DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2014.04.024

浇筑式沥青混凝土心墙坝应力变形有限元分析

王建祥,刘亮,张媛媛

(新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆乌鲁木齐 830052)

摘 要:基于邓肯-张模型,运用数值仿真分析技术,对新疆某浇筑式沥青混凝土心墙坝进行有限元计算,得到竣 工期和满蓄期大坝的应力变形特性。分析结果表明:顺河向水平最大位移及堆石体和心墙接触面最大竖向相对位 移均发生在上游坝面约1/3 坝高处;竣工期顺河向水平位移基本关于坝轴线对称;满蓄期,水压力作用下,顺河向 位移向上游减小,而向下游增大,最大位移为9.1 cm。最大沉降发生在满蓄期,位于坝体中轴线偏下游约1/2 坝高 处,最大位移为16.7 cm。大主应力和小主应力沿坝高方向呈现从坝顶到坝底逐步增加的趋势,其最大值均发生在 坝轴线处心墙与基座接触部位。研究所获得的计算分析结果,为同类工程的设计和计算分析提供参考。 关键词:浇筑式沥青混凝土心墙坝;应力;变形;邓肯-张模型

中图分类号:TV314 文献标识码: A

文章编号:1672-643X(2014)04-0119-04

Finite element analysis of stress and deformation of concrete core wall dam of pouring asphalt

WANG Jianxiang, LIU Liang, ZHANG Yuanyuan

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Based on Duncan – Chang model, using the analysis technology of numerical simulation, the paper used FEM to calculate the core wall dam of pouring asphalt concrete in Xinjiang and got the stress and deformation characteristics of dam in completion period and storage period. The analysis results show that the horizontal maximal displacement and the maximum vertical relative displacement at earthrock body and contacted surface of core wall along river occurs in the place of 1/3 dam height of upstream dam surface; the horizontal displacement along river in completion period is probably symmetry for dam axis; in storage period, under the action of water pressure, the riveralong displacement is reduced at upstream and increased at downstream. The maximal displacement is 9.1 cm at downstream. The maximal subsidence occurs in storage period and is located on dam axis and deviation at downstream of about 1/2 dam height, and the maximal displacement from top to bottom of the dam along the direction of dam high, and the maximum value occurs in the contact place between core wall of dam axis and the base area. The result can provide reference for the design, calculation and analysis of similar engineering.

Key words: core wall dam of pouring asphalt concrete; stress; displacement; Duncan - Chang model

浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝主体由堆石或砾石组成,中间设置沥青混凝土心墙起防渗作用^[1-2]。将沥青、矿料与掺合料等原材料按适当比例配合,经加热拌和均匀后,再经过压实或浇筑等工艺成型。浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝的特点是适合寒冷地区冬季施工和具有良好的适应变形能力、抗冲刷能力、抗老化能力、裂缝自愈能力等^[3-4]。浇筑式沥青混凝土的塑性性能可以有效吸收坝体超载

引起的变形,而且不影响心墙的防渗性能。在气候 恶劣的条件下也能保证浇筑质量,且浇筑速度快,易 于施工管理和质量控制^[5]。但对于浇筑式沥青混 凝土心墙坝,坝体在施工期和蓄水期的应力与变形 较为复杂。因此,对浇筑式沥青混凝土心墙坝的力 学性能等方面的研究显得十分迫切。

基于邓肯-张模型,运用土石坝数值仿真分析 技术,对新疆某浇筑式沥青混凝土心墙坝进行有限

收稿日期:2014-02-25; 修回日期:2014-04-02

- 基金项目:新疆维吾尔自治区高校科研计划项目(XJEDU2012S12);新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(XJZDXK 2002 10 05)
- 作者简介:王建祥(1979-),男,山东菏泽人,副教授,硕士,主要从事水工材料、结构的理论及其应用研究。

元计算,进行了其应力变形分析,为同类工程的设计 和计算分析提供参考。

1 计算分析模型

新疆某浇筑式沥青心墙砂砾石坝,正常蓄水位 1467 m,坝高68 m,对应库容2500万m³,上游坝面 坝坡1:2.2,下游面坝坡为1:2.0。心墙及两侧的 砂砾石坝体坐落在基岩上。大坝坝体与围堰相结 合,围堰顶宽6 m,围堰上游坝坡1:2.0,下游坝坡 为1:2.0。坝壳料、过渡料采用砂砾石填筑,心墙采 用浇筑式沥青混凝土,大坝包括沥青混凝土心墙、坝 壳料区、过渡料区、上游围堰等。利用有限元软件 ADINA,对大坝进行剖分,顺河向为计算的Y轴方 向,沿坝体高程增加的铅直方向为Z轴方向。对坝 体进行有限元网格剖分时,采用八结点四边形单元, 得到有限元分析模型如图1所示。



