

基于 BIM 技术的钢结构厂房设计软件

常治国¹ 杨晖柱¹ 张其林² 满廷磊² 王 轩² 张敏千²

(1. 上海同磊土木工程技术有限公司, 上海 200092; 2. 同济大学土木工程学院, 上海 200092)

【摘要】 研制了基于 BIM (Building Information Modeling) 技术的钢结构工业厂房 CAD/CAM 软件系统。系统划分为结构计算和实体后处理等两大模块, 有效地降低了软件开发的复杂度。基于面向对象的编程原理, 抽象出描述实际结构零件几何信息、结构特征和设计条件的智能对象; 定义了 C++ 类的层次数据结构和逻辑联系并存储在 AutoCAD 图形数据库中形成三维模型; 研究了参数化快捷建模、内力分析、构件验算、三维实体建模、节点设计以及二维图纸绘制等关键功能; 实现了 IFC 接口, 以及与 SAP 和 MIDAS 等软件的接口。

【关键词】 钢结构工业厂房; CAD; 建筑信息模型; ObjectARX; IFC

【中图分类号】 TU391; TU27 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-7461(2013)03-0008-06

1 前言

在主要依靠二维图纸文件交换信息的传统设计方式下, 工程师需要在每个设计阶段针对不同的软件建立一个单独的模型。因此, 他们的大部分时间都用在建立和修改模型这一劳动强度大且极易出错的工作上。另外, 考虑到工业厂房的细部构造十分复杂、平面图纸难以表现其复杂的空间位置关系和节点细部构造, 这种设计方式必然会造成部分信息的丢失。

为了提高钢结构工业厂房设计工作的准确性、提高工作效率, 研制了基于 BIM 的钢结构工业厂房 CAD/CAM 集成软件系统。如图 1 所示。建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 通过数字化技术对建筑物全生命周期的所有信息进行仿真模拟^[1]。BIM 作为一种信息集成技术, 以三维信息化模型为载体, 集成了钢结构设计、加工制作和安装各阶段分散的数据, 实现了完整的传递信息。由于 BIM 数据库集成了各种工程信息, 因此基于 BIM 技术软件有能力支持进行各种复杂的评价和分析。

系统划分为界面清晰明确但彼此又能无缝连接的两大模块: 结构计算模块和实体后处理模块。其中, 结构计算模块包括快捷建模、定义荷载、力学

分析、设计验算以及计算书输出等功能; 实体后处理模块包括建立实体模型、节点设计验算、节点实体拼装和绘制施工图等功能。系统还实现了工业基础类 (Industry Foundation Classes, IFC) 接口, 以及与 SAP、ETABS 和 MIDAS 等软件的接口。这种清晰划分功能模块的系统结构能有效地降低软件开发的复杂度。

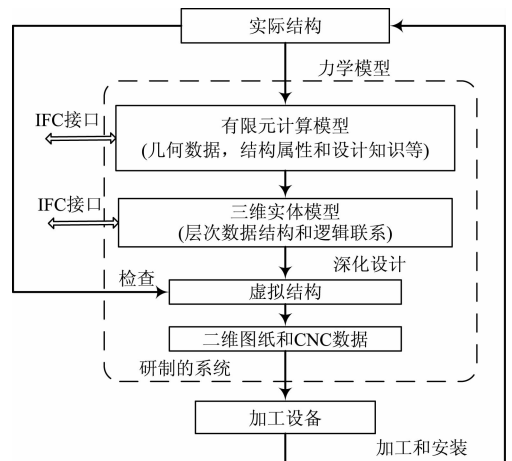


图 1 钢结构工业厂房 CAD/CAM 集成软件系统

系统研制的主要技术难点包括: 1) 定义描述实际结构的层次数据结构; 2) 结合钢结构工业厂房的结构特点, 实现参数化快捷建模、刚架内力分析与

【基金项目】 上海市优秀学科带头人计划项目: 基于 BIM 的土木结构设计建造管理信息化集成系统 (11XD1404900)

