

排涝闸站高喷防渗墙在复杂地质条件下的应用

陈敏芬¹，马 骏¹，马良伟²

(1.杭州市水利水电工程质量管理服务中心，杭州 310005，

2.浙江省水利水电建筑监理公司，杭州 310003)

摘 要：在施工过程中发现地质条件复杂多变，出现不同部位岩层厚度、颗粒级配变化大等特殊情况，采取多种高喷防渗墙施工方案确保实施效果。结合富春江干堤加固工程排涝闸站基础高喷防渗墙施工实例，在含大粒径砂卵石层复杂地质条件下，采取施工工艺和技术参数的优化比选、施工过程严格工序控制、第三方多指标质量检测和检测指标对比分析等方法，结果表明含大粒径砂卵石层高喷防渗墙各项指标满足设计要求，但粉质黏土层或淤泥质黏土层成墙质量优于含大粒径砂卵石层。

关 键 词：高喷防渗墙；复杂地质条件；排涝闸站

中国分类号：TV543.8

文献标志码：A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021518

陈敏芬，马骏，马良伟. 排涝闸站高喷防渗墙在复杂地质条件下的应用[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 62-65.

CHEN Minfen, MA Jun, MA Liangwei. Application of High Pressure Jet Grouting Cut-off Wall in Drainage Gate Station under Complex Geological Conditions[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 62-65.

0 引 言

高喷防渗墙是以高压水泥浆液或高压水流强力冲击切割地层使水泥浆液与地基土粒掺混，形成充填凝结体并彼此边接形成的防渗墙体。该技术施工工艺简单成熟，成墙速度较快且造价较低，广泛应用于砂砾石、黏性土、淤泥等地层，用于围堰、堤防、闸站等建筑物的防渗或地基加固^[1-4]。

在高喷防渗墙砂卵石层施工应用经验成果的基础上^[5-7]，本文通过富春江干堤加固工程沿线排涝闸站在复杂地质条件下，在解决深厚大粒径(≥10 cm)的卵石、漂石层高喷防渗墙施工质量控制及检测的问题上进行了实践与探索，为类似工程提供参考。

1 工程概况和地质条件

1.1 工程概况

钱塘江杭州闸口以上流域面积为 41 945.3 km²，干流长 476.6 km，钱塘江南北两源（新安江和兰江）在建德梅城汇合后称富春江，至萧山闻家堰附近右纳浦阳江后称钱塘江，富春江干堤加固工程富春江中游右岸，为浙江省“百项千亿”重点工程。建设堤防总长 16.98 km，总投资 50 685 万元。通过沿江干支流防洪堤提标建设，支流口新建张家溪、金勾浦、赵家

浦、大马浦等排涝闸站，提高区域整体防洪排涝能力。设计防洪标准为 50 年一遇，排涝标准 20 年一遇 24 h 暴雨 24 h 排出。各闸站防洪标准为 50 年一遇，级别为 3 级建筑物，工程规模见表 1。

表 1 支排涝闸站工程规模表

Table 1 Project scale of branch drainage sluice station				
闸站名称	闸宽 (孔×宽)/m	闸底 高程/m	水闸设计流量/ (m ³ s ⁻¹)	机排流量/ (m ³ s ⁻¹)
张家溪	1×2.0	6.3	22.0	2
金勾浦	1×4.5	6.3	42.6	4
赵家浦	1×5.0	6.3	43.0	4
大马浦	4×3.0	4.8	162.0	12

1.2 工程地质

根据地质资料显示，工程区域地质主要由含碎、卵石粉质黏土、粉质黏土、砂卵砾石、淤泥质（粉质）黏土层等组成，其中张家溪和大马浦排涝闸站高喷防渗墙布设在砂卵砾石层和淤泥质粉质黏土层，金勾浦和赵家浦闸站高喷防渗墙布设在粉质黏土层或淤泥质粉质黏土层。

张家溪排涝闸站高喷防渗墙主要布设在砂卵砾石层、淤泥质（粉质）黏土层。按自上而下分层，①泥砂卵砾石层：灰黄色，次圆状，粒径以 2~15 cm 为主，少量 15~20 cm，其量 65%~80%，厚 3.40~4.00 m，顶板高程约 4.5~5.5 m。②淤泥质（粉质）黏土层：灰~青灰色，很湿，饱和、流塑，厚 0.80~0.90 m，顶

