



普通高等教育“十二五”规划教材

工程结构概论

侯学良 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

工程结构概论

赵 均 白正仙 侯学良 编
张钦喜 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。全书分为7章,主要内容为工程结构基础知识、结构荷载与结构设计、砌体结构、混凝土结构、钢结构、基础结构及附录。本书是为电力系统高等院校工程管理专业的学生编写的专业教材,结合电力工程项目的特点,介绍了电力工程项目管理中所涉及的常规性工程结构专业知识。这些知识既是当前电力工程项目管理中最常用的工程结构技术,也是学生从事电力工程项目管理需要掌握的专业基础知识。同时,为了在学生学习中便于查阅相关技术数据,在书末增加了必要的结构设计参数。

本书可作为电力系统高等院校工程管理专业的工程结构课程教材,也可作为工程项目管理专业的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构概论/侯学良编. —北京:中国电力出版社,
2011.11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2390-2

I. ①工… II. ①侯… III. ①工程结构—高等学校—教材
IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第239276号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年2月第一版 2012年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.75印张 307千字

定价 23.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

电力工程结构是一门理论与实践紧密相结合的专业课程,也是一门集材料、设备、工艺、方法和管理为一体的综合性应用技术。该课程涉及内容多、应用范围广、实用性强,因而成为工程管理专业学生的必修课。通过这门课程的学习,不仅可以使学生深刻理解建筑材料、建筑物理、建筑学等已学专业知识的内涵及其作用,而且还可以使学生进一步了解和掌握现代工程项目中最基本、最主要的工程结构知识,为今后学习和掌握工程施工技术、工程组织与设计、工程预算与管理等专业知识奠定基础。

本书基于电力工程结构的教学指导大纲和学时安排,将电力工程项目管理中所涉及的常规性工程结构专业知识分为7章。第1章主要概述了工程结构的发展史和工程结构的发展方向,为学生了解工程结构发展状态提供了一些前沿知识。第2章为工程结构的基础知识,分别从工程结构的组成、类型、基本构件、受力特点和结构的传力路径等角度,对工程结构的力学知识进行了必要的阐述。第3章为结构荷载与结构设计的相关知识,主要介绍了结构荷载及其组合、结构设计的相关概念和结构的常规设计步骤,使学生在结构设计中具有清晰的设计思路。第4章为砌体结构,主要介绍了砌体的力学性能、砌体结构构件的承载力计算方法及其结构构造要求。第5章为混凝土结构,详细介绍了钢筋混凝土结构的受弯构件、受压构件和拉扭构件的计算方法以及钢筋混凝土构件的变形和裂缝验算方法。第6章为钢结构工程,主要介绍了钢结构构件的拉压构件、受弯构件和钢组合柱的计算与构造要求,并就钢结构基本构件的连接方法进行了必要的介绍。第7章为基础结构工程,在介绍地基与基础相关基础知识的基础上,就基础埋深与地基承载力的确定、基础设计及其构造要求进行了介绍。书末还增附了若干结构计算的相关参数,以便学生在进行工程结构计算中参阅。

在本书的编写过程中,作者参阅和借鉴了国内较多的相关教材与专著。更重要的是,本书通过三届学生的反复使用与教师的不断交流,从学生如何更好了解和掌握这一专业知识的角度提出了很多宝贵建议。这将为今后如何使教材更好满足学生的学习需求、更好地为学生服务提供了一个良好的范例,也为编者今后编写出更符合学生学习需求的书籍提供了宝贵的经验。北京工业大学赵均教授、白正仙副教授、张钦喜教授共同审阅了全书,提出了很多宝贵的意见和建议,在此对审稿专家予以真诚感谢!

鉴于本书作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请阅读此书的师生予以指正,以便在今后的再版中予以修正和完善。

作者

2011年5月于北京



目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 工程与结构	1
1.2 工程结构发展史	1
1.3 工程结构发展方向	3
1.4 工程结构设计的计算机化	3
1.5 工程结构课程的特点	5
第2章 工程结构基础知识	7
2.1 结构的基本概念	7
2.2 结构的类别划分	10
2.3 结构基本构件	18
2.4 结构的传力路径	21
2.5 结构的耐火性能	25
2.6 结构相关力学知识	28
第3章 结构荷载与结构设计	35
3.1 荷载及其分类	35
3.2 荷载的确定及其代表值	35
3.3 结构设计	39
3.4 结构设计简化	43
3.5 结构设计步骤	47
3.6 结构设计优化	51
第4章 砌体结构	52
4.1 砌体材料的种类	52
4.2 砌体	54
4.3 砌体的力学性能	56
4.4 砌体结构构件的承载力计算	58
4.5 墙体计算	63
4.6 过梁	68
4.7 墙梁	69
4.8 挑梁	72
4.9 砌体结构构造要求	74
第5章 混凝土结构	79
5.1 钢筋与混凝土材料	79
5.2 受弯构件的正截面承载力设计	82

