

# 大体积混凝土放热过程试验监测与仿真

朱希文<sup>1</sup> 袁伟斌<sup>2</sup> 黄丽霞<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(浙江同济科技职业学院 浙江 杭州 311231)

<sup>2</sup>(浙江工业大学建筑工程学院 浙江 杭州 310023)

<sup>3</sup>(杭州萧山园林集团有限公司 浙江 杭州 311231)

**摘要** 大体积混凝土因导热系数、浇筑温度等影响因素,在浇筑混凝土后因温差过大易产生温度裂缝。通过在混凝土配合比设计中掺入一定量的粉煤灰,减小混凝土绝热温升。以工程实例为基础建立三维模型,并将实测数据与 COMSOL 模拟结果进行对比分析,再用 COMSOL 软件从不同的影响因素对其进行模拟分析。模拟结果表明:掺加粉煤灰的混凝土在浇筑大体积混凝土时,若外界温度较低,仍将产生温度裂缝。低温环境下,改变混凝土浇筑温度对混凝土裂缝控制影响不大,可通过适当调节混凝土的导热系数,使混凝土温度梯度符合施工规范要求。

**关键词** 大体积混凝土 放热 粉煤灰 监测 仿真

中图分类号 TU398 TP391.9 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.06.010

## MONITORING AND SIMULATION OF MASS CONCRETE EXOTHERMIC PROCESS TEST

Zhu Xiwen<sup>1</sup> Yuan Weibin<sup>2</sup> Huang Lixia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou 311231, Zhejiang, China)

<sup>2</sup>(College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

<sup>3</sup>(Hangzhou Xiaoshan Garden Group Co., Ltd., Hangzhou 311231, Zhejiang, China)

**Abstract** Due to factors such as thermal conductivity, pouring temperature and other factors, mass concrete is prone to temperature cracks after pouring concrete due to excessive temperature difference, etc. By incorporating a certain amount of fly ash in concrete mix design reduced concrete insulation temperature rise. A three-dimensional model was established based on engineering examples, and the actual experimental data of the project was compared with the COMSOL simulation results to verify the validity of the method. Then the COMSOL software was used to simulate the analysis from different influencing factors. The simulation results show that, under low temperature environment, after adding fly ash into concrete, it is still produce temperature crack when pouring mass concrete. Also, changing the temperature of concrete pouring has little effect on the crack control of concrete. The concrete thermal conductivity can be properly adjusted to let the concrete temperature gradient meet the requirements of construction specification.

**Keywords** Mass concrete Exothermic Fly ash Monitoring Simulation

## 0 引言

大体积混凝土因其在浇筑过程中会产生大量的水化热,导致混凝土内部产生裂缝进而破坏混凝土结

构<sup>[1-4]</sup>。因此,不少研究学者通过理论公式和数值技术对大体积混凝土放热进行计算。

余建杰等<sup>[5]</sup>用 Midas 对某高层建筑体积最大的 7 号桩承台进行仿真分析,考虑在冷却水管情况下对混凝土温度场的影响,未对其他影响因素进行探究。李

涛等<sup>[6]</sup>用 Ansys 对斗轮机的基础建立计算模型仿真分析温度裂缝,王强等<sup>[7]</sup>用 abaqus 对沈阳某工程超厚筏板基础建立温度场模拟分析,模拟数据比实测数据偏高。

本文以实际工程为例建立模型,导入 COMSOL 进行温度模拟,估算在粉煤灰掺量 20% 时对大体积混凝土温度的影响,分析其是否在保证混凝土强度同时可以减少混凝土裂缝。该模型以瞬态热传导方程为基础,对其浇筑后 20 天温度变化进行模拟,并与实测数据进行对比分析。推测其产生裂缝的原因,再通过导热系数和浇注温度等因素对大体积混凝土温度裂缝控制进行模拟分析,并对其产生的影响效果进行对比分析,可为预防大体积混凝土开裂提供理论依据<sup>[8]</sup>。

## 1 工程概况及实测数据

济南佳汇大厦工程地下 3 层,地上 15 层,大厦为筏形地基,基础埋深 10 m<sup>[9]</sup>,其混凝土配合比如表 1 所示。从基础上选取三个点,分布对其进行监测,并绘制其温度与时间的变化关系如图 1 所示。不同测点的分布位置如图 2 所示。

表 1 C40 混凝土施工配合比

参数	数值
坍落度/mm	160 ~ 180
水灰比	0.36
水 kg/m	162
水泥 kg/m	332
砂 kg/m	622
石子 kg/m	1 144
粉煤灰 kg/m	114
UEA 膨胀剂 kg/m	34
JNJSII 缓凝减水剂 kg/m	2.76

