

全国高职高专建筑工程技术专业规划教材

王
娜
郭呈祥
主编

JIANZHU JIEGOU

建筑 结构



(上册)



黄河水利出版社

全国高职高专建筑工程技术专业规划教材

建 筑 结 构

(上 册)

主 编 王 娜 郭呈祥

副主编 史美东 刘宏敏 丁小艳

主 审 谢延友

黄 河 水 利 出 版 社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专建筑工程技术专业规划教材之一,是根据目前高职高专院校建筑工程技术专业的教学计划和教学基本要求,以及国家现行的最新规范、规程和标准编写而成的。上册内容包括:建筑结构的基本设计原则,混凝土材料的力学性能,常见混凝土结构构件的计算及构造,预应力混凝土基本知识,梁板结构、多高层混凝土结构的设计方法及构造要求(含抗震构造),以及梁、柱、剪力墙平法施工图的识读。

本书可作为高职高专院校土建类及相关专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/王娜,郭呈祥主编. —郑州:黄河水利出版社,
2009.7

全国高职高专建筑工程技术专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 80734 - 600 - 5

I. 建… II. ①王… ②郭… III. 建筑结构 - 高等
学校:技术学校 - 教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 100782 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.00

字数:389 千字

印数:1—4 100

版次:2009 年 7 月第 1 版

印次:2009 年 7 月第 1 次印刷

定价:56.00 元

前 言

本书依据高职高专建筑工程技术专业培养目标编写,突出专业职业能力培养。全书分上、下两册,上册为建筑结构概论及混凝土结构,下册为砌体结构和钢结构。

针对高职建筑工程技术专业人才培养方向由“工程设计”型向“工程施工”型转变,本书编写时,对传统的建筑结构教学内容进行必要调整,删减了钢筋混凝土单层厂房,将建筑结构抗震构造知识与混凝土结构和砌体结构融合,增加101平法识图内容,淡化理论推导,强化结构构造知识,满足高职学生对建筑结构知识的需求。

本书按照现行国家规范和标准编写。上册内容包括:建筑结构的基本设计原则,混凝土材料的力学性能,常见混凝土结构构件的计算及构造,预应力混凝土基本知识,梁板结构、多高层混凝土结构的设计方法及构造要求(含抗震构造),以及梁、柱、剪力墙平法施工图的识读。

本书由王娜、郭呈祥任主编,由甘肃工业职业技术学院谢延友任主审,上册由史美东、刘宏敏、丁小艳任副主编。第一章、第九章、附录由石家庄职业技术学院王娜编写;第二章、第八章由浙江水利专科学校史美东编写;第三章由漯河职业技术学院丁小艳编写;第四章、第五章、第六章、第七章由湖北水利水电职业技术学院刘宏敏编写。全书由王娜负责统稿,并按主审意见修改定稿。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处敬请读者指正。

编 者

2009年3月

目 录

前 言

第一章 建筑结构概论	(1)
第一节 建筑结构体系的组成和特点	(1)
第二节 建筑结构的基本设计原则	(6)
第三节 建筑结构抗震简介	(14)
小 结	(17)
思考题	(18)
习 题	(18)
第二章 混凝土结构材料的力学性能	(19)
第一节 钢 筋	(19)
第二节 混凝土	(23)
第三节 钢筋和混凝土的共同工作	(28)
小 结	(29)
思考题	(30)
第三章 混凝土受弯构件	(31)
第一节 受弯构件的一般构造要求	(31)
第二节 受弯构件的正截面承载力计算	(34)
第三节 受弯构件的斜截面受剪承载力计算	(51)
第四节 保证斜截面受弯承载力的构造要求	(61)
第五节 混凝土受弯构件的裂缝宽度及变形验算	(67)
小 结	(77)
思考题	(78)
习 题	(79)
第四章 混凝土受压构件	(81)
第一节 受压构件的一般构造要求	(81)
第二节 轴心受压构件承载力计算	(83)
第三节 偏心受压构件正截面承载力计算	(88)
第四节 偏心受压构件斜截面承载力计算	(103)
小 结	(103)
思考题	(104)
习 题	(104)
第五章 混凝土受拉构件	(106)
第一节 轴心受拉构件承载力计算	(106)
第二节 偏心受拉构件正截面承载力计算	(106)

