

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材



罗尧治 主编

建筑结构

建筑施工与管理专业系列教材

中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材
建筑施工与管理专业系列教材

建 筑 结 构

罗尧治 主编

中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构 / 罗尧治主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2006.1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材. 建筑施工与管理专业系列教材

ISBN 7-304-03501-3

I. 建… II. 罗… III. 建筑结构—电视大学—教材
IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 007145 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

建筑施工与管理专业系列教材

建筑结构

罗尧治 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010-58840200

总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 郭振欣

印刷: 北京集惠印刷有限责任公司

印数: 8001~13000

版本: 2006 年 1 月第 1 版

2006 年 9 月第 3 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 18.5 字数: 419 千字

书号: ISBN 7-304-03501-3/TU·76

定价: 25.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

**建筑施工与管理专业教学资源
建设咨询委员会**

主 任: 李竹成 李林曙

成 员: (以姓氏笔画为序)

王作兴	王晓明	任 岩	刘其淑
旷天鑑	吴汉德	何勇军	何树贵
郝 俊	胡兴福	姚谨英	陶水龙

**建筑施工与管理专业教学资源
建设委员会**

主 任: 杜国成

副主任: 郭 鸿 张 明 魏鸿汉

吴国平 傅刚辉 王 圻

成 员: (以姓氏笔画为序)

方绪明	吕文晓	刘 薇	刘 鹰
余 宁	李 峥	李永光	李自林
李延和	李晓芳	杜 军	陈 丽
沈先荣	张 卓	杨力斌	杨 斌
郑必勇	武继灵	徐道远	徐 悦
郭素芳	高玉兰	银 花	章书寿
彭 卫	董晓冬		

内 容 提 要

本书共分十三章，按照新规范的规定编写而成，主要内容有：绪论，钢筋和混凝土的物理力学性能，混凝土结构的基本设计原则，受弯构件，受压构件，预应力混凝土构件，单层厂房，多层框架结构，钢结构，建筑结构抗震设计基本知识等。

本书适用于开放教育建筑施工与管理专业的课程教学，也可供建筑工程技术人员学习、参考。

前 言

本书是中央广播电视大学建筑施工与管理专业系列教材之一,是建筑结构课程多种媒体教材中的主教材。本书根据2005年制定的“建筑结构”教学大纲和多种媒体一体化设计方案编写。

本教材按照中央广播电视大学建筑施工与管理专业专科培养目标的要求,结合教育部面向21世纪工学科课程教学和教学内容改革的有关精神,配合“广播电视大学开展人才培养模式改革”的研究编写,旨在以职业为导向,以学生为中心;在教学中以“必需”、“够用”为度,以适应电大远距离学习的特点,满足业余自学为主的学生需求。

全书以结构的基本概念、基本构件设计计算和结构构造要求为重点,突出结构施工识图能力的培养。在教材内容的组织和表达上,力求既注重知识的内在逻辑联系,又注意对学生逻辑思维能力的训练,图文并重,直观易学。为便于教学,各章开头均提出本章学习目标、学习重点和学习建议,在每章的最后附有本章小结和复习思考题与习题。

本书配有《建筑结构实训》教材一册,是《建筑结构》内容的具体应用。在介绍楼板、雨篷、楼梯等物件的结构设计方法的同时,还介绍结构施工图的阅读方法,着重培养学生的实践操作能力和读图能力,努力做到理论联系实际。

本书按照最新结构设计规范、质量验收规范及结构制图标准进行编写。所采用的标准有:《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《砌体结构设计规范》(GB5003—2001)、《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)和《筑结构制图标准》(B/T50105—2001)等。

本教材由罗尧治任主编。吕文晓编写第1至第8章,傅刚辉编写第9至第12章,罗尧治编写绪论和第13章,并负责全书的统稿和定稿。参加审阅的有彭卫、陈鸣和王圻。在本书的编写过程中还得到了中央电大、中国建设教育协会、江苏电大、杭州电大和天津电大有关领导和专家的大力支持。

本教材适用于高等职业教育土建类各专业教学使用,也可作为有关技术人员的参考用书。

由于编者水平所限,书中疏漏、错误和不足之处在所难免,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2005年10月

