

试压法在石坝水库坝体劈裂灌浆中的应用

宋立生

(云南省曲靖市水利水电局, 曲靖市 655000)

【摘要】 试压法是土坝坝体劈裂灌浆防渗处理有效而经济的方法, 就该方法的原理、可行性、适用范围、具体操作程序和要求、灌浆控制等进行了深入的探讨。

【关键词】 试压法; 土坝劈裂灌浆; 石坝水库

【中图分类号】 TV543.17

Application of the Way of Trying Pressure in Earth-fill Dam Splitting Grouting of Shiba Reservoir

【Abstract】 The technique of splitting grouting is an effective and economical way for earth-fill dam seepage control. Based on engineering practice, a new way, the way of trying pressure of solving grouting pressure, is proposed. Its mechanism, feasibility, application, range, processes and demands for pressure control, grouting control and its advantages are discussed in details.

【Key words】 the way trying pressure; earth-fill dam splitting grouting; Shiba reservoir

0 引言

处理土坝大面积浸漏问题, 劈裂灌浆的效果是公认的。先将坝体劈裂, 使之形成设计所要求的裂缝; 然后将裂缝填满浆液。后者容易, 前者难, 难就难在要寻求一个合适的压力来将坝体劈开, 在劈开的同时又要保证坝体安全。这是一直困扰设计和施工的难题。

劈裂坝体的压力称为起始劈裂压力, 也是最大灌浆压力^[1]。它与坝体应力、土质、填土碾压程度、钻孔位置、钻孔深度、孔序、坝体断面尺寸、浆液稠度、初灌与复灌等诸多因素有关。设计灌浆压力很难将这些因素都考虑周全, 因而, 设计压力应用到实际中出入较大, 给施工带来很大困难。经过取样试验来求得劈裂点坝土的三向应力及抗拉强度以及其它有关的物理性能指标, 再计算劈裂点的起始劈裂压力, 可往往每个孔都不同, 复灌时又不同, 靠

几组样取得的数据是很难满足要求的, 再加上试验的误差、一些没有考虑的因素、坝体各部位物理性能的差异等, 使得灌浆压力的确定更加复杂化。

劈裂灌浆和其它灌浆不同, 它总有这样一个压力点, 到该点坝体就被劈开, 同时在该点压力会突然下降, 压力是从零开始逐步升到该点的。该点就是最大灌浆压力点。

使用该方法的 4 个条件是: ①已积累了相当多的进行劈裂灌浆的经验; ②坝为低矮坝; ③坝为均质坝, 且坝体疏松, 易劈裂; ④通过分析, 坝坡较稳定。

1 工程概况

石坝水库兴建于 1958 年, 坝高 25.8 m, 坝顶长 120 m, 库容 3 540 万 m³, 为一中型水库工程。大坝为均质坝, 施工质量差, 坝土多为风化料碎石土, 结构松散, 实为松堆坝, 防渗

作者简介: 宋立生, 1962 年生, 男, 汉族, 云南曲靖人, 工程师。1987 年毕业于云南省地质职大工程地质及水文地质专业, 主要从事水利水电工程地质及水工建筑物防渗等方面的研究。

能力差。下游坝坡大面积潮湿、浸漏，面积达 1 000 m²，渗漏量高达 20 L/s。坝体与坝基及两岸山体接合部位也存在较严重的漏水。水库不能正常运行，大坝安全受到严重威胁。

针对坝体渗漏属大面积浸漏的具体情况，故采用劈裂灌浆方法。帷幕线设在坝轴线偏上游 0.5 m 处，帷幕长 100 m，从 11~49 号孔之间的单号孔为坝体劈裂灌浆孔，同时兼基础帷幕灌浆，双号孔仅进行基础帷幕灌浆。孔距 5.0 m，孔深以揭穿坝体达到基岩为准，全孔一次钻进，一次灌注，每孔至少灌浆 5 次，每次每 m 灌浆段注入浆量不超过 500 L，浆液采用粘土水泥混合浆，二者质量比为 7:3，浆液相对体积质量 1.2~1.6，帷幕厚度平均不小于 20 cm，灌浆压力控制在 0.26~0.3 MPa。以上就是坝体灌浆的各项设计参数。

2 灌浆压力

2.1 用试压法寻求最大灌浆压力

试压法(trying out pressure to step up unit the pressure is just the max·grouting pressure)的具体操作是先做好灌浆准备工作。当浆灌到一定程度时，压力开始由零上升，人为控制压力让其逐级升高。当压力升到坝土所需要的劈裂压力时，坝体就被劈开，压力到此就下降，压力表所显示的峰值就是所寻求的最大灌浆压力。在寻找到劈裂压力的时候，已完成了对坝体的劈裂，剩下的就是在不超出该压力的前提下进行灌浆。

2.2 压力控制具体要求

1)每次灌浆都要采用试压法。每个孔具体情况不同，所需要的劈裂压力也有差异；每个孔经过一次灌浆后，坝土密度也增大，这时劈裂压力也会相应增大。每灌一次浆坝体条件就会得到一定的改善，正常情况下，五次灌浆，劈裂压力应当一次比一次大。这也是检验灌浆质量的一个因素。

