



# 利用IFC和CityGML进行地下空间模型转换 ——以城市综合管廊为例

赵强<sup>1,2</sup> 何陈照<sup>1,2</sup> 杨世植<sup>3</sup> 方廷勇<sup>1,2</sup> 朱曙光<sup>1,2</sup>

1 安徽建筑大学环境与能源工程学院,安徽 合肥,230601

2 安徽省智慧城市工程技术研究中心,安徽 合肥,230601

3 中国科学院安徽光学精密机械研究所,安徽 合肥,230031

**摘要:**分析了工业基础类(industry foundation classes, IFC)和城市地理标记语言(city geography markup language, CityGML)在几何表达、语义信息等方面的异同;以综合管廊为对象,建立IFC综合管廊模型转换为CityGML模型的流程和方法,进行语义提取、几何以及坐标系统的转换。通过六盘水城市综合管廊模型转换进行验证,结果表明,所建立的IFC管廊模型与CityGML管廊模型映射规则可实现IFC管廊模型向CityGML模型的转换,同时转换后的CityGML管廊模型包含由IFC模型提取的属性信息,可用于三维地理信息系统(three dimension geographical information system, 3DGIS)与建筑信息模型(building information modeling, BIM)的集成,有助于促进城市地下管廊全生命周期管理。

**关键词:**3DGIS; BIM; IFC; CityGML; 综合管廊; 模型转换

**中图分类号:**P208

**文献标志码:**A

工业基础类(industry foundation classes, IFC)和城市地理标记语言(city geography markup language, CityGML)作为建筑信息模型(building information modeling, BIM)和三维地理信息系统(three dimension geographical information system, 3DGIS)各自的行业交换标准,两者的集成是实现BIM与GIS集成以及后续应用的前提<sup>[1]</sup>。对于两者的集成转换, Isikday和Zlatanova<sup>[2]</sup>提出由IFC模型自动转换到不同细节层级(level of detail, LOD)CityGML模型的框架,为实现IFC建筑模型向CityGML模型的转换提供了基础。Laat等<sup>[3]</sup>通过采用建筑信息模型服务器以及IFC解析引擎实现IFC模型向CiyGML模型的转换,但是这种转换方式没有很好实现IFC模型中扫描体以及构造实体几何向边界表示的几何转化。Donkers等<sup>[4-5]</sup>提出一种IFC模型到CityGML LOD3模型的自动转化方法,包括语义映射和三维几何运算,通过对IFC模型进行语义筛选,利用形态学算法和布尔运算提取模型外壳,并与语义进行链接的方式实现IFC模型向CityGML模型的转换。汤圣君等<sup>[6]</sup>基于Donkers

提出的方法,通过几何过滤以及语义映射,将IFC模型中的几何和语义信息分别进行转换和映射,得到CityGML的表达形式后再关联起来得到完整的CityGML模型。

目前IFC与CityGML的转换主要集中在房屋建筑模型方面,本文针对综合管廊,提出IFC综合管廊模型向CityGML模型转换的框架以及映射规则,进行语义提取以及几何转换等操作,实现IFC管廊模型向CityGML管廊模型的转换,并以贵州省六盘水市天湖路综合管廊为例进行转换验证。

## 1 IFC与CityGML比较

IFC由Building SMART为建筑信息模型领域内数据交换提出的开放数据标准,以实现建筑设施管理领域内的信息表达、交换及共享,作为通用交换标准,IFC模型文件包含了建筑模型的所有相关信息,例如几何、属性以及拓扑关系等,因此在BIM相关软件中被广泛应用<sup>[7-8]</sup>。

CityGML是基于地理标记语言的城市领域

应用模式,采用可拓展标记语言(extensible markup language, XML)来实现虚拟 3D 城市模型数据的存储以及交换,其目标是实现三维城市模型基础实体、属性以及关系的共享定义,通过统一的模型交换标准实现三维城市模型数据在不同应用之间的交换,极大地方便了城市三维建模和数据共享。

IFC 与 CityGML 比较如表 1 所示,IFC 具有面向可视化表达和模型分析应用的多种几何形状构建方式和丰富的建筑构件、设施信息的特点, CityGML 更加强调空间对象不同细节层级的表达以及对象的形状表示、拓扑关联和语义信息的一致性,以区域信息为重点,为 GIS 专业进行空间分析等操作提供基础<sup>[8-9]</sup>。

