

文章编号:1671-6833(2005) 01-0047-03

闸墩施工期温度应力仿真分析

朱秋菊, 韩菊红, 乐金朝

(郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 考虑外界气温条件、水泥水化热、弹模、徐变等热力学和物理力学参数以及分层浇筑(利用生死单元实现分层浇筑) 对闸墩温度应力的影响, 利用 ANSYS 软件三维有限元法进行闸墩施工期的瞬态温度场和应力场仿真计算. 结果表明: 内外温差过大, 内部温升温降太快是闸墩出现裂缝的主要原因, 并提出了对拌合材料冷却, 降低浇筑温度, 采用优化的保温保湿养护方法, 在混凝土内预埋冷却水管, 选用低热水泥, 使用减水剂等减小内外温差, 减缓温升温降过程, 以有效防止施工期表面裂缝的产生.

关键词: 闸墩; 数值仿真; ANSYS; 温度应力; 裂缝; 温控措施

中图分类号: TU 315 文献标识码: A

0 引言

昭平台水库杨家岭非常溢洪道闸墩在混凝土浇筑施工中发现, 几乎所有已浇的闸墩在龄期 28d 内均发现不同程度的混凝土表面温度裂缝, 这些裂缝的进一步扩展将会破坏闸墩结构的整体性, 以至影响闸墩的安全和耐久性. 因此, 本文作者结合杨家岭非常溢洪道闸墩实际工程, 对闸墩施工期混凝土浇筑过程进行仿真分析, 查找出现裂缝的原因并提出有效的温控和防裂措施.

1 计算模型与计算参数

1.1 三维有限元计算模型

采用国际通用的大型结构分析软件 ANSYS 对右二联中墩混凝土浇筑过程进行仿真分析, 模拟温度场和应力场变化过程^[1,3]. 计算中考虑了混凝土分层浇筑、层厚、施工间歇、水化热温升变化、徐变、材料不同分区、浇筑温度、对流边界条件、重力荷载等条件和因素. 气温采用实测气温的日平均值, 混凝土材料特性采用了随时间变化的弹性模量及徐变函数^[1].

右二联中墩模型, 长 23 m, 厚 2 m, 高 12.3 m. 分三层浇筑, 第一层为 1.8 m, 第二层为 5.7 m, 第三层为 4.8 m. 仿真计算中, 由于水化热释放主要集中在浇筑后的前 7 d 内, 每层混凝土浇筑后的前 7 d 时间步长取 6h 计算一次, 后面的计算时间

段取 0.5 d 一个步长. 右二联中墩及测温点位置如图 1、2 所示.

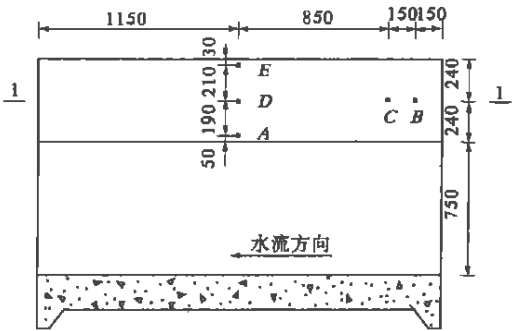


图 1 中墩立面图
Fig.1 Facade of middle pier

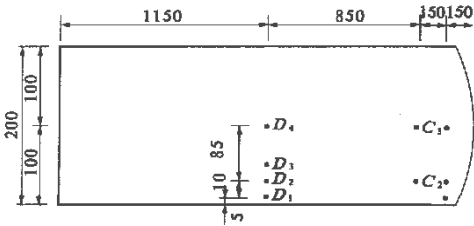


图 2 中墩 1-1 剖面图
Fig.2 Section 1-1 of middle pier

墩混凝土浇筑施工过程: 第一层浇筑后间歇时间为 7 d, 第二层浇筑后间歇时间为 19 d, 计算到第三层浇筑后一个月结束, 共计 56 d.

由于闸底板浇筑完成后约一年左右才开始浇筑闸墩. 此时闸底板混凝土变形基本稳定, 对闸墩

收稿日期: 2004-09-26; 修订日期: 2005-01-22

基金项目: 河南省科技攻关项目(0324240013)

作者简介: 朱秋菊(1976-), 女, 河南省南阳市人, 郑州大学硕士研究生, 主要从事水工结构仿真计算.

