

利比里亚某港口码头钻孔灌注桩设计及其施工技术

李可¹, 李开洋², 陈永前³, 李凤⁴

(1. 中交第二航务工程局第一分公司, 湖北武汉 430012; 2. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 3. 中国地震局地壳应力研究所(地壳动力学实验室), 北京 100085; 4. 河北省地震局, 河北石家庄 050021)

摘要:某码头改建工程位于利比里亚蒙罗维亚港内, 场地内淤泥、淤泥质粘土地层厚度大、压缩性高、触变性强。考虑场地地层条件、施工设备、项目工期以及工程造价后, 按规范对钻孔灌注桩进行设计, 同时根据场地条件及钻孔灌注桩特点制定了施工流程。对钻孔灌注桩施工中出现的问题, 如护筒冒水、卡钻、堵管等, 提出了相应的质量控制措施。

关键词:钻孔灌注桩; 港口码头; 设计施工; 质量控制

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2014)04-0067-04

Design and Construction Technology of Bored Pile in a Wharf in Republic of Liberia/LI Ke¹, LI Kai-yang², CHEN Yong-qian³, LI Feng⁴ (1. The Second Harbor Engineering Company, Wuhan Hubei 430012, China; 2. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Key laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China; 4. Hebei Euthquake Administratrion, Shijiazhuang Hebei 050021, China)

Abstract: A wharf reconstruction project lies in Monrovia, Republic of Liberia, where the silt and silt clay formations are thick with high compressibility and thixotropic. Considering the factors of stratum conditions, construction equipments, project period and project cost, the bored pile is designed according to the related standard and according to the site conditions and the characteristics of the bored grouting pile, and the construction process is formulated. The quality control measures are put forward for the problems of water oozing from casing, drilling tool sticking and grouting pipe blocking in bored grouting pile construction.

Key words: bored grouting pile; wharf; design and construction; quality control

钻孔灌注桩具有不受地域、地质条件、气候条件、地下水位的高低、桩径大小及桩身长度等条件的限制, 承载力高、费用低等优点, 且能够很好地将上部的荷载传到深层稳定的岩土层上, 从而减少基础的沉降和建筑物的不均匀沉降, 近年来被广泛用于高层建筑、重型厂房、桥梁港口、码头、水利工程中^[1,2]。

1 工程概况

某港口工程位于利比里亚首都蒙罗维亚布什罗德岛蒙罗维亚自由港内, 港区现状难以满足利比里亚战后重建的需要, 需要对码头进行改建。工程拟恢复和改造、加固现有码头, 利用其作为 5 万 t 级矿石出口码头和 2 万 t 级件杂、油码头, 新建相应的配套设施。考虑工程位于海边, 各方面条件复杂, 选用钻孔灌注桩作为施工方案。

2 工程地质条件

收稿日期: 2014-01-14; 修回日期: 2014-03-21

作者简介: 李可(1979-), 男(汉族), 湖北武汉人, 中交第二航务工程局第一分公司工程师, 港口及航道工程专业, 从事港口及航道工程方面工作, 湖北省武汉市解放大道 2643 号, kenny-like@sohu.com; 李开洋(1990-), 男(汉族), 广西柳州人, 中国地质大学(北京)硕士研究生在读, 地质工程专业, 从事工程地质方面研究工作, 北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学(北京)工程 S12 班, likaiyang1990@126.com

蒙罗维亚港位于两条河流入海口之间, 港口北侧防波堤以北约 2.5 km 为利比里亚最大的河流——圣保罗河(ST. PUAL)入海口, 港口南防波堤外侧为 Mesurado 河入海口。受沿岸输沙作用的影响, 南侧防波堤外侧根部已沿堤身形成大面积淤积沙滩, 堤内沙滩大面积出露。而北侧防波堤无沙滩淤积体形成。除南、北防波堤附近水域外, 码头、港池处水深均较深, 一般水深 > 10m。港区后方陆域地形平坦、绵延开阔, 微波起伏, 地势平缓, 属海岸平原地貌。码头周边环境如图 1 所示。

