

# 南水北调滏阳河渡槽混凝土夏季施工的三维仿真分析

宋慈勇,高学春

(中国水利水电第十三工程局有限公司,天津 300384)

**摘要:**南水北调滏阳河渡槽为4跨筒支梁预应力混凝土结构,夏季施工在早期温升和温降阶段产生温度和收缩裂缝,极易造成混凝土开裂,从而影响预应力混凝土渡槽结构安全性和使用寿命.本文开展温度场仿真分析,表明综合温控措施下混凝土最大抗拉强度远小于混凝土设计抗拉强度,开裂风险低;并建议从混凝土入仓前准备、浇筑过程和浇筑完成三个阶段开展施工温度综合控制,实现混凝土综合抗裂,以确保工程的建设质量、安全性和使用寿命.

**关键词:**开裂控制;温度应力;预应力渡槽;夏季施工

**中图分类号:**TV672+.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2017)06-0421-05

## 1 工程概况

南水北调滏阳河渡槽位于河北省磁县,槽身段桩号为15+751~15+871,纵向为4跨筒支梁预应力混凝土结构,单跨长30.00 m,合计共120.00 m.槽身横断面为3槽一联矩形槽,净宽7.00 m×3槽,渡槽总宽25.50 m(见图1~2).渡槽采用C50W8F200高性能混凝土,属水工薄壁混凝土结构,据以往同类工程的经验,主梁和上部墙体等结构部分容易在早期温升和温降阶段产生温度和收缩裂缝<sup>[1]</sup>,特别是结构长度方向的中间部位易出现“上不着顶、下不着底”、“中间宽、两端尖”的“枣核形”竖直型斜缝,甚至有时会出现多条裂缝<sup>[1-4]</sup>,成为工程业主、设计和施工人员在工程建设前特别关注的问题.7月份施工区域温度高达26.5℃,最终绝热温升值预计达59.9℃,且在龄期4 d时即完成95%左右<sup>[5]</sup>.在高温季节开展高强混凝土施工,极易造成混凝土开裂,从而影响预应力混凝土渡槽结构安全性和使用寿命.因此模拟高温环境,开展三维有限元仿真分析,明确温度控制重点,以确保工程的建设质量、安全性和使用寿命.

## 2 温度综合控制措施

### 2.1 仿真计算原理

仿真分析采用不稳定温度应力场计算理论<sup>[5]</sup>,因考虑水管冷却降温作用,水管冷却空间温度场计算用朱

岳明教授提出的计算方法<sup>[6]</sup>.计算参数选取上,环境温度根据磁县地面气象观测站资料拟合得到,混凝土导热系数 $\alpha$ 、导热系数 $\lambda$ 、比热 $c$ 、热膨胀系数 $\alpha$ 根据混凝土实际施工配合比计算获得<sup>[7]</sup>.经离散后的有限单元网格见图3.

在温度场仿真计算时假定计算域重力墩基础底面及四周、计算域对称面均为绝热边界,其它面为热量交换边界.在应力场仿真计算边界条件参照相关文献<sup>[8-9]</sup>.为便于分析,特征点见图4和图5.

### 2.2 计算结果分析

7月浇筑温度控制在26℃以内,施工间歇期15d,采用通水及表面保温措施.水管布置见图3.结合水管位置和施工时段,具体通水流速和流量均有不同<sup>[10-11]</sup>.

(1)主梁.主梁混凝土T1和T2特征点温度计算结果过程线见图6,应力历程见图7.混凝土浇筑后2~3 d达到最高温度65℃,位于主梁端部中间无水管区,此时水管管壁温度约45℃左右,管与管之间混凝土的温度大约54℃,主梁内部和表面在达到最高温度时的内外温差是5.5℃左右,由于水温根据温度变化趋势不断调整,因此大约10 d左右,混凝土温度就和环境温度趋于一致.应力场变化相对复杂.从图7可见主梁早期表面表现为拉应力,内部表现为压应力,在温度达到最大值时,表面拉应力达到最大值1.0 MPa,内部压应力0.5 MPa,小于混凝土允许抗拉强度<sup>[12]</sup>;管壁应力约0.5 MPa.随着温度的降低,内部温降幅度大于表面温降幅度,表面拉应力逐渐减小,内部压应力也逐渐减

