

DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.20210704001

文章编号: 1674-599X(2023)01-0076-07

BIM技术在混凝土施工温控监测中的应用研究

周文哲, 刘晓平, 游涛, 程永舟

(长沙理工大学 水利与环境工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:本研究针对大体积混凝土施工温控过程中监测数据不直观、理论计算与施工监控脱节等问题,提出了基于BIM技术的在大体积混凝土施工的温控动态控制方法。在Revit平台上,建立某船闸混凝土施工温控监测模型,结合Revit和数据库,以二次开发的形式实现监测信息与模型集成,同时将BIM模型导入有限元软件,进行大体积混凝土温控过程的仿真模拟。研究结果表明:将BIM应用于施工温控监测,提高了对监测信息的可视化管理与分析能力,并为温控仿真数据与实际工程监测数据之间的反馈提供了途径,可更好地指导大体积混凝土施工的温控。

关键词:大体积混凝土;BIM;信息集成;温控仿真

中图分类号:U641.5

文献标志码:A

Research on the application of BIM technology in the temperature control and monitoring of concrete construction

ZHOU Wenzhe, LIU Xiaoping, YOU Tao, CHENG Yongzhou

(School of Hydraulic and Environmental Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: This study proposes a dynamic control method for temperature control in mass concrete construction based on BIM technology, aimed at addressing problems such as non-intuitive monitoring data and the disconnection between theoretical calculations and construction monitoring in the temperature control process. A temperature control monitoring model for the concrete construction of a certain ship lock was established on the Revit platform. The integration of monitoring information and the model was achieved through the secondary development of Revit combined with a database. In addition, the BIM model was imported into finite element software for simulation of the temperature control process of large-volume concrete. The research results show that the application of BIM to construction temperature control monitoring improves the visualization management and analysis capabilities of monitoring information and provides a feedback path between temperature control simulation data and actual engineering monitoring data, which better guides the temperature control of mass concrete construction.

Key words: mass concrete; BIM; information integration; temperature control simulation

大体积混凝土的浇筑是一个动态变化过程,持续时间长,其间混凝土温度会不断改变。为了避免混凝土结构在施工过程中由于温度、应力等原因开裂,常在结构设计之初,结合工程经验,通过温控仿真计算等手段,研究大体积混凝土温度的变化规律,指导实际施工^[1-2]。同时,可采用基于无线或有

线传感器系统,监测混凝土结构的内部温度变化^[3]。根据实测温度的变化规律,结合理论值,分析混凝土的最大温升、里表温差、降温速率等是否处于合理范围内^[4-6]。根据不同结果采取相应措施,这是一个动态控制的过程。设计阶段所做的混凝土温度场分析及温控措施是基于多年数据基础上分析得

收稿日期:2021-07-04

作者简介:周文哲(1996—),男,长沙理工大学硕士生。

出的理想结果,但实际施工过程经常会出现与其不一致的情况^[7]。当实际温度与仿真预测值出现较大偏差时,参与各方需根据实际的工程状况和边界条件,分析出现偏差的原因和可能产生的影响,再决定是否需要变更施工方案或采取适当的温控措施,使后续施工过程中混凝土温度场的变化保持在可控范围内。该过程需要各方协同参与温控,及时进行信息交换与沟通,需要一个可以及时呈现各方所需的信息平台。

随着建筑信息模型技术(building information modeling, BIM)出现以及相关计算机软件的发展,越来越多的工程运用BIM实现了多方信息的整合,解决了出现的问题。BIM平台为大体积混凝土温控过程的信息交流提供了一种新的途径。张琳^[8]提出了将Revit模型导入Midas软件的方法,将BIM模型运用到锚碇大体积混凝土的温度应力分析中。GE等^[9]利用BIM模型,进行了有限元计算的前处理和计算温度应力,实现了大体积混凝土楼板浇筑过程的优化。这些研究将BIM技术运用于温控的仿真分析,为整合BIM平台进行温控设计理论分析提供了可行性。CHEN等^[10]通过在Revit中开发插件,实现了传感器监测数据的可视化。HAMOONI等^[11]利用Revit API监控传感器信息,基于交互操作性拓展了监控数据。廖哲男等^[12]将混凝土的温度监测与BIM技术相结合,对设计阶段的温控计算结果进行温度测控,并通过3D模型显示其测控结果。本研究引入传感器模型,在施工中运用BIM技术进行监控。利用BIM平台,整合温控仿真与温控监测数据,便于施工合作方能及时掌握、分析混凝土温度的变化情况,为温控仿真数据与实际工程监测数据之间的反馈以及指导大体积混凝土施工温控提供一条新的途径。

