

滨海桥梁钻孔灌注桩泥浆处理技术及工程应用研究^{*}闫宇¹, 张广超¹, 孙博文¹, 王杰², 陈璐², 刘建华²

(1.中化学建设投资集团有限公司, 北京 102300; 2.长沙理工大学 公路工程教育部重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为有效利用钻孔灌注桩施工中产生的废弃泥浆, 解决现有泥浆处理方案中泥浆利用率低、费用高及施工工艺复杂等问题, 以连云港徐圩港区架管桥工程为研究对象, 针对施工现场的局限及传统泥浆处理方案的不足, 采用机械分离与机械外运相结合的泥浆处理方法, 泥浆经过泥浆处理器处理后, 有效泥浆循环回桩基位置再利用, 减少废弃泥浆的外排运输量, 同时考虑到泥浆处理对周边环境的影响, 将泥浆处置场地设置在距离居民区较远的地方。

关键词: 桥梁; 钻孔灌注桩; 泥浆处理; 绿色施工; 循环利用; 滨海地区

中图分类号: U443.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)06-0109-05

随着工程建设水平的提高, 钻孔灌注桩在高层、超高层建筑和道路桥梁工程中的使用率显著提高, 钻孔灌注桩施工中废弃泥浆的处理受到广泛关注, 节能减排、绿色发展成为钻孔灌注桩施工中的重要一环。目前, 钻孔灌注桩废弃泥浆处理方法主要包括外运排放、化学絮凝固液分离、化学固化、机械脱水、制作新型材料等^[1-3], 其中化学固化和机械脱水使用率最高^[4]。化学固化主要是采用不同的化学试剂对废弃泥浆进行固结处理。江建斌等通过对现场试验与室内试验的对比分析, 设计了化学药物絮凝和机械脱水相结合的泥浆处理系统^[5]; 魏雁冰等在化学试剂脱水加固前, 采用固化设备对沉淀池进行地基加固, 大大提高了地基承载力^[6]; 郭立贤等在处理黏土泥浆时, 基于化学絮凝的原理, 得出煤灰粉具有加快絮凝的效果^[7]。泥浆化学试剂对不同废弃工程的作用存在较大差异, 且对环境存在一定危害^[8]。改变化学试剂的配合比虽然可以提高化学固化的适用范围, 但不符合当前绿色施工的要求, 有必要在满足环保要求的基础上对传统泥浆处理方案进行改进。本文以连云港徐圩港区架管桥钻孔灌注桩泥浆处理为例, 研究操作便利、适用范围广、对环境友好且能提高泥浆回收利用率的泥浆一体化处理方案。

1 工程概况

徐圩港区架管桥位于连云港南部小丁港与灌河

口之间, 施工区域为近海潮间带的浅水区, 泥面高程变化较缓, 总体由南向北缓倾。工程地理位置见图 1, 泥浆处理位置见图 2。

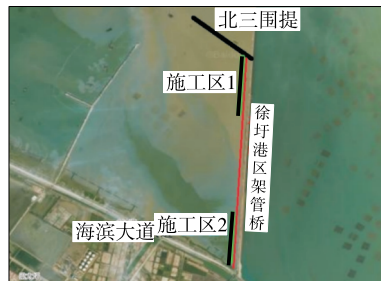


图 1 徐圩港区架管桥工程的地理位置

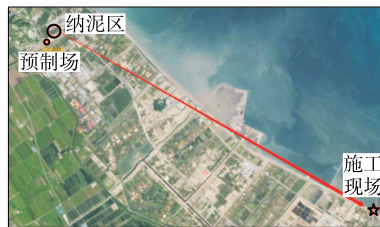


图 2 泥浆处理位置

该架管桥采用高桩梁板式结构, 管廊布置于透空式架管桥上, 主要为徐圩港区四港池北侧岸线规划的部分液体散货码头管线提供服务。架管桥全长 3 364.33 m, 宽度为 15.9 m, 分为 1 个过路墩台、1 个接支管廊墩台、24 个架管桥结构段。架管桥每个结构段包含 9 排钻孔灌注桩, 排距为 9.0 m, 采用 $\phi 1\ 400$ mm 灌注桩, 灌注桩布置见图 3。过路墩台

^{*} 基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目(20B040); 公路工程教育部重点实验室开放基金资助项目(kfj150201)

