



丁大钧 编著

现代混凝土结构学

中国建筑工业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代混凝土结构学

丁大钧 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代混凝土结构学/丁大钧编著. —北京:中国建筑
工业出版社, 2000

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

ISBN 7-112-04250-X

I. 现… II. 丁… III. 混凝土结构 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 20820 号

本书介绍有关混凝土结构(包括钢筋混凝土、预应力混凝土和各种与混凝土结合的组合作用)构造、设计和内力分析方法,含静力和动力分析,以及实际工程结构,也包括建筑结构中剪力墙、框架和框剪体系以及电视塔的抗震控制研究(含土壤与多质点结构共同作用的主被动控制),因而涉及的面是较为广泛的。本书自以国家现行设计规范为主,但对某些问题也提出编者个人意见以供读者参考。本书阐述的主要方面分三部分(未截然划分),其基本部分介绍材料、基本构件的有关计算,含组合结构构件,以及深梁和牛腿、结构设计可靠度理论和混凝土结构寿命等;结构部分介绍各式楼板、单层厂房、大跨屋盖结构、基础(包括与上部结构共同作用)和特种结构,建筑抗震设计和控制等,并对交通工程、水利工程和海洋工程作了简介;在结构分析方法中,除介绍一些常用数值方法如有限差分法、有限元法、有限条法和样条函数法,还包括编者提出的有限基本构件法,此外还介绍了断裂力学、损伤力学和微观力学对混凝土的应用等。

* * *

责任编辑 欧 剑 丁洪良

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代混凝土结构学

丁大钧 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京二二〇七工厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 插页:1 印张:66¼ 字数:1608 千字

2000 年 12 月第一版 2000 年 12 月第一次印刷

印数:1—1200 册 定价:138.00 元

ISBN 7-112-04250-X

TU·3348(9584)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

根据国家教委关于宽口径专业调整改革大方向,编者于1997年曾合编《土木工程总论》系列教材(一年级用),并曾在部分高校中试用(配合幻灯片),效果尚可。配合《土木工程总论》结构部分,编者应中国建筑工业出版社之约,编写了这本书,使读者在科研与教学中有所参考。本书介绍现代混凝土结构所包含的各类有关建筑材料的基本构件和结构的构造、设计和内力分析方法,含静力和动力分析,也含建筑结构的抗震控制研究(包括土与多质点上部结构共同作用的主、被动控制,国内外似尚缺乏这类多质点研究),因此所涉及的面较为广泛。

书中阐述的主要方面分三部分(尽管未截然划分),即基本部分,介绍材料、基本构件,含组合结构构件以及深梁和牛腿的构造和有关计算、结构可靠度理论和混凝土结构寿命等;结构部分介绍各式楼板、单层厂房、大跨屋盖结构、基础和特种结构;对箱形基础,考虑与上部结构的共同作用,在此批判了国内外通用的箱基与上部结构共同作用的计算方法,并提出新的建议,不仅理论上较为合理,且配筋一般减少较多,具有一定的经济效益;并提出一大胆建议,即人为造成“反盆式”沉降从理论上解决箱基漏水问题。在结构分析中,除介绍一些通用的数值方法,如有限差分法、有限元法、有限条法和样条法,也包括编者提出的有限基本构件法;此外,还介绍了断裂力学、损伤力学和微观力学对混凝土的应用等。

全书计25章。具有下列一些特点:

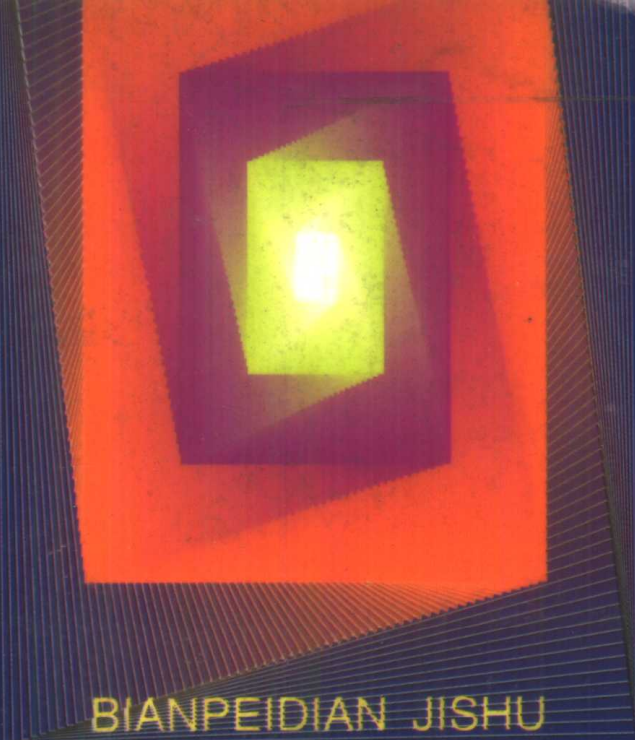
1. 重视试验研究的介绍,有的大节目中虽未标出,但很多这方面内容包含在小节目内;
2. 注意力学机理的阐述以及有关内容的前后呼应;
3. 既不忽视我国历史上的建设成果,更注重介绍今天的巨大成就和所达到的水平;
4. 对基本构件承载力计算,尝试地用通式表达,这不仅是简单的简化,而更深的意义在于加深对事物本质的认识,使读者学会归纳和演绎;书的主要内容既不违背规范,也不照搬规范;对规范中某些问题,也提出个人初步看法;
5. 对构造规定尽可能揭示其力学上的理论根据,使读者能灵活掌握和运用;
6. 在编者剪报近20年并进行国内外的多渠道交流的基础上,书中提供大量新的工程消息,这也应是读者所希望了解的;
7. 在“参考文献”中列出国内外有关文献超过1480篇(册)次,有些是很新的,如1998年世界100幢最高建筑;有的是很珍贵难得的,如70年代初荷兰博士学位论文“混凝土的微观力学某些方面”和1999年荷兰另一博士学位论文“组合材料的离散数值模型”。编者在这方面作出巨大的努力,艰苦备尝,希望对读者有所裨益;文献的写法,尽量与国际上惯例一致;
8. 书中列出较多的工程照片,增加读者的感性认识,特别是增加读者对我国建设的巨大成就的感性认识;
9. 书中包含编者和所指导的研究生的有关科研成果,字数约占全书23%;

10. 也指出一些工程事故,包括设计方面的,希引以为戒,并与读者共勉。

以上很多是编者在教学改革中已进行过和未进行过的设想(见编者在《建筑结构》中发表的“混凝土结构教学刍议”一文,1997.8)。

尽管编者在撰述本书时,作了很大努力。在完成草稿后修改一次,誊清初稿。在初稿上又作了调整和增删再打字,因我国建设发展迅速,二次校对时又作了局部修改,这给编辑、出版社和印刷厂带来很大困难,而获得谅解和支持。编者谨在此表示衷心的感谢。本书至此前后历时2年多。但由于编者个人力量有限,水平不高。对有些问题,学习和研究较多,介绍自较详细些和准确些,有些则学习不深,阐述自较肤浅,甚至错误,敬希读者鉴谅,并请指正,以便今后修改,幸甚。

本书可提供有关专业师生和工程技术人员参考,某些章节也可作研究生的专题教材。



BIANPEIDIAN JISHU

责任编辑：方 军

封面设计：薛小卉



ISBN 7-113-03038-

定 价： 2



目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述.....	1
第二节 简史.....	4
第三节 国内外发展概况和我国达到的水平.....	5
第四节 发展阶段.....	8
第五节 钢筋混凝土的主要优缺点.....	9
第六节 展望.....	10
第一章参考文献.....	12
第二章 混凝土、钢筋和混凝土结构	16
第一节 混凝土.....	16
第二节 钢筋.....	43
第三节 混凝土结构.....	48
第二章参考文献.....	66
第三章 设计计算方法	72
第一节 历史回顾.....	72
第二节 结构功能和可靠度.....	74
第三节 极限状态和极限状态方程.....	75
第四节 可靠度理论简介.....	79
第五节 材料设计强度.....	81
第三章参考文献.....	88
第四章 预应力混凝土结构	89
第一节 概述.....	89
第二节 预加应力方法、夹具和锚具.....	90
第三节 预应力混凝土材料和一般构造.....	101
第四节 计算基本原则.....	105
第五节 预弯预应力混凝土梁.....	111
第六节 预应力混凝土连续梁和框架.....	112
第四章参考文献.....	124
第五章 按承载力极限状态的计算和验算	126
第一节 应力状态阶段.....	126
第二节 梁的正截面破坏形态.....	128
第三节 有关问题的讨论.....	131
第四节 弯曲受压正截面承载力计算通式.....	134

