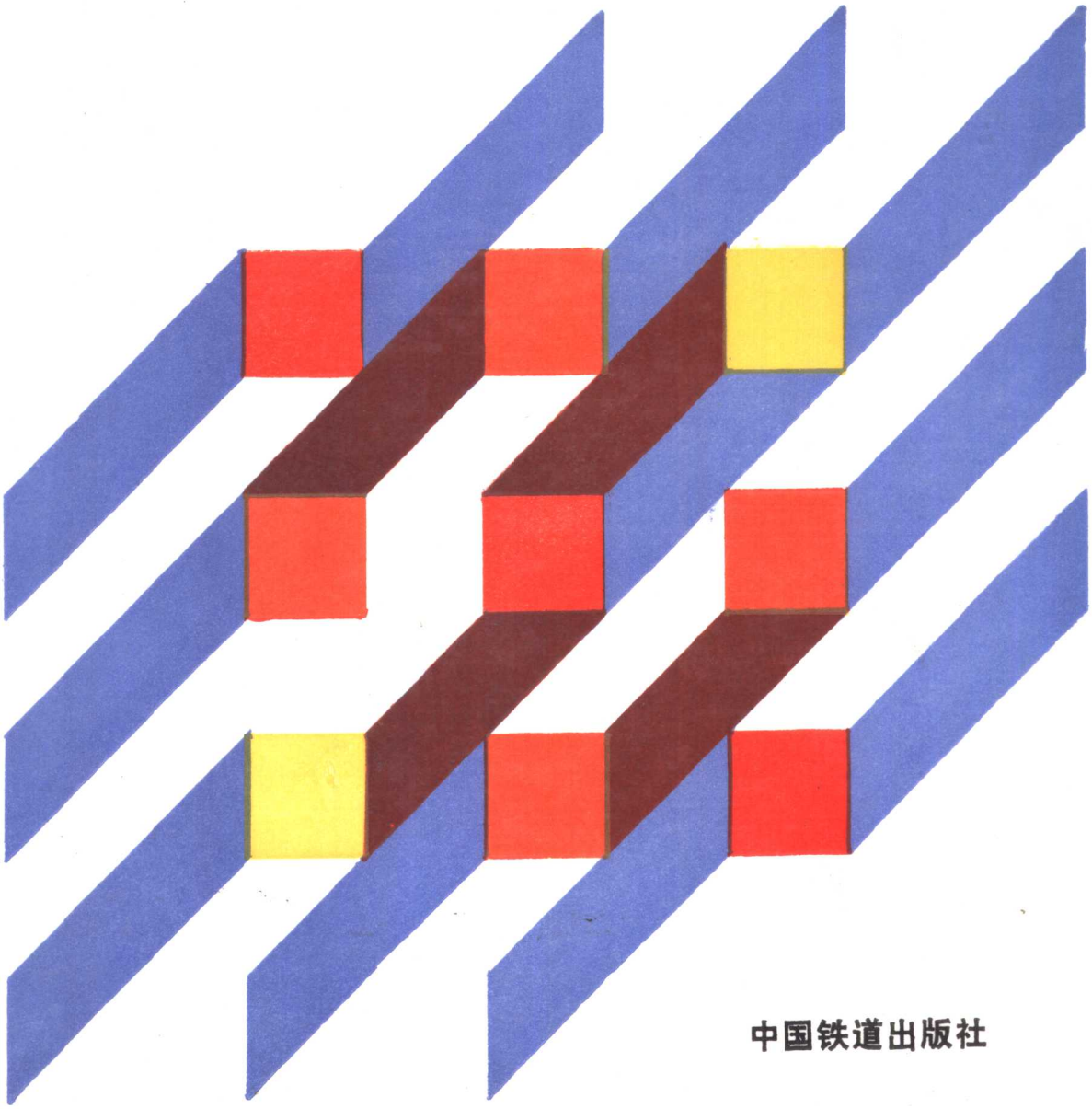
Handbook of Structural Concrete

结构混凝土手册

林同炎等 编著



中国铁道出版社

8(...07
(...

结构混凝土手册

林同炎等　编著

...藏書
图书馆

中国铁道出版社
1991年·北京

（京）新登字063号

内 容 简 介

混凝土是最主要的建筑材料，本书在结构混凝土的材料、生产、应用、设计、施工、维修等方面介绍了国外的当代成就、丰富的经验和发展趋向，很有参考价值。书中还介绍了许多国际上广泛使用的习惯作法和有关规范，对承建国外工程也有参考价值。本书由林同炎等五十余位国际上的知名专家分专题编写而成，可以为从事结构混凝土的各方面人员参考应用。

读者对象：混凝土工程的设计、施工、研究、修缮管理人员。

Handbook of Structural Concrete
Mcgraw-Hill Book Company
结构混凝土手册
林同炎等编著
*
中国铁道出版社出版、发行
（北京市东单三条14号）
责任编辑：王能远　封面设计：赵敬宇
各地新华书店经售
北京市顺义燕华印刷厂印

开本：787×1092毫米1/16　印张：61.5　字数：2333千
1991年12月　第1版　第1次印刷
印数：1—4000册

ISBN 7-113-01059-8/TU·234　定价：36.50元

此書由英美兩国專家主编，関于混凝土结构工程，材料，分析，设计，施工面已很全，可为工程師的案头参考。目前世界科技，日新月異，希望国内利用本書内容之外，还能随时提上新的理与文章，以协助建国的前进。尤其是混凝土工程，利用当地材料最有利于国内的应用。祝工程前途，速有进展！

林同炎

（为《结构混凝土手册》在我国出版，林同炎先生的题词）

前　言

作者编写这部《结构混凝土手册》旨在作为一部结构混凝土科学领域现状的国际参考书，为读者提供有关原理、程序和下述资料的权威性论述。

(*a*) 基本性能，

(*b*) 设计、分析、施工、维修和拆除，

(*c*) 设计原理及其在实施规范中的表达方式。

本书的读者对象是现任土木工程师和结构工程师，工程咨询和承包人员，混凝土材料厂商和用户，科研人员和大学、学院师生。全书共包括六部分：绪论、材料、设计和分析、施工、结构物各论和实用考虑。这六部分由41章组成，由来自许多国家的52位作者分工编写，其中不少人是结构混凝土领域最杰出的工程师。