表 1 IFC 和 CityGML 比较

Tab.1 Comparison Between IFC and CityGML

内容	IFC	CityGML
文档形式	EXPRESS	XML
几何构建方式	边界表示法、扫描体、构造实体几何	边界表示法
语义信息	丰富的属性、拓扑关系	不同细节层级语义信息
表达尺度	建筑工程个体的呈现	城市、区域范围的呈现
材质表现	根据构件类型的材质表现	自定义的贴图表现形式

## 2 模型转换

以 IFC 实体继承、项目空间结构以及定义的元素类型为基础,采用树状解析方法对 IFC 文件进行解析,操作流程如图 1 所示,首先对 IFC 文件进行解析,筛选出转换所需要的元素,然后将其按几何、语义进行分类,将几何元素进行几何转换以及坐标转换,形成用于构建 CityGML 几何形状重构的中间文件,对于语义信息,通过过滤提取出其中的属性信息,用于后续语义映射操作,实现属性与实体的关联,最后进行优化处理,生成 CityGML 模型文件。

管廊 IFC 模型可分为外部廊体以及内部的设施,廊体由 IfcWall 以及 IfcSlab 构成,圆形或者异形横断面廊体采用 IfcBuildingElementProxy 表达;内部设施主要包括楼梯、电气设备、管道以及其他附件。对于 IFC 实体尚未覆盖到的构件或者未知类型的构件,同样用 IfcBuildingElementProxy 表示。同时 IFC 采用边界表示法、扫描体

以及构造实体几何为描述物体体积形状的基本方式,无论是墙体、梁、柱,还是管道、管件,均采用以这 3 种构建形式为基础的方式进行表达,这使得基于构建形式的转换对所有管廊构件具有通用性。需要提取的 IFC 实体元素如图 2 所示,分为管廊结构元素以及管廊构件的元素,前者主要为 IfcBuildingElement,包括墙体、楼板以及门窗、楼梯等,后者主要为管道以及管道附件,例如阀门、管段、弯头等。

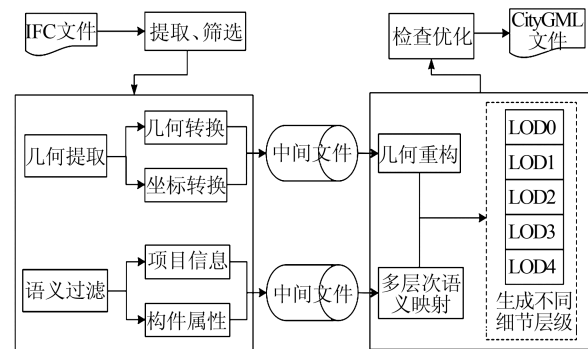


图 1 面向管廊的 IFC 模型向 CityGML 模型转换流程  
Fig.1 Workflow Diagram for Transforming IFC Utility Tunnel Model to CityGML Model

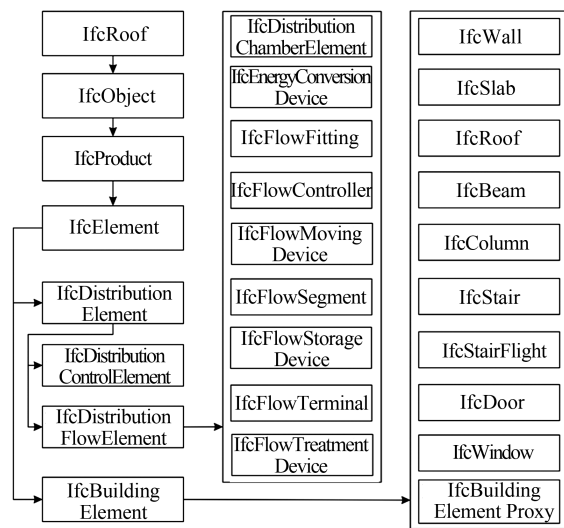


图 2 管廊 IFC 模型包含的实体元素

Fig.2 Entities Contained in IFC Utility Tunnel Model

### 2.1 语义提取

语义提取主要是将所需的数据提取出来,转换为对应的 CityGML 语义。CityGML 支持不同 LOD,根据不同用途进行提取,可由 LOD4 进行剔除处理生成低 LOD。语义提取过程中需要提取的信息主要有项目信息、管廊实体构件及其形状表示、属性信息、坐标数据等。通过对 IFC 文件进行解析,获取其中的 IfcSharedBldgElements 子类、IfcSharedBldgServiceElements 子类用于管

