

高等学校土木工程专业新编教材

混凝土结构

(上册)

HUN NING TU JIE GOU

● 张良成 翟爱良 主编

按新规范编写专业用书



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校大土木工程专业新编教材

混凝土结构

上册

主 编	张良成	翟爱良	
副主编	周翠玲	王 萱	张耀军
参 编	张锡增	胡 伟	张玉敏
	彭亚萍	王新元	武模峰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据全国高校土木工程学科专业指导委员会审定通过的《混凝土结构》教学大纲,以国家标准 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》作为主要编写依据,部分内容结合 JTJ023—85《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》编写。全书分上、下两册,上册为混凝土结构的基本原理,主要讲述各类混凝土结构基本构件的受力性能分析和计算,共十章,主要内容包括:绪论,材料性能,计算原理,弯、剪、扭、压、拉、预应力等基本构件。下册为混凝土结构设计,主要讲述混凝土建筑结构的设计与计算,包括:楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑的设计。

本书作为高等学校土木工程专业用教材,也可以作为土建类研究生教学参考书,并可供从事土木工程钢筋混凝土结构设计与施工的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构.上册/张良成等主编.-北京:中国水利水电出版社,2004
高等学校土木工程专业新编教材
ISBN 7-5084-1690-2

I.混… II.张… III.混凝土结构-高等学校-教材 IV.TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 080461 号

书 名	高等学校土木工程专业新编教材 混凝土结构 上册
作 者	张良成 翟爱良 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 26 印张 617 千字
版 次	2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	72.00 元 (上、下册)

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

《混凝土结构》编委会

(上 册)

主 编 张良成 翟爱良

副主编 周翠玲 王 莹 张耀军

参 编 张锡增 胡 伟 张玉敏
 彭亚萍 王新元 武模峰

前 言

本书是根据全国高校土木工程学科专业指导委员会审定通过的《混凝土结构》教学大纲编写的。

全书分上、下两册。上册为混凝土结构的基本原理,作为土木工程专业的一门专业基础课程,主要讲述土木工程专业涉及领域内各类混凝土结构中具有共性的基本构件的受力性能分析和计算,全书共分十章,主要内容包括:绪论,材料性能,计算原理,弯、剪、扭、压、拉、预应力等基本构件。鉴于目前土木工程不同结构类别采用的设计规范尚不一致,本书在以建筑工程方向为主的同时,考虑土木工程专业拓宽专业面的需要,对路桥知识相关的内容进行了简单介绍。下册为混凝土结构设计,主要面向建筑工程方向的本科学生,讲述混凝土建筑结构的设计与计算,包括楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑的设计。

全书以国家标准 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》作为主要编写依据,部分内容则结合了 JTJ023—85《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行编写。

本书编写内容针对我国高级土木工程专门人才培养模式正在向专业宽口径方向转变的现实,紧密结合“混凝土结构”课程教学内容的改革和实践,结合工程实际和混凝土结构的国内外最新研究应用成果,注意吸收同类教材的优点,力求文字简练、深入浅出,在讲清基本概念和基本理论的基础上,列出了较多的计算示例,以强化学生对基本理论、基本知识的应用能力。每章均附有思考题,除第一、二、十章外,其他各章都有习题。

本书的编写人员均具有丰富的教学经验。上册主编:张良成、翟爱良。参加编写的有:张良成、张锡增(绪论、第九章),张耀军、胡伟(第一章、第八章),翟爱良、王新元(第二章、第三章),王萱、胡玉敏(第四章、第七章),周翠玲、彭亚萍(第五章、第六章),翟爱良、王萱、张耀军(第十章)。

崔千祥同志对全书进行了细致审阅,并提出宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。

由于本书编写时间仓促及编者水平有限,书中肯定会有不妥或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2003年7月

目 录

前言	
绪论	1
一 混凝土结构的一般概念和特点	1
二 混凝土结构的发展简况与应用	4
三 混凝土结构的最新进展	5
四 学习本课程需要注意的几个问题	10
思考题	11
第一章 钢筋混凝土结构的材料	12
第一节 钢筋	12
第二节 混凝土	18
第三节 钢筋与混凝土的粘结	31
思考题	35
第二章 钢筋混凝土结构的设计方法	36
第一节 结构设计的极限状态	36
第二节 结构按概率极限状态设计的基本概念	38
第三节 结构上的荷载	41
第四节 材料强度的标准值	43
第五节 极限状态设计的实用表达式	45
思考题	48
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力的计算	49
第一节 受弯构件的截面形式和构造	50
第二节 受弯构件正截面的试验研究	52
第三节 正截面受弯承载力的计算原则	56
第四节 单筋矩形截面承载力的计算	60
第五节 双筋矩形截面承载力的计算	66
第六节 T形截面构件正截面受弯承载力的计算	72
思考题	79
习题	79
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力的计算	83