目 录

0 绪 论	(1)
0.1 建筑结构的一般概念	(1)
0.2 混凝土结构、钢结构和砌体结构的概念及优缺点	(1)
0.3 建筑结构的发展概况	(3)
0.4 本课程的内容和学习要点	(5)
1 钢筋和混凝土的物理力学性能	(7)
1.1 钢 筋	(8)
1.2 混 凝 土	(11)
1.3 钢筋与混凝土之间的黏结与锚固	(17)
2 混凝土结构的基本设计原则	(21)
2.1 极限状态设计原则	(22)
2.2 极限状态实用设计表达式	(24)
2.3 混凝土结构耐久性的规定	(27)
3 受弯构件承载力计算	(30)
3.1 一般构造要求	(31)
3.2 受弯构件正截面承载力计算	(35)
3.3 受弯构件斜截面承载力计算	(53)
3.4 变形及裂缝宽度验算	(68)
4 受压构件	(77)
4.1 一般构造要求	(78)

4.2	轴心受力构件	(80)
4.3	偏心受压构件正截面承载力计算	(83)
4.4	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(90)
5	预应力混凝土构件设计	(92)
5.1	预应力混凝土的基本知识	(92)
5.2	预应力混凝土的材料	(95)
5.3	预应力混凝土构件设计的一般规定	(96)
6	单层厂房	(100)
6.1	单层厂房的结构组成和布置	(101)
6.2	排架计算	(106)
6.3	单层厂房柱设计	(111)
6.4	柱下独立基础设计	(114)
7	多层及高层钢筋混凝土房屋	(117)
7.1	常用结构体系	(118)
7.2	框架结构	(120)
8	砌体结构	(128)
8.1	砌体材料及砌体的力学性能	(129)
8.2	无筋砌体构件承载力计算	(134)
8.3	网状配筋砌体构件承载力计算	(146)
8.4	砌体结构房屋的设计	(147)
8.5	墙、柱的高厚比验算	(153)
8.6	砌体房屋设计的构造要求	(157)
9	钢结构的材料	(165)
9.1	钢结构的特点、应用和发展	(165)
9.2	钢结构材料	(168)

9.3 钢材种类及选择	(171)
10 钢结构连接	(176)
10.1 钢结构的常用连接方法	(176)
10.2 焊接连接	(178)
10.3 螺栓连接	(192)
11 钢结构构件	(201)
11.1 轴心受力构件	(201)
11.2 受弯构件	(207)
11.3 钢屋盖	(217)
12 门式轻型钢结构	(223)
12.1 结构布置和材料选用	(223)
12.2 轻钢结构设计一般原则	(226)
12.3 门式轻型刚架主要节点和构件的构造	(229)
13 抗震设计基本知识	(239)
13.1 概 述	(239)
13.2 抗震设计的基本要求	(241)
13.3 场地、地基及基础的抗震计算	(243)
13.4 多层砌体房屋的抗震规定	(246)
13.5 多、高层钢筋混凝土房屋的抗震规定	(253)
附 录	(262)
参考文献	(283)

0 绪 论

0.1 建筑结构的一般概念

建筑结构是指建筑物中用来承受各种作用的受力体系。组成结构的各个部件称为构件。组成房屋建筑的主要构件有板、梁、屋架、柱、墙和基础等。

结构按承重结构的所用材料分类,可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等,前三类结构是目前应用最广泛的结构,俗称三大结构。本书只介绍这三大结构与建筑施工和管理有关的内容。

建筑结构设计的任务是选择适用、经济的结构方案,并通过计算和构造处理,使结构能可靠地承受各种作用。

结构上的作用是指能使结构产生效应(内力、变形)的各种原因的总称,可分为直接作用和间接作用两类。直接作用是指作用在结构上的各种荷载,如土压力、构件自重、使用活荷载、风荷载等,它们直接使结构或构件产生内力和变形效应。间接作用则是指地基变形、混凝土收缩、温度变化等,它们在结构中引起外加变形和约束变形,从而产生内力效应。

0.2 混凝土结构、钢结构和砌体结构的概念及优缺点

0.2.1 混凝土结构的概念及优缺点

混凝土是人工石材,它由石子、砂粒、水泥、外加剂和水按一定比例拌和而成,简称“砼”。以混凝土为主要材料的结构称混凝土结构,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。