廊结构以及内部构件的几何表示及其相应的属性信息,经过转换后输出为中间文件,如图3所示。

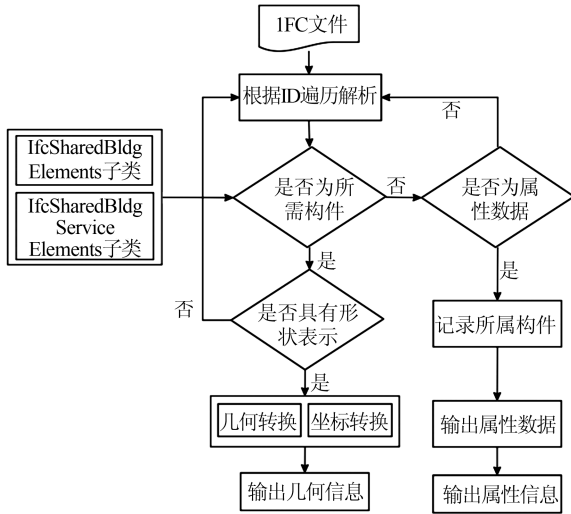


图3 IFC文件解析流程

Fig.3 Workflow Diagram for Parsing IFC File

如图4所示,IFC中属性信息通过 IfcRelDefinesByProperties 与建筑构件进行关联,也可通过 IsDefinedBy 进行逆向关系获取<sup>[10]</sup>。同样也可以通过这种方式将同样的属性信息关联到多个实体,对于属性不同的实体,采用 IfcRelOverridesProperties 进行改写,这样的好处是实现属性的共享,减少冗余。解析出来的属性集通过链接的方式与转换后的 CityGML 文件进行映射,以实现项目信息、构件属性等内容的集成。

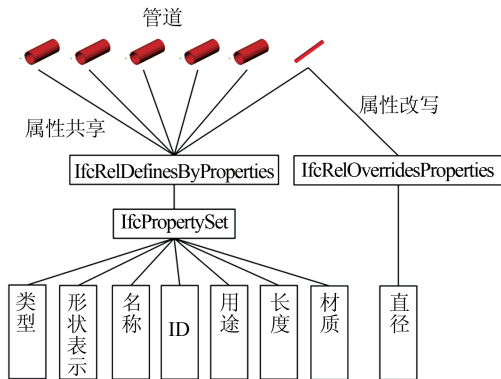


图4 属性集引用方式

Fig.4 Using IfcRelDefinesByProperties to Link Entities and Property Sets

2.2 几何转换

几何转换首先通过提取所需的 IFC 元素,对其进行解析,判断是否具备几何信息,如果是,则进行深入解析,提取其构造几何的形式以及具体的构建参数,再将参考坐标转换为绝对坐标后转换为 CityGML 语义信息,通过几何重建形成对应的模型。

表2列举了IFC模型向CityGML模型转换时的映射规则,IFC中的常规建筑构件如墙、门窗等都能在CityGML中找到对应的元素表示<sup>[11]</sup>;对于 IfcWall 或者 IfcWallStandardcase,映射到 CityGML 文件中时需要进行内外墙面的区分,包含在建筑空间内部构成 Room 空间边界的墙体为内墙,其余为外墙,首先提取墙体在地面或者楼板上的二维平面,例如以 GroundSurface 所在平面的 Z 轴平面对所有墙体进行截取,二楼则以 FloorSurface 进行截取,获取墙体平面图,以平面图为基础提取建筑墙体内外轮廓,再对照 IFC 文件中墙体形状构建的方式进行拉伸,由内轮廓拉伸形成的墙体为 InteriorWallSurface,外轮廓拉伸形成墙体即为 WallSurface,如图5所示。