和接支管廊墩台灌注桩分别为 36 根和 52 根, 桩长为 53.6~60.0 m。整个工程灌注桩共计 727 根。

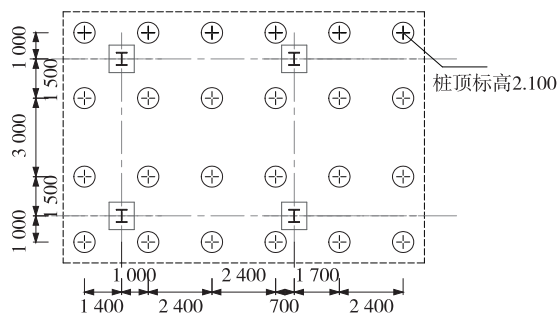


图3 架管桥灌注桩平面布置图(单位:标高为 m, 其他为 mm)

2 泥浆的作用机理及性能

2.1 泥浆的组成及作用机理

泥浆的主要成分为高岭土或膨润土, 造浆土由水、泥沙和钻渣等微小颗粒组成^[9], 泥浆易与水混合形成胶体或悬浮液等(见图4)。

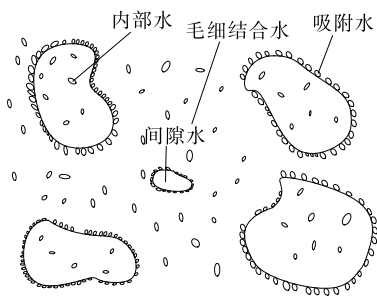


图4 泥浆组成及作用机理

钻孔泥浆经过分离器处理后可循环使用, 从而降低钻孔灌注桩的材料费用。泥浆对钻孔的清理必不可少, 泥浆可降低钻头磨损率, 保护孔壁, 防止内壁坍塌和漏浆。在泥浆循环过程中, 多余的钻屑会与钻渣分离, 并悬浮在循环池顶部, 保证钻渣的合理排放。

2.2 泥浆性能测试

按 GB/T 50123—2019《土工试验方法标准》^[10]对徐圩港区架管桥钻孔灌注桩施工现场废弃泥浆的相对密度、含水率和黏度进行测试。泥浆的相对密度按式(1)计算, 测试结果见表1。泥浆的相对密度均值为 1.72, 大于泥浆排放对相对密度的要求, 须采用化学絮凝进行处理。

$$G_s = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 100 \quad (1)$$

式中: G_s 为泥浆的相对密度; m_2 为烧杯和泥浆的总

质量; m_1 为试验烧杯质量; V 为泥浆的体积。

表1 泥浆的相对密度测试结果

试验组号	烧杯质量 m_1/g	烧杯和泥浆的总质量 m_2/g	泥浆的体积 V/mm^3	泥浆的相对密度 G_s
T1	168.3	513.6	200.0	1.73
T2	168.5	507.3	200.0	1.69
T3	168.7	514.1	200.0	1.73
T4	168.4	513.6	200.0	1.75

泥浆的含水率按式(2)计算, 测试结果见表2。泥浆的含水率均高于 70%, 不满足直接排放或利用的相关要求, 需进一步处理。

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (2)$$

式中: w 为泥浆含水率; m_3 为烘干后烧杯和泥浆的总质量。

表2 泥浆的含水率测试结果

试验组号	烧杯质量 m_1/g	烧杯和泥浆的总质量 m_2/g	烘干后泥浆和烧杯的总质量 m_3/g	泥浆的含水率 $w/\%$
T1	168.3	513.6	364.3	76.2
T2	168.5	507.3	361.7	75.4
T3	168.7	514.1	364.8	76.1
T4	168.4	513.6	365.8	74.8

以漏斗黏度表示泥浆的黏度。测量前用手堵住漏斗下方出口, 让泥浆从内径 5 mm、长度 100 mm 的管子中流出, 流出 500 mL 泥浆所需时间即为泥浆的黏度。经测试, 4 组泥浆试样的黏度分别为 19 s、19 s、22 s、18 s, 满足一般地层钻孔施工要求。

3 钻孔灌注桩泥浆处理方案

3.1 泥浆处理方案

传统的泥浆处理方案主要分为自然晾干和泥浆外运两种^[11]。

自然晾干是在钻机附近设置泥浆池和沉淀池, 钻孔所需泥浆存放在泥浆池中, 钻孔排出的泥浆和钻渣存放在沉淀池中, 钻孔施工产生的钻渣泥浆流入沉淀池进行初步沉淀后, 将沉淀池表面部分泥浆导入泥浆池循环使用, 沉淀的钻渣在沉淀池固化^[12]。该处理方案需要大面积地块用于设置泥浆池和沉淀池, 对环境的影响大, 且很难得到干渣, 不仅

