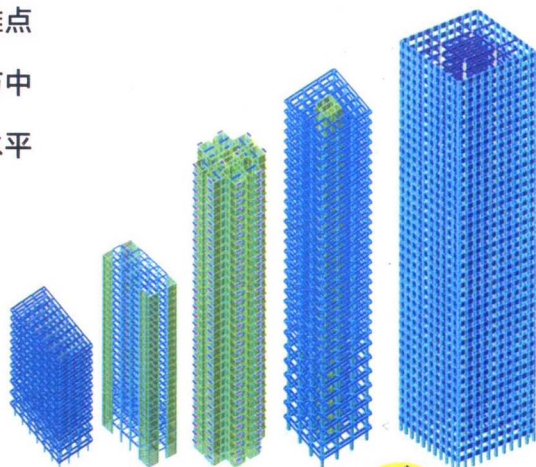


PKPM V3.2

结构软件应用 与设计实例

李永康 马国祝 编著

- ▶ 采用PKPM新规范版本V3.2建模计算
- ▶ 选取实例具有很强的实用性和代表性
- ▶ 结合规范条文分析设计中要点和难点
- ▶ 概念设计内容贯穿于每个实例章节中
- ▶ 引导初学者一步步提高结构设计水平
- ▶ 把复杂工程做到经济合理，
简单工程做到富有创意



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

☞ 新规范 V3.2 版

PKPM V3.2 结构软件 应用与设计实例

李永康 马国祝 编著

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

本书是在第1版《PKPM2010 结构 CAD 软件应用与结构设计实例》的基础上,以PMCAD建立模型和SATWE 结构计算这两个最常用的软件为主线,以全新的PKPM V3.2 版软件为基础,从体系正确选择、结构模型建立、参数合理选取、计算结果分析、施工图绘制五个方面,结合工程实例,对钢筋混凝土框架结构、框架—剪力墙结构、剪力墙结构、框架—核心筒结构、框筒结构设计深入浅出地阐述了工程从结构方案确定、建模计算到施工图绘制的全过程,对结构方案确定和优化、模型计算和调整中的一些疑难问题进行了适当分析并同时给出一些合理化建议,以帮助设计人员缩短调整建模时间,避免做大量的无用功,把主要精力用于施工图绘制上。从而使结构设计人员不但能在短期内快速掌握PMCAD 软件的使用,而且能又快又好地做出结构设计。

本书可供建筑结构设计人员、施工图审查人员阅读使用,亦可作为土木建筑专业高等院校师生学习结构设计课程时的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

PKPM V3.2 结构软件应用与设计实例/李永康,马国祝编著.—2版.
—北京:机械工业出版社,2018.1
ISBN 978-7-111-58805-4

I. ①P… II. ①李…②马… III. ①建筑结构—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TU311.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第328961号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高

封面设计:马精明 责任校对:刘时光

责任印制:孙炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2018年1月第2版第1次印刷

210mm×285mm·15.25印张·445千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58805-4

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

随着近十年来我国城市化进程的飞速发展和对外开放,国外许多建筑大师纷纷涌入中国建筑市场,打破了国内原有较为单一的建筑设计格局,各类新奇特建筑可以说是层出不穷,这不仅给结构设计人员带来了巨大挑战,同时也给结构软件行业提出了更高的要求。PKPM 结构 CAD 软件作为国内结构工程师的主要设计工具之一,为了适应国家标准的更新,及时满足用户在实际应用中提出的大量新的需求,同时也为了更好地与国际接轨,历经五年精心打造于 2017 年正式推出了全新的版本——PKPM V3.2 版。

2010 新规范版本设计软件 PKPM V3.2 版自正式发行以来,受到了结构设计人员的普遍好评,应该说其分析功能更加强大、模块内容更加丰富、运算速度更稳更快、参数选取更加开放、软件接口更加灵活、计算结果更加详尽。但由于采用了全新的 Ribbon 界面替代了经典的菜单栏和下拉菜单,许多设计人员觉得无法适应。为了能快速入门,及时熟练地掌握新版 PKPM 结构 CAD 系列软件,应出版社要求,特对原《PKPM2010 结构 CAD 软件应用与结构设计实例》一书进行了全面修订,所有实例全部采用 PKPM V3.2 版软件进行实例操作和讲解,设计人员可自己动手参照本书所讲的内容,一步一步完成常见的现浇钢筋混凝土结构体系的结构建模和分析计算,并最终完成施工图绘制工作。

本书选取实际工程中常见的不同结构体系的范例结合规范条文从体系正确选择、结构模型建立、参数合理选取、计算结果分析、施工图样绘制五个方面深入细致地阐述了工程项目从结构方案确定、建模分析计算到施工图绘制的全过程,并同时针对结构方案确定和构件优化、模型计算和调整中一些常见疑难问题进行了适当分析并同时给出了一些合理化建议,帮助设计人员缩短调整建模时间,避免做大量的无用功,把主要精力用在施工图绘制上。

1. 体系正确选择

结构体系与布置应满足使用功能要求,尽可能地与建筑相一致,平面和立面形式规则、传力直接,有足够承载力、刚度和延性,施工简便,经济合理。

2. 结构模型建立

结构模型相当于一个人的骨架,也是结构设计最重要的部分,结构模型的建立、必要的简化计算与处理,应符合建筑的实际工作状况。

3. 参数合理选取

SATWE 结构模型计算与分析,参数的设定是关键,设计人员如果不明白这些参数的含义而随意选取或取软件默认值,其计算结果有可能严重失真,导致工程存在重大安全隐患。

4. 计算结果分析

结构设计必须强调对计算结果进行合理性、正确性的分析和判断,保证整体计算指标符合规范要求,构件计算无超筋现象,才能最终作为施工图绘制的依据。

5. 施工图绘制

施工图是结构工程师的“语言”,是设计者设计意图的体现,同时也是工程施工的重要依据。另一方面,施工图样签字盖章后将具有法律效力,设计人员对图样设计质量要终身负责。因此,出正式施工图前一定要仔细再仔细,认真再认真。

目前,为了顺应国家规范对建筑的不同要求,PKPM CAD 系列软件已发展成为一种多专业、多用途的综合性软件系统,本书介绍的只是其中的很少一部分内容,主要侧重于不同结构形式建模分析计算和对计算参数的理解掌握,但设计人员只要认真通过本书的学习,对于软件的其他功能模块可以做到触类旁通,并对后续 PKPM CAD 其他模块的学习和结构设计水平的提高相信会有极大帮助。

特别需要指出的是，中国建筑科学研究院北京构力科技有限公司对该软件拥有最终解释权。软件的版本是不断更新的，本书所采用的软件是以2017年发布的PKPM V3.2版为准，软件升级后相关参数和内容与本书不符部分，以PKPM官方网站的解释为准。

