

中等专业学校教材

建筑 结 构

成都水力发电学校主编

水利电力出版社

中等专业学校教材

建 筑 结 构

成都水力发电学校主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为水利电力类中等专业学校水利类专业通用教材。

本书内容包括钢筋混凝土结构、砖石结构及钢结构三部分。钢筋混凝土结构讲述基本构件、肋形结构及刚架结构的计算、配筋构造以及预应力混凝土结构的基本概念等；砖石结构介绍砌体构件的计算；钢结构叙述钢结构的基本理论、构件计算以及平面钢闸门的结构设计等。

本书还可供有关的技术人员和技术工人参考。

中等专业学校教材

建 筑 结 构

成都水力发电学校主编

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 23.5印张 540,000字 2插页

1979年7月第一版 1979年7月北京第一次印刷

印数 00001—42380册 每册 1.95元

书号 15143·3469

前 言

本书是根据1978年3月制定的《建筑结构》教材编写大纲进行编写的，作为中等专业学校水利工程建筑和农田水利工程专业的通用教材。

本课程包括钢筋混凝土结构、砖石结构及钢结构三部分以钢筋混凝土结构为主。钢筋混凝土结构讲述基本构件、肋形结构及刚架结构的计算、配筋构造以及预应力混凝土结构的基本概念等内容；砖石结构介绍砌体构件的计算；钢结构叙述钢结构的基本理论、构件计算以及平面钢闸门的结构设计等。

本书关于设计计算的内容均按现行《水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78（试行）》和《水利水电工程钢闸门设计规范SDJ13-78（试行）》编写。每篇每章内有一定数量的例题以及较为完整的大型例题，每篇每章后安排了适当数量的习题，其中部分习题附有答案。

本书第一篇由成都水力发电学校张德豪（第一、二、四、五及七章）、湖北省水利学校叶长绪（第三、六及八章）、第二篇由四川省水利学校张学裕、第三篇由黄河水利学校曹梦亭等同志编写。张德豪同志负责主编。长江水利水电学校刘顺茂同志负责审稿并担任全书的核对工作。

在编审过程中得到了武汉水利电力学院、长江流域规划办公室、湖北省水利勘测设计院以及扬州、陕西、江西、吉林、黑龙江、广东、广西等兄弟学校的有关同志提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

编 者

一九七九年三月

目 录

前 言

第一篇 钢筋混凝土结构

第一章 钢筋混凝土结构的材料和计算原理	2
第一节 混凝土的强度	2
第二节 混凝土的变形	7
第三节 混凝土的弹性模量	9
第四节 混凝土的温度变形、容重及水工混凝土的技术要求	10
第五节 钢筋种类和性能	12
第六节 钢筋的结构型式	15
第七节 钢筋与混凝土的结合	21
第八节 钢筋混凝土结构的计算内容	22
第九节 钢筋混凝土梁的应力发展阶段	23
第十节 计算钢筋混凝土构件的各种理论	24
第十一节 混凝土结构构件计算	27
第二章 钢筋混凝土受弯构件的强度计算	31
第一节 安全系数及材料的设计强度	31
第二节 受弯构件正截面构造知识	32
第三节 配筋率对破坏的影响	34
第四节 单筋矩形截面的强度计算	36
第五节 双筋矩形截面的强度计算	44
第六节 T形截面的强度计算	50
第七节 环形截面的强度计算	60
第八节 受弯构件斜截面的强度计算	62
第九节 梁的构造规定与材料图	68
第十节 矩形截面弯扭构件的计算	78
第三章 钢筋混凝土轴心受压(拉)构件的强度计算	83
第一节 普通箍筋柱	83
第二节 配有螺旋式间接箍筋柱	89
第三节 轴心受拉构件	90
第四章 钢筋混凝土偏心受压(拉)构件的强度计算	92
第一节 构造与试验结果	92
第二节 矩形截面大偏心受压构件的计算	95
第三节 矩形截面小偏心受压构件的计算	97

第四节 矩形截面偏心受压构件的强度复核	99
第五节 矩形截面对称配筋的偏心受压构件	100
第六节 偏心受压构件纵向弯曲的考虑	100
第七节 T形截面偏心受压构件的计算	108
第八节 环形及圆形截面的计算	110
第九节 牛腿的设计	114
第十节 矩形截面偏心受拉构件的计算	120
第十一节 偏心拉压构件的斜截面强度计算	122
第五章 钢筋混凝土构件抗裂度、裂缝宽度及变形验算	128
第一节 概述	128
第二节 抗裂度验算	128
第三节 裂缝宽度验算	135
第四节 减小裂缝开展宽度的措施	142
第五节 变形验算	143
第六章 肋形结构及刚架结构	146
第一节 概述	146
第二节 整体式单向板的肋形结构	147
第三节 整体式双向板的肋形结构	156
第四节 刚架结构	178
第五节 柱下单基础	183
第七章 预应力混凝土结构的概念	188
第一节 预应力混凝土的意义	188
第二节 施加预应力的方法	189
第三节 预应力张拉控制应力及预应力损失	194
第八章 钢丝网水泥结构	198
第一节 概述	198
第二节 钢丝网水泥结构的材料	199
第三节 钢丝网水泥的力学性能	200
第四节 钢丝网水泥构件按建材院公式的计算	202