第五节	轴心受压承载力计算	137
第六节	受压构件的纵向弯曲	139
第七节	双向受力	147
第八节	斜截面承载力计算	151
第九节	局部受压	166
第五章	参考文献	170
第六章	抗裂度、刚度和裂缝的试验研究及计算建议	174
第一节	正常使用要求	174
第二节	短期荷载作用下的试验研究	174
第三节	刚度和挠度计算	182
第四节	裂缝计算	193
第五节	关于枝状裂缝、根状裂缝和斜裂缝	199
第六节	环形截面构件的试验研究和计算	201
第七节	钢筋陶粒轻混凝土梁的试验研究和计算	203
第八节	受弯和大偏心受压构件的 $M - \frac{1}{r}$ 全曲数	205
第九节	使用荷载下连续梁的试验研究和挠度计算	211
第十节	长期荷载作用下的试验研究和计算建议	213
第十一节	预应力混凝土受弯构件的试验研究和计算建议	226
第十二节	裂缝摄影仪	232
第六章	参考文献	234
第七章	混凝土结构寿命	239
第一节	环境污染与材料腐蚀	239
第二节	混凝土构件中钢筋的锈蚀	240
第三节	长期使用下混凝土结构构件经历的三个阶段	241
第四节	限制裂缝宽度的调查和试验研究	241
第五节	混凝土结构寿命预测	254
第六节	碱-骨料反应	255
第七节	金属的阴极保护	257
第八节	混凝土耐久性研究的两个阶段	259
第九节	混凝土结构可靠性鉴定	259
第十节	展望	260
第七章	参考文献	261
第八章	预制整体式结构	263
第一节	概述	263
第二节	预制现浇叠合式简支梁板的试验研究	264
第三节	预制现浇叠合式连续梁的试验研究	266
第四节	规范规定的叠合式受弯构件的设计	269
第五节	正常使用极限状态验算	271

第八章参考文献	274
第九章 深梁	275
第一节 概述	275
第二节 弹性阶段深梁应力—应变状态	275
第三节 深梁破坏的试验研究	278
第四节 深梁的设计计算	281
第五节 深梁构造特点	285
第六节 牛腿的试验研究	286
第七节 牛腿的设计计算和构造要求	292
第九章参考文献	294
第十章 组合结构	295
第一节 概述	295
第二节 纤维加强水泥和混凝土	295
第三节 钢丝网水泥结构	300
第四节 压型钢板与混凝土组合楼板	304
第五节 钢与混凝土组合结构	306
第六节 劲性钢筋混凝土结构	309
第七节 钢管混凝土结构	324
第八节 外包钢混凝土结构	336
第十章参考文献	345
第十一章 整浇楼板	347
第一节 单向板	347
第二节 整浇单向板肋梁楼板	349
第三节 双向板	355
第四节 连续梁的计算和构造	373
第五节 密肋楼板	381
第六节 无梁楼板	383
第七节 楼梯	392
第十一章参考文献	401
第十二章 单层工业厂房	403
第一节 概述	403
第二节 单层厂房结构的组成	403
第三节 单层厂房的结构布置	406
第四节 支撑的作用和布置原则	410
第五节 抗风柱、圈梁、连系梁、过梁和基础梁的作用和布置原则	413
第六节 排架分析与荷载组合	417
第七节 屋盖结构	429
第八节 单层厂房柱	436
第九节 柱下单独基础	443

第十节	吊车梁	444
第十一节	预埋件	456
第十二章	参考文献	463
第十三章	多高层建筑	466
第一节	概述	466
第二节	多层建筑	470
第三节	高层建筑	474
第四节	各类体系的静力计算	540
第十三章	参考文献	572
第十四章	风荷载和房屋抗震设计	575
第一节	概述	575
第二节	有关结构动力学的基本原理	576
第三节	有关风荷载	581
第四节	抗震计算的底部剪力法	586
第五节	抗震设计中的振型分解反应谱法	589
第六节	抗震设计中的时程分析法简介	593
第七节	地基基础抗震验算和地基抗震措施	602
第八节	钢筋混凝土结构构件抗震设计	605
第十四章	参考文献	611
第十五章	基础	613
第一节	概述	613
第二节	单个基础	613
第三节	带形基础和整片基础	618
第四节	桩基础	621
第五节	弹性地基梁的计算简介	624
第六节	我们的研究	635
第七节	低承台桩群非线性解析数值法简介	641
第十五章	参考文献	643
第十六章	建筑结构抗震控制	646
第一节	概述	646
第二节	剪力墙结构抗震自控的指导思想	647
第三节	带缝槽连梁抗震自控的试验研究	647
第四节	带不同连梁双肢剪力墙抗震自控的试验研究	657
第五节	带竖缝槽低剪力墙抗震自控的试验研究	663
第六节	带水平短缝槽形成 X 形削弱的低剪力墙抗震自控的试验研究	672
第七节	控制塑性铰出现次序的自控框架的试验研究	681
第八节	框—剪结构抗震自控试验研究	688
第九节	带摩阻控制装置剪力墙的试验研究	689
第十节	带摩阻耗能装置支撑框架的试验研究	700

