

# 智能化技术在建筑工业化中的应用进展

李水生<sup>1</sup>, 周泉<sup>1\*</sup>, 何君<sup>1</sup>, 马可<sup>2</sup>

1. 中国建筑第五工程局有限公司, 长沙 410004

2. 中南林业科技大学土木工程学院, 长沙 410004

**摘要** 分析了建筑智能化系统、企业信息化管理、建筑信息模型(BIM)技术运用、项目绿色施工等的研究热点及发展趋势,并在国家政策和市场层面提出了相应建议。当前建筑业整体工业化程度低、标准规程不足、生产耗能高的现状下,智能化技术的兴起能够在科技提升、成本节约和效率提高等多方面助力建筑工业化的高质量发展。

**关键词** 建筑工业化;智能化建筑;建筑信息模型

建筑工业化的概念最早于1930年左右源自欧洲,真正高速发展始于第二次世界大战后,目的是解决战后建筑房屋破坏及劳动力短缺问题,相对于传统建筑业,建筑工业化技术含量高,节省材料的同时也提高了工程质量,缩短了建设周期,减少了对环境的污染<sup>[1-4]</sup>。经过半个多世纪的发展,国外建筑工业化已经相对成熟,其中美国、日本、瑞典等国家建筑工业化率在70%以上;而中国建筑工业化起步较晚,工业化水平较低,在几十年的发展历程中先后经历了“探索期(1956—1990年)”“低潮期(1990—2000年)”“快速发展期(2000至今)”3个阶段,如图1所示<sup>[5-7]</sup>。

目前,建筑工业化成为建筑领域的研究热点。在国家政策的扶持下,建筑工业化水平不断提高,建筑设施不断完善,中国建筑工业化正朝着绿色、节能、环保的方向发展。然而,建筑工业化在快速发展的同时,行业发展过程中一些问题也凸显出来,中国的智能化建筑在现阶段主要存在发展水平较低,标准、规程缺乏,建筑耗能较高等问题;2019年中国建筑建造和运行用能占全社会总能耗的33%,与全球比例接近,但中国建筑建造占全社会能耗的比例为11%,远高于全球5%的比例,不利于“碳达峰、碳中和”目标的实现<sup>[8]</sup>。此外行业还存在劳动生产率普遍偏低、行业发展方式粗放、监管体

收稿日期:2022-05-20;修回日期:2022-06-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC1904700);中建股份科技研发课题(CSCEC-2020-Z-4, CSCEC-2021-Z-15)

作者简介:李水生,研究员,研究方向为绿色建筑与智能建造,电子信箱:2395301543@qq.com;周泉(通信作者),高级工程师,研究方向为建筑工业化与绿色建造,电子信箱:460730906@qq.com

引用格式:李水生,周泉,何君,等.智能化技术在建筑工业化中的应用进展[J].科技导报,2022,40(11):67-75;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.11.007