第二篇 砖 石 结 构

第一章 砖石结构的材料和砖石砌体的性能	210
第一节 砖石结构的材料	210
第二节 砖石砌体	211
第二章 砌体构件的强度计算	220
第一节 计算的基本方法和安全系数	220
第二节 轴心受压构件的强度计算	222
第三节 偏心受压构件的强度计算	225
第四节 砌体局部受压计算	234
第五节 砌体轴心受拉、受弯、受剪构件的计算	240

第三篇 钢 结 构

第一章 钢结构的材料和连接	245
第一节 建筑钢	245
第二节 钢结构的计算方法和钢材的容许应力	249
第三节 钢结构的连接	250
第四节 螺栓连接的构造与计算	251
第五节 焊接连接的构造与计算	256
第二章 钢梁	268
第一节 钢梁的型式和应用情况	268
第二节 轧成梁的设计计算	268
第三节 钢梁的整体稳定性验算	270
第四节 焊接组合梁的构造与计算	271
第五节 梁系的连接	282
第三章 平面钢闸门	289
第一节 概述	289
第二节 平面钢闸门的结构布置和结构选型	291
第三节 平面钢闸门的面板设计	295
第四节 平面钢闸门的梁系设计	297
第五节 平面钢闸门的支撑系统	302
第六节 平面钢闸门的支承边梁	306
第七节 平面钢闸门的行走支承	307
第八节 平面钢闸门的止水、吊耳及埋设构件	312
附录 I 钢筋表	341
附录 II α 、 r_0 、 A_0 、 γ_0 表	343
附录 III 等跨连续板梁承受均布荷载时的跨中弯矩、支座弯矩及 支座截面剪力的计算系数表	345
附录 IV 等跨连续板梁在端弯矩作用下各截面的弯矩及剪力计算系数表	348
附录 V 等跨连续梁在移动的集中荷载作用下各截面的弯矩系数及 支座截面剪力系数表	349
附录 VI 承受均布荷载的等跨连续梁各截面最大及最小弯矩（弯矩 包络图）的计算系数表	353
附录 VII 矩形板按弹性理论计算用表	355
附录 VIII 等量荷载表	364
附录 IX 型钢表	365
附录 X 钢梁的稳定性折减系数表	370

第一篇 钢筋混凝土结构

混凝土如同天然石料，具有较高的抗压强度；但其抗拉强度仅为抗压强度的 $1/10$ 左右，所以是一种脆性材料。钢筋则是一种弹塑性材料，它的抗拉和抗压强度都很高。

一根纯混凝土简支梁，由于混凝土的抗拉强度很低，因此当荷载不大时，在梁的受拉区就会产生裂缝，使梁受到破坏；但此时受压区的压应力还远小于混凝土的抗压强度，因而未得到充分地利用。若在受拉区配置钢筋，则受拉区的拉力便可由钢筋来承担，弥补混凝土抗拉能力低的弱点，从而充分发挥了两种材料各自的特长。实践证明，配筋后的钢筋混凝土梁能承担的荷载较同尺寸的纯混凝土梁要大得多。根据长期实践经验和科学试验分析可知，钢筋和混凝土这两种受力性能不同的材料，所以能结合成一体共同工作有下列三点原因：

(1) 钢筋和混凝土间有粘着力（详第一章）。混凝土结硬后能和钢筋牢固地胶结在一起，在外力作用下，相互间不会发生滑动。粘着力实为其共同工作的基础；

(2) 具有相近的线膨胀系数（钢为 0.000012 ，混凝土为 $0.00001 \sim 0.0000148$ ），因而温度变化时不致破坏其整体性；

(3) 钢筋得到混凝土妥善保护，不会锈蚀。因此，长期来钢筋混凝土被公认为是一种较理想的建筑材料。

钢筋混凝土结构的优点主要为：能就地取材、有可模性、整体性、耐久性及耐火性。它的缺点有：费工、费木、费时、自重大、检查拆修或改建困难以及水化热不易散发容易裂缝。不过这些缺点除检查拆修或改建困难外，其余的可在近代高度机械化施工、预应力构件和装配式构件的工厂发展中逐渐得到解决。

钢筋混凝土结构在各项工程建设中应用极为广泛。例如，在水利水电建设中：闸、坝、输水隧洞、压力管道、火电厂水泵房、水电站厂房及其内部的蜗壳、尾水管、渠道上的渡槽、跌水、陡坡、涵管及工作桥等；在工业和民用建筑及交通运输工程中：大楼、仓库、水池、水塔、油池、桥梁、道路上的隧洞、立体交叉工程、轨枕、电线杆、沉箱、船闸、船坞、海港以及码头等；在国防及人防工程中：各种地下建筑物如地铁、厂房、仓库、电站、机场、机库、海军基地、防御工程、各类人防工程以及交通道路等。此外，如灯塔、矿山坑道的支撑、小的船只、机器设备的台座以及桩基中的桩等都可用钢筋混凝土来建造。由上述可见，钢筋混凝土结构在工程建设中具有十分重要的地位。随着四个现代化的逐步实现，钢筋混凝土结构的应用将有更大的发展。

