

大体积混凝土底板施工的综合防裂技术

于卫红, 王文胜, 夏春梅

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 大体积混凝土体积庞大, 混凝土浇筑后释放出大量水化热, 由于体积较大, 聚集在混凝土内部的热量不易散发, 混凝土内部温度较高, 造成混凝土内外温差较大. 由于约束的影响, 在混凝土的升降温过程中会引起混凝土内部温度应力剧烈变化而导致混凝土结构产生有害裂缝, 施工难度较大. 结合南京某综合大楼基础底板大体积混凝土工程施工实例, 施工前用有限元分析模拟大体积混凝土温度场, 根据分析结果制定施工方案, 优化混凝土配合比. 现场埋设了温度监控点, 施工中根据监控信息随时调整养护方案, 从而做到信息化施工. 实践证明理论分析得出的温度变化规律与实测结果基本符合, 采取的施工方案的方案安全可靠, 上述综合防裂技术措施的应用确保了该工程大体积混凝土防裂目标的实现.

[关键词] 大体积混凝土, 防裂, 温控

[中图分类号] TU 37, **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2005) 03-0084-03

The Finite Element Analysis of Simulation Example on Mass Concrete Construction

YU Weihong WANG Wensheng XIA Chumei

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

Abstract The dimension of the mass concrete is very huge. After the concrete is poured, a great deal of cement heat of hydration is given off. The heat quantity congregated in the concrete can not emit easily because of the huge dimension and the rapid rise in the temperature of inside mass concrete, so the temperature difference between internal and external concrete is very great. In the course of the rise and drop of the temperature, the temperature stress inside concrete changes greatly because of the restriction, which induces the deleterious crack to come into being and the construction of the mass concrete to be difficult. This article incorporates with a practice for mass concrete construction of the raft foundation of the comprehensive building in Nanjing. The temperature field of the mass concrete is analyzed and simulated by the finite element method before construction, and the construction project and the optimized mixture proportion are made according to the result. The purpose of the informative construction is achieved that the temperature monitoring places are disposed and the maintain project is adjusted at any moment according to the monitoring information. The practice proves that the temperature variety rule achieved by theoretic analysis is about the same as testing result; the construction project adopted is safe and credible. The application of the above technique measures assures the successful construction.

Key words mass concrete; finite element; temperature control

大体积混凝土一般体积庞大, 混凝土浇筑后固结硬化过程中要释放出大量的水化热, 导致温度上升, 其程度取决于混凝土中的水泥含量. 绝对温升可达 10~40℃, 且常发生在浇筑后 3~5d 内. 由于混凝土的导热性能较差, 浇筑初期混凝土的强度和弹性模量都较低, 对水化热引起的急剧温升约束不大, 相应的温度应力也较小. 随着混凝土龄期的

增长, 弹性模量的增高, 对混凝土内部降温收缩的约束也愈来愈大, 以致产生较大的拉应力. 当混凝土的抗拉强度不足以抵抗这种拉应力时, 就将出现温度裂缝.

南京某综合大楼地下室承台底板平面尺寸为 67.0m×35.1m, 其中有 3 个承台厚度为 4.3m, 属大体积混凝土范畴, 结构混凝土强度等级为 C35,

收稿日期: 2005-04-22

作者简介: 于卫红(1966-), 女, 讲师, 主要从事有限元分析与优化设计等方面的教学与研究. E-mail: lz@sina.com

抗渗等级为 S10. 要求严格控制底板裂缝产生. 为有效控制大体积混凝土结构裂缝, 须采取多种措施防止底板开裂. 作者在先采用有限元法进行底板温度分布计算的基础上, 采用降低水泥用量和内外温差相结合, 辅以现场监测和保温养护技术, 确保了工程大体积混凝土底板防裂目标的实现.

1 承台底板温度有限元分析

1.1 分析方法

为预先得得到 4.3 m 厚混凝土承台内部的温度场分布, 采用通用大型有限元分析软件 ANSYS 进行施工仿真模拟分析. 混凝土水化过程是一个物理化学过程, 混凝土内的温度场随时间变化, 属瞬态热分析, 根据能量守恒原理, 瞬态热平衡可以表达

$$[C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = \{Q\}$$

式中, $[K]$ 为传导矩阵; $[C]$ 为比热矩阵; $\{T\}$ 为节点温度向量; $\{\dot{T}\}$ 为温度对时间的导数; $\{Q\}$ 为节点热流率向量.