表2 管廊 IFC 元素向 CityGML 语义映射规则列表

Tab.2 List for Mapping IFC Utility Tunnel Entities to CityGML Entites

IFC 元素	CityGML 语义
IfcWall	WallSurface\InteriorWallSurface
IfcSlab	CeilingSurface\FloorSurface
IfcBeam	
IfcColumn	IntBuildingInstallations
IfcStair	
IfcStairFlight	
IfcDoor	Door
IfcWindow	Window
IfcRoof	RoofSurface
IfcBuildingElementProxy	
IfcDistributionChamberElement	
IfcEnergyConversionDevice	
IfcFlowController	
IfcFlowFitting	Generic
IfcFlowSegment	
IfcFlowStorageDevice	
IfcFlowTerminal	
IfcFlowTreatmentDevice	

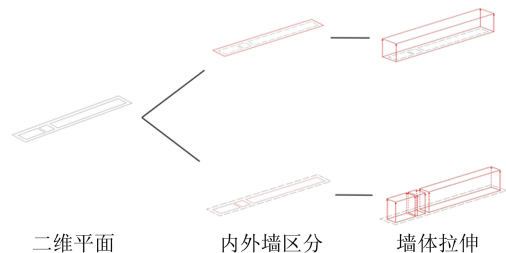


图5 综合管廊墙体内外表面区分

Fig.5 Distinguish Between Wallsurface and InteriorWallSurface

管廊 IFC 模型主要采用扫描体构建,扫描体是通过将二维图形按照特定的拉伸方向  $\vec{r}=(i,j,k)$  以及拉伸长度  $L$  进行拉伸,得到拉伸后的图形、原二维图形以及拉伸路径所形成的封闭三维形状,如图 6 所示。原二维图形可为圆形、梯形、矩形、组合类型或者任意封闭图形,通过扫描体均可形成三维图形,用于 IFC 模型的几何搭建。

扫描体中被拉伸的二维形状上的点坐标  $(x_0, y_0, z_0)$  和拉伸后得到的新形状上的坐标  $(x_1, y_1, z_1)$  可通过式(1)计算得到:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \frac{L}{\sqrt{i^2 + j^2 + k^2}} \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} \quad (1)$$

对于圆形横断面廊体或者管道模型,通过简

化圆形平面,建立圆内接多边形的方式,以直线代替弧线的方式进行构建,结合拉伸转换计算即可得到相应的廊体或管道各表面顶点坐标<sup>[12]</sup>,如图 7 所示。

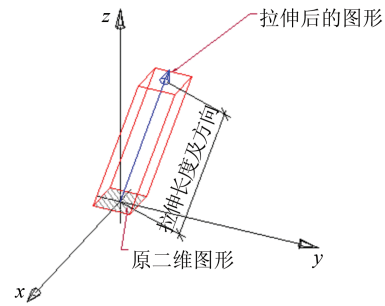


图 6 扫描体构建

Fig.6 Scanning Body Construction

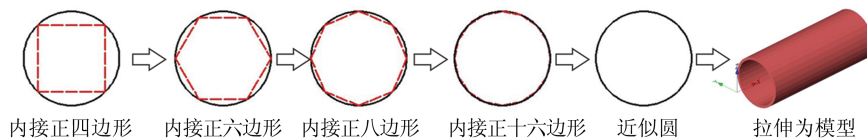


图 7 内接多边形方式构建圆形断面模型

Fig.7 Using Inscribed Polygon to form Round Section Model

### 2.3 坐标系转换

IFC 文件中建筑构件的坐标是基于相对坐标系统的,例如 IfcSite 以项目基点为原点的坐标系统作为整个模型文件的基准坐标系统,IfcBuilding 的坐标系统以 IfcSite 坐标系下的点为坐标原点,而 IfcBuildingStorey 的坐标系统又以 IfcBuilding 所在坐标系的点为坐标原点,以 IfcAxis2Placement3D、IfcLocalPlacement 以及 IfcCartesianPoint(初始笛卡尔坐标点)等元素为解析线索,如此递推,逐层深入,点的相对坐标要转换为以 IfcSite 的坐标系统为参考的绝对坐标,此过程可通过坐标迭代的方式完成。公式为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_n = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}_{n-1} + M_{n-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{n-1} \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