第一节	概述	83
第二节	无腹筋梁的斜截面受剪性能	86
第三节	有腹筋梁斜截面受剪承载力的计算	91
第四节	受弯构件斜截面受剪承载力的计算方法和步骤	100
第五节	保证受弯构件斜截面受弯承载力的构造措施	108
第六节	钢筋的其它构造要求	113
第七节	钢筋混凝土伸臂梁的设计实例	117
思考题	.....	125
习题	.....	125
第五章	钢筋混凝土受压构件承载力的计算	128
第一节	受压构件的一般构造	128
第二节	轴心受压构件正截面承载力的计算	130
第三节	偏心受压构件承载力的计算	139
思考题	.....	178
习题	.....	179
第六章	钢筋混凝土受拉构件承载力的计算	180
第一节	概述	180
第二节	轴心受拉构件正截面承载力的计算	180
第三节	偏心受拉构件正截面承载力的计算	182
思考题	.....	186
习题	.....	186
第七章	钢筋混凝土受扭构件承载力的计算	187
第一节	纯扭构件的开裂扭矩	188
第二节	纯扭构件的承载力计算	190
第三节	弯剪扭构件的承载力计算	200
第四节	受扭构件的配筋构造要求	206
思考题	.....	212
习题	.....	213
第八章	钢筋混凝土构件的裂缝宽度与变形及混凝土结构的耐久性	214
第一节	概述	214
第二节	混凝土构件裂缝宽度的验算	216
第三节	受弯构件变形的验算	225
第四节	混凝土构件的截面延性	232
第五节	混凝土结构的耐久性	236
思考题	.....	242
习题	.....	243

第九章 预应力混凝土构件	245
第一节 预应力混凝土的基本概念	245
第二节 施加预应力的方法与预应力混凝土的材料及张拉机具	247
第三节 张拉的控制应力与预应力损失	253
第四节 预应力混凝土的轴心受拉构件	260
第五节 预应力混凝土的受弯构件	275
第六节 部分预应力混凝土和无粘结预应力混凝土简介	300
第七节 预应力混凝土构件的构造要求	303
思考题	305
习题	306
第十章 混凝土结构按《公路桥规》的设计原理	308
第一节 我国现行《公路桥规》的计算原则	308
第二节 受弯构件正截面强度的计算	312
第三节 受弯构件斜截面强度的计算	325
第四节 受扭构件的强度计算	333
第五节 受压构件的强度计算	338
第六节 受拉构件的强度计算	345
第七节 钢筋混凝土受弯构件的应力与裂缝及变形验算	347
第八节 公路桥预应力混凝土受弯构件的设计与计算	353
思考题	384
附录 1 术语及符号	386
附录 2 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》规定的材料力学指标	395
附录 3 JTJ023—85《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 规定的材料力学指标	399
附录 4 钢筋的计算截面面积及公称质量	401
附录 5 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》的有关规定	403
主要参考文献及资料	406

绪 论

一、混凝土结构的一般概念和特点

以混凝土材料为主，并根据需要配置钢筋、预应力钢筋、钢筋、钢管、纤维等，共同受力的结构均可称为混凝土结构。混凝土结构包括有素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢筋混凝土结构、钢管混凝土结构及配置各种纤维筋的混凝土结构等(图 0-1)。最常用的是由钢筋和混凝土两种材料组成共同受力的钢筋混凝土结构。

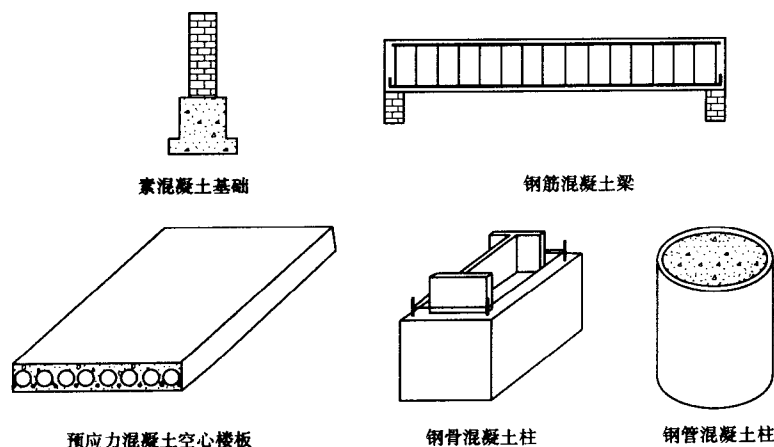


图 0-1 常见混凝土结构构件的形式

图 0-2 所示为两根混凝土梁的对比实验情况，一根截面为 $150\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，跨长为 2.5m ，混凝土强度为 C20 的素混凝土简支梁。如图 0-2 (a) 所示，当跨中承受的集中力 P_1 为 10.1kN 时，就会因混凝土受拉而断裂，从而导致整个梁的破坏。但是，如果在这根梁的受拉区配置 2 根直径 16mm 的 HRB335 级钢筋，用钢筋代替开裂后的混凝土承受拉力，则可以继续加载，直到钢筋达到屈服强度以后，梁才破坏，破坏荷载增加到 P_2 约为 55.7kN ，如图 0-2 (b) 所示。

