

韧性环保泥浆在深厚贝壳类地层 灌注桩施工中的应用

曾亿忠, 向一明*

(中交第二航务工程局有限公司第六工程分公司, 湖北 武汉 430014)

摘要: 在沿海地区位于富含贝壳类覆盖层地质的桥梁工程中, 由于地层的孔隙率大, 灌注桩成孔钻进过程中泥浆极易穿透地层直接渗出。为保证该类地质条件下桩基施工质量, 防止造成污染海域环境, 依托漳江湾特大桥及连接线工程, 在普通泥浆中添加韧性添加剂, 配制后通过试验研究, 投入现场施工应用, 验证了韧性环保泥浆在海洋环境下对大孔隙地质的适应性, 可在类似工程中推广。

关键词: 贝壳类覆盖层; 灌注桩; 韧性泥浆; 配制

中图分类号: U655.54; U443.154

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2020)06-0030-04

doi: 10.7640/zggwjs202006007

Application of environmental tough mud fluid in the construction of bored pile in thick shell stratum

ZENG Yi-zhong, XIANG Yi-ming*

(No. 6 Branch of CCCC Second Harbour Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430014, China)

Abstract: In the bridge engineering that located in the coastland where its upper formation is rich with shells, due to the situation of high porosity formation, slurry can be easily seeped through soil when pile foundation is drilling. To guarantee the quality of the foundation construction under this kind of formation and avoid causing pollution to the sea, based on the Zhangjiangwan Super Large Bridge and the connecting line project, we described a study through adding toughness additive in normal mud fluid, then it was applied to project field after experimental research to verify the adaptability of the environmental tough mud fluid to the high porosity formation in ocean environment, which can be popularized in similar projects.

Key words: shell stratum; bored pile; tough mud fluid; preparation

0 引言

由于地质条件的各类变化等因素, 桥梁钻孔灌注桩在成孔过程中易出现种种缺陷, 在桩孔钻进过程中常见的问题有缩颈、扩径、短桩、塌孔等^[1], 因此成孔过程对桥梁的桩体质量会造成相应的影响^[2]。控制钻孔灌注桩成孔的关键是防止孔壁坍塌^[3]。在进行桩基钻进施工过程中, 护壁泥浆能够在桩基孔壁内侧形成泥皮保护膜, 从而阻止桩

孔内泥浆向孔外扩散渗流, 以避免造成桩基孔壁坍塌的情况^[4]。目前我国桥梁工程中多采用化学聚合物或膨润土添加剂制备泥浆作为桩基护壁。

在位于沿海地区富含大量贝壳类覆盖层地质的大型桥梁工程中, 由于地层的孔隙率大, 桩基钻进的过程中泥浆极易穿透地层直接渗出, 且桩基孔壁上的贝壳类易割裂泥皮, 导致形成的泥皮性能不稳定, 泥浆在涨落潮时大量滤失, 从而易诱发孔壁坍塌、漏浆等问题, 进而对海域造成严重的环境污染。所以需加强泥浆对大孔隙覆盖层地质的适应性, 防止桩基钻孔过程中泥浆大量滤失, 保证桩基质量, 对同类型地质条件下桩基施

收稿日期: 2020-01-07 修回日期: 2020-03-10

作者简介: 曾亿忠 (1968—), 男, 安徽六安人, 高级工程师, 主要从事公路桥梁工程施工。

*通讯作者: 向一明, E-mail: 401952246@qq.com

工提供参考与解决思路。

1 工程简介

依托工程为漳江湾特大桥及连接线工程,位于福建省东南沿海,为国省道干线公路纵一线的重要组成部分,贯通漳州沿海大通道,为双向六车道一级公路标准,主要的施工段漳江湾跨海大桥为海上预制梁桥,漳江湾大桥全长 3.6 km,海上钻孔灌注桩直径为 2.0~2.2 m^[1],桩长为 50~70 m,采用冲击钻进行施工,钢护筒直径为 2.3~2.5 m。

该工程地质为典型冲海积地貌,覆盖层深厚,淤泥厚度达 20 m,地层内富含贝壳类(寻氏肌蛤壳),部分桩基墩位有中风化花岗岩孤石分布,数量多且硬度大。

桩基钻进过程中,由于孔壁的孔隙率较大,且由于孔壁上富含的寻氏肌蛤壳类易致使泥皮割裂,影响泥浆护壁稳定性,在桩基钻孔过程中,需预防由于护筒底口处泥浆滤失影响桩基成孔质量并造成环境污染。现有膨润土造浆及化学聚合物添加剂造浆等方法在该特殊海洋环境下性能受到影响,需大量增加使用量,造成成本增加,且仍存在有环境污染的风险。由于施工区域地层存在大量孤石,钢护筒继续跟进受到阻碍,无法穿透该地层,需研究一种对大孔隙覆盖层地质的适应性强的泥浆配比,以适应该地层。

