

城乡建设电视中专教材

建 筑 结 构

上 册

郭 继 武 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

前 言

本书是根据城乡建设电视中专“建筑施工与管理”专业一九八六级教学计划的要求编写的教材。全书分上、下两册。上册包括钢筋混凝土材料性能，概率极限状态设计法，受弯、受压、受拉、受扭构件强度计算，钢筋混凝土构件变形和裂缝的计算，以及预应力混凝土构件的计算。下册包括整体式钢筋混凝土楼盖设计，砌体结构及钢木结构。

在编写本书时，力求做到由浅入深，循序渐近，少而精和理论联系实际的原则。为了便于读者掌握本书内容，每章均附有例题、思考题和习题。供读者参考。

本教材是参照我国《建筑结构设计统一标准》（GBJ68—84）和新修订的有关结构设计规范（送审稿）编写的。由于这些规范目前尚未最后定稿，本教材与正式颁布的规范可能有不一致之处。所以，工程设计应以规范内容为准。

本书由广州建筑工程学校庄广行同志主审。

由于编写本教材时间仓促，同时限于编者的水平，书中可能有不少缺点和错误，请使用本教材的老师 and 读者给予批评和指正。

编 者

1987年元月于北京

目 录

绪 论..... 1	§ 3-9 纵向受力钢筋的切断 与弯起.....80
§ 0-1 建筑结构的分类及其 应用范围..... 1	§ 3-10 受弯构件内钢筋构造要求 的补充82
§ 0-2 建筑结构课程的内容和 学习要求..... 5	第四章 受压构件强度计算88
第一篇 钢筋混凝土结构	§ 4-1 概述.....88
第一章 钢筋混凝土材料的 力学性能 6	§ 4-2 轴心受压构件.....89
§ 1-1 混凝土的力学性能..... 6	§ 4-3 偏心受压构件.....93
§ 1-2 钢筋的种类及其力学性能.....12	第五章 受拉构件强度计算109
§ 1-3 钢筋与混凝土之间的粘结.....17	§ 5-1 概述109
第二章 钢筋混凝土结构概率 极限状态设计法20	§ 5-2 轴心受拉构件强度计算109
§ 2-1 结构的功能及其极限状态.....20	§ 5-3 偏心受拉构件强度计算110
§ 2-2 结构安全度应用概率论的 基本知识.....21	第六章 受扭构件强度计算116
§ 2-3 极限状态设计法.....26	§ 6-1 概述116
第三章 受弯构件截面强度 计算.....36	§ 6-2 纯扭构件强度计算116
§ 3-1 概述.....36	§ 6-3 剪扭和弯扭构件强度计算121
§ 3-2 梁、板的一般构造.....37	§ 6-4 钢筋混凝土弯剪扭构件 强度计算124
§ 3-3 受弯构件正截面强度的 试验研究.....40	第七章 钢筋混凝土构件的 变形和裂缝计算130
§ 3-4 单筋矩形截面受弯构件正截面 强度计算的基本理论.....43	§ 7-1 受弯构件变形的计算130
§ 3-5 单筋矩形截面受弯构件正截面 强度计算.....51	§ 7-2 钢筋混凝土构件裂缝宽度 的计算138
§ 3-6 双筋矩形截面受弯构件正截面 强度计算.....56	第八章 预应力混凝土构件 的计算144
§ 3-7 T形截面受弯构件正截面 强度计算.....61	§ 8-1 预应力混凝土的基本原理144
§ 3-8 受弯构件斜截面强度计算.....68	§ 8-2 预加应力的方法145
	§ 8-3 预应力混凝土的材料146
	§ 8-4 张拉控制应力147
	§ 8-5 预应力损失及其组合148
	§ 8-6 预应力混凝土轴心受拉构件 的应力分析154
	§ 8-7 预应力混凝土轴心受拉构件 使用阶段的验算161

§ 8-8 预应力混凝土轴心受拉构件	§ 8-12 预应力混凝土受弯构件
施工阶段的验算163	变形的验算180
§ 8-9 预应力混凝土受弯构件的	§ 8-13 预应力混凝土受弯构件
应力分析169	施工阶段的验算182
§ 8-10 预应力混凝土受弯构件	§ 8-14 预应力混凝土构件
使用阶段强度计算172	构造要求184
§ 8-11 预应力混凝土受弯构件	附 录194
使用阶段抗裂度验算177	参考文献202

绪 论

§ 0-1 建筑结构的分类及其应用范围

在房屋建筑中，由构件组成的能承受“作用”的体系，叫做建筑结构。这里的“作用”是指施加在结构上的荷载（如恒载、活荷载等）或引起建筑结构外加变形或约束变形的原因（如地震、基础沉降、温度变化等）。前者称为直接作用；后者称为间接作用。

建筑结构可按所用的材料和承重结构的类型来分类。

一、按所用材料来分

（一）钢筋混凝土结构

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料构成的。钢筋混凝土结构应用范围十分广泛，除工业与民用建筑，如多层与高层住宅、旅馆、办公楼、大跨的大会堂、剧院、展览馆和单层工业厂房等采用钢筋混凝土建造外，其它特种结构，如烟囱、水塔、水池等，也多采用钢筋混凝土建造。

