

港口工程防渗墙墙下堵漏处理

伍琪琳, 燕继宇, 王征亮

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 某港口工程监测资料揭示防渗墙墙下存在渗透通道, 采用墙下灌浆措施成功治理了渗漏通道。对本工程防渗墙墙下堵漏处理的设计及施工关键技术要点进行总结, 囊括防渗标准、堵漏范围确定、灌浆孔平面布置、灌浆深度、灌浆分段、灌浆压力、灌浆工艺等方面, 形成一套完整的防渗墙墙下堵漏处理技术。采用水位观测确定堵漏范围的方法突破了旧有技术, 可为后续项目提供参考。

关键词: 防渗墙; 渗漏; 堵漏; 灌浆

中图分类号: U 655

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2022)02-0224-05

Treatment of leakage under cut-off wall in port engineering

WU Qi-lin, YAN Ji-yu, WANG Zheng-liang

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: In a port engineering project, monitoring data reveal the presence of leakage channels under the cut-off wall. Grouting under the wall has been proven highly effective against the leakage. The key technical points are summarized regarding the design and construction for the leakage treatment under the cut-off wall in the project, encompassing the anti-leakage standard, determination of the sealing range, layout of grouting holes, grouting depth, grouting sections, grouting pressure, and grouting technology. Taken together, they form a set of technology for the treatment of leakage under cut-off walls. The sealing range determination based on water level observation breaks through the traditional technology, which can provide a reference for subsequent projects.

Keywords: cut-off wall; leakage; sealing; grouting

用防渗墙防止渗漏作为常规的止水措施于 20 世纪 50 年代起源于意大利和法国, 目前已得到广泛运用和发展^[1]。防渗墙技术虽然在我国起步稍晚, 但发展迅速, 已广泛运用于水利、水电、建筑工程、水运工程等领域, 目前仅水利水电工程中建造的防渗墙总面积已达 54 万余 m^2 。

防渗墙施工设备及工艺先进, 施工过程可控, 检测手段发达, 建造后多数能取得良好的止水效果。截至目前, 因防渗墙墙下或者墙体渗漏导致止水失效的工程案例并不多见, 且多集中于技术水平低下的 20 世纪 60~70 年代, 例如大江水库、卡达水库、大利水库、红旗水电站、大龙潭水库、

拉浪水电站等^[2]。最近的有据可查的防渗墙出现渗漏的工程案例为 2006 年某水利枢纽主坝防渗墙渗漏^[3]。

鉴于以往应对围堰防渗墙墙下渗漏的堵漏工程经验并不丰富, 本文结合工程案例, 总结围堰防渗墙墙下堵漏的设计(防渗标准、堵漏范围确定、灌浆孔平面布置、灌浆深度)及施工(灌浆分段、灌浆压力、灌浆工艺等)关键技术, 为类似项目提供参考。

1 工程概况

1.1 围堰防渗墙工程概况

斯里兰卡某港口工程位于泻湖范围, 采用内

挖式港池, 一期工程已建设完毕, 并通过航道与外海连接, 港池内平均潮位 0.0 m; 二期港池的原地形高程 0.0~15.0 m, 设计底高程-17.0 m。一期工程回填建造了南围堰, 二期工程要求在南围

