

钢筋混凝土结构学

丁大钧 主编
丁大钧 黄兴棣 程文灏 编著



上海科学技术出版社

前 言

本书自 1953 年出版以来至 1963 年已陆续印行了五版。1973 年末, 鉴于我国新修订的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74) 即将颁布, 出版社要求作者根据本学科的发展和规范编写第六版以应读者的需要。为了适应新情况下较高的要求, 全书必须彻底重写以便较好地反映我国这些年来建设和科研的成就, 因此工作量很大, 难于独力完成, 乃邀请我组黄兴棣、程文灏两同志协助编写, 商订了编写大纲, 征得出版社的同意, 开始编写了一些章节, 后终因工作较忙, 以致计划一再拖延, 卒未能完成全稿。为此深感不安。去冬开始决心着手继续前些年的工作。通过各有关方面的协助, 黄、程两同志的努力, 克服了不少困难, 并得到出版社的大力支持, 这样才使本书在 80 年代又重新和读者见面。由于兼顾教学、设计、科研等方面的需要, 同时考虑理论体系的完整性, 在取材和编写时, 考虑了下列几个特点、(1) 根据我国的规范结合我国工程实践编写, 彻底改变前五版由于条件限制, 较多采用国外资料的做法, 便于应用; (2) 主要内容围绕大专院校工业与民用建筑专业教学体系以利该专业师生参考; (3) 重视科研新成果, 特别是对国内有关方面进行的大量研究工作的介绍(由于篇幅所限, 当然只能是概括的), 这不仅为科研工作者提供参考, 而且对培养学生重视科研工作和加强理论来源于实践的认识, 都是必须的; (4) 对简化实用计算方法的阐述, 亦给以应有的位置, 为设计工作者提供方便。即使电算十分普遍的将来, 简化方法在某些情况下仍应有其实用价值, 同时也可启发读者的思路, 加深对问题的认识; (5) 注意新的发展趋向, 因此对国外一些先进技术也适当予以论及以作为借鉴。此外, 文字力求清楚明白, 论述由浅入深, 循序渐进。为了配合理论学习, 给出了足够数量的例题, 这对初学者尤其是必需的。

书中除对钢筋混凝土及预应力混凝土部分按新规范 TJ10-74 论述外, 抗震设计部分则参照新修订的《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ11-78) 以及其他有关新的规范和规程。

为了节约篇幅, 也为了便于初学者安排学习顺序, 除例题外, 书中排小字的内容可暂缓阅读。对第十二至十五章初学者亦可从缓。

关于系数表, 一般不长的放在章节内, 较长的表, 采取分散和集中的办法, 即基本分散在各章之后, 但有的则集中, 如第二至四章的表都集中在第四章后, 这样既考虑了使用的方便, 还考虑到将所有的附表都集中在书后, 往往因检阅频繁而使书页散脱。

参考资料附在各章后面, 以便查阅, 不加章次, 即不按 $n-1$ 、 $n-2$ 、 $\dots$ 而各按 1、2、 $\dots$ 顺序排列以免累赘, 因此各章间有少量是重复的。

本书编写过程中, 李猗穉、余传禹两同志帮助描绘了部分底图, 特于此表示衷心感谢。

本书由丁大钧主编, 丁大钧、黄兴棣、程文灏共同编写。编写章节分工如下: 第一章绪论由丁大钧、黄兴棣执笔; 第二至五章, 第十、十二章由程文灏执笔; 第六、七章, 第九、十一章由黄兴棣执笔; 第八、十三至十五章由丁大钧执笔。

由于我们水平所限, 实践经验也较缺乏, 书中错误和不妥之处, 希批评指正, 以便订正, 幸甚。

丁 大 钧 南京工学院 一九八二年七月

内 容 提 要

本书为《简明钢筋混凝土结构学》修订第六版,共分 15 章,除较详细阐述钢筋混凝土基本构件的计算理论外,还介绍了单、多层房屋的设计和弹性地基梁、薄壳的简化计算,最后论及房屋的抗震设计。书中给出足够数量的算例,同时注重科研成果的介绍。本书可作为大专院校教学和设计科研单位的参考用书。

钢筋混凝土结构学

丁大钧 主编

丁大钧 黄兴棣 程文康 编者

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 34 字数 842,000

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数 1—24,300

统一书号: 15119·2404

定价: 6.20 元

目 录

第一章 绪论	1
1-1 钢筋混凝土的本质	1
1-2 钢筋混凝土的主要优缺点	2
1-3 钢筋混凝土发展简史	3
1-4 钢筋混凝土在我国的应用和发展	7
一、基本建设 二、科学研究 三、规范制订	
第二章 钢筋混凝土材料的物理力学性能	14
2-1 混凝土	14
一、混凝土的强度 二、混凝土在静载下的变形性能 三、混凝土的疲劳 四、混凝土的收缩、膨胀和温度变形	
2-2 钢筋	22
一、钢筋的用途 二、钢筋的型式 三、钢筋的成分、性能、品种和级别 四、钢筋的冷拉和冷拔 五、钢筋的弯钩、弯转与接头	
2-3 钢筋混凝土	27
一、钢筋与混凝土的握裹力 二、钢筋混凝土的收缩 三、钢筋混凝土的徐变	
第三章 钢筋混凝土结构设计计算方法	31
3-1 概述	31
3-2 数理统计中有关名词浅释	32
一、随机事件、概率和随机变量 二、算术平均值 $\bar{R}$ 、均方差 σ 、离散系数 C_v 三、正态分布 四、保证率	
3-3 《规范》采用的设计方法	34
一、结构物的极限状态 二、材料设计强度的取值 三、荷载的取值 四、安全系数的确定	
3-4 接近似概率的极限状态设计法	39
一、结构的功能、极限状态、设计基准期 二、结构的作用效应 S 及结构抗力 R 三、结构的可靠度及极限状态方程 四、可靠指标及目标可靠指标的取值 五、设计表达式及其分项系数的取值	
第四章 按承载能力计算钢筋混凝土受弯和受扭构件	44
4-1 一般构造说明	44
一、截面尺寸 二、保护层 三、钢筋间距和直径	
4-2 受弯构件的试验研究	45
一、适筋梁正截面的工作阶段 二、梁的正截面破坏形态	

