

钢 筋 混 凝 土 结

蓝 宗 建 主 编

蓝宗建 朱万福 黄德富 编著

钢 筋 混 凝 土 结

蓝 宗 建 主 编

蓝宗建 朱万福 黄德富 编著

内 容 简 介

《结构设计规范》(GBJ10—87),即原《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)中系统地阐述了钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构构件在各种受力状态下的构造原理,并有较多的计算实例,以帮助读者了解新规范有关内容的科学原理,能理解和应用新编《混凝土结构设计规范》。
《》的符号和法定计量单位。
供工程技术人员、科学研究人员和高等院校师生阅读、参考。

钢 筋 混 凝 土 结 构

蓝宗建 主编

蓝宗建 朱万福 黄德富 编著

出版、发行:江苏科学技术出版社

经 销:江苏省新华书店

印 刷:盐城市印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张23 字数559,000

1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷

印数 1—9,000册

ISBN 7—5345—0412—0

TU·8

定价:5.20元

责任编辑 华锡全

出版说明

随着国民经济的发展,建筑工程的新结构、新材料和高层建筑不断涌现,建筑结构理论、设计水平亦在不断地创新和提高。自1982年以来,由中国建筑科学研究院组织全国有关高等院校和科研设计单位组成《钢筋混凝土结构设计规范》编制组,对《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)进行了修订,编制了《混凝土结构设计规范》(GBJ10—88)。为推动钢筋混凝土结构的发展和配合《混凝土结构设计规范》(GBJ10—88)的实施,我们将编辑和陆续出版有关钢筋混凝土结构理论与设计的参考书籍。

这些参考书籍包括《钢筋混凝土结构》、《钢筋混凝土结构学习指导》、《钢筋混凝土结构设计——设计方法与实例》和《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工》等册。这些书籍是根据有关的国家标准规范编写的,并采用国家法定计量单位,形式多样,深入浅出,密切结合工程实践(其中不少是实际工程的例举),并收编了近年来的科研新成果和新型结构。

这些书籍的出版将有助于高等院校土建类专业学生对《钢筋混凝土结构》课程的学习,也为从事建筑结构工程的技术人员进修业务提供方便。

由于书籍的编写时间较仓促,以及业务水平有限,书中难免有错误和不当之处,请读者批评指正。

江苏科学技术出版社

序

自1974年《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)正式颁布后,中国建筑科学研究院先后组织了三批钢筋混凝土结构设计规范的科学研究课题。在总结、交流上述科学研究成果的基础上,于1982年成立了《钢筋混凝土结构设计规范》编制组,开始进行了规范的修订工作。经过规范编制组的努力,并经全国钢筋混凝土结构标准化技术委员会审查,于1988年完成了《混凝土结构设计规范》(GBJ10—88)的报批稿。本书即以此为依据而编写的。

本书内容基本上按照新《规范》的体系编排,由浅入深,循序渐进,理论联系实际,既讲清一般原理和基本概念,又介绍便于在工程设计中应用的实用方法和简化方法。此外,本书还对新旧《规范》作了对比,以帮助读者深刻理解新《规范》的有关内容。

本书作者长期从事钢筋混凝土结构学科的教学、科研工作。蓝宗建同志且为新《规范》编制组成员,对钢筋混凝土和预应力混凝土构件的刚度和裂缝计算以及双向偏心受压构件正截面承载能力计算有所贡献,并自始至终参加了新《规范》编制组的活动,对新《规范》有关内容的理解较为具体、深刻,对问题的阐述贴切中肯。因此,本书对于读者理解、掌握和运用新《规范》将会有所帮助。

学习的过程是一个循序渐进、循环往复的过程。笔者一直用“四读”来学习新的课题。即“粗读”以了解问题的概略,“细读”以学习其细节,“精读”以吸取其精华,“熟读”以加深记忆。但不是每个问题都需“四读”,有时也不一定只读一遍,而应根据不同需要有所差异。此外,还应做到“四勤”,即眼勤(勤读)、口勤(多问)、耳勤(多听别人意见,了解有关情况)和手勤(多记)。以上各点谨供读者参考,如有所裨益,笔者幸甚。

