

混凝土面板堆石坝坝顶溢流技术探讨

何光同

38-40 (福建省水利水电勘测设计研究院, 福建 福州 350001)

TV641.43
TV651.1

摘要:针对混凝土面板堆石坝坝顶溢流的关键技术难题,通过大量变形实测资料的统计,用变形条件不利的工程实例分析变形特性对其上部结构,包括挡水闸门、泄洪建筑物、渗漏排水等因素的影响,提出相应的对策和工程措施,并进一步对造价和工期进行剖析,认为混凝土面板堆石坝坝顶溢流技术上可行,经济效益显著。

关键词:堆石坝;溢洪道;变形特性;挡水结构

中图分类号:TV641.4+3

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2000)03-0038-03

迄今为止,混凝土面板堆石坝坝顶溢流是该坝型国内外尚未完全解决的重大技术难题,阻碍了该坝型更加广泛的推广应用。尤其在福建地区,坝址地形大部分山高坡陡,难有合适的坝口建独立溢洪道。由于山高坡陡,溢洪道开挖料直接上坝的比例较小,高边坡处理难度大,所以溢洪道投资占坝体投资的比重较大,如福建芹山坝达 43.8%,万安溪坝达 39.2%。福建省已有多例是由于溢洪道的高投入,影响了该坝型的经济竞争力。因此,如能实现坝顶溢流,必将开拓更广泛的应用前景。要实现混凝土面板堆石坝坝顶溢流,首先要充分了解和掌握堆石体的变形特性,其次要解决溢洪道结构对堆石体的变形适应性、溢洪道渗漏排水等技术问题并分析造价、工期等经济问题。

1 堆石体变形特性及对上部建筑物的影响

建造在堆石体之上的溢洪道与常规的相比,最不利的影响因素是堆石体作为基础具有沉降变形的显著特点。堆石体变形对上部建筑物的影响是坝顶溢流方案能否成立的关键问题。以下分别对沿坝轴线和水流方向的变形特性及影响进行详细分析并提出相应的工程措施。

1.1 沿坝轴线方向的变形及影响

大量观测资料表明,碾压堆石体的沉降变形,绝大部分是在施工期完成的。表 1 列出了国内外若干面板坝堆石体沉降特性的有关数据,从表中可以看出,除成屏外,蓄水期最大沉降量占坝高的比例均小于 0.13%,蓄水期沉降量占总沉降量的比例均小于 25%。为便于分析,假定某工程坝高 70 m,河谷宽高

比为 4,蓄水期最大沉降量占坝高的比例为 0.13%,则蓄水期坝顶最大沉降量为 91 mm。两岸坡受地基约束变形较小,从坝体变形不均匀性对建筑物的不利影响,即从工程安全角度出发,假定两岸堆石体在蓄水期的沉降为零,当河床横断面开挖后若基础无明显的突变,堆石体沿坝轴线的变形是连续的。根据对实测资料的回归分析,沉降变形服从抛物线分布,曲线方程为 $y = 4.64 \times 10^{-6} x^2$,见图 1。

表 1 国内外若干面板坝堆石体沉降特性统计

工程名称	坝高 /m	河谷 宽高比	堆石岩 体类型	最大沉降/mm		a/%		b	
				施工期	蓄水期	施工期	蓄水期	施工期	蓄水期
关门山	58.5	3.1	安山岩	67	15	0.12	0.03	18	
成屏	74.6	2.9	凝灰岩	282	352	0.45	0.47	56	
Cethena	110.0	2.0	石英岩	449	68	0.41	0.09	13	
Alto Anchicaya	140.0	1.8	角页岩	630	130	0.45	0.09	17	
Foz do Ariea	160.0	5.0	玄武岩	3580	200	2.23	0.13	5	
Shiroro	125.0	4.5	花岗岩	940	66	0.75	0.05	7	
Gollilas	127.0		砂卵石	390	130	0.31	0.10	25	
Salvajina	148.0		砂卵石	400	100	0.27	0.07	20	