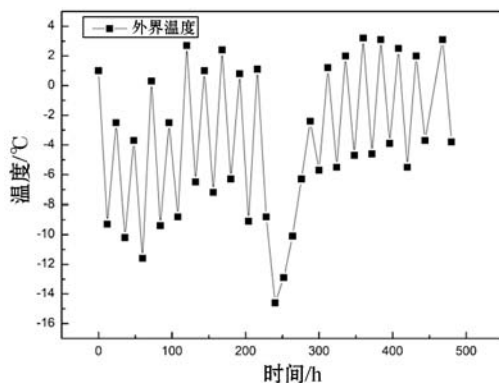
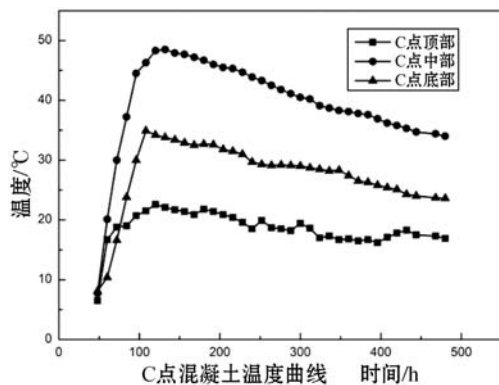
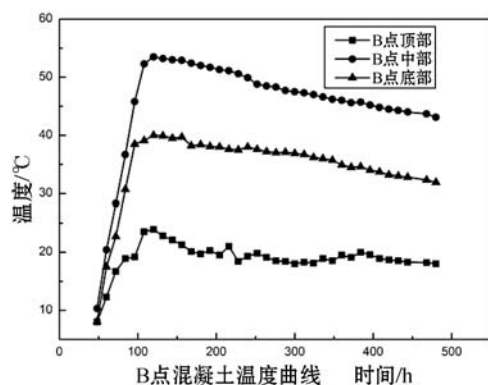


图 1 不同点处的温度变化

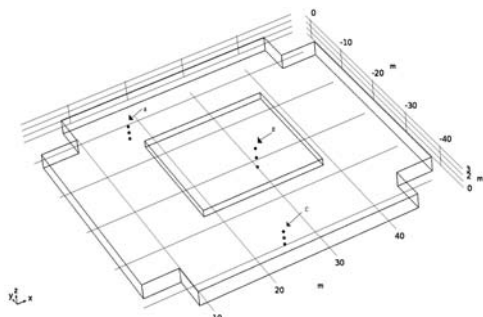
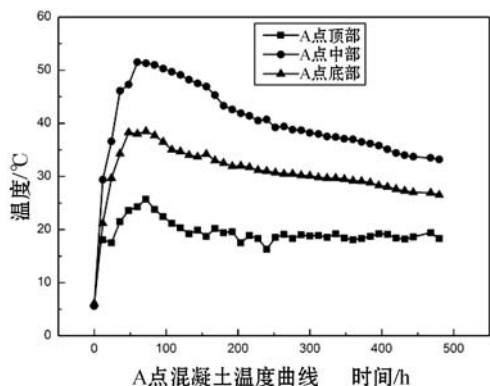


图 2 不同测点分布位置



## 2 模拟参数设定

根据济南佳汇大厦实际基础平面图建立三维模型,其基础总体尺寸为 50 m × 50 m,最大厚度约为 3.2 m,四周局部厚度约为 2.2 m。根据 CAD 尺寸将该基础尺寸导入 COMSOL 软件中,并取 C 点进行计算。混凝土

基础的基本参数如表2所示<sup>[9]</sup>。

表2 材料的基本参数

材料	导热系数 /(W/(m·K))	比热容 /(J/(kg·K))	密度 /(kg/m <sup>3</sup> )
混凝土	2.6	970	2 511

### 3 模型验证

将测点处模拟温度数据与混凝土温度实测数据进行对比分析。如图3所示,COMSOL计算得到的C点的温度数值,并发现计算结果与现场实测曲线基本吻合,数值相差不大。如:在C点顶部第12h时,实测数据为18.1℃,而模拟值为17.8℃;相应的中部实测值为29.4℃,而模拟值为28.8℃。COMSOL仿真计算得到的数据与实测数据误差均在10%以内,如表3所示。因此本文模型与实际工程较为匹配,可利用该模型进行计算。

