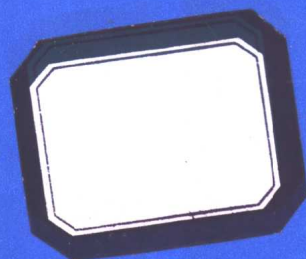


全国一级注册
结构工程师专业考试

复习指南

陆建堂 曹大富
周开富 唐炳全



东南大学出版社

全国一级注册结构工程师专业考试 复 习 指 南

陆建堂 曹大富
周开富 唐炳全

东南大学出版社

**全国一级注册结构工程师专业考试
复习指南**

陆建堂 曹大富
周开富 唐炳全

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 华东有色地研所印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 23 字数 574 千

1997 年 9 月第 1 版 1998 年 5 月第 2 次印刷

印数:4001 - 7000 册

ISBN 7 - 81050 - 255 - 7/TU·23

定价:38.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

内 容 提 要

本书是一本综合性的建筑结构设计复习资料,内容包括:钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构、砌体结构、木结构、地基及基础、高层建筑结构与高耸结构、建筑经济与设计业务管理。抗震设计涵括在以上各篇之中,并附有大量的选择题和计算题。

本书是根据国家颁布的现行设计规范及高等学校相关课程的基本要求而编写的,可供参加全国注册一级结构工程师考试的设计人员复习使用,亦可供未参加考试的设计人员和大专院校土建专业的师生参考。

前 言

自从改革开放以来,我国的政治、经济、文化等领域已经走上了正轨,并步入正规发展的道路。全国一级注册结构工程师就是在这种成熟的条件下应运而生的,为了适应这种新的形势,我们编写了这本旨在帮助全国同行业的工程技术人员参加全国统考的《复习指南》。本书包括五大部分:第一篇,钢筋混凝土结构设计;第二篇,砌体结构设计;第三篇,地基及基础;第四篇,高层建筑结构及高耸结构设计;第五篇,建筑经济与设计业务管理。

本书紧扣各项《设计规范》,内容涵盖面广,习题量大,同时注意到了1996年试点考试题的类型。

参加本书编写工作的有:第一篇,曹大富;第二篇,唐炳全、陆建堂;第三篇,周开富;第四、第五篇,陆建堂。第一篇中的第六节、第二章选择题及第三章计算题中例题1、2由樊华编写。全书的统稿由陆建堂负责。

本书的审稿工作由知名学者江苏省建筑设计研究院总工程师樊德润(教授级高级工程师)、南京建筑工程学院王文涛教授、扬州大学工程设计研究院总工程师汪庆玲(高级工程师)、东南大学土木工程学院邱洪兴副教授负责。其中樊德润先生曾参加1996年度全国一级注册结构工程师命题组的工作,并又参加了1997年的命题工作。

本书的编写过程中得到过有关同志的支持和帮助,得到江苏省建委有关领导及专家的指导,尤其是东南大学出版社的热情支持和厚爱,在此作者对此表示衷心感谢。本书的部分打印工作得到过施华萍、王文芹、张玉姣等同志的鼎力相助,在此一并感谢!

本书旨在对参加全国一级注册结构工程师考试的同仁能起到抛砖引玉的作用,果真如此则是作者最大荣幸。由于时间仓促,错误难免,欢迎全国同仁对本书提出中肯的批评和指正,以了却本书作者“以文会友”的心愿!

在此作者再一次向关心、支持和帮助本书出版的同志表示衷心的感谢!

作 者

1997.4

目 录

第一篇 钢筋混凝土结构

第一章 基本理论	1
第一节 钢筋混凝土材料的力学性能	1
第二节 极限状态设计法	7
第三节 轴心受力构件	11
第四节 受弯构件的正截面承载能力计算	13
第五节 偏心受压构件的正截面承载能力计算	23
第六节 受弯构件的斜截面承载能力计算	28
第七节 受扭构件承载能力计算	34
第八节 钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度计算	37
第九节 预应力混凝土结构	41
第十节 混凝土梁板结构设计	57
第十一节 单层工业厂房设计	67
第十二节 多层框架结构设计	88
第二章 选择题	102
第三章 计算题	112

第二篇 砌体结构与木结构

第一章 基本理论	124
第一节 砌体结构设计方法	124
第二节 块材、砂浆、砌体的物理力学性能	125
第三节 砌体构件的承载力计算	131
第四节 混合结构的结构计算	143
第五节 墙梁、挑梁	150
第六节 砌体结构抗震	158
第七节 木结构设计	161
第二章 选择题	170
第三章 计算题	176

