

基于 IFC 的结构 BIM 模型创建和数据管理技术研究和实现

潘有岩¹ 花炳灿¹ 张昕² 产文³

(1. 华东建筑设计研究院有限公司, 上海 200001;
2. 上海之悠信息科技公司, 上海 201702;
3. 上海笛佼信息科技有限公司, 上海 200433)

【摘要】结构计算模型与 BIM 模型的融合是实现 BIM 在结构工程中全面应用的关键环节, 本文研究钢筋混凝土结构计算模型的数据格式, 根据计算模型中的构件数据和配筋数据分别生成包含混凝土构件和钢筋的 IFC 模型, 并基于分布式数据库存储完成 IFC 模型合并以及数据管理的相关技术。基于本文研究成果和开发的相关软件, 可以由结构计算模型生成准确的结构 BIM 模型, 该模型可应用于碰撞检测、工程量统计、施工图生成等场景。通过项目应用验证了本文方法的有效性。

【关键词】IFC; BIM; 结构; 钢筋; 混凝土; 模型合并; 数据管理

【中图分类号】TU17

【文献标识码】A

【文章编号】1674-7461 (2024) 05-0038-07

【DOI】10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2024.05.07

引言

BIM 技术在建筑工程领域已得到广泛应用。BIM 技术的重要特征是改变了信息传递的方式, 从传统的不同专业参与者点对点信息传递转为以模型为中心的信息传递^[1]。在各专业参与信息传递和交换时, 结构专业却一直处于脱节状态^[2], 使得 BIM 技术的多专业协同能力和收益均降低很多。据分析, 其根本原因是缺乏可行的协同模式和稳定的、可互操作的应用程序环境使得结构专业愿意参与基于 BIM 的工作流^[3], 而结构计算模型与 BIM 模型的融合是实现 BIM 在结构工程中全面应用的关键环节。

从 BIM 模型提取或转换结构计算模型已有众多研究, 陈志为等^[4]利用 API 从 Revit 模型提取结构信息输出为 ANSYS APDL 脚本文件实现有限元模型的建立。张晓洋等^[5]提出 IFC-API 转换模式, 结合 IFC 和 API 的优点建立 BIM 模型与结构分析模型的统一框架。孟晓晔^[6]基于 IFC 及 MVD 研究深化设计 BIM 模型到精细化有限元分析模型的数据转换。此外, 商业结构分析软件, 如 ETABS、YJK 也推出了与 Revit 的接口应用程序。

以上方法均要求结构工程师先建立结构 BIM 模型, 才能执行到计算模型的转换。鉴于结构工程师习惯且必须使用结构计算软件, 本文提出, 以准确建立的结构计算模型为出发点, 研究根据结构计算模型直接生成 IFC (包括结构构件和钢筋) 来参与 BIM 流程 (而不是依据施工图翻模建立 BIM 模型), 以及基于 IFC 模型的数据管理技术。

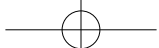
1 IFC 内容组织

目前, IFC 标准已成为不同学科和不同软件之间 BIM 数据交互的事实标准^[7]。最新发布的 IFC4.3.2 (ISO 16739-1:2024) 版本包含 876 个实体 (Entities)、436 个类型 (Types)、645 个属性集 (Property sets)、2 513 个属性定义 (Properties), 描述建筑产品信息的能力得到进一步增强。

结构计算模型中常见的柱、墙、梁、板、斜撑在 IFC 中均有对应的实体 (如 IfcColumn), 各类构件的三维几何也是以扫掠体为主, 可以用 IfcExtrudedAreaSolid 表达, 弧形构件则用 IfcRevolvedAreaSolid 表达, 实体关联的属性集或自定义属性集可以记录任意复杂的附

【基金项目】上海市科委“科技创新行动计划”科技支撑项目“适应双碳的新型建筑材料和结构型式关键技术及示范” (编号: 22dz1207300) 子项目《基于低碳的新型建筑结构再设计与健康运维》 (编号: 22dz1207303)

【第一作者/通信作者】潘有岩 (1995-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 结构设计与 BIM。



加信息,因此 IFC 具备足够的能力描述结构 BIM 模型。

本文着重研究根据 YJK 导出的 ydb 文件生成 IFC 的方法,ydb 本质上是 sqlite 数据库,该数据库记录了结构模型的几乎所有信息,包括构件(节点坐标、截面、材料、旋转、偏置)、标准层和自然层以及荷载等。尤其是在 YJK 中完成计算后,可以按构件类别导出含有构件配筋信息的 ydb 文件。下文将讲述 IFC 生成和优化的关键点。