1 BIM温控监测系统研究

BIM作为一个能直观、动态展示施工过程的平台,能实现多方信息整合,易于施工参与方及时交换信息,快速发现施工过程中所出现的问题。设计方能利用BIM模型进行温控仿真分析,得出混凝土温度变化规律,建立初步温控方案与标准。在BIM中开发温控监测系统,将嵌入混凝土的传感器所收集的数据引入模型,便于施工参与方及时掌握混凝土温度动态变化,发出预警信号,监控施工风险来

源,减少危险事故和质量问题。施工方按方案实施时,可将理论温度变化规律作为施工的预测依据,将实测温度值与理论值进行对比,分析两者的偏差。根据分析的结果,施工方可及时调整施工措施,使混凝土温度场的变化保持在可控制范围之内。利用BIM能整合多方信息优势。在施工早期阶段,设计方可根据施工状况,结合早期监测数据,优化理论计算参数与边界条件的选取,形成与前期监测数据更贴近的理论计算模型。该模型对后续施工方案的模拟结果,可作为混凝土温度场变化的理想情况。随着施工的推进,实际的温度监测情况与理想的模拟结果之间可能出现偏差。在理想计算模型的基础上,建立预测模型,分析偏差产生的原因和影响,决定是否采取控制措施。建立的预测模型还可分析拟采取的施工措施或突发状况等对混凝土温度的影响。根据可能产生的结果,提出相应措施,指导后续施工。同时,在根据模型指导实际施工后,可将产生的状况作为下一施工阶段预测模型的计算条件。预测模型随施工推进变化,形成以实时计算分析为指导的动态控制过程。利用BIM实现混凝土温控的动态控制,将理论分析、施工控制与反馈整合到同一平台中,提高施工合作方的工作效率和工程质量。

根据该构想,将BIM运用于大体积混凝土的温控监测中,建立一个完整的系统平台,平台架构如图1所示。从图1可以看出,该系统平台涉及BIM模拟施工、BIM软件与结构分析软件间的通讯,温控的仿真分析,传感器系统的数据传输与交换,实现多方参与的网络平台的构建。本研究的主要内容:①建立监测系统模型;②通过Revit API开发,实现监测信息的集成;③将温度监测结果与温控仿真结果进行对比分析。

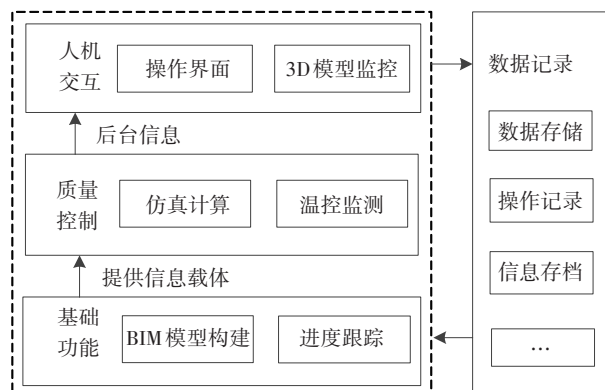


图1 BIM温控系统整体架构图

Fig. 1 BIM temperature control system architecture

1.1 BIM 监测模型的建立

温控监测信息的可视化管理,以及对数据模型的交互性操作,都是需要在BIM模型的基础上才能实现的。因此,建立工程结构的BIM模型,反映温控监测区域,这是实现温控监测信息集成BIM的前提。

本研究使用的BIM建模软件为Revit,混凝土结构模型先采用载入族的方式对混凝土结构各个构件建立参数,然后,在项目文件中组装完成整体模型。监测大体积混凝土在浇筑时的温度,采用监测仪器模型和图元ID建立监测信息与模型之间的连接,实现监测信息在BIM模型中的表达。

1.2 温控监测信息集成开发

由于大多数BIM软件最初是为了支持三维设计而开发,从功能上来说,无法描述施工过程,比如记录、展示动态数据,以及对数据进行动态可视化展示。Revit作为一个有效的动态可视化BIM平台,利用其易于开发的特性,将数据库技术与BIM相结合,实现开发数据库与Revit之间的相互拓展。既弥补了数据库平台对信息表达与展示能力的不足,又扩充了BIM承载信息的能力。

