

建筑结构概念 体系与估算

罗福午 主编

清华大学出版社

要对典型的结构体系有较好的理解，以便正确地认识建筑物设计中的全局性问题，在设计上有所创新，他还要学会近似的估算方法，了解一些宏观量的估计，以便具有定性解决各种技术问题的能力。

本书按照以上思路编写，只是一种新的尝试。这种尝试虽然只有四次教学实践的经验，但是却获得了初步成功的喜悦。本人期望这些有益的教学实践和尝试，今后能在更加广泛的教学改革中继续充实、提高。

本书前七章为建筑结构的基本知识，可作为教学的主要内容；第八章为建筑师在建筑结构方面应有的扩展知识。本书除第六章由杨晓明编写外，其余各章均由本人编写。限于水平，如有不当之处，请批评指正。

罗福午

1990年8月于清华园

内 容 提 要

本书针对建筑师对建筑结构知识的需求编写,着重阐述了建筑结构的基本概念、几种常用的结构体系以及简化的结构估算方法。本书共分八章,前七章为建筑结构的基本知识,内容包括:建筑物结构问题的总概念;结构设计中的总体问题;结构的基本水平分体系和基本竖向分体系;钢筋混凝土结构构件、砌体结构构件的设计估算;钢结构概述;结构设计估算实例。第八章为建筑结构方面的扩展知识,包括拱、悬索、壳体、折板、高层建筑在内的各种结构体系。

本书在设计思想上强调建筑师要懂得结构,做到建筑与结构的结合;在编写指导思想上强调深入浅出,通过联想对比做到温故知新,是对建筑学专业建筑结构课教学改革的新尝试。

本书是大专院校建筑学专业建筑结构课程教材,也可供建筑、结构设计人员和土建施工人员参考。

(京)新登字158号

建筑结构概念体系与估算

罗福午 主编
责任编辑 姚美瑞

☆

清华大学出版社出版
北京 清华园
国防科工委印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 487千字
1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷
印数: 0001—8000
ISBN7-302-00891-4/TU·66
定价: 5.30元

前 言

建筑师应该了解建筑结构知识，应该有能力将所学到的建筑结构知识在建筑设计中加以应用，这已是尽人皆知的道理。只有这样，建筑师和结构工程师才能紧密地合作和结合，完成社会进步赋予土建科技人员的三重使命：建造出适用、美观、新颖、合理的建筑物；培养出既有建筑理论和艺术修养又懂得现代科学和工程技术的优秀建筑师；使建筑科学技术和建筑理论、建筑艺术得到协调发展。

但是，回顾我国建筑学专业人才培养的历史，不能不看到存在着两种倾向：（1）比较忽视现代科技，尤其是建筑结构的教學；（2）建筑结构的教學不得其法：将结构专业的教學内容一样不少地浓缩后填塞给学生，使教學变得枯燥乏味。为了扭转这些倾向，近年来许多教师进行了有益的探索和改革；可是，由于对建筑师应该具备的建筑结构知识和能力缺乏全面的分析和认识，这些改革尚未取得公认的有效成果。

最近，在建设部和中国建筑师学会领导下，建筑学专业指导委员会提出了一个全国建筑学专业本科生教育質量评估准则。《准则》明确了德育、智育、体育方面的要求；在智育方面又全面提出了对建筑理论、建筑设计、建筑技术和建筑实践等方面的规定，这就为建筑学专业本科生的建筑结构课程改革提供了依据。

《准则》中有关建筑结构部分的规定是：

1. 了解结构系统在保证建筑物可靠性、经济性、使用上的舒适性以及建筑体型美观等方面的重要意义，理解各类结构体系与建筑形式间的相互关系。

2. 理解典型结构体系的受力和构造特征，即一般建筑结构在各种作用力影响下的受力状态和主要构造要求。

3. 有能力在建筑设计中进行正确合理的结构选型。

4. 有能力利用简化方法对常用结构构件进行初步估算，以满足方案和扩初设计的要求，并能在整个设计过程中与结构工程师密切地协调配合。

本书遵循《准则》规定的基本要求，将建筑结构的概念、体系和估算作为主要内容。

“概念”，指建筑结构的一般规律性特征、主要属性以及与其它事物联系的最本质的表述。这是本书第一、二章的主要内容，也是后面各章的重点。使初学者在学习本书后获得准确的结构概念，是编写本书的主要指导思想。

“体系”，指建筑结构中各种构件相互联系、制约而构成的整体，如建筑物的水平结构体系和竖向结构体系；也指某一结构类型有关各种构件形成的整体，如楼盖体系、高层建筑结构体系等。这是本书第三、八章的主要内容。

“估算”，指建筑结构的简化计算方法和各种量的估计。它们必然和作用力、材料性能以及建筑结构中常用的钢筋混凝土、砌体以及钢结构的基本构件联系在一起。这是本书第二、四、五、六章中的一些内容；第七章是怎样进行结构估算的实例。