按照《港口岩土工程勘察规范》(JTS 133-1-2010)和《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001, 2009 年版), 本工程一共布置 17 个勘察钻孔, 其中水域钻孔 3 个, 陆域钻孔 14 个。

勘察钻孔揭示勘区内岩土层情况如表 1 所示。



图1 拟改建码头位置

项目场地周围地势平坦开阔,20 km 范围内无断层和断裂发育,当地资料显示场地为非地震区,区域稳定性良好,适合进行工程活动。

3 钻孔灌注桩设计

本工程中,场地覆盖有厚度较大的淤泥层和粘土层,地基承载力不足。而码头承重大,要求基础能够提供足够的承载力,再考虑到工程造价等因素,最

表1 土层综合评述表

层号	土层名称	平均层厚 /m	承载力特征值/kPa	桩端极限承载力标准值/kPa	桩侧极限摩阻力标准值/kPa	综合评述
①	杂填土	0.86			40	疏松,高压缩性
②	淤泥	4.22			10	高含水量,高孔隙比,高压缩性,触变性强
③	中粗砂	1.57	150		40	呈松散状,层厚小,具中等偏高压缩性
④	淤泥质粘土	8.53	100		20	呈软塑~流塑状,高含水量,高压缩性,触变性强,固结速度慢,抗剪强度低
⑤	中粗砂	5.07	280	350	70	密实状,力学性质较好,分布连续稳定
⑥	淤泥质粘土	8.22	150		30	高压缩性,触变性强,固结速度慢,抗剪强度低
⑦	中风化片麻岩	16.01		4000	70	岩面标高平缓,力学强度高,选为持力层

后决定选用钻孔灌注桩作为本工程的基础形式。

勘察资料显示,中风化片麻岩岩层标高平缓,力学强度高,适合作为钻孔灌注桩的持力层。根据《港口工程桩基规范》(JTS 167-4-2012)^[3],灌注桩的轴向抗压承载力设计值可以按下式计算:

$$Q_d = (1/\gamma_R)(U \sum \Psi_{si} q_{si} l_i + \Psi_p q_{pR} A)$$

式中: Q_d ——单桩轴向承载力设计值,kN; γ_R ——单桩轴向承载力分项系数; U ——桩身截面周长,m; Ψ_{si} 、 Ψ_p ——桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数; q_{si} ——单桩第*i*层土的单位面积极限侧摩阻力标准值,kPa; l_i ——桩身经过第*i*层土的长度,m; q_{pR} ——单桩单位面积极限端阻力标准值,kPa; A ——桩端截面积,m²。

徐伦焕^[4]指出,指定场地钻孔灌注桩的设计只有桩长和桩径2个变量,其余都可以看为定量,并指出内河中小码头采用中等桩径(0.8~1.0 m)灌注桩、沿海码头采用大桩径(0.8~1.5 m)灌注桩比较经济。

在桩基础中,桩长一定时,桩的承载力就主要由桩端承载力和桩侧摩阻力决定。对于数量相同的材料,桩长一定时,桩底面积相同,桩径越小,桩数越多,桩周面积越大,能获得更大的侧摩阻力,材料所能提供的承载力就越大。反过来,要获得同样大小的承载力,小直径桩密集排布比大直径桩稀疏排布更能节省材料。但是,桩数越多,需要投入更多的资金去开挖桩孔,而且工期也加长。

根据工程可研阶段水质分析试验结果,勘察区内海水对混凝土呈中等腐蚀性,对钢筋混凝土结构中钢筋在干湿交替条件下具强腐蚀性;地下水对混凝土结构具弱腐蚀性,对钢筋混凝土结构中钢筋在干湿交替条件下具微腐蚀性。为了保证灌注桩的有效工作年限,钢筋需要较厚的保护层,选用桩径大一些,保护层也厚一些。

