

OpenBIM 综述及其工程应用

姜韶华, 吴 峥, 王 娜, 姜丽萍, 韩芸蔚

(大连理工大学建设管理系, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 建筑规模的扩大和复杂性的增加对项目参与方之间的协作水平提出了更高的要求。如何更好地实现不同专业、不同软件平台之间的信息交互成为协作过程中的关键性问题。OpenBIM 作为信息交换的统一交换标准可以满足不同软件之间信息交互的需求, 提高协作的效率和准确性。目前, OpenBIM 相关方面的研究受到了国内外学者的广泛关注, 但是尚缺乏关于 OpenBIM 的全面综述。通过 OpenBIM 相关网站的分析及文献调研, 对 OpenBIM 的重要性、相关标准及软件进行了综述, 并从设计、施工、运维的角度阐述了其在工程中的应用。最后, 提出了 OpenBIM 在实际工程应用中存在的不足及其未来的发展方向。通过对 OpenBIM 理论和实践的系统分析, 可为其进一步的研究与应用提供支持。

关 键 词: OpenBIM; 交互性; 软件平台; 工程应用

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2018061139

文献标识码: A

文 章 编 号: 2095-302X(2018)06-1139-09

Review of OpenBIM and Its Engineering Application

JIANG Shaohua, WU Zheng, WANG Na, JIANG Liping, HAN Yunwei

(Department of Construction Management, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, China)

Abstract: The expansion of scale and the increase of complexity of buildings have imposed higher requirements onto collaboration among different stakeholders. How to realize a better information interaction among multiple disciplines and different software platforms becomes a key problem in the collaborative process. OpenBIM, as the common standard of information exchange, can well meet the needs of information interaction among different softwares and improve the efficiency and accuracy of collaboration. At present, research related to OpenBIM has received extensive attention from scholars at home and abroad, but there is still lack of comprehensive review on OpenBIM. In this paper, OpenBIM and its related standards and softwares are introduced by analyzing related websites and papers. Furthermore, the application of OpenBIM in engineering projects is analyzed from the perspectives of design, construction and operation. Finally, the paper discusses the deficiencies of OpenBIM in the application process and the direction of further development. The systematic analysis of the theory and practice of OpenBIM in this paper can provide support for its further research and application.

Keywords: OpenBIM; interoperability; software platform; engineering application

目前各类 BIM 软件广泛应用于设计、施工、运维等项目全生命期中。不同软件之间的数据异构性

导致软件间的互用性较低, 因而工程项目各参与方希望能够更好地实现数据间的交互共享。OpenBIM

收稿日期: 2018-04-26; 定稿日期: 2018-07-16

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0702107)

第一作者: 姜韶华(1971-), 男, 辽宁大连人, 副教授, 博士。主要研究方向为 BIM 研究与应用等。E-mail: shjiang@dlut.edu.cn

(building information model) 可以较好地解决这一问题,减少协同错误,提高软件间的互操作性,保证多方协作的高效性和准确性。OpenBIM 相关方面的研究受到了国内外学者的广泛关注,但是目前尚缺乏关于 OpenBIM 的全面综述。因此,本文对 OpenBIM 相关网站及文献进行了分析归纳,旨在提供 OpenBIM 相关理论和实践的系统综述。

1 OpenBIM 简介

1.1 OpenBIM 定义

OpenBIM 是基于开放的标准和工作流程从而协同完成建筑的设计、施工和运营的一种通用的方法,其是由 buildingSMART 和一些使用开放的 buildingSMART 数据标准的主要软件供应商提出的倡议^[1]。BuildingSMART 是一个通过创建和采用开放的国际标准来推动建设资产经济转型的全球性的权威组织。

1.2 OpenBIM 的重要性

OpenBIM 代表了 AEC (architecture, engineering and construction) 行业所有项目成员跨学科合作的现代化方法^[2]。目前,OpenBIM 的核心内容主要包

括工业基础类(industry foundation classes, IFC)、信息交付手册(information delivery manual, IDM)、国际字典框架(international framework for dictionaries, IFD)和模型视图定义(model view definition, MVD),在核心内容的基础上衍生出其他相关标准和软件。

OpenBIM 的重要性主要体现在:①支持透明、开放的工作流,使项目相关者无论使用哪种软件工具都能够参与到项目中;②为不同软件之间的协同和交互提供了通用的语言,使项目相关者能够获得优质服务和数据保障;③提供了项目生命期中持续使用的数据,避免了同一数据的重复输入以及因为输入而出现的错误;④软件供应商可以参与其中,得到最佳解决方案;⑤鼓励在线产品供应方提供更加精确的用户需求搜索,并将产品数据直接输入到 BIM 中^[1]。

截至 2017 年 12 月,在中国知网(CNKI)中对各类 OpenBIM 标准的文献检索结果如图 1 所示。从图中可以看出,从 2003 年开始,国内对 OpenBIM 标准的研究持续增长,尤其在近年来呈现高速增长态势。由图中指数趋势线可预测,未来几年国内对 OpenBIM 标准的研究仍会保持高速稳健增长。

