

# 沟后水库大坝失事实录\*

水利水电科学研究院 陈祖煜

**【摘要】** 沟后混凝土面板堆石坝于1993年8月27日溃决。失事前水位接近或超过防浪墙,失事时大坝浸润线很高。洪水将上游面板冲出一个三角形缺口,但大坝基础完好。初步分析表明,大坝填筑料偏细,坝内未设关键的排水措施;防浪墙开裂后用抹砂浆的办法处量是不恰当的,大坝止水与混凝土结合不紧密。

**【关键词】** 沟后水库 混凝土面板堆石坝 溃坝

## 1 前言

1993年8月27日,位于青海省共和县恰卜恰镇的沟后水库发生灾难性的大坝失事事故。这座钢筋混凝土面板坝的溃决产生约1500 m<sup>3</sup>/s的洪峰流量,造成人员和财产的重大损失。

## 2 大坝主要特性<sup>1,2</sup>

### 2.1 一般情况

大坝坝高从砂砾石河床算起为71m。正常水位和校核水位均为3278m,比坝顶低3m。坝顶长265m,宽7m。上下游坡度分别为1:1.6和1:1.5(见图1)。

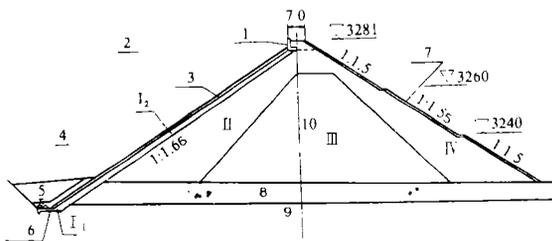


图1 大坝典型剖面

- 1—防浪墙;2—正常蓄水位;3—钢筋混凝土面板;  
4—死水位;5—任意料;6—粘土防渗;7—干砌石护坡;  
8—河床砂砾石;9—花岗岩长石;10—坝轴线

恰卜恰河平均径流量为0.4m<sup>3</sup>/s。枢纽的泄水建筑物为左岸长390m的输水隧洞。水库总蓄水量为330万m<sup>3</sup>。

### 2.2 坝基

沟后坝建在13m厚的砂砾石地基上。基岩为花岗闪长岩,风化、碎裂严重。河床覆盖层的天然容重为2.40kN/m<sup>3</sup>,渗透系数为20.9~94.5m/d,不均匀系数为391,初步设计认为地基具有充分的透水性和密实度,级配良好,不必挖除。但面板的趾板部位应挖到基岩,并灌浆,以达到 $\omega$ 值低于0.03L/(s·m·m)的要求。

### 2.3 筑坝材料和分区

筑坝材料取于坝下游3km的料场。砾石坚硬,呈圆形,未风化,为花岗岩和砂岩。根据料场土工试验报告,细骨料砾石(<5mm)含量为33%,含泥量(<0.1mm)为4%,不均匀系数平均为78,砂砾石的渗透系数为0.148cm/s。

大坝分为4区(图1),各区的主要特性要求如附表所示。可见,其分区填料仅对最大粒径作出控制,但实际料场的大砾石并不多,因而大坝基本上是一个均质体。

### 2.4 混凝土面板

混凝土面板的垂直分缝间距中部为14m,两侧为7m,在3255m高程处设一水平缝(因为当地用户要求在施工期蓄水)。面板厚度底部为60cm,顶部为30cm。按常规对面板配筋。中部受压面板设紫铜片和丁基胶两道止水,两侧受拉区则加设一道橡胶止水。

\* 本文部分数据摘自陕西省水电设计院和铁道部第二工程局的有关设计、施工文件,特此致谢。

附表 大坝各区填筑料的技术要求

分区名称	料名	层厚 (cm)	最大粒径 (mm)	相对 密度	干密度 (kN/m <sup>3</sup> )
特殊区 I <sub>1</sub>	砂砾石垫层料	20	20	0.8	2.25
垫层区 I <sub>2</sub>	砂砾石垫层料	30	100	0.8	2.25
过渡区 II	II号料场砂砾石	60	400	0.75	2.23
III	新选料场	90	600	0.70	2.21
IV	新选料场石渣开挖料(隧洞)	130	800	0.70	2.21

