

# 海上复杂地质条件下大直径嵌岩钻孔灌注桩 施工技术研究

袁锡权

中交二航局第二工程有限公司, 重庆 401121

**摘要:** 随着海上工程的快速发展, 对海上大直径嵌岩钻孔灌注桩施工技术提出了更高的要求, 尤其是在复杂地质条件下及特殊海上施工环境下。本文依托特大桥工程, 以主桥桩基施工工艺为例, 通过对依托工程施工环节的深入分析和实践总结, 详细介绍海上复杂地质条件下大直径钻孔灌注桩施工成孔技术, 为类似工程提供参考。

**关键词:** 跨海大桥; 复杂地质条件; 大直径桩基; 嵌岩钻孔灌注桩

## Research on the Construction Technology of Large-Diameter Rock-Socketed Bored Piles under Offshore Complex Geological Conditions

Yuan Xiquan

China Communications 2Nd Navigational Bureau 2Nd Engineering Co., LTD. Chongqing 401121

**Abstract:** With the rapid development of offshore engineering, higher demands have been placed on the construction technology of large-diameter rock-socketed bored piles, particularly in complex geological conditions and special offshore construction environments. This paper takes the Grand Bridge project as a case study, focusing on the construction technology of the main pier pile foundation. Through an in-depth analysis of existing technologies and a summary of engineering practices, it provides a detailed introduction to the drilling technology of large-diameter bored piles in offshore complex geological conditions, offering valuable references for similar projects.

**Keywords:** cross-sea bridge; complex geological conditions; large-diameter pile foundation; rock-socketed bored pile

### 引言

大直径嵌岩钻孔灌注桩因其承载力高、稳定性好而被广泛应用于海上基础设施的桩基工程中<sup>[1-2]</sup>。随着海洋工程的快速发展, 对海上桩基施工技术提出了更高的要求<sup>[3]</sup>。特别是在复杂地质条件下, 如斜岩、破碎带岩层、闪长岩层等。同时海上施工环境的特殊自然条件的影响, 使得大直径嵌岩桩的施工技术面临诸多挑战。在海上复杂地质条件下, 钻孔灌注桩的施工不仅要考虑桩的垂直度和直径的精确控制, 更要确保桩底成孔质量。

本文以在建跨海大桥桩基施工工艺为例, 通过对现有技术的深入分析和工程实践的总结, 详细介绍海上复杂地质条件下大直径钻孔灌注桩成孔技术, 为类似工程提供参考。

### 一、工程概况

项目位于福建省福清兴化湾, 全长3920 m。大桥主桥主墩、过渡墩及引桥桩基共计340根, 全部为嵌岩桩, 除桥台8根桩基之外, 均为水上桩基。其中, 主桥墩桩基桩径3.0 m, 桩长53 m ~ 62 m, 需嵌入微风化岩层花岗闪长岩层2D。施工区域地土主要包括第四系堆积物和前第四系基岩。第四系堆积物主要有: 第四系全新统冲海积层(Q4al-m), 第四系残坡积层(Qel-dl), 局部零星分布有第四系人工堆积层(Q4ml); 岩性包括分布于冲海积层中的淤泥、淤泥质土、中细砂、粘土、粉质粘土、卵砾

石层等。前第四系地层出露岩体主要为燕山早期侵入的花岗闪长岩, 局部路段的花岗岩球状风化较为发育。

大桥桩基建设过程中面临着施工工期紧张、环境恶劣、地质条件复杂、施工难度大以及质量要求严格等工程难点。主要包括如下:

表1 桩基施工主要难点

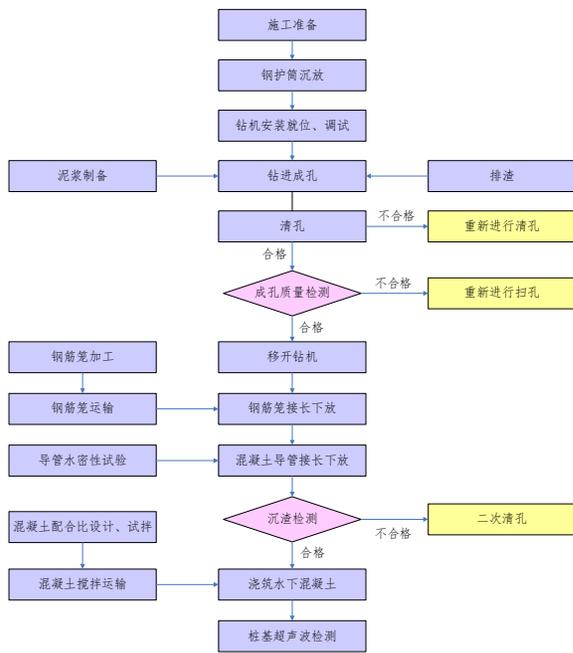
| 序号 | 工程难点描述                             |
|----|------------------------------------|
| 1  | 项目工期紧, 项目合同仅有24个月                  |
| 2  | 桩基几乎为全海上施工, 线路较长, 水上钢栈桥为进出作业区的唯一通道 |