收稿日期：2021-05-18
作者简介：陈敏芬（1977-），女。高级工程师，主要从事水利工程建设管理工作。

板高程 0.5~1.6 m。

大马浦排涝闸站高喷防渗墙主要布设在淤泥质粉质黏土层与砂卵石层，按自上而下分层，①淤泥质粉质黏土层：青灰色，很湿，饱和、流塑，顶板高程 5.2~6.2 m，层厚 2.90~4.20 m。②砂卵石层：灰黄色，顶部含少量泥，次圆状，粒径以 2~15 cm 为主，少量 15~20 cm，其量为 65%~80%，顶板高程 0.5~0.7 m，层厚大于 7.70 m。

2 高喷防渗墙施工

2.1 主要设计参数

张家溪、金勾浦、赵家浦、大马浦四座排涝闸站基础处理均采用 $\Phi 80$ 高喷防渗墙，单排布置，中心距 60 cm，有效墙深 5~6 m，有效墙厚不小于 0.5 m。采用旋喷法施工，施工按两序孔交错间隔施工，孔位偏差不大于 5 cm，钻孔偏斜率不得超过 1%，高喷灌浆浆液使用水泥浆，水灰比暂定为 1:1，水泥应采用 P.O42.5 级或以上普通硅酸盐水泥，高喷防渗墙抗压强度 $R_{28} \geq 1 \text{ MPa}$ ，渗透系数小于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

2.2 施工参数确定

高喷防渗墙的质量、工效和造价不仅受工程类型、喷射地形及地质层条件的影响，还取决于施工工艺技术参数的合理选用，包括水、气、浆的压力及流量，喷嘴直径大小及数量，喷嘴旋转速度、提升速度，浆液配比及密度等。根据防渗墙轴线地质情况，通过试验孔施工，经现场试验，确定的施工参数如表 2 所示。

表 2 高喷防渗墙施工工艺参数

Table 2 Construction process parameters of high pressure jet grouting cutoff wall

技术参数		三管法（双高压）	双管法
压缩空气	气压/MPa	0.6~1.2	0.6~1.2
	气量/ ($\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$)	0.8~1.5	0.8~1.5
水	压力/MPa	30~40	-
	流量/ (L min^{-1})	70~80	-
	喷嘴直径/mm	1.7~1.9	-
水泥浆	压力/MPa	25~40	25~40
	流量/ (L min^{-1})	60~140	70~150
水灰比		1:1~1:0.8	1:1~1:0.8
进浆浓度/ (g cm^{-3})		(1.4~1.5)	(1.4~1.5)
提升速度/ (cm min^{-1})		8~20	8~15
旋转速度/ (r min^{-1})		13~15	13~17

2.3 施工工艺

高喷灌浆的主要设备包括钻孔设备和灌浆设备，其中张家溪、金勾浦、赵家浦闸站高压旋喷使用的为双管法施工工艺，采用的设备型号为旋喷钻机

XDX-125A；大马浦闸站高压旋喷使用的为三管法施工工艺，采用的设备型号为高压旋喷钻机 SJW-60。

施工分 2 序施工，先施工 I 序孔，后施工 II 序孔，I 序孔间距 1.2 m，II 序孔间距 1.2 m，I 序和 II 序孔之间间距为 0.6 m，相邻孔施工间隔时间不少于 24 h，一般工序为测量定位、机具就位、钻孔、下入喷射管、喷射灌浆及提升、冲洗管路、孔口回灌等。

由于张家溪和大马浦闸站基础含有砂卵石层，高喷灌浆施工时出现不返浆或少量返浆，对此采取如下处理：孔口不返浆喷射管不提升，少量返浆时将喷射管提升速度降到小于 10 cm/min，旋转速度按 0.8~1.0 倍提升速度；降低喷射压力，加大浆液浓度或灌注水泥砂浆，水泥黏土浆；采用间歇提升灌浆，待返浆正常后按设计施工。

