

基于工业基础类数据标准的结构模型转换技术

王 轩¹, 胡 笏¹, 杨晖柱², 张其林¹

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学建筑设计研究院集团有限公司, 上海 200092)

摘要: 介绍了建筑信息模型数据共享与交换的工业基础类数据(IFC)标准,分析了 IFC 建筑模型与结构模型信息的组成与特点,研究了基于 IFC 的结构模型转换方法,采用 ObjectARX 技术在 AutoCAD 平台上开发了 IFC 结构模型文件生成软件.实例应用表明,该软件可以提取结构模型完整的 IFC 信息,可以实现从 IFC 结构模型到软件结构分析模型的转换.

关键词: 工业基础类数据(IFC)标准; 结构模型; 转换技术
中图分类号: TU201.4 **文献标志码:** A

Transformation Technique of Structural Models Based on Industry Foundation Classes Standard

WANG Xuan¹, HU Jia¹, YANG Huizhu², ZHANG Qilin¹

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Tongji Architectural Design Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Industry foundation classes (IFC) standard for data sharing and exchanging of building information modeling is introduced. The constitutions and the features of IFC files for architectural models and structural models are analyzed and compared. The transformation method of structural models based on IFC standard is investigated. The generation software of IFC files for structural models is developed with the ObjectARX technology on the AutoCAD graphics platform. A case study is implemented to illustrate the method of structural model transformation which shows that the software can extract the complete IFC information of structural models and it can realize structural model transformation from IFC standard to specific structure analysis software.

Key words: industry foundation classes (IFC) standard; structural models; transformation techniques

建筑工程项目的参与者涉及多个独立不同的专业,随着项目的日益复杂,各专业分工越来越细致,同时每个专业所使用的设计软件又不相同,逐渐形成各自独立的数据源.目前,建筑领域各专业之间的数据交换很不理想,阻碍了建筑产业信息化的发展.针对这一情况,国际协同工作联盟(International Alliance for Interoperability, IAI)制定了信息表达和工业基础类数据(industry foundation classes, IFC)标准,经过这些年的发展,IFC 在国际上已经得到了广泛的采纳与推广.目前,国内外众多学者从深度和广度多个方面对 IFC 标准进行了研究^[1-3].张建平、李春霞等^[4-5]对 IFC 多维模型进行了研究,在原有 3D 模型基础上考虑时间因素将模型的形成过程以动态的 3D 形式表现出来,胡振中^[6]开发了基于 4D 的施工管理和安全分析系统,并将 IFC 建筑、结构模型运用于结构安全分析系统.刘照球^[7-9]、张建平^[10]对 IFC 建筑模型转换进行了深入的研究,并提出了基于建筑信息模型(building information modeling, BIM)的三维实体重建与转换的方法,刘照球等^[7]开发了 IFC 模型与 PKPM(工程设计软件)模型的转换平台.在 IFC 结构模型方面, Fink 和 Weise 等^[11]最先提出 IFC 结构模型的概念,介绍了 IFC 标准中与结构模型表达相关的对象类与关系类,邓雪原等^[12]对 IFC 标准建筑模型自动生成结构分析软件模型的方法进行了探索,王勇等^[13]提出了基于建筑结构设计信息模型的模型自动转化方法并开发了相应软件系统,上海现代集团^[14]研发了 IFC 模型与多个结构设计软件的信息交互平台.当前开发的 IFC 结构模型转换平台多注重于构件信息的转换,对荷载、节点信息转换研究较少.本文通过对 IFC 建筑模型与结构模型信息的组成与特点的研究,研发了基于 IFC 标准的结构模型转换软件,软件

收稿日期: 2013-03-21

基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目(11XD1404900)

第一作者: 王 轩(1986—),男,博士生,主要研究方向为 IFC 数据标准和建筑模型信息化. E-mail: wxayy415@163.com

通讯作者: 张其林(1962—),男,工学博士,教授,博士生导师.主要研究方向为膜结构及土木工程计算机仿真,

E-mail: zhangqilin@tongji.edu.cn

可以完成荷载信息、节点信息及构件信息的提取,实现从 IFC 结构模型到软件结构分析模型的转换,为各种结构分析及设计软件建立信息交互通道,实现结构设计软件之间的信息无纸化共享与交换。

1 IFC 结构模型

发展至今,IFC2X3 版本的结构模型共包含 7 个部分,编号从 ST-1 至 ST-7. 2002 年,IAI 德国小组 Fink 和 Weise^[1]将结构分析和钢结构模型加入 IFC 标准,组成了当前 IFC 标准中结构信息的主要内容. 目前,IFC 结构模型信息已经包括了:结构分析模型、荷载的作用、结构连接、边界条件、钢结构材料力学性质以及结构分析结果等内容,但不包括:结构动力特性、预应力构件、结构稳定性以及有限单元定义等方面的内容。

