

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.03.029

BIM 正向设计中建模与分析软件间信息传递研究*

施博文, 许红胜, 颜东煌, 覃鑫林, 岳亚超

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 在基础设施建设领域, Revit 是应用最多的 BIM(建筑信息模型)建模软件, SAP2000 是广泛应用的结构分析软件, 由于不同建模软件与分析软件间信息传递存在障碍, BIM 正向设计中出现重复建模的现象。文中研究 SAP2000 与 Revit 之间的模型信息传递技术, 实现 BIM 建模与分析软件间的模型互传, 提高 BIM 正向设计工作效率, 为实现 BIM 建模软件与分析软件间模型高效交换提供参考。

关键词: 桥梁; BIM(建筑信息模型)正向设计; 信息传递; 建模软件; 分析软件

中图分类号: U446.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)03-0136-05

结构力学行为分析是 BIM(建筑信息模型)正向设计的关键环节。目前 BIM 建模软件在结构分析方面存在很多不足, 而一般的结构分析软件都不具备出图和工程量统计的功能。因此, 实现 BIM 模型与结构分析软件之间有效的信息传递具有重要意义。本文以 IFC 文件作为 BIM 模型信息传递的数据载体, 借助 Python 编程工具进行数据提取与转化, 实现 BIM 建模软件与分析软件之间的信息互换, 提高 BIM 正向设计工作效率。

1 信息传递的数据载体与工具

采用 Revit 建模, 将 .ifc 文件作为模型的数据载体进行数据信息传递^[1-3]。作为一种公共、开放的数据交换标准, IFC 包含整个工程项目所有的数据信息, 在全球范围内得到广泛应用。IFC 标准自 1994 年开发至今, 已经从最初的 IFC1.0 版本发展至 IFC4, 从建筑行业逐步扩展至各种基础设施领域。

采用 SAP2000 软件建模时保存的 .sdb 文件, 若用 Python 打开会出现一堆乱码, 这是由于软件开发商为避免自己的软件被其他软件开发商或个人读取, 采用二进制方式保存数据, 增加了读取和提取相关数据信息的难度。因此, 选择 .s2k 文件作为导入模型的数据载体。相较于其他文件格式, .s2k 文件更易于读取、修改和检查模型改动之处的数据信息。

IFC 是一个 BIM 工作流程, .ifc 文件是这个工作流程中 BIM 承载部分^[4-6], 也就是模型的数据载

体, 也是国际通用的 BIM 模型表达方法, 采用 EXPRESS 语言编写。EXPRESS 语言是一种形式化、面向对象的信息建模语言, 与其他面向对象的程序设计语言不同的是, EXPRESS 语言不具备程序设计能力, 其描述的数据模型不能直接用于程序实现, 需借助编程工具先解析 .ifc 文件, 以生成对应的 IFC 实体对象, 建立实体对象之间的层次结构关系, 而后提取解析出的数据信息并转化成软件所需的对应数据格式, 实现模型数据信息的传递。进行数据传递的基础是准确解析 IFC 数据, 对于 .ifc 文件的解析, 目前有多种方法, 如 Java、C#、Python 等。Python 是一种简单易懂的解释性语言, 对于缺乏计算机方面知识的人员更易上手, 且 Python 在 Web 开发和人工智能方面取得了成功^[7], 拥有各式各样的外部库, 拓展性很强。

2 信息传递过程

2.1 模型信息的提取

结构分析软件提取的信息主要有构件空间坐标、截面尺寸及材质的物理信息。在提取信息前, 首先对 .ifc 文件进行解析^[8], 在 Python 中导入 ifcopenshell 文件, 复制图 1 所示代码到 Python 文件中进行代码测试, 该代码用来获取所有的 IFC 类。ifcopenshell 是使用 Python 解析 .ifc 文件的关键外部包, 是一个开源(LGPL)软件库, 可帮助用户和软件开发人员使用 .ifc 文件格式。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878073)

```

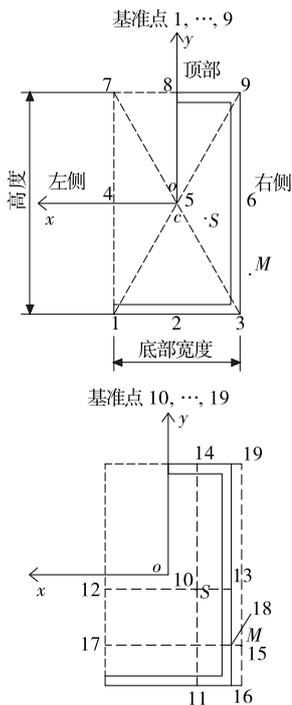
import ifcopenshell
ifc_file=ifcopenshell.open('T3.ifc')
products=ifc_file.by_type('IfcProduct')
For product in products:
print(product.is_a())