第三节	偏心受拉构件斜截面承载力计算	(109)
小 结	.....	(109)
思考题	.....	(110)
习 题	.....	(110)
第六章	混凝土受扭构件	(111)
第一节	概 述	(111)
第二节	矩形截面纯扭构件的承载力计算	(111)
第三节	矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	(115)
第四节	受扭构件的构造要求	(118)
小 结	.....	(121)
思考题	.....	(121)
习 题	.....	(121)
第七章	预应力混凝土构件	(122)
第一节	预应力混凝土的基本知识	(122)
第二节	预应力混凝土构件的构造要求	(133)
小 结	.....	(134)
思考题	.....	(135)
第八章	梁板结构	(136)
第一节	概 述	(136)
第二节	整体式单向板肋梁楼盖	(138)
第三节	整体式双向板肋梁楼盖	(163)
第四节	楼 梯	(170)
第五节	雨 篷	(178)
小 结	.....	(181)
思考题	.....	(181)
习 题	.....	(182)
第九章	多层及高层房屋结构	(183)
第一节	多层及高层房屋的结构体系	(183)
第二节	框架结构	(186)
第三节	剪力墙结构简介	(210)
第四节	框架 - 剪力墙结构简介	(216)
第五节	平面整体表示混凝土结构施工图的识读	(217)
小 结	.....	(224)
思考题	.....	(225)
习 题	.....	(225)
附 录	.....	(227)
参考文献	.....	(250)

第一章 建筑结构概论

第一节 建筑结构体系的组成和特点

一、建筑结构的组成和分类

(一) 建筑结构的组成

建筑物中用来承受并传递各种作用的骨架称为建筑结构。结构构件是组成建筑结构的基本单元。在房屋建筑中,基本结构构件有板、梁、柱、墙、基础等,如图 1-1 所示。

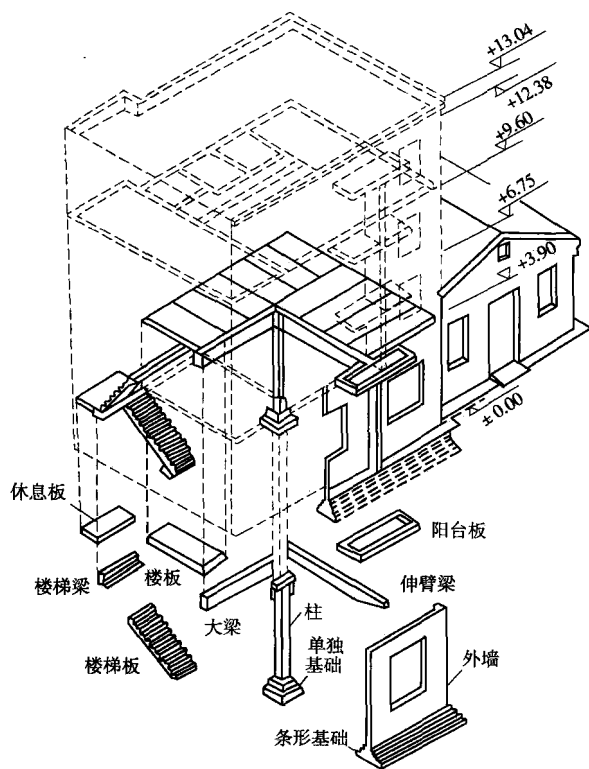


图 1-1 典型多层房屋透视图及构件组成

板承受楼面或屋面上的荷载并将荷载传给与其接触的梁或墙,板主要承受弯矩作用。

梁承受板传来的荷载及自身的重量,荷载沿梁跨度方向分布,主要承受弯矩和剪力作用。

柱承受梁传来的荷载及自身的重量,除受轴向压力作用外,还可能因竖向力的偏心或梁的约束出现弯矩作用。

墙承受板、梁传来的荷载及自身的重量,除受压力作用外也可能受弯矩作用。

基础承受墙、柱传来的荷载并将荷载扩散到地基土中。

除此之外,建筑结构构件还有组成平面桁架和空间网架的杆、拱、壳等。

(二) 建筑结构的分类

根据所用材料不同,建筑结构可分为混凝土结构、钢结构、砌体结构和木结构等。不同结构材料在同一结构体系中混合应用,可形成混合结构。如:建筑物中竖向承重的墙、柱采用砖或砌块砌筑,楼盖、屋盖等采用钢筋混凝土,形成砖混结构;承重结构的墙、柱采用砖砌筑,楼板、屋架采用木结构,形成砖木结构。砖混结构、砖木结构较多地应用于低层和多层建筑中;而钢-混凝土组合结构大量应用于高层建筑,钢-混凝土组合结构可以采用钢梁、钢柱加混凝土楼板的组合形式,也可以在同一构件中采用两种材料,如钢管混凝土、钢筋混凝土柱中配置型钢等。