会降低泥浆循环使用效率,还会产生大量废浆,循环泥浆含渣量大易导致坍孔、卡钻,影响生产安全^[13]。该处理方案在野外桥梁施工中常采用,但不适用于该架管桥工程。

泥浆外运是将泥浆运输至指定地点进行处置,外运堆放场地可以是本工程的弃土场,也可以是其他项目的合法场地,如经过政府批准的堆放场所、路堤工程等。该处理方案的泥浆利用率过低,还会导致废浆处理现场环境恶化,进而造成大量市政管道堵塞、水体和土壤污染。

以上两种泥浆处理方案只是简单地将泥浆沉淀固化及改变存放地点,自然晾干对环境污染较大,而仅考虑泥浆外运会浪费大量泥浆,均存在明显局限,有待改进。

3.2 一体化泥浆处理方案

泥浆的一体化处理主要由收集施工中溢出的泥浆、泥浆分离及泥浆处理组成^[14]。常用方法如下:

(1) 对钻孔泥浆按照沉淀、脱水及固化的顺序进行处理,形成固体颗粒状的泥饼,泥浆体积大幅度减小^[15]。

(2) 钻孔泥浆经过沉淀及脱水处理后整体堆肥,处理后的泥浆呈黑色泥饼状,可作为有机肥料、基质土等进行二次利用。该处理方案对泥浆的泥质成分有要求,要求重金属等有毒有害物质的含量小于相关规定。在泥浆堆放处理二次利用方面,连云港铭科的泥浆处理体系较成熟,在泥浆预处理中采用泥浆处理器沉淀部分重金属物质,使其满足相关要求,实现废弃泥浆的二次利用。

(3) 对钻孔泥浆按照整合、浓缩、干化的顺序进行预处理,再选取合适的地点处置泥浆。这种处理方式的资源回收利用率,经过厌氧或好氧消化后的泥浆可用作肥料,产生的沼气是一种良好的清洁能源。

(4) 泥浆填埋。采取泥浆填埋方式,虽然处理后的泥浆含水率降低,体积减小,但泥浆中的污染物会深入土体中造成环境污染,随着时间的推移,污染物会渗入地下水层影响水源。因此,这种处理方式已被逐渐舍弃,被前几种泥浆处理方式取代。

4 泥浆处理方案及效果评价

4.1 钻渣泥浆处理方案

该架管桥施工中,结合现场环境,对传统泥浆处理方案进行改进,增加机械分离方案,在泥浆排入泥

浆池的过程中设置泥沙分离器,并在泥沙分离器中引入化学絮凝剂,提高泥浆泥水分离速度,分离出来的泥浆输送回泥浆池进行循环利用,钻渣则外运至弃土场,实现泥浆的一体化处理。泥浆池与泥沙分离器均设置在钢平台上,泥浆处理工艺流程见图 5,施工场地平面布置见图 6。

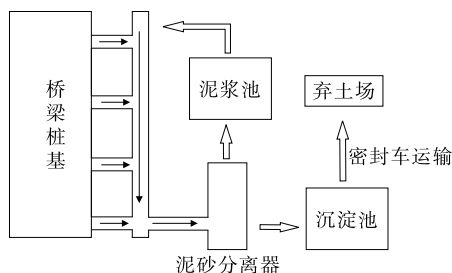


图 5 泥浆一体化处理工艺流程

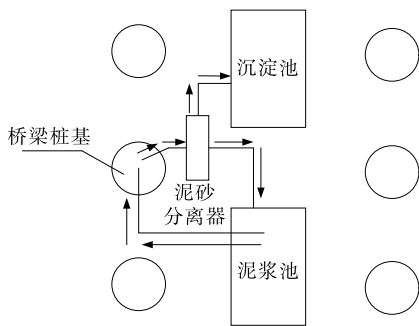


图 6 施工场地平面布置

采用长 6.0 m、宽 2.8 m、高 2.5 m、厚 0.5 cm 的敞口铁制容器作为钻孔泥浆池。沉淀池尺寸与泥浆池相同,确保泥浆不会发生外泄。泥浆池及沉淀池设置在桩基钻孔灌注桩的两跨之间。该工程泥浆处理工程量为 30.79 万 m^3 ,泥浆处置场地容量为 33.87 万 m^3 ,纳泥区容量约为 39 万 m^3 ,满足泥浆处置容量需求。

灌注桩混凝土灌注过程中,为避免首灌的影响,先计算孔内泥浆溢出深度,提前将这部分泥浆抽至泥浆池,后续混凝土灌注中同步采用泥浆泵将泥浆抽至泥浆池,最后利用泥浆运输车将钻渣及废弃泥浆外运至弃土场。按灌注桩平均施工速度 7 根/d、每根桩泥浆处理量约 260 m^3 考虑,日泥浆处理量为 1 820 m^3 ,泥浆运输车的容量为 43 m^3 ,每天需要运送 43 车,投入 11 辆泥浆运输车可满足泥浆处置要求。

