

基于 BIM 建筑结构设计模型集成框架应用开发

刘照球¹, 李云贵², 吕西林¹, 张汉义²

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 中国建筑科学研究院, 北京 100013)

摘要: 分析建筑信息模型的信息集成过程和特征以及建筑结构设计模型基本对象表达的复杂性和模型数据积累的反复性, 构建一种主要涵盖建筑和结构设计阶段的信息模型集成框架体系. 该体系具有可扩展性、兼容性、阶段性等特点, 通过开发的模型转换平台可以初步实现建筑、结构模型信息的集成, 为研发基于建筑信息模型技术的下一代集成建筑工程软件系统提供技术支持.

关键词: 建筑信息模型技术; 建筑模型; 结构模型; 信息集成框架

中图分类号: TU 311.41

文献标识码: A

BIM-Based Integrated Information Framework for Architectural and Structural Design Model

LIU Zhaoqiu¹, LI Yungui², LU Xilin¹, ZHANG Hanyi²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: An analysis was made of the integrated process and characteristics of building information modeling (BIM) data model. The complexity of the modeling and repetitiveness of the information conversion owing to different disciplines were illustrated by various representation of building components. Based on the research, an integrated framework system, namely architectural and structural information model (ASIM), was presented for facilitating collaborative design between architects and structural engineers. The ASIM system is capable of transforming data information from architectural model to structural model by developing an information conversion platform, and has the expansibility, compatibility, phase and other characteristics. The system provides some technical supports for development of the next generation building software based on BIM.

Key words: BIM technology; architectural model; structural

model; integrated information framework

建筑信息模型 BIM (building information modeling) 技术是对建筑物理和功能特征的数字式表达, 从建筑物诞生开始, 为建筑物整个生命周期提供可信赖的信息共享知识资源^[1]. BIM 的理念是建立涵盖工程全生命周期的信息库, 实现各个阶段、不同专业之间的信息集成和共享^[2]. 但由于涉及领域面广, 信息建模和模型维护时间跨度长, 导致信息数据多而杂, 且不同阶段不同专业对于数据信息的需求也不同, 现有的技术很难实现整体建模的一步到位. 因此, 分阶段建立基于 BIM 的信息子模型较为合理, 也有助于解决信息集成过程中的关键技术^[3].

随着工程信息交换标准 IFC (industry foundation classes) 和 BIM 技术在土木工程领域应用的推广和普及, 有关工程生命周期设计信息集成技术的研究已经越来越多^[4]. 比如, 支持协同工作的计算机集成建造 CIC 系统^[5], 用于提高建筑业信息交流的分布式虚拟空间 DIVERCITY 项目^[6], 基于 Web 的 IFC 项目数据共享环境 WISPER^[7] 系统, 基于 IFC 标准的集成设计信息管理 DIMS 体系^[8], 共享计算机辅助结构设计模型 SCASD 框架^[9] 等. 由于建筑和结构两个设计阶段是工程整个设计过程的中心, 如何实现建筑和结构专业信息的有效集成, 已经成为工程设计模型集成框架开发的核心问题. 国内这方面的研究比较少, 上海交通大学邓雪原等曾提出一种从 IFC 建筑模型自动提取信息生成 ETABS 和 SAR2000 结构模型的基本框架^[10], 清华大学张建平、胡振中等提出一种将建筑设计、结构设计以及施工管理统一的基于 4D 的施工安全信息模型, 可以用

收稿日期: 2009-08-03

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点资助项目(2006BAJ01B01-01)

作者简介: 刘照球(1974—), 男, 博士生, 主要研究方向为工程抗震与防灾、信息技术在工程中的应用. E-mail: liuzhaoqiu88@sina.com

李云贵(1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为信息技术在土木工程领域的应用.

