

预留宽槽在水电站厂房温度控制中的作用

鞠静春,李守义,党国强,刘 曜

(西安理工大学水利水电学院,陕西 西安 710048)

摘要 根据水电站厂房混凝土‘分层错缝、跳仓浇筑、预留宽槽、后期回填’的施工要求,将大型通用有限元软件与温度应力计算专用程序相结合,仿真计算水电站厂房施工期和运行期的温度徐变应力,分析水电站厂房结构预留宽槽在温度控制中的作用。结果表明,设置预留宽槽对降低水电站厂房温度应力是有效的。

关键词 水电站厂房 温度应力 预留宽槽 温度控制

中图分类号 :TV315 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)S1-0064-03

1 问题的提出

温度应力在大体积混凝土结构中具有重要影响,有时温度应力会超过其他外荷载引起的应力从而产生混凝土裂缝。因此,大体积混凝土的温度应力计算是一个非常重要的课题。在水工结构中此类计算主要体现在各种类型的混凝土大坝和水电站厂房结构中。相对于大坝而言,水电站厂房结构复杂,孔洞、墩墙及大型框架结构较多,且较多采用分缝、分块和跳仓浇筑方式,给水电站厂房的温度应力计算带来了巨大的困难^[1-2]。

鉴于目前自编的温度应力场仿真计算程序适用性不强,而通用的有限元软件在考虑混凝土徐变、自生体积变形等时需要进行二次开发,提出将大型通用有限元分析软件与温度应力场仿真计算专用程序相结合的方法进行温度应力计算,并对国内某水电站厂房依照实际的浇筑进度、跳仓方式、气象资料进行施工期及运行期的温度应力场仿真分析,研究在水电站厂房中设置预留宽槽对温度应力的影响。

2 施工过程模拟

施工过程模拟就是在有限元仿真模型中,按照施工进度模拟分层分块错缝浇筑、跳仓浇筑、预留宽槽、后期回填微膨胀混凝土等施工过程,以及分析施工过程对结构温度应力的影响。笔者采用大型通用有限元分析软件和温度应力计算专用程序来实现。首先,建立有限元计算模型(包括地基、厂房结构和

回填混凝土等),导出单元、节点以及材料信息,其次调用温度应力计算程序按照拟定的施工顺序计算,将暂时不参与运算的预留宽槽单元‘休眠’起来,待到回填预留宽槽单元时,程序调用预留宽槽信息(包括单元材料和进度信息),将这些单元‘唤醒’,从而模拟厂房混凝土结构的分层错缝、跳仓浇筑、预留宽槽回填等施工过程。

3 温度应力计算分析

3.1 计算模型及坐标系

利用通用有限元分析软件建立模型,整体坐标系的坐标原点在厂房左侧坝踵处,坝轴线指向右岸为 x 轴正向,水流下游方向为 y 轴正向,铅直向上为 z 轴正向^[3]。厂房有限元计算模型如图 1 所示。

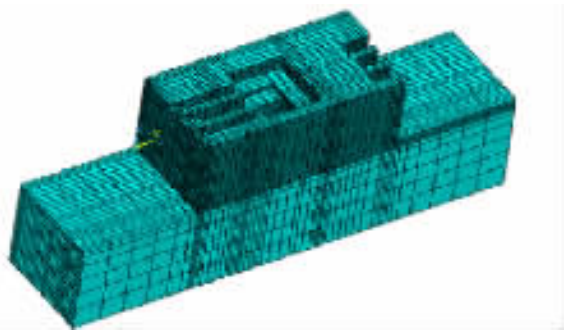


图 1 厂房有限元计算模型

厂房沿水流方向长 89.0 m,垂直水流方向长 45.5 m,最大高度为 45.3 m,考虑到计算规模和时间的限制,取计算域坝基范围为坝踵上游和坝趾下游各取约 1 倍厂房模型高度,即 50.0 m,地基深度也取 50.0 m。

