

· 施 工 ·



大体积混凝土温度及应力场仿真分析

卓 杨¹, 曹进捷²

(1. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032; 2. 中交第三航务工程局有限公司, 上海 200032)

摘要: 基于混凝土绝热温升数据, 对平海湾风电基础承台大体积混凝土在施工过程中的温度应力场进行全程仿真计算。通过对比分析有、无冷却水管条件下承台混凝土结构的温度应力场, 说明布置冷却水管效果显著, 能有效降低承台混凝土内部最高温度及内、外表温差, 以仿真分析结果指导基础承台混凝土的设计与施工, 能有效防止混凝土开裂, 提高施工质量。

关键词: 大体积混凝土; 有限元分析; 温度场; 应力场; 冷却水管

中图分类号: TU 745.4; U 6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0165-04

Mass concrete temperature and stress field simulation analysis

ZHUO Yang¹, CAO Jin-jie²

(1. Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Based on the adiabatic temperature rise data of concrete, we carry out a whole-process simulation and calculation of the temperature stress field of mass concrete during construction of the wind power foundation platform of the Pinghai Bay. By comparing and analyzing the temperature stress field of the concrete structure under the condition of cooling water pipe or not, we know that the effect of the cooling water pipe is obvious, and it can effectively reduce the temperature difference between the temperatures inside and outside and the highest inside temperature. The simulation results can guide the design and construction of wind power foundation platform, prevent cracks effectively, and improve the construction quality.

Keywords: mass concrete; FEM analysis; temperature field; stress field; cooling water pipe

在大体积混凝土施工过程中, 由于水泥的水化放热导致结构温度上升, 在受到内部或外部的约束及周边环境作用时将产生较大的温度应力进而引起混凝土开裂。由温度应力引起的裂缝具有裂缝宽、上下贯通等特点, 对结构的承载力、防水性能、耐久性等都会产生很大的影响, 甚至在未使用前已不能满足设计与规范要求, 因此工程中必须采取措施设法控制混凝土温度裂缝的

产生。

目前关于大体积混凝土三维温度场仿真分析的文献, 较少考虑冷却水管的作用。这是因为水管冷却效果分析的计算非常复杂^[1-2], 比较精确的数值方法又不实用, 因此在工程应用中, 多数采用了简化的近似计算方法, 这些简化方法从整体上考虑水管冷却的效果^[3], 但没有考虑冷却水沿程温升对水管冷却效果的影响, 因此使计算精度

收稿日期: 2015-12-29

作者简介: 卓杨 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程结构、桩基工程、海上风电基础等方面的设计、科研工作。

受到影响。

本文针对平海湾风电基础承台大体积混凝土结构,按照工程中实际冷却水管的布置、水流情况等因素进行施工期全程三维温度、应力场的仿真模拟^[4],对比分析布置冷却水管的效果。

1 工程概况

福建莆田平海湾风电采用高桩承台基础形式,承台底部平面为圆形,基础结构底面高程 3.34 m (国家 85 高程),承台桩基为直径 1.9 m 的斜率 5:1 的钢管桩,均在承台底面沿以承台中心为圆心、半径为 5.0 m 的圆周均匀布置。承台混凝土直径 14.0 m,高度 4.8 m+0.8 m (封底),承台主体属于大体积混凝土结构,方量为 738.528 m³,采用钢套筒施工工艺,一次性浇筑成形。

2 有限元模型

计算分析采用的有限元模型如图 1 所示,模型中混凝土采用实体单元,主要构件模型类型及参数见表 1。

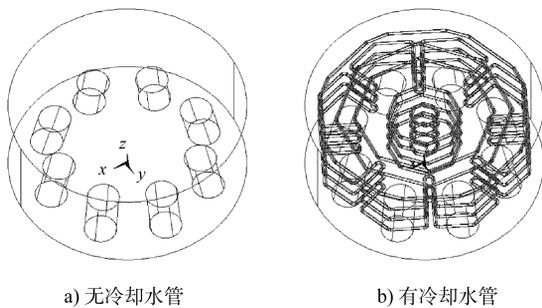


图 1 有限元计算模型

表 1 主要构件模型参数

构件名称	材料	构件尺寸
混凝土	C50	$\phi = 14\text{ m}, h = 4.8\text{ m}$
冷却水管	Q235	$\phi = 48.0\text{ mm}, h = 2.5\text{ mm}$