第十一节	带两种不同耗能装置支撑框架的试验研究·····	716
第十二节	空间框架式预应力混凝土电视塔风振控制的研究·····	719
第十三节	对多质点体系考虑上部结构—基础—地基土共同工作的主、被动抗震 控制研究·····	725
第十六章	参考文献·····	730
第十七章	大跨屋盖结构 ·····	735
第一节	概述·····	735
第二节	梁板合一结构·····	738
第三节	桁架·····	744
第四节	门式刚架·····	747
第五节	拱·····	750
第六节	薄壳·····	755
第十七章	参考文献·····	769
第十八章	特种结构 ·····	771
第一节	概述·····	771
第二节	挡墙·····	771
第三节	水池·····	775
第四节	水塔·····	783
第五节	深井管·····	792
第六节	筒仓·····	795
第七节	烟囱·····	804
第八节	电视塔·····	812
第十八章	参考文献·····	823
第十九章	交通工程简介 ·····	826
第一节	概述·····	826
第二节	路·····	826
第三节	桥梁·····	831
第四节	隧洞和地铁·····	857
第十九章	参考文献·····	861
第二十章	水利工程简介 ·····	865
第一节	概述·····	865
第二节	坝·····	865
第三节	拦海闸坝·····	884
第四节	渡槽·····	885
第五节	水利枢纽·····	887
第六节	船闸和船坞·····	887
第七节	港口和码头·····	888
第二十章	参考文献·····	890
第二十一章	近海工程简介 ·····	891

第一节	概述	891
第二节	移动式平台	891
第三节	固定式平台	892
第四节	深水混凝土结构和海洋储油罐	895
第五节	环境条件及荷载	897
第六节	两项构造简述	898
第二十一章参考文献		899
第二十二章	数值计算方法	900
第一节	概述	900
第二节	有限差分法	900
第三节	有限元法	909
第四节	有限条法	923
第五节	样条函数与样条子域法	938
第二十二章参考文献		954
第二十三章	结构优化设计与计算机辅助设计和模拟试验	956
第一节	概述	956
第二节	结构优化设计的基本概念和术语	956
第三节	计算机辅助设计	970
第四节	模拟试验	977
第二十三章参考文献		991
第二十四章	结构机理与有限基本构件法	993
第一节	概述	993
第二节	结构机理的基本概念和所研究的阶段	993
第三节	超静定结构的结构机理与结构计算	997
第四节	深梁和圆池的结构机理和有限基本构件法	998
第五节	薄板结构机理和有限基本构件法	1013
第六节	薄壳结构机理和有限基本构件法	1017
第二十四章参考文献		1029
第二十五章	现代三力学对钢筋混凝土的应用	1031
第一节	简述	1031
第二节	断裂力学简介	1031
第三节	损伤力学简介	1037
第四节	微观力学简介	1041
第二十五章参考文献		1047

第一章 绪 论

第一节 概 述

人类在采用混凝土建造结构工程之前很早即采用石材和砖建筑砌体结构,如希腊于公元前 447 年重建的(至公元前 432 前建成)、现尚未完全破坏而屹立待修的帕提农神庙(圣女宫即系石结构)(图 1-1),现存 40 多根多立克式石柱比例匀称,庄严和谐^{[1][2]}。

我国秦长安渭桥叠石水中,称为石柱桥。汉代霸桥则以石为梁。至今仍保存较完好的河北赵县安济桥,建于 1400 年前,为世界上最早的敞肩式石拱桥,净跨达 37.02m,于 1991 年为美国土木工程师学会(ASCE)选为第 12 个国际历史上土木工程里程碑^[3]。

混凝土是由水泥掺粒径成一定级配的石子和砂加水拌和,经水化结硬的人工组合材料,坚硬如石,其抗压强度高,但抗拉强度低很多,故混凝土又可写作“砼”,意其与石材同。

尽管石材抗拉强度低,但当截面尺寸很大时,仍能承受荷载产生的弯矩而作为跨度结构的。例如福建漳州江东桥,于宋嘉熙元年(公元 1237 年)由木梁桥改为石梁桥的(图 1-2)^[4],共 15 跨,每跨由三片石梁组成跨度结构,现仅存 5 跨,其中最大石截面为 1700mm × 1900mm,梁长 23.7m,重达 2000t,在当时没有重型起重设备条件下,其采、运、安装工作都是十分艰巨的。