作为一名建筑师，并不需要扎实的结构理论基础，也不必掌握精确的结构计算方法，但是，他却需要准确地理解结构的概念，以便在处理工程技术问题时有科学的分析能力；他也

目 录

前 言	
第一章 建筑物中结构问题的总概念	1
1.1 结构的概念以及结构在建筑物中的功能	1
1.2 建筑设计和结构设计的结合	3
1.3 建筑设计人员接受“结构教育”的总要求	5
第二章 结构设计中的总体问题	7
2.1 建筑结构上的作用力	7
2.2 建筑结构总作用力的估算	15
2.3 结构材料基本性能和结构反应	20
2.4 结构的承载力和承载力设计	25
2.5 结构的倾覆和抗倾覆设计	33
2.6 结构的刚度和变形设计	37
2.7 建筑结构的地基和地基设计	44
第三章 结构的基本水平分体系和基本竖向分体系	49
3.1 板-梁体系.....	49
3.2 桁(网)架体系	81
3.3 框架体系	93
3.4 墙体系	103
3.5 基础体系	111
附录 多层砌体房屋承重墙体布置中的抗震构造措施.....	118
第四章 钢筋混凝土结构构件的设计估算	120
4.1 钢筋混凝土构件的形成和特点	120
4.2 钢筋和混凝土材料性能及其粘结力的概念	122
4.3 钢筋混凝土受弯构件(梁、板)的设计估算	127
4.4 钢筋混凝土受压构件(柱)的设计估算	160
4.5 钢筋混凝土构件裂缝的概念	171
4.6 钢筋混凝土构件截面抗弯刚度和挠度计算的概念	174
4.7 预应力混凝土的基本知识	177
4.8 常用钢筋混凝土构件配筋示意	184
附录4.1~4.4 各种计算参数表.....	192
第五章 砌体结构构件的设计估算	195
5.1 砖砌体的抗压强度及其变形性能	196
5.2 砖砌体受压构件承载力估算	199
5.3 砌体结构建筑物的墙体设计	203

5.4 墙体设计中的其它问题	212
附录5.1~5.5 各种计算参数表	219
第六章 钢结构概述	222
6.1 钢材	222
6.2 连接	224
6.3 钢梁	230
6.4 拉杆和压杆	234
第七章 建筑结构设计估算实例	238
7.1 设计资料	238
7.2 结构体系的确定	239
7.3 结构估算	244
7.4 结构工程设计概算	251
第八章 建筑物的其它结构体系	254
8.1 拱和悬索结构体系	254
8.2 壳体和折板结构体系	266
8.3 高层建筑结构体系	285
参考文献	298

第一章 建筑物中结构问题的总概念

1.1 结构的概念以及结构在建筑物中的功能

为了成功地想象和设计一个建筑或建筑物中的结构，必须首先弄清它的功能和它得以存在的原因。在这两个问题上，结构和建筑的作用是分不开的。结构永远是建筑物的基本部分。无论古代人为自己或家庭建造简单的掩蔽物，还是现代人建造可以容纳成百上千人在那里生产、贸易、娱乐的大空间，都必须用一定的材料，建造成具有足够抵抗能力的空间骨架，抵御自然界可能发生的各种作用力，为人类的需要服务。这种骨架就是结构。

在土建工程中，结构的主要作用可分成四方面：

1. 形成人类活动的空间。这个作用可以由板（平板、曲面板）、梁（直梁、曲梁）、桁架、网架等这类水平方向的结构构件，和柱、墙、框架等这类竖直方向的结构构件组成的建筑结构来获得。

2. 为人群和车辆提供通道。这个作用同样可以用以上那些构件组成的桥梁结构来获得。

3. 抵御自然界水、土、岩石等侧向压力的作用。这个作用可以用水坝、护堤、挡土墙、隧道等水工结构和土工结构来获得。

4. 构成为其它专门用途服务的空间。这个作用可以用排除废气的烟囱、储存液体的油罐以及水池等特殊结构来获得。

属于建筑结构的类型有：

1. 以组成建筑结构的主要建筑材料划分：钢筋混凝土结构、钢结构、砌体（包括砖、砌块、石等）结构、木结构、塑料结构、薄膜充气结构等。

2. 以组成建筑结构的主体结构型式划分：墙体结构、框架结构、深梁结构、筒体结构、拱结构、网架结构、空间薄壁（包括折板）结构、钢索结构、舱体结构等，如图 1-1 所示。

3. 以组成建筑结构的体型划分：单层结构（多用于单层工业厂房、食堂等）、多层结构（一般 2~7 层）、高层结构（一般 8 层以上）、大跨结构（跨度大约在 40~50m 以上）。

结构所要解决的问题，首先表现为使骨架形成的空间能良好地服务于人类生活、生产的要求和人类对美观的需要。前者是物质的，后者是精神的。这是结构之所以存在的根本目的。不同的使用和美观需要，要求有不同的建筑空间，以及采用与建筑空间相适应的结构型式；而合理的结构型式又必须与建筑使用和美观需要统一起来。因此，具有良好的工作性能，为使用和美观需要服务是建筑结构的**第一功能**。

结构所要解决的问题，其次表现为结构要抵御自然界各种作用力（地心吸力、风力、地震力等），因而需要有抵抗力的功能。这是结构之所以存在的根本原因。在正确施工和正常使用条件下，要使结构具有能抵抗各种作用力的承载能力而不致发生破坏，这是结构的承载

力问题。除承载力问题外，结构还需要其它的一些抵抗功能。例如，结构在各种力作用下不致倾覆，不致失稳，不致产生过大变形，具有耐久性，在偶然事件发生时结构仍能保持必需的整体稳定等功能也十分重要，这些都属于结构抵抗力的范畴。