第三篇 地基与基础

第一章 基本理论	195
第一节 地基和基础的概念	195
第二节 地基土(岩)的物理性质和工程分类	195
第三节 地基中应力计算和地基变形计算	199
第四节 土的抗剪强度及地基承载力	203
第五节 土压力与土坡稳定	210
第六节 各类基础设计	218
第七节 基础抗震设计	236
第八节 软弱地基	239
第二章 选择题	245
第三章 计算题	252

第四篇 高层建筑结构与高耸结构

第一章 基本理论	260
第一节 高层建筑结构设计方法综述	260
第二节 高层建筑结构荷载及其计算	268
第三节 高层建筑结构荷载效应和地震作用效应的组合	272
第四节 高层建筑结构体系、布置、计算及设计	273
一、高层建筑结构的特点及结构类型	273
二、框架结构体系、布置、计算及设计	275
三、剪力墙结构体系、布置、计算及设计	300
四、底层大空间剪力墙结构	313
五、框架-剪力墙结构体系、布置、计算及设计	316
六、筒体结构体系、布置、计算及设计	316
第二章 选择题	321
第三章 计算题	329

第五篇 建筑经济与设计业务管理

选择题	349
选择题答案(全书)	357
参考文献	358

第一篇 钢筋混凝土结构

第一章 基本理论

第一节 钢筋混凝土材料的力学性能

钢筋混凝土材料的力学性能是研究钢筋混凝土结构受力性能、计算理论、设计方法和构造原理的基础。结构工程师要掌握材料的强度、变形特征、应力 - 应变关系、粘结等基本力学性能,还要熟悉结构物对材料的要求以及材料性能的检验方法。

一 钢筋

1. 钢筋的品种

- 1) 按是否有屈服点可分为:有明显屈服点钢筋和无明显屈服点钢筋。
- 2) 按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢。
- 3) 按加工方法可分为热轧钢筋、冷拉钢筋和热处理钢筋。

直径小于 6mm 的称为钢丝。常用的钢丝有:碳素钢丝、钢绞线、刻痕钢丝和冷拔低碳钢丝。

钢筋的外形,除 I 级为光面外,其余均为变形钢筋(外表有人字纹、月牙纹、螺旋纹等)。

2. 钢筋的应力 - 应变关系曲线

1) 有明显屈服点的钢筋

拉伸时其应力 - 应变关系曲线(图 1 - 1)可分为 OA 段——弹性阶段,BC 段——屈服阶段,CD 段——强化阶段,过 D 点发生颈缩现象,直至 E 点破坏。图中:A 点表示比例极限,B' 点为屈服上限,B 点为屈服下限,DE' 为按颈缩截面计算的结果。

2) 无明显屈服点的钢筋

钢筋从加载至破坏均表现为弹塑性特

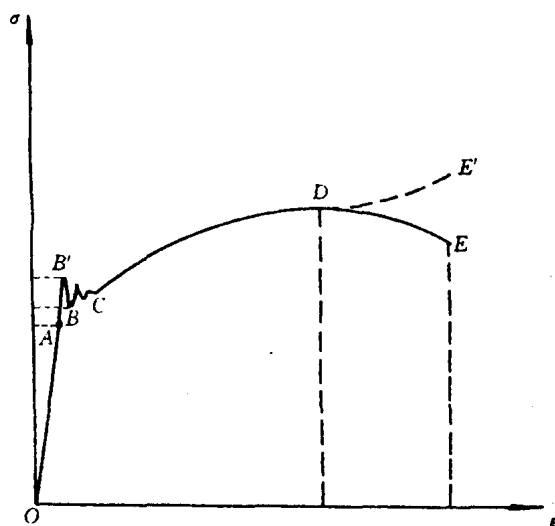


图 1-1 有明显屈服点钢筋的应力 - 应变曲线

征,变形过程较短,无明显屈服点(图 1-2)。

3) 理论表达式(双直线模型)

$$\begin{cases} \epsilon_s \leq \epsilon_y, & \sigma = E_s \cdot \epsilon_s \\ \epsilon_s > \epsilon_y, & \sigma = f_y \end{cases} \quad (1-1)$$

式中 ϵ_y 为钢筋屈服时对应的应变。

4) 钢筋受压时屈服前的应力 - 应变关系与受拉时相同,屈服后由于塑性压缩有所区别。

3. 钢筋的强度、塑性指标

1) 钢筋的强度指标

对于有明显屈服点的钢筋取屈服强度 f_y 作为其强度指标,对于无明显屈服点的钢筋取“协定流限”(又称“条件屈服强度”)作为其强度指标。所谓“协定流限”,即取残余应变为 0.2% 对应的应力作为假定的屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