图 1-1 希腊古代建成的帕提农神庙石结构现状



图 1-2 漳州江东桥

当混凝土承受荷载时,中和轴以上受压、以下受拉(图 1-3a)。随荷载的逐渐增大,梁中压应力和拉应力也不断增大。当荷载较小时,梁的受拉边缘混凝土拉应力未达到其抗拉强度,梁尚能承受此荷载。当荷载增至 P_c 时,梁的受拉边缘混凝土应变达到其极限拉应变时,尽管这时受压区混凝土的压应变和相应压应力还分别小于其极限值,但梁在受拉区域将出现裂缝并迅速向上伸展。因为在裂缝截面,裂缝后这部分截面即不参加受力,有效的截面高度减小,应变及相应应力较在裂缝瞬间前增大,即在荷载不变的情况下裂缝上端处拉应力自较其极限值增大,这自应继续裂缝,即裂缝迅速向上伸展,这样“恶性循环”,最大拉应力迅

速增大,受压区域迅速减小,压应力很快增大,终于导致梁迅速彻底沿全截面断裂(图 1-3c)。那么是否存在受压域和混凝土最后被压碎呢?国外曾用快速摄影(每分钟 3000 张胶片)然后缓慢放映,表明梁裂缝截面上表层仍有受压破坏迹象。因为最后受压区极小,故这迹象一般肉眼不易看出。对混凝土梁, P_{cr} 一般是不大的。

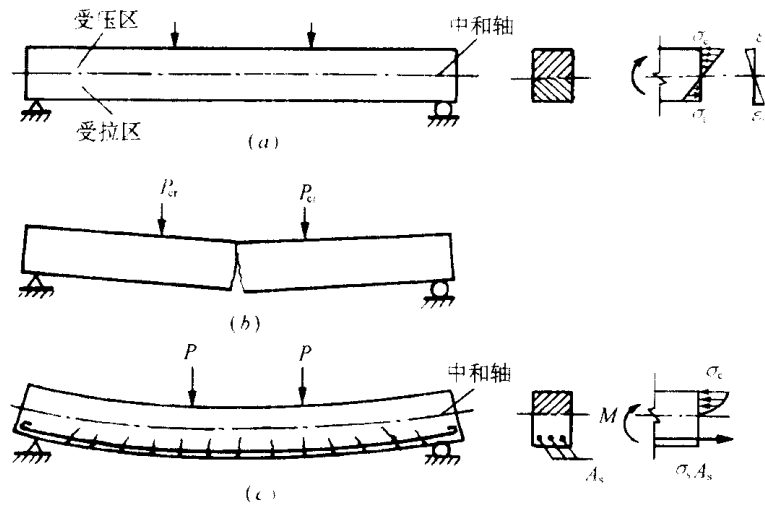


图 1-3 混凝土梁及钢筋混凝土梁

由于和混凝土有相同性质的石材,对承受弯矩的能力小,加大梁截面尺寸,不仅不经济,有时且不可能。为了提高混凝土截面的承载力,可通过两个途径,其一是在古代用石材,大多使其承受偏心压力,因为压力可抵消或部分抵消拉应力,则承载力将大大提高。上述安济石拱桥,其跨长远大于江东石桥,但截面厚度仅 1030mm,又大大小于江东桥的 1900mm,因为在拱内截面是承偏心压力的,即承受弯矩 M 和轴向压力 N ;其二是加强混凝土梁截面的受拉区域。

从 1824 年发明了人造的波特兰水泥后,由水泥拌制的混凝土,结硬前是处于塑性状态的,因此人们设想在其受拉区加置受拉强度高的材料来加强它,加强材料除必须是抗拉强度高的,同时与混凝土能紧密粘结而不致在结硬后的混凝土梁内滑动,保证二者的共同工作。此外加强材料弹性模量应大大高于混凝土材料,否则将需加置很多,在实际构造上可能有困难。钢材是理想的加强材料,采用钢筋加强的混凝土称为钢筋混凝土。在古罗马,采用天然水硬性材料火山灰来修建道路和下水道,发掘发现在其中采用了铜棒加强。

