

高等学校試用教科書

鋼筋混凝土結構及 磚石結構

上 册

華東水利學院 大連工學院 陝西工業大學合編



中國工業出版社

高等学校試用教科書



鋼筋混凝土結構及 磚石結構

上 冊

華東水利學院 大連工學院 陝西工業大學合編

中國工業出版社

本书是在1958年和1960年两次教学改革的基础上，根据水利专业统一教学计划 and 教学大纲(草案)编写而成的。

全书分上、下两册。上册主要是讲述钢筋混凝土结构的计算原理，共計十三章，其中包括：各种钢筋混凝土构件承载能力的计算，抗裂稳定性与裂缝开展的计算，构件按极限强度的计算，少筋混凝土，预应力混凝土，以及装配式钢筋混凝土结构等。此外，并专章讲述了混凝土结构与砌石结构。

全书(上、下册)系由华东水利学院(主編)、大連工学院和陝西工业大学三校合編的。其中第十、二十、二十一、二十二、二十三等章系由大連工学院执笔，第十七、十八兩章系由陝西工业大学执笔，其余各章均由华东水利学院执笔。

本书可作为五年制河川枢纽及水电站水工建筑、农田水利工程、水道及港口水工建筑、水利施工等专业的教材。精簡某些内容之后亦可作为四年制同类专业的教材。

因限于水平及时间，本书錯誤失当之处必然很多，竭誠希望兄弟院校将发现的問題及教学实践过程中取得的經驗及时寄交华东水利学院建筑結構教研組，以便今后修正补充。

鋼筋混凝土結構及磚石結構

上 册

华东水利学院 大連工学院 陝西工业大学合編

*

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張27 5/8·插頁1·字数660,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—5,033·定价(10-6)3.30元

統一书号：15165·471(水电-69)

目 录

緒 論	5
§1. 钢筋混凝土結構的基本概念	5
§2. 钢筋混凝土的优缺点及应用范围	5
§3. 钢筋混凝土結構的分类	7
§4. 钢筋混凝土結構的发展簡史	9
§5. 我国钢筋混凝土結構建設的成就	11
§6. 本課程的学习任务	15
第一章 钢筋混凝土的材料	16
§1-1 混凝土的强度	17
§1-2 混凝土的变形	22
§1-3 混凝土的其他性能	27
§1-4 水工混凝土的选择	29
§1-5 钢筋的性能	31
§1-6 钢筋种类和結構型式	33
§1-7 钢筋与混凝土的結合	40
第二章 钢筋混凝土結構的計算原理	42
§2-1 钢筋混凝土結構計算的主要内容	42
§2-2 钢筋混凝土受弯构件的应力阶段	43
§2-3 钢筋混凝土結構的各种計算理論	44
§2-4 各种計算理論的选择	48
§2-5 設計的一般指示	49
第三章 钢筋混凝土构件的承載能力計算——受弯构件	50
§3-1 按破坏阶段計算钢筋混凝土构件的安全系数与材料强度极限	50
§3-2 受弯构件的一般說明	52
§3-3 单筋矩形断面受弯构件的計算	55
§3-4 双筋矩形断面受弯构件的計算	61
§3-5 T形断面受弯构件的計算	65
§3-6 受弯构件(梁)的橫向力計算——按彈性阶段方法	71
§3-7 受弯构件的橫向力計算——按破坏阶段核算斜断面强度	78
§3-8 梁的构造与材料图形	82
第四章 钢筋混凝土构件的承載能力計算——軸心受压及軸心受拉构件	91
§4-1 軸心受压柱的型式	91
§4-2 鋼箍柱	92
§4-3 配有螺旋式或焊环式間接钢筋柱	98
§4-4 軸心受拉构件	102
第五章 钢筋混凝土构件的承載能力計算——偏心受压及偏心受拉构件	102
§5-1 偏心受压构件的构造与試驗研究結果	102

§5-2	矩形断面大偏心受压构件的计算	104
§5-3	矩形断面小偏心受压构件的计算	108
§5-4	偏心受压构件的强度复核	110
§5-5	偏心受压构件纵向弯曲稳定的考虑	111
§5-6	配置对称钢筋的偏心受压构件(矩形断面)	113
§5-7	斜偏心受压构件的计算	114
§5-8	T形断面偏心受压构件的计算	114
§5-9	环形及圆形断面的计算	116
§5-10	偏心受拉构件	122
§5-11	偏心拉压构件横向力的计算	124
第六章	钢筋混凝土构件的抗裂稳定性及裂缝开展的计算	125
§6-1	概述	125
§6-2	抗裂稳定性的计算	126
§6-3	裂缝开展的计算	131
§6-4	裂缝开展计算中的几个问题	143
第七章	按极限状态计算钢筋混凝土结构	147
§7-1	概述	147
§7-2	计算系数和材料计算强度	148
§7-3	第一极限状态——承载能力的计算	154
§7-4	第二极限状态——变形的计算	162
§7-5	第三极限状态——裂缝开展的计算	168
§7-6	按数理统计计算钢筋混凝土结构的概念	169
第八章	钢筋混凝土肋形结构及刚架结构	171
§8-1	概述	171
§8-2	单向连续板梁的内力计算——按弹性方法计算	175
§8-3	考虑塑性内力重分配计算单向连续板梁的内力	180
§8-4	单向连续板梁的构造与配筋	182
§8-5	刚架式渡槽设计举例	190
§8-6	双向板的计算与构造	208
§8-7	支承双向板的梁	219
第九章	砖石结构及混凝土结构	220
§9-1	砖石结构的应用及优缺点	220
§9-2	砖石材料	221
§9-3	砖石砌体	223
§9-4	砌体的强度及弹性模数	223
§9-5	按破坏阶段计算砖石结构	228
§9-6	水工砖石结构砌筑技术及构造要求	234
§9-7	混凝土结构	237
第十章	少筋混凝土结构	247
§10-1	概述	247
§10-2	少筋混凝土结构的工作特性及计算原理	248
§10-3	受弯构件的计算	254

