

大石峡水利枢纽工程坝基帷幕灌浆试验研究

秦安江

新疆塔里木河流域大石峡水利枢纽工程建设管理局 新疆阿克苏 843000

摘要: 大石峡水利枢纽工程最大坝高247m, 基岩防渗采用双排帷幕灌浆, 由于地质条件复杂, 运行水头高, 后期不具备检修和补灌条件, 对防渗系统的可靠性和耐久性要求极高, 通过选择代表性地段进行现场灌浆试验, 研究安全、经济、可靠的灌浆施工工艺, 验证灌浆方案的可行性和有效性, 为工程的后续施工和运行提供重要技术支持和参考依据, 有助于确保工程的安全可靠性和持续运行, 本文结合大石峡水利枢纽工程坝基帷幕灌浆试验进行研究, 以供参考。

关键词: 大石峡水利枢纽; 大坝坝基; 帷幕灌浆; 灌浆试验

一、工程概况

大石峡水利枢纽工程位于新疆阿克苏地区温宿县和乌什县交界的阿克苏河干流库玛拉克河大石峡峡谷出口处, 是一座在保证向塔里木河干流生态供水目标的前提下承担灌溉、防洪和发电等综合利用任务的水利枢纽工程。水库总库容11.7亿立方米。电站总装机容量750兆瓦, 工程等别I等大(1)型, 主要建筑物包括混凝土面板砂砾石坝、排沙放空洞、泄洪排沙洞、发电引水压力管道、开敞式岸边溢洪道、地面发电厂房、生态放水设施等。坝顶高程: 1707.00米、河床建基面高程: 1460.00米、最大坝高: 247.0米、坝顶宽: 15米、坝顶长度: 576.5米。

二、试验区说明

1. 试验区选址与布置

试验区位置在坝址区选择具有较强代表性, 能反映出趾板基础水文地质特点和施工条件的典型区域。由业主、设计、监理、地质、施工单位共同协商, 结合现场

实际情况, 选择在右岸水平趾板建基面布置两个试验区进行帷幕灌浆试验。

试验A区: 盖重混凝土尺寸: 宽11米, 长15.5米, 厚度1.2米, 采用C25(二)级混凝土, 表面布置 $\phi 25@15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 钢筋。试验区基础设置 $\Phi 28$ 锚筋, 入岩5m, 间排距1.5m, 两排帷幕灌浆孔, 孔距2.0m, 排距1.5m, 梅花形布置。

试验B区: 盖重混凝土尺寸: 宽11米, 长13.25米(与A区相比略短)。锚筋和钢筋网设置与试验A区一致。帷幕灌浆孔设置: 共2排, 排距1.5米, 孔距1.5米。两排帷幕灌浆孔, 孔距1.5m, 排距1.5m, 梅花形布置。