上述实验结果说明，在混凝土中配置钢筋可以大大提高构件的承载力。分析其原因，在钢筋和混凝土两种材料中，钢筋的抗拉和抗压能力都很强，混凝土的抗压能力较强而抗拉能力很差，一般只有抗压能力的 $1/18 \sim 1/9$ ，混凝土承受拉力时很容易开裂，因此，素混凝土梁承载力较低，而用钢筋代替开裂后的混凝土承受拉力，则可以继续加载，直到钢筋达到屈服强度以后，梁才破坏，破坏荷载大为增加。这同时也表明素混凝土结构在应用

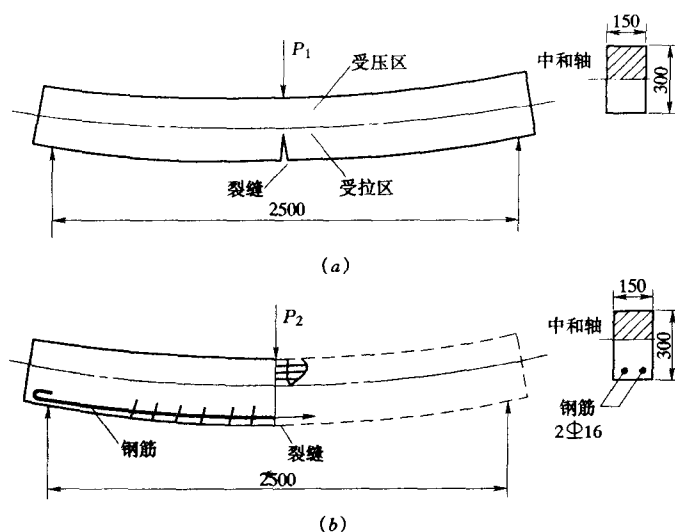


图 0-2 混凝土简支梁的破坏 (单位: mm)

(a) 素混凝土简支梁; (b) 钢筋混凝土简支梁

中受到很大的限制。

一般来说, 钢筋混凝土结构中, 混凝土主要承担压力, 钢筋主要在构件的受拉区承担拉力。在实际工程中, 还有许多其他配筋方式, 如在构件的受压区配置钢筋协助混凝土受压; 在构件受剪区段、受扭区段、节点区等复杂应力区域, 配置箍筋或纵横交错的钢筋; 当构件受力很大时, 可以直接配置钢骨; 利用箍筋或钢管约束混凝土来提高混凝土的抗压强度等 (图 0-3)。

因此, 两种材料有机结合, 可以很好的在一起协同工作, 使两种材料的特长都能得到

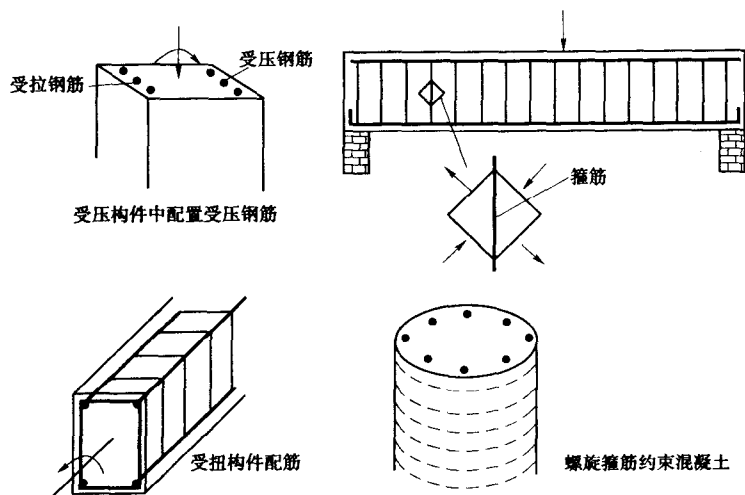


图 0-3 混凝土构件常见配筋方式

充分发挥利用,适应不同受力的要求,取得很好的综合经济效益。除此之外,作为在土建工程中应用最广泛的钢筋混凝土结构尚具有许多其他优点,主要有:

(1) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,钢筋由于受到混凝土的保护而不易锈蚀,且混凝土的强度是随时间不断增加的,所以钢筋混凝土结构的耐久性是很好的,几乎不用保养和维修。混凝土结构还可用于防辐射的工作环境,如用于建造原子反应堆安全壳等。

(2) 耐火性好。因为钢筋被包在混凝土内,混凝土又是不良传热导体,所以在遭受火灾时,钢筋不会很快因升温而软化。

(3) 可模性好。钢筋混凝土可根据设计需要,浇制成各种形状和尺寸的结构,特别适宜于建造外形复杂的大体积结构、曲线形的梁和拱以及空间薄壁结构。这一特点是砖石、钢、木等结构所不能代替的。