```

图 1 IFC 类提取代码

(1) 材质信息的提取。1) 遍历模型中每个图元对象,调用获取材料的函数,得到图元材料 ID 属性(IFCMaterialID);2) 获取含有该材料 ID 属性的图元类并转换成材料类(IFCMaterial);3) 根据材料类获取材质属性(IFCMaterialProperties),进而得到其结构物理属性,如模数、泊松比、屈服强度等。

(2) 截面信息的提取。1) 遍历模型中每个图元对象,调用获取截面类型的函数,得到图元截面的 ID 属性;2) 获取含有该截面 ID 属性的图元类并转换成截面类;3) 根据截面类获取截面关键数据信息(见图 2)。IFCCardinalPointReference 是对截面轮廓关键点的索引引用。



c 为边界框的中心,即点 5(可能与 o 点不同); S 为几何重心;
 M 为剪切中心

图 2 截面关键数据信息

(3) 构件坐标位置的提取。遍历模型中每个图元,调用获取坐标的函数,获取图元端点坐标;确定每个构件端点相对于整体项目的位置,进而获取构件的坐标位置。ifc 文件中构件位置通过 IFCAxis2Placement3D 表示,IFCAxis2Placement3D 提供在三维空间中放置项目的位置和方向。

2.2 模型信息的转化

2.2.1 Revit 模型向 SAP2000 的信息传递

SAP2000 与 Revit 都采用面向对象的思想进行建模,以线单元模拟梁、柱,以面单元模拟板墙。SAP2000 这种面向对象的建模思想与 BIM 软件参数化理念一致,因而 SAP2000 在与 BIM 软件进行信息传递时具有优势^[9]。

Revit 模型向 SAP2000 模型转化的步骤:1) 先将 Revit 实体模型导出的 .ifc 文件通过 Python 解析后提取相关物理信息及几何信息,并将提取的信息存储在 Python 语言的元组中。由于存储在元组中的元素只能被读取和调用,无法修改,从而保证了数据在传递过程中的可读性与稳定性。2) 将模型信息的元组写入 .s2k 目标格式的文件中作为生成模型的输入数据,实现 Revit 模型信息到 SAP2000 的传递,之后只需在 SAP2000 中进行荷载施加及部分约束处理便可运行分析。在 SAP2000 中进行结构分析时一般是简化为比较规则的几何模型(如线单元或壳单元等),无须再通过边界表示法 BREP 描述复杂形状的几何实体模型。

2.2.2 SAP2000 模型向 Revit 的信息传递

利用相同的方式,先对 .s2k 文件进行数据解析,提取构件的相关截面、材质等信息,之后基于 Python 编译为 .ifc 文件所需的文件格式,最后将 .ifc 文件导入 Revit 软件中并进行局部细节优化。

2.3 模型信息的匹配

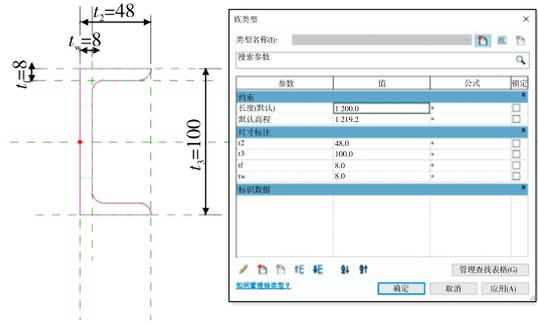
在完成 Revit 模型信息提取与转化后,将信息与构件进行匹配,形成完整的结构分析模型^[10-12]。模型信息匹配的主要步骤:1) 给转化后 SAP2000 模型中每个构件赋予作为唯一识别码的构件编码,并与 Revit 模型构件进行一一关联。2) 考虑到 Revit 模型中不同类型构件有着不同的材质和截面属性,赋予构件对应的材质编号和截面编号。3) 根据之前关联的 Revit 模型与 SAP2000 模型,找出 SAP2000 模型中具有同一材质编号和截面编号的构件,并赋予其材质物理参数及截面关键点参数。