E-mail: liyungui@china.com

吕西林(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为工程结构抗震与防灾. E-mail: lxlst@tongji.edu.cn

于施工期间建筑结构安全分析研究^[11-12]. 笔者构建的基于 BIM 的建筑结构设计模型集成框架是在国内应用广泛的 PKPM 系列软件平台下,通过建筑模型信息与结构模型信息的转换,首先实现建筑和结构设计信息的集成和共享.其中,转换的建筑模型是基于 IFC 格式,结构模型是基于 PKPM 中的 PMCAD 格式.

1 BIM 信息集成过程和特征

BIM 的信息集成的最终要求是涵盖建筑全生命周期所有数据信息.但数据信息的积累是和工程项目建设的不同过程紧密相连的,从工程勘察设计开始到产品运营管理,直至建筑报废,是一个漫长的过程.每个过程都会产生相应的数据信息,随着过程的推进,数据信息也在不断积累,保持螺旋式上升,最终形成全信息模型,如图 1 所示^[13].

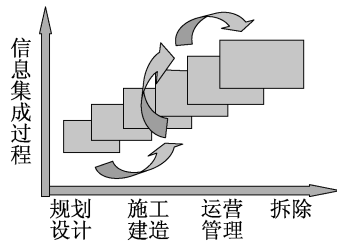


图 1 BIM 信息集成过程

Fig.1 Information integrated process of BIM

为了形象地说明 BIM 信息集成的特征,用图 2 对传统的工程生产过程和集成生产过程进行比较^[14].图 2a 为传统的工程生产过程,各个阶段和参与专业的工作并不是并行的,最先参与的是开发商和政府审查部门,咨询、规划以及设计紧接其后,工程承包公司则在工程的施工方案确定以后方才参与.这种过程的特点是各阶段比较分散,过程断层明显.后续阶段的被动参与不仅不利于对工程早期设计阶段的理解和管理,也不利于解决后续施工过程中的问题,且问题解决越晚,造成的附加成本越高.

图 2b 为基于 BIM 的工程集成生产过程.集成生产可以使各专业工种更早地参与工程的设计活动,进行较早的并行工作.比如,在方案评定阶段,规划设计公司、工程承包公司等后续专业工作过程的前移,有利于协调各方的矛盾在早期阶段解决,对于工程项目的平滑设计和建造,减少非必要的资金浪费,具有极重要的意义.由于各参与专业之间不存在明显的过程断层,信息的交流也较传统技术更流畅.

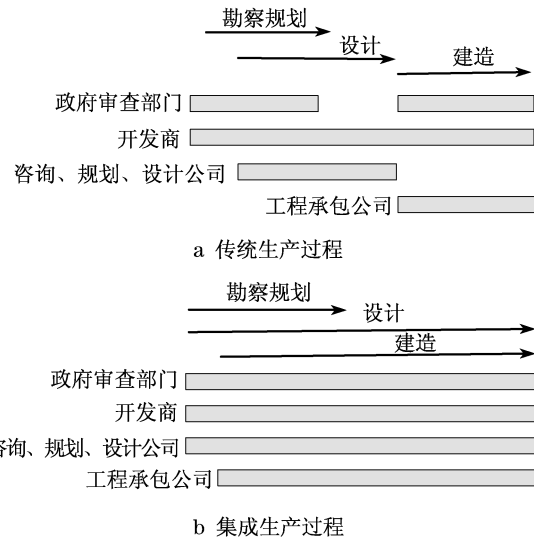


图 2 传统、集成生产过程对比

Fig.2 A comparison between traditional construction process and the integrated construction process

2 建筑结构模型的复杂性

2.1 基本对象表达的区别

由于专业不同,建筑模型和结构模型对同一建筑对象的信息表达侧重点也有区别.建筑模型着重于表达建筑产品的各个基本对象(墙、柱、梁、板等)的空间拓扑关系、空间分配关系、外观真实表现等;结构模型侧重于从力学角度对建筑产品和建筑对象以及各对象之间的连接关系进行分析和计算,以便确定基本对象以及整个建筑的承载能力.

