

计 算 机 辅 助 设 计 与 制 造 书 系

钢结构设计软件 模型、算法及应用研究



刘宝芹 著



知识产权出版社

Intellectual Property Publishing House

计 算 机 辅 助 设 计 与

钢结构设计软件 模型、算法及应用研究

刘宝芹 ■ 著



知识产权出版社
Intellectual Property Publishing House

TU391.04
48

内容提要

本书围绕基于工厂钢结构设计软件的模型、算法及其应用,主要做了以下研究:①介绍一种钢结构设计软件模型。②提出基于模拟退火算法(Simulated Annealing, SA)的一种新的区域划分方法“轮廓区域划分法”。③在原有规则基础上提出新的标注规则。④提出并实现了一种可以高效利用空间的节点详图的尺寸标注布局方案。⑤提出尺寸自动标注的分层排布算法。⑥提出一种新的自动标注算法。

责任编辑:甄晓玲

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计软件模型、算法及应用研究/刘宝芹著. —北京:知识产权出版社, 2013.2

ISBN 978-7-5130-1874-6

I. ①钢… II. ①刘… III. ①钢结构—结构设计—计算机辅助设计—应用软件—研究 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第021581号

钢结构设计软件模型、算法及应用研究

GANGJIEGOU SHEJI RUANJIAN MOXING、SUANFA JI YINGYONG YANJIU

刘宝芹 著

出版发行: 知识产权出版社

社 址: 北京市海淀区马甸南村1号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

责编电话: 010-82000860 转 8393

印 刷: 知识产权出版社电子印制中心

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 次: 2013年4月第1版

字 数: 96千字

邮 编: 100088

邮 箱: bjb@cnipr.com

传 真: 010-82005070/82000893

责编邮箱: flywinda@163.com

经 销: 新华书店及相关销售网点

印 张: 9.25

印 次: 2013年4月第1次印刷

定 价: 36.00元

ISBN 978-7-5130-1874-6/TU·304(4718)

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换

前 言

计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术在工业生产中发挥着非常重要的作用。CAD 技术应用于软件方面, 按照其设计对象大致可分为两个大类: 一类是产品设计, 另一类是工程设计。工程设计中一个重要组成部分是工厂设计 (Plant Design, PD), 而钢结构设计 (Steel Structure Design) 是工厂设计的重要组成部分。

钢结构广泛应用于工业厂房、机场车库、体育场馆、仓库、购物中心等工业与民用建筑。由于科技的发展及钢材品质的进步, 钢结构的重要性被先进国家和地区所肯定, 在欧洲、美洲、日本、中国台湾等地, 厂房的兴建全部采用钢结构。因此, 钢结构设计也就成为工程设计领域一个非常普遍而重要的组成部分。钢结构设计软件用以辅助进行复杂的钢结构设计。

本书的主要目标是对基于工厂钢结构设计软件的模型、算法及其应用进行研究, 本书主要在以下几个方面进行了研究和探索。

(1) 钢结构设计软件模型研究。本书在前人研究的基础上,

介绍一种钢结构设计软件模型，本模型主要包括以下几个功能模块：结构布置、内力分析、节点设计、施工图纸绘制。

(2) 钢结构节点图自动生成模块中尺寸自动标注区域划分方法研究。提出基于模拟退火算法 (Simulated Annealing, SA) 的一种新的区域划分方法“轮廓区域划分法”：一种可应用于钢结构设计软件以及其他同类软件中进行图纸自动标注时的区域划分方法。在节点详图的尺寸自动标注中，标注区及绘图区的划分是基础，接着才能实现尺寸自动标注。“曲木求曲，直木求直”，以合理的区域划分为基础，在后续步骤中实现合理标注才有可能。本书提出的“轮廓区域划分方法”，以图形自身轮廓多边形作为绘图区，以这种划分方式为基础，后续工作中标注布局和干涉问题能够得到合理的解决，使尺寸自动标注能够符合工程上的需求。

