

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.01.024

高喷灌浆在水闸渗漏隐患治理中的运用

陈灿明¹, 苏晓栋¹, 王 驰^{1,2}, 黄卫兰¹

(1. 南京水利科学研究院 水利部水科学与水工程重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 内蒙古农业大学 水利与土木工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 镇江新区大路闸由于施工时防渗板桩间沥青灌注施工不规范和底板基础土层和防渗出口段的砂石反滤层扰动严重, 完工后部分底板接缝处和排水孔冒水、冒砂。根据大路闸的工程和地基土的性质、防渗板桩施工缺陷特点, 提出了高喷灌浆加固防渗板桩的方案, 确定了方案中的主要技术参数, 分析了方案的主要技术特点和施工难点, 采用地质雷达对高喷灌浆的施工质量进行检测和钻取芯样进行了抗渗试验。实践表明, 采用高喷灌浆加固混凝土板桩防渗墙是经济合理可行的。

关键词: 水闸; 防渗墙; 高喷灌浆; 加固; 渗透系数

中图分类号: TV698.2⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)01-0131-05

Application of High-pressure Jet Grouting in Sluice Leakage Treatment

CHEN Canming¹, SU Xiaodong¹, WANG Chi^{1,2}, HUANG Weilan¹

(1. Key Laboratory of Water Science and Water Engineering of Ministry of Water Resources, Nanjing

Hydraulic Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 2. College of Water Conservancy

and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: Due to the irregular construction of pouring asphalt between the impervious sheet pile and the serious disturbance of the sand/gravel anti-filter layer in the soil under the sluice floor and the impervious exit of Dalu sluice in Zhenjiang. After the construction was completed water and sand can still flow from bottom slabs between the seams and drainage holes. According to the characteristics of the construction defects of impervious sheet pile, the scheme of reinforcing the impervious sheet pile was proposed in this paper. The main technical parameters of the scheme was determined based on the nature of the foundation soil of Dalu sluice. The main technical characteristics and construction difficulties of the scheme was analyzed and the construction quality of high-pressure jet grouting was tested by geological radar and impervious test. The practice show that it is economical and reasonable to use high-pressure jet grouting to reinforce the impervious sheet pile.

Keywords: sluice; impervious wall; high-pressure jet grouting; reinforcement; permeability coefficient

镇江新区大路闸是位于长江大堤上的中型水闸, 采用闸站合建, 一字式跨河布置形式。排水闸置于河道轴线上, 两侧分别布置泵站, 闸站两侧岸墙部位填筑土方挡洪, 与河道两岸的防洪堤连接封闭。闸站上、下游分别布置连接翼墙和消能防冲设施, 以便与河岸、河道平顺连接。

闸底板采用平底板, 底板厚 1.2 m, 考虑结构布置、地基条件、与泵房协调等因素, 底板顺水流长 23.0 m, 垂直水流方向总宽 21.1 m。闸室段底板底

坐落在③层淤泥质粉质黏土夹粉砂层上, 根据设计水位组合, 正向最大水位差为 3.39 m, 反向最大水位差 4.63 m, 防渗以反向工况控制。闸基防渗布置采取铺盖与垂直帷幕相结合的形式, 其中铺盖利用上、下游消力池, 并以长江侧为主, 垂直帷幕采用混凝土板桩连续墙, 墙深 6 m, 垂直帷幕墙围成四周封闭形式。铺盖与闸室底板之间布置水平止水, 侧向防渗布置利用泵房边墙、上下游翼墙的侧向轮廓, 泵闸侧向在上、下游位置各布置一道宽 5 m 的刺墙, 同

收稿日期: 2016-10-04

修稿日期: 2016-11-05

作者简介: 陈灿明 (1962—), 男, 江苏靖江人, 教授级高级工程师, 主要从事水工结构的安全鉴定与科学研究工作。

E-mail: ccm9640@126.com

时墙后防渗长度范围内均回填黏性土料。

由于大路闸防渗板施工时接缝处未使用沥青泵从下向上灌注沥青,而是直接由人工从上往下灌注,接缝处仅桩顶约 0.3 m 范围内有沥青,混凝土防渗板桩接缝间存在渗漏通道,另外因施工期降水效果较差,底板基础土层和防渗出口段的砂石反滤

