

BIM 与 ABAQUS 模型一体化分析应用研究^{*}

许红胜¹, 郭佩云¹, 颜东煌¹, 吴佳东¹, 李浩², 祁润田³

(1.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.湖南省勘测设计院, 湖南 长沙 410114;

3.联安建筑设计研究院, 北京 100088)

摘要:在桥梁工程领域,建筑信息模型(BIM)较少应用于结构模型受力分析,极大限制了桥梁工程不同阶段不同专业之间的协同工作。为促进 BIM 技术在桥梁设计中的应用,文中对结构分析模型数据转换进行研究。依托某桥梁工程,建立其临时结构运梁轨道 Revit 三维模型,通过 SAT 格式将模型直接导入有限元软件中进行受力计算,分析该转换方式的可行性。结果显示,转换后的模型几何尺寸及连接关系准确,利用 BIM 在结构设计环节所具有的优势可减少建模时间,提高工作效率;对比运梁轨道主要构件的仿真分析结果与 ANSYS 模拟结果,验证该转换方法可靠。

关键词:桥梁;建筑信息模型(BIM);三维建模;一体化分析;数据转换

中图分类号:U446.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)01-0128-05

传统的结构分析模型建模过程繁琐,特别是复杂的组合模型,建模需耗费大量时间。将建筑信息模型(BIM)建模软件 Revit 在建模上的优势与有限元软件强大的分析功能相结合,可大大减少建模时间,做到一模多用,同时仿真分析结果更接近实际工程。但实际应用中存在 BIM 建模软件与有限元分析软件的转换障碍。为解决该问题,邓雪原等以 IFC 标准为基础,对建筑模型自动生成结构分析模型的建立方法进行了研究;曾翔等提出了建筑抗震弹性分析数据基于 IFC 标准的表达方法,实现了采用不同有限元软件对建筑模型进行抗震弹性分析;张建平研究了 IFC 建筑模型转换,提出了基于 Revit 三维模型重建和模型转换的方法;刘照球等基于 IFC 标准框架,对结构动力分析、有限元分析信息进行了扩展定义;李犁实现了 IFC 模型与 ETABS、SAP2000 结构分析模型的数据信息转换;王轩等开发了 IFC 结构模型文件生成软件,实现了从 IFC 模型到 3D3S 结构分析模型的转换;吕凯垣等开发了桥梁 IFC 模型向 MIDAS/Civil 模型转换的程序原型。研究发现,基于 IFC 标准的 BIM 模型与结构分析模型数据转换缺乏成熟的转换机制,对于复杂构件模型交换,交换数据信息的全面性和准确性得不到保证。为此,袁明伟在 CSiXRevit 插件的基础上,经过二次开发实现了 Revit 与 Etabs 之间的无缝对接;宋杰、封大为等通过二次开发将数据处理成

ANSYS 命令流,实现了从 Revit 模型到 ANSYS 分析模型的数据转换;丁晓宇在宋杰等研究的基础上,实现了 Revit 中建立的网壳模型在 ANSYS 中自动建模与分析;陈志为等开发了 Revit 与 ANSYS 的数据转换接口,实现了 Revit 模型向有限元精细模型的自动转换;乔宝娟开发了 Revit 与 PKPM 的双向数据转换接口软件,可在 Revit 中以插件的形式调用;刘照球等以插件加载形式开发了 YJK/PKPM-Revit 数据转换接口,实现了 PKPM/YJK 与 Revit 的双向数据转换;董卯等对 Revit 模型信息提取程序进行二次开发,实现了 Revit 模型到 MIDAS/Civil 模型的转换;蓝天宇开发了 Revit 与 ABAQUS 的模型转换接口,实现了 Revit 到 ABAQUS 的数据转换。综上,目前对 BIM 模型与结构分析模型转换接口的研究主要针对房建结构,对桥梁结构模型转换的研究极少。该文基于 BIM 技术建立某桥梁工程临时构件轨道梁模型,实现 BIM 建模软件 Revit 到通用有限元分析软件 ABAQUS 的模型数据信息交换,并在 ANSYS 中建立运梁轨道模型进行受力分析,将分析结果与转换模型分析结果进行对比,对轨道梁结构稳定性、安全性、设计优化提供可行性建议。