(3) 自动标注规则研究。本书在原有规则基础上提出新的标注规则：对于材料型号和编号的标注，由于标注空间的限制，在图上只标出材料编号，型号根据编号可从材料表中查到；截断杆的轴向尺寸不必标注，即不必标注截断处的轴向尺寸；各种标注依据尽量靠近被标注对象的原则；相邻编号标注或焊缝标注错开一段距离，以避免发生干涉；杆件的分尺寸标注以图形轴线为基准，一端为杆件端点，另一端在主轴线上；板如果关于轴线对称，则其分尺寸标注方法同杆件，否则以其自身的一端为基准进行分尺寸标注。

(4) 标注布局模型研究。本书提出并实现了一种可以高效利



用空间的节点详图的尺寸标注布局模型：布局是指图形及各种标注元素在空间的摆放，布局问题是自动标注的关键技术和难点之一，作为公认的 NP - 完全（NP - complete）难度问题已经被研究多年。本书在合理的区域划分基础上，提出了一种高效的布局模型，不仅良好地解决了碰撞问题，而且有效地利用了图纸空间，使图面布局均匀而美观，符合工程需求。

（5）分层排布算法研究。本书提出尺寸自动标注的分层排布算法，有效地解决了干涉问题：干涉问题也是自动标注的关键技术和难点之一，就是各种图形元素之间的碰撞问题，包括标注内容与图形，标注内容之间的相互干涉，它需要巧妙的程序设计方法和很大的工作量。本书提出一种尺寸自动标注的分层排布算法，巧妙地解决了标注体的排布问题，形成了符合工程需求的标注体排布方式。

（6）自动标注算法研究。本书提出一种新的自动标注算法，使构件编号标注和焊缝标注既能独立又可统一：在节点详图自动标注中，由于构件编号标注和焊缝标注形式上的相似性，因此它们所属的标注区相同，而由于它们本质的不同，又需要各自独立处理。在同一标注区处理这两种不同种类的标注，如果只标注其中一种，那么标注体的排列比较容易，但是如果两者同时处理，使之交错排列，就像处理同一类标注一样，是需要一定的算法和技巧的，本书提出一种新的算法，实现了编号标注和焊缝标注的既能独立又可统一的自动标注。

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	8
1.2 国内外研究现状	9
1.2.1 国外钢结构设计软件研究现状	9
1.2.2 国内钢结构设计软件研究现状	17
1.2.3 国内外研究现状总结	22
1.3 主要内容	23
1.4 研究方法	25
1.4.1 文献研究	25
1.4.2 归纳演绎法	25
1.4.3 理论和实证研究相结合	26
1.4.4 实验法	26
1.4.5 定量分析和定性分析相结合	26
1.5 创新点	27
1.5.1 钢结构设计软件模型	27

1.5.2	尺寸自动标注区域划分方法	27
1.5.3	自动标注规则	27
1.5.4	标注布局模型	28
1.5.5	分层排布算法	28
1.5.6	自动标注算法	29
第二章	钢结构设计软件模型	31
2.1	钢结构设计软件模型主要特点	31
2.2	主要设计流程	35
2.3	主要功能模块	36
2.4	钢结构设计软件模型节点图自动标注模块	39
2.4.1	标注的分类	39
2.4.2	标注与被标注对象的关系	39
2.4.3	节点设计	40
2.5	钢结构软件模型开发环境	50
2.5.1	AutoCAD (Auto Computer Aided Design)	50
2.5.2	ObjectARX	52
2.6	本章小结	55
第三章	一种新的区域划分方法	57
3.1	尺寸自动标注中的关键技术和难点	57
3.1.1	尺寸自动标注概述	57
3.1.2	碰撞问题	62
3.1.3	图纸布局问题	63
3.2	区域划分思想及原有节点图自动标注规则	71