钢筋混凝土结构之所以应用这么广泛，是由于它具有以下一些优点：

1. 强度高。钢筋混凝土的强度很高，适于做各类承重结构，近代许多高层建筑，都是采用钢筋混凝土建造的。

2. 耐久性好。因为钢筋包裹在混凝土内，在正常情况下，它可长期保持不锈，而混凝土的强度又能随龄期的增长还有所增加。因此，钢筋混凝土结构耐久性极好，几乎不必维修。

3. 可模性好。根据工程的需要，可制成各种形状的结构和结构构件，这样，就给选择合理的结构形式提供了有利条件。

4. 耐火性好。混凝土材料耐火性能是比较好的。钢筋在混凝土保护层的保护下，在发生火灾后的一定时间内，不致很快达到软化温度而导致结构破坏。

5. 可就地取材。钢筋混凝土除钢筋和水泥外，所需大量砂石材料，可就地取材，便于组织运输，为降低工程造价提供了有利条件。

6. 抗震性能好。钢筋混凝土结构因为整体性较好，具有一定的延性^①，在地震烈度较高的地区，常采用钢筋混凝土建造层数较多的建筑以及烟囱、水塔等。

钢筋混凝土除具有上述优点外，也还存在着一些缺点，如自重大，抗裂性能差，现浇时耗费模板多、工期长等。随着生产和科学技术的发展，钢筋混凝土的这些缺点正逐步得到克服。如采用轻骨料混凝土，以减轻混凝土的自重，采用预应力混凝土提高构件的抗裂性，以及采用预制钢筋混凝土构件克服模板耗费多和工期长等缺点。

（二）砌体结构

砌体结构是指用普通粘土砖、承重粘土空心砖（简称空心砖）、硅酸盐砖、混凝土中

① 结构受力后允许变形的能力。

小型砌块、粉煤灰中小型砌块，或料石和毛石等块材通过砂浆砌筑而成的结构。

目前，古代遗留下来的砖石砌体结构很多。如驰名中外的万里长城；隋代李春所建的河北赵县的安济桥；南北朝时建的河南登封嵩岳寺塔等。这些砖石砌体建筑的高超技艺说明了我国劳动人民的智慧，他们对砖石砌建筑的发展作出了伟大的贡献。

砌体结构有就地取材、造价低廉、耐火性能好以及容易砌筑等优点。因此，在工业与民用建筑中获得了广泛的应用。在现代建筑中，除用于单层和多层建筑外，在特种结构中，如烟囪、水塔、小型水池，和重力式挡土墙等也广泛应用砌体结构。

砌体结构除具有上述一些优点外，还存在着自重大、强度低、抗震性能差等缺点。

（三）钢结构

钢结构是由钢材制成的结构。它的主要优点是，强度高、重量轻、质地均匀，以及制作简单，运输方便等。

钢材是国民经济各部门不可缺少的材料，必须最大限度地节约钢材。因此，在工程建设中应当按照合理使用，充分发挥其优点的原则来利用钢材。目前，钢结构多用于工业与民用建筑屋盖结构、重工业厂房、高耸结构的广播电视发射塔架等。

钢结构的主要缺点是，容易锈蚀，维修费用高，耐火性能差等。

（四）木结构

木结构是指全部或大部用木材制成的结构。由于木结构具有就地取材、制作简单，便于施工等优点，所以，过去在一般工业与民用建筑中应用颇为广泛。近年来，由于我国社会主义建设事业的发展，木材用量与日俱增，而其产量又受到自然生长条件的限制，因此，大量节约木材对我国社会主义建设具有十分重要的意义。国务院曾颁发了《节约木材暂行条例》，详细阐述了节约木材的意义，并规定在基本建设方面应尽量少用木结构。因此，目前在大中城市的房屋建筑中已很少采用木结构，只在林区和农村的房屋建筑中还有应用。

木结构有易燃、易腐和结构变形大等缺点，因此，在火灾危险性大或周围环境温度高的建筑中，以及在经常受潮且不易通风的生产性房屋中，均不宜采用木结构。

二、按承重结构类型来分

（一）砖混结构

砖混结构是指由砌体结构构件和其它材料制成的构件所组成的结构。例如，竖直承重构件用砖墙、砖柱，而水平承重构件用钢筋混凝土梁、板所建造的结构，就属于砖混结构。

由于砖混结构具有就地取材，施工方便，造价便宜等优点，所以，砖混结构在我国城市和广大农村应用颇为广泛。它多用于六层以下的住宅、旅馆、办公楼、教学楼以及单层工业厂房中。

（二）框架结构

框架结构是由纵梁、横梁和柱组成的结构。目前，我国框架结构多采用钢筋混凝土建造。

框架结构具有建筑平面布置灵活，可任意分割房间，容易满足生产工艺和使用要求。它既可用于大空间的商场、工业生产车间、礼堂、食堂，也可用于住宅、办公楼、医院、学校建筑。因此，框架结构在单层和多层工业与民用建筑中获得了广泛应用。

框架结构比砖混结构有较高的强度，较好的延性和整体性，因此其抗震性能较好。

· 框架结构超过一定高度后，其侧向刚度将显著减小。这时，在风荷载或地震作用下，其侧向位移较大。因此，框架结构多用于10层以下建筑，个别也有超过10层的。如北京长城饭店采用的就是18层钢筋混凝土框架结构（图0-1）。



