

基于工业基础类(IFC)标准的城市轨道交通建筑物 楼梯规范自动化检查方法*

王昌盛 邓雪原 吴祎菲 张家春

(上海交通大学土木系,200240,上海//第一作者,硕士研究生)

摘 要 以城市轨道交通建筑物的楼梯为对象,提出一种基于工业基础类(IFC)标准的自动化规范检查方案。从 IFC 标准的基础语义入手,引入模板匹配的方法,研发一个基于 IFC 标准的规范自动化检查平台,能从 IFC 语义中直接检验的属性和不能直接检验的属性分别采取两种解决方法。对能直接检验的属性采用模板匹配进行属性校验的方法,对不能直接检验的属性通过“属性提取算法+编程”的方式实现。最后通过案例对研究方法进行了验证。

关键词 城市轨道交通;建筑物;楼梯;规范检查;建筑信息模型;工业基础类标准

中图分类号 U231.4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.01.045

IFC-based Automated Code Inspection Method for Stairs of Urban Rail Transit Buildings

WANG Changsheng, DENG Xueyuan, WU Yifei, ZHANG Jiachun

Abstract An IFC-based automated code inspection scheme is proposed for urban rail transit building stairs. Starting with the basic semantics of IFC, introducing the template matching method, an automated code inspection platform based on IFC is developed, with two solutions adopted for the attributes that can be directly verified from IFC semantics and those that cannot. For the former attributes, the template matching method is used for verification, and for the latter, the verification is implemented by the method of “attribute extraction algorithm + programming”. Finally, the research method is verified by case study.

Key words urban rail transit; building; stairs; code inspection; building information modeling (BIM); industry foundation classes (IFC)

Author's address Department of Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, 200240, Shanghai, China

信息越发丰富,如何规范城市轨道交通大数据的安全性、准确性、规范性已成为工程设计过程中亟需考虑的要素之一。BIM(建筑信息模型)的可视化、模拟性、协调性、优化性和可出图性给项目的各参与方带来了不同的应用价值^[1]。IFC(工业基础类)标准作为 BIM 技术的标准之一,在模型格式统一、属性提取、设计规范方面具有不可替代的优越性。楼梯是建筑物中都要涉及到的构件,建筑类设计规范都会对楼梯踏步高、踏步宽、踏步级数和楼梯净宽等进行规定。但是国内外对建筑楼梯的智能化检查方法研究较少。本文基于对国内外规范检查的研究进展和对国内城市轨道交通规范检查的需求程度,提出一种基于 IFC 标准的对楼梯规范的自动化检查方法,并用案例验证该方法的可行性。

1 研究现状

1.1 城市轨道交通 BIM 研究现状

近年国内建筑行业快速发展,传统的设计施工模式已经无法满足日益增长的工程建设的需要。BIM 的出现能够极大地提高勘察设计、施工、运营维护中的工作效率。麦肯锡研究院的研究报告指出“采用 BIM 技术的单位中有 75% 报告其投资回报率为正,并且缩短了项目周期,节省了文书工作和材料成本^[2]。”

IFC 标准由国际协作联盟组织 IAI(现名 Building SMART)提出,是一个公开的、结构化的、基于对象的信息交换格式,定义描述 BIM 的标准格式^[3],确保项目全生命周期中各个阶段的数据能够交换和共享。通过对 IFC 标准领域层的扩展可以实现 IFC 标准对多专业、多模型的兼容^[4]。

城市轨道交通领域的 BIM 研究较工民用建筑

随着城市轨道交通建设规模的逐渐提高,工程

* 上海市科学技术委员会技术联盟计划项目(14DZ0510500);上海市信息化发展专项资金项目(201501048)

起步较晚,但近些年发展迅猛。城市轨道交通领域存在体量大、周期长、范围广的特征,对管理者的考验巨大,BIM技术能极大地提高城市轨道交通行业的效率。国内大量学者对城市轨道交通的规划、设计、施工、运维阶段的BIM技术进行了研究,但是如何保证城市轨道交通构件信息的准确性、规范性,国内尚未形成一套完善的解决方案。本文介绍一种以楼梯为例的基于IFC标准的城市轨道交通规范自动化检查方案,将有助于解决这一难题。

