

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

建筑结构设计软件PKPM2010应用与实例

张晓杰 主编

JIANZHU JIEGOU SHEJI RUANJIAN PKPM2010 YINGYONG YU SHILI

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材

建筑结构设计软件 PKPM2010 应用与实例

张晓杰 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构设计软件 PKPM2010 应用与实例/张晓杰主编.
北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 9
高校土木工程专业规划教材
ISBN 978-7-112-15615-3

I. ①建… II. ①张… III. ①建筑结构-结构设计-计算机辅助设计-应用软件 IV. ①TU318-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 162051 号

作者根据长期从事 CAD 教学及工程实践的经验体会, 结合 PKPM2010 (V1.3) 版本, 在本书编写过程中, 采用规范条文、设计方法、软件操作和设计实例四条主线同时推进, 设计原理和 PKPM 操作二个层面顺序展开的写作思路, 实现了由简至全、由易到难、方法与应用并举, 操作与实例同存的写作初衷。本书采用了活泼多样的体例形式, 内容条理性层次性十分明显。全书共分建筑结构 CAD 基本知识、PKPM 软件简介、结构建模方法及 PMCAD 应用、混凝土结构的复杂建模问题、PKPM 结构分析模块的选择、用 PK 进行排架设计示例、SATWE 软件分析混凝土结构、PMSAP 软件基本功能介绍、结构弹性动力时程分析、绘制结构施工图、JCCAD 应用及基础设计实例共 11 章。

本书可作为高等院校土木工程专业 CAD 课程教材及研究生课外读物, 也可作为初中级建筑结构设计人员的设计参考书。

* * *

责任编辑: 牛 松
责任设计: 张 虹
责任校对: 姜小莲 党 蕾

高校土木工程专业规划教材 建筑结构设计软件 PKPM2010 应用与实例

张晓杰 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 29¼ 字数: 710 千字
2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-15615-3
(24244)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

PKPM 软件是目前国内应用最广、用户最多、功能最强大的建筑结构 CAD 软件系统之一，PKPM2010 (V1. 3) 是 PKPM 于 2012 年 6 月 30 日推出的执行所有新编设计规范的版本。

本书依照 PKPM 软件操作顺序，通过一个贯穿全书的坡屋面多层框架结构设计实例，对钢筋混凝土框架结构 CAD 的基本方法和相关概念进行了详细论述，并把相关设计规范条文应用融入设计方法、软件操作和设计实例中。采用组织结构图方式介绍较复杂的 PK-PM 操作和设计过程，使读者能更加直观地了解 PKPM 的操作。全书共分 11 章。

在建模操作相关章节，详细论述了以建筑条件图作为参考底图的轴网、构件及荷载输入方法，讨论了建立网格时的力学关系与结构模型的协调性问题、标准层划分原则、主次梁设置及相应的设计方法，叙述了虚梁、虚板、虚柱及刚性杆应用，叙述了柱、异形柱、短肢墙、框支墙、剪力墙、深梁、深受弯梁、浅梁、连梁、设缝连梁等诸多构件类型的概念及应用，叙述了荷载统计、普通风荷载、特殊风荷载及荷载等效的方法、楼梯与主体结构关系处理、错层和结构下沉、坡屋顶设计方法等诸多概念和建模方法。

在结构分析软件相关章节，在论述了结构分析模型的选择原则及 PK、SATWE、PMSAP 及弹性动力时程分析等软件的基本功能之后，叙述了各种软件的主要设计参数的基本含义及选取方法，并讲解了如何通过 SATWE 输出结果对所设计的结构进行评价，判断结构各项指标是否满足规范要求，如何进行结构弹性动力时程分析，如何用 PMSAP 创建复杂大空间组合结构设计模型以及对“病态”结构进行修改的方法。

在绘制建筑结构施工图相关章节，介绍了图纸的基本组成及表达深度，在讲解了梁柱墙施工图的不同表达方式之后，重点叙述了平法施工图的绘制过程及操作。

在基础设计相关章节，详细讲解了 JCCAD 用于独立基础、交叉梁基础、承台桩基础和筏板基础的设计操作、计算和绘图功能。

本书由山东建筑大学张晓杰编著，参加本书编写工作的还有王中心、杨文、赵全斌、张岩、刘强。中国建筑科学研究院的金新阳研究员、济南大学的徐新生教授以及山东省城镇建筑设计院的辛崇东院长对本书的写作提出了十分珍贵的建议和意见，殷守统、陈如、武晓军、赵庆邦对本书最后书稿进行了校对，在此表示深深的谢意。

