

JIANZHU
JIEGOU

建 / 筑 结 构

王铭明 杨德磊 / 主编



电子科技大学出版社

JIANZHU
JIEGOU

建 / 筑 结 构

王铭明 杨德磊 / 主编

常州大学图书馆
藏书章



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构 / 王铭明, 杨德磊主编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2017.7
ISBN 978-7-5647-4833-3

I. ①建… II. ①王… ②杨… III. ①建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 182119 号

建 筑 结 构

王铭明 杨德磊 主编

策划编辑 罗 雅

责任编辑 罗 雅

出版发行 电子科技大学出版社
成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 成都市火炬印务有限公司

成品尺寸 185mm×260mm

印 张 12.75

字 数 326 千字

版 次 2017 年 7 月第一版

印 次 2017 年 7 月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-4833-3

定 价 45.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

建筑结构是高等院校土建学科工程管理类专业的主干课程之一,包括建筑结构体系和建筑结构设计,主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构构件布置原则、结构构件的受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、建筑结构的有关构造要求以及结构设计等内容。

近年来,随着我国建筑结构技术及其应用的迅速发展,新材料、新技术、新工艺得到了广泛应用。为此,国家对建筑结构设计相关规范进行了全面修订。本教材以全国高校土建类专业教学指导委员会制订的教育标准和培养方案及主干课程教学大纲为指导,以适应社会需求为目标,以国家现行建筑结构设计相关规范为依据,以培养技术能力为主线组织编写。在编写时充分考虑土建工程专业的深度和广度,以“必需、够用”为度,以“讲清概念、强化应用”为重点,深入浅出,注重实用。

通过对本教材的学习,学生可了解建筑结构的基本设计原理,掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能,以及钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点,掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法,正确理解国家建筑结构设计规范中的有关规定,正确进行截面设计等,同时能处理建筑结构施工中的一般问题,逐步培养和提高综合应用能力,为从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下良好的基础。

本教材在编写过程中参阅了国内同行多部著作,多位院校教师提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

本教材虽经推敲核证,但由于编者的专业水平和实践经验有限,仍难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概念	1
1.2 各类建筑结构的特点	1
1.3 各类结构在工程中的应用	5
1.4 建筑结构的发展状况	7
第 2 章 结构荷载	9
2.1 作用、作用效应 S 和结构抗力 R	9
2.2 建筑结构的性能要求和极限状态	10
2.3 极限状态的设计方法	13
第 3 章 混凝土结构材料	16
3.1 钢筋	16
3.2 混凝土	19
3.3 钢筋与混凝土的黏结	22
第 4 章 砌体结构	26
4.1 概述	26
4.2 砌体材料与其力学性能	27
4.3 无筋砌体构件承载力计算	36
4.4 砌体结构房屋墙和柱设计	47
4.5 过梁、圈梁、墙体的构造措施	55
第 5 章 钢结构	61
5.1 概述	61
5.2 钢结构的材料	63
5.3 钢结构的连接	64
第 6 章 钢筋混凝土受弯构件	85
6.1 概述	85
6.2 受弯构件正截面承载力计算	89

6.3 受弯构件斜截面承载力计算	105
第7章 钢筋混凝土轴向受力构件	110
7.1 受压及受拉构件的构造	110
7.2 轴心受压构件的正截面承载力计算	112
7.3 轴心受拉构件	115
7.4 偏心受压构件的正截面承载力计算	117
7.5 偏心受拉构件的正截面承载力计算	126
第8章 钢筋混凝土受扭构件承载力	129
8.1 概述	129
8.2 矩形截面纯扭构件承载力计算	129
8.3 矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	133
第9章 钢筋混凝土梁板结构	138
9.1 钢筋混凝土平面楼盖概述	138
9.2 装配式钢筋混凝土楼盖	138
9.3 单向板肋梁楼盖的设计	142
9.4 双向板肋梁楼盖的设计	149
9.5 钢筋混凝土雨篷	155
9.6 钢筋混凝土楼梯	157
第10章 地基、基础及地下室	162
10.1 概述	162
10.2 地基	164
10.3 基础	169
10.4 地下室	170
第11章 建筑结构施工图识读	174
11.1 概述	174
11.2 建筑总平面图	180
11.3 建筑平面图	181
11.4 建筑立面图	185
11.5 建筑剖面图	188
11.6 建筑详图	190
参考文献	198

