

# ABAQUS 在大体积混凝土徐变温度应力计算中的应用

王 建<sup>1</sup>, 刘爱龙<sup>2</sup>

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065)

**摘要** 对 ABAQUS 进行了二次开发, 建立了弹性徐变本构模型, 提出了一种考虑表面散热对水管冷却影响的等效算法, 并进行了数值测试和分析. 结果表明, 在 ABAQUS 中增加上述模型和算法后, 可以实现大体积混凝土温度场和徐变应力的计算, 拓宽 ABAQUS 软件在土木工程中的应用范围.

**关键词** ABAQUS 软件; 二次开发; 大体积混凝土; 徐变; 温度应力

**中图分类号** TV315 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2008)04-0532-06

大体积混凝土已在土木水利工程中得到广泛应用, 其温控和防裂问题是设计时需要解决的重要问题. 对于重要工程中的大体积混凝土, 除需用规范方法进行计算外, 通常还需用有限元法进行校核.

混凝土徐变温度应力计算涉及温度场计算和徐变应力计算 2 个方面, 计算时需处理一系列问题, 包括分层浇筑和动态边界模拟, 水化热、水管冷却的模拟, 动态弹模、混凝土自生体积变形及徐变应力的计算等, 过程较为复杂<sup>[1-10]</sup>, 直接采用商业计算软件如 ANSYS, MARC 或 ABAQUS 等均无法实现, 但可通过自行编程来实现. 由于自编程序常缺乏足够的优化, 其计算效率不高且前后处理功能较弱, 使用和推广受到一定的限制.

本文将商业计算软件与自编程序进行集成, 即以大型通用有限元软件 ABAQUS 为平台, 通过二次开发实现大体积混凝土徐变温度应力的计算. 在非稳定温度场的计算中, 本文还给出了一种可以反映混凝土表面散热对水管冷却效果影响的方法.

## 1 基本原理

为叙述方便, 首先阐述混凝土非稳定温度场及徐变应力计算的基本原理.

### 1.1 混凝土非稳定温度场及徐变应力计算理论

大体积混凝土中常埋设有冷却水管, 若直接模拟水管冷却效果, 则计算量较大且前后处理复杂. 因此, 水管冷却效果的模拟一般采用近似解. 如文献[1]提出的“考虑水管冷却的等效热传导方程”, 把冷却水管看成热汇, 从平均意义上考虑水管冷却的效果.

考虑单独一根水管作用下的圆柱体混凝土的冷却问题, 在水管冷却和水化热的共同作用下, 混凝土平均温度为<sup>[1-2]</sup>

$$T = T_w + (T_0 - T_w)\varphi + \theta_0\psi \quad (1)$$

式中:  $T_0$ ——圆柱体混凝土的初温;  $T_w$ ——冷却水管的进口水温;  $\theta_0$ ——混凝土的绝热温升;  $\varphi, \psi$ ——与混凝土热扩散率、时间以及水管的直径和长度等有关的函数, 其含义详见文献[1].

等效热传导方程为

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\nabla^2 T + (T_0 - T_w)\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \theta_0\frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (2)$$

式中:  $t$ ——时间;  $a$ ——混凝土热扩散率.

式(2)假定冷却柱体外表面绝热, 仅考虑冷却水管的散热作用. 实际上, 除水管外, 混凝土与空气、水、岩石的接触面也会有热量传递. 为此, 文献[3]分单面散热、双面散热、三面散热 3 种情况考虑了表面散热的影响, 得到了等效热传导方程

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T + (T_0 - T_w) \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \theta_0 \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \tag{3}$$

式中  $\xi$  为考虑表面散热影响的函数。

混凝土徐变应力可按线性徐变理论计算。为了压缩应力历史的存储量,文献[4] 提出了一种改进的变步长的隐式解法,可递推计算,有效节省了存储量。具体方法如下:

设混凝土的徐变度为

$$C(t, \tau) = \sum_s \varphi_s(\tau) [1 - e^{-r_s(t-\tau)}] \tag{4}$$

在空间复杂应力状态下,徐变应变增量列阵为

$$\Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^c = \boldsymbol{\eta}_n + C(t_n, \bar{\tau}_n) \boldsymbol{Q} \Delta \boldsymbol{\sigma}_n \tag{5}$$