图 3 为开有门和窗的一段墙体,对于建筑模型来说,需要表达的信息有:①门或窗的宽度、高度、类型等信息;②墙的类型、宽度、高度、长度、面积、开洞

建筑信息				
对象	信息			
门	类型	面积	宽	高
窗	类型	面积	宽	高
墙	类型	面积	长	高
	洞口数量	洞口面积	高	厚度

结构信息				
基本对象		信息		
截面属性	材料	高	宽	受力特性
钢筋布置	水平分布筋	型号	间距	数量
	竖向受力筋	型号	间距	数量
梁	类型	位置	数量	受力特性

图 3 基本对象信息的不同表达

Fig.3 Different representation of design components

的数量、洞口面积等.对于结构模型来说,需要表达的信息有墙截面的高度和宽度、墙材料类型、受力钢筋和分布钢筋的数量,墙梁布置方式、施工方法等.从这个实例可见,由于专业不同,所关注的信息也不同^[8].

还如,对于建筑对象之间节点信息的表达,比如图4的梁柱节点和梁板节点,在建筑模型中,梁和柱、板和梁是分开表达的不同对象,只是组合在一起而已,组合的方法等信息不重要;而在结构模型中,梁柱节点、梁板节点被视为共同承受不同方向荷载的协同工作区,从而是一个整体单元^[13,15].

尽管建筑模型和结构模型之间在信息表达上存在一定的差异,但结构模型的形成却是建立在建筑模型基础之上、从建筑模型演化而来的计算模型.通过集成建筑模型中的结构信息,使得结构设计师可以随时访问这些数据,从而形成结构分析模型.

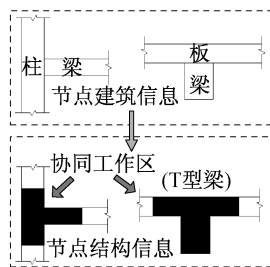


图4 节点信息的不同表达

Fig.4 Different representation of nodes information

2.2 模型数据构建的反复

图5表示各个设计阶段的数据信息的传输和流动^[16].建筑模型居于顶端的支配地位,由其产生的数据信息分别被结构设计、节能设计、水暖电等其他

设计所继承和提取;然后,节能设计、水暖电等其它设计阶段又继承和提取结构模型产生的数据信息,对建筑进行二次建模设计.整个建筑工程的设计过程就是这样反反复复,直至达到设计要求.

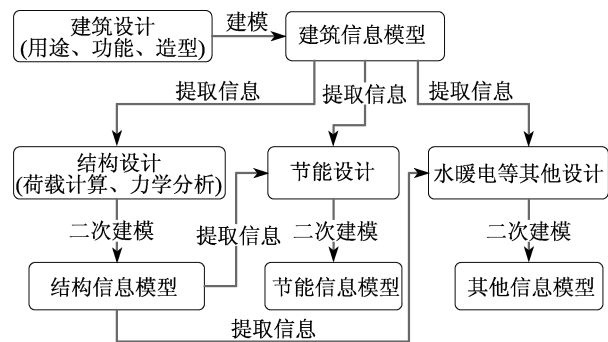


图5 模型数据传输的反复

Fig.5 Repeated transmission of data model

3 建筑结构信息模型 ASIM 集成框架

3.1 ASIM 上层模型流程设计

图6对建筑结构信息模型 ASIM (architectural and structural information model) 上层模型(建筑和结构)建模流程进行了设计.通过基于 DXF 的建筑设计软件(比如 AutoCAD),或基于 BIM 的建筑设计软件(比如 Auto-desk 的 Revit, Bentley 的 Archirecture, Graphisoft 的 ArchiCAD 等),对建筑产品进行设计,并基于 IFC 标准数据模型格式表达建筑对象,不仅包含基本的绘图信息,还应包含建筑对象的材料、造价等方面的信息,形成完整的建筑产品数据模型.

