

水泥搅拌桩技术在河道整治工程中的应用

丁 乾¹, 李 益^{1,2*}, 吴成骏², 庞爱磊², 任林丽¹

(1. 南京市滁河河道管理处, 江苏 南京 210044; 2. 南京市水利投资有限公司, 江苏 南京 210012)

摘要:对水泥搅拌桩技术的工艺和质量控制要点进行了概述,并用工程实例介绍了水泥搅拌桩技术在河道治理工程中的应用和效果。分析结果表明,水泥搅拌桩能够有效地提高软土地基土层的物理力学指标,同时增加水泥含量和添加减水剂有利于提高水泥搅拌桩的成桩质量,可为类似水利工程建设提供参考。

关键词:水泥搅拌桩;河道整治;软土地基;抗滑稳定

中图分类号:TV853 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2021)04-0008-04

Application of cement mixing pile technology in river regulation project

DING Qian¹, LI Yi^{1,2,*}, WU Chengjun², PANG Ailei², REN Linli¹

(1. Chuhe River Management Office of Nanjing, Nanjing 210044, China;

2. Nanjing Water Conservancy Investment Co., Ltd., Nanjing 210012, China)

Abstract: The process and quality control points of cement mixing pile technology were summarized, and application and effect of cement mixing pile technology in river regulation engineering were introduced in detail with engineering examples. The analysis results showed that the cement mixing pile could effectively improve the physical and mechanical indexes of soft soil foundation. At the same time, increasing the cement content and adding water reducer were conducive to improving the pile quality of cement mixing pile, which could provide reference for the construction of similar water conservancy projects.

Key words: cement mixing pile; river regulation; soft soil foundation; anti-sliding stability

在水利工程中,特别是河道整治工程建设中常常会遇到软弱地基问题。水泥搅拌桩技术作为一种软弱地基加固处理方法,具有工程造价低、对土体扰动小、工艺简便、效果好等优点。了解、掌握水泥搅拌桩技术在水利工程建设中的工艺要求和应用情况,有利于更好地推进工程建设、推动行业高质量发展。

1 水泥搅拌桩技术

1.1 水泥搅拌桩技术发展

水泥搅拌桩技术是利用水泥作为固化剂,通过

特定的搅拌机械将水泥浆和天然土体强制拌和,经过一系列物化反应后,使软土具有一定强度和刚度,从而达到增强土体的整体性和稳定性的目的^[1-2]。

我国的水泥搅拌桩法起步于20世纪70年代。1978年,我国研制出首台双轴搅拌机械(SJB-1型)。20世纪90年代,水泥搅拌桩技术进入快速发展期,全国有十几个省、市、自治区开始应用。近年来,水泥搅拌桩技术在我国不断扩大应用范围,尤以长三角、天津、深圳等地城市应用最为广泛。当前,国内的水泥搅拌桩技术成桩深度可达30 m以

收稿日期:2021-02-01

作者简介:丁乾(1971—),男,工程师,本科,主要从事水利工程管理工作。E-mail:956950047@qq.com

通信作者:李益(1986—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利工程建设管理和安全评价工作。E-mail:yi_117@126.com

上,在工程建设中取得了显著的经济和社会效益。

1.2 水泥搅拌桩施工工艺

水泥搅拌桩按主要的施工做法可以分为单轴、双轴和三轴搅拌桩。根据搅动和喷浆次数不同,又可分为两搅一喷、四搅两喷、四搅三喷等等。但无论搅动和喷浆次数多少,其基本的施工工艺流程(图1)包括:测量定位、桩机就位、钻进喷浆、提升搅拌、重复喷浆搅拌、重复提升搅拌、成桩完毕,简述如下:

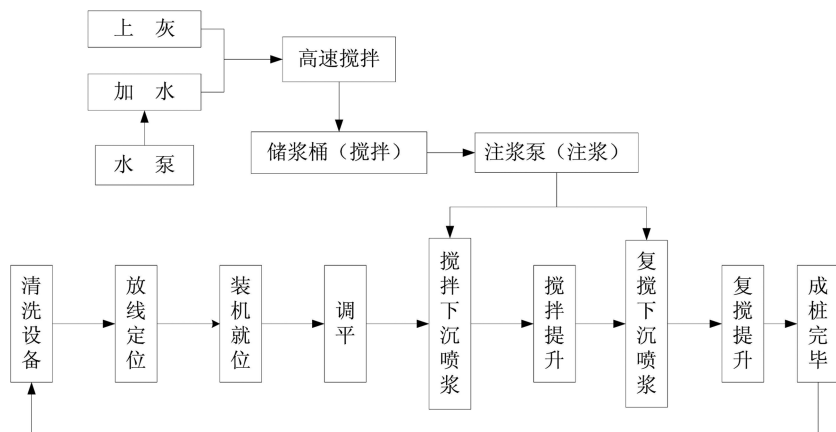


图1 水泥搅拌桩施工工艺(四搅两喷)