2) 材料的塑性指标

钢材的塑性通过伸长率和冷弯性能两个指标来衡量,钢筋拉断后的伸长值与原长的比率称为伸长率,用 δ 表示。伸长率越大,塑性越好。冷弯是将直径为 d 的钢筋绕直径为 D 的钢辊弯成一定的角度而不发生断裂就表示合格。钢辊的直径越小,弯转角越大,说明钢筋的塑性越好。

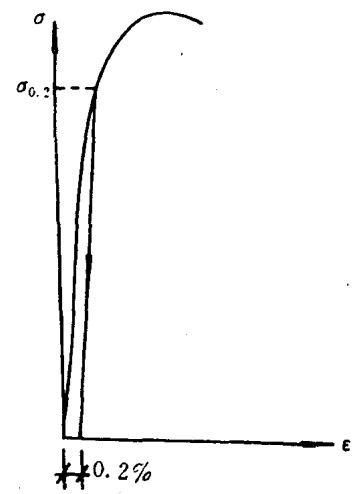


图 1-2 没有明显屈服点钢筋的应力 - 应变关系

对于热轧钢筋,随着强度的增加,其塑性降低。钢筋的伸长率和冷弯要求见表 1-1。

表 1-1 钢筋的伸长率和冷弯要求

钢筋种类		I 级	II 级	III 级	IV 级
伸长率 / %	δ_5	25	16	14	10
	δ_{10}	21	-	-	-
冷弯要求	冷弯角度 / °	180	180	90	90
	钢辊直径 / d	1	3	3	5

注: 表中 δ_5 、 δ_{10} 分别表示标距为 $5d$ 和 $10d$ 的伸长率, d 为钢筋的直径。

4. 钢筋的冷加工

钢筋冷加工后可达到提高强度、节约钢材的目的。冷加工措施有冷拉和冷拔。冷拉只能提高钢筋的抗拉强度,冷拔可同时提高钢筋的抗拉强度和抗压强度。

1) 冷拉:冷拉就是将热轧钢筋拉伸超过屈服点进入强化阶段,卸去荷载,重新拉伸,可获得比原来还要高的屈服强度,参见图 1-3。若停留一段时间再张拉,应力 - 应变曲线将沿 $o'a'c'd'$ 变化,屈服点提高到 a' ,这种现象称为冷拉时效或时效硬化。冷拉时效随着温度的增加可在较短的时间内完成,但温度过高反而获得相反的结果。一般来说,冷拉后屈服强度提高了,伸长率却降低了。冷拉钢筋必须先焊后拉,冷拉后不宜焊接。冷拉控制可通过应力控制和应变控制来实施,应力控制时冷拉控制应力取强度标准值,应变控制时冷拉控制应力取强度标准值加 30N/mm^2 ,并按此应力确定相应的冷拉率。

2) 冷拔:冷拔就是用强力将钢筋拔过比其直径还要小的硬质拔丝模,冷拔一般通过多次完成。

5. 混凝土结构对钢筋性能的要求

混凝土结构对钢筋性能的要求主要体现在强度、塑性、可焊性和粘结方面;而检验钢筋的质量指标,对于有明显屈服点的钢筋主要有屈服强度、极限强度、伸长率和冷弯要求。对于无明显屈服点的钢筋则有极限强度、伸长率和冷弯性能。

二 混凝土

1. 混凝土的组成

混凝土是由水泥、砂子、石子、水按一定的比例搅拌后浇筑而形成的复合材料。一般来说在其不同层次结合面上形成许多微裂缝,微裂缝在荷载作用下的发展体现了混凝土的力学性质。

2. 混凝土的强度

1) 立方体抗压强度 f_{cu} 和强度等级 C

《规范》* 规定:以边长为 150mm 的立方体在 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 的温度和相对湿度在 90% 以上的环境中养护 28 天,用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度作为混凝土的强度等级。常用的等级有 C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。在进行立方体抗压强度试验时,若在试件表面涂油脂,所得结果较不涂油脂为小,这主要是由于在试件与垫板接触面涂油脂,减小了摩擦力形成的箍的影响。《规范》规定试验时不涂油脂,图 1-4 为表面不涂油脂试件的破坏情况。若用非标准试件试验时,应考虑摩擦力引起的尺寸效应,即用边长为 200mm 和 100mm 的非标准试件测试时,其结果应分别乘以 1.05 和 0.95 的折算系数。