厂房和地基均采用六面体八节点等参单元。厂房混凝土分为 21 个浇筑层,层厚 1~3 m 不等,且沿高度方向每浇筑层又划分了 1~3 层单元,计算单元尺寸较小,其高度方向为 1 m,水平方向为 1~3 m,单元总数 49 953 个,节点总数 56 706 个。地基上部单元尺寸较小,下部单元尺寸较大,单元总数 11 400 个,节点总数 13 598 个。

3.2 计算参数

基岩及厂房主体混凝土热力学参数值见表 1。厂房混凝土徐变度拟合公式为: $C(t, \tau) = (A_1 + B_1 \tau^{-C_1}) [1 - e^{-D_1(t-\tau)}] + (A_2 + B_2 \tau^{-C_2}) [1 - e^{-D_2(t-\tau)}]$,单位为 $10^{-6}/\text{MPa}$ 。式中 $A_1, B_1, C_1, D_1, A_2, B_2, C_2, D_2$ 均为材料特性参数,由试验数据拟合,本工程常态混凝土 R₂₈15W6 特性参数取值为: $A_1 = 4.32, B_1 = 39.746, C_1 = 0.45, D_1 = 0.3, A_2 = 9.768, B_2 = 16.605, C_2 = 0.45, D_2 = 0.005$ 。预留宽槽混凝土中掺入 MgO,自生体积变形见表 2。

3.3 计算假定及边界条件的选取

假定材料为均质弹性、各向同性的连续体。地基底面和地基 4 个侧面为绝热边界,由于该机组坝段左侧为冲沙闸,右侧为机组坝段,因此,该机组厂房坝段右侧边墙横缝采用绝热边界考虑,左侧较厚边墙采用气边界考虑,坝体与水接触的表面为固-水边界,其余为固-气边界,固-水边界按第一类边界条件处理,固-气边界按第三类边界条件处理。地基底面按固定支座处理,地基上游面和下游面法线方向按简支处理,坝段的横缝面和上下游面按自由边界处理。

3.4 计算方案

水电站厂房结构段流道底板面积很大,必须分缝分块浇筑。沿垂直水流方向设置 2 条预留宽槽,分别在 0+021.0~0+023.0 m 和 0+056.0~0+058.0 m 之间。厂房从 2 月 16 日开始施工,9 月 15 日顶层主体混凝土施工结束,预留宽槽将于冬季气温较低时分层回填,回填时间从当年 12 月 1 日开始到 12 月 22 日结束,施工总时间按 308 d 考虑。5 月 1 日至 10 月 31 日仓面喷雾,使环境温度比气温降低 3℃。水库

蓄水过程为第 2 年 10 月 31 日上下游围堰拆除,厂房上下游面挡水,第 3 年 6 月 1 日厂房开始正常运行发电,整个流道过水。按照上述施工进度,对不设预留宽槽(方案 1)和设置预留宽槽(方案 2)进行了温度应力的计算。

3.5 计算成果分析

按照上述计算方案,施工期每 0.25 d 计算 1 次厂房结构段温度徐变应力场,运行期的时间步长为 0.5~30 d 的变步长,进行了施工期和运行期的全过程温度徐变应力仿真计算。由于计算成果比较多,在对选定的 15 个剖面进行比较后,分别给出方案 1 和方案 2 最大温度应力等值线,如图 2 所示(图中应力以拉为正,压为负)。表 3 给出方案 1 和方案 2 厂房结构不同区域最大温度应力值,最大温度应力均出现在第一个冬季气温最低时期。

