

## 中化泉州码头大直径灌注桩 施工质量控制技术

陈光垣, 杨志文

(中交第四航务工程局有限公司福州分公司, 福建福州 350003)

**摘要:** 中化泉州码头采用直径为2.2 m和2.6 m的灌注桩作为基桩, 由于大直径灌注桩在水运工程中比较少见, 其清渣、混凝土浇筑等施工中的质量控制比较复杂, 在施工前期产生了桩底盆形沉渣和桩间夹渣的异常情况。通过现场分析, 清孔后泥浆中含砂率的大小直接影响着沉渣厚度。总结水运工程中常规灌注桩施工质量控制技术, 提出更严格标准以满足大直径灌注桩施工质量要求。在施工中采用气举反循环并结合泥浆净化装置进行清渣, 与传统正循环清孔相比, 其质量和效率得到了显著改善。该套设备可使泥浆中的含砂率由常规要求的4%~6%有效降低至2%以下有效, 灌注桩桩身完整性得到了进一步保证, 施工质量很好地满足了规范要求。

**关键词:** 大直径; 灌注桩; 施工质量; 盆形沉渣; 泥浆净化装置

中图分类号: TU 473.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0208-05

### Quality control technology of large-diameter bored pile for Sinochem Quanzhou port

CHEN Guang-yuan, YANG Zhi-wen

(Fuzhou Filiale of CCC Fourth Harbor Engineering Bureau Co., Ltd., Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** In the Sinochem Quanzhou docks with diameter of 2.2 m and 2.6 m bored pile as the foundation, since the large-diameter bored pile in port & waterway engineering is relatively rare, the quality control of slag cleaning and concrete construction is more complex, and abnormal circumstances of basin-shaped sediment and local middle sediment occur in the early construction. The on-site analysis shows that the sand rate of the mud after slag cleaning influences directly the sediment thickness. This paper summarizes the conventional quality control technology of bored pile construction in the port & waterway engineering and puts forward more strict standards to meet the requirements of large-diameter bored pile construction quality. Adopting air lift reverse circulation combined with mud purification device, we improve significantly the quality and efficiency of slag cleaning. The device effectively reduces the sand rate of the mud from the conventional 4% ~ 6% down to less than 2%, and the bored pile integrity is further assured, so the construction quality meets the requirements of specification.

**Key words:** large-diameter; bored pile; quality control; basin-shaped sediment; mud purification device

在多数的水运工程中常采用灌注(嵌岩)桩作为码头或桥梁桩基基础, 其桩径一般在1.5 m以下, 水运工程相关施工规范对其质量控制有着明确的规定。对于2.0 m以上的大直径灌注桩而言, 由于桩径的变大, 施工过程中相关质量控制指标需进一

步探讨, 成套的施工质量控制技术需完善。

中化泉州青兰山码头位于福建湄洲湾湾内南岸的青兰山与黄干岛之间水域, 建设1万~10万吨级不等的码头共4座, 码头总岸线长度为1 150 m, 结构采用高桩梁板结构, 基桩(嵌岩桩、灌注

收稿日期: 2012-02-21

作者简介: 陈光垣(1980—), 男, 工程师, 从事港口航道工程。

桩)总数量为253根,混凝土强度等级均为C30,各种桩型的数量见表1。

表1 嵌岩桩、灌注桩数量及型号

桩径/m	数量	最大桩长/m	类型	成孔要求
2.6	12	56	嵌岩桩	要求进入中风化层,一般不小于7.5 m
2.6	20	52	灌注桩	
2.2	4	44	嵌岩桩	嵌岩桩要求进入中风化层,一般不小于6 m
2.2	66	55	灌注桩	
1.8	58	42	嵌岩桩	嵌岩桩要求进入中风化层,一般不小于5 m,嵌岩段直径1.6 m (当中风化起始岩面确认高程低于-34 m时,嵌岩深度取2 m)
1.8	78	53	灌注桩	
1.6	15	46	灌注桩	

## 1 施工过程质量控制技术

### 1.1 施工前的质量控制

工程开工前,认真做好施工方案和质量检验试验计划的编制,落实人材机,对施工人员进行交底。施工准备完成后进行开工报审。

开孔前进行钢护筒沉桩质量检查验收,测量接高或切割后的钢护筒顶高程,作为施工过程中高程计算起始面;同时熟悉该桩位钢护筒沉桩记录,包括桩长、桩尖高程、沉桩过程是否有异常情况。