§10-4 偏心受压构件的计算	258
§10-5 偏心受拉构件的计算	266
§10-6 軸心受拉构件的计算	269
§10-7 按照苏联1959年规范CH55-59的简化算法	270
§10-8 计算例题	270
第十一章 弹性工作阶段按应力配筋问题	275
§11-1 按应力分布情况配筋的意义及其计算构造要点	275
§11-2 大体积结构内孔口、廊道的配筋	276
§11-3 深梁的配筋	283
§11-4 承受内水压力的圆形隧洞的衬砌计算	285
第十二章 预应力混凝土结构	288
§12-1 预应力混凝土结构的实质	288
§12-2 预应力混凝土的材料	291
§12-3 预应力钢筋混凝土结构的制造	294
§12-4 预应力钢筋混凝土的一般构造要求	299
§12-5 预应力钢筋混凝土结构的计算原则	302
§12-6 预应力钢筋混凝土构件各阶段的应力情况及应力的计算	310
§12-7 按承载能力计算预应力钢筋混凝土构件	317
§12-8 预应力钢筋混凝土构件的抗裂与裂缝开展的计算	326
§12-9 预应力钢筋混凝土构件变形(刚度)的计算	333
§12-10 预应力混凝土迭合结构	345
§12-11 预应力混凝土在水工建筑中的应用	358
第十三章 装配式钢筋混凝土结构	380
§13-1 概述	380
§13-2 水上建筑中的装配式结构	382
§13-3 装配式水工建筑物	391
§13-4 装配式钢筋混凝土结构的计算与设计原则	402
附录 I	405
表 1 光面圆钢筋的横断面面积、重量及极限长度	405
表 2 各种钢筋间距时每米板宽中的钢筋断面面积	406
表 3 冷拉规律变形钢筋	407
表 4 尤5及25Г2C热拉规律变形钢筋	408
附录 II	409
表 1 矩形及T形受弯构件当 $\sigma_T=2500$ 公斤/厘米 ² 、混凝土标号为100、150和200时的 α 、 r 、 A 、 γ 值	409
表 2 矩形及T形受弯构件当 $\sigma_T=2850$ 公斤/厘米 ² 、混凝土标号为100~250时的 α 、 r 、 A 、 γ 值	410
表 3 矩形及T形受弯构件当 $\sigma_T=3500$ 公斤/厘米 ² 、混凝土标号为150~250时的 α 、 r 、 A 、 γ 值	411
表 4 任意钢筋及混凝土标号的计算表	412
表 5 任意钢筋及混凝土标号的计算表(α 值计算表)	413

附录 III	等跨連續板梁承受匀布荷載时的跨中弯矩、支座弯矩及支座断面处的剪力	414
附录 IV	等量荷載表	417
附录 V	等跨連續梁在移动的集中荷載作用下各断面的弯矩系数及支座断面处的剪力系数	418
附录 VI	等跨連續梁在端弯矩作用下各断面的弯矩及剪力	422
附录 VII	承受匀布荷載的等跨連續梁, 各断面最大及最小弯矩值(弯矩包絡图)	423
附录 VIII	考虑塑性内力重分配对各种不同的 p/g 的等跨度次梁的弯矩系数表	425
附录 IX	在全部区格面积上受匀布荷載重时四边支承板的計算表	426
附录 X		427
表 1	四边固定、承受三角形荷載的矩形板	427
表 2	三边固定、一边簡支、承受三角形荷載的矩形板	428
表 3	三边固定、一边簡支、承受三角形荷載的矩形板	429
表 4	三边固定、一边自由、承受三角形荷載的矩形板	430
表 5	三边固定、一边自由、承受三角形荷載的矩形板	431
表 6	四边簡支、承受三角形荷載的矩形板	432
表 7	四边簡支、承受三角形荷載的矩形板	434
表 8	一边固定、三边簡支、承受三角形荷載的矩形板	436
表 9	两边固定、两边簡支、承受三角形荷載的矩形板	437
表 10	三边簡支、一边自由、承受三角形荷載的矩形板	437
附录 XI	三边支承、一边自由、承受匀布荷載的矩形板	438
附录 XII	承受对称于板中心的局部匀布荷載的四边簡支板弯矩系数表(加列尔金表)	439

緒 論

§1. 鋼筋混凝土結構的基本概念

鋼筋混凝土是由混凝土和鋼筋兩種不同性能材料結合在一起共同工作，結合後這兩種材料各自的特性能充分發揮，因而使組合體具有更高的承載能力的一種建築材料。

我們知道混凝土如同磚石一樣，抗压能力高而抗拉能力很弱。因此用混凝土作為承受拉應力的構件是極不合适的。鋼筋則和混凝土不同，它具有同樣高強的抗拉和抗压能力。因此如果將這兩種材料結合在一起，使混凝土主要承受構件的壓應力，而構件中的拉應力由鋼筋承受，借以克服混凝土抗拉能力低弱的缺點，這就能充分發揮它們各自應有的作用，使構件的承載能力大大提高。觀察一純混凝土梁，在承受彎矩時，由於混凝土抗拉強度遠較抗压強度為低，故梁的斷面尺寸完全決定於混凝土受拉區域的工作條件。當純混凝土梁受拉區出現破裂而整個梁發生脆性毀壞時，受壓區混凝土始終未能得到充分利用。如果在受拉區內配置鋼筋，利用鋼筋來承受混凝土開裂後所有的拉力（圖1），則可大大地增加同樣斷面尺寸的構件的承載能力。

我們也可以在混凝土中配置其他善于抗拉的材料來承受拉力，如利用玻璃絲、竹材等。這樣的結構相應地就稱為玻璃絲混凝土、竹筋混凝土，或者通稱為加筋混凝土。但所採用抗拉材料必須以能夠與混凝土很好地共同工作為前提。