5.3	受弯构件的斜截面承载力设计	91
5.4	钢筋混凝土受压构件	105
5.5	钢筋混凝土受拉构件	113
5.6	钢筋混凝土受扭构件	115
5.7	钢筋混凝土构件的变形和裂缝验算	117
第6章	钢结构	120
6.1	钢结构的特点	120
6.2	钢结构的结构类型及其应用范围	121
6.3	钢结构材料	122
6.4	钢结构基本构件	125
6.5	钢结构基本构件的设计	127
6.6	钢结构连接	138
6.7	钢桁架	152
第7章	基础结构	165
7.1	地基	165
7.2	基础	165
7.3	基础的等级与类型	166
7.4	基础埋深与地基承载力的确定	171
7.5	基础设计及其构造要求	174
附录一	结构计算相关参数	182
附录二	结构计算相关用表	187
参考文献		196



第1章 概 述

1.1 工程与结构

工程项目是发展国民经济和改善人民生活的重要物质基础,特别是近些年来,我国的工程建设也步入了高峰期,工程建设规模逐年扩大,工程项目的内外环境和技术的复杂程度也远远超过了以往。与过去相比,工程已呈现出如下几方面的特点:

(1) 综合性。

工程建设一般需要前期科研、勘察设计、计划实施和试运行这几个阶段。在这几个阶段中,不仅需要技术经济、环境分析、设计勘察、组织规划等方面的知识做好前期准备工作,而且还需要工程材料、设备安装、项目管理、施工技术等方面的知识来组织这项工程。更重要的是,只有用这些涉及各个方面的知识才能构建起工程的结构框架,达到预期的工程建设目的。因此,工程及其结构也成为一门涉及面较广的综合性学科。

(2) 环境性。

工程项目是一项为满足社会发展需求而进行的系统工程,由于其产品要涉及社会的各个领域,因而,必然要与社会的各个方面进行广泛的接触和交流。在其建设过程中,不仅要考虑工程构建的自身需求,而且还要考虑构建中给环境带来的影响,因而工程项目也就具有了环境性。

(3) 系统性。

在工程建设中,不仅需要各种材料的供应,而且还需要将这些材料按照一定的规律组合起来。在组合中,只有所有的工程材料组成一个系统完整的结构,工程项目才能发挥其应有的作用,因此,这就使得工程在结构方面具有了系统性。

(4) 精密性。

随着科学技术的快速发展,许多工程不仅要满足建筑外形的特殊要求,而且可能在工程设备的安装精度、隔音减噪、防辐射抗震等方面有特殊的要求。特别是一些精密工程项目,对工程结构组成提出了更多的新的要求,为此,精密性已成为现代工程与结构的一个新结点。

但不论怎样的工程项目,若要实现工程建设的预期目的,在所有的工程建设内容中,一个最为重要的工作就要确保工程结构的可靠性。由于结构是建筑物或构筑物赖以存在的物质基础,在一定的意义上,结构支配着建筑物或构筑物,因此,工程与结构就紧密联系在一起,工程结构在工程建设中就凸显其重要地位。

1.2 工程结构发展史

结构是建筑物或构筑物的受力骨架,这一骨架是由各种材料按照一定的规律组合而成的,因此,结构的发展历史自然就与材料紧密联系在一起。

在旧石器时代,建筑物或构筑物仅限于简单的建造,所用材料主要取之于自然物,如石块、草筋、土坯等。在新石器时代后期,开始有了用木骨架泥墙构成的居室。到了公元前

1000 年左右,人们开始用土烧制砖瓦,使建筑结构有了进一步的发展,并且随着建造技术水平的不断提高,使得砖石具有一定的强度和耐久性,因而,砖石在结构的构造中得到了更加广泛的应用,如著名的埃及金字塔(图 1.1)、希腊帕特农神庙、古罗马斗兽场等都是令人叹为观止的古代砖石结构。

中国古代建筑大多为木结构加砖墙建成。1056 年(辽代)建成的山西应县木塔是我国现存最古老的全木结构塔(图 1.2),塔的造型及细部处理都表现出极高的艺术和技术水平,是中国古建筑的优秀范例。虽经受过多次强烈地震的影响,但至今依然巍然屹立。同时,中国古代的砖石结构也很有成就,不仅有举世闻名的万里长城,而且建于 1055 年的河北定县开元寺塔也是当时世界上最高的砌体结构。

