

基于 IFC 标准的结构分析模型构件偏心问题研究

韩文洋, 邓雪原

(上海交通大学土木工程系, 上海 200240)

摘 要: 数据标准是解决信息共享与交换问题的基础。IFC 作为 buildingSMART 联盟发布的建筑信息模型数据交换的国际标准, 用来实现建筑全生命周期中不同专业、不同阶段各软件之间的协同工作。目前在工程建设行业多专业的配合过程中, 建筑与结构专业的信息交互最为迫切。在结构专业领域, 构件偏心问题对结构模型的分析有着重要影响。基于建筑信息模型数据共享与交换的 IFC 标准, 针对结构分析软件之间的模型数据转换问题, 通过以 SGF 结构通用文件格式为基础的数据转换平台, 提取偏心构件的数据表达并设计数据转换算法, 运用 C++ 编程语言, 实现结构构件偏心数据的 IFC 表达。

关 键 词: IFC 标准; 数据转换; 构件偏心; 建筑信息模型

中图分类号: TU 17

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2018040757

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2018)04-0757-08

On the Structural Analysis Model with Eccentric Members Based on Industry Foundation Classes Standard

HAN Wenyang, DENG Xueyuan

(Department of Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Data standards are the basis for resolving information sharing and exchange issues. As the international data standard for the data exchange in building information modeling, industrial foundation classes (IFC), released by buildingSMART alliance, is designed to coordinate work of different disciplines and software at different stages throughout the lifecycle of buildings. At present, the information exchange between architectural and structural domains is the most urgent issue in the process of multi-specialty cooperation in AEC/FM (architecture, engineering, construction & facility management) industry. In the structural domain, the issue of eccentric members exerts a considerable influence on the analysis of structural models. With regards to the data conversion of different structural analysis software, this paper extracts the data representation of eccentric members, and designs a conversion algorithm for eccentric structural model through a data conversion platform based on the structural general format (SGF), which is used for data interoperability among various commercial structural software. Moreover, C++ is employed in the research to achieve the transformation for the eccentric members of structure models using IFC format.

Keywords: industrial foundation classes standard; data conversion; eccentric members; building information modeling

收稿日期: 2017-11-06; 定稿日期: 2017-12-09

基金项目: “十三五”国家重点研发计划子课题(2016YFC0702001-04)

第一作者: 韩文洋(1993-), 男, 河南漯河人, 硕士研究生。主要研究方向为基于 IFC 标准的结构分析模型数据转换。E-mail: 15273116214@163.com

通信作者: 邓雪原(1973-), 男, 湖北荆门人, 副教授, 博士。主要研究方向为建筑 CAD 协同设计与集成、基于 BIM 技术的建筑协同平台。

E-mail: dengxy@sjtu.edu.cn

建筑工程项目参与者涉及众多专业,生命周期长达几十年、上百年,其中建筑信息交换与共享是工程项目的主要活动之一。以往信息的交换与共享大多由人工完成,但是采用重新录入来实现不同系统间的数据交换,会造成效率和质量的普遍降低。不同专业的软件若要集成在一起实现流畅并有效的工作流,互操作是一种途径^[1]。建筑信息模型(built information modeling, BIM)技术作为一种新的理念和技术正受到业内的普遍关注,为上述问题提供了有效地解决途径。

结构分析模型作为 BIM 的组成部分,其应用程度对建筑工程领域信息共享的实现有着重要的影响。当下,结构分析模型数据转换在整个 BIM 集成链中是相对脱节的一环。BIM 软件与结构设计软件间多以中间文件和公共转换标准 IFC (industrial foundation classes)实现数据转换。在不同软件间进行数据转换时,由于各大软件商都使用自己的数据结构与其显示平台进行对接,数据结构并未按照 IFC 标准表达,构件不可避免地出现数据错误和丢失^[2]。

目前,国内外研究学者从多个方面对结构分析模型数据转换进行研究。WEISE 等^[3]最先在结构模型方面提出 IFC 结构模型的概念,并介绍 IFC 标准与结构模型表达相关的对象类与关系类。邓雪原等^[4-5]提出基于 XML 的结构通用格式数据文件(structural general format, SGF),实现结构分析模型的提取与相互转换。文献[6]开发 IFC 与 PKPM 工程设计软件模型的转换平台,但未实现两种模型文件的转换。王勇等^[7]提出基于建筑结构设计信息模型的自动转化方法并开发相应软件系统,其中对复杂构件的转换识别率有待提升。王轩等^[8]利用 CAD 二次开发技术实现从 IFC 结构模型到软件结构分析模型的转换,由于不同结构分析软件对构件信息定义的差异性,软件转换平台应用还存在一定的限制条件。宋杰等^[9]实现 Revit 模型到 ANSYS 分析模型的直接转换,但该研究依赖于 Revit 及 RevitAPI 技术,转换程序的可扩展性不足。张晓洋和胡振中^[10]指出,目前建筑结构模型转换多为针对 IFC 的标准研究,缺乏较为完善的转换机制,难以保证转换过程中的准确性,对于复杂构件的转化也存在难题。

