

也门采用溢流面板堆石坝的可行性

Radman Ali Murshed

(淮海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 论述了溢流面板坝的发展概况及其特点,介绍了也门的水利工程特点,指出在也门进行溢流面板坝技术论证的必要性.以 Warzan 坝为实例,通过一系列数值模拟分析,论证了面板坝坝顶溢流的可行性,为也门 Warzan 坝的可行性设计研究提供了有实际参考价值的依据.

关键词 :也门水库 溢流面板坝 数值模拟分析 ;Warzan 坝

中图分类号 :TV631 ;TV641.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2002)01-0113-06

如何减少水库拦河坝建设工程造价、缩短工期,是当前也门拦河坝中很突出的问题.选择合适的坝型,降低水工建筑物造价显得尤为重要.用来拦河筑坝形成水库的常用坝型有混凝土拱坝、浆砌石坝、硬壳坝、重力坝、土石坝和混凝土面板堆石坝(以下简称为面板坝).拱坝由于对地形、地质和施工的要求都较高,因而只有在条件合适时才采用.重力坝对地形、地质要求较拱坝低,但较土石坝和面板坝高,且水泥用量多,水泥等材料都有赖于外地供应.也门是一个以山地为主的国家,山区交通不便,运输费用高,这就会使工程造价增加.此外,混凝土温控要求较高,而也门地处热带,其温控费用将更高.土石坝对地形、地质要求较低,但也门南部和东部河流较多的地区缺少粘土,无合适的防渗材料.此外,土石坝需要在坝外设置溢洪道,也门山区一些河流两岸山坡陡峻,设置溢洪道就要增加很大的开挖量,这就会使投资增加很多.例如也门奈安水库溢洪道的投资约占总投资的24%.所以根据也门当地条件,有必要研讨修建溢流面板堆石坝.早期的堆石坝由于施工条件的限制,坝建成后变形大,给面板阻水带来了很大困难.随着施工机械的发展,堆石体可以振压得很密实,其密度可以达到 2.35 t/m^3 左右.由于堆石体振压密实,因此堆石坝的总沉降量很小,而且大部分发生在施工期和最初几年,一般3~5年以后沉降已基本趋于稳定^[1],这样的沉降为混凝土面板堆石坝的发展创造了条件,使其成为优秀坝型之一,具有许多明显优点.

1 面板坝坝顶泄洪

由于现代碾压式堆石坝坝体密实而较少变形,且变形量在施工期大部完成,竣工后剩余变形量小且在头几年即基本稳定,因此在特定条件下在坝面设置正常的或非常的溢洪道是可行的,可以方便枢纽布置.国外已有一些成功实例可以参考.中国也有一些坝研究过坝溢洪道问题,有的已做了设计,但都还没有实现.

库克及谢腊德对坝面设置溢洪道问题作过论述^[2],并提出以下建议:

- 现在已确认现代混凝土面板堆石坝的总沉降量是相当小的,且这样小的位移绝大部分发生在施工的最初几年内.有闸门的溢洪道是不能承受任何变形的,但这种小变形对不设闸门的溢洪道却不会造成明显的危害.压实堆石形成的地基与陡坡风化岩基一样安全.
- 坝面溢洪道在泄槽单宽流量 $25.5 \sim 32.5 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 的洪峰流量的短期作用下是现实可行的,可以节省大量投资.如在坝外有一座常用溢洪道时,可以将坝面上不设闸门的溢洪道作为泄放超标准洪水的非常溢洪道.
- 坝的下游坡及作为溢洪道地基的堆石体采用与上游坡一样的结构和施工方法.
- 溢洪道的细部结构可以采用与一般溢洪道相同的构造.
- 对于高坝,有高速水流问题,需在泄槽上设通气槽,它可以与伸缩缝相结合.

f. 由于溢洪道底板是连成整体的,地基是强透水的,所以不会在泄槽底部形成浮托力,不需要考虑伸入堆石体内的锚筋提供多大的锚固力。但是仍需要设置插筋以固定面板,并减轻水流的振动。