为了适应四个现代化的需要，必须在现有的基础上兴建更多的大中型水利水电工程，以满足工农业用水和提供强大的电力。为了争时间抢速度，就必须采用先进的施工方法以缩短施工周期。可以预期，在大中型水利骨干工程中，钢筋混凝土结构逐步实现机械化施工，普及装配式构件的生产，在大中型水电站建设中，实现大体积混凝土工程的高度机械

化施工，在钢筋混凝土结构施工中，尽量采用装配式构件的机械化工厂生产等，将是今后钢筋混凝土结构的发展方向。与此同时，随着生产的发展，钢筋混凝土结构的科学试验研究工作也将会进一步得到发展。在国外已成功地把普通混凝土的强度提高了好几倍，可见钢筋混凝土材料还有很大的发展潜力，我们也需要在这方面加速研究。

第一章 钢筋混凝土结构的材料和计算原理

第一节 混凝土的强度

一、混凝土抗压强度

(一) 混凝土标号 R

混凝土标号是一种划分混凝土强度等级的指标。测定混凝土标号的方法是：按照标准方法制作养护（在温度为 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度90%以上的条件下）边长为20厘米的立方体试块，在28天龄期，用标准试验方法所得的立方体抗压极限强度，即 $R = N_p / 400$ ，以公斤/厘米²计的数值称为混凝土标号，用 R 表示。式中 N_p 为试块受压破坏时的极限压力，以公斤计；400是受压面积，以平方厘米计。

影响混凝土强度的因素很多，其中主要有水泥标号及其用量、水灰比、龄期、施工方法及养护条件等，都将在施工课中讲述。此外，试验方法、加荷速度及试块形状和尺寸也会影响试验所测得的抗压强度数值。下面先扼要叙述试验方法与试块尺寸对测定抗压强度的影响，以及龄期和混凝土抗压强度间的关系。

试验方法是指在做试验时，试块与压力机垫板间的接触表面是否涂油脂的问题，通常试块受压后，纵向压缩，横向扩张。在试块的上下表面与压力机垫板间产生阻止试块横向

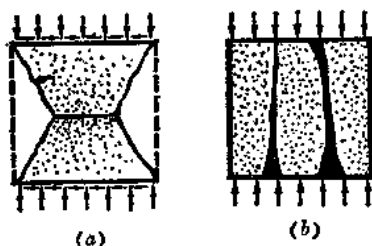


图 1-1 立方体试件破坏情况
(a) 支承面上有摩擦力存在；(b) 支承面上
无摩擦力存在(涂有油脂)

变形的摩擦力，从而提高了抗压强度。试块破坏时，形成斜向裂缝，块体四周剥落成两个锥体形，如图1-1a所示。若在试块上下表面涂油脂，则这种摩擦力大为减小，所测得的抗压强度较不涂油脂者为低。试块破坏时横向拉裂，出现垂直裂缝，如图1-1b所示。因此，为统一标准，规定采用不涂油脂的试块。

试块尺寸对测定抗压强度的影响是明显的，如立方体尺寸小于标准试块，则因试验时两端摩擦影响较大，故测得的强度较高；反之，强度较低。因此，如用非标准尺寸的试块进行试验，其结果应乘以尺寸换算系数，即换算成标准立方体强度。实际应用中，可采用如下的折算系数：

15×15×15厘米的试块，折算系数取0.95

10×10×10厘米的试块，折算系数取0.90

混凝土的抗压强度是随龄期的增长而增长的, 开始增长很快, 以后逐渐变慢, 其增长期可以延续多年。根据国内外许多试验观察得知混凝土强度增长可延续15~20年, 保持在潮湿环境中的混凝土强度增长会延续得更久。在一般情况下, 混凝土不同龄期的抗压强度比值可参考表1-1, 表中数值是以龄期28天的强度为1.0的比值。

表 1-1 混凝土不同龄期的抗压强度比值

水 泥 品 种	混 凝 土 龄 期				
	7 天	28 天	60 天	90 天	180 天
普通硅酸盐水泥	0.55~0.65	1.0	1.10	1.15	1.20
矿渣硅酸盐水泥	0.45~0.55	1.0	1.20	1.30	1.40
火山灰质硅酸盐水泥	0.45~0.55	1.0	1.15	1.25	1.30