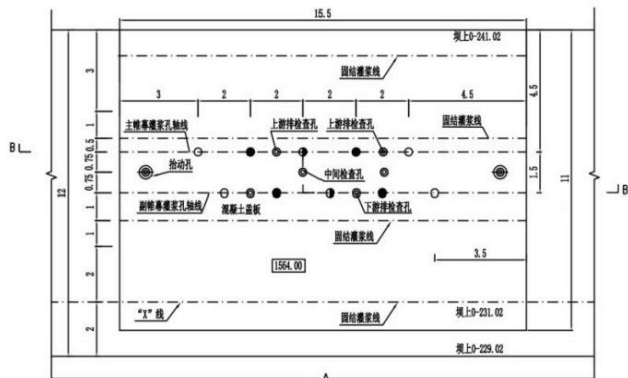


图1 试验A区帷幕灌浆孔布置图

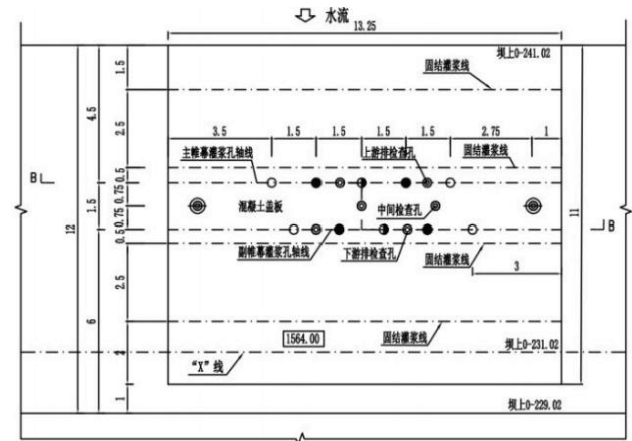


图2 试验B区帷幕灌浆孔布置图

2. 试验区地质

右岸水平趾板基岩主要为灰色中厚层与薄层微晶灰岩互层, 夹少量深灰色、紫红色厚层角砾灰岩, 岩层总体产状走向 $NE40^\circ \sim 55^\circ$, 倾向NW, 倾角 $50^\circ \sim 65^\circ$, 层面较发育。断裂构造主要发育F17、F32、F38断层

和L52裂隙,岩体中随机裂隙较发育。右岸强风化深度3m~8m,弱风化深度20m~50m,局部达60m。右岸局部有5m左右深的强卸荷岩体,弱卸荷深度10m~35m。弱透水带中 $g=3Lu$ 下限底板埋深约120m~200m。右岸岩溶相对较发育,不同高程均有分布,主要表现为沿结构面形成的溶腔、溶管及溶孔等。沿趾板线主要在古河床1480m~1520m高程部位发育一较大溶腔(PD6发现),1620m~1670m高程发育大量溶管及溶孔,节理面多锈染。

三、坝基的帷幕灌浆试验

1. 试验目的

趾板混凝土的厚度为0.6米至1.2米,基本属于无盖重范畴,仅可作为灌浆的平台使用。为了防止灌浆过程中的抬动,采用了锚筋与基岩基础加强锚固连接,以提高浅表部基岩固结和帷幕灌浆压力,最终提高该部位基岩的完整性,达到降低渗透、防止渗透破坏的目的。针对大石峡水利枢纽工程趾板基础和高趾墩基岩的地质特性,选择代表性地段模拟趾板条件进行现场灌浆试验,研究安全、经济的灌浆施工工艺。主要针对微晶灰岩、砾质灰岩等岩层的可灌性进行研究,确定适用于灌浆的材料,确定适宜的灌浆浆液比级。在保证趾板不发生抬动的前提下,尽可能提高帷幕灌浆接触段的灌浆压力,最终确定帷幕灌浆的压力值(范围值),以提高灌浆质量和幕体的抗渗和耐久性,确定适宜的布孔孔距、排距及灌浆施工工艺。

2. 帷幕灌浆试验工艺

(1) 试验工艺流程

根据设计要求,在施工区域进行孔位放样,确定灌浆孔的位置。安装观测设备,用于监测灌浆过程中的地层变化和可能的地质变动。进行物探测试孔的钻孔,以进行灌浆前的纵波测试,评估基岩的状态。在完成物探测试后,对测试孔进行封闭,准备进行灌浆。

下游排I序孔:进行下游排I序孔的钻孔→清洗钻孔,确保孔道畅通→对钻好的孔进行灌浆操作→完成灌浆后,对孔进行封闭→对下游排I序灌浆后的岩体进行纵波测试→封闭物探测试孔→对初步所得的灌浆资料进行分析研究,评估灌浆效果。

下游排II序孔:重复下游排I序孔的步骤,进行下游排II序孔的灌浆工作。对下游排II序灌浆后的岩体进行纵波测试→封闭物探测试孔→对所得灌浆资料进行分析研究,评估灌浆效果。下游排III序孔、上游排I序孔、上游排II序孔等依次重复上述步骤。对所有孔段的灌浆资料进行最终的分析研究。如有必要,可增加1~2孔,