图 1-3c 为钢筋混凝土梁在不大的荷载作用下,梁受拉区仍然开裂,但出现裂缝后的截面,其变形性能与混凝土梁即大不相同。在裂缝截面,因为钢筋和混凝土牢固地粘结在一起,裂缝的混凝土原承受的拉力传至钢筋,因为钢筋强度高,这时拉应力较其强度低很多而处于弹性阶段,因其弹性模量很高,在裂缝截面处的钢筋变形很小,有效地约束了裂缝的开展,使其不致无限制地向上延伸,即无限制地减小混凝土受压区直至使梁断裂。这样钢筋混凝土梁即能继续承受很大的荷载,这显然与配置钢筋的量有关。随荷载增加,裂缝不断缓慢地开展。裂缝的开展是原受拉张紧的混凝土在裂缝出现后,在一定程度上的放松,即产生某些回缩而引起。因钢筋与混凝土粘结成整体而不能无限制地回缩,亦即不能一下放松到无应力状态,而裂缝以外的受拉混凝土内仍存在一定拉应力。直至钢筋应力达到屈服强度,钢筋处于流动阶段,裂缝开展大大加速,并不断上伸,使混凝土受压区减小,混凝土压应力迅速

增大直至混凝土压应变达到极限压应变而被压碎,梁始告破坏。应指出,钢筋混凝土梁承载力提高很多,但对抵抗裂缝出现的能力提高不多,因此在使用荷载下大多数梁是带裂缝工作的(图 1-3c)。不过裂缝宽度通常可控制在允许的限度内,所以一般说,钢筋混凝土梁在满载下出现一定宽度的裂缝是正常现象。

假定钢筋和混凝土间无粘结时,当梁一旦出现裂缝,沿跨长钢筋应变将均匀分布,裂缝间(或一条裂缝的两侧)原受拉张紧的混凝土一下即放松回缩到无应力状态。再增加荷载,这部分混凝土内将不再产生拉应力,因此不再出现新裂缝而只是首次出现的 1 条或一批(2 乃至 3 条)裂缝。在破坏时不像有粘结的混凝土梁受拉区出现多条裂缝,但开展宽度较大,因为这时很大长度上的钢筋变形集中反映在这 1~2 条裂缝中。

对石材读者试思能否构造成钢筋石梁?

钢筋混凝土的英文是 reinforced concrete,法文是 béton armé,德文早期为 armierter Beton,这些都是加强混凝土的意思。用“加强混凝土”这一称谓,并不束缚人们的思路,因为除钢筋外,还可以用其他抗拉强度和弹性模量高的合适材料来加强。30 年代前,在德国应用较普遍的为 Eisenbeton,即为铁筋混凝土,前苏联和日本分别沿用 железобетон 和铁筋コンクリート,后来德国改用 Stahlbeton。我国则一直应用“钢筋混凝土”,近些年来有用“加筋混凝土”的^{[5][6]}。60 年代后采用的 fibre reinforced concrete,即译为“纤维加强混凝土”。近 10 多年来在国外发展的碳纤维筋,即系碳纤维经聚合处理而制成像钢筋的一种用在(预应力)混凝土中的加强材料,因其抗腐蚀性能较钢筋优越很多。

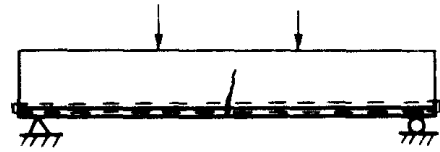


图 1-4 无粘结混凝土梁

很早以前,人们就建立了对材料某些缺点进行加强的概念。如我国古代长城,是用砂砾石拌和粘土修筑的,掺用砂石不仅提高粘土的抗压强度,也减小其干缩变形。在有悠久历史的粘土版筑墙中及土坯中加草筋也是为了加强其抗压强度。

将钢筋和混凝土这两种性质大不相同的材料结合在一起使其共同受力并充分利用其各自强度,不但是可能的,而且也是有利的。

混凝土结硬后,首先在混凝土与钢筋接触面产生化学粘结使在其中的钢筋与混凝土结成整体,同时混凝土收缩将紧压在钢筋上,即对钢筋产生握固作用。在荷载作用下,粘结和握固作用阻止钢筋在混凝土中不致产生相对滑移而能很好地共同受力。当破坏上述作用如图 1-4 所示的,则必需在梁两端将钢筋锚固在混凝土梁上,这样虽裂缝后沿钢筋长度各点混凝土和钢筋间有相对滑移,但通过端锚使钢筋张紧而在总体上保证混凝土和钢筋的共同工作。

