

中等专业学校教学用书

鋼筋混凝土結構

(工业与民用建筑专业适用)

“鋼筋混凝土結構”教材选編小組选編

只限学校内部使用



中国工业出版社

中等专业学校教学用书



鋼筋混凝土結構

(工业与民用建筑专业适用)

“鋼筋混凝土結構”教材选編小組选編

中国工业出版社

本书系中等专业学校工民建专业用的钢筋混凝土结构课的教材。

书中包括有：钢筋混凝土材料的力学性能；计算的基本原理；基本构件的计算；以及装配式和预应力钢筋混凝土结构设计的方法等。全书系根据苏联最新规范ДПТТУ123-55编写，计算部分均系按极限状态计算的，预应力部分系按苏联规范СН-10-57编写。

由于编写时间匆促，本书内容与我们实际需要不符及错误之处一定存在，建议各地教师根据具体情况补充或删节讲授，并给本书提出意见。

钢筋混凝土结构

“钢筋混凝土结构”教材选编小组选编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/4}$ ·印张 $17^{3/4}$ ·插页5·字数411,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—6,033·定价（9-4）1.85元

统一书号：15165·840(Ⅱ-86)

目 录

第一章 绪论	5	计算	44
§ 1-1 钢筋混凝土的概念	5	§ 4-5 T形截面受弯构件的计算	47
§ 1-2 钢筋混凝土的主要优缺点 及其应用范围	5	§ 4-6 受弯构件横间钢筋的计算	51
§ 1-3 钢筋混凝土发展简史及我 国在钢筋混凝土结构方面 的伟大成就	6	§ 4-7 梁的计算例题	53
第二章 钢筋混凝土材料的物理 和力学性能	12	第五章 整体式楼盖	60
§ 2-1 混凝土的标准强度	12	§ 5-1 楼盖的型式	60
§ 2-2 混凝土的变形与弹性模量	12	§ 5-2 梁式板肋形楼盖平面布置 及几何尺寸选择原则	61
§ 2-3 混凝土的收缩与膨胀	15	§ 5-3 梁式板与次梁的内力计算	63
§ 2-4 混凝土的徐变	16	§ 5-4 梁式板的构造与计算	66
§ 2-5 钢筋的型式及用途	16	§ 5-5 次梁的构造与计算	70
§ 2-6 钢筋的力学性能标号和标准强 度	18	§ 5-6 主梁的构造与计算	73
§ 2-7 钢筋的弯钩和接头	19	§ 5-7 井式楼盖	91
§ 2-8 钢筋与混凝土的粘结力	22	§ 5-8 楼梯	90
§ 2-9 钢筋混凝土的徐变	23	第六章 轴心受压与轴心受拉构 件	104
§ 2-10 混凝土和钢筋混凝土的容 重	23	§ 6-1 概述	104
第三章 钢筋混凝土构件计算的 基本原理	24	§ 6-2 配有纵钢筋及钢箍柱的构 造	105
§ 3-1 概述	24	§ 6-3 配有纵钢筋及钢箍柱的计 算	107
§ 3-2 按极限状态计算的基本原 理	24	§ 6-4 轴心受拉构件	111
§ 3-3 标准荷载及超载系数	25	第七章 偏心受压构件	112
§ 3-4 材料的匀质系数及计算强 度	27	§ 7-1 概述	112
§ 3-5 钢筋及钢筋混凝土构件的 工作条件系数	28	§ 7-2 偏心受压柱的构造	112
第四章 按承载能力计算钢筋混 凝土受弯构件	30	§ 7-3 矩形截面偏心受压柱的基 本计算公式	115
§ 4-1 受弯构件的截面构造	30	§ 7-4 不对称钢筋矩形截面偏心 受压柱的计算	118
§ 4-2 钢筋混凝土受弯构件应力 状态的分析	31	§ 7-5 对称钢筋矩形截面偏心受 压柱的计算	122
§ 4-3 单筋矩形截面受弯构件的 计算	32	§ 7-6 短悬臂的构造及计算	133
§ 4-4 双筋矩形截面受弯构件的 计算	44	第八章 钢筋混凝土基础	136
		§ 8-1 概述	136
		§ 8-2 单独基础的构造	136
		§ 8-3 轴心受压柱单独基础的计 算	139
		§ 8-4 偏心受压柱单独基础的计 算	141