3 案例验证

3.1 Revit 模型向 SAP2000 的信息传递

为验证上述信息传递方法的可行性,以贵州纳晴(纳雍—晴隆)高速公路牂江河特大桥索塔施工中大型临时结构为例,选取下横梁施工时支撑体系进行模型信息传递,并根据受力情况对支撑体系进行

结构优化。信息传递流程(见图3)如下:1)采用Revit对贝雷梁及落地钢管支撑进行初步结构设计,模型精度达到LOD100即可。为便于提取构件的截面关键信息,如图4所示,通过参数化设计定义构件几何轮廓来自行创建标准构件族。图5为下横梁支撑系统中贝雷梁模型。整体模型建完后导出为.ifc文件。2)根据上述数据传递方法对模型信息进行提取、转化、匹配。表1为支撑体系模型在转化前后部分数据信息表达对比,其节点坐标位置、材质属性、截面信息等得到有效转化。3)导入SAP2000进行荷载施加和节点处理,并进行安全性校核。



1 200 mm 为槽钢的长度;1 219.2 mm 为槽钢的高程; $t_2=48$ mm 表示翼缘宽度为 48 mm; $t_3=100$ mm 表示槽钢截面高度为 100 mm; $t_f=8$ mm 表示槽钢翼缘厚度为 8 mm; $t_w=8$ mm 表示槽钢腹板厚度为 8 mm

图4 参数化建模(单位:mm)

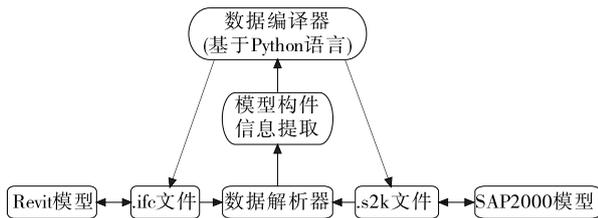


图3 Revit模型向SAP2000的信息传递流程



图5 贝雷梁整体模型

表1 支撑体系转换前后部分数据信息表达对比

文件类型	数据信息表达
.ifc 文件	<pre> # 70=IFCMaterial(Q345,\$,\$); # 81=IFCMaterialProfile(\$,\$,#70,#82,\$,\$); # 82=IFCRectangleHollowProfiled(Area,FG,#85,80,80,8,\$,\$); # 85=IFCAxis2Placement2D(#86,#87); # 86=IFCCartesianPoint((0,0)); # 87=IFCDirection((1,0)); # 164=IFCCartesianPoint((9300,0,220)); # 177=IFCCartesianPoint((9700,0,220)); </pre>
.s2k 文件	<pre> Table:"Joint Coordinates" Joint=13 CoordSys=GLOBAL CoordType=Cartesian XorR=9300 Y=0 Z=220 SpecialJt=No Joint=2 CoordSys=GLOBAL CoordType=Cartesian XorR=9700 Y=0 Z=220 SpecialJt=No Table: "Material Properties 01-General" Material=Q345 Type=Steel SymType=Isotropic TempDepend=No Color=Magenta Table: "Frame Section Properties 01-General" SectionName=FG Material=Q345 Shape=Box/Tube t3=80 t2=80 tf=8 tw=8 Area=2304 </pre>

分析发现,在荷载作用下,支撑体系中贝雷梁支座位置(与落地钢管支撑位置处)的应力过大(见图6),结构存在一定安全风险,需对支座附近贝雷片进行加强。在标准贝雷片三角区利用2 cm 钢板封闭为钢箱,优化后有限元分析模型满足安全性要求。将模型文件保存为.s2k 文件,整体有限元模型见图7。

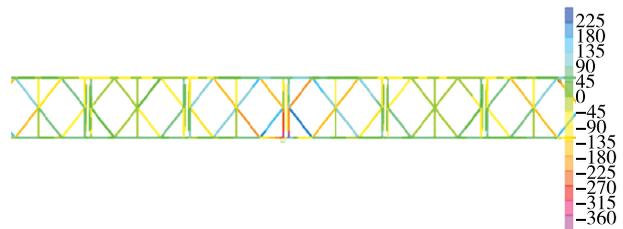


图6 贝雷梁应力分析结果(单位:MPa)