综上,当前结构分析模型数据转换,多针对点对点的单向数据转换模式、转换机制的准确性和可扩展性有待改进,尤其是对构件偏心的数据转换缺少研究和系统的解决方案。在结构分析模

型转换过程中,由于各专业软件对结构偏心数据的表达方式不同,往往导致转换过程中结构偏心数据的偏差,如丢失或失真。此外,在已具备结构数据转换功能的平台中,如盈建科、3d3s 等在结构模型转换的过程中往往不包含偏心数据的转换。研究表明结构偏心会对构件内力和位移产生不利影响^[11],同时也不利于多专业模型综合及精准的二维图纸自动生成^[12-13],因此,研究结构分析模型的偏心数据转换具有重要的实际意义。针对构件偏心这一特殊情况,邹帅等^[14]实现主流结构分析软件(如 SAP2000、ETABS、MIDAS 等)数据文件与通用结构分析模型 SGF 的转换。IFC 能够满足结构模型在不同专业软件之间共享和交换,而在实际应用中,偏心数据转化到 IFC 文件中仍需进行系统的完善和解决。因此,本文进一步研究偏心数据从 SGF 数据格式文件到 IFC 数据标准的转换,扩展前期的结构通用模型转换算法,实现偏心数据从通用结构分析模型 SGF 到 IFC 结构模型的转换。

1 偏心构件在 IFC 标准及 SGF 结构通用格式中的表达

1.1 结构通用分析模型 SGF 基本框架

由于 IFC 标准的版本问题和表达的差异性,在多种商用结构分析软件中直接利用其数据文件集成存在一定的困难。为了实现多种商业结构分析软件的高效数据集成,自主建立结构分析领域的数据交换核心框架是必要的。结构通用分析模型 SGF,通过提炼具有代表性结构有限元分析软件共性的数据部分,并遵循 ISO 10303-104/107 模型的基本语义规则,实现其与多种结构分析模型双向的数据交换。

SGF 基本数据框架主要由建模信息、荷载信息和分析结果 3 大类构成。数据框架建模及荷载部分主要包含结构总体信息(General)、节点信息(Joint)、线单元信息(Frame)、面单元信息(Area)、荷载信息(Load),是各种结构分析模型最具有普遍意义和共性的数据内容。有关 SGF 的详细介绍可参阅文献[4]。

1.2 基于 SGF 结构通用格式数据的结构构件偏心表达

对于 SGF 数据模型偏心数据的表达,偏心信息存在于线单元 Frame 和面单元 Area 模块中。在线

单元 Frame 模块中, 属性 JointIID 和 JointJID 分别为单元 i 、 j 端点的编号, 属性 FrameOffsetID 为所引用的偏心实体的编号。在节点 Joint 模块中存储着单元节点实体。节点实体中属性 ID 为节点标识号; 属性 X、Y、Z 分别代表节点的绝对坐标。SGF 模型中结构单元偏心量的信息对应应在 FrameOffset 实体中。在保持 FrameOffset 偏心实体数据格式不变的情形下, FrameOffset 实体存储结构单元两端点在相对参考坐标系下的偏移量为 Δx_1 、 Δy_1 、 Δz_1 和 Δx_2 、 Δy_2 、 Δz_2 。偏心量如图 1 所示, 偏移前结构单元两端点分别用 i 、 j 表示, i 节点在世界坐标系的坐标为 (x_i, y_i, z_i) , j 为 (x_j, y_j, z_j) ; 偏移后结构单元两端点分别为 i' 、 j' 。

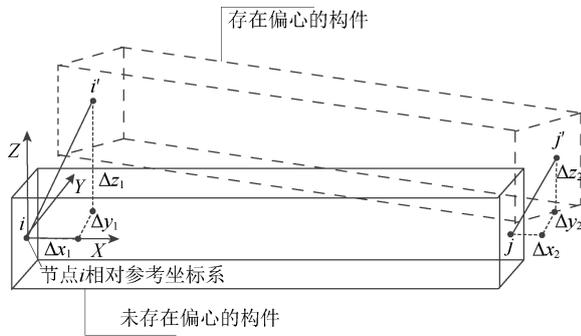


图 1 SGF 模型文件中偏心量说明

1.3 基于 IFC 标准的结构构件偏心表达

IFC 模型中的空间结构通过关系实体 IfcRelAggregates 将项目、场地、建筑物、楼层、结构构件对象进行关联^[15]。在 IFC 文件中, 构件的定位一般采用局部坐标表达方法^[16]。IfcLocalPlacement 是 IFC 标准中默认的表达坐标信息的实体, 其属性 PlacementRelto 表示参考的上一级坐标系; 属性 RelativePlacement 表示当前坐标系在上一级坐标系的相对位置信息: 当前坐标系原点在参考坐标系的三维坐标中, 分别用当前坐标系的 Z 轴和 X 轴单位向量表达。通过嵌套多个 IfcLocalPlacement 实体, 构件的位置信息最终定位至建筑的全局坐标系下。如图 2 所示, 依次显示相互嵌套的局部坐标系, 其中, O_1 为项目全局坐标系; O_2 为建筑相对坐标系; O_3 为楼层相对坐标系; O_4 为构件相对坐标系。