第九章 按变形及裂缝计算钢筋

混凝土构件 147

§ 9-1 概述 147

§ 9-2 钢筋混凝土受弯构件的刚度计算 148

§ 9-3 计算刚度和挠度的一般步骤 150

§ 9-4 按裂缝开展计算钢筋混凝土受弯构件 158

§ 9-5 按裂缝出现和裂缝开展计算轴心受拉构件 161

第十章 装配式钢筋混凝土结构 163

§ 10-1 概述 163

§ 10-2 装配式钢筋混凝土结构的应用型式 163

§ 10-3 装配式民用房屋结构 166

§ 10-4 装配式工业房屋结构 173

§ 10-5 装配式钢筋混凝土构件的构造与计算特点 190

§ 10-6 单层工业厂房钢筋混凝土排架柱的设计 191

§ 10-7 单层工业厂房钢筋混凝土排架柱的计算实例 213

第十一章 预应力钢筋混凝土结构 234

§ 11-1 概述 234

§ 11-2 预应力钢筋混凝土结构的发展情况 235

§ 11-3 预应力钢筋混凝土的优缺点及其应用范围 236

§ 11-4 预应力钢筋混凝土的分类 237

§ 11-5 预应力钢筋混凝土的材料 238

§ 11-6 预应力钢筋混凝土的锚固 243

§ 11-7 预应力钢筋混凝土计算的基本原理 245

§ 11-8 预应力值的损失 246

§ 11-9 张拉钢筋中的控制应力 249

§ 11-10 轴心受拉构件的计算 251

§ 11-11 受弯构件的构造与计算 261

§ 11-12 预应力蕊棒和预应力薄板 280

附录 I 圆钢筋的横截面积及重量 285

附录 II 在各种钢筋间距下板宽每米上的钢筋面积表 (cm^2) 286附录 III 表 1 计算受弯构件钢筋用的 A 值 287表 2a 计算受弯构件钢筋用的 B 值 287表 2b 直径小于 5.5mm 的带肋钢筋, $m_a m_c R_a = 0.7 \times 0.65 \times 4500 \approx 2100 \text{ kg/cm}^2$ (用于焊接骨架) 285表 3 横向钢筋的最大间距 a_0 计算表 (当混凝土标号为 150 及 200 时) 289

附录 IV 当均布载荷及对称位置相等的集中载荷时, 等跨连续梁中的跨中弯矩、支座弯矩及支座截面处的剪力 296

第一章 緒 論

§1-1 鋼筋混凝土的概念

天然石是建築上最原始的建築材料，早在古代人類就知道利用石料砌築房屋。石料的最大優點是耐壓性能好，在一般環境中不易遭受侵蝕，耐火性也很好。但是它也具有很大的缺點，例如無可塑性，加工成型非常困難；在力學性能方面，抗拉及抗彎的能力都很差，因此在建築上不能隨心所欲的將它用到結構物的各種部件上去。自從水泥發明以後（約在1842年），就相繼的產生了混凝土。混凝土是由水泥、骨料和水拌制而成的可塑性建築材料，可以澆築成各種形式的構件，由於結硬後的力學性能與天然石非常相似，故也不能單獨的用在受拉及受彎的構件。

如所周知，一般構件在受彎時，中性層以上部分是承受壓力，中性層以下部分是承受拉力；因此用混凝土澆築受彎構件時，可以預先在構件的受拉區中安排適量的抗拉鋼筋，當混凝土結硬以後，二者就結成整體而共同工作，成為一種堅強的受彎構件，如圖1-1。利用鋼筋承擔混凝土構件的拉力，這就是就材料性能取長補短地一種做法。此外，鋼筋在受壓構件中尚可協助混凝土承擔壓力，在受扭構件中尚可承擔扭力；這些由鋼筋和混凝土聯合工作的構件，總稱為鋼筋混凝土構件。由於鋼筋混凝土構件及結構物具有很多優點，因此在近代建築中幾乎居于首要的地位，無論是高樓大廈、隧道橋梁、海港河堤等大小構築物都能成功地採用鋼筋混凝土來建造。

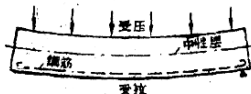


圖 1-1

鋼筋與混凝土所以能夠協同工作的原因，可以說明如下：

1. 混凝土結硬時，將與鋼筋很可靠的粘在一起，使二者之間存在着相當的粘結力，當構件承受外力作用時，鋼筋及相鄰的混凝土因而可以獲得相等的變形而共同工作。
2. 鋼筋與混凝土具有近乎相等的線膨脹系數（混凝土為 $0.000010 \sim 0.0000148$ ；鋼為 0.000012 ），因此當外部溫度發生變化時，將不會因膨脹不均而破壞材料的結合，同時混凝土又是一種耐熱的不良導體，能保護鋼筋使之不受劇烈的溫度變化的影響。
3. 在一般情況中，當混凝土沒有出現過大的裂縫時，混凝土能夠可靠的保護鋼筋使之不受銹蝕，以免影響構件的強度。

§1-2 鋼筋混凝土的主要優缺點及其應用範圍

鋼筋混凝土作為建築材料，具有下列優點。

(1) 就地取材。石子與砂子是鋼筋混凝土的主要成分，產地普遍，較易就地取材；而我國水泥產地的分布也較普遍，鋼筋用量在整個建築中只占少數，並且運輸方便。

(2) 耐久性好。钢筋混凝土结构中混凝土的强度是随时间而不断增加的, 钢筋又为混凝土所包裹不致锈蚀, 故其耐久性好。

(3) 耐火性好。因为混凝土是不良的传热导体, 钢筋为其所包裹, 故耐火性较好。

(4) 整体性好。由于钢筋混凝土结构具有高度的整体性, 故能很好的抵抗震动, 对在地震区域的建筑物, 更有重要意义。

(5) 刚度大。钢筋混凝土的刚度很大, 在使用荷载下, 仅发生很小的变形。

(6) 具有可模性。因为新拌合的混凝土是可塑体, 故可浇制成任何形状的结构物。

钢筋混凝土也有若干缺点, 对于这些缺点现在已可设法克服一些, 但还有待于继续研究和改进:

(1) 本身重量大。因为本身重量大, 故建筑物如跨度大时, 应用即不经济, 但如用轻集料如浮石等制成的轻混凝土, 以及用预应力钢筋混凝土时采用较高标号的混凝土以减少截面尺寸, 则对此项缺点的克服, 将有相当的作用。

(2) 费工大。建筑整体的钢筋混凝土的建筑物, 费工很大, 如采用装配式的构件, 可减少工数。

(3) 费木料多。在建造钢筋混凝土建筑物时, 必须建立支架及模板, 费木料很多。

钢筋混凝土的优点很多, 所以应用范围很广, 例如各种单层或多层房屋、谷仓、煤仓、蓄水池、管道结构、桥梁、烟囱、桩、沉箱基础、挡土墙、水电站、坝、船闸、船坞以及其它水工建筑。此外道路路面, 隧道衬砌、防御工事, 甚至电线杆及轨枕等皆可用钢筋混凝土建成。

由于施工方法不同, 钢筋混凝土可以分为整体式及装配式。整体式钢筋混凝土用于下列建筑物: 很多难于分割的建筑物, 如蓄水池、煤仓、轧制设备的大型基础、水工建筑物等; 又有有重型设备而构件不标准的单层及多层工业房屋; 以及适合采用滑动及移动式模板进行施工的建筑物如谷仓、水塔、工厂烟囱等; 还有在移动模板内施工的空间薄壁屋顶(薄壳、折结构)等。

整体式钢筋混凝土费工, 费木料较多, 为基本缺点, 但随着模板工程, 钢筋工程及混凝土工程的机械化程度不断提高, 已使这项缺点大大减小。

装配式钢筋混凝土便于使施工走向工业化, 不需支架, 且模板周转率较高, 可节约大量木材, 不需特殊设备, 可在冬季安装, 以及施工期可以缩短, 为其主要优点。

在很多结构物上采用钢筋混凝土来代替钢结构, 不但降低造价, 而且大大节约钢材, 对于国民经济的发展有着重大意义。因此在选用结构用材时, 应当将钢结构用在确属必须的地方, 而尽可能采用钢筋混凝土。

§1-3 钢筋混凝土发展简史及我国在钢筋混凝土结构方面的伟大成就

钢筋混凝土结构的发展, 和所有其他科学一样与社会的发展有着密切的关系, 它是由社会的经济基础、社会需要、自然条件及技术水平所决定的, 总地说来, 它是由社会生产决定的。

十九世紀中叶，由於建築材料中水泥和混凝土的出現，鋼筋混凝土結構開始得到應用和發展。但當時並沒有一套設計原理作為依據，純粹是根據經驗來製造，所以犯了很大的錯誤，例如在板中將鋼筋放置在板厚的當中，而此處根本不可能產生拉應力。直到1886年，德國有人提出以材料力學法則為基礎，按容許應力計算鋼筋混凝土結構的理論，此後這種新型結構在歐洲即得到了推廣。到1888年，預應力的概念開始應用到鋼筋混凝土結構上，雖然當時由於所加預應力較小而未得到實用上的效果，但為以後建造預應力鋼筋混凝土結構奠定了基礎。到1928年，法國終於採用了較大的預應力，使預應力鋼筋混凝土結構開始獲得實用上的意義。可是從世界上各個資本主義國家對鋼筋混凝土結構的計算理論及試驗研究來看，在十九世紀末到二十世紀初的時期中，發展是較緩慢的。

在偉大的十月社會主義革命後，在蘇聯由於偉大的社會主義和共產主義建設，對鋼筋混凝土結構的發展起了極大的推動作用。社會制度的根本改變、生產力的解放，促進了科學的迅速發展。由於生產的發展和建設的需要，在蘇聯進行了大量的、有系統的試驗研究。在1932年蘇聯首先提出了修改鋼筋混凝土結構的計算理論。經過1936年到1938年的試驗研究，於1939年初正式摒棄了按許可應力的計算方法而過渡到按破損階段的計算方法，在這同時還廣泛研究和採用了薄壁空間結構、裝配式及預應力鋼筋混凝土結構，使鋼筋混凝土結構的應用和發展獲得了很大的成就，奠定了先進的蘇聯鋼筋混凝土結構學派的基礎。

隨着科學的進一步發展，在蘇聯自1955年開始對鋼筋混凝土結構全面採用了按極限狀態的計算方法，這一方法較按破損階段的計算方法更為合理更為完善。由於蘇聯社會制度的無比優越性，毫無疑問，在蘇聯，鋼筋混凝土結構的理論和實踐將永遠超越在資本主義國家的前面而繼續不斷地向前發展。