所以选择灌注桩桩径时,要综合考虑各方面因素,包括地层地质条件、施工设备、项目工期以及工程造价等。根据这些认识及规范要求,设计灌注桩桩径为1.2 m,桩长根据持力层埋深设计。中风化片麻岩岩层岩面标高平缓,设计桩端进入持力层2 m,所以确定桩长为30 m。

按照公式计算得单桩承载力。单桩轴向承载力分项系数 $\gamma_R = 1.6$,桩侧阻力效应系数 $\Psi_{si} = 0.922$,端阻力尺寸效应系数 $\Psi_p = 0.903$,则单桩承载力:

$$\begin{aligned} Q_d &= (1/\gamma_R)(U \sum \Psi_{si} q_{si} l_i + \Psi_p q_{pR} A) \\ &= (1/1.6)[3.14 \times 1.2 \times 0.922 \times (0.86 \times 40 + \\ &\quad 4.22 \times 10 + 1.57 \times 40 + 8.53 \times 20 + 5.07 \times \\ &\quad 70 + 8.22 \times 30 + 2.0 \times 70) + 0.903 \times 3.14 \times \\ &\quad 0.6^2 \times 4000/2] \\ &= 3600 \text{ kN} \end{aligned}$$

满足设计要求。

当选择压缩性高的土层作持力层时,如硬塑状态粘土层,需作桩的沉降计算。桩基的沉降计算方法与天然地基相似,将桩与桩间土看作一个整体,桩底看

作基底,附加应力从桩底起算,附加应力等于自重应力 20% 处的深度作为桩底压缩层的计算厚度^[5]。

当选择基岩作桩端持力层时,基岩的承载力很大,变形很小,若孔底浮土清理干净,桩受荷载之后沉降很小,这种情况往往不需作沉降计算。本工程中,选择力学强度很高的片麻岩地层作为持力层,变形很小,不需要再计算沉降。

本工程桩基主要承受竖向荷载,水平荷载和弯矩都比较小,且大部分都由基础梁承担或由承台传到土中,所以桩身纵筋可按构造配筋。规范规定最小配筋率 $\leq 0.6\%$,则钢筋截面积应大于 $0.6\% A = 0.00678 \text{ m}^2$,本工程配 26 $\Phi 25$ mm,选用 I 级钢。箍筋间距应加密为 $\Phi 10@100$ mm,以提高桩的水平承载力。钻孔灌注桩配筋如图 2 所示。

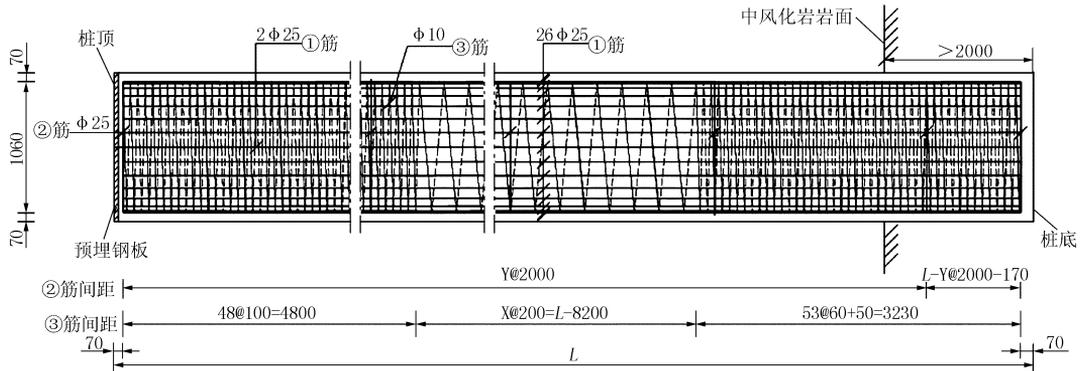


图 2 钻孔灌注桩配筋图

4 钻孔灌注桩施工工艺及质量控制

4.1 施工流程

由于工程场地位于海边,淤泥层厚,含水量高,钻孔灌注桩的施工难度很大。施工中,钻孔顺利成孔是保证工程质量的关键。本工程钻孔施工需要解决的关键技术难题就是如何在淤泥质地层中钻进成孔并保证孔壁的稳定。施工前对其技术要点进行充分考虑和准备,按照以下流程进行施工(见图 3)。

