

# 水工鋼筋混凝土結構学

清华大学水利系师生合編

高等教育出版社



# 水工鋼筋混凝土結構学

清华大学水利系师生合編

高等教育出版社

本書系由清华大学水利系师生在党总支的直接领导下，以敢想敢干的共产主义精神和大跃进的速度编写成的。

为了密切结合水利系各专业的特点和要求，本书在编排次序和内容上都摆脱了过去钢筋混凝土结构学的框框。全书除绪论外大体上可分为四个部分：第一部分叙述混凝土、钢筋混凝土的物理和机械性能，基本计算原理等；第二部分通过分析一般水工建筑物的特点和构造，阐明基本构件的计算方法；第三部分着重阐述了水电站厂房结构部分，以及墙、闸混凝土和钢筋混凝土的计算方法及构造原理；第四部分为预应力装配式钢筋混凝土及少筋混凝土的基本原理及其在水工中的应用的介绍。

本书中对礞石结构、竹筋混凝土、土水泥、玻璃丝混凝土、球墨铸铁混凝土等新建筑材料作了简要的介绍。

本书可作为高等学校、专科学校、夜大学、红专大学水利系的教材，也可供水利工作者参考。

## 水工钢筋混凝土结构学

清华大学水利系师生合编

高等教育出版社出版北京宣武门内承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第054号)

京华印书局印刷 新华书店发行

统一书号15010·594 开本787×1092 1/16 印张317/8 插页3另器印面11张

字数718,000 印数0001—5,000 定价(7) 4.20

1959年3月第1版 1959年3月北京第1次印刷

## 序

在总路綫的光輝照耀下，清华大学坚决貫徹了党所提出的教育必須与劳动生产相結合的方針，同學們在党委的正确领导下，实行了半工半讀，積極投入劳动生产。水利系 1958 年畢業班同學参加了真刀真槍的畢業設計，四年級同學下乡参加了农村水利化的建設，全系大搞科学研究和生产工作。这是一次教学上的大改革，經過这一段实际生活的体验，同學們無論在思想觉悟和业务水平上都有很大的提高，从生产实践中学到許多新的知識，有很多体会。以往在学校中学到的东西，在实践中受到了一次严格的考驗。我們深深地感到：很多課本在結合实际、面向生产方面非常不够，特別是“鋼筋混凝土結構学”，从講課內容到参考書都很少联系水利系各專業的特点和要求。同學們學習后，对于解决水利工程中的实际問題仍感到很困难。因此，我們迫切需要編写一本又紅又專、結合水利系專業的“鋼筋混凝土結構学”，这个任务，我們勇敢地承担起来了。在清华大学水利系党总支的直接领导下，徹底破除了迷信，解放了思想，發揮了集体的智慧，經過 20 晝夜的苦战，終於把这本書編写出来，又一次說明了党的群众路綫的胜利。

本書的特点之一是摆脱了过去“鋼筋混凝土結構”的框框，完全按照水工結構的特点、要求来叙述和分章，把混凝土、鋼筋混凝土的理論結合水工建筑物来闡述，并有相当多的篇幅叙述水工結構中混凝土、鋼筋混凝土部分的設計和构造。全書除緒論外，大体上可以分为四部分：第一部分闡述了磚石、混凝土和鋼筋混凝土的物理机械性能，基本計算原理；第二部分主要是通过分析一般水工建筑物的特点和构造闡明基本构件的計算方法；第三部分則着重叙述了水电站厂房結構、壩及其有关結構的計算方法和构造原理；第四部分为預应力装配式及少筋混凝土的基本原理和在水工中的应用。这样，就克服了以往不結合專業的缺点，使得同學們學習后不仅能掌握混凝土、鋼筋混凝土的基本理論，而且能够具体地去解决水利工程中的实际問題。

本書的另一特点是密切結合我国的工程实际，全書貫穿了生产观点。新中国成立以來，特別是 1957 年冬季全国水利建設高潮以后，在水利建設方面做了不少混凝土、鋼筋混凝土工程，取得了許多宝贵的經驗。本書力求把这些經驗总结进去。編写过程中，多次訪問了有关的生产部門，参閱了我国主要工程的实际資料。所举实例絕大部分都是从实际工程的施工圖紙中摘录下来的。書中，对目前水利工程中混凝土及鋼筋混凝土設計的常用方法也作了較多的介紹。

第三个特点是在全書中注意了貫徹党在社会主义建設中的方針、政策，反映了大跃进中群众的偉大創造。在中央的“以小型工程为基础的前提下，适当的發展中型工程和必要的可能的某些大型工程，并使大、中、小工程相結合，有計劃的逐漸形成比較完整的水利工程系統。”的方針指导下，各地兴修了許多中小型水利工程，大鬧技术革命，千方百計地節約水泥、鋼材等建筑材料，提出了許多大胆的革新。为了总结群众的这些偉大創造，进一步貫徹中央“大、中、小相結合”的方針，書中适当地加进了磚石結構部分，并特別辟出一章專門介紹大跃进以來的最新成就，如玻璃絲混凝土、球墨鑄鉄筋等。

本書基本上是根据 1958 年清华大学新拟訂的教学大綱編写而成,为了閱讀方便起見,也作了一些变动。

本書可作为高等学校、專科学校、夜大学、紅專大学水利系的教材,也可供水利工作者参考。

就在不久以前,在人們的脑子里,写書还是一件很神秘的事情,是高不可攀的,似乎只能是“專家”、“教授”的事,年青人是不能問津的。但通过我們的实践,又一次給这种资产阶级法权思想以有力打击。我們所以能做出这样的成績,关键在于党的領導,在于走群众路綫,破除迷信,解放思想。

由于我們还缺乏实际工作的經驗,按專業要求来編写还是初次尝试,而時間又很短促,因此不免会有許多缺点。我們正处在一天等于二十年的时代,工农业建設正以一日千里之势向前發展,新的革新和創造将不断涌現。为了更好地适应大跃进的要求,改正缺点,我們准备不厭其煩地进行修改,不断提高本書的質量。因此,我們希望讀者,特别是各兄弟学校和各地参加实际工作的同志,提出宝贵的意見。