IFC 结构模型需要不仅能提供与自身领域相关的信息,而且能与其他相关领域进行高效的信息交换. 基于上述模型建立思想,IFC 结构模型信息来源于已有的建筑模型信息. 建筑模型与结构模型以两

种不同的方式描述了同一个三维空间坐标系的建筑单元,这两种模型紧密相联. 在一定的程度上可以相互转化. IFC 结构模型的建立需经过以下两个重要的步骤:首先,建立建筑模型,对已有建筑模型进行信息提取,根据结构设计原理进行合理抽象和简化,形成结构模型. 其次,结构模型信息提取,单元合理简化,形成合理的结构分析模型。

2 IFC 结构模型转换技术

2.1 IFC 结构模型中单元描述

IFC 结构模型中,类 IfcStructuralMember 用于结构单元的定义(线单元和面单元). 其中结构单元与节点连接的对应关系通过类 IfcRelConnectsStructuralMember 定义. 关系类 IfcRelAssignsToStructuralMembers 定义了建筑模型中建筑单元(建筑模型中的梁、柱及墙体等)与结构模型中结构单元的对应关系. 结构单元和单元间的连接方式以及结构模型与建筑模型的对应关系如图 1 所示。

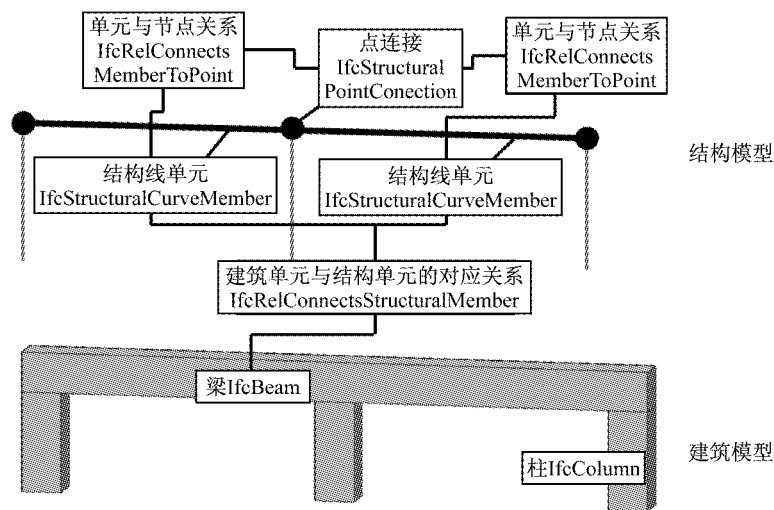


图 1 IFC 标准中结构模型与建筑模型的联系

Fig.1 The connection of structural model and building model in IFC standard

2.2 IFC 结构模型中节点连接、边界条件描述

IFC 结构模型中,类 IfcStructuralConnection 用于结构单元间连接方式及模型边界条件的定义(“点连接”、“线连接”以及“面连接”). 在使用 IfcStructuralMember 过程中需要注意的是,其属性 Representation 为拓扑表达 (IfcTopologyRepresentation)时,Representation 始终参照世界坐标系,而与其属性 ObjectPlacement 中

定义的局部坐标系无关. IfcStructuralConnection 的子类分别定义了“点边界”、“线边界”以及“面边界”,通过对支座 x, y, z 轴三个方向自由度及绕三轴的转动刚度来确定结构单元间的连接方式及模型的边界条件。

2.3 IFC 结构模型中荷载描述

IfcStructuralActivity 具有 IfcStructuralAction 和 IfcStructuralReaction 两个子类,它们分别用于定

义作用于结构单元上的内部与外部“作用”，例如荷载与位移等。在 IFC 结构模型中，通过关系类 IfcRelConnectsStructuralActivity 建立“作用”与结构单元的对应关系。类 IfcStructuralAnalysisModel 用于集成结构分析模型中所有的信息，如第 2.1~2.2 节提及的结构单元、结构连接方式及荷载作用等。

2.4 IFC 结构模型信息提取

根据 IFC 结构模型的结构特征，设计提取 IFC 结构模型流程图如图 2 所示。流程图中的虚线框，表示一种关系对象，IFC 对象间的关系通过这些关系对象建立（如 IFC 结构模型中的 IfcRelConnectsStructuralMember）。通过提取某一建筑对象的反属性找到关系对象，然后根据关系对象找到该建筑对象相关的对象或者对象组。