从现有资料可看到以下实例。

a. 澳大利亚克罗蒂坝,高 82 m,长 245 m,坝体积 $77 \times 10^4 \text{ m}^3$,总库容 $1.07 \times 10^8 \text{ m}^3$,是以发电为目的而兴建的。坝位于狭窄河谷中,建常规溢洪道需要大量投资,因而考虑了竖井式泄洪隧洞、右坝肩的侧槽式溢洪道等方案,都因造价高、岸边溢洪道施工有干扰等原因而放弃,而选定在坝顶和下游面修建溢洪道的方案。当最大洪水时,宽 12.2 m 的坝面溢洪道的泄量为 $245 \text{ m}^3/\text{s}$,这时水位升高可限制在 5 m 以内。坝主体用冲洗过的冲积卵砾石填筑,根据澳大利亚修筑面板坝的经验,坝体的变形量不大,且压实卵砾石的变形模量远大于压实堆石的,因此其下游面的混凝土面板设置合适的铰接后,是可以承受这少量变形的。大坝的静力学观测表明其运行性状是良好的。溢洪道混凝土面板的最大沉降和位移分别为 17 mm 和 10 mm,与坝体的最大沉降 15 mm 和位移 9 mm 十分接近。底板与侧墙接缝的最大的位移值发生在约 $1/3$ 坝高处,为 9 mm,与已修建的其它面板坝相类似。

b. 中国曾设计过 2 座坝顶泄洪的混凝土面板堆石坝,位于浙江的大奕坑和新疆的鲍而德。大奕坑水电站位于大奕坑溪上,拦河坝为溢流式混凝土面板堆石坝,最大坝高 93 m,溢流段坝高 85 m,水库总库容 4 323 万 m^3 。工程为三等工程,坝址为梯形河谷,底宽约 50 m,坝顶长度 222.7 m,两岸山坡基本对称,坡度陡峻,不利于溢洪道的布置。经比较后,采用坝面溢洪道比岸边溢洪道有节省投资、方便施工的优点。面板坝的坝面溢洪道布置在坝体中部,由不设闸门的进口溢流堰、陡槽段、下游挑鼻坎段等组成。陡槽段坡比为 1:1.3,长 118.2 m,槽宽 48 m,最大下泄单宽流量约 $21.44 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。鼻坎处最大流速为 32.4 m/s 。

新疆鲍而德水库的溢流面板坝设计也都经过类似的水力学试验研究,做出了相应的设计,泄流水平都在单宽流量 $20 \sim 25 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 左右。应该说这些设计在中外已有实践范围之内,是有一定实际工程经验可借鉴的。

也门如能有首次实例,对一些有条件的中小型工程当有一定的技术和经济效益。

2 也门水库工程条件

a. 现阶段在也门兴建的山区水库以小型居多,库容小(一般小于 300 万 m^3),流域面积也小(一般小于 70 km^2),水库拦河坝高度一般在 10 ~ 50 m。由于库容量小,单位库容的水工建筑物造价偏高,因此,选择合适的坝型,降低水工建筑物造价显得尤为重要。

b. 目前也门水库的溢洪道普遍采用单孔开敞式不设置闸门调洪^[3]。

c. 大多数水库拦河坝无交通要求,极少在水利枢纽上设置交通桥。

d. 也门山区无冰冻气候,但石料资源十分丰富,适宜建造堆石坝。

e. 拦河坝坝址往往地形狭窄,溢洪道布置较困难,有些场合为了设置溢洪道不得不放弃非溢流式面板堆石坝坝型而改用其它坝型。

f. 也门兴建的小型水库,正常水位与最高水位之差一般小于 6 m,有的仅差 3 m,这使得在堆石坝坝体上布置开敞式溢洪道成为可能。

g. 也门是一个缺水国家,雨量偏少,水库开敞式溢洪道溢洪机会甚少,有类似非常溢洪道的性质。所以降低溢洪道造价是比较切合实际的。

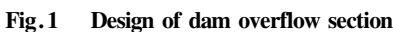
h. 也门的年均降水量不多,而且在南北部有很大差异,南部地区平均降水量为 600 mm,北部地区为 300 mm。