(4) 抗震性能好。现浇的整体式钢筋混凝土结构,整体性好,因而有利于抗震及防爆。所以在地震区建造的高耸建筑物,宜采用钢筋混凝土结构。

(5) 就地取材。钢筋混凝土所用的材料除少量的钢筋和水泥外,绝大部分材料是石子和砂,它们的产地普遍,可以就地取材,这样材料运输费用少,从而可以显著降低工程造价。

(6) 节约钢材。钢筋混凝土结构在一定范围内可以代替钢结构。这样可以节约钢材,降低工程造价。

钢筋混凝土结构也存在一些缺点,主要有:

(1) 自重较大,不利于建造大跨度结构及高层建筑。

(2) 施工较复杂,建造期一般较长。冬季和雨天施工比较困难,必须采用相应的施工措施才能保证质量。

(3) 耗费木料较多。浇筑混凝土要用模板,现场整体浇筑时还要用脚手架(支架),如采用钢模板和钢支架,则需要一定数量的施工用的钢材。

(4) 抗裂性差。普通钢筋混凝土结构在正常使用时往往出现裂缝,虽不影响承载力,但对防渗漏的结构,如某些水工混凝土结构很不利。由于裂缝会引起漏水,将影响结构物的正常使用功能。同时裂缝的存在会导致钢筋锈蚀,影响结构物的耐久性。

随着科学技术的发展,这些缺点正逐步得到克服和改善。例如采用轻质高强混凝土可减轻结构的自重;采用预制装配式构件可节约模板,加快施工进度,施工不受季节气候的影响;采用预应力混凝土结构可控制裂缝。

虽然钢筋和混凝土两种材料的物理力学性能很不相同,但二者的共同工作具有较好的基础,除混凝土对钢筋具有较好的保护作用外,还具有以下两个原因:

(1) 钢筋与混凝土之间存在有粘结力,使二者能相互作用(力和变形的传递)。保证在荷载作用下,钢筋和外围混凝土能够协调变形,共同受力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数很接近(钢筋为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.4 \times 10^{-5}$)。当温度变化时,二者间不会因各自伸缩,而产生较大的相对变形,致使粘结力遭到破坏。

二、混凝土结构的发展简况与应用

钢筋混凝土结构自 19 世纪中叶开始使用,和砖石结构、钢木结构相比,是一种较新的结构,其发展大体可分为三个阶段:

从 19 世纪 50 年代到 20 世纪 20 年代,一般认为是钢筋混凝土结构发展的第一阶段。这个期间出现了钢筋混凝土板、梁、柱、基础等简单的构件,所采用的混凝土和钢筋强度都比较低,钢筋混凝土的计算理论尚未建立,设计计算沿用材料力学中的容许应力法。

第二阶段是从 20 世纪 20 年代到 40 年代前后,随着混凝土和钢筋的强度不断提高,混凝土结构有了新的发展,开始出现预应力混凝土结构和用混凝土建造的大跨度结构,计算理论已开始考虑材料的塑性性能,按破坏阶段法计算构件的破坏承载力。

第三阶段是 20 世纪 40 年代到现在。随着高强混凝土和高强钢筋的出现,装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产方式的采用,许多大型结构,如超高层建筑、大跨度桥梁、特长隧道等不断兴建,计算理论过渡到极限状态设计法。近几十年来,钢筋混凝土计算理论日趋完善,在钢筋混凝土的材料制造、施工方法等方面也有了很大的进步。混凝土结构的应用范围日益扩大,无论地上或地下建筑,乃至海洋工程构筑物,很多采用混凝土结构建造。目前,混凝土结构已经成为我国土木工程各个领域应用最广泛的结构。在工业民用建筑及交通运输工程中,用来建造厂房、多层与高层楼房、水池、水塔、桥梁、飞机跑道、电视塔;在水利水电、水运工程建筑中,钢筋混凝土用来建造水坝、水闸、船闸、水电站厂房、机墩、蜗壳、尾水管、码头、涵洞等,现摘要举例说明。