堰内建造防渗墙, 拟在开挖港池的泻湖侧建造东北围堰及防渗墙, 并与一期已建防渗墙连接起来形成干施工封闭止水结构(图 1)。

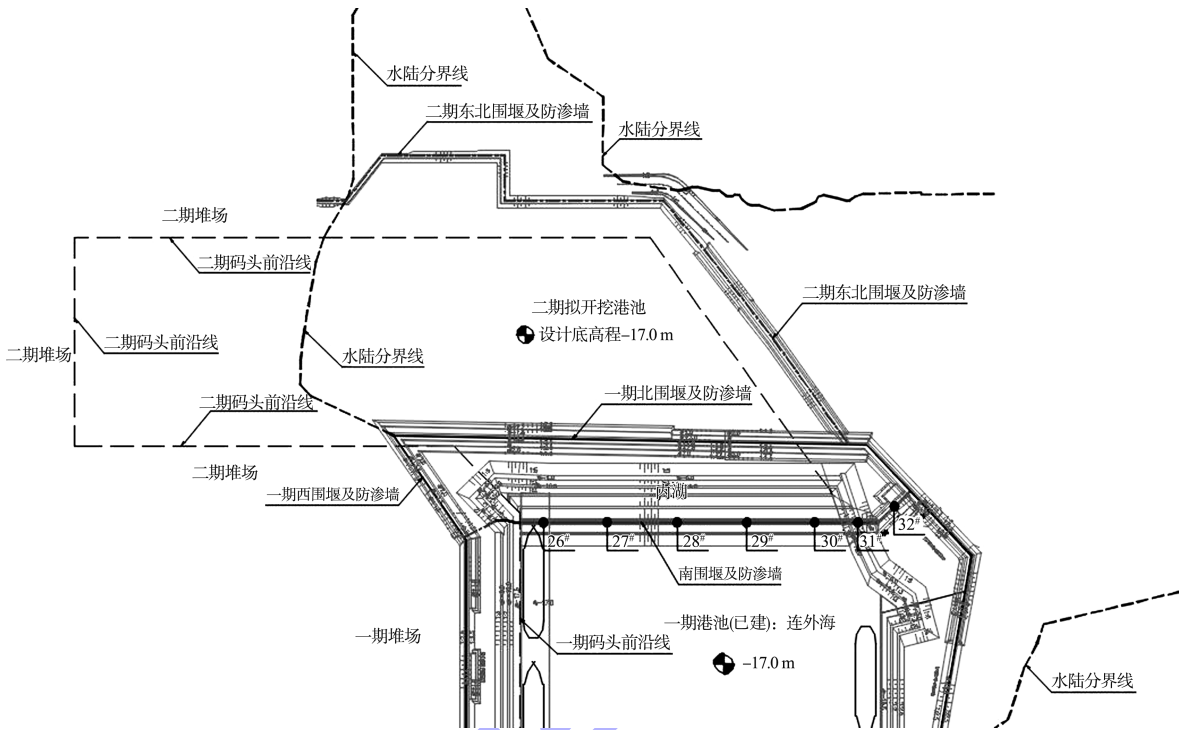


图 1 防渗墙平面布置

东北围堰及防渗墙于原状地基中建设, 建造完成后运行效果良好。南围堰回填段轴线长 790 m, 由一期港池底高程-17.0 m 直接推填至 4.3 m 而成, 堰体材料为一期港池基坑开挖土石料, 主要为含少量黏粒的砂性土。堰基面为中风

化片麻岩面, 由一期港池爆破开挖形成, 可能存在渗漏通道。南围堰典型断面见图 2。堰体内防渗墙采用塑性混凝土防渗墙, 厚度 60 cm, 渗透系数不大于 3×10^{-7} cm/s, 28 d 无侧限抗压强度不小于 3.0 MPa。

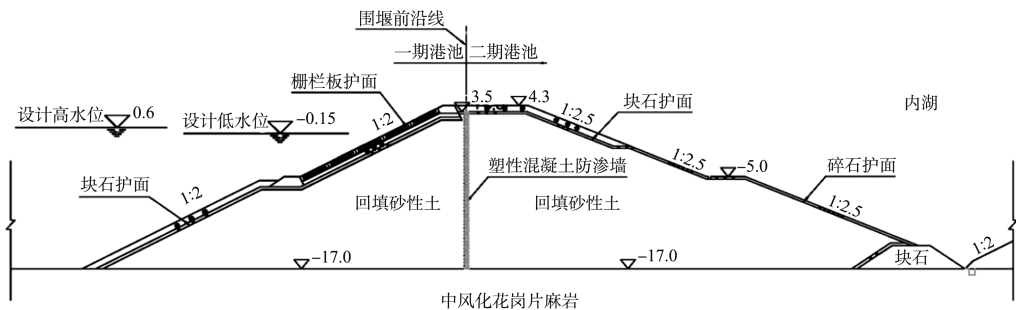


图 2 南围堰防渗墙结构 (单位: m)

1.2 防渗墙墙下渗水情况

南围堰塑性混凝土防渗墙施工完毕并检测合格后, 一期北围堰与南围堰之间的内湖抽水过程

中出现异常情况:

1) 南围堰 27# 监测断面钻孔埋设水位监测管钻至-17.0 m 时, 内湖水面出现冒气泡现象(钻孔工

艺会向土体喷射大量高压气体)。气泡现象与钻孔行为的同步性好, 钻孔停止后, 未再有气泡冒出。

2) 南围堰中部 28# 监测断面的日水平位移急剧加速, 持续超出设计警戒值, 且该断面的堰体水位与内湖水位相关性差, 抽水期间内湖水位持续下降, 但该断面堰体水位未见明显下降趋势。

3) 南围堰 29# 监测断面防渗墙后方的堤顶水位接近 0.0 m, -5 m 堰体平台的水位接近 -5.0 m, 远高于理论计算的堰体水位, 也远高于其余监测断面的实际堰体水位。该监测断面埋设水位管钻孔至 -18.0 m 时, 大量水从钻孔套管内喷出, 持续一晚未见涌水量减少。且该断面的堰体水位与内湖水位相关性差, 甚至出现过内湖降水而堰体水位不降反升的异常现象。

4) 围堰坡面上出现多处潮湿点, 掘开后有水流源源渗出。潮湿点(渗出点)的高程明显异常。

5) 内湖停止抽水后, 基于内湖水位上升值计算的日渗流量是(不存在渗漏通道时)理论日渗流量的数倍。

根据上述异常现象判断围堰防渗墙存在渗漏通道, 结合施工记录及其他资料, 判断该渗漏通道位于防渗墙墙下的中风化地层。

2 防渗墙墙下堵漏设计及施工

2.1 墙下堵漏灌浆设计

2.1.1 堵漏灌浆帷幕的防渗标准

在灌浆帷幕设计时, 确定防渗标准才能确定灌浆帷幕的必要性及范围^[4]。

本工程的堵漏帷幕属于临时工程, 其目的在于减少施工期防渗墙墙下渗流量、降低堰体水位以确保围堰安全稳定。经经济性对比分析、围堰渗流稳定复核, 确定以透水性不大于 5 Lu 作为基岩堵漏灌浆的标准, 并要求基岩灌浆后, 经注水试验检测渗透系数 $K \leq 5 \times 10^{-5}$ cm/s。

2.1.2 渗漏范围

堰体水位异常则存在渗漏通道, 对南围堰按不大于 50 m 的间距增补水位观测管, 并按以下步骤确定渗漏(堵漏)范围^[5]:

1) 实测水位与理论计算水位及稳定断面水位对比, 高水位区存在渗漏风险;

2) 在可能的渗漏段补注浆, 如堰体水位明显下降, 则说明注浆段仍处于渗漏范围内。沿围堰轴线继续扩大补注浆范围, 直至堰体水位不再明显降落, 则停止补注浆。

2.1.3 灌浆孔平面设计

墙下堵漏灌浆孔有 3 种布置形式: 防渗墙内无镶管灌浆、墙内钻孔镶管灌浆及墙外钻孔镶管灌浆。

1) 防渗墙内无镶管灌浆仅需在孔口镶 1.5 m 的孔口管便可与灌浆设备连接, 自上而下分段灌浆。此方法的优点在于施工简单, 可与防渗墙形成连续的防渗帷幕。但实际施工中发现, 由于塑性混凝土防渗墙强度较低(约 3.0 MPa), 灌浆压力过大(1.0 MPa)将导致墙体出现剪切破坏, 而过小的灌浆压力无法满足墙下基岩灌浆的要求。因此, 当防渗墙强度不高时, 此方法不适用于墙下堵漏处理。

2) 墙内钻孔镶管灌浆是在防渗墙轴线上钻孔镶 PVC 管或钢管保护防渗墙, 以克服防渗墙强度不足的问题。但实际施工中发现, 由于防渗墙较薄而高, 钻孔镶管过程中容易出现钻穿防渗墙墙体侧边的情况。该方法受钻孔水平、防渗墙厚度、防渗墙高度限制, 在很多情况下不适用于墙下堵漏处理。

3) 墙外钻孔镶管灌浆是在防渗墙的外侧选择适当的距离在堰体内钻孔镶管至岩面做孔口管, 岩面以下灌浆。由于堰体材料较松散且存在大块石, 此方案的成孔施工难度比前两者更大, 但不受墙体强度及钻孔垂直度限制, 适用于各种情况的墙下灌浆堵漏处理。此方案的另一优势在于, 即使防渗墙墙体存在渗漏通道, 墙下灌浆或者堰体内预灌浆时, 浆液也将沿着防渗墙扩散, 形成一薄层高强度水泥结石膜, 封堵堰体渗漏通道。采用墙外钻孔镶管灌浆的 3 个试验孔段均取得满意的结果, 因此本工程以此作为最终的墙下堵漏灌浆方案。