式中

$$\boldsymbol{\eta}_n = \sum_s (1 - e^{-r_s \Delta \tau_n}) \boldsymbol{\omega}_{sn} \tag{6}$$

$$\boldsymbol{\omega}_{sn} = \boldsymbol{\omega}_{s,n-1} e^{-r_s \Delta \tau_{n-1}} + \boldsymbol{Q} \Delta \boldsymbol{\sigma}_{n-1} \varphi_s(\bar{\tau}_{n-1}) e^{-0.5 r_s \Delta \tau_{n-1}} \tag{7}$$

$$\boldsymbol{\omega}_{s1} = \boldsymbol{Q} \Delta \boldsymbol{\sigma}_0 \varphi_s(\tau_0) \tag{8}$$

式(4)~(8)中变量的含义详见文献[4]。在用有限元法分析混凝土结构时,不必记录应力历史,只需存储  $\boldsymbol{\omega}_{sn}$ ,从而有效节省了存储量。

除了由应力引起的弹性应变和徐变应变外,混凝土还会产生自生体积变形、温度变形和干缩变形。因此,复杂应力状态下的应力增量与应变增量的关系为

$$\Delta \boldsymbol{\sigma}_n = \bar{\boldsymbol{D}}_n (\Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n - \boldsymbol{\eta}_n - \Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^T - \Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^0 - \Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^s) \tag{9}$$

式中  $\bar{\boldsymbol{D}}_n$ ——弹性矩阵;  $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n$ ——应变增量列阵;  $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^T$ ——温度应变增量列阵;  $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^0$ ——自生体积应变增量列阵;  $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}_n^s$ ——干缩应变增量列阵。

$$\bar{\boldsymbol{D}}_n = \bar{\boldsymbol{E}}_n \boldsymbol{Q}^{-1} \tag{10}$$

$$\bar{\boldsymbol{E}}_n = \frac{E(\bar{\tau}_n)}{1 + E(\bar{\tau}_n) C(t_n, \bar{\tau}_n)} \tag{11}$$

式中  $\bar{\boldsymbol{E}}_n$  为等效弹性模量。

1.2 混凝土表面散热在等效热传导方程中的反映

式(3)从理论上解决了表面散热的影响,但因求解时涉及因素较多,当遇到复杂边界条件时,应用不大方便。为此,本文提出一种新的近似处理方法。该法可以较方便地解决上述问题。

任取一微元进行分析,若因混凝土表面散热使微元散热  $\Delta Q$ ,则其引起的温度变化为

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{c \rho \Delta V} \tag{12}$$

式中  $c$ ——混凝土热容;  $\rho$ ——混凝土密度;  $\Delta V$ ——微元体积。

从能量角度看,该温度变化与微元表面绝热而内部热汇吸收  $\Delta Q$  热量引起的温度变化是一样的。因此,有限元计算时可将混凝土表面与外界热量交换引起的单元热量变化纳入混凝土绝热温升,相当于将式(3)变为

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T + (T_0 - T_w) \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial (\theta_0 \psi + \xi)}{\partial t} \tag{13}$$

有限元计算时,按上述算法考虑边界散热影响的步骤如下:

- a. 不考虑外表面散热对水管冷却的影响,由式(2)得到计算点的有限元计算温度  $T_f$ ;
- b. 根据式(1),用解析法求当单元表面绝热时,水管冷却和绝热温升共同作用下的理论温度  $T_{an}$ ;
- c. 求两者的差值  $\Delta T = T_{an} - T_f$ ,该差值反映了外表面散热引起的混凝土温度变化;
- d. 将  $\Delta T$  纳入绝热温升,在下一增量步中一并考虑。

1.3 ABAQUS 的二次开发

ABAQUS 是美国 HKS 公司的软件产品,其本构模型库包含了土体、混凝土及流体的多种本构模型,在岩土工程领域应用广泛。ABAQUS 非常突出的优点是提供了大量 FORTRAN 版本的用户子程序接口,用户可利

用这些接口进行二次开发,实现各种复杂的应用功能.

