

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.04.019



大体积混凝土 BIM 智能温控系统的 研究与应用

廖哲男¹, 魏巍², 赵亮³, 张亚婷⁴

(1. 中铁十二局集团 建筑安装工程有限公司, 太原 030024; 2. 辽宁工业大学 土木工程学院, 辽宁 锦州 121001; 3. 重庆筑智建建筑科技有限公司, 重庆 400020; 4. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:传统大体积混凝土通水冷却施工多采用人工监控温度,存在数据采集处理不及时、监测数据准确性差、温度控制效率低等问题,针对这些问题,开发一种 BIM 智能温控系统。具体方法为:选择 Revit、Navisworks 等 BIM 软件进行二次开发;利用控制计算机、温度数据采集设备、自控阀门循环水泵、无线网络通讯及桥接设备、工业集成软件服务器及客户机等搭建温度测控系统;建立温度预警机制并搭载人工智能控制算法,通过无线传输接收测温元件传递的数据,系统自动判别温度异常情况并控制冷却水管阀门的开关;在 BIM 实体模型中标记实际测温点的相对应位置,使系统以三维形式同步直观反映相应测温点位置混凝土温度曲线变化,并提供预警功能。系统在寸滩长江大桥中进行了测试,结果表明,系统采集数据准确灵敏且预警及时,温度采集的精确度和效率均得到提高,温度控制较为理想。

关键词:BIM 技术;大体积混凝土;可视化;智能控制

中图分类号:TU712.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2016)04-0132-07

Application of intelligent temperature control system of mass concrete based on BIM

Liao Zhenan¹, Wei Wei², Zhao Liang³, Zhang Yating⁴

(1. Building and Installing Engineer Co. Ltd. of China Railway 12th Bureau Group, Taiyuan 030024, P. R. China;
2. School of Civil Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, Liaoning, P. R. China;
3. BIM-Smart Building Tech. Co. Ltd, Chongqing 400020, P. R. China;
4. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The traditional construction of mass concrete water cooling usually adopted artificial monitoring method, which had problems such as Lag data acquisition and processing, poor monitoring data accuracy and low temperature control efficiency. A control system of mass concrete based on BIM was put forward to solve these problems. Revit and Navisworks were selected for secondary development. The temperature measurement and control system were established by using the control computer, temperature data acquisition device, control valve circulating pump, wireless network communication and bridging equipment, industrial integration server and client software. The data transmitted by the wireless

收稿日期:2016-01-05

基金项目:重庆建设科技计划(2015-2-3)

作者简介:廖哲男(1982-),男,主要从事建筑信息化研究,(E-mail)93912824@qq.com.

Received:2016-01-05

Foundation item:Chongqing Construction Science & Technology Program(No. 2015-2-3)

Author brief:Liao Zhenan (1982-), main research interest:building information, (E-mail) 93912824@qq.com.

transmission receiving temperature measuring element, the system could distinguish the abnormal temperature of the temperature and send the instruction to realize the automatic switch of the cooling water pipe valve. The BIM entity model was built in the system platform, and the relative position of the actual temperature measurement point was marked in the model. Then the system was synchronized with the three dimensional form to reflect the temperature curve of the temperature measuring point. This system was tested in the Cuntan Yangtze River Bridge, showing that the system data was accurate and sensitive early warning in time, the accuracy and efficiency of temperature acquisition were improved, and the temperature control was ideal.

Keywords: BIM technology; mass concrete; visualization; Intelligent control

大体积混凝土在施工阶段产生的温度应力往往超过外荷载引起的结构应力,使混凝土产生温度裂缝,对结构的整体性、耐久性、抗渗性等重要性能造成严重影响。因此,大体积混凝土的施工质量是一个重要的控制点。常用的大体积混凝土温度控制方法主要有分层浇筑、预埋冷却水管、跳仓法施工、骨料预冷等^[1]。其中,预埋水管通水冷却是以散热降温为出发点的一种人工温度控制措施,即利用冷却水流动使热量在尽量短的时间内耗散^[2]。传统的通水冷却方法多采用人工监控,现场数据、信息都需手动采集,存在监测数据准确性差、温度控制效率低、受人为因素影响大等缺点,且工作人员距离浇筑点较近,有安全隐患^[3]。