1.1 组织结构

IFC 中包含的所有建筑对象在空间上一般按照“项目->场地->建筑->楼层->构件”的层级关系进行组织,如图 1 所示。

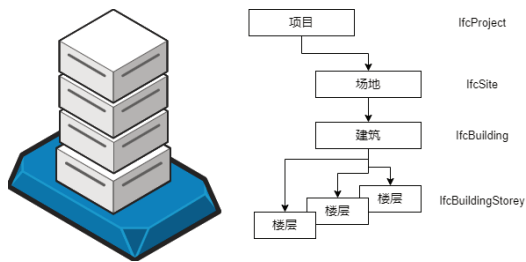


图 1 IFC 对象组织结构

场地 (IfcSite)、建筑 (IfcBuilding)、楼层 (IfcBuildingStorey) 及构件 (IfcBuildingElement) 均从 IfcProduct 继承了 ObjectPlacement 属性,该属性实际上是一个坐标系对象,定义了参考坐标系 (PlacementRefTo) 以及在参考坐标系中的定位 (RelativePlacement),如图 2 所示。

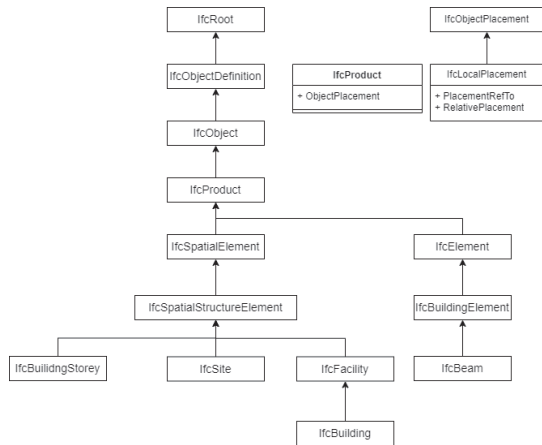


图 2 类继承和相对坐标系

参考图 2,本文以场地为基准,采用“构件->楼层->建筑->场地”逐级依赖的相对坐标系统。

IFC 内容组织以及模型合并、修改的高效和准确性均受益于相对坐标系的采用。

1.2 标准层

建筑工程领域结构计算软件一般都有层的概念,YJK 也不例外。在 YJK 中,标准层有预先设定的层高 H,

布置在标准层中的竖向构件(柱、墙)均以 H 为高度,水平构件(梁、板)均以 H 为顶部标高,而自然层引用标准层,如图 3 所示。自然层有实际的标高和层高,如果自然层的层高与所引用标准层的层高不同,在楼层组装时,标准层的构件要调整到以自然层的层高为基准。

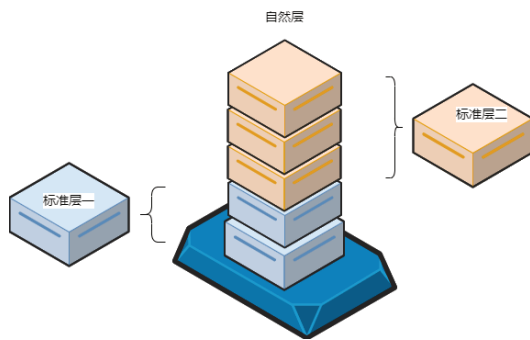


图 3 标准层和自然层

在生成 IFC 时,如 1.1 所述,构件的定位参考坐标系均采用自然层的定位坐标系,即相对坐标系,具体有两种方法。

方法一,遍历自然层,获取自然层所引用标准层中定义的构件数据,结合自然层的标高和层高生成构件的 IFC 表达。该方法实现简单,但会造成大量冗余信息,特别是标准层对应多个自然层的情况,IFC 文件的体积会成倍增长,因为标准层中定义的构件对象(几何表达 ShapeRepresentation)被创建了多份。

方法二,具体分解为三个步骤:第一步,遍历标准层,获取标准层中定义的构件数据,结合标准层的层高并以零标高生成构件的 IFC 表达;第二步,搜索引用该标准层的自然层,如果不止一个自然层引用该标准层,则创建与该标准层中所有构件对象(源对象)几何表达对应的 IfcMappedItem,复制所有的源对象为新对象并将新对象的几何表达定义为对前述 IfcMappedItem 的引用;第三步,如果自然层与标准层的层高不一致,则调整所有竖向构件的拉伸体的 IfcMappedItem 在高度方向进行缩放(缩放因子为自然层高与标准层高的比值),水平构件的顶部标高由于已采用相对坐标系,无需调整。由于采用了 IfcMappedItem,IFC 中仅保留了源对象的一份几何表达,复制对象均为对该几何表达的引用,生成的 IFC 体积较小,但实现过程较为复杂。