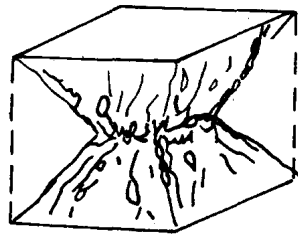


图 1-4 不涂油脂混凝土试件破坏情况

2) 混凝土的轴心抗压强度(棱柱体抗压强度) f_c

用混凝土棱柱体所测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度 f_c 。棱柱体抗压强度随试件高宽比 h/b 的增加而减小(图 1-5),当 $h/b > 3$ 时,一般趋于稳定,常用的棱柱体试件为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 450\text{mm}$ 。

通过大量试验结果的统计,可得到棱柱体抗压强度平均值 μ_{fc} 和立方体抗压强度平均值 μ_{fcu} 间的关系为

$$\mu_{fc} = 0.76\mu_{fcu} \quad (1-2)$$

考虑实际制作、养护、受力情况与试件的差异,并照顾到多年的习惯,《规范》中取用

$$\mu_{fc} = 0.67\mu_{fcu} \quad (1-2a)$$

3) 混凝土的抗拉强度

测定混凝土的抗拉强度可通过直接拉伸和劈裂试验两种方法进行。直接拉伸就是在混凝土试件的两端预埋对中的变形钢筋,然后在试验机上用夹具夹紧钢筋进行拉伸,这种方法的对

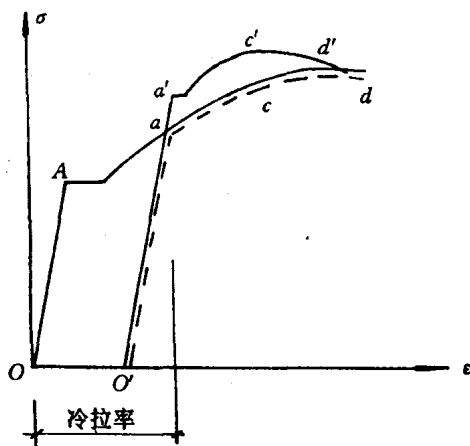


图 1-3 钢筋冷拉原理

* 在本篇中未作特别说明均指《混凝土结构设计规范》GBJ10-89。

中是很困难的。劈裂试验是一种间接方法，其原理是根据弹性理论中圆形截面承受对心压力的作用，其中部产生的均匀拉应力为

$$\sigma = \frac{2F}{\pi d^2} \quad (1-3)$$

在圆柱体或立方体上通过垫条施加线荷载，使得试件沿中间垂直截面劈裂拉断(图1-6)，劈拉强度可通过下式计算：

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi dl}$$

式中 l 为试件长。一般来说劈拉强度多大于直接拉伸强度。《规范》取用的抗拉强度平均值为

$$\mu_{ft} = 0.23 \mu_{fcu}^{\frac{3}{4}} \quad (1-3a)$$

4) 混凝土的复合强度

混凝土的压-压强度和压-拉强度，参见图1-7。

一般来说，在双向应力状态下，一向压力的存在使得另一向抗压强度增加，一向拉力的存在则使得另一向抗压强度降低。

图1-8为混凝土压剪强度关系曲线，从图中可以看出抗剪强度开始随压应力的增加而增加，但当 σ/f_c 达 0.60 ~ 0.70 后，抗剪强度随着压应力的增加反而在降低。

对于径向压力 σ 作用下的三向应力状态下的抗压强度，可通过下式得到：

$$f_{cc} = f_c + 4.1\sigma \quad (1-4)$$

3. 混凝土的应力-应变关系曲线

1) 一次短期加载下混凝土的应力-应变关系参见图1-9。

2) 《规范》假定公式

$$\begin{cases} \epsilon \leq \epsilon_0, \sigma = f_c \left[2 \frac{\epsilon}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \\ \epsilon > \epsilon_0, \sigma = f_c \end{cases} \quad (1-5)$$

3) 弹性模量(图1-10)

(1) 原点弹性模量

用过原点的切线的斜率表示原点弹性模量 E_c 。按下式计算：

$$E_c = \tan \alpha_0 \quad (1-6)$$

(2) 变形模量(割线模量)