根据结构受力体系的不同,建筑结构可分为墙承重结构、框架-结构、排架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、框支-剪力墙结构、筒体结构、网架结构等。

承重墙结构的墙体主要承受竖向荷载,如砌体结构为典型的承重墙结构。

框架结构是指由板、梁和柱组成的结构体系。

剪力墙结构由梁、板和钢筋混凝土剪力墙组成,钢筋混凝土墙除承受竖向荷载作用外,其水平作用也不可忽视。

框架结构和剪力墙结构组合起来,就构成了框架-剪力墙结构、框支-剪力墙结构等。

由平面剪力墙组成空间薄壁筒体,框架通过减小柱距形成空间密柱框筒,这些以一个或多个筒体来抵抗水平力的结构便是筒体结构。筒体结构空间整体受力,具有很大的抗侧刚度和承载力。

两边柱子和支承在柱子上的屋架构成一榀排架,一榀榀互相平行的排架通过纵向构件连接起来,就形成了排架结构。排架结构在自身的平面内承载力和刚度都较大,而排架间的承载能力则较弱,适用于单层的工业厂房。

网架结构是由若干杆件按照一定的网格形式通过节点连结而成的空间结构,具有空间受力、刚度大、抗震性能好、重量轻等优点,广泛应用于体育馆、展览馆、影剧院、食堂、候车厅、飞机库等的屋盖结构。

二、各种建筑结构的特点及发展应用

(一) 混凝土结构

1. 混凝土结构的分类

以混凝土为主要材料制成的结构称为混凝土结构,常见的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,常用于以受压为主而不承受拉力的结构,如基础、挡土墙、堤坝、水泥混凝土路面等。由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构称为钢筋混凝土结构。通过配置并张拉预应力钢筋或其他方法在混凝土中建立预加应力的混凝土结构称为预应力混凝土结构。

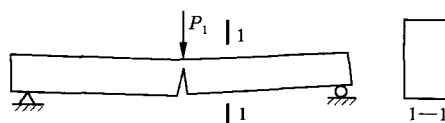
2. 钢筋混凝土结构的特点

混凝土硬化后抗压强度高而抗拉强度极低;钢筋的抗拉和抗压强度都较高,但在压力作

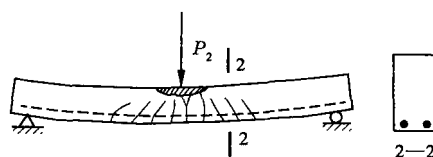
用下易弯曲,耐火性差,容易锈蚀。将这两种力学性能不同的材料结合在一起形成钢筋混凝土结构,取长补短,可以改善构件的受力性能,提高构件的承载力。现以图 1-2 所示两根梁为例加以说明。

两根混凝土简支梁,截面尺寸均为 $200\text{ mm} \times 300\text{ mm}$,混凝土立方体抗压强度 22.5 N/mm^2 ,跨度 2.5 m 。其中一根为素混凝土梁,另一根在受拉区配有 2 根直径 20 mm 的 HRB335 级钢筋,跨中承受集中力作用,如图 1-2 所示。

试验表明,当素混凝土梁跨中承受的集中力 P_1 约为 13.5 kN 时,就会因下部受拉混凝土开裂并迅速发展而导致梁断裂,如图 1-2(a) 所示,破坏持续时间短,无明显预兆。但是,图 1-2(b) 所示钢筋混凝土梁,在受拉区混凝土开裂后,裂缝处的拉力转由钢筋承担,这时可继续增加荷载,直至受拉钢筋达到屈服强度,裂缝迅速开展,中和轴快速上移,受压区混凝土面积减小、压应力增大,并最终被压碎而宣告梁破坏。此时,钢筋混凝土梁跨中承受的集中力 P_2 约为 72.3 kN ,破坏持续时间较长,构件具有较好的延性。可见,钢筋混凝土结构充分发挥了混凝土的抗压性能和钢筋的抗拉性能,梁的承载能力得到很大提高。同时,因钢筋的存在改善了构件的受力性能。



(a)素混凝土梁的破坏



(b)钢筋混凝土梁的破坏

图 1-2 混凝土简支梁破坏示意图

钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料之所以能结合在一起共同工作,是建立在如下基础上的:

(1) 钢筋和混凝土之间因黏结力的存在具有较好的传递应力的能力,在荷载作用下,两者不产生相对滑移,保证变形协调,共同受力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数相近,在温度变化时,不会因过大的不协调变形导致构件破坏。