通过Revit API实现Revit与数据库之间的访问通道。以C#类库的形式,通过Revit插件实现各种功能的拓展。将数据库中的监测数据与Revit中的模型联系起来,实现监测数据在空间上的可视化表达,在Revit中,每一个模型实例均有唯一的图元ID。因此,可以将图元ID作为固定编号,在项目中检索模型。另外将图元ID与温控监测信息一同储存在数据库中,以此作为温控监测信息与Revit模型实例之间的纽带。在Revit平台上,通过Revit API开发,添加温控监测信息数据库的管理界面,实现温控监测信息的录入、查询,以及温控监测信息与Revit模型的交互。

通过Revit API开发温控监测数据管理界面,以Access作为后台数据库存储数据,实现温控监测数据在Revit平台的可视化管理。

1.3 温控仿真应用研究

实际施工过程中,外界环境条件、约束条件等因素随着施工过程的进行而改变。因此,在温控仿真计算中,有限元计算模型也随着施工的进行而相

应改变。大体积混凝土施工进行仿真分析时,采用有限元软件进行建模,但面临复杂构件会产生难以构建模型、模型参数需多次修改等问题。因此,将BIM软件运用于有限元分析的前处理中,可以大幅提高有限元分析的效率。

目前,主流的BIM软件能与有限元计算软件进行一定程度上的数据交互,实现BIM模型与有限元模型的转换。通过该方法,将BIM模型用于温控仿真分析中。在混凝土浇筑施工开始前,根据已有的设计资料对施工过程进行仿真模拟,得出的一套可行并符合规范的施工温控方案,以此作为初步标准指导后续施工。在施工过程中,使用仿真模拟的结果对混凝土温度变化规律进行预测,并对实际温度监测数据与仿真模拟结果之间的偏差进行分析,根据这些信息在施工过程中进行相应指导。该过程技术路线如图2所示。

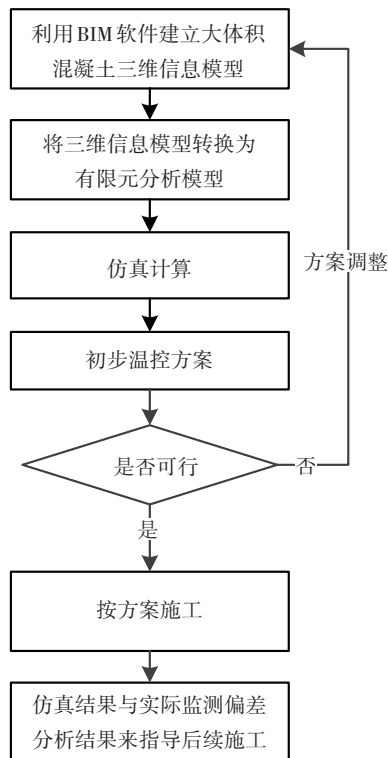


图2 BIM温控仿真技术路线

Fig. 2 Technique routes of BIM temperature control simulation

2 BIM 温控监测集成应用

2.1 监测模型建立

以湘江干流的某船闸工程为实例,建立温控监

测模型。其船闸下的闸首结构在夏季施工,闸首底板厚度为 7.5 m,浇筑量大。为了避免混凝土出现裂缝,分层浇筑,从底部到顶部每层厚度分别为 2.0、1.5、3.1、0.9 m。采用 Revit 软件进行 BIM 建模,按照混凝土的分层浇筑方案分块建立。船闸结构分为底板和后浇带,对其分别建模。底板采用分层分块的方法,在水平方向上分为上下游块,在垂直方向上划分浇筑层,如图 3 所示。

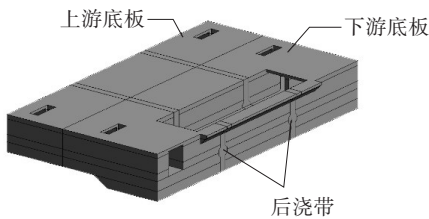
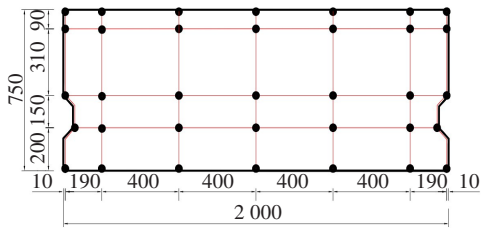


