

超贫胶结材料坝剖面形式研究

孙明权 孟祥敏 肖晓春

(华北水利水电学院水利学院 , 河南 郑州 450008)

摘要 根据重力坝和土石坝剖面设计理论 , 对超贫胶结材料坝的剖面形式进行研究 , 通过对不同胶凝材料用量的超贫胶结材料坝进行坝坡稳定分析 , 拟合得出胶凝材料用量与坝坡稳定坡比值之间的曲线关系 , 并得出超贫胶结材料坝胶凝材料用量小于 40 kg/m^3 时 , 坝体剖面更趋于土石坝剖面 , 介于 $40\sim70\text{ kg/m}^3$ 之间时 , 坝体剖面既有混凝土重力坝的特征又有土石坝的特征 , 大于 70 kg/m^3 时 , 坝体剖面则属于重力坝剖面的结论。

关键词 超贫胶结材料 剖面形式 坝坡稳定

中图分类号 :TV64 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2007)04-0040-02

Sectional form of over lean cemented material dam//SUN Ming-quan , MENG Xiang-min , XIAO Xiao-chun(Faculty of Water Conservancy Engineering , North China University of Water Conservancy and Electric Power , Zhengzhou 450008 , China)

Abstract : Based on the section design theory of the gravity dam and earth-rock dam , the profile form for the over lean cemented material dam was studied , and the slope stability analysis was performed on the over lean cemented material dam with different dosages of cementing materials . Then the curve for the dosage of cementing material and the stable slope ratio was fitted . It is concluded that the dam section is of the characteristics of the earth-rock dam , both the concrete dam and earth-rock dam , and the gravity dam when the dosage of cementing material is less than 40 kg/m^3 , in the range of $40\sim70\text{ kg/m}^3$, and greater than 70 kg/m^3 , respectively .

Key words : over lean cemented material ; sectional form ; dam slope stability

超贫胶结材料是在砂砾料中掺入了少量的胶凝材料 , 其物理力学性质随胶凝材料用量的改变而改变。当胶凝材料用量较高时 , 其特性与混凝土相近 ; 当胶凝材料用量较低时 , 仅仅是增加了砂砾料间的胶结作用 , 而不像常态混凝土那样胶凝浆体对骨料进行了充分的包裹 , 其物理力学性质介于砂砾料与混凝土之间。超贫胶结材料坝以超贫胶结材料作为坝体填筑料 , 其坝体剖面形式介于重力坝和土石坝之间。本文将根据重力坝和土石坝的剖面设计理论对超贫胶结材料坝剖面形式进行研究。

1 超贫胶结材料坝剖面设计控制标准

重力坝由于受水平水荷载、扬压力及自重的作用 , 基本坝体的剖面是三角形形式 , 控制剖面尺寸的主要指标是整体稳定要求和坝体及地基的强度要求。根据重力坝设计规范 , 重力坝剖面设计应满足坝体沿坝基面的整体抗滑稳定要求 , 一般采用抗剪断公式进行分析。重力坝的强度校核是在坝体断面已初步拟

定的情况下进行的。重力坝坝体的最大和最小主应力一般都出现在上、下游边缘 , 所以重力坝应力控制主要是坝体边缘正应力和主应力满足强度要求^[1]。根据工程经验 , 重力坝基本剖面的上游坡度一般采用 $1:0\sim1:0.2$, 下游坡度采用 $1:0.6\sim1:0.8$ ^[2]。

土石坝由散粒土石料填筑而成 , 颗粒间孔隙大、黏聚力小 , 整体抗剪强度相对较低 , 由于坝坡自身稳定要求 , 坝坡较缓、体型较大 , 一般都满足整体稳定要求 , 边坡稳定分析和满足渗透稳定要求是确定土石坝设计剖面的主要依据^[3]。