通常混凝土一年后的抗压强度比值不会超过1.30, 在蒸汽养护的条件下当养护温度超过60℃时, 应不考虑后期强度的增长。

(二) 轴心抗压强度 R_a

现在来叙述试块形状对混凝土强度的影响。由于在实际工程中一般受压构件不是立方体, 构件的高度比宽度大得多, 因而立方体的抗压强度不能正确反映出实际构件的真实强度, 所以有必要研究轴心抗压强度。试验发现: 若试块为棱柱体, 其高度与边宽之比 h/b 越大, 则所得强度越低。这是因为试块高度增大后, 两端摩擦力对强度增加的影响就逐渐减弱。一般取 $h/b > 3$ 的试块所测得的抗压强度称为轴心抗压强度, 又称棱柱体强度, 用 R_a 表示。 R_a 值一般在 $(0.8 \sim 0.67)R$ 之间变动, R 越大, 则 $\frac{R_a}{R}$ 的值越小。根据我国大量试验的结果, 测得 R_a 值一般为 $0.81R$, 但考虑到试验中还存在一些误差, 以及试块与实际结构受力情况的差异, 为安全起见, 取用

$$R_a = 0.7R \quad (1-1)$$

轴心抗压强度 R_a 在计算轴心受压构件时采用。

(三) 弯曲抗压强度 R_w

钢筋混凝土梁受弯破坏时, 在中和轴以上受压区混凝土的应力分布图形呈曲线形, 受压区边缘达到最大应变值, 但最大的压应力不在受压边缘, 而在离受压区边缘约为受压区高度 $0.3 \sim 0.4$ 的地方 (图1-2)。由于应力分布图形比较复杂, 在计算中采用简化办法, 一般常假定受压区应力图形为矩形, 其应力称为弯曲抗压强度, 用 R_w 表示。 R_w 值确定的原则是: 假定在一个单筋受弯构件中, 受压区混凝土的计算受压面积 A_n 与 R_w 的乘积 D , 应等于受拉钢筋达到屈服极限时的总拉力 Z , 以及 Z 与 D 所组成的力矩等于梁破坏时的外力矩。按此原则决定的 R_w 值, 显然并不能由试验直接量测得到, 它只是一个假想的应力值。因此在国内外的计算中, 有取消 R_w 而以 R_a 代替的趋势。

弯曲抗压强度 R_w 是混凝土的一个重要强度指标。在钢筋混凝土受弯、大偏心受压、拉等构件中都要用到它。其值约为轴心抗压强度 R_a 的1.25倍, 即

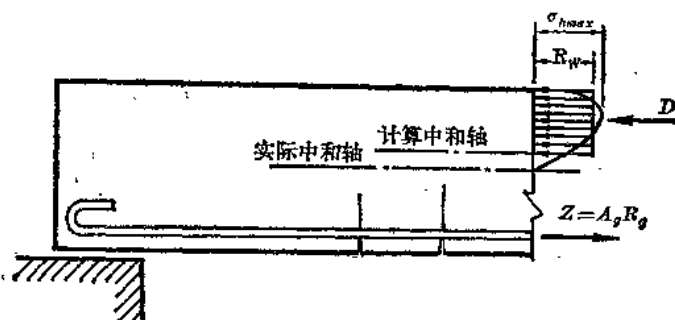


图 1-2

$$R_w = 1.25 R_a \quad (1-2)$$

低标号的混凝土， R_w 与标号 R 接近。强度较高的混凝土，则略低于 R 值。 R_w 值在 $(1.0 \sim 0.85) R$ 之间变化。

(四) 局部承压强度 R_c

混凝土局部承压时，具有较大的抗压强度，这是因为不承压的部分起着套层作用，阻止了直接受压部分横向扩张，因而提高了局部承压的强度。局部承压面积 A_c 与底面积 A_s 之比越小，则局部承压强度 R_c 越大。根据我国试验给出局部承压强度 R_c 的公式为

$$R_c = \omega \gamma R_a = \omega \sqrt{\frac{A_s}{A_c}} R_a \quad (1-3)$$

式中 ω ——荷载分布的影响系数。当局部承压面积上应力均匀分布时，取 $\omega = 1.0$ ；当局部承压面积应力非均匀分布时（如梁的支承面上），取 $\omega = 0.75$ ；

γ ——混凝土局部承压时的强度提高系数， $\gamma = \sqrt{\frac{A_s}{A_c}}$ 。其中 A_s 、 A_c 由图1-3所示的面积决定：在图1-3 a、b、g、h情况下 γ 不大于3；在图1-3 c、d情况下 γ 不大于1.5；图1-3 e、f情况下 γ 不大于1.25。

二、混凝土抗拉强度 R_t

混凝土轴心抗拉强度 R_t ，可采用如图1-4所示的轴心受拉试块进行测定。试块受拉截面尺寸为 10×10 厘米，标距长40厘米，测得其拉断时的拉力为 N ，则 $R_t = N/100$ ，以公斤/厘米²计。这样的试验方法所得出的 R_t 值与试块在拉力机上夹具对中的情况（即产生的偏心程度）有关，由于偏心的影响，一般所得的 R_t 值常比实际的 R_t 值略低。改变试块尺寸也将影响 R_t 值的测定值，通常试块截面尺寸加大则 R_t 值将降低。