第1章 绪 论

1.1 概 念

建筑结构课程是土木工程类非结构专业的主要专业基础课,是建筑学、建筑工程管理、建筑给水与排水工程、采暖通风工程等专业的必修课程。

建筑结构是指建筑物中由承重构件(梁、柱、桁架、墙、楼盖和基础)所组成的结构体系,用以承受作用在建筑物上的各种荷载,故应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性,从而满足使用要求。根据所用材料的不同,常见的建筑结构有砌体结构、混凝土结构、木结构和钢结构等。

1.2 各类建筑结构的特点

1.2.1 砌体结构

砌体结构是指用块材(砖、石或砌块)和砂浆砌筑而成的结构。按所用块材的不同,可将砌体分为砖砌体、石砌体和砌块砌体三类。砌体结构具有悠久的历史,至今仍是应用极为广泛的结构形式。由于砌体结构所具有的自身特点,作为一种面广量大的结构形式,这种结构仍在不断发展和完善。

砌体结构具有如下的优点。

(1)材料来源广泛,便于就地取材。石材、黏土、砂等为天然材料,分布极为广泛,而且价格低廉,可节约钢材、木材、水泥这“三大材”。

(2)砌体结构具有良好的耐火性和保温隔热性能,所修建的建筑物节能效果明显。

(3)砌体结构的使用年限长,有很好的耐久性。

(4)施工简单,无须模板及其他特殊设备,施工受季节影响小、可连续作业。

然而,砌体结构也有其明显的缺点:砌体除了抗压强度较好外,抗弯、抗拉、抗剪强度都相对较低;砌体结构的截面尺寸一般相对较大、耗用材料较多,自重也大;砌体的抗震和抗裂性能都较差;目前,砌体结构的施工仍为人工砌筑,劳动强度大,生产效率相对较低,而且质量不易保证;此外,烧制黏土砖需占用大量的农田,烧制过程还要耗费大量能源,这对于人口众多、相对耕地面积较少的我国,矛盾尤为突出。

为克服上述缺点,现在正在大力研究和开发各种新技术、新材料,如发展各种质量轻、高强度的砌块和砌筑砂浆,以减轻砌体质量,提高强度;利用工业废料,如粉煤灰、矿渣等制作砌块,减少和克服与农业争地的矛盾,同时也兼顾了环境保护;通过采用配筋砌体、设置钢筋混凝土构造柱及施加预应力等措施,来克服砌体结构整体性及抗震性能差的不足等。

1.2.2 混凝土结构

混凝土结构是指以混凝土为主制成的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构,常用于非承重结构。

预应力混凝土结构是指配有预应力钢筋,通过张拉或其他方法在结构中建立预应力的混凝土结构。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土这两种材料组成共同受力的结构。这种结构能很好地发挥混凝土和钢筋这两种材料不同的力学性能,形成受力性能良好的结构构件。

钢筋和混凝土是两种物理力学性能不相同的材料,两者能够有效地结合在一起共同工作的主要原因是:混凝土硬化后,在与钢筋的接触表面上存在黏结力,相互之间不产生滑动,从而能够共同工作;另一方面,钢筋和混凝土这两种材料的温度线胀系数相接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,所以不致因温度变化使两者之间产生过大的相对变形而破坏黏结;另外,包裹在钢筋外面的混凝土保护层只要有足够的厚度并对裂缝加以适当控制,就能够有效地防止钢筋锈蚀,从而使得结构具有很好的耐久性。

钢筋混凝土结构在土木工程中被广泛应用,除了这种结构能够很好地利用钢筋和混凝土这两种材料各自的特性外,还具有如下的优点。

(1)承载力高,节约钢材。与砌体结构、木结构相比,钢筋混凝土结构的承载力要高得多;与钢结构相比,其用钢量要少得多,在一定的条件下可以替代钢结构,因而节约钢材,降低工程造价。