2)压力级差为 0.05 MPa。压力从零开始，每增加 0.05 MPa 为一级，逐级增加，直到出现劈裂压力为止(见图 1)。p 为孔口压力，

p_m 为最大压力，n 为压力增加级数。m 点为出现最大压力 p_m 的压力级数，不一定是整数，最多的情况是劈裂压力出现在各级压力之间，比如，在 $n=3\sim4$ 或 $n=4\sim5$ 之间。总之，m 点往往不是整数 n。压力从零开始，是因为坝土小主应力较弱的时候，往往压力小于 0.05 MPa，同样会产生劈裂。压力的级差定为 0.05 MPa，是为了不让压力升高太快、太猛，才能有效地保证大坝安全。确定合理的压力级差，使压力得到有效控制，是为了控制压力平稳上升，在坝体安全得到保证的情况下进行坝体劈裂。

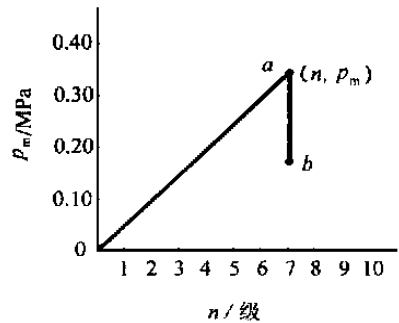


图 1 $p-n$ 关系图

3)压力控制在孔口进行。在孔口控制进浆量来达到对压力的控制。灌浆机往往离孔口较远，不能有效地控制孔口压力。为此，在孔口灌浆管路上安两个闸阀，一个进浆，一个回浆，进浆阀控制进浆量，回浆阀排除多余浆量，以免压力升得过快。

4)压力不能超出 p_m 。当坝体被劈开后，压力控制在不超过 p_m 的条件下进行灌浆，直到结束。如果此项控制使得帷幕厚度达不到设计要求，可增加复灌次数或加密灌浆孔。本工程的岸坡段就采用加密孔的办法来解决此问题。

2.3 实际压力统计

据施工过程的原始记录，把各孔的第一次劈裂压力和第五次劈裂压力列入表 1。

从表 1 中可以看出，设计所提供的灌浆压力为 0.26~0.3 MPa 之间与实际发生的压力

出入较大。第一次劈裂压力各孔均在 0.26 MPa 以下,第五次劈裂压力绝大多数在 0.3 MPa 以上。灌浆压力与钻孔所在部位有关,

岸坡段虽然孔浅,但应力分布复杂,抗劈力较大,故相应的劈裂压力较大。

表 1 各孔第一次和第五次劈裂压力一览表

灌 浆 孔		孔 深 h/m	第 一 次		第 五 次		
部 位	孔 号		压力级数 n	压 力 p/MPa	压力级数 n	压 力 p/MPa	
左 岸 坡	11	8.30	4.8	0.24	7.2	0.36	
	13	13.50	3.8	0.19	6.2	0.31	
	15	16.50	3.6	0.18	6.6	0.33	
	17	15.30	3.4	0.17	6.8	0.34	
	19	15.00	3.6	0.18	5.4	0.27	
	河 槽	21	21.90	3.8	0.19	6.0	0.30
		23	22.00	4.2	0.21	5.6	0.28
		25	22.00	4.0	0.20	6.0	0.30
		27	22.00	4.0	0.20	6.2	0.31
		29	22.00	4.2	0.21	6.2	0.31
31		24.50	4.6	0.23	6.4	0.32	
33		24.20	4.4	0.22	6.8	0.34	
35		24.00	4.6	0.23	6.8	0.34	
右 岸 坡	37	24.00	4.8	0.24	7.2	0.36	
	39	24.00	4.8	0.24	7.2	0.36	
	41	25.00	5.2	0.26	7.4	0.37	
	43	18.00	4.0	0.20	6.6	0.33	
45	14.30	4.0	0.20	6.0	0.30		
47	11.80	3.8	0.19	6.2	0.31		
49	8.80	4.6	0.23	7.0	0.35		

3 从灌浆压力分析试压法的可行性

施工中土坝坝体灌浆的压力表达式^[2]:

$$p_s = p + r' h' - p_h \quad (1)$$

式中: p_s 为灌浆总压力, MPa; p 为孔口压力, MPa; $r' h'$ 为浆柱压力, MPa; r' 为浆液相对体积质量; h' 为浆柱高度, m; p_h 为孔壁对浆液上升流动所产生的阻力, MPa。

灌浆压力要劈开坝体就要克服坝体的抗劈力。抗劈力 δ 为^[2]:

$$\delta = \delta_3 + \delta_1 \quad (2)$$

式中: δ_3 为作用在钻孔上劈裂点处的最小主应力; δ_1 为劈裂点处坝体土的抗拉强度^[2]。

灌浆压力 p_s 由孔口压力、浆柱压力及孔壁对浆液的阻力来计算, 其在灌浆过程中是个变数, 它的变化直接决定着灌浆的质量。

坝体出现劈裂的灌浆段次, 其灌浆压力 p_s 都要经过以下几个阶段, 才能结束灌浆。

第一阶段: $p_s = r' h' - p_h$, 浆液充填空隙, 压力表无压, $p = 0$, 浆液在孔内上升高度变化不定, p_h 不确定, 但逐渐增大。