1 工程概况

某桥主桥为七跨连续钢桁梁斜拉桥,桥跨布置

^{*} 基金项目:国家自然科学基金项目(51178059)

为 $(80+2\times 88+720+2\times 88+80)$ m,边跨设置 2 个辅助墩和 1 个过渡墩,总长 1 232 m。主桁架采用普拉特式结构,桁高 8 m,主跨节间长 12 m,边跨节间长 12.8 m,2 片主桁架弦杆中心间距 27 m。主索塔采用 H 形门架,上、下横梁及门架柱均采用栓薄壁箱截面。

该桥位于山区峡谷地区,受施工条件限制,中跨采用纵移悬拼技术对钢桁梁节段进行吊装。中跨主梁节段在 4[#] 桥塔靠中跨侧拼装完成后,通过桥面吊机吊起至梁底,依靠安装在梁底的纵向移动运梁设备将主梁节段纵向运输到拼装位置。纵向运梁系统由轨道、吊杆、吊索、锚固装置、纵移机构、提升机构、操作平台等组成。

2 建立模型

桥面吊机的运梁轨道通过上下扁担梁固定在桁架下弦杆上,运梁轨道焊接在下扁担梁上,上下扁担梁之间通过吊杆连接,最大纵向间距为 1 700 mm,标准纵向间距为 1 200 mm。吊杆与移动设备纵移小车沿轨道梁纵向移动,一侧轨道梁上作用 8 组小车轮。轨道梁为 HW 工字型钢,上下扁担梁由 2 根槽钢组合而成,吊杆采用精轧螺纹钢。

利用建模软件 Revit 建立运梁轨道三维模型(见图 1),图 2 为运梁轨道断面。

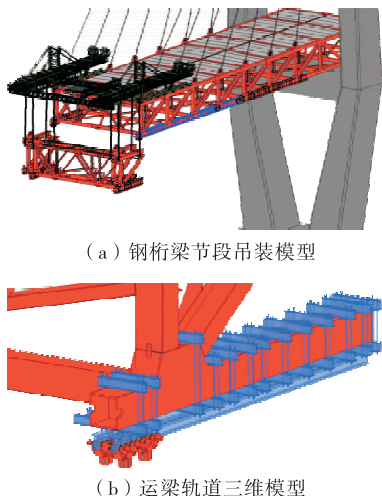


图 1 运梁轨道 BIM 三维模型

3 模型导入

将在 Revit 中建立的模型导出并保存为 SAT 数据格式文件,在 ABAQUS 中进行文件导入,选择部件导入 SAT 格式的运梁轨道实体模型。如图 3

所示,导入 ABAQUS 中的实体模型几何尺寸、模型位置及构件连接关系均正确。

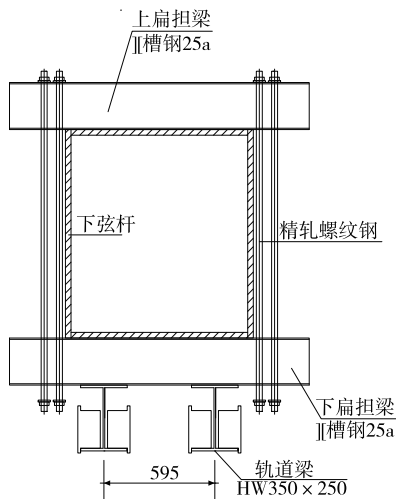


图 2 运梁轨道断面示意图(单位:mm)