步骤1:放线定位:用GPS和圈尺测放工程轴线及桩位,经验收合格后进行施工。

步骤2:桩机就位:根据设计图纸的桩位布置,桩机就位对中,并再次复核桩位。施工结束后桩位偏差不大于50 mm,垂直度偏差不大于0.3%。

步骤3:制备灰浆:搅拌机下沉搅拌前,按事先确定的配合比制备灰浆,并在注浆前将水泥浆经过滤网片倾入集料斗中。

步骤4:喷浆下沉:桩机就位对中后,启动主机使其正向转动。选钻头向下推进挡,以均匀速度,边下沉边喷浆边搅拌,使水泥和土充分搅拌,直至设计深度。

步骤5:搅拌提升:当搅拌机下沉至设计深度后,便以均匀速度提升搅拌,直到设计桩顶标高,即完成二次搅拌加固过程。

步骤6:根据具体搅拌、提升次数,重复步骤4和5。

步骤7:成桩完毕。

1.3 水泥搅拌桩施工质量控制要点

水泥搅拌桩技术对软基进行处理属于隐蔽工程,因而在其施工过程中必须抓好质量控制,避免返工。水泥搅拌桩施工的质量控制要点^[3-4]主要有:

(1)水泥及水泥浆质量控制。必须使用合格的

水泥,严格按照配合比制拌水泥浆,浆液供应满足施工进度要求。保证每根桩所需的浆液1次单独拌制完成,使用前过筛并在3 h内用完。水泥储量不少于1根桩的用量,否则不得进行下1根桩的施工。施工前输浆管路保持潮湿,以利于输浆。

(2)水泥土搅拌桩垂直度控制。保证起吊设备的平整度和导向架的垂直度,控制水泥土搅拌桩的垂直度偏差不大于1%,桩位偏差不大于5 cm。

(3)喷浆深度及喷浆量控制。严格控制钻机下

钻速度、浆喷深度及停浆面,确保喷浆深度和水泥浆液喷入量达到设计要求。如因意外原因导致喷浆中断,必须在3 h以内补喷,重叠喷浆深度应在50 cm以上,超过3 h应按照规定重新打桩。确保全桩水泥用量不得少于试桩时确定的水泥用量,每米用浆量误差不得大于5%。

(4)顶层控制。双向水泥土搅拌桩在地面以下1 m范围内应进行2次喷浆搅拌。

(5)施工机械控制。对输浆管经常检查,不得泄漏或堵塞,管道长度不得大于60 m。定期检查钻头,保持钻头直径误差在-1~3 cm之间。

(6)施工信息化控制。通过全过程监控设备,对不同土层喷浆量、电流等及时进行分析,及时调整下沉、复搅速度以及复搅遍数等参数。

2 实例分析

2.1 工程概况

南京市城东地区某重要通江河道,总长21.65 km。为发挥区域防洪、排涝整体效益,适应地方经济社会发展,对该河道部分区域进行治理。工程分上、下游2段(上游段J4+675-J6+215,下游段J8+735-J12+240),主要建设内容为:河道拓浚、堤防加固和配套建筑物拆、改建。河道规划

断面为梯形断面(图2),地勘资料显示:工程范围内普遍分布淤泥质重粉质壤土、重粉质砂壤土、淤泥和重粉质壤土层,土层物理力学指标如表1所示,抗冲刷能力低,易引起河道边坡冲蚀、坍塌,对河道边坡稳定不利。

在进行边坡稳定性复核时,选取常水位降落期、施工期低水位等2种工况(表2)进行计算。计算结果(表3)表明:在施工期和常水位降落期抗滑安全系数均不满足要求。结合地勘成果,分析认为工程范围内普遍分布的淤泥质重粉质壤土是河道边坡稳定的最不利因素。因此,为解决水位降落期及施工期的边坡稳定,需要对淤泥质重粉质壤土进

行加固处理。

2.2 水泥搅拌桩加固方案及效果

2.2.1 加固方案

加固方案选择主要从加固改良软土(滑动面土体)的思路以及设置抗滑措施的角度出发。对于深厚软土堤基,常用的加固方法有水泥土深层搅拌法、高压喷射灌浆法、抗滑桩法等。因工程范围内普遍分布深厚软土,抗滑桩处理效果不佳,且工程造价高;深搅桩施工机械大,工期较长,但对深厚软土处理效果好,且工程造价较低。综合考虑施工工艺和造价,根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012),选用水泥土搅拌桩技术加固软土地基。具