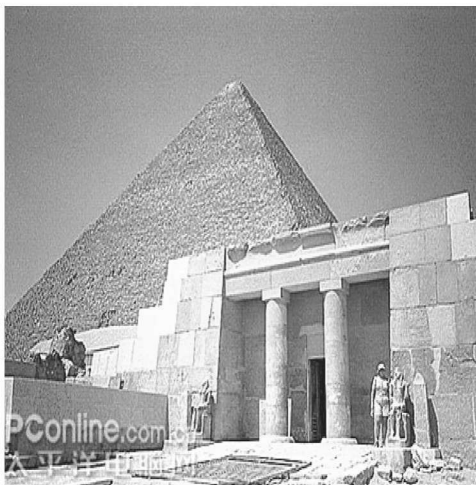


图 1.1 埃及金字塔



图 1.2 应县木塔

随着数学、力学等科学的发展,结构设计也由于有了比较系统的理论指导而得到了很大程度的发展。特别是牛顿总结出的力学三大定律、纳维提出的结构设计容许应力法以及水泥、混凝土等新材料和新技术的发现都极大地促进了工程技术水平的提高。从此,大量的钢材、木材、水泥、混凝土等材料被应用于工程中,为工程结构的建造提供了强有力的保障。如 1883 年,美国芝加哥采用钢结构作为承重结构,建造了世界上第一幢钢结构大楼,被誉为现代高层建筑的开端。1889 年,法国建成了高达 320m 的埃菲尔铁塔,并成为巴黎乃至法国的标志性建筑。1886 年,美国首先采用了钢筋混凝土作为结构的承载体系。在此基础上,1928 年,又发明了预应力混凝土技术并在世界各国广泛使用。

第二次世界大战以后,世界经济、现代科学技术得到了进一步的发展,工程使用的材料也进一步丰富,工程施工技术水平也有了很大的进步,这些都促使结构设计在原有基础上有了很大的发展,设计思想也有了本质性的提高。到目前为止,人类已从砖瓦砂石为主的年代进入到了以钢筋混凝土、钢材为主的新时代,并且针对许多建筑提出的多样性要求进入了新的工程结构发展时代。

但社会在快速发展的同时,也给人类带来了一定的负面影响,不仅出现了交通拥挤、居住紧张、空气污染、垃圾堆积等问题,而且污染环境、破坏耕地,给人类的生活环境带来了很多的不利影响。因此,现代很多建筑物都要求防尘、防震、防辐射,甚至要求恒温恒湿并

向跨度大、分隔灵活、花园化的方向发展, 建筑结构及其所用材料也逐渐向结构空间立体化和材料的轻质高强与环保方向发展, 钢筋混凝土结构、钢结构、预应力等结构已成为主要的承载结构形式。未来, 人类将向太空、海洋、地下、沙漠寻求发展, 钢材的易锈蚀性、不耐火性、混凝土材料的低韧性、重量大等问题也将会被逐步解决, 这对从根本上改善结构的建造将可能带来巨大的影响。

与此同时, 随着信息和智能化技术的全面进展, 设计工作的自动化将成为必然, 人们对工程的设计计算将不再受人类计算能力的限制, 结构的设计方法也将更加精确化。在计算机的帮助下, 结构设计将大大提高效率和精度, 并使结构所用材料可以得到更充分的利用, 结构的可靠性也可以得到大幅提高。

1.3 工程结构发展方向

随着科学技术的不断进步, 工程结构也在不断发生变化, 从总体来看, 其发展方向主要体现在以下几个方面:

(1) 在理论研究方面, 一是随着科学研究的不断深入以及工程资料的不断积累, 工程结构设计方法将向全概率极限状态设计方向发展; 二是随着衡量结构安全可靠度理论不断发展, 全过程可靠度理论将逐步应用到工程结构设计、施工与使用的全过程中; 三是随着计算机的发展, 工程结构计算正向精确化方向发展。

(2) 在工程材料方面, 钢结构材料将会得到更为广泛的应用。除重点提高钢结构材料的强度外, 还将大力发展型钢结构。而被广泛使用的混凝土也将向轻质高强方向发展, 并且为改善混凝土抗拉性能和延性差的缺点, 强合成纤维混凝土和高强梯格双筋混凝土也将逐步应用。此外, 砖石材料仍然是工程中必不可缺的材料, 但如何在现有基础上实现快速高效的施工并同时大幅度节能降耗将是这一类工程材料的发展主流。

(3) 在工程结构方面, 空间钢网架、悬索结构、薄壳结构将逐步成为超高度、大跨度结构的发展方向。特别是在特高压输电工程和大型电力工程的导入设施中, 轻型高强的空间钢结构将成为主流。此外, 随着大型、特大型工程项目建设需求的增多, 大体积混凝土异型结构组合体系也将成为工程结构的主要研究和应用对象。