小,温度降到一定程度后,结构整体收缩变为主导,整个结构断面都表现为拉应力,和大体积混凝土后期内拉外

压应力分布有所不同<sup>[1,2]</sup>。

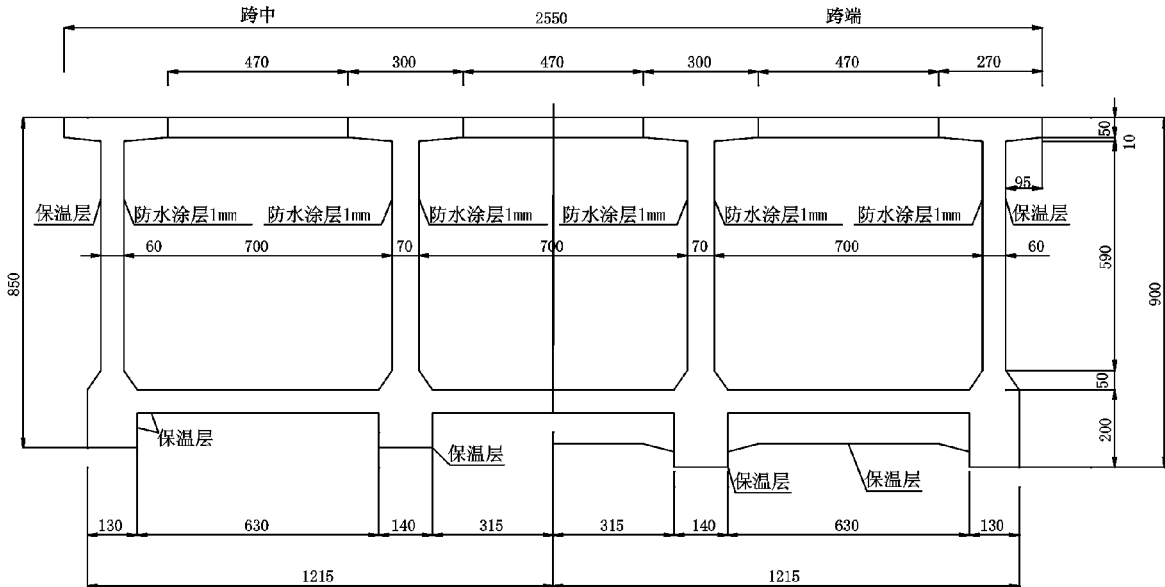


图1 渡槽横断面图

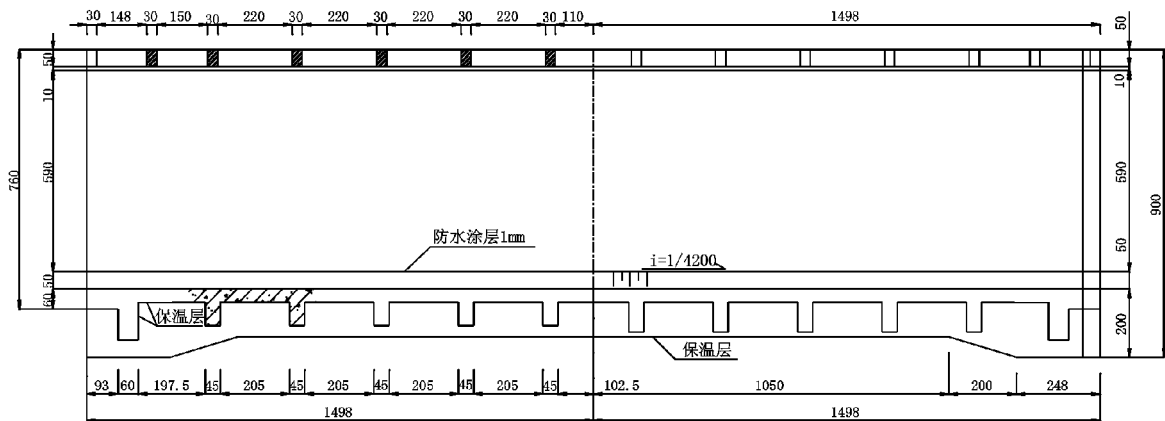


图2 渡槽纵断面图

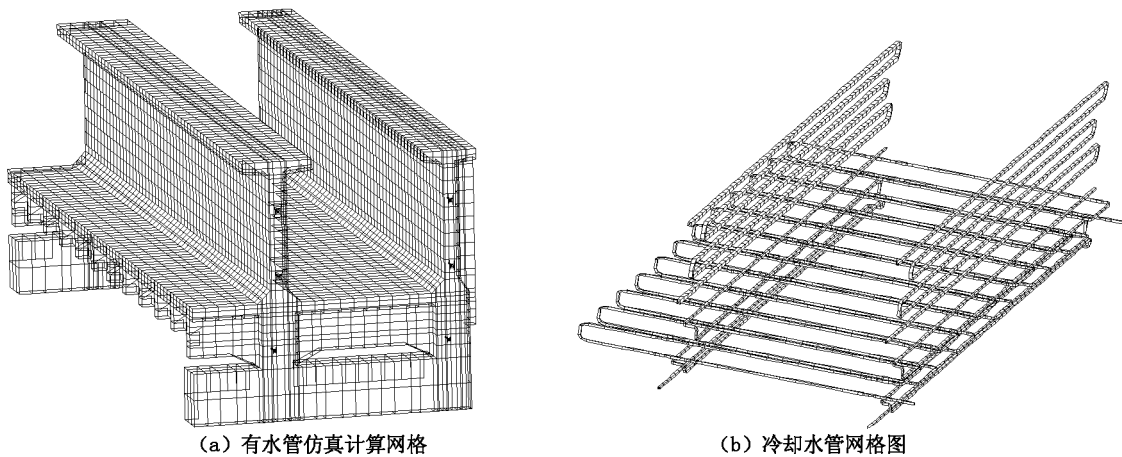


图3 有限元仿真计算网格

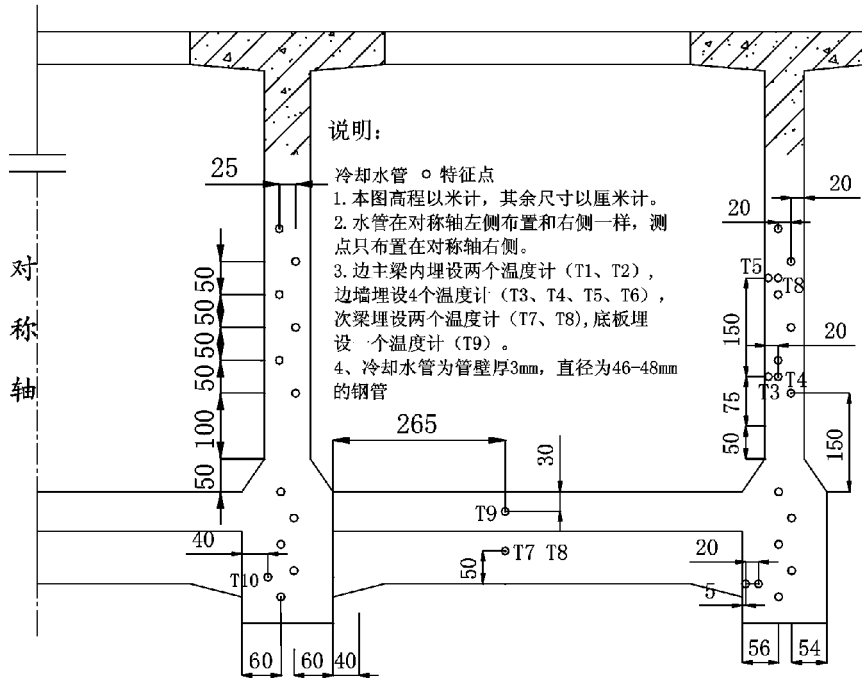


图 4 水管、测点布置图横剖面

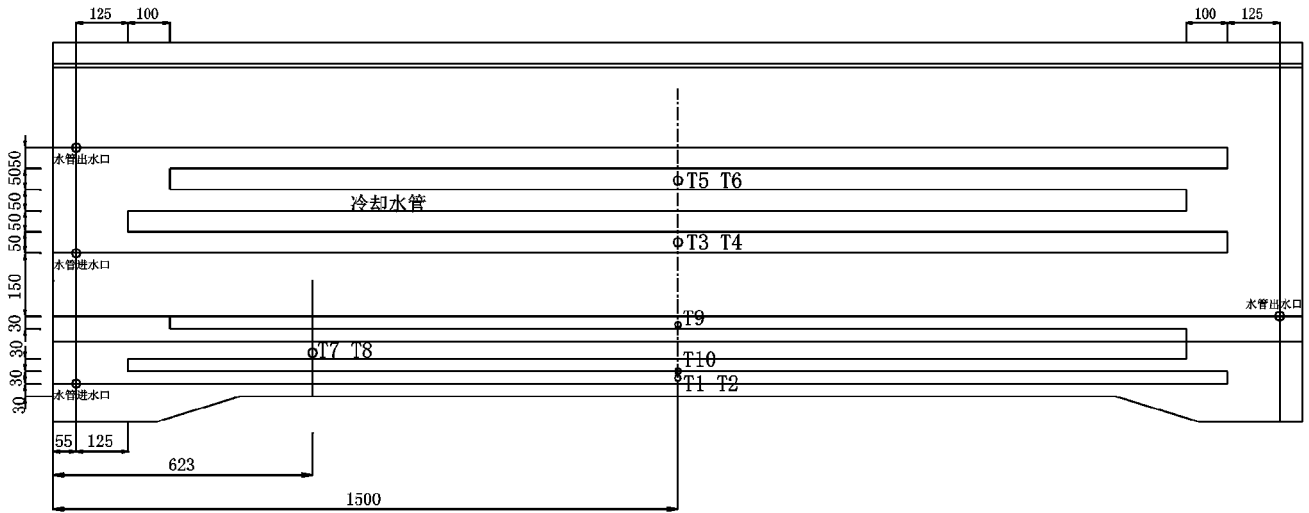


图 5 水管、测点布置图纵剖面