(2)耐久、耐火性好。因钢筋受到混凝土的保护而不易锈蚀,因而钢筋混凝土结构具有很好的耐久性;同时,不需像钢结构或木结构那样要进行保养维护。遭遇火灾时,不会像木结构那样被燃烧,也不会像钢结构那样很容易软化而失去承载力。

(3)整体性、可模性好。现浇式或装配整体式钢筋混凝土结构具有很好的整体性,这对抗震、防爆等都十分有利;而且混凝土可以根据需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,其可模性远比其他结构优越。

(4)就地取材容易。在钢筋混凝土结构中,砂、石材料所占比例较大,一般情况下可以就地获得供应;而且还可以利用工业废料(如粉煤灰、工业废渣等),起到保护环境的作用。

但是,钢筋混凝土结构的缺点也是明显的:由于钢筋混凝土构件的截面尺寸相对较大,结构的自重一般很大,显得较为笨重;钢筋混凝土结构构件的抗裂性能较差,通常都是带裂缝工作的,对于要求抗裂或严格要求限制裂缝宽度的结构,就需要采取专门的结构或工程构

造措施;此外,钢筋混凝土结构施工工期长、工艺较复杂,且受环境、气候影响较大;隔热、隔声性能相对较差;并且不易修补与加固。这些不足之处也使得钢筋混凝土结构的应用范围受到一些限制。但随着科学技术的发展,上述缺点正在逐步克服和改善之中,如采用质量轻、强度高的集料,可极大地降低结构的自重;采用预应力技术,可克服混凝土容易开裂的缺点;采用黏钢或植筋技术,可解决加固的问题;采用装配式结构工厂化生产的方式,可克服工期长、受环境气候影响大等问题。

混凝土结构可按不同的分类方法进行分类。

(1)按受力状态和构造外形分为杆件系统和非杆件系统。杆件系统是指受弯、受拉、受压、受扭等作用的基本杆件,如梁、板、柱等;非杆件系统则是指大体积结构及空间薄壁结构等。

(2)按制作方式可分为整体式(现浇式)、装配式、整体装配式三种。整体式(现浇式)结构刚度大、整体性好,但施工工期长、模板工程多。装配式结构可实现工厂化生产,施工速度快,但整体性相对较差,且构件接头复杂。整体装配式则兼有整体式(现浇)和装配式这两种结构的优点。

(3)按有无配置受力钢筋分为钢筋混凝土结构和素混凝土结构。

(4)按有无预应力分为钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。预应力混凝土结构是指在结构受荷载作用之前,人为地制造一种压应力状态,使其能够部分或全部抵消由于荷载作用所产生的拉应力,从而能够提高结构的抗裂性能。此外,能利用高强度材料、制造较大跨度的结构也是预应力混凝土结构的优势。

1.2.3 木结构

1. 概念

木结构因为是由天然材料所组成,受着材料本身条件的限制,因而木结构多用在民用和中小型工业厂房的建造中。木屋构造结构包括木屋架、支撑系统、吊顶、挂瓦条及屋面板等。

木结构是单纯由木材或主要由木材承受荷载的结构,通过各种金属连接件或榫卯手段进行连接和固定。这种结构因为是由天然材料所组成,受着材料本身条件的限制,因而木结构多用在民用和中小型工业厂房的屋盖中。木屋盖结构包括木屋架、支撑系统、吊顶、挂瓦条及屋面板等。木材易于取材,加工方便,质轻且强。缺点是各向异性,有木节、裂纹等天然缺陷,易腐易蛀、易燃、易裂和翘曲。木屋架适用于跨度不超过15米,钢木屋架适用跨度不超过18米,室内空气相对湿度不超过70%,室内温度不超过50℃,吊车起重量不超过5↑t,悬挂吊车不超过1↑t的工业与民用建筑。钢木屋架采用钢下弦和钢拉杆,受力合理,安全可靠。木屋盖还可采用胶合梁作为承重构件,它是用胶将木板胶合而成,外形美观,受力合理,是一种有前途的结构。苏联还研究使用过板肖梁、多种形式的空间结构如网状筒拱等。由于木材资源的限制及木材本身的缺点,近年来在大量房屋建筑中,木屋盖的应用较少,一般被钢筋混凝土结构及钢结构所代替。