现代信息化技术的发展为这些弊端提供了解决方案,人们已经在不断探求一种实时高效、智能精确的温度控制方法。林鹏等^[4]提出建立一种大体积混凝土通水冷却智能温度控制方法与系统,实现远程实时、在线复杂通水信息的自动采集与反馈控制。陈志远等^[5]提出通过预设温度变化过程线和实测混凝土温度进行冷却水流的通断决策,提出对冷却通水的自动控制的新方法。Jing 等^[6]提出建立用于温度控制和裂纹预防的数据库系统。杜小凯等^[7]建立了一种动态智能温控系统,利用 GPS 技术、网络技术、数据库技术、自动化监测技术和数值仿真技术对动态智能温控进行了分析与探究。住建部 2015 年 6 月指出施工企业要全面推行基于 BIM 应用的施工管理模式和协同工作机制,综合应用数字监控、移动通讯和物联网技术,实现施工现场集成通讯与动态监管,进一步提高施工精度、效率和安全保障水平^[8]。BIM 技术与实时监测控制的集成研究日趋深入,在现场施工、资源管理、进度控制等方面在不断尝试多种实时控制系统,并与 RFID 及 GPS 结合形成各种资源跟踪技术^[9]。笔者在结合传统的大体积

混凝土施工温控技术方法基础上,提出 BIM 技术与冷却水管相结合的大体积混凝土温控方案,开发出具有数据存储、信息查询、数据分析、预警和自动控制等功能的大体积混凝土 BIM 智能温控系统。该系统在重庆寸滩长江大桥北锚碇施工中进行了试用,取得了较好效果。

1 工程概况

重庆寸滩长江大桥总长 1.6 km,跨江主桥主跨 880 m,桥面宽度 38 m,南北两岸引桥总长 720 m,属特大悬索桥。两岸锚碇均为重力式锚碇,明挖扩大基础,其中,北锚碇基础平面尺寸为 56 m×58 m,基座以上扣除锚体需要空间,均采用片石混凝土压重,基底采用阶梯式,整个锚体在平面呈 U 形,锚块、鞍部均采用实体结构。锚碇基础、压重块、锚块等均属大体积混凝土施工。

2 基于 BIM 的大体积混凝土温控系统

2.1 BIM 温控系统设计原理

与传统冷却通水温控方法相比,在基于 BIM 的温度控制系统中,工作人员通过自动控制平台对冷却水的通断进行远程控制,改善传统方法中主要依靠人工采集、录入和处理数据的问题,减少了数据传递过程中人为因素的影响;通过 BIM 温控平台和工业控制协议的结合,实现数据的实时动态采集和反馈,可解决传统方法中数据采集、处理滞后的问题,提高数据处理的效率;BIM 实体模型携带各类物理信息与现场信息,以三维模式直观、动态反映混凝土温度变化情况,改善了传统温控中二维、抽象的数据分析方法。BIM 温控系统主要设计原理为:首先依据施工工艺进行 3D 建模,在 BIM 虚拟环境中按照施工组织设计进行施工模拟,以检验并优化构件之间的空间关系;然后搭建 BIM 温控信息平台,建设

BIM 温控模块,在混凝土中放置测温元件,将信息平台与现场测温设备通过计算机相连接,经监测仪器实时采集温度数据,并通过通讯协议转换传输至 BIM 信息平台中,在已建 3D 建筑信息模型相应测温点位置中同步直观反映混凝土温度变化;最后在 BIM 温控系统中建立温度预警机制,搭载人工智能控制算法,系统自动判别温度是否异常并通过无线传输发送指令,实现冷却水管阀门的自动开关,从而实时调节水量并达到控制混凝土内部温度、减少混凝土内外温差的目的。