限于作者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

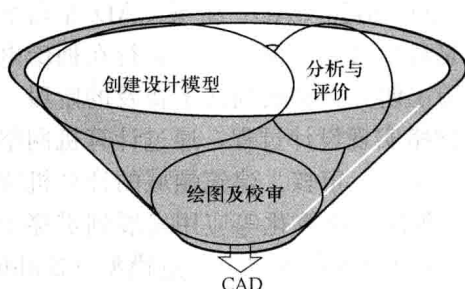
第 1 章 建筑结构 CAD 基本知识	1
1.1 建筑结构 CAD 的基本概念	1
1.2 建筑结构 CAD 的关键环节	3
1.3 建筑结构 CAD 与传统设计方法的比较	13
第 2 章 PKPM 软件简介	17
2.1 PKPM2010 的基本组成及工作方式	17
2.2 用 PKPM 进行建筑结构设计的操作流程	25
第 3 章 结构建模方法及 PMCAD 应用	34
3.1 PMCAD2010 基本功能及使用简介	34
3.2 建筑设计条件举例与结构基本设计参数	42
3.3 轴网的确定方法及输入操作	50
3.4 楼层定义及梁柱墙构件输入	62
3.5 楼板生成	99
3.6 荷载输入	114
3.7 设计参数	139
3.8 楼层组装	147
3.9 退出、保存与查错修改	152
第 4 章 混凝土结构的复杂建模问题	157
4.1 坡屋顶结构	157
4.2 错层问题	173
4.3 创建主体结构模型时对楼梯的处理	181
第 5 章 PKPM 结构分析模块的选择	194
5.1 平面框架分析模型与空间分析模型	194
5.2 PKPM 结构分析设计软件功能特征简介	197
第 6 章 用 PK 进行排架设计示例	202
6.1 用 PK 进行钢筋混凝土排架结构设计的基本流程	202
6.2 排架设计条件及操作示例	204
第 7 章 SATWE 软件分析混凝土结构	212
7.1 SATWE 软件组织结构与操作流程	212
7.2 分析与设计参数定义	215
7.3 特殊构件补充定义	263
7.4 特殊风荷载定义	273
7.5 结构分析与配筋设计	280

7.6	结构整体性能控制与 SATWE 文本输出结果	284
7.7	SATWE 计算结果图形显示与结构优化	300
第 8 章	PMSAP 软件基本功能介绍	311
8.1	PMSAP 基本功能	311
8.2	PMSAP 的补充建模和参数补充修改	312
8.3	PMSAP 结构分析设计与结果输出	316
8.4	SpasCAD 创建复杂结构模型	317
第 9 章	结构弹性动力时程分析	323
9.1	结构弹性动力时程分析计算及依据	323
9.2	动力时程分析有关规范条文的运用及操作示例	325
第 10 章	绘制结构施工图	336
10.1	建筑结构施工图的基本组成及表达方式	336
10.2	绘制结构平法施工图操作及实例	350
10.3	多层框架结构梁柱板施工图的绘制实例	362
第 11 章	JCCAD 应用及基础设计实例	377
11.1	JCCAD 的基本功能及软件操作流程	377
11.2	地质资料输入及地质资料利用	382
11.3	基础设计数据的准备	387
11.4	地基沉降控制相关知识	398
11.5	柱下独立基础自动设计、沉降计算及施工图绘制	401
11.6	柱下条形基础设计	419
11.7	承台桩基础设计及施工图绘制	432
11.8	筏板基础设计及施工图绘制	444
参考文献	461

第 1 章 建筑结构 CAD 基本知识

学习目标

- 建筑结构 CAD 的五个基本内容
- 结构分析结果的评价方法
- 人为错误和软件 BUG 的甄别
- CAD 软件的选用原则



建筑结构 CAD 包括创建设计模型、分析计算及对分析结果进行评价、绘制施工图纸及图纸校审三个主要内容。

建筑结构 CAD 过程中的建模、分析与评价、绘图与校审是三个既彼此独立又存在密切关联的三个过程。

学习 CAD 分为三个层面

入门层面：熟悉建筑结构 CAD 软件各个模块的功能及关系，会使用 CAD 常用模块进行建模、分析、绘图。

见习工程师层面：了解规范重要条目，熟悉常遇结构的设计方法，掌握软件的操作方法及技巧，能绘制基本合格的施工图纸。

工程师层面：熟悉设计规范条目，有应对较复杂结构设计的知识和经验，能正确对设计结果进行分析、评价并绘制合格的建筑施工图纸。

熟知设计规范，用力学和工程思维处理复杂工程问题

学习建模、分析的基本方法，熟悉常用图纸表达方式，了解各类图纸表达深度

掌握 CAD 软件各模块间的衔接关系，学习 CAD 软件操作

1.1 建筑结构 CAD 的基本概念

计算机辅助设计 (CAD) 技术是现代设计方法的一部分，同时作为电子信息技术的—个重要组成部分，在现今的知识经济时代起着重要的作用。它在机械、电子、轻工、航空航天、汽车制造、建筑等行业的产品设计中都有广泛的应用。

1.1.1 什么是 CAD

建筑结构 CAD 是设计师借助 CAD 软件，在计算机上进行建模、分析、绘图的过程，

是计算机机器特点和设计师人文特征高度和谐统一的过程。单独利用计算机进行图形绘制与编辑或单独利用计算机进行数值分析计算都仅仅是 CAD 的一个部分。在使用 CAD 过程中,设计人员的专业技能、人文特征始终占据主导地位,同样一款 CAD 软件,同样一个设计对象,不同水平的设计师会设计出不同技术经济指标、不同文化美学特征的产品。创建设计模型、对设计模型进行分析以及对分析结果进行评价、绘制施工图纸及图纸校审是建筑结构 CAD 的三个基本内容。

在 CAD 发展过程中,国内的 CAD 研发工作者研发了许多实用有效的 CAD 软件,出现在用户视野的有 TUS、Strat、MTTCAD、TBSA、TB、ABD、HOUSE、BICAD、TArch、GSCAD、PKPM、Revit、YJK 等等,在此对曾经为我国 CAD 发展作出贡献的各种软件的研发人员致以崇高敬意。多少年的沧桑浮沉,有的软件已经消弭于历史之中,有的软件生命力依旧旺盛且昌盛不衰。在建筑结构 CAD 领域,国内目前应用最为普遍的软件是由中国建筑科学研究院开发的大型建筑工程综合 CAD 系统 PKPM。