在編写本書的过程中,得到了各有关生产部門的大力协助,在此表示感謝。

編者

1958 年 11 月

# 目 录

序 .....	v
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>1</b>
§ 1-1. 水工建築物鋼筋混凝土結構 .....	1
§ 1-2. 我國水工鋼筋混凝土結構的發展情況和方向 .....	2
<b>第二章 磚石、混凝土和鋼筋混凝土的物理和機械性能</b> .....	<b>5</b>
§ 2-1. 概述 .....	5
§ 2-2. 混凝土 .....	6
§ 2-3. 鋼筋 .....	17
§ 2-4. 鋼筋混凝土 .....	28
§ 2-5. 磚石及砂漿 .....	28
<b>第三章 基本計算原理</b> .....	<b>38</b>
§ 3-1. 概述 .....	38
§ 3-2. 鋼筋混凝土受彎構件的應力階段 .....	38
§ 3-3. 按允許應力計算鋼筋混凝土結構的原則 .....	40
§ 3-4. 按破壞階段計算鋼筋混凝土結構的基本原則 .....	42
§ 3-5. 按極限狀態計算鋼筋混凝土結構的基本原則 .....	46
§ 3-6. 按統計法計算鋼筋混凝土結構的概念 .....	53
§ 3-7. 水工結構對計算理論的選擇 .....	54
<b>第四章 鋼筋混凝土基本構件按承載能力的計算</b> .....	<b>55</b>
§ 4-1. 受彎構件計算概述 .....	55
§ 4-2. 任意對稱截面受彎計算 .....	56
§ 4-3. 受彎構件的鋼筋配置 .....	58
§ 4-4. 單筋矩形截面受彎計算 .....	59
§ 4-5. 任意對稱雙筋截面受彎計算 .....	63
§ 4-6. 雙筋矩形截面受彎計算 .....	64
§ 4-7. 單筋 T 形截面受彎計算 .....	67
§ 4-8. 任意對稱截面的受彎構件按破壞階段的計算 .....	73
§ 4-9. 橫向力計算概述 .....	76
§ 4-10. 按彈性階段計算橫向鋼筋 .....	76
§ 4-11. 按極限狀態計算橫向鋼筋 .....	84
§ 4-12. 中心受拉構件計算 .....	94
§ 4-13. 中心受壓構件計算 .....	94
§ 4-14. 偏心受壓構件計算 .....	95
§ 4-15. 偏心受拉構件的計算 .....	105
§ 4-16. 關於裂縫出現和裂縫開展的計算 .....	111
<b>第五章 水工輸水建築物</b> .....	<b>122</b>
§ 5-1. 輸水建築物的概述 .....	122
§ 5-2. 起門機工作平台設計 .....	123
§ 5-3. 進水口 .....	147
§ 5-4. 水工隧洞的漸變段 .....	151
§ 5-5. 閘門井 .....	162
§ 5-6. 水工有壓隧洞鋼筋混凝土襯砌的構造及計算 .....	169
§ 5-7. 調壓井 .....	182
§ 5-8. 鋼筋混凝土壓力水管 .....	190
<b>第六章 混凝土及磚石結構計算</b> .....	<b>209</b>
§ 6-1. 概述 .....	209
§ 6-2. 混凝土結構計算 .....	209
§ 6-3. 磚石結構計算 .....	214
§ 6-4. 重力式擋土牆 .....	225
§ 6-5. 輸水涵洞 .....	234
§ 6-6. 磚石在其他水工結構中的應用 .....	240
<b>第七章 開、壩的鋼筋混凝土結構</b> .....	<b>243</b>
§ 7-1. 平板壩的配筋計算及構造 .....	243
§ 7-2. 連拱壩的配筋計算及構造 .....	250
§ 7-3. 開墩的配筋計算及構造 .....	259
§ 7-4. 開底板的配筋計算及構造 .....	264
§ 7-5. 工作橋與交通橋 .....	287
<b>第八章 水電站廠房結構</b> .....	<b>270</b>
§ 8-1. 廠房概述 .....	270
§ 8-2. 水電站廠房的屋面體系 .....	280
§ 8-3. 吊車梁的計算與構造 .....	284
§ 8-4. 水電站廠房掛架的計算與構造 .....	295