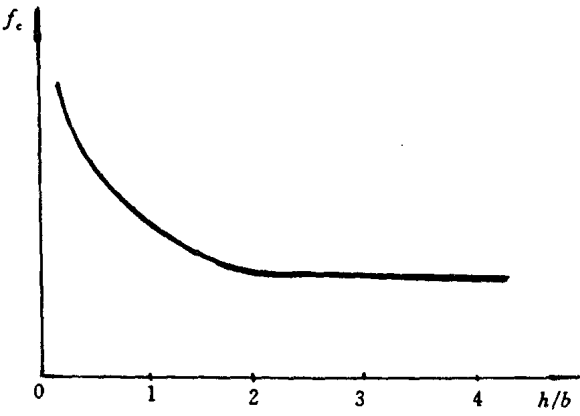


图1-5 高宽比对混凝土轴压强度的影响关系

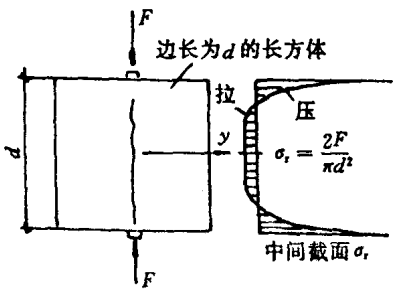


图1-6 劈裂试验示意图

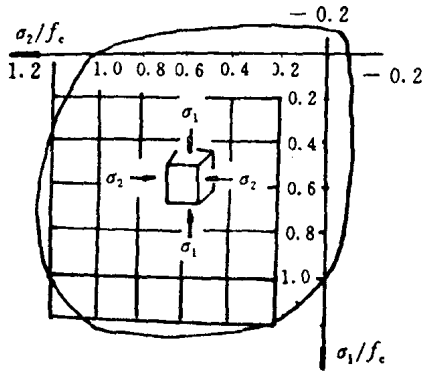


图1-7 混凝土双向应力曲线

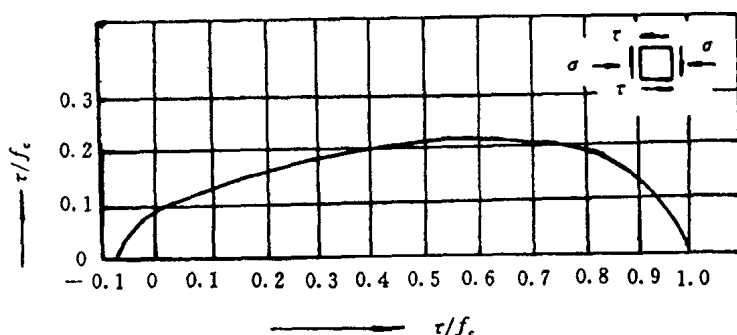


图 1-8 混凝土压剪和拉剪强度曲线

用连接 OA 直线的斜率表示变形模量 E'_c 。按下式计算：

$$E'_c = \tan \alpha_1 = \sigma_c / \epsilon_c \quad (1-6a)$$

E'_c 与 E_c 之间的关系为

$$E'_c = \nu E_c$$

式中 ν ——混凝土弹性系数，应力较小的弹性阶段 $\nu = 1$ ，应力较大的弹塑性阶段 $\nu < 1$ 。

(3) 切线模量

用过 A 点切线的斜率表示切线模量 E'_c 。按下式计算：

$$E'_c = \tan \alpha = d\sigma_c / d\epsilon_c \quad (1-6b)$$

$$\langle \text{规范} \rangle \text{取: } E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.74}{f_{cu,k}}} \quad (1-6c)$$

4) 重复荷载作用下

当峰值应力小于某一数值时，随着加卸载次数的增加，塑性变形累积 5 次以后应力 - 应变关系变为一条直线，且没有新塑性变形，直线基本上与原点的切线相平行（图 1-11），这可作为弹性模量的测试方法。但当应力超过某一数值后，随着次数的增加，变直的应力 - 应变关系会重新变弯，直至发生破坏，这种破坏称为疲劳破坏。

4. 混凝土的收缩和徐变

1) 混凝土的收缩：混凝土在空气中结硬，随着水分的散失，体积变小的现象，称为混凝土的收缩。影响混凝土收缩的因素有：水泥的品种和用量，骨料的性质、养护条件、制作方法、使用环境、构件的体表比等。钢筋混凝土结构中，混凝土的收缩使得混凝土处于受拉状态，有时会导致构件开裂。

