



混凝土大坝施工期环境气温影响下的温度应力

李彤 韩绪博

(水利部建设管理与质量安全中心, 北京 100038)

【摘要】 本文针对大体积混凝土施工期受气温影响易产生裂缝问题,介绍了混凝土结构的环境气温影响机理,认定环境气温变化是导致混凝土裂缝产生的主要原因,掌握和预测混凝土应力状况,采取实时合理的针对性保温措施是防止裂缝产生的重要措施。以实际工程的两个坝段为例,借助三维有限元单元法,通过仿真计算模拟混凝土在过去一周和未来一周内大坝的温度和应力情况,为工程温控防裂提供决策支持。该方法和结论可以为类似工程建设提供重要参考。

【关键词】 混凝土; 大坝; 温控防裂; 天气预报; 仿真计算

中图分类号: TV315

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)03-0022-05

Temperature stress during concrete dam construction period under the influence of ambient temperature

LI Tong, HAN Xubo

(Ministry of Water Resources Construction Management and Quality Security Center, Beijing 100038, China)

Abstract: In the paper, environment temperature influence mechanisms of concrete structures are introduced aiming at the cracking problems taking place easily due to the ambient temperature influence during large mass concrete construction period. It is recognized that environment temperature change is an important reason of causing concrete cracks. Concrete stress condition should be mastered and predicted. Real-time and rational targeted heat insulation measures are important measures, which should be adopted to prevent cracks. Two dam sections in practical engineering are adopted as examples. Three-dimensional finite element unit method is applied. The dam temperature and stress condition of concrete in the past week and one future week can be simulated through simulation calculation, thereby providing decision-making support for engineering temperature control and crack prevention. The method and conclusion can provide important reference for constructing similar projects.

Key words: concrete; dam; temperature control and crack prevention; weather forecast; simulation calculation

1 前言

随着社会的发展,清洁能源越来越受到重视,中国西南地区水资源丰富,水电工程越来越受到青睐。大坝属大体积混凝土结构,在施工前或者运行期由于多

种原因,容易产生裂缝^[1-5],威胁其结构的耐久性和稳定性,影响工程的安全性。工程经验表明,裂缝的影响因素很多,形成机理非常复杂^[6-8],而环境气温是影响混凝土安全的重要因素。环境气温高,混凝土温度就高,环境温度低,混凝土温度就低,随着环境气温的周

期性变化,混凝土温度也会出现周期性变化。混凝土温度变化,将导致温度应力的产生,当应力超过混凝土强度时,裂缝就会产生。

工程中,为了解环境气温的影响程度,进行仿真计算、研究实际环境气温条件下的混凝土温度和应力情况^[9],掌握工程的安全性,进一步预测混凝土的温度和应力,在天气预报信息基础上,对混凝土温度和应力进行预测,为后续施工提供决策支持,其成为一个不可或缺的途径。针对这一问题,本文以溪洛渡水电站为依据,对新浇筑两个坝段中的两仓混凝土仿真计算,得出过去一周和未来一周内大坝的温度和应力情况,为工程温控防裂提供决策支持,服务工程建设。

2 混凝土结构的环境气温影响机理

混凝土结构在外界环境影响下,会产生较大的影响,尤其是混凝土表面。环境气温升高,混凝土膨胀,环境气温降低,混凝土收缩变形,当收缩变形受到地基约束或者周围结构的约束时,产生拉应力,易导致裂缝产生。工程经验表明,寒潮、昼夜温差、蓄水冷击等短周期气温变化将导致结构产生较大的温度应力,是裂缝产生的重要因素。

针对裂缝产生的原因,工程上一般采用保温的方式予以解决,即削弱环境气温对混凝土表面的影响程度。但采用的保温力度或保温材料的厚度,一般需通过仿真计算和工程经验来确定,仿真计算需要以当地气候条件作为边界条件,包括当地的昼夜温差和气温骤降等信息。