1.2 三维模型的规范自动化检查研究现状

基于BIM的规范检查技术起步较早,随着BIM技术的发展逐渐趋于完善。早在2003年,文献[5]研究出一种基于对象的构建模型方法,并在在分布式系统中的J2EE(Java 2平台,企业版)实现,展示了在分布式环境中构建设计一致性检查的方法和系统的有效性;随后文献[6]通过测试5个工业进程,提出一种基于IFC的规范检查技术结构框架;文献[7-8]提出了一种基于IFC的BIM产品文档的自动语义标注方法,并开发了一个名为BIMSeek的原型语义搜索引擎。迄今为止,国外的FORNAX、Solibri、EDModelchecker、SMARTcodes等多款软件已经能够实现对国外规范的自动化检查。但是,受制于规范的书面条款与计算机可识别计算语言的差异,规范中的参数并不能直接被计算机执行,加上国内外规范本身存在较大差异,故而国外规范自动化检查手段尚未在国内广泛应用。

国内BIM的规范自动化检查起步较晚,大多数中小设计企业对BIM的概念尚处于二维图纸翻模阶段,因而对于规范检查的应用还停留在二维CAD(计算机辅助设计)审图阶段。但近年来国内对BIM的规范检查研究并不少。文献[9]以Solibri软件为例罗列实现全方位碰撞检查技术的规则类型;文献[10]研究展示了一种面向Revit平台上BIM模型的建筑专业规范条款的自动化检查;文献[11]在编程环境Microsoft Visual Studio中利用SQLite数据库、Revit API二次开发接口对规范数据、模型信息进行了提取,并将提取的数据交由对应的逻辑表达进行计算验证;文献[12]用预定义的标记方法对文本进行处理,并且构建规范本体,生成计算机可读的规则。但是上述研究还是大多停留在对Solibri软件规范检查功能的国内化分析和对Revit二次开发的研究,缺乏BIM语义的基础研究。楼梯的踏步高、踏步宽、踏步级数和楼梯宽度在IFC标准的文

件中均有语义表达,通过对其IFC属性提取并进行研究即可实现楼梯规范的自动化检查。

2 城市轨道交通建筑物楼梯规范的检查方法

2.1 技术路线

IFC标准是当前国际应用最广的BIM标准,基于IFC标准建立的BIM能够完美实现包含所有建筑信息,只要将IFC模型文件中与规范条款相对应的属性信息提取出来与现有规范进行校对,就能够实现规范的自动化检查。虽然IFC4标准已经发布,但是国内外主流BIM软件仍只能较好地支持IFC 2×3标准文件的输入、输出。基于IFC标准的BIM数据规范研究主要包含以下三个步骤:

1) IFC对象属性提取:通过对buildingSMART官网上发布的IFC标准^[13]进行实体语义研究,通过实体包含的直接属性、导出属性和反属性及实体之间的关联进行深入解读,实现实体属性的提取。

2) 规范转译:将规范条款转译成计算机可以表达的形式,采用模板匹配的方式或者将规范条文内嵌到规范检查软件中。

3) 检查计算:输出格式为IFC的模型文件导入规范检查软件后进行规范校对,并导出校验报告。

本文采用基于IFC标准的BIM数据规范检查平台研究是在文献[14]和文献[15]的研究基础上对城市轨道交通领域的应用拓展。根据所检查的属性是否可直接在实体中表达,可以将规范检查分为基础属性有效性检验和特殊属性规范检查两个部分。

2.2 基于IFC标准的楼梯基础属性有效性检验

在IFC标准中,每一个构件都有专门属性表达,楼梯也不例外。构件的属性信息存储在对应的IFC标准实体语句中,数据的有效性是指构件实体中属性信息的准确性和真实性。对于交付的城市轨道交通信息模型,保证每个构件信息有效。

