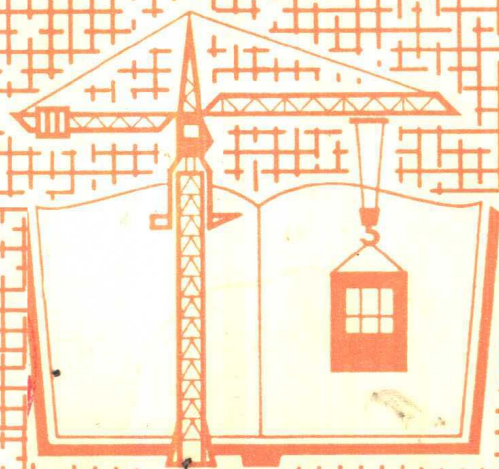


钢筋混凝土结构

上册

天津大学
同济大
学
南京工
学院



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

钢筋混凝土结构

上册

天 津 大 学
同 济 大 学
南 京 工 学 院

中国建筑工业出版社

本书为上册，主要讲述钢筋混凝土结构中材料的力学性能及计算原则，受弯构件、受扭构件、受压构件和受拉构件的强度计算，裂缝和变形的计算，预应力混凝土构件的计算等。

本书是高等工业院校工业与民用建筑专业或建筑结构工程专业钢筋混凝土结构课程的试用教科书，也可供有关的设计、施工和科研工作者参考。

高等学校试用教材
钢筋混凝土结构

上册

天津大学

同济大学

南京工学院

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17 字数：415 千字

1980年7月第一版 1981年12月第二次印刷

印数：50,381—107,950册 定价：1.75元

统一书号：15040·3887

前 言

本书是根据高等工业院校工业与民用建筑专业和建筑结构工程专业“钢筋混凝土结构”课程要求编写的试用教科书。全书分上下两册。上册包括钢筋混凝土结构中材料的力学性能及计算原则,以及弯、剪、扭、压、拉和预应力混凝土等构件的基本计算理论;下册包括梁板结构、单层厂房、多层和高层房屋的设计原理、计算方法和构造特点,以及抗震设计要点。

本教材内容加强了钢筋混凝土的基本理论,对材料性能和构件的试验研究分析以及结构的受力性能等,作了较为系统和详细的论述。全书主要按照我国《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)编写,但在计算原则、基本构件、结构计算等方面适当反映了国内较为成熟的新的科研成果;对于国外的先进科学技术,从加强基本概念和适应科学技术发展的角度,吸收了某些具有基本意义和带有方向性的内容。在单层厂房、多层和高层房屋部分,本着少而精的原则,着重介绍了钢筋混凝土结构特点的有关计算和构造内容。在内容编排上,力求符合由浅入深、循序渐进的教学规律。为了适应各工业院校的具体情况,将属于进一步提高的内容,采用小字排印,便于根据学生程度、学时安排适当取舍。由于编写时间仓促,在选材方面还不够理想,各章节分量与教学时数不一定完全适应,同其他教材的衔接可能不够协调,因为参加编写的人员较多,在文字及风格的统一上也有些不足,希望读者批评指正。

在本书编写过程中,清华大学、哈尔滨建筑工程学院、西安冶金建筑学院、浙江大学、重庆建筑工程学院、湖南大学、合肥工业大学、华南工学院等兄弟院校的许多同志对书稿进行了审阅,有关的科研、设计和施工单位提供了不少资料,在此一并表示感谢。

参加本书编写工作的是:天津大学陈云霞(绪论),储彭年(第一、二章),车宏亚、李维溥(第三章),曹祖同(第五、六、七章),戴自强(第十三章);同济大学蒋大骅、顾蕙若(第四章),张仁爱、范家骥(第九章),屠成松(第十二章);南京工学院丁大钧(第八章),童启明、袁必果(第十章),黄兴棣、程文灏(第十一章)。由天津大学吉金标、南京工学院丁大钧、同济大学蒋大骅主编,清华大学滕智明主审。

天 津 大 学
同 济 大 学
南 京 工 学 院

一九七九年十一月

目 录

绪 论

- 0-1 钢筋混凝土的一般概念及特点..... (1)
- 0-2 钢筋混凝土的发展简况及其应用..... (2)

第一章 钢筋混凝土材料的力学性能

- 1-1 钢筋..... (12)
- 1-2 混凝土..... (15)
- 1-3 钢筋与混凝土之间的粘结力..... (31)

第二章 钢筋混凝土结构的基本计算原则

- 2-1 钢筋混凝土结构计算方法与结构安全度..... (34)
- 2-2 按极限状态设计方法——两种极限状态..... (35)
- 2-3 我国《规范》关于荷载及材料强度的取值方法..... (35)
- 2-4 我国《规范》关于极限状态的计算原则..... (38)
- 2-5 各国设计规范关于结构安全度的计算原则..... (40)