超贫胶结材料的特性介于混凝土与土石之间 , 超贫胶结材料坝坝型应该也是介于重力坝和土石坝之间 , 所以超贫胶结材料坝剖面设计控制标准应该是既要满足重力坝的整体稳定要求和边缘应力要求 , 又要同时满足土石坝的边坡稳定要求。

2 超贫胶结材料坝的稳定坡角

对于超贫胶结材料坝首先应该满足自身边坡稳

定要求,本文以推求稳定坡角为出发点进行研究。根据极限平衡分析法,编制了超贫胶结材料坝稳定坡角的推求程序。程序用 Fortran Power Station 4.0 开发,通过给定搜索的步长,采用穷举法确定最危险滑弧的位置和满足自身边坡稳定要求的坡角。

坝体稳定边坡与筑坝材料的抗剪强度指标和坝体高度有关,而超贫胶结材料的抗剪强度指标又与胶凝材料的用量有关。本文首先根据三轴试验所得的材料特性参数(黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、密度 ρ ,见表 1),对胶凝材料用量 $C = 40 \text{ kg/m}^3$ 的超贫胶结材料坝,取最小稳定安全系数的控制值为 1.25(参考土石坝 2 级基本荷载组合时的稳定安全系数),用上述程序通过大量的试算计算不同坝高情况下相应的稳定坡角,得出 $C = 40 \text{ kg/m}^3$ 时坝高与稳定坡角的关系,如图 1 所示。

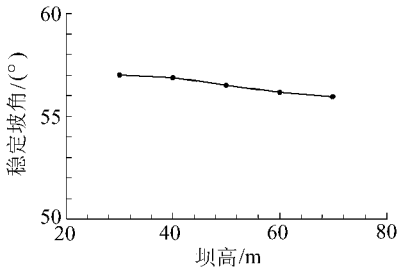


图 1 稳定坡角-坝高曲线

由图 1 可知,对于同一胶凝材料用量而言,随着坝高的增加,稳定坡角逐渐减小,也就是说随着坝体增高,要求坝坡变缓,但是,坝高增加 1 倍,稳定坡角仅减少 2° ,说明坝体高度对稳定坡角的影响较小。因此,本文在其他胶凝材料用量的超贫胶结材料坝稳定坡角计算中,坝高均取为 50 m。同样,用上述方法计算得到了各种胶凝材料用量的超贫胶结材料坝临界稳定坡角及坡比值,见表 1。

表 1 超贫胶结材料坝稳定坡角

胶凝材料用量 $C/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	密度 $\rho/(\text{t}\cdot\text{m}^{-3})$	稳定坡角 (°)	稳定坡比	稳定坡比值 λ
0	0	38.7	2.258	27.47	1:1.92	0.52
10	52.0	40.4	2.260	37.60	1:1.30	0.77
20	76.5	42.5	2.271	50.43	1:0.83	1.21
30	82.5	46.2	2.299	52.43	1:0.77	1.30
40	122.8	48.5	2.312	56.78	1:0.65	1.54
50	204.9	48.7	2.316	72.28	1:0.32	3.13
60	245.7	49.3	2.434	76.13	1:0.25	4.05
70	288.5	49.8	2.461	83.34	1:0.12	8.42

注:胶凝材料用量为 70 kg/m^3 的材料参数是通过曲线外延所得。

根据表 1,将超贫胶结材料坝中胶凝材料用量 C 和稳定坡比值 λ 点绘在坐标图中,得到如图 2 所示的 $\lambda-C$ 曲线。从图 2 可以看出,开始时,随 C 的增加 λ 较为缓慢地增加,当 C 增加到一定值时, λ 迅速增大。根据这一特点,拟采用两种基函数进行拟合:

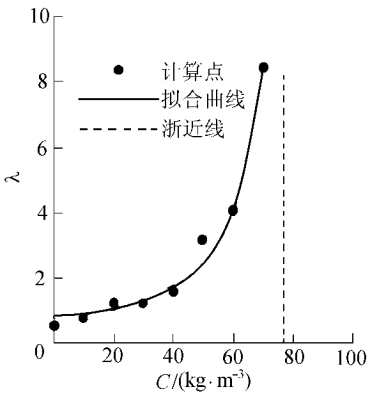


图 2 $\lambda-C$ 曲线

指数函数 $\lambda = ae^{bC}$ (1)

