

建造在河床覆盖层上的混凝土面板堆石坝

朱 晟 顾淦臣

(河海大学水利水电工程学院 南京 210098)

TV 641.43

摘要 本文介绍了在覆盖层地基上直接建混凝土面板堆石坝的现状水平。结合 75 m 深覆盖层上的瀑布沟混凝土面板堆石坝设计方案,介绍了防渗墙线路布置、施工顺序对坝体应力和变形的影响,以及坝体地震反应的研究成果。认为深覆盖层地基上直接建高混凝土面板堆石坝是可行的。

关键词 混凝土面板堆石坝 覆盖层 防渗墙 趾板

河床

随着 60 年代末期重型振动碾压设备的出现,使得经过很好碾压的堆石具有较高抗剪强度和较小变形,解决了因堆石变形过大而导致挡水面板开裂的问题,因而混凝土面板堆石坝的理论和实践得到迅速发展,已成为工程界广泛采用的一种优良坝型。已建混凝土面板堆石坝大都座落在坝址基岩上,部分坝体已经历过强震考验,证明在基岩上修建混凝土面板堆石坝是安全可靠的。对于在深覆盖层地基上建造高混凝土面板堆石坝,趾板建于地基防渗墙的顶部,则要解决由混凝土面板与防渗墙共同组成的防渗体系是否安全可靠,面板与地基防渗墙的连接以何种方式最为合理,上述防渗体系在地震区是否会因地震破坏而失效这些至关重要的问题。

1 覆盖层上混凝土面板堆石坝的现状与进展

目前,世界上已有 4 座混凝土面板堆石坝建在覆盖层地基上,且面板的底座或趾板建在混凝土防渗墙的顶部^[1]。①1958 年建成的意大利 Campo Moro II 混凝土面板堆石坝,高 34.5 m,面板的底座建于深 21 m 厚 2 m 的混凝土防渗墙顶部;②1981 年建成的柯柯亚面板堆石坝,高 42 m,趾板建于深 37.5 m 厚 0.8 m 的混凝土防渗墙的顶部,坝址区地

震烈度为 7 度;③1991 年建成的铜街子副坝面板堆石坝,高 48 m,趾板建于深 73.5 m、间距 16 m 的两道各厚 1.0 m 的混凝土防渗墙顶部,坝址区地震烈度为 7 度,大坝按 8 度设防;④1995 年竣工的智利的 Santa Juana 面板堆石坝,高 103 m,趾板建于深 30 m 厚 0.8 m 的混凝土防渗墙顶部,该坝位于强烈地震区,历史地震最大震级为 8.3 级。前三座坝都在正常运行。

正在施工中的覆盖层上的混凝土堆石坝有两座。一是 1995 年开工的智利的 Puclaro 面板堆石坝^[1],坝高 80 m,坝趾河床深覆盖层地基厚达 113 m,采用的坝体防渗体系与 Santa Juana 坝相同,该坝址区历史地震最大震级为 8.3 级。另一座为阿根廷的 Pichi Picum Leufu 混凝土面板堆石坝,坝高 50 m,坝顶长 1100 m。河床为砂砾石覆盖层地基,最大厚度为 30 m。该坝于 1991 年开工,原设计方案为粘土心墙堆石坝,左岸第一期坝体施工中,在心墙土料开挖时发现可用于心墙的粘土有分散性,于是改用混凝土面板堆石坝方案。坝体上下游设计坡率均为 1:1.5,在河床覆盖层内建 0.6 m 厚的混凝土防渗墙,面板与墙体顶部设水平柔性趾板连接,趾板长 6 m,厚 0.4 m,底部铺 0.2 m 厚的沥青垫层,设周边缝,接缝内设 PVC 和铜片两道止

