

# 坝基防渗帷幕灌浆室内试验分析

黄小宁<sup>1</sup>, 杨 锋<sup>2</sup>

(1. 塔里木河流域管理局, 新疆 844000; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘 要: 新疆下坂地水利枢纽工程的坝基为深厚覆盖层, 目前对深厚覆盖层的灌浆效果评价比较有限。为充分说明该工程中帷幕灌浆的可行性, 笔者通过对帷幕灌浆的室内模拟试验, 进一步分析了下坂地水库坝基深厚覆盖层现场垂直防渗试验所取得的帷幕灌浆成果。

关键词: 深厚覆盖层; 帷幕灌浆; 室内模拟试验

中图分类号: TV 543.15

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2004)04-0038-03

## Experiment Analysis of Curtain Grouting for Seepage Control of Dam Foundation in Laboratory Test

HUANG Xiao-ning<sup>1</sup>, YANG Feng<sup>2</sup>

(1. Talimu River Valley Authority, Xinjiang 844000, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The base of Xiabandi Hydro-junction in Xinjiang is the deep-thick overburden, and the evaluation of grouting effect is finite at present. In order to sufficiently illustrate the feasibility of the curtain grouting in the project, we analyze the curtain grouting data from the in-situ vertical seepage control test for deep-thick overburden in Xiabandi Dam by using laboratory simulating test.

**Keywords:** deep-thick overburden; curtain grouting; laboratory simulating test

### 0 前 言

下坂地水库总库容 8.67 亿 m<sup>3</sup>, 最大坝高 78 m, 坝型为沥青混凝土心墙土石坝。坝址区河谷呈“U”形, 两岸山高坡陡, 基岩裸露, 坝肩岩体较完整, 强风化较浅, 河床覆盖层最大厚度 147.95 m, 自下而上可分为三大类地层: 冰碛层、砂层、冲洪积层和坡积层, 成分复杂, 渗透系数变化大。坝基防渗处理的工程难度国内罕见, 坝基防渗是该工程设计和施工的关键技术难题之一。针对约 150 余米深厚覆盖层的防渗处理, 进行了上部 85 m 深、厚 1 m 的混凝土防渗墙, 下部接 3 排深 70 m 灌浆帷幕方案的坝基垂直防渗现场试验研究。现场试验的结果表明: 上部 85 m 深、厚 1 m 的混凝土防渗墙, 下部 3 排深 70 m 灌浆帷幕的坝基垂直防渗方案是可行的, 能基本满足设计防渗要求。为充分论证在下坂地水库坝基

防渗中采用 3 排深 70 m 帷幕灌浆的可行性和可靠性, 结合现场帷幕灌浆试验结果, 又进行了室内模拟试验。

### 1 模型设计

模型要求能承受 3~4 MPa 压力, 采用无缝钢管, 主要模拟浆液的扩散和灌后地层抗渗性能。设计如图 1 所示:

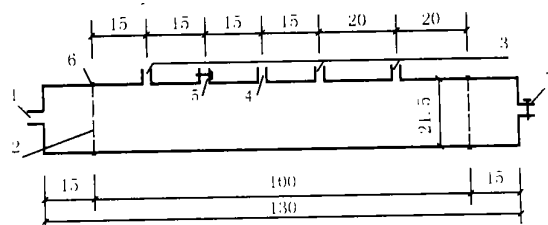


图 1 灌浆模型示意图(单位: cm)

- 1. 压水进水孔; 2. 透水板; 3. 压力表孔; 4. 进浆孔;
- 5. 排气孔; 6. 发兰盘; 7. 出水口

收稿日期: 2004-09-14

作者简介: 黄小宁(1957—), 男(汉族), 江苏人, 高级工程师, 新疆塔里木河流域管理局副总工程师, 主管新疆下坂地水利枢纽工程前期业务技术工作。

## 2 试验材料及设备

### 2.1 试验材料

试验采用下坂地水库库区当地砂石料。根据地质资料提供的当地不同地层级配情况,模拟了下坂地的冰碛层地层、含砂量较大的冰碛层地层、砂层地层、砂层和冰碛层交接层等 4 种地层。

第 1 组:模拟的冰碛层地层,具体颗粒组成如表 1 所示。

表 1 模拟现场的冰碛层地层颗粒组成

土粒组成	圆砾或角砾			砂粒				粉粒 粘粒
	粗	中	细	粗	中	细	极细	
粒径大小/mm	60~20	20~5	5~2	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	< 0.05
含量/%	65	15.5	3.1	3.5	2.3	3.0	5.1	2.6