4-3 单筋矩形截面受弯构件正截面强度计算	49
一、基本公式 二、截面设计 三、截面复核 四、计算例题	
4-4 双筋矩形截面受弯构件正截面强度计算	54
一、受力特点 二、计算公式及适用条件 三、计算方法 四、计算例题	
4-5 单筋 T 形截面受弯构件正截面强度计算	58
一、概述 二、计算简图 三、计算公式及适用条件 四、两类 T 形截面的鉴别和尺寸估算	
五、计算例题	
4-6 环形截面受弯构件正截面强度计算	63
4-7 双向受弯构件正截面强度的近似计算	63
4-8 钢筋混凝土受弯构件斜截面强度计算	65
一、剪跨比 二、斜裂缝的形成 三、沿斜截面的破坏形态 四、沿斜截面破坏的机理和计算方法	
五、影响钢筋混凝土梁抗剪强度的因素 六、《规范》采用的斜截面抗剪强度计算方法	
七、按抗弯条件保证斜截面强度 八、箍筋及弯起钢筋的构造 九、斜截面抗剪强度计算步骤及例题	
4-9 抗扭计算与构造	84
一、纯扭和弯扭构件截面抗裂性计算 二、钢筋混凝土纯扭和弯、剪、扭构件的强度计算	
三、截面最小尺寸及抗扭刚度 四、抗扭钢筋的构造	
附表	89
第五章 现浇钢筋混凝土楼盖	96
5-1 单向板肋梁楼盖的构成及其平面布置	96
5-2 单向板肋梁楼盖的计算与构造	97
一、按弹性理论计算方法概述 二、考虑塑性内力重分布的计算方法 三、截面设计与配筋构造	
四、设计例题	
5-3 双向板肋梁楼盖	119
一、受力特点及试验结果 二、弹性算法 三、塑性算法 四、截面设计与构造 五、计算例题	
六、支承梁的计算特点 七、双重井式楼盖	
5-4 密肋楼盖	138
一、型式和特点 二、计算要点 三、构造要求	
5-5 无梁楼盖	139
一、概述 二、构造要求 三、内力计算简述	
5-6 楼梯	144
一、普通板式楼梯 二、梁式楼梯 三、混合支承楼梯 四、悬挑式楼梯 五、螺旋板式楼梯	
第六章 轴心受压和轴心受拉构件	154
6-1 柱的型式	154
6-2 配有纵筋及箍筋的柱	155
一、试验结果 二、构造 三、正截面强度计算 四、计算例题	
6-3 配有螺旋式或焊环式间接钢筋的柱	159
一、试验结果 二、构造 三、正截面强度计算 四、计算例题	
6-4 轴心受拉构件	162

第七章 偏心受压和偏心受拉构件	164
7-1 偏心受压柱的构造	164
7-2 试验结果	166
7-3 矩形截面偏心受压构件正截面强度计算	168
一、基本计算公式 二、计算程序 三、计算例题	
7-4 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面强度计算	177
一、基本计算公式 二、计算例题	
7-5 T形及工字形截面偏心受压构件正截面强度计算	178
一、基本计算公式 二、计算程序 三、计算例题	
7-6 关于矩形、T形和工字形截面偏心受压构件计算方法的研究	181
7-7 环形截面偏心受压构件正截面强度计算	181
一、基本计算公式 二、计算程序 三、计算例题	
7-8 考虑偏心受压构件纵向弯曲的影响	184
7-9 双向偏心受压构件的强度计算	187
一、计算公式 二、计算例题	
7-10 偏心受拉构件的强度计算	190
一、矩形截面偏心受拉构件 二、环形截面偏心受拉构件	
第八章 构件按变形和裂缝展开的计算	194
8-1 概述	194
8-2 抗裂度计算	195
一、轴心受拉构件 二、受弯构件 三、偏心受力构件	
8-3 裂缝出现后沿构件长度各截面的应力状态	198
8-4 纯弯区段平均应变沿截面高度的分布	200
8-5 刚度计算	201
一、平均应变 二、刚度公式 三、混凝土受压边缘平均应变抵抗矩系数 ζ 四、钢筋应变不均匀系数 ψ	
8-6 挠度计算	208
一、最小刚度原则 二、根据试验资料检查刚度计算公式 三、连续梁挠度验算 四、短期荷载下挠度验算示例	
8-7 长期荷载作用下挠度的增长	213
一、影响长期挠度增长的因素 二、收缩和徐变应力及翘曲的计算 三、挠度增长规律	
8-8 长期挠度计算	218
8-9 裂缝的发生及其分布规律	222
8-10 计算概述	224
8-11 裂缝平均间距和平均宽度	224
一、平均间距 二、平均宽度 三、关于钢筋的有效约束	
8-12 裂缝最大宽度计算	230
一、扩大系数 二、考虑有效受拉混凝土面积时的计算 三、统计计算公式	
附表	236