图 0-1 北京长城饭店

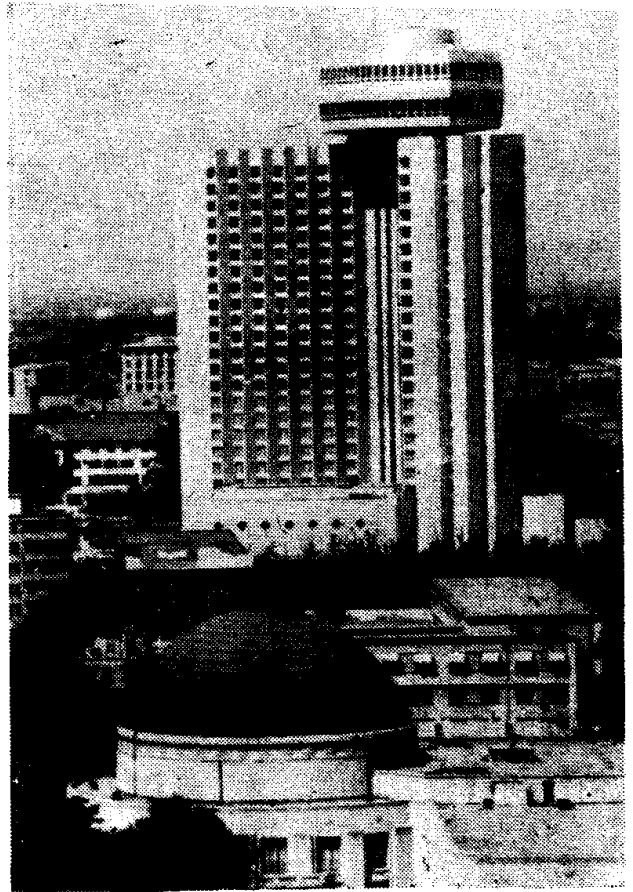


图 0-2 北京西苑饭店

（三）框架-剪力墙结构

计算表明，房屋在风荷载或地震作用下，靠近底层的承重构件的内力（弯矩 M ，剪力 Q ）和房屋的侧向位移随房屋高度的增加而急剧增大。因此，当房屋高度超过一定限度后，再采用架框结构，框架梁柱尺寸就会很大，这样，房屋造价不仅增加，而且建筑使用面积也会减少。在这种情况下，通常采用框架-剪力墙结构。

框架-剪力墙结构是在框架纵、横方向的适当位置，在柱与柱之间设置几道厚度大于12cm厚的钢筋混凝土墙体而成的。由于在这种结构中剪力墙平面内的侧向刚度比框架的侧向刚度大得多，所以，在风荷载或地震作用下产生的剪力主要由剪力墙来承受，一小部分剪力由框架承受，而框架主要承受竖向荷载。由于框架-剪力墙结构充分发挥了剪力墙和框架各自的优点，因此，在高层建筑中采用框架-剪力墙结构比框架结构更经济合理。

18层、高80.55m的北京饭店东楼，采用的就是框架-剪力墙结构。

（四）剪力墙结构

剪力墙结构是由纵、横向的钢筋混凝土墙所组成的结构。这种墙体除抵抗水平荷载和竖向荷载作用外，还对房屋起围护和分割作用。这种结构适用于高层住宅、旅馆等建筑。因为剪力墙结构的墙体较多，侧向刚度大，所以它可以建得很高。目前，我国剪力墙结构多用于12~30层住宅、旅馆建筑中。图0-2所示为高93m、23层的北京西苑饭店采用的就是剪力



图 0-3 北京复兴门外住宅群

墙结构。图0-3为北京复兴门外剪力墙住宅群。

（五）筒体结构

随着房屋层数的进一步增加，结构需要具有更大的侧向刚度，以抵抗风荷载和地震的作用，因而出现了筒体结构。

筒体结构是用钢筋混凝土墙围成侧向刚度很大的筒体，其受力特点与一个固定于基础上的筒形悬臂构件相似。为了满足采光的要求，在筒壁上开有孔洞，这种筒叫做空腹筒或框筒。当建筑物高度更高，侧向刚度要求更大时，可采用筒中筒结构。这种筒体由空腹外筒和实腹内筒组成，内外筒之间用自身平面内刚度很大的楼板相联系，使之共同工作，形成一个空间结构。

筒体结构多用于高层或超高层（高度 $H \geq 100\text{m}$ ）公共建筑中，如饭店、银行、通讯

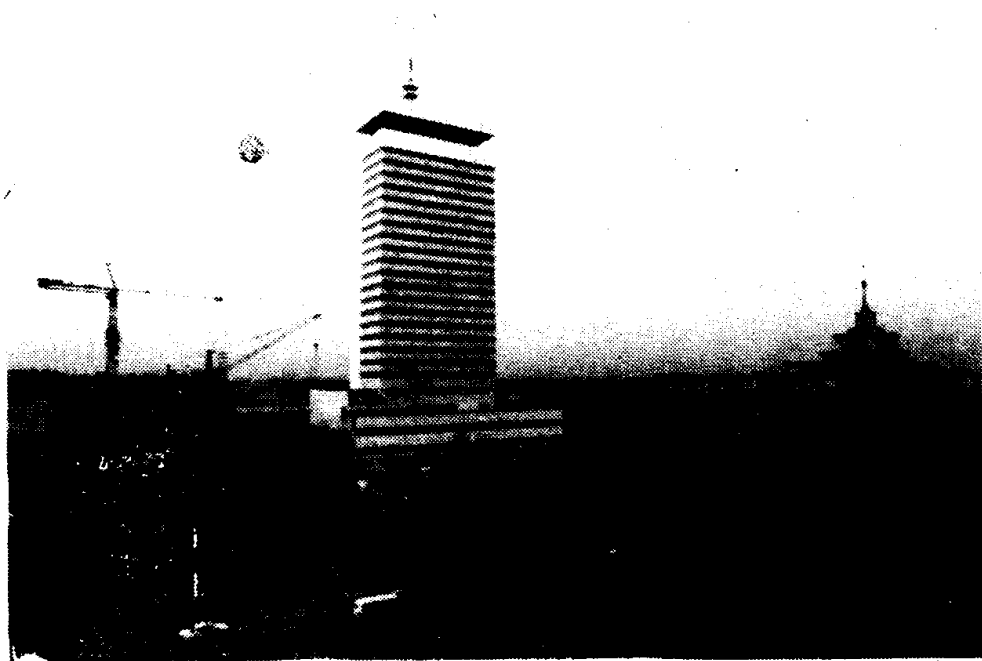


图 0-4 中央彩电中心大楼

大楼等。北京中央彩电中心大楼（26层，高107m）采用的就是筒中筒结构（图0-4）。

（六）大跨结构

大跨结构是指在体育馆、大型火车站、航空港等公共建筑中所采用的结构。在这种结构中，竖向承重结构构件多采用钢筋混凝土柱、屋盖采用钢网架、薄壳或悬索结构等。近十几年来，由于电子计算机的迅速推广和应用，使钢网架的内力分析从冗繁的计算中解放出来，从而钢网架也就获得了广泛的应用。据不完全统计，截至1984年为止，已建成的建筑达300万平方米。我国首先采用钢网架的建筑是北京首都体育馆，它的屋盖宽度99m，长度达112.2m，用钢量仅为 65kg/m^2 。嗣后，上海体育馆、福州体育馆、南京体育馆等也相继采用了这一新的屋盖体系。