鋼筋混凝土的發展又反映在材料和施工方法的改進和新技術的應用方面。目前鋼筋質量大大提高，尤其在採用預應力混凝土以後，鋼筋強度無須限制，現在強度最高的鋼絲其極限強度已達 20000kg/cm^2 以上。水泥方面，從單純的矽酸鹽水泥發展成多種多樣的，特別是利用工業廢料來製造水泥。由於不同結構的要求日益廣泛，促進了混凝土向多種和高標號方向發展。

由於對鋼筋混凝土試驗研究的要求愈來愈高，因此過去一般習用的機械試驗儀表，已經不能滿足需要，而利用電子學，超聲波等原理的新式儀器，已經日趨普遍。

裝配式結構是鋼筋混凝土的一個發展方向。尼·謝·赫魯曉夫同志曾經指出“採用裝配式建築使我們更可能節約資金，節約建築材料，提高產量”^①。預應力混凝土在跨度、承重方面大大地超越了普通鋼筋混凝土，使鋼筋混凝土的應用領域更加寬廣。這個技術革命的產物正在全世界範圍內發展着。

我國於1876年已開始製造水泥，但一直到解放前，鋼筋混凝土結構無論是在構造方面或在設計計算方面，都襲用資本主義國家一些落後的方法。

1949年，在中國共產黨和毛主席的英明領導下，取得了我國革命的偉大勝利，建立了中華人民共和國。擺在全國人民面前的任務就是要在黨的領導下把革命推向新的歷史階段，在迅速恢復和改造舊的落後的國民經濟的基礎上進行偉大的社會主義建設，而建築工

① “全蘇建築工作人員會議重要文獻”，建築工程出版社1955年版，第14頁。

业也必須在新的技术基础上迅速发展，以适应生产建設的需要。

还在国民經济的恢复时期（1949—1952年），党就领导全国人民进行了巨大的建設工程，加上苏联兄弟般的援助，先后建成了荆江分洪工程以及許多鋼筋混凝土结构的巨大厂房。在計算理論方面开始推行按破坏阶段的計算理論作为設計依据，坚决纠正了由于应用英、美的陈旧設計方法和标准而产生的严重浪費現象，大大地节省了基本建設中的土建部分投資。

在第一个五年计划期間，在党的正确领导下和苏联的援助下，有重点地开展了各項建設。短短的几年，就建設了許多大型工厂和企业，例如60米高的氮肥厂多层厂房，长春第一汽車制造厂（图1-2）等等，同时在公共和民用建筑中亦出現了許多大型建筑物（如北京展覽館图1-3）。

1956年党和政府，在全国基本建設工作會議上指出建筑工业化是社会主义建筑事业的发展方向，是多、快、好、省地完成国家建設任务的根本方法；要求有步骤地进行建筑設計的标准化，建筑构件生产的工厂化和建筑施工的机械化。这些指示促使建筑事业更快地向前发展，促使人們去研究和采用新的技术成就，特别是促进了装配式鋼筋混凝土结构和預应力鋼筋混凝土结构的发展。在第一个五年計劃的后几年，不但建成了大型冶金企业，而且建成了規模宏大的武汉长江大桥（图1-4）。

1956年在我国即开始采用目前世界上最先进的按极限状态計算的理論，对进一步节约水泥和鋼材起了很大的作用。

在第一个五年計劃胜利完成的基础上，党的八届二中全会制定了“鼓足干劲、力爭上游，多快好省地建設社会主义”的总路綫，号召“在繼續完成經濟战綫、政治战綫和思想战綫上的社会主义革命的同时，逐步实现技术革命和文化革命”。

在党的建設社会主义总路綫的光輝照耀下，在各个战綫上，特别是生产战綫上出現了空前未有的大跃进。建筑事业取得了巨大的进展，鋼筋混凝土结构和其它科学一样，在这几年的時間里，发展特別迅速。

例如1959年建成的北京民族飯店（图1-5），采用了高达十三层的装配式鋼筋混凝土骨架结构。在設有双层重吨吊車的厂房中，采用了装配式預应力大型屋面板、拱架和吊車梁、以及装配式双肢柱，这些都标志着我国装配式鋼筋混凝土结构的发展。北京車站中央大厅（图1-6），成功地采用了大跨度双曲扁壳结构。此外，如跨度为60m的預应力拱形屋架，以及推行了电热張拉法和自加应力法，都說明在掌握和发展預应力鋼筋混凝土这一近代科学技术方面也已經取得較大的成就。

綜观解放后十余年来的成就，有力的說明了：由于社会制度的根本改变，生产力的彻底解放，使我国的科学技术水平，已从一个基础十分薄弱，在许多方面完全空白的情況，迅速发展到今天基本上掌握了先进的技术和理論。这种高速度的发展应当归功于社会主义制度的优越性和党的正确领导，这也是总路綫、大跃进和人民公社的三面紅旗的偉大胜利。