的温度应力不会有太大影响,故将闸底板视为基础而不进行分析计算.这样可以减少单元数量,缩短计算时间,对整个计算结果影响不大.底板四周和底面均施加法向位移边界条件,而在底板的顶表面施加对流边界条件,无位移约束条件.闸底板为整体式水平底板,由于将其作为基础考虑,故将其简化为长方体结构,长 23 m,宽 12 m,厚 3 m.按有关规定,基础的范围应取得尽量大些,但作者发现把模型中底板三维尺寸均加大后,闸墩的温度应力值较底板加大前改变很小,基本上没有影响.底板尺寸按不加大 23 m×12 m×3 m 考虑.整个模型单元总数为 9 495 个,节点总数为 10 860 个.闸墩模型全部采用六面体 8 节点单元,热分析采用 70 单元,结构分析采用 185 单元.计算时采用右手坐标系,坐标原点位于闸底板顶面上闸墩圆弧段的圆心上,取顺水流方向为 x 轴的正方向, y 轴竖直向上, z 轴为横河流方向,由左岸指向右岸.

1.2 计算参数

1.2.1 闸墩的弹性模量

根据试验成果,混凝土弹模采用下面公式计算^[3],整个闸墩采用相同的弹模参数.

$$E_{c(t)}=1.41E_{c(28)}(1-e^{0.4t^{-0.34}}) \tag{1}$$

式中: $E_{c(t)}$ 为混凝土龄期 t 时的弹性模量; $E_{c(28)}$

为混凝土 28d 龄期的弹性模量; t 为混凝土龄期 d.

1.2.2 混凝土的绝热温升

混凝土的绝热温升过程计算采用如下公式^[4]:

$$\theta=\theta_0\left[\frac{\tau}{n+\tau}\right] \tag{2}$$

$$\theta_0=\frac{Q_0W}{c_r\gamma_c} \tag{3}$$

式中: θ_0 为混凝土最终绝热温升, $^{\circ}\text{C}$; Q_0 为胶凝材料(包括水泥和粉煤灰等混合材)最终发热量, kJ/kg ; W 混凝土胶凝材料(包括水泥和粉煤灰等混合材)用量, kg/m^3 ; c_c 为混凝土比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$; γ_c 为混凝土容重, kg/m^3 ; θ 为时段 τ 时混凝土的绝热温升, $^{\circ}\text{C}$; n 为水泥发热速率参数, n 以 d 计.

1.2.3 混凝土的徐变系数

徐变度 $C(t,\vartheta)$ 采用如下公式计算^[3]:

$$C(t,\vartheta)=C_1(1+9.10\tau^{-0.45})[1-e^{-0.3Qt^{-\vartheta}}]+C_2(1+1.70\tau^{-0.45})[1-e^{-0.005Qt^{-\vartheta}}] \tag{4}$$

式中: $C_1=0.23/E_0$, $C_2=0.52/E_0$, $E_0=1.05\cdot E_{c(360)}$ [或 $E_0=1.20E_{c(90)}$, 或 $E_0=1.45E_{c(28)}$].

1.2.4 气温资料

取当地每日的平均气温作为每日的气温.

1.2.5 混凝土热力学参数

混凝土热力学参数见表 1.

表 1 混凝土热力学参数

Tab. 1 Thermodynamics coefficients of the concrete

导温系数 $\alpha/(\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1})$	导热系数 λ $/(\text{kJ}\cdot(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1})$	线膨胀系数 $\alpha/ (10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1})$	放热系数 β $/(\text{kJ}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1})$	泊松比 μ	比热 c_c $/(\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1})$	密度 ρ $/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
0.004 5	10.6	7	50	0.167	0.96	2441

2 计算成果与分析

2.1 闸墩施工期仿真计算

2.1.1 闸墩施工期瞬态温度场仿真计算

图 3 中曲线按峰值从高到底依次为点 D_4 , D_3 和 D_1 3 点根据实际测温资料所绘施工期随龄期变化的温度过程曲线.