根据项目部提供的混凝土配合比,结合以往经验,给出相应的混凝土绝热温升作为承台混凝土温度场计算的依据(图 2),分段拟合混凝土的绝热温升曲线作为热载荷导入有限元模型;依照

实际冷却水管布置建立模型,通过软件自带的 APDL 语言编程,在仿真计算时根据冷却水管实时的温度动态计算相应的热交换系数,以考虑冷却水沿程温升对水管冷却效果的影响。

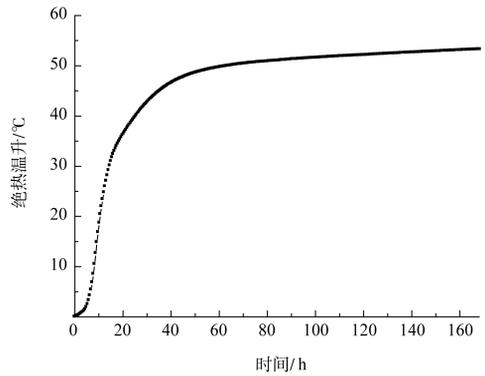
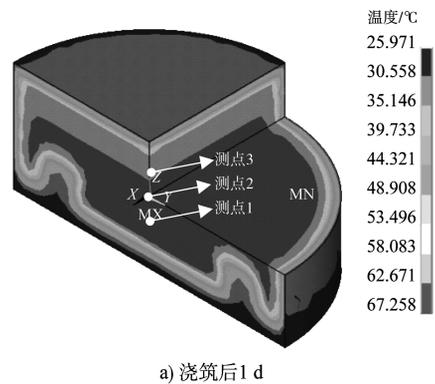


图 2 混凝土绝热温升曲线

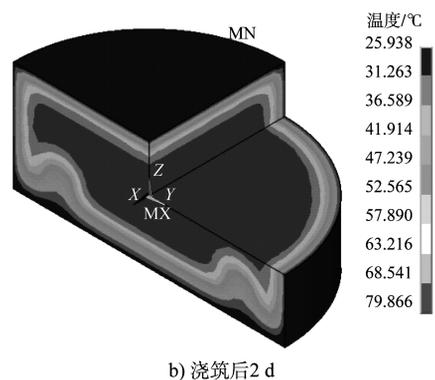
3 结果分析

3.1 无冷却水管承台混凝土温度场计算

根据绝热温升曲线和以往的工程经验,混凝土在浇筑后 1~3 d 内温升较快,因此提取浇筑后 1~4 d 承台的温度场如图 3 所示,相应选取承台中心间隔 1.2 m 的 3 个测点(图 3a)),其温升曲线如图 4 所示。