2.2 温控系统组成

BIM 温控系统是作为 BIM 信息化管控平台中的温控模块而建立,该平台以欧特克公司 Revit 建模平台作为模型的创建载体,在此基础上利用 Microsoft .NET Framework、Javascript 及 HTML、C++、Autodesk CAD、Autodesk Revit、Naviswork 等搭建而成。平台整体界面如图 1 所示。开发该 BIM 信息化管控平台时,针对桥梁锚碇大体积混凝土施工设置了温度测控模块。温度测控模块是利用控制计算机、温度采集仪(KJ8215-A)、温度传感器(ZT8911-C)、自控阀门循环水泵(具备 ModBus 控制通讯协议)、无线网络通讯设备、无线网络桥接设备、工业集成软件服务器及客户机等搭建而成,温度测控模块软件底层采用 C++ 进行跨平台开发,可支持 Windows、Linux、Mac OS 以及 Android 等多系统设备,整个平台在物理设备的架构上充分考虑使用环境的复杂度,使用 ModBus 及 TCP/IP 通用协议,可通过无线、有线、3G 网络单个或混合整合进行工作,便于在复杂应用环境中平滑切换、灵活运用,温控模块构架图见图 2、图 3。

2.3 BIM 温控系统特点

1)为保证系统的稳定运行,且结合施工现场环境的复杂性及广阔性的特点,通讯方式采用无线桥接模式,某个网络节点故障不影响整个系统平台网络通讯。

2)系统供电除常规电源外,配备 UPS 电源,且 UPS 电源容量保证整套通讯设备在断电情况下稳定运行 30 min 以上。

3)温度采集仪、自控阀门、无线网络通讯设备等关键设备采用一备一用方式,保证系统硬件出现故障后及时更换。

4)系统软件在正常运行情况下,采用自动控制

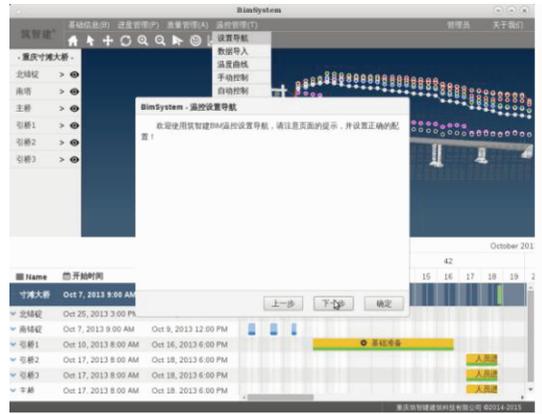


图 1 平台整体界面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the overall platform interface