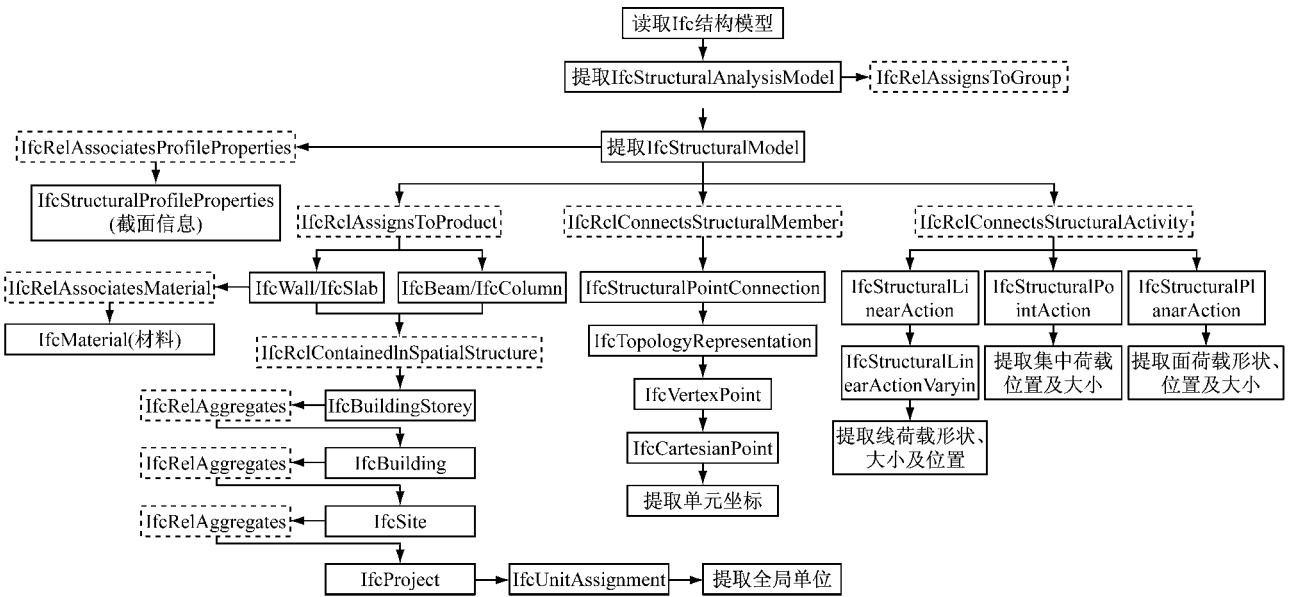


图 2 IFC 结构模型信息提取流程图

Fig.2 Flow chart for getting IFC structural model information

IFC 结构模型信息主要的提取流程为：提取结构分析模型 IfcStructuralAnalysisModel，通过关系类 IfcRelAssignsToGroup 提取结构模型中的杆件单元 IfcStructuralCurveMember，再根据不同的关系类分别提取杆件单元截面信息、单元三维坐标、单元荷载、单元材料等信息。提取截面信息时需要注意的是，虽然 IfcStructuralCurveMember 和 IfcBeam（以梁为例）都包含截面信息，但是它们的信息完整度是不同的。IfcStructuralCurveMember 储存的截面信息仅仅描述了截面的形状及其具体尺寸，而类 IfcBeam 中的信息不仅描述了截面的形状及尺寸还描述了截面的空间位置及转角。

2.5 IFC 结构模型信息转换

IFC 结构模型信息主要包括结构物理模型，模型属性，模型关联等^[13]。结构物理模型包括：构件信息，节点信息等。构件转换是 IFC 结构模型转换重点，本节结合下文介绍的 3D3S 软件阐述构件转换方法。在 3D3S 软件中创建构件，其截面形式如图 3a 所示，其中 2, 3 轴分别为截面强、弱轴。转换过程中采用任意截面方式定义 IFC 拉伸实体截面，提取构件

截面外围顶点坐标，使其首尾相连形成闭合截面，如图 3b 所示。提取构件 1 轴（拉伸方向），2 轴及 *i* 点（构件插入点）数据，分别赋值于 Axis, RefDirection, Loaction (IFC 拉伸实体相关属性)，如图 3c 所示。

3 基于 IFC 的结构模型转换软件

基于 IFC 数据标准，以 AutoCAD 为开发平台，运用 ObjectARX 和 Visual C++ 等开发工具，在 3D3S 软件（由同济大学自主研发结构分析软件）基础上研发了 IFC 结构模型转换软件（采用同样的技术在其他软件上也可实现）。IFC 结构模型到一般软件结构模型的转化的难点是 IFC 文件的解析，本文通过 IFC Engines 商业化的 IFC 数据解析接口进行 IFC 文件的解析，实现从 IFC 结构模型到一般软件结构模型的转化及 IFC 结构模型文件的输出，图 4 为软件框架图。