2) 混凝土的徐变：在长期荷载作用下，压力维持不变，变形随着时间增长的现象称为混

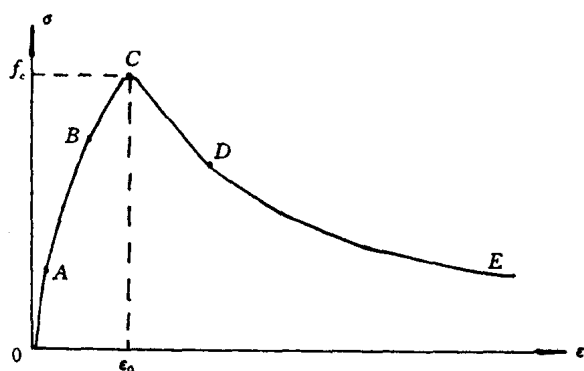


图 1-9 混凝土受压时的应力 - 应变关系曲线

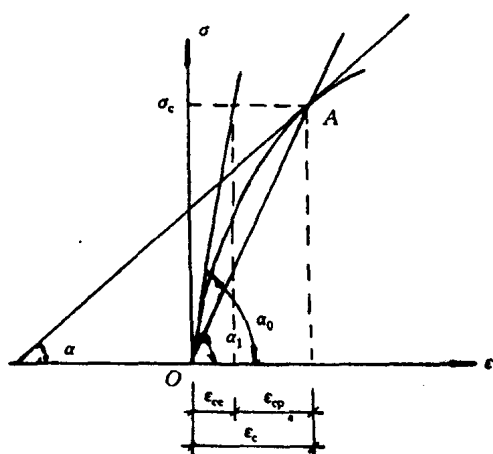


图 1-10 混凝土变形模量的表示方法

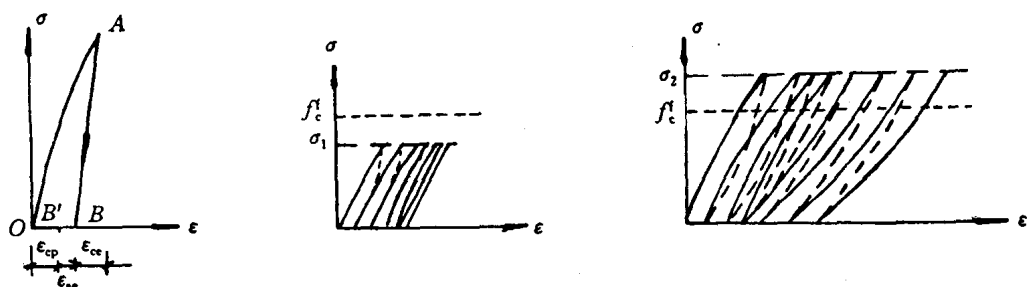


图 1-11 混凝土在重复荷载作用下的应力 - 应变曲线

混凝土的徐变。徐变的发展是先快后慢,一年左右,完成总徐变的 90%,最终徐变可达到瞬间应变的 2 ~ 4 倍。参见图 1-12。

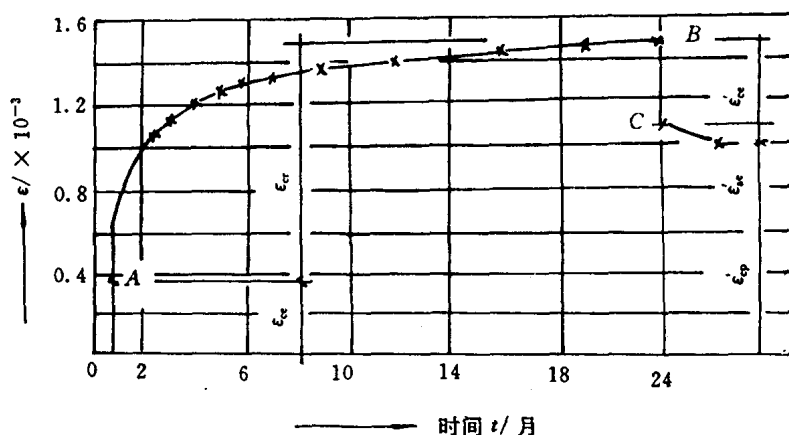


图 1-12 混凝土的徐变试验曲线

徐变又分为线性徐变和非线性徐变。前者是徐变与应力成正比,后者不同。

影响徐变的因素有:水泥用量、水灰比、骨料坚硬程度、养护温湿度、构件的形状和尺寸,另外受压钢筋的存在也影响混凝土的徐变。徐变使得钢筋混凝土结构产生内力重分布,其结果是使钢筋压力增加,混凝土压力减少。此外,徐变在预应力混凝土结构中 will 引起预应力损失。

三 钢筋与混凝土间的粘结

钢筋与混凝土之间的粘结力由胶结力、摩擦力和咬合力组成,光面钢筋以胶结力和摩擦力为主,变形钢筋则以咬合力为主。粘结力是钢筋和混凝土共同工作的基础。钢筋表面的粘结应力服从如下关系:

$$\tau_x = \frac{d}{4} \frac{d\sigma_s}{dx} \quad (1-7)$$

式中 σ_s ——钢筋的应力, d ——钢筋的直径。

若采用拔出试验,可获得平均粘结应力 $\tau = P/(\pi d l_a)$

粘结的种类有局部粘结和锚固粘结,前者出现在钢筋混凝土构件的裂缝之间,后者出现在钢筋的搭接处和混凝土构件端部。影响粘结的因素有混凝土强度、混凝土保护层、横向钢筋、横向压力、浇注位置等。粘结强度则可通过拔出试验获得。为了保证锚固粘结要求,光面钢筋端部