### 1.2 冲孔过程中的质量控制

#### 1.2.1 冲孔桩机就位

大直径灌注桩选用YKC-12.5型冲击钻机,配以质量为10 t的冲锤进行成孔施工。桩机在平台上组装定位,方木需垫平,防止桩机在方木上滚动移位。冲锤中心线与桩位中心重合,方可开始冲孔,偏差要满足施工规范要求。

#### 1.2.2 冲孔

冲孔施工是靠冲锤自由落体的冲击作用,所以不同的地质应采取不同的冲程高度,一般的泥土层控制在2~3 m,岩石层控制在2 m,避免过高冲程造成冲锤破裂、损坏冲锤的可能。当冲击表面为倾斜岩面或有漂石时,采用回填块石垫平后再冲击成孔。

冲孔过程连续进行,遇到特殊情况停止时应提升冲锤,且应继续采用泥浆正循环等措施以保持孔壁稳定。出现如塌孔、进尺异常等问题时,应仔细观察分析,查明原因和位置,及时与监

理、设计单位取得联系,采用相应的对策。

在冲孔过程中经常检查桩锤、钢丝绳的磨损情况并及时检修,检查桩锤垂直度,如发现偏移中心位置及时调整。

冲孔时必须对泥浆的性能、指标进行全面了解,配置出质量好的泥浆。在不同的地质也要采取不同的泥浆相对密度:在黏土层冲孔时,要不断地加入清水,泥浆相对密度控制在1.20~1.25;在石层冲孔时,泥浆相对密度要大些,一般控制在1.30~1.35;当终孔清孔时,要把泥浆相对密度逐步地降低,控制在规范要求的1.1~1.2,既能保证孔底不沉渣,又能保证混凝土的浇注质量。

冲孔过程做好施工记录,岩样确定按地勘要求进行判定,现场岩样判定表由施工、监理、地勘三方确认,施工过程出现异常情况及时与设计单位联系,确定终孔高程。冲孔达到岩面时,捞渣取岩样由监理工程师见证共同确定基岩面,然后继续冲孔至设计高程,在嵌岩冲孔过程每进冲孔深1 m应至少取岩样1次,并做好岩样记录,冲孔嵌岩深度达到设计要求入岩深度时,经监理工程师验收符合要求后,立即进行清孔。

群桩同时冲孔时,相邻桩保持一定间隔。当已浇筑灌注桩强度未达到5 MPa时,要求在相邻桩位停止冲孔,一般间隔1 d后冲孔。

#### 1.2.3 清孔

工程中常采用正循环泥浆悬浮排渣清孔,清孔分2次。第一次清孔是在安装钢筋笼之前进行的。施工时要严格控制第一次清孔的质量,不因

为有第二次清孔而忽视第一次清孔的重要性,第一次清孔的冲力(吸力)大,清孔能力强,可以把绝大部分沉渣,包括较大的泥块都返出孔外;第二次清孔是利用浇筑混凝土的导管进行,冲力(吸力)要小得多,不能承担主要的清孔责任,因而第一次清孔一定应达到返出的泥浆中不含有大的泥块为止。

第二次清孔是在下完钢筋笼和导管以后利用导管进行的清孔,目的是清除这段时间里从泥浆中沉淀到孔底或是被钢筋笼撞到下去的泥块沉渣,清孔完毕后,应从孔底取出泥浆样品,进行性能指标试验,必须全部符合设计和规范要求后才能灌注混凝土,孔内泥浆的相对密度宜为1.10~1.20(根据实际施工情况,调节泥浆浓度),含砂率宜为4%~6%,黏度宜为20~22 s<sup>11</sup>,以保证水下混凝土的顺利灌注,同时保证成桩质量。通过清孔尽可能使沉渣全部清除,使混凝土与基岩接合完好,以提高桩底承载力,沉渣不得大于50 mm。

### 1.3 钢筋笼制作

进场的钢材必须出具合格证,同时还按现行钢筋检验标准取样试验,不符合质量要求的钢材严禁使用。在成孔过程中及时组织钢筋笼的加工制作,在加工过程中,注意覆盖,防止加工后淋雨产生锈斑。

钢筋笼在钢筋加工区采用分节制作,做好标志,钢筋笼的主筋间距、箍筋间距、钢筋笼直径及长度严格按照设计图纸要求加工,加工前准确计算钢筋笼的分节长度,并保证钢筋搭接长度。