第九章 预应力混凝土结构	240
9-1 概述	240
一、基本概念 二、优缺点 三、发展和应用	
9-2 预加应力的方法、夹具和锚具	246
一、预加应力的方法 二、夹具和锚具	
9-3 预应力混凝土的材料	250
一、混凝土 二、钢筋(丝)	
9-4 结构计算基本原理	253
一、设计计算方法的补充说明 二、张拉控制应力 三、预应力损失值计算 四、预应力钢筋的传递长度 l_0 和锚固长度 l_m	
9-5 一般构造要求	259
一、截面形式和尺寸 二、预应力纵向钢筋 三、非预应力纵向钢筋 四、先张法构件的构造要求 五、后张法构件的构造要求	
9-6 轴心受拉构件计算	263
一、构件在各阶段的应力状态 二、构件计算 三、计算例题	
9-7 受弯构件计算	271
一、构件在各阶段的应力状态 二、构件计算 三、计算例题	
9-8 偏心受拉构件计算	286
一、矩形截面正截面强度计算 二、矩形截面正截面抗裂度验算 三、计算例题	
9-9 部分预应力混凝土结构	288
一、全预应力混凝土和部分预应力混凝土 二、全预应力混凝土的缺点和部分预应力混凝土的发展 三、施加部分预应力的方法 四、预应力度的分类和限值	
9-10 允许出现裂缝的预应力受弯构件刚度和裂缝计算	291
9-11 组合截面构件	292
一、概述 二、一般构造要求 三、受弯构件在各阶段的应力状态 四、受弯构件计算	
附表	297
第十章 装配式楼盖	299
10-1 装配式楼板	299
10-2 装配式梁	300
10-3 铺板式楼盖	301
一、结构布置 二、局部处理 三、拖梁设置	
10-4 装配式楼梯	302
一、单个踏步板式 二、部件装配式 三、整体装配式	
10-5 装配整浇式楼盖	304
10-6 装配式楼盖的计算特点	305
一、使用时的计算 二、施工时的验算	
第十一章 单层装配式钢筋混凝土厂房	306
11-1 结构组成	306
11-2 平剖面布置	308

一、柱网尺寸 二、定位轴线 三、变形缝 四、剖面尺寸	
11-3 屋盖构件	312
一、概述 二、预应力混凝土屋面板 三、檩条 四、屋面梁和屋架 五、板梁(架)合一的结 构构件 六、天窗架 七、托架	
11-4 柱	322
一、柱的型式 二、矩形和工字形柱的设计要点 三、牛腿 四、双肢柱	
11-5 门式刚架	336
一、概述 二、设计要点	
11-6 钢筋混凝土吊车梁	341
一、型式 二、构造要求 三、受力特点及计算要点	
11-7 柱下单独基础	347
一、形式 二、普通平板式单独基础的构造 三、普通平板式单独基础的计算 四、带短柱的 平板式单独基础的设计要点	
11-8 抗风柱、支撑和墙梁	357
一、抗风柱 二、支撑 三、墙梁	
11-9 预埋件	362
11-10 排架分析	363
一、概述 二、荷载 三、内力分析 四、考虑整体空间作用的内力分析 五、内力分析中的 若干问题 六、内力组合	
附表	382
第十二章 多层和高层房屋	386
12-1 概述	386
一、结构体系 二、楼面结构 三、荷载特点 四、变形缝 五、水平位移限值	
12-2 框架体系	389
一、柱网、层高和结构方案 二、现浇整体式多层框架 三、装配式多层框架	
12-3 框架内力的近似计算	404
一、竖向荷载下的近似计算 二、水平荷载下的近似计算——改进反弯点法(D 值法) 三、 水平荷载下的近似计算二——旋侧弯矩分配法	
12-4 剪力墙体系	412
一、结构布置、洞口和分类 二、基本计算假定和水平荷载分配 三、整体墙及整体小开口墙 的计算 四、壁式框架 五、联肢墙的计算 六、截面构造与计算 七、连接构造	
12-5 框架-剪力墙体系	424
一、结构布置和计算简图 二、简化计算方法	
12-6 基础	428
一、带形基础 二、整片基础 三、箱形基础	
附表	431
第十三章 弹性地基梁计算	437
13-1 概述	437
一、一般情况 二、弹性地基的工作条件 三、地基沉降公式 四、弹性地基梁的分类	

13-2	按弹性半空间理论计算刚性梁	441
一、	多项式法 二、系数表 三、计算方法	
13-3	按弹性半空间理论计算长梁	443
一、	承受集中力载时长梁的系数表 二、承受弯矩时长梁的系数表 三、梁端弯矩的修正	
13-4	按弹性半空间理论计算短梁	447
一、	热氏链杆法简介 二、简化解 三、短梁反力系数表	
附表		454
第十四章	薄壁空间结构	464
14-1	概述	464
14-2	圆顶的构造和计算	464
一、	圆顶的构造 二、圆顶的计算	
14-3	筒壳和折壳屋盖的构造和计算	470
一、	筒壳和折壳的构造 二、筒壳和折壳的计算	
14-4	扁壳屋盖的构造和计算	485
一、	构造要求 二、计算方法	
14-5	扭壳及无拉力扁壳	488
一、	扭壳 二、无拉力扁壳	
第十五章	房屋抗震设计	493
15-1	概述	493
一、	一般情况 二、地震强度 三、设计要求 四、建筑场地和地基	
15-2	单层钢筋混凝土厂房的震害及抗震构造措施	496
一、	防震缝 二、围护墙、圈梁 三、方案选择 四、厂房结构在横向的破坏及相应构造措施	
五、	厂房结构在纵向的破坏及相应构造措施	
15-3	单层钢筋混凝土厂房的抗震计算	504
一、	厂房横向计算 二、厂房纵向计算	
15-4	多层钢筋混凝土房屋的震害及抗震构造措施	513
一、	防震缝 二、抗震墙 三、梁柱配筋 四、装配式钢筋混凝土结构 五、延性混凝土	
六、	填充墙	
15-5	多层钢筋混凝土房屋的抗震计算	521
一、	地震荷载的计算 二、楼层地震剪力 Q_i 沿楼层(i)横向的分配 三、基本周期 四、框架	
主位移和副位移 五、有填充墙的框架 六、考虑房屋扭转的影响 七、框架抗震墙体系计算		
八、	框架节点的抗震计算 九、抗倾覆验算 十、其他问题	

第一章 绪 论

1-1 钢筋混凝土的本质

钢筋混凝土是由两种力学性能不相同的材料——钢筋和混凝土结合成整体、共同发挥作用的一种建筑材料。

由《建筑材料学》中可知：混凝土结硬后如同石料，它是一种人造石料，其抗压能力很强，抗拉能力很弱；而钢筋的抗压和抗拉能力都很强。

当混凝土梁承受荷载时，中和轴以上受压，以下受拉（图 1-1a）。随荷载的逐渐增大，梁中的压应力和拉应力将不断增大。当荷载较小时，梁的受拉区边缘的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_N 时，梁的受拉区边缘的混凝土拉应力达到其抗拉强度，尽管这时受压区混凝土的相应压应力还远小于其抗压强度，但梁在受拉区边缘即出现裂缝并迅速向上伸展，梁瞬即破坏^[1]（图 1-1b）。由此可知，混凝土梁的承载能力是由其抗拉强度控制的，而抗压强度则远未被充分利用。如果要使混凝土梁能承受较大的荷载，则必须将其截面尺寸加大很多，这显然是不经济的，有时且是不可能的。因此必须加强混凝土梁的受拉区域。