§ 8-5. 发电机層及裝配間樓板的計算和构造.....	303	§ 8-8. 尾水管及底板.....	324
§ 8-6. 机墩的計算和构造.....	307	§ 8-9. 壩內式及地下式厂房結構介紹.....	338
§ 8-7. 鋼筋混凝土錨壳的計算和构造.....	316		
<b>第九章 少筋混凝土原理及其在水工中的应用</b> .....			345
§ 9-1. 概述.....	345	§ 9-6. 少筋混凝土受拉主應力的計算公式.....	359
§ 9-2. 少筋混凝土計算理論的基本原理.....	347	§ 9-7. 水工中少筋混凝土結構应用实例.....	360
§ 9-3. 受弯构件.....	349	§ 9-8. 按修訂后法規推导的少筋混凝土計算公式.....	366
§ 9-4. 偏心受压构件.....	353		
§ 9-5. 偏心受拉构件.....	357		
<b>第十章 預应力鋼筋混凝土</b> .....			383
§ 10-1. 概述.....	383	§ 10-6. 預应力鋼筋混凝土吊車架.....	414
§ 10-2. 預应力鋼筋混凝土的材料.....	385	§ 10-7. 預应力鋼筋混凝土压力水管.....	422
§ 10-3. 預应力鋼筋混凝土結構的各种張拉方法.....	387	§ 10-8. 預应力鋼筋混凝土隧洞襯砌.....	426
§ 10-4. 鋼筋內預应力損失.....	395	§ 10-9. 預应力鋼筋混凝土在其它水工建筑物中的应用.....	436
§ 10-5. 預应力鋼筋混凝土基本构件計算.....	400		
<b>第十一章 裝配式混凝土及鋼筋混凝土在水工中的应用</b> .....			440
§ 11-1. 概述.....	440	§ 11-3. 裝配式混凝土壩.....	456
§ 11-2. 水电站厂房中的裝配式結構.....	442	§ 11-4. 裝配式結構在其他水工結構物中的应用.....	458
<b>第十二章 混凝土配斤的新材料</b> .....			458
§ 12-1. 竹筋混凝土.....	458	§ 12-3. 球墨鑄鉄筋混凝土.....	464
§ 12-2. 玻璃絲混凝土.....	461		
<b>附录</b> .....			467
表 1. 用任何标号的混凝土和鋼筋制造的矩形和T形截面构件的計算表格			
表 2. 計算T形截面受弯及偏心受压构件用的 $A_{0\max}$ 及 $\alpha_{\max}$ 值			
表 3. 計算T形截面受弯及偏心受压构件用的 $A_{0\text{II}}$ , $\alpha_{0\text{II}}$ 值			
表 4. 計算T形截面受弯及偏心受压构件用的 $A_{0\text{OI}}$ , $\alpha_{0\text{OI}}$ 值			
表 5. 受均布荷載及集中荷載时等跨連續梁的弯矩和橫向力			
表 6. 等量荷載表			
表 7. 受集中荷載时等跨連續梁的弯矩和橫向力			
表 8. 在全部区格面积上受均布荷載时, 四边支承板的計算表			
表 9. 考虑因塑性变形的內力重分布对于各种不同 $p/q$ 比的等跨次梁的弯矩圖			
表 10. 柔性鋼筋規格表			
表 11. 按剪力計算受弯构件傾斜截面用的 $\xi$ 值			
表 12. 按剪力計算受弯构件傾斜截面用的 $\bar{R}_{\text{II}}$ 值			
表 13. 計算矩形截面受弯和軸心受拉构件受暂时荷載作用时的剛度和裂縫展开用的系数 $\psi$ 和 $k_1$ 值			
表 14. 計算單筋矩形截面、翼緣在受拉区中T形截面、翼緣在受压区中的T形截面和工形(箱形)截面受弯构件的剛度和裂縫展开用的 $\xi_{\text{平均}}$ , $\eta$ 值			
表 15. 用于承載一个和两个相同吊車的連續吊車梁的計算表			
表 16. 按变形及裂縫开展計算鋼筋混凝土构件时用的系数 $\psi$ 和 $K_1$			
<b>主要参考書目</b> .....			402

# 第一章 緒論

## § 1-1. 水工建築物鋼筋混凝土結構

### 一、鋼筋混凝土、混凝土及磚石的特点

鋼筋混凝土結構是由混凝土和鋼筋兩種共同工作的材料所建造的結構。對於其他材料(石、木和鋼等)結構來說,它是一種新型的結構。由於生產的發展,鋼筋混凝土結構在我國房屋建築和水工建築中已被廣泛採用。

混凝土和磚石材料一樣,抗拉能力比抗压能力小很多,因它作成承受有拉應力的構件是不合適的。鋼則和混凝土不同,它有很好的抗拉性能,可以承受很大的拉力。但鋼容易發生銹蝕,使結構受到損害。如果使這兩種材料共同工作,并使構件的壓應力主要由混凝土承受,拉應力主要由鋼筋承受,就可以克服這兩種材料的缺點和充分利用它們的優點。能夠這樣,是因為混凝土在硬結後能和鋼筋很好地粘着在一起,在外力作用之下共同工作,兩者相鄰的纖維發生相同的變形。同時,鋼和混凝土的線膨脹係數幾乎相等,在溫度變化時兩者不會發生相對位移而減少粘着力,或發生很大的內部應力。混凝土將鋼筋包在內部,可防止鋼筋銹蝕,保證混凝土中鋼筋的完整性,以有利地利用兩種材料。

鋼筋混凝土對大氣及水中侵蝕性物質的抵抗能力,基本上和混凝土一樣。但抵抗機械力的性能,鋼筋混凝土則超過純混凝土。混凝土和鋼筋混凝土都有很好的可塑性,可做成任意形狀的結構。整體的鋼筋混凝土結構剛度較大,受力後變形較小,對地震的抵抗能力也很強。鋼筋混凝土及混凝土結構和磚石結構一樣,修理費用要比鋼結構小很多。但現澆的混凝土和鋼筋混凝土需要架立模板和較長的養護期,冬季施工較困難,對內部的鋼筋澆築後也難檢查。這些問題在採用了預制裝配構件後,在很大程度上得到了解決。

在农村水利化的高潮中,磚石結構得到了廣泛的應用。磚石的承壓能力很大,耐久性也較好,但抗拉能力差,結構的斷面尺寸和自重較大。磚石是地方性的材料,可以就地取材和便於群眾大量生產。而且磚石結構的施工技術比較簡單,易為群眾掌握。因此,磚石結構的造價低,建造速度很快,在农村水利水電建設中可以遍地開花。

### 二、水工建築物鋼筋混凝土結構

水工建築中鋼筋混凝土和混凝土結構應用很多,如重力式混凝土壩,就是大體積的混凝土結構;電廠廠房水上和水下部分也有很多鋼筋混凝土和混凝土結構。水工中的鋼筋混凝土結構,有着自己的特點。它往往具有很大的體積,如上面所說的混凝土重力壩和水電站廠房水下部分就是這樣。由於體積大,對於節省混凝土和鋼筋的問題就更顯得重要。例如黃壇口水電站大壩施工棧橋橋墩,不用鋼筋混凝土理論計算,而按少筋混凝土方法計算,節省了鋼材 26.2 噸。由於水



工建筑物水下部分要求材料有很好的抗滲性和抗凍性，因此對鋼筋混凝土和混凝土的裂縫出現有特殊的規定。一般水下部分設計時按破壞階段計算，用不許有裂縫的計算來校核，還沒有採用先進的按極限狀態的設計。目前在一些水下部分已有考慮允許裂縫出現的。這個問題還有待進一步的研究。