丁大钧

1988年5月南京工学院

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 钢筋混凝土的一般概念	1
§ 1-2 钢筋混凝土的发展简况	3
第二章 钢筋混凝土材料的物理和力学性能	7
§ 2-1 混凝土	7
§ 2-2 钢筋	18
§ 2-3 钢筋和混凝土的相互作用——粘结力	21
第三章 钢筋混凝土结构设计的基本原则	25
§ 3-1 钢筋混凝土结构设计理论发展简史	25
§ 3-2 数理统计中的基本概念简介	26
§ 3-3 按近似概率的极限状态设计法	29
§ 3-4 新《规范》采用的设计方法	34
第四章 受弯构件正截面承载能力计算	40
§ 4-1 受弯构件的一般构造要求	40
§ 4-2 受弯构件正截面受力全过程和破坏特征	42
§ 4-3 受弯构件正截面承载能力计算的基本原则	45
§ 4-4 单筋矩形截面受弯构件正截面承载能力计算	50
§ 4-5 双筋矩形截面受弯构件正截面承载能力计算	56
§ 4-6 单筋T形截面受弯构件正截面承载能力计算	62
§ 4-7 双向受弯构件正截面承载能力计算	70
第五章 受压构件正截面承载能力计算	74
§ 5-1 配有纵向钢筋和普通箍筋的轴心受压构件	74
§ 5-2 配有纵向钢筋和螺旋箍筋的轴心受压构件	77
§ 5-3 偏心受压构件正截面的受力特点和破坏特征	80
§ 5-4 偏心受压构件的纵向弯曲	82
§ 5-5 偏心受压构件正截面承载能力计算的基本原则	88
§ 5-6 矩形截面 偏心受压构件正截面承载能力计算	91
§ 5-7 I形截面 偏心受压构件正截面承载能力计算	108
§ 5-8 矩形截面 双向偏心受压构件正截面承载能力计算	113
§ 5-9 受压构件的一般构造要求	121

第六章 受拉构件正截面承载力计算	124
§ 6-1 轴心受拉构件承载力计算	124
§ 6-2 偏心受拉构件正截面承载力计算	124
§ 6-3 双向偏心受拉构件正截面承载力计算	128
第七章 受弯构件和偏心受力构件斜截面承载力计算	129
§ 7-1 受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态	129
§ 7-2 影响受弯构件斜截面抗剪能力的主要因素	134
§ 7-3 受弯构件斜截面抗剪能力计算	137
§ 7-4 按抗弯条件保证斜截面承载力	147
§ 7-5 箍筋和弯起钢筋的一般构造要求	152
§ 7-6 受弯构件斜截面承载力的计算步骤	155
§ 7-7 偏心受力构件斜截面承载力计算	157
第八章 受扭构件的承载力计算	161
§ 8-1 纯扭构件的破坏特征和承载力计算	161
§ 8-2 在弯、剪、扭共同作用下矩形截面构件的承载力计算	169
§ 8-3 在弯、剪、扭共同作用下T形和I形截面构件的承载力计算	177
§ 8-4 在轴向压力和扭矩共同作用下的矩形截面构件的承载力计算	180
§ 8-5 受扭构件的一般构造要求	180
第九章 冲切和局部承压	182
§ 9-1 抗冲切能力计算	182
§ 9-2 局部承压能力计算	190
第十章 钢筋混凝土构件裂缝和变形计算	198
§ 10-1 裂缝和变形的计算要求	198
§ 10-2 钢筋混凝土构件的抗裂度	199
§ 10-3 钢筋混凝土构件的裂缝宽度计算	203
§ 10-4 受弯构件的刚度和挠度计算	218
第十一章 预应力混凝土结构的基本概念和计算原则	227
§ 11-1 预应力混凝土的基本概念	227
§ 11-2 预加应力的方法和锚具	229
§ 11-3 预应力混凝土的材料	234
§ 11-4 预应力混凝土结构计算的基本原则	236
§ 11-5 全预应力混凝土和部分预应力混凝土	244
§ 11-6 预应力混凝土的构造要求	245
第十二章 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	251
§ 12-1 受力全过程及各阶段的应力分析	251
§ 12-2 轴心受拉构件的计算	257

第十三章 预应力混凝土受弯构件的计算	266
§ 13-1 受力全过程及各阶段的应力分析	266
§ 13-2 预应力混凝土受弯构件的计算	273
第十四章 钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件疲劳强度计算	294
§ 14-1 混凝土和钢筋的疲劳性能	294
§ 14-2 钢筋混凝土受弯构件的疲劳强度验算	296
§ 14-3 预应力混凝土受弯构件疲劳强度验算	303
第十五章 钢筋混凝土和预应力混凝土迭合受弯构件的设计和构造	306
§ 15-1 概述	306
§ 15-2 迭合受弯构件正截面受力特点和破坏特征	307
§ 15-3 钢筋混凝土迭合受弯构件按承载力极限状态的计算	309
§ 15-4 钢筋混凝土迭合受弯构件按正常使用极限状态的计算	311
§ 15-5 预应力混凝土迭合受弯构件按承载力极限状态的计算	321
§ 15-6 预应力混凝土迭合受弯构件按正常使用极限状态的计算	322
第十六章 深梁和牛腿	328
§ 16-1 深梁的受力特点和破坏特征	328
§ 16-2 深梁的抗裂度、承载能力计算和构造要求	331
§ 16-3 牛腿的受力特点和破坏特征	339
§ 16-4 牛腿的抗裂度、承载能力计算和构造要求	342
附表	347
附表 1 混凝土的标准强度和设计强度	347
附表 2 混凝土的弹性模量和疲劳变形模量	347
附表 3 不同 ρ' 值时混凝土的疲劳强度修正系数 γ_p	347
附表 4 原《规范》混凝土标号与新《规范》混凝土强度等级换算表	348
附表 5 钢筋标准强度和设计强度	348
附表 6 钢丝标准强度和设计强度	349
附表 7 钢筋弹性模量	349
附表 8 钢筋混凝土结构中钢筋疲劳设计强度	349
附表 9 预应力钢筋的疲劳设计强度	350
附表 10 受弯构件的允许挠度	350
附表 11 裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数及最大裂缝宽度允许值	351
附表 12 混凝土保护层最小厚度	352
附表 13 钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率	352
附表 14 钢筋混凝土矩形和 T 形截面受弯构件正截面抗弯能力计算表	353
附表 15 钢筋的计算截面面积及公称质量	354
附表 16 钢筋混凝土板每 m 宽的钢筋截面面积	355
附表 17 纵向受拉钢筋的锚固长度 l_a	355
附表 18 钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数	356
附表 19 截面抵抗矩塑性系数 γ_m	356
附表 20 非法定计量单位与法定计量单位的换算关系	358

