

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.04178

土石坝沥青混凝土心墙材料参数 对其工作性状的影响

王建祥, 唐新军, 凤 炜

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 在沥青混凝土心墙坝的设计中, 应将试验和设计紧密相连, 综合考虑各参数的影响, 利用计算来指导试验, 调整优化配合比设计, 使大坝达到较佳的工作状态。针对新疆某沥青混凝土心墙坝, 对坝体的各部分材料进行了三轴试验, 得到邓肯-张 $E-u$ 模型参数, 并对沥青混凝土心墙坝进行三维非线性有限元分析。根据温控参数折减法, 研究了邓肯-张 $E-u$ 模型参数对沥青混凝土心墙的最大水平、竖向位移及大、小主应力的影响。结果表明: 黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、参数 k 和 G 对心墙的最大水平、竖向位移及大主应力的影响较大, 但对小主应力的影响不明显。其他参数对最大位移和大、小主应力的影响则相对较小。研究结果可为沥青混凝土配合比设计优化和数值计算提供依据和参考。

关键词: 邓肯-张 $E-u$ 模型; 沥青混凝土心墙; 位移; 主应力

中图分类号: TV431 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0178-04

Effects of Material Parameters of Asphalt Concrete Core Wall Dam on the Working Conditions of Core Wall

WANG Jian xiang, TANG Xin jun, FENG Wei

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

Abstract: During the design of asphalt concrete core wall dam, the test and design were closely linked as the calculation considering all parameters was used to guide the test and then to adjust and optimize the mix ratio design, therefore achieving the better working conditions for the dam. In this study, an asphalt concrete core wall dam in Xinjiang was used as the example. Each part of the dam was examined by the triaxial tests to obtain the parameters for the Duncan Chang $E-u$ model. Moreover, the Asphalt concrete core wall dam was analyzed using the three dimensional nonlinear finite element method. Based on the temperature control parameters reduction method, the effects of Duncan Chang $E-u$ model parameters on the maximum horizontal and vertical displacements, and the major and minor principal stresses of the asphalt concrete core wall were investigated. The results showed that the cohesion c , internal friction Angle φ , and the parameters k and G have larger impacts on the maximum horizontal and vertical displacements and the major principal stress of core wall, but insignificant impacts on the minor principal stress. Additionally, other parameters had slight impacts on the maximum displacement, and the major and minor principal stresses. The results can provide the basis and reference for the optimization design and numerical calculation of mix ratio between asphalt and concrete.

Key words: Duncan Chang $E-u$ model; asphalt concrete core wall; displacement; principal stress

1 研究背景

沥青混凝土心墙坝^[1]是土石坝的主要坝型之一, 作为一

种经济和非常具有竞争力的坝型越来越受到国内外相关专家和工程界的重视。大坝主体由堆石或砾石组成, 中间设置的沥青混凝土心墙起防渗作用^[2,3]。由沥青、矿料与掺合料

收稿日期: 2012-11-29 修回日期: 2013-04-27 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.022.html>

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划资助(XJEDU2012S12); 新疆农业大学前期资助课题(XJAU201007); 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。E-mail: wlmqwj123@163.com

通讯作者: 唐新军(1959), 男, 陕西蒲城人, 教授, 博士, 主要从事当地材料坝设计理论研究。E-mail: tangxj59@sina.com

等原材料按适当比例配合后经加热、拌和以及压实或浇筑等工艺成型的沥青混凝土,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、严寒条件下亦可施工以及整个心墙无须设置结构缝等优点^[4]。因此,沥青混凝土被广泛的应用于水工结构防渗体上,特别是在寒冷地区的土石坝内防渗墙上^[5]。

但在土石坝的设计中,试验和设计大都是分开进行的,造成试验和设计完全脱节。事实上,土石坝设计应该综合考虑选取各参数的取值,然后进行计算,得到其参数对其工作性状的影响;根据参数取值,进行指导调整土石坝的配合比设计,使大坝达到较佳的工作状态。在有限元分析中,由于邓肯-张模型的参数容易通过试验获得,因此该模型在国内外得到了广泛的应用^[6]。但是目前关于模型参数取值对土石坝沥青混凝土心墙力学性能影响等问题的研究,还未见报道。本文拟采用邓肯-张 $E-u$ 模型^[7,8],对新疆某沥青混凝土心墙坝进行三维非线性有限元计算,主要是根据温控参数折减法,研究模型的参数对沥青混凝土心墙的最大水平、竖向位移及大、小主应力的影响,为沥青混凝土配合比设计和数值计算提供参考和依据。