混凝土材料像天然石材一样,承受压力的能力很强,但抵抗拉力的能力却很弱。而钢材则不然,其抗压和抗拉的能力都很强。于是,人们利用两种材料各自的特点,把它们有机地结合在一起共同工作,形成了用于工程实际的混凝土结构。以钢筋混凝土结构应用最广。

下面以一简支梁为例,讲述混凝土结构受力原理。由建筑力学知识可知,图 0-1(a)

中梁受弯后,截面的中和轴以上部分受压,以下部分受拉。如该梁由素混凝土构成,由于混凝土的抗拉强度很小,在较小的荷载作用时梁的下部就会开裂,在荷载持续作用下,裂缝随即急速上升,导致梁骤然脆断,如图 0-1 (b),此时梁上部混凝土的抗压强度还未充分利用。如在梁的受拉区配置适量的钢筋,与素混凝土梁不同,当受拉区混凝土开裂后,受拉区的拉力主要由钢筋来承受,受压区的压应力仍由混凝土承受,荷载仍可以继续增加,直到受拉钢筋应力达到屈服强度,受压区的混凝土也被压碎,梁才破坏,如图 0-1 (c)。这样,混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力都得到充分的利用,大幅度地提高了梁的承载能力。

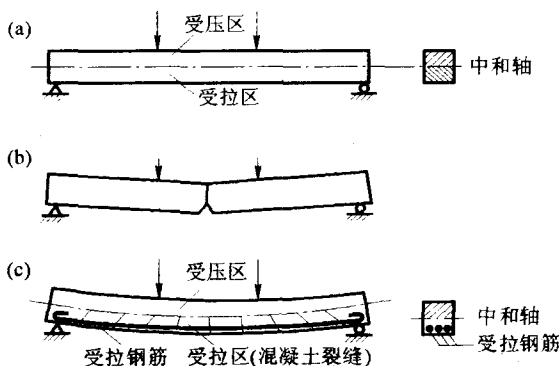


图 0-1 简支梁

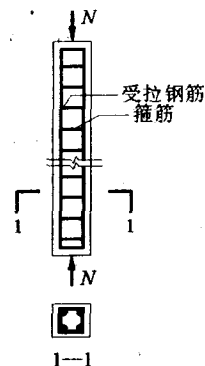


图 0-2 轴心受压柱

如图 0-2 所示,在混凝土柱中配置了抗压强度较高的钢筋,以协助混凝土承受压力,从而可以减小柱截面尺寸,或在同样截面尺寸情况下提高柱的承载力。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作,主要是由于混凝土硬化后钢筋与混凝土之间产生了良好黏结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证在外荷载的作用下,钢筋与混凝土能够共同变形;其次,钢筋与混凝土这两种材料的温度线膨胀系数的数值颇为接近(钢筋为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$),所以,当温度变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结,从而保持结构的整体性;另外,应用这两种材料时,混凝土包裹着钢筋,起着保护钢筋免遭锈蚀的作用。

混凝土结构除了能较合理地应用这两种材料的性能外,还有下列的一些优点:

耐久性好:混凝土的强度随时间增加而增长,且钢筋不易锈蚀,工作寿命长;耐火性好:混凝土是不良热导体,遭受火灾时,混凝土起隔热作用,使钢筋不致达到或不致很快达到降低其强度的温度;就地取材:原材料砂、石、比重较大,还可利用工业废料、人工骨料;维护成本低;节约钢材;可模性好;刚度大、整体性好。

但是,混凝土结构也有不少缺点:自重大,抗裂性较差,工期长,现浇结构模板需耗用较多的木材,施工受到季节气候条件的限制,补强修复较困难等等。

0.2.2 钢结构的概念及优缺点

钢结构是指以钢材为主制作的结构。其主要优点是承载力高,自重轻,塑性和韧性好,材质均匀;便于工厂生产和机械化施工,便于拆卸;抗震性能优越,无污染;可再生、节能、安全,符合建筑可持续发展原则等。钢结构的发展是 21 世纪建筑文明的体现。钢结构的主要缺点是易腐蚀、耐火性差、工程造价和维护费用较高。钢结构的应用正日益增多,尤其是在高层建筑及大跨度结构中应用较广。