第三章 受弯构件正截面的强度计算

- 3-1 试验研究分析..... (47)
- 3-2 单筋矩形截面受弯构件的强度计算与截面构造..... (57)
- 3-3 双筋矩形截面受弯构件的强度计算..... (65)
- 3-4 T形截面受弯构件的强度计算..... (70)
- 3-5 正截面强度计算的进一步研究..... (77)

第四章 受弯构件斜截面的强度计算

- 4-1 概述..... (87)
- 4-2 无腹筋梁斜裂缝出现前的应力状态..... (87)
- 4-3 无腹筋梁斜裂缝出现后的应力状态..... (89)
- 4-4 梁沿斜截面破坏的主要形态..... (90)
- 4-5 影响梁斜截面强度的主要因素..... (91)
- 4-6 梁斜截面强度的计算公式..... (93)
- 4-7 梁斜截面强度的计算方法..... (100)
- 4-8 构造要求..... (105)
- 4-9 梁斜裂缝出现后受力和破坏的机理..... (113)

第五章 受扭构件及弯扭构件的强度计算

- 5-1 试验研究分析..... (117)
- 5-2 矩形截面受扭和弯扭构件的强度计算..... (119)
- 5-3 矩形截面受扭和弯扭构件的构造要求..... (125)
- 5-4 受扭构件几个问题的说明..... (125)

第六章 受压构件的强度计算

- 6-1 轴心受压构件的强度计算..... (131)

6-2	偏心受压构件的强度计算.....	(138)
6-3	双向偏心受压构件的强度计算.....	(163)
6-4	受压构件的构造要求.....	(167)
第七章 受拉构件的强度计算		
7-1	轴心受拉构件的强度计算.....	(170)
7-2	偏心受拉构件的强度计算.....	(171)
第八章 钢筋混凝土构件裂缝和变形的验算		
8-1	一般试验结果.....	(174)
8-2	抗裂度及裂缝宽度的验算.....	(175)
8-3	受弯构件挠度验算.....	(183)
8-4	强度与抗裂度、裂缝宽度及刚度的关系.....	(192)
8-5	有关裂缝和刚度问题的补充内容.....	(195)
第九章 预应力混凝土构件的计算		
9-1	预应力混凝土的基本概念和一般计算规定.....	(203)
9-2	预应力混凝土轴心受拉构件的计算.....	(221)
9-3	预应力混凝土受弯构件的计算.....	(231)
9-4	预应力混凝土构件的构造要求.....	(245)
9-5	预应力组合截面构件.....	(254)
9-6	部分预应力混凝土的基本概念.....	(258)
附 表		(261)

绪 论

0-1 钢筋混凝土的一般概念及特点

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种物理-力学性能完全不同的材料所组成。混凝土的抗压能力较强而抗拉能力却很弱。钢材的抗拉和抗压能力都很强。为了充分利用材料的性能，把混凝土和钢筋这两种材料结合在一起共同工作，使混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力以满足工程结构的使用要求。

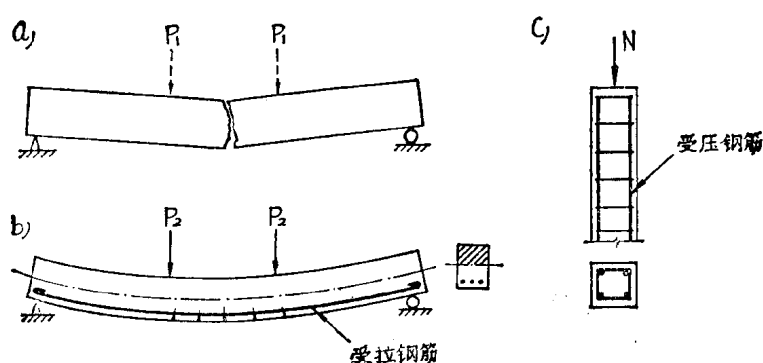


图 0-1

图0-1a、b中绘有两根截面尺寸、跨度、混凝土强度完全相同的简支梁，一根为素混凝土的，另一根则在梁的受拉区配有适量钢筋。由试验可知：素混凝土梁由于混凝土的抗拉能力很小，在荷载作用下，受拉区边缘混凝土一旦开裂，梁瞬间脆断而破坏(图0-1a)，所以梁的承载能力很低。对于在受拉区配置适量钢筋的梁，当受拉区混凝土开裂后，梁中和轴以下受拉区的拉力主要由钢筋来承受，中和轴以上受压区的压应力仍由混凝土承受。与素混凝土梁不同，此时荷载仍可以继续增加，直到受拉钢筋应力达到屈服强度，随后荷载仍可略有增加致使受压区混凝土被压碎，梁始告破坏。试验说明，配置在受拉区的钢筋明显地加强了受拉区的抗拉能力，从而使钢筋混凝土梁的承载能力比素混凝土梁的承载能力要提高很多。这样，钢筋与混凝土两种材料的强度均得到了较充分的利用。又如图0-1c所示，在受压的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，从而可以缩小柱截面尺寸，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而共同工作，主要是由于混凝土硬化后钢筋与混凝土之间产生了良好粘结力，使两者可靠地结合在一起，从而保证在外荷载的作用下，钢筋与相邻混凝土能够共同变形。其次，钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数的数值颇为接近（钢为 1.2×10^{-5} ，混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ ），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粘结。