第一章 绪 论

§ 1-1 钢筋混凝土的一般概念

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

混凝土是一种人造石料，其抗压强度很高，而抗拉强度则很低（约为抗压强度的 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{18}$ ）。

当用混凝土梁承受荷载时(图 1-1 a)，在梁的垂直截面（正截面）上受到弯矩作用，中和轴以上受压，以下受拉。随着荷载的逐渐增大，混凝土梁中的压应力和拉应力将增大，其增大的幅度大致相同。当荷载较小时，梁的受拉区边缘的拉应力未达到其抗拉强度，梁尚能承担荷载。当荷载达到某一数值 P_c 时，梁的受拉区边缘混凝土的拉应力达到其抗拉强度，即出现裂缝。

这时，裂缝截面处的混

凝土脱离工作，该截面处的受力高度减小，即使荷载不增加，拉应力也将增大。因而，裂缝继续向上发展，使梁很快裂断(图 1-1 b)。这种破坏是很突然的，也就是说，当荷载达到 P_c 的瞬间，梁立即发生破坏，属于脆性破坏。 P_c 为混凝土梁受拉区出现裂缝的荷载，一般称为混凝土梁的抗裂荷载，也是混凝土梁的破坏荷载。由此可见，混凝土梁的承载能力是由混凝土的抗拉强度控制的，而受压区混凝土的抗压强度则远未被充分利用。如果要使梁承受更大的荷载，则必须将其截面加大很多，这是不经济的，有时甚至是不可能的。