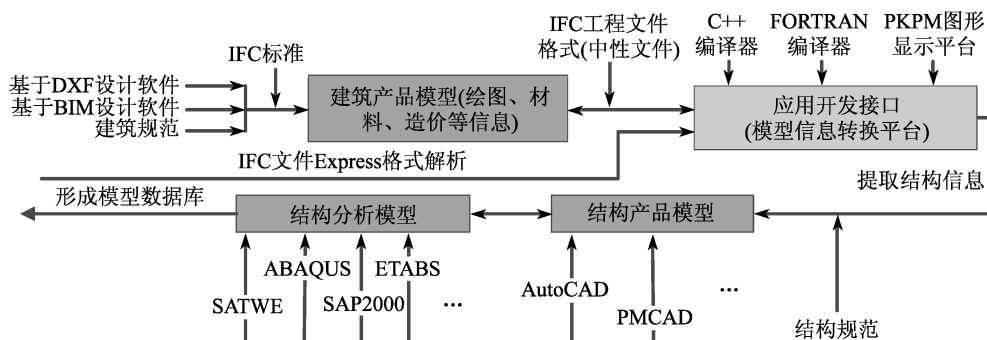


图6 建筑和结构建模流程

Fig.6 Flow of architectural and structural modeling

应用开发接口(模型信息转换平台)为模型转换的中间环节,通过程序语言(C++ 或 FORTRAN)解析 IFC 标准的 EXPRESS 语言表达类,提取建筑基本

对象(构件)信息以及对象之间拓扑关系信息,在 PKPM 图形显示平台 CFG 上显示提取的建筑对象,并形成结构模型;根据相关的结构设计软件(比如

AutoCAD 或 PMCAD)对提取的模型进行修改和荷载布置,并使用相关的结构分析软件(SATWE, ABAQUS, SAP2000, ETABS 等)在遵循结构规范的基础上对结构模型进行分析、计算等设计工作;后续模型数据库用于存储、更新和管理建筑结构设计阶段的数据信息,并为下游的工作提取和利用.建筑产品模型和结构分析模型之间的联系通道是双向的,表明其间的工作是反复的和不断更新的.

3.2 ASIM 集成框架

结合上述建筑结构设计流程特点,对建筑结构设计信息模型 ASIM 集成框架体系进行构建,如图 7 所

示.纵向代表不同的设计阶段,横向代表不同的体系.设计阶段主要分为建筑阶段、结构阶段、节能阶段以及其他设计阶段;体系主要有应用体系、模型体系、转换体系、数据库体系等四个层次,其中,应用体系为设计者使用相关软件的操作层,建筑设计阶段所形成的建筑模型和数据库为体系的顶端资源,通过转换平台提取的建筑基本对象数据是其他工作阶段的信息模型基础.图中的箭头示意整个体系运转的过程,各体系随着工作阶段的发展,信息不断积累,且相互继承,最终形成 BIM 设计阶段子信息模型.