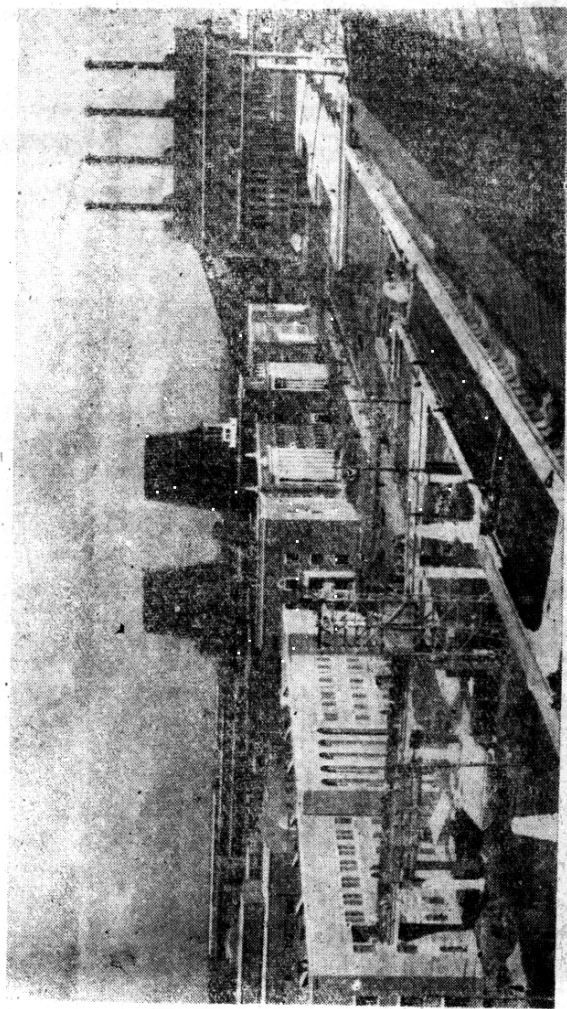
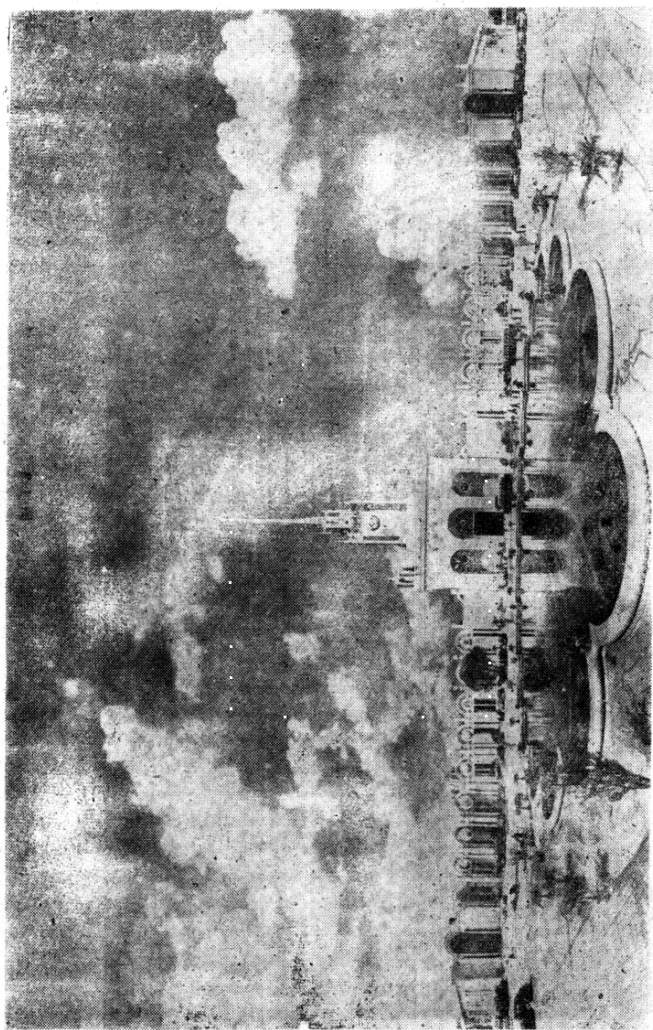