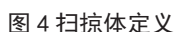
本文采用方法二生成优化的 IFC。

2 结构 IFC

2.1 截面定义

结构构件在 IFC 的三维几何基本可用扫描体

如果洞口与开洞对象均为拉伸体且拉伸方向和长度均为一致，亦可采用 1.3 所述 `IfcArbitraryClosedProfileDef WithVoids` 在截面定义时就包含洞口的实现。尤其是在如 1.2 所述在标准层到自然层映射过程中，在复制源开洞对象和洞口对象之后，须重建新开洞对象与洞口对象之间的 `IfcRelVoidsElement` 关系。



由于引入层的概念，在结构计算软件中结构构件一般在楼层平面上通过连接节点的线来建模，在生成 IFC 时，要根据构件的中心线（网格线经过必要的偏移和旋转）和截面还原出三维几何，这就容易出现构件相交处缺角的问题。实际上，一般的 BIM 建模软件在创建结构构件时也会遇到这个问题。如图 5 中梁 1 的矩形区域与梁 2 的矩形区域相交，需要对几何进行处理以还原真实的构件相交。

本文针对不同场景下构件相交的几何处理基本上遵循以下流程：先延长基本构件，再确定裁切构件的边界，最后用裁切边界对基本构件进行裁切。

以最简单的两个梁相交为例，如图 5 所示，梁 1 与梁 2 相交，考虑梁 1 为基本构件，梁 2 为裁切构件。在全局坐标系 XYZ 下，根据 ydb 给出的梁定义数据，得到梁 1 和梁 2 的矩形边界，延长梁 1 并得到延长部分的平面边界记为 UnionPathG，从梁 2 的矩形区域计算得到裁切边界和法线方向作为剖切平面，记为 CutPlaneG。

图 5 构件裁切

2.2 开洞与裁切

记梁 1 的局部坐标系三个坐标轴在全局坐标系下的向量分别为 LocalX , LocalY , LocalY , 原点在全局坐标系下的坐标向量为 O , 旋转矩阵为 R 。



首先,开发 IFC 解析程序,提取所有的 IFC 实体,包括实体类型、ID、属性以及几何等,存储时将实体 ID 作为分布式列存储的 key;其次,分析 IFC 实体之间的关联关系,如洞口与墙、洞口与板、门与墙以及窗与墙等,建立单独的表来维护实体之间的关联关系;最后,为实体表和关联表建立索引,本文改进八叉树

的空间索引,通过 IFC 对象的关联关系进行节点合并(存在关联关系则进行合并,直到达到单个节点的最大几何量阈值),从而降低和平衡树结构,使得空间索引的 IFC 几何数据更加均匀和连续,提高了数据查询性能。

3.2 数据检索

在建筑全生命周期中,最基本的数据检索是根据空间、楼层以及构件类型等条件对 BIM 模型的对象进行抽取和使用。相比于在三维设计软件中进行筛选,基于 IFC 模型进行结构化 (SQL) 查询往往更加灵活和简便。

本文对 IFC 数据(名称、类型、属性、构件关系及几何等)进行结构化处理、建立多维度索引和综合查询排序,设计了 IFC 数据查询与 MVD^[6,15] 模板数据交换系统,支持多用户对不同 IFC 模型的属性、MVD 或简化子模型及数据交换模板的并发查询。

与传统的查询不同,本文的研究可以支持在项目的多个模型中进行综合全局语义对象的结构化查询,如图 8 所示。

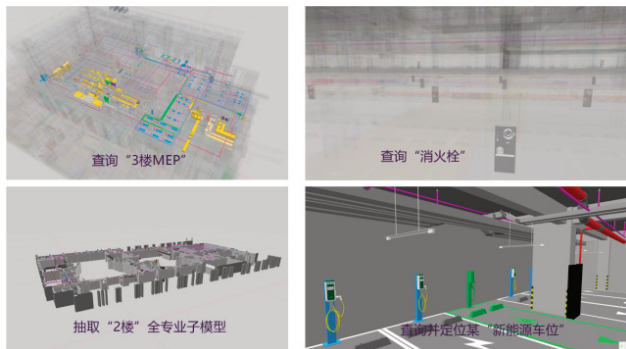


图 8 多模型综合全局语义查询

3.3 可视化

IFC 实体的几何数据一般较大,在大模型的可视化场景中,如果全部加载最精细的几何,往往会导致卡顿,无法运转等性能问题。本文采用层次细节模型(HLOD)来进行模型的动态加载^[16,17]。