2. 特点

(1) 得房率高。

由于墙体厚度的差别,木结构建筑的实际得房率(实际使用面积)比普通砖混结构要高出5%~8%。

(2) 工期短。

木结构采用装配式施工,这样施工对气候的适应能力较强,不会像混凝土工程一样需要很长的养护期,另外,木结构还适应低温作业,因此冬季施工不受限制。

(3) 节能。

建筑物的能源效益是由构成该建筑物的结构体系和材料的保温特性决定的。木结构的墙体和屋架体系由木质规格材、木基结构覆面板和保温棉等组成,测试结果表明,150mm厚的木结构墙体,其保温能力相当于610mm厚的砖墙,木结构建筑相对混凝土结构,可节能50%~70%。

(4) 环保。

木材是唯一可再生的主要建筑材料,在能耗、温室气体、空气和水污染以及生态资源开采方面,木结构的环保性远优于砖混结构和钢结构,是公认的绿色建筑。

(5) 舒适。

由于木结构优异的保温特性,人们可以享受到木结构住宅的冬暖夏凉。另外,木材为天然材料,绿色无污染,不会对人体造成伤害,材料透气性好,易于保持室内空气清新及湿度均衡。

(6) 稳定性高。

木材相对其他材料有极强的韧性,加上面板结构体系,使其对于冲击荷载及周期性疲劳破坏有很强的抵抗力,具有最佳的抗震性,木结构在各种极端的符合条件下,均表现出优异的稳定性和结构的完整性,特别在易于受到飓风影响的热带地区以及受到破坏性地震袭击的地区,如日本和北美,其表现尤为突出。

(7) 防火性能。

木结构体系的耐火能力比人们通常想象的要强得多,轻型木结构中石膏板对木构件的覆盖,以及重木结构中大尺寸木构件遇火形成的碳化层,均可以保护木构件,并保持其结构强度和完整性,按中国木结构设计规范设计建造の木结构建筑,完全能够满足有关防火要求。

(8) 隔声性能。

基于木材的低密度和多孔结构,以及隔音墙体和楼板系统,使木结构也适用于有隔音要求的建筑物,创造静谧的生活,工作空间。另外,木结构建筑没有混凝土建筑常有的撞击性噪音传递问题。

(9) 耐久性。

精心设计和建造的现代木结构建筑,能够面对各种挑战,是现代建筑形式中最经久耐用

的结构形式之一,能历经数代而状态良好,包括在多雨、潮湿,以及白蚁高发地区。

1.2.4 钢结构

钢结构是以钢板和型钢等钢材通过焊接、铆接或螺栓联结等方法构筑成的工程结构。钢结构与钢筋混凝土结构和砌体结构相比,具有以下的特点。

钢结构的自重较轻。虽然钢材的重度较大,但由于其强度高,制作构件所需的钢材用量相对较少。如果用材料的重度与强度的比值 α 进行比较的话,建筑钢材的 α 为 $(1.7 \sim 3.7) \times 10^{-4}/\text{m}$;木材的 α 约为 $5.4 \times 10^{-4}/\text{m}$;钢筋混凝土的 α 约为 $18 \times 10^{-4}/\text{m}$ 。以相同跨度、承受同等荷载的屋架相比,钢屋架为钢筋混凝土屋架质量的 $1/4 \sim 1/3$,薄壁型钢屋架则仅为钢筋混凝土屋架质量的 $1/10$ 左右,所以钢结构相对较轻。这也使得运输、吊装施工较方便,同时因减轻了竖向荷载,进而降低了基础部分的造价。

钢结构的强度较大,韧性和塑性较好,工作可靠。由于钢材的自身强度高,质量稳定,材质均匀,接近各向同性,理论计算的结果与实际材料的工作状况比较一致,而且其韧性和塑性较好,有很好的抗震、抗冲击能力,所以钢结构工作可靠,常用来制作大跨度、重承载的结构及超高层结构。

钢结构制作、施工简便,工业化程度高。由于钢结构的制作必须按严格的工艺采用机械进行加工,加上钢结构的原材料都是工厂生产的钢板、型钢,因此精度相对较高。钢结构的制作比较方便,既可以制作后整体吊装,也可以将散件运输到现场进行拼装。由于钢结构具有易于连接和拼装的特性,使得在加固、维修、部件更换、拆迁改造等方面显得方便和易于实现。