为了解决上述矛盾，可采用抗拉强度高的钢筋来加强混凝土梁的受拉区，也就是在混

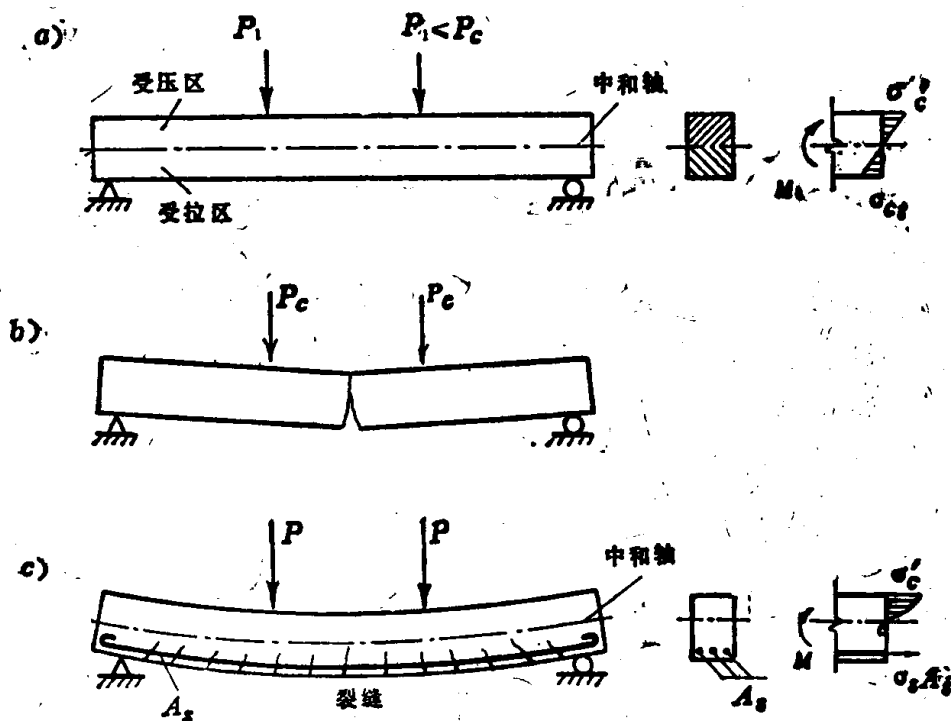


图 1-1

土梁的受拉边配置纵向钢筋,这就构成了钢筋混凝土梁。试验表明,和混凝土梁有相同截面尺寸的钢筋混凝土梁承受荷载时,其抗裂荷载虽然比混凝土梁要增大些,但增大的幅度是不大的。因此,当荷载略大于 P_0 , 达到某一数值 P_{cr} 时,梁仍出现裂缝。在出现裂缝的截面处,受拉区混凝土脱离工作,配置在受拉区的钢筋将承担几乎全部的拉应力。这时,钢筋混凝土梁不会象混凝土梁那样立即裂断,而能继续承担荷载(图 1-1 c),直至受拉钢筋应力达到屈服强度,裂缝向上延伸,受压区混凝土达到其抗压强度而被压碎,梁才告破坏。因此,钢筋混凝土梁的承载能力可较混凝土梁提高很多,其提高的幅度与配置的纵向钢筋数量和强度有关。

由上述可见,钢筋混凝土梁充分发挥了混凝土和钢筋的特性,用抗压强度高的混凝土承担压力,用抗拉强度高的钢筋承担拉力,合理地做到了物尽其用。必须指出,与混凝土梁相比,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,钢筋混凝土梁一般是带裂缝工作的。当然,其裂缝宽度应控制在允许限值内。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料之所以能有效地结合在一起而共同工作,主要是由于混凝土和钢筋之间有着良好的粘结力,使两者能可靠地结合成一个整体,在荷载作用下能够很好地共同变形,完成其结构功能。其次,钢筋和混凝土的温度线膨胀系数也较为接近(钢筋为 1.2×10^{-5} , 混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$), 因此,当温度变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结。

钢筋混凝土除了能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的特性外,还有下述一些优点:

(1) 在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度是随时间而不断增长的,同时,钢筋被混凝土所包裹而不致锈蚀,所以,钢筋混凝土结构的耐久性是很好的。此外,还可根据需要进行配制具有不同性质的混凝土,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,需要经常性的保养和维修,其维修费用极少,几乎与石料相同。

(2) 在钢筋混凝土结构中,混凝土包裹着钢筋,由于混凝土的传热性能较差,在火灾中将对钢筋起着保护作用,使其不致很快达到软化温度而造成结构整体破坏。所以,与钢结构相比,钢筋混凝土结构的耐火性能是较好的。

(3) 钢筋混凝土结构,尤其是现浇钢筋混凝土结构的整体性较好,其抵抗地震、震动以及强烈爆炸时冲击波的作用的性能较好。

(4) 钢筋混凝土结构的刚性较大,在使用荷载下的变形较小,故可有效地应用于对变形要求较严格的建筑物中。

(5) 新拌和的混凝土是可塑的,因此,可根据需要,浇制成各种形状和尺寸的结构。

(6) 在钢筋混凝土结构所用的原材料中,砂、石所占的比重较大,而砂、石易于就地取材。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(如陶粒),用于钢筋混凝土结构中,这不但可解决工业废料处理问题,还有利于环境保护,而且可减轻结构的自重。

由于钢筋混凝土具有上述一系列优点,所以,在工程建筑中得到了广泛的应用。

但是,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,诸如:钢筋混凝土结构的截面尺寸一般较相应的钢结构大,因而自重较大,这对于大跨度结构、高层建筑结构以及抗震都是不利的;抗裂性能较差,在正常使用时往往是带裂缝工作的;建造时耗工较大;施工受气候条件的限制;现浇钢筋混凝土需耗用大量木材;隔热、隔声性能较差;修补或拆除较困难等等。这些缺点在一定条件下限制了钢筋混凝土结构的应用范围。但是,随着钢筋混凝土结构的不断发展,这些

缺点已经或正在逐步得到克服。例如,采用轻质高强混凝土以减轻结构自重;采用预应力混凝土以提高构件的抗裂性(同时,也可减轻自重);采用预制装配结构或工业化的现浇施工方法以节约模板和加快施工速度。

§ 1-2 钢筋混凝土的发展简况

钢筋混凝土在十九世纪中叶开始得到应用,至今只有大约 150 年的历史。从十九世纪五十年代到二十世纪二十年代,是钢筋混凝土结构发展的初期阶段。在这个阶段,开始用钢筋混凝土建造各种板、梁、柱和拱等简单的构件,所采用的混凝土强度和钢筋强度都较低,钢筋混凝土的计算理论尚未建立,内力计算和构件截面设计都是按弹性理论进行的;十九世纪二十年代以后,开始出现装配式钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和壳体空间结构,同时,构件强度开始按破坏阶段计算;第二次世界大战以后,钢筋混凝土结构有了更大的发展,混凝土强度和钢筋强度不断提高,钢筋混凝土结构的应用范围不断扩大,工业化施工方法普遍采用,极限状态设计方法获得了愈来愈广泛的应用。