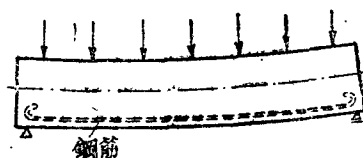


圖 1

鋼筋與混凝土兩者所以能夠很好地共同工作，其原因是：第一，當混凝土結硬後能與鋼筋牢固地膠結在一起，在外力作用下兩種材料的相鄰纖維具有相同的變形。其次，兩者之間線溫度膨脹係數幾乎相同^①。當溫度變化時，兩者之間不會發生相對的溫度變形，因而不產生內應力。第三，混凝土將鋼筋緊密地包住，得以防止鋼筋的銹蝕，從而保證了鋼筋混凝土具有良好的耐久性能。

§2. 鋼筋混凝土的優缺點及應用範圍

作為一種建築材料，鋼筋混凝土與磚、石、木、純混凝土等相比，一般地說具有下列優點：

1. 強度與耐久性：鋼筋混凝土具有很好的強度，與磚石、木和混凝土結構相比，鋼筋混凝土的抗压、抗彎以及抗拉強度均是很大的。尤其是預應力鋼筋混凝土，其強度甚至可與鋼結構媲美。同時鋼筋又為混凝土所包裹不致銹蝕，故其耐久性極大。抵抗大氣及介質的侵蝕比鋼結構、木結構等為佳，養護費用可大為節省。

2. 可塑性：鋼筋混凝土與純混凝土一樣，具有可塑性，可以很方便地澆製成有利的

^① 混凝土線膨脹係數為0.000148~0.00019，鋼為0.000121。

結構形狀，這是鋼結構、木結構所不能及的。這對具有形狀極為複雜的水工建築物是特別有意義的。

3.就地取材，節省鋼材：鋼筋混凝土整個體積中，絕大部分為砂與石子，一般均可就地取材。同時應該着重指出，它與鋼結構相比，可節省大量鋼材。特別是預應力鋼筋混凝土結構發展以後，許多原先必需用鋼結構來建造的建築物都可以用鋼筋混凝土結構來代替。這對國民經濟建設具有極為重要的意義。

4.整體性與剛度：鋼筋混凝土具有很好的整體性，故特別有利於抵抗地震及風浪沖擊。另外，它又具有很大的剛度，在使用荷載下，僅發生很小的撓度。與混凝土、磚、石等相比，鋼筋混凝土除了整體性外，又有相當大的彈性，故可承受大的動力荷載及撞擊。

5.節省勞動力：在大型水利工程中，建造鋼筋混凝土壩常有可能比建造土壩、堆石壩等節省勞動力，有利於滿足國民經濟各部門對勞動力的需要。但鋼筋混凝土水工建築需要大量鋼材與水泥，故在選擇結構物型式時應綜合考慮節省材料及勞動力。

6.耐火與衛生：在工業與民用建築中，鋼筋混凝土結構還具有比鋼結構、木結構好得多的耐火性，在衛生方面也比磚石、木結構等為優越，所以特別適合於醫院及公共建築。

鋼筋混凝土結構也有不少缺點，但在技術日益進步的情況下，大部分缺點已可克服。主要缺點為：

1.腳手架及模板費用大：在過去澆制整體式鋼筋混凝土結構時^①，必須建立支架及模板，耗費木料很多。如採用裝配式鋼筋混凝土以及工具式模板、滑動模板等措施後，支架及模板費用可大量減少。在大體積水工鋼筋混凝土建築物中，亦可應用預制鋼筋混凝土裝配鑲面板來做模板，這樣既節省木料，又提高工程質量。

2.施工期長：應用一般普通水泥時，需要6~28天才能拆模。這樣就延長了施工期限，且使模板周轉不快。但採用高標號水泥、快硬水泥、速凝劑、蒸汽養護等措施以後，可增長混凝土早期強度而使拆模的時間提早2~3倍。如果採用裝配式構件，這一缺點就更不存在了。

3.自重：鋼筋混凝土的自重比起鋼、木結構來還是顯得過重，但可以採用以輕骨料澆成的輕質混凝土結構。預應力鋼筋混凝土、鋼絲網水泥等發展以後，構件斷面尺寸大為減小，這項缺點，就改善不少。但對水利工程來說，有時反而需要自重大的大體積圪工，藉以增加其穩定性（如壩、重力式擋土牆等等）。

4.水化熱發熱量大：大體積的水工混凝土與鋼筋混凝土塊體在澆制以後，由於水泥結硬時散發的水化熱熱量為數很大，有時就發生巨大的溫度應力而使塊體表面和內部發生裂縫。對水利工程來說，這是一個相當麻煩的問題。為了降低發熱量，常需要採用一系列昂貴的人工措施：如採用低熱水泥、預冷骨料、加冰、埋設冷卻水管，開冷卻井，設置溫度收縮縫等。

5.檢查拆修困難：鋼筋混凝土結構一旦澆制後，就很難檢查內部情況，如果發現質量有問題，拆修亦相當困難，故只能依靠事先慎重設計和施工中嚴格控制操作規程來保

① 所謂整體式即為就地現澆混凝土者；所謂裝配式即由工廠或工場中預制的構件裝配而成者。

証质量。

6. 用鋼尚多：钢筋混凝土結構与磚、石、混凝土等相比，显然还多用鋼材，因此为了节省鋼材起見，次要的或小型的建筑物，还应尽可能用磚，石或其他材料等来建造。

7. 可能出現裂縫及表面剝落：混凝土由于其收縮、凝縮，在表面上不可避免地会发生一些裂縫。不过这些裂縫对結構的强度没有什么影响，但为了防止引起鋼筋的銹蝕，仍然应将裂縫或剝落加以妥善的修补。在大型水利工程中亦常在表面鋪置鋼絲网以增强抗裂能力，防止裂縫及表面剝落。