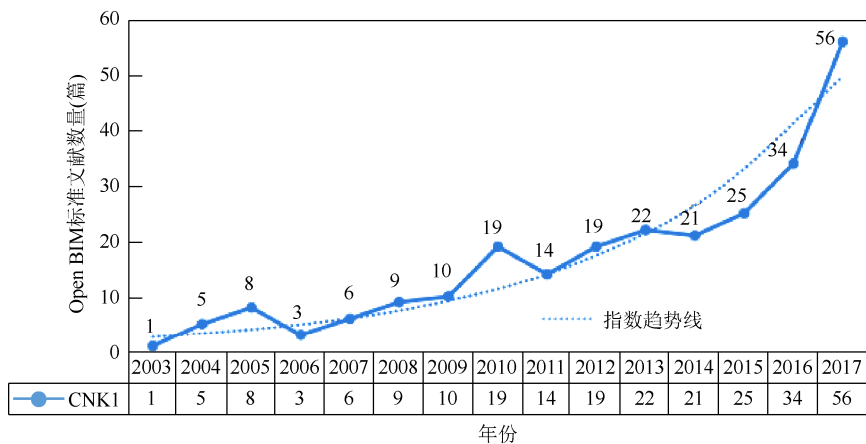


图1 知网 OpenBIM 标准文献统计

1.3 OpenBIM 的意义

OpenBIM 倡议将开放式协作提升到战略层面,以减少协同错误,提高项目质量,构建多元化、易协调的建设项目。同时,项目相关者可以在各自负责的领域内使用最佳解决方案来解决问题,并根据建设项目的不同需求进行各自负责领域内的软件更新^[3]。

在建筑全生命期中 OpenBIM 使所有项目参与方都可以通过 IFC 开放的数据格式进行信息共享,从而确保各参与方都能够无错、高效地合作,减少

协同错误,降低成本,改善建筑业生产效率低下的现状。

2 OpenBIM 标准

目前最具影响力的 BIM 技术标准是国际组织认定的三大基础类标准:IFC、IDM 和 IFD。OpenBIM 标准主要分为 3 类:buildingSMART 标准、buildingSMART 候选标准和 buildingSMART 相关其他标准。BuildingSMART 标准为已经通过标准委员会投票的正式标准,buildingSMART 候选标准为

待标准委员会投票的标准,在 buildingSMART 标准的基础上,对 OpenBIM 标准进行补充,形成符合实际需求的相关其他标准。

2.1 BuildingSMART 标准

2.1.1 IFC

IFC 是用来描述 BIM 数据的标准格式,旨在建立一种标准的数据表达和存储方法,使各类软件都能导入、导出这种格式的数据,从而促进项目整个生命期中不同专业、不同软件之间的数据共享。利用 IFC 标准对不同类型软件生成信息的格式进行统一,可以实现建筑信息的自由转换^[4]。

IFC 标准是通过一个分层和模块化的框架来表示各种信息,自下而上分为资源层、框架层、共享层和领域层 4 个层次^[5]。这些层次各自又包含了许多模块。每个层次只能引用同层次或该层次以下层次的信息资源而不能引用更高层次的资源。通过规定这一信息引用规则,下层资源不受上层资源变动的影响,从而保证信息的稳定性。

ifcXML 作为派生于 IFC EXPRESS 模型的 XML 模式定义(XML schema definition, XSD)而发布。ifcXML 包括 ex.xsd 和 IFC2X2_FINAL.xsd: ex.xsd 指所有已翻译的 EXPRESS 模型的通用模式,包含数据源以及将 EXPRESS 数据类型翻译后得到的一般数据类型的定义; IFC2X2_FINAL.xsd 指 IFC2x2 特定的序列化单元,包含所有 IFC 特定类、关系、属性和数据类型的 XSD 定义^[6]。

属性集定义(property set definition, PSD)模式旨在提供一个用于定义包括适用的 IFC 实体或类型等信息以及 IFC 规范之外的属性和属性集的可扩展标示语言(extensive markup language, XML)模式定义。此外,也可用于定义一个映射以便将 IFC 定义的属性内容转变到其他应用程序中^[7]。

2.1.2 IDM

IDM 是用于采集和规定建筑生命期全过程和信息流的方法,旨在确保相关数据以接收方软件可以解释的方式进行数据交换。在复杂的建设项目中,建筑的施工和维护涉及众多参与方,各参与方之间的信息交流是至关重要的。IDM 通过充分利用与交换相关的业务流程建模符号(business process modelling notation, BPMN)和模板来推进项目参与方之间的交流^[4]。

IDM 标准针对指定过程中的信息需求提供了一套合理的方法。该方法主要由流程图(process map, PM)、交换需求(exchange requirements, ER)

和功能部件(functional parts, FP)组成。流程图规定了某个特定过程的活动流;交换需求提供了对以上特定过程中所需传递的某组信息的完整表达;功能部件是 IDM 中数据信息的最小单元,通过若干个功能部件的组合来描述一个完整的交换需求,其中单个功能部件也可能对应多个交换需求。在功能部件被定义后,基于各功能部件的模型视图定义就可以被创建,同时把这些信息映射到 IFC 架构中,使信息能够被清晰的表达出来^[4]。