图1 有限元分析模型

表1 坝体各部分的材料参数

2 采用的本构模型

目前描述此类材料的本构关系的数学模型有多种,归纳有两大类:一类是弹性模型,包括线性弹性 模型和非线性弹性模型,较典型的有邓肯-张模 型^[6]和K-G模型;另一类是弹塑性模型,较典型的 有剑桥模型和沈珠江的双屈服面模型等^[7-8]。

弹塑性模型能较好地反映土的变形特征和内部 机理,以及材料的软化、硬化和剪胀性质,但参数求 取相对比较困难,且计算过程较复杂。弹性模型中 非线性弹性模型相对于弹塑性模型有一定的局限 性,但能较好地模拟材料的力学性质,具有形式简 洁、参数少且易获取的特点,在工程计算分析中得到 广泛运用^[9-10]。因此,本研究采用邓肯-张E-v 模型对浇筑式沥青混凝土进行有限元分析。

3 材料参数

在有限元分析计算中,对于坝壳料、过渡料和沥 青混凝土心墙采用邓肯-张E-v模型,通过三轴 试验,得到其材料模型参数,具体见表1。沥青混凝 土心墙基座采用线弹性模型,弹性模量E = 25 GPa, $\mu = 0.167;$ 基岩的弹性模量E = 25 GPa, $\mu = 0.21$ 。

$\mathbf{p}_{\mathbf{a}}$	1	0)	
Ia,	١.		,	

坝体材料	С	arphi	K	n	R_{f}	G	F	D
坝壳料	131000	41.0	1020	0.47	0.80	0.41	0.09	1.51
过渡料	64000	39.5	870	0.62	0.77	0.46	0.11	1.47
沥青混凝土	220000	28.0	210	0.15	0.58	0.51	0.042	0.65

4 加载方法和约束条件

由于坝体为分层填筑施工,以及堆石体等材料 的非线性特性,坝体自重采用分级加载,浇筑式沥青 混凝土心墙和坝壳堆石体同步填筑。按坝体施工填 筑的先后顺序分8级来模拟加载;坝体填筑完成,水 荷载也采用逐级加载的方式,分7级施加。模型水 平向采用水平法向约束,底部采用全约束。

5 心墙坝有限元计算及结果分析

5.1 计算结果的正负规定

主应力以压为正,以拉为负,应力的单位为 MPa。位移的符号规定:水平方向及竖向的位移方 向与对应的坐标轴方向一致时,位移取正值,位移方 向与对应坐标轴指向相反时,位移取负值。位移单 位为 cm,其它单位均采用国际单位制。

5.2 位移计算结果与分析

浇筑式沥青混凝土心墙坝计算工况分为竣工期 和满蓄期。根据图 1 有限元模型,利用通用有限元 软 ADINA 对浇筑式沥青混凝土心墙坝进行有限元 计算,坝体顺河向和竖向位移分别见图 2 和图 3。

由坝体典型剖面竣工期顺河向位移等值线图 (图 2a)可以看出,下游综合坡度略大于上游坡度, 该剖面顺河向水平位移基本关于坝轴线对称,坝轴 线上游的大坝堆石体向上游变形,最大位移 - 5.6 cm,发生在上游坝面约三分之一坝高处。坝轴线下 游的堆石向下游变形,最大位移为 6.5 cm,发生在 下游坝面约三分之一坝高处。而在满蓄期(图 2b), 由于水压力的作用,顺河向位移向上游减小,向下游 增大。上游的堆石体向上游变形的最大位移 - 4.4 cm,下游的堆石体向下游变形的最大位移为 9.1 cm。



(a) 竣工期

(b)满蓄期

图 3 坝体竖向位移(单位:cm)

由图 3 可知:在坝体典型剖面沉降等值线图 (图 3)中,竣工期坝体最大沉降发生在坝体中间偏 下处坝轴线的堆石区中,最大沉降位移值为 15.9 cm。沉降为坝高的 0.234%,最大沉降位移值位于 坝体中轴线偏下游约 1/2 坝高处。由于蓄水实际是 一个卸载的过程,但又因为湿化变形的影响,所以沉 降增加较少,满蓄期坝体最大沉降为 16.7 cm,为坝 高的0.246%。