在 IFC 标准中, 构件的几何表达方法具有多种形式, 本项目构件形体的几何描述主要以拉伸实体表达。拉伸截面的类型有简单规则形状、不

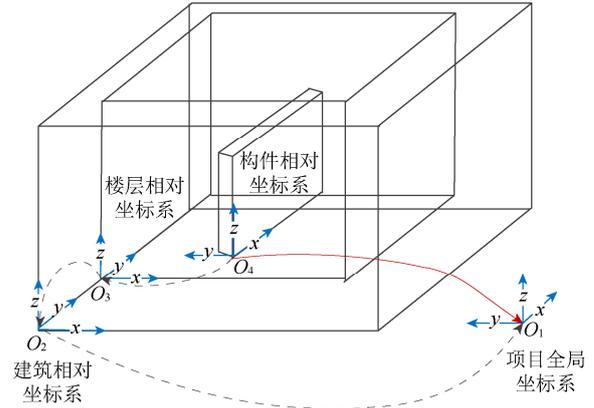


图 2 IFC 标准中空间坐标系示意

规则闭合形状、复杂的多段闭合形状等。IFC 模型采用 IfcProductDefinitionShape 实体定义构件的形体信息。以基本的拉伸实体表达为例, IfcExtrudedAreaSolid 实体定义了拉伸实体的 4 个属性: SweptArea、Position、ExtrudedDirection、Depth。SweptArea 包含拉伸截面信息; Position 表示拉伸截面所在相对坐标系; ExtrudedDirection 为截面的拉伸方向; Depth 为拉伸实体的长度, 可以通过 SGF 模型中构件所关联的节点信息得出构件长度并与之映射, 如图 3 所示。

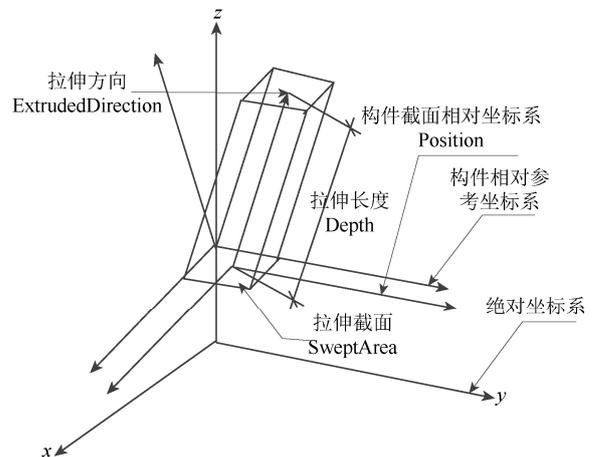


图 3 IfcExtrudedAreaSolid 实体表达示意图

综上, IFC 标准在构件偏心信息方面对空间坐标系的定义及构件形体的表达为: ① 构件起始节点的定位信息: 构件节点发生偏移时, 通过重新定义构件相对参考坐标系完善构件偏心的表达; ② 构件截面所在局部坐标系: 通过设置 IfcExtrudedAreaSolid 实体 Position 属性引用的三维坐标系, 确定构件截面形心位置及截面拉伸方向的参考坐标系。

2 从SGF模型到IFC模型偏心数据转化算法

从SGF结构模型数据中提取与偏心相关的参数,构建数据映射公式,并在IFC模型中重新建立构件的相对参考坐标系和设定构件截面相对坐标系。根据最终的转换结果,将相应的坐标系原点、坐标X轴、Z轴映射到相应IFC实体中,其中坐标原点对应于IfcCartesianPoint实体,坐标轴对应于IfcDirection实体。

2.1 偏心数据转换的公式推导

在构件不包含偏心数据的情形下,研究团队前期根据参考文献[17]已经实现建筑、楼层、构件相对参考坐标系的建立。设世界坐标系为 $O_w-X_wY_wZ_w$ (简称 O_w),此时未发生偏移的构件相对参考坐标系为 $O_p-X_pY_pZ_p$ (简称 O_p),经过偏心数据转换后的构件相对参考坐标系为 $O_q-X_qY_qZ_q$ (简称 O_q)。因此问题转换为:已知构件原相对坐标系 O_p ,根据偏心数据求出转换后的构件相对坐标系 O_q 。相对于坐标系 O_p ,坐标系 O_q 的原点存在3个平移参数 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ ,3个坐标轴分别有旋转参数 α 、 β 、 γ ,如图4所示。

在世界坐标系 O_w 下,构件两端节点坐标分别为: $i=(x_i, y_i, z_i)$ 、 $j=(x_j, y_j, z_j)$ 。在相对坐标系 O_p 下,偏移后构件两端节点坐标分别为: $i'=(\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1)$ 、 $j'=(d+\Delta x_2, \Delta y_2, \Delta z_2)$,其中构件长度

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \beta & -\cos \alpha \sin \gamma + \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha & \sin \gamma \sin \alpha + \cos \gamma \sin \beta \cos \alpha \\ \sin \gamma \cos \alpha & \cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \sin \beta \sin \alpha & -\cos \gamma \sin \alpha + \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \alpha & \cos \beta \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于构件偏心一般不考虑绕截面的旋转,因此绕X轴旋转 α 角度默认为0。并依次求解绕Z轴和Y轴旋转角度 γ 和 β 。