图 1-3



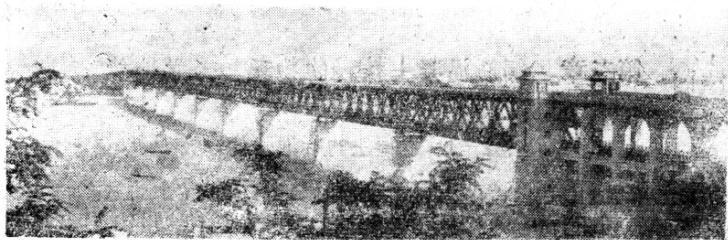


图 1-4

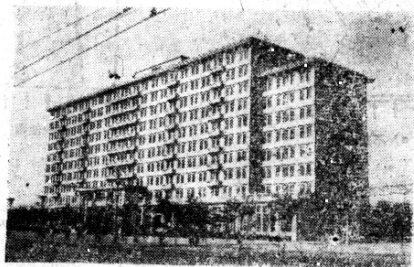


图 1-5

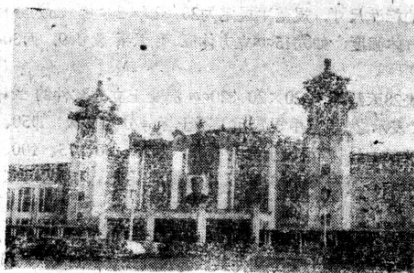


图 1-6

第二章 钢筋混凝土材料的物理和力学性能

§2-1 混凝土的标准强度

1. 立方体强度及标号 混凝土立方体在压力机上试验时，因为压力机上枕块与混凝土立方体接触面摩擦阻力的关系，限制了立方体的横向膨胀，使其破坏如图2-1 a；假定在混凝土表面与压力试验机上枕块间涂一层油脂，则摩擦力将减小而试件的破坏形式将如图2-1 b所示。

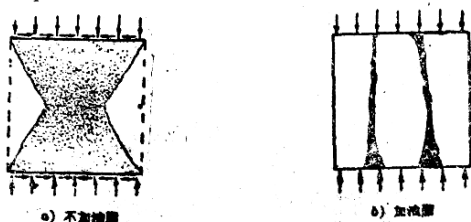


图 2-1

立方体强度系采用立方体表面间无油脂时的强度限值（极限强度），即将其破坏荷载除以截面面积，得：

$$R_g^a = \frac{N_p}{F}$$

立方体的尺寸不同，其立方强度亦各异。苏联中央工业建筑科学研究院 ЦНИПС 从试验中得出15、20及30cm的立方体强度限值，顺次为160、149及129kg/cm²。

立方体强度试验的标准尺寸，规范中规定为20×20×20cm。如为非标准试件，其结果应化为标准试件立方体强度；如为15cm立方体应乘以系数0.9，而30cm时，则应乘以1.1。

混凝土标号即代表28天龄期，20×20×20cm混凝土立方试件的受压强度限值（kg/cm²）通常简单地以R表示之。规范中规定重混凝土标号分为9级，即50、75、100、150、200、300、400、500及600号，轻混凝土分为6级，即35、50、75、100、150及200号。

所谓重混凝土系指其容重为1800kg/m³及以上的混凝土，容重小于1800kg/m³的为轻混凝土。

钢筋混凝土结构中，不容许采用标号低于100号的重混凝土。

用重混凝土制造的钢筋混凝土受压构件其截面尺寸按强度计算确定时，一般采用标号不低于150号的混凝土。对承受很大荷载的结构，如多层房屋的下层柱及单层房屋中承受

很大吊車荷載的柱等，一般采用不低于200号的混凝土。

用重混凝土制造的鋼筋混凝土受弯构件，其截面尺寸需按强度計算确定时，应采用不低于150号的混凝土。

用重混凝土制造的装配式鋼筋混凝土结构，应采用标号不低于150号的混凝土；周边不用加勁肋圍繞的装配式薄壁结构构件（厚度在40mm及以下）应采用标号不低于200号的混凝土。

至于500及600号混凝土通常則适用于預应力构件。

2. 柱体强度 从許多試驗中指出混凝土柱体的强度較立方体的强度为小；当試件的高寬比 $\frac{h}{b}$ 或圓柱体高徑比 $\frac{h}{d}$ 增加时，則試件的强度降低；这与支承表面摩擦力的影响，亦有相当的关系，因为这时試件的橫向膨脹將更为自由。

柱体强度 R_{np}^* 的定义为高度至少等于三倍方形底边的混凝土柱体的受压强度限值。

在苏联标准中規定仅做立方体試驗，而柱体强度則按葛溫滋捷夫教授的經驗公式确定：

$$R_{np}^* = \frac{1300 + R_{np}^*}{1450 + 3R_{np}^*} R_{np}^* \quad (2-1)$$

对50—300号混凝土按該式計算的 R_{np}^* 值几乎和規範中所采取的标准强度相符合；对較高标号（400—600号）柱体强度的标准值則略高。

3. 弯曲时受压强度 图2-2 示在受拉区配置鋼筋很多的梁破坏时的情形，此时梁的强度，取决于混凝土的弯曲时受压强度。破坏的特征表现在混凝土受压区域发生大約与梁平行的裂紋；这说明混凝土弯曲时的受压情况与立方体或柱体的受压不同。

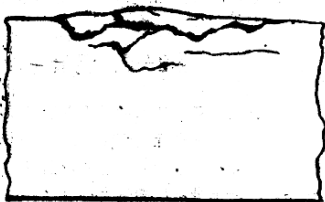


图 2-2

从試驗中指出弯曲时混凝土受压强度限值 R_{np}^* 高于柱体强度 R_{np}^* ；当为中低标号的混凝土时，与立方体强度大致相等；当为高标号混凝土时，則低于立方体强度，但总是高于柱体强度。