钢结构的密闭性能较好,尤其适于制作要求密闭的板壳结构、容器管道、闸门等。

钢结构的缺点是耐腐蚀性较差,在有腐蚀性介质环境中的使用受到限制。对已建成的结构,还需要定期进行维护、涂装、镀锌等防锈、防腐处理,费用较高。钢结构的耐火性能较差,温度在 200°C 以下时,其强度和弹性模量变化不大; 200°C 以上时,其弹性模量变化较大,强度降低、变形增大;达到 600°C 时,钢材即进入塑性状态而丧失承载力,所以接近高温的钢结构需要采取隔热防护措施。另外,钢结构在低温条件下可能发生脆性断裂。

在建筑结构中,除了上述几种常用结构外,还有木结构、悬索结构和索膜结构等新型结构。由于木材的资源问题,在工程中已尽量不采用木结构。

1.3 各类结构在工程中的应用

1.3.1 混凝土结构

混凝土结构是在研制出硅酸盐水泥后发展起来的,并从19世纪中期开始在土建工程领域逐步得到应用。与其他结构相比,混凝土结构虽然起步较晚,但因其具有很多明显的优点

而得到迅猛发展,现已成为一种十分重要的结构形式。

在房屋建筑工程中,住宅、商场、办公楼、厂房等多层建筑,广泛地采用混凝土框架结构或墙体为砌体、屋(楼)盖为混凝土的结构形式;高层建筑大都采用混凝土结构。在我国成功修建的上海环球金融中心(492m)、香港中心大厦(374m)、广州中信大厦(322m),国外如美国的威克·德赖夫大楼(296m)、德国的密思垛姆大厦(256m)等著名的高层建筑,也都采用了混凝土结构或钢-混凝土组合结构。除高层外,在大跨度建筑方面,由于广泛采用预应力技术和拱、壳、V形折板等形式,已使建筑物的跨度达百米以上。

在交通工程中,大部分的中、小型桥梁都采用钢筋混凝土来建造,尤其是拱形结构的应用,使得桥梁的大跨度得以实现,如我国的重庆万县长江大桥,采用劲性骨架混凝土箱形截面,净跨达420m;克罗地亚的克尔克1号桥为跨度390m的敞肩拱桥。一些大跨度桥梁常采用钢筋混凝土与悬索或斜拉结构相结合的形式,悬索桥中如我国的润扬长江大桥(主跨1490m),日本的明石海峡大桥(主跨1990m);斜拉桥中如我国的杨浦大桥(主跨602m),日本的多多罗大桥(主跨890m)等,都是极具代表性的中外名桥。

在水利工程和其他构筑物中,钢筋混凝土结构也扮演着极为重要的角色:目前世界上最大的水利工程——长江三峡水利枢纽——中高达186m的拦江大坝为混凝土重力坝,筑坝的混凝土用量达1527万 m^3 ;现在,仓储构筑物、管道、烟囱及塔类建筑也广泛采用混凝土结构。高达549m的加拿大多伦多电视塔,就是混凝土高耸建筑物的典型代表。此外,飞机场的跑道、海上石油钻井平台、高桩码头、核电站的安全壳等也都广泛采用混凝土结构。

1.3.2 砌体结构

砌体结构是最传统、古老的结构,自人类从巢、穴居进化到室居之初,就开始出现以块石、土坯为原料的砌体结构,进而发展为烧结砖、瓦的砌体结构。我国的万里长城、安济桥(赵州桥);国外的埃及金字塔、罗马斗兽场等,都是从古代流传下来的砖石砌体的佳作。混凝土砌块砌体的应用较晚,在我国,直到1958年才开始建造用混凝土空心砌块作墙体的房屋。砌体结构不仅适用于作建筑物的围护或承重墙体,而且可砌筑成拱、券、穹隆结构及塔式筒体结构;尤其在使用配筋砌体结构以后,在房屋建筑中,已从建造低矮民房发展到建造多层住宅、办公楼、厂房、仓库等。国外有用砌体作承重墙建造了20层楼的例子。