本书所有计算范例均取自《实用高层建筑结构设计》一书，这些范例都具有很强的实用性和可操作性，由参编人员根据范例提供的数据建立结构计算分析模型，并对原范例中一些不合新规范要求的内容进行了调整。这里要特别感谢机械工业出版社的编辑薛俊高先生在本书修编过程中帮助策划、定稿、鼓励和鞭策，感谢日照市建设工程施工图审查中心的领导及同事对本人在写书过程中的大力支持和帮助，感谢我的女儿李佳男利用暑假帮助编辑整理了本书中所有的插图。限于编著者的水平有限，加上PKPM V3.2新版软件发行时间不长，编写时间仓促，书中错误在所难免，恳请专家同行批评指正。



2017年8月1日

目 录

前言

第 1 章 建筑结构设计步骤及绘图流程	1
1.1 建筑结构设计步骤及内容	1
1.2 PKPM CAD 结构施工图绘制流程	3
1.3 建筑结构设计目标及基本原则	4
1.4 结构体系分类及选型原则	6
1.5 结构专业与建筑、设备专业配合	10
1.6 结构方案规则性及超限判定	11
第 2 章 结构建模参数详解	15
2.1 结构建模之设计参数	15
2.2 SATWE 的基本功能	19
2.3 分析与设计参数补充定义	20
2.4 结构整体性能控制	58
第 3 章 钢筋混凝土框架结构设计	62
3.1 框架结构设计要点	62
3.2 框架结构布置原则	62
3.3 框架结构设计步骤	63
3.4 规范有关规定	63
3.5 现浇钢筋混凝土框架设计范例	64
3.6 建立结构计算模型	66
3.7 设计参数的选取	67
3.8 SATWE 分析设计	72
3.9 框架结构方案评议	94
3.10 框架结构施工图	94
3.11 框架设计必记数据总结	98
第 4 章 框架—剪力墙结构设计	103
4.1 框架—剪力墙结构设计要点	103
4.2 剪力墙布置原则	103
4.3 框架—剪力墙结构设计范例	105
4.4 结构模型建立	107
4.5 设计参数选取	109

4.6 SATWE 分析设计	111
4.7 框架—剪力墙结构方案评议	136
4.8 框架—剪力墙结构施工图绘制	137
第 5 章 剪力墙结构设计	139
5.1 剪力墙结构设计要点	139
5.2 剪力墙布置原则及截面初估	139
5.3 剪力墙结构设计范例	141
5.4 结构模型建立	143
5.5 设计参数选取	144
5.6 SATWE 分析设计	146
5.7 剪力墙结构方案评议	167
5.8 剪力墙结构施工图	168
第 6 章 框架—核心筒结构设计	170
6.1 框架—核心筒结构设计要点	170
6.2 框架—核心筒平面布置及构造要求	170
6.3 框架—核心筒结构设计范例	172
6.4 结构模型建立	174
6.5 设计参数选取	175
6.6 SATWE 分析设计	178
6.7 框架—核心筒结构方案评议	203
6.8 框架—核心筒结构施工图	203
第 7 章 框筒结构设计	206
7.1 框筒结构设计要点	206
7.2 框筒结构设计范例	207
7.3 结构模型建立	209
7.4 设计参数选取	210
7.5 SATWE 分析设计	212
7.6 框筒结构方案评议	231
7.7 框筒结构施工图	232
后记	234
参考文献	235

第 1 章 建筑结构设计步骤及绘图流程

建筑工程设计是由很多专业协同配合的集成化系统工程，一个完整的建筑工程施工图设计主要包括总平面、建筑、结构、建筑电气、给水排水、暖通空调、热动力和预算等专业内容，而结构分析和设计是其中重要的一个环节。目前结构分析工作基本上都在计算机上进行，绝大多数图样也采用计算机辅助设计来完成，因此计算机程序的内容和功能直接影响结构设计水平。目前我国已经具有好几个水平相当高、功能比较强、得到广泛应用的建筑结构分析程序，这些程序已经成为结构设计工作的有力工具，在解决结构分析难度和速度、保证以至提高结构设计水平上起了很大的作用。作为一名结构工程师，需要读懂建筑图，研读勘察报告，并与水、暖、电等设备专业密切配合，根据建筑所在地区抗震设防烈度和建筑物抗震设防类别初步确定结构体系，利用专业软件建模，同时可以对计算结果进行分析判定。因此，设计人员在准备结构设计之初，首先需要明白结构设计的步骤和绘图流程。

1.1 建筑结构设计步骤及内容

1. 第一步，结构方案初定

结构方案设计是否合理至关重要，优秀的结构方案既可以保证结构的安全，又能使结构受力合理并且节约材料，同时使后续的结构设计过程比较顺利，节省时间。而不合理的结构方案通常会使后续的结构设计过程反反复复，计算往往无法通过，而调整模型又很难。因此，磨刀不误砍柴工，结构设计人员应多花时间和精力缜密思考，反复斟酌，确定出一个较合理的结构方案。

(1) 基础资料收集

依据建筑专业提供的条件，收集项目所在地区气象资料，确定与地震作用有关的参数，包括抗震设防烈度，设计基本地震加速度、地震分组、基本风压、基本雪压等。研读勘察报告，了解地基情况，为后续设计做准备。

(2) 结构体系选择

根据建筑的长、宽、高，地上与地下层数，各层层高，主要结构跨度，特殊结构及造型，工业厂房的吊车吨位等，初步确定结构体系及柱网的间距，柱、墙、梁的大体布置，采用手算预估主要构件（墙、梁、柱）的截面尺寸。对较复杂建筑，应建立简单模型进行估算，初步确定整体结构方案的可行性，如图 1.1 所示。以便建筑专业及时调整、深化，形成一个各专业都基本合理的建筑方案。

(3) 特殊部位措施

对复杂的建筑，需要考虑是否设置结构缝（伸缩缝、沉降缝和防震缝），并确定防震缝的宽度，关键技术问题的解决方法，包括分析方法及构造措施或试验方法。

(4) 结构材料确定

明确混凝土强度等级、钢筋种类、钢绞线或高强钢丝种类、钢材牌号、砌体材料和其他特殊材料或产品（如成品拉索、铸钢件、成品支座、消能或减震产品等）。

2. 第二步，结构分析计算

结构方案设计完成后，结构设计进入计算、分析阶段。结构计算分析是在结构方案设计的基础上，

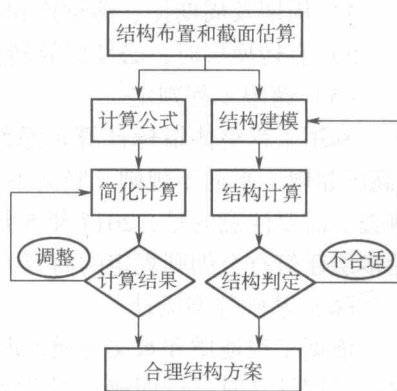


图 1.1 结构布置和截面估算流程图

先尽量准确地简化荷载，并将简化后的荷载尽可能准确地作用到结构的相应部位，继而采用适合本结构体系的力学计算方法求解结构内力，然后对内力组合的控制截面进行构件的强度计算，以及必要时进行构件的刚度验算，经过这些主要步骤之后，所获得的计算与验算结果将作为设计结构施工图的依据。这个阶段需要结构设计人员具备严谨的工作素质、扎实的理论基础和丰富的设计经验。应该清楚的是，在真实的建筑结构计算分析中不存在精确解，只存在控制解。结构的计算分析有以下主要步骤：