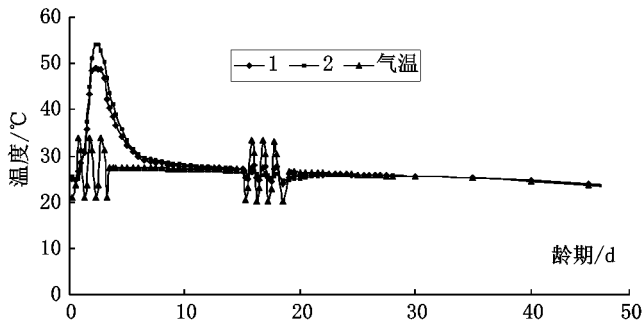


图 6 主梁内外温度历时曲线

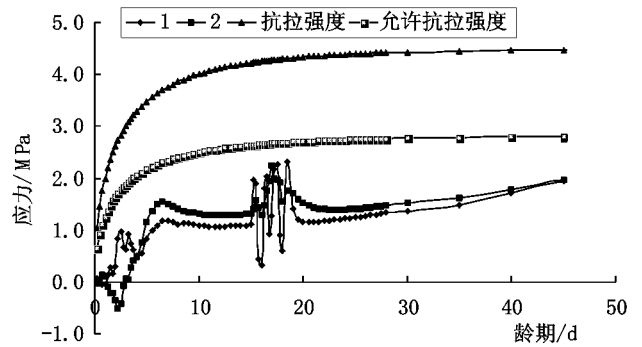


图 7 主梁内外应力历时曲线

(2)边墙和中隔墙。上部墙体由于较薄且又表面保温和内部降温,T3和T4特征点温度历程曲线见图8,应力历程曲线见图9。上部墙体最高温度 $60^{\circ}\text{C}$ ,位于墙体端部中间,管壁温度 $42^{\circ}\text{C}$ ,上下两层水管之间混凝土约 $50^{\circ}\text{C}$ ;但墙体内外温差不大,约 $1.5^{\circ}\text{C}$ ;间隙15d浇筑墙体第二层,此时第一层混凝土温度接近环境温度,第二层墙体结构厚度较小,散热条件相对较好。