十九世纪中期，人们为此自然想到利用抗拉强度高的钢筋。对在受拉区配置适量纵向受拉钢筋的钢筋混凝土梁的试验表明，在荷载作用下，当受拉区混凝土开裂后（其抗裂荷载 P_f 虽较相同截面尺寸和同样强度的纯混凝土梁抗裂荷载 P_N 略大，但一般增大不多），在出现裂缝的截面处，混凝土虽脱离工作，但拉力可转由钢筋承受。因此钢筋混凝土梁不会象混

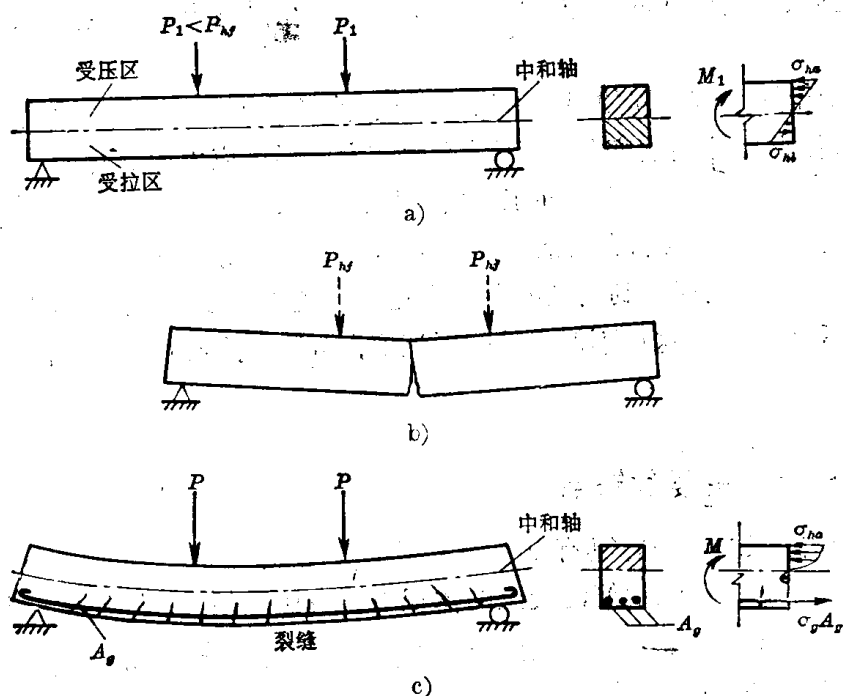


图 1-1

凝土梁那样立即断裂,而能继续承受相当大的荷载(与配置的纵向钢筋数量有关),直至受拉钢筋应力达到屈服强度,荷载仍可略有增加,当荷载使受压区混凝土达到抗压强度而被压碎,梁始告破坏。这说明配置在受拉区的钢筋显著地增强了受拉区的抗拉能力,梁的承载能力比混凝土梁提高很多。

在英文中钢筋混凝土被称为 Reinforced Concrete, 意即加强的混凝土, 这样将不束缚人们的思路, 因为除了钢筋外, 还可利用其他抗拉强度高的合适材料来加强。

由此可见, 应利用抗压强度较高的混凝土承受压力、用抗拉强度高的钢筋承受拉力, 使两种材料的强度在梁中均得到充分利用。应该再予指出, 与混凝土梁相比较, 钢筋混凝土梁的承载能力提高很多, 但对抵抗裂缝的能力提高并不多, 因此在使用荷载下, 大多数梁是带裂缝工作的(图 1-1c), 不过裂缝宽度通常可控制在允许的限值内, 所以, 一般说钢筋混凝土梁在满载下出现裂缝是正常的现象。

将钢筋与混凝土这两种性质不同的材料结合在一起共同工作, 不但是可能的, 而且是有利的。

混凝土结硬后, 埋设在混凝土内的钢筋将与之结成一个整体, 在荷载作用下, 由于混凝土对钢筋的握裹使钢筋在混凝土内(主要在两端)不致产生相对滑动而能很好完成结构作用, 即钢筋受拉、混凝土受压。所以混凝土对钢筋的握裹是保证两者共同工作的前提。我们可以做一个简单的试验, 将一根小的木梁于底边刨出一道凹槽, 然后将木梁锯成几段再拼合好, 在槽内放置一根铁丝, 再用环氧树脂涂满凹槽, 即将铁丝牢固地嵌于槽内, 尽管梁已锯断(即相当于带裂缝)将仍能很好地承受荷载, 因为这时拉力由铁丝承受, 而受压区虽亦断开, 但只要紧密接触, 仍可传递压力。我们也可将上述木梁加铁丝后不用环氧树脂胶结而在铁丝端头加螺帽使其锚固于梁的两端, 这时断开的木梁仍可承受荷载。如果在制作混凝土梁时, 于下边预留一孔道, 俟混凝土结硬后穿钢筋, 于两端用螺帽锚固, 这时梁的承载能力与普通钢筋混凝土梁相同, 但可能在受拉区出现一条宽度很大的裂缝^[2](参看第八章)。于此, 可进一步认识到保证两者共同工作的基础是不使钢筋在混凝土内产生滑动, 特别是在两端滑动。

钢筋和混凝土几乎有相同的温度线膨胀系数(前者为 1.2×10^{-5} , 后者为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.48 \times 10^{-5}$)^[3], 因此即使温度变化, 亦不致产生较大的温度应力而破坏两者的整体性。