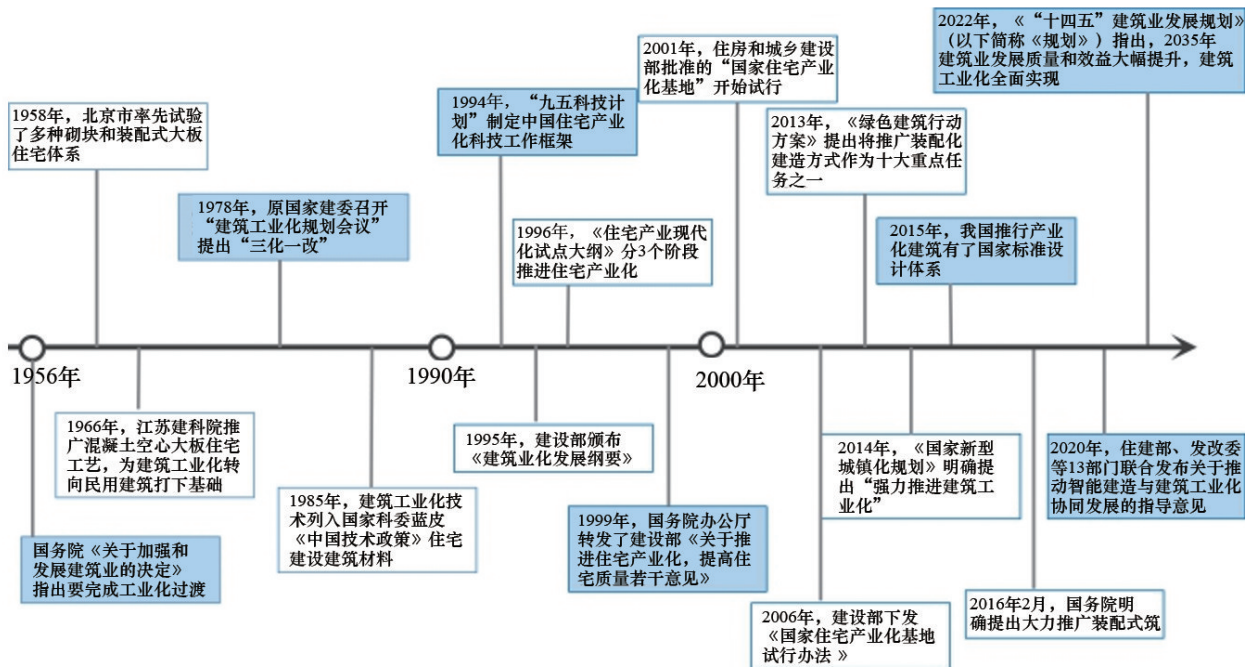


图1 中国建筑工业化发展历程

制不健全等问题<sup>[9-10]</sup>。

解决建筑能耗过高、持续提高智能建筑水平是实现建筑工业化水平的持续提升的关键所在。将智能化的研究成果融入建筑工程的产业链中,对建筑工业化的发展能起到重要推动作用。

## 1 中国建筑智能化研究趋势

建筑智能化工程就是依据建筑物为平台,具备了信息化系统、通信化系统、建筑物设备管理系统等,综合了基础结构、系统功能、服务、管理等优化组合的一个集合体,给人们展示出了建筑物的安全、高效率、快捷、节能等内容的建筑分部工程<sup>[11-12]</sup>。随着科技的发展和国家政策的提出,建筑智能化正迅速发展并逐步完善,以建筑智能化系统、企业信息化管理、建筑信息模型(BIM)技术运用、项目绿色施工等关键技术为驱动力,贯穿整个智能化建筑的发展。

### 1.1 智能化技术趋势

智能化技术在建筑业中的应用除了体现在提升建筑工程本身的科技感和智能化水平,还将通过高效智能的管理手段有效组织建筑的建造过程,并

且利用自动监控、无人巡检、机器视觉等技术对项目进行全面的信息搜集和分析反馈,达到建筑全过程的信息化和智能化。随着中国建筑工业化市场发展的不断成熟,建筑工程的设计技术也将不断应用智能化手段提高设计的科学性和智能性,通过整体、系统的智能化规划,建筑工程可实现数字孪生、动态协同,满足社会经济的发展需求。在学术研究方面,众多专家学者从2000年开始对建筑智能化的研究开始增多,这与国家出台的相关政策密不可分,建设部产业技术政策领导小组和工作小组于2000年撰写完成了共由21项技术政策专题与综合报告为内容组成的建设部产业技术政策,其中第10项专题是“智能化建筑技术政策要点”<sup>[13]</sup>。2013年又颁布了《智能建筑工程质量验收规范》(GB 50339—2013)<sup>[14]</sup>,顶峰时期年发文量达到了415篇(图2),智能化建筑的研究出现持续高涨的态势。从图2中可知,2000年左右发文量增长并不明显,到2007年才出现较为明显的增长,2017—2019年论文量达到峰值,可见国家层面政策的落地需要一个过程,行业对技术的接受和应用也同样需要一个过程。

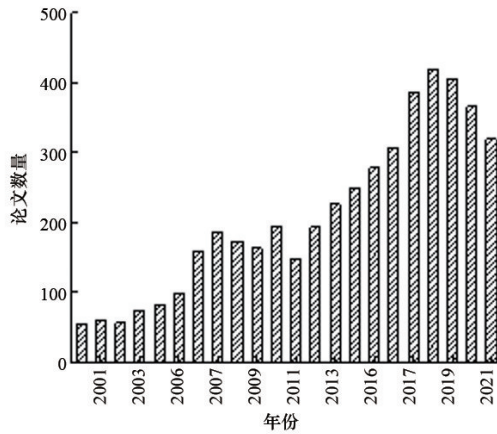


图2 智能化建筑相关研究年发文量

### 1.2 研究要点

通过对智能化建筑的研究要点进行统计,目前

智能化的研究主要集中在建筑智能化系统、施工、BIM技术、工程应用等方面;此外绿色节能建筑以及新型材料在智能化建筑中的研究也较为广泛,近几年的研究朝着建设智能化系统以及应用的方向发展,将BIM技术应用到施工等领域,极大的提高了施工的质量和速度,对我国建筑工业化的发展起到了积极的作用,如表1所示。

通过研究要点聚类图可以看到不同关键词之间的关联性,从图3可以看出,建筑智能化系统、应用、BIM技术、施工等关键词贯穿整个智能化建筑的发展,以上研究要点之间关联性越高,说明在这个领域的研究越重要。