注:引自《中国混凝土面板堆石坝十年学术研讨会论文集》第 91 页,其中,a 为最大沉降和坝高之比,b 为蓄水期沉降和总沉降之比。

从泄洪闸运行开启的对称性来讲,一般希望闸间能布置成奇数孔。从图 1 可看出,越往岸边,闸孔的累积沉降变形差值越大(接近实际情况)。当闸间宽为 10 m 时,从中间孔往岸边算起的第 5 孔 $\Delta y = 4.0$ mm;当闸间宽为 12 m 时,第 4 孔的 $\Delta y = 4.7$ mm。一般情况,钢闸门变形的适应范围应在 3 mm 以内,即在闸孔净宽范围内的累积沉降变形不宜超过此值,所以布置泄洪闸时应根据变形条件、泄量及泄洪

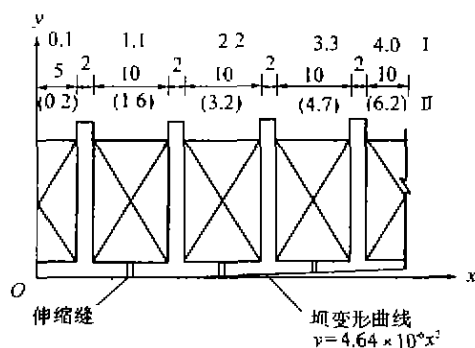


图1 坝顶沉降变形及溢洪道布置示意图

I. 一孔闸底板的最大沉降差值, mm; II. 闸孔宽 12 m 的一孔最大沉降值, mm

净宽确定闸孔的宽度和泄洪总宽度。

根据图 1 示意,溢洪道钢筋混凝土结构按常规做法一孔一缝设置变形缝,完全能适应本例的均匀沉降和连续的不均匀沉降。闸室混凝土结构应力分析应考虑溢流堰混凝土底板的变形影响。闸室上部即启闭房框架结构可根据不同的启闭方式用铰接方式适应变形。后拉式启闭机不需要跨墩的启闭房,不存在上部结构的变形适应性问题。

1.2 沿水流方向的变形及影响

迄今,人们主要关心堆石体的沉降变形和面板的挠度,这方面的资料较多,沿水流方向变形的资料较少。但是,表2、表3及图2提供的资料有助于分析沿水流方向的水平和垂直变形特性。表2列出国内外13个面板坝蓄水期面板的最大挠度值和最大值占坝高的比例值。除Arcia坝外,挠度值占坝高的比例均小于0.27%,图2配合表3列出了Segredo坝(挠度占坝高的比例为0.23%)蓄水期沿水流方向的水平位移值。坝上部570.00m高程主要表现为全断面向下游的平移位移,其值约9.0cm。坝中部542.00m高程主要表现为坝中线上游侧约5.8cm指向下游的水平压缩变形、坝中线下游侧约6.7cm指向下游的平移位移。坝下部515.00m高程主要表现为全断面向下游的平移位移,其值约3.5cm。从图2可看出下游坡面的变形接近线性分布,溢洪道基础附近沿水流方向的水平向变形主要是平移,因此对上部建筑物布置无明显不利影响。

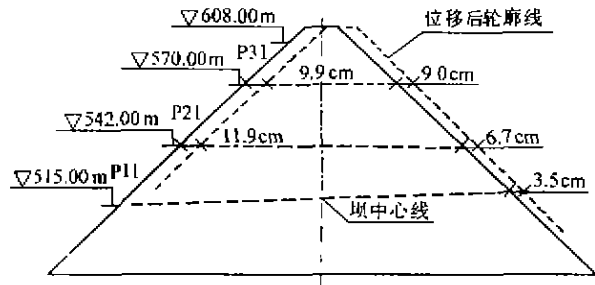


图2 Segredo 坝观测布置及坝体水平位移示意图

表2 若干工程的面板蓄水期最大挠度值

坝 名	坝高/m	面板挠度 最大值/cm	c/%
关门山	58.5	4.2	0.07
成屏一级	74.6	15.4	0.21
西北口	95	4.3	0.05
龙 溪	58.9	1.9	0.03
Cethena	110	14.0	0.13
Mackintosh	75	20.0	0.27
Murchison	94	4.4	0.05
Foz do Ariea	160	77.8	0.49
Shiroro	125	9.0	0.07
Alto Anchicaya	140	16.0	0.11
Salvajina	148	10.0	0.07
Colillas	127	3.6	0.03
Segredo	145	34.0	0.23