(1) 主要荷载取值

结构计算中需要的荷载包括：墙体荷载（包括外墙和内隔墙）、吊车荷载（最大轮压、最小轮压，水平荷载）、楼（屋）面活荷载、特殊设备荷载、风荷载（包括地面粗糙度、有条件时说明体型系数、风振系数等）、雪荷载（必要时提供积雪分布系数等）、地震作用（包括设计基本地震加速度、设计地震分组、场地类别、场地特征周期、结构阻尼比、水平地震影响系数最大值等）、温度作用及地下室水浮力的有关设计参数。

(2) 计算参数选择

设计地震动参数、场地类别、周期折减系数、剪力调整系数、地震调整系数、梁端弯矩调整系数、梁跨中弯矩放大系数、梁刚度放大系数、扭矩折减系数、连梁刚度折减系数、地震作用方向、振型组合、偶然偏心、振型数的取值（平扭耦连时取 ≥ 15 ，多层取 $3n$ ，大底盘多塔楼时取 $\geq 9n$ ， n 为楼层数）、结构嵌固端的选择、结构各部位抗震等级的确定等。

(3) 结构建模计算

应用 SATWE 对结构进行建模计算，核对输入的主要参数，对计算结果进行必要的分析。在第一步的基础上调整、细化，以确定结构布置和构件截面的合理性和经济性，以此作为施工图设计实施的依据。

(4) 计算结果分析判断

1) 地面上结构的单位面积重量是否在正常数值范围内，数值太小可能是漏了荷载或荷载取值偏小，数值太大则可能是荷载取值过大，或活荷载该折减的没折减，计算时建筑结构面积务必准确取值。

2) 竖向构件（柱、墙）轴压比是否满足规范要求，在此阶段轴压比必须严加控制。

3) 楼层层间位移角是否满足规范要求，理想结果是层间位移角略小于规范值，且两个主轴方向侧向位移值相近。

4) 周期及周期比、剪重比和刚重比、扭转位移比的控制。

5) 有转换层时，必须验算转换层上下刚度比及上下剪切承载力比。

(5) 超限工程判定

利用工程整体指标计算汇总结果，并根据有关规定进行结构工程超限情况判定。确定超限项目（高度超限、平面不规则、竖向不连续、扭转不规则、复杂结构等）和超限程度是否需要抗震超限审查。需要注意的是，2017年5月1日实施的《山东省超限建筑工程抗震设防专项审查实施细则》对单多层建筑符合细则规定的内容，也应纳入超限抗震设防专项审查之中。

(6) 基础选型设计

依据工程地质和水文地质概况，确定基础形式。采用天然地基时应明确基础埋置深度和持力层情况；采用桩基时，应明确桩的类型、桩端持力层及进入持力层的深度、承台埋深；采用地基处理时，应明确地基处理要求。

(7) 特殊结构处理

明确超长结构、大跨空间结构、带转换层结构、带加强层结构、错层结构、连体结构以及竖向体型收进、悬挑结构的加强措施及施工要求等。

3. 第三步，结构施工图绘制

结构施工图设计的工作内容，是将结构方案设计、结构计算分析的结果，用图形和文字表达出来，形成施工图设计文件。该阶段的工作内容，相对于结构方案设计与结构计算分析这两个阶段，并无很

多创造性,有些设计人员不太重视。应该说施工图是设计的最终产品,无论前期结构模型建得如何的完美,计算结果如何的精确,如果施工图出现错误,将功亏一篑。

(1) 图样目录编排主次明确

应按图样序号排列,先列新绘制图样,后列选用重复利用图和标准图。

(2) 结构设计总说明无漏项

结构设计总说明主要包括:工程概况、设计依据、图样说明、建筑分类等级、主要荷载(作用)取值及设计参数、设计计算软件、主要结构材料、基础及地下室工程、钢筋混凝土工程、钢结构工程、砌体工程、检测(观测)要求、基坑设计技术要求、绿色建筑说明、装配式结构设计专项说明等内容。

(3) 设计图样满足深度规定

结构设计图样主要包括:结构设计总说明、基础平面图、基础详图、结构平面图,构件详图、节点构造详图,最后是楼梯图、预埋件、特种结构和构筑物等。

(4) 结构计算书内容应完整

作为技术文件归档的计算书,内容应完整、清楚。采用手算的结构计算书,应有构件平面布置简图和计算简图、荷载取值的计算或说明。采用计算机程序计算时,应在计算书中注明所采用的计算程序名称、代号、版本及编制单位,总体输入信息、计算模型、几何简图、荷载简图,输出结果应整理成册。所有计算书应校审,并由设计、校对、审核人(必要时包括审定人)在计算书封面上签字。

1.2 PKPM CAD 结构施工图绘制流程

1. 结构建模步骤

PKPM CAD 建模是逐层录入模型,再将所有楼层组装成工程整体的过程。其输入的大致步骤如下:

1) 平面布置首先输入轴线。程序要求平面上布置的构件一定要放在轴线或网格线上,因此凡是有构件布置的地方一定先用【轴线网点】菜单布置它的轴线。轴线可用直线、圆弧等在屏幕上画出,对正交网格也可用对话框方式生成。程序会自动在轴线相交处计算生成节点(白色),两节点之间的一段轴线称为网格线。

2) 构件布置需依据网格线。两节点之间的一段网格线上布置的梁、墙等构件就是一个构件。柱必须布置在节点上。比如一根轴线被其上的4个节点划分为三段,三段上都布满了墙,则程序就生成了三个墙构件。

3) 用【构件布置】菜单定义构件的截面尺寸、输入各层平面的各种建筑构件,并输入荷载。构件可以设置对于网格和节点的偏心。

4) 【荷载布置】菜单中程序可布置的构件有柱、梁、墙(应为结构承重墙)、墙上洞口、支撑、次梁、层间梁。输入的荷载有作用于楼面的均布恒载和活载,梁间、墙间、柱间和节点的恒载和活载。

5) 完成一个标准层的布置后,可以使用【增加标准层】命令,把已有的楼层全部或局部复制下来,再在其上接着布置新的标准层,这样可保证各层组装在一起时,上下楼层的坐标系自动对位,从而实现上下楼层的自动对接。