钢筋混凝土除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的性能外，尚有下列优点：

耐久性 在钢筋混凝土结构中，混凝土的强度随时间的增加而增长，且钢筋受混凝土的保护而不易锈蚀，所以钢筋混凝土的耐久性是很好的，不象钢结构那样需要经常的保养和维修。处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构，经过合理的设计及采取特殊的措施，一般也可满足工程需要。

耐火性 混凝土包裹在钢筋之外，起着保护作用。若有足够的保护层厚度，就不致因受火灾使钢材很快达到软化的危险温度而造成结构整体破坏，与钢结构相比，钢筋混凝土结构的耐火性较好。

整体性 钢筋混凝土结构特别是现浇的钢筋混凝土结构，由于整体性好，对于抵抗地震力（或强烈爆炸时冲击波的作用）具有较好的性能。

可模性 钢筋混凝土可以根据需要浇制成各种形状和尺寸的结构。

就地取材 钢筋混凝土所用的原材料砂和石，一般均较易于就地取材。在工业废料（例如矿渣、粉煤灰等）比较多的地方，还可以将工业废料制成人造骨料用于钢筋混凝土结构中。

节约钢材 钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的性能，在某些情况下可以代替钢结构，从而能节约钢材并降低造价。

由于钢筋混凝土具有上述一系列优点，所以在国内外的工程建设中均得到广泛的应用。

但是，钢筋混凝土结构也存在一些缺点：普通钢筋混凝土结构本身自重比钢结构要大。自重太大对于大跨度结构、高层建筑以及结构的抗震都是不利的；另外钢筋混凝土结构的抗裂性较差，在正常使用时往往带裂缝工作；而且建造较为费工，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；隔热和隔声性能较差等等。这些缺点在一定条件下限制了钢筋混凝土结构的应用范围。不过，随着人们对于钢筋混凝土这门学科认识的不断提高，对上述一些缺点已经或正在逐步加以改善。例如，目前国内外均在大力研究轻质、高强混凝土以减轻混凝土自重；采用预应力混凝土以减轻结构自重和提高构件的抗裂性；采用预制装配构件以节约模板加快施工速度；采用工业化的现浇施工方法以简化施工等等。

0-2 钢筋混凝土的发展简况及其应用

钢筋混凝土是在十九世纪中叶开始得到应用的，由于当时水泥和混凝土的质量都很差，同时设计计算理论尚未建立，所以发展比较缓慢。直到十九世纪末以后，随着生产的发展，以及试验工作的开展、计算理论的研究、材料及施工技术的改进，钢筋混凝土才得到了较快的发展。目前已成为现代工程建设中应用最广泛的建筑材料之一。

在工程应用方面，钢筋混凝土最初仅在最简单的结构物如拱、板等中使用。随着水泥和钢铁工业的发展，混凝土和钢材的质量不断改进、强度逐步提高。例如，近年来已可做成1000号的混凝土，常用的标号也在逐步提高，这就为钢筋混凝土进一步扩大应用范围创造了条件。特别是到了七十年代，很多国家已把高强度钢筋和高强度混凝土用于大跨、重型、高层结构中去，在减轻自重、节约钢材上取得了良好的效果。

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的应用范围不断扩大。预应力混凝土除了用以改善一般的建筑结构外（例如增大跨度、减小截面等），还应用于高层建筑、地下建筑、桥隧建筑、海洋结构、压力容器、飞机跑道及公路路面等方面。现在，预应力混凝土的应用已不仅在某些范围内用来代替钢结构和改善普通钢筋混凝土结构，而在一些方面，例如，原子能发电站的高温高压的大型压力容器，只能采用预应力混凝土结构修建才能保证安全。

为改善钢筋混凝土自重大的缺点，一些国家已经大力研究发展各种轻质混凝土，如泡沫混凝土、加气混凝土、陶粒混凝土、浮石混凝土等。轻质混凝土最早由于强度很低，只是用在非承重的围护结构中，随着材料科学的发展，工艺水平的提高，研制出了轻质而又高强的混凝土，现已逐渐发展应用于承重结构，例如预制大型壁板、屋面板，并可应用于折板、薄壳、大跨高层结构。目前世界各国轻质混凝土的容重一般为 $1400\sim 1800\text{kg/m}^3$ 左右，标号可达500号，自重较普通混凝土可减少 $20\sim 30\%$ 。由于自重减轻，且对于能量有较大的吸收能力，因此在地震区采用轻质混凝土更为有利。