(3) 混凝土对钢筋良好的保护作用,使结构的耐火性能和耐久性能大大提高。

除可以充分发挥材料的强度外,钢筋混凝土结构还具有如下优点:

(1) 整体性好。现浇混凝土结构整体性好,有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波,适应地基不均匀沉降的能力强。

(2) 可模性好。新拌制的混凝土流动性好,可以较容易地浇筑成各种形状和尺寸的构件,满足工程需要。

(3) 取材容易。混凝土所用的砂、石易于就地取材。另外,也可以利用矿渣、粉煤灰等工业废料,有利于环境保护。

(4) 耐久性好。钢筋被密实的混凝土包裹,不易锈蚀,而且混凝土的强度也随时间增长而逐渐提高,所以钢筋混凝土结构的耐久性较好。

(5) 耐火性好。钢筋不耐火,在高温下钢筋的强度会迅速降低,但混凝土包裹在钢筋外

面,与裸露的钢结构相比,耐火性要好。

钢筋混凝土结构的缺点主要有:

(1)抗裂性差。由于混凝土的抗拉能力很低,所以在正常使用荷载条件下钢筋混凝土构件一般是带裂缝工作的,虽然裂缝的存在并不一定意味着结构破坏,但它影响结构的耐久性,使构件刚度降低、变形增大。

(2)自重大。钢筋混凝土容重大,而且与钢构件相比,截面尺寸大,也造成结构自重增大。这对建造大跨结构、高层建筑是不利的,自重的增大对结构抗震也是不利的。

(3)施工周期长,拆除改造困难。钢筋混凝土结构需要经过钢筋绑扎、支模、混凝土浇筑养护和拆模等多道工序,施工周期较长,施工进度和质量容易受环境因素影响。混凝土一旦硬化后,强度高,体积大,拆除改造比较困难。

3. 混凝土结构的发展应用

与其他结构相比,混凝土结构是一种较新的结构形式。1824年英国人阿斯普丁取得波特兰水泥的专利权,1850年开始生产。1867年法国人莫尼埃用钢丝加固混凝土制成花盆,并把这种方法推广到工程,建造了一座蓄水池,这是应用钢筋混凝土的开端。1886年美国入杰克逊首先应用预应力混凝土制作建筑配件,后又用它制作楼板。1930年法国工程师弗涅希内将高强度钢丝用于预应力混凝土,克服了因混凝土徐变造成所施加的预应力完全丧失的问题。于是,预应力混凝土在土木工程中得到广泛应用。混凝土设计理论和应用也迅速发展,目前混凝土结构已经广泛应用于工业与民用建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、海港等工程中。房屋建筑的楼板几乎全部采用钢筋混凝土结构;多层建筑中工业厂房、综合楼及要求较高的办公楼等多采用钢筋混凝土框架结构;高层和超高层建筑中,混凝土结构也占有主导地位,钢筋混凝土框架-剪力墙结构、剪力墙结构、筒体结构都得到了较广泛的应用。例如,1999年初建成的上海金茂大厦,高度排名世界第四,塔楼高420.5 m,工程主体采用了C60和C50的高强度混凝土。

未来混凝土的发展方向,主要向着具有优良物理力学性能和良好耐久性的绿色高性能混凝土发展。高性能混凝土应具有优良的施工性能、强度高、优良的耐久性及某些特殊功能(如超早强、低脆性、高耐磨性、吸声、自呼吸性等)。而绿色高性能混凝土要求混凝土在具有高性能的同时,应更环保,如使用绿色水泥、更多地掺加工农业废渣、大量应用工业废液等。

新型配筋材料和配筋形式也将不断发展,从而形成许多新的混凝土结构形式,进一步拓宽混凝土结构的应用范围。如钢纤维混凝土结构、碳纤维混凝土、钢-混凝土组合结构、钢管混凝土结构、混凝土外贴钢板或外贴碳纤维或玻璃纤维等材料。

(二) 砌体结构

由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱作为主要受力构件的结构称为砌体结构。根据砌块材料的不同,砌体结构可分为砖砌体、砌块砌体和石砌体。按照砌体内是否配筋可分为配筋砌体和无筋砌体。

1. 砌体结构的优缺点

砌体结构的主要优点是:①易于就地取材,造价低廉。砖、石材和砌块的原料来源方便,制作简单,价格低廉。②砖、石砌体和砌块砌体都具有良好的耐火性能及较好的耐久性能。③砖墙和砌块墙体具有较好的保温隔热性能,所以砖墙和砌块墙体在承重的同时,还能起到较好的围护作用。