2 泥浆配方研究

在钻进过程中,由于桩孔内泥浆较外部海水的相对密度大,当两者液面处于同样高度时,桩孔内泥浆的压力比外部海水大^[5],因此,泥浆的压力可以同作用在孔壁上的土层压力及海水压力相抵,以防止外部海水渗入。泥浆在桩基孔壁内侧形成的致密泥皮能使泥浆压力均匀地分布在桩基孔壁上,从而阻止桩基孔壁被破坏;泥浆在钻进过程中通过孔壁内侧向外侧土层渗透,在扩散一定范围后便可依附黏连在土颗粒上,可大大降低土层渗水性^[6];再者,泥浆还可使钻渣悬浮并携带钻渣出孔,从而保证钻进正常进行。

影响泥浆性能的关键因素是添加剂的选择。其性能应当满足:1) 具有相对高的分子质量,水溶性好,有很好的抗剪切效果和较好的增黏性能;2) 泥浆应具有良好的化学稳定性和耐盐性,能够适用于海水环境条件;3) 形成的泥皮致密轻薄稳定,并有较好的抗滤失效果;4) 添加剂取材方便、价格便宜、用量少且绿色环保。目前在国内

钻孔灌注桩施工中常用的泥浆添加剂产品主要有部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)、羧甲基纤维素(CMC)等。这些聚合物在实际应用中存在用量大、溶液黏度对盐度非常敏感等不足,在海水环境中的应用受到很大限制。

经研究发现,在依托工程施工当地存在大量可能满足上述条件的天然材料——海带,其绿色环保,可生物降解,且就地取材方便。干海带在泥浆中自由膨胀,具有更大的韧性和漂浮作用,同时提高泥浆的比重,具有使泥浆增黏等优异性能,并可以封堵护筒底口处存在的漏浆通道,防止在涨落潮时由于内外压力差导致漏浆的情况。

3 泥浆配比调制及性能测试

3.1 泥浆配比调制及性能检测

对研制的韧性环保泥浆在淡水、海水中进行性能研究。在试验室环境下,首先将干海带材料浸水、剪成块状以模拟现场实施时的施工环境,然后与水、黏土及砂混合造浆,并与膨润土泥浆和掺加聚合物的泥浆性能进行对比,具体配合比和性能参数见表 1、表 2。

表 1 泥浆配合比

Table 1 Mud fluid proportion

泥浆种类	水	黏土	砂	添加剂 CMC	海带	膨润土
淡水膨润土泥浆	1 000	100	50			50
淡水 CMC 泥浆	1 000	100	50	0.5		40
淡水韧性环保泥浆	1 000	100	50		20	

表 2 泥浆性能试验结果

Table 2 Performance test result of mud fluid

泥浆种类	黏度 η/s	pH 值	24 h 胶体率/%	相对密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	失水量/(mL·(30 min) ⁻¹)	泥皮厚/mm
淡水膨润土泥浆	15.60	9	90	1.105	26	0.86
淡水 CMC 泥浆	17.80	9	99	1.063	21	0.68
淡水韧性环保泥浆	18.20	10	98	1.200	22	0.71
海水膨润土泥浆	11.32	8	83	1.085	38	1.38
海水 CMC 泥浆	12.11	8	90	1.041	30	0.87
海水韧性环保泥浆	15.60	9	95	1.187	25	0.80

由表 2 可看出,在淡水中,使用韧性环保泥浆较膨润土泥浆有明显优势,其黏度和胶体率均比膨润土泥浆大,与 CMC 加膨润土泥浆的性能相

近,但密度明显偏大,主要因为海带添加量较大,其性能参数均能满足施工要求。采用海水进行泥浆配制时,膨润土泥浆和聚合物泥浆的性能显著下降,而韧性环保泥浆的性能参数变化相对较小,说明韧性环保泥浆对海水的适应性较好,采用研制的韧性环保泥浆胶体率达到95%,失水量为 $25\text{ mL}\cdot(30\text{ min})^{-1}$,泥皮厚度为0.8 mm。确定了按照水:黏土:砂:海带=100:10:5:2的配合比进行调制,可以用于现场施工。