3 大坝施工期环境气温的影响分析

3.1 工程概况

金沙江下游溪洛渡水电站,总装机容量为 1260 万 kW,年发电量位居世界第三,为 571.2 亿 kW·h,是中国第二大水电站。水电站枢纽由拦河坝、泄洪、引水、发电等建筑物组成。拦河坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程 610.00m,最大坝高 278m,坝顶中心线弧长 698.09m。水库正常蓄水位 600.00m,死水位 540.00m,

水库总容量 126.7 亿 m³。

拱坝坝高 278m,为抛物线双曲拱坝,拱顶弧长 698.07m,拱冠底部厚 69.0m,坝体混凝土 685.6 万 m³,工程规模和工程量十分巨大。混凝土方量大、坝底厚、岸坡陡峻,使坝体的温度控制问题较为突出。

3.2 12 号坝段混凝土施工期温度应力分析

3.2.1 计算模型

根据大坝实际情况,建立 12 号坝段仿真计算模型,计算模型单元总数 83922,节点总数 99738,厚度方向 0.1~0.5m 一层,满足浇筑层需要。大坝上下游面在蓄水前为气温边界条件,蓄水后为水温边界条件;地基地面为三向约束,四周为法向约束。图 1 为 12 号坝段三维有限元计算模型。

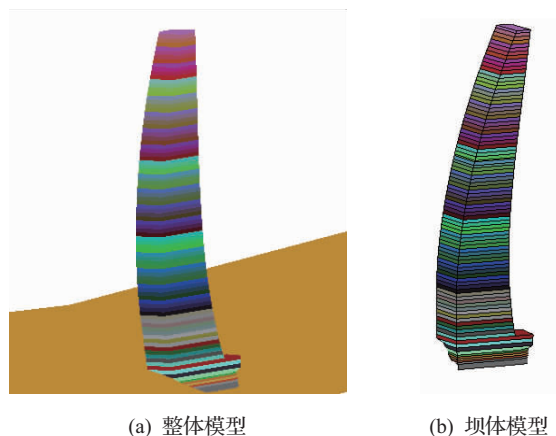


图 1 12 号坝段三维有限元计算模型

3.2.2 施工期温度应力仿真分析

仿真反馈计算本周、预报下周温度应力时,模拟了 12 号坝段的施工期浇筑过程。

12 号坝段自 2009 年 9 月 15 日 15:00 开始浇筑至 2010 年 5 月 16 日已浇了 12 仓混凝土(高程为 335.00~364.80m)。2010 年 5 月 10—16 日,12 号坝段仅浇筑 1 仓混凝土。浇筑期间,最高气温 28.8℃,最低气温 15.1℃,昼夜温差在 5.5~11.8℃ 之间。模拟气温特点,从计算的温度和应力发展过程来看,混凝土计算最高温度能满足温控技术要求,均小于 27℃,最大应力出现在和基岩接触的混凝土部位,且发生在通水冷却末期。