所以在也门根据当地的水库条件与考虑经济条件,比较适合建造过水面板堆石坝,使用此种坝型在某些地区可节省投资,可更适合某些坝址的地形地貌更广泛地采用面板堆石坝。为此本文选择面板坝坝顶过水设计及在也门应用的可能性研究。

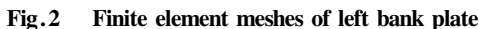
3 也门某水库面板堆石坝概况

Warzan 坝高 36 m,设计水位高程 2009 m,校核水位高程 2013 m。最大单宽流量 $q_{\max} = 15 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$,上游坡度 1:1.3,坝下游坡为了布置溢洪道,需要放缓坝坡,以减小垂直变形梯度并有利于人工坝面作业,取为

为论证其技术上的可行性,笔者通过三维有限元法对其在不同工况下的变形特征进行分析,以得到定量的评价数据.



坐标系的选取为: X 轴指向上游, Y 轴铅直向上, Z 轴沿轴线指向左岸.



- 堆石料本构模型** 采用 Duncan E-B 模型, 计算参数列于表 1。
- 混凝土材料参数** 混凝土材料包括趾板、面板、挡墙等, 采用线弹性模型, 参数为: $\gamma = 24.5 \text{ kN/m}^3$, $E = \times 10^7 \text{ kPa}$, $\mu = 0.167$ 。
- 接触面参数** $K_1 = 4800$, $n = 0.56$, $R_f = 0.74$, $\delta = 36.6^\circ$ 。
- 接缝连接单元参数** 接缝参数分别采用河海大学的试验成果。

表 1 坝料计算参数

Table 1 Parameters for dam material calculation

坝料	γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	C /kPa	K	n	R_f	φ_0 /($^\circ$)	$\Delta\varphi$ /($^\circ$)	C_d	n_d	R_d	K_{ur}
垫层料	22.0	0	1050	0.32	0.88	49.5	7.25	0.0018	0.81	0.58	1650
过渡料	22.0	0	1000	0.34	0.89	54.0	12.0	0.0018	0.81	0.58	1650
主堆石料	22.0	0	900	0.34	0.81	53.0	10.7	0.0030	0.85	0.66	1890
下游堆石料	22.0	0	975	0.36	0.86	47.0	6.75	0.0034	0.70	0.66	1800

6 分级加荷情况

计算两种工况:(a)模拟施工过程,并模拟蓄水至正常高水位;(b)在工况(a)的基础上,抬高水位模拟坝顶过水,过水水力由水力计算给出.

7 结果分析

计算成果包括堆石体的应力和位移、面板的应力和位移、面板缝和周边缝的位移等.这里只给出部分具有代表性的成果(图 5~10).