由上所述可以看出，钢筋混凝土具有許多突出的优点，但也有不少缺点，不过大部分缺点在實踐中已能逐步获得解决，并在今后更能提供改进的办法。所以钢筋混凝土結構愈来愈广泛地应用在建筑事业中是必然的趋势。

现在钢筋混凝土在所有建筑领域中均被广泛地应用着，而且正不断地創造出許多新穎的結構型式(如形状复杂的薄壳及折結構)。

在工业与民用建筑方面：钢筋混凝土可以用来建造各种房屋、仓库、烟囱、基础、貯水池、水塔、煤仓等等。一向用鋼結構制成的吊車梁、工业液体的貯罐、油庫、高压釜等，最近也广泛地采用預应力钢筋混凝土。

在交通运输建筑方面：钢筋混凝土可用于建造各种桥梁，特别是預应力混凝土桥梁，由于其自重輕和抗裂性高，更有广阔的发展前途。

钢筋混凝土还可以用来建造电綫杆、軌枕等建筑。

在水利工程方面：钢筋混凝土的应用更为广泛。它可以用来建造巨大的擋水建筑物——如連拱坝、平板坝、寬縫重力坝、薄拱坝、大型水閘等。也可以用来建造調压塔、隧洞衬砌、压力水管、水电站厂房、发电机机座、尾水管等水力发电工程。在水道港口建筑中，它可以用来建造大型的船閘、碼頭、沉箱、棧桥、駁岸、浮塢等工程。灌溉工程中的渡槽、涵管、跌水、陡坡、倒虹吸等渠道建筑物，亦用钢筋混凝土作为主要的建筑材料。一向用鋼結構制造的閘門及水輪机蜗壳最近亦开始研究采用預应力钢筋混凝土或鋼絲网水泥来建造。

§3. 钢筋混凝土結構的分类

钢筋混凝土結構，根据其不同受力状态、不同的制作方法、不同的材料，可分为許多类别。

首先按其是否受有預加的人工压应力而分为預应力混凝土和普通钢筋混凝土两大类。預应力混凝土結構将在本书第十二章中詳述，在本节內仅将普通钢筋混凝土的分类加以介紹。

I. 按受力状态不同来分类：

按照結構受力状态的不同，钢筋混凝土結構可分为杆件与非杆件两大类。杆件系統中又有：1)受弯构件；2)軸心受压构件；3)偏心受压构件；4)偏心受拉构件；5)軸心受拉构件；6)受弯受扭构件。这些不同的受力构件，将用不同的計算方法，其构造配筋原則与形式亦各不相同。

非杆件系統在水工建筑中常会遇到，如許多复杂的大体积的或板壳状的整体空間結構(如連拱坝的梁墙、双曲薄壁拱坝、調压塔等等)，不能簡化成为杆件系統来分析。而

应以弹性理论等方法分析结构的主拉应力方向，再按主拉应力配置必需的钢筋。

II. 按制作方法分类:

按制作方法的不同，钢筋混凝土结构可分为：1) 装配式；2) 整体式；3) 装配-整体式。兹分述于后：

1) 装配式钢筋混凝土结构系由工厂(工场)中预制构件，然后运往建筑工地安装接合而成。装配式构件在工厂中制造，其质量常较现场浇筑者为佳。而且可以应用施工机械节省劳动力，不受季节限制，加快施工进度，毋需现场浇筑时的脚手支架，节省模板。在工业与民用建筑领域中，极大部分已采用装配式构件。图2为装配式构件的梁、柱、大型屋面板等形式。

2) 整体式结构是指在现场整体浇筑之结构而言，一般应用于难于分割的建筑物(如挡水建筑物)或要求刚度特别大的结构物(如重型基础)；或由于安装起重设备受到限制采用装配式有困难的建筑物，及各构件形状极不统一、没有标准形式的建筑物等等。