【作者简介】 常治国 (1977 -), 男, 博士。主要研究方向: 钢和新型结构设计理论和 CAD 软件研制。

构件验算、三维实体建造、节点设计与编辑和二维图纸绘制等功能的关键算法;3)实现 IFC 接口以及与其他常用软件的数据接口。

2 系统结构

钢结构 BIM 的技术核心是一个由计算机三维模型所形成的数据库^[2-4]。系统采用 Visual C++ 语言运用 AutoCAD 的 ObjectARX 接口对其进行二次开发^[5],以利用 AutoCAD 数据库来帮助存储和管理钢结构智能对象。ObjectARX 的最大特点是面向对象技术的广泛应用,可将实际结构的对象及其复杂的空间和逻辑关系描述为一系列具有钢结构工程属性,派生于它的基础类的智能对象,并将对象以及对象之间的层次关系和逻辑联系存储在 AutoCAD 图形数据库中。这些自定义类与 AutoCAD 自身的类基本处于同一级别,可以十分方便地进行数据库操作。

对应于系统的两大模块,分别建立了计算模型和实体模型的数据结构并实现两者之间的无缝连接。前者是用于钢结构有限元分析、结构设计、规范校核的模型数据库,其中必要的信息为有限单元编号信息、节点编号信息、约束信息以及荷载信息等;后者是智能化、自动化数字建造“所见即所得”的钢结构 BIM 实体模型数据库,是三维可视化几何信息的载体。系统除支持由计算模型转化为实体

模型之外,也支持根据实际结构建立实体模型。

2.1 类的层次关系

三维可视化信息是钢结构 BIM 的重要信息,它切合了数字化建造钢结构结构骨架的思想。它也是钢结构结构工程各个阶段各种相关工程信息的载体,集成了与该结构图形元素相关的分析信息、设计验算信息、施工图信息以及制造信息等钢结构各个阶段的工程信息。

从面向对象的角度来看,一些特性和功能相似的实际结构对象可用一个抽象类型的实例表示。例如,同一根实际结构的梁,在结构计算模块中用于描述有限元计算中的线单元,主要存储节点号、截面、荷载和约束条件等计算信息,以及按规范验算的相关信息;而在实体后处理模块中则用于描述为杆形实体,并存储端点、截面和材质等加工属性,以及节点设计相关的截面内力和约束条件等属性。由此可见,结构计算模块和实体后处理模块中存在方法和属性相近的类,它们实际上是在不同的抽象水平上对同一实际结构进行描述。

如果分别独立设计两个模块的数据结构,而接口部分采用的直接数据传递,那么模块之间很多相同或相似的功能代码将无法复用,而且,任何一个模块的数据结构改变都需要调整接口部分,因而软件的可复用性和扩展性会比较差。