轴心抗拉强度 R_t 比 R 小得多， R_t/R 在 $1/10 \sim 1/18$ 之间变动， R 越大比值越小。经验公式为

$$R_t = 0.5 R^{2/3} \quad (1-4)$$

建筑科学研究院及交通部铁道研究院的试验则给出

$$R_t = 0.58 R^{2/3} \quad (1-4a)$$

但考虑到实际施工与实验室数据的差异，在设计中一般仍采用式(1-4)所示的关系。

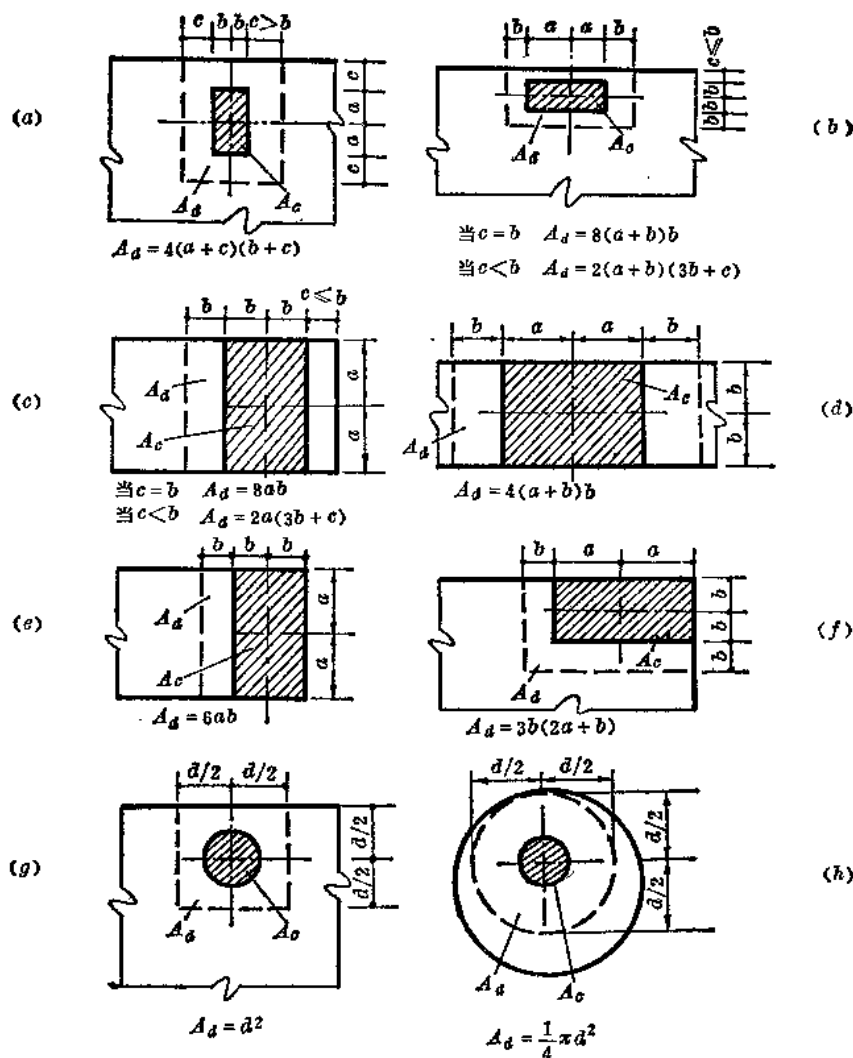


图 1-3

(a)为承压面积长边的一半；(b)为 A_c 短边的一半；(c)为矩形局部承压面积 A_c 的外缘至构件边缘的最小距离； $\frac{d}{2}$ 为圆形局部承压面积的圆心至构件边缘最小的距离

三、混凝土抗剪强度 R_f

混凝土承受纯剪的现象在实际结构中很少遇到，在试验中要求得正确的数据也是比较困难的。试验混凝土抗剪强度曾采用过下列两种方法：一种是如图1-5a所示的纯剪试验，以试件的横截面作为受剪面，设压力 P 为受剪的破坏荷载，则在每个受剪面的破坏剪力为 $P/2$ ；由此计算出它的抗剪强度 R_f 。另一种方式（图1-5b），在试验梁的最大剪应力面上人为地做了若干空隙；或浇试件时在最大受剪层放置若干纸片，将有效受剪面积减少，使梁发生受剪破坏，从而计算它的抗剪强度 R_f 。由前一种试验得出的 R_f 有时会很大，可

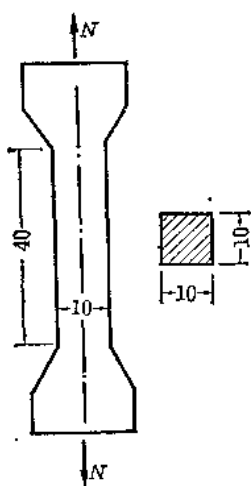


图 1-4

能大于 $0.4R$ ，由后一种试验得出的 R_f 值有时可能低于 $0.2R$ ，二者相差颇大。 R_f 的估计数值可采用下面的经验公式

$$R_f = 0.75\sqrt{R_a R_t} \approx 0.2R \quad (1-5)$$

四、水工建筑中混凝土标号的选择

水工建筑通常工程量较大，混凝土浇注后经过较长时间才承受设计荷载，所以在设计中根据建筑物的型式、地区的气候条件以及开始承受荷载的时间，也可采用60天、90天龄期的抗压强度。如果用180天龄期的后期强度时，应有必要的论证。对于工期较短以及截面较小的水工建筑物，不宜采用龄期过长的标号。