钢筋笼的接头采用机械连接接头,接头错开35d,同一截面钢筋接头不得超过50%,接头质量按规范要求检验合格。同时声测管固定在笼的内部,桩底端口采用钢板焊接密封,接头必须密封且应保证其位置垂直,超声波检测管的最大抗压力和密封防漏压力大于5 MPa,以确保混凝土不会渗入管内而影响检测质量。

### 1.4 钢筋笼安装

钢筋笼制作验收完成后运至现场安装,在吊装过程中确保钢筋笼垂直不变形,放笼时对准桩

孔中心,速度要慢,并注意不能碰撞孔壁,防止将泥土等杂物带人孔内或引起坍孔。严禁强行下放钢筋笼,碰到异物时应将笼提出孔外,并重新检查分析孔内异物,排除障碍后方可放笼。分节钢筋笼接头经检验合格后方可下放,每隔1.5~2.0 m的断面上对称设置控制保护层厚度的圆形混凝土垫块。

钢筋笼安装完成后,用4根吊筋焊固于钢套管上,以防止钢筋笼上浮。安装结束后声测管顶口需密封,防止异物落入。

### 1.5 浇筑前的质量控制

浇筑前首先是对混凝土拌制原材料进行检查,特别是混凝土施工配合比的计算优化;其次是对各操作机械进行检查,保证其运转正常。

导管连接安放时需记录各节长度,便于浇筑过程中的长度计量。每节管应保持接口垂直,放管速度要慢,安放过程发现卡管时将管提拔一定高度后,左右旋转改变方向再往下沉放,完成最后一节管后将导管提高距孔底20~40 cm。首灌混凝土的数量应能满足导管初次埋置深度 $\geq 1.0$  m<sup>[2]</sup>,因此应准确计量导管上口漏斗的斗容量,容量不够的,应及时采取措施加以调整,保证首灌混凝土的冲击力和排淤能力;同时需检查漏斗底口的隔水设施是否完好可靠。二次清孔验收合格后,进行混凝土浇筑。

### 1.6 浇筑过程中的质量控制

钢筋笼安装及导管安放完成后再次检查孔内沉渣是否符合设计要求,若不符合要求则应再次清渣,直至孔底残渣验收合格后,方可进行混凝土浇筑。

浇筑前计算确定首灌漏斗容量,以确保第1罐混凝土冲出后导管埋深不少于1 m。混凝土开始浇筑时首批混凝土量的计算可参照以下公式:

$$V \geq \pi r_1^2 h_1 + \pi r_2^2 h_2 \rho_w / \rho_c \quad (1)$$

以最大桩径2.6 m为例,嵌岩段直径2.4 m,  $r_1=1.2$  m,首批混凝土灌注后顶面与孔底距离 $h_1=(0.5+1.0)$  m;首批混凝土顶面与泥浆顶面距离按51 m计,导管内直径为0.3 m,则 $h_2=51$  m,  $r_2=0.15$  m,泥浆密度 $\rho_w=1.1$  t/m<sup>3</sup>,混凝土密度

$\rho_c=2.4 \text{ t/m}^3$ ; 代入上式得 $8.4 \text{ m}^3$ 。采用 $11 \text{ m}^3$ 储料斗开盘, 同时地泵开始连续供应混凝土。

首灌混凝土采用拔塞式灌入, 活塞预先用钢丝绳悬吊在混凝土漏斗口, 当混凝土装满后, 拉升活塞, 混凝土即下沉至孔底, 排开泥浆, 埋住导管口。首批混凝土灌注后进行高程探测, 确保埋管深度。在施工中每浇筑完一车混凝土后要探测孔内混凝土顶面高程, 及时调整导管理深, 确保导管在混凝土中埋深控制在 $2.0 \sim 6.0 \text{ m}$ , 同时与实灌混凝土量的理论上升高度进行验证, 计算时应结合地质资料考虑必要的充盈量及扩孔、缩径等因素, 计算导管理深, 从而确定导管拆卸的节数, 防止导管拔出混凝土面而造成断桩。

灌注开始后, 必须保持连续性, 浇混凝土过程有专人指挥记录。中途停歇时间不宜超过 $30 \text{ min}$ , 防止混凝土在灌注期间中断造成导管内的高压气囊而堵管。当发生浇注中断时, 将孔内混凝土清除, 不得已采用接桩处理或二次浇筑应征设计单位同意。