3.3	新的自动标注规则的提出	75
3.3.1	节点图形轮廓特点的重要发现	75
3.3.2	新的尺寸自动标注规则	78
3.4	一种新的区域划分方法的提出	78
3.5	本章小结	83
第四章	尺寸自动标注的生成	85
4.1	尺寸自动标注总流程	85
4.2	尺寸自动标注前的数据准备	87
4.2.1	模块的数据来源及数据结构	87
4.2.2	标注前的数据准备	91
4.3	尺寸自动标注的算法流程	95
4.3.1	由投影点列生成尺寸线	96
4.3.2	尺寸线的布局	99
4.3.3	生成分尺寸线	102
4.3.4	生成总尺寸线	104
4.4	本章小结	105
第五章	零件编号和焊缝自动标注的生成	107
5.1	零件编号自动标注的生成	107
5.1.1	零件编号自动标注流程	107
5.1.2	定义点的拾取	109
5.1.3	一个零件编号标注的生成	116
5.2	焊缝标注的生成	119
5.2.1	焊缝标注的流程图	119

5.2.2 取得焊缝标注定义点	120
5.2.3 生成一个焊缝标注	123
5.3 本章小结	124
第六章 结论与展望	125
6.1 结 论	125
6.2 展 望	127
参考文献	129
致 谢	136

第一章 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

1. 工厂钢结构设计概念

随着计算机应用的不断普及，计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）技术在工业生产中发挥着越来越重要的作用。它把计算机的快速性、准确性和工程技术人员的思维、综合分析能力结合起来，加快了设计、制造进程，提高了设计质量，加快了产品的更新换代，提高了产品的竞争能力。这一技术的使用使产品和工程设计、制造的工作内容和方式发生了根本性变革，成为工业发达国家的制造业保持竞争优势、开拓市场的重要手段。目前，CAD技术日趋成熟、应用日益广泛，有力地促进了全球高新技术的发展和产品的迅速更新换代。CAD技术的发展和水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

CAD 技术应用于软件方面,按照其设计对象大致可分为两大类:一类是产品设计,又分为机械产品、电气、电子产品、轻工、纺织产品等。另一类是工程设计,简称 AEC (Architecture Engineering Construction),是工程技术人员根据约束条件,用工程手段改变环境以满足特定的要求而进行的一种智能活动。工程设计是设计人员具有创造性的思维活动,一项新产品的设计需要经过功能要求与分解、总体与概念设计、详细设计等从粗到细的过程。工程设计领域包括国民经济主要部门,如石油、化工、采矿、有色金属、钢铁、电力、交通、轻纺等,它们对国民经济发展起着举足轻重的作用。因此,CAD 技术的应用水平已成为衡量一个设计单位技术水平的重要标志。工程 CAD 是指利用计算机辅助工程设计的技术,主要包括工厂设计 CAD、工业与民用建筑 CAD、道路与桥梁 CAD、地理信息系统 (GIS) 等,是目前 CAD 领域研究最广、发展最快的一大分支。

工厂设计是工程设计的一个重要组成部分,它是指在设计和建造面向流程的装置过程中涉及的各种任务和行为^①。我国工厂设计行业在 20 世纪 70 年代开始应用计算机,并自行开发出结构分析系统和化工流程模拟系统等大型工程应用软件,在国产计算机上通过自行开发的程序绘制出设备容器、管道图、统计材料表,在一些实际工程中得到应用。“七五”期间,国家投入一批外汇,引进了 80 年代国际先进的工厂设计 CAD 系统。通过短期培训和消化工作,很快就掌握了这些系统的功能,并结合国情开

① 田景成. 工程 CAD 中模板技术的研究与应用. 北京:中国科学院研究生院,2000.