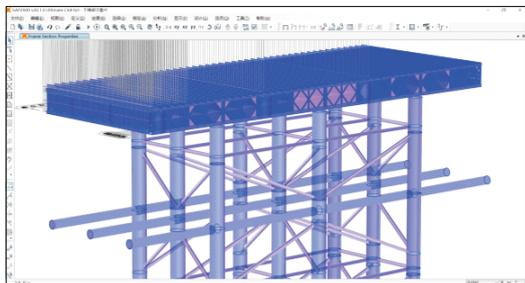


图 7 整体有限元模型侧视图

3.2 有限元模型向 Revit 模型的信息传递

以同样的数据传递方式,利用 Python 对 .s2k 文件中的数据进行提取、转化与匹配,对于新增加的钢板构件,将其构件 ID 属性与类型属性相关联,利用类型属性下数据标识功能对其优化后信息进行补充,以便于区分加强部位。优化后支撑体系 BIM 模型见图 8。

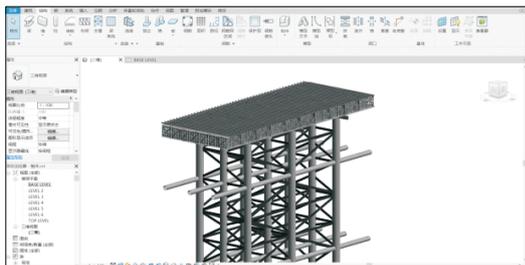


图 8 整体 BIM 模型侧视图

对比发现,由 SAP2000 向 Revit 传递模型信息后,BIM 模型精度可达 LOD200,对于支撑系统整体模型,该精度满足要求。若需对优化后支撑体系进行后期出图,则模型精度需达到 LOD400。在进行有限元分析时,往往需要对连接处的节点进行处理。选取一组优化后贝雷梁,在进行有限元分析时,采用弹性连接、释放部分弯矩来模拟连接片与贝雷片之间的螺栓连接(见图 9)。将分析文件保存为 .s2k 文件,导入数据解析器中提取相关数据信息,包括连接片处进行处理的节点位置信息,之后导入数据编译器中进行 .ifc 文件格式的数据处理。在 .ifc 物理文件中,将贝雷梁 (IFCBBeam) 与开洞实体 (IFC-OpeningElement) 相关联,开洞实体的位置信息即为此前提取的节点处理处的位置信息。根据洞口大小尺寸,选择合适的螺栓,将洞口和螺栓进行关联。将开洞实体与螺栓实体 (IFCBolt) 依托构建关联实体 (IFCRelConnects Element) 进行关联,当一个构件信息调整时,相关联的构件将通过公用节点信息和构建关联实体更新实体的信息,实现关联修改,从

而大大减少后期细化模型的工作量。

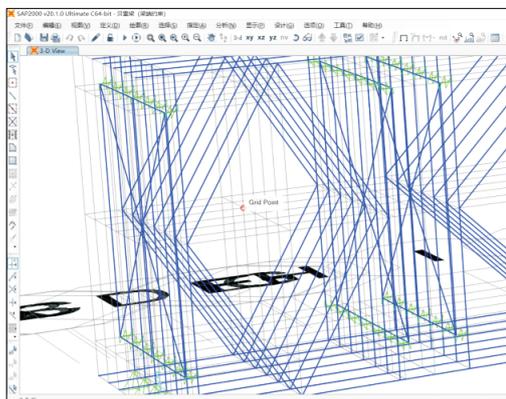


图 9 贝雷梁的 SAP 模型

3.3 BIM 模型的细化

由于 SAP2000 不具备工程量统计和出图功能,通过信息转化和实体关联的措施进一步细化从 SAP2000 到 Revit 的 BIM 模型(见图 10),后期仅需对非连接处部位进行细化建模即可完成出图及工程量统计(见图 11),大大提高工作效率。

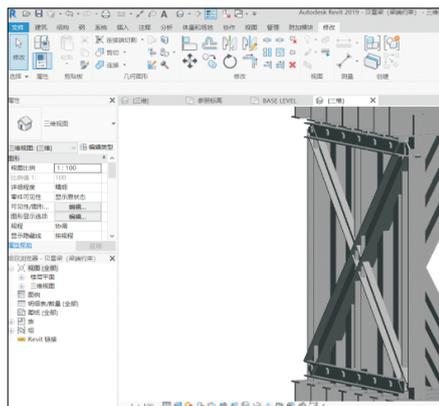


图 10 细化后的 Revit 模型

贝雷梁明细表 4 X			
<贝雷梁明细表 4>			
A	B	C	D
族与类型	型号	体积	合计
SCG:SCG	2C14A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C15A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C16A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C17A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C18A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C19A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C20A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C21A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C22A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C23A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C24A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C25A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C26A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C27A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C28A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C29A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C30A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C31A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C32A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C33A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C34A	718 426 2.56 mm³	1
SCG:SCG	2C35A	718 426 2.56 mm³	1