第二阶段: $r' h' - p_h < p_s < \delta_3 + \delta_1$, 这时孔内浆液上升到一定高度, 灌浆压力开始克服坝体抗劈力, 孔口压力开始上升, $p > 0$, 灌浆压力变为 $p + r' h' - p_h = p_s < \delta_3 + \delta_1$ 。

第三阶段: 孔口压力 p 继续上升, 灌浆压力 p_s 逐步加大到能和坝体抗劈力平衡, 即: $p + r' h' - p_h = \delta_3 + \delta_1 = p_s$, 这是个临界状态, 平衡随着 p 的上升, 立即被打破。

第四阶段: 劈裂阶段。灌浆压力为: $p_s > \delta_3 + \delta_1$, 坝体被劈裂, 应力被释放。压力不能再上升, 最突出的表现是压力突然下降。

第五阶段:注浆阶段。压力逐步回升,灌浆压力为 $p + r' h' - p_h = p_s < p_m + r' h' - p_h$, 孔口压力 $0 \leq p < p_m$, 直到灌浆结束。

灌浆压力的第四个阶段,孔口压力 p 达到峰值 p_m 后立即下降,坝体劈开,浆液出现自由面,坝体对浆液运行的阻力大大减小,这也是试压法的关键所在。

p_m 的存在,压力变化的规律性及压力控制的有效性,说明试压法是可行的。

4 灌浆控制

采用试压法进行土坝坝主体劈裂灌浆,其灌浆控制主要是坝体变形控制、待凝时间控制、耗浆量控制等。

1) 坝体变形控制是为了保证大坝安全及让坝体能回弹挤压浆液。包括:①每次灌浆过程中每个控制断面各个控制高程上各自的水平总位移不超过 3.0 cm;②每次灌浆坝顶裂缝宽度不超过 2.0 cm;③每次灌浆裂缝延伸长度控制在 20.0 m 以内;④若出现弧形裂缝或横缝,立即停止灌浆,待情况稳定后,处理好再灌浆;⑤每 7 d 对各控制断面进行一次总观测,无异常才能继续灌浆。

2) 待凝时间控制是为了让所灌浆液具有一定强度及其与坝土胶结后再继续灌浆。该工程采用水泥粘土混合浆,同时灌浆期间水库处于最低水位,坝体排水条件好。待凝时间不少于 5 d。浆液在待凝过程中不能被扰动,故灌浆孔与待凝孔的距离不小于 20.0 m。

3) 耗浆量控制也是为了坝体的安全考虑的,灌入过多的浆液会使坝体产生过大的变形,会导致滑坡的产生。在坝体变形不超过允许范围的情况下,一般以注满裂缝为原则。

5 工程效果

工程质量不采用打检查孔的方法评定,而是综合各方面的因素来进行,主要看所形成的帷幕,渗漏的观测对比,坝体的密实度及工程运行情况。

1) 通过耗灰量计算、坑探和位移观测三种方法确定帷幕厚度,在 19.1~28.0 cm 之间,平均厚度 21.91 cm,符合设计要求。

2) 蓄满水后,外坝坡已无浸漏和潮湿,整个外坝坡及坝体与周围接合部位均干燥。

3) 坝体产生沉陷,断面缩小,更加密实了,坝高缩小原坝高的 0.8%。

4) 1997 年 6 月底工程竣工,不到 20 d 就遇上 1997-07-15 特大洪水,一星期内库水就蓄到最高水位,没有发现任何异常,至今水库一直高水位运行,安然无恙。

由于条件限制,未能得出浆体帷幕的抗压强度、抗剪强度、渗透系数及帷幕两侧坝土干重度和渗透性的变化。但以上各项足于说明问题,工程运行良好,经受了高水位的长期检验。工程效果是好的,试压法是可行的。

6 结论

1) 试压法首次在石坝水库土坝坝体劈裂灌浆中应用,其优越性:①试压法无需任何试验和计算,即能寻求到准确的灌浆压力,克服了劈裂灌浆设计上的一个难题;②劈裂和得到灌浆压力同时实现。③操作简单、易行。

2) 使用试压法应注意几个问题:①坝体稳定,适合使用劈裂灌浆技术;②试压法主要是解决土坝坝体劈裂灌浆压力的问题,仅适用于劈裂灌浆;③灌浆过程中必须严格把握好对压力的控制,升压级差按 0.05 MPa 使用较合理;④灌浆过程中的观测和灌浆控制至关重要;⑤若坝体出现屈服状态,应立即停止灌浆,待稳定后,将裂缝注满浆液。

试压法还需要通过工程实践进一步检验。

参 考 文 献

- 1 SD 266—88 土坝坝体灌浆技术规范.
- 2 白永年,刘奎奎等.土坝坝体和堤防灌浆.北京:水利电力出版社,1985.5~7

收稿日期:2001-04-02