在数据库中,为每个 IFC 实体建立多种层次细节的几何模型,并在查询时根据 LOD 返回相应的结果。如图 9 所示,在 LOD 较低时,构件的细节部分不包含在查询结果中,亦不会被渲染;在 LOD 较高时,构件的细节部分被包含在查询结果中,也会被渲染。

同时,通过 HLOD 空间索引技术,为模型几何空间也创建改进的八叉树空间索引,利用该索引,前端能够快速查询到视角空间附近的几何对象,从而可以动态地调取服务器上存储的相应细节层次的几何数据进行渲染。

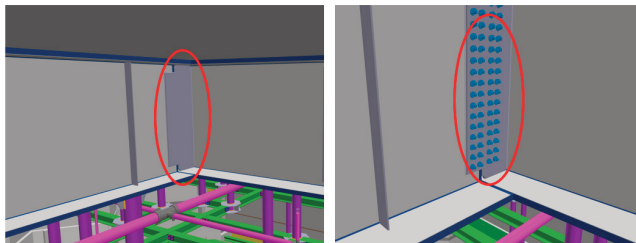


图 9 不同细节层次 (LOD) 的 IFC 构件

在前端,通过跟踪当前视角,为视角附近的构件对象加载细粒度几何,而对远处或者看不到的视角盲区则加载粗粒度几何,最大程度地提高模型加载和渲染性能。

加载全楼钢筋模型进行渲染时,利用动态查询和加载技术,仅视角正中的钢筋得到精细渲染,较远的钢筋则粗略显示,如图 10 所示。

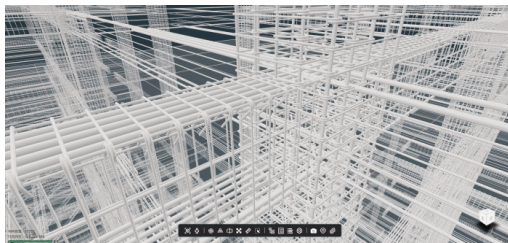


图 10 对象动态加载渲染

4 案例验证

利用本文的 IFC 生成方法,通过 YJK 模型生成结构(含钢筋)的 IFC 模型如图 11 (a) 和 (b) 所示,墙与墙、梁与梁在相交时的裁切如图 11 (c) 所示,单独取一个柱的钢筋如图 11 (d) 所示,区分纵筋 (b 边和 h 边)、箍筋 (加密区和非加密区)。

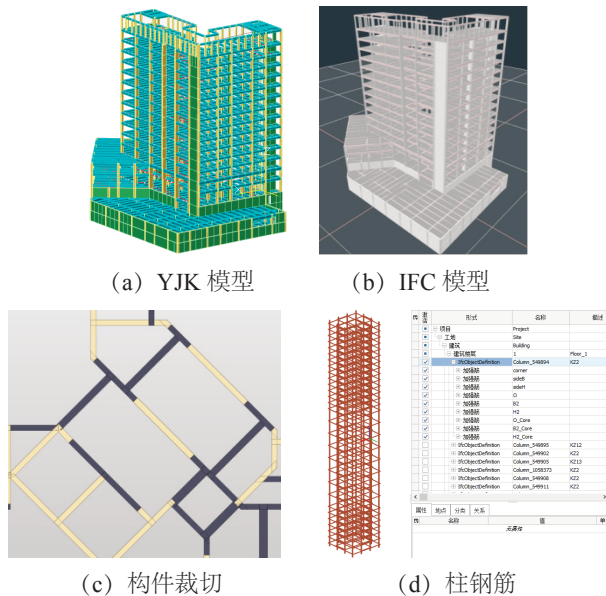
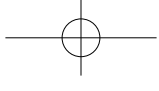


图 11 结构模型到 IFC 模型



本文通过两个模型集（模型集 A 包含某高层建筑的全量钢筋模型，模型集 B 包含某机场航站楼的钢结构模型）来进行加载效率对比实验，分别采用基础索引（不考虑空间结构只对 IFC 的基本属性字段进行索引），八叉树索引，以及本文的改进八叉树算法进行对比实验，如表 1 所示。从实验结果看，本文的方法显著提高了模型加载的速度。