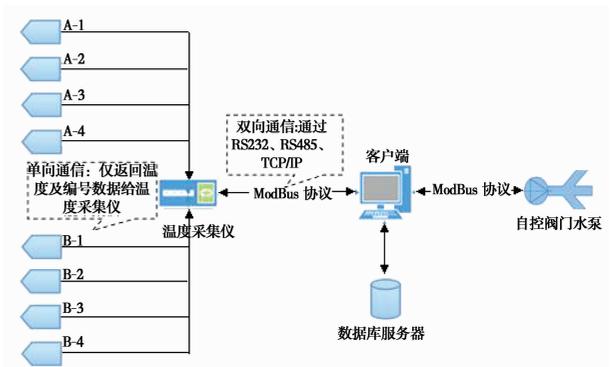


图 2 有线网络架构图

Fig. 2 Wired network architecture diagram

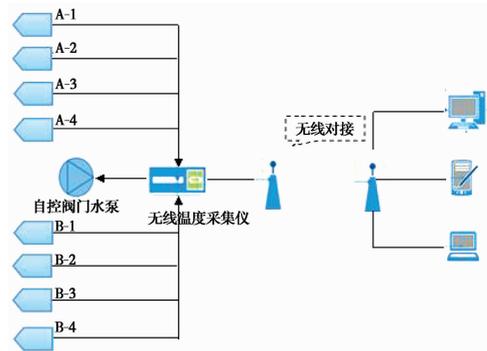


图 3 无线网络架构图

Fig. 3 Wireless network architecture diagram

模式控制阀门。网络不畅通达到 5 min 时,可自动切换到手动模式,并发出预警。

5)温度采集仪配备存储设备,在网络不畅通时,可储存 2 h 温度数据,以最大限度保证系统数据的完整性。

2.4 工作流程设置

BIM 温控系统的工作流程设置如图 4 所示。

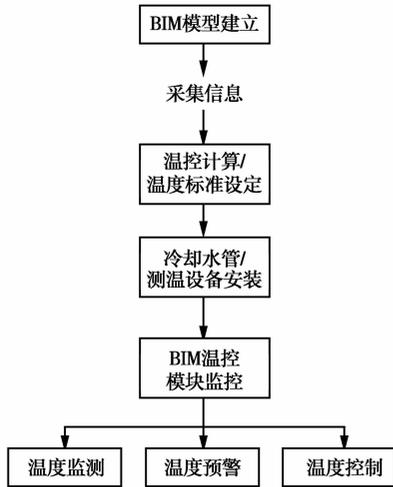


图 4 BIM 温控系统工作流程设定

Fig. 4 BIM temperature control system working flow setting

3 BIM 温控系统的应用

以重庆寸滩大桥北锚碇大体积混凝土施工为例进行说明。

3.1 BIM 参数化模型的建立

北锚碇 BIM 建模采用 Revit2014 软件平台,完全按照现场施工工艺进行,主要分为基础建模、锚碇建模以及后浇带的建模。基础建模采取分块分层方法,分块方法:基础竖向划分为 8 层,下 3 层对称均匀分成 4 块,在纵、横桥向中线上均设置 2 m 宽的后浇带。锚碇建模又分为锚块及压重块、散索鞍支墩、锚室施工、锚杆及后锚梁;锚块及压重块建模竖向分为 12 层,后浇段建模在索鞍支墩之后,共 6 m 分 4 层建立;锚室竖向按 4.5 m 高共划分为 5 层建模,侧墙带锚室顶盖一起建模;再分别对锚杆及后锚梁建模,完成后进行定位安装如图 5。

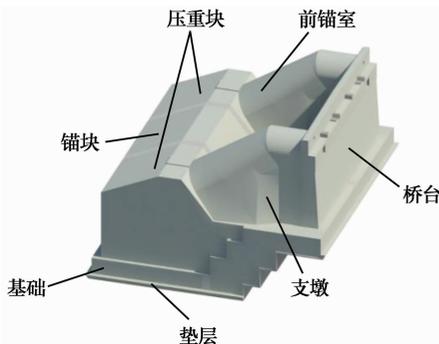


图 5 北锚碇模型组装

Fig. 5 The assembly of north anchorage model

3.2 温度标准设定

BIM 温度控制系统的温度标准依据传统方法设定,即结合传统的温度控制原则和主要施工部位混凝土绝热温控计算结果设定。

混凝土内部点和边界点的早期温度有相似的变化规律,当混凝土浇筑后,温度迅速上升,根据《大体积混凝土施工规范》(GB 50469—2009)规定,混凝土浇筑体基于入模温度的温升值不宜大于 50 °C、里表温差不宜大于 25 °C、降温速率不宜大于 2 °C/d、表面与大气温差不宜大于 20 °C^[10]。在浇筑混凝土前,各测温元件所传输的当下的温度为环境温度,从混凝土浇筑时起,所测的温度为混凝土入模温度,后续测得的温度最大值与入模温度之差即为温升值,温度控制要以尽量降低混凝土温升、延缓最高温度出现时间、控制降温速率为原则^[11]。

1) 绝热温控计算。针对北锚碇建立计算公式及有限元模型,根据混凝土物理、热学性能试验同时考虑混凝土绝热升温值、弹性模量、徐变度、放热系数等参数^[12],并进行北锚碇大体积混凝土的内部温度场及仿真应力场计算,采用 MIDAS/FEA 进行有限元计算分析大体积混凝土水化热、内部温度曲线、节点应力等,最终经计算分析得到每层混凝土内部最高温度、内外最大温差及最高温度发生的时间和位置等,从而初步判断混凝土内外温差是否在允许范围内。统计后最终计算分析结果如图 6 所示。

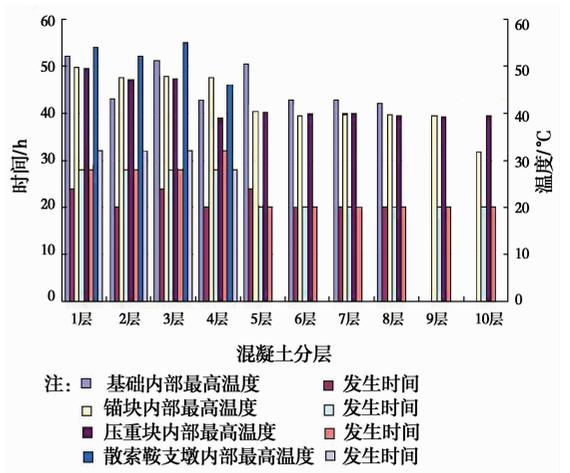


图 6 北锚碇温度有限元计算结果分析

Fig. 6 Analysis of temperature finite element calculation results of North Anchor