在土木和结构工程这一广阔的学术科目中，有关结构混凝土的新颖而有效率的设计分析理论在近年来不断出现，而各国家实施规范的不断更新也说明这些理论及其实施方法在日新月异地变化着。《结构混凝土手册》就是反映这些新理论和新方法的综合性的参考书。本书是国际合作的产物，它标志着世界各地工程师们经验和学识的交流。同时，本书定将会有效地促进新概念的产生和结构混凝土技术的进展。

编辑者在此感谢各章作者高水平的撰写，感谢Pitmans出版社，尤其是Ian Pringle和John Hindly先生，为本书出版所作的努力。在编辑本书过程中，编辑者得到许多朋友和同行的大力协助、鼓励和建议，尤其是Rutgers大学环境与土木工程系系主任Edward G Nawy教授及诺丁汉大学名誉教授、1978～1979年土木工程师协会理事长R.C.Coates先生。

编辑者　F.K.Kong

R.H.Evans

Edward Cohen

Frederic Roll

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

出 版 者 的 话

本书包括结构混凝土的有关各方面的专题，由五十余位专家执笔写成，1983年由McGraw-Hill公司在英国出版，承作者之一林同炎先生亲自寄赠我社，现组织人员翻译出版。

混凝土是最主要的建筑材料，我国年产量居世界第一位。尽管如此，在材料、生产、设计、施工、养护维修等方面仍宜借鉴国外经验，不断改进。

本书在上述诸方面介绍了国外丰富的经验、当代的成就和发展趋向，很有参考价值。书中还介绍了若干国际上广泛应用的有关设计规范和习惯作法，对承建国外工程也有参考价值。

历来科技书籍的出版总是落后于科技的发展，不可能写出最新的科技活动，不免有失介绍时机之虞；然而一些科技名著因能把握科技发展的规律，仍能指导技术发展而为大众传诵不衰。

林同炎先生著的《预应力混凝土结构》中译本1983年在我社出版以来，屡受读者赞许，1990年又在全国建筑图书评选中获奖。我们期待林先生参加编写的这本手册的出版，也能为读者所欢迎。

本书译者如下（以姓氏笔划为序）：丁益民（第4、5、6、7章）、王治友（第8、9、10、11章）、孙棣芳和林书辉（第39、40、41章）、刘启山（第36章）、刘曼华（第18、19章）、安鸿逵（前言、第13、14、25、27章及第26章前半部）、张苍松（第21章）、张武（第35章）、郑晓薇（第22、24、32章）、胡正民和郑凯峰（第17、28、29、30章）、赵洪鑫（第1、2、3章）、徐建平（第34章）、程达钧（第33章）、傅希刚（第12、16章）、董哲仁（第23章、第26章后半部）、董哲仁和张武（第20章）、薛耀宗（第15、31、37、38章）。

本书校订者如下（以姓名笔划为序）：王能远（第17、20、28、29、30、33章）、何广汉（第16章）、李本安（第23、25、26、35章）、应达之和滕征本（第18章）、周璞（第31、32、37、38章）、姚明初（第1、2、3、19、40、41章）、顾发祥和李本安（第13章）、郭成举（第27章）、唐寰澄（第36章）、阎贵平（第15章）、黄棠（第22、24章）、富文权和蒋家奋（第4、5、6、7、8、9、10、11章）、程达钧（第14、21、34章）、谢劲藩（第12章）、滕征本（第39章）。

此外，为提高本书的整体水平，特聘王能远高级工程师为责任编辑，在翻译、编辑过程中刘启山同志协助做了大量具体工作，特此致谢。

单位换算表

SI单位⇄美国习用单位

长度

$1m = 3.281ft = 1.094yd$
$1mm = 0.03937in$
$1ft = 0.3048m$
$1in = 25.4mm$(精确)

面积

$1m^2 = 10.76ft^2 = 1.196yd^2$
$1mm^2 = 0.001550in^2$
$1ft^2 = 0.0929m^2$
$1in^2 = 645.2mm^2$

体积

$1m^3 = 35.31ft^3 = 1.308yd^3$
$1mm^3 = 61.02 \times 10^{-6}in^3$
1litre = 0.2642US gallon
$1ft^3 = 0.02832m^3$
$1in^3 = 16.39 \times 10^3 mm^3$
$1yd^3 = 0.7646m^3$

密度

$1kg/m^3 = 0.06243lb/ft^3$
$1lb/ft^3 = 16.02kg/m^3$

力（荷载）

$1N = 0.2248lb$
$1kN = 0.2248kip$
$1kN/m = 0.06582kip/ft$
$1kN/m^2 = 0.02088kip/it^2$
$1lb = 4.448N$
$1kip = 1.448kN$
$1kip/ft = 14.59kN/m$
$1kip/ft^2 = 47.88kN/m^2$

应力

$1MPa(=1MN/m^2) = 145.0psi$
$1N/mm^2 = 145.0psi$
$1kN/mm^2 = 145.0ksi$
$1psi = 6.895 \times 10^{-3}MPa$
$= 6.895 \times 10^{-3}N/mm^2$

惯性矩

$1mm^4 = 2.403 \times 10^{-6}in^4$
$1in^4 = 0.4162 \times 10^6 mm^4$

质量

$1kg = 2.205lb$
$1lb = 0.4536kg$

力矩（扭矩）

$1Nm = 0.7376lb\text{-}ft$
$1kNm = 0.7376kip\text{-}ft$
$1lb\text{-}ft = 1.356Nm$
$1kip\text{-}ft = 1.356kNm$