2.1.3 IFD

IFD 是面向术语库或本体的标准,通过建立不同语种、不同词汇的信息表述与 IFC 之间的映射关系,规定对象的相关概念语义(如全称、简称、细节描述、关联概念等)来保证 BIM 信息交换或共享的准确性。IFD 为 BIM 标准中每个概念和术语提供了唯一的标识码(global unique identifier, GUID),通过对应的 GUID 实现不同软件之间的信息转换与共享,任何项目参与方都能通过 IFD 标准对信息的约束得到准确的信息^[4]。

2.1.4 bsDD

BuildingSMART 数据字典(buildingSMART data dictionary, bsDD)是一组能够实现协同工作的 buildingSMART 标准之一,提供了一个用于识别和验证 BIM 中使用的组件和属性的名称的共享系统^[8]。

2.1.5 MVD

MVD 定义了一个需要满足 AEC 行业中一个或多个交换要求的 IFC 模式的子集。与该 IFC 模式子集一起还发布了一套称为 MVD Concepts 的实现指令和验证规则,而发布概念和相关规则的方法是 mvdXML^[9]。

mvdXML 是一种编码格式,利用此格式可以对 MVD 进行编码,并在特定数据类型的特定属性中定义允许值。软件应用程序可以静态地使用 mvdXML(旨在支持特定的模型视图),也可以动态地使用 mvdXML(旨在支持任何模型视图)。在 IFC4 中使用 mvdXML 时,该格式并不依赖于 IFC4,也可以与 IFC2x3、较早的 IFC 版本或完全独立的模式一起使用^[9]。

2.1.6 BCF

BIM 协作格式(BIM collaboration format, BCF)是一个简化的开放标准 XML 格式,其可以对信息进行编码,以便能在不同的 BIM 软件工具之间实现工作流通信^[10]。BCF 的开发包括 XML 文件格式以及 RESTful Web 服务。开放文件 XML 格式“bcfXML”

可以支持 BIM 进程中的工作流通信; RESTful Web 服务“bcbAPI”, 能够使软件应用程序在 BIM 工作流中实现 BCF 数据的无缝交换^[11]。

2.2 BuildingSMART 候选标准

ifcOWL 提供了 IFC 模式的 Web 本体语言(Web ontology language, OWL)表示。整个 IFC EXPRESS 模式(IFC 实体、类型及属性等)都可以在一个 ifcOWL 本体中使用。另外 ifcOWL 本体也可以使用一些在别处定义的 OWL 类和属性^[12]。

2.3 BuildingSMART 相关其它标准

2.3.1 COBIE

施工运营建筑信息交换(construction operations building information exchange, COBIE)是一个用于采集和交付建筑生命期中设施管理者所需信息的信息交换规范。COBIE 可以在设计、建设、维护软件以及简单的电子表格中查看。这种多功能性使得 COBIE 可以用于无论项目规模大小和技术复杂程度如何的所有项目中^[13]。

2.3.2 LandXML

LandXML 是一种能够采集、验证并展现土木工程和调查测量数据的一种电子数据传递标准^[14]。

3 OpenBIM 软件平台及工具

3.1 软件平台

开源软件是指源代码开放, 软件的使用、修改和发布不受许可证限制的软件^[15]。建设项目各参与方和利益相关者可以使用 BIM 进行不同深度和层次的交流与合作, 并借助 BIM 完成信息的插入、获取和更新, 实现不同软件或平台信息的及时共享^[16]。目前应用较多的 BIM 软件主要包括 Autodesk、Bentley 和 Trimble 等系列, 同一公司的软件之间存在一定的兼容性, 但是不同公司软件之间的互操作性程度相对较低, 导致软件之间信息共享困难的问题。尽管部分软件有插件开发的接口, 但仍然不能完全满足建筑业对 BIM 软件定制化、模块化的需求^[17]。本节介绍两个典型的、应用较多的开源软件平台。

3.1.1 BIMserver^[18]

BIMserver 是一个开放的、稳定的软件核心, 可以轻松构建可靠的 BIM 软件工具, 适用于支持 AEC 领域用户的动态协作流程。BIMserver (BIMserver.org)平台使用户能够创建自己的“BIM 操作系统”。软件核心基于开放的 IFC 标准, 因此能较好地处理 IFC 数据。在 BIMserver 中, 智能核

心对 IFC 数据进行解释, 并以对象的形式存储在底层数据库中。这种方法的主要优点是可以查询、合并和过滤 BIM 数据。除了合并、模型检查、融合、授权、认证和比较等数据库核心功能外, 还包含许多其他功能, 并可降低开发人员的门槛。BIMserver 有许多开放接口和网络协议(如 soap, PB, json), 使用开放的标准, 作为一个易于微调的插件框架, 具有灵活的管理配置 GUI, 较好的开发人员文档和 SDK。BIMserver 常用插件介绍如下:

(1) IfcOpenShell^[19], 是一个开源软件库, 可帮助用户和软件开发人员解析 IFC 模型并开展后续工作。IFC 文件格式可用于存储建筑和施工数据, 通常用于建筑信息建模。IfcOpenShell 内部使用 OpenCASCADE (OpenCASCADE Community Edition)将 IFC 文件中的隐式几何信息转换为任何 CAD 软件或建模软件包可以读取的显式几何信息。IfcOpenShell 是一项持续性的工作, 目前只支持扩展名为.ifc 文件的解析, 且后续版本将会增加对 IFC-XML 和 IFC-ZIP 格式的支持, 但是 IfcOpenShell 还无法完全解析.ifc 文件中存在的所有几何信息。

IfcOpenShell 作为插件与 BIMserver 一起发布, 用于解析 BIMserver 中 IFC 文件中的几何信息。该插件的开发工作由 BIMserver 和 IfcOpenShell 团队共同完成。

(2) bimvie.ws^[20]是一个用 HTML 和 Javascript 语言构建的在线查看 BIM 模型的工具, 可兼容 BIMSie API 接口, 并在云平台中与 BIM 协同, 用户可以将bimvie.ws与任何兼容BIMSie的在线BIM服务一起使用。

BIMvie.ws 版本是一个 JAR 文件。用户可以轻松地将其添加为 BIMserver 插件, 也可以将其安装在任何网络服务器上, 例如 Apache, Nginx 或 IIS。

(3) BIMsurfer^[21]是一个使用 SceneJS 和 WebGL 开发的开源 IFC 模型查看器, 可用于解析 IFC 和 glTF 格式的 BIM 数据。

(4) BCFier^[22], BCF 是由 buildingSMART 开发的用于描述建筑模型问题的开放标准, BCFier 是一个可以处理 BCF 文件的应用程序, 同时也可以直接作为插件与 BIM 软件集成。通过 BCFier 可以在 Autodesk Revit 中创建和打开 BCF 文件, 为模型问题添加多个视图和评论, 并轻松与其他团队成员共享。

3.1.2 xBIM

可扩展建筑信息建模(extensible building

information modelling, xBIM)是一个免费的开源软件开发平台,允许开发人员为基于 IFC 的应用程序创建定制的 BIM 中间件^[23]。

xBIM 为 IFC 数据标准提供了丰富的 API,允许开发人员通过代码读取、写入和更新 IFC 文件。xBIM 是一个.NET 工具包,因此开发人员既可以构建简单的命令行应用程序,又可以对 Windows 应用程序和 Web 服务进行扩展。

xBIM 具有完整的几何信息引擎,可将 IFC 几何数据对象(例如 IfcSweptAreaSolid)转换为功能齐全的边界表示(boundary representation, Brep)几何模型。这些模型支持所有布尔运算、交集、并集等以及体积、面积、长度等的计算。几何信息引擎不仅为可视化提供了优化的 3D 三角剖分和网格划分,也为重复识别和地图转换提供了整体模型优化。

3.2 工具

OpenBIM 标准支持工具较多,本文介绍目前使用较多的 5 种。

(1) IfcDoc, IFC 文档生成器(ifcDoc)是用于生成 IFC 文档(从 IFC4 开始)以及开发 MVD 的软件工具^[24]。该工具基于 mvdXML 规范,可以应用于所有 IFC 版本。

(2) BCF Manager, BCF 管理器(BCF manager)使用户能够在 BIM 模型中创建、过滤和查找问题。用户可通过使用 BCF 文件保存、加载问题或将其同步到 BIMcollab 上,来实现与使用不同 BIM 工具的项目成员之间的问题共享,从而提高问题管理的可靠性,缩小使用 BIM 工具之间的差距^[25]。

(3) 建筑信息模型查询语言(building information model query language, BIMQL)是用于 BIM 的开放的特定领域查询语言。该查询语言可以选择和更新存储在 IFC 模型中的数据。目前其被用在开放源代码的模型服务器中,即 BIMserver.org 平台上^[26]。

(4) IFC Framework^[27] 提供了对基于 IFC 的 BIM 进行访问和可视化的工具,方便软件开发人员将信息库集成到产品中。终端用户也可以进行可视化操作和模型检查。apstex IFC Framework 是基于 Java 的面向对象工具箱,可以完全访问基于 IFC 的 BIM 模型,可用于读取、编写、修改和创建 IFC 模型等。AWT 和 Swing 组件可用于 IFC 模型的可视化,易于集成到 Java 应用程序,且支持 BIM 协作

格式。

(5) IFC Engine DLL^[28]是一个 STEP 工具箱,可以为 IFC 的最新版本生成 3D 模型。该组件可以通过其自身的对象数据库加载、编辑和创建 Step Physical Files 及其架构。这包括所有当前可用的 IFC 版本。其具有高可扩展性、支持多平台的特点。

4 OpenBIM 标准的工程应用

4.1 设计阶段

在设计阶段,不仅可以使使用供应商提供的 BIM 软件建立简单模型,通过动画、渲染等方式展示设计成果,还可以通过对 OpenBIM 标准进行研究,将 OpenBIM 的标准扩展应用到设计阶段的能耗分析、能源仿真、模型信息查询和评估等领域。