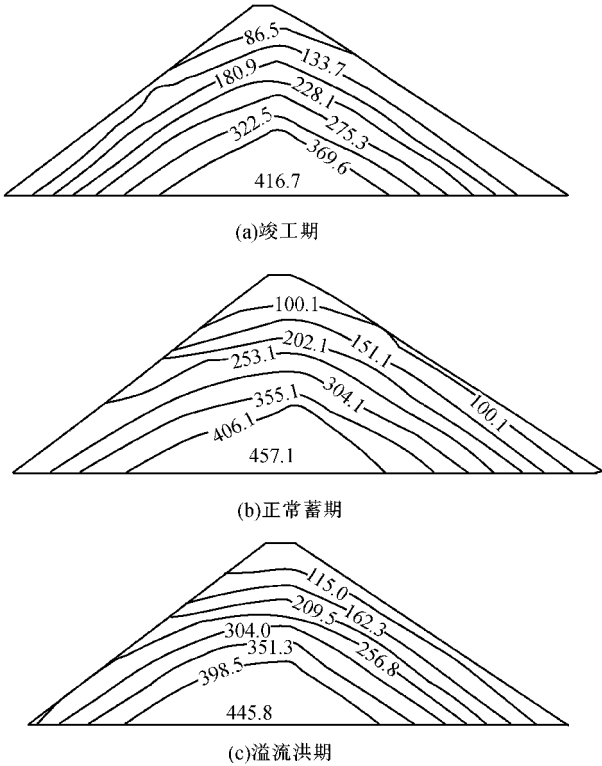


图 5 +45 溢流断面 σ_1 (kPa)

Fig.5 σ_1 for overflow section +45

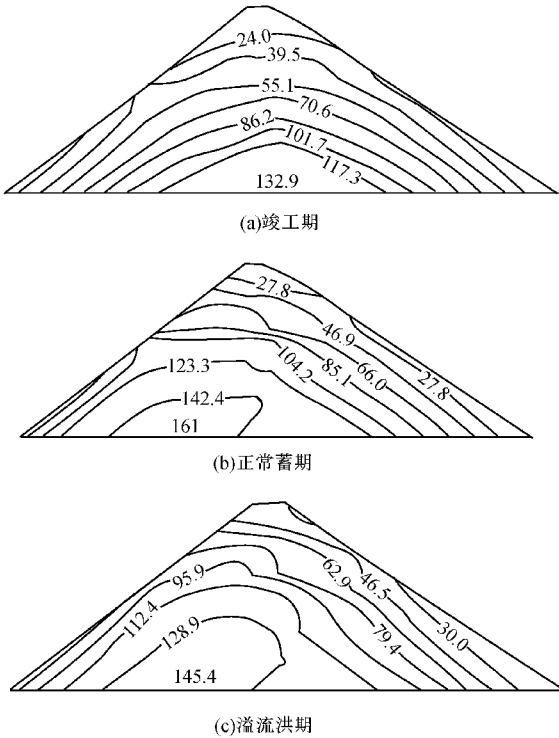


图 6 +45 溢流断面 σ_3 (kPa)

Fig.6 σ_3 for overflow section +45

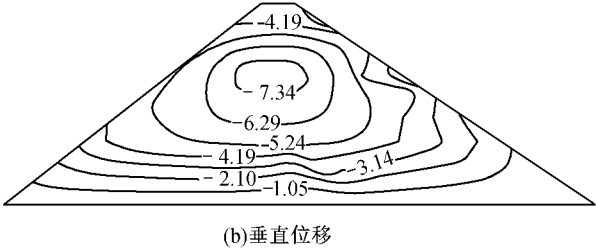
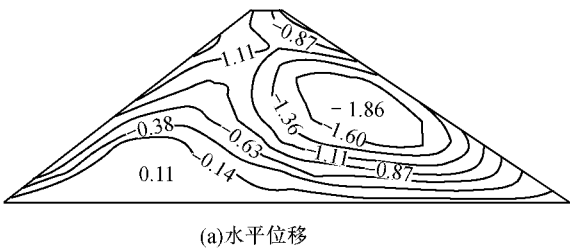


图 7 溢流洪期 +40 断面位移 (cm)