目　录

第Ⅰ部分　绪　　论……1

第1章　展望未来……3
第2章　以往的成就和教训……15
第3章　设计基本原理及结构决策……39

第Ⅱ部分　材　　料……49

第4章　正确地选择材料以改善混凝土性能……51
第5章　高强度混凝土……74
第6章　纤维增强混凝土……91
第7章　结构轻混凝土……99
第8章　聚合物混凝土……115
第9章　混凝土外加剂……132
第10章　混凝土的破坏标准……147
第11章　混凝土的弹性、收缩、徐变和热运动……167

第Ⅲ部分　设计和分析……187

第12章　结构构件的强度、使用性和延性……189
第13章　细部设计对结构性能的影响……233
第14章　耐火性能——设计和细部处理……245
第15章　抗震结构……267
第16章　耐疲劳设计……303
第17章　钢和混凝土结合结构……321
第18章　预制混凝土构件的生产、运输和安装……347
第19章　预应力混凝土和部分预应力混凝土……368
第20章　分析与设计的塑性方法……392
第21章　计算机的应用（一）：大型计算机……420
第22章　计算机应用（二）：小计算机……457
第23章　混凝土结构模型试验……503
第24章　室内环境设计……522

第Ⅳ部分　施　　工……535

第25章　混凝土结构的维修、修补和拆除……537
第26章　炎热气候中混凝土的施工，特别参照中东地区情况……556
第27章　混凝土的生产、质量控制和使用评价……577

第Ⅴ部分　构筑物……595

第28章　沉箱基础……597
第29章　筒　　仓……617
第30章　钢筋混凝土烟囱……632
第31章　桩和桩基础……653
第32章　壳式屋面……678
第33章　核反应堆……702
第34章　海上混凝土结构……728
第35章　贮水构筑物……759
第36章　桥　　梁……787
第37章　高层建筑（一）……867
第38章　高层建筑（二）……889

第Ⅵ部分　实用考虑……919

第39章　结构设计在安全性、经济性、施工工艺、工期和建成结构性能方面的考虑……921
第40章　混凝土和钢筋技术条件——国家标准规范的比较……934
第41章　结构设计：实用指南与资料来源……949

第Ⅰ部分　绪　论

第1章 展望未来

林同炎 (T.Y.Lin) 周扬威 (Philip Y Chow)

美国旧金山T.Y.Lin International

目 录

1. 引 言
2. 以往的工程
   2.1 材 料
   2.2 设 计
   2.3 施 工
3. 社会需求和压力
   3.1 人口增长
   3.2 资源枯竭
   3.3 对结构混凝土的影响
   3.4 技术的突破和约束
4. 可预见未来的发展
   4.1 材 料
   4.2 设备和装置
5. 设计和分析
   5.1 设计计算机化
   5.2 材料性能
   5.3 统一的标准及规范
   5.4 优化科学
   5.5 环境保护和美观
   5.6 有关专业协同设计
6. 关于未来的概貌
   6.1 陆上结构
   6.2 近海和海洋结构
   6.3 能源结构
参考文献

提 要

本章依据以往的成就和经验，考虑到人口增长和资源枯竭双重压力下的人类需求，试图窥探混凝土结构的未来。

就结构工程的三个主要组成，即材料、设计和施工，作了考察。

未来材料的改进包括混凝土本身及其配筋和外加剂。设备和器材的发展将在模筑施工、预制构件、大跨度结构和海上工程四个方面，有可能以较快的速率齐头并进。

未来的设计和分析，将决定于计算机技术、最优化方法、材料性能的研究、统一的国际规范的制订，以及环境保护和美化的考虑。

本章介绍了一些结构的发展远景，其中包括房屋、桥梁、港湾等陆地结构，海上和北极地区结构，以及预应力混凝土高压罐和海上能源转换船等能源结构。

1. 引 言

水晶球幻术的炫目景像是不合逻辑的。然而，人们可以试着在以往的成就和经验的逻辑基础上，构思出未来混凝土结构的图像，因为混凝土结构的未来是与由许多因素决定的社会未来相联系的；每个因素都有其本身的趋向。如此，人类社会的未来需求，在由于人口增长和已知资源枯竭引起的社会压力作用下，随着社会价值和制约的变化而变化。这些因素大都是相互联系的，并在人类为了改善自己所作的变革过程中是经常不断地彼此影响的。未来也是以往的推断，因此，展望未来首先得很好地回顾以往。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

2. 以往的工程

在历史上，工程技术的进步是以动机的形成、创造发明、开发应用、总结经验和改进提高为一个发展周期的。从简单的发明开始，那时的创造发明几乎是产生于偶然的机会，如传说中牛顿从苹果坠落现象得出力的平衡定律；在技术进步的今天，创造发明常常是一个经过长期反复试验过程的结果。每个结果仅是一块建筑结构单元，最后终于筑起壮丽的大厦。同时因为现代技术的复杂性，使一个领域的发展会显著地冲击其他领域。在不断发展的技术科学家族中，今天，一门技术科学越来越失去独立性。

混凝土结构工程也不例外。早在混凝土结构出现一些新用途的时候，就不只是从强度和耐久性来考虑混凝土结构的性能，而同时考虑与传统功能没有直接联系的其他性能，例如对热和射线辐射的绝缘性能。

下面我们就混凝土结构的过去和现在，从材料、设计和施工这三个主要方面作一个简单介绍。因为这些方面在以后各章将有详细叙述，这里只着眼于主要的项目。

2.1 材　　料

混凝土结构的基本材料——水泥、骨料、低碳钢或高强度钢——经过不断改进，达到了现时在品质、一致性和可靠性方面的高水平。高强度钢的出现，使预应力混凝土得到了发展，并打开混凝土结构的全新领域，这是法国Freyssinet首创的。由于改变了混凝土结构被动配筋状态，使之进入主动状态，预应力混凝土技术充分利用了钢筋的高抗拉强度和混凝土的抗压强度，获得了更有效的材料配合。