在设计的能耗分析领域,通过对 OpenBIM 标准进行扩展,能够更好地进行能耗分析仿真,提高分析效率。陈冲等^[29]将 IDM 标准应用到了建筑能耗分析领域。首先利用 IDM 方法对建筑能耗分析的具体流程进行定义,之后针对项目的设计阶段,运用业务流程建模标记方法(BPMN 方法)构建出了基于 IDM 标准的能耗分析流程图。采用 gbXML 文件将 Revit 中的建筑模型与 Ecotect 软件相链接,再通过 Ecotect 软件实现对所建立的流程图中部分活动的仿真模拟,从而分析出建筑物的真实能耗情况。基于 IDM 标准的这一研究可在一定程度上减少建筑的能源消耗,有利于建筑师充分了解建筑物能耗具体情况,帮助其在设计阶段更好地做出决策。PINHEIRO 等^[30]针对建筑能耗仿真(building energy performance simulation, BEPS)模型输入过程中的重复的手动操作而导致数据丢失和错误问题,提出了一种基于 IDM 和 MVD 标准的、BIM 与 BEPS 工具间信息交换的标准化方法。该方法通过用例集合启动 BEPS 工具对所需交换需求的识别,并通过 IDM/MVD 框架捕获识别到的交换需求,同时将这些需求转换为 IFC 模式。该方法通过开发特定的 MVD 促进了从基于 IFC 的 BIM 向常规或高级 BEPS 工具的信息传输。其中 MVD 定义了 IFC 的数据模型子集,可通过该子集对建筑能耗进行模拟。KIM 和 YU^[31]将 ifcXML 用于建筑能耗方面,提出基于 ifcXML 的数据自动输入方法。该方法可通过使用 ifcXML 标准文件格式,自动地输入所需的数据,有助于提高建筑能耗分析的效率,减少成本和时间投入。

在能源仿真领域, GUPTA 等^[32]使用 OpenBIM 数据交换标准来支持太阳能光伏模拟, 提出了一种用于开发基于 IFC 的可再生能源模拟工具的概念框架, 该框架采用了一种多模型概念, 其中 IFC 数据模型提供了所需部分数据的输入, 该概念框架不仅适用于太阳能光伏模拟, 也适用于其他可再生能源仿真模型。

OpenBIM 标准还可以应用于模型信息查询。KANG^[33]使用 LandXML 和 IFC 模式, 基于 BIM 联动模型的查询, 提出了一种有效的 BIM 集成对象查询方法, 并定义了其中的对象类型和对象查询所需的简单查询语言。该方法利用 LandXML 和 IFC 创建一个联动模型, 利用属性和空间操作来查询所需信息, 实现了对异构模型信息的集成查询, 解决了 LandXML 模式基于形状信息以联动方式查询 BIM 对象时获取所需对象困难的问题。

利用 OpenBIM 可以解决模型的信息查询和评估问题。BERLO 和 KRIJHEN^[34]介绍了一种基于 BCF 工作流以及开源 BCF 服务器软件而开发的 BCF 服务器, 并与 3D 查看器和 BIM 服务器进行集成。通过该 BCF 服务器项目各参与方不仅能找出模型中存在的问题, 还能对问题进行在线管理并根据实际 BIM 模型对问题进行评估。

明星等^[35]基于 IDM 对建筑工程的整个设计流程进行了概述, 对设计流程做了详细的定义, 为后续基于 BIM 的数据共享和交换的研究奠定了基础。

4.2 施工阶段

OpenBIM 支持透明、开放的工作流, 有力促进了不同软件之间的协同、交互, 使项目参与方无论使用哪种工具软件均能参与到项目设计、施工、运营的全生命期中。OpenBIM 相关标准应用于项目施工阶段, 可用于施工进度管理、施工质量检查、施工成本估算等多个领域。

在施工进度管理领域, 需要根据合同规定的工期要求编制施工进度计划, 并以此作为管理的目标, 对施工的全过程经常进行检查、对比、分析, 以及时发现实施中的偏差, 并采取有效措施调整工程建设施工进度计划、排除干扰, 从而保证工期目标能够顺利实现。王华兴等^[36]针对目前使用传统的施工 4D 信息模型无法实现项目进度信息的完整交互问题, 引入了 IFC4 标准, 基于该标准中的流程管理实体、利用 xBIM Toolkit 工具包创建了全新的 4D-BIM 模型, 并利用该标准规范、统一地描述了

所建模型中的 3D 模型信息及进度信息。该模型可在编制施工进度计划的同时同步实现具体作业与模型构件的相互关联, 大大缩短建立 4D-BIM 模型的时间, 提高建模人员的工作效率。除了加强施工进度信息的交互性, 及时、准确地掌握施工进度计划也可加强对施工进度的管理控制。KIM 等^[37-38]基于 ifcXML 技术建立了一个可从 BIM 中自动生成施工进度计划的框架, 并用其开发的原型系统对该框架进行了验证, 从构建的 BIM 中解析了相关的空间单元和材料层数据, 有助于更精确地掌握施工进度, 从而更好地管理施工过程。