智能化建筑发展至今已经经历了较长一段时间,在研究过程中伴随着新的研究方法的出现,这

表1 研究要点统计

研究要点	出现次数	相关连节点	研究要点	出现次数	相关连节点
建筑智能化系统集成	161	124	建筑电气与智能化	19	1
施工	130	108	公共建筑	16	7
应用	112	94	分析	15	11
BIM	67	35	养护制度	14	26
绿色节能	58	32	技术	14	9
设计	57	57	措施	14	17
超高性能混凝土	52	66	发展	12	15
项目管理	37	21	质量问题	12	7
力学性能	36	44	安防系统	11	10
问题	34	56	新型建筑智能化平台	11	0
对策	23	36	超高层建筑	10	6

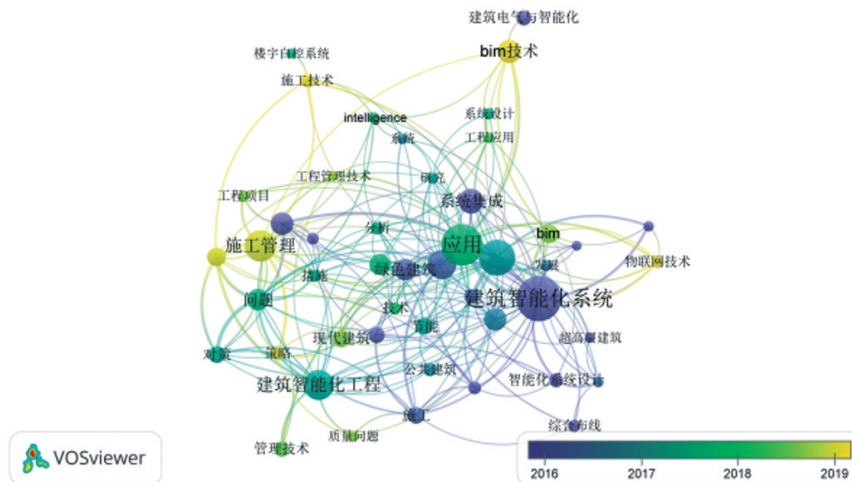


图3 研究要点聚类

些研究方法促进了建筑智能化的发展;随着建筑智能化的研究,智能化系统也将应用到建筑的其他领域中。针对当前研究的热点方向,对建筑智能化系统、BIM技术、应用3个方面的研究进行了综述。

## 2 智能化系统集成

通常情况下,智能化系统集成是对各种不同类型设备当中现有的通信子网进行合理的利用,促使计算机网络可以实现系统内部各种设备相互之间的有效连接<sup>[15-18]</sup>。智能建筑系统集成最主要的是体现其先进与实用性,其具体功能是对建筑智能化系统的全面监控、资源管理与信息共享,使建筑各功能协调运作,实现安全性及高效的目标<sup>[19-21]</sup>。当今世界产业结构正向高增值型与知识集约型转变,智能建筑产业发展极快,建筑技术与“智能化”技术的内在紧密结合,逐渐形成了一体化的智能建筑系统结构<sup>[22-24]</sup>。

### 2.1 通信自动化系统

通信自动化系统(CAS)是智能建筑的核心,它是向建筑提供如数据、话音、图像、多媒体等信息的一套系统,是反映大楼的信息化和智能化的最重要标志之一<sup>[25]</sup>。目前通信自动化系统(CAS)包括:程控数字用户交换机系统PABX、电话通信系统、有线电视系统CATV、视频会议系统VCS、视频点播VOD、广播电视卫星系统、同声传译系统、公共/紧急广播系统、计算机局域网LAN、用户接入网<sup>[26]</sup>。通信自动化中电话网络、计算机网络、有线电视网络进行合理的物理连接,保证了网络的相互连通、无缝覆盖业务上相互影响<sup>[27]</sup>。

在自动化通信系统中,安防控制系统主要包括门禁系统、险情自动报警等,这些系统通过互联网与系统控制中心服务器实现信息互通,智能家用电器是通过无线网卡与通信自动化系统的数据总线实现连接,然后通信自动化系统就可以与系统实现信息互通<sup>[28]</sup>。

### 2.2 楼宇自动化系统

楼宇自动化系统(OPC)具有集成特性,将电器设备与建筑物通过集成控制方式进行管理,一般来

说楼宇自动化系统可以分为4个层次,但每一层都需要有OPC技术的支持,楼宇自动化系统还包括暖通空调系统、配电系统、安全防范系统等<sup>[29-31]</sup>。楼宇自动化系统中关键点包括设计系统框架和选者合适的开发工具,它可以实现对大楼内各种机电设备的统一管理、协调控制;实现对大楼内各种机电设备的统一管理、协调控制;能源管理:水、电、气等的计量收费、实现能源管理自动化等<sup>[31-34]</sup>。

