

克孜河渡槽运行期温度应力耦合分析

潘崇仁

(水利部新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:渡槽在运行期由于外界环境变化会引起渡槽内部的温度应力变化,新疆克孜河渡槽位于新疆南部地区,日照时间长且日照充足,渡槽水多为融雪水温度较低这样造成了渡槽内外温度梯度较大,运行期环境变化较大,温度应力问题是其较为重要的问题之一.本文通过三维有限元软件建立克孜河渡槽三维模型,模拟渡槽运行期温度、应力分布规律,最终达到在渡槽运行期间有效防裂的目的,为今后渡槽设计提供设计参考.

关键词:克孜河;渡槽工程;温度应力;耦合分析

中图分类号:TV332.4

文献标识码:B

文章编号:1004-4701(2017)04-0272-05

0 引言

新疆克孜河渡槽由施工期到运行期,主要承担着自重、预应力、水荷载、槽面活荷载、温度荷载、地震荷载和风荷载等作用^[1-3]。夏季山区主要是融雪性补水,水库水温常年处在10℃左右^[4],夏季水温相对环境温度较低,冬季水温较环境温度较高,这样就造成运行期渡槽槽身温度梯度过大,为确保渡槽运行期结构安全,有必要展开施运行期全过程数值分析^[5-8]。本次数值模拟主要侧重渡槽槽身在运行期温度应力耦合情况,提出方案降低渡槽槽身温度梯度,达到减低槽身应力要求,确保在运行期时渡槽不会受到温度破坏^[9]。

1 工程概况

克孜河南岸干渠跨克孜河渡槽工程位于新疆疏附县克孜河南岸干渠,南岸干渠引水流量 $Q_{\text{设}}=87\text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{加大}}=100\text{ m}^3/\text{s}$,渡槽主要由进、出口渐变段、槽身段、渡槽下部结构、渡槽基础等建筑物组成,根据地形、结构跨越能力、过水能力需求,槽身段初步设计为22跨简支渡槽,每跨长度为30 m,总长660 m,共两孔,纵坡1/550,设计流量水深2.47 m,加大流量水深2.63 m。

2 几何及有限元模型

单孔尺寸为5.5 m×3.5 m(宽×高),矩形断面,槽身采用全封闭结构,底板下部设置横向底梁,顶板下部横向设置底梁,两侧墙外侧设置肋板,对支座处进行了模拟铰接处理,其中一端一侧支座沿三向固定,另两侧沿顺槽向及横槽向均可移动,槽截面示意图以及单跨渡槽槽身横剖面见图1。

计算模拟取一跨进行建模研究,有限元分析模型见图2所示,采用六面体实体单元,单元共有30 860个,节点共有41 814个。

3 热传导方程

对混凝土温度应力分析,首先研究混凝土内部温度场。混凝土温度场受多种因素影响,涉及混凝土内部热量产生、传导、边界条件和初始条件等需建立热传导方程,然后求得温度场。混凝土的温度场是一种非稳定的温度场,目前应用的最多求解方法的是有限单元法^[10]。

联立固体中热传导微分方程和混凝土在硬化期间,由于水化热而发出热量的混凝土内热源方程可得混凝土在实际工作条件下的热传导微分方程为^[11]:

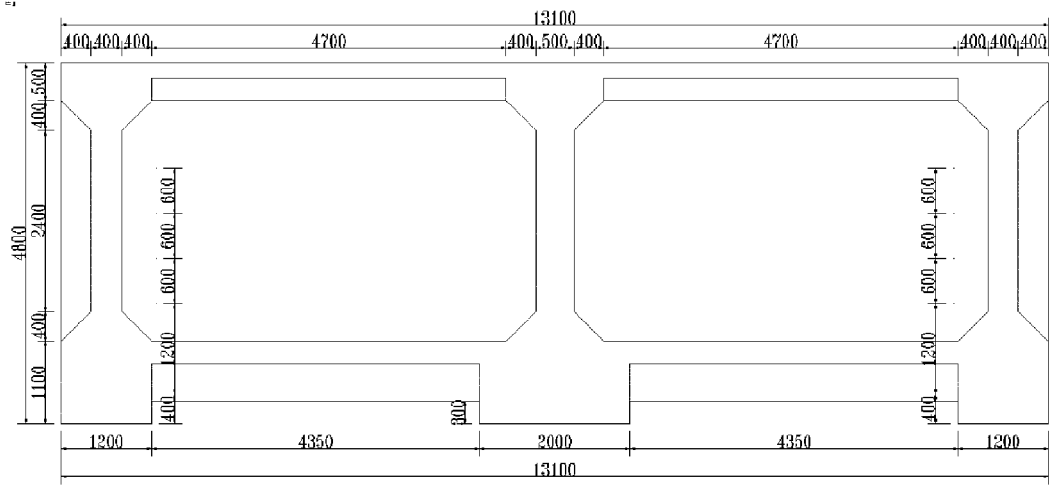


图 1 渡槽截面示意图

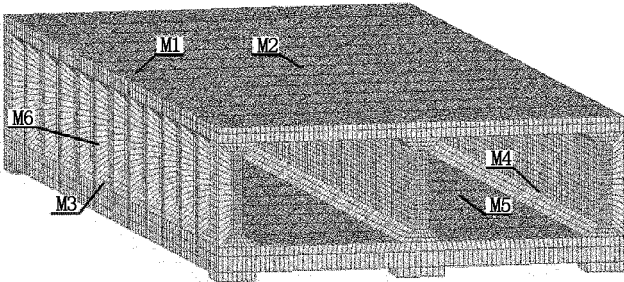


图 2 渡槽模型(单跨)网格剖分图以及内、外表面特征点 M1 ~ M6 点位置示意图

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T + \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (1)$$

式中: ρ_d 为混凝土密度, kg/m^3 ; $\theta(\tau)$ 为绝热温升;

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \text{m}^2/\text{h}; \tau \text{ 为混凝土龄期, h}。$$

4 材料及其热特性值

热传导微分方程建立了物体的温度与时间、空间的关系(其为变量关系),为了定解温度场函数 T ,必须考虑两类边值条件:初始条件(又称时间边值条件),初始瞬时物体内部的温度分布,由于太阳辐射情况下温度场最为复杂,在夏季无云少风的高温天气,槽内水温、气温及槽内混凝土温度比较接近,因此在计算时取初始边界条件为第一类边界条件^[12]。

第二类边界条件(又称为空间边值条件)^[12],根据实测数据可知,槽内与水接触的面上取水温(即 10°C),槽内不与水接触的面取高于水温 5°C (即 15°C)。环境温度考虑以上太阳辐射因素,并根据当地气象资料选取,具体见图 3。混凝土表面与周围介质之间热交换作用,绝热温升数值模型取双曲线函数见公式(2)^[13]:

$$F(\tau) = K(1 - e^{-\alpha\tau}) \quad (2)$$

式中: K 为最大绝热温升为 62°C ; α 绝热温升变化系数为 1.179。

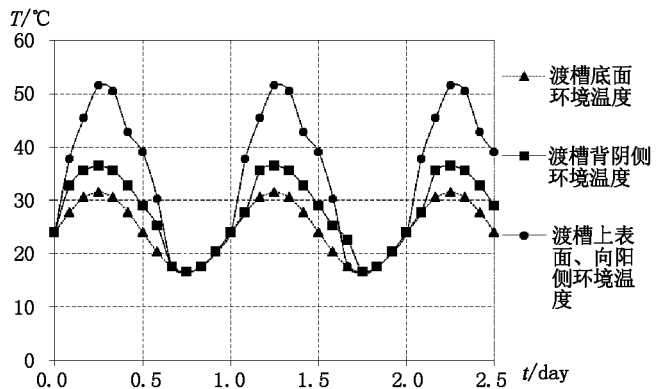


图 3 考虑太阳辐射影响时渡槽各部位环境温度时程曲线

根据规范得到渡槽混凝土标号 C50 的弹性模量以及泊松比,通过试验得到渡槽导热系数以及比热,材料热特性值见表 1。

表 1 材料热特性值

弹性模量/MPa	线膨胀系数/ $^\circ\text{C}$	泊松比	容重/ (kN/m^3)	导热系数/ $(\text{kJ}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$	比热/ $(\text{kJ}/\text{kN} \cdot ^\circ\text{C})$
3.45×10^4	1×10^{-5}	0.2	25	9.6278	101.7

5 计算工况

根据渡槽运行期共设置了两种工况进行渡槽温度应力耦合分析(见表2)。

表 2 渡槽温度应力分析计算工况

运行期	工况 1	考虑运行期太阳辐射造成的温差
	工况 2	太阳辐射 + 保温措施

6 计算成果

6.1 工况 1 运行期未采取保温措施

由于该工程的渡槽位于新疆南部地区日照时间长且日照充足,渡槽水多为融雪水温度较低这样造成了渡槽内外温度梯度较大,该工况对于运行期起来说比较危险,所以很有必要进行温度应力耦合计算。通过对渡槽外表面与内表面设置运行期相对应的第一类与第二类温度边界,计算结构温度场耦合结构应力场,可得渡槽向阳侧腹板和背阴侧腹板由内、外的温度、应力时程曲线图(见图4)。

