

# 混凝土结构基本构件 CAD 系统设计

乔书光, 吴胜兴

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**采用 ObjectARX 技术, 自定义了混凝土结构基本构件的图形对象模型, 讨论了图形对象间的基本关系、通知-响应机制、约束的分类和实现、特征识别和抽取以及基本构件三维重构的方式, 并在此基础上实现了一个基于图形编辑的混凝土结构基本构件 CAD 系统. 该系统能够在统一的图形平台上综合使用扩展命令方式、对话框方式、属性页方式和直接编辑图形对象方式实现基本构件从建模、分析到验算、绘图的一体化设计, 使通过图形编辑直接驱动结构分析进行构件设计成为可能, 比较有效地解决了结构分析和图形绘制相互脱离、环境不统一的问题, 提高了构件设计的效率.

**关键词:**混凝土结构; 计算机辅助设计; ObjectARX; 图形对象; 一体化设计

中图分类号: TU375; TP391.72      文献标识码: A      文章编号: 1000-198X(2002)06-0124-03

结构分析的成果反映到施工图时需要补充大量的信息, 使得结构设计的全过程难以在绘图环境中实现一体化, 尤其是难以实现从图形编辑驱动分析计算的逆向设计方式. 结构工程师在对常规的结构设计能够做到心中有数, 常常希望在图形平台上构思和验证自己的设计方案而把分析计算的过程放在后台. 直接在图形平台上从事结构设计无疑会大大提高设计效率, 但这种设计方式需要解决以下问题: (a) 图形对象更高级别的抽象语义; (b) 对图形对象的编辑约束; (c) 图形对象间的约束实现、通知-响应和互动操作.

本文实现了一个混凝土结构基本构件 CAD 系统. 该系统采用 ObjectARX 技术, 扩展了 AutoCAD 的基本图元, 自定义了混凝土结构基本构件的图形对象模型<sup>[1, 2]</sup>. 这些图形对象具有自识别性, 具有自己的属性和方法, 具有各自的约束规则和相互间的通知-响应机制, 从而使在图形平台上通过编辑图形对象进行构件设计成为可能. 在此基础上, 实现了基本构件设计建模、分析、绘图等过程在图形平台上的统一.

## 1 基本构件的图形对象模型

混凝土结构基本构件包括梁、柱、板等构件, 考虑构件设计的需要, 建立如图 1 所示的图形对象模型. 其中, 基本构件的基类 AcDbMember 派生于 ObjectARX 的实体基类 AcDbEntity, 而梁、柱、板的类 AcDbBeam, AcDbColumn, AcDbPanel 则派生于 AcDbMember 类; 梁、柱、板的类又分别引用截面类 AcDbSection、立面类 AcDbVertiSect 和钢筋类 AcDbBar. 另外, AcDbSection 类又有 3 个子类: 矩形截面类 AcDbSectRect、T 形截面类 AcDbSectT、工形截面类 AcDbSectI; AcDbBar 类也有 2 个子类: 受力钢筋类 AcDbFBar 和箍筋类 AcDbWBar. 图中箭头符号表示派生关系, 直线符号表示紧密联接引用关系, 虚线符号表示松散联接引用关系.

### 1.1 特征信息负载和特征识别与抽取

基于图形编辑的设计要求图形对象具有更加丰富的特征信息, 如语义信息、构造信息、材料信息、约束信息等. 这些信息应以图形对象为载体或能够被图形对象检索, 实时满足交互式设计的需要.

抽象语义信息由 ObjectARX 的运行类识别机制自动实现. 能够被识别的图形对象的对象 ID 成为系统访问其他的特征信息以及相关属性、方法的关键字或入口. 构造信息和材料信息以规范知识的形式保存在特征数据库中, 图形对象仅保存相关索引信息, 用于三维重构和结构分析.

约束包括语义约束、图形对象间的相互约束等. 其中, 语义约束信息直接反映在图形对象的相关方法或属性中. 图形对象间的相互约束关系主要有 2 种实现方式: 相互间没有通知-响应要求的图形对象间的相互约束由它们的容器类实现; 相互间有通知-响应要求的图形对象间的相互约束由对象反应器实现.