a) 浇筑后 1 d



b) 浇筑后 2 d

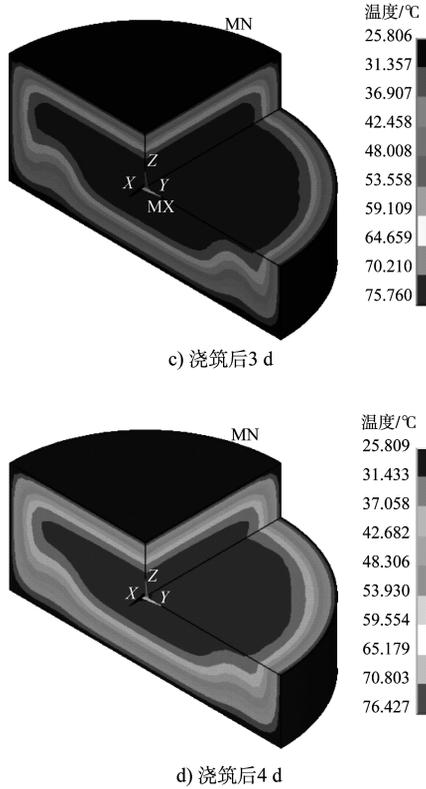


图 3 无冷却水承台混凝土温度场分布

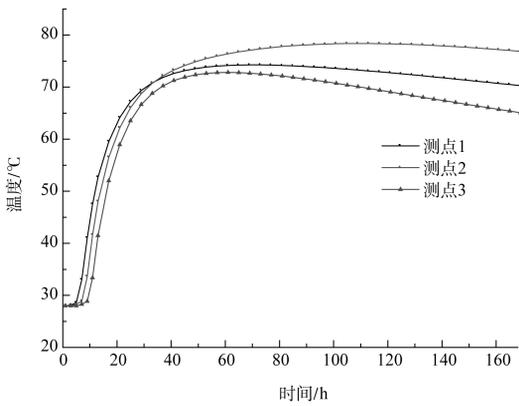


图 4 无冷却水所选测点温度曲线

由图 4 可以看出, 未布置冷却水管情况下, 在承台混凝土浇筑后, 承台中心(测点 2)温度在达到最高约 79 °C 后下降缓慢, 而其它测点温度在达到最高温后均有不同程度的下降, 承台混凝土内表温差大, 具有较大的开裂风险, 因此需布置冷却水管降低承台中心混凝土温度。

3.2 有冷却水管承台混凝土温度场计算

依据设计的冷却水管布置进行有限元建模计算, 提取浇筑后 1~4 d 承台的温度场如图 5 所示, 选取与上节相同位置的 3 个测点, 其温升曲线如

图 6 所示。图 7 是承台表面温度随时间变化曲线, 表面温度依据规范取表面以内 5 cm 处; 图 8 为通水冷却后混凝土内表温差随时间变化曲线, 图中混凝土内部温度取承台内部最高温度, 由软件自动提取。