近年来，国外建筑工业化的发展很快，已从采用一般的标准设计走向工业化建筑体系，趋向于做到一件多用或仅用较少几种类型的构件（如梁板合一构件、墙柱合一构件等）就能建造成各类房屋。实践充分显示出建筑工业化在加快建设速度、降低建筑造价、保证施工质量等方面的巨大优越性。在大力发展装配式钢筋混凝土结构体系的同时，有些国家还采用了工具式模板机械化现浇与预制相结合即装配整体式钢筋混凝土结构体系。

由于轻质、高强混凝土材料的发展以及结构设计理论水平的提高，使得钢筋混凝土结构的应用跨度和高度都不断地增大。例如：目前世界上最高的钢筋混凝土建筑达76层262m；预应力轻骨料混凝土建造的飞机库屋盖结构跨度达90m；预应力混凝土箱形截面桥梁跨度可达240m以上；预应力混凝土贮罐直径已达82m；预应力混凝土电视塔的高度达549m。

所有这些显示了近代钢筋混凝土结构设计和施工水平日新月异的迅速发展。

此外，对于防射线混凝土、聚合物混凝土、自应力混凝土以及纤维混凝土（玻璃纤维、钢纤维）等正在积极研究中，并在有特殊要求的结构上开始应用。

钢筋混凝土在设计理论研究方面也在不断发展中。在钢筋混凝土材料使用的早期，由于这种材料的性能及其内在规律尚未被人们所认识，多数国家采用以弹性理论为基础的允许应力的设计方法。实践表明，这种设计方法和实际情况往往有很大出入，不能正确揭示钢筋混凝土性能的内在规律，所以现在很多国家已不采用。

由于钢筋混凝土构件极限强度试验研究的进展，40年代即出现了按破坏阶段的设计方法。后来随着荷载和材料变异性的研究，认识到结构使用期限内作用力（荷载及其产生的效应）以及结构的承载能力均非定值，进而在50年代提出了按极限状态的设计方法。这种设计方法概念比较明确，考虑问题比较仔细，比按破坏阶段的设计方法更为合理。经过20多年的研究与实践，已为多数国家所采用，其理论本身正向着系统化和精确化发展，以继续不断改进和完善。

钢筋混凝土结构的内力计算一般是根据匀质弹性体的假定求得的，而截面的强度计算考虑了钢筋混凝土的塑性性质（实际上混凝土也不是理想的塑性材料），因此按极限状态

的截面强度计算与求结构内力两者的依据是不协调的。为使计算结果更能符合实际情况，对于钢筋混凝土结构考虑塑性性能的研究工作正在进行。随着钢筋混凝土构件基本性能研究的深入以及电子计算机的应用，使钢筋混凝土结构分析的发展趋向从弹性计算理论向考虑钢筋混凝土非弹性变形的弹塑性计算理论发展，从单体构件的分析方法向整体结构系统的空间分析方法发展。

随着预应力混凝土结构应用领域的不断扩大，在原来全预应力发展的基础上提出了部分预应力的新概念。这种理论允许预应力混凝土结构带裂缝工作，因而对大多数结构只需按使用要求适当选定预应力的大小以限制裂缝宽度，控制裂缝发展。与全预应力相比较，部分预应力能节省预应力钢筋的用量，增加混凝土有效断面。而且可以避免在全预应力中存在的因高应力造成的大量徐变。因此可以认为部分预应力混凝土是预应力混凝土设计与应用的一个重要发展。

钢筋混凝土结构是一门综合性较强的应用科学。它的发展需要综合运用数学、力学、材料及施工技术科学的成就，并涉及许多工业部门，以建立自己完整的设计理论、结构体系和施工技术。近年来，由于电子计算技术及现代化的测试技术等新的科学技术成就被逐渐用于钢筋混凝土学科的研究中来，促使这门学科的面貌发生了巨大的变化，并将逐步向新的更高的阶段发展。

在十九世纪末和二十世纪初，我国也开始有了钢筋混凝土建筑物。但工程规模很小，建筑数量很少。解放以来，我国在落后的国民经济基础上进行了大规模的社会主义建设。随着社会主义建设事业的蓬勃发展，钢筋混凝土在我国各项工程建设中也得到迅速的发展和广泛的应用。

我国在一般民用建筑中已较广泛地采用定型化、标准化的装配式钢筋混凝土构件。近年来，随着建筑工业化的发展以及墙体改革的推行，正大力发展装配式大板居住建筑。这是一种较新的建筑结构体系。它的施工速度快、机械化工业化程度高、抗震性能较好。目前在北京、南宁等地已大批兴建。图 0-2 为南宁市兴建的大板住宅。各地还研究了框架轻板体系，最轻的每平方米仅为 300~500kg。由于这种结构体系的自重大大减轻，不仅节约材料消耗，而且对于结构抗震具有显著的优越性。

