

浅谈围堰帷幕灌浆变更设计 在贵港航运枢纽二线船闸工程中的应用

韦兵生

中国能源建设集团广西水电工程局有限公司 广西南宁 530000

摘要: 西江航运干线贵港航运枢纽二线船闸工程位于岩溶发育区域,地质条件复杂,工程建设过程中发现原围堰帷幕灌浆设计方案存在技术缺陷,基坑渗水风险较大。围堰帷幕灌浆变更设计采用袖阀管综合灌浆工艺,针对不同地层特征制定差异化灌浆方案。挡水线以下填土层、强风化岩体采用双液灌浆技术,中风化岩体采用纯水泥灌浆。变更方案优化了灌浆工艺流程,调整了技术参数配置,建立了完善的质量控制体系。该变更设计方案技术先进,经济合理,为岩溶地区类似工程提供了重要技术参考。

关键词: 围堰帷幕灌浆; 变更设计; 岩溶地区; 袖阀管工艺; 双液灌浆; 基坑防渗

前言

岩溶地区水利工程建设面临复杂的地质挑战,基坑防渗处理是工程成败的关键技术环节,贵港航运枢纽二线船闸工程地处石炭系白云岩发育区,岩溶裂隙密集分布,溶洞规模不一。工程建设初期采用的传统单排孔灌浆方案在实际施工中暴露出防渗效果不佳、渗漏风险较高等问题,岩溶地区地下水活动频繁,渗透通道复杂多变,常规灌浆技术难以形成有效的防渗屏障。围堰帷幕灌浆变更设计针对工程地质特点,优化灌浆工艺流程,调整技术参数配置,提升防渗处理效果。

一、工程概况与变更背景

西江航运干线贵港航运枢纽二线船闸工程位于郁江中段贵港市上游约6.5km处,为扩建航运枢纽工程,二线船闸等级为I级通航建筑物,设计最大船舶等级为3000t级,船闸规模为280×34×5.8(m)。工程区处于横县-贵港岩溶孤峰残丘平原区,下伏基岩为石炭系中统大埔组白云岩,岩层走向北东50°~80°,倾向南东。通航建筑物区主要发育三组节理:第一组为N30°~50°W,NE∠50°~80°,第

二组为W35°~85°N,WS∠15°~90°,第三组为N60°~80°E,ES∠80°~90°。节理裂隙的发育特征直接影响岩体的透水性能和灌浆效果,为围堰帷幕灌浆设计提供了重要的地质依据。

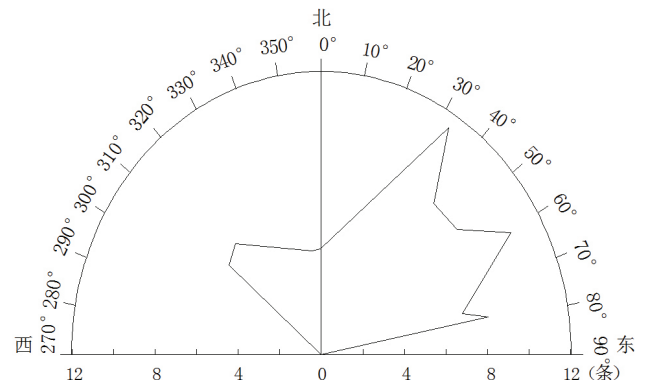


图1 节理走向玫瑰图

工程区为覆盖型岩溶地区,岩溶发育强烈,如图1所示为节理走向玫瑰图,船闸本体段钻孔遇洞率48.7%,线岩溶率7.46%;下引航道钻孔遇洞率13.3%,线岩溶率4.29%,具体岩溶发育强度统计见表1。二线船闸布置在一线船闸右侧,中心线相距125m,基坑底高程较一线船闸基底低,根据地质勘察成果分析,工程区域溶洞、溶

表1 船闸及下引航道岩溶发育强度统计表

工程部位	钻孔数 (个)	遇洞孔数 (个)	钻孔遇洞率 (%)	基岩进尺 (m)	遇溶洞数 (个)	溶洞进尺 (m)	直线岩溶率 (%)	最大溶洞 (m)	发育最底高 程(m)
船闸	39	19	48.7	696.7	35	51.98	7.46	6.8	▽2.55
下引航道	30	4	13.3	389.04	8	16.7	4.29	9.5	▽10.0
合计	69	23	33.3	1085.74	43	68.68	6.33	9.5	▽2.55