水,趾板顶填筑粉砂区。坝体剖面 and 面板与防渗墙接头见图 1^[2]。

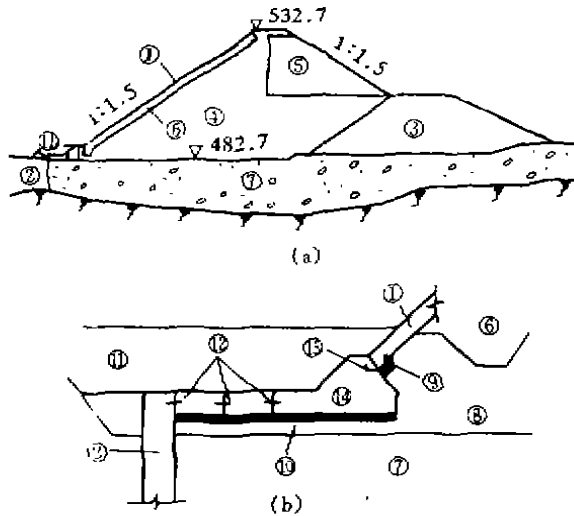


图 1 Pichi Picum Leufu 坝剖面
(a)坝横剖面;(b)防渗墙与面板连接趾板大样
①面板;②防渗墙;③一期填筑砂砾;④主碾压砾石区;⑤次碾压砾石区;⑥过渡层;⑦河床冲积层;⑧反滤层;⑨沥青砂;⑩沥青垫层;⑪粉砂区;⑫PVC止水带;⑬止水铜片;⑭趾板

2 一座深覆盖层地基上的高面板坝研究

设计中的瀑布沟混凝土面板堆石坝,坝基砂卵石覆盖层一般厚 40~60 m,最深达 75 m。在上游坝址地基有厚约 12 m 中细砂透镜体,宽 30~60 m。最小埋深 34.6 m,坝址下游有厚约 6.5 m 的粉细砂透镜体,最小埋深 22.4 m。坝址地震烈度 7 度,大坝按 8 度设防。混凝土面板堆石坝设计坝高 186 m,上下游边坡坡率均为 1:1.5,坝基设两道深达基岩的混凝土墙防渗,墙厚 1.2 m,间距为 8.0 m,在墙顶建趾板以周边缝与面板相接,防渗墙与趾板分别采用固结和滑缝两种连接,见图 2。

结合瀑布沟面板堆石坝,利用自编土石坝三维静动力有限元分析程序 TSDA^[3],进行了如下研究:

a. 混凝土防渗墙顶部与趾板接头方案计算中,滑缝方案周边缝变形比固接方案略

小,面板和防渗墙出现的拉应力也比固结方案小,如蓄水后下游墙坝轴向拉应力由 3.96 MPa 减小到 3.12 MPa,但面板挠度和防渗墙变形增大,如竣工时下游墙水平变形由 24.8 cm 增大到 29.5 cm,两种方案堆石体位移和应力基本相同。比较结果表明滑缝方案稍优于固接方案,但差别不大。考虑到滑缝施工较复杂,故不必采用此方案。

b. 原设计方案中防渗墙顶部与原河床覆盖层面齐平,因坝址河床覆盖层表面向两岸逐步升高,使得墙体成为凸向上游的拱形,见图 3,在填筑坝体荷载产生的地基侧向压力作用下,墙体产生较大轴向拉应力,最大值

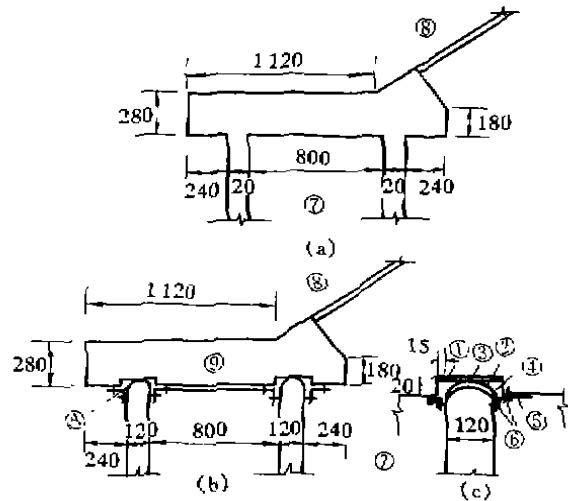


图 2 趾板与防渗墙连接构造图(单位:mm)

(a)固结方式;(b)滑缝方式;(c)④大样
①厚 20 mm 不锈钢板;②厚 20 mm 圆弧状不锈钢板;
③头部镶 9~4 铸铁铅青铜;④空腔内填沥青玛蹄脂
厚 20 mm 不锈钢板;⑤铝板防渗;⑥锚栓;⑦混凝土
防渗墙;⑧面板;⑨趾板