如图2所示,该仓混凝土浇筑完后的几天内短期温度变化较为频繁,混凝土仓面不断受到温降冷击作用,至5月1日前后,虽然不考虑温降冷击时的应力

仍为压应力,但叠加温降冷击后的应力已达到临界值,开裂风险较大。

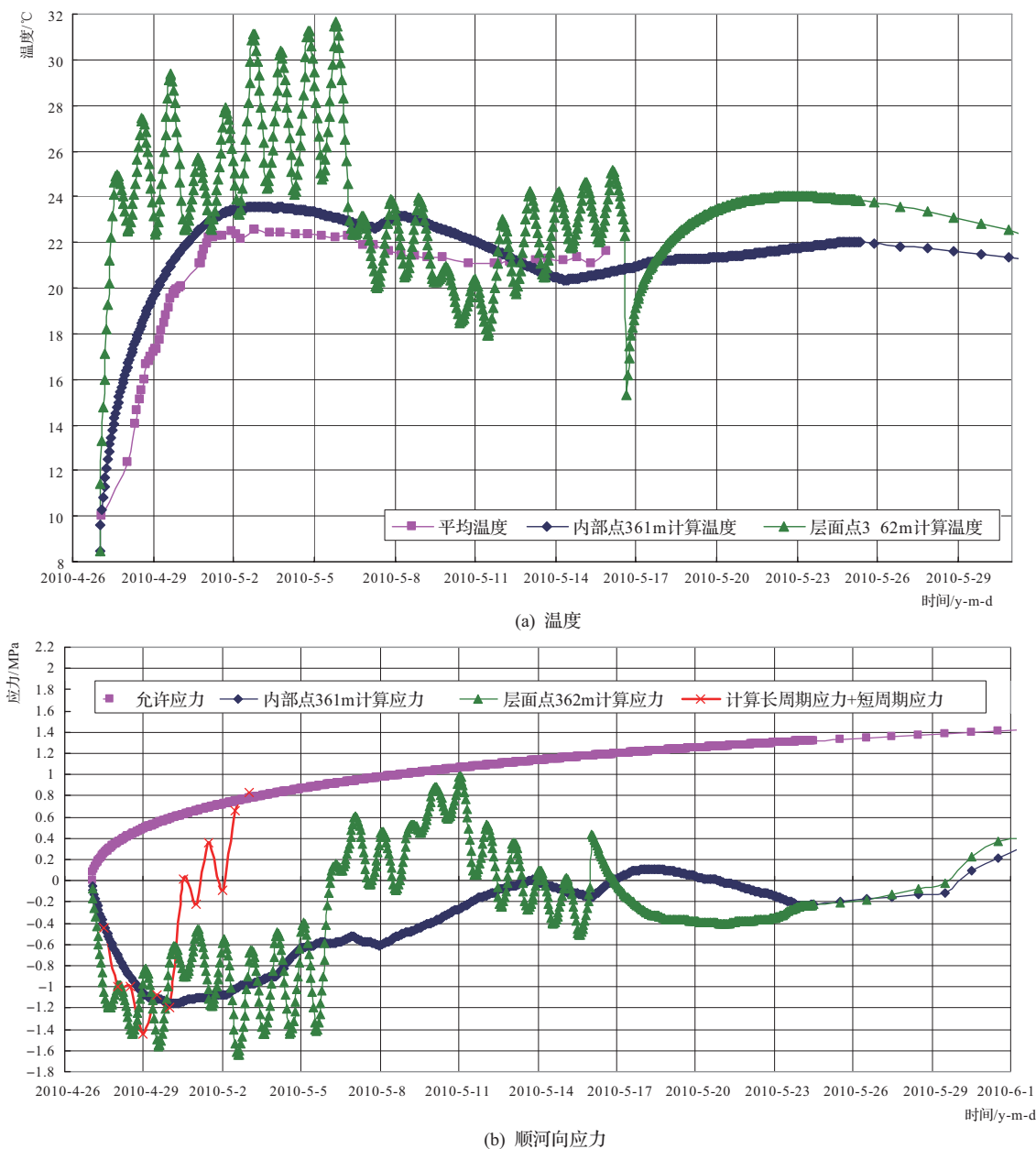


图2 大坝典型位置温度及顺河向应力过程线

此外,5月5—7日36h内气温变幅近 22°C ,由此带来的表面应力增幅近 2MPa 。由于该仓混凝土早期压应力储备较大,因而温降后拉应力仅为 0.56MPa ,小于该龄期的容许应力,但即便如此,开裂风险仍然不容忽视。仓面间歇时间较长时,需要做好表面保温工作。5月11日左右混凝土层面的拉应力达到 1.0MPa ,安全