作者简介: 袁锡权(1973.05-), 男, 重庆市, 汉族, 大学本科, 工程师, 研究方向: 桥梁工程。

| 序号 | 工程难点描述   |
|----|--|
| 2  | 场区面临灾害性台风天气，年平均受台风影响3.5次   |
| 3  | 地层变化复杂，基岩起伏大，局部区域存在闪长岩、斜岩、孤石   |
| 4  | 桩基桩径大，最大设计桩径达3m，最大桩长62m；部分桩基无中风化岩层，需进入微风化，基岩强度高、岩层厚，设计最大入岩深度达40m，成孔效率低、难度大 |
| 5  | 钢筋笼最重达46.7t，对下放设备、施工平台以及吊具的设计等要求较大，且下放时间较长，对桩基的清孔和沉渣厚度的控制影响较大              |

## 二、施工工艺流程

根据桩基施工区域的实际地质情况，项主桥主墩桩基选用CK-3000型冲击钻，正循环成孔工艺组织施工。其主要施工工艺流程如下：



> 图1 钻孔桩施工工艺流程图

## 三、复杂地质条件下大直径桩基成孔技术

针对桥梁桩基施工面临的主要难点，尤其是面对需在较短工期内完成项目全部施工任务的挑战，项目制定以下控制目标：

- (1) 桩基成桩质量一次合格率100%；
- (2) 关键线路上的主墩3m大直径桩基单桩平均成桩时间不超过25天。

按照以上总体控制目标，结合项目施工区花岗闪长岩具有强度大，岩样呈颗粒状、白色晶莹剔透，易沉淀等特点，前期试桩无损化检测发现有沉渣超标情形（须通过取芯验证合格后方可后续工序施工），项目主要从桩底沉渣、桩径缩孔以及斜岩条件下成孔控制几方面进行了深入研究。

### (一) 桩底沉渣控制

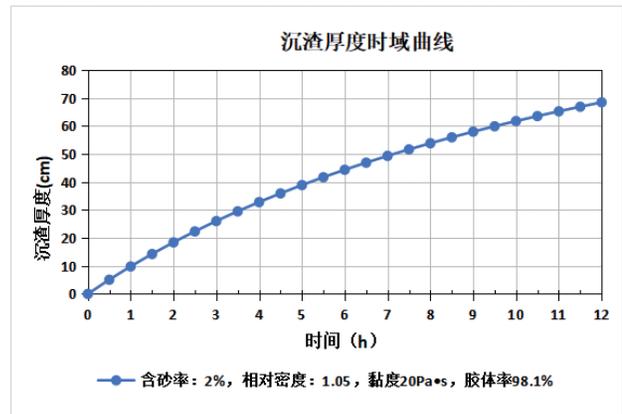
按照规范及设计要求，桩基清孔后泥浆各项指标要求如下：

相对密度： $< 1.05$ （大直径、超长桩）、黏度： $17\sim 20\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、含砂率： $< 2\%$ 、胶体率： $> 98\%$ 、沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$ （支承桩规范值）、沉渣厚度 $\leq 30\text{mm}$ （支承桩设计值）。

桩基施工采用膨润土和淡水制浆，浆液泥水配合比按照经验参数125:1000控制，桩顶标高至护筒顶标高考虑长度为6.5m，泥浆相对密度按照1.05计算，则不考虑护筒段扩大体积的情形下，单根60m长3.0m直径桩基所需膨润土量为：

$$3.14 \times 1.5^2 \times (60+6.5) \times 1.05 \times 125/1125=55\text{t}$$

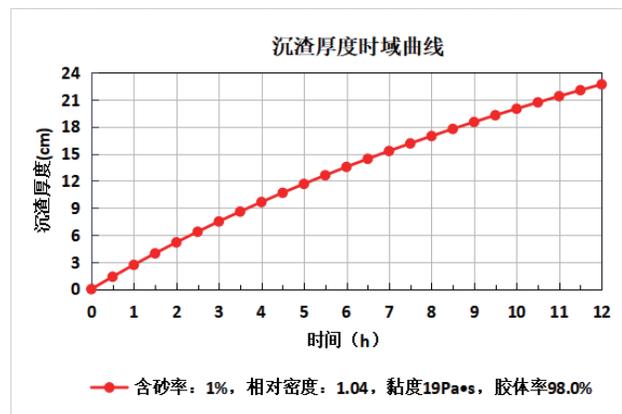
为进一步确定二次清孔后桩基沉渣速度，量化二次清孔后至桩基浇筑混凝土两道工序之间的时间间隔控制指标，项目在首根桩基二次清孔指标完全达到规范要求的情形后，每隔半小时进行了沉渣厚度实测，并绘制了沉渣厚度曲线图。