2 心墙坝三维非线性有限元分析

2.1 模型参数

针对新疆某沥青混凝土心墙坝,坝壳料、过渡料、沥青混凝土心墙和利用料均采用邓肯-张 $E-u$ 模型,通过三轴试验,得到各种材料模型参数,见表1。其他部分为线弹性材料,其参数分别为:沥青混凝土心墙基座的弹性模量 $E=25$ GPa, $\mu=0.167$;基岩的弹性模量 $E=22$ GPa, $\mu=0.21$ 。

表1 坝料计算模型力学参数

Table 1 Mechanical parameters of dam materials

	c/Pa	$\varphi(^{\circ})$	K	n	R_f	G	F	D
坝壳料	125 000	41.1	980	0.48	0.81	0.40	0.08	1.49
过渡料	61 000	39.1	850	0.61	0.75	0.47	0.09	1.45
沥青混凝土	340 000	25.2	750	0.25	0.80	0.47	0.05	0.15
利用料	141 000	39.5	820	0.26	0.78	0.38	0.19	3.92

2.2 三维有限元建模

坝体计算的典型横剖面见图1,拦河坝为沥青混凝土心墙坝。大坝正常蓄水位1474 m,坝高66 m,上游坝面坡度为1:2.25,下游坝面坡度为1:2.0。沥青混凝土心墙坝以坝料强度、渗透性、压缩性、施工方便和经济合理等为原则进行分区,除沥青混凝土心墙外,大坝其他部位共包括坝壳料区、过渡料区、上游围堰、利用料及排水料区。

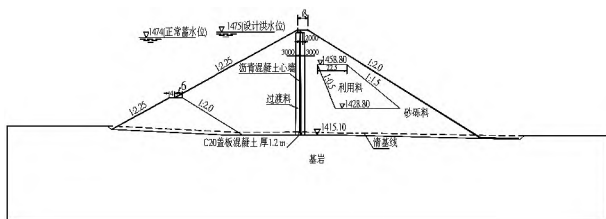


图1 坝体典型横剖面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the typical cross-section of dam

根据坝体分区特点,对坝体进行建模,横河向和顺河向、

铅直方向分别为建模的 X、Y、Z 轴方向。对坝体进行有限元网格剖分时,在心墙与过渡料、心墙与基座的交界面设置了薄层单元。大坝的有限元网格总单元数 26 324 个,总结点数 29 744 个。

考虑到坝体施工为分层填筑和堆石体等材料的非线性特性,坝体荷载采用逐级加载的方式,坝基作为已存在的部分(只具有初始应力),沥青混凝土心墙和拦河坝堆石体同步填筑。计算按坝体施工填筑的先后顺序分 9 级来模拟,坝体填筑完成后,分 8 级施加水荷载,水压力以面力的形式作用在沥青混凝土心墙上游面上。

2.3 沥青混凝土心墙坝三维有限元分析

根据三轴试验结果(表1),采用邓肯-张 $E-u$ 模型对沥青混凝土心墙坝进行了三维非线性有限元分析,得到大坝满蓄期的水平、竖向位移和大、小主应力等值线,见图2至图5。