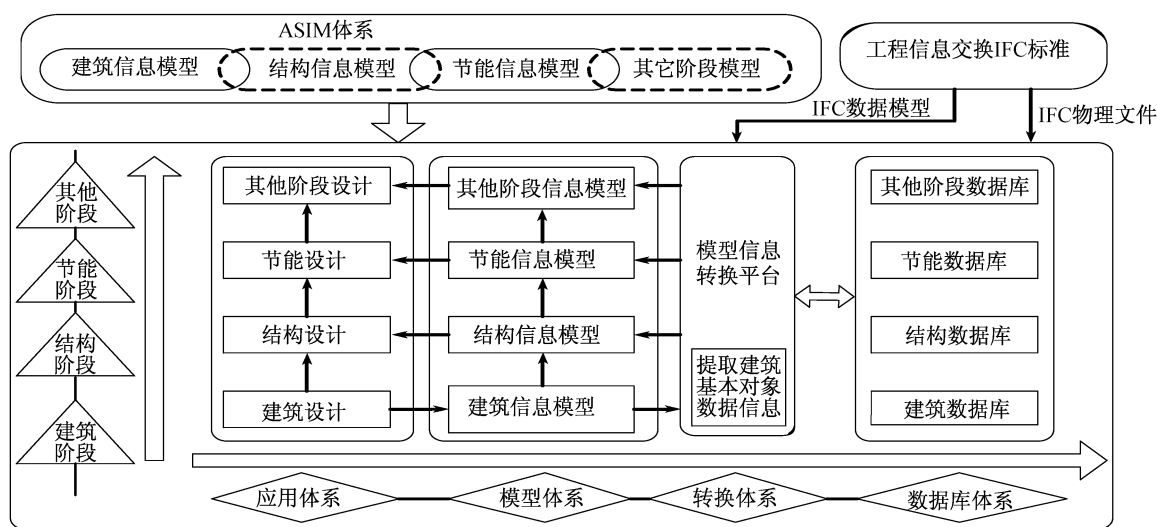


图 7 ASIM 集成框架体系

Fig.7 Integrated framework system of ASIM

ASIM 是主要面向建筑设计和结构设计过程的 BIM 信息子模型,除了继承一般 BIM 信息模型的特点,诸如建筑对象的参数化表达、建筑对象之间的关联性、信息转换的一致性,还具有阶段性、可扩展性、兼容性三个特征.阶段性是指目前的功能仅可以实现建筑和结构设计阶段的信息集成,未来的扩展将包含节能、设备等其他设计阶段;可扩展性指通过模型信息转换平台提取形成 PMCAD 格式结构模型,并形成底层建筑基本数据信息,其他下游设计专业在 PKPM 平台下可以提取所需信息,形成各自专业的数据模型(图 7 箭头方向),不再重复开发或构建与 IFC 格式建筑模型连接的单独通道,并通过信息的不断积累,整个 ASIM 框架可以扩展为覆盖范围更广、涉及阶段更长的基于 BIM 技术的信息子模型;兼容性是指 ASIM 的建立可以在建筑生命周期多个阶段被应用和扩展,比如,其建立的建筑基本对象(构件)数据信息不仅包含对象的

几何信息,也包含对象之间的空间几何拓扑关系、造价和材料信息等,可以为建筑节能设计、施工管理、运营维护各阶段提取和应用.也就是说,基于 ASIM 框架的各阶段子模型可以兼容并用.

4 ASIM 信息转换平台

4.1 转换平台开发流程

在 ASIM 集成框架体系中,模型信息转换平台对于整个体系的顺利运转起着重要的作用.模型信息转换平台(或称为数据信息应用开发接口)通过对建筑模型的底层建筑基本对象(梁、柱、板、墙、洞等)及其关系属性信息的提取和映射,为其他过程模型的发展构建了底层数据信息.因此,开发一个高效的信息转换平台或软件接口,对于 ASIM 各过程顺利的运转起着决定性的作用.

图 8 为模型信息转换平台的开发流程.转换平

台的开发思路是在 Visual C++ 环境下,创建与 IFC 标准最新版本 EXPRESS 实体类相一致的包含结构荷载描述的 100 多个 C++ 类,并为每一个类编写 Add()函数、转换功能函数、Construct()函数等;在 Visual Fortran 环境下,编写 main()主函数,实现转换平台主程序的执行功能^[17]. Add()函数作用是将 IFC 文件中的实例读入到内存,并将 IFC 文件数据流中的字符解析为类所能理解的临时参数. Construct()函数则是按照临时参数的索引,提取内存中与对象相对应的地址,并分别赋予属性值.

4.2 模型信息转换实例

当前的模型信息转换平台是结合国内结构分析软件 PKPM 系列的 PMCAD 结构建模软件开发的,

初步目标是实现 IFC 标准建筑模型与 PMCAD 结构模型的信息转换. 具体来说,可以实现两方面信息的转换:一是读入 IFC 数据信息,形成 PMCAD 结构分析模型;二是读出 PMCAD 的数据信息,形成 IFC 格式的工程文件. 由于 IFC 数据模型描述的复杂性,其中第一方面信息的转换为平台开发的重点,主要分为四个过程:① 识别并读取 IFC 格式文件中梁、柱、斜杆、板、墙等基本对象信息以及墙上门、窗等洞口的几何信息、三维空间位置坐标信息、材料信息等;② 判断梁、柱、斜杆、板、墙以及墙上的门窗等洞口楼层所属关系的信息;③ 分析并判断梁、柱、斜杆、板、墙以及墙上的门窗等洞口的连接关系;④ 对象之间的相交分析和节点归并简化处理.