水利工程中常用的混凝土标号有R75、R100、R150、R200、R250、R300及R400七种。如试验时得出的强度

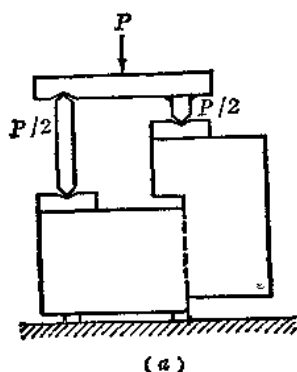
在两个相邻标号之间时，则应按较低一级处理。

水工钢筋混凝土或混凝土结构，往往具有尺寸大而应力低的特点，除有一定的技术要求外，一般可采用标号较低的混凝土。在大体积工程中，可采用R100~150。溢流面可用R200。水下钢筋混凝土结构，如挡水墙、水电站厂房的蜗壳、尾水管、水闸底板等，一般采用R150。工作平台、水闸工作桥、公路桥等可用R150~200。受力较大的结构，如连拱坝可采用R200或以上。R400以上的混凝土仅在特殊情况下并具有足够论证时才予采用。低于R100的混凝土，一般只用在填充体积及改善地基的地方。

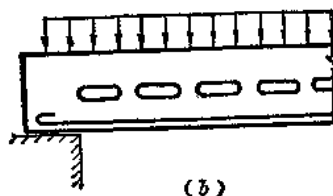
受弯构件常采用不低于R150的混凝土。轴心和偏心受压构件，其截面尺寸由强度控制者不宜低于R200，对于承受巨大负载的结构，如承受重型吊车的厂房柱子，则可用更高的标号。

薄壁结构的混凝土标号不宜低于R200，预应力混凝土结构的标号采用R300以上。

水上预制装配结构所用的混凝土标号，常不低于R200，一般可采用R200或R250。



(a)



(b)

图 1-5

第二节 混凝土的变形

混凝土的变形随加荷方式和荷载作用持续时间的不同,可分为初始变形(在初次短期荷载作用下的变形)和徐变(在长期荷载作用下的变形)。当其变形达到极限变形时,就会发生破坏。现分别介绍三种情况。

一、初始变形

图1-6表示一个混凝土棱柱体试件在初次短期轴心压力作用下的应力-应变关系曲线,在图上表示出应力为 σ_h 时其应变为 ϵ_h ,卸荷后应变由 ϵ_h 减至 ϵ_s ,只有 ϵ_e 恢复, ϵ_p 残留在试件上。 ϵ_e 称为弹性应变, ϵ_p 称为塑性应变,应力越大塑性性质就越显著。

上述试验说明,即使在初次加荷且时间较短的情况下,混凝土的初始变形也呈现出一定的塑性性质,其总变形是由弹性变形与塑性变形两部分组成的,这一点与均质弹性材料(例如钢材)是不同的。因此,应把混凝土看作弹塑性材料。

应该指出,只有在初次加荷时间极短、应力很小、塑性应变还来不及发生的情况下,应力与应变的关系才近似于直线,卸荷后,变形基本上能全部恢复。也就是说只有在这种情况下混凝土的变形才基本上是弹性变形。

混凝土在受拉时,也同样呈现出弹塑性。

二、徐变

混凝土在荷载的长期作用下,即使荷载不增加,变形也会随时间的增长而增加,这种现象称为徐变。图1-7是混凝土试件在持续荷载作用下,应变与时间的关系曲线。在开始

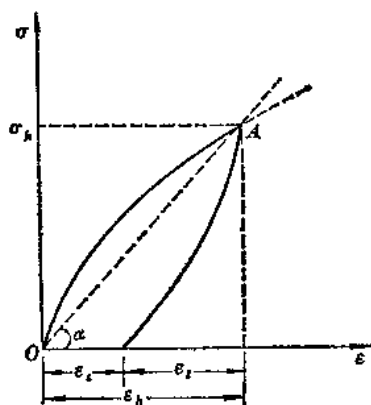


图 1-6

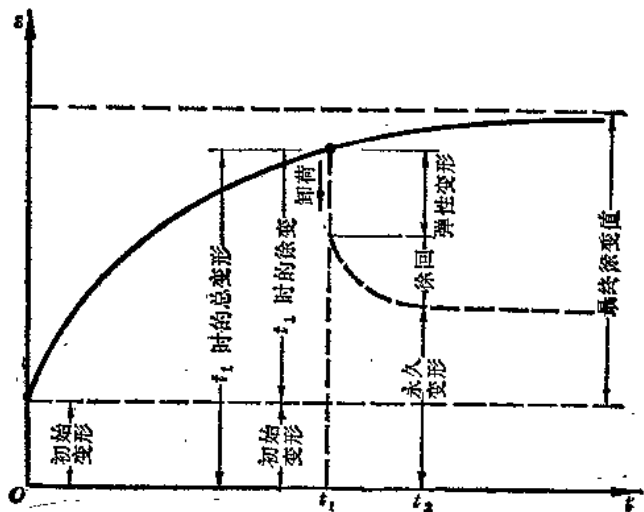


图 1-7

加荷的瞬间,试件就有一个变形,这个变形就是上述混凝土的初始变形。当荷载保持不变,在其持续作用下,变形会随时间不断增长。试验研究指出,混凝土的最终总变形可达初始瞬时的3~4倍,即最终徐变变形可达瞬时变形的2~3倍。如果至时间 t_1 时把荷载卸去,变形就会恢复一部分,如图1-7中虚线所示。在卸荷的瞬间,变形急速减小的部分是由混凝土弹性作用引起的,故它属于弹性变形,卸荷后在 t_1 与 t_2 一段时间内,变形还可以逐渐恢复一部分,称为徐回;剩下的变形不能再恢复,称为永久变形。