### 2.3 办公自动化系统

办公自动化系统(OAS)也叫信息化应用系统<sup>[35-36]</sup>。通用的办公自动化系统提供的主要功能有:文字处理、模式识别、图形处理、图像处理、情报检索、统计分析、决策支持、计算机辅助设计、排版、文档管理、电子账务、电子邮件、电子数据交换、来访接待、电子黑板、会议电视、同声传译等;办公自动化可以分为事务型OAS、管理型OAS、决策型OAS、集成一体化OAS等<sup>[37]</sup>。

通信自动化系统、楼宇自动化系统、办公自动化系统3个部分共同组成了以智能化和数字化为基础的智能建筑。为适应建筑工业化科技发展需求,其智能化系统的建设必须提供安全、高效、智能、便捷的协同系统,为业主提供一个自动化、智能化、现代化、功能兼备、开放灵活的生活生产环境,并且为建筑运维提供节能、舒适的技术手段,以高效的实施科学管理。

## 3 BIM技术在建筑工业化中的应用

BIM是一个设施物理和功能特性的数字化表达,能够共享信息资源从而为其生命周期的各种决策构成一个可靠的基础,BIM技术可以为设计方、建筑承建方、物业主、经营者建立沟通的桥梁,提供处理工程项目所需要的即时相关信息<sup>[38]</sup>。

### 3.1 基于BIM的施工智能化

#### 3.1.1 BIM施工应用技术

BIM应用的技术框架如图4<sup>[39]</sup>所示,包括接口层、数据层、平台层、模型层和应用层,其中接口层中,BIM技术可以实现非IFC格式信息转换,将不同格式的数据源及模型传输到系统中;应用层提供

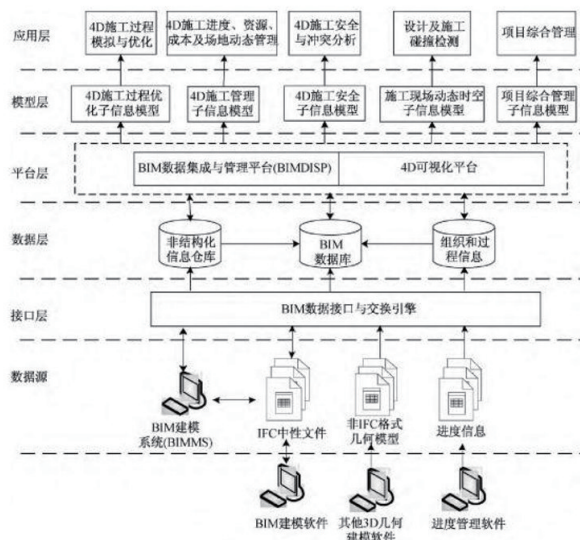


图4 BIM技术应用框架

了基于BIM和网络的4D施工进度、资源、质量、成本和场地管理,4D安全与冲突分析<sup>[39-42]</sup>。

### 3.1.2 BIM施工整体结构

BIM在施工过程中的结构包括,施工建模系

统、工程项目动态管理系统、施工安全与冲突系统、施工优化系统、项目综合管理系统。其中建模系统依据 AutoCAD 为图形平台开发了建筑施工 BIM 建模系统(BIM modeling system, BIMMS);动态管理系统可以快速完成施工段划分,形成4D动态现场管理;碰撞分析系统可以进行动态碰撞和检测;优化系统可以实现多个方案的比选,实现施工进度、资源和优化场地的模拟;管理系统为管理人员提供依据和支持<sup>[39,43-44]</sup>。

### 3.2 BIM+物联网

BIM技术是可视化的三维数字建筑模型,而物联网技术通过有效采集现实数据并且导入BIM模型中,可以实现虚拟模型和实际情况的融合,将BIM技术与物联网技术相结合起来实现上层管理与基础层之间的信息联通显得十分重要;BIM+物联网管理平台由基础层、资源层、支撑层及应用层构成,在建筑物资采购过程中可以实现物联网植入、BIM协同设计、BIM方案优化<sup>[45-48]</sup>,如图5<sup>[39]</sup>所示。