将 O_pX_p 轴绕Y轴旋转使之与 O_qX_q 轴在ZOX平面上正向投影重合,其旋转的角度等于坐标轴 O_qX_q

$$\sin \beta = \frac{\Delta z_2 - \Delta z_1}{\sqrt{(d + \Delta x_2 - \Delta x_1)^2 + (\Delta z_2 - \Delta z_1)^2}}, \quad \cos \beta = \frac{d + \Delta x_2 - \Delta x_1}{\sqrt{(d + \Delta x_2 - \Delta x_1)^2 + (\Delta z_2 - \Delta z_1)^2}} \quad (3)$$

$$\sin \gamma = \frac{\Delta y_2 - \Delta y_1}{\sqrt{(d + \Delta x_2 - \Delta x_1)^2 + (\Delta y_2 - \Delta y_1)^2}}, \quad \cos \gamma = \frac{d + \Delta x_2 - \Delta x_1}{\sqrt{(d + \Delta x_2 - \Delta x_1)^2 + (\Delta y_2 - \Delta y_1)^2}}$$

通过映射偏心数据构件新的局部参考坐标系,即

$$\begin{aligned} (\vec{V}'_x, \vec{V}'_y, \vec{V}'_z)^T &= (\vec{V}_x, \vec{V}_y, \vec{V}_z)^T \cdot \mathbf{R} \\ (x'_0, y'_0, z'_0, 1) &= (x_0, y_0, z_0, 1) \cdot \mathbf{T}_0 \end{aligned} \quad (4)$$

$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$ 。两坐标的平移参数 $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) = (\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1)$,通过构造平移矩阵 \mathbf{T}_0 ,求得转换后坐标系 O_q 的坐标原点。

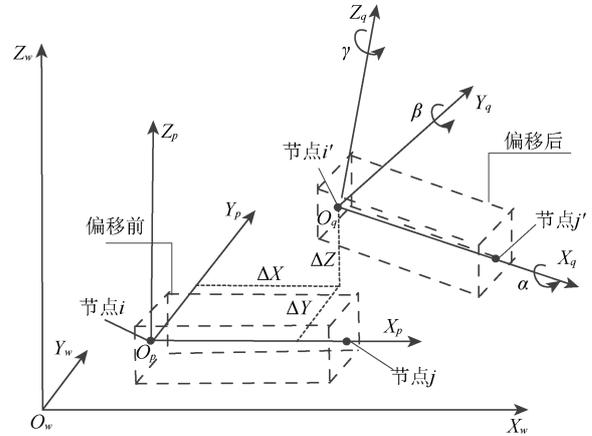


图4 坐标系转换图示

$$\mathbf{T}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \Delta x_1 & \Delta y_1 & \Delta z_1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

偏移后坐标系 O_q 的X轴的方向向量可表示为 $(d+\Delta x_2-\Delta x_1, \Delta y_2-\Delta y_1, \Delta z_2-\Delta z_1)$ 。原坐标系 O_p 通过绕X轴、Y轴、Z轴旋转 α 、 β 、 γ 角度,得到坐标系 O_q ,旋转矩阵分别为 \mathbf{R}_X 、 \mathbf{R}_Y 、 \mathbf{R}_Z ,则最终的旋转矩阵 $\mathbf{R} = \mathbf{R}_X \mathbf{R}_Y \mathbf{R}_Z$ [18]。

在ZOX平面上的投影与 O_pX_p 轴正向的夹角;将 O_pX_p 轴再绕Z轴旋转使之与 O_qX_q 轴在ZOY平面上正向投影重合,其旋转的角度等于坐标轴 O_qX_q 在YOZ平面上的投影与 O_pX_p 轴正向的夹角。如图5所示,可知

其中, \vec{V}_x 、 \vec{V}_y 、 \vec{V}_z 为原坐标系x、y、z坐标轴的单位向量, \vec{V}'_x 、 \vec{V}'_y 、 \vec{V}'_z 为偏心数据映射后的坐标系x、y、z坐标轴的单位向量; x_0 、 y_0 、 z_0 为原坐标系的坐标原点, x'_0 、 y'_0 、 z'_0 为偏心数据映射后的坐标系原点。

