

大型钢筋混凝土水池温度应力分析及处理措施研究

刘涛 付猛

中国电建集团江西省电力设计院有限公司 南昌 330096

摘要: 大型钢筋混凝土水池在施工和运行过程中会因温度变化产生复杂的温度应力问题, 严重时会引起开裂、渗漏等问题, 甚至影响结构的安全使用。如何对结构温度应力进行准确模拟、并采取有效措施控制温度裂缝的产生是解决相关问题的关键。通过对大型池体结构进行有限元数值仿真, 提出设置伸缩缝对池体应力分布的影响, 分析伸缩缝间距及数量的不同对池体应力产生的影响。分析表明, 建立的有限元模型能够合理的反映大型池体的温度应力分布; 提出的伸缩缝分布措施能有效的降低池体应力集中、改善裂缝的产生。

关键词: 大型钢筋混凝土; 温度应力; 数值仿真; 应力分布

引言

大型钢筋混凝土水池作为重要的工程结构, 其温度应力问题一直是工程界关注的重点。温度应力的产生主要是由于混凝土材料热膨胀系数与钢筋存在差异, 在环境温度变化下二者变形不一致导致的^[1]。当温度应力达到一定程度时, 结构内部会产生裂缝^[2], 从而导致钢筋被腐蚀, 影响结构耐久性。但目前针对大型钢筋混凝土水池温度应力的研究还相对缺乏, 水池结构由于其几何尺寸大、暴露面积广, 环境温度变化引起的温度应力和变形更为显著。解决相关问题的关键在于如何准确模拟结构温度应力, 并对温度裂缝的产生采取有效措施加以控制。

本文以实际工程为例, 运用有限元软件 ANSYS 分析大型钢筋混凝土池体, 探讨了水池温度应力分布特点, 并以该水池为例, 分析了伸缩缝间距及数量的不同对池体应力产生的影响。

1 温度应力

混凝土的水化过程导致内部温度不断上升, 同时表面的散热速度较快, 造成内、外部之间的温差, 进而在表面产生较大的拉伸应力。随着混凝土继续水化放热, 内外温差进一步增大, 表面温度逐渐降低而内部温度继续升高, 应力逐渐向内部迁移。在降温阶段, 混凝土内部开始收缩, 但同时受到已硬化的表层混凝土和基础的双重约束, 内部拉应力持续增大, 直至温度趋于平衡。当应力大于混凝土抗拉强度时, 混凝土产生了开裂, 破坏了结构的安全性^[3-4]。

在设计大型钢筋混凝土结构时, 一般会按照《混凝土结构设计规范》^[5]所规定的间距范围内设置收缩缝。然而在实际施工过程中经常出现伸缩缝距离过长甚至不

置伸缩缝的情况, 这对池体的安全性和耐久性存在极大隐患。如何合理的对超长混凝土结构的温度效应进行分析, 并采取行之有效的裂缝控制措施, 是此类工程需要面临的关键问题^[2]。

为此, 引入温度应力计算公式,

$$\sigma = \frac{E\alpha\Delta T}{1-\mu} \quad (1)$$

式中, E 是材料的弹性模量, α 是热膨胀系数, ΔT 是温度变化值, μ 是材料的泊松比。

由式(1)可知, 温度应力主要受温度变化的影响。针对大型混凝土结构温度应力的分析方法^[6]可以分为实用算法、数值方法和理论解法, 随着计算机的快速发展, 有限元法逐渐应用到大体积混凝土结构中。其中陈明华^[7]等通过对比有限元实验结果, 得到了船闸主题结构温度裂缝产生的原图。国内外学者做了很多关于模拟大体积混凝土的研究。

2 有限元计算分析

2.1 有限元模型建立

为分析钢筋混凝土水池在温度作用下的应力分布及其影响, 采取了有限元分析计算进行综合研究。首要的是构件三维有限元模型, 为保证数据的精准可靠, 参考实际工程案例, 利用Solidworks构建117.78m19.9m5.2m的1:1三维有限元模型, 并依据现行规范对其每隔30m、40m设置一道伸缩缝, 如图1所示,



图1 有限元模型

2.2 有限元模拟关键参数

大型钢筋混凝土水池多采用C30及以上混凝土, 其抗

压强度标准值 $f_{ck} \geq 30\text{MPa}$ ，弹性模量 E_c 取 30GPa ^[8]。纵向受拉钢筋多采用HRB400级热轧带肋钢筋，屈服强度标准值 $f_{yk} = 400\text{MPa}$ ，弹性模量 E_s 取 200GPa 。材料其余参数如弹性模量等取值如表1所示，

表1 仿真参数表格

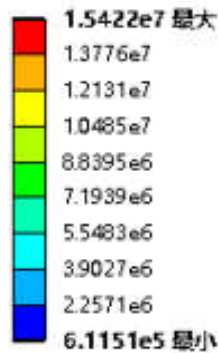
构件	材料	密度 kg/m^3	泊松比 ν	杨氏模量E
池体	钢筋混凝土	2500	0.18	$3E10$