双曲函数 $\lambda = \frac{a}{C+b}$ (2)

式中 a, b 为拟合参数。

分别对两种基函数进行最小二乘拟合,见表 2。

表 2 两种数学模型拟合结果

函数类型	方程	均方差
指数函数	$\lambda = 0.4947e^{0.0367C}$	2.115
双曲函数	$\lambda = \frac{-56.52}{C-76.74}$	1.263

比较两种数学模型的均方差可知,双曲线拟合的情况较好,拟合方程为

$$\lambda = \frac{-56.52}{C-76.74} \quad (3)$$

3 超贫胶结材料坝的剖面形式

对拟合的 $\lambda-C$ 曲线进行分析,可得以下结论:

a. 从拟合的方程来看, $C = 76.74 \text{ kg/m}^3$ 是曲线的渐近线,即当 C 接近 76.74 kg/m^3 时, λ 趋于无穷,稳定坡角可达到 90° ,坝坡可以设计为铅直的。因此,当 $C > 76.74 \text{ kg/m}^3$ 时不存在坝坡稳定问题,控制剖面的应该是整体稳定要求和坝体应力状况,坝体剖面应属于重力坝剖面,按重力坝设计理论设计。

b. 当 $C = 40 \text{ kg/m}^3$ 时,稳定坝坡的坡比为 1:0.65,接近于一般混凝土重力坝的下游坡比;当 $C < 40 \text{ kg/m}^3$ 时,稳定坡比取值范围为 1:1.92 ~ 1:0.65,此时,超贫胶结材料坝的上、下游边坡均不得陡于给出的稳定坡比取值范围,这时的超贫胶结材料坝剖面比混凝土重力坝的剖面肥大得多,因此不存在整体稳定问题,控制剖面的应该是坝坡的稳定及坝体局部抗剪强度问题,坝体剖面属于土石坝剖面。由表 1 可见,即使 C 仅为 20 kg/m^3 ,超贫胶结材料的抗剪强度指标也会明显增加,筑坝工程量也可显著降低。

(下转第 45 页)

明 超贫胶结材料坝的应力水平最大值出现在坝趾及坝踵处 ,坝踵处由于局部拉应力导致应力水平 $s \geq 1$,而坝趾处的应力水平最大值小于 0.8 ,说明所设坝体剖面不会产生剪切破坏。

5 结 语

本文通过数学推导和计算程序编制 ,实现了超贫胶结材料坝的非线性有限元分析 ,通过“ 虚加刚性弹簧法 ”和“ 分步迭代法 ”解决了超贫胶结材料的软化特性引起的负刚度问题 ,并编制了非线性有限元计算程序 ,确定了应力控制标准 ,对胶凝材料用量为

50 kg/m³ 的超贫胶结材料坝进行了非线性分析 ,所得应力及应力水平分布规律合理 ,为超贫胶结材料坝非线性有限元分析奠定了基础。

参考文献 :

[1] 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.
[2] 孙明权 ,杨世锋 ,张镜剑 .超贫胶结材料本构模型 J]. 水利水电科技进展 ,2007 27(3) 35-37.
[3] 郭诚谦 ,陈慧远 .土石坝[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1992 584-589.