此外，钢筋混凝土高层建筑在我国也有一定的发展。北京、上海、广州等地已先后兴建了一些高层建筑。如 20 层 77.2m 高的北京饭店；33 层 106m 高的广州白云宾馆(图 0-3)。北京、上海等地还建造了一批高层住宅建筑。例如北京前三门 10~14 层的住宅建筑群；上海漕溪北路 16 层住宅建筑群(图 0-4)，采用了大模板现浇剪力墙——装配式大型壁板体系。

在大跨度的公共建筑中，常采用钢筋混凝土门式刚架、拱、薄壳等结构形式。如广州体育馆采用了现浇钢筋混凝土双铰门式刚架，跨度达 49.8m；北京体育学院田径房采用了钢筋混凝土落地拱，跨度 46.7m(图 0-5)；另外钢筋混凝土壳体结构也有一定发展。如北京火车站中央大厅的双曲扁壳，其跨度为 35m×35m；大连港运仓库采用了 23m×23m 的组合扭壳屋盖(图 0-6)；还有新疆某厂金工车间采用了直径为 60m 的装配式钢筋混凝土球壳等。

在工业建筑中已经广泛地采用了装配式钢筋混凝土及预应力混凝土。多年来，对于单层工业厂房进行了大量的结构改革和系统的试验研究工作，并积极推广标准设计及定型构

配件。随着建筑工业化的发展,国内有些城市在全国通用构配件的基础上,选定、简化和统一构配件,采用配套的生产工艺和施工机械,使厂房的设计、生产和施工组成为大工业的生产过程,初步建立了适合本地区特点的单层及多层工业厂房建筑体系。另外,为适应当前工业生产机械化、自动化程度的不断提高,工艺设备的逐步更新及生产规模的日益扩大,正在研究发展具有较大灵活性的、扩大柱网尺寸的合并厂房。单层工业厂房的结构形式除通常采用的桁架(或梁)、柱的线型结构外(图0-7),还出现了板梁合一、板架合一或板墙合一的板型结构和薄壁空间结构。如预应力V形折板(图0-8);多功能的单T形及双T形板(图0-9);预应力马鞍形壳板(图0-10)等。钢筋混凝土离心管结构是我国近十几年来发展起来的一项轻型承重结构。除用作单层厂房柱、屋架外,还用于多层框架结构、露天栈桥和塔架结构。图0-11为已建成的成都市80m高钢筋混凝土管结构电视塔。我国设计建造的大跨度预应力混凝土屋架跨度达60m。预应力混凝土吊车梁的吨位已达400t。在厂房的围护结构中已逐步使用大型工业墙板(图0-12)。近年来,为了节约用地,在工业建筑中多层工业厂房所占比重有逐渐增多的趋势。在多层工业厂房中进一步发展了梁、板、柱全预制的装配式框架结构及现浇柱、预制梁板的半装配式结构。同时对于装配式框架节点进行了大量试验研究,总结了具有我国特点的先进的新型节点构造。此外如烟窗、水塔、水池、冷却塔、造粒塔、贮罐、筒仓等工业构筑物也普遍地采用了钢筋混凝土和预应力混凝土。图0-13为钢筋混凝土双曲线冷却塔及烟窗。

钢筋混凝土在水利工程、桥隧工程、地下结构工程中的应用也极为广泛。用钢筋混凝土建造的水闸、水电站、船坞和码头在我国已是星罗棋布。例如浙江新安江水电站、黄河刘家峡水电站、湖北丹江口水利枢纽工程等规模都较宏大。图0-14为发电能力65万千瓦,年发电量约为19亿度的新安江水电站。图0-15为有名的福建乌龙江大桥,最大跨径达144m,全长548m。

随着钢筋混凝土和预应力混凝土结构在工程建设中的大量应用,我国在钢筋混凝土结构方面的科学研究也有了较大的发展。近年来,在钢筋混凝土基本构件性能与设计方法、安全度与荷载分析、单层与多层厂房结构、高层建筑结构、大板与升板结构、大跨度特种结构以及电子计算机在钢筋混凝土结构设计的应用等方面的研究工作取得了一批新的成果,基本理论和设计工作的水平均有较大的提高。解放初期东北地区首先颁布了按破坏阶段的设计规范,1966年的《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21—66),70年代初在总结我国工程实践经验和科学研究成果的基础上又制定了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)●以及有关专门的规程或规定。这些对于保证工程质量、统一设计标准、节约材料都起到了重要的作用。