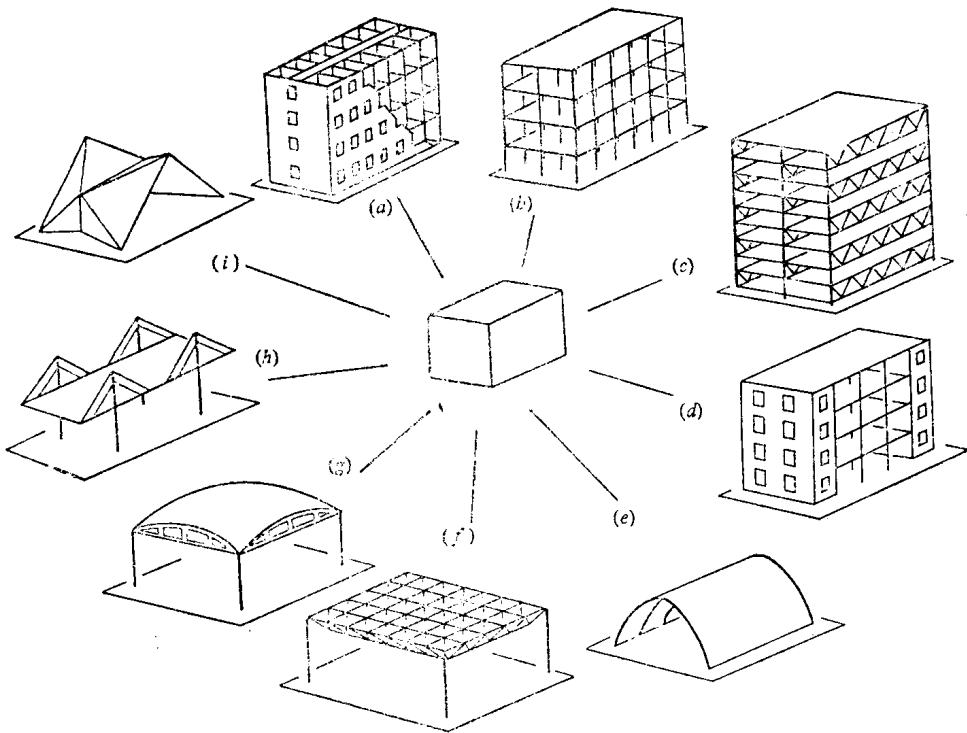


图 1-1 建筑结构的各种型式

(a)墙体结构；(b)框架结构；(c)深梁结构；(d)筒体结构；(e)拱结构；(f)网架结构；
(g)空间薄壁结构；(h)钢索结构；(i)折板结构

结构所要解决的问题，第三表现为怎样充分发挥所采用材料的作用。这是结构的另一重要功能。材料是结构之所以存在的根本条件。结构的承载力问题，实质上是组成结构构件的材料的强度问题；结构的变形问题，实质上是组成结构构件的材料的应变问题。结构问题，从某种意义上说，是结构所采用材料的性能以及怎样合理利用材料的问题。

以上讲的是结构在建筑物中的一些主要功能，也是在建筑物设计中，结构问题的主要表现。此外，结构所要解决的问题还有其它表现，如连接构造问题、经济问题等。连接构造，在采用钢材、木材做成结构时显得更为重要，因为这时只有将连接构造问题处理得当，零散的杆件才能组合成结构。在一般结构中，连接构造往往是确保结构整体性、刚性，以及反映施工可行性、结构合理性的一个关键问题。经济问题，虽然并不永远是建筑的重要条件，比如，对一个纪念性建筑说，造价的高低、工期的长短和它存在的价值相比，可能是不太重要的。但是，结构的功利特性使得必须考虑它的经济问题。一般说来，如果用最少的钱（结构工程部分大体占总造价的 30%~40%）、最省的劳动力（结构工程用工也约占总用工的 30%~40%）、最短的工期（结构工程工期约占总工期的 40%~50%），能最大限度地满足前述功能要求的话，当然是人们愿意看到的。所以，在进行建筑设计时，需要对几种不同结构型式的方案比较分析，才能选用较为经济合理的结构型式。

1.2 建筑设计和结构设计的结合

在建筑设计和结构设计结合的问题上，曾经有两种截然不同的观点。一种认为：协调的环境，合理的使用，美观的视觉，是设计建筑物的主要因素。一个优秀的建筑师应该在解决这些问题时发挥自己新颖的构思和创造力，而结构设计则必须无条件服从建筑设计的需要。另一种相反观点认为：构思尽管可以新颖，但落实到建设，一要有结构知识，二要有材料知识，三要有施工知识；而对于这些知识，有些建筑设计人员往往是不熟悉的，甚至漠然无知；这些人可以是艺术上的大师，但无法将工程付诸实现。

显然，这两种观点都是片面的。一幢建筑物好比一个人：建筑相应于人的容貌、体型、气质；结构相应于人的骨骼、耐力、寿命(图1-2)；电气、给排水和供热、通风等建筑设备相应于人的神经、脉络、器官。就象大自然完好地塑造人一样，建筑物的各种设计人员有责任全面地考虑建筑、结构、设备等各方面的设计问题。事实上，建筑设计和结构设计的关系可以从以下四个层次上加以探讨：

1. 建造一幢建筑物是建筑师、结构工程师、设备工程师、施工工程师共同合作的多边复杂过程。这个过程示意如下：

了解使用要求→初步设计构思→方案论证→研究各种功能要求→形成总体设计方案
→处理各工种技术问题→进行各工种细部设计→完成总体设计，绘制施工图→交付施工，
在施工中不断修改设计→建筑物落成

从这个过程看，由初步设计构思到形成总体设计方案，再由设计方案到完成总体设计以至建筑物落成，要经过相当长的历程，需要多工种通力合作，全面地满足广泛而相互联系着的多种要求。如：

建筑设计要解决	结构设计要解决
(1)环境、场地、体型	(1)结构型式
(2)与人的活动有关的空间组织	(2)结构材料
(3)建筑技术问题	(3)结构的承载力、变形、倾覆、稳定等问题
(4)建筑艺术和室内布置	(4)结构连接构造和施工方法
设备设计要解决	施工要解决
(1)供热和空调；热源	(1)施工工期和施工设备
(2)供水和排水；水源	(2)劳动力、熟练技工和材料来源
(3)照明和动力用电；电源	(3)现场布置和准备