§0-2 建筑结构课程的内容和学习要求

建筑结构包括以下几部分内容：

一、钢筋混凝土结构

这部分内容主要叙述混凝土、钢材的基本力学性质，钢筋混凝土结构按概率极限状态的设计方法，钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件的计算和一般构造要求。学生学完《钢筋混凝土结构》后，能进行一般工业与民用房屋结构构件的选型与计算和绘制施工图；同时能处理和解决与施工和工程质量有关的结构问题。

二、砌体结构

叙述砌体结构的基本计算原理、材料的力学性质、砌体结构构件及砖混结构房屋的设计与计算。要求能进行单层及多层砖混结构房屋的受力分析及设计与计算。

三、钢木结构

讲述钢结构与木结构计算的基本原理。材料的受力性能，钢、木结构构件的连接与计算。掌握钢、木屋盖的构造和计算方法，能设计钢屋盖与木屋盖，并能绘制施工图。

建筑结构课程的一些内容是根据我国《建筑结构设计统一标准》（GBJ68—84）及有关建筑结构设计规范（送审稿）编写的。这些设计规范反映了我国三十多年来建筑结构科学研究成果和工程实践经验，它是贯彻国家技术经济政策，提高设计质量，加快设计速度，达到设计标准化、统一化的保证，是工程设计人员进行设计的重要依据。因此，我们必须熟悉规范，学会正确地使用规范。

本课程是《建筑施工与管理》专业的专业课程之一。它与工程实践联系十分密切，在学习时要特别注意理论联系实际，注意公式的适用范围，同时，要抓住重点，弄清基本概念，掌握基本计算原理，学会分析问题和解决问题的方法，提高处理工程问题的能力。

思 考 题

0-1 什么叫做建筑结构？什么叫做结构上的“作用”？

0-2 简述建筑结构的分类及其应用范围。

第一篇 钢筋混凝土结构

第一章 钢筋混凝土材料的力学性能

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种受力性质不同的材料组成的。为了掌握钢筋混凝土受力特征和设计计算原理，必须了解钢筋和混凝土的力学性能。

§1-1 混凝土的力学性能

一、混凝土的强度

(一) 立方体抗压强度

按照标准方法制作养护的边长为150mm的立方体试块(图1-1a)，在28天龄期，用标准试验方法测得的抗压强度，叫做立方体抗压强度。用符号 f_{cu} 表示。

根据混凝土立方体抗压标准强度^①的数值，我国《混凝土结构设计规范》(送审稿)规定^②，混凝土强度等级分为10级：C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50和C60(其中C表示混凝土，C后面的数字表示立方体标准强度大小，单位为N/mm²)。

钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于C15；当采用Ⅱ级钢筋(钢筋的种类参见§1-2)时，混凝土强度等级不宜低于C20；当采用Ⅲ级钢筋以及对承受重复荷载的构件，混凝土强度等级不得低于C20。

预应力混凝土结构的混凝土强度等级不得低于C30；当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于C40。

试块放在压力机上下垫板加压时，试块纵向受压缩短，而横向将扩展。由于压力机垫板与试块上下表面之间的摩擦力的影响，它好象“箍”一样，将试块上下端箍住(图1-1b)，阻碍了试块上下端的变形，而试块中间部分“箍”的影响减小，混凝土比较容易发生横向变形。随着荷载的增加，试块中间部分的混凝土首先鼓出而剥落，形成对顶的两个角锥体，其破坏形态如图1-1c所示。

试块尺寸不同，试验时试块上下表面摩擦力产生箍的作用亦将不同，根据大量试验结果的统计规律，对于边长为非标准立方体试块，其抗压强度应乘以下列换算系数，以换算成标准立方体强度。