钢筋混凝土结构是我国社会主义工程建设中应用最为广泛的一种结构,大力提高这个领域的科学技术水平,对于满足大规模社会主义建设的需要,实现四个现代化的宏伟目标具有重要的意义。为了响应党中央提出的尽快把我国科学技术搞上去,努力赶超世界先进水平的号召,必须深入开展科学研究,逐步改进设计理论,完善设计规范,积极采用先进的计算方法和电子计算技术,改进施工方法,大力推广新材料、新工艺、新结构。

● 以后简称《规范》。

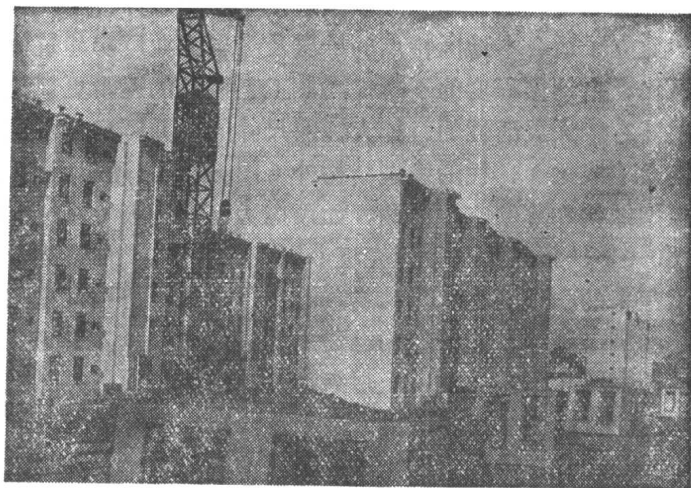


图 0-2 南宁大板住宅

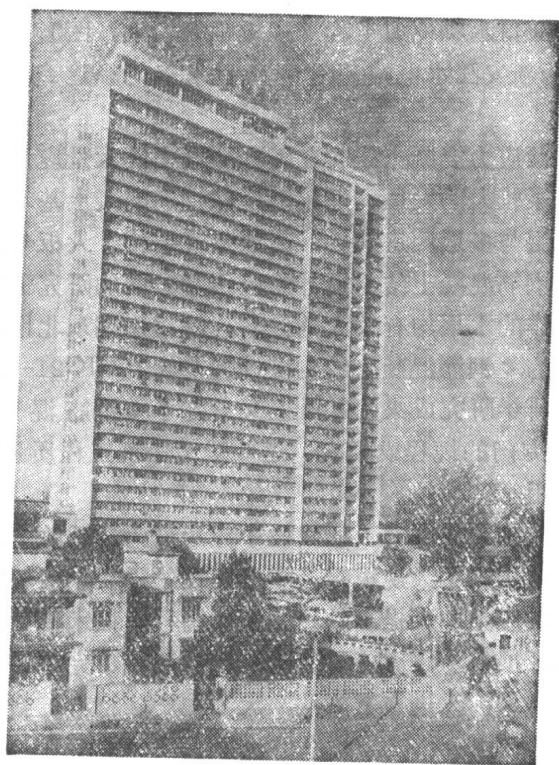