控制最后一斗混凝土灌注量, 预留不少于 $1.0 \text{ m}$ 需凿除的浮浆残渣量。经凿除后的桩顶混凝土应有完整的桩形, 不得有浮浆、裂缝或夹渣。

## 2 异常桩成因分析

检测单位通过超声波结合钻孔取芯对本工程的灌注桩进行检验, 发现 $1.8 \text{ m}$ 灌注桩施工质量正常,  $2.2 \text{ m}$ 及 $2.6 \text{ m}$ 灌注桩出现异常情况, 异常桩主要是桩底局部沉渣过厚或桩间局部夹渣, 特别是桩底出现“盆型沉渣区”<sup>[3]</sup>。通过钻孔检测发现: 在桩中心处混凝土与原桩底岩石结合非常好, 但在声测管和桩周边时发现沉渣较厚, 桩底沉渣在四周形成“盆型沉渣区”, 如图1所示。

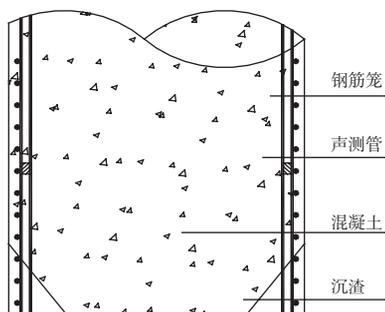


图1 盆型沉渣区

通过查看现场和业内资料, 对各施工工序流程进行剖析, 结合现场进行实测或试验数据比对, 发现该类异常桩存在如下共性的问题:

1) 该类桩多为桩径大的(大于 $50 \text{ m}$ )长灌注桩, 普遍处于1#引桥和泊位处, 地质资料显示该位置存在较厚的残积砂砾质黏性土和砂砾状强风化花岗岩, 导致成孔后该类桩内泥浆含砂率比其他区域大, 一般一次清孔后泥浆含砂率多达 $6\%$ 。现场试验表明: 泥浆中 $4\% \sim 6\%$ 含砂率的桩一次清孔后桩内泥浆停止循环 $1 \text{ h}$ , 造成桩底有 $0.3 \sim 1.0 \text{ m}$ 不等的沉渣。由于常规施工工艺所限, 灌注桩的清孔工作不能完全将沉渣清除, 采用导管法浇筑混凝土时, 在首灌混凝土的冲力下, 将桩底沉渣冲向四周, 造成“盆型沉渣区”。

2) 该类桩二次清孔泥浆降低相对密度时, 常采用清渣并在泥浆中加水, 造成泥浆黏度、胶体率等指标过低, 降低了泥浆的性能, 造成沉渣速率过快, 且本区域强风化岩遇水极易塌孔, 泥浆护壁不理想时易形成塌孔沉积物。

3) 在二次清孔各项指标符合规范要求后, 导管接储料斗和等待浇筑的时间约在 $0.5 \sim 1.0 \text{ h}$ 不等, 此期间未进行孔底沉渣的再次检验。

4) 大直径桩的浇筑时间较长, 一般在 $7 \sim 10 \text{ h}$ 不等, 首灌混凝土性能不佳时混凝土局部假凝, 造成此处混凝土无法向上顶升, 其表面沉渣被周边混凝土覆盖而造成桩中局部夹渣。

5) 当浇筑的混凝土性能差时容易形成顶升不均匀, 桩径较大时其桩内混凝土面更易形成一定的高差, 当中间埋管只有 $2 \text{ m}$ 时, 相对局部低洼处埋管就不足 $2 \text{ m}$ , 此时新浇筑混凝土易将低洼处的表层浮浆卷到混凝土中或直接覆盖, 从而造成桩间局部夹渣。

## 3 改进措施

1) 含砂率的高低直接影响着沉渣的数量, 因此需进一步降低一次清孔后的含砂率, 可减小桩底沉渣量。水运工程标准要求含砂率为 $4\% \sim 6\%$ , 而路桥工程的标准中大直径桩要求在 $2\%$ 以下<sup>[4]</sup>; 同时适当提高泥浆的相对密度、胶体率、黏度等

指标, 尽量减少泥浆停止循环后产生的沉渣。试验时泥浆选用约1%的含砂率、1.15~1.20的相对密度、黏度在20~22 s时, 泥浆停止循环1 h后, 孔底基本无沉渣; 泥浆停止循环12 h后, 孔底沉渣仅约为20 cm。