如何節省材料和採用代用材，以多快好省地修建水工建築物，對水工鋼筋混凝土結構也提出了新的要求，而且和一般工業與民用建築不同，它考慮自己特有的問題。例如怎樣在水工建築中採用裝配式和預應力結構，就比普通工業與民用建築要複雜。水工建築物裝配構件的接縫要求有很好的防滲性，其施工吊裝和房屋建築也大不相同。水工鋼筋混凝土結構有着自己獨特的設計問題，如水工壓力隧洞襯砌，鋼筋混凝土蝸殼，尾水管，連拱壩和閘等結構，都各有不同的設計和構造要求，這在普通工業與民用鋼筋混凝土建築中是遇不到的。尤其是少筋混凝土計算，更是水工鋼筋混凝土結構所独有的問題。

隨着我國水電建設的飛躍發展，對水工鋼筋混凝土結構提出了更高的要求，也給它的發展提供了更有利的發展條件。

### § 1-2. 我國水工鋼筋混凝土結構的發展情況和方向

鋼筋混凝土結構，尤其是水工鋼筋混凝土結構在我國的發展，是從解放之後才真正開始的。解放以前，由於半封建半殖民地社會對生產發展的束縛，我國不僅鋼筋混凝土工程很少，而且在設計理論上也是採用英美落後的容許應力方法。舊中國幾十年來，除曾被日本帝國主義統治過的東北和台灣外，總共只建造了十幾座小型水電站，水工鋼筋混凝土結構物少得可憐。但解放之後，在黨的領導和蘇聯無私的幫助下，國民經濟恢復時期修復和改建了丰满、鏡泊湖水電站和西南一些小型水電站。在第一個五年計劃期間，開始就修建了以治淮為主的佛子嶺、南灣、薄山和梅山等一系列水庫。後來又修建了官廳、流溪河、獅子灘、大伙房等大中型水庫和十幾個大中型水電站及很多小型水電站，三門峽和新安江等大型水利樞紐也已開工修建。在這規模巨大的水利工程中，需要極其龐大的混凝土和鋼筋數量。如荊江分洪工程僅進洪閘的鋼筋混凝土量就有 84 萬餘方；佛子嶺水庫僅連拱壩就需混凝土 19 萬方。因此對混凝土和鋼筋混凝土材料、結構的設計和施工的改進和發展都起了極大的推動作用。

就材料來說，在大體積混凝土中，對於減少混凝土中水泥用量取得了很大的成就，混凝土中埋入毛石量從 20% 增至 50%。如龍溪河下碓水電站埋入毛石率達 49%，使 110 號混凝土水泥用量自 213 公斤/方降至 90 公斤/方；而在古田水電站中更高至 52%。其他如混凝土中加入塑化劑增加不透水性和易性，不同部位採用不同標號混凝土等降低水泥用量的辦法，也都有所採用。在鋼筋方面，生產了 10、13、15、低合金鋼 25TC 和高強度鋼絲等。鋼筋的連接也由綁扎到普遍採用焊接，節省了鋼筋用量。

在這個期間，我們進行了許多技術複雜的鋼筋混凝土結構物設計，如佛子嶺和梅山水庫採用了鋼筋混凝土連拱壩。佛子嶺連拱壩高 77.4 公尺，壩頂全長 510 公尺。當時有些資產階級學者和資本主義國家，根本不相信我們能建成這樣高的連拱壩。但事實勝於雄辯，由於社會主義制

度的优越,党的领导和劳动人民的努力,在两年又十个月的时期内就修建成了佛子岭連拱壩。在佛子岭連拱壩建造的基础上,又修建了世界最高的梅山連拱壩(壩高 88.24 公尺)。在水电站厂房中上犹水电站采用了壩内厂房,古田和流溪河水电站采用了地下厂房。其他如平板壩等,也都有采用。在这些水工建筑物中,解决了很多鋼筋混凝土設計問題,發展和丰富了我国的水工鋼筋混凝土結構的科学理論。在計算理論上,水上部分鋼筋混凝土結構已采用了节省鋼筋的按極限状态的設計;水下部分也按破坏阶段进行計算,并且采用了少筋混凝土的計算方法,节省了鋼筋。由于水利工程飞跃前进,促使水工鋼筋混凝土結構向前發展,促使人們对水工鋼筋混凝土設計理論进行研究和总结实际經驗,去寻找多快好省的計算理論和制定切合中国实际情况的规范。在这方面也有了很大的进展。

在短短的几年中,我国水工鋼筋混凝土結構能得到这样大的發展,是和党学习苏联的正确方針分不开的。由于社会主义制度的优越,苏联的鋼筋混凝土科学早已超过了資本主义国家。在計算方面,截面設計首先采用了按破坏阶段設計理論,后又發展到按極限状态設計的理論;内力計算由彈性阶段进入了塑性理論。結合木工建筑物的要求,創立了抗裂性計算新法和少筋混凝土計算方法。在結構方面,采用了装配式和預应力結構,并作为一个新的方向在大力發展。

在这一时期,我們学习了苏联的先进科学技术,积累了經驗,学会了設計和施工,培养了干部,为赶上世界先进水平和更大的跃进創造了条件。

由农村水利化高潮开始的大跃进,推动了各項工作。以蓄为主、小型为主和群众社办为主的水利事业方針,及办电事业以水电为主、全民办电和多快好省的方針,推动了水利水电建設飞速發展。在这群众大搞生产和大搞科学研究的运动中,涌现了无数革新和創造。我国水利水电事业正以空前未有的速度和規模向前飞跃,在这种飞跃發展中,不可避免地要遇到很多困难,目前最突出的是材料和設備供应不足,而材料中主要又是水泥、鋼材和木材。由于对材料的迫切要求,促进了建筑材料的技术革命。土水泥、玻璃絲、球墨鑄鉄筋、竹筋等新材料都相繼出現,它們可以代替水泥和鋼筋。預应力鋼筋混凝土結構在閘門、隧洞襯砌等水工結構物中已有采用,清华大学 1958 年畢業同学給华北密云白河樞紐設計了預应力鋼筋混凝土蝸壳。装配式結構在水电站厂房上部結構中也采用得較广泛。用鋼筋混凝土結構代替鋼結構,也是这一时期的特点,如清华大学 1958 年畢業同学为永定河三家店水电站設計了高水头鋼筋混凝土蝸壳,节省了大量鋼材。电热加預应力方法的出現,为在水工中采用預应力鋼筋混凝土結構創造了有利的条件。在农村的小型水电站建筑中,就更体现了就地取材和因陋就簡的精神。小型水电站厂房是磚石結構,胶結材料是土水泥或灰漿。各种就地取材的石壩也不断出現,如堆石滾水壩和漿砌塊石滾水壩等等。在这些小型水电站建設中,有許多創造發明和經驗,有許多貫徹多快好省总路綫精神的典范。