层扰动,导致完工后部分底板接缝处和排水孔冒水、冒砂较严重^[1]。为解决水闸的渗漏问题,确保抗渗稳定,对大路闸站进行了防渗加固处理。本文主要介绍混凝土板桩防渗墙的加固处理与加固效果的检验。

大路闸纵剖面布置如图 1 所示。

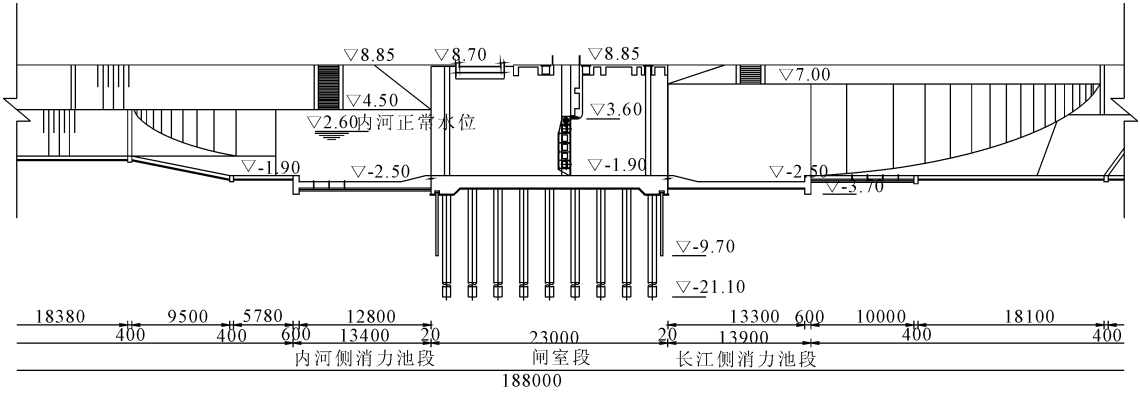


图 1 大路闸纵剖面布置示意图

1 防渗墙的加固设计

1.1 工程地质条件

大路闸站地貌单元为长江河漫滩,勘察范围内土层可分为六层^[2],分别为:① 素填土(Q_4^{ml});② 粉质黏土(Q_4^{al});③ 淤泥质粉质黏土(Q_4^{al});③-1 层粉砂夹粉质黏土(Q_4^{al});④ 粉质黏土夹粉砂(Q_4^{al});⑤ 粉砂夹粉质黏土(Q_4^{al});⑥ 粉质黏土夹粉砂(Q_4^{al})。场地区工程地质条件较差,浅部多为低承载力、高压缩性的软弱土层。第③层土为高压缩性,工程力学性质差;第②、④、⑥层土为中压缩性,工程力学性质一般;第③-1、⑤层土为中低压缩性,工程力学性质一般。①、②、③-1、④、⑥层土均属弱透水性土层,③层土层属微透水性土层,⑤层土层属中等透水性土层。③-1、⑤层土为不液化土层。

闸室段底板底坐落在③层淤泥质粉质黏土夹粉砂层上。该土层的主要物理力学性能为:天然含水率 $W = 36.7\%$;湿密度 $\rho = 1.8 \text{ g/cm}^3$;天然孔隙比 $e = 1.055$;饱和度 $S_r = 95\%$;液限 $W_L = 32.2\%$;塑限 $W_p = 20.8\%$;塑性指数 $I_p = 11.4$;液性指数 $I_L = 1.48$;黏聚力 $C_q = 8 \text{ kPa}$ (直接快剪)、内摩擦角 19° ;压缩系数 $a_{1-2} = 0.522 \text{ MPa}^{-1}$;压缩模量 $E_s = 4.9 \text{ MPa}$;渗透系数 $K = 5.19 \times 10^{-6} \text{ cm/s} \sim 51.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,平均 $19.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。允许水力比降 $i = 0.42$;承载力容许值 80 kPa 。