(4) 在施工技术方面, 高效、快速的组合结构化施工技术已成为目前乃至今后一段时间的主要施工方法。在国外, 超高塔架的快速组合安装已采用直升机来组合, 不论怎样的施工环境, 施工效率已不可同日而语。此外, 为了确保工程项目中大型和超大型设备的安装精度, 混凝土快速浇筑和成型技术也已成为主要的施工技术管理内容。今后, 施工机械化程度高、效率高、质量高、工期短、成本低、节能降耗且与环境相和谐绿色施工技术将成为工程施工技术的主要发展方向。

1.4 工程结构设计的计算机化

一、计算机辅助设计

随着科学技术的飞速发展, 工程结构已从过去的简单化、小型化逐步向复杂化和大型化的方向发展, 这使得一些工程结构的设计仅仅依靠过去的手算是很难完成大量的结构分析和

计算的,甚至在某些情况下几乎是不可能完成的,因此,在计算机技术广泛应用到国民经济各个领域的时候,工程设计就与之结合起来,为工程设计提供了新的有效手段。

计算机是一种先进的计算工具,是人类智力发展道路上的重要里程碑,它极大地提高了人类认识世界和改造世界的能力。实践证明,将计算机应用到工程结构设计中,不仅大量地节省了人力和时间,提高了效率,更重要的是提高了计算精度。特别是在若干结构设计的专业软件支持下,计算机结构设计系统软件和应用软件在经历了由初级到高级的发展过程之后,更加有力地支持了计算机结构设计功能的发挥,在一些大型、特大型复杂工程的结构设计中,完成了仅依靠人类自身手算无法完成的结构分析,使得结构设计水平提高到了一个新的高度,为实现人类的设想提供了有力的保障。

在应用计算机技术进行工程设计中,由美国 AUTODESK 公司编制的 CAD (Computer Aided Design) 设计工具最为典型。由于该设计软件具有良好的用户界面,具有完善的图形绘制功能和图形编辑功能,可以通过交互菜单或命令行方式进行各种操作,完成多种图形格式的转换,因而,现已经成为国际上广为流行的工程设计和绘图工具。

此外,由中国建筑科学研究院结合我国工程设计规范开发出的广泛应用于建筑、结构、设备、概预算及施工等方面的系统集成软件 PKPM 也是计算机辅助设计方面的一个典范,该软件在结构设计中,可以对各种结构模型的建立、荷载统计、上部结构内力分析、配筋计算、绘制施工图、基础计算程序接力运行进行信息共享,自动计算结构自重,自动传导恒荷载、活荷载和风荷载,自动提取结构几何信息,完成结构单元划分,自动把剪力墙划分成壳单元,使复杂计算模式简单实用化。在这些工作的基础上自动完成内力分析、配筋计算等,并生成各种计算数据。基础程序自动接力上部结构的平面布置信息及荷载数据并完成基础的计算设计,最大限度地利用数据资源提高工作效率。

二、系统仿真模拟

仿真模拟是以计算机及其相应的软件为工具,通过虚拟试验的方法来分析 and 解决问题的一门综合性技术。由于研究对象中存在着若干不可认知的问题,人们就希望通过建立一个能够有效反映所研究对象的实质又易于被计算机处理的数学模型来分析和研究问题并解决问题。这个过程就是仿真模拟。

仿真模拟有外形仿真、操作仿真和视觉感受仿真等,但仿真的核心是建立数学模型,只有用数学模型将研究对象的实质抽象出来,计算机才能处理这些经过抽象的数学模型,并通过输出这些模型的相关数据来展现研究对象的某些特质。当然,这种展现可以是二维的,也可以是三维立体的。由于三维显示更加清晰直观,已为越来越多的研究者所采用。通过对这些输出量的分析,就可以更加清楚地认识研究对象。从模型这个角度出发,可以将计算机仿真的实现分为三大步骤,即模型的建立、模型的转换和模型的仿真实验。由此可以看出,数学建模的精准程度是决定计算机仿真精度的最关键因素。

在模型的建立过程中,对于所研究的对象或问题,首先需要根据仿真所要达到的目的抽象出一个确定的系统,并且要给出这个系统的边界条件和约束条件。在这之后,需要利用各种相关学科的知识,把所抽象出来的系统用数学的表达式描述出来,描述的内容,就是所谓的数学模型。

数学模型根据时间关系可划分为静态模型和动态模型。动态模型又可分为连续时间动态模型、离散时间动态模型和混合时间动态模型;根据系统的状态描述和变化方式又可划分为

连续变量系统模型和离散事件系统模型。由于这些模型可以很好的表示出工程结构设计中存在的各种荷载随机组合特征,因而在计算机仿真模拟中得到了广泛的应用。

在建立模型后,下一步就需要进行模型转换。所谓模型转换即是对上一步抽象出来的数学表达式通过各种适当的算法和计算机语言转换成为计算机能够处理的形式。这个转换过程是进行计算机仿真的关键。实现这一过程,既可以自行开发一个新的系统,也可以运用现在市场上已有的仿真软件。在此基础上,将得到的仿真模型载入计算机,按照预先设置的实验方案来运行仿真模型,即可得到一系列的仿真结果。根据仿真结果,设计人员就可以发现设计中可能存在的问题,从而针对性的加以解决,有效解决工程设计中出现的实际问题。这一方法对于一些新技术、新材料、新结构且设计规范没有明确规定的新工程项目尤为适用。