即使在施工前进行了充分的技术准备,施工过程中还是遇到了诸多问题,现将其讨论如下。

4.2.1 护筒冒水^[6]

施工过程中,护筒外壁冒水,导致护筒倾斜,位置也有偏移。发生冒水的原因可能是埋设护筒的周围土不密实,或护筒水位差太大以及钻头起落时碰撞。

针对这些原因,在埋设护筒时四周选用最佳含水量的粘土分层夯实;在护筒的适当高度开孔,使护筒内保持 1.0 ~ 1.5 m 的水头高度;钻头起落时,应防止碰撞护筒。发现护筒冒水时,应立即停止钻孔,用粘土在四周填实加固;若护筒严重下沉或移位时,则应重新安装护筒。

4.2.2 卡钻^[7]

卡钻主要是由于冲锤磨损未及时补焊、钻孔直径变小而新钻锤又过大、冲锤倾倒、遇到探头石或者塌孔落石等原因造成。

针对这些原因,施工过程中应及时更换修补钻锤,注意直径尺寸;新下钻锤冲程要小,慢慢加大冲程;钻进过程中注意钢丝绳在水面的情况,发现钢丝绳划水应立即查明原因;卡钻后不宜强提,可用小锤冲击的办法将卡锤周围的钻渣松动后再提出;由探头石引起的卡钻现象,可适当下放钻锤,而后强力快速上提,使探头石受瞬间冲击缩回,从而顺利提起钻锤。

4.2.3 堵管^[8]

在往桩孔中灌注混凝土的时候,导管堵塞导致灌浆无法继续。发生这种现象的原因主要有:导管

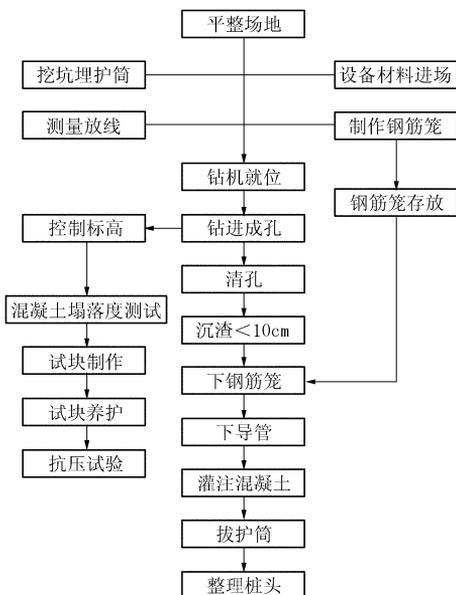


图 3 钻孔灌注桩施工流程图

4.2 施工中遇到的问题及解决措施

变形或导管内壁有水泥浆块硬化;水泥浆离析,粗骨料卡入隔水塞;灌注时导管理深过大。

针对这些原因,灌注前对导管进行检查,看是否有变形或硬块堵塞;加强对混凝土搅拌时间和坍落度的控制;灌注时注意导管理深不要太大。

4.2.4 塌孔^[9]

塌孔是钻孔灌注桩施工中较为常见的问题。塌孔发生的原因主要有地质情况复杂;在松软地层钻进时,进尺太快;泥浆稠度小,起不到护壁作用;起下钻时钻头、钻具对孔壁的扰动等。

针对这些原因,当轻度塌孔时,采用粘土回填至塌孔位置以上2~3 m,并采取加大泥浆密度、改善泥浆性能、提高水位等措施,待孔壁稳定后低速继续慢慢钻进;塌孔位置不深时,可采用加深护筒的方法,将护筒周围回填土夯实,重新开钻;随时注意坍塌量的变化,如塌孔严重,应全部回填,待回填物沉淀密实后采用低钻速重新钻进。