对于全施工过程采取严格的质量把控是保证工程质量的有效措施。在对施工质量进行管理控制时常会出现对施工质量检查不及时、管理不到位等问题。马智亮和毛娜^[39]针对目前我国施工质量验收检查中存在的诸多问题, 深入分析了我国施工质量监管相关标准, 并深入研究了 IFC 数据标准。结合标准的相关要求及 IFC 数据提出了一种用于施工质量验收检查的新算法, 通过该算法可基于 IFC 标准从 BIM 模型中自动生成施工质量检查点。该算法的提出实现了对施工质量验收数据的标准化采集, 加强了对施工质量的监管控制。此外, 也有学者基于 IFC 标准对施工质量检查的实时性问题进行了研究。DING 等^[40]针对施工过程中难以对施工质量进行实时检查、控制的问题, 开发了基于 IFC 的检验过程模型 IFC-IPM。在 IFC-IPM 模式中存在物理对象、进度计划和质量模型, 并通过定义动态属性集来对 IFC-IPM 进行扩展。开发的 IFC-IPM 已应用于现实生活中的地铁基础设施项目, 且实践证明 IFC-IPM 为质量相关信息和其他 IFC 兼容应用数据的共享交换提供了一个有效平台。

施工成本估算是任何工程项目中的关键活动之一, 许多学者也将 IFC 标准应用于解决施工成本估算的各项问题。MA 等^[41]探讨了将 IFC 标准数据应用于中国招标工程造价估算的可能性和方法。基于深入的研究分析建立了中国招标工程造价估算信息需求模型, 该模型中的信息需求主要有 7 个方面, 且可以利用 IFC 标准对其中的各方面信息进行表达。此外, 还讨论了 IFC 标准在该模型表示中的应用和推广, 最后建立了基于 IFC 的投标成本估算信息模型。这一研究不仅为开发基于 BIM 的中国标准招标工程造价估算应用软件打下了坚实基础, 而且为扩大 IFC 标准的应用提供了一条可行的途径。

4.3 运维阶段

OpenBIM 广泛应用于工程项目的设计和施工阶段,同时为运维阶段的结构健康监测、设备管理等操作提供了良好的交互性基础,有利于解决工程运维阶段对多方面信息的需求,推动工程运维阶段向信息化、智能化的方向发展。

BIM 模型包含了丰富的建筑对象的基本信息,为信息搜集过程提供了方便。但 BIM 模型中的信息并未包含建筑运维阶段所需的全部信息,例如传感器等信息,因此需要对既有的 BIM 模型进行扩展以更好地适应各阶段的不同需求。目前,对 BIM 模型的扩展多为对 IFC 的扩展。丁梦莉等^[42]提出在构建面向运维管理的 BIM 模型时需要用 IFC 标准对 BIM 模型中未定义的信息进行扩展,以更好地完成运维管理系统的要求。王超^[43]将 IFC 应用到结构健康监测方面,通过对 IFC 进行扩展可将传感器数据批量集成到 IFC 文件中,实现监测信息的快速、全面和准确的表达。

IFC 作为一种中间格式可以解决不同信息源之间数据传递的问题。PASINI 和 DANIOTTI^[44]将 IFC 应用于建筑运营阶段的可持续性方面,为了使用实时的信息丰富 BIM 数据库,提出基于 IFC 导出源代码的数据获取方法以便正确地在内置参数、IFC 属性和传感器之间建立映射。通过 IFC 将获取数据的系统连接到 BIM 数据库,保证了动态数据库中模型可进行持续更新。SUN 等^[45]将 IFC 应用于水电设施运维阶段,通过 IFC Engine DLL 和 MOGRE 图形库集成系统的开发,实现了 IFC 标准在水电设施管理工作中的应用,更好地整合多方面的信息,避免数据异质性问题。DANKERS 等^[46]描述了将 IFC 与外界信息进行有效连接的网络平台,可将机器与人类可读数据连接起来,使非 CAD 用户或建筑专家能够进行数据访问,为实际中基于 IFC 的 Web 应用开发提供了帮助。该平台不仅适用于运维阶段,而且适用于建筑物的整个生命期。

OpenBIM 在运维阶段的应用还体现在知识管理方面,可进行数据的表示和查询等。ZHU 和 MAO^[47]提出用 ifcOWL 本体作为语义网技术和 IFC 标准之间的一个连接点,该本体允许使用已建立的 IFC 标准来表示建筑数据,并可利用语义 Web 技术的数据分布、数据模型扩展性、查询和推理等工具,通用软件实现数据存储、一致性检查和知识推理。该方法可将建筑数据与材料数据、GIS 数据、产品

制造商数据等相互连接,形成建筑关联数据网络,增强数据间的互操作性,方便建筑行业及其他领域的的数据管理和交换。PAUWELS 和 TERKAJ^[48]将 IFC 标准应用到桥梁健康监测领域,提出基于 IFC 标准的 BIM 技术对桥梁健康监测信息的表达方法,通过对传感器属性信息的扩展及 IFC 数据模型与监测信息模型数据成员链接关系的建立,来解决桥梁健康监测过程中信息无法标准化表达的问题。BEETZ 等^[49]从方法和算法方面提出了一种将传统 EXPRESS 模式转换到 ifcOWL 本体层面的半自动方法,以实现基于知识表示的互用互操作性。