规范中規定的 R_{np}^* 值系按下列經驗公式确定：

$$R_{np}^* = 1.25 R_{np}^* \quad (2-2)$$

4. 混凝土受拉强度 混凝土受拉强度限值 R_{np}^* 較 R_{np}^* 小甚多，且客观的因素对其影响亦較严重，故真实的受拉强度限值很难求得。在多次的試驗基础上，指出 R_{np}^* 与 R_{np}^* 的关系为

$$\frac{1}{7} - \frac{1}{20}, \text{ 混凝土标号愈高此项比值愈低。}$$

5. 混凝土受剪强度 根据苏联葛溫滋捷夫教授試驗的結果，混凝土受剪强度 R_{np}^* 与 R_{np}^* 的比值为0.166—0.195。

6. 混凝土强度与龄期的关系 混凝土强度的生长是不断增加的，当用普通矽酸盐水泥时，最先28天增长得特別快速，用矿渣矽酸盐水泥則为90天，以后强度的增长則緩慢得

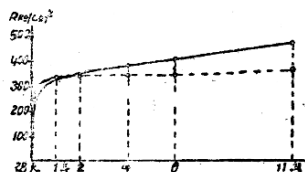


图 2-3

多, 如条件有利时, 强度的增长可延續至若干年后。图2-3中实线示保持在潮湿环境里的混凝土, 其强度的增长曲线; 虚线表示最先7天保持在潮湿环境中, 以后则在干燥环境里。

从图中可见保持在潮湿环境内的混凝土至11年时强度还有增加的趋势, 而保持7天潮湿, 以后即在干燥环境内的混凝土其强度的增长, 约至一年即行终止。

7. 混凝土的标准强度 根据試驗結果, 规范中規定混凝土各項标准强度如表2-1所示:

表 2-1 混凝土的标准强度限值(kg/cm^2)

作用力的种类	混 凝 土 标 号									
	35	50	75	100	150	200	300	400	500	600
軸心受压(柱体强度) R_{np}^n	28	40	60	80	115	145	210	280	350	420
弯曲时受压 R_{σ}^n	35	50	75	100	140	180	260	350	440	520
受拉 R_p^N	5	6	8	10	13	15	21	25	28	30

附注: 用乳土水泥制成的混凝土, 受拉时的标准强度按表中数值乘以系数0.7采用。

§ 2-2 混凝土的变形与弹性模量

混凝土为塑性材料, 其承载后的变形可认为由弹性及塑性变形两部分所組成。在图2-4中: (a) 示混凝土弹性变形曲线; (b) 示混凝土塑性变形曲线; 而(c) 则为其总变形曲线。

当破坏时混凝土最大压缩量为每 m 自1.5—2mm, 甚至3mm, 亦即最大压缩应变 $\epsilon_R = 0.0015—0.002$ (0.003), 随混凝土强度而增加。在梁的受压区域, 其最大应变可高达0.003—0.007, 个别情形下为0.010。

当受拉时混凝土最大引伸量很小, 每 m 约为0.10—0.15mm, 亦即最大引伸应变 $\epsilon_p = 0.0001—0.00015$, 约为 ϵ_R 的 $\frac{1}{15}—\frac{1}{20}$ 。

如上所述, 已知混凝土变形的增长较应力的增长为快, 所以混凝土的弹性模量实非常数而是在变动的。

因为混凝土的受拉强度很小; 故普通钢筋混凝土结构中不考虑由混凝土承担拉力。

根据試驗結果, 重混凝土受压构件的平均标准弹性模量可用下列經驗公式求得:

$$E_{\sigma}^n = \frac{1000000}{1.7 + \frac{360}{R_{\sigma}^n}} \text{ kg/cm}^2 \quad (2-3)$$

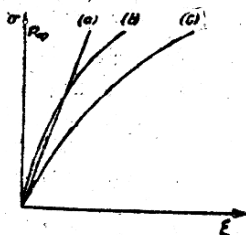


图 2-4

表 2-2 鋼筋混凝土的标准彈性模量 (kg/cm^2)

混凝土標号	重 混 凝 土	輕 混 凝 土
35	—	60000
50	110000	70000
75	155000	95000
100	190000	110000
150	240000	130000
200	250000	150000
300	340000	—
400	380000	—
500	410000	—
600	430000	—

附注: 1. 对輕混凝土所规定的标准彈性模量, 系指用煤渣, 冶金矿渣和陶粒所拌制的混凝土; 用浮石, 灰岩等拌制的輕混凝土, 其彈性模量按專門规范或試驗資料采用。

2. 对用石英砂制造的標号为 100 至 150 的輕混凝土, 其标准彈性模量按表 2-3 中的数值提高 40% 采用。

的水泥顆粒又不断地吸收骨架中先前存在的水分組成新的骨架, 这样一来骨架越挤越紧, 而減小了本身的体积。也有人认为: 收縮現象是由于毛細管的作用, 认为在混凝土内部是由硬骨架和許多小孔隙所組成。孔隙中有水分和空气, 孔隙中的水被蒸发时产生毛細管作用即在管内形成凹形液面, 液面的表面張力, 产生对管壁的收緊引起骨架的收縮。