图 11 工程量统计

4 结语

本文以牂牁江特大桥主塔横梁施工中大型临时结构为例,实现 BIM 模型与结构分析模型之间数据信息传递,避免进行力学分析时的二次建模,并在力学分析后对结构进行优化,确保结构安全。将优化后计算模型导入 Revit 进行精细化建模及后续出图与工程量统计,大大减少建模时间,提高工作效率。

参考文献:

- [1] 袁问鑫,熊峰.BIM 模型与结构分析软件数据转换接口研究[J].建筑工程技术与设计,2017(17):3661-3662.
- [2] 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,2018,51(4):121-128.
- [3] 刘尚蔚,推晓伟,魏群.基于 IFC 标准的 BIM 信息互用研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2014,35(6):52-54.
- [4] HUANG Y C, DONG B, LAM K P, et al. A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments[C]//YI J, ZHU Y X, YANG X D, et al. 10th International IBPSA Conference, Beijing: IBPSA China, 2007:1530-1537.
- [5] 朱伟铸,郑加柱.Web 端快速加载 BIM 模型的方法研

- 究[J].土木工程信息技术,2021,13(2):97-104.
- [6] 秦宏磊.基于 IFC 到 Shapefile 转化的 BIM 与 GIS 融合技术研究[J].中华建设,2020(增刊):46-49.
- [7] 王华兴,张社荣,潘飞.IFC4 流程实体在 4D 施工信息模型创建中的应用[J].工程管理学报,2017,31(2):90-94.
- [8] 艾山丁,毛宁,贺欣.基于 IFC4 扩展的轨道 BIM 数据存储标准研究[J].铁路技术创新,2017(4):48-54.
- [9] 杨杰,周良.BIM 信息流传递与重构在结构正向设计中的应用[J].中国市政工程,2019(3):24-27+133.
- [10] 陈远,康虹,范运昌.基于 IFC 与 gbXML 标准的建筑信息模型与绿色建筑分析软件互操作性测试与评估[J].图学学报,2018,39(3):530-537.
- [11] 朱慧娴,徐照.装配式建筑自上而下设计信息协同与模型构建[J].图学学报,2021,42(2):289-298.
- [12] MOON H J, CHOI M S, KIM S K, et al. Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs[C]//Proceedings of Building Simulation 2011:12th Conference of International Building Performance Simulation Association. Sydney, 2011: 1521-1526.

收稿日期:2022-03-03

(上接第 135 页)

横梁改造施工流程:1) 洗刨桥面沥青铺装及 3.5 cm 混凝土现浇层,凿出护栏混凝土并保留部分护栏主筋;在横梁上准确定位后,按设计钢束线形进行打孔,严格控制打孔准确度,偏差不大于 1%。2) 横梁顶植筋,布置普通钢筋,安装钢束管道和锚具,浇筑横梁区域桥面现浇层及两侧加长混凝土。3) 安装梁底支座垫块、永久支座,调整梁体至设计标高位置。待支座灌浆达到强度后,张拉预应力钢束并锚固、压浆。

3 桥梁顶升改造注意事项

(1) 桥梁顶升改造设计必须根据具体顶升方案来确定,不能一概而论。

(2) 必须仔细分析顶升前后桥梁结构受力的变化,除进行不同工况受力分析外,还应采取适当的顶升安全防护措施,保证改造过程中结构安全及改造后结构良好的使用性能。

(3) 落地桥台改造为桥墩的整体顶升中应注意横梁受力体系的变化,既要满足桥梁顶升施工过程中的受力要求,也要满足顶升后桥梁运营过程中的受力要求。

(4) 桥梁顶升改造设计中除应考虑永久结构的设计(如横梁改造、墩台改造等)外,还应考虑顶升过程中临时构造的设计(如抱柱梁等)。

参考文献:

- [1] 董亚辉.桥梁顶升技术研究现状与应用前景[J].筑路机械与施工机械化,2011,28(6):22-27.
- [2] 祁恺飞.预应力砼连续箱梁调坡顶升工程设计要点浅析[J].中国水运(下半月),2020,20(9):159-160.
- [3] 肖宏宇,刘薇.桥梁整体同步顶升及监测技术[J].公路与汽运,2021(5):121-124+132.
- [4] 李建华,高猛,孙海波.现浇连续梁桥同步顶升设计[J].山东交通科技,2013(2):56-57.

收稿日期:2022-04-08