3 质量检测及效果分析

3.1 质量检测

本工程为旋喷套接墙，深度较小，检测方法主要采用钻孔法检查，通过取芯和静水位压水试验检测芯样无侧限抗压强度和墙体防渗性能^[8-9]。现场采用 XY-1A-4 型液压钻机，钻头直径 110 mm，采用单动双管合金钻头清水回旋钻时，钻孔取芯结果表明：①高喷防渗墙布设在粉质黏土层或淤泥质粉质黏土层的金勾浦和赵家浦排涝 2 座闸站，成桩质量较好，取芯正常，芯样呈柱状，长短不一，局部为碎块状，水泥分布均匀，胶结较好，部分芯样有少量砂砾石。②高喷防渗墙大部分布设在砂卵石层的张家溪和大马浦排涝闸站，因钻机在取样过程中钻头切割大粒径卵石的过程中，严重扰动破坏了高喷防渗墙墙体，造成墙体难以取样，芯样不完整，采取率低，结构松散，成碎块状，芯样可见明显的卵石，有水泥浆包裹。

3.2 效果分析

高喷灌浆结束 28 d 后进行防渗墙施工质量检测，钻孔取芯法检测芯样无侧限抗压强度检测结果见表 3，钻孔静水位压水试验结果见表 4。

表 3 芯样无侧限抗压强度检测结果

Table 3 Unconfined compressive strength test results of core samples

闸站名称	地质情况	芯样完整性	设计强度/MPa	抗压强度代表值/MPa
张家溪	砂卵石层、淤泥质黏土层	不完整	1	-
金勾浦	粉质黏土层、淤泥质黏土层	基本完整	1	4.11
赵家浦	粉质黏土层、淤泥质黏土层	基本完整	1	3.87
大马浦	淤泥质黏土层、砂卵石层	不完整	1	-

表 4 压水试验结果

Table 4 water pressure test results

闸站名称	试验段高程/m		试验段长/m	透水率 LU
	起	止		
张家溪	5.1	-0.5	5.6	0.400
金勾浦	4.8	-0.2	5.0	0.376
赵家浦	4.6	0.6	4.0	0.210
大马浦	2.7	-1.8	4.5	0.220

注 钻孔法检查尚无计算 K 值的合理方法和公式, 计算透水率 q 作为质量评定标准。透水率 q 与渗透系数之间的换算, 可参考下列关系式得出, 设计要求 K 不大于 1×10^{-5} cm/s, 相对应的 $q < LU^{10-11}$ 。

芯样无侧限抗压强度试验结果表明, 取样完整时无侧限抗压强度变化不大, 在 3.86~4.11 MPa 之间, 均能满足设计要求, 而在砂卵石层由于取芯芯样不完整, 无法进行力学试验, 无法判别抗压强度是否满足设计要求。

钻孔静水头压水试验结果表明, 无论含泥砂卵石层还是粉质黏土层或淤泥质黏土层, 高喷防渗墙透水率均满足要求, 且粉质黏土层或淤泥质黏土层的渗透系数小于砂卵石层, 意味着高喷防渗墙成墙质量优于砂卵石层。

3.3 特殊情况处理

针对钻孔法取芯检测抗压强度在砂卵石地层无法判别的情况下, 综合利用多种手段, 如开挖检查、物探等方式反映质量, 查阅施工过程记录, 综合评价高喷墙的工程质量。

经过对张家溪、大马闸站高喷防渗墙两侧挖除检查, 桩与桩的连接较好, 墙体轮廓清晰、密实均匀, 开挖后实测的桩径最大 1.1 m, 最小 0.81 m, 防渗墙最小厚度 0.55 m。同时采用重型动力触探 N63.5 试验击数替代高喷防渗墙体的取芯芯样抗压强度, 实测重型动力触探试验每贯入土层 10 cm 的锤击数 $N63.5 \geq 21$ 击, 满足设计要求。

4 结 论

在富春江干堤加固工程中, 沿线排涝闸站在不同

地质条件下, 分别采用双管法和三重管的施工工艺, 经成墙质量的检测并比较分析, 结果表明成墙的防渗性能均满足要求, 对比 2 种地质条件芯样, 发现粉质黏土层或淤泥质黏土层芯样较完整, 顺利检测芯样无侧限抗压强度指标, 但对于存在较大粒径 (≥ 10 cm) 的卵石、漂石地层, 取芯困难, 无法获取无侧限抗压强度指标, 本例通过综合检查、对比验证、合理推算, 用重型动力触探试验击数替代芯样抗压强度, 结果满足设计要求。

参考文献:

- [1] 王育满, 林维秋, 杨伯华. 高喷防渗墙在复杂地层中的应用[J]. 水利水电技术, 2001, 32(2): 23-25.
- [2] 王新民, 朱顺强, 周腾飞, 等. 前坪水库高喷防渗墙施工技术探讨[J]. 人民黄河, 2020, 42(S1): 188-190.
- [3] 黄宝德. 影响高喷防渗墙质量的因素及防治措施探讨[J]. 人民长江, 2010, 41(5): 58-61.
- [4] 魏殿伟, 左鹏杰, 王凯强. 高喷灌浆防渗墙在前坪水库砂卵石地层防渗中的应用[J]. 中国水利, 2020(18): 68-69.
- [5] 贺宁波, 魏红平, 向尚君. 旁多水利枢纽大坝上游围堰高喷防渗墙施工过程控制分析[J]. 四川水利, 2021, 42(3): 104-107.
- [6] 潘新波. 砂砾石地质条件下围堰单排高压旋喷防渗墙施工技术[J]. 西北水电, 2020(3): 70-72.
- [7] 杨海林, 朱海强, 朱文敏. 复杂漂卵石地层高压旋喷防渗技术研究[J]. 水利水电施工, 2012 (1): 54-57.
- [8] 杜林. 高喷防渗墙的质量检测方法比较分析[J]. 江淮水利科技, 2018(6): 21-22, 28.
- [9] 中华人民共和国水利部. 水闸施工规范: SL 27—2014[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [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, 2005.
- [11] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程钻孔压水试验规程: SL 31—2003[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.

Application of High Pressure Jet Grouting Cut-off Wall in Drainage Gate Station under Complex Geological Conditions

CHEN Minfen, MA Jun, MA Liangwei

(1. Hangzhou Water Conservancy and Hydropower Engineering Quality and Safety Management Service Center, Hangzhou 310005, China; 2. Zhejiang Water Resources and Hydropower Construction Supervision Company, Hangzhou 310003, China)

Abstract: In the construction process, it was found that the geological conditions were complex and changeable, and there are special situations such as large changes in the thickness of rock strata and particle grading in different parts.

It is necessary to apply a variety of high-pressure jet grouting anti-seepage wall construction schemes to ensure the implementation effect. Combined with the construction example of high-pressure jet grouting cut-off wall for the foundation of waterlogging gate station of Fuchun River main embankment reinforcement project, under the complex geological conditions with large-size sand pebble layer, the methods of optimized comparison and selection of construction technology and technical parameters, strict process control in the construction process, third-party multi index quality inspection and comparative analysis of inspection indicators were applied. The results showed that the indexes of the high-pressure jet grouting cut-off wall with large particle size sand gravel layer meet the design requirements, but the wall quality of silty clay layer or muddy clay layer is better than that of sand pebble layer with large particle size.

Key words: high pressure jet grouting cut-off wall; complex geological conditions; drainage gate station

责任编辑：赵宇龙

(上接第 51 页)

Study on Reconstruction Parameters Optimization of West Sediment Canal in Weishan Irrigation Area of Lower Yellow River

BIAN Yanli, HUANG Fugui, CAO Huiti, WANG Juntao

(Water Diversion and Irrigation Engineering-technology Research Center, YRIHR, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The study on the parameters of the West sediment transport channel in Weishan Irrigation Area after the reconstruction of Weishan Yellow River diversion sluice is conducive to improving the water transmission and distribution capacity of the channel and ensuring the water use in the irrigation area. HEC-RAS Software was used to analyze the hydraulic factors of the west canal with different reconstruction schemes. The empirical formula of non-scouring and non-silting velocity and sediment carrying capacity were used to analyze the balance state of scouring and silting after the reconstruction of the west sediment canal. The relationship between water level and discharge and the scouring and silting state of the canal with different reconstruction schemes were studied and compared. After the reconstruction of Weishan Sluice, the design parameters of the supporting reconstruction of the main canal (West sediment canal) behind the sluice are as follows: the original trapezoidal section is reconstructed as a compound section, the excavation under the canal is 1.5 m, the design width of the shoal is 3 m, the gradient of the canal is reconstructed as 1/6 000 of the original gradient, and other design parameters of the project remain unchanged. The optimized reconstruction parameters have been applied to the west sediment transport channel in the Weishan irrigation area.

Key words: Weishan irrigation area; Weishan sluice; west sediment canal; reconstruction

责任编辑：赵宇龙