造价和资金来源

建筑设计人员作为一项建筑工程设计的主持人，必须在各个设计阶段综合而全面地处理上述各种工种要求，使建筑物的总体性能得到最优的保证。建筑设计人员和其它工种（尤其

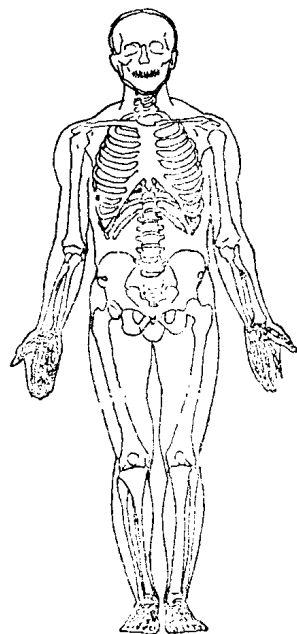


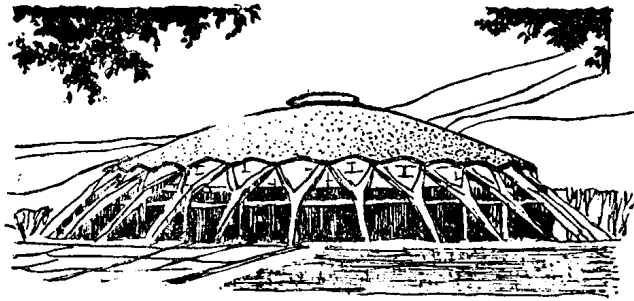
图 1-2

是结构)的设计人员的工作是相互关联的。建筑物必须是建筑师和其它工程师创造性合作的产物。

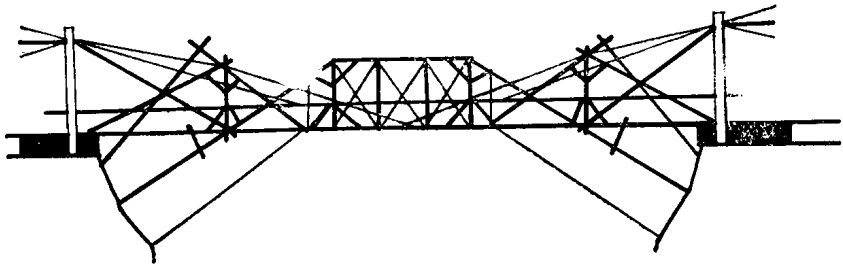
2. 从建筑的历史发展看,古代建筑技术不发达,一个建筑师往往既懂建筑,又懂结构,又熟悉材料,还会施工,建筑和结构的设计意图在一个人身上统一起来。公元532~537年主持建成Hagia Sophia大教堂的建筑师就是这样一位人物。后来,随着科学技术的发展,建筑领域遇到的技术问题愈来愈多,愈来愈复杂,建筑物的不同功能需要由不同的人来完成,建筑师和结构工程师才分了家。然而,随着历史的前进,人类需要大规模的生产、更多的交往、更丰富的生活,也要求更多的人在同一空间里活动。于是,大的工厂、大的公共场所以至高层建筑不断涌现。这些大型建筑物中的结构技术问题十分复杂,要建设它们,必须把建筑设计和结构设计结合起来。一个建筑师,如果缺乏必要的结构知识,就缺乏与结构工程师共同研究问题的基础,他的单独构思乃至做出的方案就可能是片面的,一旦付诸设计和施工,可能会给整个工程带来损失。相反,建筑师掌握了结构基本原理,熟悉了结构体系,就可能产生符合现代科学技术的新思想和新方法,他们和结构工程师的合作就会变成一种和谐的结合,其作品将会是完美的。

3. 美国著名建筑教育家 T.Hamlin 在他写的《Architecture——An Art for All Man》一书中,很有意义地总结了框架结构、拱和圆顶结构、墙体结构的相应建筑平面和建筑体型的特色,有力地说明了,建筑设计和结构设计有着密切的对应关系:建筑平面和体型是所采用结构型式的反映,结构型式的选择受着建筑平面和体型设计效果的影响。它们之间是一种比结合更高的融合关系。作为对设计全面负责的建筑师来说,理应自觉考虑建筑物设计中的结构问题,才能对自己的设计赋以现实的价值。如果他们在介绍自己的设计时,能说得它们为什么采用这种结构型式,选用了什么样的先进技术,以及建筑设计和结构设计是怎样融合为一体的,那末,人们对他的设计的评价将不再是线条和形式的组合,使用要求的满足,而是他们遵循科学规律,应用合理技术手段,追求创造革新的精神。

4. F.L.Wright说过:“形式和功能是统一的”。P.L.Nervi在小罗马宫体育馆设计中充分利用了这种统一性,把结构上拱的型式和建筑上美的要求统一起来,让艺术灌输到结构之中,成为近代设计的典范。一般来说,“正确”的结构看起来舒服,亦即美,象小罗马宫体育馆(图1-3a);而“错误”的结构往往看起来令人厌恶,也即丑,象印度的Abwillgate大桥(图1-3b)。人们当然不能断言:正确的结构一定美。但是,结构的正确却是美的必要条件。结构的正确不能代替建筑的美,却能增添建筑的美。另外,形式和功能的统一,还应从今后建筑发展的趋势来分析。美国著名建筑师Alrar Aalto和Louis Kahn要求每个设计单元所能担负的任务应尽可能地多。著名结构工程师林同炎认为,凡是建筑及结构问题能及时得到解决的地方,就是经济性之所在。这些大师们的理论和实践都指出,建筑结构要走综合发展的道路,也就是建筑物内部的建筑设计单元、结构构件、设备部件、施工手段要统一成为有机的整体。林同炎在尼加拉瓜一座美洲银行大楼设计中,利用高层建筑中部的设备井筒做成抗地震作用的结构构件,成功地抵御了1972年一次强烈地震。在那次大地震中,该大楼所在地区有一万多幢房屋倒塌,而该大楼却只有一些易于修复的裂缝。这不能不说是一个将建筑、结构、设备统一成一体,从而产生非凡效果的典型。要做到这点,不但要求建筑师应当熟悉结构,而且要把建筑和结构统一为一体,用“建筑和结构”的观点,而不是“建筑考虑到结构”的观点去处理工程设计问题。