那么在温度作用下是否会破坏二者的共同工作? 已知钢筋的温度线胀系数为 1.2×10^{-5} ,混凝土的线胀系数则与骨料有关^{[6][7]}:当石灰石时为 0.6×10^{-5} ,安山岩—— 0.65×10^{-5} ,浮石—— 0.7×10^{-5} ,辉绿岩—— 0.85×10^{-5} ,泡沫矿渣及花岗岩—— 0.9×10^{-5} ,玄武岩—— 0.95×10^{-5} ,砂岩—— 1.0×10^{-5} ,硬砂岩—— 1.1×10^{-5} ,石英岩—— 1.3×10^{-5} 。因此在一般温度变化下,在两种材料内不致产生过大的温度应力而破坏它们原有的整体性。

从以上二点,可见二者的共同工作是可能的,且不致因环境影响而遭破坏。

混凝土为不良导热体,埋置在混凝土中的钢筋受高温影响远较暴露的钢结构为小。例如曾有一热电厂因漏油引起大火,延烧数小时,仅以桁架形式作大型混凝土预制屋面板的主

筋,因暴露在外受高温在自重下塌落外,其余钢筋包裹在混凝土内的大型屋面板以及梁柱中混凝土烧伤仅是表面的,完全可以修复。此外有足够厚度混凝土保护层的构件对防止钢筋锈蚀亦较钢结构有利,且因混凝土包裹,在低温下钢筋所受温度较暴露的钢结构为高,因而可防止发生冷脆。如波兰曾有一钢板梁与混凝土桥面板的组合梁桥,1987年1月夜间当地气温为零下35℃发生冷脆塌落,当地其余混凝土梁桥均未发生这种破坏^[8]。可见钢筋埋置在混凝土内时对防火、防腐蚀和防冷脆都是有利的。

如上所述在梁截面内作用压力可减小拉应力,甚至避免出现拉应力。箍桶中将木瓣片用铁箍或竹箍箍紧,使两瓣片间产生压应力即预(压)应力,消除两片间裂隙使桶不漏水,这是千百年来的日常生活中的预应力概念。用在加荷前张拉钢筋的办法使混凝土截面内产生预压应力,当使在荷载下全部截面都处在受压状态或拉应力为零,使截面不出现裂缝,即所谓全预应力;使拉应力减小,即使部分截面仍受拉,但控制裂缝宽度在一定范围内,即所谓“部分预应力”。

第二节 简 史

最早在希腊和罗马采用火山灰制造混凝土。F. Coignet(1801~1861?)发表他的构造原理的报告,认识到这种材料的弱点^[9]。波特兰水泥发明后(1824年英国 Joseph Aspdin 获得此项专利^[10];美国 Canvas White 于1818年首次制成天然水泥,而美国波特兰水泥则迟至1872年才由 David O. Saylor 制成,但低价的用现代化方法制造的波特兰水泥更迟至1892年)约1/4个世纪,1848年法国 J. L. Lambot 制造了第一只钢筋混凝土船(参加博览会和获得专利是在1855年)^[9]。1854年英国 W. B. Wilkinson 获得了一种钢筋混凝土楼板的专利权。7年后法国 Francois Coignet 著文阐述了这种新建筑的原理。1861年巴黎花匠 Joseph Monier 用水泥砂浆制作花盆,在盆内加设钢筋网以提高其强度,1867年他获得制造这种花盆的专利权,后又获得制造其他钢筋混凝土梁、板和管等的专利权。对这些发明,通常称“蒙列体系”。德国工程师 G. A. Wayss 和 J. Bauschinger 立即对这一体系进行试验研究,并于1887年发表他们的报告。1886年 M. Koenen 发表混凝土结构理论和设计的第一本书稿^[9]。此后钢筋混凝土的应用获得迅速的推广。奥地利工程师们对理论和实践的发展也作出很大的贡献,其中 Melan 提出的体系包括 I 形和 T 形梁。在法国,还值得指出的是 M. Hennebique,他可能是第一个采用“箍筋”和“弯筋”的。

在革命前的俄国,最早于1886年采用钢筋混凝土,但推广缓慢,1895年 И. Г. Малюга 教授提出混凝土强度与水灰比的关系。

美国第一个钢筋混凝土工程是由 W. E. Ward 于1875年在纽约州建成的;其中墙、楼板—梁和屋面用混凝土建造,并用金属加强。而后又建造了一些钢筋混凝土建筑,其中加州科学院建筑(1888或1889年)很好地抗御了1906年地震,而 Leland Stanford Junior 大学博物馆(1892年)在地震中表现较其两栋附属砖房为好。F. von Emperger 于1896年建造了第一座在美国和欧洲没有先例的大跨度的钢筋混凝土拱桥。1906年 C. A. P. Turner 创造了无梁楼盖^[9],这项发明标志着在以最有利和最经济的形式利用材料,充分认识结构的整体性质。俄国于1908年建造了一座无梁楼盖建筑^[11]。