4.2 泥浆性能对比

分别设置含水率为 70%、80%、90% 的自然沉降组试样,分析泥浆处理方式和含水率对泥浆泥水

分离性能的影响,结果见图7。由图7可知:泥浆的沉降速率随着时间的增加而减小。含水率由70%提高至80%、90%时,沉降稳定时泥浆上层清液的体积分别增加18.3%、58.1%,泥水界面达到压密点的时间增加。不考虑外界因素的影响仅采用泥浆自然沉降的方法不可行,自然沉降所需时间和泥水分离效果不具备工程应用可行性。

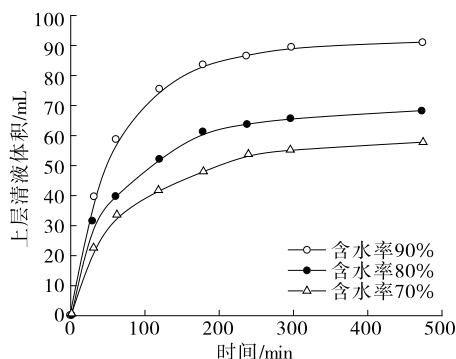


图7 不同含水率泥浆沉降稳定时泥浆上层清液的体积

分别对自然沉降、化学絮凝及本文方法处理后泥浆性能进行测试,不同处理方法下泥浆泥水界面的沉降速率对比见图8。从图8可以看出:泥浆沉降速率随着时间的增加逐渐降低,自然沉降条件下泥浆沉降达到稳定所需时间为300 min,本文方法和化学絮凝方法达到稳定所需时间为200 min;采用本文方法,泥浆的回收利用量远大于另外两种方法,在节约施工成本的同时,施工周期不会过长。

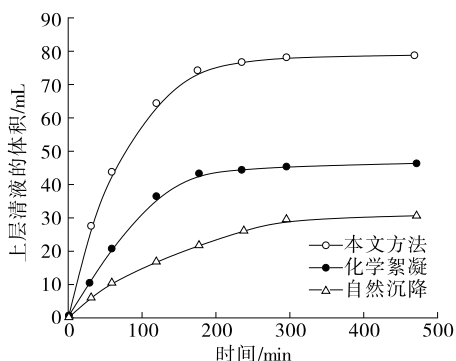


图8 不同处理方式下泥浆沉降稳定时泥浆上层清液的体积

测试采用本文方法处理前后泥浆的性能,结果见表3。将表3中泥浆性能指标与JTG/T 3650—2020《公路桥涵施工技术规范》^[16]的相关规定进行对比,泥浆处理前的相对密度和含水率过大,黏度过小。泥浆相对密度过大会导致桩身夹泥、钢筋笼上浮,最终导致桩体灌注失败;含水率和黏度的作用相

似,含水率过高,泥浆保护孔壁的效果会严重减弱,进而影响钻孔效率。处理后的泥浆性能指标均满足JTG/T 3650—2020的要求,可以直接用于泥浆的二次利用或排放。本文方法对泥浆性能的改善效果较好。

表3 泥浆处理前后性能指标对比

泥浆类型	相对密度	含水率/%	黏度/s
处理前泥浆	1.71	74.2	13
处理后泥浆	1.21	67.5	20

4.3 泥浆处置效果评价

徐圩港区架管桥作为应急消防通道及综合管网的基础连接滨海大道与三区围堰,施工场地附近建筑物较多,考虑到直接处置泥浆对周边环境的影响,钻渣固化须选择合适的场地。该工程采用机械分离与钻渣外运相结合的泥浆处置方案,处置效果与传统方法的对比见表4。

表4 不同泥浆处置方案的效果对比

处置方案	沉淀池占地面积	处理工艺复杂程度	处理速度	处理效果	环境影响
自然晾干	大	简单	慢	差	大
泥浆外运	较小	较简单	较快	一般	一般
本文方法	较小	一般	快	较好	小

结合徐圩港区水土保持方案和相关环保要求,该工程泥浆处置场地选择徐圩新区板桥镇梁板预制场旁保税物流园区预留用地,处置现场见图9。该弃土场距离架管桥施工场地约35 km,预留用地面积约13万m²,可满足该项目泥浆量分批晾晒堆放的需求。此外,弃土场地理位置偏僻,周边无居民生活区,施工对居民生活影响较小。泥浆车采用专业泥浆外运车辆,罐体为钢板焊接,不撒不漏,满足运输要求。该处置方案在考虑泥浆处理对环境影响的同时对废弃泥浆进行二次利用,经济效益显著。