以上两点表明钢筋和混凝土共同工作的可能。

将钢筋埋设在混凝土内制成的钢筋混凝土, 对钢筋来说, 较钢结构有利, 因为混凝土为不良的导热体, 可防止钢筋受到剧烈的温度变化^①。此外, 混凝土包裹着钢筋, 可使钢筋有较好的保护而不致锈蚀。这点不但为试验所证实, 亦常从拆毁的旧钢筋混凝土结构构件中得到证明。

1-2 钢筋混凝土的主要优缺点

钢筋混凝土作为建筑材料, 具有以下一系列主要优点:

1. 就地取材 砂、石在钢筋混凝土的体积中所占比重很大, 但到处皆有, 自可就地取

^① 某厂在一次火灾中, 有两个柱距内的屋面板采用薄混凝土板受压, 与板整结并暴露悬挂在下面的钢筋桁架受拉, 这些板由于钢筋受热使其强度大大降低而塌落; 其余钢筋混凝土大型屋面板俱经受了大火考验而未塌落。但是在寒冷地区, 仍应注意防止焊接接头冷脆。

材;在工业废料(如矿渣、粉煤灰等)比较多的地区,可将工业废料制成人造骨料用于钢筋混凝土中,这不但解决了废料处理问题,改善环境污染,而且可减轻结构自重;我国水泥产地的分布亦较普遍,而钢筋用量究为少数且运输亦还方便。

2. 耐久性 钢筋混凝土结构中混凝土的强度是与日俱增的,且钢筋又为混凝土所包裹而不致锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性是很好的。同时还可根据需要、适当地控制水灰比以满足不同的耐久性要求,因此钢筋混凝土结构不象钢结构那样需要经常的保养和维修,其维修费用极小,几乎与石料相等。对处于侵蚀性介质条件下(如受海水浸泡)的钢筋混凝土结构,可采用火山灰硅酸盐水泥制作的混凝土;对受到酸性侵蚀的结构,可采用耐酸混凝土等以分别满足不同的工程要求。

3. 耐火性 因混凝土是比较不良的传热体,钢筋为其所包裹而有足够的保护层厚度,在火灾中将不致很快达到软化强度而造成结构整体破坏;即使经长时间燃烧,其损坏一般均属表面性质。所以与钢结构相比,钢筋混凝土的耐火性能较好。对经常受高温的结构,还可根据所受的温度,采用不同的耐热混凝土。

4. 整体性 钢筋混凝土特别是现浇的钢筋混凝土结构,具有较好的整体性,故抗振动性能较好,对在地震区的建筑物,更有其重要意义;同时对强烈爆炸时冲击波的作用和暴风浪的袭击,亦同样可靠。

5. 刚性 钢筋混凝土结构的刚性较大,在使用荷载下,仅产生较小的变形,故被有效地用于对变形要求较严的各种建筑物。

6. 可塑性 由于新拌和的混凝土是可塑体,所以根据需要可将钢筋置于设计好的模板内,用它浇制成任何形状和尺寸的钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土也有若干缺点,诸如:

自重大 钢筋混凝土结构的截面尺寸较相应的钢结构大,因此自重较大,这对于大跨度结构、高层建筑以及抗震都是不利的。采用强度高的轻混凝土,可以适当改善这一缺点。

抗裂性较差 混凝土易裂是一个严重缺点,配置钢筋后虽可大大提高构件的承载能力,但抗裂荷载提高不多,在使用荷载下往往带裂缝工作,因此有时需采用预应力混凝土。

费工大 建造现浇的钢筋混凝土建筑,费工较大,而且施工受到季节气候条件的限制;浇制后必须养护,工期较长。

耗用木料多 现浇钢筋混凝土结构要耗费大量的木模板。

采用工具式模板和蒸汽养护等工业化施工方法以及预制装配式结构可以改善上述费工大、耗用木料多的缺点。

此外,钢筋混凝土结构拆修比较困难,必要时须采取定向爆破。至于混凝土的隔热和隔声性能较差,也可采用泡沫混凝土或膨胀珍珠岩砂浆等材料予以弥补。

1-3 钢筋混凝土发展简史

早在罗马时代就曾用天然水硬性材料——火山灰建造道路、城墙和下水道等,在罗马还发现用铜杆加强的下水道。

随着社会的发展,海上交通逐渐频繁,人们须建造灯塔以示航向,发明了水硬性较强的水硬性石灰,及至1824年终于发明了波特兰水泥(Portland Cement),因为用它做成的混凝土呈青灰色,和英国波特兰岛上的岩石颜色相似。根据其成分,我国现在通称为硅酸盐水泥。

水泥的可塑性好并能很快结硬,故可制成任何形状的构件和器具,但抗拉强度低。经 20 多年的实践和探索,终于发明了钢筋混凝土。与砖、石、木、钢等建筑材料相比较,它是一种新的材料。因应用广泛、发展迅速,在其诞生的 130 来年内已经历了三个阶段而进入第四阶段。

第一阶段 这一阶段的特征为开始用钢筋混凝土建造各种楼板、柱、基础、挡土墙、刚架结构等,而构件截面强度和内力计算都是按弹性理论进行的。

1850 年法人朗波 (Lambot) 制造了第一只钢筋混凝土小船。1854 年英人威尔金生 (W. B. Wilkinson) 获得真正的一种钢筋混凝土楼板的专利权。7 年后法国工程师科瓦列 (Coignet) 著文阐述了这种新建筑的原理。

但是通常认为钢筋混凝土是 1861 年巴黎花匠蒙列 (Joseph Monier) 发明的。蒙氏用水泥砂浆制造花盆,为了提高花盆的强度,在其中加置钢丝网。用这种方法做成的花盆,厚度很薄却强度很大。1867 年蒙氏获得了做这种花盆的专利权,而后又获得制造其他钢筋混凝土构件——梁、板及管等的专利权,但因他当时不了解这种结构的受力性质,将板内钢筋置于板的中心,这当然是错误的。

在德国工程师维斯 (G. A. Wayss) 和包兴格尔 (J. Bauschinger) 研究了“蒙列体系”作出报告 (1887 年) 之前,这种新的建筑物做得还很少。在这之后,钢筋混凝土获得迅速的推广应用。