在房屋工程中,多层住宅、办公楼大多采用砌体结构作为竖向承重构件,楼板和屋面板则几乎全部采用预制或现浇钢筋混凝土板;多层厂房和小高层房屋大多采用现浇钢筋混凝土梁板柱框架结构;单层工业厂房多是采用预制钢筋混凝土基础、柱、屋架或屋面梁以及大型屋面板;高层建筑采用钢筋混凝土体系更是获得很大发展,美国高层建筑与都市居住小区理事会于 1986 年公布的世界最高 100 幢高层建筑最低为 207m,1991 年公布的最低为 218m,而 1997 年公布的则为 227m。目前,采用钢筋混凝土结构体系建造的高度位于前列的高层建筑主要有:马来西亚石油双塔楼,88 层,高 452m;香港中环广场大厦,78 层,高 374m;广州中天广场大厦,80 层,高 322m,美国芝加哥双咨询大楼,64 层,高 303m;曼谷 Baiyoke 塔楼,高 320m;朝鲜平壤柳京饭店,高 300m;美国芝加哥南威克旅游中心,高 293m;美国夏洛特国家银行合作中心,高 265m;美国芝加哥水塔广场大厦,高 262m。上海的金茂大厦,88 层,建筑高度 421m,为正方形框筒结构,内筒混凝土墙厚 850mm,外围为钢管混凝土柱和钢柱。正在建造的上海浦东世界环球金融中心大厦,95 层,高 460m,内筒为钢筋混凝土结构,建成后将成为世界最高的建筑物。

在桥梁工程中,中小跨度桥梁绝大部分采用钢筋混凝土结构建造。拱桥方面,我国混凝土拱桥建设居世界领先地位。1990 年建成的宜宾金沙江钢筋混凝土拱桥,跨度为 240m,是中承式拱桥当时的世界纪录。这一纪录被 1996 年建成的广西邕宁邕江桥所突破,其跨度为 312m,采用钢管混凝土作骨架浇成混凝土箱形截面,钢管不外露,为劲性混凝土结构。1997 年建成的 318 国道上的四川万县长江大桥,也是采用钢管混凝土作骨

架浇成的三室单箱截面上承式拱桥,跨长 420m,为目前世界第一拱桥。刚架桥方面,1999 年 11 月挪威建成 Stoma 和 Raft 两座海峡桥,跨度分别为 301m、298m,分别列世界同类桥梁第一、第二位。1997 年 7 月建成通车的我国虎门大桥由东引桥、主桥、中引桥、辅航道桥和西引桥组成,其中辅航道桥为两座单桥组成,都为单室单箱预应力混凝土连续刚构桥,行车道宽 14.25m,跨度达到 270m,位居同类桥梁第三位。斜拉桥方面,虽然采用钢悬索或钢制斜拉索,但其桥墩、塔桥和桥面仍都采用钢筋混凝土结构。如 1993 年 1 月建成通车的上海杨浦组合斜拉桥,采用混凝土面板与钢加劲大梁共同工作,主跨 602m;1997 年建成的香港青马大桥跨度 1377m,桥体为悬索结构,支承悬索的两端塔架为高度 203m 的钢筋混凝土结构;1997 年建成的江阴长江大桥,主跨 1385m,位居世界第四。从上可见,我国斜拉桥建设也已进入国际先进行列。

在水利工程中,水利枢纽中的水电站、拦洪坝、引水渡槽、污水排灌管也大都采用钢筋混凝土结构。世界最高的重力坝为瑞士大狄克桑斯坝,高 285m;我国大坝建设也已达到国际先进水平。在建的长江三峡水利枢纽大坝为重力坝,高度 190m,设计装机容量 1860 万 kW,为世界最大的水利发电站。四川二滩双曲拱坝于 1998 年 12 月建成投产,坝高 242m,装机容量 330kW;黄河小浪底水利枢纽中小浪底大坝高 154m,主体工程中混凝土和钢筋混凝土用量达 269 万 m^3 。我国还将建造高度达 290m 的四川溪洛渡及其他高坝,已经开工的南水北调工程是一项跨世纪的宏伟工程,沿线将建很多预应力混凝土渡槽、混凝土水闸。

在隧道工程中,我国自新中国成立以来修建了数量较多的铁道隧道,其中成昆铁路线中就有隧道 427 座,总长 341km,占全线路长的近 1/3;修建公路隧道约 400 座,总长 80km。混凝土结构还大量应用于北京、上海、天津、广州、南京等城市已建或在建的地铁、高架轻轨、高速磁悬浮等城市重要交通设施。

还有一些特种结构(一般认为除房屋建筑、道路桥隧以及水工结构外的所有结构均属于特种结构),如电线杆、烟囱、水塔、筒仓、储水池、储罐、电视塔、核电站反应堆安全壳、近海采油平台等也多用混凝土结构建造。我国宁波北仑火力发电厂建有高度达 270m 的筒中筒烟囱;山西云冈建成两座预应力混凝土煤仓,容量 6 万 t;日本建成的地下液化天然气储罐容量已达 20 万 m^3 ;日本大阪正在建容量达 18 万 m^3 的地上预应力液化天然气储罐。世界最高电视塔加拿大多伦多电视塔,高 553.3m,为钢筋混凝土结构,采用滑模施工技术建造;上海东方明珠电视塔由三个钢筋混凝土筒体组成独特造型,高 456m,居世界第三位。

三、混凝土结构的最新进展

在改革开放 20 多年的时间里,伴随着经济的快速增长,我国的混凝土结构发展迅猛,从新材料、新技术的研究开发和推广应用,到工程结构的建造,均取得了前所未有的巨大成就。现阶段混凝土结构的最新发展特征是:

高性能混凝土(HPC)和绿色高性能混凝土(GHPC)的兴起和应用。

进一步发展的工业化体系,如大模板现浇体系;高层建筑结构体系的发展,如框桁体

系和外伸结构的采用。

计算机的发展和普及,在结构工程领域内引起深刻的变革。在设计中引入概率方法,专家系统的采用,计算机辅助设计和绘图(CAD, CAG)的程序化,包括结构动态分析图形的描绘,改进了设计方法,提高了设计质量,减轻了设计工作量,极大地提高了人的工作效率。优化设计的广泛应用,节约了建设投资。

振动台试验和拟动力试验以及风洞试验较普通地开展;建筑和桥梁结构的主、被动抗震控制的实际应用;计算机模拟试验大大减少了试验工作量,节约了大量人力物力。

有限元的广泛应用,计算模式研究的开展,其他数值计算方法的创立和发展;结构机理包括破坏机理研究的加强;对复合应力的研究并结合实验结果提出各种强度理论,由此产生了“近代混凝土力学”这一学科分支,并将逐渐得到发展和完善。

工程结构的“移植”,如将桥梁中的斜拉结构应用于房屋建筑,及至创造新的结构形式,如创造出双拱架结构和桁式组合拱桥等;以及各学科间的相互渗透,如将有限元应用于混凝土的微观研究。

工程材料微观研究的开展与加强,为材料强度和性能的不断提高创造了条件,新材料、新工艺和施工新方法的研究和开发。

模糊数学在抗震设计中的应用。

混凝土结构寿命的研究。

现代力学(断裂力学、损伤力学、微观力学)在混凝土结构方面的应用。

混凝土结构应用范围在多方面的拓宽,其尺度不断向高、长、大方向发展。

现从以下四个方面简述混凝土结构的最新进展。

1. 材料方面

混凝土结构材料将继续向轻质、高强、高性能方向发展。

(1) 在可持续发展的思想指导下,21世纪将是高性能混凝土和绿色高性能混凝土兴起和发展的时期。发展绿色高性能混凝土可充分利用各种工业废弃物,大力发展复合胶凝材料,最大限度地降低硅酸盐水泥的用量,使混凝土工程走可持续发展之路。

20世纪80年代末西方发达国家在总结混凝土技术发展的基础上提出了“高性能混凝土”的概念,美、英、法、日等国相继进行了大力研究。目前我国工程中普遍使用的混凝土等级为C20~C40,在一些高层建筑中也采用等级为C50~C80的混凝土,个别试点工程项目用到C80以上。《高强混凝土结构设计与施工指南》将等级在C50以上(含C50)的混凝土划为高强度混凝土。高性能混凝土的概念相对于高强度混凝土更加深远,高性能混凝土即要求混凝土具有高耐久性、高工作性、高强度、低温升、高抗渗、抗震、抗爆、抗冲击以及高体积稳定性等,后来总结概括为高强度、高耐久性和高工作性。其配合比的重要特点是低水灰比和多组掺合剂。降低水灰比可减少混凝土中的孔隙,提高密实性和强度,并减少收缩及徐变。外加高效减水剂、粉煤灰、氟石粉、硅粉等掺合剂可以改善拌料工作度,降低泌水离析,改善混凝土的微观结构,增加混凝土抗酸碱腐蚀和防止碱骨料反应的作用。混凝土材料强度的提高和性能的改善为钢筋混凝土结构进一步向大跨化、高耸化发展创造了条件,桥梁的跨度本世纪已突破500m,正逼近2000m,大跨度空间结构跨度也将突破200m,印度正在设计拟在孟买建造560m高的钢筋混凝土电视塔,我国拟在

雅砻江拐弯处建一座高 325m 的混凝土拱式水电站大坝。

(2) 20 世纪 80 年代国外开始采用碳纤维乱向掺入普通混凝土内形成纤维增强混凝土。纤维增强混凝土可在多方面达到优异的性能,大幅度提高混凝土的抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆性能。常见的纤维材料有:钢纤维、合成纤维、玻璃纤维和碳纤维等,其中钢纤维混凝土应用比较成熟。

钢纤维混凝土是将短的、不连续的钢纤维均匀乱向的掺入普通混凝土中制成的一种“特殊”混凝土,可形成无筋钢纤维混凝土结构或钢筋钢纤维混凝土结构。其施工方法可采用浇筑振捣,也可采用喷射方法。钢纤维的长度一般 20~50mm,截面形式常用的有圆形、月牙形和矩形,截面直径或等效直径 0.3~0.8mm,钢纤维的抗拉强度要求不低于 380N/mm^2 ,钢纤维掺入量通常为混凝土体积的 0.5%~2%。钢纤维混凝土的破坏一般是钢纤维从基体混凝土中拔出而不是拉断,因此二者之间的粘结强度是影响钢纤维增强和阻裂效果的重要因素。钢纤维的工程应用很广,可用于预制桩的桩尖和桩顶部分、抗震框架节点、刚性防水屋面、地下人防工程、水工闸门的门槽和渡槽的受拉区、大坝防渗面板、混凝土拱桥受拉区段等。