早期墙体内部水管区在浇筑后2.25d左右温度达到峰值 $50^{\circ}\text{C}$ ,非水管区2d左右达到最高温度 $56.9^{\circ}\text{C}$ 。在表面

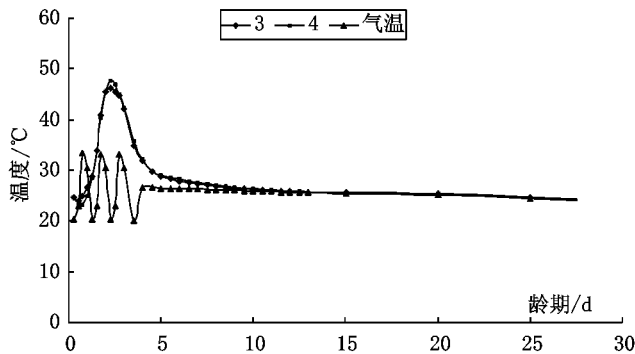


图7 墙体底部内外温度历时曲线

保温和内部水管降温双重作用下,墙体混凝土内外温差并不大。后期在水管停水时,混凝土温度基本和环境温度一致,和环境温度同步变化。表面保温措施可以减小气温变化(如昼夜温差、寒潮等)对混凝土表面温度的影响。墙体由于内外温差很小,墙体中部和底部表面点和内部点早期应力都较小,随着温度降低,拉应力逐渐变大,到温度降到最低时拉应力达到最大值,但是总体应力不足 $0.7\text{MPa}$ ,且远小于混凝土允许抗拉强度<sup>[12]</sup>,混凝土开裂风险很低。