对土木工程专业而言,CAD 包括建筑结构 CAD、道路 CAD、桥梁 CAD 等几个方面。建筑结构 CAD 从 20 世纪 80 年代,以中国建筑科学研究院推出首款运行在袖珍电脑 PC1500 的框架分析程序 PK 为始端,至今已经经历了萌芽、发展到达了普及的阶段。目前 CAD 设计过程已由一人一机发展到通过计算机网络实现设计过程,通过计算机网络或 CAD 软件本身的工程数据库实现设计数据的共享、交流、审核。建筑领域的计算机应用已经从单一的建筑 CAD、项目管理 (R&D)、预决算电算化等应用发展到贯穿于建筑物全生命期的规划、勘察设计、施工和运营维护等四个阶段的建筑信息模型 (Building Information Model, BIM) 阶段。

1.1.2 CAD 的意义和作用

与施工项目管理、预决算、电算化一样,CAD 是建筑行业计算机应用的一个重要方面。CAD 技术不仅提高了设计的效率和质量、缩短了设计周期、改变了设计活动的粗放型生产方式,而且给设计方法、设计理念、设计思维带来了变革,使得设计师可以借助计算机和 CAD 软件设计出功能更加复杂、形式更加多样的建筑产品。同时 CAD 的普遍应用,也改变了现代的教育方式,了解和掌握 CAD 技术是从业者必须具有的一项技能。

对于初学者而言,通过学习 CAD 软件的基本操作,可以初步具有利用计算机进行结构设计的操作能力;通过学习 CAD 的基本方法,可以初步具有处理复杂工程设计问题的创新能力;通过学习 CAD 计算分析结果的评价和图纸校审的基本技巧,可以初步具有综合运用专业知识进行设计评价的思辨能力。只有了解并切实掌握建筑结构 CAD 的基本原理和方法,才能做到用有限的工程投资建造出经济技术指标和人文价值更高的建筑产品。同样,通过学习 CAD,可以掌握图纸的合理表达方式和表达深度,提高对工程图的读识能力,这对于土木工程专业学生也是十分重要的。

仅在专业的某个方面浅尝辄止,只能成为高级工匠和高级瓦匠。拥有系统的专业知识体系、具有创新能力和能够终生学习,是走向大师和大家所必须具备的学识条件。

1.1.3 建筑结构 CAD 的两个工作循环

建筑结构施工图设计阶段包括创建设计模型、对设计模型进行分析以及对分析结果进行评价、绘制施工图纸及图纸校审五个基本内容。创建设计模型、对设计模型进行分析与评价、绘图与校审间既彼此独立又存在密切关联,它们之间的关系如图 1-1 所示。

从图 1-1 可以看到, 建筑结构 CAD 过程是由两层循环过程组成。首先进行的工作是创建结构设计模型, 选用合适的结构分析软件或模块进行结构分析设计, 之后再对分析设计结果进行评价, 依据评价结果, 确定是返回结构建模软件修改模型还是紧接进行图纸绘制工作。这个过程构成了 CAD 过程的第一层循环。

当第二层循环的施工图绘制工作结束, 还要对图纸进行校审, 进一步研判结构模型是否需要修改, 如要修改结构模型, 则从第二层循环退回到第一层循环, 如果图纸校审通过, 则整个 CAD 设计过程宣告完毕。

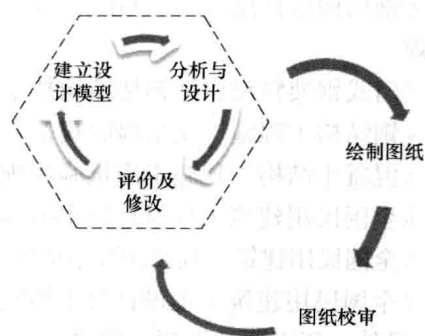


图 1-1 CAD 各关键环节间的关系——两个工作循环

1.2 建筑结构 CAD 的关键环节

在前面一节, 我们已经知道结构施工图设计阶段包括创建设计模型、对设计模型进行分析以及对分析结果进行评价、绘制施工图纸及图纸校审等五个基本内容。

1.2.1 建筑结构 CAD 的基本内容

要成为一个优秀的设计师, 不仅需要渊博的专业知识, 熟练掌握 CAD 软件的操作技巧, 还需要进行大量的设计实践。只有进行大量的练习, 才能在学习中掌握 CAD 方法。在学习 CAD 的具体操作方法和原理之前, 首先让我们了解一下 CAD 的基本过程及内容。

1. 熟悉建筑结构设计所需的规范、规程和标准, 它们是结构设计的依据

在进行建筑结构设计时, 应了解和掌握的基本规范、规程有:

《建筑制图标准》(GB/T 50104—2010), 后文简称《制图标准》

《建筑结构制图标准》(GB/T 50105—2010), 后文简称《结构制图标准》

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001), 后文简称《可靠度标准》

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010), 后文简称《混凝土规》

《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008), 后文简称《分类标准》

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010), 后文简称《抗规》

《混凝土结构异形柱技术规程》(JGJ 149—2006), 后文简称《异规》

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010), 后文简称《高规》

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011), 后文简称《地基规范》

《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008), 后文简称《桩规》

《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2009)