5.3 应力计算结果分析

采用邓肯-张E-ν模型,通过有限元仿真计算, 得到浇筑式沥青混凝土心墙坝的主应力图,见图4、5。 心墙中轴线位置大、小主应力沿坝高分布,见图6。

图4和图5 为坝体剖面大、小主应力等值线图。 由图4和图5可以看出,竣工期坝体上、下游 y 向应 力基本上呈对称分布,坝体的大主应力和小主应力均 比较规则,呈连续的变化,基本上全部为压应力。沿 坝高方向呈现从坝顶到坝底逐步增加的趋势,在坝轴 线处心墙与基座接触部位的大主应力和小主应力,其 值分别为2.14、0.81 MPa。满蓄期上游坝壳受到浮力 影响,坝壳有效容重减少,坝体大主应力和小主应力 均减小,此时,在坝轴线处心墙与基座接触部位的大 主应力为2.02 MPa,小主应力为0.76 MPa。



图 5 坝体小主应力图(单位:MPa)



心墙中轴线位置主应力分布 图 6

浇筑式沥青混凝土心墙的中轴线处的大、小主 应力沿坝高的分布,如图6所示。浇筑式沥青混凝 土心墙的大、小主应力随着坝高的增加均呈递减的 趋势,大、小主应力的最大值均位于心墙的底部。

5.4 堆石体与心墙接触面相对位移计算结果分析

由于堆石体和心墙浇筑式沥青混凝土材料的性 能有较大差异,在堆石体和心墙的接触面上可能会 存在较大的相对位移,如果相对位移太大,根据有限 元的计算结果,经整理得到堆石体与心墙接触面处 沿坝高的竖向相对位移(满蓄期),具体见表2。

表 2 不同坝高处的接触面竖向相对位移						m, cm		
坝高	17.8	28.3	37.3	43.4	45.6	48.2	52.4	62.5
上游坝面	0.24	0.43	0.83	1.10	1.21	0.94	0.73	0.41
下游坝面	0.21	0.37	0.63	0.87	0.98	0.74	0.59	0.36

根据表2的计算结果可得,堆石体和浇筑式沥 青混凝土心墙的最大竖向相对位移,大概发生在45 m 坝高的结点附近,上游坝面与下游坝面的竖向位 移分别为:1.21 cm 和 0.98 cm, 最大相对竖向位移 基本上是发生在 2/3 坝高处的结点上。比较上游坝 面和下游坝面的相对位移,可以看出,上游坝面的接 触面位移明显大于下游坝面的接触面位移,可能是 因为水压力作用在心墙上游面所致。

结 语 6

针对新疆某浇筑式沥青混凝土心墙坝,进行了 该坝材料的室内三轴试验,根据试验资料,进行分析 整理得到邓肯-张E-ν模型的参数,运用 ADINA 软件对浇筑式沥青混凝土心墙坝进行了非线性有限 元计算,得到竣工期和满蓄期大坝的应力变形特性 及满蓄期堆石体和心墙的最大竖向相对位移。通过 计算分析,为邓肯-张模型参数取值和有限元计算 分析提供参考和依据。研究所获得的成果对同类工 程也具有借鉴价值。

参考文献:

- [1] 胡春林,胡安明,李友华. 茅坪溪土石坝沥青混凝土心墙 的力学特性与施工控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(5): 742 - 746.
- [2] Kandil K A. Analytical and experimental study of field compaction of asphalt mixes [D]. University of Ottawa, 2002.
- [3] 王为标,申继红.中国土石坝沥青混凝土心墙简述[J]. 石油沥青,2002,16(4):27-31.
- [4] 王相峰,唐新军,胡小虎,浇筑式沥青混凝土心墙坝心墙性 态的有限元分析[J]. 人民长江,2013,44(1): 82-85+93.
- [5] 宋日英,南东梅,陈 宇. 浇筑式沥青混凝土的原材料与 配合比选择[J].铁道建筑, 2012(4):142-144.
- [6] 王建祥.本构模型参数对土石坝沥青混凝土心墙位移影响 研究[J].水资源与水工程学报, 2012, 23(6):94-96.
- [7] 张红艳,白长青,王文进,等,三种本构沥青混凝土心墙土石 坝特性[J].应用力学学报, 2010, 27(4): 709-715.
- [8] 郭雪莽,温新丽,张富有. 浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝 刚性副墙的模拟方法[J]. 华北水利水电学院学报, 1998, 19(3): 12 - 14.
- [9] 杨平,陈骁.沥青混合料粘弹塑性本构关系及大变形有 限元分析一般理论[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34 (4):42-47.
- [10] 任少辉. 沥青混凝土静三轴试验研究及心墙堆石坝应 力应变分析[D]. 西安:西安理工大学, 2008.

Ξ