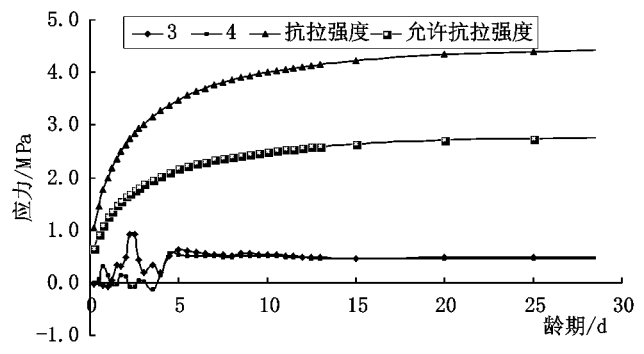


图8 墙体底部内外应力历时曲线

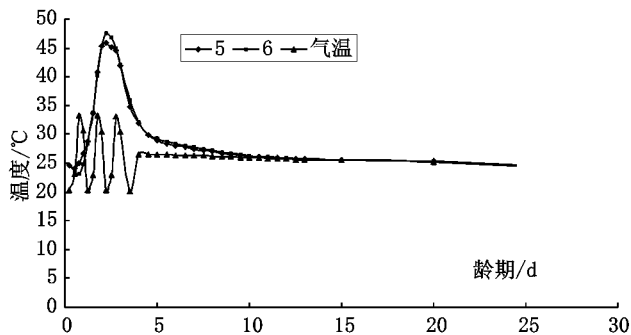


图9 墙体中部内外温度历时曲线

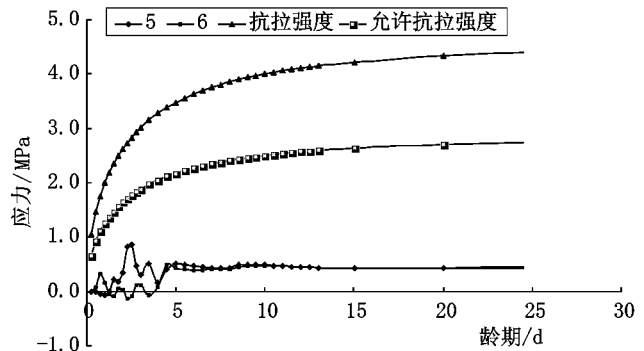


图10 墙体中部内外应力历时曲线

(3)次梁和底板。次梁最高温度 $50^{\circ}\text{C}$ ,次梁由于厚度薄( $0.5\text{m}$ ),且有表面保温和内部降温,内部点表现为比表面点温度低,高约 $1.6^{\circ}\text{C}$ 左右,形成内外倒温差,见图11,峰值温度分别为 $43.8^{\circ}\text{C}$ 和 $41.7^{\circ}\text{C}$ ,相应底板特征点9温度为 $54.7^{\circ}\text{C}$ ,相对较薄的次梁内温度升值相比要大。应力靠近次梁底面部位的早期应力最大值为 $1.32\text{MPa}$ ,远小于允许抗拉强度<sup>[12]</sup>,混凝土开裂风险很低。

由上述计算和分析可知,在高温季节7月份浇筑混凝土,只要表面保温措施得当,内部冷却水管通水方式合理,夏季完全可以满足施工要求,防止施工期裂缝的产生。

### 3 结论与建议

(1)基于不稳定温度应力场计算理论,考虑水管冷却降温作用,和基于水化度的混凝土温度与应力计算理论与模型,考虑水化反应本身对混凝土绝热温升、导热系数、弹性模量、自生体积变形的影响,对濠阳河预应力渡槽温度应力场进行了仿真分析,结果表明在拟定的施工控制措施下,计算得到的混凝土最大抗拉拉应力远小于抗拉强度设计值,可以满足夏季施工,混凝土开裂风险低。

