

世界混凝土面板堆石坝的发展与回顾

杨超 编译

(国家电力公司西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065)

中图分类号: TV641.4+3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2001)03-0067-02

面板坝于19世纪中叶起源于美国,起初采用抛填堆石加木面板防渗,以后采用混凝土面板。到20世纪60年代末引入振动碾压,进行薄层碾压堆石施工,使坝体密实而变形较小,由此这种坝型才得以迅速发展。在1899年,世界上仅有几座铺设面板的不透水堆石坝,坝高为15~20m。随着设计和施工技术的日益成熟,分别制定了设计导则和施工规范,指导和规范面板坝建设的发展。到1999年,混凝土面板堆石坝(CFRD)的数量已接近300座,坝高近200m。CFRD已从一种新坝型成为经常被采用的主要坝型。

1 抛填堆石的CFRD(1899~1960)

面板堆石坝的设计主要是依靠经验进行的,即以经验和判断为基础。

1925年前,仅有8座高于33m的堆石坝,且均为面板堆石坝,其中最高的为55m。大坝渗漏很小,到1999年,大多数坝仍在运行。

1925年至1960年期间,修建了一些坝高小于70m和坝高为85~110m的CFRD。小于70m的坝没有出现渗漏问题,而大于85m的坝则发生了裂缝而严重漏水。例如,美国1925年建成的86m高的迪克斯河(Dix River)坝,1931年建成的100m高的盐泉(Salt Spring)坝和98m高的考特赖特(Courtright)坝以及葡萄牙1955年建成的112m高的帕拉德拉(Paradela)坝。这些高坝在面板下部1/3处发生了裂缝,并经常漏水。这可能是由于抛填堆石的模量低和接缝细部结构,以及这种抛填堆石坝下部1/3处松散的大块岩石的高压缩性不足以支撑混凝土面板而引起的。这也导致了包括周边缝在内的其它接缝的张开度增加。漏水不会危及大坝的稳定,但是,从运行的角度看,在某种情况下是不利的。

20世纪40年代,抛填堆石的高面板坝衰落了,而抛填堆石的粘土心墙坝(ECRD)则发展起来了。设

置反滤层的ECRD的柔性可适应抛填堆石较大的沉降,而混凝土面板则不行。

20世纪40年代和50年代,粘土心墙堆石坝的数量和高度增加很快,到60年代中期,有15座ECRD的高度超过100m。抛填堆石不能满足反滤料的层间关系,因此在靠近反滤层的部位,堆石要分层填筑。直到1967年,抛填堆石的ECRD已改为分层填筑并可用10t振动平碾对所有的堆石进行碾压。

2 CFRD的复苏(1960~1988)

早期修建的CFRD都出现过因变形过大使面板开裂和大量渗漏的现象,故在20世纪40年代至50年代出现了一个停止时期,基本上没有再修建较大的CFRD。

20世纪60年代末,碾压堆石的高压缩模量使得人们重新认识了CFRD,并产生了兴趣,CFRD出现了复苏,但发展缓慢,需要克服以下一些障碍:

- a. 众所周知的高CFRD的渗漏问题。
- b. 当时几乎还没有可供参考的先例。
- c. 工程师和业主们已熟知的ECRD是一个非常好的坝型,为什么要改用CFRD?
- d. 20世纪70年代末至80年代初,CFRD并没有作为备选坝型纳入大多数可行性研究中,因为当时这种坝型并不被普遍认可。
- e. 当CFRD作为备选坝型可以纳入可行性研究时,对坝型选择,当时还缺乏公认的客观标准。在坝型选择过程中,大坝的总体布置、预算费用等都是可以调整的,工程公司只是依据他们已有的经验和偏爱来选择坝型。

早期碾压式CFRD并没有克服上述问题,但它却作为可行性研究期间所选择的一种替代坝型而被采用。例如:澳大利亚1968年建成的59m高的坎加鲁溪(Kangaroo Creek)坝,随着勘探的进展,该坝址确

定为不适合拱坝设计。澳大利亚 1917 年建成的高 110 m 的塞沙那(Cathana)坝,该工程原先是按拱坝设计的,当平洞开挖后,发现基础不适合修筑拱坝。此时导流洞已完工,而 CFRD 底宽较窄,适合已建的导流洞,采用 CFRD 方案还可以抢回失去的时间。在塞沙那坝建成后,随后在塔斯马尼亚州修建的数座大坝也都采用了 CFRD 坝型。哥伦比亚 1974 年建成的高 140 m 的安奇卡亚(Alto Anchicaya)坝,由于地基条件和预算费用的限制,拟建的混凝土重力坝变得不可行,且坝址位于雨林中,不适合修建粘土心墙堆石坝。尽管大坝的高度在当时是史无前例的,最后还是根据地基的适应性、工期和费用等条件,确定采用了 CFRD。美国 1979 建成的高 95 m 的贝利(R. D. Bailey)坝,美国陆军工程师团当时规划把这座坝设计成粘土心墙堆石坝。由于心墙材料匮乏,出于成本 and 环境的考虑而改为面板堆石坝。泰国 1984 年建成的高 130 m 的考伦山(Khao Laem)坝,因多年来认为在夸伊内河的喀斯特坝址上建坝是不可行的,从技术和经济可行性角度看,CFRD 是唯一可选的坝型。