一战期间美国制造出人工轻骨料,1919年建造了第一艘轻混凝土船,从此轻混凝土进

入实际工程应用^[12]。1872年美国工程师 P. H. Jackson 获得用单个块体借拉杆制造预应力梁或拱的专利;1888年德国工程师 W. Dohring 获得用钢丝制造预应力板的专利。尽管这样,但早期的工作由于预应力低,随时间而损失,因此并未获得真正的成功。挪威 J. Lund 和美国 G. R. Steiner 于 20 年代前期曾试图解决这一问题,亦仍无效。美国 R. E. Dill 认识到混凝土收缩和徐变对预应力损失的影响,随后他发展了这样的概念,即成功的无粘结后张盘条将由于构件长度减小而抵偿钢筋内因时间影响由徐变和收缩而引起的应力损失。在 20 年代早期, W. H. Hewett 发展环形预应力的原则,他沿圆池混凝土壁加设环向应力的水平配筋,通过螺丝紧线器获得一定预压应力防止由内部液压引起开裂,因而获得水密性。此后水池和管的预应力在美国获得加速发展,以千计水池、贮液池和气柜被建造,随后很多长的预应力管道在 20 和 30 年代被铺设。预应力进入实际应用,应归功于法国工程师 E. Freyssinet (1879~1962),他于 1928 年利用强度较高的钢丝和混凝土,施加较高的预应力来制造预应力构件,因而克服了预应力不致损失至无意义,才获得有实际价值的成功,1940 年他提出现在已熟知而乐于接受的 Freyssinet 体系,包括锚固 12 根钢丝束的锥形锚具^[13]。

在 30 年代至 60 年代间,英国 P. W. Abeles 提出和发展了部分预应力混凝土概念。美籍华人林同炎、德国 F. Leonhardt (1909~1999) 和前苏联 B. Михайлов (1903~1990) 对预应力混凝土设计技术和科学作出大量贡献^[13]。

空间薄壁结构最早是德国于 1925 年开始建造第一个大型折板煤仓,1926 年又建造了圆筒形长薄壳,此后双曲扁壳和钢筋混凝土双曲抛物面壳等相继建造。美国于 1936 年建造了圆筒形短薄壳,但至 50 年代后才逐渐推广。前苏联从 30 年代起开始采用和研究壳体结构,并于 1937 年制订了世界第一部“薄壳屋盖和楼板设计及计算规程”^[14],促进了薄壳结构的发展。

1922 年英国 Dyson 已对钢筋混凝土受弯构件截面提出按破坏阶段计算公式,前苏联 A. Ф. Полейт 则是于 1932 年提出的,而前苏联是世界上第一个制订按破坏阶段设计规范的国家,从 1938 年开始应用于工业与民用建筑中。巴西于 1953 年开始按破坏阶段计算^{[5][6]}。

1921 年丹麦工程师 A. Ingerslev 根据双向板“屈服线”上极限弯矩为常数的假定,最早提出双向板的塑性理论解,后来证明是正确的^[15]。1931 年丹麦 K. W. Johansen 在这一领域里作了进一步创造性工作,建立了“屈服线”计算体系^{[16][17]}。美国 1924 年 Joint Committee on Standard Specifications of Concrete and Reinforced Concrete 的报告中,对连续单向板已在一定程度上考虑了由塑性变形引起的内力重分布,美国 ACI 的 1941 年钢筋混凝土建筑规范中对双向板也考虑了这个问题^[18];在轴心受压柱中考虑混凝土塑性变形影响,钢筋采用按(最小)屈服强度确定的许可应力,用弹性理论计算。前苏联 1950 年颁布了根据极限平衡制订的板和次梁考虑塑性变形引起的内力重分布的计算规程^[19];1961 年的规程则允许对主梁和单层框架进行这种考虑^[20]。

第三节 国内外发展概况和我国达到的水平

一、发展概况

现在混凝土结构(国际上已对钢筋混凝土和预应力混凝土结构统称混凝土结构)应用范围大大拓宽,无论地上和地下或水上和水下,很多结构都广泛采用。混凝土建筑最高为马来