如果在龄期很短时就施加荷载,则初始变形中会有一部分永久凝缩变形存在。在干燥环境中还会产生干缩变形。因此真正的徐变值应是扣除干缩变形后的数值。

根据试验研究,混凝土徐变有如下规律:

(1) 加荷初期,变形增加很快,以后逐渐缓慢,但可以持续很久,约2、3年后有接近水平渐近线的趋势(图1-7)。

(2) 应力越大,徐变也越大。当应力低于 $0.5R_c$ 时,徐变与应力之间有线性关系;若应力大于 $0.5R_c$ 时,徐变的生长比应力增长为快(图1-8)。

(3) 混凝土标号越大,徐变越小。

(4) 加荷时混凝土的龄期越长,徐变越小(图1-9)。

(5) 在骨料与水泥的配合比相同的前提下,若加大水灰比,徐变也增大。

(6) 若水灰比相同,徐变随水泥浆用量加多而增大,这是因为徐变主要是由于混凝土中的水泥浆所引起的。

(7) 水泥品种对徐变也有影响,在水泥标号相同的前提下,用普通硅酸盐水泥制成的混凝土,其徐变比火山灰质或矿渣水泥制成的为大。

(8) 混凝土的养护环境对徐变也有很大影响,在水中结硬的混凝土,其徐变比空气

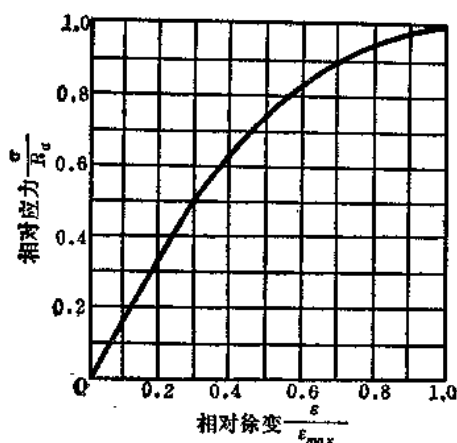


图 1-8

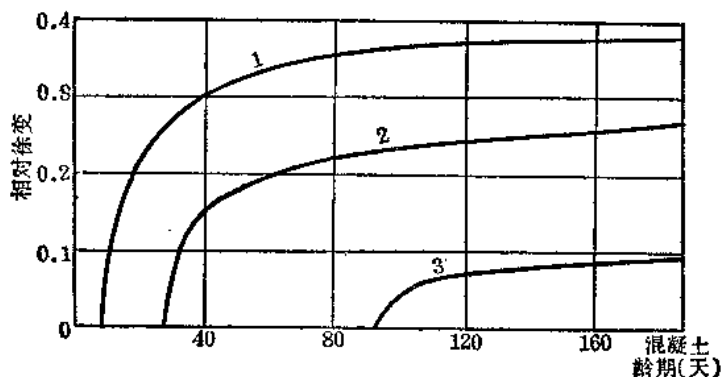


图 1-9 加荷时混凝土龄期与相对徐变的关系
1—7天后加荷, 2—28天后加荷, 3—90天后加荷

中结硬的为小。

混凝土的徐变对混凝土和钢筋混凝土结构有很大的影响。例如，在有利的方面，它能缓和钢筋混凝土内的应力集中现象；在温度变化时由于一部分温度变形转化为徐变，因此实际温度应力要比将混凝土当作弹性体计算出的温度应力的数值小得多。在不利的方面，它会使预应力混凝土结构引起大量预应力损失。徐变是比较复杂的，如何正确考虑它的影响是科学研究中的一个重要课题。

三、混凝土的极限变形

混凝土受压极限变形 ϵ_{hmax} 及受拉极限变形 ϵ_{tmax} ，除与混凝土本身性质有关外，还与试验的方法，特别是与荷载的持续时间有关。

试验指出：混凝土的受压极限变形为0.8~3.0毫米/米（ $\epsilon_{hmax}=0.0008\sim0.003$ ）。混凝土标号增大时 ϵ_{hmax} 减小；快速加荷时 ϵ_{hmax} 也减小。计算时，根据加荷速度及混凝土的塑性性质 ϵ_{hmax} 可取0.0015~0.002。

混凝土受拉极限变形（极限拉伸值） ϵ_{tmax} 比 ϵ_{hmax} 小得多，仅为后者的1/10~1/20。普通标号的混凝土， ϵ_{tmax} 值一般不超过0.00017，计算时可取0.0001。