砌体结构的主要缺点是:①砌体材料强度低,构件截面尺寸大,材料用量多,结构自重较大。②砌体的砌筑一般采用手工方式,工作量大。③黏土砖需用黏土制造,大量占用耕地。④砌体抗拉、抗剪强度低,结构抗震性能较差。

2. 砌体结构应用现状及展望

砌体结构是我国应用较早的结构形式之一。隋代李春建造的赵州桥是中国最古老和当时跨径最大的单孔空腹式石拱桥,净跨 37.02 m,是世界上著名的单孔空腹式石拱桥。西安大雁塔建于唐代,为砖砌 7 层单筒体结构,高 64 m,1 200 多年以来,历经数次地震,仍巍然屹立。著名的万里长城,是 2 000 多年前用“秦砖汉瓦”建造的最伟大的砌体工程之一。现在,以承重砖墙和混凝土楼板组成的砖混结构较广泛地应用于多层住宅、宿舍楼、旅馆等建筑中。此外,砌体结构长期以来也被用来建造挡土墙、桥梁、水坝、涵洞、隧道、渡槽、烟囱和框架结构的填充墙等。

砌体结构作为一种传统的结构形式,在 20 世纪也获得了较大发展。为拓宽砌体结构的应用范围,未来砌体结构应朝如下几个方向发展:①发展轻质高强的砌体材料。在配料、成型、烧结工艺上进行改进,积极开发高强度黏土砖、高强混凝土砌块和高强度等级的砌筑砂浆。②积极开发研究节能环保的新型材料。黏土实心砖的限制使用,也间接促进了其他新型建材的发展,如蒸压灰砂废渣制品、蒸压纤维水泥板、复合墙板等就是近几年发展起来的新建建材制品。③进一步加强配筋砌体和预应力砌体的研究。

(三) 钢结构

1. 钢结构的特点

钢结构是指由钢板、工字钢、H 钢、角钢、槽钢、钢管和圆钢等钢材,通过一定连接方法连接所形成的结构。

与其他建筑结构相比,钢结构具有如下优点:①强度高,自重轻。钢材的强度与密度比较大,在同等条件下,结构构件的截面尺寸小,自重轻。②工作可靠性高。钢材的材质均匀,是理想的弹塑性材料,力学计算理论能较好地反映结构的实际工作状态。另外,钢构件大都在工厂制作完成,质量稳定。③钢结构制造安装工业化程度较高,施工周期短,现场湿作业少。④钢材延性好,破坏前变形大,抗震性能好。⑤钢结构构件连接构造简单,易于改造拆装。

钢结构的主要缺点是耐腐蚀性、耐火性差,在工程中应注意做好防护措施。

2. 钢结构的发展应用

钢结构在我国的应用也比较早。公元 58 ~ 75 年在云南省澜沧江上以铁索建成兰津桥。现存的建于公元 967 年的广州光孝寺东铁塔,共 7 层,塔身高 6.35 m。新中国成立后,钢结构的应用有了很大发展,在设计、制造和安装等技术方面都达到了较高的水平,较广泛地应用于礼堂、商场、大型厂房、飞机维修库等大跨度结构、高层建筑、塔桅结构、可拆卸搬迁的结构、挡水结构、容器、大直径管道和冷弯薄壁型屋面等轻型钢结构中。新的中国国家体育场鸟巢,主体是由钢结构形成整体的巨型空间马鞍形钢桁架编织式“鸟巢”结构,钢结构总用钢量为 4.2 万 t,并首次应用了国产 Q460 钢材。钢结构在我国正处于快速发展的时期,将来会得到更广泛的应用。

三、建筑结构的学习方法

建筑结构是建筑工程技术专业的一门重要专业课程,具有理论性和实践性结合的特点,

在课程的学习中应注意以下几点。

(一) 明确学习目标

在知识学习的过程中,要清楚这部分知识可解决哪些工程问题,与前后知识的联系是怎样的。只有明确了学习目标,才能在工作中或其他相关内容的学习中正确运用所学知识。

(二) 要注意掌握材料的特性和构件的试验结果

建筑结构中所用的材料可能是非匀质弹性或弹塑性体,还可能是两种或两种以上的材料组合而成的;有的建筑结构构件的计算方法是建立在试验基础上的,只有掌握构件的材料性能,才能帮助理解试验过程中构件的受力和破坏特点。

(三) 善于抓住重点,在理解的基础上学习

建筑结构课程内容多,公式多,构造要求也多,死记硬背是不现实的。要重视对基本计算原理和构造原理的理解,在理解的基础上学习,善于抓住重点,侧重掌握记忆一些常用构件的基本公式和构造要求,更多的知识能够通过查阅相关资料去运用就可以了。