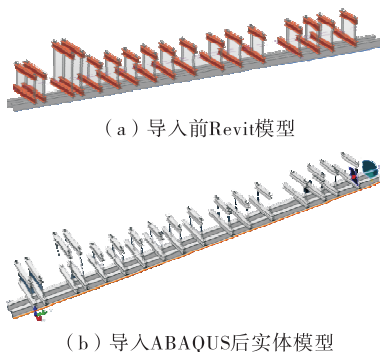


图 3 Revit 模型及导入 ABAQUS 后模型对比

4 仿真分析

4.1 参数确定

在有限元软件中,模型大小对仿真计算时间的影响极大。为简化模型,未对钢桁梁和纵移小车导入 ABAQUS 中,运梁轨道与钢桁梁接触的地方模拟为铰支约束,纵移小车转化为线荷载,将运梁轨道分为上扁担梁、下扁担梁和轨道梁三部分进行受力分析。

轨道梁截面形式为 HW350 \times 250 \times 9 \times 14 工字形截面,上下扁担梁分别采用 2 根[25 槽钢组合而成,均采用 Q345 钢材,吊杆采用 32 精轧螺纹钢,强度等级为 HRB335。钢材的弹性模量为 2.06×10^5 MPa,泊松比为 0.3,密度为 7.85×10^{-3} g/mm³。根据材料参数,在 ABAQUS 属性模块中对模型部件进行材料定义,截面类型设置为实体均质,指派截面,然后创建分析步。

4.2 荷载和边界条件

上扁担梁与下横梁接触部位设为铰接,将精轧螺纹钢与上扁担梁的相互作用转为集中力,取 55 kN。将精轧螺纹钢与下扁担梁接触的部位模拟为铰接约束,轨道梁与下扁担梁的相互作用转为集中力,大小为 110 kN(见图 4、图 5)。下扁担梁与轨道梁焊缝处的节点采用固结,轨道梁两端的节点采用对称约束(见图 6)。上、下扁担结构受力见图 7、图 8。选取轨道长度 2.4 m 进行仿真计算,扁担梁间距取最不利间距 1.8 m,小车轮组负重量取 50 t。偏安全考虑,动力系数取 1.15,模型中考虑轮载不均匀分布,分 5 种工况对其进行受力分析(见表 1)。这样既可保证结构分析模型与初始模型接近,又可简化网格划分、减少构件数量,进而大大提高计算速度、减少 ABAQUS 中的报错概率。

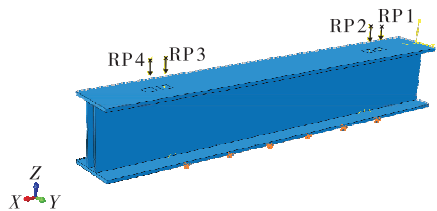


图 4 上扁担梁荷载图

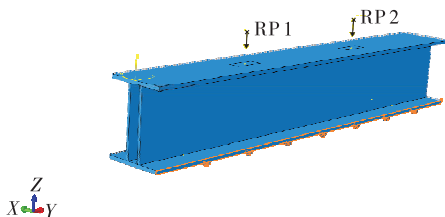


图 5 下扁担梁荷载图

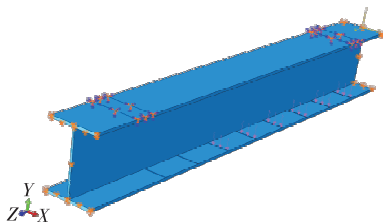


图 6 轨道梁荷载约束图

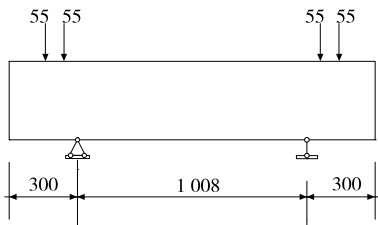


图 7 上扁担梁受力简图(单位:受力为 kN,其他为 mm)