3.1 基于软件的 IFC 结构模型提取

结构模型转换软件通过核心类 CCoreData 实现 IFC 数据与软件数据的相互转换，软件交互流程可

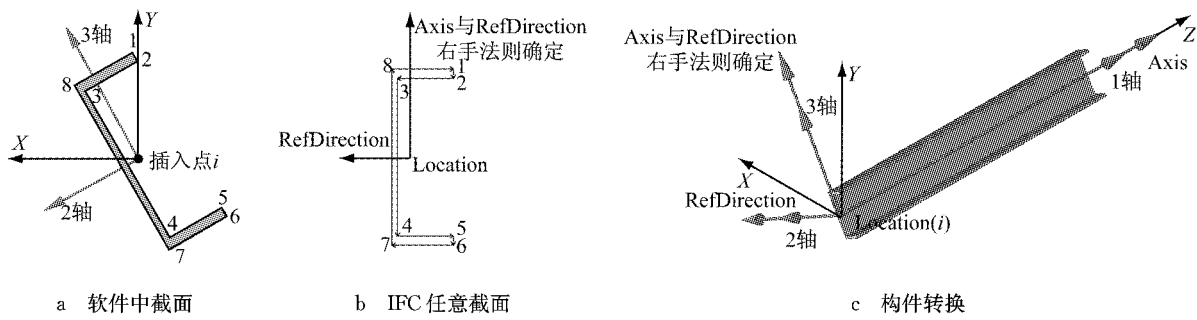


图 3 IFC 拉伸实体转换

Fig.3 The transformation of IFC extruded solid

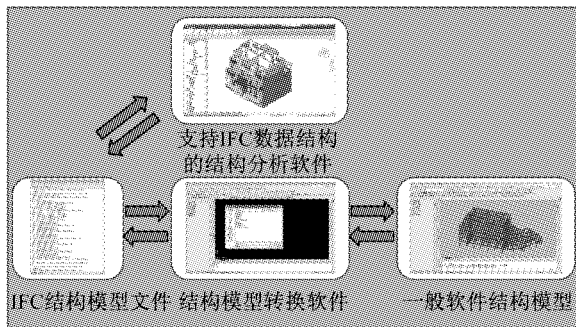


图 4 软件架构图

Fig.4 Software architecture diagram

以表示为: IFC 文件—核心类 CcoreData—软件数据. 结构模型转换软件还提供其他软件的数据接口, 例如 Midas 结构分析软件, 其数据交互流程为: Midas 文件—核心类 CcoreData—软件数据. 这样程序架构的优点: 软件架构层次清晰, 将不同软件数据格式转换为统一的标准数据格式(CcoreData)提高了软件转换功能的可扩展性. 本文主要介绍结构模型转换软件中 IFC 转换模块. 根据 IFC 结构模型, 主要的 7 个派生 C++ 类定义如下:

```

class CcoreData _ SystemUnit //提 取
IFCSIUNIT 类, 储存模型单位信息
class CcoreData _ Material //提 取
IFCMATERIAL 类, 储存构件材料信息
class CcoreData _ SectorLib //提 取
IFCARBITRARYCLOSEDPROFILEDEF 等截面描述
类信息, 储存各杆件截面信息
class CcoreData _ Node //提 取
IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION 类, 储
存杆件节点、模型支座信息
class Ccore _ Load _ Base //提 取
IFCSTRUCTURALACTION 类, 储存节点荷载、线
荷载等信息
class CcoreData_Ele_Base //储存杆件节点三
维坐标、截面方向等信息
    
```

class CcoreData_Reactor //储存 Project、Site、Building 等信息

根据第 2.4 节介绍的 IFC 结构模型转换技术, 基于软件的 IFC 结构模型提取流程为: 首先读取 IFC 结构模型文件, 然后提取结构分析模型 IfcStructuralAnalysisModel, 通过关系类 IfcRelAssignsToGroup 提取结构模型中的结构单元 IfcStructuralCurveMember, 遍历循环所有的结构单元, 找到与每个单元相关的结构信息, 将它们分类存于核心类 CcoreData 中. 其中, 结构单元类 IfcStructuralCurveMember 的提取是程序实现的关键, 同时也是工作量最大的环节. IFC 结构模型中的构件一般以拉伸实体的方式定义, 虽然 IFC 中定义了众多参数化截面, 但软件开发者一般以任意截面方式定义拉伸截面, 即依次描述截面顶点的三维坐标. 3D3S 软件以参数化截面及自定义截面两种方式描述截面. 在构件截面信息提取时对截面进行识别, 当截面匹配截面库数据时对其参数化赋值, 截面为异形截面时根据截面顶点的三维坐标绘制自定义截面.

3.2 基于软件的 IFC 结构模型输出

本文 3.1 节主要介绍 IFC 工程文件(结构模型)信息提取流程, 图 5 为输出 IFC 结构模型信息的程序实现流程图.