CFRD 作为主要坝型取得重要进展的标志是 1980 年巴西建成的高 160 m 的阿里亚(Foz do Areia)坝。该坝建在伊瓜苏河上的一个宽阔坝址处,是在一条主要河流上修建的第一座 CFRD,为当时世界上最高的 CFRD。尽管缺少一些先例,但基于成本最低和工期最短的考虑,仍选择了 CFRD。

1967 年只修建了 6 座碾压的 CFRD,而到了 1988 年,已有 70 座 CFRD。截至 1988 年,已克服了坝型选择障碍,CFRD 已成为认可的主要坝型,并被纳入可行性研究。

3 作为主要坝型的 CFRD(1988 ~ 1999 年)

1971 年澳大利亚建成的高 110 m 的塞沙那坝变形很小,面板没有出现裂缝,取得了很大成功,由此奠定了现代 CFRD 的技术基础。20 世纪 80 年代,混凝土面板堆石坝移向南美,20 世纪 90 年代向巴西和中国发展。

1999 年 10 月,在巴西召开了一次关于 CFRD 坝型运行状况的研讨会。会上提交了 36 篇论文,与会代表们认为,CFRD 发展很快的主要原因是充分利用当地筑坝材料,施工简单,工期短,费用低。摩洛哥 A. 阿拉米和 A. E. 什赖比撰写的论文叙述了对两种可行性研究方案的修改情况:20 世纪 70 年代选择了 ECRD,后来与 ECRD 或 RCC(碾压混凝土)方案作了比较,表明选择 CFRD 更为经济和优越。在一坝址砾石覆盖厚度为 30 m,倾向采用设置混凝土防渗墙的 CFRD,因为它是 RCC 方案费用的 1/3。智利的圣

胡安那(Santa Juana)CFRD 在砾石层上设置混凝土槽板的先例已为许多坝址所采用。

1988 年至 1999 年期间,CFRD 已纳入可行性研究中,并在修编初期的可行性研究中作为候选方案。

4 1999 年的 CFRD

截至 1999 年,CFRD 是一种已成型的堆石坝。在很多或大多数可行性研究中,由于成本较低,施工期较短,选择 CFRD 多于 ECRD。目前世界上最高的 CFRD 是墨西哥 187 m 的阿瓜米尔帕(Aguamilpa)坝和中国 178 m 的天生桥一级坝。拟建的此类高坝还有:哥伦比亚高 190 m 的索加莫索(Sogamoso)坝、巴西 210 m 的坎普斯诺沃斯(Campos Novos)坝、尼泊尔 220 m 的西塞蒂(West Seti)坝、菲律宾 230 m 的阿格布鲁(Agbulu)坝等。

CFRD 的发展和目前的工程实践在许多文献资料中得到了很好的阐述。巴西的伊塔(Ita)坝是当前设计和施工实践的优秀典范。在伊塔坝,引入了一种改进型的混凝土路缘碾压机(concrete extrusion curb machine),可降低成本,加快堆石表面的铺筑以便混凝土面板的浇筑。

本文经杨纪元教授高级工程师校阅,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Cooke J B. The CFRD 1899 - 1999[J]. Hydropower & Dams, 1999, 6(6): 66 ~ 68.
- [2] Cooke J B. Development in high concrete face rockfill dams[J]. Hydropower & Dams, 1997, 4(4): 69 ~ 73.

(收稿日期:2000-11-20 编辑:熊水斌)

(上接第 20 页)

- [21] Wriggers P, Scherf O. Adaptive finite element techniques for frictional contact problems involving large elastic strains[J]. Comput Meth Appl Mech Engng, 1998, 151: 593 ~ 603.
- [22] Refaat M H, Mequid S A. A new strategy for the solution of frictional contact problems[J]. Int J Numer Meth Engng, 1998, 43: 1053 ~ 1068.
- [23] Buczowski R, Kleiber M. Elastoplastic interface model for 3D-frictional orthotropic contact problems[J]. Int J Numer Meth Engng, 1997, 40: 599 ~ 619.
- [24] Buczowski R, Kleiber M. A stochastic model of rough surfaces for finite element contact analysis[J]. Comput Meth Appl Mech Engng, 1999, 169: 43 ~ 59.
- [25] Sellgren U, Olofsson U. Application of a constitutive model for micro-slip in finite element analysis[J]. Comput Meth Appl Mech Engng, 1999, 170: 65 ~ 77.

(收稿日期:1999-09-07 编辑:熊水斌)