1872 年,美国的沃德 (W. E. Ward) 在纽约建造了第一所钢筋混凝土房屋,1877 年哈特 (T. Haytt) 发表了各种钢筋混凝土梁的试验结果。1906 年特奈 (C. A. P. Turner) 发明了无梁楼板。

在俄国,最初采用钢筋混凝土结构是在 1886 年,但推广得很缓慢;直到 1891 年,在交通工程学院别列留布斯基 (Н. А. Белелюбский) 教授领导下,在彼得堡进行了各种型式 (板、管、拱及水箱等) 的钢筋混凝土结构试验,消除了许多工程师的顾虑。1895 年马留加 (И. Г. Малюга) 教授发表的论文“获得最大强度水泥浆 (混凝土) 的配合及制造方法”中,建立了选择混凝土配合比的基本原则,包括混凝土强度与水灰比的关系。

十月革命后,国家工业化的任务使钢筋混凝土建筑获得迅速发展。这时在苏联建造了许多广泛采用钢筋混凝土的大水电站,如伏尔加水电站 (1921~1926 年),第聂泊水电站 (1927~1932 年) 以及斯维里下游水电站 (1928~1934 年)。此外,在工业与民用建筑中,钢筋混凝土也得到广泛的应用。

第二阶段 这一阶段的特征为空间结构及预应力混凝土结构的广泛研究和采用,同时构件强度开始按破坏阶段计算。

第一个薄壁结构为 1925 年在德国建造的折板结构大型煤仓,而有关这方面的设计理论的两篇论文则由埃勒斯 (G. Ehles) 及克雷梅尔 (H. Craemer) 于 1930 年首次发表。在欧洲,薄壁结构广泛地用于煤仓、屋顶及其他结构。美国于 1936 年建造的为短薄壳,此后则很少采用,到 50 年代后才逐渐推广。

在苏联,从本世纪 30 年代起,钢筋混凝土空间薄壁结构已在建筑中应用,其中尤以短薄壳应用最广,长薄壳及折板结构也大量采用。苏联中央工业建筑科学研究院 ЦНИПС 完成了重要的理论和实践的研究后,于 1937 年制订了“薄壳屋顶及楼板的设计及计算规程”,对薄壳结构在工程实践中的广泛采用起了很大的作用。

为了克服钢筋混凝土结构在使用荷载下出现裂缝的缺点,最早对钢筋混凝土预加压应

力的概念是在 1888 年由德国工程师道伦(W. Doebling)提出,但因当时钢材强度不高,故未获得实际结果。

1928 年法国工程师弗列西涅(E. Freyssinet)利用高强钢丝及高标号混凝土,采用高的预应力(大于 4000 kg/cm^2)来制造预应力构件,从这时起,预应力结构始获实际意义。1928 年德国工程师季辛格尔(F. Dischinger)获得其制造的有拉杆预应力钢筋混凝土拱的专利权;1934 年又获得预应力梁的专利权。此后,在国际上预应力混凝土得到不断的采用,而美国则到 50 年代才开始推广这种新结构。

1922 年英国的狄森(Dyson)即对受弯构件提出了按破坏阶段计算的公式。但苏联是最早制订按破坏阶段计算的规范的,从 1938 年起即在工业与民用建筑中采用这个规范进行设计,这是钢筋混凝土史上的新发展。

除截面强度按破坏阶段计算外,1921 年丹麦工程师殷捷尔斯列夫(A. Ingerslev)根据双向板“屈服线”上极限弯矩为常数的假定,提出塑性理论解答,后来证明是正确的。1931 年,丹麦的约翰逊(K. W. Johnson)在这一领域里作了进一步的创造性工作,其成果集中反映在其 1943 年的博士论文^[4]中。

1950 年苏联根据极限平衡理论^[5]制订了板及次梁考虑塑性变形引起内力重分布的计算规程^{[6][7]};但对主梁当时尚不允许考虑这种影响,即弯矩和剪力仍按匀质弹性体的方法求得,直到 1960 年的规程才允许考虑。

同样,在无梁楼板的计算中亦允许考虑塑性变形引起内力重分布的影响。

第三阶段 这一阶段的特征为:(1)普遍采用工业化施工方法;(2)应用范围不断扩大;(3)极限状态设计方法的采用和发展。

(1) 第二次世界大战后城市的重新建设任务繁重,因此必须加快施工进度,对整体式钢筋混凝土结构的工业化施工方法是:采用转动、滑动和移动模板及焊接骨架和焊接网,并采用自动倾卸车或混凝土泵运输集中拌和的混凝土。同时采用工厂生产的预制定型构件。这些措施不仅加快了工程进度,而且提高了工程质量。

(2) 目前,如工程需要,可不难制成 800~1000 号混凝土,而试验室做的最高强度已达 2660 kg/cm^2 。根据 ACI 2000 委员会设想,到本世纪末,混凝土的拉压强度比将从目前的 1/10 左右提高到 1/2,并且具有早强、体积稳定(收缩徐变小)的优点;如果需要,在技术上可使混凝土强度达到 4000 号。国外预应力钢筋主要趋向于采用高强度、大直径、低松弛钢材。其中热轧钢筋一般为 60~90/90~115 级(屈服强度/极限强度 kg/mm^2),最大直径为 36 mm;热处理钢筋(采用调质法、高频感应法或余热处理)一般为 125~145/140~160 级。目前广泛采用加合金元素的办法,使钢筋在不降低其力学性能指标的条件下,增大直径。

由于材料强度的不断提高,使钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围得以不断向大跨和超高层发展,高强轻质混凝土的制成对此起了配合作用。例如西德采用预应力轻混凝土(450 号)建造了跨度为 90 m 的飞机库屋面梁。预应力混凝土箱形截面桥梁的跨度已达 239 m(日本浜名大桥)。美国芝加哥水塔广场旅馆大楼 76 层,总高 262 m,是目前世界上最高的钢筋混凝土房屋。在特种结构方面,钢筋混凝土及预应力混凝土的应用范围也在迅速扩大。如建造预应力混凝土高压(内压力可高于 2000 t/m^2)容器,和钢结构相比较,可节约造价 60~86%;预应力冷却塔的高度超过 150 m、直径超过 100 m;此外还用预应力混凝土建造水下贮油罐的近海采油平台(英国北海采油平台海下深度达 170 m、底部直径达 138 m);