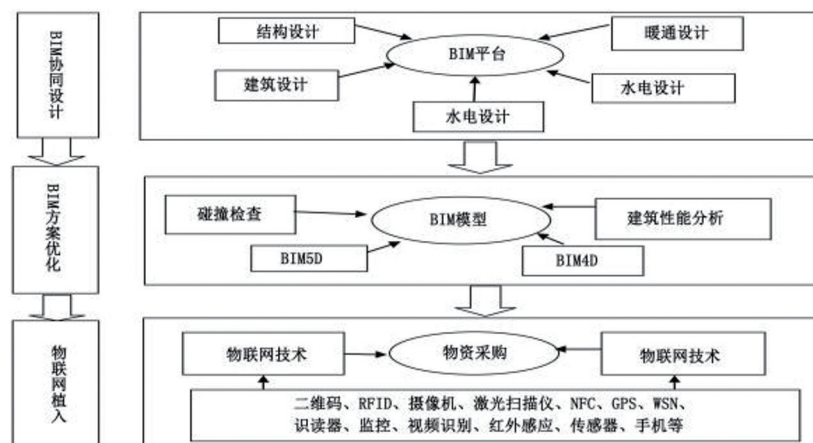


图5 BIM+物联网物资采购平台流程

### 3.3 基于BIM技术的绿色建筑

建筑工业化发展的趋势中,绿色建筑是未来主要发展方向和现代化建筑的重要组成。运用快速信息储存的BIM技术,建筑设计师能够快速识别和纠正方案中的缺陷问题,高效的使用智能技术得到最优实施方案,并且在建造全过程中进行数据跟踪和纠偏,为后期运维提供详细的数据库。中美合作的迪士尼项目中采用的一体化项目实施(integrat-

ed project delivery, IPD) 的管理模式和业主方主导的BIM技术无纸化应用,体现了BIM的绿色技术,为施工设计绿色化发展提供新思路。BIM技术可以实现多单位多工总的协调整合,保证产品与施工图之间没差错,而且改变了传统的先设计再施工的模式,极大地缩短了工期,减少了资源的浪费,提高了工程预算的精度,节约了施工成本<sup>[49-53]</sup>。

## 4 工程应用

### 4.1 工程中常见的智能化技术

随着建筑工业化和数字化技术发展,地理信息系统(GIS)、建筑信息模型(BIM)、物联网(IoT)和虚拟/增强现实(VR/AR)等之翰呢华技术逐步进入土木工程领域。常见的道路基础设施的管理和维护需要记录大量维护日志和现状数据,这种现场信息记录往往消耗大量人力资源,而现在采用BIM+GIS的方式能够非常精准处理和记录这些非常重要的地理特征,并且很容易进行项目的后期数据管理。BIM+三维扫描技术是一种实景复制技术,在不破坏建筑物的基础上可以获得建筑物的三维信息,对古建筑的复建、维修、保护等有着重大的意义<sup>[54]</sup>(图6<sup>[56]</sup>)。BIM与AR结合,在BIM模型中确定风险源,再到AR中进行虚拟现实的模拟,现场人员通过现实与模拟情况的比较,确定危险源的类型进而对进行安全控制。目前仍处于初步探索阶段,两者结合不深,且存在信息不匹配的问题<sup>[55]</sup>。

### 4.2 建筑工程各阶段的智能化应用

目前BIM已经应用到工程项目的设计阶段、施工阶段、运维阶段。利用BIM可视化进行深入设计,判断各个位置的设计是否合理,极大地提高了设计的效率和速度<sup>[56]</sup>。王勇等<sup>[57]</sup>将BIM技术引入建筑结构施工图中,建立了IFC结构框架的结构设计施工图信息模型;魏方华<sup>[58]</sup>提出了铁路站场数字化设计系统,对设计参数进行数字化保存,依据阐述进行铁路站场BIM模型构建。

在施工阶段通过构建施工管理平台,实现施工一体化管理,王婷等<sup>[59]</sup>以BIM为工具,进行4D施工



图6 BIM+三维扫描技术扫描图

进度模拟,对整体的施工状况和施工现场布置进行模拟;薛刚等<sup>[60-61]</sup>探究BIM5D技术与上游软件交互原理,归纳出大型机电安装工程中的应用流程,通过BIM5D技术不仅可以发现设计问题防止现场施工,还可以有效缩短工期减少成本。

在运维阶段杨鹏提出DM方法有利于预测、预警和决策,提高资源的使用和运维效率<sup>[62]</sup>;McArthur<sup>[63]</sup>提出了运维模型必须解决的4个问题,包括提供所需要的关键信息、信息传递等;汪霏等<sup>[64]</sup>总结了运维阶段的管理现状,引入BIM技术解决运维阶段信息处理过程。

BIM项目应用具有真实性、代表性、突破性等优点,目前BIM的施工应用不仅应用到建筑工程中还应用到桥梁公路及设备安装工程中。将BIM技术和4D技术应用到实际工程中去,可以实现施工动态模拟、综合调试模拟、综合调试模拟,完成了BIM模型在安装、调试和运营管理3个阶段的共享利用。表2所示为BIM在实际工程中的应用<sup>[39,65-67]</sup>。