水工鋼筋混凝土結構今后的發展还是要小土群和大洋群相結合,土洋結合,土中出洋。要大搞群众运动,大搞技术革新。只要發动了群众,就会产生无穷的力量,过去認為不可能的事情,就会变成现实。由于發动了群众,黑龙江省提出了明年在工业与民用建筑鋼筋混凝土結構中要有 80—85% 采用玻璃絲代替鋼筋,陝西也提出了 70—80% 的指标。这就是群众力量的体现。要是全国都用玻璃絲代替鋼筋,那无异是多生产了几十万吨的鋼。采用新材料、土材料代替水泥和鋼

筋,是水工材料發展的方向。例如玻璃絲、鉄筋、竹筋和土水泥,就是代替鋼筋和水泥的材料。在結構上,装配式結構和預应力結構是新的方向。装配式結構可以加快建筑速度,这在以高速度为綱的今天具有很大的意义。預应力結構可以减小断面,提高結構的抗裂和防渗性能,对于水工建筑物也有特殊的意义。装配式和預应力結構的具体型式体现为輕型結構,这也是今后水工鋼筋混凝土結構的一个發展方向。由于經驗积累不够,水工建筑物水下部分还没有采用按極限状态的設計,有待于进一步研究。切合我国实际情况的水工鋼筋混凝土规范也有待制定。

工业和农业的飞跃發展,促使水利水电建設要土洋并举,革新技术,發动群众,力爭高速度發展。在优越的社会主义制度下,我們有着党的领导和群众无穷无尽的力量,展现在面前的是一幅美好的共产主义远景。我們將建立更多更好的水工鋼筋混凝土、混凝土和磚石結構,社会主义和共产主义建設也将对这些結構提出新的更高的要求,推动着它們不断地向前發展。

## 第二章 磚石、混凝土和鋼筋混凝土的 物理和机械性能

### § 2-1. 概述

目前我国的水利建設正以空前未有的速度和規模向前飞跃發展着，在这个發展过程中将出现成千上万个拦河壩、水电站及其他水工結構物。它們需要大量的材料来建筑，因此就提出了迫切而重要的任务——千方百计節約建筑材料，其中特别是鋼材和水泥。

为了在建設中能更好地达到充分發揮材料性能、節約材料的目的，我們必須很好地体会党在使用建筑材料方面的方針政策，并且深入地了解和掌握材料的性能，以便結合到水工建筑物的工作情况，正确而恰当地選擇材料的种类和标号，最恰当地利用材料和節約材料。

在選擇材料时首先要注意的原則是就地取材，要尽可能地用鋼筋混凝土代替鋼材，也更应尽量用磚石及其他当地材料来修建結構物，而不采用鋼筋混凝土。总之，考虑結構物的材料时要尽可能發揮当地天然资源的作用，采取土洋結合的办法，創造条件，自力更生、多快好省地进行建設。

在節約原材料的技术革命中，采用代用品是一个重要的途徑。在大壩内部和一些次要工程上，要尽量采用土水泥(无熟料水泥)来代替普通水泥。它的制造簡單，原料到处都有(粘土、石灰和石膏)，生产快，各县社和水利工地都可以自己設厂生产，几天就可出成品。目前我国許多省已經广泛地采用土水泥修建水利工程，大大促进了群众性水利运动的开展。

采用竹筋及玻璃絲、球墨鑄鉄筋等来代替鋼筋也是一个好办法，它能節約大量鋼材，促进有筋混凝土更普遍的采用。

節約鋼材、水泥的另一个方面是减少它們的用量。减少水泥用量的措施是：在大体积混凝土中加入大量毛石，在設計配合比时适当减少水泥用量，增大水灰比，采用当地合适材料作掺合料，加入塑化剂和加气剂等。这些方面在我国工程实践中已經积累了丰富的經驗，值得我們好好吸取。为了節約鋼筋用量，應該打破过去某些盲目加設鋼筋追求安全的保守思想，对于溫度筋，構造筋和架立筋要有根据才放置，否則尽量减少或取消。

还有一个重要的方面是挖掘材料潛力，使它們發出最大效能，在有条件的地方都应当大力推广預应力結構，一般可節約鋼材 $\frac{2}{3}$ 。通常水上結構的鋼筋及水下結構的溫度筋、構造筋都應經過冷处理再用，这样大約就能節約 $\frac{1}{4}$ 的鋼材。此外，在条件允許时还应该采用高强度鋼代替低强度鋼以节省用鋼截面。

充分發揮我們的主觀能动性，創造性地選擇、使用和創造各种材料，要大自然交出所有的財富，要材料拿出全部本領为人类服务，这就是水利建設者应有的責任和風格，我們在學習材料这一章时首先要注意到这一个要求。

## § 2-2. 混凝土

### 一、混凝土的材料

混凝土的組成有水泥、骨料及水。混凝土的質量与很多因素有关,最主要的因素为材料的組成,澆灌方法(搗实)及养护方法(保溫,保湿)等。

1. 骨料: 混凝土中的骨料对混凝土的質量有很大的影响,如骨料顆粒的大小、形状及表面空隙体积、清潔度、化学組成、强度等。因此很好的运用骨料(粗料和細料)是很重要的(此部分可參看建筑材料一書),一般在混凝土中所用的細料为砂、粗料为碎石、卵石。輕質混凝土中的粗骨料則可用矿礫、陶瓷塊、碎磚等。