实际上两种現象都同时存在, 根据試驗的資料, 得到下面的結論:

1. 混凝土中水泥浆愈多, 收縮 (膨脹) 愈大。
2. 高級水泥所制成之混凝土收縮較大。
3. 彈性模量小, 顆粒小及多孔性的填充料拌制的混凝土收縮較大。
4. 混凝土的收縮 (膨脹) 在結硬时进行

很快, 以后就逐渐迟緩; 但繼續很長時間。

为了減小收縮 (膨脹) 或減少其不利影响, 可以采取以下措施:

1. 正确選擇填充料, 減少水泥浆的用量。
2. 对混凝土加以养护, 特别是在搗制后的最初七天中应使混凝土潮湿。
3. 做伸縮縫。此縫可与溫度縫同时考虑, 其最大間距见表 2-3。
4. 用膨脹水泥。这种水泥制成的混凝土

在空气中結硬时, 不仅不收縮反而膨脹, 但这种水泥的大量生产尚待繼續研究。

此式仅在工作应力 ($0.4R_{np} \sim 0.5R_{np}$) 的范围内为正确; 当較高应力时則应減少, 当应力接近 R_{np} 时約減低 1.5 倍。

鋼筋混凝土的标准彈性模量如表 2-2 所示。

§ 2-3 混凝土的收縮与膨脹

混凝土在空气中結硬时体积收縮, 在水中結硬时则体积膨脹。关于产生这种現象的原因, 目前有两种解釋: 一个理由认为收縮現象是由于水泥浆凝固及硬化的物理化学过程, 当开始凝結的时候, 在水泥顆粒的四周吸收水分經化学反应而形成水泥浆胶体, 这种胶体就把水泥, 砂和石的顆粒胶在一起并逐渐变濃, 并失去塑性, 胶体在空气中不断蒸发水分, 在胶体中結晶或为骨架貫穿胶体。同时胶体中还未起作用

表 2-3 溫度-伸縮縫的最大間距 (m)

建築物种类	房屋内部或土中	外露建築物
整体式鋼筋混凝土剛构建築物 (重慶模土)	50	30
整体式鋼筋混凝土板梁建築物 (重慶模土)	40	25
整体式鋼筋混凝土板梁建築物 (輕品模土)	30	20
装配式鋼筋混凝土建築物	60	40
鋼木与鋼筋混凝土混合建築物	60	40

注: 当有根拠和对溫度-伸縮应力进行計算时, 以上的間距可以增大。

§2-4 混凝土的徐变

混凝土受压构件及所有混凝土受压时在长时期荷载作用下,即使是荷载保持不变,其塑性变形仍会慢慢增加,这种现象称为混凝土的徐变。根据实验资料,可得出下面的结论:

1. 在荷载初期,徐变进行得快,以后就渐渐慢了,但是延续很长时间。从图2-5中曲线的趋势可以看出,在1300天之后,徐变仍在继续进行。

2. 混凝土内的应力大时,徐变也大。图2-5中三条曲线表示着三种不同的应力及其相应的徐变值。

3. 混凝土加载时的龄期愈短,徐变愈大。

4. 水泥标号愈低,灰灰比愈大,填充料的强度及弹性模量愈低时,混凝土的徐变愈大。

5. 环境的湿度愈大,徐变越小。

6. 当荷载去除后,弹性变形立即恢复,塑性变形亦有很小的一部分可以恢复,但其恢复时间相当长。

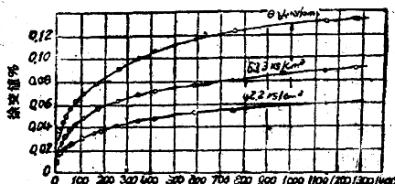


图 2-5

混凝土的徐变现象使混凝土的应力应变关系发生了变化,因而影响着钢筋混凝土构件中钢筋与混凝土之间的内力分配情况,造成预应力混凝土结构中予加应力的损失,不考虑它是不行的。但是徐变现象的实质复杂,影响它的因素很多,而且不易控制,至今尚无十分成熟的理论,是个值得继续深入研究的课题。

§2-5 钢筋的型式及用途

钢筋混凝土构件中的钢筋主要是用来承担拉力,但是在受弯和受压构件中,有时也用它们来支承压力或作其他之用。

用于钢筋混凝土中的钢筋分肋性的及柔性的两种。所谓肋性钢筋是采用各种型钢(如角钢、槽钢等等)制成的,目前应用不多。

柔性钢筋有光面的及变形的两种,一般截面为圆形,有时亦制成方形的钢筋。

附录 I 表 1 中列出常用的光面圆钢筋的总截面面积,附录 II 为每 m 宽板内的钢筋截面面积。