图9 泥浆处置现场

5 结语

本文结合徐圩港区架管桥工程实例,对钻孔灌注桩泥浆传统处理方案进行改进,结论如下:

(1) 采用机械分离与机械外运的方法处理泥浆,可以有效保护环境,减少施工现场的平面布置,且具有施工工艺简便、操作便利、安全性高等优势。

(2) 泥浆循环利用是降低施工成本最直接的方法。采用泥沙分离器处理泥浆,分离后的砂石骨料可用于配置泥浆,最大化利用有限资源,具有较高的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 田亚洲,刘俊杰,杨琴,等.建筑废弃泥浆绿色处理系统设计及应用[J].科技创新与应用,2021(4):112-114.
- [2] 刘建华,侯世全,李刚,等.废弃泥浆无害化处理技术研究进展[J].铁道劳动安全卫生与环保,2009,36(1):10-13.
- [3] 武亚军,周振,王栋,等.药剂真空预压法处理宁波废弃泥浆试验研究[J].大连理工大学学报,2017,57(2):157-163.
- [4] 杨琴,田亚洲,吴建福,等.绿色环保循环处理泥浆施工工法研究[J].建筑节能(中英文),2022,50(6):139-143.
- [5] 江建斌,祝宏文,张云达.上海地区钻孔灌注桩废弃泥浆处理工艺研究[J].建筑施工,2016,38(6):770-772.

- [6] 魏雁冰,陈良向,范明桥,等.固化法处理建筑泥浆池的试验研究[J].中国港湾建设,2016,36(4):26-29.
- [7] 郭立贤,任彦飞,邱冰,等.C35 机制砂路面混凝土的制备及性能研究[J].公路与汽运,2022(5):44-46+73.
- [8] 冉德钦,孔令菡,卢林果,等.某滨海公路升级改造生态环保验收调查与评价[J].公路与汽运,2019(5):166-168.
- [9] 应荣华,黎凯,胡恒武.水泥稳定碎石搅拌方式研究[J].公路与汽运,2018(5):61-64+68.
- [10] 中华人民共和国水利部.土工试验方法标准:GB/T 50123—2019[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [11] 张瑞云.工程泥浆的再生调制与废弃处理[J].铁道建筑,2003,43(3):42-43.
- [12] 李腾腾.水上钢平台灌注桩施工泥浆处理方式[J].珠江水运,2022(6):95-98.
- [13] 王新新,吴小建.钻孔灌注桩泥浆处理技术研究现状综述[J].建筑施工,2015,37(3):313-314+324.
- [14] 赵东生,黄民,王啸宇.浅谈桩基用泥浆分离器的使用及改进[J].地质装备,2020,21(5):31-35.
- [15] 胡培强.泥浆固化处理施工技术在桥梁桩基工程中的应用[J].交通世界,2019(35):105-106+109.
- [16] 中交一公局集团有限公司.公路桥涵施工技术规范:JTG/T 3650—2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.

收稿日期:2022-11-01

(上接第 94 页)

- [9] 周树华,周绪利.PANDA 动力贯入仪在路面基层强度检测中的应用[J].公路,2000,45(7):74-77.
- [10] 姜景山.动力锥贯入仪在路基检测中的应用综述[J].路基工程,2011(6):136-140.
- [11] 张雨勤.动力贯入仪/锚沉贯过程的数值模拟[D].大连:大连理工大学,2018.
- [12] 郭涛,何森.动力锥贯入仪 DCP 在路基拼接中的应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2009,5(2):114-117.
- [13] SADREKARIMI J, SEYYEDI S. Lessons learned during regular monitoring of in situ pavement bearing capacity conditions[C]//Bearing Capacity of Roads, Railways & Airfields, Two Volume Set: Proceedings of the 8th International Conference (BCR2A'09).

2009.

- [14] 李宝.基于高速公路路基承载力检测的动力锥贯入法实证研究[C]//中国公路学会.中国公路学会高速公路运营管理分会 2011 年度年会暨第十八次全国高速公路运营管理工作研讨会论文集.北京:人民交通出版社,2011:292-295.
- [15] 王辉.高速公路砂土路基压实度测试方法研究[J].黑龙江交通科技,2014,37(10):3-4.
- [16] 吴重林.道路施工中使用动力锥贯入试验确定地基承载力方法简介[J].路基工程,1991(6):16-19.
- [17] 常爱国,杜蓉华,范鹏飞.PANDA 动力贯入仪在公路中的应用[J].山西交通科技,2001(增刊 2):53-54+66.

收稿日期:2022-07-07