2. 水: 混凝土中的水可用普通的自来水及清潔的井水、河水,含酸鹼及有机物的水不宜使用。

3. 水泥: 在混凝土及鋼筋混凝土結構中我国目前所采用的水泥多为硅酸盐水泥,大壩水泥(山西水泥厂),火山灰質硅酸盐水泥(东北,湖北的頁岩水泥),矿礫硅酸盐水泥等。地上工程一般采用硅酸盐水泥,地下及水中的工程及受海水等侵蚀性水作用的可用矿礫水泥,因为火山灰質水泥具有較低的水化热,故特別适用于水下結構物,若工程为受热工程,則要采用矿礫硅酸盐水泥;装配式和預应力的結構物,希早日拆模,因此可用快硬性水泥;作預应力压力管采用由硅酸盐水泥、矾土水泥及石膏按一定配合比磨成的膨脹水泥,这种水泥凝結时体积将膨脹。

在全民大跃进中各乡县都在燒土水泥,土水泥已成为一种普遍性的地方材料。土水泥的种类很多,在水工中常用的为土制硅酸盐水泥,土制热电站水泥及土制石灰燒粘土水泥,矿礫水泥等,現着重介紹石灰燒粘土水泥以及矿礫水泥。

A. 石灰燒粘土水泥: 石灰燒粘土水泥是一种很好的水泥代用品,它适用于农田水利工程,如: 渠道、涵洞、閘、渡槽、跌水等,也适用于中小型水庫,如: 拦河壩、溢洪道、閘墩、农村水电站的厂房、基础等均可用,因此我們要很好的掌握研究石灰燒粘土水泥的性質,在制造过程中应注意提高其标号,以达到更广泛的应用,現在石灰燒粘土水泥的标号一般为 50—300 号。

在使用石灰燒粘土水泥时应注意:

a. 加水量: 在保証足够的和易性原則下应尽量干一些,一般需水量約为 40—70%。

b. 注意养护、保溫、保湿等: 如在砌筑工程中应尽量提前勾縫抹灰,防止砂浆水分蒸發,混凝土則应鋪席、鋪草等养护。初期不要直接在表面上洒水,以免冲掉水泥浆; 养护時間一般为 14—18 日,視气候而定。这种水泥对溫度反应敏感,如溫度降低則早期强度的养护要久一些,因此必須注意气温的变化,不应使其受到驟寒。对其浸水時間也应注意,浸水过早也会降低强度。

c. 可与純水泥配合使用: 土水泥的使用根据工程需要而定,因工程各部分所起的作用不相同,因而其質量要求也不相同,有些部分可用有些部分則不可用,大壩內部及一些次要工程小型农村电站及小型水庫上的建筑物都全部可用土水泥。

B. 矿礫水泥: 全国各地在大中小相結合的方針下,小高爐和土高爐普遍地建立起来,这些

小高爐除了生产大量的生鐵之外,还生产出大量的廢料——矿礫。利用这些矿礫制作土水泥,既能充分利用地方性的材料,又能解决水泥供应不足的問題,并也可以多想办法使小高爐出鐵的同时出土水泥,这样就更能符合多快好省的原則。在有鋼鐵厂的地方可考虑矿礫的綜合利用,例如可以制成湿矿礫水泥、石膏矿礫水泥、石灰矿礫水泥等。

在水工結構物中,根据其所处的条件不同,对水泥的选择也不同,对大体积水工混凝土建築物可分为:

A. 大壩复面層水电站厂房以及水閘的混凝土,应当根据它們所处的自然环境(气温、河水的性質及水中含有侵蝕介質的种类和数量等)条件及建築物結構的类型来选择水泥。由于它直接与外界自然环境接触,因此要求混凝土具有高度的抗水性、抗冻性、抗滲性、强度等。

B. 大体积內部混凝土不与自然环境直接接触,因此主要考虑的是混凝土內部的溫度升高和收縮变形的問題。

## 二、混凝土的強度

混凝土在各种受力情况下,其强度各不相同。如受拉、受压、受剪、受弯等,其数值相差很大,为了很好的掌握材料的性質,合理的利用材料,必需研究混凝土的强度,以对不同受力情况下的結構物进行設計。

1. 混凝土的抗压强度: 混凝土的抗压强度受到很多因素的影响。如水泥的标号、品質、用量和骨料的性質及水灰比、施工方法、荷載的性質、試件的形状大小、試驗方法、养护情况等。

A. 混凝土受压强度和齡期的关系: 試驗証明,在一定的湿度和溫度下,混凝土的强度开始增長得很快,以后較慢起来,但可延續很多年。如圖(2-1)所示,由圖中可看出11年后混凝土的强度仍能增長。有的試驗証明甚至可延到20年,混凝土的强度达到28天强度的2.5—3倍。由試驗証明,混凝土在干燥环境下,經過一年之后,其强度增長很慢。一般在确定混凝土抗压强度时,采用期齡为28天的强度。但大体积混凝土結構,如結構物开始工作是在澆注混凝土以后經過一段較長的时期,則混凝土标号的决定可以不采用28天立方体强度,而采用60天、90天或180天的立方体强度。具体時間根据結構物在澆注混凝土后,开始工作的日

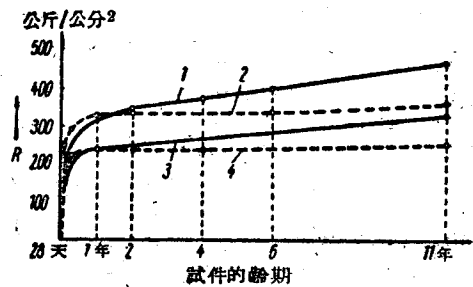


圖 2-1. 組成为 1:3:7(体积比)混凝土的强度:  
1—6%的水及潮湿环境下; 2—6%的水及前七天在潮湿环境下,以后在干燥环境下; 3—8%的水在潮湿环境下; 4—8%的水及前七天在潮湿环境下,以后在干燥环境下。