轻混凝土（LWC）的出现，标志着混凝土技术进步的另一里程碑。这样或那样的新材料，提供了异于寻常的品质，以满足各种特殊需要。对此下面作一些介绍。

2.1.1 轻混凝土

轻混凝土并不是新出现的，它通常是由多孔的页岩制成，容重1842kg/m³(115lb/it³)左右，抗压强度达到33MPa(5000psi)。作为新的轻混凝土，包括一些价格较高的多种轻混凝土产品，它们比通常的轻混凝土重量更轻和强度更高。其中之一是应用于船舶的聚合填充混凝土，它是加里福尼亚Hueneme港美国海军土木工程试验室研制的。因为轻混凝土的强度受其空隙率所限，这一发明的理论基础就在于用比重与海水相同的聚合材料来填充空隙使强度得到改善(约增加26%)。另一途径是用真空养护方法提高轻混凝土的强度。至今，生产这些特种混凝土的费用仍是高的，例如，土木工程试验室的聚合填充混凝土的生产费用，据说比通常的轻混凝土高30%。

2.1.2 纤维增强混凝土(FRC)

纤维增强混凝土在十多年前即已普遍使用，并曾列为研究所（如ACI544委员会）的研究课题。其用法在过去没有什么规律性，通常是限用于在有腐蚀性环境中使用的制成品。纤维增强混凝土的最大优点在于它的坚韧性和抗腐蚀性，特别是当采用非金属纤维时。纤维增强混凝土可用泵送，特别适宜于用来加固采用通常方法不可能加固的受限部位。

2.1.3 聚合物混凝土（PC）和聚合物浸渍混凝土（PIC）

我们是把聚合物混凝土和聚合物浸渍混凝土作为潜在的未来结构材料而在混凝土结构中加以讨论的。其与通常的建筑用混凝土的区别，仅仅在于用一种聚合物作为胶结剂或浸渍剂使用。

自从1965年美国Brookhaven国家实验室和Bureau of Reclamation开发这些产品以来，聚合物浸渍混凝土在混凝土结构中的采用已显示极大的可能性。某些聚合物能将混凝土的原有抗拉和抗压强度提高3～4倍，改善了耐冻性，将渗透性降至正常值的1/3以下。

聚合物浸渍混凝土是将已经干燥的、干净的混凝土用一种单基聚合物，如异丁烯酸甲酯（MMA）或苯乙烯（S）渗渍而成。浸渍的方法可用压力注入，或者简单地在一个平坦的水平面上使单基聚合物吸入若干小时。随之进行单基聚合物的聚合。聚合物浸渍混凝土的种类及其性质如表2—1所示。

聚合物混凝土和聚合物浸渍混凝土只限于那些造价高而被认为是合理的特殊用途。另一个妨碍推广的原因是其工艺过程太复杂和需要有特殊的设备。为防止操作人员直接接触化学药品或在浇注操作时吸入有害气体，须有防护措施。

2.1.4 修补混凝土用的环氧树脂粘合剂

高效混凝土粘合剂的开发，对扩大混凝土结构的使用起了促进作用。今天已可买到许多可用于填充混凝土接头和裂缝的环氧树脂粘合剂产品，而粘合后的混凝土，其粘合部分的强度甚至超过无裂缝部位。由于粘合剂的效能提高，混凝土结构的施工方法也有了发展，例如，对于长大的、预制的预应力梁可以采用分块施工法。混凝土预制块组装起来后，同时灌环氧树脂和施加预应力，使结构成为整体。今天，压注环氧树脂已是结构修理的重要方法。许多曾一度要求全部更换的损坏结构，现在可以用压注环氧树脂使其全面复原，并不影响正常使用。

2.1.5 流态混凝土

流态混凝土是指加入高效塑化剂的、有非常好的和易性而不产生强度损失的混凝土。高效塑化剂是由磺化的福尔马林缩合物等制成，用于混凝土结构具有许多优点：拌制时节省人力，容易浇注，可

以抹得很光，以及能使整个面积都浇注到。据报导，高效增塑在日本、美国和欧洲国家，特别是德国，很受欢迎。

MMA和S浸渍混凝土的性质(a)　　表2—1

性　　质	控制数	MMA浸渍混凝土		S浸渍混凝土	
		R过程	T-C过程	R过程	T-C过程
抗压强度，psi	5267	20255	18161	14710	9936
弹性模量，10^6psi	3.5	6.3	6.2	7.7	7.4
抗拉强度，psi	416	1627	1508	1205	840
吸水率，%	6.4	1.08	0.34	0.51	0.70
耐磨性，in	0.0497	0.0163	0.0147	0.040	0.0365
渗水率，10^{-4}ft/yr	5.3	0.8	1.4	NA(b)	1.5
抗冻性，冻融循环次数 （重量损失%）	490 (25.0)	750 (4.0)	750 (0.5)	620 (6.5)	620 (0.5)
冲击硬度，（L），锤法	32.0	55.3	52.0	48.2	50.1
硫酸溶液腐蚀300天膨胀%	0.144	0	NA(b)	0	NA(b)
在15%HCl溶液中腐蚀8—4天的重量损失%	10.4	3.64	3.49	5.5	4.2

(a) 资料来源：Frondiston-Yannas,S.A.和Dietz,G.L.,“聚合一浸渍混凝土作为建筑材料的经济可行性”,J.Prestressed Concr.Inst,Vol.22,No.4,1977。

(b) 缺数据。

2.1.6 粉煤灰

在很久以前就曾用粉煤灰作为混凝土材料。早在公元前3世纪，罗马人就以粉煤灰和石灰、水作为水泥胶结料拌制混凝土的原料。用粉煤灰混凝土建成的结构，如罗马的Coliseum，作为历史文物至今仍然屹立着。

由于煤的用量增加和火力发电厂生产粉煤灰，近些年来粉煤灰的用量激增。大量的科研工作弄清了粉煤灰的性质，而且有关组织，如美国国际粉煤灰协会制定出了它的适用范围。科学研究说明，粉煤灰混凝土的优点是强度较高，有良好的和易性和较高的抗硫酸盐侵蚀性能。