在工程结构设计中,常用的计算机仿真模拟软件主要有 ANSYS、NASTRAN、ASKA、ADINA、SAP 等,其中以 ANSYS 为代表的工程数值模拟软件是一个多用途的有限元法分析软件,它可以对工程结构在各种外载荷条件下的受力、变形、稳定性及各种动力特性做出全面分析,从力学计算、组合分析等方面提出全面的解决方案,因而在工程结构设计中已成为结构仿真分析软件的主流,特别是在钢筋混凝土结构、钢结构等大跨度、超高度结构计算分析中应用非常广泛。

同时,从结构设计的计算机化发展中可以看出,结构设计方法的精确化、设计工作的自动化已成为必然,信息和智能化技术将全面引入工程结构设计之中。今后,人们对工程的设计计算不再受人类计算能力的限制,设计绘图也普遍采用计算机。在计算机的辅助下,不仅可以大大提高工程设计的效率和精度,而且可以揭示结构不安全的部位和因素,使工程结构设计得以质的飞跃。

1.5 工程结构课程的特点

工程结构课程是一门理论与实践紧密相结合的课程,若要达到对工程结构科学合理设计的目的,不仅要了解和掌握好工程结构的理论知识,更要与工程实际结合起来,使设计的结构既安全可靠,又经济合理。为此,在学习工程结构这一课程的过程中应注意以下几个方面:

(1) 由于结构设计是按照建筑功能要求在完成建筑设计的基础上,运用力学原理和材料性能对结构进行的系统分析,因此,学习工程结构知识的过程中,不仅应较为全面地掌握理论力学、材料力学和结构力学知识,还应广泛了解与工程结构设计有关的其他专业知识。

(2) 工程结构设计是一门理论性和实践性并重的专业课程,其基本任务就是使学生通过该课程的学习,掌握一般结构的基本原理,并在此基础上能够进行一般性的工程结构设计。在该课程中,不仅有大量的理论推证,而且有大量的实践经验规定,因此,在学习该课程的过程中,要将理论与实践结合起来,要懂得计算理论的基本原理。在解决实际工程问题时,要注意理论的适用范围和适用条件,切勿盲目乱用。

(3) 由于工程结构是由很多材料组成的,而材料在应用中又具有理论研究中表象的异象性,因此,在工程结构设计中,某些理论中的原有算法在结构设计中已不完全适用。为解决这些问题,结构设计做出了各种假定,并结合实际和大量的实验重新调整和建立了结构计算的基本公式,因而,在学习中要注意工程结构设计理论应用范围与条件,为正确设计打下良

好基础，避免在结构设计中出现错误。

（4）在工程结构设计中，设计规范做出了许多结构计算要求以外的构造规定，这些规定，不仅有利于工程设计的进一步完善，而且也有利于进一步确保工程结构的安全，因此，在学习工程结构知识的过程中，要了解并掌握规范中的相应构造要求。

（5）不论是建筑物还是构筑物，其结构不仅要满足设计功能所提出的要求，而且还要满足各种设备设施的安置要求，为此，在结构设计中，就需要综合考虑各种因素，对设计的结构进行优化，以便设计出最佳的结构设计方案。



第2章 工程结构基础知识

2.1 结构的基本概念

2.1.1 结构

结构是建筑物或构筑物赖以存在的物质基础,从存在形式上讲,由于任何建筑物或构筑物都要耗用大量的材料来建造,这些材料相互搭接,构建成了抵御和承受来自建筑物或构筑物内外各种作用力的体系,这个体系就是建筑物或构筑物的结构。因此,从某种程度上讲,结构支配着建筑物或构筑物的存在形态,是建筑物或构筑物的承重骨架。

大量的工程实践已证明,优秀的结构体系不仅是结构构件的有效组合,而且是融美学、力学等多种科学的完美组合。在此类结构体系中,建筑物或构筑物所受荷载得以科学有效地处理,并充分发挥出其应有的作用。在此方面,最好的范例之一就是法国巴黎的埃菲尔铁塔(图2.1)。

埃菲尔铁塔是于1889年为巴黎博览会而建的。该塔高320m,用钢约8500t。从结构力学角度分析,由于埃菲尔铁塔较高,风荷载将成为其主要荷载,为此,该塔通过与风荷载所产生的力学图形的相互结合,使塔体结构的受力体系和建筑材料都得到了充分有效地发挥,不仅在建筑上满足了预定的设计功能,而且在结构上造型优美、结构合理,成为工程结构史上一个历史性的代表作,并成为国家的象征。