图 3 下闸首底板分层浇筑模型

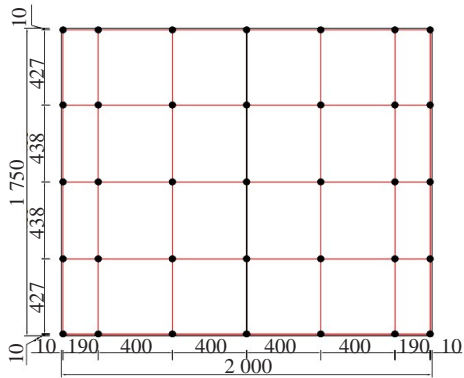
Fig. 3 Layered pouring model of the bottom gate of the lower gate

浇筑时,监测船闸闸首中底板部位的温度。采用 PN-4C 型数字多路温度巡检仪及配套传感器,其中,传感器在混凝土浇筑前埋设于拟测断面上。

该工程共布置 175 个传感器,测点主要布置在闸首上游的中底板处。根据监测方案,监测仪器埋设位置如图 4 所示。



(a) 监测仪器布置纵断面



(b) 监测仪器布置横断面

图 4 监测仪器布置(单位:cm)

Fig. 4 Layout of monitoring equipment(unit:cm)

通过 Dynamo 程序设置测点,从 Excel 文件中读取测点位置,载入温度计族并放入项目指定位置中。监测仪器本身尺寸较小,为方便在模型中查找出温度测点,将温度计族尺寸放大 10 倍以便于模型显示。温度计放置在底板中的最终效果如图 5 所示。

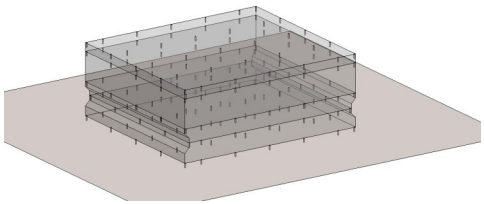
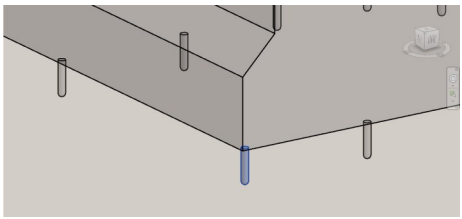


图 5 在中底板中放置温度计

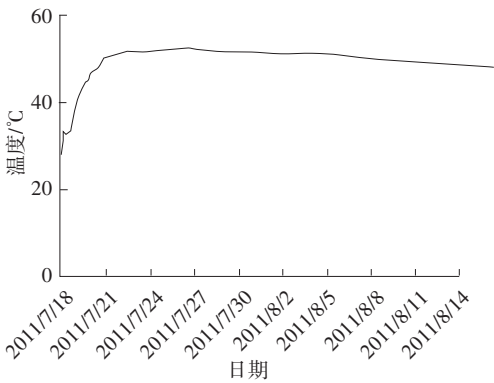
Fig. 5 Arrangement of thermometers in the base plate

2.2 温控监测信息集成

温控监测信息储存于后台数据库。通过开发插件的形式,实现 Revit 与数据库信息的互通。通过其他功能模块,查看 2011 年 7 月 10 日—8 月 27 日的混凝土温度监测信息,并与相应的模型图元进行联系,如图 6 所示。通过该方法,能及时准确地掌握施工过程中混凝土温度的动态变化情况,同时会呈现每个测点对应的三维模型,使监测施工过程更为直观。



(a) 传感器信息在模型中的显示



(b) 监测曲线

图 6 监测信息

Fig. 6 Monitoring information

3 温控仿真分析

结合 Midas FEA 软件,对船闸中底板的浇筑进行仿真分析。选取部分计算模型,通过 Iges 文件将其导入 Midas FEA 中。导入的模型是一个整体的网格组,还需进一步完善,包括实体网格划分、基本假定、模型选取、边界约束及荷载设定等工作。通过网格划分后,建立结构计算模型,上游中底板属于对称结构,可以取其 1/4 模型进行计算,最终建立的计算模型如图 7 所示。