Fig.7 Displacement of section +40 during overflow season

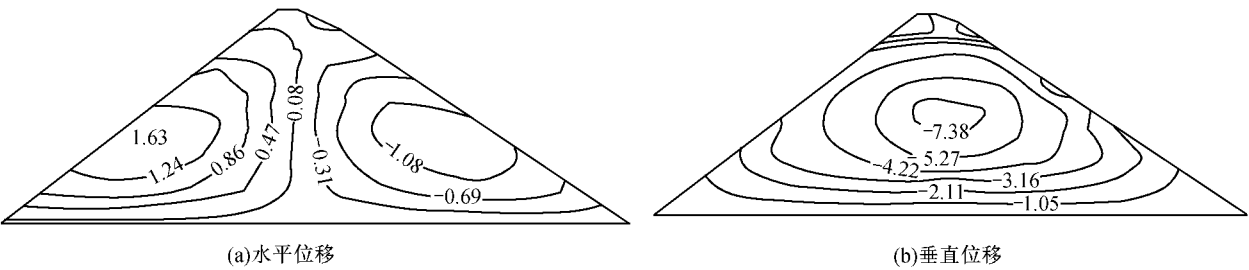


图 8 竣工期 + 45 溢流断面位移 (cm)

Fig.8 Displacement of overflow section + 45 during completion period

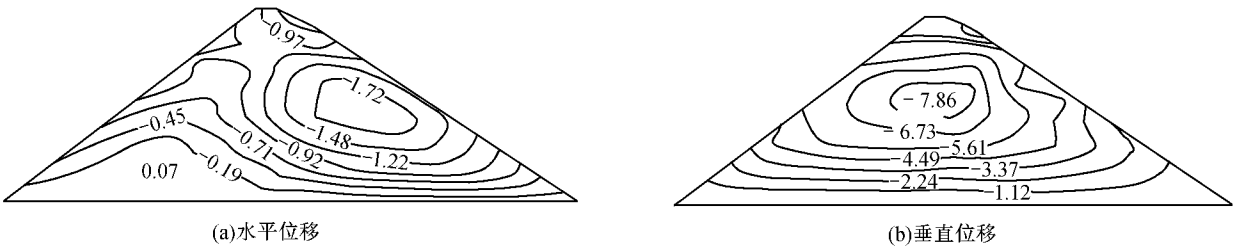


图 9 溢流洪期 + 45 断面位移 (cm)

Fig.9 Displacement of overflow section + 45 during overflow season

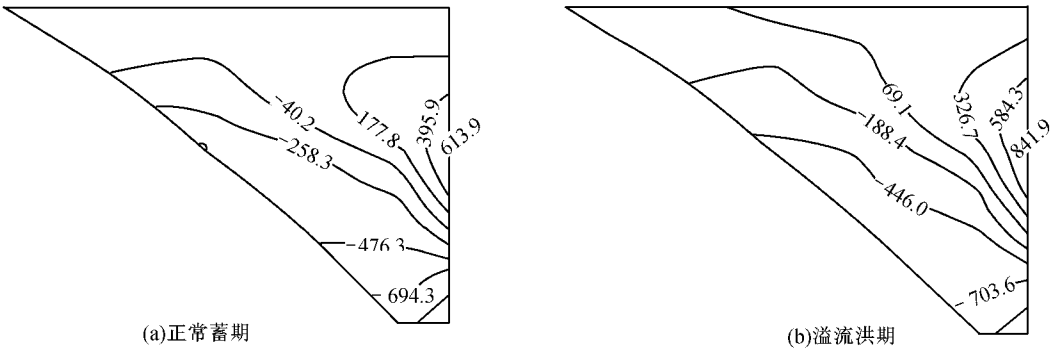


图 10 面板顺坡向应力 (kPa)

Fig.10 Slab stress along slope during normal storage period

a. 坝堆石体位移及应力. 堆石体位移及应力见表 2.

表 2 给出竣工期竖向最大位移为 7.4 cm, 约为坝高的 0.21%. 蓄水后, 竖向的最大位移为 8.0 cm, 约为坝高的 0.22%. 从竖向位移的变化情况看, 沉降主要发生在施工期, 蓄水引起的附加沉降比较小, 这主要是由于堆石料具有较高的变形模量所致. 由断面竣工期与蓄水期的水平位移可以看出, 蓄水后上游部位的水平位移增加量要大于下游部位的增量, 反映了面板堆石坝的受力变形特征, 即库水主要引起坝轴线上游部分的附加变形. 考虑溢流过水后, 由于上游水压力增加, 使得坝体上游部分的位移有所增加, 但由于水位只增加了 5 m, 因此这种变化与正常高水位时比较, 增加并不显著. 对于溢流坝段上下游均有水压力作用, 坝体下游部位的位移也有一定的变化. 但变化值较上游部分更小, 也就是说, 坝顶过水对坝体影响很小, 不会造成下游泄槽的过大变形而导致破坏.