表2 BIM在实际工程中的应用

项目名称	应用功能						
	4D施工 模拟	4D施工 进度安排	4D施工 资源管理	4D施工 成本管理	4D施工 现场管理	碰撞检测	安全冲突 分析
国家体育场	√	√	√	√	√		√
广州珠海新城新塔	√	√	√	√	√		√
青岛海湾大桥	√	√	√	√			√
昆明新机场	√	√	√	√	√	√	
上海国际金融中心	√	√	√	√	√	√	√
成都大魔方演艺中心	√	√	√	√	√	√	√

### 4.3 智能化技术的应用案例

智能化技术凭借其智能控制以及全流程 BIM 数字化工作已经在实际工程中得到广泛应用,如图 7<sup>[68-74]</sup>所示。智能化技术能够在节约工期、寿命全周期管理、施工提效、设计优化、协同工作和精细化管理方面提高建筑品质。例如亚洲最大的发电厂采用 BIM 技术工期节省了 9 个月;珠海歌剧院借助

BIM 技术解决了寿命全周期问题;广州周大福金融中心通过 MagiCAD、GBIMS 施工管理系统等 BIM 产品应用取得良好成效;国家会展中心主体结构采用 BIM 建模,提高了设计效率和优化效果;苏州中南中心则是搭建了 BIM 组织协同管理平台,实现跨专业跨组织协同工作;天津 117 大厦实现专业模型及信息化集成,实现项目精细化管理。



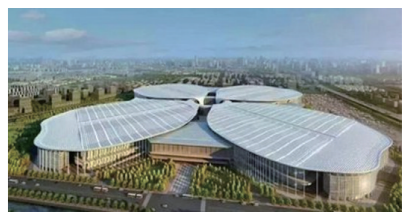
(a) 亚洲最大生活垃圾发电厂



(b) 珠海歌剧院



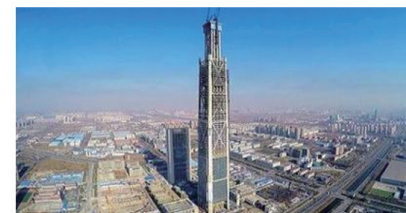
(c) 周大福金融中心



(d) 国家会展中心



(e) 苏州中南中心



(f) 天津 117 大厦

图 7 BIM 在建筑中的应用

## 5 结论

智能建筑在建筑工业化中占据重要地位,根据发文量可以看出近几年建筑工业化的研究处于上升趋势。智能化系统集成、BIM 技术以及工程应用是当前研究的热点问题。针对现存的一些问题提出以下建议:

1) 在国家政策方面:伴随着一些国家政策的提出,建筑工业化已经得到重视,但是相关规范和标准还不完善,完善相关标准体系对建筑工业化的发展至关重要。

2) 在市场方面:存在市场不规范、管理制度不严格等问题,建立智能化监督管理体系。

### 参考文献 (References)

[1] 陆群甫, 金威威, 张军, 等. 我国建筑工业化发展现状与问题对策[C]//中国土木工程学会总工程师工作委员会

2021 年度学术年会暨首届总工论坛会议论文集. 北京: 中国土木工程学会, 2021: 242-244.

[2] 黄光球, 郭韵钰, 陆秋琴. 基于智能建造的建筑工业化发展模式研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(3): 28-34.

[3] 王俊, 赵基达, 胡宗羽. 我国建筑工业化发展现状与思考[J]. 土木工程学报, 2016, 49(5): 1-8.

[4] 本刊编辑部. 以智能建造为支撑 推动建筑产业高质量发展[J]. 中国建设信息化, 2022(2): 46-50.

[5] 都业洲. 我国建筑工业化发展现状及未来对策思考[J]. 公路, 2021, 66(8): 284-288.

[6] 毛志兵. 推动绿色发展 建设美丽中国——2022 年新年寄语[J]. 施工技术, 2022, 51(1): 1-3.

[7] 赵洁. 生态视角下装配式建筑发展探析[J]. 智能城市, 2021, 7(22): 50-51.

[8] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告—2021[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.

[9] 住房和城乡建设部计划财务与外事司, 中国建筑业协会. 2016 年建筑业发展统计分析[R]. 北京: 住房和城乡建设部, 2017.