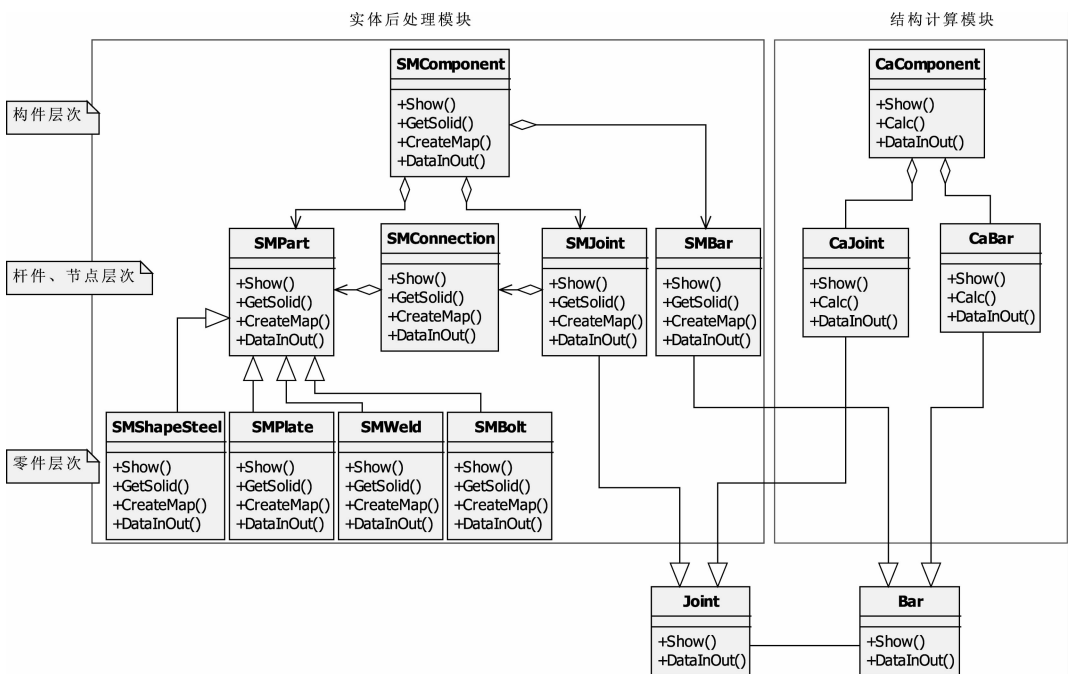


图2 类的泛化和聚合关系

如图2所示,系统的两大模块均从统一的基类出发,通过泛化和聚合,构造了两套符合自身用途并明确划分的体系。其中,杆件基类(class Bar)表示是在空间具有一定长度的型钢。杆件的空间定位是杆件模型建造的基础,通常用三个互相垂直的轴来表示:1轴是杆件的长度方向,由两个端点确定,2轴由方位点K确定,3轴由1、2轴根据右手定律确定。方位点K的位置确定了杆件在空间坐标系中的摆放位置。节点基类(class Joint)记录节点的空间坐标和与杆件的连接关系等信息。用于实体模型的节点派生类SMJoint则为包含若干基本连接SMConnection,例如:一个H形截面梁和H形截面柱的节点分为三个基本连接:上下翼缘的焊接连接和腹板的螺栓连接,这些连接组成了一个整体节点。而基本连接由一些零件SMPart构成。

图2中的类的层次关系可分为构件水平,杆件或节点水平和零件水平三个水平。其中,结构计算模块只包括构件水平,杆件或节点水平两个层次。这些类通过包含一些专有的方法和属性,实现了基于BIM的分析信息、三维可视化信息、以及制造信息的集成。这种类的体系设计有很多优点:一方面,模块之间很多相同或相似的功能代码能够最大限度的复用;另一方面,软件结构设计的层次也十分清晰,便于项目组织管理。

2.2 对象之间的逻辑联系

系统根据实际结构的对象层次和逻辑联系建立模型,因而对象之间有复杂的泛化、聚合和关联等逻辑联系。建立、保存并在操作中始终保持对象间的逻辑联系是系统结构设计的重要内容之一。例如,檩条搁置在某刚架的梁上,并设置隅撑。隅撑通过节点分别檩条和刚架梁联系。檩条、刚架、梁和隅撑之间就建立了比较复杂依赖关系、从属关系和相关关系等逻辑联系。模型编辑时需要维护这种逻辑联系:比如,当删除刚架梁时,相关的檩条和隅撑应能自动删除;当删除节点实体时,与之相连的杆件实体的也能智能化恢复到设计前的状态,而不是由工程师手工重新建模。

这种对象之间的逻辑联系为系统编辑、查询和管理结构信息带来很大的便利。例如,一个板件通过一条焊缝焊接在杆件的端部作为封口板。在绘制板件加工图时,可以根据板件与焊缝之间的联系,方便的查询到焊缝的详细信息,完成板件坡口