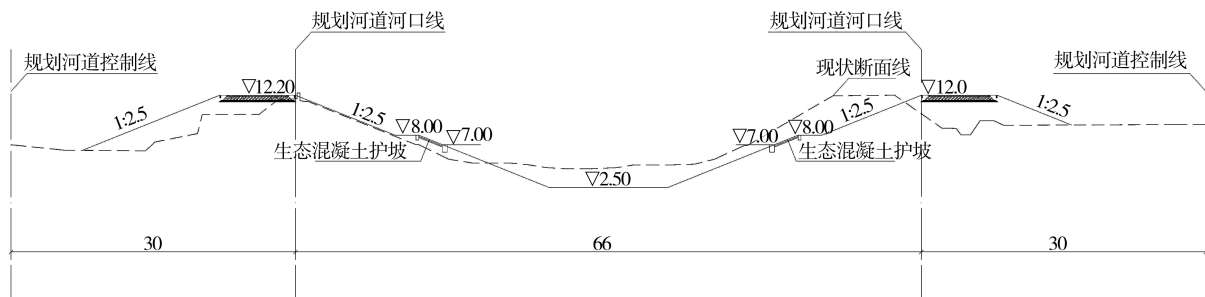


图2 河道规划标准断面图(单位:m)

表1 主要土层物理力学参数

工程地质段	岩土编号	岩土名称	重力密度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 C_q / (快剪)/(kPa)	内摩擦角 φ_q / (快剪)/(°)	黏聚力 C_c / (固快)/(kPa)	内摩擦角 φ_c / (固快)/(°)
上游段	③ ₁	淤泥质土	18.1	14.1	6.9	15.1	9.5
	③ ₂	轻粉质壤土	20.1	10	20	7.8	21
	③ ₃	淤泥	16.1	10.5	3.9	12.6	6.0
	③ ₄	中一重粉质壤土	19.7	19.5	13.3	21.4	14.5
下游段	③ ₁	淤泥质重粉质壤土	18.2	12.8	7.2	14.7	12.2
	③ ₂	重粉质砂壤土	19.0	7.6	21.4	5.5	25.7
	③ ₃	淤泥	17.1	5.3	3.9	9	9.5
	③ ₄	重粉质壤土	19.0	18.4	10.7	19.3	15.7

表2 边坡稳定计算工况

工况描述	水位情况
常水位降落期	常水位工况下,非汛期因置换水体或排水要求,河道水位在7.5 m连续下降1.5 m(7.5~6.0 m)
施工期低水位	2.5 m

体加固方案如表 4 所示。

表 3 堤防边坡稳定计算结果

断面桩号	正常情况	非常情况
	常水位降落期 抗滑安全系数	施工期 抗滑安全系数
J5 + 100(左岸)	1.27	0.90
J5 + 100(右岸)	1.25	0.92
J9 + 720(左岸)	1.14	1.0
J9 + 720(右岸)	1.07	0.77
[k]	1.30	1.20

表 4 软土地基加固方案

断面桩号	加固方案
J5 + 100	高程 8.5 ~ -4 m 设深搅桩加固, 桩径 0.5 m, 间距 0.8 m
J9 + 720	断面高程 5 m 以下范围打深搅桩, 桩径 0.5 m, 桩底高程 -9.5 m。其中坡面及河底两侧各 5 m 范围桩间距为 0.8 m, 河床处桩间距 1.0 m

2.2.2 加固断面稳定性复核

根据《地基处理手册》^[5]相关内容,水泥土的抗剪强度随其无侧限抗压强度增大而增大,其黏聚力 C 与无侧限抗压强度 q_u 的比值为 0.2 ~ 0.3,其内摩擦角变化范围在 20° ~ 30°。加固区的土体参数可按公式(1)、(2)计算。根据室内试验数据取搅拌桩的黏聚力 100 kPa,内摩擦角取 25°。由表 1 原状土的黏聚力标准值、内摩擦角标准值可计算得出水泥搅拌桩加固后的复核地基的黏聚力标准值以及内摩擦角标准值。

$$\tan\varphi_{sp} = m\tan\varphi_p + (1 - m)\tan\varphi_s \tag{1}$$

$$c_{sp} = (1 - m)c_s + mc_p \tag{2}$$

式中: φ_{sp} 为复合土层内摩擦角标准值(°); c_{sp} 为复合土层粘聚力标准值(kPa); m 为面积置换率; φ_p 为桩体材料内摩擦角标准值(°); c_p 为桩体材料黏聚力标准值(kPa); φ_s 为桩间土内摩擦角标准值(°); c_s 为桩间土黏聚力标准值(kPa)。

采用加固处理方案后,各工况下堤防边坡稳定计算结果如表 5 所示。结果显示:在施工期和常水位降落期抗滑安全系数均满足要求。经过水泥土搅拌桩加固后,土体的物理力学指标得到了明显提高,边坡的稳定抗滑系数明显增大,满足了规范的