目前,常用的混凝土强度已达 $20\sim 40\text{N/mm}^2$ 。如果工程需要,也不难制成强度为 $80\sim 100\text{N/mm}^2$ 的混凝土。为了减轻自重,轻质高强混凝土也有了较大的发展,轻质混凝土的容重一般为 $14000\sim 18000\text{kN/m}^3$ 。在国外,常用的热轧钢筋的强度可达 $600\sim 900\text{N/mm}^2$,热处理钢筋的强度一般为 $1250\sim 1450\text{N/mm}^2$ 。

由于材料强度的不断提高,钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围也不断扩大。近二十年来,钢筋混凝土和预应力混凝土在大跨度结构和高层结构中的应用有了令人瞩目的发展。如联邦德国采用预应力轻混凝土建造了跨度为 90m 的飞机库屋面梁;日本滨名大桥的预应力箱形截面桥梁的跨度达 239m;美国芝加哥水塔广场旅馆大楼达 76 层(高 262m),是目前世界上最高的钢筋混凝土房屋;加拿大已建成了高度为 549m 的电视塔。

在这期间,设计理论也有了新的发展。七十年代以来,以统计数学为基础的结构可靠性理论已逐步进入工程实用阶段,使极限状态设计方法向着更为完善、更为科学的方向发展。同时,考虑混凝土非弹性变形的钢筋混凝土结构计算理论有了很大的发展,在板、连续梁和框架的设计中已得到了广泛的应用。六十年代后期,随着对混凝土变形性能的深入研究和电子计算机的应用,已开始将有限元法用于钢筋混凝土应力状态的分析,此后发展很快,利用混凝土的本构方程(应力-应变关系式)以及粘结条件的模式化,借助于电算,可以对构件,以至结构的受力全过程进行弹塑性分析。通过不断地充实提高,一个新的分支科学——“近代钢筋混凝土力学”正在逐步形成。由于将电子计算机、有限元理论和现代测试技术应用到钢筋混凝土理论和试验研究中,钢筋混凝土的计算理论和设计方法正在日趋完善,向着更高的阶段发展。

在十九世纪末和二十世纪初,我国也开始有了钢筋混凝土建筑物。但直到解放前夕,钢筋混凝土技术在我国发展缓慢,应用范围不广,大工程更是寥寥无几。钢筋混凝土结构的设计皆袭用资本主义国家的一些旧方法。解放以后,随着社会主义建设事业的蓬勃发展,钢筋混凝土在我国工程建设中得到了迅速的发展和广泛的应用。

在 1952~1953 年,我国已开始采用装配式钢筋混凝土结构。目前,在单层厂房中已广泛

采用定型构配件和标准设计,如屋面梁、屋架、托架、天窗架、吊车梁、连系梁和基础梁等构件都已编制了全国通用标准图集及地区性标准设计。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、滑模结构已有所发展。在一般民用建筑中,已普遍采用定型化、标准化的装配式构件。北京、南宁等地区已兴建大批装配式大板住宅建筑。此外,不少地区还推广现浇大模板居住建筑。

近年来,钢筋混凝土高层建筑也有所发展。如37层(高108.5m)的南京金陵饭店、33层(高106m)的广州白云宾馆、34层(高99m)的广州白天鹅宾馆、29层(高91m)的上海宾馆、20层(高77.2m)的北京饭店等。此外,北京、上海等地还建造了一批高层住宅建筑。

大跨度建筑也有一定的发展,一般常采用拱、门式刚架和壳体结构等。如北京体育学院田径房采用了跨度为46.7m的钢筋混凝土落地拱,广州体育馆采用了跨度为49.8m的现浇钢筋混凝土双铰门式刚架,北京火车站中央大厅采用了 $35\times 35\text{m}$ 的双曲扁壳。

预应力混凝土结构的应用也日益广泛。如北京民航机库采用了跨度达60m的块体拼装式预应力混凝土拱形屋盖,四川泸州长江大桥采用了预应力混凝土T形结构,其三个主桥孔跨度达170m。此外,在工业与民用建筑中,预应力混凝土构件(如吊车梁、空心板等)的应用也较广泛。

随着钢筋混凝土和预应力混凝土结构在工程建设中的广泛应用,我国在这一领域的科学研究和设计规范的制定工作也取得了较大的发展。1952年东北人民政府工业部颁布《建筑结构设计暂行标准》,采用了破坏阶段的计算方法,从这时起,许多设计部门开始按这一标准进行钢筋混凝土结构的设计。1958年建筑工程部制定了《钢筋混凝土结构设计暂行规范》(规结6—55),合理地采用了较小的安全系数,节约了材料,降低了工程造价。1956起,不少设计部门先后参考了苏联钢筋混凝土和预应力混凝土按极限状态计算的新规范进行设计。1966年建筑工程部又颁发了《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21—66),采用了按极限状态的计算方法。七十年代,在总结工程实践经验和科学研究成果的基础上,我国又编制了《预应力混凝土结构设计与施工》和《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)以及有关的专门规范、规程和设计手册,这对于统一设计标准、保证工程质量、节约材料、降低造价以及提高设计速度等方面都起了重要的作用。