2) 大直径桩清渣量大, 同时桩长超过30 m时, 采用常规正循环难以满足该类桩的清孔要求, 清孔时间过长易给后期混凝土桩身带来质量隐患。因此该类桩采用气举反循环结合ZX-200型泥浆净化装置, 即隔砂机(图2)<sup>[5]</sup>进行强制清渣, 以加快清渣速度和质量, 特别是不会因长时间清孔而导致塌孔。该装置最大泥浆处理量达到200 m<sup>3</sup>/h, 施工中200 m<sup>3</sup>的桩内泥浆一般需净化6 h可满足2%以下的含砂率, 分离出来的泥浆为纯净不含渣质的高性能泥浆, 也加强了泥浆护壁的质量。

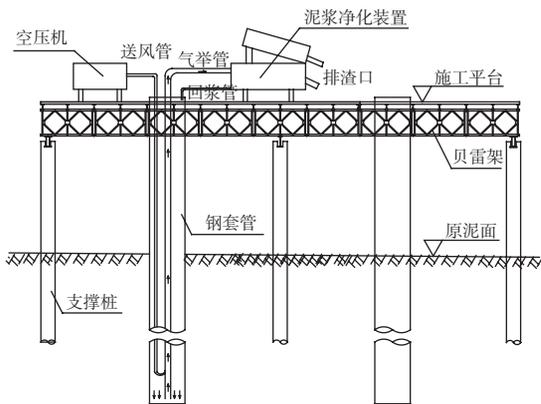


图2 泥浆净化装置清渣

3) 二次清孔验收合格后, 并且确认混凝土已经发出后, 才开始接储料斗, 以减少浇筑等待时间; 接完料斗正式开盘浇筑混凝土前, 再次测量孔深, 确保孔底沉渣满足要求后, 才可正式浇筑。

4) 混凝土严格按照要求配置, 首批混凝土适当增加缓凝型减水剂用量, 以保证其和易性、流动性, 使以后浇入的混凝土容易顶升, 且延长了首批混凝土的初凝时间, 要求不小于12 h。

5) 由于大直径桩一次浇筑量大, 过于频繁拆管不利于灌注连续性, 且埋管较浅容易造成其他质量问题。规范要求埋管深度控制在2~6 m, 实际施工时在混凝土和易性较好并满足浇筑能力

的情况下, 适当加大埋管深度。拆管时, 拆管长度采取孔深测量控制与理论计算控制相结合, 保证拆管后离最低混凝土面埋深不小于4 m, 控制在6~10 m为宜, 拆管完成后不得再提高导管。

#### 4 结语

检测单位对采用上述施工控制措施的102根灌注桩进行超声波检测, 共98根桩检测质量为I类桩, 其桩端质量及桩身完整性比前期明显提高, 桩体质量均满足设计规范要求。根据本工程现场施工控制情况, 分析总结以下关键控制措施, 以供类似工程的大直径灌注桩施工借鉴。

1) 水运工程中灌注桩混凝土浇筑前泥浆只检测含砂率、相对密度、黏度3个指标, 应根据路桥工程标准加测胶体率(要求>98%), 同时灌注桩浇筑前清孔后的含砂率指标应控制在2%以下<sup>[4]</sup>。

2) 大直径桩清渣量大, 同时桩长超过30 m时, 采用常规正循环难以满足该类桩的清孔要求, 清孔时间过长易给后期混凝土桩身带来质量隐患。因此该类桩采用气举反循环结合泥浆净化装置(隔砂机)进行强制清渣, 以加快清渣速度和质量。

3) 由于大直径桩一次浇筑量大, 过于频繁拆管不利于灌注连续性, 且埋管较浅容易造成其他质量问题, 实际施工时在混凝土和易性较好并满足浇筑能力的情况下, 适当加大埋管深度, 控制在6~10 m为宜。

#### 参考文献:

[1] JTJ 248—2001 港口工程灌注桩设计与施工规程[S].  
 [2] JTS 202—2011 水运工程混凝土施工规范[S].  
 [3] 徐维钧, 朱海涛, 尹海卿, 等. 桩基施工手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.  
 [4] JTJ 041—2000 公路桥涵施工技术规范[S].  
 [5] 何锦明, 吴卫敏, 吴木怀, 等. 北江特大桥主墩桩深水大直径超长桩施工技术总结[R]. 广州: 中交第四航务工程局有限公司, 2010.

(本文编辑 武亚庆)