(a)小罗马宫体育馆;



(b)Abwillgate 大桥

图 1-3

以上提出了建筑、结构的四个层次的关系:

- (1)首先是合作(遇到矛盾,合作解决);
- (2)其次是结合(我了解你,你了解我);
- (3)第三是融合(我中有你,你中有我);
- (4)最高级是统一(即是好建筑,又是好结构)。

设计人员要做到统一,必须既是一个好建筑师,又是一个好结构工程师。当然不可能每个人都做到这一点,但却是努力的方向。在工程实践中,设计人员必须做到相互结合。可以肯定地说,一个好的建筑物的落成,必定是建筑师和结构工程师乃至设备工程师、施工工程师和谐结合的产物。

1.3 建筑设计人员接受“结构教育”的总要求

对一个建筑设计人员说,接受有关建筑结构方面的教育不是可有可无的事。“结构修养”是一个建筑师必须具备的素质,是衡量建筑师业务和学术水平的尺度之一,也必然是影响建筑师今后成就的一个重要因素。具备“结构修养”是对建筑设计人员进行结构知识教育的结果。结构教育体现在以下三方面:

1. 进行正确处理建筑结构问题的思想教育——围绕建筑与结构合作、结合、融合、统一的基本思想,在用科学的方法解决建筑物设计中建筑和技术的问题,对建筑物的可靠性、耐久性、经济性和对人民生命财产高度负责的精神等方面进行深入持久的教育。
2. 进行与建筑结构有关的理论知识教育——静力学、动力学、建筑材料、工程结构

(钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构等)、土力学和地基基础以及施工技术方面的必要的基本理论知识教育。目前,一些建筑设计人员知识面过窄的现象是令人担心的,因为这种现象不符合科技发展的潮流。建筑专业的学生不能以将来是建筑大师自居,安心于只有新颖的构思和丰富的想象力。人,要在现实斗争中才能迅速成长;建筑,也是要在现实斗争中才能得到发展;建筑师,乃至建筑大师,更要以丰富的科学技术知识为背景,才能有具体的创造能力和竞争能力,才能将我们设计的建筑跻身于国内、国际的先进行列之中。

3. 进行解决建筑结构问题的方法教育——随着科学技术的进步,结构设计面临的数学、力学、材料科学、结构工程学等方面的问题日趋复杂。作为一个建筑设计人员,包括建筑专业的学生,要掌握这些知识会比预料的要困难得多。因此,他们所能做到的,是理解结构问题的基本概念、基本原理,学会处理结构问题的基本方法,对现有的各种结构体系有基本了解并有能力进行合理的结构选型。其中最重要的方面之一是学会处理结构问题的方法,它不外以下几种:

(1)科学的、定性的设计估算

对结构工程师说,既要会用数学分析、力学分析和计算机辅助设计的方法精确地对结构进行定量计算,也要会用科学原理和简化方法对结构进行粗略、快速的定性计算。然而,对于建筑师的基本要求,只能是在理解结构科学理论的基础上侧重于后者,即:将善于对结构进行粗略、快速但却是科学的定性设计估算作为看家本领。

(2)实地的、广泛的调查研究

建筑结构的发展是很快的,书本往往反映不了发展中的新材料、新结构、新技术、新工艺,因此要广泛地向建筑工程实践作调查研究,不断丰富我们的知识,这一点对结构工程师和建筑师都是同等重要的。值得注意的是,作为一个未来的和在职的建筑师,要学会在实地调查(包括阅读各种刊物、资料)中注意结构型式、结构材料、结构构造方法和施工技术问题,不能在脑子里只装着建筑,对结构问题视而不见,“有眼不见泰山”。要记住,建筑工程实践中的结构问题,永远是学习建筑结构的最好对象。

(3)技术的、经济的分析对比

前面已经提及,在多数情况下,建筑物设计中的结构体系要经过多方案的分析对比才能确定下来。因此,要学会在一项建筑物的设计中截取典型的结构单元进行技术经济比较的方法,要了解与建筑结构有关的一些技术问题(如房屋的整体性和刚度,结构和结构构件的承载力,结构布置中的抗震设防要求等等),也要熟悉建筑材料的单价和建筑物的基本经济指标。

(4)相似的、模拟的试验研究

在建筑结构设计中,由于影响因素太多,单靠计算有时并不能完全解决问题,经常需要借助于模型试验。例如,我国唐山大地震后,在推广采用钢筋混凝土构造柱作为砖混结构抗震设防措施的设计中,就利用了典型的三层砖混房屋缩尺模型试验,来确定钢筋混凝土构造柱的有效性。又如,目前世界最高建筑物之一,位于美国芝加哥的西尔斯(Sears)大厦,在设计过程中是利用风洞试验来确定该大厦主体结构的型式的。作为一个建筑师,当然不可能单独进行大型模型试验,但是应该积极去了解结构模型试验的结果。另外,在可能的条件下,可以制作一些与建筑模型匹配的小型结构模型,用它来弄清建筑结构的受力与构造,以及建筑与结构的关系。