1.2 防渗墙加固方案

1.2.1 加固方案设计思路

鉴于混凝土板桩的接缝数量多、分布广,直接对接缝处进行处理难度大,而且效果不一定能得到保证。加固处理方案设计宜考虑混凝土板桩接缝的施工缺陷,即使不考虑防渗板桩的功能,抗渗长度也要达到设计要求。

加固处理方案的设计时考虑以下因素:对原结构的影响最小;国内有一定数量的施工单位具备加固施工的能力;技术方案相对成熟,确保工程修复后的效果达到设计要求;力求经济合理。

通过对水闸基础施工过程分析,施工缺陷可能存在的安全隐患,根据地质条件和国内常用的加固技术^[3-4],对高压旋喷灌浆^[5-6]、搅拌桩^[7]和劈裂灌浆^[8]方案的可行性与技术经济进行了比较分析,最终采用了高压旋喷(局部加定喷)灌浆的加固处理方案^[9]。

1.2.2 高喷灌浆加固方案

高压喷射注浆是一种成熟的施工技术,它利用钻机钻孔,把带有喷嘴的注浆管插至土层的预定位置后,通过高压设备使浆液以脉动状的高压射流从喷嘴中喷射出来冲击破坏土体,土颗粒在喷射流的冲击力、离心力和重力等作用下与浆液搅拌混合,并按一定浆土比例有规律地重新排列,浆液凝固后在土中形成一个固结体,从而提高地基抗渗性能和承载力。

根据工程地质条件,在防渗板桩前沿防渗板桩轴线布置一排高压喷射灌浆孔(双管),闸墩和导流

墙处受墙体限制,为保证高压喷射灌浆后形成连续的、整体的密实层,在纵向设置一定数量的钻孔,并且在旋喷的基础上增加定喷方式进行复喷。

考虑到闸底板下方设有钻孔灌注桩,而且齿墙处厚度达到 1.80 m,为确保加固处理后的防渗墙的效果,同时又不改变水闸基底的扬压力分布和整体受力状态,灌浆孔布置在靠近闸底板的消力池底板或泵室护坦上。