等信息的标注。

2.3 接口数据接口

系统由结构计算模块和实体后处理模块组成,但它们的类的体系都派生于统一的基础类,所以只需要针对统一的基类设计接口。如图3所示,系统对外接口为单一的“3D3S统一模型数据库接口”。该接口按照钢结构分析设计一体化软件3D3S的数据格式读写文件完成数据交换,实现了IFC接口,并实现了与ANSYS、SAP、MIDAS等通用有限元软件的数据接口与分析信息共享。在数据接口时系统也充分利用了上述面向对象的系统架构的优点。

系统利用TNO公司的免费开发工具包IFC Engine DLL作为读写引擎进行BIM数据解析。为了更加灵活的利用IFC软件包,系统增加了一个IFC适配器层,对3D3S数据结构所支持的IFC数据进行了包装。IFC适配器的数据结构与系统本身的架构相似,这与IFC数据结构强调层次关系和逻辑联系的要求是一致的。另外,将来采用新的IFC读写引擎时只需要调整适配器即可。

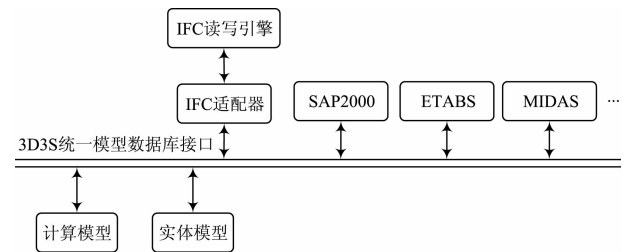


图3 3D3S统一模型数据库接口

3 核心功能

3.1 参数化快捷建模

系统的计算模型可由多种方式生成:可以采用图形界面的交互方式直接建立空间模型;也可以快捷建模方式,即选择常见的刚架样式并设置参数后系统自动生成相应的三维模型。快捷建模方式的刚架模板中可自由地增加和删除单跨和相应的夹层信息,可适用于不规则厂房的建模。

设计荷载的正确输入决定着刚架设计的安全性和经济性。体型复杂的多跨厂房的风荷载、雪荷载和吊车荷载的输入比较复杂。参数化建模另一个



图 4 门式刚架模板参数界面

明显的优势是只需输入控制参数系统能自动添加相应的荷载并考虑相关的荷载组合。系统可自动计算复杂坡屋面的风荷载体型系数、屋面积雪分布系数,并考虑天窗、女儿墙等突出物的影响;还可自动生成在恒活工况、风工况、地震工况、温度工况、吊车工况、积灰工况和裹冰工况等各种情况作用在刚架上的荷载工况和组合。

3.2 刚架内力分析和构件验算

系统内置了丰富的单元库,包括梁、杆等截面和变截面单元、只受拉和只受压单元等。内置了与钢结构相关的常用规程规范,可根据具体的结构形式、截面和材料类型对不同构件指定不同的验算规范以得到一个合理的结论。例如,某带夹层的厂房,可对楼面梁和柱选用钢结构规范,对其他梁柱选用轻钢规程。

此外,系统还支撑构件的分组优选、优化功能。对构件进行验算组的定义,并定义优选截面的范围后,系统将在反复尝试截面时,根据强度、稳定和变形等控制条件从截面库中选取放大或缩小的截面以满足设计要求。定义了相同组号的构件在进行优选验算的时候优选为按相同的截面。

3.3 三维实体建造^[6]

三维实体建造是实体后处理模块的核心功能。利用三维实体来直观、准确和完整的存储、展现和处理构件和细部零件的复杂空间位置关系和

逻辑联系。围绕实体模型数据库组织主要功能。实体模型数据库集成的信息包含结构的几何,材料,制造和安装等方面的详细信息。在输入端,与结构计算模型无缝连接,通过共用节点和杆件基础类,获取结构的几何信息、结构属性和设计参数等;采用截面拉伸、截面扫描和布尔运算等方式自动建造杆件的实体模型;根据从计算模型导入的节点设计内力和设计条件,完成节点设计验算和实体拼装;在输出端完成二维图纸的绘制和 CNC 数据的输出。