大体积混凝土徐变温度应力计算的二次开发主要涉及3个子程序: FILM, HETVAL 和 UMAT. 其中: FILM 可用于模拟温度场计算时的第3类边界,包括温度骤降、拆模模拟等; HETVAL 可用于模拟混凝土水化热和水管冷却; UMAT 可用于定义应力与温度变形、自生体积变形、干缩以及徐变之间的关系. 另外,使用 ABAQUS 提供的“模型改变”(MODEL CHANGE)功能,很容易实现混凝土的分层浇筑. 因此,采用 ABAQUS 可以很方便地实现大体积混凝土徐变温度应力的计算.

#### 1.4 FILM 子程序结构与编程要点

FILM 子程序用于模拟温度场计算中的第3类边界. FILM 可定义随时间变化的参数,由此可模拟拆模、温度骤降、风速对参数的影响等与时间有关的复杂边界条件.

根据 ABAQUS 的约定,用户子程序体结构主要包括以下几个部分: ABAQUS 约定的子程序题名说明、ABAQUS 定义的参数说明表、开发者定义的局部变量说明表、开发者编写的程序代码段和结束语句等. 子程序结构如下:

```
SUBROUTINE FILM (H, SINK, TEMP, KSTEP, KINC, TIME, NOEL, NPT, COORDS, JLTYP, FIELD, NFIELD,
SNAME, NODE, AREA)
```

```
INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
```

```
DIMENSION H(2), TIME(2), COORDS(3), FIELD(NFIELD)
```

```
CHARACTER * 80 SNAME
```

开发者编写的程序代码段

```
END
```

在开发者编写的程序代码段,核心编程代码段应包括:(a)表面放热系数  $H(1)$  的定义. 用户可根据实际工程情况,定义  $H(1)$  与时间的关系,模拟拆模、风速变化等复杂边界条件.(b)外界温度 SINK 的定义. 用户可根据工程当地的气候条件,定义外界温度与时间的关系,实现温度骤降的模拟.

#### 1.5 HETVAL 子程序结构与编程要点

HETVAL 用于定义材料中热量生成与时间的关系,以及模拟混凝土水化热和水管冷却效果. 子程序结构如下:

```
SUBROUTINE HETVAL(CMNAME, TEMP, TIME, DTIME, STATEV, FLUX, PREDEF, DPRED)
```

```
INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
```

```
CHARACTER * 80 CMNAME
```

```
DIMENSION TEMP(2), STATEV(*), PREDEF(*),
```

```
TIME(2), FLUX(2), DPRED(*)
```

开发者编写的程序代码段

```
END
```

开发者编写的程序代码段,主要是定义生热率  $FLUX(1)$ ,即单位体积的材料在单位时间内产生的热量,如混凝土水化热. 冷却水管则可看成热汇,按照考虑水管冷却的等效热传导方程,在平均意义上考虑水管冷却的效果,详见 1.2.

#### 1.6 UMAT 子程序结构与编程要点

UMAT 用于定义材料本构关系. 这里用于定义徐变应力与热膨胀、自生体积变形、干缩及徐变之间的关系,即实现式(9). 该子程序是大体积混凝土徐变温度应力计算的关键部分. 子程序结构如下:

```
SUBROUTINE UMAT(STRESS, STATEV, DDSDE, SSE, SPD, SCD, RPL, DDSDDT, DRPLDE, DRPLDT, STRAN,
DSTRAN, TIME, DTIME, TEMP, DTEMP, PREDEF, DPRED, CMNAME, NDI, NSHR, NTENS, NSTATV, PROPS,
NPROPS, COORDS, DROT,
```

```
PNEWDT, CELENT, DFCGRD0, DFCGRD, NOEL, NPT, LAYER, KSPT, KSTEP, KINC)
```

```
INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
```

```
CHARACTER * 80 CMNAME
```

```
DIMENSION STRESS(NTENS), STATEV(NSTATV),
```

DDSDDT (NTENS), DRPLDE (NTENS), STRAN (NTENS), DSTRAN (NTENS), TIME (2), PREDEF (1), DPRED (1), PROPS (NPROPS), COORDS (3), DROT (3,3), DFGRD0 (3,3), DFGRD1 (3,3)

开发者编写的程序代码段

END

在开发者编写的程序代码段中,最重要的编程代码段应包括:

- a. 定义 Jacob 矩阵 DDSDE,即式(9)中的弹性矩阵.
- b. 根据上个增量步的  $\Delta\sigma_{n-1}$  和  $\omega_{s,n-1}$  等求  $\omega_{sn}$  和  $\eta_n$ ,根据温度增量、材料特性等求本增量步的  $\Delta\varepsilon_n^T$  和  $\Delta\varepsilon_n^0$ ,考虑混凝土干缩时还应计算出  $\Delta\varepsilon_n^s$ .由式(9)求出应力增量.这里,各变量含义详见文献[4].
- c. 将  $\omega_{sn}$  存储到状态变量 STATEV 中,供下一个增量步使用.