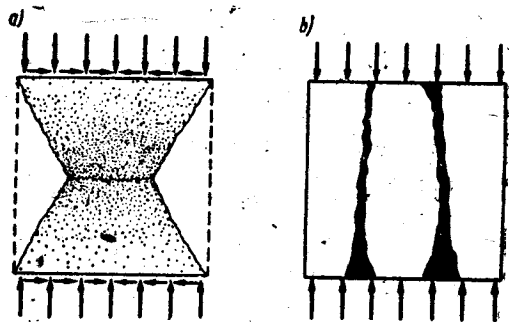


圖 2-2. 混凝土立方体破坏情形:  
1—在支承面上有摩擦力存在; 2—无摩擦力存在(在試件表面和压力机板間塗了一層油質)。

具体時間根据結構物在澆注混凝土后,开始工作的日

期和混凝土的硬化条件来确定。

B. 受压强度和試驗方法有关: 試驗說明塗油質的試件压力降低了很多, 因为塗有油質之后, 試件表面和压力机板之間的摩擦力大大减小, 因为摩擦力好象箍一样阻止試件的橫向变形, 因此提高了試件的受压强度; 而塗油質的試件改变了試件破坏的性質, 降低了受压强度。

C. 根据試件形状的不同及受压方法的不同确定几种混凝土的强度及标号。

a. 立方强度  $R$  及其标号: 因为混凝土的机械性能受許多因素的影响, 所以采用了一个限制了各种条件的“立方强度”来表示它的机械鉴定, 并按立方强度的数值, 而将混凝土分成各种标号, “立方”强度是每边長为 20 公分的試件, 在溫度  $15^{\circ}-20^{\circ}\text{C}$  下, 表面不塗油質, 养护 28 天的極限抗压强度。其值为:

$$R = \frac{N_{\text{压}}}{F},$$

式中:  $N_{\text{压}}$ —試件的抗压極限荷載;

$F$ —試件面积;

$R$ —混凝土的立方强度, 即以此作为混凝土的标号。

在大体积混凝土工程中, 可以采用后期强度作为混凝土的标号。

我国規定标准立方体試件为  $20 \times 20 \times 20$  (公分)<sup>3</sup>, 如立方体为  $10 \times 10 \times 10$  (公分)<sup>3</sup>, 則强度应乘以 0.85, 若立方体試件为  $15 \times 15 \times 15$  (公分)<sup>3</sup> 則强度应乘以 0.9。

b. 棱柱强度  $R_{\text{棱柱}}$ : 因为混凝土的强度随着試件高度与方形边長之比  $\left(\frac{h}{b}\right)$  的增加, 摩擦力的影响范围越小, 試件橫向的伸長将变为自由, 因此其强度将会降低。棱柱体的强度是以高度与方形边長  $\left(\frac{h}{b}\right)$  之比大于 3 为限, 而又控制試件本身不因失去稳定而破坏, 所得到的抗压極限强度作为棱柱体的强度, 棱柱体的强度以  $R_{\text{棱柱}}$  表示。

由試驗总结的  $R_{\text{棱柱}}$  与  $R$  之关系为:

$$R_{\text{棱柱}} = \frac{1300 + R}{1450 + 3R} R = (0.8 - 0.85) R.$$

c. 弯曲受压强度  $R_{\text{弯}}$ : 即受弯結構在破坏时受压区域混凝土的極限应力值。試驗証明, 混凝土弯曲时的受压强度一般大于棱柱体的强度, 当混凝土标号低时, 甚至接近或等于立方体的强度。这是因为弯曲受压而破坏發生在平行于梁边綫的裂縫, 不同于立方体或棱柱体軸心受压。当設計受弯結構、偏心受压受拉时用此。这样比用棱柱体强度可节约水泥。根据試驗总结  $R_{\text{弯}}$  和  $R_{\text{棱柱}}$  之关系为:

$$R_{\text{弯}} = 1.25 R_{\text{棱柱}}.$$

由以上分析可知混凝土受压强度的概念是有条件的。我們在設計中必須采用与构件的受力情况相似的受压强度来計算。

2. 受拉强度: 以前由于它不直接影响結構承載能力, 故抗拉强度研究得很少, 近来由于水利工程建設的發展, 不仅混凝土需有一定的强度, 而且还要求混凝土有高度耐冻性(混凝土体积

膨脹，所以受拉)、不透水性、抗浸蝕性及水化熱小、收縮較少等的要求。因而就須控制與它們有關的裂縫的出現和開展，為此就必須要深入地研究混凝土的抗拉強度。

A. 中心受拉  $R_{拉}$ ：根據實驗可知試件的水灰比，水泥用量，填充料的性質等對  $R_{拉}$  的影響不大。它主要是和混凝土的不均勻性有關，和試件尺寸大小也有關係。

混凝土的受拉強度很小，約為受壓強度的  $\frac{1}{6} - \frac{1}{20}$ 。通常近似估計可認為  $R_{拉} = 0.1R$ 。

在計算時，可根據規範查出  $R_{拉}$  值或根據經驗公式  $R_{拉} = \frac{1}{2} \sqrt{R^2}$  來求出  $R_{拉}$  值（此值和規範中查得的很接近）；在有條件時，可以根據直接的試驗來決定所採用混凝土的  $R_{拉}$  值。但這個試驗比較難於做得準確。

對於在潮濕環境內養護的混凝土（它接近於真正的水工結構混凝土的情況）所得出之值，上述公式是偏小的，因此可用在潮濕環境下養護 28 天的標準中心受拉試件作試驗，來確定混凝土的抗拉強度。試件之尺寸如圖 2-3 所示。

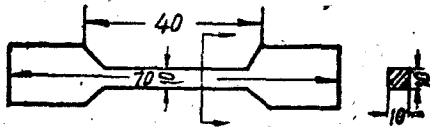
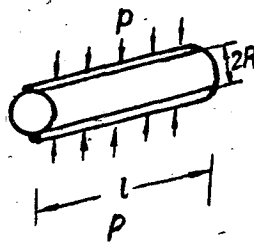