再重复上述程序进行灌浆试验。

(2) 钻孔

使用XY-2型地质钻机,采用金刚石钻头,清水钻进工艺,自上而下分段钻进,第1段(接触段)为2m,第2段为3m,第3段及以下各段为5m。地质缺陷部位可适当缩短段长,终孔段根据实际情况,可适当加大段长,但最大段长不得大于8m。孔口管段的孔径为 $\phi 110\text{mm}$,以下各段的孔径为 $\phi 76\text{mm}$,检查孔和物探测试孔的孔径为 $\phi 91\text{mm}$ 。钻孔的深度符合设计图纸、通知、文件等规定的要求。在进行帷幕灌浆时,特别是对于终孔段,如果发现终孔段的透水率超过了设计标准,需要进行分段加深钻灌,直至满足上述标准为止。

(3) 裂隙冲洗和压水试验

在灌浆前,使用压力水进行裂隙冲洗,直至回水清净或不超过20分钟。冲洗时的压力通常为灌浆压力的80%,但不超过1MPa。在各次序灌浆孔灌浆前,需要进行简易压水,采用单点法结合裂隙冲洗进行。压水试验的压力根据现场灌浆试验位置的具体情况确定,灌浆孔口位置处于坝高100m以下采用1MPa,灌浆孔口位置处于坝高100m以上采用2MPa,压水试验采用单点法,自上而下分段进行。

(4) 灌浆

灌浆孔按照分排、分序加密原则进行。先进行下游排的灌浆,再进行上游排的施工,按照III序进行。在同一排相邻两个次序孔之间以及后序排的I序孔与前序排III序孔之间,高差要保持大于15m。浆液水灰比采用了6个比级,分别为5:1、3:1、2:1、1:1、0.7:1、0.5:1(重量比)。开始灌浆时,水灰比采用5:1。如果灌浆压力保持不变,但注入率持续减少,或者注入率不变但压力持续增加时,不得改变浆液水灰比。当某级浆液注入量达到300L以上,或者灌注时间已经超过30分钟(小注入量除外),而灌浆压力和注入率均没有显著改变时,换浓一级水灰比的浆液进行灌注。当注入率大于30L/min时,且基本不起压时,可以越级变浓水灰比。在灌浆过程中,每隔15分钟到30分钟测量一次浆液密度,并在浆液变换及灌浆结束时测量浆液密度,并将测值记录在灌浆综合成果表中。

在现场帷幕灌浆试验实施过程中,遇到了一些挑战和调整。在灌排I序孔时,灌浆压力升至4.5MPa以上时出现了抱钻、失水回浓、劈裂等现象,未能达到灌浆任务书中的目标压力5MPa。经参建各方沟通讨论,最终将最大灌浆压力调整为4MPa,对于灌浆注入率较大的

表1 帷幕灌浆压力

段次	段长 (m)	先灌排(下游排,副帷幕)						后灌排(上游排,主帷幕)					
		I序孔		II序孔		III序孔		I序孔		II序孔		III序孔	
		压力		压力		压力		压力		压力		压力	
		起灌	目标	起灌	目标	起灌	目标	起灌	目标	起灌	目标	起灌	目标
1	2	0.8	1.2	1.0	1.5	1.5	2.0	0.8	1.2	1.0	1.5	1.5	2.0
2	3	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0
3	5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
4	5	2.5	3.5	3.0	4.0	3.0	4.0	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
5	5	4.0		4.0		4.0		4.0		4.0		4.0	
6	5	4.0		4.0		4.0		4.0		4.0		4.0	
7	5	4.0		4.0		4.0		4.0		4.0		4.0	
	5	4.0		4.0		4.0		4.0		4.0		4.0	

表2 灌浆压力与注入率关系

注入率(L/min)	≥50	50~30	30~15	<15	备注
灌浆最大使用压力/MPa	0P	0.4P	0.7P	1.0P	P为对应孔段设计压力

孔段,采用了分级升压法灌注,对前4段进行压力提升试验,每段提升压力0.4~1.0MPa。每段压力提升共分4~5级进行升压试验,每级增加0.1~0.2MPa。前2级每级稳压5~10分钟,后续每级稳压时间不少于10分钟。