节点建造是钢结构 BIM 关键且复杂内容,钢结构节点 BIM 实体模型的数字建造策略是基于节点模板技术,使用分层、分解和组合的方法组织节点实体的数据结构。从图 2 所示的系统的类的体系可见,节点由若干接连构成。首先设计和建立每个连接的实体模型建,然后将这些连接拼装为一个节点,并存储连接之间的相对位置关系和逻辑联系。节点设计和组装的流程如图 5 所示。

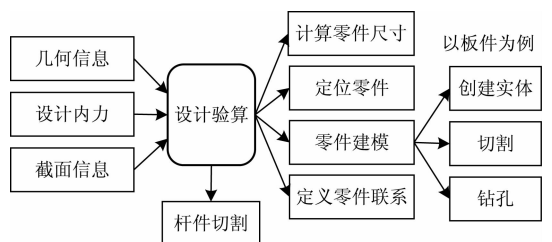


图 5 节点的设计和装配过程

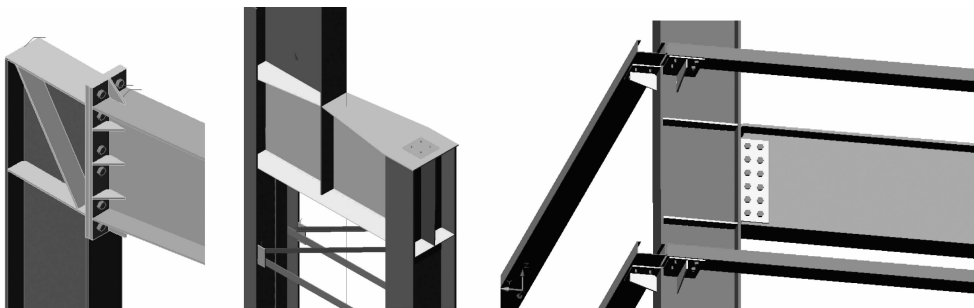


图6 节点装配实例

系统内置了遵循中国规范^[7-8]的大多数常用工业厂房节点的设计验算功能。此外,还提供了节点设计参数的编辑选择功能。图6中给出了几个典型节点的实体拼装模型。

基于实体模型,可以实时、一致性地生成施工图以及钢结构构件详图的信息;可以基于三维实体运算技术,进行用钢量、造价等信息的数值计算;同样,钢结构项目管理相关明细表也是基于钢结构三维实体自动生成的。

4 结论

(1) 钢结构工业厂房 CAD/CAM 软件系统的结构分析和实体后处理模块根据不同抽象层次的不同建立了两套泛化类的体系,他们通过基类层通讯。面向对象的模块化系统架构有效的降低了软件开发的复杂度。同时,这种层次数据结构以及对象之间的逻辑联系为编辑、查询和管理结构信息带来很大的便利;

(2) 结构计算模块包括快捷建模、定义荷载、力学分析、设计验算以及计算书输出等功能;

(3) 实体后处理模块包括:三维实体建造,节点设计和编辑,施工图、加工图绘制和 CNC 数据输出等功能;

(4) 系统还实现了 IFC 接口,以及与 SAP、ETABS 和 MIDAS 等软件的接口。

参考文献

[1] 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, Vol. 25 2009(01), 96-99.
Liu Zhaoqiu, Li Yungui, The Development of BIM and Its

Application in Design of Project, Building Science, Vol. 25 2009(01), Pages 96-99.