图 1 图形对象模型

Fig.1 Graphical object model

作为设计成果的一部分,构件的受力状况、计算结果、轴线位置、钢筋弯起点、弯起角等数据利用 ASE (AutoCAD SQL Extension) 接口保存在特征数据库中,用于自动生成计算书、钢筋图绘制和三维重构。

## 1.2 三维重构

在基本构件设计中,三维模型能够为全面展示设计成果、检查设计中不合理的地方以及有限元分析提供有力的手段,而在具体的设计过程中采用二维模型则可以发挥其在简单、易操纵、容易实现参数化等方面的优势。在特征数据库的支持下,可以实现基本构件的三维重构。图形对象间相互配合,完成一致性检查和梁模型各组成部分的空间定位。图形对象没有提供的或没有直接提供的信息,如构造信息、构件的轴线位置、截断钢筋或弯起钢筋特有的信息等,由特征数据库提供。最终完成的三维梁模型是一个线框模型,可以利用 AutoCAD 工具将其转化为面模型或实体模型。

## 2 混凝土结构基本构件设计

混凝土结构基本构件设计包括参数化建模、结构分析、基于图形编辑的交互式设计等几个方面。参数化建模过程就是相关图形对象的实例化过程。构件的初始参数由用户在命令行交互输入或由工程数据库导入。结构分析过程由用户对图形对象的编辑激发或在命令行由扩展命令调用。结构分析的结果引起图形对象的重构。

### 2.1 结构分析

结构分析包括内力分析、承载能力极限状态计算、正常使用极限状态验算 3 个功能模块,分别由 LoadForce.xls、MaxSupport.xls 和 NormUse.xls 3 个工作表模板实现。其中 LoadForce.xls 工作表模板用于计算持久状况、短暂状况、偶然状况 3 种设计状况下,基本组合、偶然组合、长期组合、短期组合 4 种荷载组合的荷载组合值,进而计算出构件跨中、支座等控制截面处轴力、弯矩、剪力、扭矩 4 种内力设计值,并决定各设计截面。因为不同的内力最大值可能出现在不同的截面上,所以设计截面通常不止一个。MaxSupport.xls 工作表模板用于承载能力极限状态计算。在多种内力作用下,当前设计截面的配筋面积按受拉钢筋、受压钢筋、箍筋 3 个类别进行综合。NormUse.xls 工作表模板用于有验算要求情况下进行正常使用极限状态的验算,包括抗裂验算、裂缝宽度验算和挠度验算。最后,需要对各设计截面的配筋要求进行综合分析,决定构件的最终配筋方案。

### 2.2 基于图形编辑的交互式设计

基于图形编辑的交互式设计的基础是图形对象间的关联性检查和互动操作,这是由 ObjectARX 的通知-响应机制实现的。图 2 是一个截面对象  $i$  变更时和其他对象间的通知-响应关系图。图中,除截面对象  $i$  和梁容器对象外其他对象的反应器列表没有列出。每一个反应器在处理通知消息时都要检查消息的原始发送对象,如果是其自身或和上一个通知消息是同一个发送者,则不对该消息进行处理,从而避免了消息的循环传

播和重复处理.



图2 截面对象  $i$  和其他对象间的通知-响应关系

Fig.2 Informing-response relationship between section object  $i$  and other objects

基于图形编辑的交互式设计主要有4种方式:扩展命令方式、对话框方式、属性页方式和直接编辑图形对象方式.这4种方式各有优势,相互补充.例如,通过对话框可以实现对容器对象的全面编辑以及对那些通过其他方式难以编辑的对象属性进行编辑,通过属性页可以实现对较简单的图形对象的精确编辑,通过直接编辑图形对象可以直观、方便地改变构件尺寸和完成钢筋截断、弯起等操作.

### 3 结 论

自定义的图形对象因为负载了更多的信息而具有一定程度的智能性,它能够自动满足约束条件和维护自身信息的完整性,在定义了和其他图形对象的约束关系之后,又能够维护相互间数据的一致性,从而使设计信息得到自动维护.由于具有更高级别的抽象语义,图形对象又可以驱动其他的设计进程,从而将计算过程和绘图过程统一起来.本文介绍的混凝土结构基本构件CAD系统采用图形对象技术,使基本构件设计的各个步骤在图形平台上得到了统一,实现了基于图形编辑的交互式设计.实践表明,这种设计方式能够显著提高构件设计的效率.

参考文献:

- [1] 丁啸宇,王书庆.面向图形对象技术在桥梁CAD系统开发中的应用[J].计算机辅助工程,1999(3):53~58.  
 [2] 江思敏.AutoCAD2000开发工具——ObjectARX开发工具与实例[M].北京:人民邮电出版社,1999.240~262.

## CAD system for basic member design of concrete structures

QIAO Shu-guang, WU Sheng-xing

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the ObjectARX technique, a graphical object model system for basic members of concrete structures is defined. A discussion is made on the relationships and informing-response mechanism between graphical objects, the classification and realization of constraints and the identification and abstraction of characteristics of graphical objects, and the 3-D rebuilding of basic members. By use of four ways: the extending order, dialog, property sheet, and direct editing of graphical objects, all the steps in basic member design, including modeling, analyzing, checking computation, drawing, etc. can be integrated in a graphic platform. Thus, a CAD system for basic member design of concrete structures is realized based on graph editing. The system overcomes the separation of structural analysis from graph drawing, effectively improving the efficiency of member design.

**Key words:** concrete structure; CAD; ObjectARX; graphical object; integrated design