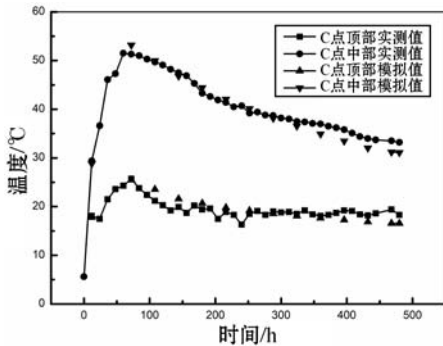


图3 C点实测值与模拟值对比

表3 预测值与实测值的误差

时间点/h	实时监测	COMSOL 仿真	相对误差/%
72	25.7	25.48	0.85
144	19.9	21.61	8.89
216	18.9	19.77	4.6
288	19	18.55	-2.37
360	18.1	17.64	-2.61

## 4 结果及分析

### 4.1 导热系数的影响

如图4所示,当混凝土导热系数为3(W/(m·k))时,C点顶部温度为25.1℃,而中部温度为52.7℃;随着混凝土导热系数增加时,C点的温度逐渐降低。而当导热系数大于6(W/(m·k))时,顶部和中部温差小于30℃,满足最新规范要求。

这是因为导热系数增加则传热速率也就逐渐增

加,大体积混凝土耗热较快,能够有效减少混凝土裂缝的产生。因此,在施工过程中应合理选择混凝土的种类;配合比的优化或掺合料的掺入。

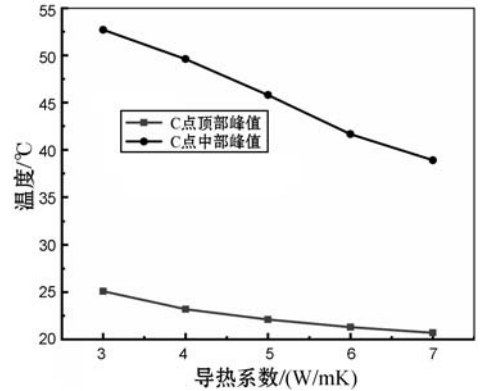


图4 不同导热系数对温度影响

### 4.2 浇筑温度的影响

浇筑温度是指大体积混凝土在浇筑过程时空气的温度,也即为室外温度。从图5可以发现,当浇筑温度为0℃时,C点顶部温度为25.13℃,而中部为48.23℃。随着浇筑温度的上升,C点处的温度也在逐渐上升。并且顶部和中部的温差也逐渐上升,根据计算结果,当浇筑温度大于25℃时,大体积混凝土内部温差会超过30℃,因而不满足规范要求即会出现裂缝。

这是因为,浇筑温度即空气温度会作为边界条件参与大体积混凝土放热过程中,继而对传热过程产生影响。因此,通常大体积混凝土施工需要在冬季施工,这样能够避免裂缝的产生。

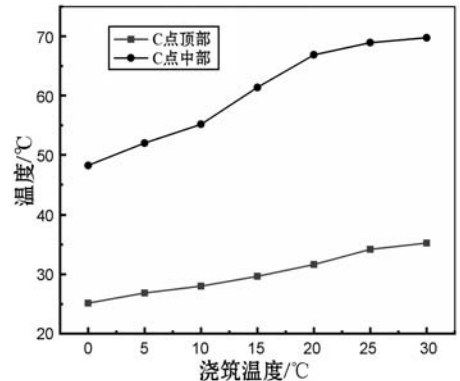


图5 不同浇筑温度对温度的影响

## 5 结语

通过COMSOL软件对大体积混凝土放热过程及其影响因素进行计算分析,得出了以下结论:

(1) 大体积混凝土在浇筑完后3d左右,表里温度差会大于30℃,超过规范要求,此时混凝土内部会出现裂缝。因此,建议需在浇筑完1~3d内对大体积进行洒水降温处理。

(2) 建立的 COMSOL 仿真模型,能够较好地与实际数据吻合,其最大正负误差为 10%。误差原因主要来自于实际工程中室外空气温度的不确定性,而在仿真模拟中室外空气温度给出的是平均值。

(3) 通过建立的仿真模型得出,大体积混凝土温度建筑温度增大会使混凝土内部的温度应力逐渐增大,导致裂缝的产生。因此建议浇筑温度在 25 ℃ 以下最佳,这也是大部分大体积混凝土工程多在冬天浇筑的原因。