5 施工效果

本项目施工完成之后,用低应变反射波法对其中的32根灌注桩进行检测,结果显示所有灌注桩的桩身完整,均为I类桩,取得了良好的效果。

6 结语

在港口码头工程中,淤泥质土层是常见的地层,

合理地运用钻孔灌注桩可以很好地解决工程中的难题。本工程针对淤泥、淤泥质粘土层厚、力学性质差等特点,选择力学强度高的片麻岩层作为持力层,能够提供高承载力,同时还能控制沉降。根据地层条件、施工设备、项目工期以及工程造价确定桩径,根据持力层埋深确定桩长,最后确定灌注桩的配筋率。通过前期的技术准备,很好地解决了施工中遇到的护筒冒水、卡钻、堵管等问题。

参考文献:

- [1] Tarek M Zayed, Daniel W Halpin. Pile construction productivity assessment[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2005, 131(6): 705-714.
- [2] 付祖良. 钻孔灌注桩水下混凝土灌注技术研究与应用[D]. 湖北武汉:华中科技大学, 2006.
- [3] JTS 167-4-2012, 港口工程桩基规范[S].
- [4] 徐伦焯. 灌注桩在港口建设应用中的几个问题[J]. 港口科技动态, 1995, (8): 4-6.
- [5] 林齐云. 钻孔灌注桩的设计和应用[J]. 工程建设与设计, 2006, (7): 54-59.
- [6] 佟东明. 灌注桩施工质量控制与事故预防[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2007.
- [7] 王国兴, 宋西阁. 威海港新港区I突堤钻孔灌注桩成孔技术[J]. 中国水运, 2010, 10(5): 196-197.
- [8] 莫毅舟. 浅谈钻孔灌注桩施工的质量控制[J]. 山西建筑, 2010, 36(6): 211-222.
- [9] 孙庆丰. 钻孔灌注桩施工中常见问题及处理方法探讨[J]. 交通科技, 2003, (6): 24-25.

(上接第55页)

井架结构设计合理性、安全性得到了验证。可以为该型井架其他工况的分析研究提供很好的借鉴,对井架的优化设计具有一定的指导价值。

此外,本文还对井架进行了模态分析,从井架前9阶的振型分析中看出,井架的刚度和质量分布较为均匀,无明显的薄弱部位和过剩部位。因此,井架的整体结构设计是合理的,为后续的动力学仿真和优化设计提供了基本保证。

本文的研究方法对类似工程的有限元分析具有很好的参考作用。

参考文献:

- [1] 高荣霞. ZJ50/3150LDB 钻机井架的设计和有限元仿真分析[D]. 北京:中国石油大学, 2008.

- [2] 刘玉娟, 丁庆新, 张遂安, 等. SMJ5540TZJ15/800Y 煤层气车载钻机井架结构有限元分析[J]. 煤矿机械, 2010, 31(1): 97-99.
- [3] 汪炳贵. JJ450/45-K 井架设计校核及优化[D]. 山东青岛:中国石油大学, 2009.
- [4] 李锐, 侯友夫. 基于 Ansys Workbench 的矿井架空乘人装置驱动轮支架的有限元分析[J]. 起重运输机械, 2011, (11): 45-47.
- [5] 王慧, 段树铖, 席亚兵. 基于 ANSYS 的石油井架风载的有限元分析[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(4): 477-479.
- [6] 薛继军, 许爱荣, 赵志丽, 等. 钻机井架有限元模态分析[J]. 石油矿场机械, 2001, 30(6): 44-46.
- [7] 黄志新. ANSYS Workbench 14.0 超级学习手册[M]. 北京:人民邮电出版社, 2013.
- [8] 李夯, 齐明侠. 基于 ANSYS 的 K 型井架结构研究[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(2): 5-7.
- [9] 吴磊. K 型钻机井架模型的设计及有限元的计算[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 36(7): 60-61.