系数略大于1.8,开裂风险仍然存在。

3.2.3 温度和应力预报结果分析

根据气象预报资料,计算在预报气温资料前提下,大坝的温度和应力状况。2010年5月17—23日施工现场最高气温在 31°C 左右,最低气温大约在 18°C 左右,昼夜温差约 $7\sim 11^{\circ}\text{C}$ 。如图2所示,由于12号—12仓混

凝土龄期尚小,基本处于升温阶段,但随着温度下降,压应力不断减小,自22日混凝土出现较小的拉应力。

3.3 17号坝段混凝土施工期温度应力分析

3.3.1 计算模型

根据大坝实际情况,建立17号坝段仿真计算模型,计算模型单元总数94982,节点总数106738,厚度方向0.05~0.5m一层,满足浇筑层需要。大坝上下游面在蓄水前为气温边界条件,蓄水后为水温边界条件;地基地面为三向约束,四周为法向约束。图3为17号坝段三维有限元计算模型示意图。

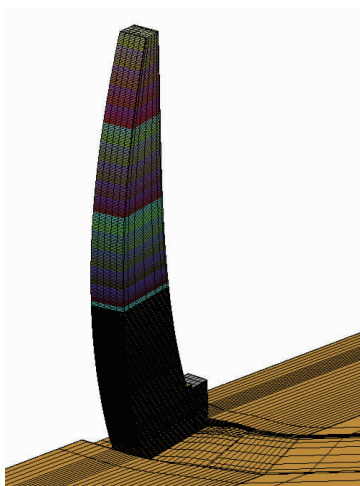


图3 17号坝段三维有限元计算模型示意图

3.3.2 施工期温度应力仿真分析

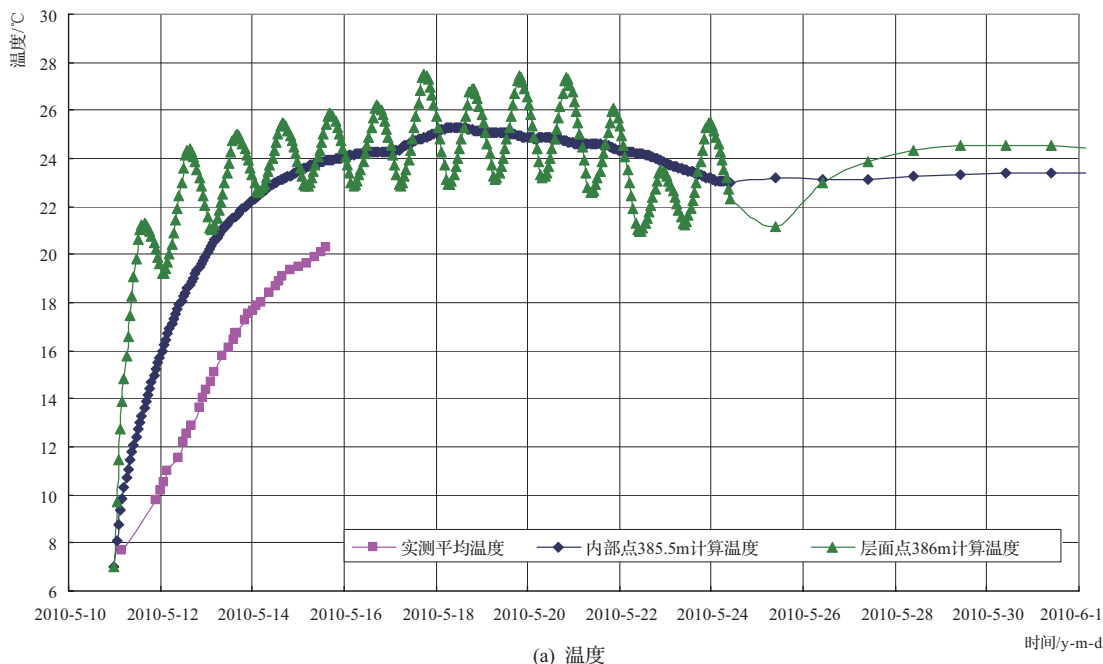
仿真反馈本周、预报下周温度应力时,模拟17号坝段的施工期浇筑过程。

17号坝段自2009年4月16日02:46开始浇筑至2010年5月16日已浇了26仓混凝土(高程为324.50~386.00m)。2010年5月10—16日,17号坝段仅浇筑一仓混凝土。夏季浇筑混凝土仓面在无保护或保护不当的情况下,最高温度能达到30℃,其他部位混凝土最高温度能满足温控技术要求,均控制在27℃以内。最大应力出现在强约束区336.00~339.50m高程附近,339.50m高程有近2个月的长间歇,层面温度及应力变化梯度较大,顺河向应力的安全系数小于1.8。

本周17号—26仓混凝土自2010年5月11日浇筑,龄期近6d,混凝土处于升温阶段,在逐日气温影响下,混凝土的压应力变化幅度在0.3MPa左右,压应力总体趋势为缓慢减少(见图4),从长周期应力过程看,开裂风险不大。

3.3.3 温度和应力预报结果分析

根据气象预报资料,计算在预报气温前提下,大坝的温度和应力状况。2010年5月17—23日施工现场最高气温在31℃左右,最低气温在18℃左右,昼夜温差约7~11℃。