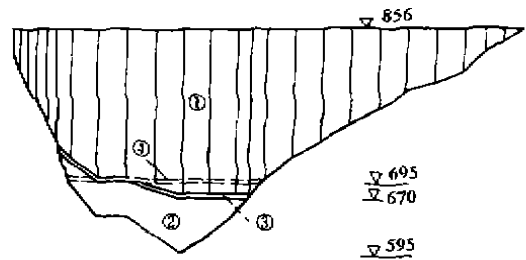


图 3 混凝土面板和防渗墙布置

①面板;②防渗墙;③原设计方案河床趾板路线;
④改进方案河床趾板路线

达 4.2 MPa, 超过混凝土抗拉强度。改进方案将防渗墙沿坝轴方向布置成直线, 将左岸河床挖低, 将右侧覆盖层填高到 695 m 高程, 消除施工期由于坝体侧向压力而使得墙体出现的倒拱效应, 减小防渗轴向拉应力。

c. 先建混凝土防渗墙, 后筑坝体, 导致填筑荷载产生地基侧压力作用于防渗墙, 使墙体产生较大向上游变形和拉应力。若先填筑坝体, 使坝体及地基完成一部分侧向变形后, 再建防渗墙, 则可大大减小作用于防渗墙的侧压力。考虑在坝未筑成以前, 需先蓄水, 坝基要依靠防渗墙防渗, 故将坝填至 755 m 高程后建造防渗墙再填筑坝体至坝顶。

d. 经过上述改进后, 混凝土面板和防渗墙的应力和变形大有改观。墙体坝轴向最大拉应力减到 0.8 MPa, 面板仅在邻近岸坡部位有拉应力, 最大值为 2.12 MPa, 为坝轴向; 满库时各缝变形量除河床部位周边缝的面板沉陷量较大为 (29.5 cm) 外, 其余都不大。对于周边缝面板沉陷量较大, 止水设计有一定难度。若将左岸覆盖层进一步开挖, 使改进方案中防渗墙顶部高程降低至 670 m, 蓄水时使靠近地基防渗墙部位的面板沉陷量减小, 改善面板与防渗墙接头的变形协调性, 可使其沉陷量减小到 20 cm 以内。

e. 在烈度 8 度地震作用下, 计算得到坝顶加速度反应最大放大倍数为 2.34, 比《水工建筑物抗震设计规范》的设计反应谱 $\beta = 2.5$ 略小。混凝土面板和防渗墙动应力都较

小; 竖缝和周边缝动位移不超过 0.5 cm, 对止水影响不大; 坝基覆盖层内砂层透镜体在高围压作用下不会液化。

3 结 语

已建在覆盖层上的混凝土面板堆石坝都在安全地运行, 但坝高都较低。Santa Juana 坝至今未有运行资料。通过已建覆盖层上混凝土面板堆石坝的实践和对 186 m 高的瀑布面板堆石坝的研究, 证明直接在河床覆盖层上建高面板坝是可行的, 坝基防渗墙和面板共同组成的防渗体系是安全可靠的。

参考文献

- 1 顾淦臣. 土石坝的若干新技术. 水利水电科技进展, 1995, 15(1): 10~16
- 2 Machado B P, Marques P et al. Pichi Picum Leufu—The first modern CFRD in Argentina. In: CSHEE, ICOLD, eds. International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Vol. 1, 1993, Beijing, 317~326
- 3 顾淦臣, 朱晟. 土石坝三维非线性有限元静力动力分析程序. 姜弘道等编. 水工结构工程与岩土工程的现代计算方法及程序. 南京: 河海大学出版社, 1992. 276~289
- 4 凤家骥. 建造在覆盖层上的混凝土面板堆石坝. 混凝土面板堆石坝会议论文集. 南京: 河海大学出版社, 1990. 60~71
- 5 顾淦臣. 土石坝地震工程. 南京: 河海大学出版社, 1989

(收稿日期: 1995-06-09)

·简讯·

世界在建大坝最新统计

1994 年, 国际大坝委员会(ICOLD)就全世界在建大坝数量作了一次调查, 向所属各国家委员会发出调查表, 返回回执的国家有 51 个, 其中 41 个国家有在建项目。根据调查, 全世界在建大坝数量截止 1993 年元旦为 1138 座, 截止 1994 年元旦为 1242 座, 其间, 在新建的 356 座大坝中, 248 座已经完工, 有 4 座停建。在建的 100 m 以上的高坝与 1991 年/1992 年相比较, 增加了 79 座, 其中 200 m 以上的高坝有 3 座; 高度在 15~60 m 之间的大坝有 921 座。在建的 1242 座大坝中, 土坝 683 座。堆石坝 209 座, 在余下的 350 座混凝土坝中, 重力坝 200 座, 拱坝 111 座。

(元国江 供稿)