2.2 设　　计

工程设计实践，无论是在分析方法方面，或是在使分析更为完善的工具方面，在近20年中都有了明显的变化。由于大容量计算机的普及，现已能将结构按照三维的、随时间而变化的、非线性的复杂问题进行分析解算。那些用计算尺和计算器要算一天或一星期的工作，现在用计算机只需几分钟就可以非常准确和可靠地完成。工程部门已经计算机化，在完成着不用计算机就要花费大量时间的任务。把整个工程生产过程交给综合的计算机系统来完成，这一天不久就将到来，那时，在计算机系统的一端输入指令，在另一端就可得到最后结果——设计、计算分析、图纸、说明书、概算以及合同文件等。

2.3 施　　工

工程施工方面的进展是与工艺的进步同步的。施工方法正日趋完善，管理日趋改进，施工设备和装置也日趋大型化、高速化、专用化以及高效率和大功率。在施工领域同样是计算机化，这主要表现在施工设备和装置采用电子控制，施工操作自动化程度提高，特别是建筑材料和构件生产的自动化程度增高。

混凝土结构用的主要施工设备和装置有：起重机、吊车、混凝土搅拌机和输送设备、模板和脚手架以及预应力张拉设备。用于提升和搬运重物的起重机和吊车的类型和有效起重量通常是按工程对象和施工速度来选用的。因此，施工设备和装置趋向于大型和大功率。今天，重型的Maintowoc履带式6000W型起重机的最大起重量达到500t，VSL中心孔吊车能吊运580t。使用这些设备，有可能把大型建筑物（例如飞机库）的整个屋顶从地面吊到若干米高处安装就位。实践证明，这一施工方法在降低造价和缩短工期方面是非常有效的。

在混凝土生产和输送方面也有类似的改进。搅拌装置变得大型、快速和更加自动化了。大型工程的混凝土通常都用混凝土泵输送，当压力为10MPa（1500psi）时可将混凝土送到160m（530ft）高以上。混凝土还可以用车载混凝土泵和送料管输送，或是使用与泵系统分开设置的固定送料吊杆输送。固定送料吊杆安装在施工场地的中央，其供应范围要比一台安装在卡车上的送料管道大。

为了达到经济和快速施工，混凝土模板也同样有许多改进。这是通过三个途径来实现的：（1）增加模板的重复使用，例如在预制件施工中；（2）缩短模板的装配和拆卸时间，如采用飞模或扣槽模；（3）采用滑动模板。对于断面无变化的、高的建筑，如筒仓，采用滑动模板是非常经济的。

混凝土现常用于大跨度结构，特别是设计成去支承沉重的屋顶荷载，如旧金山Moscone会议中

心，要求支承1m（3ft）厚的表土。这个中心有一面积为25500m²（275000ft²）的展览大厅（图1—2—1），其无柱面积为84m（275ft）×244m（800ft）。它的屋顶是由成对布置的16个拱来支承的。每个拱的推力由一根埋在基础中的承受4800t（5300短吨）的后张预应力拉杆来承担（图1—2—2）。

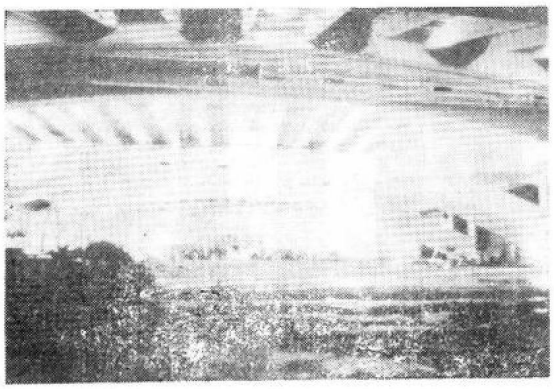


图1—2—1　旧金山Moscone会议中心展览大厅内景
（结构工程师：T.Y.Lin国际；建筑师：Hellmuth,Obata &Kassabaum）

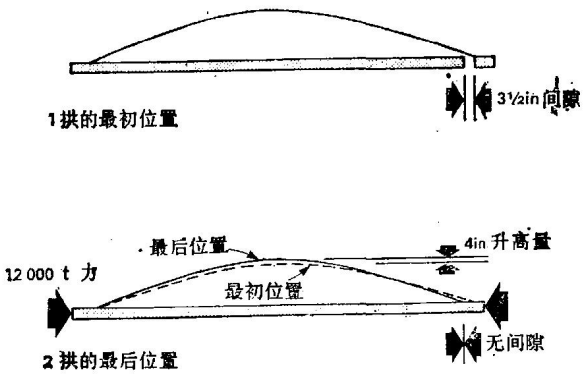


图1—2—2　对展览大厅系杆拱施加预应力

3. 社会需求和压力

人类社会是人类在社会的需求和压力交替作用下奋斗的产物。许多人仍然相信人口增长、资源枯竭和人类冒险精神是社会形成的重要因素。三者在一定程度上确是互相影响的。人口增长就是地球上资源枯竭的原因之一。

3.1　人口增长

人口增长上升为社会压力，表现为经济的、政治的、社会的和宗教的斗争。它可能是地球上人口重分布背后的一个非常重要的因素。历史上有过多次移民，最近的一次是越南难民的外逃。Thomas R. Malthus说过，控制人口的自然道路是限制生存，当人口增长过快时就将发生战争和饥荒以减少人口。但是，他没有考虑到人类在降低自然死亡和迅速地提高食品生产率的智慧，在这两个因素的共同作用下，使人口增长和较高水平的生存得到协调，或者由于失去平衡而使问题恶化。即使在计划生育方面尽了最大努力之后，世界人口年增长率仍为1.8%，这样在39年之后即达到现时人口3.3×10^9的两倍。人口增长意味着对土地和资源的需要量增加，迫使把现有的人类生活领域扩展到以前认为不合乎人们生活居住的地区。今天，在现代技术的支持下，在经济增长的刺激下，在世界的贫瘠和寒冷地区已经出现移民区。