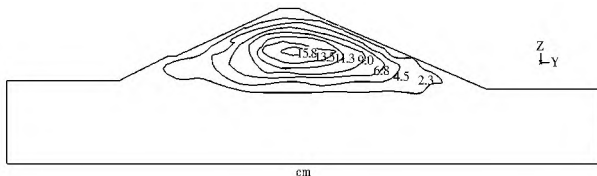


图2 满蓄期坝体竖向位移等值线图

Fig. 2 Vertical displacement contour of dam during the full storage period

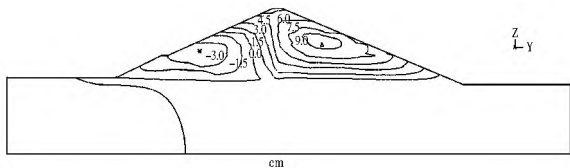


图3 满蓄期坝体水平位移等值线图

Fig. 3 Horizontal displacement contour of dam during the full storage period

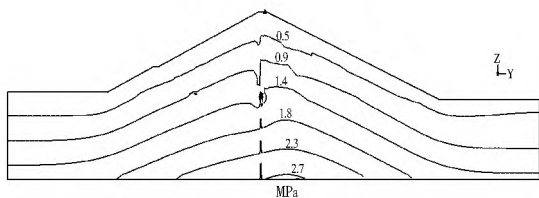


图4 满蓄期坝体大主应力等值线图

Fig. 4 Major principal stress contour of dam during the full storage period

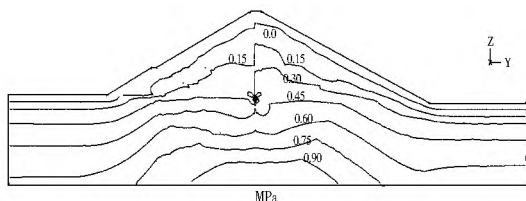


图5 满蓄期坝体小主应力等值线图

Fig. 5 Minor principal stress contour of dam during the full storage period

根据大坝的有限元分析,可以得到如下认识。

- (1) 心墙最大沉降,满蓄期为 16.18 cm,竣工期为 17.51 cm,沉降最大值均位于坝体中轴线偏下游约 1/2 坝高处,见

图 2。竣工期心墙最大水平位移顺河向, 上游为 5 02 cm, 下游为 8 15 cm。由于水压力的作用, 心墙顺河向位移向上游减小, 向下游增大, 最大值分别为 4 19 cm 和 9 35 cm, 见图 3。

(2) 图 4、图 5 分别为大坝最大横剖面在满蓄期大、小主应力等值线图。由图可知, 坝体大、小主应力最大值均出现在坝底部中轴线两侧。满蓄期时上游坝体的大、小主应力比竣工期时要小, 最大值分别为 1. 295 MPa 和 0. 663 MPa。因为, 满蓄期上游坝体受到浮力影响, 堆石体有效容重减少, 大、小主应力均减小。在沥青混凝土心墙部位没有出现拉应力。满蓄期, 心墙大主应力的最大值为 1. 857 MPa、小主应力为 0. 933 MPa。

3 沥青混凝土心墙材料参数对其工作性状的影响

3.1 温控参数折减法

在通常的有限元分析程序中, 需要在输入文件中给定材料参数。研究材料参数对心墙性能影响时, 需要反复修改文件中材料参数的值, 然后再进行计算。每一组参数都要重新输入, 计算比较繁琐。在大型通用有限元程序中, 可以利用其

现成的材料参数可随温度场变量的变化而变化的功能, 定义材料参数指标 f 随温度场的变化而变化。函数式为 $f(\theta) = f(\theta_0) \times (1.2 - 0.1\theta)$, $f(\theta_0)$ 为材料参数初始值。此时温度场只是一个变量场, 不代表实际的温度, 只是起到带动材料参数变化的作用^[9]。在有限元静力分析中的时步不代表真实的时间, 而是只代表“载荷”的变化过程。当时间 t 由 0 增加到 1 时, 定义温度场 θ 随时步 t 也由 0 增加到 1, $\theta(t) = t$, 即实现材料参数与时步 t 的一一对应的关系, 并随着 t 的增加而线性折减。该过程均由有限元软件自动完成, 不需要重新编制程序或人为重复输入材料参数进行再计算的过程。

3.2 心墙参数对沥青混凝土心墙工作性状的影响分析

针对邓肯-张 $E-u$ 模型的 8 个参数, 采用温控参数折减法 ($t = 0, 1, 2, 3, 4$) 对沥青混凝土心墙坝(满蓄期)进行了数值模拟计算, 每一组通过改变其中一个参数, 保持其他参数不变, 来讨论心墙参数对沥青混凝土心墙最大水平、竖向位移和大、小主应力的影响。