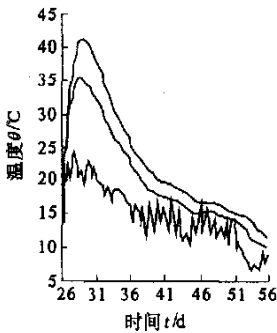


图 3 实测温度过程曲线
Fig. 3 Measured temperatures

图 4 中曲线按峰值从高到底依次为点 D_4 , D_3 和 D_1 的温度曲线.由于外界气温是随时间时刻变化的,而 D_1 点接近外表面,所以实测资料所绘曲线中 D_1 点的温度曲线变化剧烈,而仿真过程中外界气温采用的是日平均气温,故仿真结果中 D_1 点的温度曲线与实际测温资料偏差大一些,而 D_3 和 D_4 点的温度变化曲线偏差很小.可以看出,

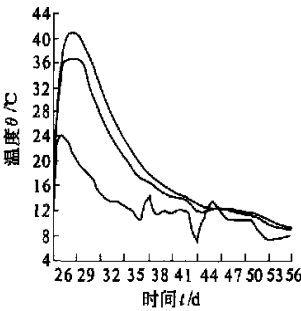


图 4 ANSYS 模型温度场中的典型点温度计算值
Fig. 4 Simulated temperatures in ANSYS

ANSYS 仿真计算温度场与实测温度场较接近.

由图 4 可以看出,在距闸墩顶 2.40 m 的 D_1 , D_3 和 D_4 3 个测点中,温度峰值出现在混凝土浇筑后第 2.4 d, D_4 点峰值达到 41.24 °C,此时 D_1 点的温度值为 22 °C,内外温差为 19.24 °C,为混凝土最大的内外温差.

2.1.2 闸墩施工期应力场仿真计算

图 5 是根据温度场计算得出的点 D_1 应力场中随龄期变化的第一主应力值.计算得知, D_3 和 D_4 点的第一主应力值一直都较小,对裂缝的产生基本没有影响.

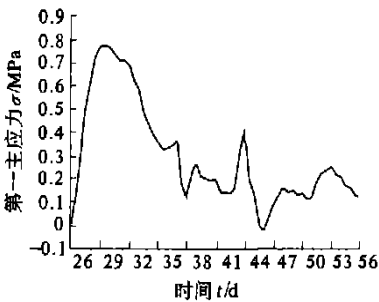


图 5 点 D_1 的第一主应力值曲线图

Fig.5 The first main stress values of D1 point

第一主应力的值在第三层混凝土浇筑后第 4 d 达到最大值.整个闸墩第 4 d 的第一主应力分布情况如图 6 所示.可以看出,在浇筑层顶表面沿长度方向大约三分点处和沿长度方向浇筑层侧表面的中间部位的第一主应力值均达到或超过龄期为 4 d 的混凝土的劈拉强度值.

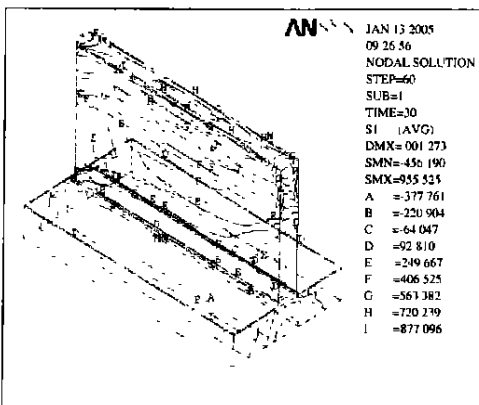


图 6 第三层浇筑后第一主应力值

Fig.6 The first main stresses after the third layer was poured

2.2 仿真计算结果分析

从温度曲线图上可以看出,闸墩内部由于水化热的释放,所以内部温度迅速升高,体积膨胀,而外部温度由于气温的影响,散热较快,温度变化不大,而要抑制内部的膨胀变形,在外表面附近就

会出现拉应力.在闸墩外表面上第一主拉应力的值到第 4 d 为止一直在增长,到第 4 d 达到峰值 0.95 MPa,已达到了龄期为 4 d 的混凝土的劈拉强度值.故在浇筑层顶表面沿长度方向大约三分点处和沿长度方向浇筑层侧表面的中间部位这些应力达到或超过同龄期混凝土劈拉强度值的部位可能会出现表面裂缝.而在实际工程中,这些地方确实出现了表面裂缝.