根据计算模型结果,混凝土内部最高温度为 55 °C,混凝土温升峰值基本在第 20~32 h 内到达,

即在混凝土水化热初期,内部混凝土温度与表面混凝土温度具有较大的差值,在此时应加强温度监测并及时采取措施。

2)温度标准设定。根据对混凝土的温升计算分析,结合预估入模温度得到混凝土内部预估的最高温度,从而在系统中进行标准软件的编写,作为温控的标准,编制温度标准曲线。对于最大温升的掌握,视施工时天气条件下入模温度的高低力求灵活机动^[13](混凝土的入模温度应视气温而调整,最好能控制在 25 ℃ 以内,不应超过 28 ℃)。冷却过程分为一期、中期、二期进行,通过一期冷却降低水化热温升,即在混凝土浇筑后立刻通水进行降温,使混凝土内部最高温度不大于 50 ℃,内外温差小于 25 ℃;中期冷却为防止一期降温后温度回升;二期则为使混凝土冷却到最终稳定温度。BIM 温控系统中温度标准曲线示意图如图 7 所示。

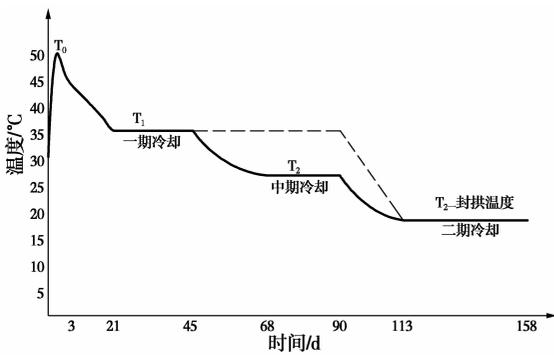


图 7 温度标准设计曲线

Fig. 7 Temperature standard design curve

3.3 温度测控

3.3.1 温度监测 温度监测是实时检验混凝土温度变化是否符合温度标准、温控措施是否有效的重要工作。温度监测的实现基础是温度数据的采集,采用 MODBUS 总线串口通讯结构的测量系统,根据大体积混凝土温度规范要求布置测点,将温度感应器(ZT8911-C)埋入混凝土,北锚碇压重块第 4 层传感器平面布置图如图 8 所示。在 BIM 模型相同位置上设置测温点,浇筑混凝土时冷却管进口采用每管一阀,每阀通过温度测控系统进行单独控制,如图 9 所示。温度采集仪依据预先设定的温度传感器编号,每间隔 1 s 采集 1 次温度传感器的温度值。温度信号从传感器传入 PID 调节器,通过 MODBUS 通讯协议将温度数字信号转化为计算机可识别信号,自动录入 BIM 模型中进行数据分析处理,并作

出进一步控制措施,采用自动化的数据处理方法,一方面节约了人力,避免人工录入可能造成的数据遗失或精确度不高等影响。以重庆寸滩大桥北锚碇压重块第 4 层混凝土温度控制为例,根据测温点传来的数据在模型中自动生成曲线图形如图 10 所示,包括每个测点内部温度、顶面温度、环境温度及冷却水管出水口、入水口温度。温度数据将与材料信息、进度信息等同作为 BIM 模型数据库中的一部分,无论是前期的分析计算还是后期的查询调取都体现了 BIM 技术即时化、可视化、动态控制的特点。