楼梯的踏步宽度、踏步高度、楼梯级数和楼梯宽度属性在对应的IFC语句中均有表达。踏步宽度和踏步高度在IfcStair实体中表达,楼梯宽度和楼梯级数在IfcStairFlight实体中表达。所以通过对对应实体中的属性值与规范值进行校验,就能判断属性信息的有效性。本研究采用模板匹配的方法,读取待检的IFC文件,以标准校验模板的对象名称作为关键字在IFC文件内进行搜索。定位目标对象后,将其属性名称、属性值的有效值域与标准校验模板的内容进行对比。具体步骤如下:

1) 遍历需要检查的对象名称。该步要求规范模型各构件的命名规则,只有按照统一命名规则命名的对象才能被检索到。如所有的现场浇筑楼梯统一命名为“现场浇筑楼梯”,不允许部分现场浇筑楼梯命名为“现场浇筑楼梯”、部分命名为“楼梯”的情况,于此时同时不同的楼梯也不能采用同一种名称命名。对象名称属性保存在对应 IFC 实体的“Name”属性中。

2) 解析需要检查对象的 IFC 语义。对象实体的几何属性信息在 IFC 文件中使用实体 IfcPropertySingleValue 表达,但在 IFC 文件中 IfcPropertySingleValue 实体信息不能直接得到,需要先从名称遍历的结果中找到实体 IfcPropertySet,然后通过 IfcPropertySet 的“HasProperties”属性找到 IfcPropertySingleValue,最后提取实体 IfcPropertySingleValue 中包含的属性值与规范值进行校对。属性提取算法如图 1 所示。

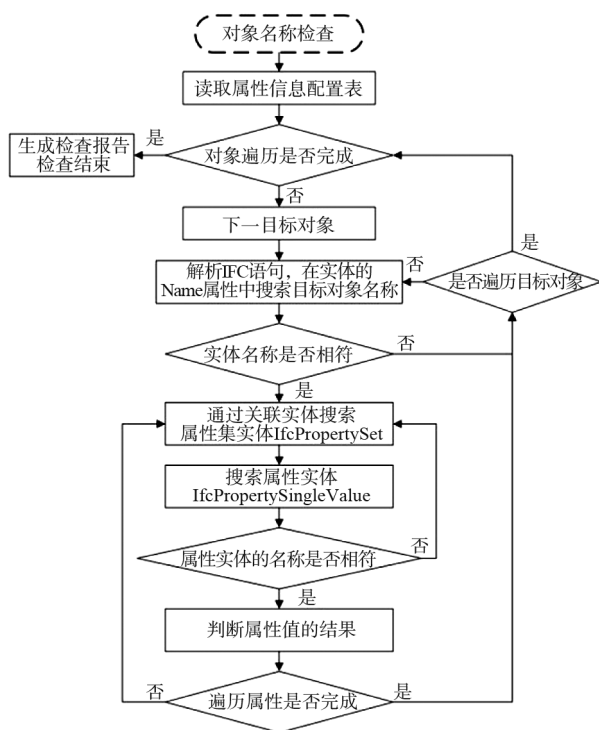


图1 楼梯属性值校验算法

基于本研究的规范检查平台如图 2 所示。在左方菜单栏中选择“数据校验”模式,界面上方 5 个按钮依次表示“载入实体文件”“载入属性文件”“打开 IFC 文件”“开始校验”和“保存校验报告”。右下角为校验结果栏。标准校验模板采用配置表的格式。配置表具体格式在以下案例验证中进行说明。

2.3 基于 IFC 的楼梯特殊属性规范检查

上文已经介绍关于实体中能直接包含的属性信



图2 数据校验规范检查平台实景图

息进行规范检查,楼梯的踏步宽度、踏步高度、楼梯级数和楼梯宽度属性都可以通过以上算法提取并与规范值进行校验。但是,现实规范中很多条文转译的信息是不能直接通过某一个实体表达的。如楼梯休息平台的宽度,需要通过对 IFC 实体语义和关联性的研究提取属性,并经过几何计算和算数计算得到的最终值与规范值进行比较。这类规范检查较为复杂,一般针对每一条特定的规范都需要一个特定的算法与之对应。具体检查步骤如下:

1) 在 IFC 标准数据中检索待检楼梯的名称,定位对应的楼梯实体 IfcStair;

2) 利用 IfcStair 的反属性“IsDecomposedBy”与 IfcRelAggregates 的属性“RelatingObjects”之间的引用关系,定位对应的关联实体 IfcRelAggregates;

3) 利用 IfcSlab 的反属性“Decomposes”与 IfcRelAggregates 的属性“RelatedObjects”之间的引用关系,定位对应楼梯平台实体 IfcSlab;

4) 通过 IfcSlab 的“Representation”属性,定位形状描述实体 IfcProductDefinitionShape;

5) 通过实体 IfcProductDefinitionShape 的“Representation”属性,定位特定几何描述实体 IfcShapeRepresentation;

6) 通过 IfcShapeRepresentation 的“Item”属性,定位拉伸实体 IfcExtrudedAreaSolid;

7) 通过 IfcExtrudedAreaSolid 的“SweptArea”属性,定位不规则形状的几何表达实体 IfcArbitraryClosedProfileDef;

8) 通过实体 IfcArbitraryClosedProfileDef 的“OuterCurve”属性,定位描述有界曲线的实体 IfcPolyLine;

9) 通过 IfcPolyLine 的属性“Points”,定位所有描述楼梯平台截面边界的点坐标 IfcCartesianPoint;