- [2] Paola Sanguinetti etc., General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis[J]. Advanced Engineering Informatics, Volume 26, Issue 2, April 2012, Pages 317-333.
- [3] Rory Clune etc., An object-oriented architecture for extensible structural design software[J]. Computers and Structures, Volumes 100 - 101, June 2012, Pages 1-17.
- [4] Sungyol Song, Jeongsam Yang, Namhyuk Kim, Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction[J]. Computers in Industry, Volume 63, Issue 9, December 2012, Pages 895-912.
- [5] 王大鹏,张立文. ObjectARX 中结合 MFC 开发 AutoCAD ARX 应用程序[J]. 计算机辅助工程, 2001, 10(4): 55-58.
Wang Dapeng, Zhang Liwen, Developing ARX Utility Program with MFC and ObjectARX[J]. COMPUTER AIDED ENGINEERING, 2001, 10(4): 55-58.
- [6] 陈英时,张其林. 空间钢结构 CAD 软件后处理系统的实体造型技术[J]. 同济大学学报 2000 第 3 期.
Chen Yingshi; Zhang Qilin, Solid Modeling Techniques for CAD Post-processing of Space Steel Structures, Journal of Tongji University.
- [7] 中华人民共和国国家标准 GB50017 - 2003 钢结构设计规范,北京:中国计划出版社, 2003.
National Standard of the People's Republic of China, GB50017 - 2003 Code for design of steel structures, Beijing, China Planning Press, 2003.
- [8] 钢结构设计手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003. Steel Design Manual (third edition) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2003.

中国建筑科学研究院与云南建工集团签订战略合作协议

5月28日,中国建筑科学研究院与云南建工集团签订战略合作协议,中国建筑科学研究院副院长许杰峰与云南建工集团公司党委副书记、总经理刘勇分别代表双方在合作协议上签字。



建研科技股份有限公司副总裁金新阳与云南工程建设总承包公司总经理杨杰共同签署“建筑信息模型在施工中的研究应用及示范”——云南省科技馆项目 BIM(建筑信息模型)技术应用合作协议。建研科技股份有限公司信息化软件事业部主任王静具体介绍了 BIM 实施方案及关键技术。

签约仪式上云南建工集团公司党委副书记、总经理刘勇代表合作双方致辞,表达了彼此真诚合作,互惠共赢,引领和带动行业发展的强烈愿望。云南建工集团公司总工程师甘永辉介绍了集团公司近年来发展情况。他指出,云南建工集团高度重视科技投入、应用技术的转化推广以及科技人才培养,期待能与中国建筑科学研究院加深认识,加强合作,把中国建筑科学研究院强大的技术实力转化为云南建工集团强大的生产力。

中国建筑科学研究院副院长许杰峰详细介绍了中国建筑科学研究院的发展概况及其承接的6大业务板块。他说,希望中国建筑科学研究院与云南建工集团在技术创新工作、有关科研项目、建筑技术应用研究等方面展开更深层次的合作。

双方将重点加强建筑科研技术及科技人才培养等领域的合作,全力推进集团科技产业化发展进程及加强科研成果的推广运用,推进建筑信息化、标准化示范引领工程在云南地区建筑工程领域的应用,合作开展标准科技成果的试点应用及推广普及工作。此次战略合作双方共同搭建起共享国家级科研人才和智力资源的平台,为引领质量提升、保证质量安全、科技产业发展,提供坚实的技术支撑。

(中国建筑科学研究院 供稿)

(接前页)

BIM-based Integrated Design Software for the Steel Structure of Industrial Plant

Chang Zhiguo¹, Yang Huizhu¹, Zhang Qilin²,
Man Yanlei², Wang Xuan², Zhang Minqian²

- (1. Civil Engineering College of Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Shanghai Tonglei Civil Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: An integrated CAD / CAM software system of steel industrial plant structures is developed based on the BIM application. The system is composed of two seamlessly integrated modules: structure calculation module and post-process module, the interface between the modules is clear. And, the complexity of the software development is effectively reduced by this design patterns. Using object oriented programming technology, a series of intelligent solid classes are abstracted to describe parts with deferent geometric information, structure properties and design requirements in real structure. Objects which are instances of these hierarchical C++ classes and logical links between them were integrated into the AutoCAD drawing database to construct a three-dimensional model. Several key functions including parametric shortcut modeling, frames analysis and member checking, three-dimensional solid construction, node design and editing, and drawing generation are implemented. IFC interface and the interface with SAP, ETABS and MIDAS are also implemented.

Key Words: Steel Industrial Plant Structures; CAD; Building Information Modeling; ObjectARX; IFC