

一种新坝型——超贫胶结材料坝

张镜剑, 孙明权

(华北水利水电学院水利学院, 河南 郑州 450008)

摘要 在研究碾压混凝土坝发展历史和趋势的基础上, 提出一种新坝型, 即将超贫胶结材料作为坝体填筑料, 在上游面设置钢筋混凝土面板或沥青混凝土面板防渗, 形成超贫胶结材料坝。介绍了超贫胶结材料坝的优越性和已有研究成果, 认为超贫胶结材料坝的推广将带来良好的经济效益和社会效益, 该坝型尤其适用于中小型水利水电工程。

关键词 超贫胶结材料坝 碾压混凝土 胶凝材料 坝型

中图分类号 : TU528.044 ; TV642

文献标识码 : A

文章编号 : 1006-7647(2007)03-0032-03

Review of study on over lean cemented material dam//ZHANG Jing-jian, SUN Ming-qian (*Faculty of Water Conservancy Engineering, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450008, China*)

Abstract : Based on the development process and trend of the roller compacted concrete dam, a new type of dam—the over lean cemented material dam was proposed. In construction of the new type of dam, the over lean cemented material was taken as the filling material, and the reinforced concrete face slab or asphalt concrete face slab was placed on the upstream face for seepage control. In this paper, the advantages and some research results of the new type of dam were introduced. It is considered that the dam type is suitable for medium-small water conservancy and hydropower projects, and it can bring great social and economic benefits.

Key words : over lean cemented material dam ; roller compacted concrete ; cementing material ; dam type

1 超贫胶结材料坝的提出

混凝土坝建设的历史, 就是降低坝工混凝土中水泥用量和改革施工方法的历史。在大体积混凝土发展的初期, 混凝土中单位水泥用量在 220 kg/m^3 左右。1940 年田纳西流域上建成的稀华塞坝以 168 kg/m^3 的水泥用量取得突破。1954 年美国的松树坝以及 1959 年日本的田子仓坝均把胶凝材料(水泥和粉煤灰)用量降低到 140 kg/m^3 左右。碾压混凝土的出现使得胶凝材料的用量大幅度降低, 碾压混凝土中胶凝材料的用量普遍在 120 kg/m^3 左右或更低, 胶凝材料中粉煤灰(或其他活性材料)的掺量亦日趋增加。根据多年研究结果, 粉煤灰的掺量可以达到 $2/3$ 。一般胶凝材料用量少于 100 kg/m^3 的属于贫浆量碾压混凝土。

我国碾压混凝土坝胶凝材料的平均用量是 173 kg/m^3 , 其中水泥用量 79 kg/m^3 , 粉煤灰掺量 94 kg/m^3 。经过近 20 年的研究与实践, 碾压混凝土坝在降低胶凝材料用量方面取得了较大进展, 而且

粉煤灰的掺量也有所增加, 多数工程的粉煤灰掺量占总胶凝材料的 $50\% \sim 70\%$ 。在已建的碾压混凝土坝中, 广西的百龙滩大坝最大坝高 36 m , 胶凝材料用量为 99 kg/m^3 , 其中水泥用量 39 kg/m^3 , 粉煤灰掺量 60 kg/m^3 , 胶凝材料用量及水泥用量之少均居国内之最^[1]。

与此同时, 有人设想将碾压混凝土中骨料的级配要求进一步降低, 直接采用统货集料。1970 年, Raphael 初步提出了关于掺土水泥理论及其应用的设计思想^[2]。他提出使用大容量、高速度土料运输设备来铺筑和压实掺水泥的、骨料未经筛分的颗粒材料, 并且指出水泥固结料抗剪强度的增大使得坝体横断面比典型土石坝的断面小得多。此外, 施工方法与土石坝的施工方法相类似, 比传统混凝土坝的施工方法节省时间和费用。1972 年, Raphael 又对加州卡斯泰克坝上游面护坡采用掺土水泥进行了报道, 其后又提出一种介于重力坝和土石坝之间、上下游对称的所谓“土-水泥坝”^[3]。他认为土料与混凝土在黏聚力方面存在巨大差异, 如果在土中掺入适