第二章 结构设计中的总体问题

建筑结构设计中的总体问题大体有以下六个：作用力、材料、承载力、倾覆、刚度和地基。本章将逐一讨论。

2.1 建筑结构上的作用力

2.1.1 建筑结构上作用力的概念

任何建筑物的骨架反映在结构设计中，都是一些由各种代表结构构件的线条组成的结构。作用在这些结构上的力不外乎两种：

1. 直接施加于结构，使它产生内力效应的称为荷载。它有：

(1) 结构构件的自身重力荷载（称自重），以及构件上建筑构造层（地面、顶棚、装饰面层等）的重力荷载，如图 2-1 中的 1。

(2) 施加在屋面上的雪荷载或施工荷载，如图 2-1 中的 2。

(3) 施加在楼面上的人群、家具、设备等使用活荷载，如图 2-4。

(4) 施加在外墙墙面上的风荷载，如图 2-1 中的 3。等等。

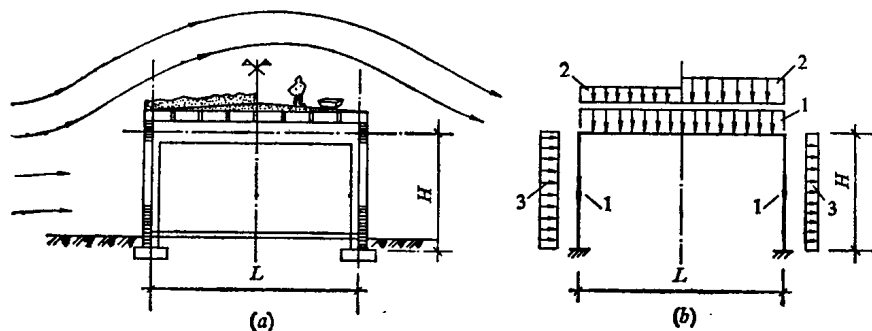


图 2-1 施加在建筑物上的荷载
(a)建筑物剖面；(b)结构荷载简图

2. 由于某种原因使结构产生约束变形或外加变形，从而产生内力效应，这种原因称为作用。它有：

(1) 沉降作用，指因基础发生不均匀沉降致使结构产生外加变形，引起内力效应，如图 2-2。

(2) 温差作用，指在温度变化的环境中，材料的热胀冷缩使结构产生约束变形，引起内力效应，如图 2-3。

(3) 地震作用，指由于地震造成的地面运动，使结构产生加速度反应和外加变形，引起惯性力，从而产生内力效应，如图 2-10，等等。

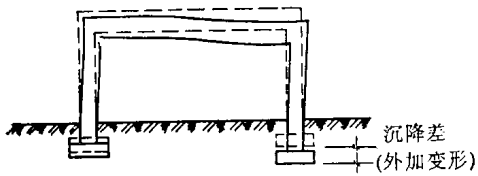


图 2-2 沉降作用
(基础发生不均匀沉降, 引起
构件弯曲, 产生内力效应)

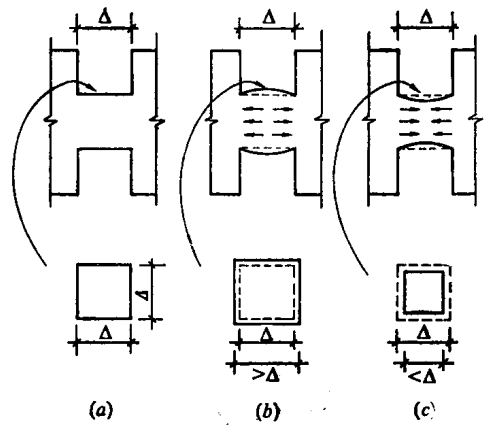


图 2-3 温差作用
(a)无内力; (b)热胀, 受到内压力; (c)冷缩, 受到内压力

这些作用力又可分为三类:

1. 永久作用力。其值不随时间变化, 或其变化与平均值相比可忽略不计者, 如构件自重、构造层重力荷载、沉降作用等。
2. 可变作用力。其值随时间变化, 且其变化与平均值相比不可忽略者, 如雪荷载、楼面活荷载、风荷载、温差作用等。
3. 偶然作用力。不一定出现, 一旦出现其值较大且持续时间较短, 如地震作用等。

结构上的这些作用力的值怎样取呢? 遗憾的是, 即使在有较完整的资料的情况下, 也很难确切预估这些荷载(作用)的大小, 因为结构上的荷载(作用)与建筑物所在地区、所用材料、使用状态以及时间等多种因素有关, 而这些因素往往是随机的。因此, 在设计中所取用的荷载或引起结构变形的作用, 是一种在正常条件下可能出现的最大估计值, 称为荷载或作用的标准值。这种标准值, 是在概率统计理论上能为绝大多数人所接受的估计值。显然, 对三类不同的作用力来说, 大于其标准值的值出现的概率是有所不同的。

一般说来, 建筑物所承受荷载的标准值都可以从《荷载规范》^①上查到。但荷载规范规定的是一种惯用荷载, 适用于一般情况。一旦实际荷载超出荷载规范所规定的一般情况时, 设计人员就应按实际情况确定荷载的标准值。

2.1.2 恒载

结构构件自重和建筑构造层重力荷载是一种永久作用力, 通称恒载。它本质上是物体的地心吸力, 即物体的质量乘以重力加速度 (mg)。

结构构件在进行计算前必须按照经验假定它的截面尺寸, 得到预定的自重, 再加上施加在构件上的其它荷载, 才能算出内力效应。

恒载很容易计算, 即构件或构造层的体积乘所用材料的单位重(或其面积乘每平方米单位重); 但计算时又很繁琐, 是一项苦差事, 是结构计算不可逾越的基本内容。常用材料和建筑构造层做法的单位重如表 2-1 (详见《荷载规范》)。

在方案设计阶段, 把建筑物看成一个整体时, 可以根据平均的楼面荷载来估算建筑物的

^① 指《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87), 下同。

表 2-1 常用材料和建筑构造做法单位重量

常用材料 (kN/m ³)		常用建筑构造做法 (kN/m ³)	
钢筋混凝土	25	水泥瓦屋面	0.55
普通浆砌机砖砌体	19	油毡防水层(六层做法)	0.35
石(花岗岩、大理石)	28	天棚吊顶(木板~抹灰)	0.25~0.55
木材	6	墙面抹灰(粉刷~水磨、水刷)	0.35~0.55
钢材	78.5	水磨石地面	0.65
水泥砂浆	20	门窗(木~钢)	0.25~0.45