200×200×200mm的立方体试块——1.05；

100×100×100mm的立方体试块——0.95。

(二) 轴心抗压强度 f_c

在工程中，钢筋混凝土轴心抗压构件，如柱、屋架受压弦杆等，它的长度比其截面尺

① 标准强度是指在正常情况下，可能出现的最小材料强度。确定方法参见§2-3。

② 以下简称《规范》。

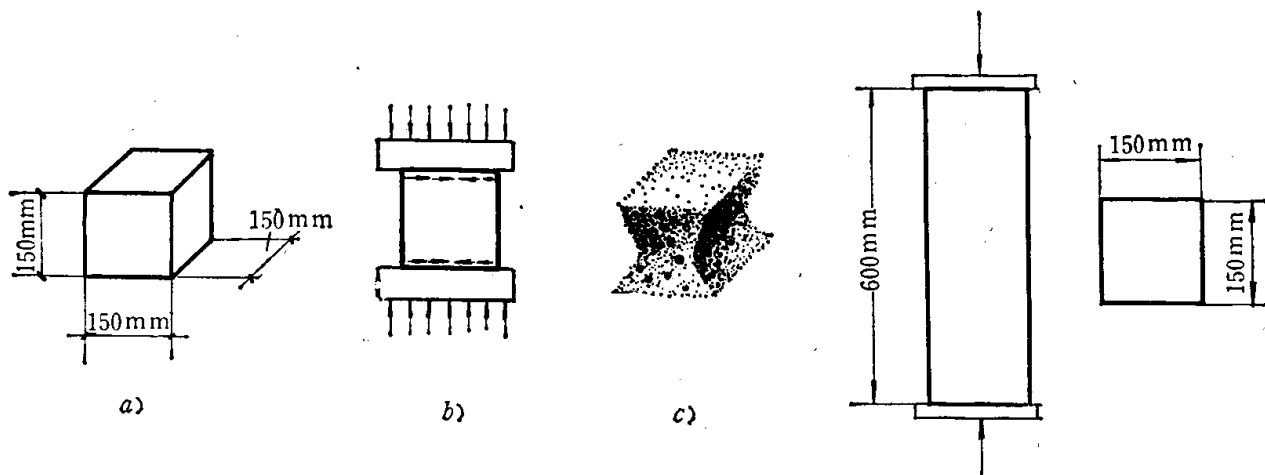


图 1-1

图 1-2

寸大得多，因此，钢筋混凝土轴心受压构件中混凝土的强度，与混凝土棱柱体轴心抗压强度接近。所以，在计算这类构件时，混凝土强度应采用棱柱体轴心抗压强度（简称轴心抗压强度）。

混凝土轴心抗压强度，是按照标准方法制作养护的截面为150×150mm、高600mm^①的棱柱体（图1-2），经28天龄期，用标准试验方法测得的强度。用符号 f_c 表示。

我国近年来所作的394组棱柱体抗压试验结果如图1-3所示。由图可以看出，轴心抗压强度 f_c 的平均值 μ_{f_c} 与立方体抗压强度 f_{cu} 的平均值 $\mu_{f_{cu}}$ 的关系大致成线性关系，其关系式可写成：

$$\mu_{f_c} = 0.76 \mu_{f_{cu}} \tag{1-1}$$

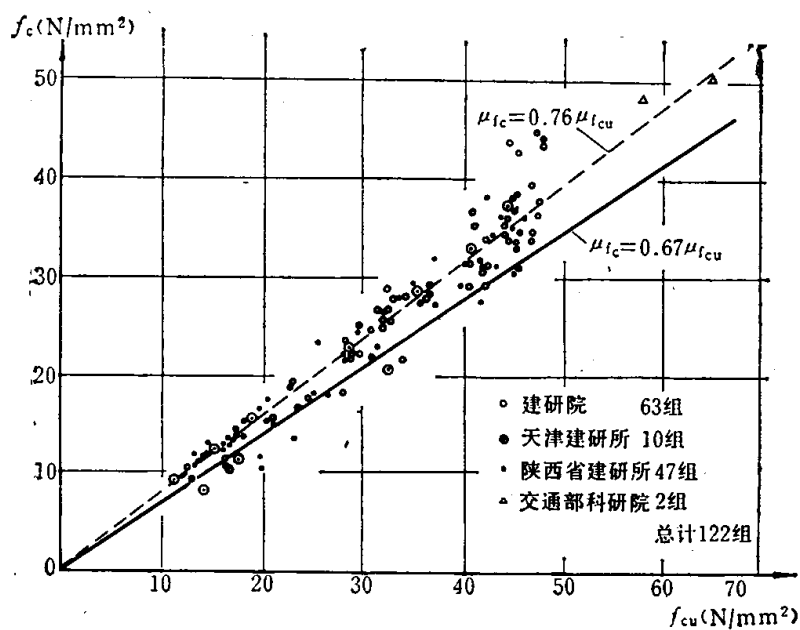


图 1-3

考虑到结构中混凝土强度与试件强度之间的差异，根据以往的经验，并结合试验数据分析，为安全计，对试件强度乘以修正系数 0.88，则结构中混凝土轴心抗压强度平均值

① 棱柱体也有采用100×100×300mm或其它尺寸的。

取成

$$\mu_{t_c} = 0.88 \times 0.76 \mu_{t_{cu}} = 0.67 \mu_{t_{cu}} \tag{1-2}$$

由于强度等级为C50和C60的混凝土，在受压破坏时，有明显的脆性性质，故按式(1-2)计算它们的轴心抗压强度平均值后，应再分别乘以强度降低系数0.95和0.90。

(三) 轴心抗拉强度 f_t

在计算钢筋混凝土和预应力混凝土构件的抗裂度和裂缝宽度时，要应用轴心抗拉强度。

目前，轴心抗拉强度的试验方法很多，我国《规范》是采用如图1-4所示的标准构件进行试验的。试件用一定尺寸的钢模浇筑而成，两端预埋直径为20mm的螺纹钢筋，钢筋轴线应与构件轴线重合。试验机夹具夹紧两端钢筋，使构件均匀受拉。当构件破坏时，构件截面上的平均拉应力即为混凝土的轴心抗拉强度。用 f_t 表示。