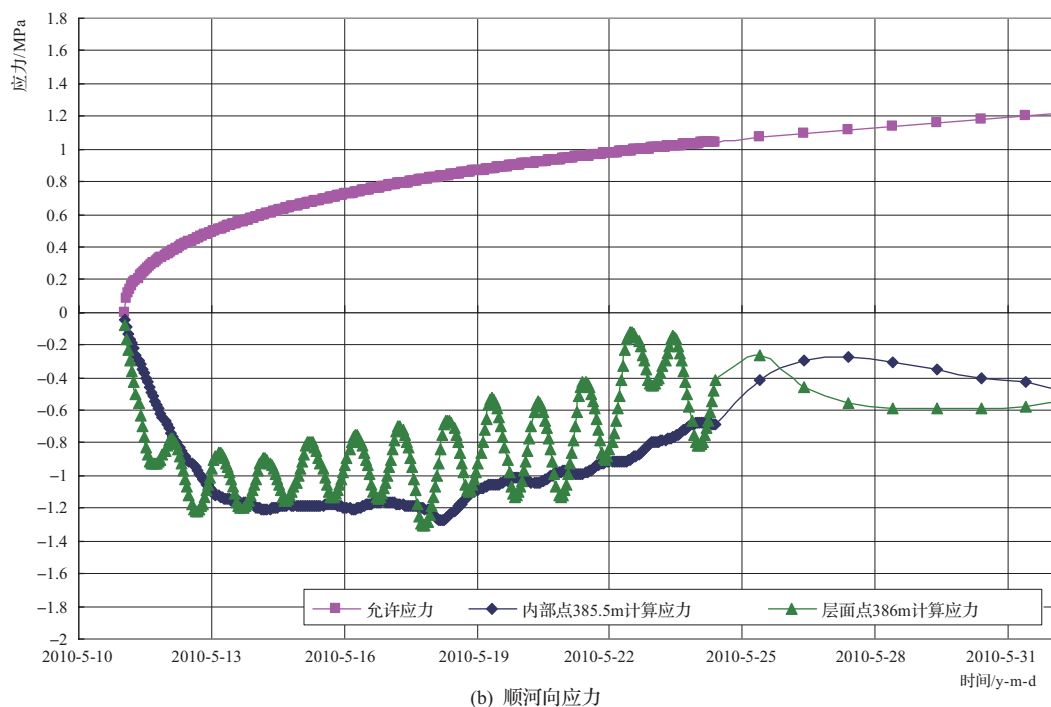


图4 17号—26仓典型位置温度及顺河向应力过程线

17号坝段未来一周只有17号—26仓间歇,如图4所示,未来一周温度将呈现缓慢下降趋势,压应力水平不断减小,自22日左右混凝土压应力减小至 -0.13MPa 。

如图5所示,典型时刻不考虑昼夜温差温度应力,

上游、下游表面主要以压应力或者微拉应力为主,仓面主要为压应力,下部339.00m高程区域出现长间歇。总体而言,在不考虑短周期温度骤降或昼夜温差的前提下,上游和下游表面、仓面和内部应力满足抗裂要求。