(四) 注意理论联系实际

建筑结构的实践性很强,要联系实际工程和典型案例多动手计算,重视课程设计等实践教学环节,对实践成果及时进行分析总结,提高解决实际问题的能力。

第二节 建筑结构的基本设计原则

一、结构的功能要求和极限状态

(一) 结构的功能要求

建筑结构设计的基本目的是使结构在规定的设计使用年限内,满足预定的各种功能要求。这些功能要求包括:

(1) 安全性。要求结构在正常施工和正常使用时,能承受可能出现的各种作用;在设计规定的偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性,不致发生整体倒塌。

(2) 适用性。要求结构在正常使用时具有良好的工作性能,如不产生影响使用的过大变形等。

(3) 耐久性。要求结构在正常维护下具有足够的耐久性能,如不发生钢筋锈蚀和混凝土风化等现象。

上述功能要求统称结构的可靠性,它是结构在规定的时间内、规定的条件下,完成预定功能的能力。

(二) 结构的极限状态

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态为该功能的极限状态。极限状态是区分结构工作状态“可靠”或“失效”的界限。结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。

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最大承载能力或不适于继续承载的变形。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,如倾覆等,图 1-3(a)所示为雨篷发生

倾覆破坏。

(2) 结构构件或连接因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,如图 1-3(b)、(c)所示。

(4) 结构或结构构件丧失稳定,如压屈等,如图 1-3(d)所示。

(5) 地基丧失承载能力而破坏(如失稳等)。

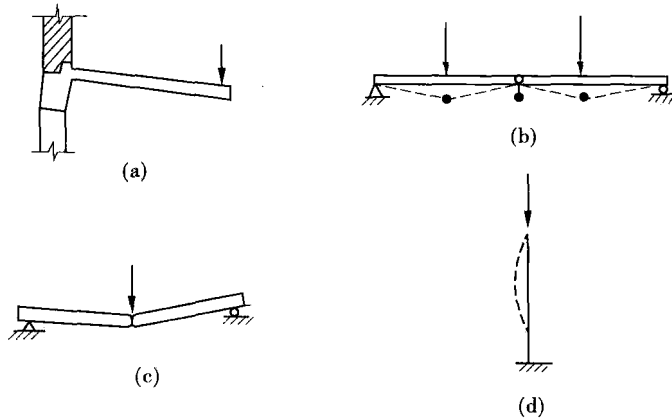


图 1-3 结构超过承载能力极限状态的几种示意图

结构或结构构件超过承载能力极限状态,就不能满足安全性的要求了。

2. 正常使用极限状态

正常使用极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。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(如受弯构件挠度过大引起顶棚抹灰脱落)。
- (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。

结构或结构构件超过正常使用极限状态的某项限值规定,就不能满足适用性或耐久性的功能要求。

现行建筑结构设计规范采用的是以概率理论为基础的极限状态设计法,用可靠指标来度量结构的可靠度,用分项系数的设计表达式来进行设计。

二、极限状态设计表达式

(一) 极限状态方程

1. 作用效应与结构抗力

1) 作用效应

作用效应是由作用引起的结构或结构构件的反应,如内力、变形和裂缝等。作用效应应用符号 S 表示。

结构上的作用分为直接作用和间接作用。直接作用是指施加在结构上的集中力或分布

力,直接作用也称为荷载。间接作用是引起结构外加变形或约束变形的原因,如温度作用、地震作用等。

《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)将作用在结构上的荷载分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载。永久荷载指结构自重、土压力、预应力等在设计基准期内其值随时间的变化可以忽略不计的荷载。永久荷载标准值的确定,对结构自重可按结构构件的设计尺寸与材料单位体积的自重相乘计算,常用建筑材料的自重可参考荷载规范附录 A 采用;对土压力、预应力等荷载标准值应通过相应计算确定。可变荷载指在设计基准期内其值随时间的变化幅度不能忽略的荷载,如楼面活荷载、屋面活荷载、积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。可变荷载标准值的确定应按荷载规范规定采用,民用建筑楼面均布活荷载可按本书附录 1 查用。

在建筑结构设计中,对不同荷载应采用不同的代表值。永久荷载采用标准值作为代表值;可变荷载应根据设计要求采用标准值、组合值、准永久值和频遇值作为代表值。荷载的标准值是荷载的基本代表值,是设计基准期内最大荷载概率分布的某一分位值。可变荷载组合值、准永久值和频遇值是在其相应荷载标准值的基础上分别乘以荷载的组合值系数、准永久值系数和频遇值系数。