3 结论

由闸墩混凝土施工期仿真分析可以看出,内外温差过大,内部温升温降太快是导致出现表面裂缝的主要原因.因此,为减少和避免裂缝开展,应严格控制混凝土温度,降低混凝土的绝热温升和加强施工管理、提高混凝土施工质量.具体可采取如下措施:

- (1) 通过控制施工质量来减少裂缝开展.施工前,对拌和材料预冷却,降低浇筑温度.
- (2) 采用优化的保温保湿养护方法,控制内外温差,促进表层混凝土硬化,提高混凝土早期抗拉能力.
- (3) 考虑水管冷却,在混凝土内埋设水管,降低温水以降低混凝土温度,降低水化热引起的温升.
- (4) 尽量选用低热水泥,使用减水剂等以减少水泥的用量,减少水泥水化热的产生,进而达到降低混凝土绝热温升的目的.另外,通过掺加适量的粉煤灰(0~60%之间),增强混凝土的韧性,也可达到减少裂缝开展的目的.
- (5) 合理地分层、分块浇筑减缓温升,减小温度变形;设计温度筋,加强混凝土整体性,提高抗裂性能.

参考文献:

[1] 李九红,何 劲,简 政.水电站表孔闸墩施工期温度应力仿真分析[J].水利学报,2002,(9):117~122.
[2] 朱岳明,黎 军,刘勇军.石梁河新建泄洪水闸闸墩裂缝成因分析[J].红水河,2002, 2(2):44~61.
[3] 韩菊红,申来宾,王德民.杨家岭溢洪道闸墩混凝土力学性能试验研究[J].郑州大学学报(工学版),2004,25(2):20~24
[4] DL 5108—1999,混凝土重力坝设计规范[S].
[5] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999.196~197.

(下转第 53 页)

[4] 何亚东,何玉敖.基于模糊神经网络的结构系统辨识[J].工程力学,2000,3(s):415~419

[5] 王顺晃.智能控制系统及其应用[M].北京:机械工业出版社,1998.

[6] 赵 林.结构振动半主动控制及其实用性研究[D].天津:天津大学,2004.

[7] 冯冬青,张希平.基于神经网络的自学习模糊控制[J].郑州大学学报(工学版),2002,24(4):6~10.

Tracing Identification Method of Structure System Based on BP Neural Network

ZHAO Lin¹, WANG Li²

(1.Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092,China ;2.Department of Civil Engineering, Yellow River Conservancy Technical Institute ,Kaifeng 475001,China)

Abstract : In this paper , in order to solve the existing problems of the application of the artificial neural network to the identification of structure systems , a tracing identification method to the structural systems is suggested based on BP neural network , which divides the actual structure into a mechanism model part and a time -varying error model part . The former is created off line on the basis of a computing model , which is in accordance with the actual situation of the structure systems , and the latter is identified on line by using a small -scale BP neural network , which employs the system identification ability of the dynamic recurrent network . Through analysis of computer simulation , it indicates that this method can effectively reduce the identification errors caused by the action of different earthquake loads , which improves prominently the precision and reliability for artificial neural network in identifying the structure systems .

Key words : tracing identification ; structure system identification ; BP neural network ; earthquake load

(上接第 49 页)

Simulation Study of Thermal Stress in Pier

ZHU Qu -ju , HAN Ju -hong , YUE Jin -chao

(School of Environmental & Hydraulic Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002,China)

Abstract : The 3-D mesh method is used to analyze the transient temperature field and temperature stress of the piers during placement . The variations of elastic modulus , creep , hydration and atmosphere temperature variation related to the age of concrete and the effect of layered placement (using killing and reactivating elements to realize layered placement) are taken into account . Measures for preventing from surface cracking caused by atmosphere temperature variation and hydration of concrete in the process of construction are proposed . The main cause of surface cracking is analyzed and it lies in the difference between inner and outer temperatures is too large and the rising and decreasing of inner temperatures is too fast . Measures for avoiding surface cracking are proposed : cooling the blending materials , decreasing the original temperature of the placement , taking optimizing methods of keeping certain temperature and humidity , embedding cooling water pipes in the concrete previously , selecting the cement of low heat and using water -reducing agent .

Key words : pier ; simulation ; ANSYS ; thermal stress ; crack ; temperature control