七十年代以前,我国在这一领域已进行了不少试验研究工作,并取得了一定的成果,但大规模、有组织、有计划地开展科学研究工作还是从七十年代初开始的。十多年来,我国在钢筋混凝土基本理论与计算方法、可靠度与荷载分析、单层与多层厂房结构、高层建筑结构、大板与升板结构、大跨度特种结构、结构抗震、工业化建筑体系以及电子技术在钢筋混凝土结构中的应用和测试技术等方面取得了许多成果,为修订和制订有关规范和规程提供了大量原始数据和科学依据。

为了提高我国建筑结构设计规范的先进性和统一性,我国已编制了《建筑结构设计统一标准》,该标准采用了目前国际上正在发展和推行的、以概率理论为基础的极限状态设计方法,统一了我国建筑结构设计的基本原则,规定了适用于各种材料结构的可靠性分析方法和设计表达式,并对材料与构件质量控制和验收提出了相应的要求。

按照《建筑结构设计统一标准》规定的基本原则,在总结工程建设的实践经验以及科学研究成果的基础上,我国又编制了《混凝土结构设计规范》(GBJ10—88),把我国的钢筋混凝土结构设计提高到一个新的水平,这将对钢筋混凝土结构的发展起着重大的影响。

为不断提高混凝土结构设计规范的科学性,更好地为工程建设服务,在国家计划委员会标准定额局的指导下,从70年代初开始,由中国建筑科学研究院建筑结构研究所《钢筋混凝土结构设计规范》管理组组织全国有关高等院校、科研、设计和施工单位开展了三批钢筋混凝土和预应力混凝土科研课题的研究,为编制《混凝土结构设计规范》提供了宝贵的科学依据。

从1982年开始,中国建筑科学研究院会同有关高等院校、设计和科研单位,共同派员组成《混凝土结构设计规范》编制组,着手进行规范的编制工作。五年来,规范编制组在总结上述科研成果的基础上,广泛收集了国内外有关文献和规范,征求国内各省市设计院、科研和教学单位的意见,并作了必要的工程调查和试设计,提出了多次修订稿,同时,召开了多次全国性审议会议进行审查。目前,《混凝土结构设计规范》的编制工作已基本完成,即将正式颁发实行。

这次修订的重点是:

(1) 结构可靠度:采用以概率论为基础的极限状态设计法,以可靠指标度量结构的可靠性,以分项系数设计表达式作为基本设计表达式。

(2) 材料及其计算指标:修改了混凝土标准试块的尺寸及标准强度取值原则,调整了混凝土和钢材的计算指标。

(3) 正截面承载能力计算体系:修改了正截面承载能力计算中的“力矩守恒”等假定,采用了平截面假定,形成了统一的计算体系;修改了轴向力偏心距增大系数的计算公式;给出了双向偏心受压构件正截面承载能力的直接设计方法。

(4) 复杂受力下抗剪和抗扭能力的计算体系:修改了抗剪、抗扭能力的计算公式,并补充了预应力和轴向力作用下抗剪、抗扭能力的计算公式。

(5) 裂缝控制分类和计算体系:修改了按抗裂安全系数的控制条件,采用了按应力状态的控制条件;修改了钢筋混凝土轴心受拉和受弯构件的裂缝宽度计算公式,补充了偏心受力构件和在使用阶段允许出现裂缝的预应力混凝土轴心受拉和受弯构件的裂缝宽度计算公式,从而形成了完整的计算体系。

(6) 变形计算体系:与裂缝宽度计算相应,局部修改了钢筋混凝土受弯构件截面刚度的计算公式;修改了在使用阶段允许出现裂缝的预应力混凝土受弯构件截面刚度计算公式。

(7) 结构构件设计:取消了屋架、吊车梁等构件的计算内容(将列入有关规程中),补充了二阶段受力迭合梁及深梁的计算方法和构造要求。

(8) 一般构造内容:修改了锚固、搭接等有关规定,补充了预埋件的设计方法。

(9) 结构构件抗震设计:增补了钢筋混凝土结构抗震设计的有关内容,以使静力设计和抗震设计相协调,更好地适应我国地震区建设的需要。

此外,在冲切能力、局部承压能力和疲劳强度等方面也做了某些修改和补充。

《混凝土结构设计规范》(GBJ10-88)*在内容上较以前的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74)作了较大的修改和增补,从而提高了新《规范》的合理性和先进性。它将对我国的工程建设和钢筋混凝土结构的发展起重大的作用。

* 对《混凝土结构设计规范》(GBJ10-88),以下简称新《规范》;对《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74),以下简称原《规范》。