灌浆孔的深度超过防渗板桩的底高程 0.5 m。

灌浆孔位置见图 2,灌浆孔平面布置见图 3。

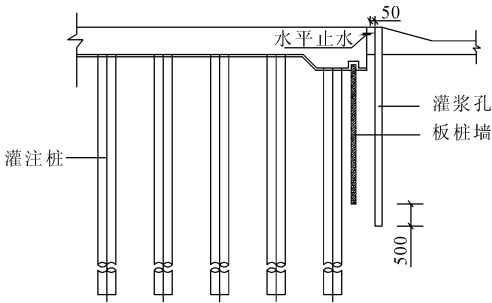


图 2 高喷灌浆孔布置示意图

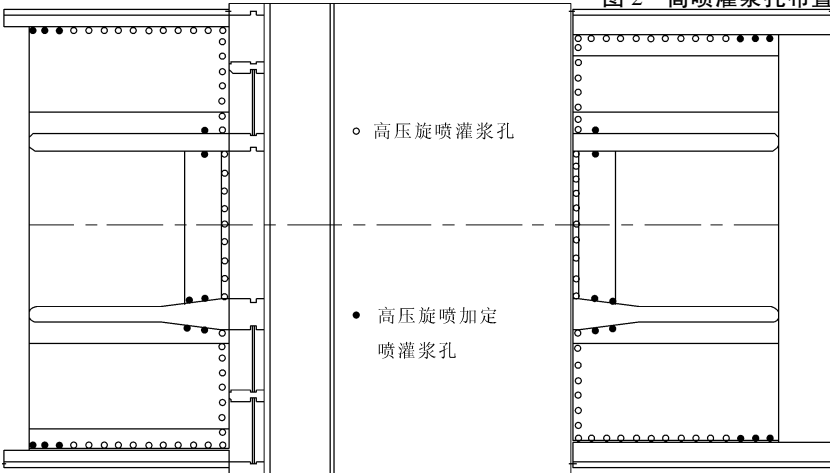


图 3 高喷灌浆孔布置示意图

2 高喷灌浆的施工

2.1 高喷灌浆主要参数的确定

高喷灌浆孔的主要参数根据工程的经验资料进行工程类比,并通过现场试验验证确定。

根据资料^[10-12],对于粉土和粉质黏土双管旋喷固结体直径一般为 1.1 m~1.5 m($0 < N < 10$),0.9 m~1.3 m($10 \leq N \leq 20$),对于以防渗为目的的高压旋喷桩孔距一般选用 1.73R(R 为旋喷固结体半径)。

摆喷及定喷的有效长度为旋喷桩直径的 1.5 倍左右。

施工前在相似地质条件处进行工艺试验,通过开挖检验(见图 4)确定的工程桩的施工参数为:喷浆压力 0 MPa,旋喷转速 10 r/min,提升速度 15 cm/min,施工桩距不大于 1.2 m。

2.2 高喷灌浆施工质量控制

在闸泵室底板分缝外(防渗板桩外前沿)0.2 m 的消力池底板或泵室护坦底板上,按孔距小于 1.2 m 平均布置;内河侧与长江侧的左右侧翼墙墙体外 0.6 m 的泵室护坦底板上,桩距 1.2 m 均匀分布。桩位处混凝土底板用钻机钻取 $\Phi 100$ 孔,桩机钻孔至防渗板桩以下 0.8 m。采用双管(灌浆管外径 $\Phi 75$

mm)旋喷的高压喷射注浆方式进行加固处理,共钻孔 116 孔,其中在翼墙和导流墙封闭处 24 孔进行了定向复喷,累计水泥用量 426.9 t。高压喷射注浆施工控制要点为:

- (1) 高喷灌浆施工选择有经验的专业施工队伍,施工期间水闸上下游水位尽量保持一致。
- (2) 施工前先在闸底板上钻孔,钻孔时不破坏伸缩缝内止水。
- (3) 高喷灌浆浆液使用水泥浆,浆液水灰比为 1.5:1~0.6:1,水泥为强度等级 42.5 级或以上普通硅酸盐水泥。