加拿大和苏联已分别建成高度为 549 m 及 533 m 的预应力混凝土电视塔等。

40 年代初发明了自应力水泥,但是在实际工程中得到应用还是近 10 多年的事。

加纤维于混凝土中,将大大改善材料性能,如提高断裂韧性、疲劳强度、冲击强度及弯曲强度以及耐磨和耐冻融等。通常作为加强混凝土的纤维包括钢纤维,玻璃纤维(耐碱的)及聚丙烯等。最早的研究报告是在 1960 年提出的^[8]。目前在英、美、意大利等国家已得到某些应用,但大多限于道路和机场的面层、工业楼板、大体积混凝土的修补等方面,也有用纤维加强水泥做成 6 mm 厚的槽形元件,作为板条的模板或梁的下部部分模板,整结后与板、梁共同受力,具有提高开裂荷载、减小裂缝宽度和扩展速率,以及减小挠度等优点。聚合物浸渍混凝土目前主要用于修补大型结构,如修补桥面板等。聚合物水泥混凝土或聚合物混凝土现尚处于研究阶段。

(3) 1955 年苏联颁布了按极限状态计算的《混凝土及钢筋混凝土设计标准技术规范》(ННТУ123-55)^[9], 1958 年出版了《预应力钢筋混凝土结构设计规程》(CH 10-57)^[10]。有关方面对这一方法颇为重视,经过不断研究和实践,目前已成为国际上设计方法的主要趋向,并向系统化和精确化发展。一些国际学术组织在促进极限状态设计方法的国际标准化和统一化方面进行了积极的工作。1970 年 CEB-FIP^① 在第六届国际预应力混凝土会议上提出了《混凝土结构设计与施工建议》^[11], 这个国际性的建议对各国钢筋混凝土设计规范的影响较大,苏联^[12]、英国^[13]、美国^[14]的新规范中有不少内容引进了这个建议的基本观点。

美国在 1956 年前主要采用以弹性设计方法为基础的允许应力法^②, 1963 年起允许应力法与极限状态设计法并用, 1971 年的钢筋混凝土设计规范^[14]才以极限状态设计法为主。

1970 年前后,英、联邦德国^[15]、加拿大、波兰及印度尼西亚等国家以及欧洲混凝土协会制定的设计规范对钢筋混凝土结构截面计算系采用极限状态设计法。

第四阶段 目前已进入或将进入第四阶段,其特征为:(1)发展工业化钢筋混凝土结构体系;(2)在设计规范中引入概率方法;(3)“近代钢筋混凝土力学”这一新的分支学科逐步形成。

(1) 近年来,国外建筑工业化的发展较快,已从一般的构件标准设计向工业化建筑体系发展,趋向于一件多用或仅用较少类型的构件(梁板合一、墙柱合一构件)就能建造各类房屋。例如苏联推广大板结构、盒子结构体系;波兰亦以推广大型壁板体系为主;法国、罗马尼亚等国家主要推行大模板现浇结构体系等;南斯拉夫则推广 IMS 体系(详见第九章);在工业建筑中,有 T 形板体系、刚架体系。实践证明,工业化建筑体系在加快建设速度;降低建筑造价;提高施工质量等方面有较大的优越性。

(2) 70 年代以来,以统计数学为基础的结构可靠性理论已逐渐进入工程实用阶段,许多国家正在采用近似概率设计法以改进现行的半统计半经验的半概率极限状态设计法,并取得了显著的进展^③。例如,1975 年加拿大制订了采用统一的极限状态理论,首次提出以近似概率法作为设计规范中可靠度问题的准则,按这一方法首先编制了钢结构和冷弯型钢结构设计规范(CSAS 16.1-1974 和 CSAS 136-1974),钢筋混凝土结构设计规范也正在编制

① CEB-FIP 为欧洲混凝土委员会(Comité Européen du Béton)—国际预应力混凝土协会(Fédération Internationale de la Précontrainte)的缩写。

② 实际美国 1940 年 ACI 规范中对轴心受压柱的计算已按试验确定的经验公式;对板的计算也在一定程度上考虑了内力重分布。

③ 详见黄兴棣编:《统计数学基础与建筑结构可靠性设计》,南京工学院油印讲义,1981。

中。由欧洲混凝土委员会(CEB)、国际预应力混凝土协会(FIP)等6个国际学术组织在1971年联合组成的“结构安全度联合委员会”(JOSS),通过广泛的国际合作,按近似概率极限状态设计法编制了《结构统一标准规范的国际体系》,从1978年开始分六卷陆续出版^①。国际标准化组织“建筑结构设计基础”委员会(ISO/TC98)于1980年提出了《结构设计可靠性的总原则》(ISO 2394的第二次修订草案),推荐按近似概率极限状态设计方法。美国也在按此方法编制钢筋混凝土结构设计规范^②。全概率设计法则在积极研究中。

(3) 由于电算的迅速发展使复杂的数学运算成为可能。60年代后期已开始将有限元法用于钢筋混凝土梁应力状态的分析^[16]。此后进展很快。利用混凝土单向、双向或三向受力的本构方程(应力应变关系式)^[17]以及握裹条件的模式化,通过电算可以对构件乃至结构受力全过程进行弹塑性分析,绘出预测的裂缝分布图乃至预估裂缝宽度。根据屈服条件不仅可以确定结构的承载能力从而深入研究结构破坏机理,同时还可以大大减少试验数量,因为变化幅度很大的有关参数可以通过电算来研究而不须一一通过试验。在这一领域里,既可以通过材料最基本的本构方程来进行应力应变状态的分析,同时也可利用简单构件已有的、较成熟的弯矩-刚度或弯矩-曲率全曲线来进行超静定结构弹塑性内力重分布计算,这样电算程序自可大大缩短,工作量相应减轻。通过不断充实提高,在钢筋混凝土结构领域里,将逐步形成“近代钢筋混凝土力学”这一新的分支学科。