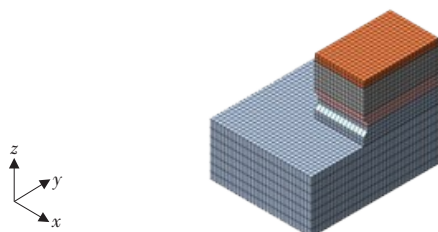
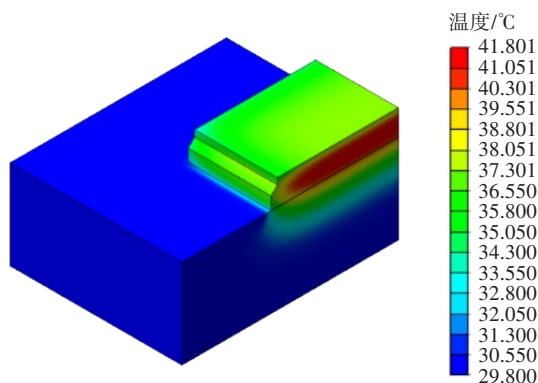


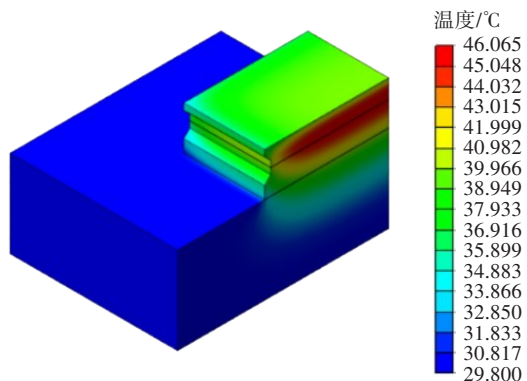
图7 结构计算模型建立

Fig. 7 Establishment of structural calculation model

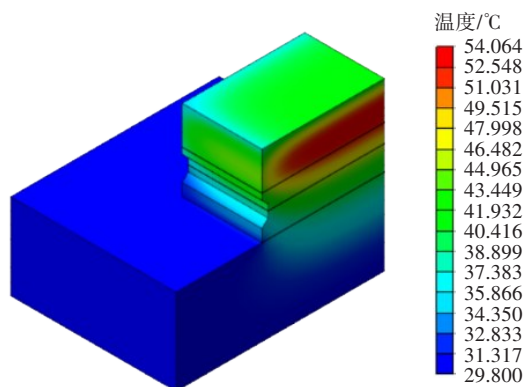
针对船闸闸首中底板建立的有限元模型,结合预设的施工方案,并考虑混凝土热学和力学参数,经计算分析得到各施工阶段的混凝土内部的最高温度及最高温度发生的时间和位置等信息,如图 8 所示。



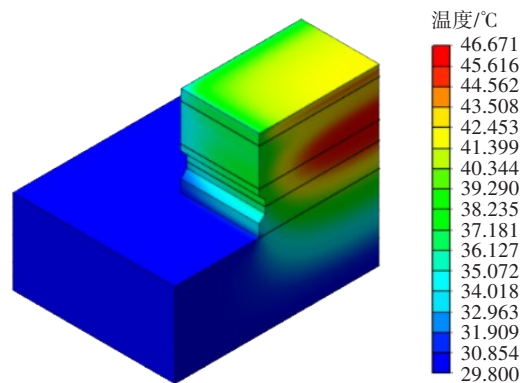
(a) 浇筑第一层



(b) 浇筑第二层



(c) 浇筑第三层



(d) 浇筑第四层

图8 各层温度场分布图

Fig. 8 Temperature field distribution diagram of each layer

根据混凝土内部温度场的分布与变化规律,选取各层中心特征测点温度计的实测温度值与分层浇筑的仿真分析温度值进行对比,特征测点位置如图 9 所示,选取位于浇筑面中心位置的 4 个测点,其高程分别为 7.4、9.4、10.9、14.0 m。