通过有限元计算, 得到邓肯-张 $E-u$ 模型的参数变化对沥青混凝土心墙的最大水平、竖向位移和大、小主应力的影响曲线, 见图 6。

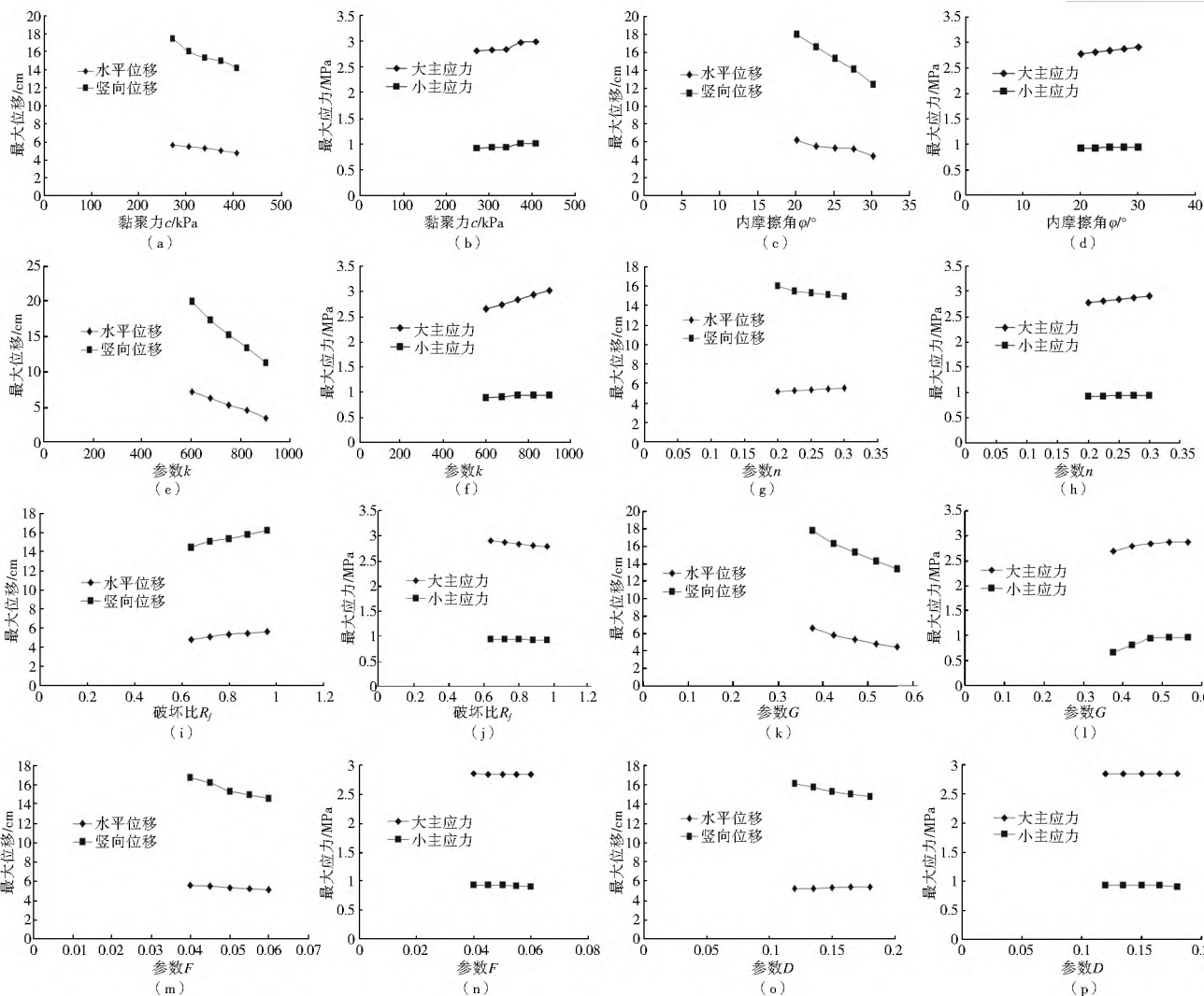


图 6 心墙参数对沥青混凝土心墙的位移和主应力的影响

Fig. 6 Effects of core wall parameters on the maximum displacement and principal stresses of asphalt concrete core wall

图 6 为邓肯-张 $E-u$ 模型的 8 个参数变化对沥青混凝土

心墙的最大水平、竖向位移及大、小主应力的影响曲线。

分析后可得出如下结论。

(1) 由图 6(a)、(b) 可知, 随着黏聚力 c 值的增加, 沥青混凝土心墙的最大水平和竖向位移均减小, 竖向位移要比水平位移的减小幅度大。大、小主应力呈现非线性增加, 但增加的速度较缓。

(2) 图 6(c)、(d) 为内摩擦角 φ 的增减对水平、竖向位移及大、小主应力的影响曲线。随着内摩擦角 φ 值增大, 心墙最大水平位移和竖向位移均为减小趋势, 当内摩擦角 φ 值为 25° 时, 水平最大位移为 5 22 cm, 最大竖向位移为 15 17 cm; 当内摩擦角 φ 值增大到 27° 时, 此时水平最大位移为 5. 12 cm, 最大竖向位移减小到 13 96 cm。内摩擦角 φ 值增大对小主应力的影响很小, 几乎没有影响。大主应力随 φ 值增大呈线性增加趋势。

(3) 由图 6(e) 可知, 初始模量基数 k 的变化对沥青混凝土心墙的最大水平和竖向位移的影响较为显著。当参数 k 值增加时, 心墙的最大水平和竖向位移均减小。当参数 k 为 825 时, 最大水平和竖向位移分别 4 49 cm 和 13 31 cm; 当参数 k 值达到 900 时, 此时最大水平和竖向位移分别减小到 3. 35 cm 和 11. 12 cm。 k 值对小主应力的影响很小, 对大主应力影响较大, 随 k 值增大呈线性增加, 且增加的幅度很大, 见图 6(f)。