此外,余芳强和张建平^[50]提出了分阶段递进式的 BIM 方法,全过程使用 IFC 标准进行数据的传递和交换,支持工程项目各参与方使用统一框架协议协同构造完整的 BIM,可实现在设计、施工、运维阶段信息的无损传递、扩展与应用。

5 讨论与展望

目前,OpenBIM 在工程中的应用可以较好地解决跨专业协作过程中的交互性等问题,提高软件之间的互操作性,在一定程度上解决工程中跨专业合作的障碍。OpenBIM 在为项目不同参与方提供便利的同时,仍存在一些不足之处:

(1) IFC 缺乏对基础设施领域的支持。目前,OpenBIM 的应用主要集中在建筑的设计和施工阶段,对基础设施段的支持不够,限制了其进一步的应用,因此在实际应用过程中需要对 IFC 等进行扩展。

(2) 软件在对 IFC 文件解析的过程中存在数据丢失的问题。在对标准进行获取和转换的过程中,无法完全对 IFC 数据模型中的信息进行解析,会出现部分数据丢失问题,额外的数据输入增加了其应用的难度。随着模型复杂程度的增加,数据处理变得更加困难,这对大规模的数据交换造成了一定的阻碍。

(3) OpenBIM 与其他新兴信息技术融合不足,无法满足实际工程中多尺度、实时性、精细性等方面的要求。

随着各领域对 OpenBIM 需求的不断增加,其未来的发展应着重于以下几个方面:

(1) 增强 IFC 对基础设施领域的支持。研发新一代的 IFC 标准,实现其对道路、桥梁、港口、隧道、机场等基础设施的支持。

(2) 不断开发及升级支持 IFC 标准的软件。随

着 IFC 标准版本的不断升级,需要开发及升级支持相应 IFC 标准的软件工具,从而更好地实现 IFC 的功能。

(3) 研发 OpenBIM 与其他新兴信息技术的融合方法。实现 OpenBIM 与 GIS、IOT、激光扫描等其他新兴信息技术更好的融合,更好地为工程服务。

6 总 结

OpenBIM 的提出为 BIM 平台用户以及项目的参与者提供了协作的基础,为信息和数据的管理和交换提供了良好的条件。本文在对 OpenBIM 定义、标准和软件进行阐述的前提下,归纳总结了 OpenBIM 在设计、施工和运维阶段的应用。本研究对 OpenBIM 在工程管理中的应用现状、存在的问题及其未来的应用趋势进行了探讨,可为 OpenBIM 研究学者提供参考。

总之,作为解决建设领域交互共享问题的解决方案,OpenBIM 已经发挥了很大的作用,相信随着 OpenBIM 不断的发展,会为建设领域的交互共享问题提供更完善的解决方案。

参 考 文 献

- [1] Building SMART. Technical vision [EB/OL]. [2018-04-10]. <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>.
- [2] Graphisoft. What is OPENBIM and why should you care? - Information about OPEN Building Information Modeling and its importance [EB/OL]. [2018-04-10]. http://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/.
- [3] Graphisoft. OPENBIM program [EB/OL]. [2018-04-10]. http://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/open_bim_program/.
- [4] BuildingSMART. The home of BIM [EB/OL]. [2018-04-10]. <https://www.buildingsmart.org/>.
- [5] 陈立春, 赖华辉, 邓雪原, 等. IFC 标准领域层实体扩展方法研究[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 282-288.
- [6] BuildingSMART. Home—welcome to building SMART-Tech.org [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifcxml-releases/ifcxml2x2-release/summary>.
- [7] BuildingSMART. PSD for IFC4 summary — welcome to buildingSMART-Tech.org [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/psd-releases/psd-for-ifc4>.
- [8] BuildingSMART. Cloud-based data dictionary launched[EB/OL]. [2018-04-10]. <https://www.buildingsmart.org/cloud-based-data-dictionary-launched/>.
- [9] BuildingSMART. MVD overview summary — welcome to buildingSMART-Tech.org [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/mvd-overview-summary>.
- [10] BuildingSMART. Open standards - the basics - buildingSMART [EB/OL]. [2018-04-10]. <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/open-standards/>.
- [11] BuildingSMART. BCF intro — welcome to buildingSMART-Tech.org [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/bcf-releases/bcf-intro>.
- [12] Open BIM Standards. ifcOWL — openBIMstandards.org [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://openbimstandards.org/standards/ifcowl/>.
- [13] Nibs. BuildingSMART alliance construction operations building information exchange (COBie) project - national institute of building sciences [EB/OL]. [2018-04-10]. http://www.nibs.org/?page=bsa_cobie.
- [14] LandXML. LandXML home [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://landxml.org/>.
- [15] 谭佳佳. 国内开源软件开发人员的开源社区持续参与意愿研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [16] NIST. National building information modeling standard version 1 - part 1: overview, principles, and methodologies [S]. Washington, DC: National Institute of Building Science, 2005.
- [17] 张敏, 李晓丹, 李忠富. 国际主要 BIM 开源软件的发展现状综合分析[J]. 工程管理学报, 2017, 31(6): 17-22.
- [18] BIMserver. Open source BIMserver — in the heart of your BIM! [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://bimserver.org/>.
- [19] IfcOpenShell. IfcOpenShell [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://ifcopenshell.org/>.
- [20] Bimvie. Giving perspective to your BIM projects - bimvie.ws [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://bimvie.ws/>.
- [21] BIM surfer. BIMsurfer WebGL viewer the first open source WebGL viewer for BIM and IFC [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://bimsurfer.org/>.
- [22] BCFier. BCFier [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://bcfier.com/>.
- [23] OpenBIM. OpenBIM [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.openbim.org/>.
- [24] BuildingSMART. IfcDoc tool summary — welcome to buildingSMART-Tech.org [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/specification-tools/ifcdoc-tool/>.
- [25] BIMcollab. BIMcollab® BCF Manager [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.bimcollab.com/en/BCF-Manager/BCF-Manager>.
- [26] MAZAIRAE W, BEETZ J. BIMQL—an open query language for building information models [J]. Advanced Engineering Informatics, 2013, 27(4): 444-456.
- [27] Apstex. IFC framework [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://www.apstex.com/>.
- [28] RDF. RDF [EB/OL]. [2018-04-10]. <http://rdf.bg/ifc-engine-dll.html?page=products>.
- [29] 陈冲, 马小军, 成荣荣. 基于 IDM 的建筑能耗分析流