《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012), 后文简称《荷载规范》

《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011), 后文简称《砌体规范》

《砌体工程施工质量验收规范》(GB 50203—2011)

《钢结构设计规范》(GB 50017) (2011年已发布新规范征求意见稿), 后文简称《钢规》

《门式钢架轻型房屋钢架结构技术规程》(CECS102), 后文简称《门规》

《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205)

《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)

《全国民用建筑工程设计技术措施》(结构体系)(2009), 后文简称《措施(结构)》

《全国民用建筑工程设计技术措施》(混凝土结构)(2009), 后文简称《措施(混凝土)》

《全国民用建筑工程设计技术措施》(地基与基础)(2009), 后文简称《措施(基础)》

另外, 还需要掌握现行的混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图11G101, 11G101共分为三个部分, 它们是:

《民用建筑工程结构设计深度图样》(2009年合订本)(G103-104)

《民用建筑工程设计互提资料深度及图样-结构专业》(05SG105)

(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板) 11G101-1

(现浇混凝土板式楼梯) 11G101-2

(独立基础、条形基础、筏形基础及桩基承台) 11G101-3

2. 收集与结构设计有关的设计条件, 并对设计条件进行详尽的了解

在对一个建筑结构进行具体的设计之前, 首先要收集如图1-2所示的必要设计条件, 并对各设计条件进行统筹, 确定结构的设计方案。

业主的设计要求及报批文件、规划

建筑条件、建筑节能、人防

自然条件: 地质、水文、气候、环境

设备条件

施工条件、材料供应

设计软件

建筑条件包括建筑的总平面、建筑平面、建筑立面、建筑剖面、屋面施工图, 它们是确定结构方案、结构总信息、结构层的划分、层高、结构标高、结构构件布置方式等信息的重要依据。其中, 建筑节点详图对结构构件的选型与布置也有至关重要的影响; 建筑节能设计、消防设计和人防设计要求也是选定结构材料, 确定结构设计参数的重要依据。

设备条件包括给水、排水、暖通、设备、工艺等方面的方案图纸、设备参数等, 它们影响着结构构件的布置、结构构件的截面尺寸、荷载的统计等。如采用地暖的建筑物, 现浇楼板要预留位置以便布置地暖管道以及保温隔热层; 设有电梯的建筑, 要考虑电梯设备、机房控制设备的放置及其产生的相应荷载; 有大型机械设备的楼层, 要考虑机器设备的隔振, 设计设备基础, 统计设备荷载, 考虑其结构的预埋件及开洞等。

水文地质资料包括建设场地的土层分布、地基承载力、常年地下水位、水质、冻土深度、气候及环境条件等, 它们对基础设计、建筑材料选择、结构荷载、结构首层层高、风荷载、地震作用、筏板抗浮设计、地下室外墙水压力荷载都有影响; 其中, 温度变化剧烈的建筑物需要计算温度荷载等。

另外, 某些复杂的建筑物, 在进行结构设计时要预先考虑施工企业采用的施工方案、材料供应等。施工工艺、混凝土模板类型、施工机械、工期要求、施工时的气候环境等, 不仅影响建筑物的造价, 也影响建筑物的质量。

3. 进行结构选型，建立结构设计模型

选择一个合理的结构方案是设计取得成功的前提，结构方案选择包括选定可行的结构形式和结构体系。结构形式要结合工程实际情况，考虑结构规范、建筑、设备、节能、施工技术等多方面因素，结构体系要受力明确、传力简捷、能简不繁、能齐不乱。从结构选型到结构方案的确立，往往需要不断地调整完善，调整应在概念设计的基础上，运用力学和工程思维，从宏观和整体上对方案予以完善。结构方案对结构最后的经济技术指标有决定性影响。

在使用 CAD 过程中，选定结构方案与结构构件布置也可以同步进行。结构设计模型是结构实体模型与 CAD 软件力学分析模型的中间过渡媒介，设计师是这个媒介的创造者，设计师应该了解结构设计模型的应有特征。设计模型是实体结构的一个虚拟映射，是在力学和工程学原则指导下对实体结构的抽象。完整的设计模型经由 CAD 分析设计模块的自动加工，可转化为用于力学分析的力学模型。

之所以说设计模型是实体结构的一个映射，是因为设计模型不必照搬实体结构的一切细节，但是必须反映实体的力学和工程特征。一个好的结构设计模型首先应与建筑等设计条件完美协调，并能正确体现实体结构的主要力学特征，符合实体结构的工程学要求。

另外，由于实体建筑千姿百态变化无穷，无论 CAD 软件怎么优秀，也总会有其力所不及之处，这样，一个优秀的设计师还要学会在实体结构、结构模型、力学模型、软件功能之间作出变通，通过一些合理的替代构件模拟实际结构，从而完成设计分析，得到准确、经济、安全的设计结果，并绘制出正确的设计图纸。这些变通方法，我们将在后面章节中详细论述。

4. 对设计模型进行分析与设计

建立了结构设计模型之后，即可通过 CAD 软件的分析设计模块对结构进行分析设计。

目前 CAD 软件的分析设计过程是由计算机自动完成的，在进行分析设计之前，设计人员需要依据所建结构模型的具体情况，确定采用哪种结构分析方法，并据此选择适当的分析设计模块，之后按照对应的结构设计规范规定，确定模型的分析参数并进行分析设计。