式中,  $x, y, z$  为构件位于本地直角坐标系下的坐标,下标  $n=1, 2 \dots m, m$  为构件的迭代次数,以 Ifc-

Site 为基准,根据不同构件而定,列如 IfcBuilding 次数为 1, IfcBuildingStorey 相对 IfcSite 为 2 次,以此类推,当下标  $n=m$  时,表示构件位于转换后统一以项目基点为原点的直角坐标系下的坐标;  $a, b, c$  为坐标变换时的 (IfcCartesianPoint), 即平移量;  $\alpha, \beta, \gamma$  分别为坐标系变换时绕  $x$  轴、 $y$  轴以及  $z$  轴旋转的角度,以逆时针方向为正。

将 IFC 文件统一为绝对坐标系后,进行局部坐标系向地理坐标系的转换。以西安 1980 坐标系(XAS80)为例,首先测得 3 组或以上控制点的 XAS80 坐标  $(B, L, H)$ , 利用式(3)将控制点大地坐标转换为同椭球几何中心下的空间直角坐标系坐标。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + H) \cos B \cos L \\ (N + H) \cos B \sin L \\ [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中,  $N$  为卯酉圈半径;  $e$  为椭球的第一偏心率。然后用 Bursa 七参数模型进行参数求解, IFC 文件的局部坐标系所采用的长度单位可以通过 IfcSIUnit 获取,一般为“米”或者“毫米”。确定转换参数后,将 IFC 局部坐标转换为空间直角坐标系下的坐标,即可计算其对应的大地坐标系。对于大地经度  $L$ ,可采用下式求解:

$$L = \arctan \frac{Y}{X} = \arcsin \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} = \arccos \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (4)$$

大地纬度  $B$  采用迭代法计算, 初值选取为,  $\tan B_1 = 2/\sqrt{X^2 + Y^2}$ , 按照式(5)进行迭代计算, 直到所求  $B$  满足精度要求为止。大地高  $H$  由式(6)计算得到。

$$\tan B_{n+1} = \frac{Z + Ne^2 \sin B_n}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (5)$$

$$H = \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2) \quad (6)$$

通过上述方法可实现由 IFC 局部坐标向地理坐标的转换。

### 3 应用研究

本文以六盘水综合管廊天湖路段为例进行

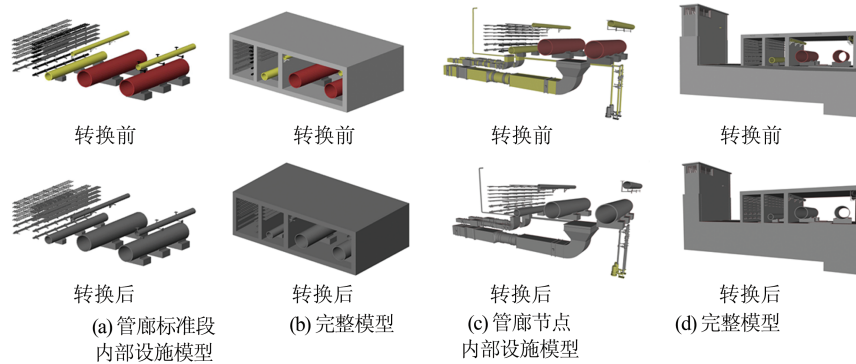


图8 两种内部设施模型转换前后对比

Fig.8 Comparison Between IFC Model and Transformed CityGML Model

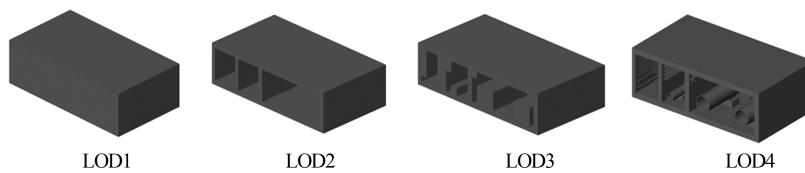


图9 综合管廊标准管段 CityGML 模型生成不同细节层级模型

Fig.9 Different LODs of the Transformed CityGML Model of Utility Tunnel Standard Section