虽然装配式结构有许多明显的优点，但到目前为止整体式结构的应用仍极为普遍。

3) 装配-整体式结构是在结构内有一部分为预制的装配式构件，一部分为现浇的整体混凝土。预制的装配部分常作为现浇部分的模板支架。图3为装配-整体式结构的一个例子。

装配-整体式结构的装配构件部分，更常用预应力混凝土制成(见第十二章预应力迭合梁)。装配-整体式结构的优点为施工快，无需支架，刚度也好，在水工建筑中应用很广泛。

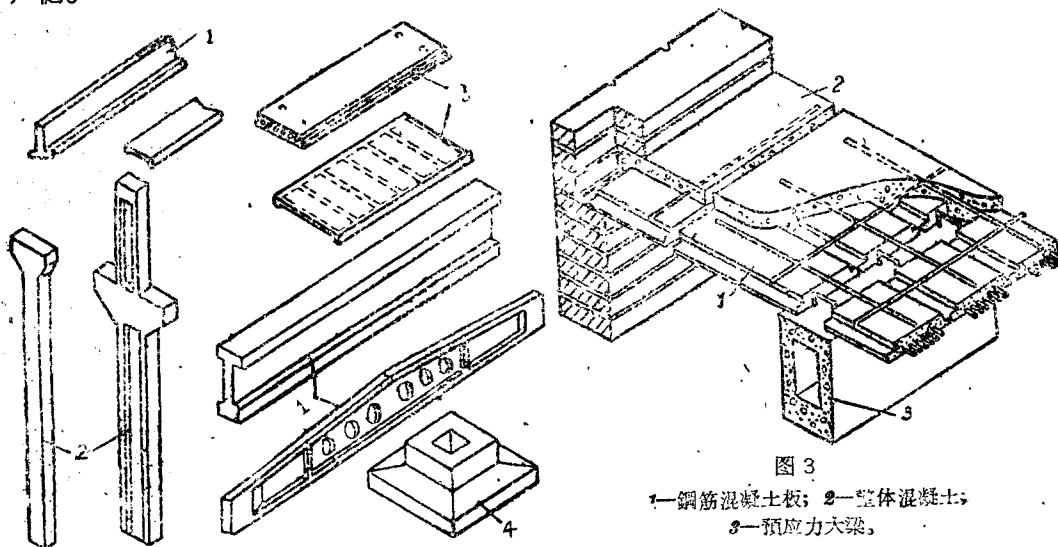


图2

1—梁；2—柱；3—大型屋面板；4—基础。

图3

1—钢筋混凝土板；2—整体混凝土；
3—预应力大梁。

III. 按材料分类

按照混凝土的性质，钢筋混凝土可分为重与轻两种。重钢筋混凝土即为一般普通骨料制成的钢筋混凝土，其容重在 $1,800$ 公斤/米³以上；轻质钢筋混凝土的容重则在 $1,200 \sim 1,800$ 公斤/米³之间，是用轻质骨料(浮石、凝灰岩、烧陶土等)制成。轻质钢筋混凝土可降低结构之自重，并具有绝热与隔音的良好性能。

按照所用鋼筋的不同，鋼筋混凝土又可分为柔性鋼筋的及勁性鋼筋的两种。前者为鋼筋混凝土的基本形式，它所配置的鋼筋是用鋼条綁紮或焊接而成，后者由型钢或承重焊接骨架构成(參閱圖1-21)。

勁性鋼筋混凝土之优点在于可应用悬吊模板，不需要脚手支架，可加快施工速度，节省木材及減輕劳动强度。但要耗費过多的金属材料，故在我国目前尚少采用。但与鋼結構相比，它仍可节省鋼材30~50%。

IV. 按含鋼量多少来分：

此外，按含鋼量多寡，鋼筋混凝土結構又可分为少筋混凝土結構与鋼筋混凝土結構。少筋混凝土結構在水利工程中常会用到，其計算方法有其独特的地方(見第十章)。

§4. 鋼筋混凝土結構的发展簡史

新材料的发现和新的結構的采用都是由于劳动人民在創造社会財富过程中，当生产力不断发展，旧的东西不能适应生产需要的情况下，人們通过劳动实践不断摸索創造和完善起来的。鋼筋混凝土結構的发展过程同样也說明了这点。鋼筋混凝土結構的应用还只是近百年的事情，但因其本身具有一系列突出的优点，因此发展异常迅速。

純混凝土結構起源很早，在古代，人們就利用粘土筑牆，后来又在粘土中摻入砾石以期增加牆的强度，这可以說就是“混凝土”的萌芽。因为粘土混合物容易受雨雪浸湿而軟化，人們又改用了燒制石灰摻入“混凝土”。

通过劳动人民不断的劳动实践，在1824年正式制成了波特兰水泥，由于它可以塑造成任意形状、强度好、并能很快結硬，因此得到了很大的发展。但这种材料抗拉强度却很低。为了弥补这种缺点，就促使人們考虑以抗拉性能較好的材料来加强它。1850年在法国曾有人用鉄絲网涂以水泥浆制造了小船，1861年法国花匠蒙尼(J. Monier)用鉄絲加固砂浆制造了花盆，開創了鋼筋混凝土发展的历史。后来蒙尼又把这种新的材料正式推广到制造小型的梁、板、及圓管等构件中去。当时因对这种材料結構的性能不十分了解，純凭实践的經驗，因而竟將鋼筋置于板的中心，这当然是不对的。

經過生产实践的推动，人們逐步認識和掌握了鋼筋混凝土的工作特性。鋼筋混凝土結構在建筑事业上才得到了广泛应用。1866年德国肯因(M. Koenen)又在总结前人經驗的基础上提出了鋼筋混凝土結構的計算方法，自此鋼筋混凝土結構由实践經驗发展到具有理論根据的阶段，而理論又反过来推动了这一新技术在实践中之应用与发展。这一阶段可算是鋼筋混凝土发展的第一阶段。

1892年法国根涅比克(F. Hennebique)等人設計了鋼筋混凝土肋形結構，如图4所示(由板梁柱整体澆筑)，并且还总结了計算方法与构造指示。这对鋼筋混凝土結構的发展具有很大的意义。

随着資本主义生产的发展，陸續出現了許多大型的鋼筋混凝土建筑物，如碼頭、倉庫、公路桥、铁路桥等等。

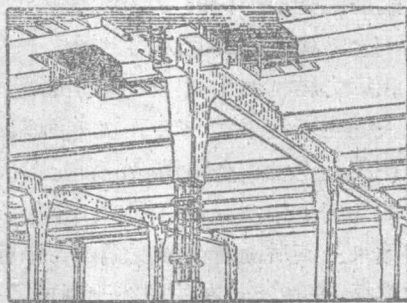


图4

在此期間，法国的康西特尔(Considère)，德国的默尔实(E. Mörch)，俄国的別列

留勃斯基 (Н.А.Белелюбеский) 等人对钢筋混凝土計算理論与实践試驗均作出了不少的貢獻。

正如恩格斯所指出的：“科学的发生和发展从开始起便是由生产所决定的。”^① 生产建設的日益发展，促使了钢筋混凝土的科学技术理論日趋成熟。

至此，一般的板梁系統的结构已发展成熟。在配筋构造与施工諸方面，也有了重要的改进与創造。例如螺旋形鋼筋、鋼筋网、焊接骨架等已有应用。計算方面，各国均有自己的設計技术规范，其計算理論已臻于完善。不过因为缺乏大量試驗，对钢筋混凝土这种材料的性能尚掌握不够，故其計算的基本假定是把混凝土視作为彈性体，而沒有考虑到混凝土的塑性变形、收縮徐变等影响，实际上不能反映钢筋混凝土工作实质。所以这种按材料許可应力的計算理論，常被称为“古典理論”。这是第二阶段。