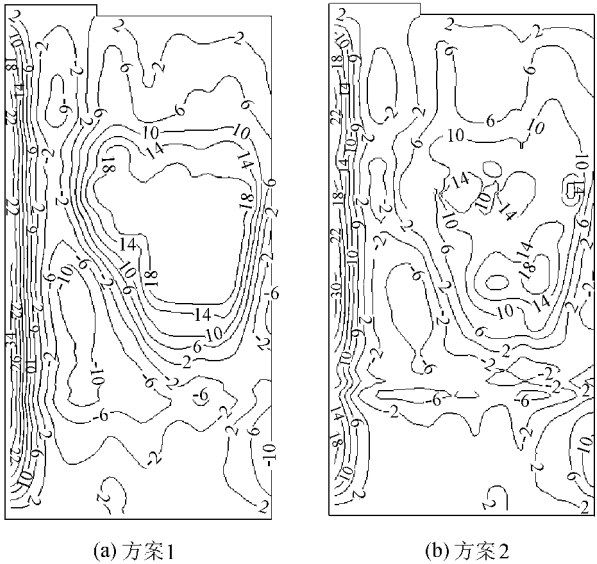


图 2 z = 18 m 剖面最大温度应力等值线(单位 0.1 MPa)
方案 1 最大应力 $\sigma_{x\max}$ 为 3.2 MPa,出现在厂房坝段上游面上; $\sigma_{y\max}$ 为 3.4 MPa,出现在厂房坝段左横缝面上; $\sigma_{z\max}$ 为 2.3 MPa,出现在厂房坝段上游面上。方案 2 最大应力 $\sigma_{x\max}$ 为 2.4 MPa,出现在厂房坝段上游面上; $\sigma_{y\max}$ 为 3.0 MPa,出现在厂房坝段左横缝面上; $\sigma_{z\max}$ 为 2.2 MPa,出现在厂房坝段上游面上。

表 1 基岩及厂房主体混凝土热力学参数值

混凝土种类	导热系数/ (W·(m·K) ⁻¹)	热扩散率/ (m ² ·h ⁻¹)	线胀系数/ 10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	放热系数/ (W·(m ² ·K) ⁻¹)	密度/ (kg·m ⁻³)	绝热温升/ ℃	泊松比	弹性模量/MPa
R ₂₈ 15W6	2.49	0.004 80	8.75	18.6	2 517	21.3τ/(1.15+τ)	0.167	27 680τ/(1.85+τ)
基岩	1.91	0.003 19	7.00	18.6	2 300		0.380	4 000

注:τ 为混凝土的龄期。

表 2 预留宽槽混凝土的自生体积变形

龄期/d	1	3	10	15	35	69	90	120	160	190	230	280	315
变形	0	15.9	17.7	18.4	17.1	14.7	15.2	11.9	9.4	6.2	5.3	6.5	6.6

表 3 厂房结构不同区域最大温度应力值 MPa				
方案	上游面	左横缝面	进水口底板	尾水管底板
1	3.2	3.4	1.8	2.6
2	2.4	3.0	1.6	2.0

从计算结果可以看出 由于冬季外界气温较低, 厂房结构段底板混凝土收缩受到地基的约束作用, 厂房底板内部产生较大的拉应力 而在夏季, 外界气温较高, 混凝土发生膨胀, 厂房底板内产生压应力。坝段上下游面以及左横缝面温度应力相对较大, 其原因是坝体表面温度受外界环境温度变化影响较大, 表面应力主要是由内外温差引起的 尾水管底板附近温度应力值相对较大, 是由于尾水管底板附近温度受外界环境温度变化影响较大, 且该部位处于坝段中部, 受到地基和间歇面的约束较大, 而且气温年变幅较大, 最大应力主要是由内外温差和约束双重作用引起的 运行期流道过水之后, 坝体表面最大应力值相对减小, 主要是因为水温年变幅比气温年变幅小, 最大温差也相应减小, 另外, 由于混凝土的徐变影响, 最大应力值逐渐减小 坝体表面温度应力受外界环境温度影响较大, 应力随外界气温的变化呈简谐变化, 最大温度应力出现在第一个冬季气温最低时期, 蓄水之后, 由于水温年变幅比气温年变幅小, 加之混凝土的徐变影响, 最大温度应力减小, 坝体内部温度应力随着坝体温度的下降而缓慢增大, 最大温度应力比坝体表面温度应力小得多, 不是控制性温度应力。