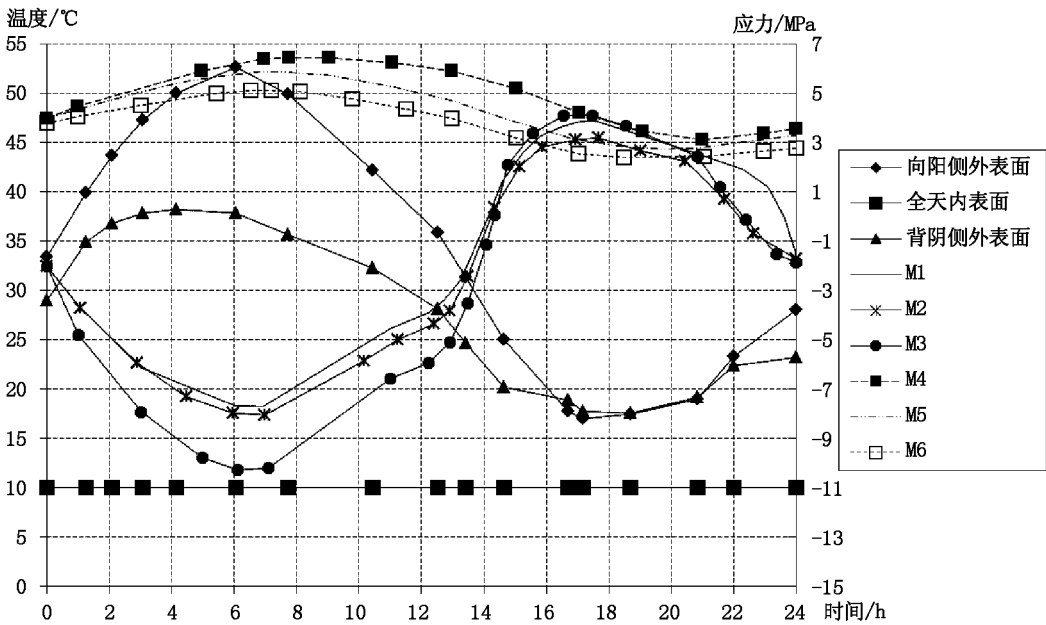


图 4 运行期不加措施渡槽向阳、背阴侧腹板 M1 ~ M6 点温度、应力时程曲线图

工况 1 分析结果表明:

(1)由于混凝土温度由外向内传递具有一定的时间效应,图中靠近内表面点温度峰值及温度低谷均滞后于靠外侧表面点。

(2)由图 4 可知,渡槽向阳侧外表面温度随太阳辐射增强而升高,白天温度由外表面向内表面依次降低。由于渡槽向阳侧腹板外表面最高温度达到 53.3℃,而内表面水面以下始终保持水温 10℃,在太阳辐射较强时形成较大内外温差。这样造成渡槽向阳处最大拉应力为 6.64MPa 大于 C50 抗拉强度 2.64MPa 的区域,可以看出在渡槽内壁以及外侧腹板与顶板交接处拉应力超过抗拉强度。

(3)背阴侧腹板受太阳辐射较少,温度相对向阳侧腹板较低,最高温度为 38.6℃,其分布规律同向阳侧腹板,即温度由外表面向内表面依次降低。

6.2 工况 2 运行期采取保温措施

运行期若不采取保温措施,渡槽内壁以及外侧腹板与顶板交接处拉应力超过抗拉强度;根据现场施工条件以及长期运行稳定性方面考虑,采取外贴一层 10 cm 厚的苯板进行保温,计算可得出渡槽向阳侧腹板和背阴侧腹板由内向外的温度时程曲线如图 5。