众所周知，设计规范是我们进行结构设计所依据的法规性文件，结构设计规范中对结构分析方法、参数以及对结构分析结果所体现的结构特性作了明确的规定。在本章的第 1.3 节我们还将进一步讨论建筑结构 CAD 与设计经验、设计规范之间的关系。

5. 对结构分析结果进行评价

对结构分析结果进行评价是结构设计的一个重要环节，通过分析结果评价，判断设计模型的结构方案、结构体系、构件选用及布置是否存在问题，我们可以把模型存在的问题划分为三种类型，其处理方法如图 1-3 所示。建模、分析、评价与修改是结构 CAD 设计过程中的第一层循环，结构越复杂则对设计结果的评价分析和模型修改过程就越明显。

对分析结果评价的主要目的有两个：一是评价结构方案的合理性，二是评价计算分析结果的可信度。对计算结果可信度的评估实际是评判出现超常结果的原因，此内容将在后面详细论述。本节先讨论依据分析结果评价结构方案合理性的一般性方法，对分析结果评价的作用如图 1-4 所示。在 CAD 中，设计人员评价结构方案合理性主要体现在如下几个

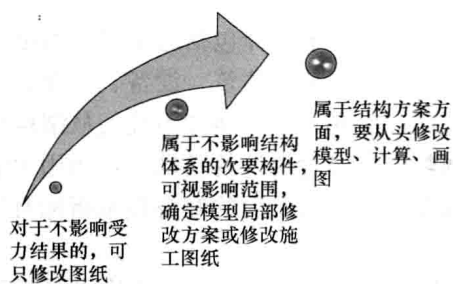


图 1-3 对模型问题的处理方式

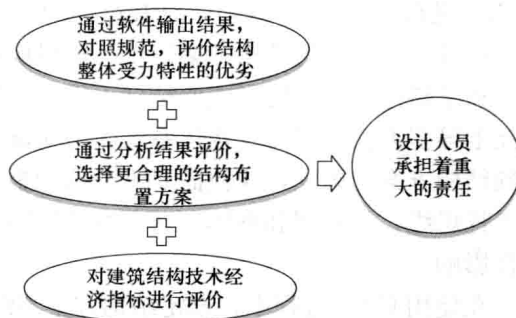


图 1-4 分析结果评价的作用

方面:

(1) 评价结构分析得到的结构整体特性参数是否满足规范规定

此项判断的主要依据是设计规范的具体条文。以混凝土结构为例, 结构的周期比、层刚比、位移比、剪重比、刚重比, 水平力与整体坐标夹角、自振周期、地震有效质量系数等。这些计算结果是反映结构整体特性的控制性参数, 须满足相应规范条目的规定, 如不满足, 通常需要对结构方案和构件布置进行较大调整。

(2) 考察结构分析得出的构件特性参数是否满足规范规定

此项判断的主要依据是设计规范的具体条文。以混凝土结构为例, 梁板的挠度、裂缝宽度、基础沉降量、柱的轴压比、构件配筋率等, 须满足相应规范条款的限值规定。此项如不满足, 则应从调整混凝土标号、钢筋等级、构件传力途径、构件截面尺寸、构件布置密度等方面着手调整设计模型。

(3) 依据结构构件内力分布, 评价结构方案及结构构件布置是否合理

此项主要对软件计算输出的内力指标、配筋指标、柱轴压比等分布情况进行定性分析, 考察结构内力变化及分布是否合理, 检查构件内力值是否异常, 判断是否需要调整构件布置或结构方案。此时, 对称性、相似性是可利用的方法。尽管我们要设计的建筑结构千姿百态, 变化无穷, 但是对计算分析结果的评价还是有规律可循的。随着设计经验的增加, 每个设计师都会总结出一套适合自己的行之有效的方法。

(4) 依据分析设计结果, 评价结构设计的技术经济指标的优劣

有经验的设计师可以运用“配筋率”、“单位建筑面积用钢量”、“概算造价”等指标判断出建筑物的造价水平。此项判断是结构设计的一个重要方面, 是体现设计师职业道德和设计水平的一个重要标志之一。

在此需要说明的是, “经济配筋率”指标不是评价结构设计的技术经济指标的充要条件。如截面为 350mm×700mm 的梁, 某支座截面配筋为 8 Φ 25 5/3, 配筋率为 1.6%, 超过经济配筋率; 另一种方案是做 500mm×1000mm 的梁, 某支座截面配筋为 12 Φ 25, 配筋率为 1.2%, 属于经济配筋率, 但是后者显然并不经济。

用“概算造价指标”评价设计结果的技术经济指标是比较科学的方法, 但是在具体设计过程中, 设计师并不能对每一次设计改变均进行概算造价统计。因此在某些情况下, 评价设计的技术经济指标时还需要设计师的经验。

综上所述, 对分析结果的评价通常采用定性和定量相结合的方法, 如图 1-5 所示。当

然，如果在设计过程中，能用优化设计软件对结构进行优化设计则是一种更好的选择。

6. 绘制施工图纸

经过建模、分析、评价与修改这几个过程之后，即可进入在施工图绘制阶段，在CAD中，施工图的绘制可由计算机自动完成。对于大多数初学者而言，进入绘制施工图纸这个环节之后，会感觉设计工作已经完成了。其实，对于整个CAD过程而言，还远远不够。