(4) 参数 n 对心墙的最大位移影响, 见图 6(g)。初始切线变形模量 E_i 与围压力 σ_3 成指数关系, 参数 n 为初始模量指数。当参数 n 增加时, 心墙的最大水平位移在增加, 竖向位移在减小; 大、小主应力均增加。但 n 值的变化对水平、竖向位移及大、小主应力的影响较小, 见图 6(h)。

(5) 由图 6(i)、(j) 得出, 当破坏比增大时, 沥青混凝土心墙的水平 and 竖向位移都相应增大, 但竖向位移增加速度较快; 大、小主应力随 R_f 的增加而减小, 破坏比 R_f 对大主应力影响较大, 对小主应力的影响很小。

(6) 图 6(k) 反映了水平和竖向位移随参数 G 值的变化规律, 变化幅度较大。位移随 G 值增大而减小, 且参数 G 越小, 对位移的影响程度越大。参数 G 对大、小主应力影响都比较明显, 见图 6(l)。从变化趋势得出, 参数 G 的影响比较大, 是该模型的主控参数之一。

(7) 参数 F 和 D 值的变化对水平和竖向位移的影响都比较小, 对大、小主应力的几乎没有影响, 见图 6(m) 至 (p)。最大竖向位移随参数 F 和 D 的增大而减小, 最大水平位移随参数 F 的增大而减小、而随参数 D 的增大而增大。

4 结语

基于邓肯-张 $E-u$ 模型对坝体的各部分材料进行了三轴试验, 根据试验所得模型参数, 对沥青混凝土心墙坝进行三维非线性有限元计算。基于温控参数折减法, 分析了邓肯-张 $E-u$ 模型参数对沥青混凝土心墙的最大水平、竖向位

移及大、小主应力的影响。结果如下: (1) 黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、参数 k 和 G 对心墙的最大水平、竖向位移及大主应力的影响较大, 对小主应力的影响不明显; (2) 破坏比 R_f 、参数 n 、 D 和 F 对最大位移和大、小主应力的影响相对较小。

通过计算分析, 得到沥青混凝土心墙坝的参数对其工作性状的影响, 大坝设计应综合考虑各参数的取值, 调整沥青混凝土心墙坝的配合比设计, 使大坝达到较佳的工作状态。

参考文献 (References):

- [1] YOU Z P. Development of a Micromechanical Modeling Approach to Predict Asphalt Mixture Stiffness Using the Discrete Element Method [D]. Illinois: University of Illinois at Urbana Champaign, 2003.
- [2] 祁世京. 土石坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000. (QI Shi jing. Construction Technology of Roller Compacted Asphalt Concrete Core Wall on Earthrock Dam [M]. Beijing: China Water Power Press, 2000. (in Chinese))
- [3] PING Shu jiang, SHEN Ai qin, LI Peng. Study of Fatigue Limit of Asphalt Mixture for Perpetual Pavement [J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(1): 34-38.
- [4] CASTRO M, SANCHEZ J A. Estimation of Asphalt Concrete Fatigue Curves a Damage Theory Approach [J]. Construction and Building Materials, 2008, 22(6): 1232-1238.
- [5] Maria Castro, Jose A. Sanchez. Estimation of Asphalt Concrete Fatigue Curves A Damage Theory Approach [J]. Construction and Building Materials, 2007, (22): 1232-1238.
- [6] 何昌荣, 杨桂芳. 邓肯-张模型参数变化对计算结果的影响 [J]. 岩土工程学报, 2002, 24(2): 170-174. (HE Chang rong, YANG Gui fang. Effects of Parameters of Duncan-Chang Model on Calculated Results [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(2): 170-174. (in Chinese))
- [7] 王为标, 孙振天, 吴利言. 沥青混凝土及应力应变特性研究 [J]. 水利学报, 1996, 27(5): 1-8. (WANG Wei biao, SUN Zhen tian, WU Li yan. Study on Stress-strain Relationship of Asphalt Concrete [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 27(5): 1-8. (in Chinese))
- [8] 陈树文. 西龙池电站上水库沥青混凝土面板堆石坝填筑施工技术 [J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(5): 118-120. (CHEN Shu wen. Backfilling Construction Technology of Upper Reservoir Asphalt Concrete Membrane Rockfill Dam in Xilongchi Power Station [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(5): 118-120. (in Chinese))
- [9] 曹先锋, 徐千军. 边坡稳定分析的温控参数折减有限元法 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28(11): 2039-2042. (CAO Xian feng, XU Qian jun. Temperature Driving Strength Reduction Method for Slope Stability Analysis [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(11): 2039-2042. (in Chinese))