(5) 封孔

灌浆结束后,对孔深和全孔灌浆成果进行确认,采用水灰比为0.5:1的新鲜普通水泥浆液进行置换,使用“全孔灌浆法”进行封孔。灌浆孔封孔压力采用该孔最大灌浆压力,检查孔和物探测试孔,封孔压力固定为2MPa。封孔灌浆持续时间不少于1小时。

(6) 特殊情况处理

对于失水回浓的孔,现场在灌浆过程中出现回浆反浓现象时及时调整灌浆压力:即采用大水灰比稀浆或更换浆液后采用相应灌浆压力以回浆不显著变浓为准,在无法达到设计压力的灌浆段,基于灌浆工艺为孔口封闭孔内循环法,对于不能按设计压力结束的灌段可通过该段以下灌段灌浆的同时多次灌浆弥补并检验其合理性,按照规范要求,除最后一段,中间段均可重复灌注。

针对部分孔段灌浆过程中发生抬动现象,进行灌浆数据分析,现场在发现抬动以后立即降压,停止升压,以防止抬动更加严重,通知相关单位人员,报告抬动情况,加密观测,记录抬动的程度和范围,了解产生抬动的压力值,在下降至不发生抬动的情况下继续灌注,直至正常结束。

四、灌浆成果分析

1. 钻孔功效分析

在帷幕灌浆试验中,钻孔是关键的准备工作之一,而地质岩芯钻机是一种常用的设备用于此项工作。通过对两个试验区域(A和B)中的II序孔和III序孔进行统计分析,可以看出钻孔的孔深、工时和平均工效。在B区,II序孔共计4个,总孔深440.26m,累计耗时277.9小时,平均工效为12.67米/台班。而B区的III序孔共计8个,总孔深890.32米,累计耗时554.76小时,平均工效为12.84米/台班。结合A和B两个区域的II和III序孔的施工工效,可以得出在正常施工时段,每台钻机每个台班的平均完成钻孔长度约为12.8米。

2. 抬动分析

灌浆孔在施工过程中发生抬动迹象后,施工现场都采取了降压施工,除B-1-I-1号孔在施工过程中累计抬动变形222 μ m,其余孔单孔压水灌浆累计抬动值均在抬动变形允许范围内。后续施工孔均未发生抬动变形迹象。现场灌浆处理有一定效果,处理后结合取芯检查、压水检查孔内摄像均满足设计要求。

3. 孔斜分析

帷幕灌浆试验共计20个孔,通过对钻孔测斜计算成果进行分析,在钻孔的整个过程中,特别是在钻孔的结束阶段,终孔位置与设计的要求相符合。施工人员具备较高的技术水平和经验,能够准确地控制钻头的方向和

位置, 确保钻孔孔斜满足设计要求。使用的钻孔设备精准可靠, 能够满足对孔斜的精确控制。施工中采取了严格的质量控制措施, 包括监测孔斜、实时调整钻孔参数等, 及时发现并调整钻孔方向, 确保了孔底偏差在允许范围内。

4. 透水率分析

A、B区下游排检查孔部分孔段透水率过大, 超过设计标准, 主要是由于下游排检查孔是在下游排帷幕灌浆结束后做的检查孔压水试验, 且两试验区下游排在灌浆过程中多段灌浆吸水不吸浆, 产生浆液回浓; 结合检查孔孔内录像以及检查孔岩心采取, 显示在35m-45m、70m-85m两处有较大水泥浆液填充缝隙, 在这部分位置的岩石缝隙中还夹杂着黄泥层; A区J3第12段透水率过大, 从旁边灌浆孔资料得出该位置注入量较大, 且灌浆过程中部分孔段4MPa压力往上升压时发生了劈裂, 另周围孔多段灌浆回浓, 所以导致中间排、下游排检查孔部分孔段出现透水率过大, 超过技术要求。针对检查孔压水不合格孔段, 现场均对该检查孔进行了灌浆, 从中间排检查孔压水结果可以看出, 下游排检查孔灌浆后, 中间排检查孔对应下游排检查孔不合格孔段压水透水率明显下降, 除A-J3第12段外, 所有检测段透水率全部小于3Lu, 符合设计标准。