[10] 国务院安委会办公室关于 2018 年上半年全国建筑业安全生产形势的通报[R]. 北京: 国务院安全生产委员会

- 办公室, 2018.
- [11] 王娜. 建筑智能化与绿色建筑[J]. 智能建筑与城市信息, 2014(1): 24-27.
- [12] 朱友芳. 基于 Cite Space 软件的我国新型建筑工业化研究进展和热点分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(2): 27-31.
- [13] 徐兴声. 我国智能化建筑技术发展对策的思考: “十五”计划产业技术政策建议[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑, 2001(10): 1-5.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 智能建筑工程质量验收规范: GB 50339—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [15] 孙增珠, 武祥磊, 杨成明. 智能建筑系统集成的现状和趋势[J]. 城市建设理论研究, 2020(20): 116-117.
- [16] 扬志, 郭兵, 李晓林, 等. 建筑智能化系统的结构与集成[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2000, 23(6): 59-63.
- [17] 于成伟. 建筑智能化系统集成现状、问题和解决策略分析[J]. 中华建设, 2018(1): 122-125.
- [18] 许勇鹏. 探究建筑智能化系统集成[J]. 通讯世界, 2013(13): 63-64.
- [19] 张丽萍, 缪希仁, 林苏斌. 智能建筑系统集成的现状和趋势[J]. 低压电器, 2004(4): 14-17, 28.
- [20] 陈富川. 建筑智能化系统集成研究设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
- [21] 刘荣. 建筑智能化系统工程集成管理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [22] 徐兴声. 智能建筑系统集成技术[J]. 建筑学报, 1992(6): 54-59.
- [23] 马振, 刘志军. 浅谈智能化系统集成的重要性[J]. 科技创新导报, 2010, 7(13): 33.
- [24] 胡宏玉. 建筑智能化系统集成[J]. 科技资讯, 2011, 9(14): 72.
- [25] 钱军平. 建筑智能系统关键技术及应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [26] 吴跃东. 智能建筑中的系统及其集成研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [27] 冯燕萍, 许琪, 周红雨. 智能楼宇中通信自动化系统应用思考[J]. 通讯世界, 2017(12): 117.
- [28] 刘娜. 智能楼宇中的通信自动化系统及其应用[J]. 自动化应用, 2019(3): 148-149.
- [29] 林哲灿. 楼宇自动化系统集成技术探析[J]. 中外企业家, 2019(18): 100.
- [30] 赵起升, 朱静孙, 王平. 智能建筑中的楼宇自动化设计及其应用[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2003, 20(3): 80-83.
- [31] 金辉. 楼宇自动化系统集成技术探析[J]. 智能城市, 2017, 3(7): 210.
- [32] 汤新中, 胡英哲. 我国智能建筑现状及发展趋势[J]. 科技成果纵横, 2008(3): 44-45.
- [33] 吴兴. 楼宇自动化系统概述[J]. 科技情报开发与经济, 2008(29): 183-184.
- [34] 徐岩. 浅谈智能建筑中的楼宇自动化系统[J]. 智能建筑电气技术, 2008, 2(5): 15-18.
- [35] 马智亮, 莫方彬, 陈娟. 建筑施工项目信息化管理系统的面向对象建模[J]. 土木工程学报, 2001, 34(2): 105-110.
- [36] 秦佩君, 杨学良. 工作流技术在办公自动化系统中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2001, 22(3): 61-63.
- [37] 于树春, 董秀峰. 智能大厦 OAS 的特点及功能分析[J]. 河北建筑工程学院学报, 2001, 19(2): 54-56.
- [38] 纪颖波, 周晓茗, 李晓桐. BIM 技术在新型建筑工业化中的应用[J]. 建筑经济, 2013, 34(8): 14-16.
- [39] 张建平, 李丁, 林佳瑞, 等. BIM 在工程施工中的应用[J]. 施工技术, 2012, 41(16): 10-17.
- [40] 刘照球, 李云贵, 吕西林, 等. 基于 BIM 建筑结构设计模型集成框架应用开发[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(7): 948-953.
- [41] 丁茂喜. 框架剪力墙结构建筑施工技术在建筑工程中的应用探析[J]. 山东工业技术, 2015(19): 56-57.
- [42] 中国铁路 BIM 技术研发和应用框架[J]. 铁路技术创新, 2014(2): 8-11.
- [43] 孙旭峰. 张拉整体结构施工方法探析[J]. 江苏建筑, 2003(2): 28-29.
- [44] 阮文钢. 桥梁整体结构施工技术探讨[J]. 中小企业管理与科技, 2011(4): 209-210.
- [45] 万玲, 白越. 基于 BIM+物联网的建筑物采购管理平台构建研究[J]. 建筑经济, 2021, 42(3): 55-59.
- [46] 张云翼, 林佳瑞, 张建平. BIM 与云、大数据、物联网等技术的集成应用现状与未来[J]. 图学学报, 2018, 39(5): 806-816.
- [47] 陈兴海, 丁烈云. 基于物联网和 BIM 的建筑安全运维管理应用研究——以城市生命线工程为例[J]. 建筑经济, 2014, 35(11): 34-37.
- [48] 陈兴海, 丁烈云. 基于物联网和 BIM 的城市生命线运维管理研究[J]. 中国工程科学, 2014, 16(10): 89-93.
- [49] 高路. 设计施工一体化项目管理的绿色 BIM 工作方法[J]. 施工技术, 2017, 46(15): 128-133.
- [50] 冯大阔, 肖绪文, 焦安亮, 等. 我国 BIM 推进现状与发展趋势探析[J]. 施工技术, 2019, 48(12): 4-7.
- [51] 程斯荣. 基于 BIM 技术的绿色建筑应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [52] 郭云鹏. 绿色建筑全生命周期中的 BIM 技术应用策略