- 程研究[J]. 科技通报, 2017, 33(4): 186-190.
- [30] PINHEIRO S, WIMMER R, O'DONNELL J, et al. MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation [J]. Automation in Construction, 2018, 90: 91-103.
- [31] KIM K, YU J. IfcXML based automatic data input approach for building energy performance analysis [J]. Journal of Construction Engineering & Project Management, 2013, 3(1): 14-21.
- [32] GUPTA A, CEMESOVA A, HOPFE C J, et al. A conceptual framework to support solar PV simulation using an open-BIM data exchange standard [J]. Automation in Construction, 2014, 37: 166-181.
- [33] KANG T W. Object composite query method using IFC and LandXML based on BIM linkage model [J]. Automation in Construction, 2017, 76: 14-23.
- [34] BERLO L V, KRIJNEN T. Using the BIM collaboration format in a server based workflow [J]. Procedia Environmental Sciences, 2014, 22: 325-332.
- [35] 明星, 周成, 姚毅荣, 等. 基于 IDM 的建筑工程设计阶段流程图描述方法研究[J]. 图学学报, 2014, 35(1): 138-144.
- [36] 王华兴, 张社荣, 潘飞. IFC4 流程实体在 4D 施工信息模型创建中的应用[J]. 工程管理学报, 2017, 31(2): 90-94.
- [37] KIM H, ANDERSON K, LEE S H, et al. Generating construction schedules through automatic data extraction using Open BIM (building information modeling) technology [J]. Automation in Construction, 2013, 35(2): 285-295.
- [38] KIM H, AHN H. Temporary facility planning of a construction project using BIM (building information modeling) [C]//Computing in Civil Engineering. Reston: American Society of Civil Engineers, 2011: 627-634.
- [39] 马智亮, 毛娜. 基于建筑信息模型自动生成施工质量检查点的算法[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2016, 44(5): 725-729.
- [40] DING L Y, LI K M, ZHOU Y, et al. An IFC-inspection process model for infrastructure projects: Enabling real-time quality monitoring and control [J]. Automation in Construction, 2017, 84: 96-110.
- [41] MA Z L, WEI Z H, SONG W, et al. Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China [J]. Automation in Construction, 2011, 20(2): 196-204.
- [42] 丁梦莉, 杨启亮, 马智亮, 等. 建筑工程运维管理: 基于 BIM 的方法综述[C]//第三届全国 BIM 学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 346-354.
- [43] 王超. 基于 BIM 的监测信息 IFC 表达与集成方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [44] PASSINI D, DANIOTTI B. Integrating real-time information in BIMs for building sustainability in the operational stage [C]//ISTEA 2016-Back to 4.0: Rethinking the digital construction industry. Santarcangelo, Di Romagna: Maggioli Editore, 2016: 50-59.
- [45] SUN Y J, ZHANG S R, PAN F. System design scheme and prototype implementation for the operation and maintenance of hydropower facilities based on IFC [J]. Journal of Engineering Management, 2017, 31(1): 17-22.
- [46] DANKERS M, VANGEEL F, SEGERS N M. A Web-platform for linking IFC to external information during the entire lifecycle of a building [J]. Procedia Environmental Sciences, 2014, 22: 138-147.
- [47] ZHU L, MAO H Q. Building interior model interpolation between IFC and CityGML [J]. The Open Construction and Building Technology Journal, 2015, 9: 170-176.
- [48] PAUWELS P, TERKAJ W. EXPRESS to OWL for construction industry: towards a recommendable and usable ifcOWL ontology [J]. Automation in Construction, 2016, 63: 100-133.
- [49] BEETZ J, LEEUWEN J P, DE VRIES B. IfcOWL: a case of transforming EXPRESS schemas into ontologies [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing, 2009, 23(23): 89-101.
- [50] 余芳强, 张建平. 一种分阶段递进式 BIM 构建方法[J]. 图学学报, 2017, 38(1): 97-101.