10) 提取 IfcCartesianPoint 中的坐标属性,顺序

连接各点,经过几何运算和算术运算可以获得休息平台的宽度,并与转译好的规范数值进行对比。具体楼梯休息平台的宽度检查算法如图3所示。

楼梯平台截面如图4所示。由图4可知楼梯平

台的宽度值是该截面中线段的最大值,按顺序对IfcCartesianPoint表示的各点顺序连成的线段长度进行比较,得到线段最大长度,即为楼梯平台宽度值。

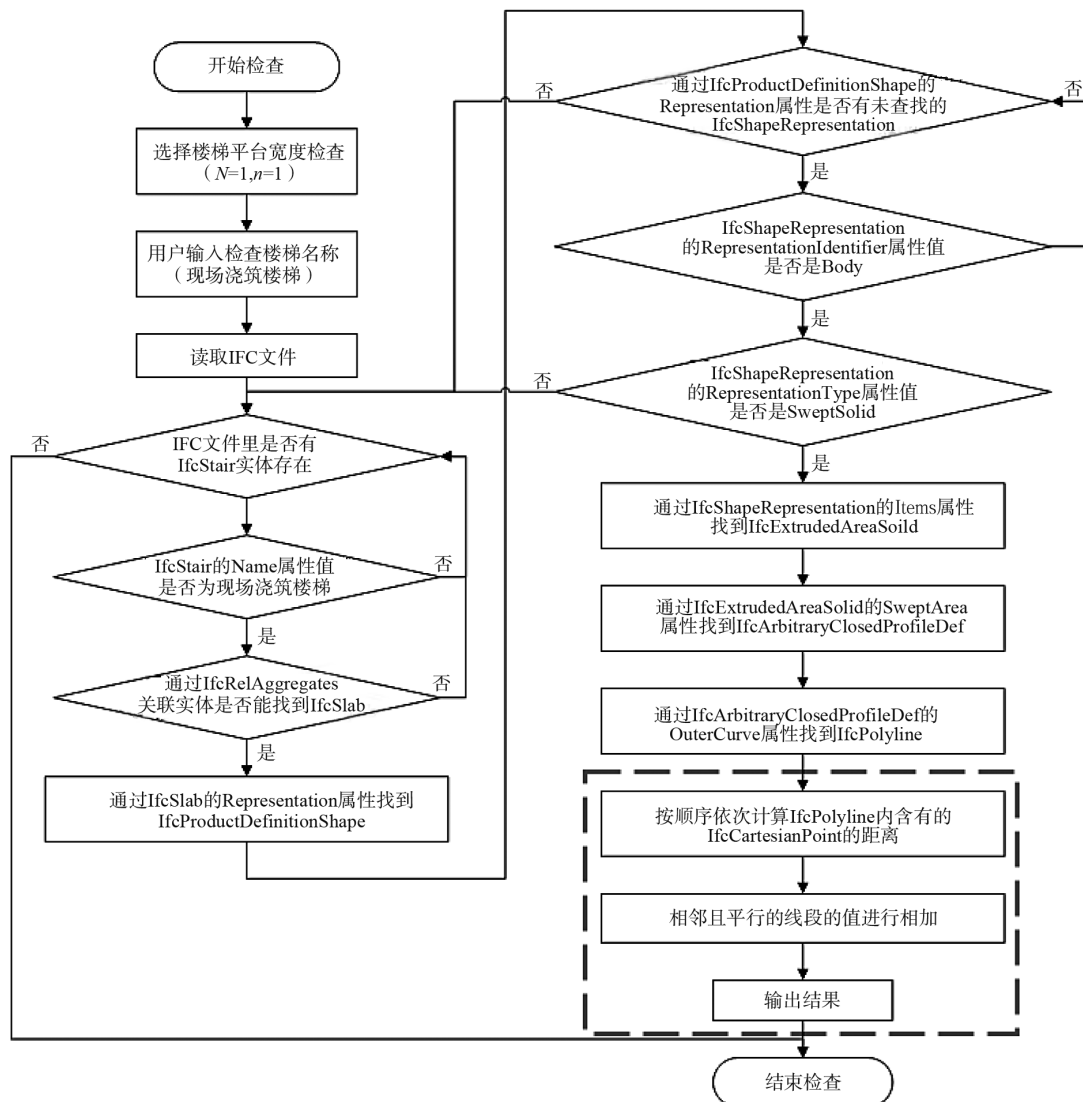


图3 楼梯休息平台宽度检查算法



图4 楼梯平台截面示意图

2.4 本研究与既有规范检查方法对比

当前,国内既有建筑物依然采用传统二维设计方法,国内一些大型设计企业虽然已经开始探索三维BIM正向设计,但距离应用仍有差距。国内审图主要采用人工审图方式,成本高效率低。对于三维模型,国内一般采用3D漫游的方式进行整体性检查,但对于大型模型检查既耗时又容易出错。

Solibri Model Checker是一款国际上应用最为广泛的规范自动检查软件,但其国内化应用程度并不高。

基于本研究的规范自动化检查平台从IFC基础语义出发,通过IFC属性研究,实现IFC文件的规范自动化检查。当前,国内外主流BIM软件都能较好支持IFC文件输出。IFC文件内容保存完整,占内存小,只需在平台中导入IFC文件就能自动生成检查报告。本研究针对国内具体规范条文的应用程度高,能够完美实现对城市轨道交通建筑物楼梯规范

3 案例验证

3.1 案例模型

本研究的案例为上海轨道交通 14 号线锦绣东路站。该 Revit 模型如图 5 所示。选取其中的部分楼梯模型如图 6 所示。

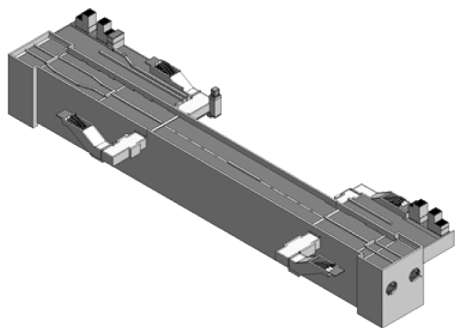


图 5 上海轨道交通 14 号线锦绣东路站 Revit 模型

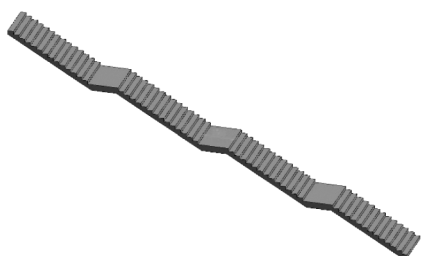


图 6 上海轨道交通 14 号线锦绣东路站部分楼梯模型

3.2 规范分析

根据上海市轨道交通设计标准,研究楼梯规范条文,选取其中楼梯的踏步宽、踏步高、级数、宽度和休息平台宽度的规范值如下:①踏步高 150~162 mm;②踏步宽 280~320 mm;③梯段的踏步级数 3~18;④单向楼梯宽度 $\geq 1\,800$ mm;⑤楼梯休息平台宽 1 200~1 500 mm。