> 图3 沉渣厚度曲线图（一）

根据曲线图统计数值，在二次清孔完成后（含砂率：2%，相对密度：1.05，黏度 $20\text{Pa}\cdot\text{s}$ ，胶体率98.1%），沉渣厚度达到50mm的对应时间为0.5h，而二次清孔完成后至桩基混凝土浇筑前的准备工作时间至少需要0.5~0.75h，因此在此条件下，3.0m大直径桩基沉渣厚度无法控制到设计要求的30mm以内。

经过分析，现场对桩基二次清孔后泥浆指标进行了优化调整，在保持其它指标不变的前提下，将含砂率标准调整为不大于1%。然后再次间隔半小时进行沉渣厚度实测，并绘制了新的沉渣厚度曲线图。



> 图3 沉渣厚度曲线图（二）

根据曲线图统计数值，二次清孔完成后0.5h，沉渣厚度降低至14mm；完成后1h对应沉渣厚度为26mm。根据论证结果，为确保桩基的桩底质量，项目针对性的提出了“一小时封底”的成

桩方案,即通过现场提前组织调配设备及混凝土材料等资源,在结束二次清孔后一小时内,完成桩基的封底施工,最大限度减少桩底的沉渣厚度,保证桩基的整体成桩质量。

### (二) 桩径缩孔控制

场区内地层中存在砂土状强风化花岗闪长岩遇水易崩解,含砂量较大,桩基易缩孔的问题。因此在钻进过程中,为防止埋钻,无法提锤,项目针对性提出加大施工过程中提锤扫孔的频次的要求,在对应地层范围内每个工作台班至少保证提锤扫孔不少于两次,直到穿过砂土状强风化花岗闪长岩层后形成稳定泥浆护壁。

### (三) 斜岩条件成孔控制

按照设计地质钻勘图,施工区大部分区域均存在斜岩,主要集中在碎块状强风化花岗闪长岩和中风化花岗闪长岩两种岩层中。为避免在冲击钻钻孔过程中,因斜岩地质影响,冲击钻自由冲击到强弱风化交接层时,由于交接层面处的延迟  $R_c$  不同,导致冲击锤偏向施工面破坏程度大的一方,产生偏孔的现象。特制定如下措施:

(1) 提前分析地质钻勘资料,根据钻勘资料判断钻进施工时桩基可能发生偏位的地层,并确定相关地层的桩孔深度范围;

(2) 进入预判的斜岩地层前,提前调整钻机,使冲击钻钻头

偏向孔位可能偏移的反向侧;

(3) 当钻头进入斜岩区岩层后,减小钻进冲程,采用低锤密击的方式进行钻进,减少冲击偏向作用;增大清渣频次,保证钻头每次均能作用在新鲜岩面上;同时更换或加焊刚度较大的锤牙,增强冲进效果;

(4) 当偏孔较明显时,回填片石,将桩孔内上表面垫平,增加偏孔侧岩层的物理特性,强行对偏孔段进行纠偏;然后再降低冲程继续钻进,并安排专人时刻观察钢丝绳晃动情况,及时修正,防止再次斜孔。

## 四、结论

桩基础作为水下隐蔽工程,是桥梁工程施工顺利的重要保障。通过上述技术措施,同时结合“项目经理或总工亲自把关关键工序的提级管理”“配置双技术员复核”等一系列管理措施,项目桩基施工过程管控得以全面提升,高质量高效率完成340根桩基施工,除前期试桩之外,经专业机构检测,其余均为 I 类桩。本文依托实际工程的难点处理,总结了海上复杂地质条件下大直径钻孔灌注桩成孔技术工艺,期待能为类似复杂地质条件下大直径钻孔灌注桩施工提供参考。

## 参考文献

- [1] Liu M W, Wu F Y, Abi E D, et al. Experimental Study on the Bearing Performance of Rock-Socketed Concrete-Filled Steel Tube Piles under Horizontal Cyclic Loading [J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2023, 11(4), 788.
- [2] Wang X L, Fan F F, Lai J X. Strength behavior of circular concrete-filled steel tube stub columns under axial compression: A review. [J] Constr. Build. Mater. 2022, 322, 126144.
- [3] 吴泽生,姚红梅.舟山连岛工程金塘大桥主通航孔桥海上桩基施工[J].铁道建筑,2007,(01):29-32.