合成纤维可以作为主要加筋材料,提高混凝土的抗拉、韧性等性能,用于各种水泥基板材;也可作为次要加筋材料,用于提高混凝土材料的抗裂性。目前应用较理想的合成纤维有尼龙单丝纤维、纤化聚丙烯纤维,其长度一般为 20mm,掺加量一般为 $600\sim 900\text{g/m}^3$,应具有较高的耐碱性及在水泥基体中的分散性与粘结性。合成纤维混凝土已经在我国上海东方明珠电视塔、上海地铁一号线等工程中使用,取得了较好效果。

碳纤维有单向碳纤维布、双向碳纤维交织布、单向碳纤维层压板材等种类,拉伸模量一般为 230GPa,抗拉强度一般为 $3200\sim 3500\text{MPa}$,具有轻质、高强、耐腐蚀、耐疲劳、施工便捷等优点,已广泛应用于建筑、桥梁结构的加固补强。此项技术从 1981 年瑞典最早采用碳纤维复合材料加固 Ebach 桥以来,在日美等国发展迅速,在 20 世纪 90 年代先后制订了加固设计规程,日本至今已有 1000 多个工程加固项目采用。我国从 1997 年开始研究并应用碳纤维加固混凝土结构,计算设计理论、材料及施工技术等方面均取得了很大进展,取得了良好的社会效益和经济效益,我国目前正在制订《碳纤维布加固修复混凝土结构技术规程》。碳纤维也可以作预应力筋,应用于工程结构,日本、德国等国家用碳纤维作预应力筋建造了不少桥梁,1996 年在日本茨城用碳纤维作预应力筋建造了一座长度为 54.5m 的悬索桥。

(3) 轻集料混凝土得到研究和应用。轻集料混凝土是指密度小于 1800kN/m^3 的混凝土,其强度等级一般为 C15~C20,集料类型主要有人造轻集料、天然轻集料和工业废料轻集料等。这种混凝土顺应当前严峻的环保形势,具有很强的生命力。据报道,瑞典已经成功研制出密度小于水的超轻混凝土。

(4) 在钢筋工程技术方面,新Ⅲ级钢筋将取代现行的Ⅱ级钢筋成为普通混凝土结构主导性受力钢筋,低松弛高强钢绞线将成为预应力结构的主导性受力钢筋,冷拉带肋钢筋得到更多的应用。此外,粗直径钢筋的连接技术得到较快发展,钢筋的连接将逐渐由搭接过渡到电渣压力焊、套筒挤压、锥螺纹连接、直螺纹连接等新的连接方式。与搭接连接相比,新连接方式连接可靠,节约钢筋。

2. 结构形式方面

混凝土结构形式将进一步向组合结构方向发展。

(1) 钢—混凝土组合结构稳步发展。为了充分发挥钢材的抗拉能力和混凝土的抗压能力,钢—混凝土组合结构应运而生。主要形式有:受弯构件采用混凝土板和型钢组合;受压构件采用钢管混凝土结构,以及钢骨混凝土、劲性混凝土结构。

钢骨混凝土结构在我国已经广泛采用,已建成的高层建筑有 30 多幢,如北京的香格里拉饭店、上海金茂大厦、上海浦东世界环球金融中心大厦等。钢骨混凝土结构有实腹式钢骨和空腹式钢骨两种形式(图 0-4、图 0-5 所示),前者通常由钢板焊接拼成或用直接轧制而成的工字形、II 形、十字形截面,外包钢筋混凝土;后者是用轻型型钢拼成构架埋入混凝土中。抗震结构多采用实腹式钢骨混凝土结构。

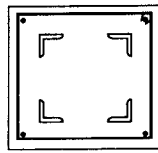
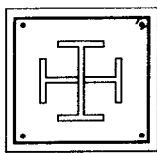
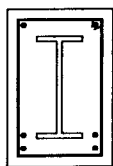


图 0-4 实腹式钢骨混凝土构件截面形式

图 0-5 空腹式钢骨混凝土构件截面形式

钢骨混凝土结构的钢骨与外包钢筋混凝土共同承受荷载作用,外包混凝土可以防止钢构件的局部屈曲,提高构件的整体刚度,显著改善钢构件的平面扭转屈曲性能,还可以增强结构的耐久性和耐火性。钢骨混凝土结构比钢结构节省钢材,增加刚度和阻尼,有利于控制结构的变形和振动,因此钢骨混凝土结构承载力大且延性好、耗能能力强,可显著改善结构的抗震性能。