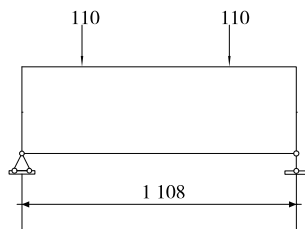


图 8 下扁担梁受力简图(单位:受力为 kN,其他为 mm)

表 1 轮载工况

工况编号	轮载比例
1	各轮载均匀分布
2	1.35 : 1.25 : 1.15 : 1.0 : 0.95 : 0.85 : 0.75 : 0.7
3	2 : 1.8 : 1.5 : 1.4 : 0.8 : 0.5 : 0 : 0
4	1.3 : 1.2 : 1.1 : 0.5 : 1.3 : 1.2 : 1.1 : 0.5
5	1.4 : 1.2 : 1.4 : 0.2 : 1.4 : 1.2 : 1.4 : 0.2

4.3 网格划分

在 ABAQUS 的网格模块,指派上扁担梁、下扁担梁、轨道梁三维实体模型的单元类型(C3D20),然后进行全局布种,指派网格属性,划分网格,得到六面体实体单元模型(见图 9~11)。

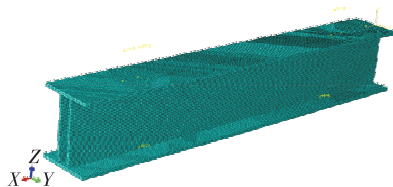


图 9 上扁担梁网格划分

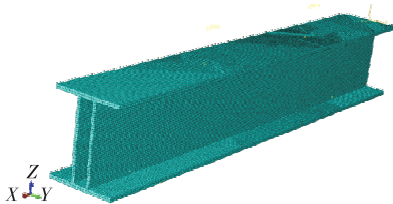


图 10 下扁担梁网格划分

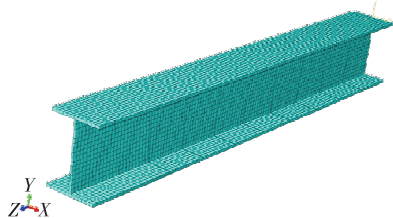


图 11 轨道梁网格划分

4.4 受力分析

在 ABAQUS 中进行仿真分析,上、下扁担梁分析结果见图 12~15。由图 12~15 可知:上、下扁担梁最大应力为 84.3 MPa,出现在上扁担梁与吊杆相

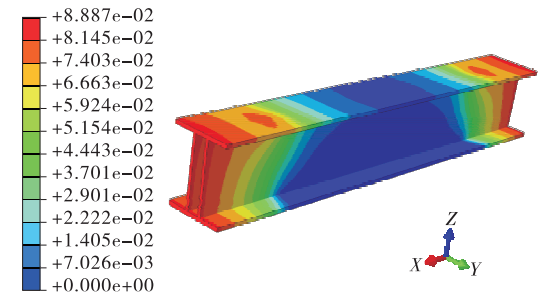


图 12 上扁担梁变形云图(单位:cm)

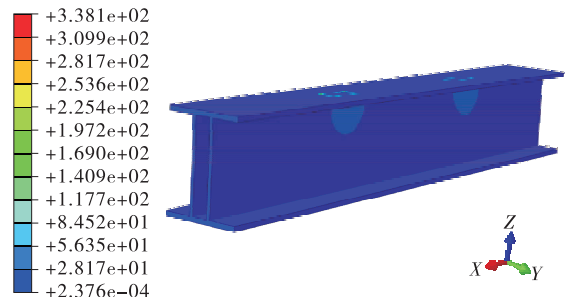


图 15 下扁担梁应力云图(单位:MPa)