结合现场地质条件、水文条件、防渗要求及类似工程经验，于防渗墙上下游双排布置灌浆孔，灌浆孔排距 800 mm、间距 1 000 mm、呈“品”字形布置(图 3)。

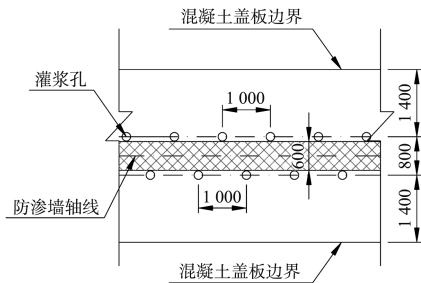


图 3 灌浆孔平面布置 (单位: mm)

2.1.4 竖向设计

由于堰体为松散回填砂性料，无法直接成孔后镶管。因此，有 2 种应对钻孔镶管工艺：跟管钻进、堰体灌浆后成孔再镶管。前者施工简单、成本较低，但本工程的堰体内存在较多大块石，跟管钻进无法成孔，因此采用后者作为钻孔镶管方案。

墙下灌浆深度以基岩透水率不大于 5 Lu 为标准，现场根据钻孔的简易压水试验结果确定最终的灌浆深度。

2.2 墙下堵漏灌浆施工

2.2.1 钻孔方法

采用 XY-2 型地质钻机钻孔，终孔孔径不小于 $\phi 56$ mm。为确保堰体内成孔，采用预灌浆处理，当堰体钻进不能成孔时即停止钻进，进行灌浆处理，再继续钻进。由于堰体灌浆对渗透指标不做要求，因此，采用注灰量 150 kg/m 作为灌浆结束控制标准。采用水灰比为 0.7:1 的浓浆起灌，并根据现场地层的可灌性进行适当调整。堰体灌浆后，钻孔至基岩面深度时，镶筑 $\phi 89$ mm PVC 管。

2.2.2 钻孔冲洗及压水试验

堰体及基岩段灌浆钻孔结束后采用压力水进行钻孔冲洗，冲洗压力可为灌浆压力的 80%；冲洗时间至回水澄清时止，并不大于 20 min。如堰

体部分不返水可不进行冲孔直接灌浆。

堰体部分不进行简易压水，基岩段进行简易压水试验，简易压水可与钻孔冲洗同时进行，压水时间 20 min，每 5 min 测读 1 次压入流量，以最后流量值作为计算流量。

2.2.3 灌浆工艺

采用纯水泥浆液进行孔口封闭、孔内循环的灌浆工艺。孔口封闭灌浆工艺可对上层灌浆段进行反复注浆，从而取得良好的注浆效果。堰体灌浆按分序加密、不分排的原则进行，每段灌浆完成后均需待凝。基岩灌浆严格按分排、分序加密的原则进行，分两序灌浆，先施工 I 序孔，再施工 II 序孔，同次序灌浆孔可同时施工。

2.2.4 灌浆分段及灌浆压力

堰体部分不能成孔时即停钻，进行灌浆处理，再继续钻进。堰体灌浆每段完成后进行足够待凝，再进行下一段施工。基岩灌浆第 1 分段长 2.0 m，其余段长为 5.0 m。

灌浆压力通常在帷幕孔顶段取 1.0~1.5 倍坝前静水头，在孔底段取 2.0~3.0 倍坝前静水头。考虑到坝前水头约 0.2 MPa，堰体灌浆压力初步拟定为 0.2~0.3 MPa，并允许现场根据注灰量调整。基岩灌浆压力以尽量使用大压力但以不破坏墙体或抬动岩层为原则。实际施工时，第 1 段采用 0.7 MPa，其余段采用 1.0 MPa。

2.2.5 浆液配比及浆液变换

浆液配比由灌浆试验确定(表 1)。钻孔不返水的孔段，直接采用 1:1 浆液进行灌注。钻孔正常返水的孔段，采用纯水泥浆液按由稀变浓的原则灌注，浆液比级采用四级变换，水灰比分别为 3:1、1:1、0.8:1 和 0.5:1。