1.7 材料和施工信息向 ABAQUS 传递的方法

与其他类型的有限元计算相比,大体积混凝土徐变温度应力计算除了需对材料属性进行定义外,还需对许多施工信息,如各仓混凝土浇筑时间、浇筑温度,拆模时间,水管冷却水温、冷却持续时间,表面保温过程等进行定义.

当采用 ABAQUS 计算时,需要将上述信息传递给 ABAQUS 而且,由于信息较多,还存在一个科学管理的问题,也就是说,在编写 ABAQUS 的二次开发子程序时,材料信息和施工信息不应和核心代码程序混杂在一起.为此,本文采用如下方法:

- a. 在 FORTRAN 程序的 BLOCK DATA 中定义材料属性和施工信息.
- b. 利用 COMMON 语句将材料属性和施工信息传递到 ABAQUS 子程序中.
- c. 通过约定,将混凝土浇筑仓号和边界条件等信息隐含到 ABAQUS 子程序的材料名称和边界面,即 UMAT 和 HETVAL 子程序的 CMNAME 虚参以及 FILM 子程序的 SNAME 虚参中.
- d. ABAQUS 子程序根据材料名称和边界面检索施工信息.例如,约定第 1 仓上游面材料名称为 MAT\_001\_03,其中 001 为混凝土仓号,03 为材料类型,这样在 UMAT 和 HETVAL 子程序中就很容易检索对应的施工信息和材料信息.

上述方法可简称为“虚参约定法”,其关键是约定虚参形式.通过这种方法,可实现施工信息、材料信息与核心程序的分离,方便程序的调试和移植.

2 程序验证与分析

2.1 温度场计算验证与分析

取一个长×宽×高为 20 m×20 m×3 m 的混凝土块(图 1)进行分析.混凝土热扩散率  $a=0.10\text{ m}^2/\text{d}$ ,导热系数  $\lambda=226.1\text{ kJ}/(\text{m}\cdot\text{d}\cdot^\circ\text{C})$ ,绝热温升形式为  $\theta=25(1-e^{-0.315\tau})$ .混凝土内埋设 2 层冷却水管,冷却水管为正方形排列,间距 1.5 m,单根水管长度  $L=200\text{ m}$ .冷却水热容  $C_w=4.187\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ,密度  $\rho_w=1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ ,流量  $q_w=0.90\text{ m}^3/\text{h}$ .混凝土浇筑温度  $10^\circ\text{C}$ ;侧面和底面绝热,顶面可散热,外界温度  $10^\circ\text{C}$ ,表面放热系数  $1\,200\text{ kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot^\circ\text{C})$ .一期冷却浇筑完成后立即进行,历时 14 d,冷却水进口温度  $7^\circ\text{C}$ ;二期冷却浇筑后 60 d 开始,历时 30 d,冷却水进口温度  $15^\circ\text{C}$ .

计算程序采用 ABAQUS,其中水化热和水管冷却采用 HETVAL 用户子程序.图 2 为不同计算条件下混凝土浇筑块中心,即图 1 中 A 点的温度过程线.其中:曲线 a 为绝热温升曲线,反

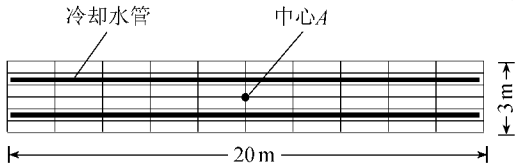


图 1 混凝土浇筑块和冷却水管

Fig.1 Concrete block and cooling water pipe

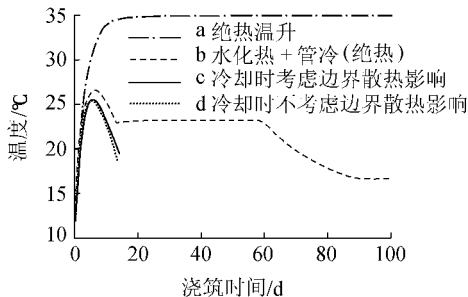


图 2 不同计算条件下混凝土浇筑块中心的温度过程线

Fig.2 Temperature history at the center of the concrete block under different conditions