0.2.3 砌体结构的概念及优缺点

砌体结构是指用普通黏土砖、空心砖、混凝土中小型砌块、粉煤灰中小型砌块等块材通过砂浆砌筑而成的结构。根据需要,有时在砌体中加入少量钢筋,称为配筋砌体。

砌体结构具有就地取材、造价低廉、耐火性能好、耐久性较好、保温隔热性能较好以及容易砌筑等优点。但存在强度低、自重大、抗震性能差等缺点,主要用于多层砖混结构、框架结构中的填充墙等。

0.3 建筑结构的发 展概 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 451.9 m,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 420.5 m,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 492 m,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 28 N/mm^2 , ①20 世纪 70 年代提高到 42 N/mm^2 , 近年来一些结构的混凝土抗压强度已经达到 $80 \sim 100 \text{ N/mm}^2$ 。前苏联 20 世纪 70 年代使用钢材平均屈服强度为 380 N/mm^2 , 20 世纪 80 年代提高到 420 N/mm^2 ; 美国在 20 世纪 70 年代钢材平均屈服强度已达 420 N/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, 但二者在本质上是有所区别的, 该法已属于概率法的范畴。我国的《混凝土结构设计规范》(GB50010—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墙板、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。

① 注: $1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$

0.4 本课程的内容和学习要点

本课程的内容包括结构设计基本原理、混凝土结构、砌体结构、钢结构、建筑结构抗震基本知识等。通过该课程的学习,了解建筑结构的设计方法,掌握钢筋混凝土结构、砌体结构基本构件的计算方法,了解钢结构的基本计算方法,理解结构构件的构造要求,了解基本的抗震知识,能正确识读建筑结构施工图,并能处理建筑施工中的一般结构问题。

本课程和许多课程关系密切,互相呼应配合,有的需要先行掌握,有的是后续课程,例如:

(1) 建筑材料课程中有关混凝土和钢材的基本知识。要正确理解三大结构的性能,首先必须熟悉钢材、混凝土和砌块材料的性能,尤其是力学性能。

(2) 建筑力学课程。如建筑力学课程中对各种结构的内力分析和变形计算,都是结构计算中要用到的,必须掌握。

(3) 房屋构造课程。有关建筑方案、房屋构造方面的知识等。

(4) 其他课程。如土力学及基础、建筑施工、计量与计价等。

因此,学习本课程时必须要注意:

(1) 由于混凝土结构材料的自身性能较复杂,同时还有其他很多因素影响其性能,目前从学科的现状水平而言,有些方面的强度理论还不够完善,在某些情况下,构件承载力和变形的取值还得参照试验资料的统计分析,处于半经验半理论状态,故学习时要正确理解其本质现象并注意计算公式的适用条件。

(2) 构件和结构设计是一个综合性问题。

设计过程包括结构方案、构件选型、材料选择、配筋构造、施工方案等,还需要考虑安全适用和经济合理。设计中许多数据可能有多种选择方案,因此设计结果不是惟一的。最终设计结果应经过各种方案的比较,综合考虑使用、材料、造价、施工等各项指标的可行性,才能确定较为合适的一个设计结果。

(3) 工程项目的建设是国家的重要工作,必须依照国家颁布的法规进行。

设计人员必须遵照各种结构类型的设计规范或规程进行设计。各种设计规范或规程是具有约束力的文件,其目的是使工程结构的设计在符合国家经济政策的条件下,保证设计的质量和工程项目的安全可靠。在学习中,有关基本理论的应用最终都要落实到规范的具体规定。

我国现行的建筑结构设计标准和规范有:《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)、《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)等。这些标准和规范是我国目前建筑结构设计的重要依据,也

是编写本书的主要依据。

(4) 要重视构造要求。结构设计离不开计算,但现行的计算方法一般只考虑荷载效应。其他影响因素如混凝土收缩、温度影响以及地基的不均匀沉降等难以用计算公式来表达。《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)等规范根据长期的工程实践经验,总结一些构造措施来考虑这些因素的影响。因此,在学习本课程时,除了对各种计算公式了解和掌握外,对于各种构造措施也必须给予足够的重视。

(5) 由于工程结构类型很多,不同的结构类型有不同的设计规范或规程,但基本理论是一致的,应重点学好基本理论。

思考题

1. 建筑结构主要有哪几种结构?主要的优缺点是什么?
2. 钢筋和混凝土结合在一起共同工作的基础有哪些?
3. 混凝土结构在土木工程方面的应用,你能举例说明吗?
4. 本课程包括哪些内容?它与哪些课程密切相关?
5. 学习本课程应注意的要点是什么?