(4) 通过调整混凝土的配合比,能够使得混凝土的导热系数降低,从而减缓了传热过程,避免了温度裂缝的形成。通过模拟得出,当混凝土导热系数低于 6 W/(m·k) 后,即粉煤灰掺量 10%,能够有效避免裂缝产生。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 陶建强,李化建,黄佳木,等. 铁路工程大体积混凝土的水化热及裂缝控制[J]. 铁道建筑, 2018(1):146-149.
- [ 2 ] 朱鹏飞,宫经纬,唐新军. 大体积混凝土胶凝材料体系水化放热规律研究[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(6): 111-116.
- [ 3 ] 雷元新,符耀东,陈景辉. 大体积混凝土温度有限元分析及温度梯度限值研究[J]. 施工技术, 2018(8):97-101.
- [ 4 ] 唐际宇,林忠和,陈勇辉,等. 南宁华润中心东写字楼超厚底板大体积混凝土温度裂缝控制技术[J]. 施工技术, 2018(4):10-13.
- [ 5 ] 王强,霍延威,夏菲,等. 基于 ABAQUS 的大体积混凝土水化热温度场的数值分析[J]. 混凝土, 2015(7):35\39.
- [ 6 ] 李涛,张洵安,高娃. 基于 ANSYS 的大体积混凝土温度应力的研究[J]. 混凝土, 2010(12): 43-46.
- [ 7 ] 余建杰,宋固全,吴浪. 基于 MIDAS 的大体积混凝土桩承台温度场有限元分析[J]. 混凝土与水泥制品, 2012(5):34-37.
- [ 8 ] 湛超,刘松,邓华伟,等. 大体积混凝土温度及温度应力影响因素研究[J]. 材料导报, 2015, 29(26):198-201.
- [ 9 ] 王健,延森,王锦力. 筏板基础大体积混凝土温度场实测与数值模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版, 2015,34(3):364-368.
- [ 10 ] 吴猷,穆春龙,张黎黎,等. 筏板基础混凝土水化热研究及数值模拟[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2010,31(2): 285-288.

改造为面向智能体的形式并集成到研讨厅中,使这些软件成为协同研讨工具。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 操龙兵,戴汝为. 综合集成研讨厅的软件体系结构[J]. 软件学报, 2002, 13(8):1430-1435.
- [ 2 ] Barthes J P, Fuckner M. ONTOCODESIGN: An exercise in using agents to cooperatively develop a CSCWD ontology [C]//IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. IEEE, 2015.
- [ 3 ] Talib A M, Alomary F O. An Interactive Distance Education and E-Learning System Based on Multi Agent System Architecture[C]//2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS). IEEE, 2018: 1-6.
- [ 4 ] Kaeri Y, Sugawara K, Manabe Y, et al. Prototyping a meeting support system using ubiquitous agents[C]//IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. IEEE, 2015.
- [ 5 ] Jones A, Moulin C, Barthes J P, et al. Personal assistant agents and multi-agent middleware for CSCW[C]//IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. IEEE, 2012.
- [ 6 ] 张永建,安鲁陵,谭昌柏,等. 基于 MBD 和多 Agent 的飞机构件工装协同设计系统开发[J]. 航空制造技术, 2017, 530(11):87-92.
- [ 7 ] 王凯,刘毅,王垚,等. 一种基于服务代理双总线架构的协同设计系统[J]. 计算机科学, 2014, 41(6A):472-473.
- [ 8 ] Wooldridge M. Mobile Agents in Networking and Distributed Computing[M]. Wiley-Interscience, 2012.
- [ 9 ] Chen B, Cheng H H, Palen J. Integrating mobile agent technology with multi-agent systems for distributed traffic detection and management systems[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2009, 17(1):1-10.
- [ 10 ] Aversa R, Martino B D, Rak M, et al. Cloud Agency: A Mobile Agent Based Cloud System[C]//2010 International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems. IEEE, 2010.
- [ 11 ] Cucurull J, Martí R, Navarro-Arribas G, et al. Agent mobility architecture based on IEEE-FIPA standards[J]. Computer Communications, 2009, 32(4):712-729.
- [ 12 ] Greenwood D, Lyell M, Mallya A, et al. The IEEE FIPA approach to integrating software agents and web services [C]//Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems. ACM, 2007: 276.
- [ 13 ] McArthur S D J, Davidson E M, Catterson V M, et al. Multi-agent systems for power engineering applications-part 2: technologies, standards and tools for building multi-agent systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4): 1753-1759.

(上接第 25 页)

的开发手段,搭建了协同研讨场景的原型系统,并以一次模拟的协同研讨以及一个样例工具作为验证,验证结果证明了本文所述技术的可行性与有效性。后续工作中,需要将更多的文档编辑、建模及仿真软件的代码