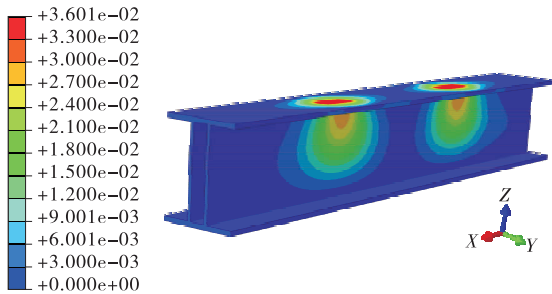


图 13 下扁担梁变形云图(单位:cm)

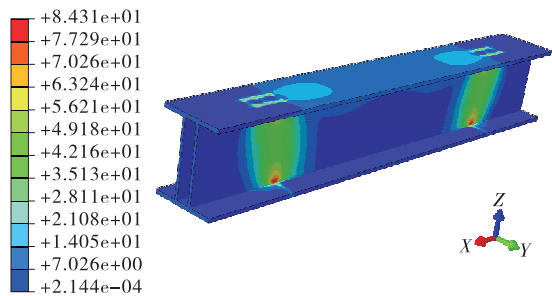


图 14 上扁担梁应力云图(单位:MPa)

接处,上翼缘与腹板结合处的最大等效应力为 57.78 MPa,应变较小,在安全范围内。

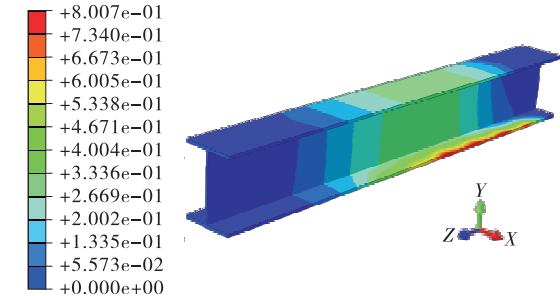
轨道梁各工况下分析结果见表 2。各工况荷载作用下,工字梁最大等效应力为 230.5 MPa,出现在下翼缘作用荷载底面中心处,扁担梁焊接处最大等效应力为 194.934 MPa,工字梁腹板与下翼缘结合处的最大等效应力为 216.471 MPa。工字梁最大节点位移 0.8 mm,出现在工况 3(见图 16)。根据第四强度理论,各工况荷载作用下轨道梁的应力在安全范围内,最大应力出现在下翼缘作用轮载处底面中心位置,扁担梁与工字梁焊接处最大等效应力与工字梁最大应力较接近;下扁担梁与工字梁连接处为薄弱部位,对焊缝质量要求高,需进行局部加强设计。

4.5 结果对比

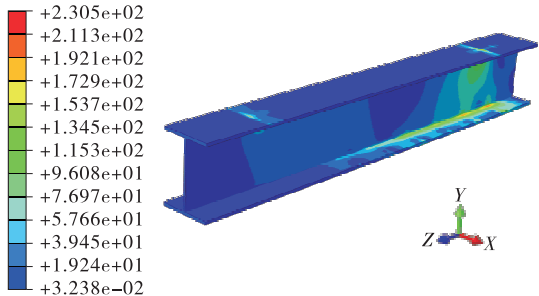
为评估转换模型计算结果的准确性,将转换模型计算结果与 ANSYS 模型计算结果进行对比。结果(见表 3)显示:2 种模型的最大等效应力及最大节

表 2 轨道梁最大等效应力

工况 编号	最大等效应力/ MPa	扁担梁焊接处最大 等效应力/MPa	工字梁腹板与下翼缘结合 处最大等效应力/MPa	下翼缘作用荷载处底面中心 位置最大等效应力/MPa	最大节点 位移/mm
1	159.7	159.700	100.813	137.617	0.697
2	166.2	166.200	143.570	154.387	0.668
3	230.5	194.934	216.471	230.500	0.800
4	160.8	160.564	135.308	160.800	0.769
5	169.5	166.154	144.113	169.500	0.795



(a) 轨道梁变形云图(单位:cm)



(b) 轨道梁应力云图(单位:MPa)