6) 依次录入各标准层的平面布置,最后使用【楼层组装】命令组装成全楼模型。

2. SATWE 分析设计与结果查看

SATWE 分析设计的 Ribbon 菜单主要包括设计模型前处理、分析模型及计算、计算结果等几个主要模块。其中设计模型前处理中“参数定义”中的参数信息是 SATWE 计算分析所必需的信息。新建工程必须执行此项菜单,确认参数正确后方可进行下一步的操作,此后如参数不再改动,则可略过此项菜单。分析模型及计算中必须执行“生成数据+全部计算”菜单,其余各项菜单不是每项工程必需的,可根据工程实际情况,有针对性地选择执行。SATWE 的计算结果很丰富,有图形和文字,可选择查看。

3. 基础设计

JCCAD 是 PKPM 系统中功能最为纷繁复杂的模块,也是被诟病最多的基础设计软件,新版基础设计软件 JCCAD 以基于二维、三维图形平台的人机交互技术建立模型,它接力上部结构模型建立基础模型、接力上部结构计算生成基础设计的上部荷载,充分发挥了系统协同工作、集成化的优势;它系统地建立了一套设计计算体系,科学严谨地遵照各种相关的设计规范,适应复杂多样的多种基础形式,提供全面的解决方案;它不仅为最终的基础模型提供完整的计算结果,还注重在交互设计过程中提供辅助计算工具,以保证设计方案的经济合理;它使设计计算结果与施工图设计密切集成,基于自主图形平台的施工图设计软件经历了十多年的用户实践,目前已经成熟实用。

4. 楼板设计

楼板设计软件,包含复杂楼板分析与设计软件 SLABCAD 与板施工图两个模块,不但可以按照传统方法进行楼板设计,也可完成例如板柱结构、厚板转换层结构、楼板局部开大洞结构以及大开间预应力板结构等复杂类型楼板的计算分析和设计。它接力 PMCAD 的模型数据和 SATWE 的全楼三维计算结果,可以实现结构楼板的设计。

5. 施工图绘制

混凝土结构施工图模块是 PKPM CAD 系统的主要组成部分之一,其主要功能是帮助用户完成上部结构各种混凝土构件的配筋设计,并绘制施工图。该模块包括梁、柱、墙、板及组合楼板、层间板等多个子模块,用于处理上部结构中最常用到的各大类构件。施工图绘制是本模块的重要功能。软件提供了多种施工图表示方法,如平面整体表示法,柱、墙的专栏画法,传统的立剖面图画法等。其中最主要的表示方法为平面整体表示法,软件缺省输出平法图,钢筋修改等操作均在平法图上进行。软件绘制的平法图符合平法图集 16G101-1 的要求。

PKPM CAD 结构施工图绘制流程如图 1.2 所示。

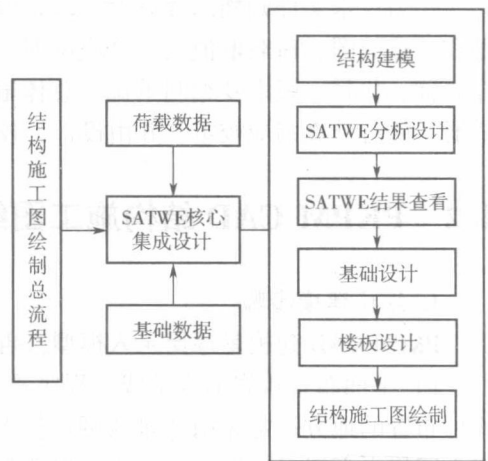


图 1.2 PKPM CAD 结构施工图绘制流程

1.3 建筑结构设计目标及基本原则

1. 建筑结构设计的目标

建筑结构设计的目的就是在现有技术基础上,用最经济的手段来获得预定条件下满足设计所预期的各种功能的要求,做到安全实用、经济合理、技术先进和确保质量。

1) 满足耐久性和安全性要求。结构耐久性和安全性是住宅结构优化设计最基本的要求,选择的结构体系和选用的材料,必须有利于抗风、抗震、抗洪以及方便使用寿命期间的改造维修,在偶然事件发生仍能保持其结构的整体稳定性和耐用性。

2) 满足使用性的要求。即进行结构方案设计时应以更好地满足人们对建筑使用性和舒适性的要求为目的,充分考虑结构中各类与之相关的问题,做到面面俱到。

3) 满足经济性的要求。即结构设计时应根据建筑的建造地点、规模大小、高度多少等,在满足耐久性、安全性和使用性要求的前提下,精打细算采用经济又合理的优化结构体系,以起到节约成本的功效。

2. 建筑结构设计的基本原则

(1) 结构体系经济合理、结构构件布置得当

抗震结构体系要通过综合分析,采用合理而经济的结构类型。结构的地震反应同场地的频谱特性有密切关系,场地的地面运动特性又同地震震源机制、震级大小、震中的远近有关;建筑的重要性、

装修的水准对结构的侧向变形大小有所限制, 从而对结构选型提出要求; 结构的选型又受结构材料和施工条件的制约以及经济条件的许可等。这是一个综合的技术经济问题, 应周密加以考虑。抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理且传力路线不间断, 使结构的抗震分析更符合结构在地震时的实际表现, 对提高结构的抗震性能十分有利, 是结构选型与布置结构抗侧力体系时首先考虑的因素之一, 结构方案对建筑物的安全有着决定性的影响, 结构设计人员协调建筑方案时应考虑结构体型(高宽比、长宽比)适当, 传力途径和构件布置能够保证结构的整体稳固性, 避免因局部破坏引发结构连续倒塌。结构体系应符合下列各项要求:

- 1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径。
- 2) 应避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。
- 3) 应具备必要的抗震承载力, 良好的变形能力和消耗地震能量的能力。
- 4) 对可能出现的薄弱部位, 应采取措施提高其抗震能力。

结构构件应符合下列要求:

- 1) 砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱, 或采用约束砌体、配筋砌体等。
- 2) 混凝土结构构件应控制截面尺寸和受力钢筋、箍筋的设置, 防止剪切破坏先于弯曲破坏、混凝土的压溃先于钢筋的屈服、钢筋的锚固粘结破坏先于钢筋破坏。
- 3) 预应力混凝土的构件, 应配有足够的非预应力钢筋。
- 4) 钢结构构件的尺寸应合理控制, 避免局部失稳或整个构件失稳。
- 5) 多、高层的混凝土楼、屋盖宜优先采用现浇混凝土板。当采用预制装配式混凝土楼、屋盖时, 应从楼盖体系和构造上采取措施确保各预制板之间连接的整体性。

(2) 结构平面简单规则, 竖向构件贯通对齐

合理的建筑形体和布置在抗震设计中是头等重要的。规则的结构方案体现在体型(平面和立面的形状)简单, 抗侧力体系的刚度和承载力上下变化连续、均匀, 平面布置基本对称。即在平立面、竖向剖面或抗侧力体系上, 没有明显的、实质的不连续(突变)。因为震害表明, 简单、对称的建筑在地震时较不容易破坏。实际上引起建筑不规则的因素还有很多, 特别是复杂的建筑体型, 很难一一用若干简化的定量指标来划分不规则程度并规定限制范围, 有经验的结构设计人员, 要区分不规则、特别不规则和严重不规则等不规则程度, 避免采用抗震性能差的严重不规则的设计方案。