基金项目 水利部重点科研基金(SZ9509)

作者简介 张镜剑(1931—), 男, 安徽滁州人, 教授, 从事水工结构、岩土工程的数值分析。E-mail : zhang-jing-jian@126.com

量的水泥,就能提高这种混合料的黏聚力,用这种材料填筑大坝可使大坝断面尺寸比一般土石坝明显缩小。1988 年 Londe 等提出用水泥含量较少的混凝土作为筑坝材料,修建上下游坡度均为 1:0.70 ~ 1:0.75 的填筑坝。他认为,这种坝型断面尺寸大,应力小,材料的性能虽然有所降低,坝体剖面有所增大,但总投资仍然可以节省。如果坝的防渗要求高,可在迎水面设置混凝土防渗面板或防渗膜。他认为这种坝型成本低,安全度比碾压混凝土坝和面板堆石坝高^[4]。

本文在研究碾压混凝土坝发展历史和趋势的基础上^[5-7],提出以下设想:用少量(80 kg/m³ 以下)胶凝材料将河床的砂砾料胶结成为整体或部分胶结,使之成为超贫胶结材料,用该种材料作为坝体填筑料,在上游面设置钢筋混凝土面板或沥青混凝土面板防渗,将堆石坝和碾压混凝土坝结合起来,形成一种超贫胶结材料坝。

2 超贫胶结材料坝的优越性

2.1 坝体材料

超贫胶结材料坝对坝体材料技术性能的要求较低,从而原材料的选择范围较宽。水泥品种 325 ~ 525 号硅酸盐系列的各种水泥均可使用;骨料可以是经过筛分处理的,也可充分利用坝址附近原状砂砾料和坝基开挖弃料作为骨料,不做筛分处理,再加上水泥用量少,大大降低了筑坝材料的成本。

2.2 施工工艺

采用碾压混凝土坝或土石坝施工的机械和方法,施工工艺简单,机械化水平高,可缩短工期;同时,超贫胶结材料中胶凝材料用量少,绝热温升小,施工以及运行中不存在温控问题。施工流程见图 1。

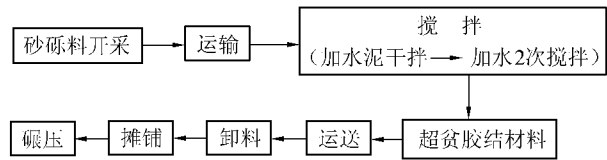


图 1 超贫胶结材料坝施工流程

2.3 结构形式

考虑到防渗的要求,在上游迎水面设置钢筋混凝土或沥青混凝土防渗面板,不要求坝体材料防渗。由于胶凝材料的固化作用,坝体具有一定的强度和抗冲能力,坝面稍加防护坝顶即可过水,克服了土石坝不能过水的缺点,便于施工导流和枢纽建筑物布置。与常规面板堆石坝相比,坝体材料均一,不做分区填筑,施工方便。

2.4 工作性态

由于坝体的天然土石料被胶结或部分胶结,形

成骨架,即使部分孔隙中有散状岩屑、细粒土被渗透水流带走,坝体也不会产生显著沉降,坝体渗透变形小,抗渗透变形能力强。由于坝体的强透水性,排水通畅,过面板渗水能顺利排出,坝体渗透稳定性好。

2.5 适应性

由于超贫胶结材料的弹性模量相对较小,其变形特性优于碾压混凝土,因此该坝型对地基的适应性较强。同时,由于该坝型剖面较小,输水建筑物、泄水建筑物长度相应减小,枢纽布置紧凑。这一特点在峡谷地形时更为突出,更适合应用在中小型水利工程中。