自重(包括楼板、屋盖、建筑构造层、柱、墙、隔断等)。作为近似估算,每平方米建筑面积上的建筑物恒载部分可作如下假设(指标准值):

木结构建筑物 5~7kN/m²

钢结构建筑物 6~8kN/m²

钢筋混凝土和砌体结构建筑物 9~11kN/m²

这些取值是粗略的估计,可能与实际情况有出入,但却是确定建筑或结构主体方案的有用数据。

2.1.3 楼面活荷载

建筑物楼面上实际的使用荷载,是一种随时间和不同使用情况有较大变化的可变荷载,通称活载。其本质仍然是物体的地心吸力。

楼面活荷载通过一系列集中荷载施加在楼面上,例如人的重力通过脚加于楼面,家具通过支承加于楼面(图2-4)。但是在结构设计中采用的却是均布荷载。由分散的多个集中荷载化算成全楼面的均布荷载要利用“弯矩等效荷载”的概念。图2-5a是一块由图2-4中取出的宽度为单位长度(1m)简支板的计算简图,跨中作用有实测得到的几个集中荷载 $P_i(i=1,$

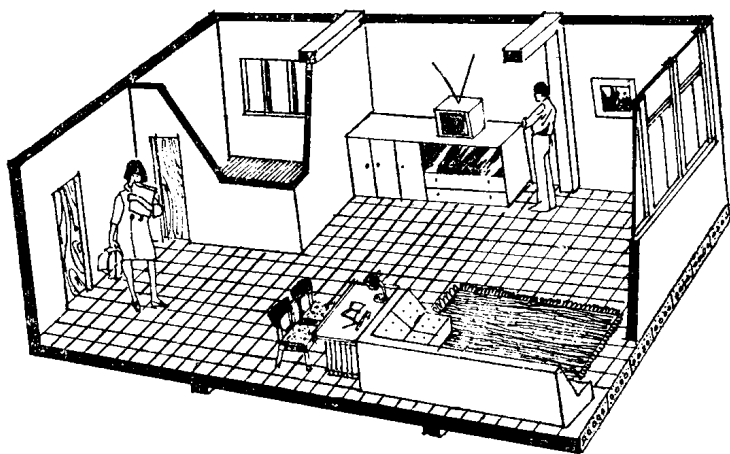


图 2-4 楼面活荷载

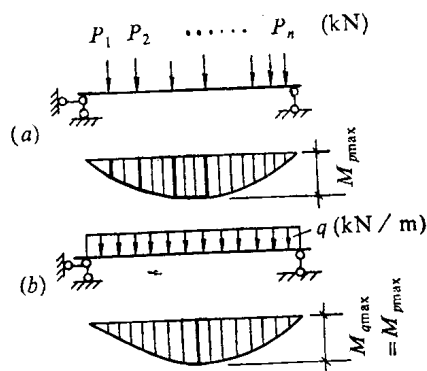


图 2-5 等效荷载的概念

$2, \dots, n$), 求得该简支板的最大变矩 $M_{p,max}$ 。如果把几个 P_i 换成图 2-5b 所示的均布荷载 q , 使它产生的最大跨中弯矩 $M_{q,max}$ 等于 $M_{p,max}$, 则均布荷载 q 称为集中荷载 P_i 的弯矩等效荷载。

各种类别的民用建筑物和某些工业建筑物的楼面活荷载，均已在《荷载规范》中列出，如：

住宅、旅馆、办公楼	1.5kN/m ²
教室、会议室、一般试验室	2.0kN/m ²
商店、车站候车室	3.5kN/m ²
一般光学仪器仪表装配车间	4.0kN/m ²

它们都是运用弯矩等效的概念，由实测大量已使用楼面的等效均布荷载的数据，经过数理统计分析后得到的协议值。这个协议值大体有95%以上的保证率，能为绝大多数人所接受，因而是一个合理的标准值。

2.1.4 风荷载

作用在建筑物表面上的风压（吸）力，主要取决于风速、建筑物体型以及地面粗糙程度。《荷载规范》规定的基本风压 w_0 (kN/m²) 是按一般空旷平坦地面上离地 10m 高度处，统计