7. 图纸校审、修改及审查，计算书建档

图纸校审与修改是CAD过程中占据十分重要地位的一个过程。图纸是工程师的语言，在人际交往中，一口流利的普通话会获得对方的尊重，同样，表达准确细腻且合乎行业标准要求的施工图纸，也是反映一个设计师水平高低的重要要素。关于图纸的绘制我们在后续章节中会有专门叙述。图纸绘制之后，必须对图纸进行校审和修改。图纸校审修改的主要内容为：

(1) 消除设计模型与实际结构间的差异

由于结构设计模型与真实的实体结构有一定差异，而这个差异会传到施工图纸上，设计人员要通过图纸的校审、修改、补画图纸，来消除掉这些差异。准确性高的设计图纸，其可施工性也高。

(2) 提高施工图纸的可施工性

此部分内容包括减少钢筋规格数，对某些配筋进行拉通、归并处理，进一步对比设计规范和构造要求，对施工图纸进行必要的修改，以便使施工图纸具有更高的可施工性。某些情况下，图纸的可施工性对设计的经济技术指标也有影响。

(3) 进一步协调与其他专业图纸

CAD软件自动绘制施工图之后，结构设计人员还要仔细考虑次要构件（大多是在创建结构模型时，未考虑的混凝土结构的线脚、填充墙、檐口、压顶、空调板、构造柱、过梁等）及其构造措施，是否与主结构构件、建筑及设备等有冲突，并在施工图纸上补画必要的索引和详图。有经验的设计人员，在主体结构设计初期就会对这些次要因素进行综合的统一考虑。

(4) 进一步检查是否有违背设计规范的情况

尽管在设计分析阶段，我们已经依照规范条款和设计经验对分析结果进行了评价，并对结构设计模型进行充分的修改，但是由于前期的分析评价大多只能定性地进行分析，有时难免犯经验主义错误。在施工图纸校审期间，同时要检查是否有违背设计规范要求的情况，如有则应视问题轻重区分处理。

经过设计人员自查和专业总工的图纸审核之后，还要进行计算书建档，设计计算书是可供设计、审核、审查的归档技术文件，是建筑结构设计成果的一部分。以PKPM为例，CAD设计的设计计算书一般需包括PMCAD输出的各层平面简图、各层荷载简图，SAT-

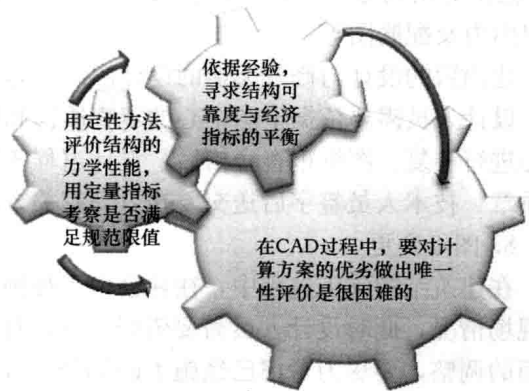


图 1-5 对分析结果评价采用的方法

WE 输出的结构分析与设计信息文件 (WMASS.OUT、WZQ.OUT、WDISP.OUT 等)、各层内力及配筋图等。

建档后的设计与修改无误的设计图纸一起,呈交有审图资质的审图中心进行最后的审查,设计人员需要依据审图中心的审查质询和修改建议,对图纸进行最后修改,并向审图中心进行答复。图纸审查合格后,设计过程才算基本完成,最后打印晒制蓝图,加盖设计资质章,技术人员签字后送交委托方等有关方面,一个结构设计就基本完成了。

8. 图纸变更

在建筑结构施工过程中,往往会由于种种不可预料的原因导致原来的设计图纸不能满足现场情况,此时设计人员需要依据情况,对设计图纸出具图纸变更。图纸变更时对结构方面的调整,要尽力考虑已经施工的部分,应尽量减小变更影响范围和程度,必要时需同时对已经施工部分进行加固改造。只有加盖设计资质印章,有设计人员签字的变更才是合法有效的变更。

导致图纸变更发生的因素很多,比如地基出现未探明情况、建筑材料供应发生变化、建筑功能发生改变、建筑设备方面发生变化等等,在此不再一一列举。

1.2.2 计算分析结果出现异常错误的原因及类型甄别

在前面我们叙述了建筑结构 CAD 的基本内容,并对结构分析设计结果进行评价的基本方法进行了较详细地讨论,这些内容可以涵盖在 CAD 设计的大多数情况。但是应该指出的是,这些方法是以在设计过程中没有人为错误和软件错误为前提的。作为一个高脑力消耗的技术过程,CAD 设计中我们追求的目标是设计的准确、高效、安全和经济,但是在某些极个别情况下,难免还会出现一些小小的疏漏和错误,导致 CAD 分析结果出现异常。因此对计算分析结果评价时,我们还要对计算分析结果进行可信度评价,通过可信度评价判断在此前的设计活动中,是否犯了一些低级错误。

1. 异常结果的分类及判断方法

结构分析结果出现的问题可以分为三类:第一类是从专业逻辑角度讲,所建模型的构件定义及输入等都没有问题,但是分析计算结果不符合规范要求或者经济技术指标不好;第二类从专业逻辑角度讲,所建模型方案合理,但是存在专业逻辑上的错误。例如同跨梁的不同梁段截面宽度不同。第三类是不论是设计方案还是模型的逻辑关系都正确,但是由于软件缺陷导致分析结果异常。