5. 注灰量分析

两个试验区的下游排孔, 在灌浆完成后, 随着I序孔的灌浆, II和III序孔的灌前透水率以及灌浆注入量都有显著的降低。相似的情况也发生在上游排, 随着下游排的副帷幕灌注, 上游排的灌前透水率平均值也下降到了3LU以下, 并且单位注入量也大大减少。这表明随着灌浆次序的加密以及灌浆排序的加密, 每个区间内单位注入量的累积频率呈现出递减的趋势。比较III序孔、II序孔和I序孔的透水率和灌浆单位注入量, 可以明显看到透水率和灌浆量在不同段落中逐渐降低。这种变化趋势显示了灌浆效果的显著提升, 说明帷幕灌浆工程的实施是有效的, 可以有效地降低地下水的渗透, 从而提高地基的稳定性。

6. 钻孔取芯与声波检测分析

通过钻芯取样岩芯分析, 得知基岩主要由灰色中厚层和薄层微晶灰岩组成, 夹杂少量深灰色和紫红色的厚层角砾灰岩。岩石层理发育, 层理面上可见锈染。综合

考虑灌浆压力、灌前压水以及灌前声波检测的结果, 得出以下综合分析: 地层中裂隙较为发育, 部分形成闭环。这表明地层结构复杂, 可能存在多个裂隙系统。与F4断层相邻的地层, 裂隙可能更为密集, 这可能会影响灌浆的效果。内部裂缝发育, 地层结构复杂, 导致吃浆量较大。这意味着在灌浆过程中, 需要消耗更多的浆料才能填满地层中的裂缝。地层表层存在细小裂隙, 围岩破碎, 这可能会增加灌浆的难度和消耗。岩层内部存在黄泥等夹层, 这些夹层可能会对灌浆过程产生影响, 例如造成回浆或反浓现象。综合而言, 地层结构复杂, 裂隙发育, 以及夹层等因素都会影响灌浆的效果和过程。在进行灌浆工作时, 需要针对性地调整灌浆参数和工艺, 以应对地层的复杂性, 确保灌浆效果达到预期。

结论

根据现场灌浆过程及灌浆单耗的判定, 趾板区域的微晶灰岩、砾质灰岩等岩层具有较好的灌浆性, 适合进行灌浆工作。选择P042.5普通硅酸盐水泥作为灌浆材料是合适的, 能够适应当地地层地质条件。采用了不同的水灰比, 从5:1到0.5:1, 其中选择了5:1的开灌水灰比。采用了排距1.5m, 孔距为2.0m(A区)和1.5m(B区)的布置方案, 这些方案都能够达到设计防渗质量标准。在保证趾板不发生抬动的前提下, III序孔接触段的灌浆压力能够达到2MPa, 最大灌浆压力为4MPa。采用XY-2型地质钻机能够满足本工程地质条件下的钻孔需求。通过帷幕灌浆后, 灌后波速均在3000m/s以上, 表明灌浆效果良好, 灌浆后满足了设计防渗要求, 同时达到了试验的目的。

参考文献

- [1] 姚建勋. 坝基帷幕灌浆施工探讨[J]. 水利建设与管 理, 2017, 37(3): 19-21.
- [2] 郭敏敏, 姚亚军, 陈新华. 苗尾水电站帷幕灌浆生 产性试验研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(7): 36-39.
- [3] 周衍银, 徐庆强, 徐武辉. 宁波市横溪水库砂砾 石坝基防渗帷幕灌浆处理效果分析[J]. 浙江水利水电专 科学校学报, 2007, 19(2): 7-10.
- [4] 王健, 王晖, 梁龙群. 糯扎渡水电站大坝基础帷 幕灌浆施工[J]. 水利水电技术, 2011, 42(5): 24-26.