## 2.5 防浪墙

大坝坝顶设一L型防浪墙,可节省坝体工程量,方便施工。结构见图2。

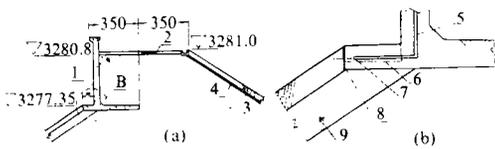


图2 防浪墙结构

(a) 形体; (b) 细部

1—200号钢筋混凝土; 2—泥结碎石路面; 3—干砌石护坡; 4—碎石垫层; 5—橡胶止水带; 6—面板破碎后实际情况; 7—橡胶止水带; 8—松木条压紧填塞; 9—碎石垫层

防浪墙水平底板厚度35cm,用单层钢筋,与面板以橡胶止水相联,高程为3277.35m。防浪墙横缝间距为6m,以适应坝顶沉降。

## 3 大坝运行情况

### 3.1 1993年前大坝的运行情况

水库于1989年9月28日蓄水。同年10月在库水位为3258m时,大坝右侧比坡脚约高1.5m(高程3223m)处出现一漏水点,当时采用填补的方法处理后涌水消失。

1990年10月水库出现第一次高水位,达3274m。在1989年漏水的同样部位又发生渗漏。下游量水堰量得的流量为18l/s。1991~1992年为枯水年,水库水位未超过3262m。未见下游漏水<sup>[3]</sup>。

由于工程规模小,未设大量观测设备。在左、右坝肩设的4个开敞式测压管测得基岩中的地下水位很低。3、4号测压管水位较1、2号高,为3223~3225m之间。1990年4月26日,

在距坝址40km处曾发生一次6.9级地震,震后检查大坝未发现破坏<sup>[1]</sup>。

### 3.2 破坏过程

从1993年7月14日开始,水库水位从3261m上升,至8月26日失事前一天,水位约为3277.3m,接近或超过防浪墙底板(系管理人员回忆以及对垮坝后防浪墙残留水印的测量所得,因有关水位的书面记载被洪水冲走)。

8月27日晚约20:30左右。沟后村村民沈桂莲和姐姐上坝游玩,在第2个马道即高程3260m处,发现坝面上涌出一股水,沈称象“自来水”。后来天下雨了,她们遂返回。

水库管理局杭果大约是第一个目击大坝溃决的,他回忆说:“我听到一声闷雷声,于是立即跑出值班室,发现坝面上喷水,土石翻滚,同时可以看到石头相撞的火花。我立即找了一辆摩托车到镇上向领导报告。”

23:50洪水到达下游13km的恰卜恰镇。这一时间得到大部分幸存者的确认。大坝失事的准确时间没有记载,但根据杭果的行动倒推,可以大约定为21:15。

### 3.3 大坝损害情况

洪水将上游面板冲出一个三角形缺口,在坝顶长137m。三角形下 endpoint 高程为3250m,缺口一部分通过高程3255m的水平缝。洪水将坝体切出一个两边直立、宽61m的槽。垮坝下泄水量总计约261万m<sup>3</sup>。高程3250m以下的库容在垮坝后始终保留着,水从坝体剩余部分坝顶溢流,因而形成一个流量相当于入库径流量的小瀑布。

## 4 调查情况

### 4.1 岩土特性调查

#### 4.1.1 外观调查

垮坝后有关部门立即组织人员到现场调查,发现大坝残留的部分上至面板、下至河床已全部饱和,坝体冲口直立侧墙全部湿透,左、右侧墙均有多处渗流逸出口,在失事后连续外流约2天,冲出10余条冲沟;大坝右侧残留部分下游坡高程3265m左右发现两个出水口,左