在第二阶段的后期，随着生产的进一步发展，按彈性体作为基础的計算理論与材料实际性能間之矛盾日益突出。生产实践要求人們迅速地改进計算理論。同时由于钢筋混凝土自重大，又易裂，无法滿足建造大跨度结构或特殊用途的结构的需要。为了解决这一矛盾，促使人們采用輕骨料制造輕混凝土，并轉向預应力钢筋混凝土结构与空間薄壁结构等方面发展。这些矛盾的逐步解决，使钢筋混凝土在发展道路上发生了质变，进入了第三阶段。

但是資本主义制度发展到后期特别是帝国主义阶段，已日益暴露出它的腐朽和反动的本质，对科学技术的发展，起着越来越大的阻碍作用。資本家为了榨取更大的剩余劳动价值，垄断专利，不愿再来用新的施工技术和更新生产装备，也不愿采用更合理的計算理論。因之在資本主义国家长时期內仍然沿用保守的“古典計算理論”，停滯不前。只有在社会主义国家，先进的社会制度，使得科学走上真正能够广闊发展的道路。

自偉大的十月社会主义革命以后，在社会主义工业化、电气化的迫切要求下，苏联的建筑工程技术也有了新的、巨大的发展。由于生产建設的需要，促使苏联的工程人員丢弃了历来按許可应力計算的陈旧理論，創造出按破坏阶段的新計算方法。使計算理論与实际情况更相符合。从而节省了大量建筑材料，特别是宝贵的鋼材。

苏联学者罗列依特 (А.Ф.Лолейт)，葛涅茲捷夫 (А.А.Гвоздев)，巴斯特納克 (П.Л.Пастернак)，布施科夫 (В.А.Бущков) 等人在創立新理論方面是起了卓越的作用。苏联学者們之所以能取得这輝煌的成就，因为他們的思想是以辯証唯物主义的观点武装起来的，因为他們的工作是与偉大的社会主义建設的生产实践相紧密联系的緣故。

钢筋混凝土结构的发展随之进入第三阶段之后，空間薄壁结构、装配式与預应力钢筋混凝土结构也得到巨大的发展。

預应力结构的出現，給钢筋混凝土结构打开了一个更新的局面。預应力的概念很早就人們生活实践中产生了 (如桶加箍使桶預先受压)。在1888年間在德国曾有人將預应力加在混凝土上，企图消除混凝土易裂的缺点。他們用螺旋式千斤頂張拉鋼絲，做成楼盖中的某些小构件。但由于所用鋼材强度不高，因此施加的預压应力很低，未能获得預期的效果。其后随着高强度鋼絲与高标号混凝土的产生，加以人們对混凝土收縮徐变性能的掌握，在1928年在法国終于制成了永久性的預应力混凝土构件。由于預应力混凝土突

① 恩格斯：“自然辯証法”，人民出版社，1959年，149頁。

出的优点，在实践中日益得到推广，在理論上也日臻完善。这些可以在法国的弗列西奈(E. Freyssinet)，比利时的馬聶尔(G. Magnel)，苏联的米哈依洛夫(В. В. Михайлов)等人的著作及研究中得到了反映。

在第三阶段內还創造了许多先进的施工方法，如工具式模板，用离心法、真空法、压軋法、震动法等制造构件。

二十世紀五十年代，鋼筋混凝土結構又进入一新的阶段，也就是发展的第四阶段。在这一阶段內計算理論又得到了进一步的发展。“按极限状态計算”的新方法被采用了。这种新的計算方法更全面地考虑了建筑結構的所有的影响因素，使得計算結果更符合实际情况^①。这一先进的建筑結構計算方法的創立，是苏联工程界 Н. М. 盖尔謝凡諾夫，Н. С. 斯特叶列斯基，А. А. 葛涅茲捷夫等的巨大貢獻。与此同时，苏联穆拉謝夫(В. И. Мурашев)等人又首創了裂縫开展及剛度的計算。把鋼筋混凝土結構計算理論又大大向前推进了一步。1955年苏联与我国已相继在工业与民用建筑中采用了以此先进的計算理論为基础的新规范(ННТ-123-55)。順便提及，在许多資本主义国家，到目前才开始向考虑塑性的破坏阶段計算方法过渡，在此又一次証明了社会制度与科学技术发展的密切关系。

第四阶段另一特点是生产进一步的工业化、标准化与規格化，高效能輕质材料和輕型空間薄壁結構的采用。这主要是由于大規模的水利建設要求所决定的。而构件生产的工业化、标准化和規格化正是达到这一目的的重要保証。

在1955~1958年間，苏联大力发展了預制构件的生产。在1958年装配式鋼筋混凝土生产达1,800万立方米，已占世界第一位。并且将各类构件和建筑参数加以定型化、規格化；甚至在整个工业厂房的工艺設計也全部采用标准化和規格化的装配构件。这些成就就是資本主义国家所望尘莫及的。

随着生产不断发展的要求，对鋼筋混凝土結構学科提出了一系列新的問題，要求在今后加以解决，例如：

- 1) 采用更先进的数理統計方法計算建筑結構；
- 2) 輕型薄壁結構(如鋼絲网水泥薄壳等)的进一步发展。
- 3) 新的高效能材料的研究，如塑料混凝土(聚氯乙稀混凝土、醋酸乙稀混凝土)，金属陶瓷，蜂窝夹层輕质材料等等。新的材料将是高强輕质的，将向微粒細絲、复合材料、合成材料等方向发展，新材料的采用必将引起鋼筋混凝土領域中的巨大变革。
- 4) 对材料基本性质的研究，如材料的徐变、松弛理論以及在长期荷載及重复荷載作用的性能等等。同时新的量測技术也迫切要求加以发展。
- 5) 在水工鋼筋混凝土結構中如何过渡到按极限状态計算，如何广泛全面地在水工建筑中采用装配式、預应力結構及空間薄壳結構，如何加强混凝土抗裂性能以及大体积混凝土的收縮徐变的研究等，更是需要我們加速解决的問題。