当采取保温措施后,渡槽内外拉应力明显降低,且除在支座的局部区域外,其余区域拉应力均小于 C50 混凝土抗拉强度 2.64 MPa。

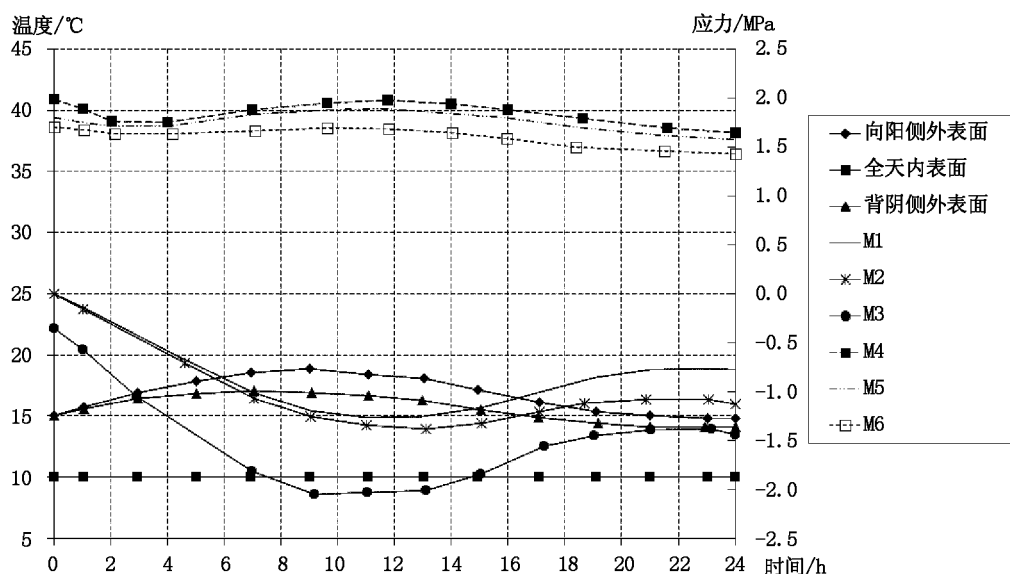


图5 运行期加措施后渡槽向阳、背阴侧腹板 M1 ~ M6 温度、应力时程曲线图

7 结 论

本文通过三维有限元软件建立克孜河渡槽模型,对渡槽运行期温度、应力耦合分布规律进行分析,得出以下结论:

(1)运行期渡槽受气温、太阳辐射等影响,向阳侧腹板外表面与渡槽底板,以及内表面温度,形成较大的温度梯度,使得在渡槽内壁产生较大温度应力。在夜晚降温时,渡槽外表面温度较快降为环境温度,而在腹板与顶板及底板相交的混凝土体积较大区域,其内部温度由于白天太阳辐射的高温尚未降下来,导致内部温度高于外表面温度,从而在这些区域的外表面也产生较大的拉应力。所以需要在渡槽外壁采取保温措施。

(2)计算结果表明,根据现场施工条件以及长期运行稳定性方面考虑,渡槽外侧面采取外贴一层 10 cm 厚的苯板进行保温,避免渡槽槽内低温运行时强光照产生的温度应力,槽身拉应力超限问题基本得以解决。

参考文献:

[1] 张继周. 全封闭箱型渡槽温度场分析研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2016, 52(6): 29 ~ 33.

- [2] 李苏航,季日臣,柏文文. 渡槽在折线温差分布下的横向温度应力计算[J]. 水电能源科学, 2016, 34(12): 121 ~ 124.
- [3] 陈华婷,刘龙,张文学,等. 大跨度叠箱渡槽温度场分布研究[J]. 工业建筑, 2015, 增刊 I.
- [4] 黄涛. 渡槽混凝土施工温度引发裂缝的处理[J]. 山东工业技术, 2015(6): 126 ~ 127.
- [5] 崔浩朋,刘洋,赵宁. 大型矩形混凝土渡槽运行期太阳辐射温度场模拟研究[J]. 河南科技学院学报:自然科学版, 2014, 42(1): 67 ~ 72.
- [6] 中华人民共和国水利部. 水工混凝土结构设计规范: SL191 - 2008 [S].
- [7] 中国建筑科学研究院. 预应力混凝土结构抗震设计规程: JGJ 140 - 2004 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [8] 中交公路规划设计院. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: D10 JTG D62 - 2004 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [9] 陈茜,季日臣. 日照作用下箱型渡槽温度场与温度应力研究[J]. 人民长江, 2014(S2): 128 ~ 130.
- [10] 季日臣,严娟,苏小凤. 混凝土箱形渡槽日照高温下结构安全研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 90 ~ 92, 109.
- [11] 严娟,季日臣. 箱形渡槽冬季输水工况下温度场与温度应力研究[J]. 甘肃科技, 2013, 29(21): 123 ~ 124.
- [12] 严娟,季日臣,马虎迎. 箱形渡槽越冬期间表面保温能力计算[J]. 水利水运工程学报, 2013(6): 88 ~ 91.
- [13] 李晓克,张晓燕,张学朋,等. 预应力混凝土渡槽温度影响及设计研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(1): 44 ~ 48.

编辑: 张绍付

(下转第 284 页)