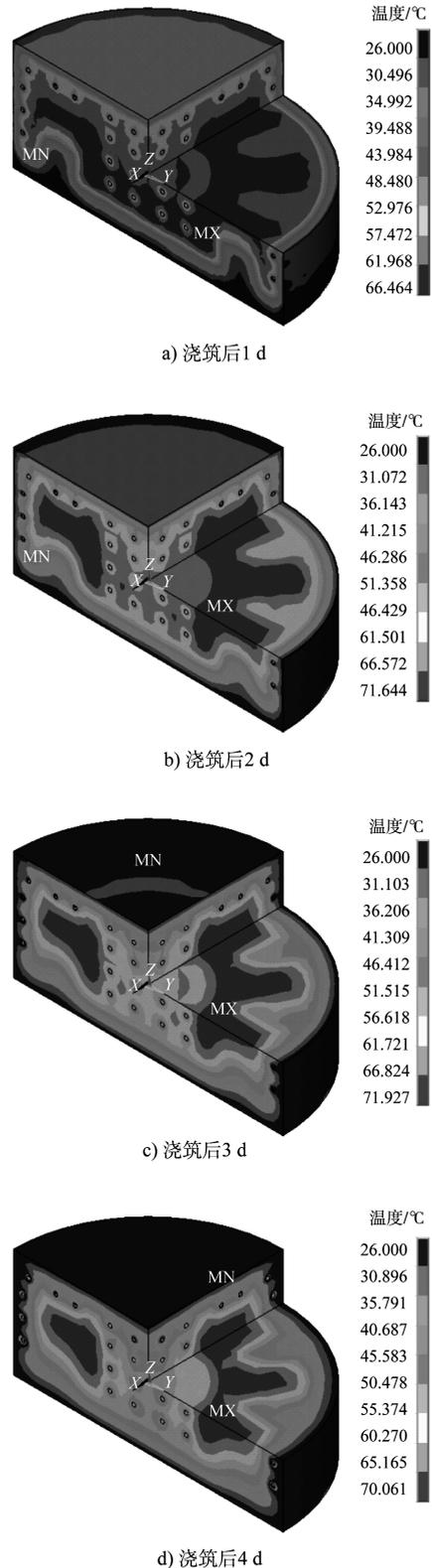


图 5 有冷却水承台混凝土温度场分布

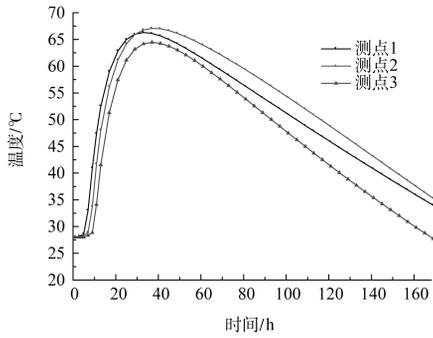


图6 有冷却水所选测点温度曲线

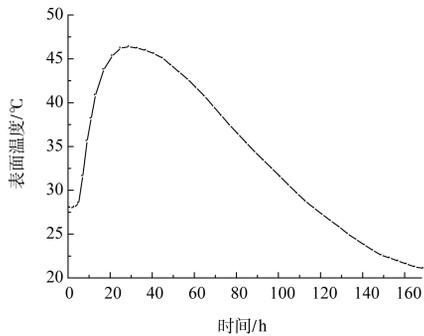


图7 承台混凝土表面温度曲线

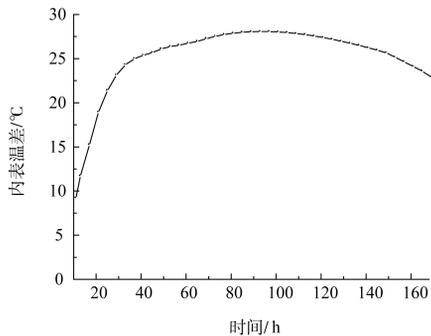


图8 承台混凝土内表温差曲线

可见，布置冷却水管能有效降低承台混凝土温度，承台混凝土温度峰值大约出现在浇筑后2 d左右。由于通水冷却作用，承台混凝土内表温差峰值也控制在25℃左右，考虑到混凝土温度极值仅出现在较小区域，承台大部分区域混凝土满足内表温差 ≤ 25 ℃的温控标准，因此认为本冷却水管布置方案基本满足施工要求，同时建议适当延长模板拆除时间，降低混凝土开裂风险。

3.3 有冷却水管承台混凝土应力场计算

依据上节计算结果，承台混凝土在浇筑后2 d左右出现峰值，相应内表温差也较大，而此时混凝土初期强度相对较小，因此开裂风险较大，本节在前述计算的基础上，对混凝土浇筑2 d后的应

力场进行计算，结果如图9所示。

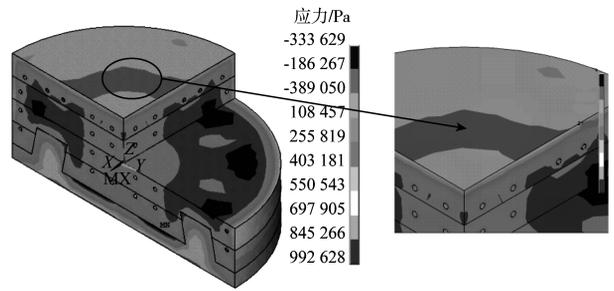


图9 浇筑2 d后承台混凝土应力场

由图9可以看出，承台混凝土浇筑2 d后其应力峰值约为0.99 MPa，且其分布区域较小；承台大部分区域混凝土应力值较小，同样说明布置冷却水管能有效降低开裂风险。承台混凝土上表面与基础环连接处也出现了较大的拉应力，虽然仅表层局部区域，但由于它是结构关键部位，建议对该处表面采取保温措施。

4 结论

1) 对平海湾风电基础承台大体积混凝土施工期温度场进行仿真分析，通过有、无冷却水工况条件的分析比较，表明布置冷却水管能有效降低承台混凝土温度，承台混凝土温度峰值大约出现在浇筑后2 d左右。本冷却水管布置方案基本满足施工要求，承台大部分区域混凝土满足内表温差 ≤ 25 ℃的温控标准，并建议适当延长模板拆除时间，降低混凝土开裂风险。

2) 对平海湾风电基础承台大体积混凝土施工期混凝土内部应力进行分析，预判混凝土开裂风险，仿真分析结果可用于指导混凝土配合比优化和制定合理的施工控制措施，防止温度裂缝产生，提高施工质量。

参考文献：

[1] 王解军, 卢二侠, 李辉. 大体积混凝土施工期的水化热温度场仿真分析[J]. 中外公路, 2009(12): 159-165.
 [2] 朱伯芳, 蔡建波. 混凝土坝水管冷却效果的有限元分析[J]. 水利学报, 1985(4): 27-36.
 [3] 张伟, 韩晓风, 何勇, 等. 用 ANSYS 软件计算水管冷却等效绝热温升[J]. 中国农村水利水电, 2005(12): 55-58.
 [4] 张朝晖. ANSYS12.0 热分析工程应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010. (本文编辑 郭雪珍)