- 研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [53] 王慧琛. BIM技术在绿色公共建筑设计中的应用研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2014.
- [54] 乔学良, 乔广宇, 李明科, 等. BIM+三维扫描技术在古建筑及文物复原方面的工程应用[J]. 四川建筑科学研究, 2022, 48(3): 20-24.
- [55] 何波, 张慎, 邱文航, 等. 增强现实技术在工程施工中的应用综述[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(2): 93-98.
- [56] 盖彤彤, 于德湖, 孙宝娣, 等. BIM与人工智能融合应用研究进展[J]. 建筑科学, 2020, 36(6): 119-126.
- [57] 王勇, 张建平. 基于建筑信息模型的建筑结构施工图设计[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 76-82.
- [58] 魏方华. 基于数字化设计系统的铁路站场BIM自动化建模研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(4): 1-3, 16.
- [59] 王婷, 池文婷. BIM技术在4D施工进度模拟的应用探讨[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 306-311.
- [60] 薛刚, 王晓飞, 冯涛. BIM-5D在大型机电安装工程中的应用研究[J]. 建筑科学, 2016, 32(12): 54-59, 118.
- [61] 刘德富, 彭兴鹏, 刘绍军, 等. BIM-(5D)在工程项目管理中的应用[J]. 施工技术, 2017, 46(增刊2): 720-723.
- [62] Peng Y, Lin J R, Zhang J P, et al. A hybrid data mining approach on BIM-based building operation and maintenance[J]. Building and environment, 2017, 126: 483-495.
- [63] McArthur J J. A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance and sustainability[J]. Procedia Engineering, 2015, 118: 1104-1111.
- [64] 汪霏, 叶晨茂. BIM技术在建筑运维阶段应用探索[J]. 重庆建筑, 2017, 16(8): 15-17.
- [65] 张建平. 基于IFC的建筑工程4D施工管理系统的研究和应用[J]. 中国建设信息, 2010(4): 52-57.
- [66] 林佳瑞, 张建平. 基于BIM的施工资源配置仿真模型自动生成及应用[J]. 施工技术, 2016, 45(18): 1-6.
- [67] 张建平, 胡振中, 王勇. 基于4D信息模型的施工冲突分析与管理[J]. 施工技术, 2009, 38(8): 115-119.
- [68] 中国唯一海上歌剧院——珠海歌剧院竣工在即 BIM技术助项目难题[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(4): 103.
- [69] 邓明胜. BIM标杆及其带动效应——天津周大福金融中心项目BIM技术应用纪实[J]. 中国勘察设计, 2022(增刊1): 70-73.
- [70] 余雨阳, 吴光前, 孙震寰, 等. BIM技术在国家会展中心一期展馆区机电安装工程中的应用[J]. 建筑施工, 2021, 43(9): 1898-1900, 1904.
- [71] 应宇垦, 丁鲲, 靳金, 等. 大型超高层项目BIM技术应用的POPi数字化集成框架研究——以苏州中南中心为例[C]//第八届BIM技术国际交流会——工程项目全生命周期协同应用创新发展论文集. 北京: 中国图学会土木工程图学分会, 2021: 386-395.
- [72] 张俊, 张宇贝, 申伟. 基于AHP的施工企业应用BIM风险因素分析——以天津高银金融117大厦为例[J]. 北京建筑大学学报, 2017, 33(1): 69-75.
- [73] 赵昕, 马智亮. 中国建筑施工行业信息化发展报告(2017)——智慧工地应用与发展[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2017.
- [74] 马智亮, 蔡诗瑶, 杨启亮, 等. 基于BIM和移动定位的施工质量管理体系[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(5): 29-33.

## Research progress of intelligent building in building industrialization

LI Shuisheng<sup>1</sup>, ZHOU Quan<sup>1\*</sup>, HE Jun<sup>1</sup>, MA Ke<sup>2</sup>

1. China Construction Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Changsha 410004, China

2. School of Civil Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

**Abstract** This paper analyzes the current research hotspots and development trends, including building intelligent system, enterprise information management, BIM technology application, project green construction, etc. and puts forward corresponding suggestions from a national policy and market perspective. At present, the overall industrialization of the construction industry is at its infant stage, standards and regulations are insufficient, and production energy consumption is high. It is believed that the rise of intelligent technology can help high-quality development of construction industrialization in many aspects, such as technology improvement, cost saving and efficiency improvement.

**Keywords** building industrialization; intelligent building; BIM ●



(责任编辑 刘志远)