要求。说明采用水泥土搅拌桩技术加固地基是切实可行的,效果显著。

表 5 加固处理后堤防边坡稳定计算结果

断面桩号	正常情况	非常情况
	常水位降落期 抗滑安全系数	施工期 抗滑安全系数
J5 + 100(左岸)	1.420	1.267
J5 + 100(右岸)	1.663	1.291
J9 + 720(左岸)	1.362	1.261
J9 + 720(右岸)	1.358	1.239

2.2.3 实施效果

根据加固处理方案,设计单位给出的主要技术指标为:搅拌桩全桩长范围桩身强度应均匀,28 d 无侧限抗压强度标准值不小于 0.8 MPa。

施工单位依据方案进行施工,28 d 抗压强度检测结果如表 6 所示。

表 6 28 d 抗压强度结果

相关参数	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
水泥含量(%)	16	16 + 减水剂	18	18 + 减水剂
数据个数	39	38	39	39
最小值/MPa	0.65	0.62	0.66	0.70
最大值/MPa	1.86	2.74	1.88	2.20
平均值/MPa	1.02	1.14	1.10	1.52
标准差	0.301	0.453	0.338	0.489
变异系数	0.296	0.395	0.308	0.321
计算值/MPa	0.93	1.02	1.00	1.39

从表 6 可知:

(1) 4 种方案中,方案 1 的抗压强度最小(0.93 MPa)、方案 4 的抗压强度最大(1.39 MPa),但各方案的水泥搅拌桩的成桩质量均满足设计要求。

(2) 在未添加减水剂的情况下,水泥含量从 16% 增加到 18% 时,成桩抗压强度提高了 7.5%,说明水泥含量增加有利于提高成桩质量。

(3) 水泥含量为 16% 时,添加减水剂,成桩抗压

(下转第 15 页)

冲流速的计算水深可按照河底水深选取。

(2) 苏南地区流域骨干引排工程的不冲流速限值的选取应按照区域河道断面特性进行进一步分析研究,在确保河道安全的前提下进一步优化设计。

参考文献:

- [1] 孟宇. 浅析渠道不冲不淤流速的确定[C]// 水与水技术(第5辑), 2015(4).
- [2] 张庭英. 灌溉渠道不冲不淤坡度的计算方法[J]. 武汉水利电力学院学报, 1964(2):40-43, 100.
- [3] 徐国宾. 应用最小能耗率原理优化设计不冲不淤渠道[J]. 人民黄河, 1993(6):39-41.
- [4] 吴芳, 汪院生. 江苏省中小河流治理工程设计实践与思考[J]. 水利规划与设计, 2013(7):70-72.
- [5] 吴芳. 河道整治中存在的问题及对策浅探[J]. 江苏水利, 2012(1):14-14, 16.

- [6] 杨校礼, 李昱, 孙永明, 等. 弧形短导墙对船闸引航道水流结构影响的研究[J]. 水动力学研究与进展, 2016(31):621-625.
- [7] 于洋, 艾丛芳, 金生. 弯曲度对弯道水流结构影响的三维数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(3):218-223.
- [8] 卢金友, 詹义正, 赵根生, 等. 河道中受侧壁影响的断面流速分布规律研究[J]. 水利学报, 2012(6):19-26, 32.
- [9] 尹进高, 吕宏兴, 栾维功, 等. 梯形渠道断面流速分布规律试验研究[J]. 人民长江, 2008, 39(12):67-69.
- [10] 刘鸿涛, 李延和, 黄金林. 梯形渠道断面平均流速与单点流速关系研究[J]. 水利科技与经济, 2011(6):5-7.

(上接第11页)

强度提高了9.7%;水泥含量为18%时,添加减水剂,成桩抗压强度提高了39%。说明添加减水剂对提高成桩质量有显著效果。

3 结 语

软弱地基处理是工程建设中必须予以高度重视的问题之一。特别是软基上的岸坡无法满足抗滑稳定要求时,水泥搅拌桩技术是一种经济又高效的加固方法。水泥搅拌桩技术具有污染小、费用低、施工快、施组便捷等优势,目前已在公路、铁路、港口码头、市政工程、工业与民用建筑等软土地基加固中广泛应用。在水利工程中推广应用水泥搅拌桩技术,有利于降低工程建设成本、提高工程建设效率,具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 曾斓. 深层水泥土搅拌桩加固沿海软基试验研究和数值模拟分析[D]. 长沙:长沙理工大学, 2018.
- [2] 李强. 长江三角洲地区水泥土搅拌桩在软基处理中应用研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学, 2016.
- [3] 胡永安. 水利工程软基中水泥搅拌桩的设计及施工探讨[J]. 工程建设与设计, 2020(3):126-128.
- [4] 刘露庭, 李小冲. 水泥搅拌桩在堤防整治工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(2):156-158.
- [5] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.