表 1 不同索引的 IFC 加载效率对比

方法	基础索引	八叉树	本文方法
模型集 A	120.8 s	12.3 s	5.8 s
模型集 B	600.5s	25.4 s	10.2 s

5 结语

本文研究了根据结构计算模型数据生成 IFC 的相关技术，以 YJK 为例，根据计算模型生成了结构（含钢筋）的 IFC。该研究为结构计算模型和 BIM 模型的融合和多专业协同提供了新方法。同时，着重研究了大型 IFC 模型的存储、检索和可视化的性能提升方法，可为 IFC 的数据管理提供基础。

结合实际项目验证了本文所提出的模型生成与数据管理方法的有效性。

参考文献

- [1] Chen P H, Cui L, Wan C Y, et al. Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architects and Structure engineers [J]. Automation in Construction, 2005,14(1):115-128.
- [2] 吴文勇, 焦柯, 童慧波, 等. BIM 建筑结构设计过程的研究与实现 [J]. 建筑结构, 2013,43(S1):825-828
- [3] 张兆波, 孟晓明. 基于 IFC 的建筑结构设计信息交互框架

研究与实现 [J]. 建筑结构, 2024,54(5):149-154.

- [4] 陈志为, 吴焜, 黄颖, 等. 基于 BIM 的复杂结构有限元精细模型生成 [J]. 土木工程与管理学报, 2018,35(5):60-64.
- [5] 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.
- [6] 孟晓晔. 钢筋混凝土结构精细化 BIM 及 MVD 的应用研究 [D]. 北京: 中国建筑科学研究院, 2019.
- [7] 赖华辉, 侯铁, 钟祖良, 等. BIM 数据标准 IFC 发展分析 [J]. 土木工程与管理学报, 2020,37(1):126-133.
- [8] 弗莱彻·邓恩, 伊恩·帕贝利. 3D 数学基础: 图形和游戏开发 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2020:199-220.
- [9] 中国建筑标准设计研究院. 16G-101-1 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则不构造详图 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [10] 中国建筑标准设计研究院. 18G-901-1 混凝土结构施工钢筋排布规则与构造详图 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [11] 申玮. 钢筋设计的 CAD 技术研究 [C]// 第九届全国 BIM 学术会议. 西安: 中国建筑工业出版社, 2023:168-173.
- [12] 郁嘉诚, 邓雪原. 基于 IFC 标准的连续梁钢筋模型自动生成 [J]. 建筑技术, 2020,51(5):618-623.
- [13] 李世凯, 邓雪原, 程殊伟. 结构平面图中梁与钢筋模型重建方法研究 [J]. 建筑结构, 2023,53(S2):400-406.
- [14] 曾强, 张其林, 张金辉. 基于对象型层次型数据库的 IFC 数据存储研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2021,13(1):17-23.
- [15] 明星. 基于 MVD 的建筑与结构模型转换研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [16] 安籽鹏. 基于 BIM+GIS 的一体化三维场景建模技术研究 [D]. 洛阳: 战略支援部队信息工程大学, 2020.
- [17] 吕慧玲, 李佩瑶, 汤圣君等. BIM 模型到多细节层次 GIS 模型转换方法 [J]. 地理信息世界, 2016,23(4):64-70.

Research and Implementation of IFC based Structural BIM Model Creation and Data Management Techniques

Pan Youyan¹, Hua Bingcan¹, Zhang Xin², Chan Wen³

(1. East China Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200001, China;

2. Shanghai Zhiyou Information Technologies Co., Ltd., Shanghai 201702, China;

3. Shanghai DeepJoin Information Technologies Co., Ltd., Shanghai 200433, China)

Abstract: The integration of structural calculation models with BIM models is a key step in achieving the full application of BIM technology in structural engineering. This study investigates the data format of reinforced concrete structural calculation models and generates IFC models containing concrete components and rebar based on the component and reinforcement data in the calculation model. Through distributed database storage, the merging and data management of IFC models are realized. The related software developed in this study enables the accurate generation of structural BIM models from structural calculation models, which can be applied in scenarios such as collision detection, quantity estimation, and construction drawing generation. The effectiveness of the proposed method has been verified through practical project applications.

Keywords: IFC; BIM; Structure; Reinforcing Bar; Concrete; Model Merging; Data Management