又如火力发电厂中使用的钢筋混凝土冷却塔也是一个结构与力学完美结合的产物。首先从工艺需求角度来看,用来冷却汽轮机的冷却水被加热后,由导管送到冷却塔顶部并喷洒下来,然后通过滴水板等构件来延长其下落的路程,以便使冷却水更好地放热。同时,冷却水与从冷却塔下部进入塔内的冷空气进行热交换,从而形成了一个良好的热交换空间。从结构角度来看,双曲抛物面的冷却塔上小下大,中部变细,形成了良好的抽气环境,加快了蒸汽的上升速度。在塔身上部,当上升的空气被加热后,体积膨胀较大。而上部塔身略放宽,减小了上升空气的阻力,形成了有利的空气流动空间,为快速排气提供了有利的条件。由此可见,双曲抛物面薄壳冷却塔与冷却工艺所要求非常吻合。同时,在结构受力方面,圆形平面与矩形平面相比,可大幅减少风荷载,塔身外形与风荷载作用下的弯矩图极为相似,自上而下逐渐增大的结构对塔身稳定性也十分有利,自重分布均匀合理。此外,双曲抛物面是一个旋转曲面,可由一根倾斜母线绕纵轴旋转而成,曲面上任一点都过渡的非常自然平滑,给施工带来了极大便利,因此,双曲抛物面冷却塔可谓建筑造型、结构形式和使用功能的完美结合(图2.2)。



图2.1 法国巴黎埃菲尔铁塔



图 2.2 冷却塔

2.1.2 结构的基本要求

对于工程结构及其组成的构件而言,最为重要的就是要有足够的安全可靠性,即结构承受荷载后应不被破坏或变形、失稳、出现结构所不允许的裂缝等,并能达到规定的使用年限。但在满足结构可靠性的同时,工程结构的建造还应具有一定的经济性,即在安全、实用的前提下注重所建工程结构的总体经济效益。然而,由于工程结构的可靠性和经济性是相互矛盾的,如果结构截面尺寸过小,虽然经济性提高,但可能会由于其承载能力不够而导致结构破坏,或因出现变形或裂缝过大而不能正常工作。反之,如果构件截面尺寸过大,则构件承载能力虽满足了工程结构的要求,但却增加了费用。因而,在实际工程中,就需要通过合理的结构设计来解决

这一矛盾,寻求工程结构可靠性与经济性之间的综合平衡。因此,结构最基本的要求是安全、适用、经济、耐久。

安全性是指结构应能承受在正常设计、施工和使用过程中可能出现的各种作用。同时,在偶然事件发生时或发生后,当局部结构遭到破坏后,仍能保持结构整体的稳定性。也就是说,在设计要求的使用期内,在各种可能出现的荷载作用下,结构要有足够的承载能力,即使发生偶然事故,个别构件遭到破坏或结构局部受损时,也不致造成结构的倾覆或倒塌,能保证结构的正常使用。

适用性是指结构在正常使用过程中,结构构件应具有良好的工作性能,不会产生影响正常使用的变形、裂缝或振动等现象。

耐久性是指建筑结构在正常使用、正常维护的条件下,结构构件具有足够的耐久性能,并能保持结构的各项功能达到设计使用年限,如不发生材料的严重锈蚀、腐蚀、风化等现象或构件的保护层过薄、出现过宽裂缝等现象。

经济性是指在保证满足安全、适用和耐久的前提下费用最低。

2.1.3 结构的基本组成

结构体系虽然多种多样,但从总体来看,它主要由三个基本部分组成,也称为三个基本体系,即水平体系、竖向体系和基础体系。

一、水平体系

水平体系一般由梁、板、屋架、网架等水平构件组成,主要承担结构平面荷载。其中,最为典型的是钢筋混凝土楼盖。

钢筋混凝土楼盖分为现浇钢筋混凝土楼盖和预制组合钢筋混凝土楼盖。按其梁板布置的特点,又可分为整体式单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、无梁楼盖和双向密肋楼盖四种类型。其中,整体式单向板肋梁楼盖一般由主梁、次梁和板组成,板支撑在四周主梁和次梁上。当板的两个方向跨度比超过 2 时,板在长边方向相对较弱,荷载主要沿较短方向传递,故称单向板。板在短跨方向按荷载计算结果配置钢筋,而沿长边方向受力很小,一般只设构造钢筋。单向板肋梁楼盖的楼板跨度以 3m 左右为宜,次梁跨度可取 4~6m,主梁跨度可取 5~8m。