海洋是人类已有可能征服但相对来说是尚未到达的地方。毋庸置疑，许多财富可取之于海洋的底部。由于现在已经出现的海洋工具和装置的迅速发展，像一件很平常的事一样，人们到海底移民的日子已为期不远了。

3.2　资源枯竭

地球上的资源，特别是能源，由于人口的增长已经很快地减少，而人均高消费率则需要有一个富足的社会。据统计，世界范围的能源消耗，自1925年以来是每15年翻一番多。

能量的短缺已促使工业发达国家尽一切努力去寻求和开发各种能源，在这方面的努力中，有些已经直接影响结构混凝土的用途，例如作为海洋热能转换动力设备（OTEC）的海洋平台或煤炭能量转换设备的压力罐。

饮用水的短缺几乎与缺少石油和天然气一样严重。因为水是从大自然连续不断补充的，其所以短缺仅仅是由于工业发展和人口增长。现在通过除盐过程可从海中回收淡水。可以预见，极地的冰资源亦将会被开发。

有些研究工作者以人类在其生存的道路上克服各种困难和生存下来的能力和智慧感到自慰。在短短的半个世纪里，人类不是已经取得利用原子能、制造电子计算机、遨游于外层空间，以及使耕地增产10倍了吗？有些人认为今天世界处于技术革命的时代，这个革命将使现在的消费性工业社会进入以信息为基础的社会，对于石油、能源缺乏，将被作为新原料的微型芯片所代替。遗传工程出现带来的变化，将强烈改变我们今天的生活方式。它能使植物在恶劣的环境中茂盛生长，变沙漠为良田。细菌将用来生产碳氢化合物以提供能源。遗传链的奥妙作用将为我们的资源创造奇迹。世界将真正的变为富足，没有饥馑和贫穷。

3.3　对结构混凝土的影响

不论关于人口增长和资源枯竭对未来世界的影响方面的专家意见如何分歧，可以肯定，人类社会注定要进入一个与现在迥异的世界：或是成为一个资源缺乏和淡水干涸的世界，那里的自然保护工程、海水淡化和人口控制被提到日程上来；或者是

使用微型芯片、计算机，以及生产、交换与分配成为一个集约系统的昌盛世界。无论是出现哪种情况，结构混凝土都将是重要角色。

3.4 技术的突破和约束

可预见或不可预见的重大情况的出现，有可能加速或减缓技术发展的速率。技术突破或新的发现又将有助于情况的发展。相反地，闭关锁国和经济萧条会使技术进步减慢。

所谓约束是人为地产生的，例如公海内的深海采矿工业的开发，将要求有一个国际协定，这个协定可能要长时间拖延而无结果。

技术突破在工业发达国家速度更快，因为一个方面的新发展将很快地变成资本并促进另一方面发展的步伐。其整个进程决定于投入科研的人力和财力，以及信息交流系统的效率，它可以大大地缩短从开发到应用的时间。

4. 可预见未来的发展

技术上的发展必须跟上社会的需要和发展。因为当今技术领域的扩展和多重性，一个领域的技术进步将要冲击另一个方面的进步，反之亦然。空间研究派生出新技术，例如微电子芯片就是一个很好的例子。其结果是，现在许多工业的工作从比较廉价的优良计算机和人造卫星得到好处。

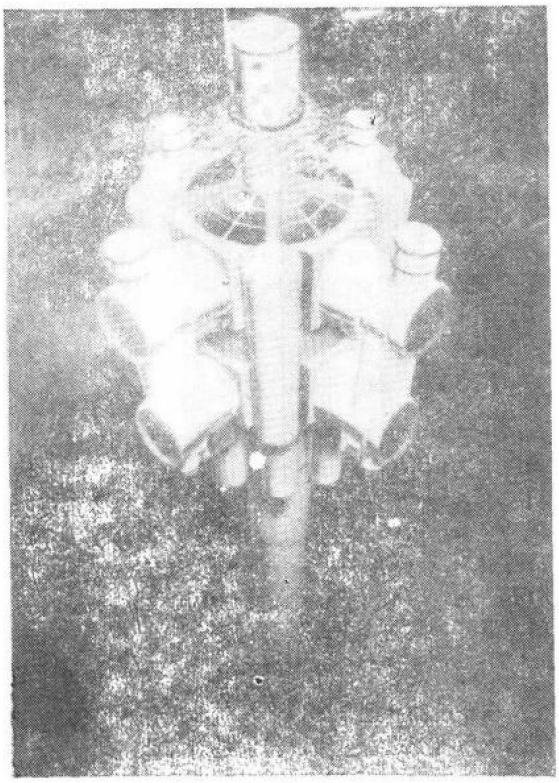


图1—4—1 晶石状的海洋热能转换动力设备
Lockheed Missiles公司建造
(结构顾问T.Y.Lin国际)

在可预见的将来，可以预期，混凝土结构在正处于发展中的各个新的领域，将会大有作为。在能源领域，结构混凝土已经是建造海洋能量转换设备的候选材料，其中如用于将太阳能转换为电能的OTEC设备（图1—4—1）和转换波浪能的DAM-ATOLL设备，以及为煤炭能量转换用的大型反应压力罐。从海中回收淡水这个成长中的领域，如对一个产量为250000m³/d(66Mgal/d)的空前巨大的蒸发器结构，初步设计采用结构混凝土制造（图1—4—2）。

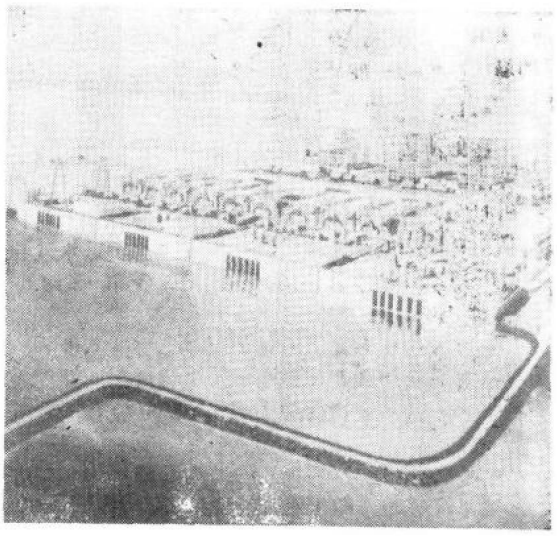


图1—4—2 向沙特阿拉伯提供的250000m³/d(66MgaL/d)预应力混凝土海水净化厂Bechtel公司推荐
(结构顾问T.Y.Lin国际)