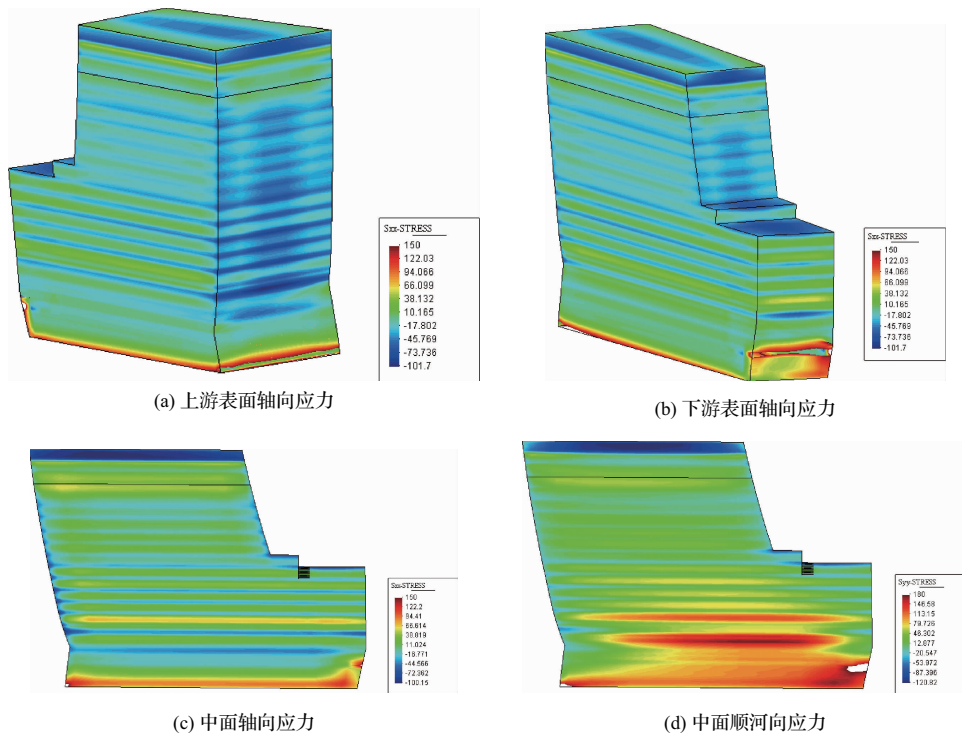


图5 5月16日上游、中游和下游表面应力

(下转第6页)



6 施工注意事项

若环境温度小于 5°C ,采取加温、保温措施,方可施工;工业酒精、结构胶应密闭储存,远离火源,工作场地严禁烟火;碳纤维布为导电材料,应尽量远离电器设备及电源;WSX浸渍胶要涂刷厚些,专用滚筒或刮刀碾压时要始终保持一个方向,使黏结料充分渗透碳纤维;配置及使用黏结剂必须通风良好,做好防护;碳纤