参 考 文 献

- [1-1] К.Б.Сахновский: Железобетонные конструкции, Москва, 1959
- [1-2] Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций(НТУ—123—55), Москва, 1955
- [1-3] Инструкция по проектированию предварительно напряженных конструкций (СН10—57), Москва, 1958
- [1-4] *ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete*(ACI—318—83), 1983
- [1-5] *CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, CEB-FIP International Recommendations, 3rd Edition*, 1978
- [1-6] 《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21—66), 技术标准出版社, 1966年
- [1-7] 《预应力混凝土结构设计及施工》, 中国建筑工业出版社, 1970年
- [1-8] 《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74), 中国建筑工业出版社, 1974年
- [1-9] 中国建筑科学研究院主编:《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84), 1984年
- [1-10] 国家建设委员会建筑科学研究院主编:《钢筋混凝土结构研究报告选集》, 中国建筑工业出版社, 1977年
- [1-11] 中国建筑科学研究院主编:《钢筋混凝土结构研究报告选集》(2), 中国建筑工业出版社, 1981年

第二章 钢筋混凝土材料的物理和力学性能

§ 2-1 混 凝 土

2-1-1 混凝土的强度

在设计和施工中常用的混凝土强度可分为立方体强度、轴心抗压强度、弯曲抗压强度和抗拉强度等。现分别叙述如下：

一、混凝土立方体强度

混凝土的立方体抗压强度(简称立方体强度)是衡量混凝土强度的主要指标。混凝土立方体强度不仅与养护时的温度、湿度和龄期等因素有关,而且与试体的尺寸和试验方法也有密切关系。在一般情况下,试件的上下表面与试验机承压板之间将产生阻止试件向外自由变形的摩阻力,它将象两道套箍一样将试件套住,延缓了裂缝的发展,从而提高了试块的抗压强度。破坏时,试块中部剥落,其破坏形状如图 2-1a 所示。如果在试块的上下表面涂上润滑剂,试验时摩阻力就大大减小,所测得的抗压强度较低,其破坏形状如图 2-1b 所示。工程上实际采用的是不加润滑剂的试验方法。试验还表明,立方体的尺寸不同,试验时测得的强度也不同,立方体尺寸愈小,摩阻力的影响愈大,测得的强度也愈高。新《规范》规定,混凝土立方体强度,系指按标准方法制作、养护的边长为 150mm 的立方体试块,在 28 天龄期,用标准试验方法测得的抗压强度。

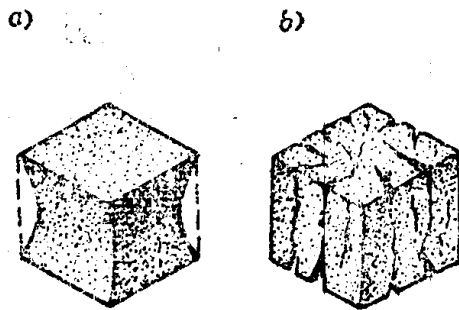


图 2-1

在生产实际中,有时也采用边长为 100mm 或 200mm 的立方体试块,则所测得的立方体强度应分别乘以换算系数 0.95 或 1.05。

新《规范》所规定的混凝土强度等级用符号 C 表示,系按立方体抗压强度标准值确定,亦即按上述方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度(详见第三章第 3-4-2 节)。

新《规范》规定的混凝土强度等级有 12 级,为 C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55 和 C60。在钢筋混凝土结构中,混凝土强度等级不宜低于 C15,当采用 I 级钢

筋时，混凝土强度等级不宜低于 C20；当采用Ⅲ级钢筋以及对承受重复荷载的构件，混凝土强度等级不得低于 C20。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C30；当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C40。

二、混凝土轴心抗压强度(棱柱体强度)

如前所述，混凝土的抗压强度与试块尺寸和形状有关。在实际工程中一般受压构件不是立方体而是棱柱体，即构件的高度要比宽度或长度大。因此，有必要测定棱柱体的抗压强度，以更好地反映构件的实际受力情况。试验表明，棱柱体试件的抗压强度较立方体试块的抗压强度低。棱柱体试件高度 h 与边长 b 之比愈大，则强度愈低。当高宽比由 1 增至 2 时，混凝土强度降低很快。但是当高宽比由 2 再增大到 4 时，其抗压强度变化不大。这是因为在此范围内，既可消除垫板与试件接触之间摩阻力对抗压强度的影响，又可避免试件因纵向弯曲而产生的附加偏心距对抗压强度的影响，测得的棱柱体抗压强度较稳定。因此，国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ81—85)规定混凝土的轴心抗压强度试验以 $150 \times 150 \times 300\text{mm}$ 的试件为标准试件。

棱柱体抗压强度与立方体抗压强度之间的关系很复杂，与很多因素有关。例如试件大小、混凝土组成材料性质、试验方法等等。根据国内 349 组棱柱体($h/b = 3 \sim 4$)的强度试验结果，在立方体($200 \times 200 \times 200\text{mm}$)强度 $f_{cu(200)}$ 为 $16 \sim 50\text{N/mm}^2$ 的范围内，轴心抗压强度与立方体