1.2 计算参数

水泥选用 425 普通硅酸盐水泥, 水泥用量为 350 kg/m^3 , 其水化热为 377 kJ/kg 混凝土导热系数为 $2.33 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$; 混凝土密度为 2400 kg/m^3 ; 混凝土的比热为 $960 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. 水泥水化热计算式参见文献^[2-3].

边界条件: 混凝土初始温度, 经计算混凝土的入仓温度为 24°C ; 环境温度取浇筑时的日平均气温 25°C ; 表面散热系数为 $15 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$; 大地导热系数为 $1.2 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

1.3 分析结果

采用通用大型有限元分析软件 ANSYS 中的热分析单元进行施工仿真模拟分析, 建立实体模型, 采用 solid70 单元划分网格, 生成有限元模型, 经求解器后进入后处理器, 可得到混凝土内部不同时间的温度场, 以及所选点温度随时间的变化曲线, 如图 1 所示. 图 1 表明: 混凝土在浇筑 4~5d 达到峰值, 中部最高温度达到 66°C , 下部温度达到 56°C , 上部温度达到 50°C , 其后温度开始缓慢下降. 在整

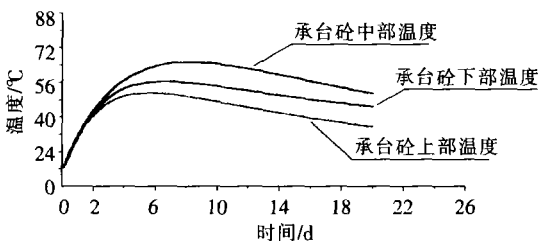


图 1 混凝土温度变化曲线

个过程中, 混凝土内外温差最大为 19°C , 没有超过 25°C .

2 施工防裂措施

据理论分析结果, 制定相应的防裂施工方案.

2.1 原材料的选择

(1) 水泥: 控制水泥用量且选用水化热较低的水泥, 本工程选用江南水泥厂生产的 425 普通硅酸盐水泥, 水泥用量宜控制在 $340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$.

(2) 粉煤灰: 适当掺入 I 级粉煤灰取代水泥, 减少水泥用量, 降低水化热.

(3) 外加剂: 宜采用高效复合型减水剂, 减水率大于 20%.

2.2 混凝土的浇筑

混凝土浇筑须满足整体连续性的要求, 不得出现施工冷缝.

(1) 浇筑方法: 两台混凝土泵同时浇筑, 采用斜面分层, 薄层浇筑, 自然流淌, 连续浇筑, 每层浇筑厚度为 50 cm.

(2) 振捣: 采用 $\Phi 50$ 插入式振捣器振捣, 钢筋密集区采用 $\Phi 30$ 插入式振捣器. 加强混凝土的坡顶、坡中、坡脚处的振捣以确保混凝土密实. 振捣间距不大于 50 cm, 振捣棒应插入下一层 5 cm. 振捣以表面水平不再显著下降, 不再出现气泡, 表面泛出灰浆为准.

(3) 泌水处理: 为防止泌水影响混凝土密实性和结构的整体性, 在模板上口开设排水孔, 使多余的水分从孔中自然排出.

(4) 表面处理: 大体积泵送混凝土的表面水泥浆较厚, 在初凝前 1~2 h 先用长括尺按标高刮平. 在初凝前再用铁滚筒碾压数遍, 并用木蟹打磨压平, 以闭合收缩裂缝.

2.3 混凝土养护

根据理论分析, 混凝土采用保温法养护即可满足要求. 混凝土浇筑结束 12 h 后, 覆盖一层草袋. 对于 3 个大承台, 另外准备一层塑料薄膜, 根据监测温度变化情况覆盖, 以防止刮风、下雨, 气温陡降. 在养护过程中应确保混凝土表面湿润, 避免混凝土的干缩裂缝.

3 温度监测与分析

由于 3 个大承台面积与厚度较大, 根据理论分析其内部温度较高, 且持续时间较长, 因此应加强这 3 个承台温度的跟踪监测, 及时调整施工养护方案.