图 16 工况 3 下轨道梁应力应变云图

点位移出现的位置一致,计算结果偏差为 7.1%,偏差较小。

表 3 分析结果对比

建模方式	最大等效应力		最大节点位移/mm
	大小/MPa	出现位置	
ANSYS 建模	215.1	下翼缘作用荷载处底面中心位置	0.78
Revit 建模导入 ABAQUS	230.5	下翼缘作用荷载处底面中心位置	0.80

5 结语

在桥梁工程结构设计阶段,结构模型的受力分析是关键,其计算分析结果是绘制施工图的主要依据。实现该环节的 BIM 技术应用,对工程项目全过程数据信息共享、管理和传递具有重要作用。基于某桥梁工程运梁轨道 Revit 模型进行有限元分析,结果表明转换模型几何尺寸、空间位置及构件之间的连接关系准确,转换模型计算结果与 ANSYS 模型计算结果具有一致性。通过 Revit 导出 SAT 格式文件,实现 Revit 到 ABAQUS 的模型转换可行,可大大提升有限元软件的建模效率。将 BIM 建模软件和 ABAQUS 软件相结合,在建模和优化设计方面具有很大优势。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 曾翔,陆新征,许镇.基于 BIM 数据的建筑抗震弹性分析建模技术[J].计算机辅助工程,2014,23(4):5-11.
- [3] 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):40-46.

- [4] 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):122-127.
- [5] 李犁.基于 BIM 技术建筑协同平台的初步研究[D].上海:上海交通大学,2012.
- [6] 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.
- [7] 吕凯垣,徐俊.基于 IFC4x1 的桥梁信息模型转换研究[J].土木建筑工程信息技术,2019,11(2):95-100.
- [8] 袁明伟.基于 BIM 技术的结构设计方法研究[D].锦州:辽宁工业大学,2017.
- [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] 封大为.BIM 模型与力学结构分析接口开发研究[D].西安:长安大学,2019.
- [11] 丁晓宇.基于 Revit 二次曲面参数化设计的研究[D].大连:大连理工大学,2016.
- [12] 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+81.
- [13] 乔保娟,邓正贤,张洪磊.PKPM 与 Revit 接口软件中若干问题探讨[J].土木建筑工程信息技术,2014,6(1):113-117.
- [14] 刘照球,张吉.结构分析 BIM 模型框架和数据转换应用[J].工业建筑,2015,45(2):178-183.
- [15] 董卯,郭乃胜,王楠,等.基于 Revit 与 MIDAS/CIVIL 的桥梁结构模型转换方法[J].大连海事大学学报,2020,46(3):101-108.
- [16] 蓝天宇.BIM 技术在建筑工程结构设计阶段的应用研究[D].南昌:华东交通大学,2019.

收稿日期:2020-12-29

(上接第 127 页)

- RC beam strengthened with FRP[J].Journal of Engineering Mechanics,2014,140(6):682-694.
- [7] 刘锋.FRP 加固具裂纹 RC 梁的动力学特性及疲劳分析[D].长沙:长沙理工大学,2013.
 - [8] ROBERTO Capozucca.A reflection on the application of vibration tests for the assessment of cracking in PRC/RC beams[J].Engineering Structures,2013,48:508-518.
 - [9] CHRISTIDES S,BARR A D S.One-dimensional theory

- of cracked Bernoulli-Euler beams[J].International Journal of Mechanical Sciences,1984,26(11-12):639-648.
- [10] SHENM H H,PIERRE C.Free vibrations of beams with a single-edge crack[J].Journal of Sound and Vibration,1994,170(2):237-259.
 - [11] 毛铮.悬臂浇筑连续箱梁病害分析及加固对策研究[J].公路与汽运,2018(4):130-133.
 - [12] 杨杰平.某现浇连续箱梁桥裂缝原因及加固技术分析[J].公路与汽运,2020(1):118-120.

收稿日期:2020-12-04