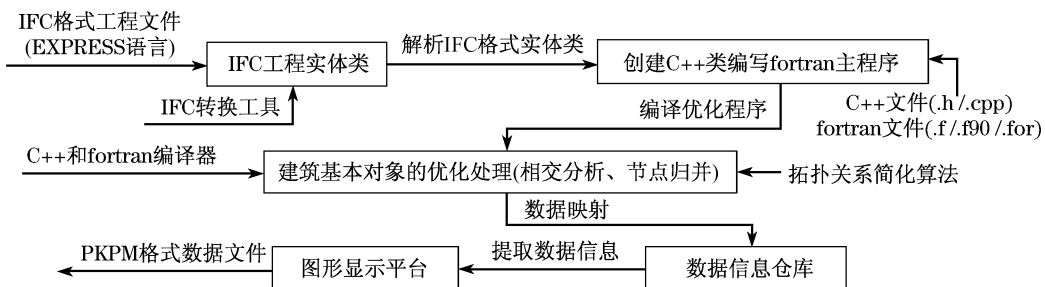


图 8 模型信息转换平台开发流程

Fig.8 Developing process of information conversion platform

图 9 为由 IFC 标准官方网站提供的 IFC Engine Viewer 软件打开的 IFC 格式的一栋小型结构建筑模型^[18],图 10 为由笔者开发的模型信息转换平台所提取的这栋小型建筑的结构信息模型. 当前的转换平台可以顺利提取规则建筑的梁、柱、板、墙、斜撑、洞口等基本对象(构件)的几何信息、材料信息、截面信息、对象之间关系属性信息,为结构设计阶段提供基本的数据信息,未涉及荷载、不规则构件等信息的转换.

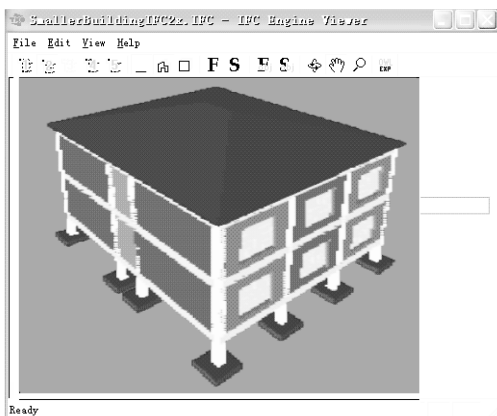


图 9 IFC 格式建筑模型

Fig.9 IFC-format architectural model

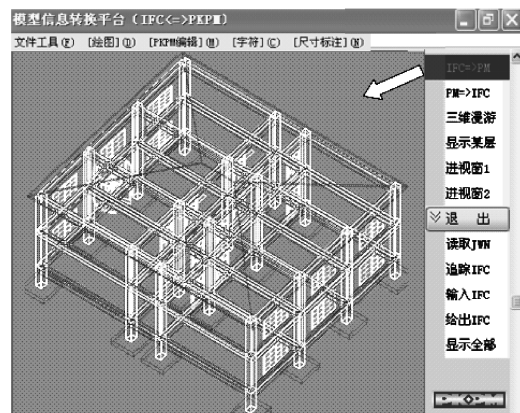


图 10 提取的结构模型

Fig.10 An extracted structural model

5 结语

通过分析建筑信息模型 BIM 技术的信息集成过程和特征,构建了一种面向工程设计阶段的建筑结构信息模型 ASIM 体系. 分别对 ASIM 体系的运转流程和上层模型(建筑和结构)建模流程进行设计,通过开发的基于 ASIM 模型信息转换平台,转换建筑结构设计模型,验证了该体系的适用性,可以为基

于 BIM 的协同设计和集成建筑工程软件的开发提供技术支持。

参考文献:

- [1] Smith Deke. An introduction to building information modeling [J]. Journal of Building Information Modeling, 2007, 1(1): 12.
- [2] 刘照球, 李云贵. 建筑信息模型的发展及其在设计中的应用 [J]. 建筑科学, 2009, 25(1): 96.
LIU Zhaoqiu, LI Yungui. The development of BIM and its application in design of project [J]. Building Science, 2009, 25(1): 96.
- [3] 张建平, 张洋, 张新. 基于 IFC 的 BIM 及其数据集成平台研究 [C/CD] // 唐锦春. 第十四届全国工程设计计算机应用学术会议论文集. 北京: 中国建材工业出版社, 2008: 227 - 232.
ZHANG Jianping, ZHANG Yang, ZHANG Xin. Study on BIM and its data integrated platform based on IFC [C/CD] // TANG Jinchun. The 14th national conference for computer application in engineering design field. Beijing: China Building Material Industry Publishing House, 2008: 227 - 232.
- [4] LI Yungui, LIU Zhaoqiu, QIU Kuining. Studies on IFC standard and its application in China [C/CD] // World Engineering Convention 2008. Brasilia: [s. n.], 2008: 434 - 443.
- [5] Yusuf Arayici, Vian Ahmed, Ghassan Aouad. A requirements engineering framework for integrated systems development for the construction industry [J]. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 2006, 11(3): 35.
- [6] Arayici Y, Aouad G. Diversity: distributed virtual workspace for enhancing communication and collaboration within the construction industry [C/CD] // European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Construction Industry (ECPPI). Istanbul: [s. n.], 2004: 415 - 422.
- [7] Faraj I, Alsh M, Aouad G, et al. An industry foundation classes web-based collaborative construction computer environment: WISPER [J]. Automation in Construction, 2000, 10, (1): 79.
- [8] 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.
- [9] Serror M, Hassaniien, Inoue Junya, Adachi Yoshinobu, et al. Shared computer-aided structural design model for construction industry (infrastructure) [J]. Computer-aided Design, 2008, 40(7): 778.
- [10] 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.
- [11] 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(增刊 II): 204.
ZHANG Jianping, HU Zhenzhong. 4D technology-based safety analysis of structure during construction [J]. Engineering Mechanics, 2008, 25(Sup. II): 204.
- [12] HU Zhenzhong, ZHANG Jianping, DENG Ziyin. Construction process simulation and safety analysis based on building information model and 4D technology [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(S1): 266.
- [13] Weise Matthias, Katranuschkov Peter, Liebich Thomas, et al. Structural analysis extension of the IFC modeling framework [J]. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 2003, 8, (14): 181.
- [14] AIA/AIA CC. Integrated project delivery: a guide (Version 1) [R]. Sacramento: AIA National/AIA California Council, 2007: 20.
- [15] 刘照球, 李云贵. 建筑结构信息模型的研究 [C/CD] // 唐锦春. 第十四届全国工程设计计算机应用学术会议论文集. 北京: 中国建材工业出版社, 2008: 219 - 226.
LIU Zhaoqiu, LI Yungui. Study on architectural and structural information model [C/CD] // The fourteenth national conference for computer application in engineering design field (Hangzhou, China). Beijing: China Building Material Industry Publishing House, 2008: 219 - 226.
- [16] 周玉石. 结构设计的虚拟原型技术与应用研究 [D]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2007.
ZHOU Yushi. The virtual prototyping on building structure design and its application [D]. Shanghai: Tongji University, College of Civil Engineering, 2007.
- [17] 刘照球, 李云贵, 吕西林, 等. 建筑结构信息集成的程序实现 [J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2009, 25(3): 467.
LIU Zhaoqiu, LI Yungui, LU Xilin, et al. Program realization for integrated information in architectural and structural design field [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2009, 25(3): 467.
- [18] Miedema Henk, Schmidt Dick, Bracht Mart Van, et al. IFC engine viewer [EB/OL] // TNO Built Environment and Geosciences, the Netherlands. [2009 - 09 - 10]. <http://www.ifcbrowser.com/>