(收稿日期 2007-04-12 编辑 :熊水斌)

(上接第 39 页)

表 1 不同倾斜基底护岸稳定性计算结果

基底倾斜方向	基底宽度/m	基底前趾厚度/m	基底后趾厚度/m	基底前趾长度/m	基底后趾长度/m	墙背倾角/(°)	抗滑稳定 $g_1(x)$ /kN	抗倾稳定 $g_2(x)$ (kN·m)	最大基底压力/kPa	墙身应力/kPa
平 基 底	3	0.4	0.4	0.2	0.2	73.34	4.830	150.616	38.076	42.829(压)
基底外倾	3	0.5	0.4	0.2	0.2	73.34	0.299	147.331	40.148	40.510(压)
基底内倾	3	0.4	0.5	0.2	0.2	73.34	9.904	158.082	40.958	42.829(压)
允 许 值							≥ 0	≥ 0	200	120(拉)

由表 1 计算结果可以看出 ,对于基底内倾的情况 , $g_1(x) = 9.904$ kN ,明显大于基底外倾时的 0.299 kN ,表明基底内倾有利于提高结构的抗滑稳定性 ,基底水平时 ,其抗滑稳定性介于内倾与外倾基底两者之间 ,而抗倾稳定性富裕度较大 ,一般不起控制作用。由此可见基底内倾的稳定性总体来说比基底外倾要好 ,在进行重力式护岸结构设计时 ,以采用内倾基底护岸结构更为经济合理。但需要注意的是 ,基底的倾斜角度一般不宜过大 ,以免挡土墙连同地基土体一起滑动 ,对于土基上的护岸结构 ,基底倾

角一般宜控制在 10°以内^[4]。

参考文献 :

[1] JTJ 290—98 重力式码头设计与施工规范 S].
[2] 陈忠达 .公路挡土墙设计[M]. 北京 :人民交通出版社 ,1999 70-101.
[3] JTJ 300—2000 ,港口及航道护岸工程设计与施工规范 S].
[4] 交通部第二公路勘察设计院 .路基[M]. 北京 :人民交通出版社 ,2001 591-604.

(收稿日期 2006-01-13 编辑 :熊水斌)

(上接第 41 页)

表 3 超贫胶结材料坝的上下游坡比

胶凝材料用量 C (kg·m ⁻³)	稳定临界坡比	上游坡比	下游坡比
40	1:0.65	1:0.70	1:0.70
50	1:0.32	1:0.40	1:0.60
60	1:0.25	1:0.30	1:0.65
70	1:0.12	1:0.20	1:0.70

c. 对于 40 kg/m³ < C < 70 kg/m³ 的超贫胶结材料坝 ,坝体剖面既要考虑坝体整体稳定和坝体应力状况 ,又要考虑坝坡的自身稳定及坝体局部抗剪强度 ,坝体剖面应介于土石坝剖面 and 混凝土坝剖面之间。

由上述分析 ,考虑 $C \leq 40$ kg/m³ 时 ,超贫胶结材料坝采用上、下游等坡比的土石坝剖面 ,而 $C \geq 70$ kg/m³ 时 ,采用上游较陡而下游较缓的、类似混凝土重力坝的剖面形式。

根据表 1 中计算的坝体稳定临界坡比 ,拟定超贫胶结材料坝的坝体剖面形式见表 3。

4 结 语

本文对超贫胶结材料坝的剖面形式进行了研究 ,通过对不同胶凝材料用量的超贫胶结材料坝进行坝坡稳定分析 ,得出胶凝材料用量与坝坡稳定坡比值之间基本呈双曲线关系 ,提出了针对不同胶凝材料含量超贫胶结材料坝的“ 三段设计法 ”,即 :超贫

胶结材料坝胶凝材料用量小于 40 kg/m³ 时 ,控制坝体剖面的是坝坡自身稳定性能 ,更趋于土石坝剖面 ;胶凝材料用量介于 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 ;当胶凝材料用量为 70 kg/m³ 以上时坝体剖面则属于重力坝剖面 ,这为进一步研究超贫胶结材料坝的剖面设计提供了指导性建议。

参考文献 :

[1] SL319—2005 混凝土重力坝设计规范 S].
[2] 陈胜宏 .水工建筑物[M]. 北京 :中国水利电力出版社 ,2004 135-136.
[3] SL274—2001 碾压式土石坝设计规范 S].

(收稿日期 2007-02-15 编辑 :熊水斌)