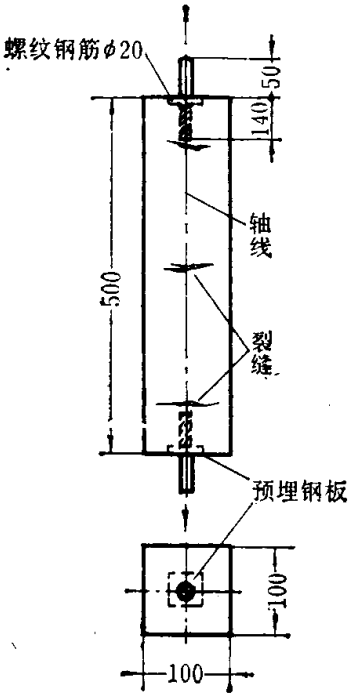


图 1-4

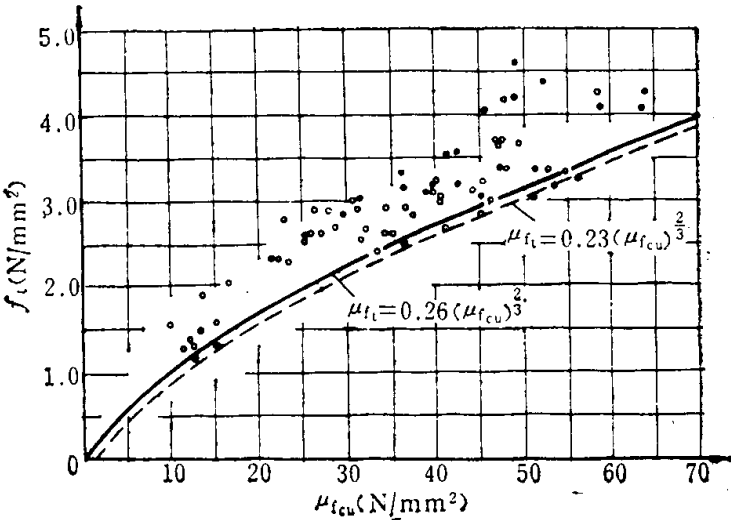


图 1-5

我国近年来进行的72组轴心抗拉试验结果绘于图1-5中。由图可以看出，轴心抗拉强度的平均值 μ_{f_t} 与混凝土立方体强度的平均值 $\mu_{t_{cu}}$ 之间呈曲线关系，其表达式可写成

$$\mu_{f_t} = 0.26 (\mu_{t_{cu}})^{2/3} \tag{1-3}$$

考虑到与轴心抗压强度相同的原因，按式(1-3)求得混凝土的轴心抗拉强度平均值也应乘以强度修正系数0.88，于是，

$$\mu_{f_t} = 0.88 \times 0.26 (\mu_{t_{cu}})^{2/3} = 0.23 (\mu_{t_{cu}})^{2/3} \tag{1-4}$$

同样，对于强度等级高的C50和C60的混凝土，考虑到其破坏时的脆性性质，亦应按式(1-4)求得的结果分别乘以强度降低系数0.95和0.9。

二、混凝土的弹性模量和变形模量

在计算钢筋混凝土构件的变形和预应力混凝土构件截面的预压应力时，需要应用混凝土的弹性模量。但是，在一般情况下，混凝土的应力和应变关系呈曲线变化（图1-6），

因此，混凝土的弹性模量不是一个常量。这样，我们就会提出：怎样定弹性模量，以及如何取值的问题。

在工程计算中，我们要确定两种模量：

(一) 混凝土原点弹性模量

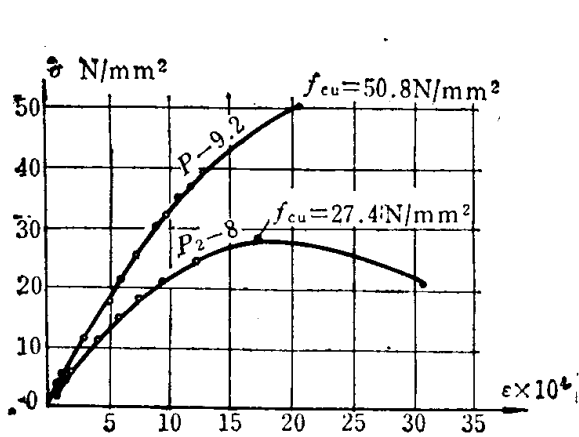


图 1-6

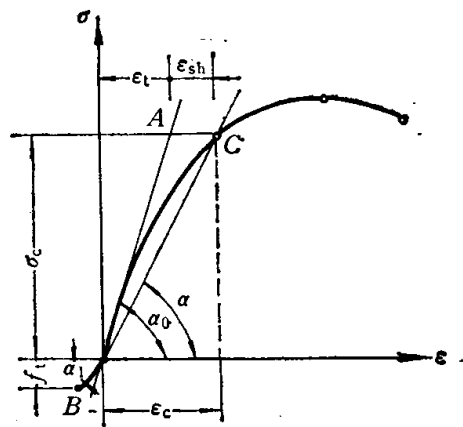


图 1-7

通过一次加载的混凝土棱柱体 σ - ϵ 关系曲线原点的切线斜率，称为原点弹性模量，以 E_c 表示，由图1-7可以看出：

$$E_c = \operatorname{tg} \alpha_0 \tag{1-5}$$

式中 E_c ——原点弹性模量，简称弹性模量；

α_0 ——混凝土 σ - ϵ 曲线在原点处的切线与横轴的夹角。

但是 E_c 的准确值不易从一次加载 σ - ϵ 曲线上求得。我国《规范》中规定的 E_c 数值是在重复加载的 σ - ϵ 曲线求得的：试验采用棱柱体试件，选取应力 $\sigma = 0.5f_c$ ，反复加载5~10次，由于混凝土为弹塑性材料，每次卸载至零时，变形不能完全恢复，尚存有塑性变形，随着荷载重复次数的增加，其塑性变形将逐渐减小。试验表明，当重复加载次数达5~10次后，塑性变形已基本稳定， σ - ϵ 关系基本上接近直线（图1-8），并平行于相应于原始弹性模量的切线。因此，我们可以取重复加载5~10次后， $\sigma = 0.5f_c$ 时 σ - ϵ 直线的斜率作为混凝土弹性模量 E_c 取值的依据。