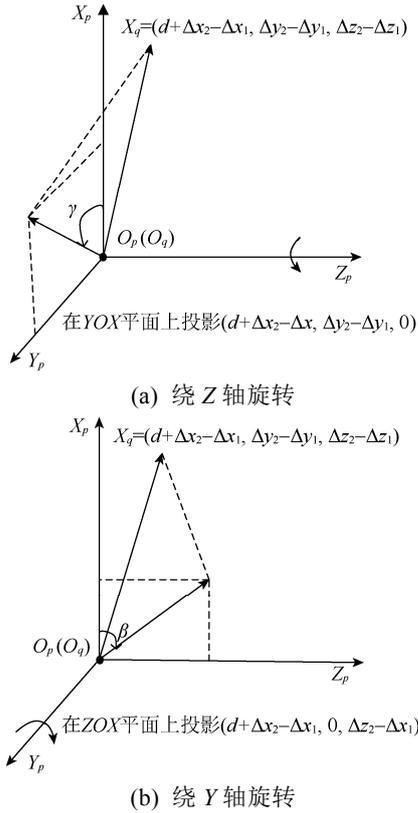


图 5 旋转角的求解图示

2.2 偏心数据转换的优势分析

各种结构分析模型均有各自的数据模型,有关偏心数据的表达通常是异构的。通过对 SAP2000、ETABS、MIDAS 等常用结构分析软件的偏心设置以及相应数据文件解析,偏心信息不仅仅包含构件偏移量信息,还与软件中一些其他规则定义及设置有关联,如软件的单元坐标确定构件的偏心方向,构件在全局坐标系下的放置位置确定构件单元坐标与全局坐标的关系等^[14]。针对各结构分析软件对偏心信息表达的差异性,建立通用结构数据分析模型 SGF 的一般表达,以基于 IFC 的偏心转换机制的 SGF 连接,将统一的信息模型作为核心,便于对偏心数据的转换进行集成化设计。该偏心转换算法,改变传统点对点单向传递模式,针对偏心信息可进一步扩展前期开发的转换平台,在实现 IFC 与 SGF 模型之间的数据转换同时,实现 SGF 模型与多种结构分析模型的数据接口。此外,从统一数据源 SGF 提取偏心信息,保证其传递的准确性和便捷性;在多结构分析模型转换中,通过研发相应的数据接口完成高质、高效的转换,且具有良好的可扩展性和可移植性。

3 实例验证

根据前文推导的偏心转换方法,利用上海交通

大学 BIM 研究中心开发的结构通用数据转换平台,进一步完善了偏心数据转换模块,实现了构件偏心数据的映射。平台在 Visual C++ 环境下创建是与 IFCC++类相一致,对外提供 IFC 数据文件的生成与输出,与此同时扩展 SGF 数据模块中读取盈建科 ydb 数据文件的接口,最终在转换模块中完善 SGFtoIFC 类,实现偏心数据转换算法并完成偏心映射的功能。

3.1 典型的偏心结构模型设计

在对多种偏心结构模型进行了测试的基础上,本节使用盈建科软件(YJK)创建的带有典型偏心情况的实际项目结构模型进行案例验证说明。模型为一个三层框架结构,包含边梁与柱或墙边缘对齐而产生的偏移、以及特殊情况下梁节点两端各自发生的偏移等。以模型所在的标准层为 3、编号为 41、全局 ID 为 2260 的偏心梁为例,展示偏心数据的转换过程。图 6 的放大图框中显示全局 ID 为 2260 的偏心梁。偏心梁相对于底部柱沿轴线向外侧偏移 200 mm;相对于楼层标高偏心梁一端节点 *i* 向下偏移 100 mm,另一端节点 *j* 向下偏移 300 mm,如图 7 所示。

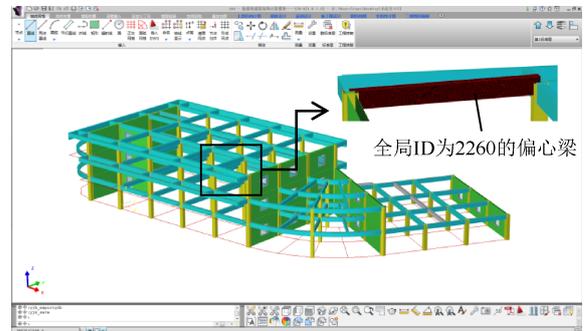


图 6 转换前结构模型在 YJK 显示

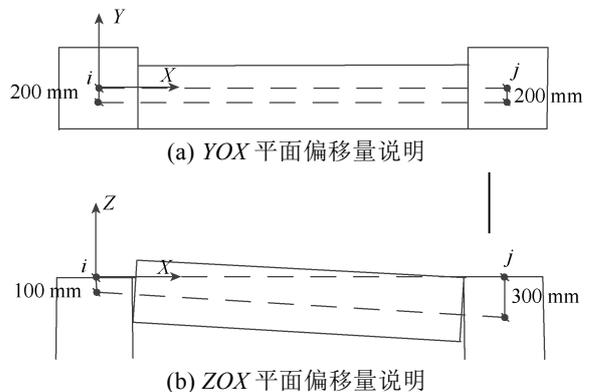


图 7 偏心梁的偏心量图示

当前不同结构分析软件进行数据转换时,偏心构件信息会存在一定程度的丢失。以 YJK 结构

分析软件到 SAP2000 结构分析软件数据转换为例。如图 8 所示，盈建科全局 ID 为 2260 的偏心梁转换之后在 SAP2000 结构分析软件中显示，构件两端的偏心信息丢失。与图 14(b)正确转换后的偏心梁进行对比，两端点在 Z 方向上的偏移量分别为 +300 mm、+300 mm，而两端点在 Z 方向上正确的偏移量应该分别为 -100 mm、-300 mm。