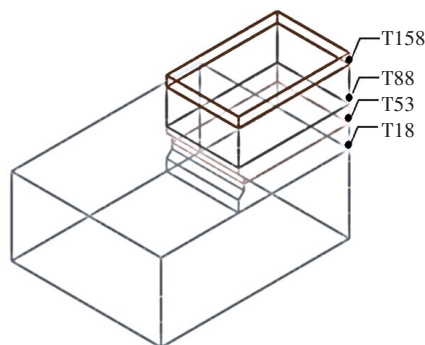


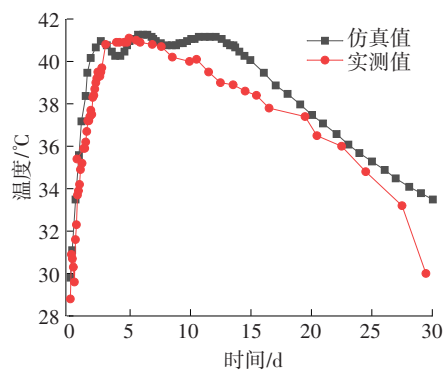
图9 特征测点位置

Fig. 9 Location of feature measuring points

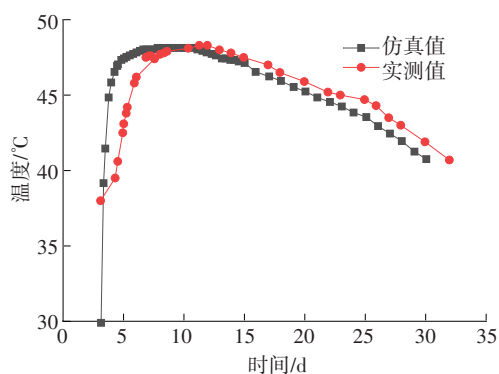
将各层中心特征测点的实测温度与仿真数据进行对比,如图 10 所示。从图 10 可以看出,测点 T18、T53、T88 温度实测值的变化趋势和理论计算变化趋势基本一致,仅温度峰值的出现时间有较小偏差。由有限元分析得出,混凝土温度峰值的出现时间较实际情况更早,这是仿真计算时混凝土的水化

热参数取值存在偏差导致的,设计人员可根据BIM平台获取实际温度监测信息,反演分析计算所需要的混凝土热力学参数,并将新的参数用于下一阶段的施工仿真模拟中,这样的计算结果与实际情况更为贴近。

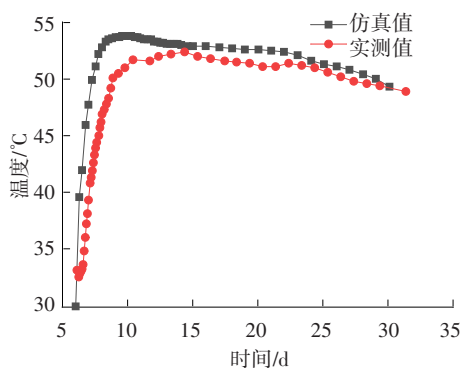
测点T158温度实测值的变化趋势在升温阶段与理论计算基本一致,但温度峰值小于计算值,且在降温过程中出现较大偏差,实测值出现了波动情况。这是由于测点T158所在的浇筑层处于表层,且厚度较小,该测点受环境温度影响较大,在仿真计算中未考虑气温骤升、骤降,以及较大昼夜温差的情况,因此造成了偏差。在实际工程中,施工方可根据施工现场的环境变化,通过BIM温控监测系统分析气温突变的影响,采取及时有效的保温或降温措施,减小温度变化波动,避免混凝土出现里表温差过大的情况。



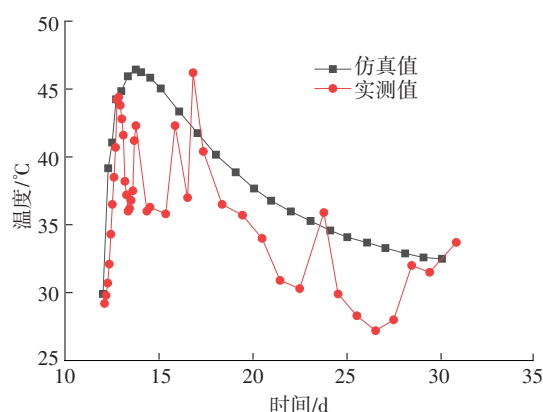
(a) T18测点仿真与实测数据



(b) T53测点仿真与实测数据



(c) T88测点仿真与实测数据



(d) T158测点仿真与实测数据

图10 各层中心特征测点实测温度与仿真数据对比

Fig. 10 Comparison of measured temperature and simulation data of characteristic measurement points in the center of each layer

4 结论

本研究结合BIM整合多方信息,利用该平台便于沟通交流的优势,设计了BIM在大体积混凝土温控监测中的应用流程,提出了通过实时计算分析指导施工的模式,研究了BIM温控仿真与温控监测中的部分应用。以实际船闸工程为案例,实现了温控监测信息在BIM中的可视化,以及BIM模型在有限元仿真中的应用,结论如下:

1) BIM温控系统的提出,为大体积混凝土温控问题提供了新的解决方案。利用BIM平台,整合多方信息,实现现场监测信息的实时反馈和动态风险预警,以及多方交互下的决策管理。

2) 实现温控监测信息集成与可视化。以Revit平台结合数据库开发的形式,实现在BIM中温控监测信息的集成。Revit平台实现了温控监测信息的储存,提升了监测数据的直观表达能力与管理能力。

3) 基于BIM模型快速建立有限元模型进行温控仿真分析。结合实际监测数据,分析仿真值与实测值之间的偏差,提出早期警告,监控风险来源,减少质量问题。施工合作方均能从BIM平台及时获取所需信息,对其进行分析并指导施工,提高了合作效率,也提高了对工程质量的控制能力。

4) 根据BIM在温控监测中的整体构想,后续将对其他功能模块也进行研究,最终实现利用BIM实时监控施工质量,实时计算分析指导施工的目的。

参考文献(References):

- [1] 刘亚朋,李盛,王起才,等.大体积混凝土温度场仿真分析与温控监测[J].混凝土,2019(2):138-141.
LIU Yapeng, LI Sheng, WANG Qicai, et al. Simulation analysis of mass concrete temperature field and temperature control monitoring[J]. Concrete, 2019(2): 138-141.
- [2] 张玉平,曾旅中,张亚昕,等.隧道锚锚塞体大体积混凝土温控特性研究[J].交通科学与工程,2020,36(3):28-36.
ZHANG Yuping, ZENG Lyuzhong, ZHANG Yaxin, et al. Study on temperature-control characteristics of anchor-plug mass concrete[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2020, 36(3): 28-36.
- [3] 蔡云丽,秦忠国,黄天.涵闸工程施工期混凝土温度监测系统与水化热参数反演[J].南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 177-182.
CAI Yunli, QIN Zhongguo, HUANG Tian. Automatic monitoring system for concrete temperature and inversion analysis of hydration heat parameters in culvert projects[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(3): 177-182.
- [4] 陈辉,韩芳垣.大体积混凝土温度裂缝的成因分析及控制措施[J].混凝土,2006(2):74-75.
CHEN Hui, HAN Fangyuan. Factors and controlling measures caused by the temperature cracking of mass concrete[J]. Concrete, 2006(2): 74-75.
- [5] 蔡惠华.大体积混凝土温度裂缝施工控制[J].水运工程,2007(6):112-116.
CAI Huihua. Construction control of temperature cracks of mass concrete[J]. Port & Waterway Engineering, 2007(6): 112-116.
- [6] 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(S2):198-201.
CHEN Chao, LIU Song, DENG Huawei, et al. Influential factors of mass concrete temperature and temperature stress[J]. Materials Review, 2015, 29(S2): 198-201.
- [7] 童天培.大体积混凝土温度计算与现场实测数据分析[J].施工技术,2015,44(S2):514-516.
TONG Tianpei. Mass concrete temperature calculation and analysis to the actual measured data[J]. Construction Technology, 2015, 44(S2): 514-516.
- [8] 张琳.锚碇大体积混凝土的温控研究与BIM技术的应用[D].成都:西南交通大学,2019.
ZHANG Lin. Study on temperature control of anchorage mass concrete and application of BIM technology [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.
- [9] GE B, ZHANG J. Construction technology and quality control of mass concrete in super high-rise buildings based on BIM [C]. 5th International Conference on Economics, Management and Humanities Science, 2019.
- [10] CHEN J L, BULBUL T, TAYLOR J E, et al. A case study of embedding real-time infrastructure sensor data to BIM [C]//Construction Research Congress 2014. Atlanta, Georgia. Reston, VA, USA: American Society of Civil Engineers, 2014: 269-278.
- [11] HAMOONI M, MAGHREBI M, MAJROUHI SARDROUD J, et al. Extending BIM interoperability for real-time concrete formwork process monitoring [J]. Applied Sciences, 2020, 10(3): 1085.
- [12] 廖哲男,魏巍,赵亮,等.大体积混凝土BIM智能温控系统的研究与应用[J].土木建筑与环境工程,2016,38(4):132-138.
LIAO Zhenan, WEI Wei, ZHAO Liang, et al. Application of intelligent temperature control system of mass concrete based on BIM [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2016, 38(4): 132-138.

(责任编辑:罗容;校对:李脉;英文编辑:李岳林)