

WENG Wei-jun

(Pingtan Strait Bridge Company Limited, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Modern marine sediment manifests the typical geological condition in China's coastal lines. Due to the special structure and the complicated mechanical properties of the sediment, the corresponding methods must be adopted in the bridge construction. Considering the measurement and control technologies in constructing cross-sea bridges, pier pile, trestle bridge and its life-span, the updated technologies of cross-sea bridge construction for modern marine sedimentary environments are investigated, and have been applied in the construction of the Pingtan Strait Bridge.

Key words: modern marine sediments; bridge; key construction technology

(责任编辑 章践立)