侧冲口侧墙 3226m 高程左右发现 3 个管涌口。因此可以认定,失事时大坝的浸润线已非常高。

左、右残留坝体的稳定性似乎也受到了影响,特别是右坝体,发现若干纵向裂缝和轻微上鼓,左、右防浪墙都出现裂缝。

### 4.1.2 砂砾石的颗分曲线和渗透系数

上坝砂砾石的颗分是人们普遍关心的问题。在勘测设计阶段,曾在料场进行 8 组试验,平均颗分曲线见图 3。目前,收集到 55 个施工单位作的料场和上坝颗分曲线,分析发现, < 5mm 的细粒含量平均为 41.7%,最大 66.8%,最小 23.5%, < 0.1mm 的泥粒含量平均为 4.3%,最大为 8.3%,最小为 0.3%。图 3 所示为细粒含量相应最大、最小和平均颗分曲线。失事后曾在现场做过两个渗水渗透系数试验,其值分别为  $1.0 \times 10^{-2}$  和  $1.83 \times 10^{-2}$  cm/s。

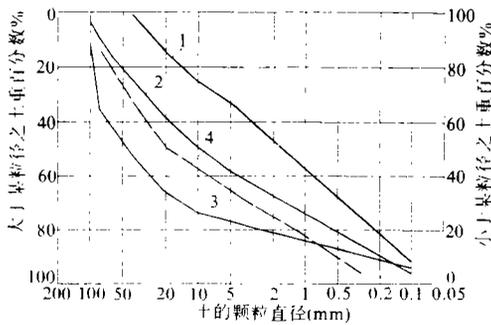


图 3 上坝砂砾料典型颗分曲线

1—细粒含量最大;2—平均颗分曲线;3—细粒含量最小(1、2、3 为分析施工质检部门提供的 55 个颗分曲线);4—甘肃院进行的 8 个料场试验平均级配

### 4.2 混凝土结构的检查

#### 4.2.1 面板和接缝

经对河道上残留的 11 个冲下的混凝土面板碎片进行检查,发现有些紫铜片止水和混凝土的接触面有空隙,河道上发现一条 2m 左右的橡胶止水带十分干净无擦痕,说明未与混凝土紧密结合。部分混凝土有蜂窝。

#### 4.2.2 防浪墙

残留部分的防浪墙水平底板开裂极为严重。调查后得知,当初施工时水平底板浇筑后

不久即开裂,后用抹砂浆的办法修补,而这些砂浆板随后又都开裂了。

检查还发现,目前完好的水平底板的顶部高程实际上已低于面板和防浪墙之间的接缝止水,参见图 2。也就是说,这道防线已不存在,库水位一旦超过 3277.20m 即会发生大量渗漏。检查中确实发现了若干漏水通道,从中可掏出草末。大部分水平止水带未插入防浪墙水平底板内,说明施工质量控制不严。

### 5 讨论和结语

沟后水库失事是坝体浸润线抬高引起的水从受破坏的或有缺陷的混凝土建筑物及其接缝中渗入坝体,特别是当库水位超过了防浪墙底板后,水将直接渗入坝体。大坝坝体的透水性似未达到能自由排水的程度。目前,正在从设计和施工两个方面深入分析失事原因。下面几点意见也许对澄清一些问题有所帮助:

(1) 据目击者提供的信息,坝体失事是从上部开始的,失事后,3250m 高程以下部分仍在挡水。目前,库中仍有约 40 万 m<sup>3</sup> 的水,下游无明显漏水,可见大坝基础处理还是完好的。

(2) 恰卜恰河是一条小溪,在这个季节,入库流量最大不会超过 0.8m<sup>3</sup>/s。失事前水库水位在上升而不是下降,说明最大渗漏流量不会超过 0.8m<sup>3</sup>/s。这与一些面板坝建成后的漏水量比较属同一量级,但那些坝均未因此失事。

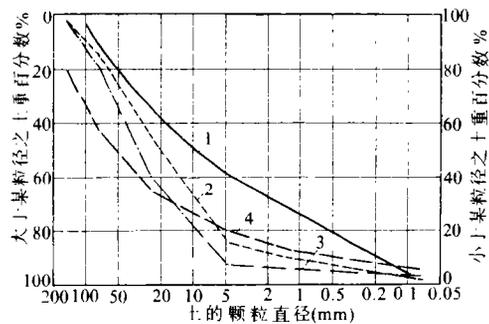


图 4 沟后上坝料和其它几个类似工程平均颗分曲线比较

1—沟后工程(根据 55 个质检资料);2—克罗蒂;3—萨尔瓦全娜;4—格里拉斯

(下转第 58 页)