映了浇筑块边界绝热、无水管冷却下 A 点温度随浇筑时间的变化情况,曲线 b 为水化热和一期、二期水管冷却作用下的温度曲线。

曲线 b 中龄期 14 d 之前的有限元解与准解析解的对比结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,两者计算结果非常接近,表明程序是正确的。

从图 2 可以看出:(a)在绝热温升条件下,因水化放热,混凝土浇筑后温度快速升高,14 d 左右已达到 34.69℃,接近最终温度 35℃。(b)当埋有冷却水管时,混凝土最高温度仅 26.50℃,对应龄期为 6.5 d,14 d 时温度已降到 22.47℃;二期冷却使温度进一步降到 16.61℃,可见水管冷却的效果非常明显。

为分析边界散热对冷却效果的影响,图 2 还分别给出了考虑与不考虑边界散热对水管冷却效果影响的温度变化过程。其中,曲线 c 为浇筑块边界散热且水管冷却时考虑边界散热对水管冷却效果影响的温度曲线,曲线 d 为浇筑块边界散热但水管冷却时不考虑边界散热对水管冷却效果影响的温度曲线。

从图 2 可以看出:若考虑边界散热对水管冷却效果的影响,一期冷却完成后,混凝土最高温度为 19.53℃;若不考虑边界散热对水管冷却效果的影响,一期冷却完成后,混凝土最高温度为 18.27℃,比前者低 1.26℃。因为外界温度低于混凝土内部温度,混凝土通过边界向外界散热,使得混凝土温度降低,若水管冷却时不考虑该效应,那么计算出的水管吸收的热量要大于实际吸收的热量,所以计算温度会偏低。可见,考虑边界散热对水管冷却效应的影响,计算结果更符合实际。

### 2.2 徐变应力计算验证与分析

以龚嘴重力坝基础部分混凝土徐变<sup>[2]</sup>为例进行验证。根据试验资料得出的徐变表达式和混凝土弹性模量表达式分别为

$$C(t,\tau)=(7.0+64.4\tau^{-0.45})[1-e^{-0.30(t-\tau)}]+(16.0+27.2\tau^{-0.45})[1-e^{-0.005(t-\tau)}]$$

(14)

$$E(\tau)=38\,500(1.0+e^{-0.402\tau^{0.335}})$$

(15)

式中  $C(t,\tau)$  和  $E(\tau)$  的单位分别为  $10^{-6}/\text{MPa}$  和  $\text{MPa}$ 。

取一轴向受单位应力的试件进行分析,计算程序为利用 UMAT 开发的弹性徐变本构模型,混凝土加载龄期分别为 3 d、7 d、28 d 和 90 d。由有限元法计算出应变,扣除加载的瞬时弹性应变后即得徐变值。徐变度的有限元计算值与式(14)理论值的对比见表 2。从表 2 可以看出,利用 UMAT 开发出的弹性徐变本构关系与理论值相当吻合,表明由 ABAQUS 开发出的徐变本构模型是正确的。

## 3 结 语

- a. 对 ABAQUS 软件进行二次开发后,可利用 ABAQUS 实现水管冷却、拆模、表面保温、温度骤降等复杂条件下大体积混凝土温度场与徐变温度应力的计算,并且这种方法开发代价小,程序维护也很方便。
- b. 采用本文提出的考虑边界散热对水管冷却效果影响的近似算法,计算结果更符合实际。
- c. 本文给出的“虚参约定法”,在 ABAQUS 二次开发时可实现施工信息、材料信息与核心程序的分离,方便程序的调试和移植。