竣工期, 坝体应力等值线从坝顶向下应力逐渐加大, 河中部、底部应力较大, 两个主应力分布规律类同. 大主应力最大值为 420 kPa, 位于断面 + 45 底面中部. 蓄水期, 坝体上游部位主应力比竣工期明显增大, 下游部位变化较小, 大主应力值为 460 kPa, 位置同竣工期相比, 略偏向上游.

b. 面板位移. 后面板位移明显增大, 面板挠度最大值为 29 mm, 约为坝高的 0.81%, 位于河中部位的 1/2 坝高处. 坝轴向河中挤压的数值亦有所增大, 向河中位移最大值为 2.4 cm. 从坝轴向位移图看出, 坝轴向位移变化大一些.

c. 面板应力. 顺坡向应力基本上为压应力, 最大压应力值为 842 kPa, 位于 +45 断面附近的 1/2 坝高处; 局部出现拉应力, 最大拉应力值为 704 kPa, 位于河中部面板底部端. 面板坝轴向应力大部分区域为压应力, 最大压应力为 250 kPa, 位于 +45 断面底部.

d. 面板缝位移. 库水作用下, 面板缝位移以拉压位移为主, 最大压紧位移 1.77 mm, 发生在 +45 断面的中部, 最大张开位移 2.67 mm, 发生在断面 +45 的下部. 总体来讲, 面板缝位移量值不大.

e. 周边缝位移. 最大沉降位移 1.47 mm, 发生在 +40 断面; 最大错动位移 0.89 mm, 发生在 +40 断面; 最大张开位移 1.87 mm, 发生在 +45 断面; 最大压紧位移 0.34 mm, 发生在 +40 断面. 总体来讲, 周边缝的位移值较小, 河床部位基本处于受拉状态, 但位移值很小.

8 结 论

a. 溢流面板坝的独特特点越来越受到坝工界的重视, 并积极开展研究工作.

b. 本文在介绍溢流面板坝的发展概况的基础上, 以也门 Warzan 坝为例, 通过数值模拟分析, 表明坝体的变形以及接缝的位移都是很小的. 从变形的角度讲, 溢流面板坝在技术上是可行的.

c. 通过进一步的技术论证, 使得 Warzan 坝在也门可以得到实施, 将会对也门的经济发展起到积极的促进作用.

参考文献:

- [1] 傅志安, 风家骥. 混凝土面板堆石坝[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993. 113 ~ 136.
- [2] 蒋国澄, 傅志安, 风家骥. 混凝土面板坝工程[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997. 32 ~ 38.
- [3] 拉得曼, 夏颂佑. 在也门修建溢流面板堆石坝的研究[J]. 水利水电科技进展, 1998, 18(6): 46 ~ 49.
- [4] 王德信, 潘东海. 水利水电工程大型通用程序集[M]. 南京: 河海大学出版社, 1999. 27 ~ 35.

Feasibility of Overflow Concrete Face Rock-Fill Dam in Yemen

Radman Ali Murshed

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Described are the development and characteristics of overflow concrete face rock-fill dams. The characteristics of hydraulic projects in Yemen are introduced, and the necessity is discussed for Yemen to adopt such kind of dams. With the Warzan Dam as an example, the technical feasibility is analyzed based on a series of numerical simulation, providing practical values for feasible design and research of the Warzan Dam.

Key words: reservoirs in Yemen; overflow concrete face rock-fill dam; numerical simulation; the Warzan Dam