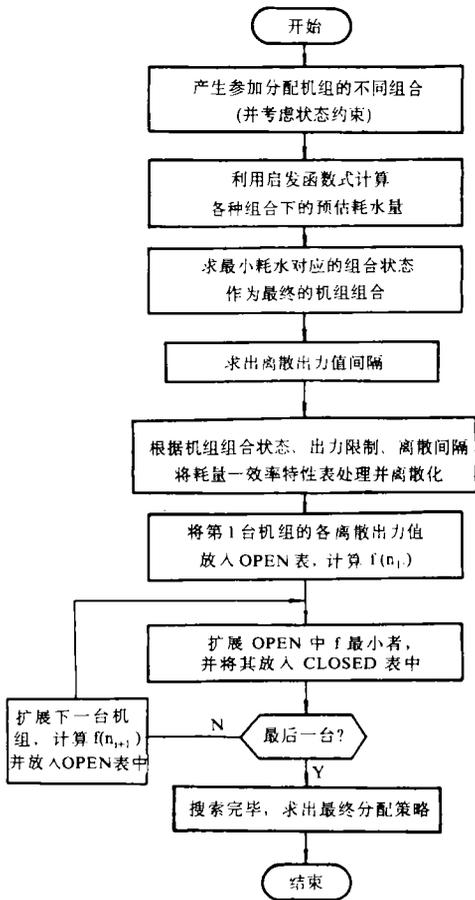


图2 启发式搜索算法的程序框图

(上接 48 页)

与目前世界上已建的 3 座砂砾石面板坝相比<sup>[4]</sup>, 沟后坝的土料明显偏细 (图 4), 而且没有象那 3 座坝那样, 在坝体内设置关键的排水措施。对这一点, 设计者曾做过类似的讨论<sup>[5]</sup>。

(3) 坝体的渗透系数显然是一个普遍关注的问题, 大坝勘测设计阶段曾获得一个试验值为  $1.48 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 。从 55 个上坝料的颗分资料看, 砂砾料的颗分变异性极大 (图 3), 其细粒含量平均值为 41.4%, 超过勘测时提供的 33% 很多, 因此有必要研究料场试验资料在数量和空间上的代表性问题, 进行建立在风险分析基础上的砂砾石坝体排水可靠性分析方法。

(4) 沟后坝正常水位超过了防浪墙水平底板, 而防浪墙在施工后不久就开裂了, 原因有

更高。

(2) 与其它算法的比较。我们把本文算法与普通动态规划算法, 分步动态规划算法做了比较。以螺丝塘水电站 1989 年 10 月 18 日的调度记录为例, 分别用这三种方法计算, 计算结果见附表。

附表 三种算法的比较

方法	普通动态规划	分步动态规划	启发式搜索
计算时间	1h	720s	126s
节水率	7.40%	7.12%	6.74%

由附表可知, 启发式搜索算法较前两种算法大大缩短了计算时间, 但节水率稍有下降。节水率下降的原因是在选择的搜索区间内不能保证肯定包括最优解, 但通过选择加权系数  $\omega$ , 可得到满意的结果。

### 参考文献

- [1] 杨存荣、闫平凡, 知识工程基础, 清华大学出版社, 1991 年。

(责任编辑 成文)

待继续研究, 但用抹砂浆的办法修补肯定是不对的。由于防浪墙是一个承受复杂荷载的结构, 坝体的不均匀沉降和墙后土压力造成的墙体扭转均会对防浪墙产生不利影响。因此有必要深入研究墙体设计的各个细节, 以保证今后大坝的安全运行。

### 参考文献

- [1] 褚履祥、杨智睿, 沟后混凝土面板砂砾石坝设计中的几个问题, 水力发电, 1992 年 3 月。  
 [2] 洪重光, 沟后混凝土面板堆石坝的设计特点, 混凝土面板堆石坝论文集, 河海大学出版社, 1990 年。  
 [3] 于杨, 沟后混凝土面板堆石坝渗漏原因分析, 青海水利, 1993 年 2 月。  
 [4] Fell R., Maccregor P. and Stapledon D., Geotechnical Engineering of Embankment Dams., A. A. Balkema, 1992.

(责任编辑 东方)