3 超贫胶结材料坝的研究成果

3.1 超贫胶结材料基本性能试验和三轴试验

通过大量的‘二级配’、‘三级配’的超贫胶结材料基本试验^[8],深入研究超贫胶结材料在不同水灰比、不同粉煤灰掺量情况下的性能,并给出了超贫胶结材料水灰比最佳取值范围;掺用粉煤灰采用‘超量取代法’进行配合比设计,粉煤灰取代水泥 10%、超代系数 20%、粉煤灰代砂 30% ~ 50% 时超贫胶结材料强度最大、力学性能较好。随着胶凝材料用量的减少,超贫胶结的性能逐步趋向于散体材料性能。通过三轴试验研究了超贫胶结材料的力学性能,建立了材料的本构关系,为进一步研究分析提供了基础。

3.2 超贫胶结材料坝剖面形式研究

通过对不同胶结材料用量的超贫胶结材料坝进行坝坡稳定分析,得出超贫胶结材料用量与坝坡稳定坡比之间基本呈双曲线关系^[8]。提出了针对不同胶凝材料含量的超贫胶结材料坝的‘三段设计法’,即超贫胶结材料坝胶凝材料用量小于 40 kg/m³,坝体稳定坡比取值范围为 1:1.92 ~ 1:0.65,断面比混凝土重力坝肥大,不存在整体稳定问题,坝体的边坡不陡于临界的稳定坡比时,控制剖面的是坝坡稳定及坝体应力,坝体剖面更倾向于土石坝的剖面;胶结材料含量介于 40 ~ 70 kg/m³ 之间的超贫胶结材料坝,坝体剖面既有混凝土重力坝的特征又有土石坝的特征;当胶凝材料含量大于 70 kg/m³ 时坝体剖面属于重力坝剖面,这为进一步研究超贫胶结材料坝的剖面设计明确了方向^[8]。

3.3 超贫胶结材料坝设计和分析方法

用不同含量的胶结材料筑坝时,超贫胶结材料坝可能最大建坝高度随着胶结材料用量的增加而增大,材料强度对可能建坝高度影响显著,对此进行了线性有限元计算^[8]。计算表明,地基弹性模量增大时,超贫胶结材料坝坝体应力分布趋向于均匀,且坝趾处的应力集中现象明显减弱,故在地质条件较好

的坝趾处可建造更高的超贫胶结材料坝。

超贫胶结材料是一种低胶结材料含量的混凝土,有应变软化阶段,此阶段的切线弹性模量是负值,这时双曲线模型已不能直接使用,因此笔者采用虚加弹簧法进行处理,建立了相应的考虑材料软化的非线性分析模型,并编制了非线性有限元程序。计算分析结果表明,所编制的计算程序稳定,处理方法可行。

4 结 语

超贫胶结材料坝作为一种新的筑坝形式,具有明显的优越性,其经济性突出。超贫胶结材料坝的推广,将带来良好的经济效益和社会效益,尤其适用于中小型水利水电工程。这种以超贫胶结材料为填充料的新坝型在我国坝工建设领域的发展前景十分广阔。因此,这种新坝型推广前的研究分析,有着重要的理论意义和实用价值。有关超贫胶结材料的性能及超贫胶结材料坝的研究分析将成为坝工建设的重要研究方向之一。

(上接第 31 页)方法进行试验时,取样深度为 5.4 m 的 1 组试样取 $\sigma_0 = 60$ kPa,取样深度为 10 m 的 1 组试样取 $\sigma_0 = 100$ kPa。试验结果如图 1 所示。由图 1 显示的结果可见,取样深度 5 m 的试样按规范方法得到的抗剪强度指标为 $c = 18$ kPa, $\varphi = 2.2^\circ$,按教科书方法得到的抗剪强度指标为 $c = 25$ kPa, $\varphi = 1.8^\circ$; 取样深度 10 m 的试样按规范方法得到的抗剪强度指标为 $c = 20$ kPa, $\varphi = 2.4^\circ$,按教科书方法得到的抗剪强度指标为 $c = 38$ kPa, $\varphi = 2.0^\circ$ 。