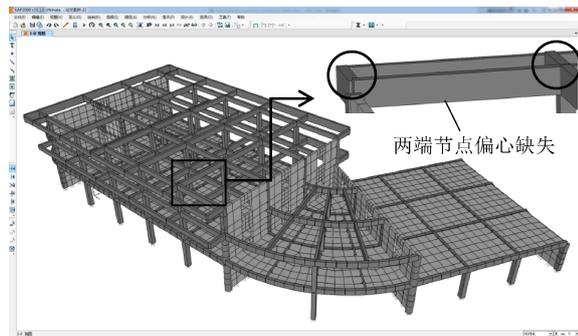


图 8 梁的偏心信息在 SAP2000 中发生丢失

3.2 带有偏心构件的结构模型转换过程

通过自主开发的结构通用数据转换平台，读取由盈建科导出的 ydb 文件，提取全局 ID 为 2260 偏心梁的节点、截面形状、偏心量等信息，并保存在基于 SGF 数据格式的文件中。此提取信息在图 9 中由框线标出，名称为‘Frame167’，*i* 节点编号 JointIID 为‘182’，*j* 节点编号 JointJID 为‘183’，引用的偏心量编号 FrameOffsetID 为‘2260’。在 Joint 模块中可得 *i* 节点坐标(19324, -1204.48, 10200)，*j* 节点坐标(25324, -1204.48, 10200)，如图 10 所示。在 SGF 数据模型的 FrameOffset 模块中储存全局 ID 为 2260 偏心梁所引用的偏心信息，如图 11 所示。在局部坐标系下，构件两节点偏心数据如下：
 <FrameOffset ID="2260" X1="0" Y1="-200" Z1="-100" X2="0" Y2="-200" Z2="-300" TAct="0" />。

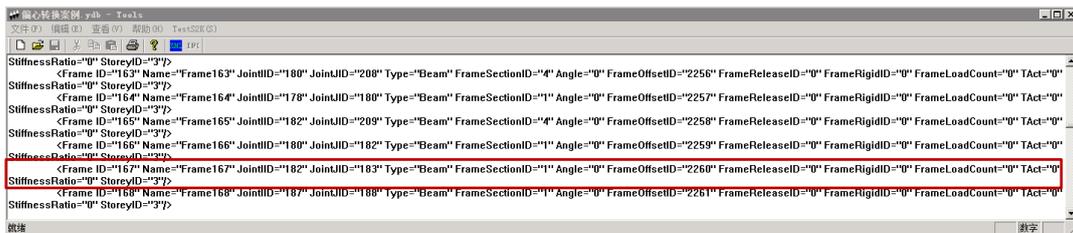


图 9 偏心梁在 SGF 数据格式中的描述

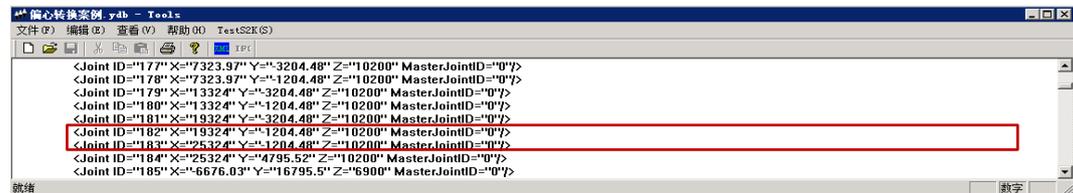


图 10 偏心梁节点坐标在 SGF 数据格式中的描述

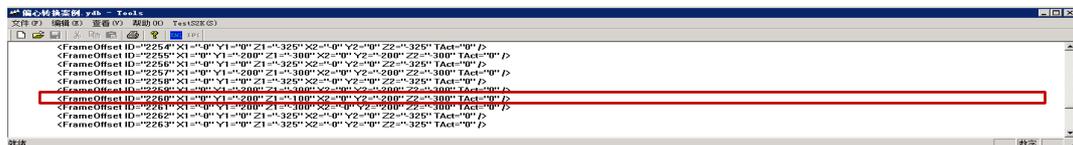


图 11 偏心信息在 SGF 数据格式中的描述

从盈建科中间格式文件提取偏心梁的相关信息之后，在结构通用数据转换平台的 SGFtoIFC 模块中，传递偏心数据，重新建立此全局 ID 为 2260 偏心梁的相对参考坐标系和设定其截面所在相对坐标系，最终转化为基于 IFC 标准的数据模型文件。具体过程如：

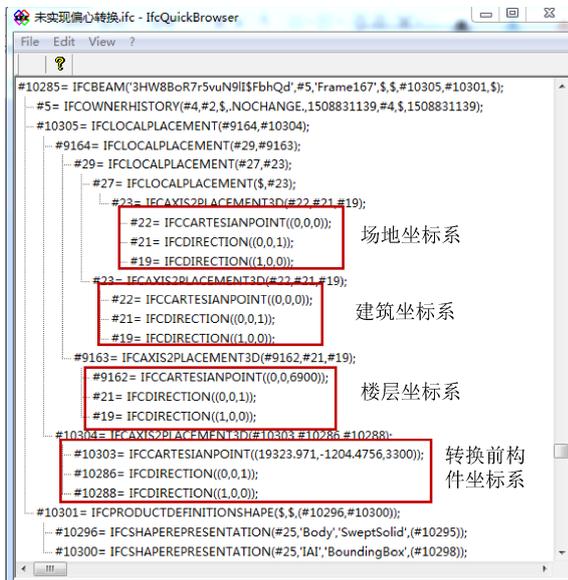
(1) 获取起始条件。由上文可知偏心梁两端节点在绝对坐标系下的坐标分别为 $i' = (x_i, y_i, z_i)$