平台软件 IFC 结构模型输出程序主要分为两大部分: 结构模型信息提取, IFC 结构模型生成. 第 1 部分: 提取软件已有结构模型信息, 包括结构分析模型全局单位, 每根构件截面、三维空间坐标、材质、节点连接形式、荷载及偏心等信息. 第 2 部分: 创建初始化 IfcStructuralAnalysisModel 及 IfcProject, 根据已提取的构件信息, 遍历循环构件分别创建建筑单元(例 IfcBeam)、结构单元(IfcStructuralItem)及荷载信息同时建立其对应关系类, 将建筑单元及结构单元分别“装配”到 IfcProject 和 IfcStructural-

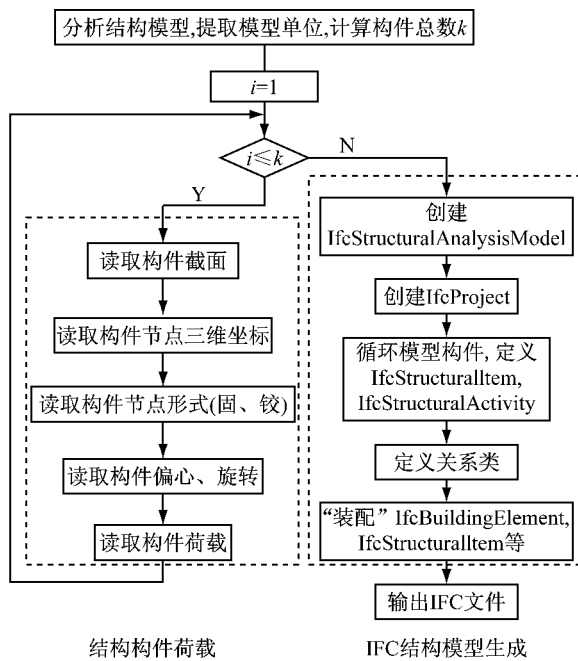


图 5 软件结构模型输出流程图

Fig.5 Flow chart for exporting structural model information

AnalysisModel. 已有软件在结构模型中一般都没有

定义 IfcSite 等项目信息,通过缺省定义保证 IFC 工程文件的信息完整. 由于软件与 IFC 标准对截面插入点描述的差异性,以及构件偏心引起的长度变化等情况,使得在软件编程过程中需要考虑软件数据定义与 IFC 数据标准的差异. 提取任意截面方式定义的 IFC 拉伸实体信息时,需考虑 ExtrudedDirection 拉伸向量是基于 Position 坐标系的局部变量.

4 软件应用实例

本文介绍的结构模型转换平台软件操作主界面如图 6 所示,单击“导入”按钮框中的“IFC 文件”后,程序读入 IFC 模型文件. 同理,单击“IFC2X3_Final 文件”,将软件中所创建的结构模型转换输出为 IFC 文件. 为测试 IFC 文件输出功能,建立了一座形状不规则的 7 层建筑物,结构构件由梁、柱构件和剪力墙组成,如图 6 中模型所示,共转换结构单元 861 个,被转换结构单元详细参数及相应的转换数量见表 1.

其中以梁 Beam1 为例介绍软件结构模型输出

表 1 七层框架模型中转换单元及其数量

Tab.1 The transformed element in seven layers framework model and the corresponding number

结构梁单元		结构墙单元		结构柱单元	
截面形式/mm	数量/个	截面形式/mm	数量/个	截面形式/mm	数量/个
I 250×100×4×6	315	无洞口	14	I 250×100×4×6	231
I 240×100×3×5	203	带洞口(洞口 1 500×1 500)	28	圆 450	19
I 200×100×3×5	30	带洞口(洞口 1 200×1 400)	21		

功能,单元 Beam1 长度为 5 m,截面形式为“工 250×100×4×6”. Beam1 两端节点分别为 N_1 、 N_2 ,其上

作用 Z 轴负向均布线荷载,大小为 $10 \text{ KN} \cdot \text{m}^{-1}$.