由于转换是基于特定的映射规则进行的, 因此在语义方面, 对次要信息如 IFC 文件图层信息等进行了过滤, 后期可通过修改过滤条件对模型进行语义补充; 在几何方面, 转换主要是针对廊体以及管道进行, 因此对于次要模型有所忽略, 例如对某些复杂支架或者竖梯进行简化, 这有助于减少数据冗余。数据量的变化见表 3, LOD1-LOD2 主要由简单面构成, 不含详细的内部设施模型, LOD3 包含内部管道边界的简化模型, 对应

研究, 该段管廊全长 9.4 km, 采用三舱室管廊结构, 主要由管廊标准段和管廊节点构成, 其中标准段高 3.6 m, 宽 11.1 m, 通过属性信息对管道类别加以区分, 对管廊廊体、管道以及部分管廊设备进行模型转换。基于本文提出的转换流程以及方式, 采用转换采用基于 IfcOpenShell 开源代码库进行 C++ 编程的方式实现, 根据映射规则中列出的元素对 IFC 模型进行解析, 通过语义信息提取、映射以及几何过滤、转换, 实现 IFC 向 CityGML 的转换。利用本文提出的转换方法, 完成管廊 IFC 模型向 CityGML 模型的转换, 并生成不同的细节层级模型, 如图 8、图 9 所示。在进行地理信息分析时, 可根据具体分析的需要采用不同细节层级模型进行分析, LOD1 对应为管廊实体对象的外边界, 通过提取其中心线可获取对应的管线对象。

实体对象中管道区域, 因此数据量较小, 在 LOD4, 由于增加了内部设施精细模型, 并且这些模型均由转换后的边界表示法进行构建, 模型数据大小相对低细节层级增加明显。

根据表 2, 利用 Generic 类型表示管廊内部管道、管道附件等实体, 转换后的模型包括 CityGML 标准的 Core 模块以及 Generic 模块, 能够表示诸如弯头构件的类型、ID、尺寸以及几何坐标等信息。

表 3 管廊标准段转换前后数据量对比

Tab.3 File Size Comparison of IFC Model and CityGML Model of Utility Tunnel Standard Section

LOD	IFC/MB	CityGML
LOD1		5 KB
LOD2	9.11	23.9 KB
LOD3		48 KB
LOD4		10 MB

## 4 结 语

随着国内基建范围的不断扩大, BIM 与 GIS 的集成技术在城市建设方面的应用需求日益凸显, 两者的集成基础在于实现模型数据的交换共享, IFC 和 CityGML 作为 BIM 和三维 GIS 各自的行业交换标准, 基于不同的文档结构、模型构建方式以及细节程度等特点构建本行业应用模型, 在各自行业的应用范围非常广泛。本文通过对 IFC 和 CityGML 进行分析比较, 建立基于 IFC 和 CityGML 的城市综合管廊模型转换流程, 确定需要提取转换的元素实体以及相应的几何转换方式, 从模型层面进行 BIM 和 GIS 的集成; 通过语义提取、几何转换以及属性映射方面的研究, 实现基于 IFC 标准的综合管廊模型向 CityGML 转换; 并通过实例验证了本方法的可行性, 为后续 GIS 与 BIM 的集成提供基础。