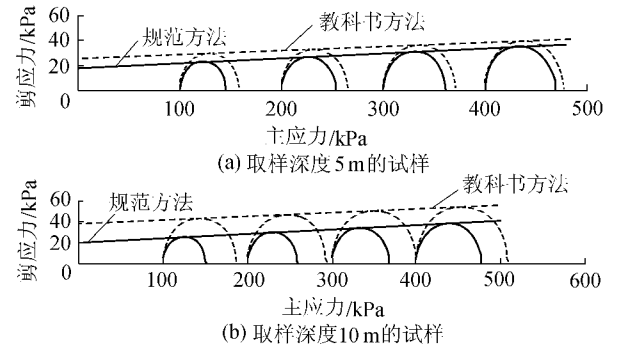


图 1 两种方法不固结不排水剪试验强度比较

若按照规范的方法进行试验,得到的抗剪强度值总是比按照教科书方法得到的小,同时,规范方法得到的抗剪强度值基本上不随取样深度增加而增大,而按照教科书方法进行试验,均匀黏土层抗剪强度值将随取样深度增加而明显增大。教科书方法得到的结果与现场十字板抗剪强度试验结果沿深度的

参考文献:

[1] 苗琴生,陈宗卿.中国水力发电工程 水工卷[M].北京:中国电力出版社,2000 25-30.

[2] RAPHAEL J M. The optimum gravity dam [C]//Rapid Construction of Concrete Dam. New York :ASCE, 1970 :221-244.

[3] RAPHAEL J M. Construction methods for soil-cement dam [C]//Economical Construction of Concrete Dam. New York :ASCE, 1972 :143-152.

[4] LONDE P, LINO M. The faced symmetrical hard-fill dam : a new concept for RCC [J]. Water Power and Dam Construction, 1992, 44(2) :19-24.

[5] 张镜剑.碾压混凝土坝的历史、现状和趋势[J].华北水利水电学院学报, 2000, 21(3) :1-7.

[6] DUNSFAN M R H. 碾压混凝土坝的最新进展[C]//RCC 99 碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.成都:中国水力发电工程学会, 1999 :13-26.

[7] 沈崇刚.中国碾压混凝土坝当前技术进展与运行经验[C]//RCC 99 碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.成都:中国水力发电工程学会, 1999 :1-12.

[8] 张镜剑,孙明权.超贫胶结材料土石面板坝研究阶段报告[R].郑州:华北水利水电学院, 2002 39-45 33-75.

(收稿日期 2007-05-08 编辑 骆超)

变化规律一致。由以上的机理分析和试验结果可知,现行规范的方法确定饱和黏土的不排水强度是不合适的,其结果不能用于实际工程设计计算。

3 结 论

- a. 土工试验规程介绍的三轴不固结不排水剪试验方法是存在缺陷的,试验过程中没有考虑试样在取样过程中产生的应力释放问题,没有考虑土体在地基中受到了自重应力的固结作用。
- b. 土力学教科书介绍的三轴不固结不排水剪试验方法较好地考虑了地基土在自重应力作用下的固结作用,试验结果更符合实际情况。建议在实际试验时按照土力学教科书介绍的三轴不固结不排水剪试验方法进行;今后修订规范时宜完善三轴不固结不排水剪试验步骤,使规范方法与土力学教科书介绍的方法一致。

参考文献:

[1] GB/T 50123—1999, 土工试验方法标准[S].

[2] JTJ 051—93, 公路土工试验规程[S].

[3] 王保田, 张福海. 土力学与地基处理[M]. 南京: 河海大学出版社, 2005 :116-127.

[4] WHITLOW R. Basic soil mechanics [M]. Dorchester :Dorset Press, 2001 :228-244.

[5] 钱家欢. 土力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 1995 :123-132.

(收稿日期 2006-04-18 编辑 高建群)