注:引自《中国混凝土面板堆石坝十年学术研讨会论文集》第96页,其中 c 为面板坡度最大值与坝高之比。

表 3 Segredo 坝水库蓄水期堆石坝水平位移值^[1] cm

位 置	上游 坝中心线		下 游		
▽570.00m 观测点	P31	P32	P33		
位移值	-9.9	-8.3	-8.9		
▽542.00m 观测点	P21	P23	P24 P25		
位移值	-11.9	-6.1	-6.2 -7.2		
▽515.00m 观测点	P11	P13	P14	P15	P16
位移值		-3.4	-5.4	-3.0	-2.0

注：“-”表示向下游平移。

对于沿水流方向的沉降变形分布,从图3的等值线图中可以看出,等值线分布均匀,说明沉降变形接近线性分布,距离面板越远变形越小,作为溢洪道基础的上部堆石体在坝中线处出现拐点,但是整个断面上的沉降总量和差值都不大,按图4所示,在结构突变处设伸缩缝,既能满足结构自身的要求又能满足不均匀沉降的要求。

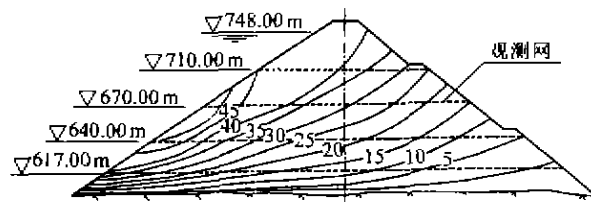


图3 阿里亚坝水库蓄水后堆石体沉陷等值线 (cm)

以上分析对象均为统计资料中极为不利的实例.如沿坝轴线方向变形分析实例是在 11 个样本中扣除一个奇异点后的最不利的例子;沿水流方向变形分析的实例是在 13 个样本中扣除一个奇异点后的次大变形实例.因此,分析成果具有实际意义.按统计理论分析,应用上述结果指导实际工程,实现的概率达 91.7% 以上.在实际工程中如对堆石材质、施工质量、孔隙率等关键指标提出严格要求并加以控制,那么实现和控制预期变形量的把握性将更大.

2 溢洪道挡水结构抗滑稳定

由于坝顶溢洪道坐落在堆石体上部的垫层上,混

凝土与垫层之间的摩擦系数约 0.35,明显小于独立式溢洪道基岩作为基础的摩擦系数.如图 4 所示,当弧形闸门尺寸为宽 10m,高 10m,溢流堰厚度 3m 时,抗滑安全系数为 1.8,能满足接触面抗滑稳定要求.按此规模进行深层抗滑稳定分析,安全储备较大.

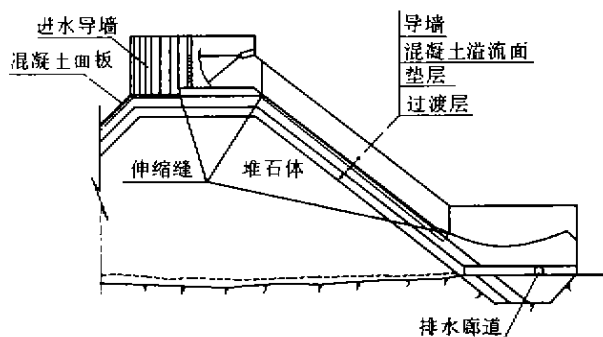


图 4 坝顶溢洪道横剖面

3 溢流面结构

由上述分析可知,堆石体变形对溢流面混凝土结构无明显的不利影响.不利因素是溢流面结构坐落在堆石体之上,混凝土与堆石之间连接的整体性较差;有利因素是坡面平缓,泄洪时动水压力以正压力为主.以福建省穆阳溪芹山堆石坝岸边溢洪道模型试验为例,陡槽段坡度为 1:2.7,仅在反弧段前约 50m 处出现 67 kPa 的负压,经设置一道通气孔后负压减为 4 kPa,能满足常规混凝土结构的技术要求.反弧段的大体积混凝土(图 4)为泄洪结构整体稳定提供了保证.为了溢流面混凝土能够均匀地传力以及满足溢流面渗水的渗透稳定,溢流面混凝土下部可参照上游面板设置垫层和过渡料的做法.若在垫层中埋设拉筋则可进一步提高整体性.