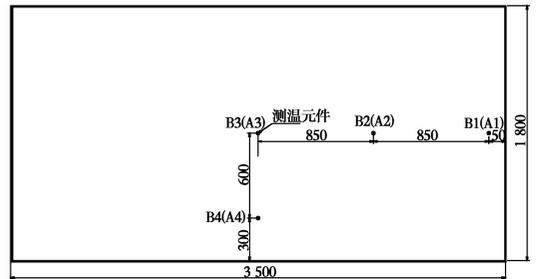


图 8 北锚碇压重块第 4 层传感器平面布置图

Fig. 8 The north anchor weight fourth layer sensor layout



图 9 自动控制阀门安装示意图

Fig. 9 Automatic control valve installation diagram

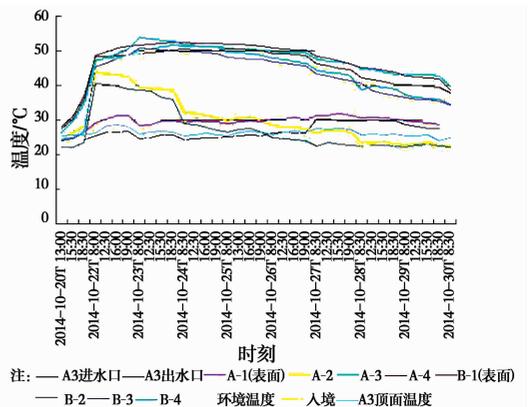


图 10 测点温度数据反馈

Fig. 10 Point temperature data feedback

3.3.2 温度预警 测控装置搭载算法软件后储存温控设计要求、水温与流量、混凝土温度等数据,对通水降温的效率进行计算,并将混凝土内部温度与设计要求的目标温度进行比较^[14-16]。当混凝土传输至计算机的温度超过相应点设定的限值时,模型中对应的监测点会在周边区域内以颜色变化(呈现红色)的形式预警(图 11),每个测温点的温度数据均在 BIM 模型中直观反映,温度出现异常的传感器编号、时间点、数值大小、与标准温度的差值都呈现在温控平台上。以重庆寸滩大桥北锚碇压重块第 4 层混凝土温度控制为例,共设 8 个测温点,测温点起始温度较正常,峰值温度过后一段时间内温度偏离标准温度,则模型中测温区域红色亮显提示,表明需及时采取控制措施。当测温点较多或多处工程部位同时施工时,温控系统优势更为明显,可以根据 BIM 模型更为直观的查看各处温度情况,每一次预警情况及处理情况相关的信息都储存在系统中,作为后期进行分析总结和优化方案研究的参考资料。

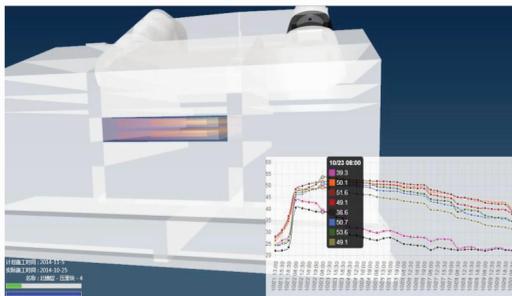


图 11 温度传感器的温度值超过预定计算模型温度时的曲线及 3D 模型

Fig. 11 Curve and 3D model when temperature sensor temperature value over calculation model temperature

3.3.3 温度控制 系统中预警发出后,系统会自动给出指令采取降温措施,算法软件根据对数据的分析确定降温水的流量大小,控制阀门开关调整通水量,并保证数据监测持续不间断,待温度回落至正常范围内后,则预警取消,阀门关闭。整个远程控制指令的操作由控制电动阀实现,电动阀使用电能作为动力,通过电动执行机构来驱动阀门,实现阀门的开关动作,从而达到对管道介质的开关目的。如果是在控制室控制电动阀,把转换开关打到 REMOTE 位置,然后通过 SCADA 系统控制电动阀的开关。

3.4 应用效果分析

系统在实际工程中的应用表明:

1)测试中,环境温度在 21~27 °C 之间变化,冷却水管进出口温差在 1.2~10.8 °C 之间变化,表面温度最高为 27.6 °C,混凝土内部温度峰值在混凝土浇筑后 1 d 后出现,峰值为 53.5 °C,随后温度逐步下降并维持在 22~26 °C,内外温差、温度控制速率及温度回升梯度满足温控要求,现场大体积混凝土施工完成后经复检未发现裂缝。