说明:由于试验条件限制,大于 60 mm 粒径的材料用 60~40 mm 的代替相应颗粒。

第 2 组:为进一步说明含砂量较大地层的灌浆可行性,增加模拟了含砂量较大的冰碛层地层。具体颗粒组成如表 2 所示。

表 2 模拟现场含砂量较大的冰碛层地层颗粒组成

土粒组成	圆砾或角砾			砂粒				粉粒 粘粒
	粗	中	细	粗	中	细	极细	
粒径大小/mm	60~20	20~5	5~2	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	< 0.05
含量/%	55	15.5	4.1	4.5	4.3	5.0	7.1	4.6

说明:由于试验条件限制,大于 60 mm 粒径的材料用 60~40 mm 的代替相应颗粒。

第 3 组:砂层地层根据实际地层情况采用的模拟砂层颗粒,组成如表 3 所示。

表 3 模拟的砂层颗粒组成

粒径	2.36~1.18		1.18~0.6		0.6~0.3		0.3~0.15		0.15~0.075		< 0.075
	> 2.36	2.36~1.18	1.18~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.075	0.075~0.0375	0.0375~0.019	0.019~0.0095		
含量/%	0.40	3.75	2.51	12.67	25.97	17.19	37.50				

说明:以上模拟砂层组成成分基本和提供砂层的中层颗粒组成一致。

第 4 组:模拟砂层和冰碛层交接层面的颗粒组成分别为以上模拟的冰碛层和砂层颗粒组成。两种地层的具体颗粒组成如表 1 和表 3 所示。

### 2.2 灌浆材料及浆液

①水泥:采用 P. O32.5 水泥,水泥细度满足通过 80 μm 方孔筛的筛余量不大于 5%。

②粘土:粘性土的塑性指数大于 14,粘粒(粒径

小于 0.005 mm)含量大于 25%,含砂量小于 5%,有机物含量小于 3%。

③灌浆浆液:灌浆浆液主要采用水泥粘土浆,浆液配比为水泥:粘土=1:1,干料:水=1:1~1:2(重量比)范围内选择。

### 2.3 主要试验设备

最大可达到 3.2 MPa 的手摇泵 1 台,搅拌机 1 台,磅秤 1 台,室内灌浆模型 4 台,标准电动震动筛 1 台,4 MPa 压力表 4 块,1.6 MPa 压力表 1 块等。

## 3 试验过程

试验步骤为:砂砾石料称量→砂砾石料混合→装料→灌前压水试验→灌浆材料称量→搅拌浆液→灌浆→养护待凝 7 d→换同样砂砾石料作为反虑垫层→压水。

装料过程:把拌好的料加入模型中同时不断振动模型,以达到接近当地地层的密实性和密度,所用料也一直保持干燥状态。

灌前灌后压水试验均采用手摇泵进水加压。灌后压水试验一般开始压力为 0.4 MPa,测得稳定渗流流量后再加压到 0.8 MPa,测得稳定渗流流量后继续加压,直到模型渗透流量突然增大。

## 4 试验成果

第 1 组模拟现场地层模型的压水试验,由于试验设备有限,压力加到 1.2 MPa 后不见流量明显增大就结束压水,压水成果如表 4 所示。

表 4 冰碛层压水成果

压力/MPa	流量/(ml·min <sup>-1</sup> )	灌后渗透系数/(cm·s <sup>-1</sup> )
0	0	0.00E+00
0.3	0	0.00E+00
0.4	2.2	3.28E-06
0.8	8.8	6.57E-06
1.0	15.4	9.20E-06
1.2	16.4	8.16E-06

压水的 p-q 曲线如图 2 所示。

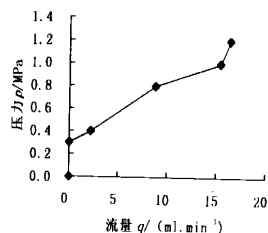


图 2 现场地层模型

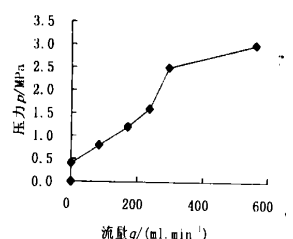


图 3 含砂量较多地层

灌浆后压水 p-q 曲线

灌浆后压水 p-q 曲线

第 2 组模拟含砂量较大的模型灌浆后压水试验: 压力加到 3 MPa 时, 出水口流量明显增大, 出现大股水及浑水流出现象, 说明模型已被压坏。压水成果见表 5。