下面我们来讨论哪些材料和设备有发展的可能。

4.1 材 料

结构混凝土材料无疑地将继续保持高标准或有改进。为适应前面提到的新工业提出的特殊要求，材料还将发展。这些将在下面各节中予以论述。

4.1.1 混凝土

为了在大跨度和高层建筑中采用混凝土结构，人们不断地致力于提高结构混凝土的强度并减轻它的重量。虽然在一般结构中通常使用强度为34MPa（5000psi）的混凝土，但仍然以很高的代价去生产极限强度为61或68MPa（9000或10000psi）的混凝土。密度为1840kg/m³（115pcf）、极限强度为34MPa（5000psi）的轻混凝土，只需比通常的硬岩混凝土多花一点代价即可获得。

由于混凝土变为轻质、高强，混凝土桥梁的跨度将变为更大，混凝土房屋建筑也将更高。混凝土的新用途，如用作深海结构、极地结构或压力罐，要求给予特殊处理以获得适应新的要求的特殊性能。其中一个非常重要的性能是抗高压渗透性。除

此之外是提高防火、抗腐蚀、抗疲劳和抗冻融性。

给予混凝土以所要求的特殊性能的一些新产品早已出现。前面提到的纤维混凝土、聚合物混凝土和聚合物浸渍混凝土即是其中的几种。

4.1.2 钢　筋

钢筋和预应力钢绞的发展已达到高水平，在可预见的将来将不会有很大的改进。钢筋可以做成某一工程对象所要求的特殊性能，例如提高其抗腐蚀性以及抗高温或低温的性能。

非金属加筋的发展，可能要成为下一阶段加筋技术的发展方面。在多层钢绞网上喷涂水泥沙浆的加筋法，也有可能成为另一个发展方面。

4.1.3 混凝土外加剂

在即将到来的年代，为了满足混凝土高压罐、深海住所和极地混凝土石油生产平台的新要求。将会研制出各种优质的专用外加剂。这些外加剂将使混凝土有更高的抗压性、抗热性、更加不透水性和很好的和易性，而且不会有明显的徐变和收缩变形。

高效能塑化剂之类的外加剂早已有商品供应，它能够明显地增加和易性而不损失强度。而聚合物浸渍混凝土和聚合物混凝土则能增加韧性和抗高压水浸透性能。

同样，改善了抗腐蚀性的结构混凝土亦将用于化工生产设备。如果聚合物浸渍混凝土板能加保护不受高温的话，采用这种板可以抗腐蚀。

4.2 设备和装置

对于近期的设备和装置，可按以下工程类别来考虑：

（*a*）立模板和就地浇注混凝土；
（*b*）预制构件装配施工；
（*c*）大跨度和高层建筑；
（*d*）近海工程。

4.2.1 立模板和就地浇注混凝土

由于今后年代里的技术进步，施工方法将会有变化，其中之一是较广泛地使用计算机。可以预料，现场的新设备和新装置的自动控制程度会更高，混凝土的拌制、装卸和输送会加速，混凝土站的供应范围也要扩大。改进措施将是集中在缩短工期方面。因而，竖向和水平方向的滑动模板将会扩大应用。有些施工方法干脆取消刚性模板，例如钢绞网水泥就是以其自身的钢绞网作为“模板”，还有用压缩空气模板来建造大面积的壳式屋顶结构。在桥梁方面，安装在滑曳桁架上的移动式模板将会得到广泛应用。

4.2.2 预制构件装配施工

采用预制构件方法的起因在于加速施工。无可怀疑，在近期内它将继续发展，特别是有了大型的安装设备和装置。预制构件的种类、型式和尺寸趋向于增加。未来的结构将是简单的拼装，把预制单元用预应力、焊接或灌浆的方法将其结合在一起，就可完成一个完整的建筑。

由一个中心预制工厂向工地供应构件，其预制构件的形状和尺寸将受通向工地的公路所制约。为了排除这一困难，移动式预制厂将会有所发展并得到广泛应用。

从国际范围来讲，在一个工业发达的国家里，用钢或混凝土建成一个完整的工业设备，用驳船将其运到海上或海岸边工地进行安装，这是与预制构件施工有关的一个方面。已经有许多用这种方法建造的工业设备的例子，特别是中东石油发达国家，以及边远的、环境恶劣的地区，如阿拉斯加普拉德霍（Prudhoe）湾的石油生产设备。

4.2.3 大跨度结构

同样，改进的目标将集中在快速而又经济地建造贸易中心、室内无中间支承的运动场等大跨度建筑。改进的着眼点是建立在预制装配技术上。这就是，如前所述，将结构在地面制成，而后将其顶起安装就位。

这种方法在过去曾经用临时代用装置偶尔作过。瑞士创造了大吨位的、中心孔式千斤顶，能提升重达数千吨的屋顶结构，大大促进了这种方法的发展。

4.2.4 近海工程

近海结构现在都是在岸上拼装完成后，装上驳船或用浮运的方式拖到安装位置。关于大多数钢制生产平台或其他平台之类的近海工程，是在现地打桩之后在其上拼装预制构件组成的。建造混凝土重力式平台则更为简单，就是在平台安装好之后用压重使之固定，浇注灰浆来堵塞支承面上的空洞，必要的话在平台四周抛石以防冲刷。这种施工方法在近期不会有大的改变，并将得到广泛应用。