§5. 我国鋼筋混凝土結構建設的成就

在建筑結構方面，我国自古以来就有着极其光輝的成就，我国勤劳的人民在磚石結

① 比按极限状态計算理論更新的計算理論——“按数理統計法計算”，亦在苏联开始进行研究。

构、竹结构、金属结构方面均表现了非凡的智慧和创造才能。但是，在近百年來，由于帝国主义的侵略和国内反动统治阶级的压迫，使我国经济淪于崩溃，民族工业奄奄一息，根本谈不上什么建设。加上技术人员又多因襲迷信外洋的经验，因此建筑工程技术几乎处于停滞状态。劳动人民从实践中积累起来的极其丰富的宝贵经验，长期没有得到应有的总结和发展，反而渐被埋没失傳。

在旧中国，钢筋混凝土工程为数寥寥，而且亦仅系一些零星的民用房屋以及随着帝国主义经济、军事侵略而出现的一些港口码头、仓库、企业大楼等建筑。这些建筑几乎均由外国公司承包和管理的，甚至所用材料也均由外洋进口。至于设计规范，侵略者各行其是，极为混乱，这充分反映了半殖民地的特征。

党领导全国人民推翻了压在头上的三座大山，紧跟着即展开了宏伟的社会主义经济建设，学习了苏联以及其他兄弟国家的先进经验，建筑结构技术得到了飞跃的发展。十一年來我們已取得了很大的成绩，充分显示了在党的领导下，解放了的中国人民有无比的智慧和威力。

我国钢筋混凝土结构发展的过程是：在设计理论方面，由按许可应力计算到按极限状态计算；在结构方面，从普通钢筋混凝土到预应力混凝土；在施工技术方面，由现场整体浇灌到预制装配；在结构形式方面，从板梁的平面结构到薄壁空间结构；在应用范围方面，从小跨度的承载静荷载的结构到大跨度、重型的、承载振动荷载的结构。在结构材料方面，从普通的重混凝土结构到采用钢丝网水泥和各种轻型集料的混凝土结构。

从1952年开始，我国就积极地学习了苏联的先进设计理论，在全国范围内采用了按破坏阶段的设计方法，并制订了相应的设计规范（规范6-55）。1955年后，我们又积极地采用了更先进的按极限状态的设计理论，大力开展了有关我国匀质系数和超载系数的研究。1956年迅速地在工业和民用建筑方面全面推广了按极限状态的设计方法。

装配式构件的采用，对建筑施工工业化，加快建设速度起了很大的作用，现在几乎90%以上的大型厂房均采用了装配式预制构件。图5为某制造厂的装配式厂房施工情况。

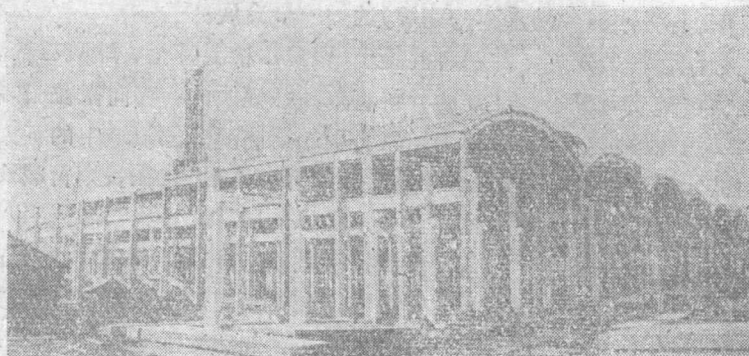


图5

预应力钢筋混凝土在我国也得到了迅速发展，我国1953年才开始研究预应力混凝土，1956年正式推广了1,000立方米。但经过短短几年的生产实践和三次全国性经验交流会的推动，1958年已达到年产量20万立方米的规模。

采用的预应力构件有12~36米的各式屋架梁和桁架， 6.0×1.5 及 12.0×3.0 米的大型屋面板，10~75吨的整体式和迭合式预应力吊车梁，并制造了12米跨度150~250吨的重型吊车梁，达到了世界先进水平。

预应力构件还大量应用在24~32米的装配式铁路桥梁上。此外我们还生产了直径为60~140厘米、水压达到23.5公斤/厘米²的预应力压力水管，12~24米长的预应力桩，内径为39.5米的预应力煤气罐、储水罐，110~330千伏预应力高压变电构架，以及预应力高压釜、石油焦化接触塔等结构，代替了大量金属结构。

薄壳结构在我国也取得了极大的成就，薄壳是一种强度高、刚度大、用材经济、自重轻的合理结构形式。徐州车站、北京电报大楼、人民大学、农业展览馆等等建筑都采用了圆筒形薄壳。跨度62米的临潼室内游泳池采用了整体装配式带肋预应力筒壳。北京车站中央大厅(35×35 米)和山东体育馆(48×48 米)均用了双曲扁壳。薄壳空间结构的采用，标志着我国建筑技术的水平日益先进。

在工农业大跃进的形势下，建筑材料要求向轻质、高强、廉价方面发展。1960年又掀起了采用新型结构（薄壳结构，预应力结构，装配式结构，悬索结构，钢丝网水泥结构）和新材料的高潮。新高潮之开展标志着我国建筑事业又跨上了一个新的阶段，对节省钢材、木材与水泥，减轻建筑物自重，节约劳动力，降低工程造价，加快施工进度，均有巨大的促进作用。