在桥梁及其他建筑方面,大量修建的拱桥则是充分利用了砌体结构抗压性能较好的特点,最大跨度可达120m。由于砌体结构具有如前所述的优点,还被广泛地应用于修建小型水池、料仓、烟囱、渡槽、坝、堰、涵洞、挡土墙等工程。

随着新材料、新技术、新结构的不断研制和发展(诸如新型环保型砌块、高黏结性能的砂浆、墙板结构、配筋砌体等),加上计算方法和试验技术手段的进步,砌体结构必将在建筑、交通、水利等领域中发挥更大的作用。

1.3.3 钢结构

钢结构是由古代的生铁结构发展而来,在我国的秦始皇时代就有用生铁修筑的桥墩,在

汉代及明、清年代建造了若干铁链悬桥,此外还有古代的众多铁塔。到了近代,钢结构已广泛地在工业与民用建筑、水利、码头、桥梁、石油、化工、航空等领域得到应用。钢结构主要用于建造大型、重载的工业厂房,如冶金、锻压、重型机械厂的厂房;需要大跨度的建筑,如桥梁、飞机库、体育场、展览馆等;高层及超高层建筑物的骨架;受震动或地震作用的结构;储油(气)罐、各种管道、井架、起重机、水闸的闸门等。近年来,轻钢结构也广泛应用于厂房、办公用房、仓库等,并向住宅、别墅发展。

随着科学技术的发展和新材料、新连接技术、新的设计计算方法的出现,钢结构的结构形式、应用范围也会有新的突破和拓展。

1.4 建筑结构的发展状况

土木工程结构有着悠久的历史。我国黄河流域的仰韶文化遗址就发现了公元前 5000—前 3000 年的房屋结构痕迹。金字塔(建于公元前 2700—前 2600 年)、万里长城、赵州桥等都是结构发展史上的辉煌之作。17 世纪工业革命后,资本主义国家工业化的发展推动了建筑结构的发展。17 世纪开始使用生铁,19 世纪初开始使用熟铁建造桥梁和房屋。自 19 世纪中叶开始,钢结构得到蓬勃发展。19 世纪 20 年代,水泥的发明使混凝土得以问世,随后出现了钢筋混凝土结构。20 世纪 30 年代,预应力混凝土结构的出现使混凝土结构的应用范围更加广泛。目前,世界上的摩天大楼不胜枚举。马来西亚吉隆坡石油大厦(1996 年建成,组合结构)高达 451.9m,88 层。

我国在土木工程结构领域也取得了辉煌成就。建筑结构方面,1998 年建成、矗立于我国上海浦东陆家嘴的金茂大厦,高 420.5m,地上 88 层,地下 3 层,其高度全国第一。正在建设的上海环球金融中心,设计高度 492m,101 层,建成后将成世界第一高楼。

虽然土木工程结构已经历了漫长的发展过程,但至今仍生机勃勃,不断发展。概括起来,建筑结构的发展趋势主要在以下几个方面。

(1)材料方面,混凝土将向轻质高强方向发展。随着水泥和钢材工业的发展,混凝土和钢材的质量不断改进、强度逐步提高。例如在美国 20 世纪 60 年代使用的混凝土抗压强度平均为 28N/mm^2 ,20 世纪 70 年代提高到 42N/mm^2 ,近年来一些结构的混凝土抗压强度已经达到 $80 \sim 100\text{N/mm}^2$ 。苏联 20 世纪 70 年代使用钢材平均屈服强度为 380N/mm^2 ,20 世纪 80 年代提高到 420N/mm^2 ;美国在 20 世纪 70 年代钢材平均屈服强度已达 420N/mm^2 。预应力钢筋所用强度则更高。这些均为进一步扩大钢筋混凝土的应用范围创造了条件,特别是自 20 世纪 70 年代以来,很多国家把高强度钢材和高强度混凝土用于大跨、重型、高层结构中,在减轻自重、节约钢材上取得了良好的效果。