发出大批应用软件，应用于工程设计中，取得了显著的实效。

工厂设计软件（Plant Design Software）是工程设计人员利用计算机进行工厂模型设计的辅助工具^[1]。随着经济建设规模的日益扩大，在设计施工单位进行工程招标、投标，都需要有快速有效的反应速度。工厂设计系统正是帮助工程技术人员提高设计效率的强有力工具，工厂设计系统为工厂的设计、建设及维修提供了较好的模拟，并为工厂的概念设计、初步设计、详细设计、施工图设计提供了综合解决方法。

比较完整的工厂设计系统主要包括管道设计（Piping Design）、钢结构设计（Steel Structure Design）、工艺管道及仪表流程图 P & ID（Process and Instrument Diagram）、采暖通风和空调 HVAC（Heat Ventilation and Conditioning）、电缆托架布置（Cable Tray）等^①。

其中，钢结构是钢材制成的工程结构，通常由型钢和钢板等制成的梁、桁架、柱、支撑、支架、楼板等构件组成，各部分之间用焊缝、螺栓或铆钉连接。在石油化工行业中，钢结构的常用类型为基本构件、钢构架、塔架、管架等。基本构件是构成钢结构的基本单元，包括柱、梁、撑等。塔架是支撑设备或竖向管道的高宽比较大的高柔结构。管架则是支撑水平管道的钢构架。钢结构中最常见的形式为钢构架，它是由柱、梁、撑组成的一般钢构架^②。钢结构广泛应用于工业厂房、机场车库、体育场馆、仓

① 田景成. 工程 CAD 中模板技术的研究与应用. 北京: 中国科学院研究生院, 2000.

② 中国科学院计算技术研究所（北京中科辅龙公司）中国石化扬子石油化工设计院技术报告.

库、购物中心等工业与民用建筑。由于科技的发展及钢材品质的进步,钢结构的重要性被先进国家和地区所肯定,在欧洲、美洲、日本、中国台湾等地,厂房的兴建全部采用钢结构。而在一些先进城市,大楼、桥梁、大型公共工程,亦多采用钢结构建筑。最近 10 年,在美国,大约 70% 的非民居和两层及以下的建筑均采用了轻钢钢架体系。

北京奥林匹克场馆也大量采用了钢结构建筑。如奥林匹克多功能演播塔主体采用钢结构。演播塔平面为等边三角形,分 7 层塔楼,首层塔楼为建筑面积 1000 平方米的休息大厅,2~6 层塔楼为演播室,顶层塔楼为观光厅,整体总高度构为 132 米,由于使用钢结构模型,所以内部空间非常宽阔。

国家体育场(鸟巢)主体也全部采用钢结构。其造型呈双曲面马鞍形,东西向结构高度为 69 米,南北向结构高度为 41 米,钢结构最大跨度长轴 333 米,短轴 296 米,结构组件相互支撑,形成网格状构架,组成体育场整个的“鸟巢”造型,如图 1-1 所示。