3.2 环境模拟试验

3.2.1 试验原理

由于在泥浆与桩基孔壁外侧海水间存在压力差的情况下,泥浆从孔内向地层中渗透,在泥浆穿过地层孔隙通道的过程中,泥浆中的颗粒能迅速填堵地层内部的孔隙通道并在地层内部孔壁外表面形成一层致密的泥皮,泥皮形成后即可阻止泥浆进一步向地层中渗透,从而使桩孔内的泥浆压力稳定,同时形成的泥皮能够将泥浆压力转化为有效应力作用在桩孔内壁上,起到支撑孔壁土体的作用,从而保证孔壁的稳定^[7]。而形成的泥皮质量好坏可以反映泥浆与孔壁地质的匹配程度,若匹配程度高,则泥皮容易形成且质地轻薄致密,若匹配程度不高,泥皮不易形成且泥浆大量滤失,则不适于该现场施工应用。在试验中以失水量大小来评价泥皮质量好坏,失水量越小则说明泥皮质量越好^[8]。

3.2.2 试验过程

试验采用模拟地层泥浆渗透试验装置,通过加压装置可以设置不同深度特定土层所受到的压力。在施工当地采集的地层原土250 kg、海水500 kg、海带100 kg,使实验室模拟的土层条件较好地符合实际情况,泥浆按上述3.1节中所确定配比进行配制。地层颗粒情况见图1,试验装置见图2。

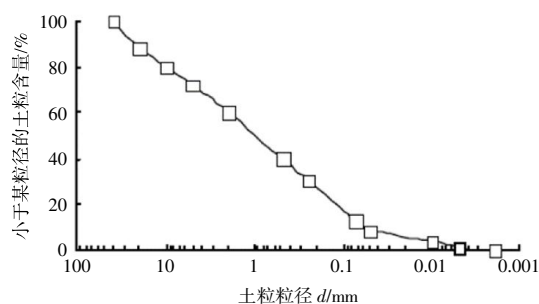


图1 地层粒径分布曲线

Fig. 1 Distribution curve of formation particle size



图2 泥浆渗透试验装置

Fig. 2 Permeability test device of mud fluid

首先在泥浆渗透试验装置容器的最底层装入粒径为2~5 mm的砂石至5 cm高度处位置作为过滤层;然后装入试验地层土至51 cm高度处;再从容器下部注水使地层饱和;注入已配制好的试验泥浆至105 cm高度处;将泥浆渗透试验柱完全密封后,打开气压阀门,分级依次施加泥浆压力(0.05 MPa、0.1 MPa、0.15 MPa、0.2 MPa、0.25 MPa及0.3 MPa);然后打开排水阀门开始静待泥浆渗透;读取不同压力下泥浆的失水情况,直至读数稳定。最后取出泥皮,测量厚度。

3.2.3 试验结果

分别以本课题研制的韧性环保泥浆、膨润土泥浆及添加CMC的膨润土泥浆进行泥皮厚度试验,统计以上3种类型的海水泥浆在不同的压力下地层的失水情况及最终形成的泥皮厚度,得到试验数据见表3。

表3 泥浆在各压力下失水量

Table 3 Water loss of mud fluid under different pressures

泥浆压力/MPa		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
失水量/ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	海水膨润土泥浆	0.6	2.2	3.4	4.2	4.8	4.8
	海水CMC泥浆	0.6	1.9	3.1	3.9	3.9	3.9
	海水韧性环保泥浆	0.6	2.0	3.3	4.1	4.1	4.1

由表3可得,当泥浆压力达到0.2 MPa时,对于添加了CMC的膨润土所配制的水水泥浆,其失水量稳定在3.9 mL/min,测量得最终泥皮的厚度为8 mm。对于采用普通膨润土配制的泥浆,当泥浆压力加至0.25 MPa时,泥皮的失水量为4.8 mL/min,高于添加CMC膨润土所配制的泥浆失水

量,该泥浆的最终泥皮厚度为9 mm。采用本文中研制的韧性环保泥浆,当泥浆压力加至0.2 MPa时,泥皮的失水量为4.1 mL/min,与添加CMC膨润土所配制的泥浆数据接近,韧性泥浆最终的泥皮厚度为2.2 mm,相对前面两种泥浆所形成的泥皮更薄。