圖 2-3. 試件尺寸。



(在潮濕環境中養護)  
圖 2-4. 試驗方法之一。

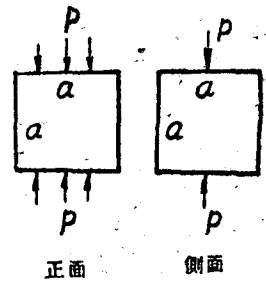


圖 2-5. 試驗方法之二。

兩種試驗抗拉強度  $R_{拉}$  方法如圖 2-4 及圖 2-5 所示。

為了使水工結構物不產生裂縫，從而提高結構物的壽命起見，應使混凝土的受拉強度有所提高，其方法應增加混凝土的密實性，選好混凝土的組成（水泥品質、水灰比、骨料品質碎石大大優於卵石），以及注意施工方法等。

B. 彎曲受拉強度  $R_{彎拉}$ ：由受彎構件的彎曲試驗得出，

$$R_{彎拉} = \frac{6M}{bh^2}$$

由於此公式對於混凝土的塑性性質沒有充分的考慮，因此真正的  $R_{彎拉}$  將比  $R_{拉}$  大 1.7—2.3 倍，即  $R_{彎拉} = (1.7 - 2.3)R_{拉}$ 。

彎曲強度的影響因素與抗拉強度類似。隨著抗壓強度的提高，彎曲受拉強度也按一定規律增高。 $R_{彎拉}$  與  $R_{拉}$  之關係由圖 2-6 可知。

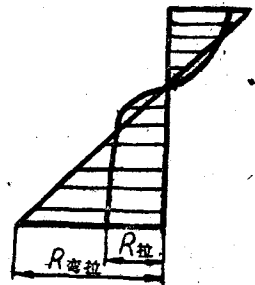


圖 2-6.  $R_{彎拉}$  與  $R_{拉}$  之關係。

3. 混凝土的受純剪及受切強度：A. 受純剪強度  $R_{純剪}$ ：純剪現象在實際結構物的受力中幾乎不會遇到，混凝土受純剪的強度用實驗確定也是很困難的。若做試驗確定純剪強度應按圖 2-7, a 所示來作，但這樣的試驗在實際上是按圖 2-7, b 來作的。這時，



除了受純剪之外還有因受彎引起的垂直應力及沿試件支承面的摩擦力出現，這就影響了受純剪的強度。

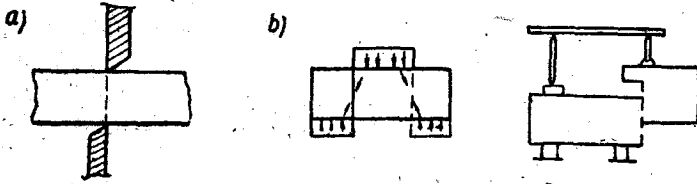


圖 2-7. 受純剪試驗。

為了決定受純剪強度的大小，可以採用由混凝土受壓和受拉強度極限來表示受剪強度極限的公式。在推此公式之前假定剪面為一系列無限小的鋸齒，然後

根據力的平衡關係(如圖 2-8 所示)得出關係式：

$$R_{\text{純剪}} = \sqrt{RR_{\text{拉}}}$$

又通過多次試驗總結，得知乘一修正係數更能準確的反映實際情況，於是得出下列公式：

$$R_{\text{純剪}} = 0.75\sqrt{RR_{\text{拉}}} = 0.3R$$

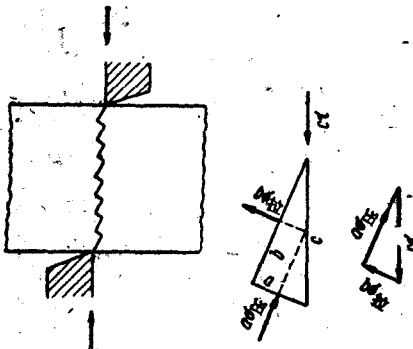


圖 2-8. 受剪的應力作用簡圖。

B. 受剪切強度  $R_{\text{剪}}$ ：混凝土在受彎及偏心受壓時有受剪切工作，但受切強度用實驗方法不易確定，這因為試件的破壞往往是由於主拉應力而不是由於切力(剪力。)

雖然混凝土的受剪切強度還不能很準確的從實驗中得到闡明，但仍可判定受剪切強度是遠遠超過受拉強度的，它隨著混凝土的組成改善而增加。它和混凝土的立方受壓強度的大概關係是：

$$R_{\text{剪}} = 0.2R$$

### 三、混凝土的變形

1. 在荷載作用下混凝土的變形：要了解結構物的工作情況就要知道其應力和應變，而應力的測定也要通過變形的量測，因此測定在荷載作用下的變形是很重要的。變形受兩種因素的影響，即加荷的速度、方法和荷載作用的時間。

A. 急變：在加荷時間很短(約 1 分鐘)的荷載作用下混凝土所發生的變形稱為急變。

這種加荷方法是在一般實驗室中進行的方法。

根據棱柱體試件試驗結果，可知它的應力、應變為曲綫形狀，如圖 2-9 所示，當在所加的荷載不大時(應力不大時)，應力應變差不多成直綫關係，變形也是可以復原的，如果荷載加大使應力繼續增加到某一值時，此時卸荷，它便和原始的切綫  $OK$  相平行地一直退到  $B$  點，這時變形只能有一部分恢復，而另一部分即變為剩餘變形，不能恢復到原狀了。因此我們把這種剩餘變形  $\epsilon_{\text{塑}}$  叫做塑性變形，能恢復的一部分變形  $\epsilon_{\text{彈}}$  稱為彈性變形。在這個基礎上我們就可以知道混凝土是一個彈塑性材料。

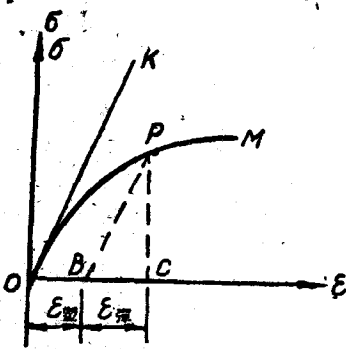


圖 2-9. 應力應變圖。