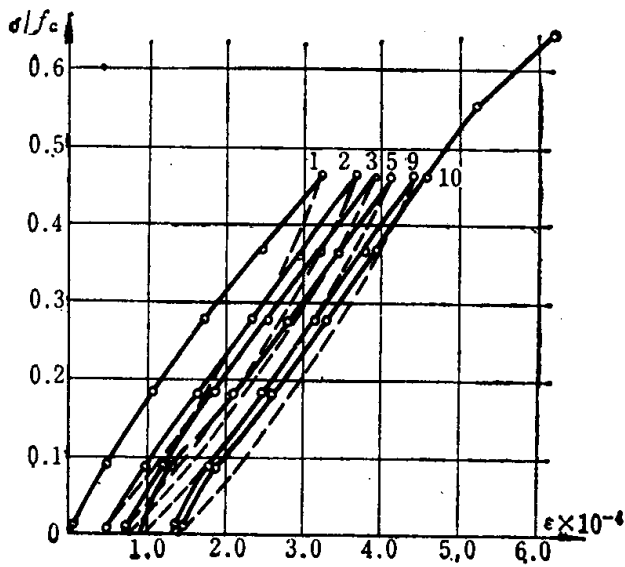


图 1-8

我国《规范》对不同强度等级的混凝土所做的试验结果，如图1-9所示，并给出弹性模量计算公式：

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu}}} \tag{1-6}$$

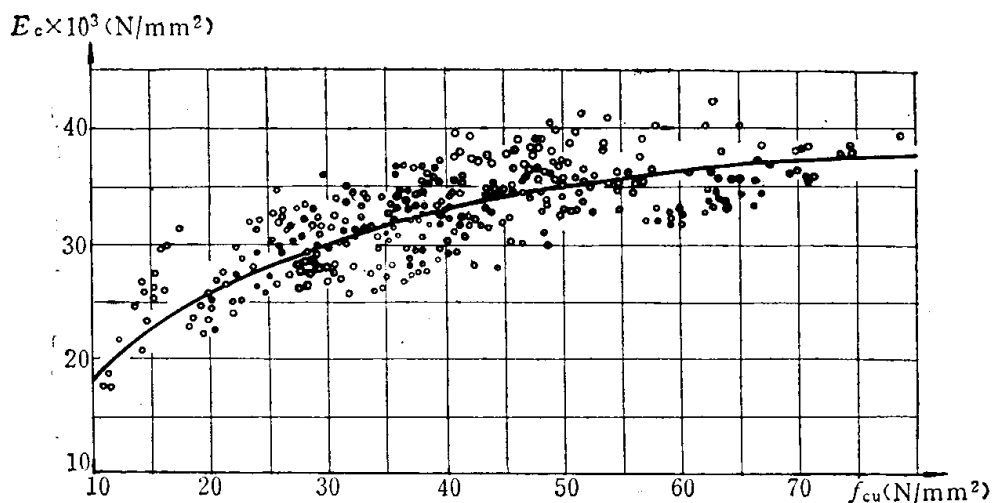


图 1-9

式中 E_c ——混凝土弹性模量 (N/mm^2)；

f_{cu} ——混凝土立方体标准抗压强度 (N/mm^2)。

根据式 (1-6) 所求得的不同强度等级的混凝土弹性模量参见附录表3。

同时, 混凝土的剪切模量 G_c 可以取为

$$G_c = 0.4E_c \quad (1-7)$$

(二) 混凝土的变形模量

当应力 σ 较大, 超出 $0.5f_c$ 时, 弹性模量 E_c 已不能反映这时的 σ 和 ϵ 之间的性质, 为此, 我们给出变形模量的概念。 σ - ϵ 曲线上任一点 C 的应变 ϵ_c 由两部分组成 (参见图1-7)：

$$\epsilon_c = \epsilon_t + \epsilon_{sh} \quad (1-8)$$

式中 ϵ_t ——混凝土弹性变形；

ϵ_{sh} ——混凝土塑性变形。

原点 O 与 σ - ϵ 曲线上任一点 C 联线的斜率, 称为混凝土的变形模量, 即

$$E'_c = \tan \alpha = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c} \quad (1-9)$$

$$\text{设} \quad \nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_c} \quad (1-10)$$

将式 (1-10) 代入式 (1-9), 得

$$E'_c = \nu E_c \quad (1-11)$$

式中 E'_c ——混凝土变形模量；

E_c ——混凝土弹性模量；

ν ——混凝土受压时弹性系数, $\nu = 1.0 \sim 0.4$ 。

《规范》规定, 受拉时的弹性模量取与受压弹性模量相同的数值。当混凝土受拉达到极限应变时, 弹性系数 $\nu = 0.5$ 。

三、混凝土的收缩与徐变

(一) 混凝土的收缩

混凝土在空气硬结过程中, 体积减小的现象称为收缩。我国铁道科学研究院, 对混凝土的自由收缩进行了试验, 试验结果参见图1-10。由图可以看出, 收缩随着时间而增长,

初期收缩发展较快，一个月约完成全部收缩量的50%，三个月后增长减慢，一般两年后就趋于稳定。由图还可以看出，蒸汽养护的收缩值要小于常温下的收缩。

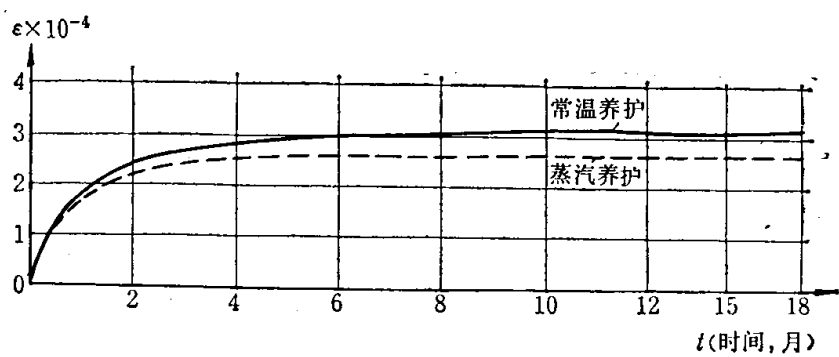


图 1-10

一般认为，产生收缩的主要原因是由于混凝土硬化过程中化学反应产生的凝结收缩和混凝土内的自由水蒸发产生的收缩。

混凝土的收缩对钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件产生十分有害的影响。例如，钢筋混凝土构件收缩严重时，将使构件在加载前就产生裂缝，以致影响结构的正常使用；在预应力混凝土构件中，收缩将引起钢筋预应力值的损失等。因此，应当设法减小混凝土的收缩，避免对结构产生有害的影响。