按照结构的反应特点,可将作用分为静态作用和动态作用。静态作用在结构中产生的加速度可以忽略不计,如办公楼、住宅楼等建筑的楼面活荷载、自重等。动态作用在结构中产生的加速度不可以忽略不计,如地震作用、吊车荷载等。

2) 结构抗力

结构抗力是结构或结构构件承受作用的能力,如承载能力、抗变形能力等,用符号 R 表示。结构抗力的大小取决于构件的几何参数和材料性能,如构件的材料强度等。

材料强度指标有材料强度标准值和材料强度设计值。

材料强度标准值是结构设计时采用材料强度的基本代表值,是按概率分布的某一分位值确定的,如钢筋混凝土结构中的钢筋和混凝土的材料强度均具有 95% 的保证率,是在标准试验方法测得的数据基础上,用式(1-1)计算出来的:

$$f_k = f_m - 1.645\sigma = f_m(1 - 1.645\delta) \quad (1-1)$$

式中 f_k ——材料强度标准值;

f_m ——材料强度平均值;

σ ——材料强度标准差;

δ ——材料强度变异系数。

材料强度标准值除以相应的材料分项系数确定材料强度设计值,公式如下:

$$f = f_k/\gamma_d \quad (1-2)$$

式中 f ——材料强度设计值;

γ_d ——材料分项系数,钢材为 1.1,混凝土为 1.4。

2. 极限状态方程

理解了作用效应 S 和结构抗力 R ,结构或结构构件完成预定功能的工作状态就可以用功能函数表达:

$$Z = R - S \quad (1-3)$$

显然:当 $Z > 0$ 时,结构能完成预定功能要求,结构可靠;当 $Z < 0$ 时,结构不能完成预定功能要求,结构失效;当 $Z = 0$ 时,结构处于极限状态, $Z = R - S = 0$ 即为结构的极限状态方

程。

(二) 结构的可靠性分析

1. 可靠概率与失效概率

作用效应和结构抗力都是随机变量,因此结构满足或不满足功能要求也是随机事件。

结构在规定的时间内、规定的条件下,完成预定功能的概率称为结构的可靠度,又称可靠概率 P_s ;反之,不能完成预定功能的概率称失效概率 P_f 。结构的可靠概率 P_s 与失效概率 P_f 的关系是 $P_s + P_f = 1$,所以,可靠概率 P_s 和失效概率 P_f 都可以对结构的可靠性做出概率度量,一般习惯上采用失效概率 P_f (图 1-4 阴影所示)。

设计基准期是在计算结构可靠度时,为确定可变作用及与时间有关的材料性能等取值而选用的时间参数,我国取用的设计基准期为 50 年。

还须说明,当结构的使用年限达到或超过设计基准期后,并不意味着结构立即报废,而只意味着结构的可靠度将逐渐降低。

设计使用年限是设计规定的一个期限,在这一规定的时期内,结构或结构构件不需进行大修,只需进行正常维护就能按预期目的使用,完成预定的功能。结构的设计使用年限应按表 1-1 采用。

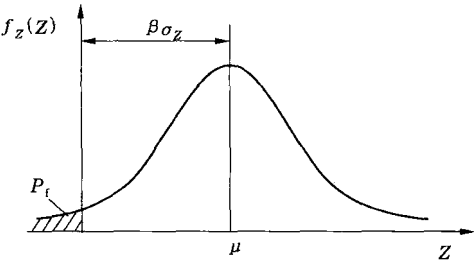


图 1-4 Z 的概率密度函数

表 1-1 设计使用年限分类

类别	设计使用年限(年)	示例
1	5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

2. 可靠指标与目标可靠指标

1) 可靠指标 β

失效概率 P_f 的计算是复杂和困难的,《建筑结构可靠度设计统一标准》定义了可靠指标 β ,按式(1-4)计算:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \tag{1-4}$$

式中 μ_S ——结构或结构构件作用效应的平均值;
 μ_R ——结构或结构构件抗力的平均值;
 σ_S ——结构或结构构件作用效应的标准差;
 σ_R ——结构或结构构件抗力的标准差。

式(1-4)不仅反应了结构抗力与作用效应平均值的差值对结构可靠性的影响,还反映了结构抗力和作用效应离散性的影响。离散性越小, σ_S 、 σ_R 的值越小,可靠指标越大,结构可

靠性越高。

以可靠指标 β 来代替失效概率 P_f ,两者存在一一对应的关系,见表1-2。失效概率 P_f 越小,可靠指标 β 越大。

表 1-2 可靠指标 β 与失效概率 P_f 的对应关系

β	2.7	3.2	3.7	4.2
P_f	3.5×10^{-3}	6.4×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.3×10^{-5}