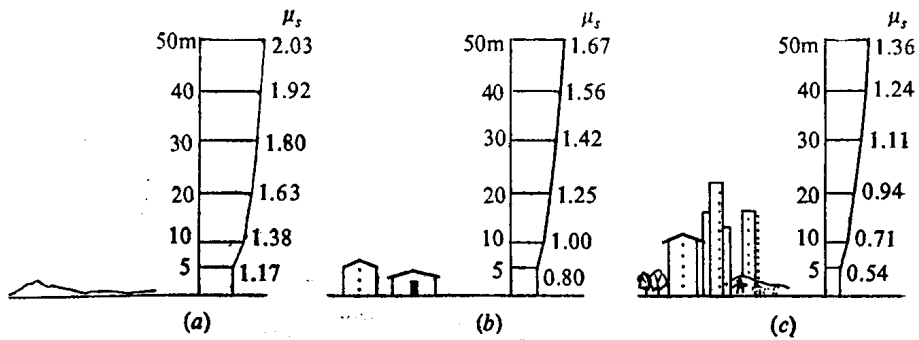


图 2-6 不同地面粗糙程度的 μ_s 值

(a) 海岸、湖岸；(b) 中小城镇、大城市郊区；(c) 有密集建筑群的大城市市区

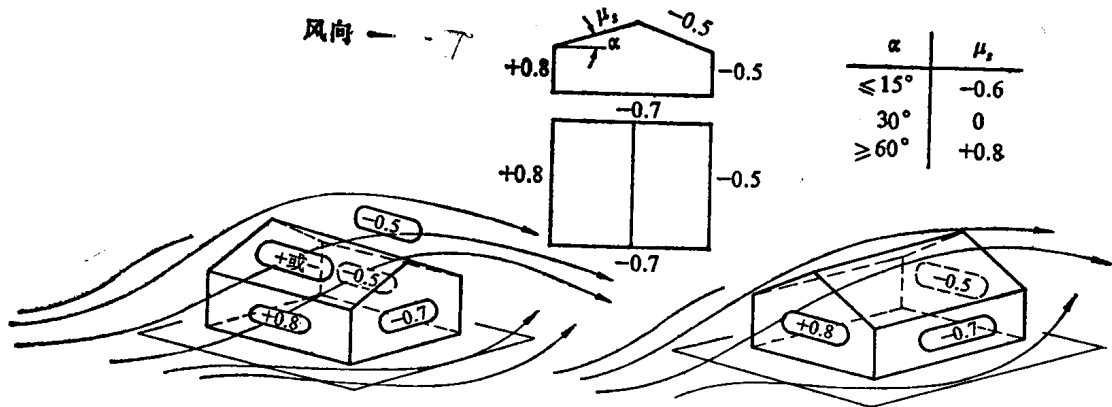


图 2-7 双坡屋顶建筑物的 μ_s 值 (α 在图示角度间时，用插值)

得到的 30 年一遇（指发生概率为 1/30）的 10 分钟平均最大风速，并通过风速与风压的换算关系得到的。各地的基本风压 w_0 由《荷载规范》给出，如北京为 0.35kN/m²，广州为 0.55kN/m²，厦门为 0.75kN/m²。

垂直于建筑物表面上的风荷载标准值，按下式计算：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (2-1)$$

式中， μ_z 为风压高度变化系数，如图2-6所示； μ_s 为风载体型系数，是风吹到建筑物表面引起的压力（或吸力）效果与原始风速算得的理论风压的比值，坡屋顶房屋的 μ_s 值如图2-7所示，其它各种建筑体型的 μ_s 值可查《荷载规范》； β_z 为 Z 高度处的风振系数（ ≥ 1 ），它是考虑到高层建筑物或高耸结构物在阵风作用下有共振影响而使风荷载值有所加大的系数，因而只是对高度大于 30m 且高宽比大于 1.5 的建筑物才需要加以考虑。详见《荷载规范》。

2.1.5 雪荷载和屋面均布活荷载

雪荷载也是一种地心吸力，是按照一般空旷平坦地面上各年的最大积雪重力（=积雪深度×密度），经统计求出30年一遇的最大积雪重力来确定的。《荷载规范》规定了各地区的基本雪压 S_0 。（以 kN/m^2 计），如北京 0.30kN/m^2 ，上海 0.20kN/m^2 ，哈尔滨 0.40kN/m^2 。

雪荷载是作用在屋面水平投影面上的。屋面坡度愈大，积雪愈薄，雪压愈小。屋面水平面投影面上的雪荷载标准值 S_k 按下式计算：

$$S_k = \mu_r S_0 \quad (2-2)$$

式中， μ_r 为屋面积雪分布系数，屋面坡度 $\leq 25^\circ$ 时 $\mu_r = 1.0$ ； 30° 时 $\mu_r = 0.8$ ； 40° 时 $\mu_r = 0.4$ ，在可能形成雪堆处 $\mu_r > 1$ ，有的可达 $\mu_r = 2.0$ 。具体数值查《荷载规范》。

屋面均布活荷载分“上人”和“不上人”两种，均按经验取值。上人屋面的标准值取 1.5kN/m^2 ，不上人的瓦屋面取 0.3kN/m^2 ，水泥制品轻屋面取 0.5kN/m^2 ，钢筋混凝土屋面、挑檐、雨篷等取 0.7kN/m^2 （均为标准值）。

屋面均布活荷载与雪荷载不同时出现，用其大者。

2.1.6 地震荷载

1. 地震的产生

人们生活在地球上感觉很平稳，但实际上地壳运动一刻也未停止过。这种变化很缓慢，

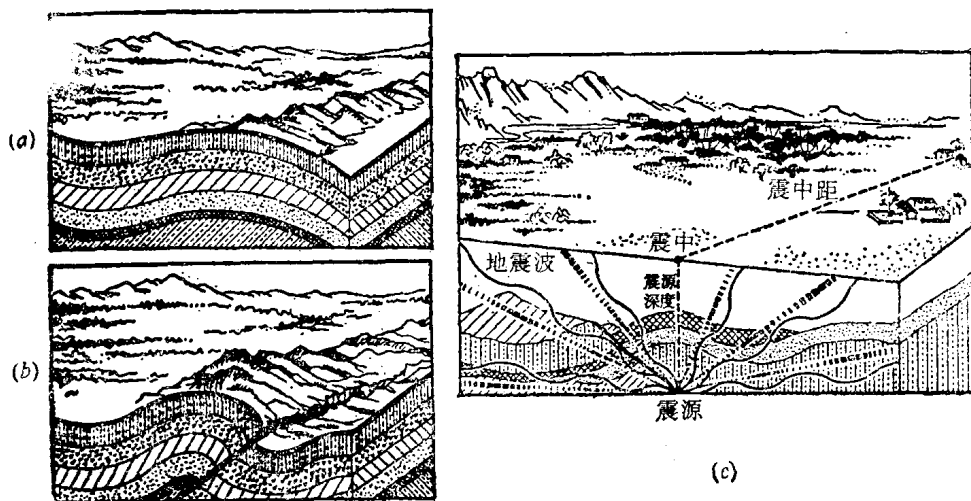


图 2-8

(a)岩层变形；(b)岩层断裂错动；(c)震源、震中、震中距的关系