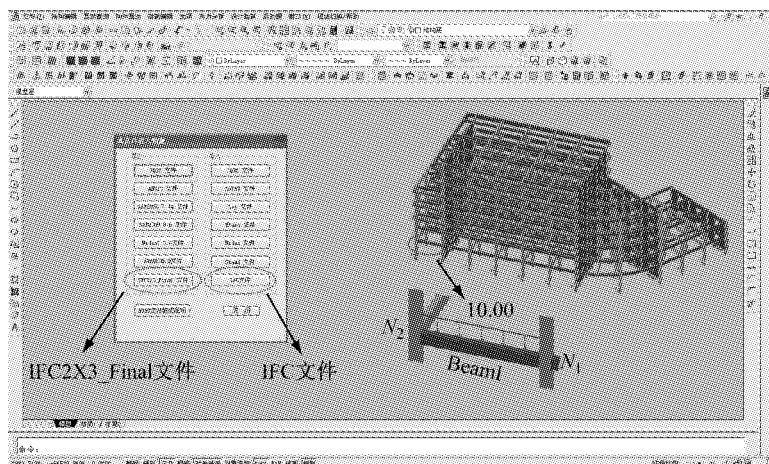


图 6 软件主界面及输出模型

Fig.6 Interface of the software and the exporting structural model

4.1 结构模型输出

IFC 输出文件中对 Beam1 (# 262), 节点 N_1 (#

165), 节点 N_2 (# 188) 及荷载 (# 513) 的定义如图 7 所示.

```

...
//梁两端节点
# 165=IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION('04Xb5024D6ff$ SLqRd$ arp', # 22, 'Node 1', $, $, # 170, # 183, # 187);
# 187=IFCBOUNDARYNODECONDITION('Node1', -1, -1, -1, -1, -1.);
# 188=IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION('2UPny621r6s8LFtL$ 0crFJ', # 22, "Node 2", $, $, # 193, # 206, # 210);
# 210=IFCBOUNDARYNODECONDITION('Node 2', -1, -1, -1, -1, -1.);
//梁 1
# 262=IFCSTRUCTURALCURUEMEMBER('1dTI77Jtj2UOCrE2fXUyCw', # 22, 'Structualbeam', $, $, # 264, # 274, 'RIGID_JOINED_
MEMBER');
# 263=IFCCARTESIANPOINT((0. E-1, 0. E-1, 0. E-1));
# 264=IFCLOCALPLACEMENT($, # 267);
# 265=IFCDIRECTION((0. E-1, 0. E-1, 1.));
# 266=IFCDIRECTION((1, .0. E-1, 0. E-1));
# 267=IFCAXIS2PLACEMENT3D(# 263, # 265, # 266);
# 268=IFCCARTESIANPOINT((10000, .0. E-1, 5000.));
# 269=IFCUERTEXPOINT(# 268);
# 270=IFCCARTESIANPOINT((5000, .0. E-1, 5000.));
# 271=IFCUERTEXPOINT(# 270);
# 272=IFCEDGE(# 269, # 271);
# 273=IFCTOPOLOGYREPRESENTATION(# 42, $, 'Edge', (# 272));
# 274=IFCPRODUCTREPRESENTATION($, $, (# 273));
# 275=IFCRELCONNECTSSTRUCTURALMEMBER('3y5TJ5bKH2GAo8U7a_PNSp', # 22, $, 'S', # 262, # 165, $, $, $, $);
# 276=IFCRELCONNECTSSTRUCTURALMEMBER('1s2dWpmj3G9078Dg8kLgd', # 22, $, 'E', # 262, # 188, $, $, $, $);
//荷载
# 513=IFCSTRUCTURALLINEARACTIONUARYING('1k625yu1H2guz_sQGdJ$ KW', # 22, 'DistributedBeamLoad1', $, $, # 523, # 554,
# 540, . GLOBAL_COORDS, . F, ., TRUE_LENGTH, $, # 538, (# 541));
# 540=IFCSTRUCTURALLOADLINEARFORCE('StartLoad', $, $, 10000, $, $, $);
# 541=IFCSTRUCTURALLOADLINEARFORCE('EndLoad', $, $, -10000, $, $, $);
# 580=IFCRELCONNECTSSTRUCTURALACTIIVITY('3TYCNR5HrEbx3rioax4IOf', # 22, 'RelActivity', $, # 262, # 513);
...

```

图 7 输出文件中对单元 Beam1 的定义

Fig. 7 Excerpt from a physical file showing the definition of Beam1

文档中主要包含了单元、节点及荷载等信息:

(1) 对象 # 264, # 267, # 263, # 265 和 # 266 定义结构单元 Beam1 的局部坐标系;

(2) 对象 # 274, # 273, # 272, # 269, # 271, # 268 和 # 270 定义了 Beam1 单元的拓扑表达, 其中对象 # 268, # 270 为 Beam1 单元起、终点三维空间坐标;

(3) 关系对象 # 275, # 276 定义节点与单元的对应关系. 结构单元 Beam1 两端节点形式通过节点类 # 187 和 # 210 定义, 节点 N_1 (# 165) 和节点 N_2 (# 188) 为刚性连接;