整体式双向板肋梁楼盖与单向板肋梁楼盖类似,只是楼板两个方向跨度比较接近,设计中同时按计算配置两个方向的受力钢筋,较短跨的弯矩较大,其钢筋应放在外侧,以增加板的结构受力有效高度。单向板和双向板平面布置简图如图 2.3 所示。

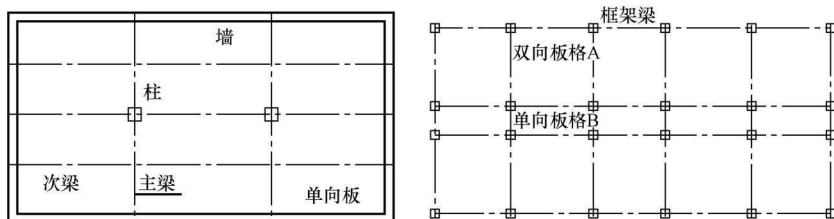


图 2.3 单向板和双向板平面布置简图

无梁楼盖没有梁,钢筋混凝土板直接支撑在柱上,故一般板厚相对较大。为改善板的支撑条件,通常在柱顶设柱帽,以扩大支座处的抗冲切面,也可减小板的计算跨度。常见的柱帽有台锥形柱帽、折线形柱帽和带托板柱帽。无梁楼盖因不设置梁,板面负载直接由板传至柱,因而具有结构简单、传力路径简捷、净空利用率高、造型美观、有利于通风、便于布置管线和施工等特点。但从结构性能方面看,无梁板的延性较差,板在柱帽或柱顶处的破坏属于脆性冲切破坏,因而,为避免此类破坏,需要较厚的板和高标号混凝土与钢筋。一般适用于荷载均布或对天棚要求较高的场所。无梁楼盖简图如图 2.4 所示。

双向密肋体系是一种双向网格状的梁板结构,在横向荷载作用下,结构沿两个梁格方向同时传力。为此,双向密肋体系要求柱网两方向开间要接近方形。在这种情况下,由于板跨小且双向传递荷载,所以梁网格上的平板可以做得较薄。双向密肋楼盖可以看作是由沿两个方向布置间距较小的肋而形成的厚板,其受力状态和无梁楼盖相似,只是这块板两个方向的钢筋被集中放在肋中,肋间受拉区混凝土被挖掉。双向密肋体系简图如图 2.5 所示。



图 2.4 无梁楼盖简图

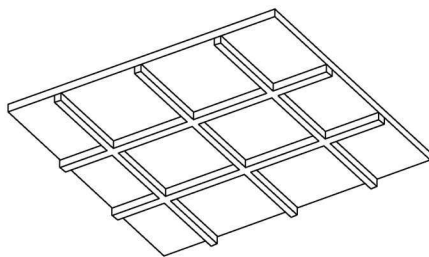


图 2.5 双向密肋体系简图

二、竖向体系

竖向体系一般是由柱、板、墙、筒体等构件组成,主要承受水平体系传来的荷载和外部直接产生的水平荷载,并把这些荷载传给基础体系。

较常用的竖向体系是由梁柱组成的框架体系,它适用于多层或高层建筑物或构筑物。通常,框架结构为满足设计使用功能要求,梁柱断面尺寸都不能太大,否则会影响使用面积。因此,框架结构的侧向刚度较小,水平位移大,限制了框架结构的建造高度。在抗震设防烈

度较高的地区，高度更加受到限制。

三、基础体系

基础体系是地面以下部分的结构构件，承担结构上部的全部荷载，并将荷载传给地基。基础体系根据上部结构布置的差异，又分为独立基础、条形基础、交叉基础、片筏基础、箱形基础、壳形基础、桩基础等。按所用材料分有砖基础、毛石基础、混凝土基础、钢筋混凝土基础等。基础结构的类型因上部结构需要而定。

2.2 结构的类别划分

对于工程结构来讲，结构选型是工程设计的一个重要课题，一个好的结构形式不仅能够有效满足建筑设计各项使用功能，而且造型美观、结构可靠、施工便利、经济合理，因此，结构选型至关重要。但要进行结构选型，首先要知道结构形式有哪些。

在工程结构里，结构有多种多样的形式，根据不同的依据来划分，将会有不同的分类。例如，按材料来划分，可分为砖混结构、混凝土结构、钢结构、木结构、复合材料结构、充气结构等。按结构承重方式来划分，可分为砌体结构、排架结构、框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构、筒体结构、拱体结构、薄壳结构、气膜结构等。一般来讲，不同的工程项目有不同的建设目的和使用要求，为了达到其使用目的和要求，在工程项目的设计过程中，将会选择不同类型的结构形式来满足相应的建筑要求。