在上面的三个类别问题中,后两种则会导致结构分析出现异常结果。导致结构分析结果异常的原因有:

- 结构建模过程中向计算机输入了错误的模型数据;
- 结构分析程序的计算错误造成分析结果的不准确;
- 使用的结构分析程序不适合于设计的结构。

判断结构分析结果是否有异常的方法是:检查结构模型或计算简图、构件位置、构件断面、荷载数值及位置、荷载类型及个数、支座设置等是否正确;考察结构分析得到的内力图是否有异常,是否超出了分析前做出的内力预期;考察配筋结果是否与其他类似结构或构件有很大的差异;使用另外一种结构分析软件做对比性分析。

2. 导致结果异常的原因

在 CAD 过程中,错误输入必将造成错误的后果 (“Rubbish in cause to rubbish

out”)。在多数情况下,计算机输出错误的结果的主因是由错误的输入引起的。错误的输入往往具有隐蔽性,不易被发现,危害很大。产生错误输入的原因是多种多样的,有人为疏忽造成的,有对软件功能领会出现偏差造成的,有设计人员专业过失造成的。对于CAD初学者而言,进行建模练习时态度不认真导致结构病态,对规范条款领会不深入而定义了错误的分析参数,也会导致分析结果异常。

大多数CAD软件为了减少产生错误结果的概率,通常会在程序中设定一些查错功能,但这些功能只能检查那些具有普遍性的错误。在结构设计中,CAD软件不可能知道设计人员输入的一根梁到底应该是悬臂梁还是简支梁,所以如果输入了错误的结点连接信息,而使计算机把一根悬臂梁当成了简支梁,则必然会产生模型输入错误。错误的输入通常有以下几种:

(1) 不正确的结构总信息

结构的总信息包括结构标准层划分、结构标高、层高、底层柱从正负零标高到基础顶的附加高度、杯型基础的杯口深度、结构抗震等级、地震烈度、地震作用方向、场地类型、风载参数等等。由于这些结构总信息对结构设计起全局控制作用,如果有误势必会扩散到整个建筑结构。比如标准层划分不正确,会从根本上影响结构体系的正确性。结构标高、层高的错误,会影响计算简图的正确性,并最终扩散到施工图上。结构抗震等级、地震烈度、地震作用方向、场地类型、风载参数会影响结构的总体分析结果。这些总控参数很重要,必须依据规范条款,仔细斟酌后确定。

要避免和改正这些错误,首先要正确理解和使用设计规范,其次在填写分析设计参数时,要正确理解软件的技术条件,认真斟酌参数的选项值。

(2) 力学模型错误

一个CAD软件的建模程序不仅要帮助用户完成结构构件的布置,也要为后面的结构分析软件提供结构分析数据,用户不能简单地把结构建模模块看成是一个数据漏斗,它也是一个数据加工中心,要为后面的结构分析软件提供可靠的力学模型,所以在结构建模过程中,用户必须考虑后续的结构分析软件的要求,了解计算分析软件的力学特征及其所依据的力学原理,在此基础上,进行构件数据的输入。这类错误通常是对结构体系、结构构件、结构分析方法概念不清或者对CAD软件的功能理解不深造成的。这类错误大致有如下几种情况:

- 把非结构构件当成结构构件输入模型中;
- 错误的节点关系导致构件支座或边界错误;
- 构件力学关系定义错误;
- 错误地定义了荷载传递方向;
- 连续板按照单板进行分析计算,且边界定义错误。

随着计算机性能的不断提高,目前大多数结构CAD软件都是采用有限单元方法进行结构受力分析,在有限单元方法中,构件是通过构件的节点编号来定位的,如果梁、柱具有相同的节点,则有限元分析程序会认为此梁柱形成了一个结构节点,在结构刚度矩阵里,矩阵会在对应元素位置将梁柱刚度叠加,最后绘图软件也会依据节点编号关系来处理梁柱间的钢筋锚固关系。

在结构模型录入时,如果有两个靠得很近的网点,且某根梁和某根柱的端点分别设置

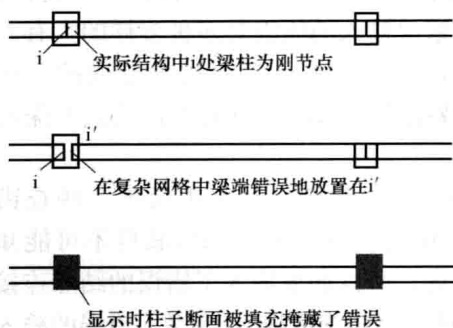


图 1-6 梁构件非法断开

在两个网点上，则这根梁和这根柱之间就不会形成力学意义上的节点，如图 1-6 所示。由于建模软件显示时对柱做了填充，就会造成二者交接的假象。这种错误可以称之为“数理不合”，这里的“数”指的是 CAD 软件描述结构物信息的数值模型，“理”为图形化显示的结构物理模型。

(3) 在钢筋混凝土结构中，不能输入框架填充墙

从框架结构的施工顺序可以知道，框架填充墙不是框架结构体系的组成部分。目前大多数

CAD 软件都是把填充墙按照结构体系的荷载来处理，如果在框架结构中输入了填充墙，就会导致结构分析程序把填充墙当成是结构构件，这样就可能会导致楼板传力路径不清的问题。当然，在部分框架结构中，也有一些砌体墙会成为结构构件，这些砌体墙的施工顺序和构造处理与填充墙是不同的。