(3) 结构模型符合实际, 计算结果合理有效

利用计算机软件进行结构计算分析, 应符合下列要求:

- 1) 计算模型的建立、必要的简化计算与处理, 应符合结构的实际工作状况, 计算中应考虑楼梯构件的影响。
- 2) 计算机软件的技术条件应符合规范及有关标准的规定, 并应阐明其特殊处理的内容和依据。
- 3) 复杂结构在多遇地震作用下的内力和变形分析时, 应采用不少于两个合适的不同力学模型, 并对其计算结果进行分析比较。
- 4) 所有计算机计算结果, 应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

(4) 概念设计贯穿始终, 抗震措施加强到位

在建筑结构设计中, 概念设计与结构措施至关重要, 结构构造是结构设计的保证, 构造设计必须从概念设计入手, 加强连接, 保证结构的整体性、足够的强度和适当的刚度。结构概念设计是保证结构具有优良抗震性能的一种方法。概念设计包含的内容极为广泛, 如选择对抗震有利的结构方案和布置, 采取减少扭转和加强抗扭刚度的措施, 设计延性结构和延性结构构件, 分析结构薄弱部位, 并采取相应的措施, 避免薄弱层过早破坏, 防止局部破坏引起连锁效应, 避免设计静定结构, 采取二道防线措施等。应该说, 从结构方案、布置、计算到构件设计、构造措施每个设计步骤中都贯穿了抗震概念设计内容。利用概念设计可以在建筑方案阶段对结构体系进行迅速、有效的构思、比较与选择, 这样从源头上保证了建筑方案的科学性和合理性, 以避免后期设计阶段出现较大的改动, 影响方案效果。

随着计算机技术在结构设计当中的应用,年轻的设计师们甩开了图板,进行着“高效率的出图”,给人的错觉好像设计很简单,一些结构设计师不重视结构的基本理论和基本概念的正确使用,不能有效地运用所学到的知识、精力和时间去考虑结构的整体设计、协同工作等一系列概念设计问题,过分依赖于计算机,多年后会逐渐缺乏结构设计的基本概念,对软件技术条件认识不清、对计算机的计算结果无法判断,对规范与软件之间的差异不甚了解,对如何加强结构的整体性、合理性、经济性没有概念,甚至一些设计人员过多地相信计算机分析结果而导致结构计算模型与实际建筑物存在较大差别,导致施工图样中出现了概念性错误,造成重大工程事故。因此为保证建筑结构的安全、适用、经济、可靠,对设计人员强调结构概念设计是非常必要的。

(5) 设计文件满足深度,施工材料实际可行

施工图是工程师的“语言”,是设计者设计意图的体现,也是施工、监理、经济核算的重要依据。结构施工图在整个设计中具有举足轻重的作用,切不可草率从事。对结构施工图的基本要求是:图面清楚整洁、标注齐全、构造合理、符合国家制图标准及行业规范,能很好地表达设计意图,并与计算书一致。在施工图设计阶段,就是根据结构计算的结果来用结构语言表达在图纸上。首先表达的东西要符合结构计算的要求,同时还要符合规范中的构造要求,最后还要考虑选用的材料及施工的可操作性。这就要求结构设计人员对规范要很好地理解和把握。另外还要对施工的工艺和流程有一定的了解。这样设计出的结构,才会是合理的结构。在施工图设计阶段,结构专业设计文件应包含图样目录、设计说明、设计图样和计算书。施工图是设计人员的语言,是设计的最终产品,主要目的在于指导施工,必须表达清楚、全面,施工技术人员能看懂且不产生歧义。结构设计人员应根据现有技术条件(材料、工艺、机具等)考虑施工的可行性。对特殊结构,应提出控制关键技术的要求,以达到设计目标。

1.4 结构体系分类及选型原则

1. 建筑结构选型原则

(1) 满足建筑空间和功能的要求

对于大型公共建筑,如体育馆比赛大厅无法设柱,必须采用大跨度结构,对大型超市应采用框架结构,对高层住宅应采用剪力墙结构等。

(2) 满足建筑造型的需要

对造型复杂,平立面特别不规则的建筑结构选型,要按实际需要在适当部位设置抗震缝,把复杂平面划分为几个规则的单元,以便于计算且容易满足规范要求而不超限。

(3) 充分发挥结构自身优势

不同结构形式都有各自的优点和缺点,有不同的使用范围,应结合建筑要求扬长避短,进行结构选型。

(4) 考虑当地材料供应和施工条件

结构方案初定时,应结合当地实际施工技术的条件,采用不同的结构形式和材料。

(5) 经济合理,降低造价

当几种结构形式都可能满足建筑要求时,应选用造价较低的结构形式,尽量就低不就高,可采用砌体结构时,就不要选用框架结构,可采用框架结构时,就不要选用框架—剪力墙结构。

2. 建筑结构体系及适用范围

结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素,经技术、经济和使用条件综合比较确定。多高层房屋结构体系包括水平结构体系(楼、屋盖系统)和竖向结构体系(墙、柱)。竖向结构体系的墙、柱与水平结构体系中的梁板共同组成房屋的抗侧空间结构,共同抵抗侧向力作用。多高层建筑的结构体系主要有框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构、框支剪力墙结构,框架—核心筒结构、筒中筒结构以及其他复杂高层结构形式,各种体系特点、适用范围及结构布置要求详见表 1.1。下面就常见的几种结构体系作一些阐述。