4 结 语

a. 从方案 2 与方案 1 温度应力计算成果可以

(上接第 43 页)

6 防洪减灾措施

“98·6”特大洪灾后, 南平市高度重视防洪工程建设, 开展了大规模的江河整治、水库除险加固、修渠筑堤、小流域综合治理等工作, 使南平市区防洪标准达 50 年一遇, 其他县(市)防洪标准达到 20~30 年一遇, 重要乡镇防洪标准达 10 年一遇。此外, 南平市先后建立了闽江洪水预警系统、中尺度灾害性天气预警系统、防汛远程视频会议系统、10 县(市、区)城区重要河段洪水视频监控系统、台风实时监测系统、防汛水利信息一体化平台等暴雨洪水预警系统 制定或完善了各种防洪和防御预案(主要有城区防洪预案、乡(镇)和村级防洪预案、水库防洪调度预案、病险水库出现紧急情况下下游人员安全转移预

看出^[4-5] 方案 2 绝大部分区域应力值比方案 1 小, 设置预留宽槽后, 左侧后边墙上游段、进水口底板和尾水管底板 $\sigma_{y\max}$ 大幅度减小, 尤其是宽槽附近的 σ_y 值减小更为显著, 说明设置预留宽槽对降低温度应力是有效的。

b. 在厂房结构段中部预留后浇带虽然对温度应力有一定的影响, 但由于施工进度及浇筑层厚度的影响, 厂房结构段局部温度应力偏大, 最大温度应力出现在坝段施工结束后的第一年冬天, 建议在该时间内对流道和坝体表面采取保温措施, 以减小内外温差, 从而降低坝体表面和流道表面的最大温度应力 建议在温度应力过大的后浇带区域降低混凝土浇筑温度或使用 MgO 微膨胀混凝土。

c. 利用通用有限元分析软件建立模型, 复杂的结构构造和施工过程都能够得到很好的模拟。将大型通用有限元分析软件与温度应力仿真专用程序联合应用于水电站厂房温度应力场仿真分析中, 效果较好。

参考文献：

[1] 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, 1998.
 [2] 张晓飞, 李守义, 陈尧隆. 碾压混凝土拱坝温度场计算的浮动网格法[J]. 土木工程学报, 2006, 39(2): 126-129.
 [3] 李守义, 陈尧隆, 王长江. 高碾压混凝土坝温度应力研究[J]. 西安理工大学学报, 1997, 13(3): 226-231.
 [4] 李九红, 何劲, 简政, 等. 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.
 [5] 陈尧隆, 李守义. 高碾压混凝土重力坝温度应力和防渗措施研究[R]. 西安 西安理工大学, 1999.

(收稿日期 2007-06-11 编辑 骆超)

案、易滑坡地带人员安全转移预案、防台风预案、防漂船预案等) 制作了洪水风险图和城区防洪目标高程柱状图等。这些工程措施和非工程措施有效提高了南平市防洪减灾的能力, 在防御“2005·6”洪灾过程中发挥了重要的作用。特别是实施“预警到乡, 预案到村”的做法, 在“2005·6”暴雨洪水期间做到实时远程防汛会商, 提前预警, 提前部署和采取措施, 各部门全力协作, 及早转移, 减少了人员伤亡, 减轻了洪灾损失。

参考文献：

[1] 金保明. 南平市“2005·6”特大暴雨洪水分析及防洪对策[J]. 中国水利, 2006, 15: 42-43.
 [2] 金保明. 80 年代以来闽北洪涝灾害概况及其成因[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 55-60.

(收稿日期 2007-07-24 编辑 方宇彤)