(4) 结构方案以及结构体系上的不足

由于结构构件不是孤立地存在于一个结构之中，所以如果结构分析结果显示一个构件的承载力不够或断面尺寸过大，并不能简单地认为就是这个构件本身的原因。当结构方案存在缺陷或结构体系有问题时，也可能造成部分构件承载力不够或显得断面过大。

假设有一个框剪结构，其纵向构件的某个方向抗侧移刚度较小，在水平力作用下结构水平侧移较大，此时与剪力墙同向连接的梁（如图 1-7 所示）会承受很大的剪力，结构分析结果可能显示该梁抗剪能力不够。此时如果调整竖向构件的布置或把此梁改为墙开洞，减小结构的侧向位移或更换分析时的单元类型，该梁问题可能会自然消失。

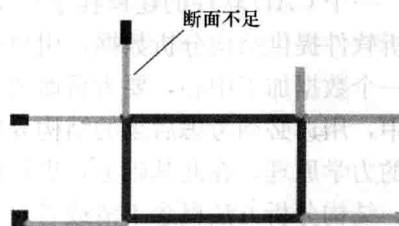


图 1-7 剪力墙与梁连接

在高层建筑结构中，为了节省混凝土用量，减小结构自重，柱子断面可能会在某个楼层处变小，这样会引起结构竖向刚度的突变，导致突变楼层处梁柱内力的突然增加，按常规尺寸布置的楼面梁可能会出现承载力不足，此时可以考虑减小柱子断面的变化值，而不片面增加梁的断面尺寸。

(5) 输入了错误的荷载数据

这类错误会造成局部构件内力的异常或大部分构件内力的失真。由于结构构件可以承受多个荷载，而这些荷载由于不是已经输入的构件产生的，建模软件不能自动统计，故这样的荷载需要用户交互输入。用户在交互输入荷载过程中，可能会犯下面一些错误：

- 重复输入或者漏失某部分荷载；
- 恒载中包括了构件的自重而计算机又自动重复计算了该构件的自重；
- 由于不了解 CAD 的特征而输入了其他构件传递来的荷载，而计算机在结构计算时，又自动导算了这些内力，导致荷载重复考虑（如由楼板传递到梁上的内力、上层柱传

递到下层的内力等)；

- 输入了错误的风载、地震参数，这类错误会影响结构的整体分析结果；
- 软件要求输入的是荷载标准值，而输入时乘上了荷载分项系数，错误地输入了荷载设计值，导致分项系数重复乘积累计。

这些错误会导致最后的计算分析结果失真。为了避免发生录入错误，用户应该仔细了解 CAD 软件的功能及操作说明，养成严谨的设计习惯，不断提高 CAD 的水平。

在荷载的输入过程中，应该依照个人的喜好，按一定的次序一定的规律输入，不可漫无目的地随意输入。养成良好科学的荷载录入习惯，是避免荷载错漏的有效方法之一。可以参考下面的次序：

- 先恒载后活载；
- 先板后梁再柱墙，先主梁后次梁；
- 先横轴再纵轴，先左后右，先下后上；
- 对于复杂的结构，也可事先在草纸上标出荷载的录入草图；
- 最后对输入的荷载进行校对。

(6) 构件尺寸错误

所谓结构，是由许多不同类型、不同尺寸的构件，按一定的规则组成具有一定承载力的体系。结构构件布置是 CAD 过程中的主要交互输入工作，结构建模不仅要对其构件进行定位、确定构件的尺寸，还要考虑构件间的构造关系和传力要求。输入结构模型时的尺寸错误通常有如下几种：

- 同一跨梁的不同梁段的高度或宽度不同；
- 截面类型错误；
- 传力路径中，上级构件尺寸大，下级构件尺寸小。

由于结构模型大多是以结构平面图的形式逐层显示在屏幕上，所以这种错误具有很大的隐蔽性，不易排查。有经验的设计人员在梁的布置之前，一般会通盘考虑结构所用的梁截面类型数，先行建立梁的截面类型表，之后按表分门别类地逐类输入。

(7) 构件定位错误

在同一楼层内的构件定位错误比较容易检查，如果在构件录入时注意随时复查，一般可以避免此类错误的发生。

在楼层之间有时会发生构件定位错误，比如上层结构的墙偏出下层梁、上层的柱子断面大于下层的柱、上层的柱子偏出下层的柱等，在设计过程中要加以注意。对于有复杂网格的建筑结构，由于复杂的网线导致网点会很密且分布杂乱，进行构件布置时要特别注意避免发生此类错误。这种错误会明显地改变梁的内力图形状，也会导致楼板形状异常。

有一些定位错误虽然不会导致受力变化，但会影响后期图纸的钢筋配置。如卫生间的现浇降板顶标高比应该设计的标高高了 40mm，但是该板的支座仍为其周边的楼面梁，则对计算分析结果不会产生任何影响，此类错误可只在图纸校审阶段对板的标高及盖筋进行修改。

(8) 构件遗漏和异型

以一个规则框架结构设计为例，如建模时遗漏了一个较小级别的荷载，主要影响该梁的配筋，其他影响不大，属于局部的错误；如遗漏了一段梁或一根柱子，则改变了结构的