## 参 考 文 献

- [1] Zhu Q, Zhao J, Du Z, et al. Towards Semantic 3D City Modeling and Visual Explorations [M]// Kolbe T H, König G, Nagel C. Advances in 3D Geo-Information Sciences. Berlin: Springer, 2011: 275-294
- [2] Isikdag U, Zlatanova S. Towards Defining a Framework for Automatic Generation of Buildings in CityGML Using Building Information Models [M]//Lee Jiyeong, Zlatanova S. 3D Geo-Information Sciences. Berlin: Springer, 2009:79-96
- [3] Laat R D, Berlo L V. Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension [M]// Kolbe T H, König G, Nagel C. Advances in 3D Geo-Information Sciences. Berlin: Springer, 2011:211-225
- [4] Donkers S. Automatic Generation of CityGML LOD3 Building Models from IFC Models [D]. Delft: Delft University of Technology, 2013
- [5] Donkers S, Ledoux H, Zhao J, et al. Automatic Conversion of IFC Datasets to Geometrically and Semantically Correct CityGML LOD3 Buildings [J]. *Transactions in GIS*, 2016, 20(4):547-569
- [6] Tang Shengjun, Zhu Qing, Zhao Junqiao, et al. Towards Interoperating of BIM and GIS Model: Geometric and Semantic Integration of CityGML and IFC Building Models [J]. *Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture*, 2014, 6(4):11-17(汤圣君, 朱庆, 赵君峤, 等). BIM 与 GIS 数据集成: IFC 与 CityGML 建筑几何语义信息互操作技术 [J]. 土木工程信息科学, 2014, 6(4):11-17)
- [7] International Organization for Standardization. ISO 16739:2013-Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries [S]. International Standard: sation Organisation, 2013
- [8] Deng Xueyuan, Zhang Zhiyong, Liu Xila. Automatic Generation of Structural Model from IFC-Based Architectural Model [J]. *China Civil Engineering Journal*, 2007, 40(2):6-12(邓雪原, 张之勇, 刘西拉). 基于 IFC 标准的建筑结构模型的自动生成 [J]. 土木工程学报, 2007, 40(2):6-12
- [9] Tang Shengjun, Zhang Yeting, Xu Weiping, et al. Parametric Modeling Method in Three-Dimensional GIS [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(9):1 086-1 090(汤圣君, 张叶廷, 许伟平, 等). 三维 GIS 中的参数化建模方法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(9): 1 086-1 090)
- [10] Li Peiyao. Transformation Method for Automatic Generation of Building in CityGML LOD1-LOD4 Using IFC Models [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017(李佩瑶). 从 BIM 实体模型自动提取多细节层次 GIS 表面模型的方法 [D]. 成都: 西南交通大学, 2017)
- [11] Ying Shen, Guo Renzhong, Jin Fengzan, et al. Auto-construction of 3D Closed Buildings from CityGML LoD3 [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(5):732-738(应申, 郭仁忠, 靳凤攒, 等). 利用 CityGML 模型自动构建三维封闭建筑体 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(5):732-738)
- [12] Zhou Jingchun, Li Qingquan, Shi Kun. Refined 3D Modeling of Pipeline Based on Sweeping Method [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(5):661-666(周京春, 李清泉, 施昆). 利用 Sweep 造型法进行管网精细化三维建模 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(5): 661-666)

## Transformation of Underground Space Models Based on IFC and CityGML—A Case Study of Utility Tunnel

ZHAO Qiang<sup>1,2</sup> HE Chenzhao<sup>1,2</sup> YANG Shizhi<sup>3</sup> FANG Tingyong<sup>1,2</sup> ZHU Shuguang<sup>1,2</sup>

1 School of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China

2 Anhui Engineering and Technology Research Center of Smart City, Hefei 230601, China

3 Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

**Abstract:** The similarities and differences between industry foundation classes (IFC) and city geography markup Language (CityGML) are analyzed in terms of geometric expression and semantic information. A transformation method between IFC and CityGML for utility tunnel is established including semantic extraction, geometry and coordinate system transformation. Then the transformation experiment of utility tunnel in Liupanshui city is carried out and the results show that the mapping rules of the IFC utility tunnel model and the CityGML utility tunnel model can realize the transformation of the IFC utility tunnel model to the CityGML model, at the same time, the converted CityGML utility tunnel model contains the property information extracted by the IFC model, which can be used for the integration of three dimension geographical information system (3DGIS) and building information modeling (BIM), it helps to promote the life cycle management of urban underground utility tunnels.

**Key words:** 3DGIS; BIM; IFC; CityGML; utility tunnel; model transformation

**First author:** ZHAO Qiang, PhD, associate professor, specializes in urban spatial information processing applications and environmental remote sensing research. E-mail: rommel99@163.com

**Foundation support:** The Research Major Project of Anhui Educational Committee(KJ2017ZD41); the National Key Research and Development Program Program of China(2017YFC0803300); the Major Projects of Science and Technology in Anhui(1603081118).

**引文格式:** ZHAO Qiang, HE Chenzhao, YANG Shizhi, et al. Transformation of Underground Space Models Based on IFC and CityGML—A Case Study of Utility Tunnel[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(7):1058-1064. DOI:10.13203/j.whugis20180409(赵强, 何陈照, 杨世植, 等. 利用 IFC 和 CityGML 进行地下空间模型转换研究——以城市综合管廊为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(7):1058-1064. DOI:10.13203/j.whugis20180409)