1 钢筋和混凝土的物理力学性能

学习目标

1. 理解钢筋应力应变曲线特性，掌握弹性模量、屈服应力、极限应力及其相应的应变值。
2. 掌握混凝土强度与强度等级的概念，了解混凝土的弹性模量和变形模量，了解混凝土的收缩、徐变性质及其对混凝土结构构件性能的影响。
3. 了解钢筋与混凝土之间的黏结作用的组成，黏结强度及其影响因素。

学习重点

1. 钢筋的强度等级，受拉性能。
2. 混凝土的立方体抗压强度和轴心抗压强度，混凝土强度等级的确定，混凝土的受压性能。
3. 钢筋和混凝土的黏结强度组成及其影响因素。

学习建议

结合建筑材料的知识，以掌握钢筋和混凝土的力学性能为基础，了解钢筋和混凝土两种不同的材料共同工作的原理。

1.1 钢 筋

1.1.1 钢筋的强度与变形

钢筋的力学性能有强度、变形（包括弹性和塑性变形）等。

1. 钢筋的应力应变曲线

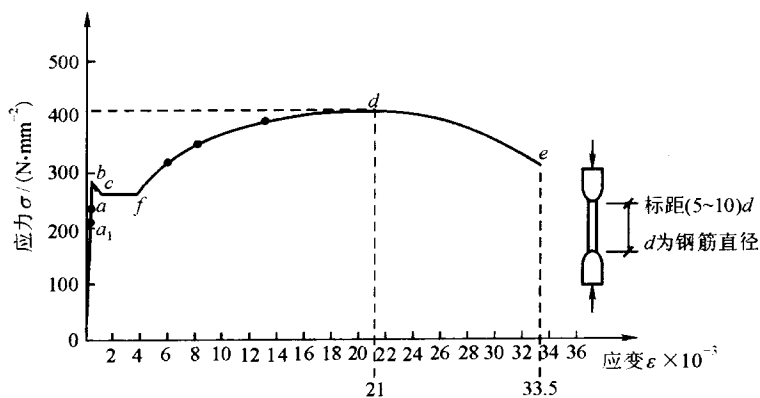


图 1-1 有明显流幅的钢筋应力—应变曲线

图 1-1 表示了一条有明显流幅的典型应力—应变曲线。在图 1-1 中： oa 为一段斜直线，其应力与应变之比为常数，应变在卸荷后能完全消失，称为弹性阶段，与 oa 相应的应力称为比例极限（或弹性极限）。应力超过 a 点之后，应变较应力增长得稍快，除弹性应变外，还有卸荷后不能消失的塑性变形。到达 b 点后，钢筋开始屈服，即荷载不增加，应变却继续发展增加很多，出现屈服段 bef ， bef 即称之为流幅或屈服台阶；最低点 c 点则称屈服点，与 c 点相应的应力称为屈服应力或屈服强度 σ_s 。经过屈服阶段之后，钢筋内部晶粒经调整重新排列，抵抗外荷载的能力又有所提高， fd 段即称为强化阶段， d 点叫做钢筋的抗拉强度或极限强度（ σ_b ）。过 d 点之后，在试件的最薄弱截面出现横向收缩，截面逐渐缩小，塑性变形迅速增大，出现所谓颈缩现象，此时应力随之降低，直至 e 点试件断裂。

图 1-2 表示没有明显流幅的钢筋的应力—应变曲线，此类钢筋没有明显的屈服点，极限强度高，但达到极限强度时的变形很大，钢筋混凝土结构中较少使用。

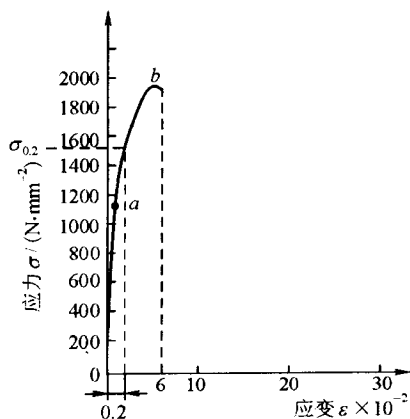


图 1-2 无明显流幅的钢筋的应力—应变曲线