表 1 灌浆浆液配比		
水灰比	水泥/kg	水/L
3:1	150	450
1:1	150	150
0.8:1	150	120
0.5:1	150	75

注：采用纯水泥浆液。

变浆原则:

1) 当灌浆压力保持不变、注入率持续减小时, 或注入率不变而压力持续升高时, 不应改变浆液比级;

2) 当灌注时间已达 30 min, 而灌浆压力和注入率均无明显改变时, 应改浓一级;

3) 当注入率大于 30 L/min 时, 根据具体情况越级变浓。

2.2.6 灌浆结束标准

在设计压力下注入率小于 1 L/min 后, 持续灌注 30 min 即可结束。

2.2.7 灌浆孔封孔

灌浆结束后, 以 0.5:1 的纯水泥浆液采用全孔灌浆法进行压力封孔。封孔压力采用最大灌浆压力, 封孔时间为 30 min。

2.2.8 灌浆质量检测

灌浆施工质量检查在灌浆结束 14 d 后进行, 以检查孔注水试验成果为主。质量评定标准为: 混凝土与基岩接触段的透水率的合格率为 100%, 其余各段的合格率不小于 90%, 不合格段的渗透系数不超过设计规定的 150%, 且不合格段的分布不集中。

本工程共进行了 7 个检查孔 17 个试段的注水试验。试验结果表明, 所有检查孔试段的透水率均满足设计要求, 透水率最大值为 4.39×10^{-5} cm/s。

2.3 墙下堵漏灌浆效果评价

墙下堵漏灌浆结束后进行内湖抽水, 堰体水位大幅度降低, 实测水位接近理论计算水位, 且水位下降与内湖水位下降相关性强; 围堰堰体日水平位移速率仅为灌浆前速率的 $1/7 \sim 1/3$, 远小于警戒值, 呈稳定趋势; 内湖停止抽水期间, 根据内湖水位上升值计算的日渗流量约为灌浆前的 0.5 倍; 内湖抽干后, 围堰实测渗水量较小。因此, 可判断本工程的防渗墙墙下堵漏灌浆取得了满意效果。

3 结论

1) 当防渗墙的墙体强度不高时, 采用墙内无镶管灌浆, 较大的灌浆压力会导致防渗墙墙体的剪切破坏, 而较小的灌浆压力无法满足墙下灌浆的要求; 墙内钻孔镶管灌浆在防渗墙较薄且高度较大时应慎用, 因为它对于钻孔垂直度要求很高, 才能保证钻孔不钻穿墙体侧壁; 墙外钻孔镶管灌浆可克服以上问题, 适用于一般情况下的墙下堵漏处理。

2) 通过对监测异常现象及监测数据(堰体水位、变形、渗水量等)的综合分析可以发现渗漏现象; 通过对堰体实测水位的分析可以初步确定渗漏范围; 通过对比堵漏前后的堰体水位、变形、渗水量等监测数据可评价堵漏效果。监测系统在墙下渗漏的发现和處理以及堵漏效果评价中起关键作用。

3) 采用墙下堵漏灌浆成功地封堵斯里兰卡某港口工程围堰防渗墙墙下的渗漏通道, 取得满意的效果, 其设计(防渗标准、堵漏范围确定、灌浆孔平面布置、灌浆深度)、施工(灌浆分段、灌浆压力、灌浆工艺等)等关键技术可为类似项目提供参考。

参考文献:

- [1] 丛蓓森.地下连续墙的施工设计与应用[M].北京:中国水利水电出版社, 2002: 1-1.
- [2] 劳武.混凝土防渗墙(面板)大坝防渗堵漏灌浆技术研究[J].红水河, 2004(24): 59-62.
- [3] 朱云江, 谢蒙, 李伟.某水利枢纽防渗墙查漏及堵漏经验总结[J].珠江现代建设, 2008(4): 16-19.
- [4] 张景秀.坝基防渗与灌浆技术[M].2版.北京:中国水利水电出版社, 2002: 38.
- [5] 伍琪琳, 焦淑贤.基于监测系统的某干施工围堰渗漏的发现及处理[J].水运工程, 2018(10): 189-193, 206.