$= (19324, -1204.48, 10200)$ 、 $j' = (x_j, y_j, z_j) = (25324, -1204.48, 10200)$ 。因此偏心梁的拉伸长度 $d = 6000$ 。在局部坐标系下偏心梁两端节点偏心量分别为 $(\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1) = (0, -200, -100)$ 、 $(\Delta x_2, \Delta y_2, \Delta z_2) = (0, -200, -300)$ 。未转换前偏心梁的局部坐标系坐标原点为 $(x_0, y_0, z_0) = (19323.971, -1204.4756, 3300)$ ，坐标轴 Z 轴为 $\vec{V}_z = (0, 0, 1)$ ，坐标轴 X 轴为 $\vec{V}_x = (1, 0, 0)$ ，见图 12(a)中编号为 #10303、#10286、#10288

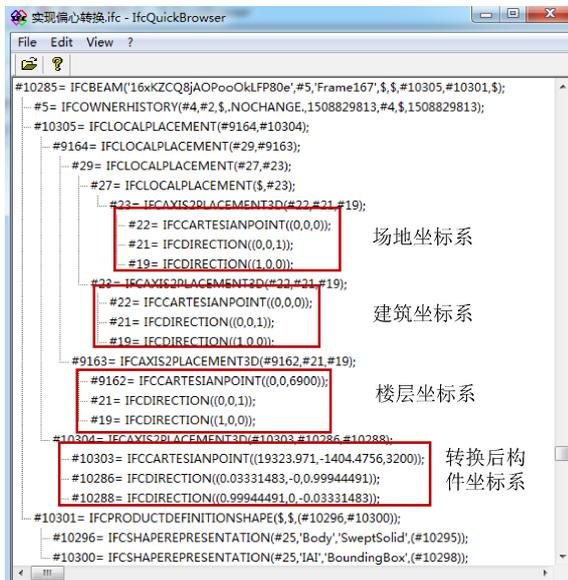
的 IFC 语句。

(2) 计算旋转矩阵和平移矩阵。由式(3)求得旋转参数 $\sin\beta = -0.03331483$ 、 $\cos\beta = 0.9994491$ 、 $\sin\gamma = 0$ 、 $\cos\gamma = 1$ 。由于绕 x 轴方向未发生旋转所以 $\sin\alpha = 0$ 、 $\cos\alpha = 1$ 。根据式(2)求得旋转矩阵 R ，式(1)求得平移矩阵 T_0 。

(3) 计算经过偏心数据映射后的构件相对坐标系。根据转换式(4)求得偏心梁新的相对参考坐标系。转换后的局部坐标系坐标原点为 $(x'_o, y'_o, z'_o) = (19323.971, -1404.4756, 3200)$ ，坐标轴 Z 轴为 $\vec{V}'_z = (0.03331483, 0, 0.9994491)$ ，坐标轴 X 轴为 $\vec{V}'_x = (0.9994491, 0, -0.03331483)$ ，如图 12(b)所示，编号为#10303、#10286、#10288 的 IFC 语句。



(a) 未实现偏心转换



(b) 实现偏心转换

图 12 偏心梁基于 IFC 数据格式的文件描述

3.3 转换之后模型几何情况以及一致性的对比

为了对比分析转换情况，将输出转换的 IFC 文件在由上海交通大学 BIM 研究中心自主研发的 NMBIM2.0 平台上显示。经过转换前后的对比，全局 ID 为 2260 偏心梁的偏心信息得到准确转换，如图 13、14 所示。

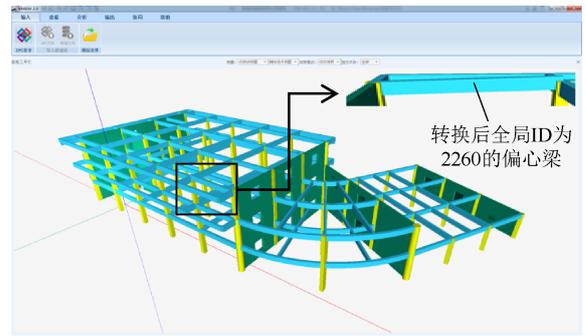
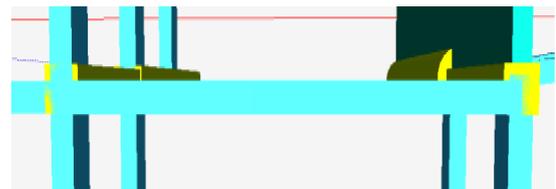