3.3 配置表框架

本研究采用模板匹配的方式进行属性校验,对楼梯规范的检查使用配置表如表 1 所示。配置表采用属性配置表的形式,包含 4 列:列 1 为对象的名称;列 2 为对象的 IFC 实体名称(只有同时满足前 2 列名称相同的实体才可以进行属性值校验);列 3 为待检属性名称;列 4 为待检属性值的有效值域,即规范规定区间。表格中数值分为固定值、枚举型和区间型三种值域类型,枚举型以分号“;”分隔,区间型以连接号“-”“ \geq ”和“ \leq ”作为区间识别符。

表 1 基于设计规范的正确性校验属性信息配置表

对象名称	IFC 实体名称	属性名称	有效值域
现场浇注楼梯	IfcStair	实际踢面高度	150~162 mm
现场浇注楼梯	IfcStair	实际踏板深度	280~320 mm
现场浇注楼梯	IfcStairFlight	实际梯段宽度	$\geq 1\,800$ mm
现场浇注楼梯	IfcStairFlight	实际踢面数	3~18

3.4 验证结果

对于可以直接从 IFC 实体中提取的属性值校验,先导入预设的配置表,再将锦绣东路站 Revit 模型以 IFC 格式导入基于本研究的规范检查平台,并自动生成检查报告。检查报告分为两种,即楼梯属性校验结果和属性有误的楼梯校验结果。部分检验结果分别如表 2 和表 3 所示。部分楼梯休息平台宽度检查报告如表 4 所示。

对于不能直接从 IFC 实体中提取属性值的规范检查,则不需要导入配置表,可直接将锦绣东路站 IFC 文件导入基于本研究的规范检查平台,并勾选楼梯休息平台宽度检查。只有初始名称校验结果为“是”的实体才会出现在报告中,从表 2、表 3、表 4 中可以直观看出模型是否符合规范。

表 2 楼梯属性值校验结果

序号	标识	对象名称	属性	是否存在	属性值	是否正确	正确值
1	3666622	现场浇注楼梯	实际踢面高度	是	170	错误	150~162 mm
2	3666622	现场浇注楼梯	实际踏板深度	是	290	正确	280~320 mm
3	3666622	现场浇注楼梯	实际梯段宽度	是	2 000	正确	$\geq 1\,800$ mm
4	3666622	现场浇注楼梯	实际踢面数	是	9	正确	3~18
5	3197800	现场浇注楼梯	实际踢面高度	是	170	错误	150~162 mm
6	3197800	现场浇注楼梯	实际踏板深度	是	260	错误	280~320 mm
7	3197800	现场浇注楼梯	实际梯段宽度	是	2 000	正确	$\geq 1\,800$ mm
8	3197800	现场浇注楼梯	实际踢面数	是	14	正确	3~18
9	2556122	现场浇注楼梯	实际踢面高度	是	160	正确	150~162 mm
10	2556122	现场浇注楼梯	实际踏板深度	是	260	错误	280~320 mm
11	2556122	现场浇注楼梯	实际梯段宽度	是	2 000	正确	$\geq 1\,800$ mm
12	2556122	现场浇注楼梯	实际踢面数	是	9	正确	3~18

表3 属性有误的楼梯校验结果

序号	标识	对象名称	错误属性	错误原因	属性值	正确值/mm
1	3666622	现场浇注楼梯	实际踢面高度	属性值错误	170	150~162
2	3197800	现场浇注楼梯	实际踢面高度	属性值错误	170	150~162
3	3197800	现场浇注楼梯	实际踏板深度	属性值错误	260	280~320
4	2556122	现场浇注楼梯	实际梯段深度	属性值错误	260	280~320