2.2.1 按材料类别划分

一、砖混结构

由块体（砖、石材、砌块）和砂浆砌筑而成的墙和柱作为建筑物或构筑物主要受力构件而形成的结构称为砖混结构，它也是砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构的统称。

砖混结构主要特点是易于就地取材，造价低廉，且建筑材料具有良好的耐火性及耐久性。此类材料建造的结构，施工工艺简单，一般也不需要特殊的设备。其中，由工业废料生产的砌块还可节约土地，利于环境保护。在现代建筑中，除用于单层和多层建筑外，在一些小型构筑物如烟囟、水塔、小型水池和重力式挡土墙中也广泛应用砖石结构，这一结构在建筑中占有很大比例。但砖混结构除具有上述若干优点外，也有自重大、强度低、抗震性能差、施工速度慢等缺点。

二、混凝土结构

以混凝土为主体材料所建造的结构称为混凝土结构。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构三种。

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。由于素混凝土抗压强度较高而抗拉强度很低，且破坏比较突然，因此，素混凝土构件只适用于纯受压构件。

钢筋混凝土结构是指在混凝土内配置了受力钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土结构。与素混凝土构件相比，由于混凝土中的拉应力由钢筋承担，压应力由混凝土承担，所以，钢筋混凝土构件的力学性能大为改善。

预应力混凝土结构是指在混凝土内配置了预应力筋或通过张拉及其他预加应力的方法而制成的混凝土。与钢筋混凝土构件相比，由于在使用前预先对混凝土构件施加了一定的压应力，因而，混凝土的抗裂性能大大提高。在同样的跨度和荷载作用下，构件的刚度较大，截

面尺寸可以较小。

由于钢筋混凝土结构合理利用了钢筋和混凝土两种材料的性能,因而具有承载强度高、可塑性好、耐久性好、耐火性高、抗震性能好等优点。但也具有自重大、现浇时耗时耗费模板较多、工期长等缺点。

三、钢结构

钢结构是指以钢材为主要材料制成的结构,其结构特点是材料强度高、自重轻、塑性和韧性好、抗震性能优越。其主要优点是便于工厂生产和机械化施工,便于拆卸,无污染,可再生。正因如此,钢结构的应用正日益增多,在高层建筑及大跨度结构中应用较广。但钢结构的主要缺点是易锈蚀,耐久性和耐火性能差,工程造价和维护费用较高等。

四、木结构

木结构是指全部或主要用木材制成的结构。木结构具有材质轻、制作简单、便于施工、抗震性能好等优点。但由于木材产量受到自然生长条件的限制,且为了保护自然生态环境,木材的使用就受到了严格限制,为此,很多的工程结构中多常用人造木等新型复合材料来替代纯木材料。木结构的承载力有限,适用范围也就受到了限制,其缺点还有易腐蚀、易燃烧、维护费用高等。

2.2.2 按承载方式划分

一、砌体结构

砌体结构是指工程结构和构件主要是由砖砌体和其他材料组成的结构,墙体通常采用砖砌体,屋面和楼板通常采用钢筋混凝土结构,基础则根据结构荷载和其他特殊要求来确定。以前,砌体结构的墙体主要采用普通黏土砖,但普通黏土砖的制作需使用大量的黏土,消耗大量的土地资源,因此,结合资源利用和废物再生,现已多使用工业废料生产的粉煤灰砖、石粉砖、轻质混凝土砖等砌块。由于砌体结构具有就地取材、施工方便、造价低廉等优点,所以,砌体结构在我国应用十分广泛。

二、排架结构

排架结构由屋架或屋面梁、柱和基础组成的结构。屋架与柱顶铰接,柱与基础刚接。在屋面荷载作用下,屋架本身按桁架计算。当柱体有荷载作用时,屋架只起两柱顶的连系作用,相当于一个链杆。排架结构多采用装配式结构体系,广泛用于工业厂房和大跨度空间结构。

三、框架结构

框架结构是由钢筋混凝土或钢纵梁、横梁和柱组成的结构。在框架结构中,承受主要荷载的梁称为框架梁,连接平面框架以组成空间体系结构的梁称为连系梁,柱是框架体系主要的竖向承重结构并承受水平荷载。框架结构具有建筑平面布置灵活、可任意分割房间、容易满足生产工艺和使用要求等优点。与砌体结构相比,框架结构有较好的延性和整体性,抗震性能较好。

在框架结构中,框架梁和柱一般都是刚性连接,这使得框架的梁和柱既能承受轴力,又能承受弯曲和剪切。框架按跨数和层数可分为单层单跨框架、单层多跨框架、多层多跨框架等。单层单跨框架又可称为门式框架,也称刚架。当跨度不大时,刚架结构比排架结构轻巧,并可节省钢材与混凝土。

按所建材料分,框架结构有钢筋混凝土框架、钢框架和组合框架。通常,框架结构的