(2)理论方面,随着研究的不断深入、统计资料的不断积累,结构设计方法将会发展至全概率极限状态设计方法。

最早的设计方法是把结构构件看成完全弹性体,要求其在使用期间截面上任何一点的

应力不超过容许应力值。这种方法称为“容许应力设计法”。

随着研究的深入,人们逐渐认识到钢筋混凝土的塑性性能,从而提出了“破损阶段设计法”。该法以构件的极限承载力为依据,要求荷载的数值乘一大于1的安全系数后不超过构件的极限承载力。后来,在破损阶段设计法进一步发展的基础上又提出了极限状态设计法。根据荷载、材料、工作条件等不同情况采用不同系数的极限状态设计法,部分系数的确定采用概率的方法,部分系数由经验确定,故也称为“半概率设计法”。

随着工程实践经验的进一步积累,结合最新的科研成果,提出了概率极限状态法,采用概率的方法给出结构可靠度的计算,该法在表达方式上虽然与以往的方法有些类似,但二者在本质上是区别的,该法已属于概率法的范畴。我国的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)采用的就是概率极限状态设计法。

随着研究理论和计算方法的进一步成熟,结构设计方法将有可能发展至全概率极限状态设计方法。

(3)结构方面,空间网架发展十分迅速,最大跨度已逾百米。悬索结构、薄壳结构也是大跨度结构发展的方向。高层砌体结构也开始应用。组合结构也是结构发展的方向。

为了克服钢筋混凝土易于产生裂缝这一缺点,促成了预应力混凝土的出现。预应力混凝土的应用又对材料强度提出新的更高的要求,而高强度混凝土及钢材的发展反过来又促进了预应力混凝土结构应用范围的不断扩大。为改善钢筋混凝土自重大的缺点,世界各国已经大力研究发展了各种轻质混凝土,可在预制和现浇的建筑结构中采用,例如可制成预制大型壁板、屋面板、折板,以及现浇的薄壳、大跨、高层结构。

由于砌体结构具有经济和保温隔热性能好等优点,现仍广泛应用于多层民用建筑,特别是多层住宅。

第2章 结构荷载

2.1 作用、作用效应 S 和结构抗力 R

2.1.1 结构上的荷载及其分类

1. 荷载的概念

使结构产生内力和变形的原因称为作用。作用涵盖的范畴较广,主要表现在两大方面:自然现象和人为现象。自然现象包括地球重力影响所引起的构件自重以及建筑施工和使用过程中人、设备的自重等;自然气候的影响,如风、雪、冰、温(湿)度变化等;地质、水利方面的影响,如地震、地基不均匀沉降、水位差等。人为现象是指工厂运行吊车、车辆载物行驶、机器运行产生振动以及钢材焊接、施工安装、施加预应力等。以上种种现象均能在结构中引起内力和变形,因此统称为作用。

作用按性质的差异可分为直接作用和间接作用。直接作用即荷载,如构件自重、使用荷载、施工荷载、风荷载、雪荷载、冰荷载、水(土)压力、吊车荷载、车辆荷载、振动荷载、预应力等。荷载通常表现为施加在结构上的集中力或分布力系。间接作用指引起结构外加变形和约束变形的其他作用,如温(湿)度变化、地震作用、基础沉降、混凝土的收缩和徐变、焊接变形等。

2. 荷载的分类

荷载是工程上常见的作用,《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)将结构上的荷载按作用时间的长短和性质分为以下三类。

(1) 永久荷载。

永久荷载也称为恒载,是在结构设计基准期内,其值不随时间变化,或者其变化值与平均值相比可忽略不计的荷载,如结构自重、土压力、预应力等。

(2) 可变荷载。

可变荷载也称为活载,是在结构设计基准期内,其值随时间变化,且其变化值与平均值相比不可忽略的荷载,如楼(屋)面活荷载、风荷载、雪荷载、吊车荷载、温(湿)度变化等。

(3) 偶然荷载。

偶然荷载是在结构设计基准期内不一定出现,而一旦出现,其量值很大且持续时间较短的荷载,如地震荷载、爆炸荷载、撞击荷载等。

2.1.2 作用效应 S

作用效应 S 是指各种作用在结构上引起的内力、变形、裂缝等。由荷载引起的作用效应称为荷载效应。

由于荷载本身的变异性以及结构内力计算假定与实际受力情况间的差异等因素,荷载效应 S 存在不确定性。

2.1.3 结构抗力 R

结构抗力 R 是指结构或结构构件承受内力和变形的能力,如结构构件的承载力、刚度和抗裂度等。

结构抗力 R 是结构内部固有的特性,当一个构件制作完成后,它抵抗外界作用的能力也就确定了,其大小主要是由构件的截面尺寸、材料强度及材料用量、计算模式等决定的。由于人为因素及材料制作工艺、材料制作及使用环境的影响,使得结构抗力 R 也具有不确定性。