建筑事业上的大跃进，是在建设社会主义总路线的光辉照耀下，大搞群众运动，大搞技术革新和技术革命后才得到的。这充分说明了只有在党的领导下，科学技术才会飞速发展。

水工钢筋混凝土结构在我国的发展，也是从解放以后才真正开始的。解放前，除了曾被日本帝国主义侵占过的东北和台湾，为发展军事工业侵略中国人民而造一些水电站外，全国总共修造了寥寥无几的规模极小的小型水电站。在这样的情况，当然谈不上水工钢筋混凝土结构的发展。

解放后，由于党的领导，在国民经济恢复时期即着手修复和扩建了东北丰满等水电

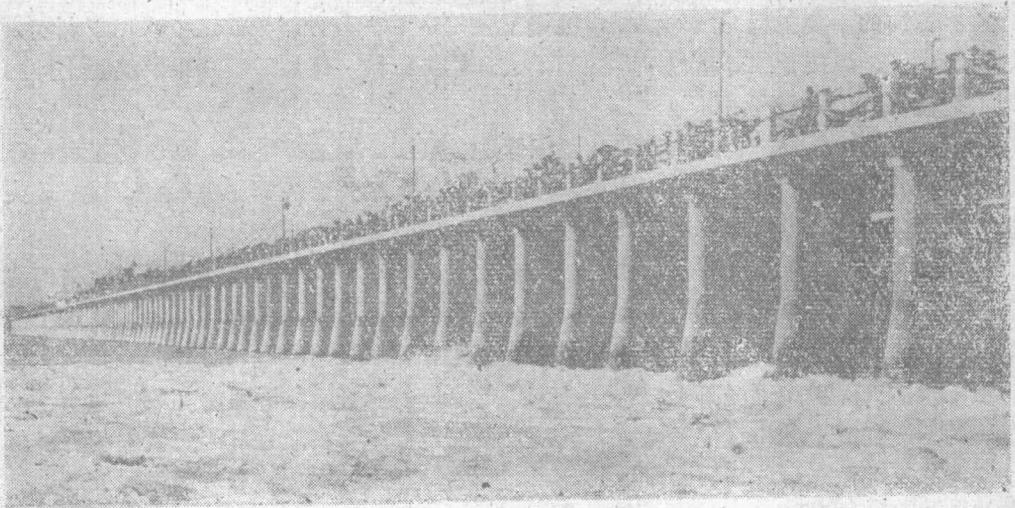


图6 三河闸

站, 1952年为了根治淮河开始修建佛子岭、南湾、薄山、梅山、响洪甸、磨子潭等一系列水庫以及下游三河閘(图6)、二河閘、等大型閘坝。

佛子岭水庫为我国第一座技术复杂的鋼筋混凝土連拱坝, 坝高74.4米(图7), 坝身全部混凝土体积即达19万方, 总共鋼材用量为6,400吨。連拱坝的建成, 打破了帝国主义及反动派日夜詛咒的“中国人根本无法修成”的謠言。显示了我国社会主义制度的优越性和劳动人民无限創造潛力。連拱坝的建成也大大发展了我国水利建設水工鋼筋混凝土的科学理論, 并为国家培养了大批专业技术力量。

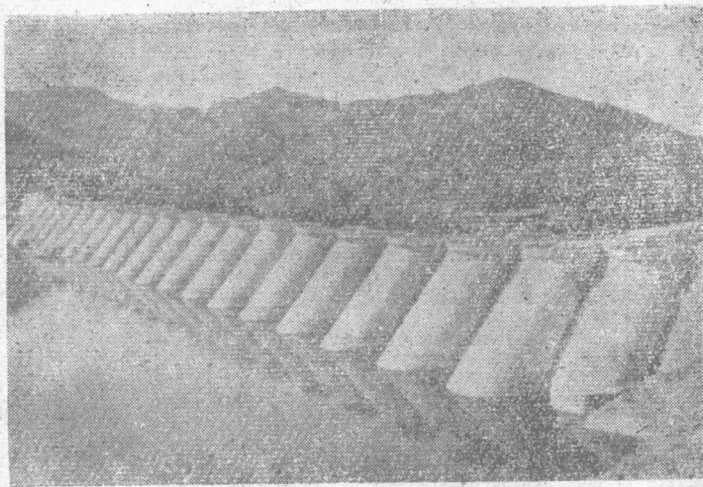


图7 佛子岭連拱坝

梅山連拱坝坝高88.6米, 在同类型坝中属世界第一, 鋼筋混凝土量达到26万方, 而且施工速度之快也是打破了历来筑坝记录的。

几年来我們又修建了大量大型水电站, 如上犹, 湖南鎮, 黄坛口, 桓仁, 陈村等。在这些水电站中, 鋼筋混凝土工程量均极为龐大, 而且技术更形复杂。例如地下式厂房, 溢流薄拱坝, 坝内式厂房电站等均已采用。

根治黄河的主要工程三門峽樞紐, 混凝土量更达213万方, 在施工中采用了真空模板、預制模板, 焊接骨架等措施, 并采用了大量施工机械, 例如砂石开采及混凝土拌制达到了全盘机械化的程度。

除了大型电站以外, 在港口方面, 我国修建了湛江、塘沽等港口。在这些工程中应用了先張与后張的預应力鋼筋混凝土桩, 預应力迭合式碼頭面板等先进技术。在碼頭建設中采用装配式的程度已达到了70%。

通过这些大型的水工建筑物的修筑, 大大发展和丰富了我国水工鋼筋混凝土結構的設計及施工技术。在設計理論上, 在水上部分已采用了极限状态的計算理論, 在水下部分也根据破坏阶段进行計算, 并且应用了抗裂稳定計算和限制裂縫开展寬度的計算方法。根据水工大体积鋼筋混凝土的特点, 又采用了少筋混凝土設計理論。我国适用于港工建筑的鋼筋混凝土結構规范及預应力混凝土結構规范亦将在最近訂出。我国的科学研究单位与高等院校对裂縫开展及剛度的計算、少筋混凝土結構理論等方面的研究, 也取得了不少成就。