表 1.1 建筑结构体系选择参考表

结构体系	框架	剪力墙				框架—剪力墙		筒体			板柱—抗震墙											
		全部落地剪力墙		部分框支剪力墙		A	B	框架—核心筒		筒中筒												
		A	B	A	B			A	B	A		B										
高度分级	A																					
非抗震区	70	150	180	130	150	170	150	160	220	200	300	110										
6 度	60	140	170	120	140	160	130	150	210	180	280	80										
7 度	50	120	150	100	120	140	120	130	180	150	230	70										
8 度 0.2g	40	100	130	80	100	120	100	100	140	120	170	55										
8 度 0.3g	35	80	110	50	80	100	80	90	120	100	150	40										
9 度	24	60	—	不应采用	—	50	—	70	—	80	—	不应采用										
特点	<p>优点:布置灵活,能适应各种建筑形式</p> <p>缺点:抗侧刚度差,适应高度低、层数少</p>	<p>优点:抗侧刚度大,有较好的抗震性能。室内整齐,无梁柱暴露</p> <p>缺点:布置不灵活,在底层布置大空间时需通过结构转换</p>	<p>既有框架结构布置灵活、方便使用的特点,又有较大的刚度,可以满足大多数建筑物的使用要求</p>	<p>抗侧刚度大,整体性好,具有较好的抗震性能</p>	<p>筒中筒结构具有抗侧刚度更大、适应高度更高的特点</p>	<p>优点:便于设备管道布置安装,可有效地减少层高,降低建造价等</p> <p>缺点:抗震性能较差</p>																
适应建筑类型	多用于旅馆、住宅楼、办公楼、教学楼、综合楼、商场等多层建筑	多用于旅馆、公寓、住宅楼等无开阔视线的多层、中高层建筑;落地墙数量与全部剪力墙数量之比,在非抗震区 $\geq 1/3$,地震区 $\geq 1/2$	多用于酒店、住宅楼、办公楼、教学楼、综合楼、商场等多层、中高层建筑	可用于层数多、高度大的写字楼、酒店等高层、超高层建筑。建筑平面多为方形、矩形、圆形、椭圆形等	筒中筒结构的结构受力合理,经济,适用于较高的高层建筑(≥ 50 层),且十分符合建筑使用要求	适用于商场、图书馆的阅览室和书库、车库、饭店、写字楼、综合楼等																
结构布置要求	常用柱网尺寸为 6~9m(9m 以内较经济)。抗震区的多层不宜采用单跨框架,高层不应采用单跨框架,楼梯间不宜设在边跨	剪力墙间距 6~9m,沿轴线双向均匀、对称布置,上下对齐,贯通全高;需转换时最高位置:8 度 3 层,7 度 5 层,6 度时其层数可适当增加。落地墙间距 6.7 度 $L \leq 30m$ 及 2.5B;8 度 $L \leq 24m$ 及 2B(B 为房屋总进深)	沿两个主轴方向分散、均匀、周边、对称设置剪力墙;剪力墙宜采用 L、T、H、U 形截面形式;剪力墙间距 6.7 度时 $L \leq 50m$ 及 4B;8 度时 $L \leq 40m$ 及 3B	核心筒宜贯通建筑物全高。核心筒的宽度不宜小于筒体总高的 1/12,框架—核心筒结构的周边柱间必须设置框架梁。当内筒偏置、长宽比大于 2 时,宜采用框架—双筒结构	内筒的宽度可为高度的 1/15~1/12,外框筒柱距不宜大于 4m,洞口面积不宜大于墙面面积的 60%,外框筒梁的截面高度可取柱净距的 1/4;角柱截面面积可取中柱的 1~2 倍	抗震墙厚度不应小于 180mm,且不宜小于层高或无支长度度的 1/20;房屋高度大于 12m 时,墙厚不应小于 200mm																

注:超出 A 级或最大适应高度时需要申报安全性评价及超限高层抗震专项审查。

(1) 框架结构体系

框架结构是由梁和柱为主要构件组成的承受竖向和水平作用的结构体系。按照框架布置方向的不同,框架结构体系可分为横向布置、纵向布置和双向布置三种框架结构形式。框架结构的变形特征为剪切型。在抗震设防地区,要求框架必须纵横向布置,形成双向框架结构形式,以抵抗水平荷载及地震作用。双向框架作用结构布置形式具有较强的空间整体性,可以承受各个方向的侧向力,与纵、横向布置的单向框架比较,具有较好的抗震性能。框架结构的特点是柱网布置灵活,便于获得较大的使用空间。延性较好,但横向侧移刚度小,水平位移大。比较适用于大空间的多层及层数较少的高层建筑。

(2) 剪力墙结构体系

剪力墙结构是指竖向承重结构由剪力墙组成的一种房屋结构体系。剪力墙的主要作用除承受并传递竖向荷载作用外,还承担平行于墙体平面的水平剪力。剪力墙结构的变形特征是弯曲线。其特点是整体性好,侧向刚度大,水平力作用下侧移小,比框架更适合用于高层建筑的结构体系布置中。并且由于没有梁、柱等外露构件,可以不影响房屋的使用功能,所以比较适合用于宾馆、住宅等建筑类型。缺点是不能提供大空间房屋,结构延性较差。由于剪力墙结构提供的房屋空间一般较小,当在下部一层或几层需要更大空间时,往往在下部取消部分剪力墙,形成框支剪力墙结构。

(3) 框架—剪力墙结构体系

框架—剪力墙结构是指由框架和剪力墙共同承受竖向和水平作用的结构体系。由于框架的主要特点是能获得大空间房屋,房间布置灵活,而其主要缺点是侧向刚度小、侧移大。而剪力墙结构侧向刚度大、侧移小,但不能提供灵活的大空间房屋。框架—剪力墙结构体系则充分发挥他们各自的特点,既能获得大空间的灵活空间,又具有较强的侧向刚度。框架—剪力墙的变形特征为弯剪型。在框架—剪力墙结构体系中,框架往往只承受并传递竖向荷载,而水平荷载及地震作用主要由剪力墙承担。一般情况下,剪力墙可承受70%~90%的水平荷载作用。剪力墙在建筑平面上的布置,应按均匀、分散、对称周边的原则考虑,并宜沿纵横两个方向布置。剪力墙宜布置在建筑物的周边附近,恒载较大处及建筑平面变化处和楼梯间和电梯的周围;剪力墙宜贯穿建筑物的全高,宜避免刚度突变;剪力墙开洞时,洞口宜上下对齐。建筑物纵(横)向区段较长时,纵(横)向剪力墙不宜集中布置在端开间,不宜在变形缝两侧同时设置剪力墙。

(4) 筒体结构体系

筒体结构是由竖向筒体为主组成的承受竖向和水平作用的建筑结构。筒体结构的筒体分剪力墙围成的薄壁筒和由密柱框架或壁式框架围成的框筒等。由核心筒与外围的稀柱框架组成的筒体结构称为框架—核心筒结构,由核心筒与外围框筒组成的筒体结构称为筒中筒结构。一般将楼电梯间及一些服务用房集中在核心筒内;其他需要较大空间的办公用房、商业用房等布置在外框架部分。核心筒实体是由两个方向的剪力墙构成的封闭的空间结构,它具有很好的整体性与抗侧刚度,其水平截面为单孔或多孔的箱形截面。它既可以承担竖向荷载,又可以承担任意方向的水平侧向力作用。筒中筒结构是由实体的内筒与空腹的外筒组成,空腹外筒是由布置在建筑物四围的密集立柱与高跨比很大的横向窗间梁所构成的一个多孔筒体。筒中筒结构体系具有更大的整体性和抗侧刚度,因此适用于超高层建筑。