2)BIM 温控系统通过计算机终端直接采集温度数据,数据及时、准确,便于管理人员掌握现场动态情况,并实现远程自动控制。

3)系统对测温点数据进行分析,自动生成同步温度变化曲线,同时,每个测温点都在 BIM 实体模型中对应位置以三维形式显示,使整个控制过程更为直观、形象。

4)温度信息存储于 BIM 管控平台,便于后期查询、分析和管理的。

4 结 论

通过 BIM 温控系统采集的温度数据及时、准确,且通过 3D 模型处理数据更为直观,提高了温控精细化程度,也有效降低了人工劳动强度,提高了工作效率。随着 BIM 技术的不断发展,在施工过程控制中的应用将会更加广泛,为工程活动带来更多技术和社会效益。

参考文献:

- [1] 武世地,张红亚. 大体积混凝土温度裂缝控制的工程应用研究[J]. 安徽建筑大学学报, 2015, 23(1): 17-20.
WU S D, ZHANG H Y. Engineering application research on temperature crack control of mass concrete [J]. Journal of Anhui University of Architecture, 2015, 23(1): 17-20. (in Chinese)
- [2] MYERS T, FOWKES N, BALLIM Y. Modeling the cooling of concrete by piped water [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2009, 135(12): 1375-1383.
- [3] 叶何元. 超厚桥梁承台大体积混凝土温度与裂缝控制技术研究与应[D]. 南京:南京工业大学, 2010.
YE H Y. Research and application of temperature and crack control of excessive thick bridge pile mass concrete [D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [4] 林鹏,李庆斌,周绍武,等. 大体积混凝土通水冷却智能温度控制方法与系统[J]. 水利学报, 2013, 44(8): 950-957.

- LIN P, LI Q B, Zhou S W, et al. Intelligent cooling control method and system for mass concrete [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(8): 950-957. (in Chinese)
- [5] 陈志远, 谭恺炎, 王振振. 大体积混凝土冷却通水智能控制方法的应用[J]. 水利发电, 2014, 40(7): 57-59. CHEN Z Y, TAN K Y, WANG Z Z. A new intelligent control method on cooling water of mass concrete [J]. Water Power, 2014, 40(7): 57-60. (in Chinese)
- [6] JING X Y, LIU X H. Real-time temperature control for high arch dam based on decision support system [J]. Transactions of Tianjin University, 2014, 20(2): 118-125.
- [7] 杜小凯, 孙保平, 张国新. 大体积混凝土防裂动态智能温控系统应用与监测分析[J]. 水力发电, 2015, 41(1): 46-49. DU X K, SUN B P, ZHANG G X. Functions and application of dynamic intelligent temperature control system of mass concrete anti-cracking [J]. Water Power, 2015, 41(1): 46-49. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 关于推进建筑信息模型应用的指导意见 [Z]. 2015. Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Guidance on the application of building information model [Z]. 2015. (in Chinese)
- [9] HWANG S, LIU L. BIM for integration of automated real-time project control systems [C]//Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, American Society of Civil Engineers, 2010, 509-517.
- [10] 大体积混凝土施工规范: GB 50496—2009 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- Code for construction of mass concrete: GB 50496-2009 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)
- [11] 解荣. 大体积混凝土温度监控的研究[D]. 西安: 长安大学, 2011. XIE R. Research on temperature monitoring of mass concrete [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)
- [12] TANG H, CAI D S, YANG L. New planning of pipe cooling in temperature control for mass concrete [J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 300/301: 1584-1588.
- [13] 龚剑, 李宏伟. 大体积混凝土施工中的裂缝控制[J]. 施工技术, 2012, 41(6): 28-32. GONG J, LI H W. Crack control of mass concrete construction [J]. Construction Technology, 2012, 41(6): 28-32. (in Chinese)
- [14] ZHOU H G, TAN K Y, MA J G. Intelligent control algorithm for pipe cooling of mass concrete [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(1): 24-29.
- [15] LIU X, DUAN Y, ZHOU W. Modeling the piped water cooling of a concrete dam using the heat-fluid coupling method [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2013, 139(9): 1278-1289.
- [16] DONG F, LIU H, XIE W. The method for analyzing the influence of the heat loss from surface of concrete on the effect of pipe cooling system [J]. International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment, 2013, 642-645.

(编辑 胡英奎)