在有限元计算过程中，构件的单元类型的选择会直接影响建模计算量和计算结构的精确度，基于现有研究现状，对池体的有限元分析采用板单元模拟。

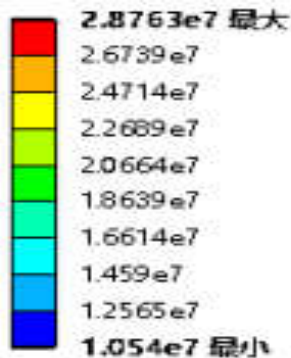
2.3 池体的有限元模拟

本工程采用有限元软件ANSYS进行三维模拟，在计算过程中，将钢筋混凝土材料考虑为各向同性材料，取混凝土的导热系数为 $2.94 (\text{W/m} \cdot \text{K})$ 。将上图1 (a)所示三维实体模型导入有限元软件进行Steady-State Thermal

计算，对池体采用线性的四面体网格划分方式进行划分，考虑南方天气影响，Initial Temperature 设定为 0° ，温度变化为 0° 到 50° ，分析时间设置为1小时，对模型进行计算。为得到池体的应力分布，将上述计算温度应力结果导入Static Structural模式，其余设置与上述相同，在只考虑池体受温度应力的影响下，对大型池体的薄弱部位池壁进行分析，有限元计算结果如下图2 (a)、(b)所示：



(a) 池壁应力分布



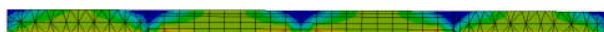
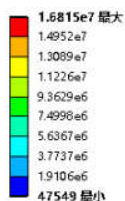
(b) 角部应力分布

根据如上1 (a)、(b) 应力云图可知，在没有设置伸缩缝的情况下，大型钢筋混凝土水池在温度应力的作用下应力往角部集中，角部应力高达 28.7MPa 。提取池壁节点应力，取平均值，池壁平均应力为 11.1MPa ，应力相对

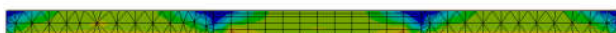
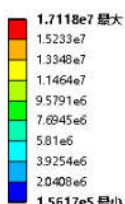
较大，是水池的关键薄弱环节，且随着温度的升高，应力变化也更为明显。

在同种工况下，将每隔 30m 、 40m 设置一道伸缩缝的三维实体模型如图1 (b)、(c) 导入有限元软件，得到的

结果如下图3 (a)、(b)所示:



(a) 间距30m的池壁应力



(b) 间距40m的池壁应力

根据如上3 (a)、(b) 应力云图可知, 除去节点应力集中外, 池体在设置30m间距的伸缩缝下, 池壁的平均应力为8.2MPa; 池体在设置40m间距的伸缩缝下, 池壁的平均应力为8.9MPa。

本文通过对大型钢筋混凝土池体设置伸缩缝来降低温度应力造成的影响, 控制裂缝的产生。从以上计算结果可以看出, 设置伸缩缝能有效的改变应力分布趋势, 使其呈现有规律的均匀分布, 且温度应力也相对减小, 伸缩缝越密集, 应力降低越明显, 合理的设置伸缩缝能有效的降低温度应力的影响。

3 结论

本文讨论了温度应力对大型钢筋混凝土池体的影响, 提出了合理的间距设置伸缩缝能有效的改善应力分布问题, 并对工程实例进行了温度应力的分析与模拟, 得到以下结论:

(1) 通过有限元仿真结果可以发现, 在温度应力的影响下, 水池底板和侧壁产生较大温度应力, 且随着温度的升高, 池体应力分布更加不均匀, 呈现中间大于两

边的趋势。合理控制浇筑温度, 降低混凝土内外温差, 优化混凝土配合比, 降低水化热峰值, 减少温度应力的影响。

(2) 池体角部出现应力集中的现象, 为此在南北短向端部适当加密钢筋布置, 能提高抗裂性能。

(3) 设置伸缩缝释放温度约束应力, 能有效降低池壁的温度应力, 改变应力分布趋势, 使其现有规律的均匀分布, 考虑实际施工困难度, 以及设置伸缩缝对池体产生漏水等问题的影响, 应合理设置伸缩缝的间距。

本文基于有限元数值模拟, 较为系统地研究了温度应力对大型钢筋混凝土水池的影响规律, 提出了切实可行的温度裂缝措施, 可为类似工程提供有益参考。但受条件所限, 研究中仍存在一些不足, 如难以模拟大型混凝土池体受温度疲劳应力的影响, 难以完全反映结构的全寿命周期温度效应等, 有待在后续工作中进一步深入。

参考文献

[1] 谌超. 大体积混凝土温度及温度应力影响因素研究[J]. 材料导报: 纳米与新材料专辑, 29.2 (2015): 198-201.

[2] 王铁梦. 工程结构裂缝控制: “抗与放”的设计原则及其在“跳仓法”施工中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

[3] 张庆龙, 马睿, 胡昱, 等. 大体积混凝土结构温度应力智能控制理论[J]. 水利发电学报, 2021, 10(5): 11-21.

[4] 李宝枝, 卞桂荣, 李明等. 现浇隧道侧墙混凝土早期收缩开裂行为[J]. 混凝土, 2021, (10): 115-118+123.

[5] 混凝土结构设计规范: GB 50010-2010[S]. 2015年版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[6] 彭诗明. 大体积混凝土结构单元有限元法应用研究[D]. 武汉大学硕士学位论文, 2005.

[7] 陈明华, 靳良. 船闸大体积混凝土水化热温度监控及有限元仿真分析[J]. 水运工程, 2020, (3): 98-103+154.

[9] 王伟, 苏小卒, and 赵勇. “非线性温差作用下混凝土结构的温度应力.” 同济大学学报: 自然科学版 38.7 (2010): 986-990.