材料强度还将进一步提高,施工技术也将不断发展,改善材料性能的研究不断深入,钢筋混凝土及预应力混凝土应用范围必然会进一步扩展。根据ACI 308-80的预测,本世纪末的技术水平,有可能建造跨度500~600m的桥梁、高达600~800m的建筑物及海上浮动城市、海底城市和地下城市。

1-4 钢筋混凝土在我国的应用和发展

我国在1876年开始生产水泥,逐渐有了钢筋混凝土建筑物,但直到解放前夕,钢筋混凝土在我国发展缓慢,应用范围不广,大的工程实属寥寥。钢筋混凝土结构无论在构造方面和计算方面,皆袭用资本主义国家一些旧的方法(通常用手工式的方法施工并按允许应力法计算),各地区及各设计者所用的规范亦不统一,有的采用英、美规范,有的采用德、法规范,基本上没有进行过钢筋混凝土方面的科学研究工作。

解放以后,在党和政府的领导下,我国进行了大规模的社会主义建设,钢筋混凝土也随之在各项工程建设中获得迅速的发展和推广。同时,无论在构造、施工和理论研究方面,均取得了巨大的成就。现分三方面简述如下。

一、基本建设

1. 工业与民用建筑 我国在1952~1959年已开始采用装配式钢筋混凝土结构,从1954年开始研究并在1956年推广预应力混凝土结构,此后获得了很大的发展。

在工业建筑中,50年代中期和后期已推广装配式和预应力混凝土结构,以替代钢结构,节约了大量钢材。例如,1959年试制成功跨度达60m的块体拼装式预应力混凝土拱形屋

① 第一卷为《对各类结构材料的统一规则》,第二至六卷分别为钢筋混凝土、钢、木、砖石及钢和钢筋混凝土组合结构规范。

② ACI(318-83)已于1983年11月出版。

架(图1-2),用于北京民航机库^[18]。后经改进,又制成61m跨度的屋盖,和同跨度的钢屋架相比较,节约钢材74%,降低造价25%。上海市机电设计院等单位设计建造了跨度为12m、用于起重量为200t(中级工作制)桥式吊车的预应力混凝土鱼腹式吊车梁,较钢吊车梁节约钢材82.5%,降低造价64%^[18]。1960年上海吴泾电厂主厂房多层框架采用装配式钢筋混凝土结构;同时,广东茂名市某工程首次采用预应力混凝土多层框架结构;此后电厂的单跨(跨度10~14m)多层框架工程多次采用预应力结构。

多年来,对单层厂房结构进行了许多改革和较为系统的试验研究,并大力推广定型构配件和标准设计。如屋面板、屋面梁、屋架、托架、天窗架、吊车梁、连系梁和基础梁等构件,都



图 1-2

已编制全国通用标准图集及地区性的标准设计。随着建筑工业化的发展,江苏常州市等在全国通用构配件的基础上,采用配套的生产工艺和施工机械,使厂房的设计、制作和施工组成大工业生产过程,初步建立了适合该地区特点的单层厂房结构体系。同时,一些地区和单位也正在研究和发展具有较大灵活性的、扩大柱网尺寸的灵活车间和合并厂房。此外,单层厂房的结构型式也有所发展,如采用门式刚架体系(图1-3)、T形板体系(图1-4)等。

预应力V形折板(见图9-3)和双曲抛物面壳板等薄壁空间结构在单层厂房中也获得较为广泛的应用。在多层厂房中,除广泛采用板、梁、柱全装配的框架结构外,还发展了现浇柱、预制梁的半装配框架结构。同时升板结构和滑模结构也有所发展。

工业厂房中的烟囱、水池、水塔、冷却塔、筒仓、栈桥及贮罐等构筑物以及矿井巷道支架、

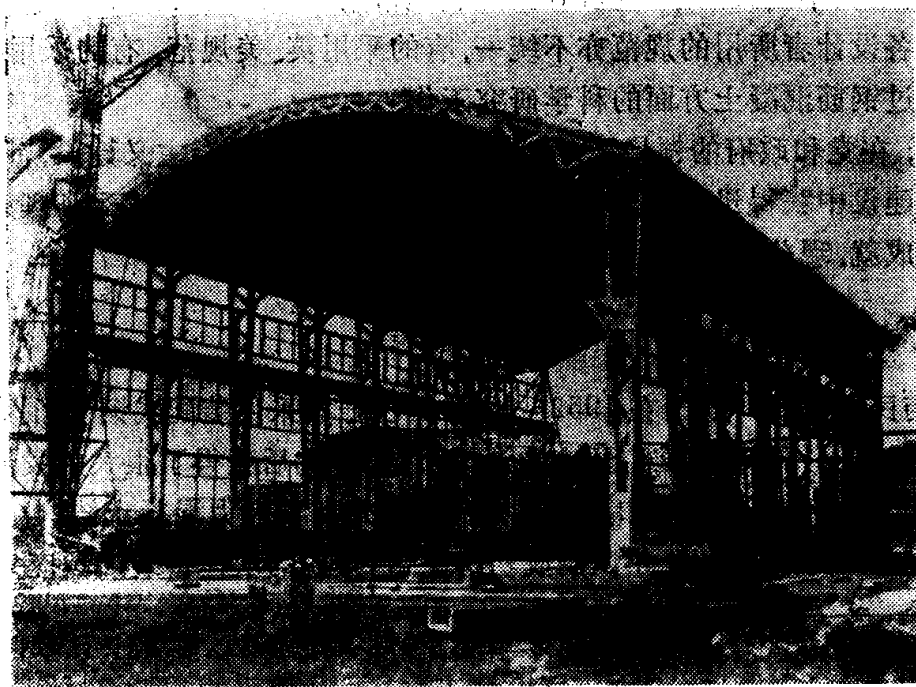


图 1-3