图 4 高压旋喷注浆试桩开挖检验

(4) 制浆材料的称量误差应不大于 5%,水泥浆搅拌时间不小于 30 s(高速搅拌机),水泥浆自制备至用完的时间不应超过 4 h。

(5) 浆液在过筛后使用,并定时检测其密度,各类泵或输送管路上安装压力表,使用的工作压力为压力表最大标值的 1/3~3/4。

(6) 钻孔孔位与设计孔位偏差不得大于 50 mm,钻杆和钻具垂直度偏差不超过 5‰,钻孔偏斜率不应超过 1%。

(7) 孔底先按确定的喷射压力进行原位喷射不少于 30 s 后,开始由下而上提升喷射,至孔顶(基础底板下)时进行原位喷射不少于 30 s。

高喷灌浆过程中,出现压力突降或骤增、孔口回浆密度或回浆量异常等情况时,必须查明原因,及时处理。

3 高喷灌浆施工质量检验

为确保加固处理效果,对高喷灌浆的施工质量进行现场检测,主要检测上、下游高压喷旋灌浆防渗墙的连续性和深度,并对高喷灌浆防渗墙体钻取芯样进行抗渗试验。

3.1 高喷灌浆防渗墙深度与连续性检测

采用探地雷达法检测防渗墙的深度和连续

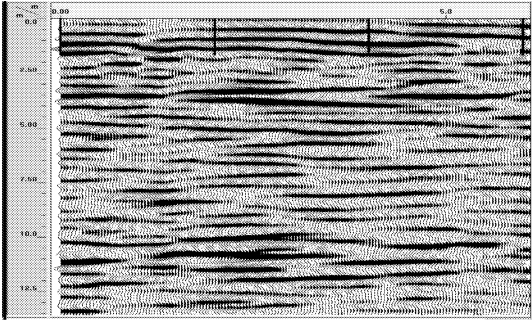
性^[13],探地雷达为 SIR-3000,天线主频 80 MHz;采样点数 1 024 samp/scan,采样数为 16 位,扫描速度 8 scan/s,水平扫描速度 20 scans/m,时窗 300 ns,垂向高通滤波器:30 MHz,垂向低通滤波器:160 MHz,发射率:12 kHz,手动增益。

现场检测时沿水闸的内河侧护坦和江侧护坦及消力池的所有高喷桩中心位置布置地质雷达测线,天线沿设计测线连续移动,速率约 0.2 m/s。且每隔 1.0 m 按动标记开关以控制剖面位置。观测数据通过处理软件分析,得到各测线探地雷达检测剖面图。现场探测情况见图 5,测线典型探测剖面图见图 6。

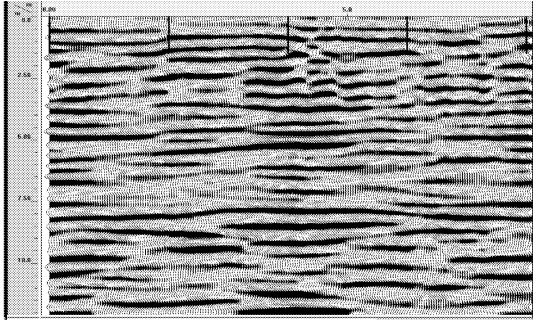
根据地质雷达的探测结果表明,高喷桩的施工质量良好,高喷桩连续、均匀、密实,桩基深度超过设计深度,施工质量符合要求。



图 5 探地雷达现场检测



(a) 垂直水流向



(b) 顺水流向

图 6 典型测线探测剖面图

3.2 高喷灌浆防渗墙芯样抗渗试验

对高喷防渗墙钻芯取样进行室内抗渗试验,试验方法参照《水工混凝土试验规程》^[14](SL352-2006)中 5.7“全级配混凝土渗透系数试验”。

取样位置为内河侧西边孔泵室中部 15# 桩,-2.60 m~-9.20 m 高程,共 6 个芯样,钻取芯样时高喷桩的龄期为 56 d。

按混凝土抗渗试验标准试验得到的防渗墙芯样渗透系数为 1.91×10^{-5} cm/s~ 1.67×10^{-7} cm/s,平

均为 8.48×10^{-6} cm/s,参照国内部分高喷灌浆防渗墙对渗透系数的要求^[3-4,6,14-17],可以认为大路闸高喷灌浆质量良好,高喷灌浆防渗墙的渗透系数满足要求。

4 结 语

本文以镇江新区大路闸混凝土防渗板桩施工缺陷的处理为对象,在综合分析工程地质条件、水闸运行特点、施工缺陷特征及其带来安全隐患,考虑对原

结构的影响、技术方案的成熟性、加固效果以及经济等因素,提出了高喷灌浆加固防渗板桩的方案。分析了方案的主要技术特点和施工难点,并通过试验确定了方案中的主要技术参数。采用地质雷达对高喷灌浆体的深度和连续性进行检测,钻取芯样进行了抗渗试验。实践表明,对于淤泥质粉质黏土夹粉砂层的混凝土板桩的接缝的施工缺陷采用高喷灌浆加固是经济合理可行的,通过加固处理,即使不考虑防渗板桩的功能,抗渗长度也能达到设计要求。

参考文献:

- [1] 水利部基本建设工程质量检测中心. 镇江新区大路姚桥长江堤防达标工程大路闸闸基渗漏检测报告[R]. 北京:水利部基本建设工程质量检测中心,2016.
- [2] 镇江市工程勘测设计研究院. 大路姚桥沿江穿堤涵闸工程地质勘察报告(镇勘-11078)[R]. 镇江:镇江市工程勘测设计研究院,2011.
- [3] 罗居剑. 垂直防渗技术在土石坝除加固工程中的应用和优化设计[J]. 水利与建筑工程学报,2012,10(2): 111-116.
- [4] 赵寿刚,李 信,常向前. 黄河大堤防渗加固措施的适应性研究[J]. 水利与建筑工程学报,2008,6(4):16-19.
- [5] 候秀娟,张新利,伏晓娟. 高压摆喷灌浆技术在水库除险加固工程中的应用[J]. 水利与建筑工程学报,2011,9(6):150-154.
- [6] 高连武,姚海江,陈小辉. 大隆水利枢纽工程高喷板墙施工[J]. 水利水电技术,2005,36(12):57-60.
- [7] 林 鹏,陈慧美,王艳群. 深层搅拌水泥土墙的防渗效

果分析[J]. 水利与建筑工程学报,2010,8(3):28-31.

- [8] 王永昌,高存厚. 浅谈堤防劈裂灌浆技术[J]. 水利与建筑工程学报,2009,7(4):76-78.
- [9] 陈灿明,黄卫兰,王 驰,等. 镇江新区大路姚桥长江堤防达标工程大路闸渗漏处理方案设计(材 16006)[R]. 南京:水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院,2016.
- [10] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范:DL/T 5200-2004[S]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [11] 徐至钧,全科政. 高压喷射注浆法处理地基[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [12] 李思慎. 堤防防渗工程技术[M]. 武汉:长江出版社,2006.
- [13] 江苏省建设厅. 雷达法检测建设工程质量技术规程:DGJ 32/TJ79-2009[S]. 南京:江苏省工程建设标准站,2009.
- [14] 中华人民共和国水利部. 水工混凝土试验规程:SL352-2006[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [15] 陈进心,廖 勇,贡双基,等. 乌金峡水电站二期围堰高喷防渗墙施工难点及对策[J]. 水利水电施工,2009(1):34-36.
- [16] 魏 豫,孙志峰,杨玉银. 高压旋喷防渗技术在汉坪咀水电站中的应用[J]. 山西水利科技,2010(1):27-29.
- [17] 李青云,介玉新,张家发,等. 长江堤防深层搅拌水泥土防渗墙设计指标探讨[J]. 中国水利,2002(12):80-82.
- [18] 叶 娟. 利用抽水试验测定防渗墙渗透系数[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报,2008,8(3):20-22.

(上接第 75 页)

- [12] Lykke A T, Frigaard P, Damsgaard M L, et al. Wave run-up on slender piles in design conditions — Model tests and design rules for offshore wind[J]. Fuel & Energy Abstracts, 2011,58(4):281-289.
- [13] 宋永港. PMS 浅水波浪模型在滩涂圈围工程中的应用[J]. 上海水务,2013,29(3):172-177.
- [14] 尹德军. 近岸波浪数值模拟实用模型系统的研究[D]. 南京:河海大学,2006:16-21.
- [15] 马锡超. 考虑不同护岸形式的近岸波浪场数值模拟研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008:13-17.
- [16] 邓海峰,王忠涛,刘 鹏. 随机波浪作用下海底管线与

海床的相互作用研究[J]. 水利与建筑工程学报,2014,12(4):43-49.

- [17] Li Yong, Lin Mian. Regular and irregular wave impacts on floating body[J]. Ocean Engineering, 2012,42(1):17-23.
- [18] Liu Yuanchuan, Wan Decheng. Numerical simulation of motion response of an offshore observation platform in waves[J]. Journal of Marine Science and Application, 2013,12(1):114-119.
- [19] 柳春光,李璐璐,张士博. 小尺寸双柱式桥墩波浪力的数值分析[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(5):32-38.