试验表明，混凝土的收缩与下列因素有关：

- 1. 水泥用量愈多、水灰比愈大，收缩愈大；
- 2. 高标号水泥制成的混凝土构件收缩大；
- 3. 骨料的弹性模量大，收缩小；
- 4. 在结硬过程中，养护条件好，收缩小。
- 5. 混凝土振捣密实、收缩小。
- 6. 使用环境湿度大时，收缩小。

（二）混凝土的徐变

混凝土在长期不变荷载作用下，应变随时间继续增长的现象，叫做混凝土的徐变。徐变特性主要与时间有关。图1-11表示当棱柱体应力 $\sigma = 0.5f_c$ 时的徐变与时间关系曲线。由图可见，当加荷应力 σ 达到 $0.5f_c$ 时，其加荷瞬间产生的应变为瞬时应变 ϵ_e 。当荷载保持不变时，随着荷载作用时间的增加，应变将随之继续增长，这就是徐变应变。徐变开始时增长较快，以后逐渐减慢，经过较长时间趋于稳定。

产生徐变的原因研究得尚不够充分。一般认为，产生的原因有两个：一个是混凝土受荷后产生的水泥胶体粘性流动要持续比较长的时间，所以，混凝土棱柱体在不变荷载作用下，这种粘性流动还要继续发展；另一个是混凝土内部微裂缝在荷载长期作用下将继续发展和增加，从而引起应变的增加。

混凝土的徐变对结构构件产生十分有害的影响，如增大钢筋混凝土结构的变形；在预应力混凝土构件中引起预应力损失等。

试验表明，徐变与下列一些因素有关：

- 1. 水泥用量愈多，水灰比愈大，徐变愈大。当水灰比在0.4~0.6范围变化时，单位应

力作用下的徐变与水灰比成正比。

2. 增加混凝土的骨料含量，徐变将减小。当骨料的含量由60%增大到75%时，徐变将减小50%。

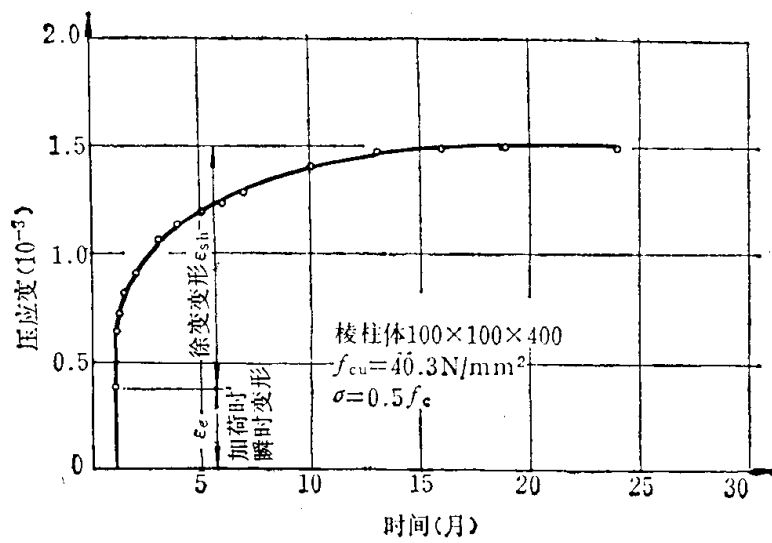


图 1-11

- 3. 养护条件好，水泥水化作用充分，徐变就小。
- 4. 构件加载前混凝土强度愈高，徐变就愈小。
- 5. 构件截面的应力愈大，徐变愈大。

§ 1-2 钢筋的种类及其力学性能

一、钢筋的种类及化学成分

建筑用的钢筋，要求具有较高的强度，良好的塑性，便于加工和焊接。为了使钢筋具有这种性能，就要掌握钢筋的化学成分、生产工艺和加工条件。

(一) 钢筋的种类

建筑工程所用钢筋种类，按其加工工艺分为：热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、碳素钢丝、刻痕钢丝、冷拔低碳钢丝及钢绞线。对于热轧钢筋和冷拉钢筋，按其强度又分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级。

考虑到各种类型钢筋的使用条件和便于从外观上加以区别，冶金部规定，Ⅰ级钢筋外形轧制成光面，俗称光圆钢筋。Ⅱ级、Ⅲ级钢筋轧成人字纹（图1-12a），Ⅳ级钢筋轧制成螺旋纹（图1-12b）。人字纹钢筋和螺旋纹钢筋统称变形钢筋。

(二) 钢筋的化学成分

钢筋的化学成分主要是铁，但铁的强度低，需要加入其它化学成分来改善其性能。加入铁中的化学成分有：

1. 碳（C）——在铁中加入适量的碳可以提高强度。依含碳量的大小，可分为低碳钢（含碳量≤0.25%）、中碳钢（含碳量0.26~0.70%）和高碳钢（含碳量>0.7%）。在一定范围内提高含碳量，虽能提高钢筋强度，但同时却使塑性降低，可焊性变差。在建筑工