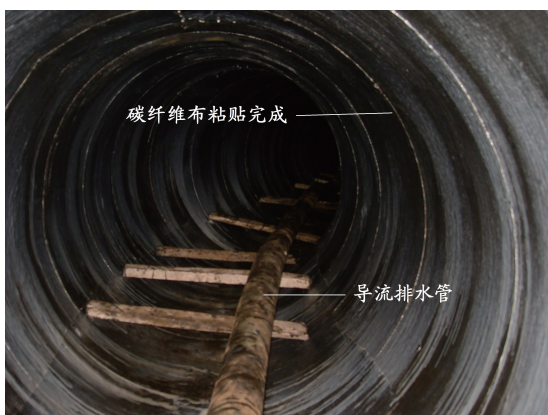


图4 三道河水库低输水隧洞加固效果

(上接第26页)

4 结 语

a. 大体积混凝土结构容易产生表面裂缝,而环境气温的变化是导致裂缝产生的主要原因,本文对混凝土结构的环境气温影响机理等方面进行了探讨,认为防止它们出现有效的措施之一是准确掌握环境气温影响下的混凝土温度和应力情况,进而制定实时合理的防裂措施,指导施工。

b. 12号坝段的仿真计算结果表明,混凝土最高温度能满足温控技术要求,均小于 27°C ,寒潮温降使混凝土层面的拉应力达到 1.0MPa ,接近临界值,存在较大风险,仓面需做好保温措施。

c. 17号坝段的仿真计算结果表明,在目前气温相对较高的季节(5月),如果仅考虑长周期应力,早龄期混凝土大部分处于温升阶段,主要以压应力为主,开裂风险不大,但如果叠加17日出现的 11°C 昼夜温差应力,则仓面应力出现超标现象,有开裂风险存在,需做好必要的保温措施。◆

维布粘贴后,严禁进行敲击、焊接、开孔等;施工中做好隧洞内通风、照明及防毒面具的佩戴等防护工作。

7 结 语

碳纤维布在三道河水库低输水隧洞补强加固工程中的应用表明:碳纤维布补强加固技术,衬管受力性能得到增强;施工便捷,工期短;节省工程投资。工程完工后运行4年来,未发现渗漏现象,值得借鉴与推广。◆

参考文献

- [1] 李涛,陈来发,上官江,等. 碳纤维布在青山水库引水隧洞加固中的应用[J]. 人民长江,2011(12).
- [2] 秦庆红. 青岗峡水电站引水钢管回填补强施工[J]. 东北水利水电,2007(10).
- [3] 李彦军,刘志奇. 碳纤维布加固技术在水工隧洞中的应用[J]. 人民黄河,2007(4).
- [4] 魏晓斌,雷艳,霍国良,等. 水电站压力钢管碳纤维布补强加固试验研究[J]. 武汉大学学报,2010(6).
- [5] 何芳芳,周安,陈凯,等. 圆形钢质压力管道碳纤维布加固研究[J]. 工程与建设,2013(3).

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,1999年.
- [2] 张子明,郭兴文,杜荣强. 水化热引起的大体积混凝土墙应力与开裂分析[J]. 河海大学学报,2002,30(5):12-16.
- [3] 丁宝瑛,王国秉,黄淑萍,等. 国内混凝土坝裂缝成因综述与防止措施[J]. 水利水电技术,1994(4):12-18.
- [4] G. De Schutter. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws[J]. Computers and Structures,2002(80):2035-2042.
- [5] 曹为民,吴健,闪黎. 水闸闸墩温度场及应力场仿真分析[J]. 河海大学学报,2002,30(5):48-52.
- [6] 王振红,朱岳明,李飞. 墩墙混凝土结构施工期温控防裂研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008,27(2):227-229.
- [7] 马跃峰,朱岳明,刘有志,等. 姜唐湖退水闸泵送混凝土温控防裂反馈研究[J]. 水力发电,2006,32(1):33-35.
- [8] 马跃峰,朱岳明,曹为民,等. 闸墩内部水管冷却和表面保温措施的抗裂作用研究[J]. 水利学报,2006,37(8):963-968.
- [9] 王振红,朱岳明,于书萍. 薄壁混凝土结构施工期温控防裂研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2007,39(6):773-778.