必须设弯钩,且还应满足相应的锚固长度要求。

第二节 极限状态设计法

一 极限状态设计法的基本概念

1. 功能要求

建筑结构应满足安全性、适用性和耐久性的功能要求。

1) 安全性: 结构在规定的使用期限内能承受正常施工及使用可能出现的各种荷载、变形等的作用;在偶然事件发生后,能保持整体稳定性,不发生倒塌或连续破坏。

2) 适用性: 结构在正常荷载作用下,具有良好的工作性能,如不发生影响正常使用的过大挠度、永久变形及影响使用的裂缝等。

3) 耐久性: 在正常使用和正常维护下,在规定的使用期内应有足够的耐久性,例如不发生由于混凝土碳化、钢筋锈蚀,而影响结构的使用寿命。

安全性、适用性、耐久性总称为结构的可靠性,可靠性的概率度量即为可靠度。

2. 极限状态

1) 定义

如果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,此特定状态就称为该功能的极限状态。

2) 极限状态的分类

结构的极限状态,可分为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

当结构或结构构件达到最大承载能力,或者达到不适宜继续承载的变形状态时,称该结构或构件达到承载能力极限状态,例如作为刚体失去平衡——雨篷倾覆,结构或连接构件材料的强度破坏,或因过度的塑性变形不宜继续承载——强度破坏、疲劳破坏等,另外结构转为机动体系或丧失稳定也是一种承载能力极限状态。

(2) 正常使用极限状态

结构或构件达到正常使用或耐久性规定某项限值的状态,称为正常使用极限状态。如影响正常使用和外观的变形,影响正常使用或耐久性的局部破坏,影响正常使用的振动,影响正常使用的特定状态等等。

3. 作用及其效应

使结构产生内力和变形的原因称为作用,作用的结果即为效应,如人群荷载、温度变化等都是作用。弯矩、剪力、轴力、变形等都是作用效应。典型的作用即是荷载。

1) 荷载的分类

作用在结构上的荷载的分类方法很多,其中以作用时间和性质来分容易被广大工程技术人员接受。

(1) 永久荷载: 在使用阶段,其值不随时间而变或变化很小(可忽略不计),如自重、土压力等。

(2) 可变荷载: 在使用期间,其值随时间变化,且幅度较大,如楼面活载、雪载、风载、吊车

荷载等。

(3) 偶然荷载: 这类荷载在使用期间不一定出现, 一旦出现, 其值很大, 作用时间较短, 如地震、爆炸等。

2) 荷载的取值

荷载, 尤其可变荷载不但是随机变量, 而且随时间而变, 是一随机过程。

(1) 标准值: 根据荷载统计频率直方图, 具有保证率 95% 的荷载统计特征值称为荷载的标准值。标准值是荷载的基本代表值, 一般可由《荷载规范》查得。

(2) 设计值: 运用概率方法推导承载能力设计表达式获得的荷载的取值称为荷载设计值, 一般由标准值乘以分项系数得到。常见的恒载分项系数取 1.2, 活载的分项系数取 1.4。

(3) 组合值: 众多荷载同时作用的可能性很小, 按概率方法考虑的效应组合中所取的多种荷载数值的大小称为荷载的组合值。一般由标准值乘以组合系数得到。

(4) 可变荷载的准永久值: 在设计基准期(50年)内, 总作用持续时间超过 50% 的荷载值, 称为可变荷载的准永久值。一般由标准值乘以准永久系数而得到。

3) 荷载效应及其组合

荷载效应(M 、 V 、 N) 一般可用结构力学方法求得。而荷载效应的组合应按不同极限状态的要求分别考虑。

(1) 承载能力极限状态下的荷载效应组合

① 基本组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{Qi} \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-8)$$

式中 γ_G 、 γ_{Qi} ——分别为恒载和可变荷载分项系数;

S_{Gk} 、 S_{Qik} ——分别为恒载和可变荷载标准值作用效应;

ψ_{Qi} ——荷载组合系数。

对于一般的框排架结构, 可简化为

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \psi \sum \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-8a)$$