图 0-3 广州白云宾馆



图 0-4 上海漕溪北路高层住宅

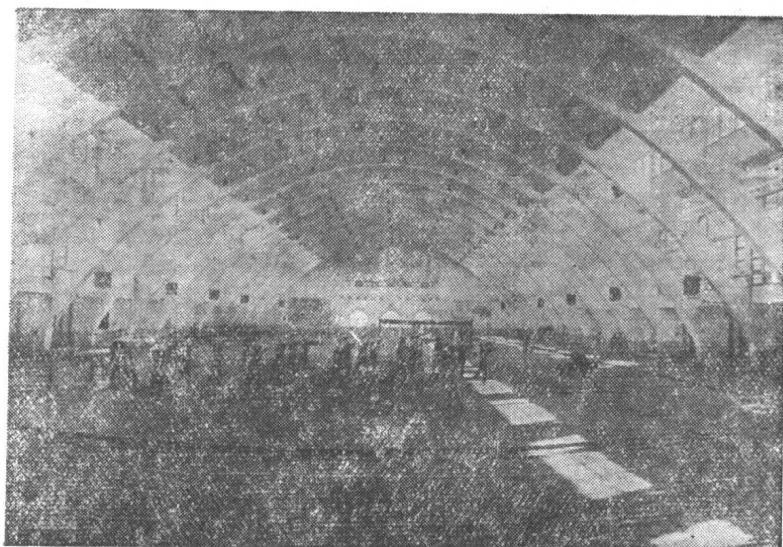


图 0-5 北京体育学院田径房落地拱

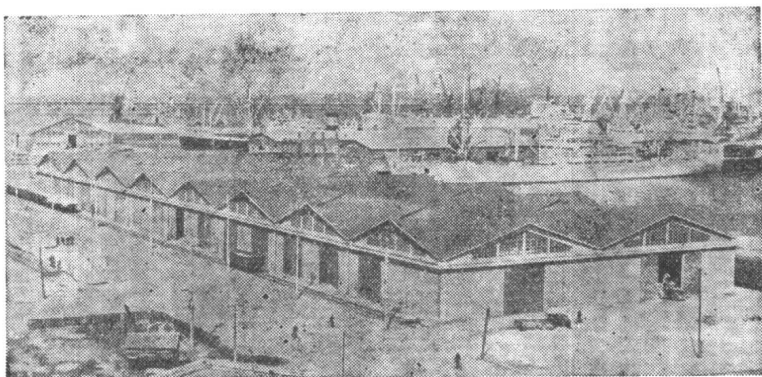


图 0-6 大连港仓库组合扭壳屋盖

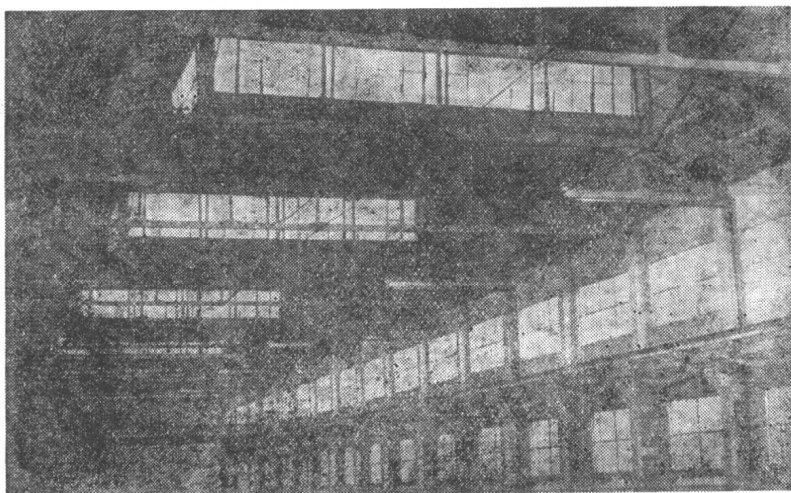


图 0-7 单层工业厂房

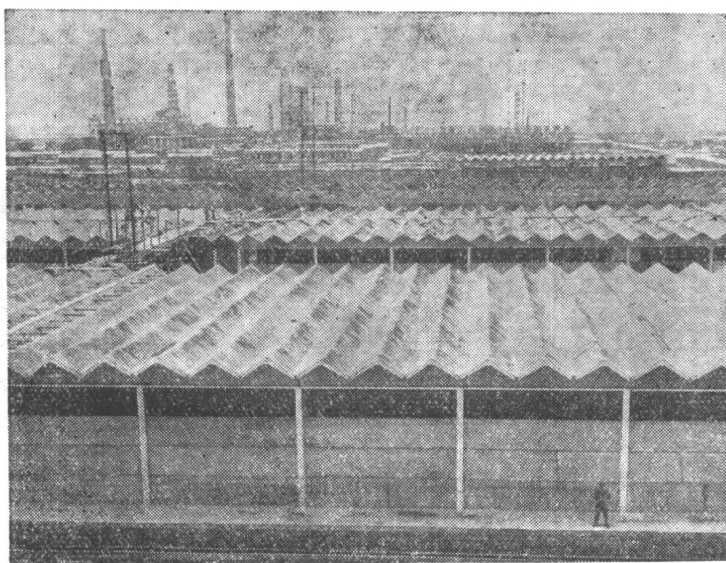


图 0-8 石家庄炼油厂V形折板结构