(2)鉴于混凝土防裂和温度控制的复杂性,实际施

工中尚需要通过综合控制手段达到防止混凝土开裂目的,并从混凝土入仓前准备、浇筑过程和浇筑完成三个

时段综合控制混凝土温度。

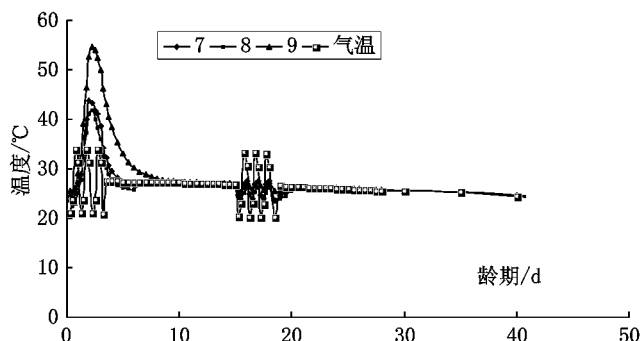


图11 次梁和底板温度历时曲线

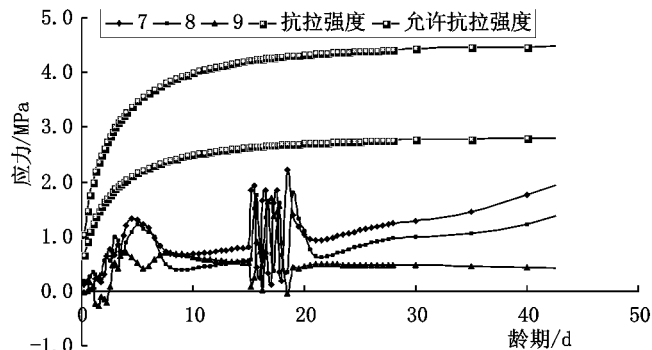


图12 次梁和底板应力历时曲线

#### 参考文献:

- [1] 朱岳明,黎军,刘勇军.石梁河新建泄洪闸闸墩裂缝成因分析[J].红水河,2002(2):44~47,61.
- [2] 朱岳明,贺金仁,刘勇军.龙滩高碾压混凝土重力坝夏季不同浇筑温度的温控防裂研究[J].水力发电,2002(11):32~37.
- [3] 曹为民,谢先坤,朱岳明.过渡单元和层合单元在混凝土三维温度场仿真计算中的应用[J].水利水电技术,2002(4):1~4.
- [4] 刘勇军,朱岳明,等.温度问题现场反分析及施工反馈模式[J].河海大学学报(自然科学版),2003(5):530~533.
- [5] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].中国电力出版社,1999,3.
- [6] 朱岳明,张建斌.碾压混凝土坝高温期连续施工采用冷却水管进行温控的研究[J].水利学报,2002(11):55~59.

- [7] 宋慈勇.滏阳河渡槽温控防裂技术研究[R].中国水利水电第十三工程局有限公司,2011.5:1~50.
- [8] 王永军.漕河渡槽工程混凝土裂缝机理和施工防裂措施研究[D].西安:西安理工大学,2012.
- [9] 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,2002.5,30(3):1~6.
- [10] 潘茜.水管冷却对渡槽温度应力的影响研究[D].郑州:华北水利水电大学,2013.
- [11] 冯国一.大型预应力渡槽施工期温控防裂措施研究[J].南水北调与水利科技,2009(1):11~13.
- [12] 中华人民共和国水利部,水工混凝土结构设计规范(SL191-2008)[S].北京:中国水利水电出版社,2009.2.

编辑:张绍付

## 3D Finite element method analysis of Fuyang River aqueduct in summer construction

SONG Ciyong, GAO Xuechun

(Sinohydro Tianjin Engineering Co. Ltd, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** The Fuyang River aqueduct is 4 span simply supported pre-stressed concrete structure, and constructed in the early summer, temperature and shrinkage cracks was appeared due to the temperature rising and dropping in early age, and the safety, durability, and service ability of aqueduct structure were affected, and the comprehensive cracking control methods are essential to carried out. temperature and stress distribution were analyzed, and comprehensive temperature control measures were adopted during the construction, it is indicated that the maximum tensile strength is far less than the design tensile strength of concrete and engineering construction quality is ensured during construction.

**Key words:** Cracking control; Temperature stress; Prestressed river aqueduct; Summer construction

翻译:宋慈勇