通常 $\psi = 1.0$, 而当风荷载与其它可变荷载组合时, $\psi = 0.85$ 。

② 地震荷载效应组合

地震荷载的计算可采用振型分解反应谱法、底部剪力法或时程分析法, 其组合按《抗震规范》, 可取为

$$S_E = \gamma_{Eh} E_{hk} + \gamma_G G_{Ek} \quad (1-9)$$

式中 γ_{Eh} 、 γ_G ——分别为地震荷载分项系数和重力荷载代表值分项系数;

E_{hk} ——地震标准值作用效应;

G_{Ek} ——重力荷载代表值作用效应。

(2) 正常使用极限状态下的效应组合

① 短期效应组合

$$S_S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-10)$$

② 长期效应组合

$$S_L = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-11)$$

式中 ψ_{qi} ——准永久系数。

由此可见,在承载能力极限状态中,荷载取用了设计值;在正常使用极限状态中,荷载取用了标准值及准永久值。

4. 抗力和承载能力

抗力即抵抗外加作用的能力,表现为承载能力极限状态时,就是承载能力,它和结构的几何特征、材料的物理性质等有关,如单筋矩形截面极限弯矩 $M_u = f_y A_s (h_0 - x/2)$ 。抗力也是随机变量。

二 概率极限状态设计法

1. 功能函数

若以 R 表示抗力, S 表示效应,则函数

$$Z = R - S \quad (1-12)$$

称为功能函数。显然:

$$Z > 0 \quad \text{结构可靠}$$

$$Z = 0 \quad \text{结构处于极限状态}$$

$$Z < 0 \quad \text{结构失效}$$

由此可知:当 R 、 S 为随机变量时, Z 也是随机变量。

2. 失效概率与可靠度指标

$$1) \text{ 失效概率: } P_f = \int_{-\infty}^0 f(Z) dZ \quad (1-13)$$

$$\text{可靠概率: } P_s = \int_0^{+\infty} f(Z) dZ \quad (1-13a)$$

$$P_f + P_s = 1 \quad (1-14)$$

当 R 、 S 服从正态分布时, Z 也服从正态分布,且

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S, \quad \sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-15)$$

式中 μ_R 、 μ_S ——分别为抗力与效应的平均值;

σ_R 、 σ_S ——分别为抗力与效应的均方差。

平均值 μ 和均方差 σ 可以按照数理统计的方法求得。

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-16)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - x_i)^2}{n}} \quad (1-17)$$

$$n \leq 30 \text{ 时, } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - x_i)^2}{n-1}} \quad (1-17a)$$

$\delta = \frac{\sigma}{\mu}$ 称为变异系数。

2) 可靠度指标

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} \quad (1-18)$$

根据图 1-13 可知: β 越大, P_f 越小; β 越小, P_f 越大(数值对应关系见表 1-2)。

表 1-2 β 与 P_f 的对应关系

β	P_f	β	P_f
1.0	1.59×10^{-1}	3.0	1.35×10^{-3}
1.5	6.68×10^{-2}	3.5	2.33×10^{-4}
2.0	2.28×10^{-2}	4.0	3.17×10^{-5}
2.5	6.21×10^{-3}	4.5	3.40×10^{-6}

3. 设计方法

$$\beta \geq [\beta] \quad (1-19)$$

式中 $[\beta]$ ——目标可靠度指标(见表 1-3)。

表 1-3 规定的目标可靠指标 $[\beta]$ 值

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

式(1-19)即为

$$\frac{\mu_z}{\sigma_z} \geq [\beta] \quad (1-19a)$$

运用数学手段,可由式(1-19a)推出《规范》采用的承载力极限状态的表达式为

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-20)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,当安全等级为一级、二级、三级时 γ_0 分别取 1.1、1.0、0.9;

R ——抗力。

对于承载力极限状态: $\gamma_0 S \leq R$

正常使用极限状态 $\begin{cases} \text{变形应满足 } f_{\max} \leq [f]; \\ \text{裂缝控制等级分为一级、二级、三级。} \end{cases}$

一级为严格要求不出现裂缝的构件;

二级为一般要求不出现裂缝的构件;

三级为允许出现裂缝的构件,裂缝宽度应满足 $w_{\max} \leq [w]$ 。

4. 材料强度

1) 标准值

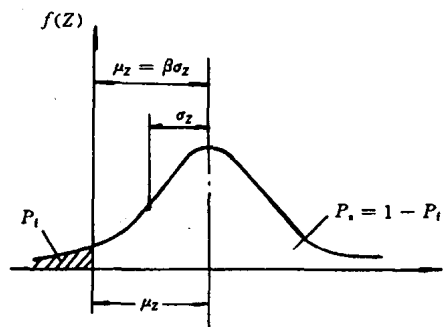


图 1-13 失效概率与可靠度指标的关系