表 5 含砂量较大的冰碛层压水成果

压力/MPa	流量/(ml·min <sup>-1</sup> )	灌后渗透系数/(cm·s <sup>-1</sup> )
0	0	0.00E+00
0.4	0	0.00E+00
0.8	83	5.48E-05
1.2	170	7.48E-05
1.6	235	7.76E-05
2.5	294	6.21E-05
3	560	9.86E-05

压水的 p-q 曲线如图 3 所示。

第 3 组模拟砂层模型灌浆后压水试验: 细砂层的灌浆目的是看砂层的灌浆效果, 通过灌浆后的取芯和压水来看, 没有明显的劈裂效果。但是, 由于加到 3 MPa, 相当于进行了挤密灌浆, 起到了一定的挤密作用, 使砂层的渗透性能明显降低。压水成果如表 6 所示。

表 6 细砂层的灌后压水成果

压力/MPa	流量/(ml·min <sup>-1</sup> )	灌后渗透系数/(cm·s <sup>-1</sup> )
0.00	0.00	0.00E+00
0.40	1.25	1.44E-06
0.80	25.00	1.44E-05
1.00	58.57	2.69E-05
1.20	75.00	2.87E-05
1.40	95.71	3.14E-05
1.60	103.75	2.98E-05
1.80	173.33	4.42E-05
2.00	233.33	5.36E-05

压水的 p-q 曲线如图 4 所示。

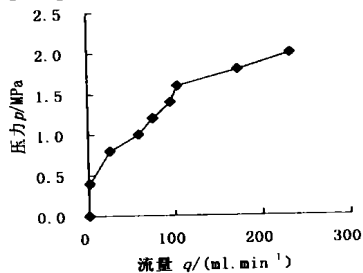


图 4 砂层灌浆后压水 p-q 曲线

第 4 组模拟交接层面模型灌浆后压水试验, 由

于灌浆只加压到 1.5 MPa, 灌后的结石情况可见, 下部的细砂层基本没有发现结石, 交接层面由于较上部砂砾层细砂含量多, 灌浆结石情况也没有上部砂砾层好, 但从灌后的压水来看, 地层的渗透性通过灌浆得到了明显的降低, 具体压水成果如表 7 所示, (为说明压水后是否破坏, 进行了 2 次压水, 结果如表 8 所示)。

表 7 交接层面的模型第 1 次压水成果

压力/MPa	流量/(ml·min <sup>-1</sup> )	灌后渗透系数/(cm·s <sup>-1</sup> )
0.00	0.00	0.00E+00
0.50	0.00	0.00E+00
1.00	0.83	1.15E-06
1.50	20.00	1.84E-05
2.00	65.00	4.48E-05
2.50	117.14	6.46E-05
3.00	150.00	6.89E-05

表 8 交接层面的模型第 2 次压水成果

压力/MPa	流量/(ml·min <sup>-1</sup> )	灌后渗透系数/(cm·s <sup>-1</sup> )
0.0	0.00	0.00E+00
0.5	2.67	7.35E-06
1.0	115.71	1.59E-04
1.5	202.50	1.86E-04
2.0	280.00	1.93E-04

压水的 p-q 曲线如图 5、图 6 所示:

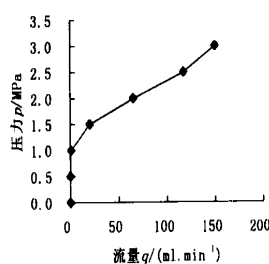


图 5 交接层模型灌浆后第 1 次压水 p-q 曲线

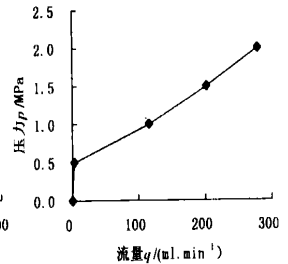


图 6 交接层模型灌浆后第 2 次压水 p-q 曲线

## 5 结 论

通过室内灌浆试验显示:

(1) 由试验数据, 第 2 组若取破坏水头为 2.5 MPa, 模拟试验中的帷幕厚度为 1.15 m, 计算得, 其临界渗透比降达到了 217。第 3 组若取破坏水头 1.6 MPa 破坏, 模拟试验中的帷幕厚度仅 1m, 此时的临界渗透比降达到 160。第 4 组加压到 2~3 MPa 仍未破坏, 渗透系数仍小于 2.0E-04 cm/s。这说明地层经过灌浆后, 有很好的抗渗透破坏能力。

(下转第 55 页)

进行人工清理,以保证排水通畅。在抽水水泵的选择上离心泵出水量大,但启动慢,而潜污泵启动快,但出水量一般较小。因此,最好离心泵和潜污泵相结合,大口径和小口径相搭配,以便提高抽水效率,保证沟槽底部无积水。抽水时还要将水泵龙头用铁纱网包起来,或将龙头放在竹笼内,这样可以防止流沙堵塞水泵。另外,工地要有满足施工要求的发电机,以防工地突然停电时开挖好的沟槽遭水泡而出现塌方。

## 5 结 语

通过该项实际工程,说明在高地下水水位的砂质地区进行基础施工,采用大开挖集中降水不但可以保证工程质量,而且可以节约开支,加快施工进度。

它是一个技术和经济上均可行的施工方法,对同类地质条件下的施工有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 孙惠修,等.排水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [2] 张领护,王敬昌.含流沙地质条件下排水管道工程的施工技巧[J].中国给水排水,2003,19(3):99-100.
- [3] 崔耀武.陕西省水上运动中心工程排水方案优化设计[J].陕西水力发电,2001,17(2):9-13.
- [4] 周绪平,杨峰,王德强.饱和水粉质粘土基坑排水新方法[J].江西建材,1999,(2):42-44.
- [5] 吴植田.软弱地基水利工程的基坑开挖与排水[J].广东水利水电,2001,(4):59-60.

(上接第 16 页)

能力降低,施工时应采取必要的措施防止塑性收缩裂缝的产生与发展。

(3) 粉煤灰能降低混凝土的干缩率,提高混凝土抵抗干缩和自收缩裂缝的能力。

(4) 掺加粉煤灰能提高混凝土抵抗温度裂缝的能力。

### 参考文献:

- [1] 曾力.水泥矿物成分和掺合料对砂浆脆性的影响[J].水力发电学报,2003,(2):74-75.
- [2] 武汉水利电力学院.建筑材料[M].北京:水利电力出版社,1983,91-92.
- [3] 王涛.混凝土塑性收缩裂缝的影响因素及预防措施[J].混凝土,2003,(1):53-54.
- [4] 邓毅.如何避免混凝土早期裂缝的出现[J].四川建筑科学研究,2002,28(2):64-65.

(上接第 40 页)

(2) 对所选用的覆盖层砂砾石、细砂层及交接层灌前的渗透系数基本在  $1.0E-01 \sim 1.0E-02$  cm/s 之间,对地层进行较高灌浆压力的灌浆后,渗透系数都小于  $1.0E-4$  cm/s。说明灌浆可以明显降低其渗透性,表明对新疆下坂地水库坝基的深厚覆盖层防渗处理中,可通过灌浆达到设计要求的坝基防渗性能(设计要求帷幕的渗透系数小于  $1.0E-4$  cm/s)。

(3) 较高灌浆压力灌浆后的灌浆体耐压试验初步表明,所选用覆盖层砂砾石、细砂层及交接层经灌浆后具有较高的渗透稳定性,其抵抗渗透破坏的比降值较高(试验值初步考虑为 150~200)。参考文献[1]的渗流计算中,帷幕承受的最大渗透坡降在 7 左右(文献中采用 10 m 幕厚和  $1.0E-5$  cm/s 的防

渗标准)。初步分析,结合现场帷幕灌浆试验的灌后压水成果<sup>[2]</sup>和本次室内灌浆试验灌后压水成果,在满足设计要求的  $1.0E-4$  cm/s 情况下,按允许渗透比降 8~9 考虑,采用 3 排布置和较高压力灌浆技术形成的帷幕,可满足抵抗渗透破坏的要求。

### 参考文献:

- [1] 新疆下坂地水库三维渗流及垂直防渗方案可靠性分析报告[R].南京水利水电科学研究院,2002年.
- [2] 王继柏.新疆下坂地水库深覆盖层帷幕灌浆试验初析[J].基础处理技术,2003年增刊.
- [3] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].北京:电力部,2002年.