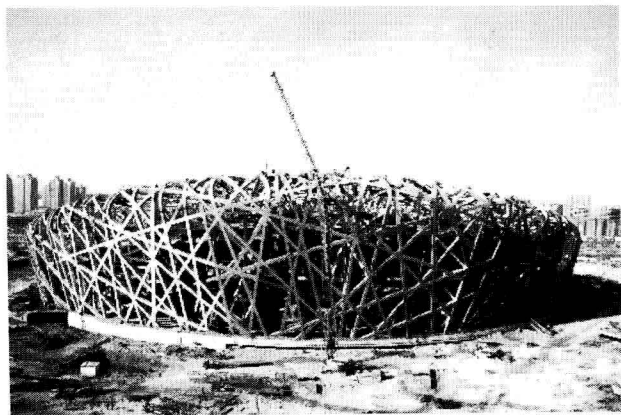


图 1-1 鸟巢钢结构

国家游泳中心——“水立方”主体也是采用钢结构，如图 1-2 所示。

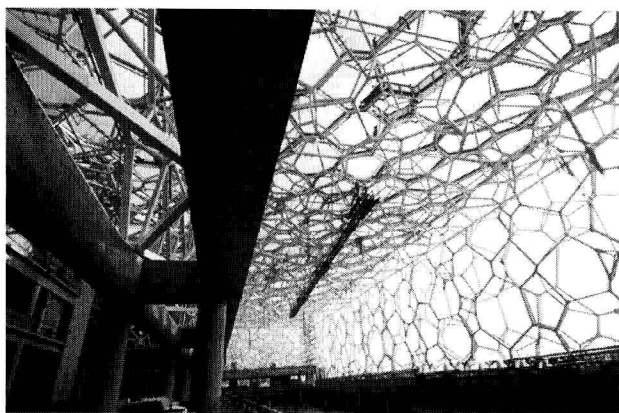


图 1-2 国家游泳中心钢结构

2. 钢结构设计主要步骤

钢结构应用如此广泛，其设计也就成为工程设计领域一个非常普遍而重要的组成部分，钢结构设计是一个复杂的过程，主要设计步骤如下。

(1) 工程数据的准备

开始一个项目时，首先要将项目所需的大量工程和项目参数准备好，作为后续设计的依据，如结构的默认材料，结构的安全等级，轴网等的跨度和跨数，各种折减系数和效应增大系数，杆件允许长细比，梁允许挠度，构架允许位移，节点设计中焊条材料的选用等。

(2) 结构布置

根据功能要求，首先进行各个楼层的构件布置，如柱、梁、

支撑、支架、栏杆、设备支座、楼板、楼梯、加筋肋等，然后进行立面上杆件的布置，最终形成一个空间杆系结构。

(3) 结构分析计算

首先将载荷（均布载荷、集中载荷、风载、地震等）和约束（刚接、铰接）布置到杆件、节点（杆件的交点称为节点）、楼板等构件上，形成分析计算模型。然后进行结构力学分析，计算出每根杆件端部的内力，形成内力模型。对不同组的内力进行组合，求出最不利截面。对所有可能的载荷组合情况进行极限状态验算，检验模型的安全性。如果结构不符合要求，则返回结构布置阶段，修改结构。如果结构符合要求，则进行结果（内力包络图、变形图、计算简图、计算书）输出。

(4) 节点设计

根据力学分析产生的杆端内力以及节点处所连接的杆件类型进行节点设计，计算出节点板的形状和几何尺寸及其连接方式以及焊接设计。

(5) 构造要求检查

对前面的结构及设计结果进行检查，如果不满足要求则返回结构布置，修改结构。

(6) 施工图绘制

根据结构布置和节点设计的设计结果，绘制出各种施工详图（楼层平面图、立面图、杆件详图、节点详图、支架详图、楼梯详图等）、材料统计表、施工总说明等，作为现场施工或工厂加工的依据。

3. 钢结构设计主要特点

(1) 工程数据量大

在实际设计中,首先要有整个工程项目的要求以及其他专业为钢结构提供的数据,然后就是实际计算中要用到的型钢的各种几何参数和工程属性(如惯性矩、惯性积、转动惯量等)。

(2) 分析计算时的荷载组合数目大

分析计算时的荷载组合数目大,手工找出最不利的情况很难,工程人员在手工设计时一般需要找出认为最不利的情况进行分析验算。

(3) 分析验算的工作量大

工程上首先要进行有限元分析,然后还要进行杆件验算,手工计算时工作量太大。

(4) 绘制大量的施工图

在一个钢结构项目中,要绘制大量的施工图,供现场施工人员参照施工。还要进行材料统计,绘出材料表。施工图主要有平面图、立面图、剖面图、杆件详图、节点详图、施工总说明等。

(5) 节点设计复杂

由于节点设计复杂,所以工程上有节点设计图册,在手工设计时,工程人员首先按照杆件连接形式及尺寸,在节点设计图册中找出相适宜的一种节点。此时,节点的连接方式及节点板的形状已基本确定,然后根据杆件端部内力计算出节点板的大小及焊缝的长度。^[2]