槽、裂隙发育复杂,桂平枢纽工程和贵港航运枢纽工程建设期均发生过较大的基坑渗漏,因此需在两线船闸之间进行围堰帷幕灌浆处理。

二、围堰帷幕灌浆变更设计方案

(一) 施工期围堰防渗问题分析

船闸主体全年施工围堰位于一线船闸右侧,为土石围堰,长约577m,覆盖层厚3.3~24m,基岩上部土层包括填土①、粘土②④⑤层及混卵砾石粘土③层。粘土②④⑤土层渗透系数 $K=1.146 \sim 5.121 \times 10^{-6} \text{cm/s}$,属微透水层;填土①、混卵砾石粘土③土层渗透系数 $K=5.787 \times 10^{-5} \text{cm/s} \sim 4.976 \times 10^{-2} \text{cm/s}$,属弱透水层~强透水层。下伏基岩为石炭系中统大埔组白云岩,强风化岩层渗透系数 $K=1.121 \times 10^{-1} \text{cm/s}$,属强透水层,填土①、混卵砾石粘土③及下伏基岩具有渗透性强、岩溶发育的特点,如不进行防渗处理将严重影响基坑排水效果。

(二) 原施工图设计围堰帷幕灌浆方案

原设计采用单排孔帷幕灌浆,上游引航道和闸区防渗帷幕灌浆顶高程 $\nabla 46.0$,下游引航道防渗帷幕灌浆顶高程分别为 $\nabla 40.5$ 、 $\nabla 45.0$ 、 $\nabla 35.0$,帷幕灌浆底高程根据工程地质纵剖面图确定,岩体防渗帷幕体的单体吸水量值不大于5Lu。由于设计时无勘察阶段进行的帷幕灌浆生产性试验报告作为参考,技术参数参照一线船闸永久帷幕灌浆参数,覆盖层钻孔水泥灌入量平均按85kg/m,中风化岩石水泥灌入量按80kg/m,水玻璃均按3kg/m。原设计上下游引航道预留围堰灌浆工程量共71876m,其中土建1标45859m,土建2标26016m。

(三) 围堰防渗帷幕变更设计理论依据

根据勘察单位提供的《围堰帷幕灌浆试验报告》和I标联合项目部提供的《帷幕灌浆生产性试验报告》数据分析,试验区存在岩溶通道可能性较大,有关数据与初勘成果及设计提供的参数存在较大变化^[1]。参考贵港航运枢纽、桂平二线船闸工程的灌浆成果,结合专家审查意见,确定变更设计技术路线。变更设计基于岩溶地区复杂地质条件,采用袖阀管综合灌浆工艺,能够适应不同地层的渗透特性,提高防渗效果的可靠性。

(四) 围堰防渗帷幕变更设计方案

变更设计采用袖阀管帷幕灌浆施工工艺,基坑施工防渗帷幕灌浆范围上限为岩土分界线上2m,下限为基坑开挖面以下5~10m。挡水线以下填土层、强风化岩体采用双液灌浆技术(水泥浆+水玻璃),中风化岩体采用纯水泥灌浆,帷幕灌浆中水泥灌入量按270kg/m、水玻

璃按30kg/m。基于岩溶地区复杂地质条件和现场试验数据分析,将岩体防渗帷幕体的单体吸水量值从原设计的5Lu调整为10Lu,该标准调整能够更好地适应岩溶地区地质特点,确保防渗效果的可靠性。

(五) 施工程序与工艺流程

帷幕灌浆按分序加密法施灌,分序、分段施工,宜分II序施工,帷幕灌浆钻孔的施工顺序为:钻孔→钻孔冲洗→压水试验→灌浆→全孔终了后封孔。采用袖阀管综合灌浆工艺,钻探一次成孔到透水率小于10Lu的岩层终孔后,向孔内下入袖阀管,并灌注套壳料^[2]。对于场地内分布的填土①、粘土④及岩土界面以下相对较完整的白云岩岩层采用水泥浆袖阀管纯压式灌浆工艺,对于混卵砾石粘土③、粘土⑤、强风化白云岩、中风化白云岩中的岩溶裂隙密集发育带及溶洞采用水泥-水玻璃双液袖阀管纯压式灌浆工艺。

(六) 施工方法与技术参数

对于采用水泥-水玻璃双液注浆法进行灌浆的地层,灌浆孔按单排1.5m孔距布置,采用冲击回转式钻机或回转式钻机成孔,终孔口径不能小于 $\varnothing 91\text{mm}$ 。灌浆方式采用水泥-水玻璃双液注浆法,按自下而上方式进行。灌浆压力选择:基础面以下5.5m范围内为0.3~0.4MPa,距基础面5.5m范围以下为0.2~0.6MPa,具体灌浆压力根据现场灌浆情况确定。对于袖阀管自下而上纯压式灌浆法,灌浆压力宜取0.3~0.8MPa,孔底允许偏差值根据孔深控制在0.25~1.5m范围内。