鉴于福建省尤溪水东水电站已成功地在碾压混凝土坝上采用阶梯溢流面消能,已于 1995 年 5 月经历了单宽流量达 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 的泄洪考验.国外也有不少碾压混凝土坝阶梯消能的研究成果和实例.由于面板堆石坝坡面较缓,更有利于阶梯溢流面消能并减少负压和空蚀的可能性.细部结构见图 5,用预制混凝土挡板(高度与堆石体、碾压层的模数匹配)形成阶梯,最后浇筑阶梯的水平层形成整体的阶梯溢流面.此结构施工简单,整体性好,适应变形能力强,

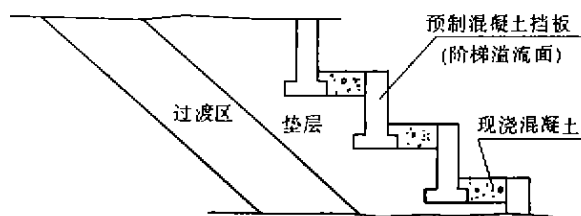


图 5 阶梯溢流面细部结构

还可省去反弧段大体积混凝土.

4 溢洪道渗漏和排水

从以上分析可知,坝顶溢洪道混凝土结构能适应堆石体的变形,与常规溢洪道混凝土相比,裂缝渗漏条件并没有恶化,即使出现渗漏现象,短时期的泄洪渗漏量和渗漏总量也不会太大.但是,无论如何少量的渗漏总是不可避免的.因此,要认真做好坝体排水.首先,在所有坝顶溢洪道混凝土结构下部设置过渡层和垫层料,起渗漏稳定和均匀传力作用.其次,下游侧及下部堆石体要有良好的透水性,对于堆石体来讲,只要引起重视,这一点容易做到.最重要的是在坝下游设排水通道,并做好排水反滤.对于普通的挑流消能溢洪道可在反弧段下部设置排水廊道,以确保排水通畅并方便巡视检修.对于阶梯溢流面可在阶梯内设置专门的通道将渗水直接排向下游河道.

5 造价和工期

福建省四座混凝土面板堆石坝(万安溪,1994 年建成;芹山,1999 年建成;街面,拟建;牛头山,方案比较)若采用闸室尺寸为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的坝顶溢洪道,可节省投资 27.8%~32.9%,经济效益十分显著.

常规溢洪道与坝顶溢洪道相比,更具有独立性,尤其是独立溢洪道可与坝体同步施工,当坝的主体工程完成时,溢洪道可基本上同步投入使用.而坝顶溢洪道是建造在堆石体之上,必须等堆石体上升至溢流堰底高程时才能着手施工溢洪道.因此,溢流堰底以上坝体要分为三个工作面,即左、右岸坝段和溢洪道,左、右岸坝段要分别上坝,会增加一定的施工难度,但是,此时的控制工期还是溢洪道工程.与常规相比,约需增加 1~3 个月总工期.

6 结 语

在 11 个工程项目的实测资料中,有 10 个项目 75% 以上的沉降变形是在施工期完成的,建造在堆石体之上的溢洪道混凝土结构能适应运行期的残余沉降变形.但是普通钢闸门的止水不能适应太大的不均匀沉降,因此,闸孔的宽度应根据沉降变形量来确定.一般情况闸孔宽度不宜大于 10m,作为试验性项目,闸孔高度宜在 10m 以下.混凝土面板堆石坝坝顶溢洪道技术上可行,造价低,对于中等坝高的工程,风险不大,而成功的把握性较大.不利因素是施工有一定的干扰,工期有所延长.对于泄洪单宽流量不大的工程,阶梯溢流面消能是一种较为理想的选择.

参考文献:

- [1] 靳国厚.巴西两座混凝土面板堆石坝的原型观测资料分析[J].水利水电技术,1995(2):59~64.

(收稿日期:1999-11-08 编辑:熊水斌)