从试验结果可以看出,采用海水CMC泥浆失水量最小,但有环境污染的因素,且费用较高;而韧性环保泥浆所形成的泥皮失水量较小,且泥皮更为致密轻薄。通过试验得,韧性环保泥浆的黏度、胶体率、滤失水量和泥皮厚度等各项性能指标均可以满足现场设计和施工需求,可以投入使用。

4 现场应用

经试验检测后,将添加海带的韧性环保泥浆在依托工程漳江湾特大桥及连接线工程中进行了现场应用,根据护筒底口处的不同地层,结合使用新型环保泥浆进行钻进施工步骤如下:

1) 按照试验确定的施工配合比,水:黏土:砂:海带=100:10:5:2在施工现场进行配制。

2) 将干海带切碎成约15 mm×15 mm的方块状,与黏土进行混合,进行造浆,泥浆比重为1.3左右。

3) 钢护筒内钻进过程:按照施工配合比对泥浆进行调配后注入钢护筒内,同时采用冲击钻进行钻进,钢护筒内采用大冲程3~4 m。

4) 钢护筒外钻进过程:在冲锤将要出护筒底口前,改为小冲程钻进约0.5 m,钻孔过程中勤循环泥浆除渣,及时调控泥浆参数,保持泥浆比重,穿过富含贝壳的覆盖层后,恢复正常冲程,直至成孔。

经现场应用,采用海带配制的韧性环保泥浆能有效防止滨海地区钻孔灌注桩在深厚贝壳覆盖层易出现的漏浆及塌孔问题,在绿色环保的前提下保证了钻孔桩的施工质量。

5 结语

在位于海洋区域的地下桩基钻孔施工过程中,针对普通泥浆在海水环境中综合性能不高、施工过程中漏浆易造成环境污染等问题,开展了一种新型韧性环保泥浆的研究及现场应用。通过调研桩

基钻孔施工工艺,在泥浆作用机理分析的基础上,设计泥浆配方,因地制宜地采用海带配制韧性环保泥浆,有效地解决和防止了海域钻孔桩成孔过程中钢护筒漏浆问题,既保证了桩基的施工质量,节约了施工成本,同时也防止了漏浆易导致的海域环境污染问题。该泥浆制备操作简单、环保经济、效果较好,为富含贝壳类(寻氏肌蛤壳)覆盖层地质桩基防漏浆提供了参考和经验。

参考文献:

- [1] 段玲燕. 灌注桩施工质量事故及其预防措施研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(28): 1 060.
DUAN Ling-yan. Research on bored piles construction quality accidents and the preventive measures[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2017(28): 1 060.
- [2] 刘延娥. 城市道路与桥梁常见病害的防治[J]. 城市建筑, 2016(21): 257.
LIU Yan-e. Prevention of common defects in urban roads and bridges[J]. Urbanism and Architecture, 2016(21): 257.
- [3] 张红云. 泥浆在钻孔灌注桩施工中的作用[J]. 山西建筑, 2004, 30(17): 70-74.
ZHANG Hong-yun. The functions of slurry in cast-in-place bored pile construction[J]. Shanxi Architecture, 2004, 30(17): 70-74.
- [4] 吴启行. 钻孔灌注桩施工泥浆控制措施研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(9): 834.
WU Qi-xing. Slurry control measures in cast-in-place bored pile construction[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2015(9): 834.
- [5] 王中文, 刘宏波, 蔡爱杰. 海水泥浆在沿海地区钻孔灌注桩中的应用[J]. 桥梁建设, 2001(6): 46-48.
WANG Zhong-wen, LIU Hong-bo, CAI Ai-jie. Application of sea-water slurry for bored piles in the coastland[J]. Bridge Construction, 2001(6): 46-48.
- [6] 刘开敏. 建筑工程施工中泥浆技术的重要作用分析[J]. 城市建设理论研究, 2011(27): 1-4.
LIU Kai-min. Analysis of the importance of slurry technology in building engineering construction[J]. The Oretical Research in Urban Construction, 2011(27): 1-4.
- [7] LAM Carlos, JEFFERIS Stephan, SUCKLING Tony P, et al. Effects of polymer and bentonite support fluids on the performance of bored piles[J]. Soils and Foundations, 2015, 55(6): 1 487-1 500.
- [8] 韩晓瑞, 朱伟, 刘泉维, 等. 泥浆性质对泥水盾构开挖面泥膜形成质量影响[J]. 岩土力学, 2008, 29(S1): 288-292.
HAN Xiao-rui, ZHU Wei, LIU Quan-wei, et al. Influence of slurry property on filter-cake quality on working face of slurry shield[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(S1): 288-292.