3.1 测试方案

(1) 测温方法 采用 JD-2 型便携式建筑电子测温仪, 温度探头预先埋入大体积混凝土内, 在温度测点处, 在钢筋骨架上绑扎一根 $\Phi 12$ 的螺纹钢筋, 且高出板面 30 mm. 将测温线固定在 $\Phi 12$ 的螺纹钢筋上, 可避免浇筑混凝土时损坏、折断探头导线. 测温线的插头用塑料袋罩好, 防止潮湿, 保持清洁, 为便于测温, 留在外面的导线长度不应小于 20 cm. 测温时, 按下主机电源开关, 将各测温点插头依次插入主机插座中, 主机屏幕上即可显示相应测温点的温度.

(2) 测点布置 测点须全面反映大体积混凝土内各部位的温度, 从大体积混凝土高度断面考虑, 应包括底面、中心和上表面, 从平面考虑应包括中部和边角区. 温度测点布置如图 2 所示.

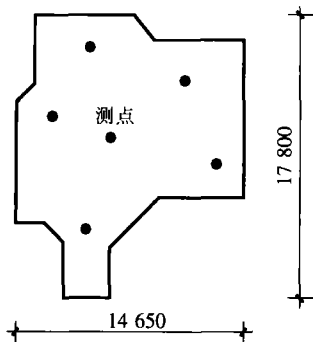


图 2 承台混凝土温度测点布置图

3.2 测试结果与分析

图 3 是选取所布的一个点的温度实测情况, 这个点具有代表性, 可以说明问题. 混凝土底板在浇筑 3 d 后达到峰值, 中部最高温度为 65.0°C , 下部最高温度为 62.0°C , 上部温度达到 48.0°C , 其后

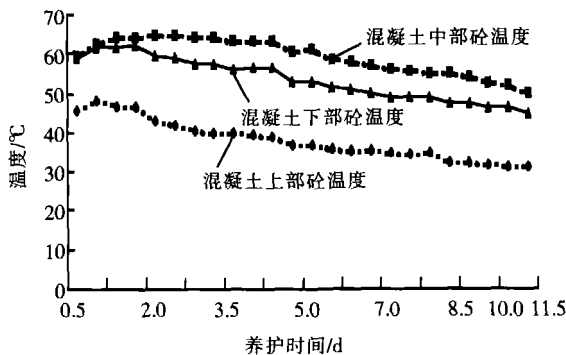


图 3 混凝土实测温度变化曲线

温度开始缓慢下降. 混凝土浇筑时温度为 20°C 左右, 在升温阶段的内外最大温差为 20.2°C ; 降温阶段的内外最大温差为 24.2°C , 内外温差均没有超过要求的 25°C .

4 理论与实测比较

(1) 理论分析所得出的混凝土最高温度较实测值偏大, 内外温差较实测温差小, 分析其原因一是现场养护条件与理论分析所施加的边界条件存在一定的差距, 二是未考虑混凝土性能的非线性变化;

(2) 理论分析所得出的混凝土温度峰值比实测值延迟一天, 其原因在于实测时间在混凝土浇筑完毕 12 h 后进行, 而水泥的水化在搅拌机中即已开始, 因此二者存在误差.

(3) 从总体情况来看, 本工程混凝土在浇筑和养护过程中, 外界气温无骤变, 理论分析与实测结果基本吻合, 在养护过程中, 除了少许干缩裂缝外, 没有发现大的有害裂缝, 这与施工前的分析一致.

5 结论

大体积混凝土的温控是一项较复杂的课题, 理论与实践经常存在一定的偏差. 本工程利用 ANSYS 有限元分析软件, 在施工前对大体积混凝土进行模拟分析, 根据分析得出的温度场制定了可行的施工方案. 实践证明理论分析得出的温度变化规律与实测结果基本符合, 采取的施工方案安全可靠, 满足施工综合防裂要求, 达到了温度控制的目的.

[参考文献]

[1] 龙志飞. 有限元法新论 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 45-50
[2] 王铁梦. 工程结构裂缝控制 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 66-68
[3] 叶琳昌, 沈义. 大体积混凝土施工 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987. 115-119
[4] 章熙民, 任泽霖, 梅飞鸣, 等. 传热学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984. 128-135

[责任编辑: 刘健]