养护条件对混凝土的受拉极限变形的影响很大。在潮湿环境中（包括在水中）养护的要比干燥环境中养护的大50%左右。因此，为了提高构件的抗裂性，认真养护是极为重要的。

早期强度高的混凝土，其 ϵ_{tmax} 一般要比早期强度低的为小。矿渣水泥的混凝土早期强度低而后期强度高，其 ϵ_{tmax} 要比普通硅酸盐水泥的混凝土为大。

提高混凝土的 ϵ_{tmax} 值，对于提高建筑物的抗裂性能和减小裂缝宽度都能起积极作用。提高混凝土的强度和密实性可以提高它的受拉极限变形值。

第三节 混凝土的弹性模量

在决定超静定结构构件的内力、钢筋混凝土构件的抗裂度和变形验算、计算构件截面的材料应力以及温度应力时，都要用到混凝土的弹性模量。

无论是受压或受拉，在一般荷载下，混凝土变形的增长比应力增长为快，应力-应变关系是曲线（图1-10），它不服从虎克定律。所以混凝土的变形模量不是弹性模量，而是包括塑性变形在内的弹塑性模量。

只有在加荷很快或应力很低，混凝土仅发生弹性应变 ϵ_t ，还来不及发生塑性应变 ϵ_s 的条件下，应力-应变才有直线关系。这时相应的变形模量称为初始弹性模量，可用下式表示

$$E_h = \frac{\sigma_h}{\epsilon_t} \quad (1-6)$$

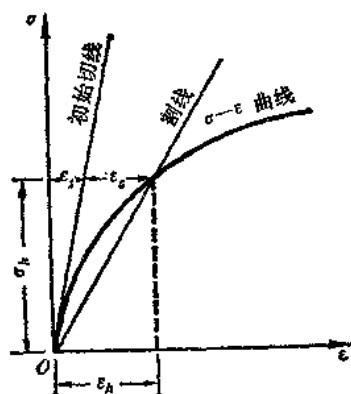


图 1-10

初始弹性模量是代表混凝土的真正弹性模量,当混凝土标号一定时它是常值,与应力大小无关。但一次加荷测得的初始弹性模量,由于测试技术上的原因,所得结果很不稳定。因此建筑科学研究院规定的测定方法是:在压应力为 $0 \sim 0.5R_a$ 之间反复加荷 $5 \sim 6$ 次,以消除其塑性变形影响的办法来求得的。第一次加荷至 $0.1R_a$,然后卸荷,再加荷至 $0.1R_a$,如此反复 $5 \sim 6$ 次。以后加荷依次递增 $0.1R_a$ ($0.2 \sim 0.5R_a$),每次加荷、卸荷各反复 $5 \sim 6$ 次。最后按 $\sigma_h = 0.5R_a$ 时测得的变形 ε_h 值,作为确定弹性模量 $E_h = \sigma_h / \varepsilon_h$ 的根据。

建筑科学研究院对混凝土弹性模量做了大量试验,提出的经验公式为

$$E_h = \frac{10^9}{2.2 + \frac{330}{R}} \quad (1-7)$$

按上式计算的弹性模量 E_h 值列在表1-2内,以备设计时查用。

表 1-2 混凝土弹性模量 E_h (公斤/厘米²)

项 次	混凝土标号	弹性模量
1	75	1.55×10^5
2	100	1.85×10^5
3	150	2.30×10^5
4	200	2.60×10^5
5	250	2.85×10^5
6	300	3.00×10^5
7	400	3.30×10^5
8	500	3.50×10^5
9	600	3.65×10^5

根据原水利水电科学研究院的试验资料,认为混凝土受拉弹性模量与受压弹性模量大致相等,其比值为 $0.82 \sim 1.12$,平均为 0.995 。因此计算中受压与受拉的弹性模量可取同一数值。

当应力较大时,混凝土的塑性变形就比较显著,此时再用表1-2中的 E_h 就不合适,而应取用弹塑性模量 E'_h 来计算。

弹塑性模量是应力 σ_h 与总变形 ε_h 的比值, $\varepsilon_h = \varepsilon_e + \varepsilon_p$ 是由弹性变形 ε_e 和塑性变形

ε_p 两部分组成的。引入弹性特征 $\nu = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_h}$ 后可得

$$E'_h = \frac{\sigma_h}{\varepsilon_h} = \frac{\nu \sigma_h}{\varepsilon_e} = \nu E_h \quad (1-8)$$

式中 E_h ——混凝土的弹性模量,可按表1-2查用;

ν ——随应力大小及荷载持续时间而异, ν 的数值在 $0.5 \sim 0.2$ 之间变化。受拉的弹性特征 ν 的数值在应力达到 R_t 时可取 0.5 。

混凝土的剪切模量 G_h 可由理论关系求得:

$$G_h = \frac{E_h}{2(1 + \mu)} \quad (1-9)$$

式中 μ ——混凝土的泊桑比,一般由试验确定。当无试验资料时,计算中可取 $\mu = \frac{1}{6}$,

因此 $G_h = 0.425 E_h$ 。

第四节 混凝土的温度变形、容重及水工混凝土的技术要求

一、混凝土的温度变形

混凝土体积随温度变化而变化,其线温度膨胀系数 α 随骨料性质及配合比而异,约在