3. 建筑常用楼屋盖形式及适用范围

楼盖是建筑结构中的水平结构体系,它与竖向构件、抗侧力构件一起组成建筑结构的整体空间结构体系。它将楼面竖向荷载传递至竖向构件,并将水平荷载(风力、地震力)传到抗侧力构件。根据不同的分类方法,可将楼盖分为不同的类别。按施工方法可将楼盖分为现浇楼盖、装配式楼盖、装配整体式楼盖。现浇楼盖整体性好、刚度大,具有较好的抗震性能,并且结构布置灵活,适应性强。但现场浇筑和养护比较费工,工期也相应加长。我国规范要求高层建筑中宜采用现浇楼盖。近年来由于商品混凝土、混凝土泵送和工具模板的广泛应用,现浇楼盖的应用逐渐普遍。按照梁板的布置不同,可将现浇楼盖分为:

(1) 肋梁楼盖

肋梁楼盖是由板及支撑板的梁组成。梁通常采用双向正交布置,将板划分为矩形区格,形成四边

支撑的连续或单块板。肋梁楼盖结构布置灵活，施工方便，广泛应用于各类建筑中。

(2) 井式楼盖

单向板梁板结构中，梁可分为次梁和主梁；双向板梁板结构中，梁既可分为次梁和主梁，又可为双向梁系。在双向梁系中，若两个方向的梁的截面相同，不分主次梁，方形或近似方形（也有采用三角形或六边形）的板格，此种结构称为井式楼盖，其特点是跨度较大，具有较强的装饰性，多用于公共建筑的门厅或大厅。

(3) 无梁楼盖

不设梁，将板直接支撑在柱上，楼面荷载直接由板传给柱，称为无梁楼盖。无梁楼盖柱顶处的板承受较大的集中力，通常在柱顶设置柱帽以扩大板柱接触面积，提高柱顶处平板的冲切承载力、降低板中的弯矩。不设梁可以增大建筑的净高，而且模板简单，建筑物具有良好的自然通风、采光条件，多用于对空间利用率要求较高的厂房、仓库、藏书库、商场、水池顶、片筏基础等结构。

(4) 密肋楼盖

密肋楼盖又分为单向和双向密肋楼盖。密肋楼盖可视为在实心板中挖凹槽，省去了受拉区混凝土，没有挖空的部分就是小梁或称为肋，而柱顶区域一般保持为实心，起到柱帽的作用，也有柱间板带都为实心的，这样在柱网轴线上就形成了暗梁。

(5) 拱式结构

拱是一种有推力的结构，主要内力是压力，可利用抗压性能良好的混凝土建造大跨度的拱式结构。适用于体育馆、展览馆等建筑。

(6) 薄壁空间结构

薄壁空间结构也称壳体结构，属于空间受力结构，主要承受曲面内的轴向压力。常用于大跨度的屋盖结构，如俱乐部、飞机库等。

不同屋盖特点及适用建筑类型详见表 1.2。

表 1.2 常用楼屋盖结构选型参考表

结构类型	肋梁楼盖	井字梁楼盖	无梁楼盖	拱式结构	薄壳结构
适应 跨度 L	普通梁 $\leq 9\text{m}$ 预应力梁 $\leq 30\text{m}$	8 ~ 24m	6 ~ 9m	40 ~ 60m	20 ~ 50m
截面 高度 h	主梁 $(1/18 \sim 1/10)L$ 预应力主梁 $(1/25 \sim 1/15)L$	$(1/20 \sim 1/15)L$	$(1/30 \sim 1/25)L$ 且 $\geq 150\text{mm}$	$(1/40 \sim 1/30)L$	截面厚度 $t = (1/100 \sim 1/50)R$ (R 为中面的最小曲率半径)
截面 宽度 b	$(1/4 \sim 1/3)h$	$(1/4 \sim 1/3)h$	—	$\geq h/2$	—
矢高 f	—	—	—	$(1/7 \sim 1/5)L$ 最小 $L/10$	$(1/7 \sim 1/5)L$ 最小 $L/10$
特点	肋梁楼盖是指由主、次梁及板组成的使用最普遍的一种结构形式，一般采用全现浇。其特点是用钢量较低，楼板上留洞、埋设管线方便，但支模较复杂。荷载较大、跨度较大、刚度及裂缝控制要求较高时可采用密肋楼盖、预应力梁板楼盖等结构形式	两个方向梁的高度相等且一般等间距布置，无主次梁之分，共同工作，属于空间受力体系，依靠周边梁、墙体支承或四角柱支承，可以解决较大跨度空间的设计要求	板直接支承于柱上，其传力途径是荷载由板直接传至柱或墙。无梁楼盖的结构高度小，净空大，支模简单，但用钢量较大，造价较高。荷载、跨度较大时宜设置柱帽。也可采用现浇空心无梁楼盖结构形式	主要特点：一是可满足建筑特殊功能及造型要求；二是可做成大跨度结构；三是可把承受的外部荷载大部分转化为构件轴力，充分发挥材料的受压性能；四是要解决好支座水平推力及整体稳定问题	薄壳属于空间薄壁结构，是一种强度高、刚度大、材料省、既经济又合理的结构形式。但同时也有费工、费时、模板及脚手架较多、高处作业施工困难等缺点。薄壳分为曲面壳和折板两种。对建筑而言，结构本身就形成了“面”，而且可以切削

(续)

结构类型	肋梁楼盖	井字梁楼盖	无梁楼盖	拱式结构	薄壳结构
适应建筑类型	广泛用于各种建筑的楼屋盖结构, 普通梁跨度小于 9m 时比较经济	常用于 24m 跨度以下区格的楼盖, 梁间距 2~3m, 区格长宽比在 1~1.5 之间比较经济	常用于仓库、商店等柱网布置接近方形的建筑。间距 6m 左右较为经济。屋面、地下一层顶板不宜采用	适用范围极广, 不仅适合于大跨结构, 也适用于中小跨度的房屋建筑。如展览馆、体育馆、商场等	可用于教堂、体育馆、天文馆等建筑。壳体形式有球面、椭球、抛物面、圆柱面、锥壳、双曲面等

1.5 结构专业与建筑、设备专业配合

建筑工程设计具有交叉作业、综合协调的特点。任何一项工程都是由多工种配合完成, 独木不成林。专业之间的配合是工程设计过程中的重要环节, 各专业之间及时, 认真负责、正确地互提资料是减少错、漏、碰、缺, 保证设计质量和进度的有效措施。

1. 方案设计阶段

方案设计阶段, 结构设计文件主要为设计说明, 此阶段结构专业设计人员要做到: 确定建筑结构的安全等级、设计使用年限和建筑抗震设防类别等, 并初步确定结构选型。

结构专业主要在接收建筑专业资料的基础上反提资料。如果工程复杂, 根据实际工程需要接收给水排水、暖通、电气专业提供资料, 如图 1.3 所示。

2. 初步设计阶段

初步设计阶段, 结构设计文件应包括设计说明书, 设计图样 (较复杂的工程提供)。结构专业要确定结构设计原则、对方案设计阶段确定的结构体系的确认并提出基本构件的控制尺寸, 设计文件应尽量考虑周到, 为施工图设计打下一个好基础。初步设计阶段各专业一般分两个时段互提资料。第一时段结构专业接收建筑专业提供的资料后, 通过各专业间的配合, 对提供的资料进行复核和确认, 及时提出调整补充意见反馈给建筑专业。第二时段结构专业接收建筑专业提供的资料后, 接收给水排水、暖通、电气专业提供资料的同时, 分批反提资料, 反提资料可采用文字、图、表等形式, 如图 1.4 所示。