2) 目标可靠指标 $[\beta]$

以安全可靠和经济合理为原则,确定一个适当的可靠指标作为设计的依据,这就是目标可靠指标 $[\beta]$ 。结构或结构构件设计应满足 $\beta < [\beta]$ 。

建筑结构设计时,根据结构破坏可能产生后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等)的严重性,将建筑结构划分为三个安全等级。目标可靠指标 $[\beta]$ 的确定与建筑结构的安全等级和破坏类型有关,结构构件承载能力极限状态的目标可靠指标可按表1-3确定。

表 1-3 建筑结构的的安全等级及结构构件承载能力极限状态的可靠指标

建筑结构的安全等级	破坏后果	建筑物类型	结构构件承载力极限状态的目标可靠指标	
			延性破坏	脆性破坏
一级	很严重	重要的房屋	3.7	4.2
二级	严重	一般的房屋	3.2	3.7
三级	不严重	次要的房屋	2.7	3.2

注:延性破坏是指结构构件在破坏前有明显的变形或其他预兆,脆性破坏是指结构构件在破坏前无明显变形或其他预兆。

(三) 极限状态设计表达式

工程技术人员直接采用目标可靠指标进行结构设计工作量很大。为了简便,《建筑结构可靠度设计统一标准》采用了以分项系数来表示的设计表达式进行工程设计,也就是说,满足实用设计表达式的计算结果,也满足目标可靠指标的要求。

1. 承载能力极限状态

对于承载能力极限状态,结构构件应按荷载效应的基本组合进行设计,必要时尚应按荷载效应的偶然组合进行设计。

(1) 对于基本组合,应按式(1-5)、式(1-6)中的最不利值确定。

由可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}) \leq R(\gamma_R f_k, a_k, \dots) \quad (1-5)$$

由永久荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}) \leq R(\gamma_R f_k, a_k, \dots) \quad (1-6)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,安全等级为一级或设计使用年限为100年及以上的结构构件不应小于1.1,安全等级为二级或设计使用年限为50年的结构构件不应小于1.0,安全等级为三级或设计使用年限为5年的结构构件不应小于0.9;

γ_G ——永久荷载分项系数,当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时,对式(1-5)应取 1.2,对式(1-6)应取 1.35,当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时,不应大于 1.0;

S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应;

γ_{Qi}, γ_{Qi} ——第 1 个和第 i 个可变荷载分项系数,当可变荷载效应对结构构件的承载能力不利时,在一般情况下应取 1.4,对标准值大于 4 kN/m^2 的工业房屋楼面结构应取 1.3,当可变荷载效应对结构构件的承载能力有利时,应取为 0;

S_{Q1k} ——在基本组合中起控制作用的一个可变荷载标准值的效应;

S_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值的效应;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数,其值不应大于 1.0,对民用建筑楼面均布活荷载可按附表 1 采用;

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数;

γ_R ——结构构件抗力分项系数;

f_k ——材料强度的标准值;

a_k ——几何参数标准值,当几何参数的变异性对结构性能有明显影响时,可另增减一个附加值 Δa 考虑其不利影响。

(2)对于一般排架和框架结构,可采用简化公式(1-7)进行计算:

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik}) \leq R(\gamma_R, f_k, a_k, \dots) \quad (1-7)$$

式中 ψ ——简化设计表达式中采用的荷载组合值系数,一般情况下可取 $\psi = 0.9$,当只有一个可变荷载时,取 $\psi = 1.0$ 。

2. 正常使用极限状态

对于正常使用极限状态,结构构件应根据不同的设计目的,考虑荷载短期作用和长期作用对结构构件正常使用性能的影响,分别按荷载效应的标准组合、准永久组合和频遇组合进行设计,使结构构件的变形、裂缝等荷载效应符合要求。结构或结构构件达到或超过正常使用极限状态的危害程度,不像结构承载力不足引起的破坏那么大,其可靠度要求可以降低。所以,不考虑荷载分项系数,用荷载标准值进行设计,也不再考虑结构的重要性系数 γ_0 。正常使用极限状态的设计表达式如下。

(1)标准组合:

$$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \leq C \quad (1-8)$$

(2)准永久组合:

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \leq C \quad (1-9)$$

(3)频遇组合:

$$S = S_{Gk} + \psi_{fi} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Qik} \leq C \quad (1-10)$$

式中 S ——正常使用极限状态的荷载效应组合值,如荷载效应的标准组合和准永久组合等;