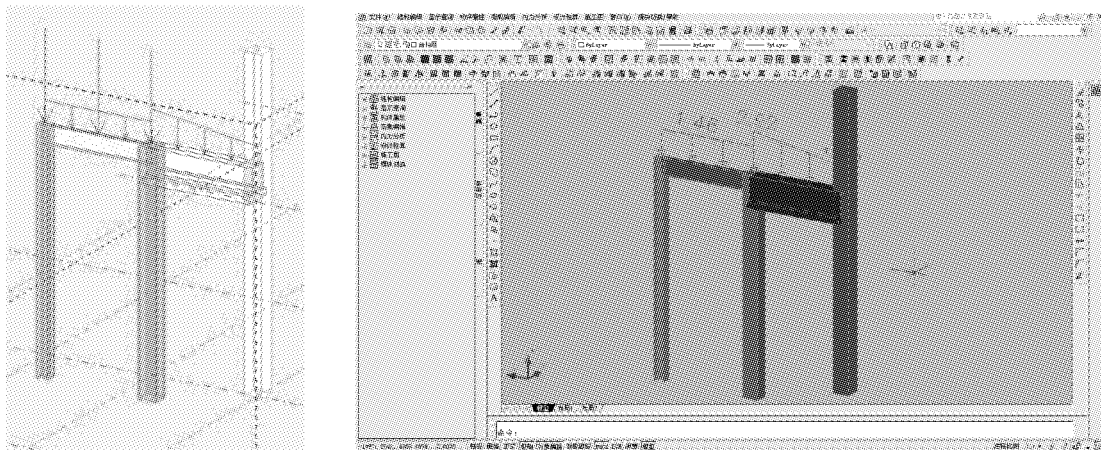
(4) 对象 # 513 定义了作用于 Beam1 上均布线荷载, 其大小为 $10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$;

4.2 结构模型读取转换

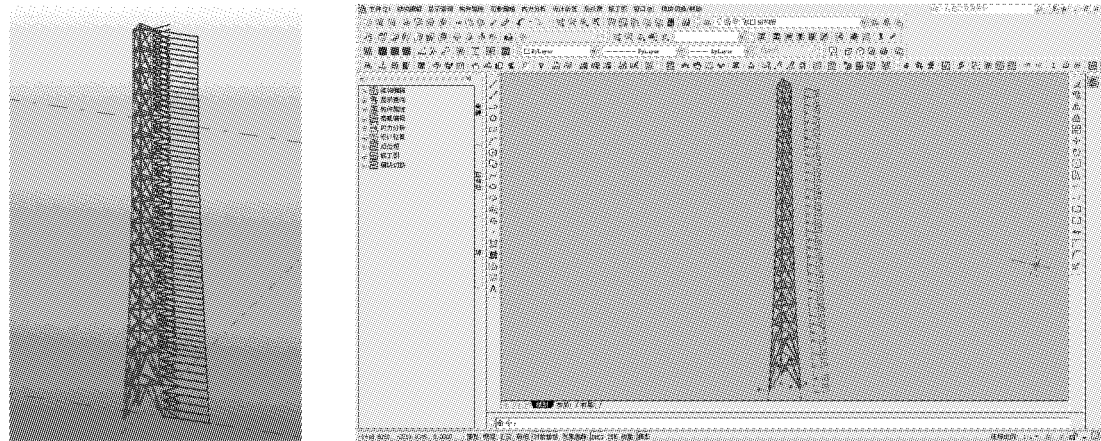
当前多数结构分析软件不支持 IFC 结构模型的读取转换, 为验证软件平台读取转换功能的准确性, 现导入 Tekla Structure 官方提供的 IFC 结构模

型^[15], 图 8a 为转换后 3D3S 模型与转换前 Tekla 模型的对比. 模型由 5 根截面不同的构件组成, 所有构件节点均无约束, 其中梁上作用线荷载, 其值如图 8a 所示. 为验证复杂模型转换的准确性, 在 Tekla 中建立塔架模型, 模型文件以 IFC 形式输出, 构件截面形式为“角钢 75X5”, 塔架一侧作用于大小为 $10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 的均布线荷载, 构件节点连接形式为刚性连接且刚度无穷大, 如图 8b 所示. 转换模型中结构单元参数及数量见表 2. 图 8a 模型转换过程中, 3D3S 软件截面库中没有与之对应的截面, 程序提取截面外围顶点坐标, 以自定义截面形式转换截面.