(七) 浆液配比与闭浆条件

水泥-水玻璃双液注浆法的浆液配比建议采用单一水灰比0.5:1,水泥浆与水玻璃浆液的体积比按0.2:1配置,具体视灌浆段的地质条件与灌浆特性现场调整。闭浆条件以注浆平均压力达到灌浆设计压力值为标准,对于袖阀管自下而上纯压式灌浆法,浆液配比变换采用2级变换,即1:1、0.5:1两个比级^[3]。当浆液水灰比变换到0.5:1后,连续灌注时间达到30min以上且灌浆注入率仍不满足不大于2L/min的闭浆条件时,可调整为水泥-水玻璃双液注浆法工艺,闭浆条件以注浆压力达到设计值为标准。

(八) 特殊情况处理与溶洞处理

灌浆过程中,对冒浆、漏浆问题,视具体情况采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、间歇灌浆等方法处理,发生串浆时采用一泵送一孔,同时灌注。对钻孔中遇到的溶洞、溶槽、溶沟灌浆,应查明其充填类型、

规模和渗流情况。溶洞内无充填物时，根据溶洞大小和地下水活动程度，可泵入高流态混凝土或水泥砂浆，或投入碎石再灌注水泥浆液、混合浆液、模袋水泥浆液等，溶洞内有充填物时，根据充填物类型、特征及填充程度，可采用单管高压旋喷灌浆进行置换、充填处理。灌浆注入量大时，可选用低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆

等措施。

(九) 基坑涌水量估算与工程量统计

根据水文地质调查及钻探揭露分析，预测地下水的水力坡降为5~10%。按不同的渗透系数，选取漏水断面长度和漏水断面宽度各50m计算渗漏总量，基坑涌水量估算结果见表2。

表2 基坑涌水量估算表

序号	工况	渗透系数k (cm/s)	水力坡降 (%)	漏水断面长度 (m)	漏水断面宽度 (m)	渗漏总量Q (m ³ /d)
1	情况1	7.14×10^{-2}	10	50	50	15422.4
2	情况2	7.59×10^{-3}	10	50	50	1639.44
3	情况3	1.71×10^{-4}	10	50	50	369.36

变更后围堰帷幕灌浆工程量共34823m，其中1标范围1894m长，钻孔1264个，土层钻而不灌浆9258m，灌浆25701m，2标范围864m长，钻孔460个，土层钻而不灌浆1529m，灌浆9122m。变更设计相比原设计工程量减少约51.5%，在保证防渗效果的前提下实现了技术优化。

三、变更设计的实施与保障

(一) 灌浆效果检查

帷幕灌浆效果检查以分析检查孔水压水成果为主，结合钻孔、取岩芯资料、灌浆记录和测试成果等进行综合评定。压水试验检查在灌浆结束14d后进行，采取自上而下分段检查。检查孔数量为灌浆孔总数的10%，一个单元工程内至少布置一个检查孔。

(二) 质量控制标准

帷幕灌浆施工要求及验收按《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T5148-2012)进行，岩体防渗帷幕体的单体吸水量值不大于10Lu或渗透系数 5×10^{-4} cm/s。帷幕灌浆压水试验合格标准，混凝土与基岩接触段及其下一段的合格率应为100%，再以下各段的合格率应为90%以上。

(三) 变更后工程费用对比

变更设计在技术优化的同时实现了工程成本的合理控制，变更前围堰防渗工程费用总计3449.58万元，变更后总费用为3271.20万元，减少178.38万元，降幅约

5.2%。变更设计通过技术方案优化，在保证防渗效果的前提下实现了整体工程费用的节约，体现了技术经济性的统一，围堰防渗帷幕灌浆底高程、帷幕灌浆技术参数需根据现场帷幕灌浆生产性试验确定。

结语

围堰帷幕灌浆变更设计有效解决了贵港二线船闸工程基坑防渗关键技术问题，袖阀管综合灌浆工艺与双液灌浆技术的结合应用，形成了适应岩溶地区地质特点的防渗技术方案。变更设计通过科学的技术路线选择、合理的参数配置和严格的质量标准，实现了防渗效果与工程成本的平衡优化。该技术方案的成功应用验证了变更设计的可行性，对推进岩溶地区水利工程防渗技术发展具有重要意义，为同类工程建设积累了宝贵的技术经验。

参考文献

- [1] 张俊明, 徐文吉, 韩小锐. 帷幕灌浆与高压旋喷相结合在船闸围堰工程中的应用[J]. 中国水运, 2025, (19): 98-101.
- [2] 曹锐. 三液可控围堰快速堵漏防渗灌浆技术应用研究[J]. 陕西水利, 2025, (07): 113-114+117.
- [3] 胡永福. 渝万项目水中筑堤围堰帷幕注浆施工技术[J]. 低温建筑技术, 2025, 47(03): 160-164.