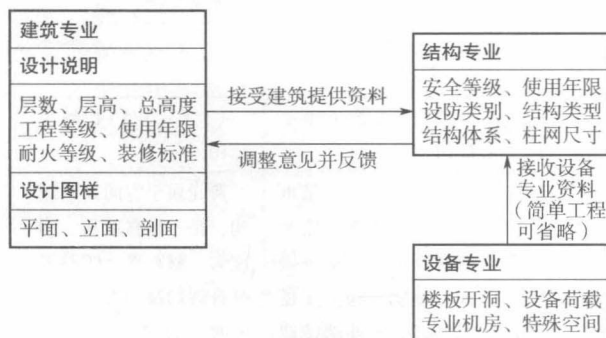


图 1.3 方案阶段结构专业接收建筑专业资料

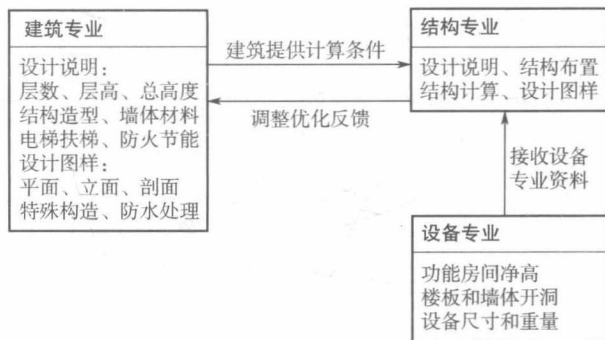


图 1.4 初步设计阶段结构专业接收建筑专业资料

3. 施工图设计阶段

施工图设计阶段, 结构专业设计文件应包括图样目录、设计说明、设计图样, 计算书。施工图设计阶段结构专业提出, 接收资料的表达方式以图示为主, 便于各专业的配合时查找、核对。施工图设计阶段的互提资料重点是结构专业与建筑、给水排水、暖通, 电气专业之间的反复配合过程。施工图设计阶段各专业一般分三个时段互提资料, 作为各专业的施工图设计过程中的依据。第一时段结构专

业接收建筑专业提供的资料后,通过各专业间的配合,对提供的资料进行复核和确认,及时提出调整补充意见反馈给建筑专业。第二时段结构专业接收建筑专业提供的资料后开始分批反提资料。第三时段结构专业接收建筑专业提供的资料后反提资料,与各专业间细微修改、调整及配合,如图1.5所示。

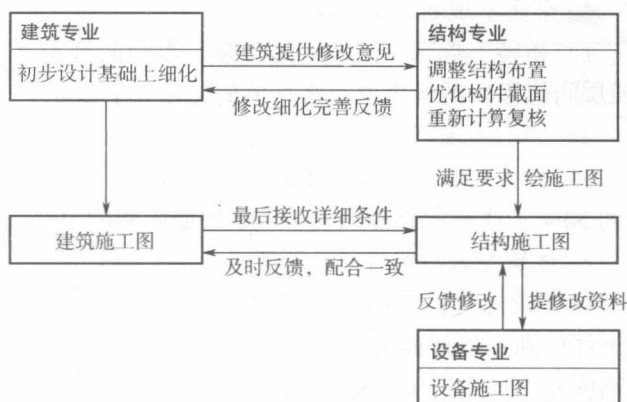


图 1.5 施工图阶段结构专业接收建筑专业资料

1.6 结构方案规则性及超限判定

结构方案应重视其平面、立面和竖向剖面的规则性对抗震性能及经济合理性的影响,宜择优选用规则的形体,其抗侧力构件的平面布置宜规则对称、侧向刚度沿竖向宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小、避免侧向刚度和承载力突变。对不规则的建筑应按规定采取加强措施,特别不规则的建筑应进行专门的研究和论证,采取特别的加强措施,严重不规则的结构方案不应采用。依据住建部发《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》(建质[2015]67号)规定,对建筑结构布置属于特别不规则、高度和屋盖超限的建筑必须按规定要求申报抗震设防专项审查。

1. 建筑平面布置规则性要求

抗震设计的高层建筑,其平面布置宜简单、规则、对称,减少偏心,平面长度不宜过长(图1.6),平面尺寸及凸出部位尺寸的比值限值宜符合表1.3的要求。

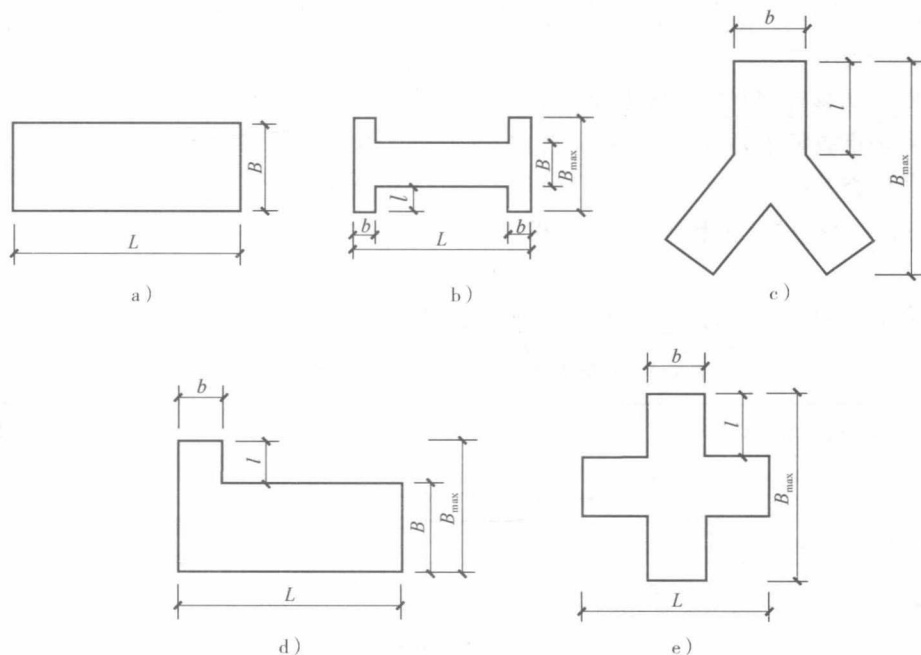


图 1.6 建筑平面示意

表 1.3 平面尺寸及凸出部位尺寸的比值限值

设防烈度	L/B	L/B_{\max}	l/b
6度、7度	≤ 6.0	≤ 0.35	≤ 2.0
8度、9度	≤ 5.0	≤ 0.30	≤ 1.5