表 1 温度有限元与解析解的对比

Table 1 Comparison of temperature computed by the FEM and analytical models

| 龄期/d | 温度/℃  |       | 相对误差/% |
|------|-------|-------|--------|
|      | 有限元解  | 准解析解  |        |
| 1    | 16.37 | 16.42 | -0.33  |
| 2    | 20.65 | 20.74 | -0.42  |
| 4    | 25.14 | 25.25 | -0.46  |
| 6    | 26.46 | 26.57 | -0.43  |
| 8    | 26.20 | 26.30 | -0.38  |
| 10   | 25.19 | 25.28 | -0.32  |
| 12   | 23.87 | 23.94 | -0.26  |
| 14   | 22.47 | 22.51 | -0.19  |

表 2 徐变度有限元计算结果与理论值的对比

Table 2 Comparison of creep degree computed by the FEM and analytical models

| 解法  | $\tau/\text{d}$ | $t-\tau$ |      |      |      |       |
|-----|-----------------|----------|------|------|------|-------|
|     |                 | 3 d      | 7 d  | 28 d | 90 d | 360 d |
| 有限元 | 3               | 2.79     | 4.17 | 5.05 | 5.81 | 7.35  |
| 理论解 | 3               | 2.79     | 4.17 | 5.05 | 5.81 | 7.35  |
| 有限元 | 7               | 2.05     | 3.06 | 3.75 | 4.38 | 5.66  |
| 理论解 | 7               | 2.05     | 3.06 | 3.75 | 4.38 | 5.67  |
| 有限元 | 28              | 1.30     | 1.95 | 2.43 | 2.94 | 3.98  |
| 理论解 | 28              | 1.30     | 1.95 | 2.43 | 2.94 | 3.99  |
| 有限元 | 90              | 0.95     | 1.42 | 1.80 | 2.26 | 3.19  |
| 理论解 | 90              | 0.95     | 1.42 | 1.80 | 2.26 | 3.19  |

参考文献：

[1] 朱伯芳.考虑水管冷却的等效热传导方程[J].水利学报,1991(3) 28-34.  
[2] 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.  
[3] 朱伯芳.考虑外界温度影响的水管冷却等效热传导方程[J].水利学报,2003(3) 49-54.  
[4] 朱伯芳.混凝土徐变应力分析的隐式解法[J].水利学报,1983(5) 40-46.  
[5] 刘宁,刘光廷.水管冷却效应的有限元子结构模拟技术[J].水利学报,1997(12) 43-49.  
[6] 朱岳明.混凝土水管冷却温度场的计算方法[J].长江科学院院报,2003,20(4) 19-22.  
[7] 麦家煊.水管冷却理论解与有限元结合的计算方法[J].水力发电学报,1998(4) 31-41.  
[8] 张子明,宋智通,黄海燕.混凝土绝热温升和热传导方程的新理论[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(3) 1-6.  
[9] 王勖成.有限单元法[M].北京:清华大学出版社,2003.  
[10] 刘有志,朱岳明,刘桂友,等.周公宅拱坝混凝土温控防裂水管冷却效果研究[J].水利水电科技进展,2006,26(2) 44-48.

Application of ABAQUS to calculation of creep thermal stress of mass concrete

WANG Jian<sup>1</sup>, LIU Ai-long<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;  
2. Northwest Investigation Design and Research Institute, Xi 'an 710065 ; China)

**Abstract** : A constitutive model of elastic creep and an equivalent algorithm considering the influence of surface heat dissipation on pipe cooling in mass concrete were developed using the user subroutines in ABAQUS, and the redeveloped user subroutines were tested. The results show that it is feasible and convenient to calculate the creep thermal stress of mass concrete using ABAQUS, so the application scope of this software can be widened.

**Key words** : ABAQUS ; secondary development ; mass concrete ; creep ; thermal stress

·简讯·

水库大坝安全管理国际研讨会将在南京召开

由水利部主办、河海大学协办、南京水利科学研究院承办的水库大坝安全管理国际研讨会将于 2008 年 10 月在江苏省南京市召开.本次会议的主要议题是:大坝病险与除险加固;大坝风险评价和风险管理;大坝应急预案与运行管理;水库大坝降等报废与拆坝;小型水库大坝安全;大坝安全管理法规与标准;大坝安全信息化与预测预报预警;水库洪水预报调度及资源利用;大坝与生态.

有关会议详情,可访问 <http://www.ches.org.cn/chesnews/newsview.asp?s=3079>.

(本刊编辑部供稿)