图 13 转换后结构模型在 NMBIM 中的显示



(a) 转换后偏心梁的俯视图



(b) 转换后偏心梁的侧视图

图 14 偏心梁转换后的详图

盈建科的数据中每个对象，包括墙体、梁、柱、板等构件，都是建立在关系数据库模型之上的，对象的所有信息均具有相应的外键 ID 号。在进行偏心数据转换时，根据每个记录的外键值提取对象的信息，所以盈建科中的偏心数据信息能与 IFC 数据信息一一对应，不会产生数据的丢失。为了更好地验证数据转换的一致性，统计盈建科原模型偏心构件的数量，并与转换后的 IFC 文件模型进行对比。针对不同截面构件，表 1 对偏心构件转换进行了统计，经过前后转换数目的对比，证明本研究对偏心构件进行了准确的转换。

表1 偏心构件转换统计

截面形式	结构梁单元			结构柱单元			
	总数量	偏心数量	转换数量	截面形式	总数量	偏心数量	转换数量
300 mm×600 mm	116	34	34	500 mm×500 mm	64	22	22
250 mm×550 mm	29	0	0	450 mm×450 mm	22	10	10
250 mm×1000 mm	16	0	0	400 mm×600 mm	6	0	0
300 mm×650 mm	61	0	0				

4 结论与展望

本文针对结构模型中偏心构件,研究基于 IFC 标准的偏心数据转换。通过分析构件偏心数据在 IFC 标准、中间通用格式文件 SGF 中的表达方式,推导不同坐标系的坐标转换,基于 C++实现的 IFC 标准类,依次建立层层嵌套的坐标系,使偏心信息在 IFC 标准中正确表达。主要结论与展望如下:

(1) 基于 IFC 数据标准,在原有的通用结构数据转换平台上,对本团队的前期工作做了进一步的扩展。运用 Sqlite 和 Visual C++等开发工具,对盈建科软件的结构分析模型进行 IFC 结构模型的转换,其中改进了原有的 SGF 以及 SGFtoIFC 模块,有效完成对结构偏心信息的提取和处理,建立了盈建科与 IFC 数据标准共享的接口,在一定程度上减少重新建模所需的工作量。

(2) 本文提出的偏心数据转换算法,依托于结构通用数据格式 SGF,能够在其他结构分析软件中应用,可实现基于 IFC 标准的偏心数据转换。

(3) IFC 标准是目前 BIM 领域公认的数据交换标准。后续将进一步完善异形复杂构件信息、荷载信息、分析结构模型信息等的转换研究,实现基于 IFC 标准自动从三维建模软件中提取更加丰富的结构分析模型。

参考文献

[1] 唐春风,刁波,张剑涛,等. 建筑信息化平台——从 PKPM 模型到 IFC 模型的数据交换[C]//建筑业企业信息化应用发展研讨会. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 52-57.

[2] 杨党辉,苏原,孙明. 基于 BIM 技术的结构设计中的数据转换问题分析[J]. 建筑科学, 2015, 31(3): 31-36.

[3] WEISE M, KATRANUSCHKOV P, LIEBICH T. Structural analysis extension of the IFC modelling framework [EB/OL]. (2003-07-01) [2017-10-11]. <http://www.itcon.org/2003/14>.

[4] 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.

[5] QIN L, DENG X Y, LIU X L. Industry foundation classes based integration of architectural design and structural analysis [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Science), 2011, 16(1): 83-90.

[6] LIU Z Q, LI Y G, ZHANG H Y. An IFC-based integration tool for supporting information exchange from architectural model to structural model [J]. Journal of Central South University, 2010, 17(6): 1344-1350.

[7] 王勇,张建平,王鹏翊,等. 建筑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): 53-58.

[8] 王轩,胡筋,杨晖柱,等. 基于工业基础类数据标准的结构模型转换技术[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2014, 42(6): 836-843.

[9] 宋杰,张亚栋,王孟进,等. Revit 与 ANSYS 结构模型转换接口研究[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(1): 79-84.

[10] 张晓洋,胡振中. 面向结构有限元分析的模型转换方法研究[J]. 工程力学, 2017, 34(6): 120-127.

[11] 毛晓月. 框架结构中梁柱偏心对构件内力和位移的不利影响分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.

[12] 胡天杰. 基于 BIM 的碰撞检查自动判断系统的设计与实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2015.

[13] 宋福春,陈冲,张兴,等. BIM 技术在大跨度斜拉桥设计中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2016(1): 115-123.

[14] 邹帅,赖华辉,邓雪原. 结构分析模型构件偏心数据转换方法研究[J]. 图学学报, 2016, 37(2): 257-264.

[15] 王琳,邱奎宁. IFC 技术标准系列文章之三: IFC 结构及数据实例分析[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 2(4): 79-88.

[16] 代一帆,董靛. 关于建筑数据表示和交换的标准 IFC[J]. 建筑科学, 2008, 24(8): 9-14.

[17] 秦领,刘西拉. 建筑物理模型与结构分析模型的数据映射研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 2(2): 28-36.

[18] 魏东,李冬梅,黄有群. 三维图形绕坐标轴连续旋转的算法与实现[J]. 沈阳工业大学学报, 2007, 29(6): 696-698.