以上概念表明,当结构构件任意截面均处于 $S \leq R$ 的状态时,结构是安全可靠的。但由于 S 、 R 都是随机变量,因而结构是否安全可靠这一事件,即事件 $S \leq R$ 也是随机事件,需要用概率理论来分析。

2.2 建筑结构的极限状态

2.2.1 结构的极限状态

1. 建筑结构的极限要求

进行建筑结构设计的目的是:使所设计的结构在正常施工和正常使用的条件下满足各项预定的功能要求,并取得最佳的经济效果。建筑结构的极限要求主要包括以下三个方面。

(1) 安全性。安全性是指结构在正常使用和正常施工时能够承受可能出现的各种作用,如荷载、温度、支座沉降等;且在设计规定的偶然事件(如地震、爆炸、撞击等)发生时或发生后,结构仍能保持必要的稳定性,即结构仅发生局部损坏而不致倒塌。

(2) 实用性。实用性是指结构在正常使用时满足预定的使用要求,具有良好的工作性能,如不发生影响使用的过大变形、振动或过宽的裂缝等。

(3) 耐久性。耐久性是指结构在正常维护的条件下,建筑结构能完好使用到规定的设计年限,即结构在规定的环境中,在预定的时间内,其材料性能的恶化(如混凝土的风化、腐蚀,脱落,钢筋锈蚀等)不会导致结构失效。

结构能满足安全性、适用性、耐久性三大功能要求中的某一功能要求,而良好工作的状态称为可靠状态或有效状态,反之称为不可靠状态或失效状态。而极限状态是区分结构工

作状态可靠或失效的标志。可以这样定义:结构在即将不能满足某项功能要求时的特定状态,称为该功能的极限状态。

2. 极限状态的分类

极限状态可分为两类:承载能力极限状态和正常使用极限状态。

(1) 承载能力极限状态。

承载能力极限状态对应于结构或结构构件达到并超过了最大承载力,或者产生了不适于继续承载的过大变形,从而丧失了安全性功能的一种特定状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时,应认为超过了承载能力极限状态:

- ①整个结构或结构的一部分,作为刚体失去平衡(如倾覆、滑移等);
- ②结构构件或连接因为超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏),或因过度变形而不适于继续承载;
- ③结构转变为机动体系;
- ④结构或结构构件丧失稳定(如压屈等);
- ⑤地基丧失承载力而破坏(如失稳等)。

结构或构件一旦超过承载能力极限状态,将造成结构全部或部分破坏或倒塌,会导致人员伤亡或严重经济损失,因此,所有结构构件都必须进行承载能力极限状态的计算,并保证具有足够的可靠度。

(2) 正常使用极限状态。

正常使用极限状态是指对应于结构或结构构件达到并超过了正常使用或耐久性能的某项规定的限值,从而丧失了适用性和耐久性功能的一种特定状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时,应认为超过了正常使用极限状态:

- ①影响正常使用或外观的变形;
- ②影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括裂缝);
- ③影响正常使用的振动;
- ④影响正常使用的其他特定状态。

与承载能力极限状态相比,超过正常使用极限状态,一般不致造成人员伤亡,经济损失也小些,所以结构设计时只需对结构构件的变形、抗裂度或裂缝宽度、地基变形、房屋侧移等进行验算,使之不超过规范规定的限值,或通过使用简单但行之有效的构造措施来加以解决。

3. 极限状态的计算

结构和结构构件的工作状态,可以由该结构构件所承受的荷载效应 S 和结构抗力 R 两者的关系来描述,即

$$Z = R - S = g(R, S) \quad (2-1)$$

上式称为功能函数,可以用来表示结构的三种工作状态:

当 $Z > 0$ 时,结构处于可靠状态;