表4 楼梯休息平台宽度校验结果

序号	标识	对象名称	属性名称	属性值	判断结果	正确值/mm
1	3666622	现场浇注楼梯	楼梯休息平台宽度	1 510	错误	1 200~1 500
2	3197800	现场浇注楼梯	楼梯休息平台宽度	1 500	正确	1 200~1 500
3	3197800	现场浇注楼梯	楼梯休息平台宽度	1 500	正确	1 200~1 500
4	2556122	现场浇注楼梯	楼梯休息平台宽度	1 500	正确	1 200~1 500

4 结语

本文对城市轨道交通项目楼梯构件属性的 IFC 表达与属性提取进行了深入研究,引入配置表的概念,提出一种通过 IFC 实体属性关联实现城市轨道交通楼梯规范的自动化检查方法,并通过实际案例验证了该方法的可行性。本研究同样适用于城市轨道交通领域以外其它建筑物楼梯规范的自动化检查。楼梯只是建筑物中的一个典型构件,对于其它构件,可在 IFC 文件中找到对应的属性信息,通过算法同样能实现自动化检查。基于本研究的规范自动化检查平台也将朝着实现多元化规范自动检查的目标迈进。自动化检查的实现能够大大提高设计人员的效率,降低人力成本。另一方面,城市轨道交通项目中还存在大量的其他需要检查的规范条文,如人员疏散距离,防火分区面积等相关规范条文,通过简单的属性提取计算尚不能够完成自动化检查,还需要进一步研究相应信息的 IFC 表达、搜索与转换算法。这些是本文后续研究的重点。

参考文献

- [1] 辛佐先.城市轨道交通项目建筑信息模型(BIM)应用模式研究[J].城市轨道交通研究,2014(8):23.
- [2] McKinsey. Imagining construction's digital future [EB/OL]. [2016-01]. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-construction-digital-future>.
- [3] 代一帆,董靓.建筑数据表示和交换标准 IFC 综述[C]//2007

全国建筑环境与建筑节能学术会议论文集. 成都:[出版社不详],2007:350.

- [4] 赖华辉,邓雪原,刘西拉.基于 IFC 标准的 BIM 数据共享与交换[J].土木工程学报,2018(4):121.
- [5] YANG QZ, XU X. Design knowledge modeling and software implementation for building code compliance checking[J]. Building and Environment, 2004, 39(6): 689.
- [6] EASTMAN C, LEE J M, JEONG Y S, et al. Automatic rule-based checking of building designs [J]. Automation in Construction, 2009, 18(8): 1011.
- [7] GAO G, LIU YS, LIN PP. Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources[J]. Advanced Engineering Informatics, 2017, 31(1): 48.
- [8] GAO G, LIU YS, WANG M. A query expansion method for retrieving online BIM resources based on Industry Foundation Classes[J]. Automation in Construction, 2015, 56(8): 14.
- [9] 曾旭东,王诗旭.基于规则设定的全方位碰撞检查技术[J].建筑与文化,2014(8):124.
- [10] 孙澄宇,柯勋.建筑设计中 BIM 模型的自动规范检查方法研究[J].建筑科学,2016(4):140.
- [11] 辛文慧.基于 BIM 的强制性条文数据库的建立及应用[D].重庆:重庆大学,2017:55.
- [12] 姜韶华,周涵.支持建设行业合规性检查的语义方法[J].土木工程与管理学报,2017(5):60.
- [13] BuildingSMART. Standard of IFC [EB/OL]. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/>.
- [14] 陈立春,袁兆祥,齐立忠,等.电网工程信息模型 IFC 标准数据的校验研究[J].电器与能效管理技术,2015(18):30.
- [15] 吴伟菲,邓雪原,夏海兵,等.基于 IFC 标准的城市轨道交通 BIM(建筑信息模型)数据有效性检查[J].城市轨道交通研究,2019(4):109.

(收稿日期:2019-04-01)