通过两个模型对比, 转换前后两个模型具有相同的构件截面、空间位置、节点连接形式及荷载的位置、大小等结构信息, 转换软件平台能够有效提取必要的结构模型信息并自动生成与之对应的软件模型.



a 转换前 Tekla 模型和转换后 3D3S 模型(构件节点均无约束,梁上作用线荷载)



b 转换前 Tekla 模型和转换后 3D3S 模型(构件节点刚性连接,塔架一侧作用有均布线荷载)

图 8 模型导入前后对比

Fig.8 Comparison of Tekla model and the structural model

表 2 转换模型中结构单元参数及数量

Tab.2 The parameters and numbers of transformed structural element in model

模型	转换模型中结构单元参数及相应数量	
	截面形式/mm	数量/个
图 8a	“工”字型截面 307.85×304.8×9.52×15	1
	“工”字型截面 524.7×165.1×9.52×11	1
	矩形空心截面 508×406.4×9.5	1
	矩形截面 508×508	1
	异形截面(“凸”字型)	1
图 8b	角钢 75×5	174

(2) 根据 IFC 结构模型的信息特征,提出了 IFC 结构模型转换方法,为开发基于 IFC 标准的结构模型转换软件提供了理论方法。

(3) 介绍了软件平台的转换方法,通过软件应用实例表明软件可以有效地提取和输出构件截面、空间位置、节点形式及荷载位置、大小等结构模型信息。

(4) 由于不同的结构分析软件对构件信息定义的差异性(如各软件截面库的不同),软件转换平台应用还存在一定的限制条件。

5 结 论

(1) 基于 IFC 数据标准,以 AutoCAD 为开发平台,运用 ObjectARX 和 Visual C++ 等开发工具,研发的 IFC 结构模型转换软件可以有效实现 IFC 到 3D3S 结构分析模型的转换,建立了与其他结构分析软件数据共享的接口,减少了重新建模所需的巨大工作量,对我国建筑业信息化起到推动作用。

参考文献:

[1] Liebich T. Highlights of the development process of industry foundation classes[C]//Durability of Building Materials and Components 8. Ottawa: NATL Research Council Canada, 1999: 2758-2775.

[2] Lee Keunhyong, Chin Sangyoon, Kim Jaejun. A core system for design information management using industry foundation classes [J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure

- Engineering, 2003, 18(4): 286.
- [3] Faraj I, Alshawi M, Aouad G, et al. Distributed object environment; using international standards for data exchange in the construction industry [J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1999, 14(6): 395.
- [4] 张建平, 曹铭, 张洋. 基于 IFC 标准和工程信息模型的建筑施工 4D 管理系统[J]. 工程力学, 2005, 22: 220.
ZHANG Jianping, CAO Ming, ZHANG Yang. A 4D construction management system based on IFC standard and engineering information model[J]. Engineering Mechanics, 2005, 22: 220.
- [5] 李春霞. 基于 BIM 与 IFC 的 N 维模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
LI Chunxia. Study of ND modelling on the basis of BIM and IFC [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [6] 张建平, 胡振中. 基于 4D 技术的施工期建筑结构安全分析研究[J]. 工程力学, 2008, 25(2): 204.
ZHANG Jianping, HU Zhenzhong. 4D technology-based safety analysis of structure during construction [J]. Engineering Mechanics, 2008, 25(2): 204.
- [7] LIU Zhaoqiu, LI Yungui, ZHANG Hanyi. An IFC-based integration tool for supporting information exchange from architectural model to structural model[J]. Journal of Central South University of Technology, 2010, 9(5): 1344.
- [8] 刘照球, 李云贵, 吕西林, 等. 基于 IFC 标准的结构动力分析信息扩展框架[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2010, 38(7): 108.
LIU Zhaoqiu, LI Yungui, LÜ Xilin, et al. IFC-based extension framework for structural dynamic analysis information [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2010, 38(7): 108.
- [9] 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): 33.
LIU Zhaoqiu, LI Yungui, LÜ Xilin, et al. BIM-based integrated information framework for architectural and structural design model[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2010, 38(7): 33.
- [10] 张建平, 张洋, 张新. 基于 IFC 的 BIM 三维几何建模及模型转换[J]. 土木建筑工程信息技术, 2009, 1(1): 40.
ZHANG Jianping, ZHANG Yang, ZHANG Xin. Methodology of 3D geometric modeling and model conversion of IFC-based BIM [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2009, 1(1): 40.
- [11] Fink T, Weise M. Structural analysis extension of the IFC modeling framework[J]. ITcon, 2003, 8: 181.
- [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.
DENG Xueyuan, CHANG Tseyung, LIU Xila. Automatic generation of structural model from IFC-based architectural model[J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(2): 6.
- [13] 王勇, 张建平, 王鹏翔, 等. 建筑结构设计中的模型自动转化方法[J]. 建筑科学与工程学报, 2012, 29(4): 53.
WANG Yong, ZHANG Jianping, WANG Pengxi, et al. Model automatic transformation methods in architecture and structure designs[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2012, 29(4): 53.
- [14] Deng X Y, Chang T Y, Pwang G J. IFC-based design integration between architectural and structural models [C]// Proceedings of the Sixth International Conference on Tall Buildings. Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., 2005: 552-556.