然而，从长远看，施工技术和设备将有新的改进，使人们有可能在海底，进入“内层空间”施工。

5. 设计和分析

由于以下几个方面相助，混凝土结构设计和分析已进入一个采用先进技术的新时代：（*a*）计算机辅助设计的普及；（*b*）对材料的性能有了更深入的了解；（*c*）国际标准的改进；（*d*）优选学日臻成熟；（*e*）环境保护和美学要求得到正确理解和实施；以及（*f*）有关专业协同设计概念的发展。这些方面将在下面分别讨论。

5.1 设计计算机化

在今后的一二十年，计算机在设计和分析各方面的应用将要迅速扩大，特别是对那些一般性的结构，计算机设计和分析将实现标准化。计算机程序将成为很多结构设计的普通工具，以代替今天的设计手册。与此同时，工程师和公众亦将深知过于信赖计算机的局限性、缺点和不易发现的失误。一个

直接的结果是工程师不能离开计算机工作，依据具体情况作出合理的判断，结果是只见树木不见森林。另一个缺点是在培养工程师中过于强调计算技术，把大部分时间花在计算机上，而只有很少时间用于结构基础理论的学习，特别是混凝土结构方面。

在计算机的辅助下，混凝土结构计算将更加完善，使之有可能考虑多维条件下的复杂参数、与时间有关的复合材料特性，以及有可能寻求最优设计。在开拓思想和求实精神的结合下，将使完善的程序更加改进，例如部分预应力方法，它能更好地解决已出现裂缝的混凝土，在塑性区与钢筋的共同作用的分析。

5.2 材料性能

更好地了解材料性能，其目的在于获得更好的设计。在不久前已经完成许多工作。混凝土的抗渗性，它的防火和抗疲劳能力，它在低温条件下的性能，混凝土出现裂缝的力学机制，以及在潮湿条件下裂缝自动闭合现象，都曾是深入研究的课题。然而，尚遗留有许多问题有待解决。举例来说，和混凝土共同作用的钢筋的特性，它与混凝土的粘着力，混凝土裂缝断面的特性，以及混凝土与钢筋相互作用随时间而变化问题等，尚有待工程师去研究。更好地了解材料性能，将有可能把预应力混凝土和钢筋混凝土结合在一个设计实体内，为设计中的其他方面的效果提供很好的依据。

5.3 统一的标准及规范

关于混凝土结构实用世界规范的制订，一些国际组织，如 Fédération Internation de la Précontrainte (FIP) 和国际标准化组织，已经开始提出建议和起草标准，不久将付诸实施。鉴于现代工程项目的国际性，如中东和北海生产石油地区的多国机构，工程实施的标准化已成为一项紧迫的事情。还有核装置的迅速扩大，这又是另一个例证。一个国家的核装置出事故，会使邻国遭受与事故发生地点同样的灾难。

世界规范将详细说明功能，而不仅是给出容许按照具体情况选用的经验数据。由于不断认识到把规范作成硬性准则的缺点，尽管准则是为给定的结构具体制定的，仍应有足够的伸缩性，允许合理地审慎地调整规范中规定的数字。只是有关安全、经济、功能、适用性和环境适应性等基本准则不能变更。

5.4 优化科学

在计算机辅助下的优化科学的发展，从物理和数学观点两个方面，使工程师有可能很好地运用经验、材料、人力和时间，将其结合起来作出一个好的、非常实用而又经济的结构。

优化是为了适应现代工程而提出的一个有效的方法。因为现代工程包含着许多专门技术科目，每一个科目都对工程提出自己的要求条件，而总的要求是对工程从全局观点作出评定。如前面所指出，工艺系列种类繁多而且日趋复杂，没有一个专门技术能独立于其他专门技术之外，所有专门技术必须在交替转换过程中为了工程的最好的总利益而共同工作。

未来的工程师须完成结构设计以外的许多工作，犹如一个乐队指挥，他必须把工程的基本目的与社会和人类的关系，作为一个重大的优选设计来考虑。

5.5 环境保护和美观

社会将更加重视环境保护和结构的外观美。越来越会使工程师们认识到，他们必须与规划人员、建筑师、环保人员以及民众一起工作，以保证他们的结构提高环境价值。联系造价和造价-收益率，对不同方案的美学指标，将制定出评价方法。必须认识到，提高环境保护和美观并不一定需要增加造价。过去建成的许多美观的结构，恰恰是由于设计的质朴和合理而节约了造价。

5.6 有关专业协同设计

最后，从上面所述的几个方面的进展情况，将会得出结构有关专业协同设计的概念。这种设计是建立在包含在工程对象之内每一个专业和行业工种之间的组合、协作和配合之上的。其概念是在宏观上调整各不相同的专业的需求，类似于设计优化。它是来自这样的原则：因为工程对象内的每一个人都对工程的结果产生影响，最好的办法是使每一个人都处于积极有利的状态。协同设计应包括财务人员、研制人员、审批机关、建筑者、操作者，以及与工程有关的各个专业人员和专家，并要求他们及早在一起合作。为了实现协同设计必须建立全面监督和协调机构，配备有计算机和闭路通信系统。

6. 关于未来的概貌

混凝土结构的未来决定于前面所述的影响因素中相对突出之处。如果假定按现在的进展趋势继续下去，那么各个技术领域的全面加速发展将会产生极其重大的影响。它将把社会带入使用新材料、新技术、自动化、多产化，并按新的方式生活的世界。在复杂的、大型的工程中和在新发展的使用领域中，混凝土结构将与其他材料和专业技术全面结合在一起。未来的结构工程师如果只从结构的观点来处理问题是很不够的。他必须具有关于结构各个细节的较高的判断能力，与工程单位内的其他人一起，寻求一个最优的解答。

无论是在设计办公室或是现场，在日常工作中将普遍使用计算机，如工程分析、设计绘图、编写说明、估算造价、工程日程、进度统计以及设备、装置和劳动力的管理。工程师仍要进行检查和作出判断，但可以依靠计算机提供的资料来完成任务。计算机软件变得如此复杂，它的开发和维护将成为一个专门领域。

作为代替手工操作的工具，未来计算机的运

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com