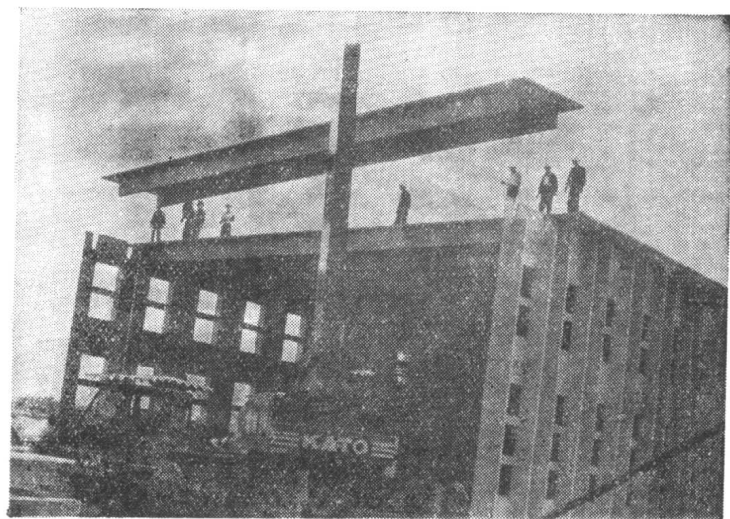


图 0-9 双T板结构

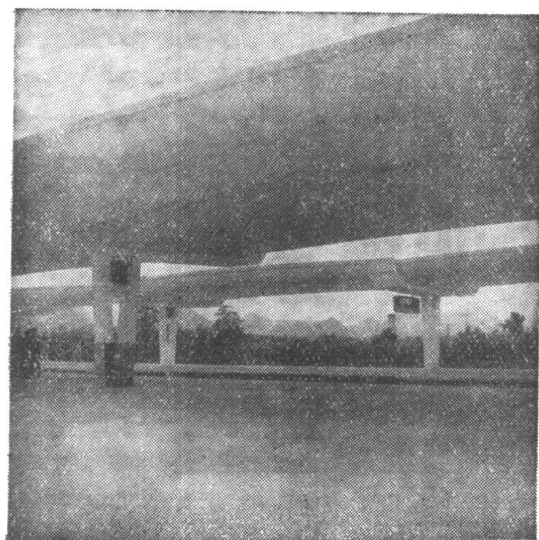


图 0-10 马鞍形壳板结构

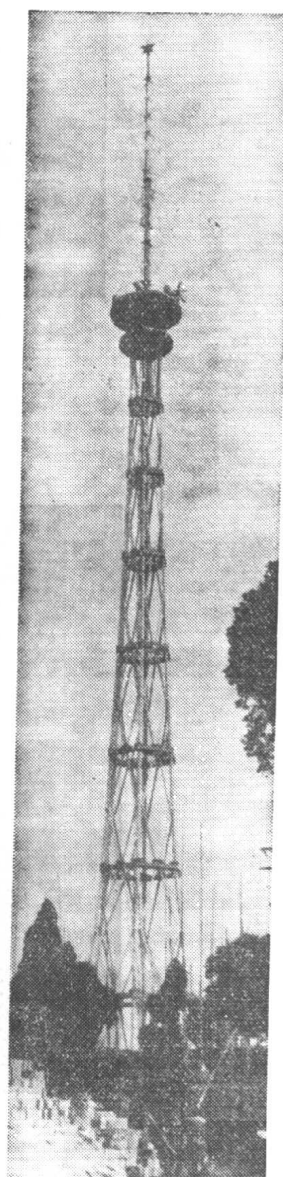


图 0-11 成都管结构电视塔

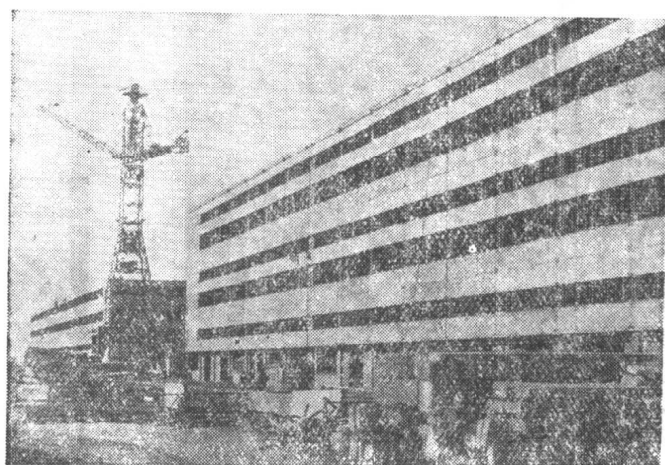


图 0-12 大型工业墙板

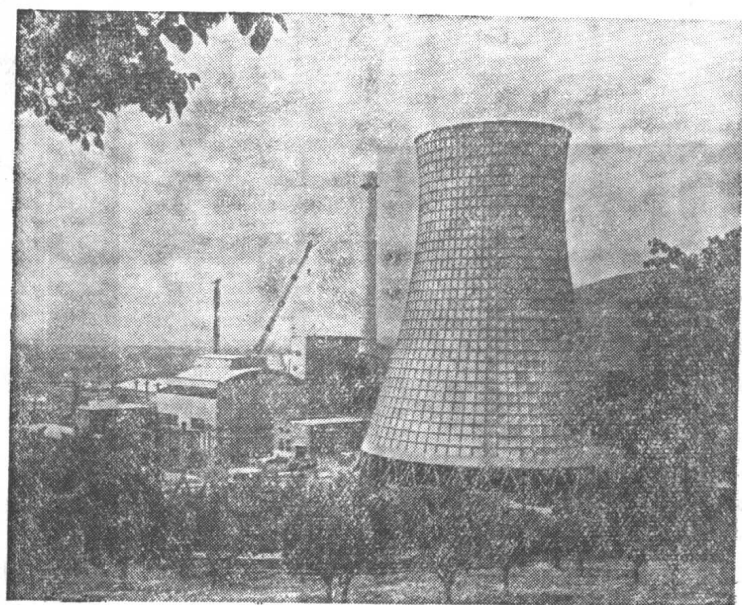


图 0-13 双曲线冷却塔及烟囱

原 书 缺 页