预弯型钢预应力梁是钢—混凝土组合结构中一种较新的结构形式。这种结构采用工字钢在无应力状态下制成向上弯的构件,然后横向加载施压使其平直,再浇筑混凝土,待混凝土结硬后卸载,受预应力的工字钢将回弹使梁底受压,达到预应力效果。这种工艺无需锚具和张拉设备,我国 20 世纪 80 年代中期在桥梁工程中采用过这一工艺。

(2) 为了提高结构的抗裂度,预应力混凝土结构得到了越来越多的应用。预应力技术的最新进展是在无粘结预应力技术的基础上发展起来的缓粘结技术、体外预应力筋以及横向张拉预应力筋技术。

缓粘结技术与无粘结预应力工艺类似,但采用缓凝砂浆包裹预应力钢筋,在张拉钢筋时砂浆不起粘结作用,待钢筋锚固后,砂浆缓慢凝结硬化,与预应力钢筋相粘结,无需灌浆。缓凝结技术在钢筋张拉时是“无粘结”,但在砂浆硬化后又是“有粘结”,因而具有两者共同的优点。

体外张拉预应力钢筋的方法最早应用于结构的加固补强,最近已开始在新建工程中采用。它工艺简便,且可以大幅度减少因摩擦引起的预应力损失,便于更换和增加新索具,是一项值得关注的新技术,已在海外桥梁工程中广泛采用,国内房屋和桥梁中也开始采用。

横向张拉预应力钢筋的工艺是首先将梁底预应力钢筋浇入梁中,在梁底预留明槽以暴

露预应力钢筋的中段,在梁端设加宽的梁肋,以承受预应力筋的巨大作用力。当梁端混凝土达到一定强度后,将预应力筋垂直于梁底面进行张拉,使钢筋在纵向伸长,梁中混凝土受到预压应力,最后用钢销固定预应力筋的位置,明槽内填充混凝土。这种工艺不需要特殊的锚具,不需要在孔道内穿入钢筋,且张拉应力小,施工方便。

3. 施工技术方面

工程施工技术将进一步向加快施工速度、降低造价、保证工程质量和建筑工业化的方向发展,施工监测技术、延长混凝土结构使用寿命、结构维修加固技术等已成为新的研究热点。

在一般的工业与民用建筑中已广泛采用定型化、标准化的装配式结构。目前又从一般的标准设计发展到工业化建筑体系,趋向于只用少数几种类型的构件(如梁板合一构件,墙柱合一构件,单元房间组合件等)就能建造各类房屋。20世纪60年代国外(主要在罗马尼亚)曾采用盒子式结构,即将一个房间制成四方墙壁和顶板的结构整体吊装,这样形成双墙,显得笨重,以后不再采用。20世纪70年代丹麦采用的盒子结构,墙体厚度很薄,仅50mm;北欧还采用倒L形构件构成楼板和一方墙;美国Anderson体系,除四方墙外,楼板则根据需要为四面、三面或二面挑出以构成另一房间的楼板部分,避免了双墙。

中小型预制桥梁的整个吊装,大型桥梁及大跨度房屋盖结构的整体吊装、高层建筑中的升板结构和泵送混凝土等技术已经得到了广泛的应用。

为节约木材及工程实际的需要,模板正向着非木材化、高品质、多功能方向发展。从材料上看,在小钢模的基础上开始研制使用中型钢模、钢框胶合板、竹模板甚至玻璃钢模板;从品质上看,正在探索清水混凝土用模板;从功能上看,开始提出模板的结构化,即施工中采用外形美观的模板,作为结构的一部分参与受力,不再拆除,也可以减少装修中的部分工序。

在工厂生产的条件下,已开始尝试采用远红外辐射养护技术;在现场养护条件下,新近提出用电热钢模板的方法来加速混凝土养护过程。另外,养护液开始采用,将养护液喷洒于新生混凝土表面,快速干燥后形成极薄的一层封闭膜,从而充分利用水化热使混凝土早强。

4. 设计理论方面

目前在建筑结构中已广泛应用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论,采用以概率论为基础的可靠度设计方法;考虑混凝土非线性变形的计算理论已经有了很大的进展,对实际结构进行非线性分析已经进入实用阶段,在新规范中已经得到体现,在梁板、框架结构及大型工程结构的分析中得到了应用。从侧重于结构安全到注重结构的全面,包括对结构裂缝和变形性能的控制,从侧重于结构的使用阶段,到注重房屋“生命”的全过程。对施工过程中和逐渐老化过程中的混凝土结构进行分析研究,推动了相关检测和加固技术的发展;随着对混凝土性能的深入研究和电子计算机的应用,目前已能对各种构件从加载到最后破坏进行全过程分析,采用虚拟现实的计算机仿真技术,开展设计分析及决策工作。混凝土构件复合受力和反复荷载作用下的计算理论正朝着从受力机理,建立统一计算模式的方向发展。由于将结构与机械相结合(如机械舞台活动台板),将结构与现代控制理论