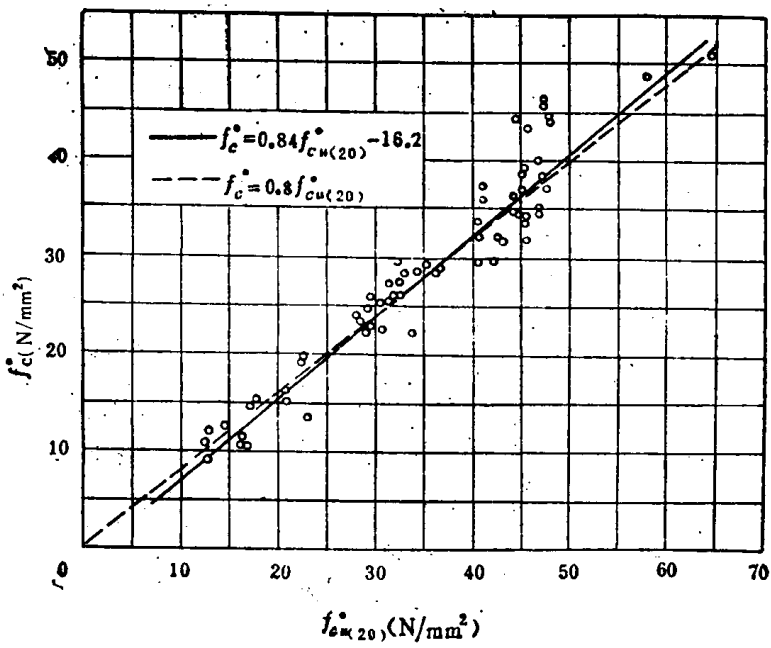


图 2-2

($200 \times 200 \times 200\text{mm}$)强度之比平均为 0.80。图 2-2 示出 122 组截面为 $150 \times 150\text{mm}$ 的棱柱体抗压强度的试验结果。按新《规范》，采用 $150 \times 150 \times 150\text{mm}$ 的立方体强度 f_{cu} (上角码 $\circ$ 表示实际值，下同) 时，则轴心抗压强度与立方体强度的比值平均为 0.76，考虑到试件尺寸不统一，试件与实际结构受力情况的差异以及多年来的工程实践经验，将 0.76 乘以系数 0.88 予以修正，则得轴心抗压强度 f_c 与立方体强度 f_{cu} 的关系为

$$f_c = 0.67 f_{cu} \quad (2-1)$$

三、混凝土弯曲抗压强度

从钢筋混凝土梁的破坏试验可知，其受压区的应变和应力是不均匀的，靠近外边缘处受压较大，靠近中和轴处受压较小。当外边缘纤维发生微裂缝时，由于内部受力较小部分的约

束作用, 还不会立即引起破坏。因此, 必须施加较棱柱体强度为高的应力, 才能使裂缝向内部发展, 从而使混凝土被压碎。新《规范》规定(详见第四章第 4-3-2 节), 弯曲抗压强度 f_{cm} 与轴心抗压强度 f_c 之间的关系为

$$f_{cm}=1.1f_c$$

(2-2)

四、混凝土抗拉强度

混凝土的抗拉强度和抗压强度一样, 都是混凝土的重要基本力学指标。但是, 混凝土的抗拉强度比抗压强度低得多。它与同龄期混凝土抗压强度的比值大约在 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{18}$, 其比值随着混凝土强度的增大而减少。在实际工程中, 为了防止和减少混凝土的裂缝, 提高混凝土的抗裂性能, 希望尽可能提高它的抗拉强度。

大量试验表明, 即使是抗压强度基本相同的混凝土, 不同的研究者所测得的抗拉强度也不相同, 甚至差别很大。其原因除了试件大小、形状及养护条件不同外, 试验方法不同也是一个重要因素。

目前混凝土抗拉强度的试验方法主要有三种: 直接轴向拉伸试验、弯折试验和劈裂试验。

采用直接轴向拉伸试验测定混凝土抗拉强度时, 由于安装试件时很难避免较小的歪斜和偏心, 或者由于混凝土的不均匀性, 其几何中心往往与物理中心不重合, 所有这些因素都会对量测的混凝土轴心抗拉强度有较大的影响, 试验结果的离散程度是较大的。此外, 由于混凝土的塑性性能, 采用弯折试验不能测得混凝土的真实抗拉强度。因此, 目前国内外常采用立方体或圆柱体的劈裂试验来测定混凝土轴心抗拉强度。

如图 2-3 所示, 在卧置的立方体(或圆柱体)与加载板之间放置一垫条, 使上下形成对应条形加载。这样, 在垂直面上就产生了拉应力, 它的方向与加载方向垂直, 并且基本上是均匀的, 如图 2-4 所示。从

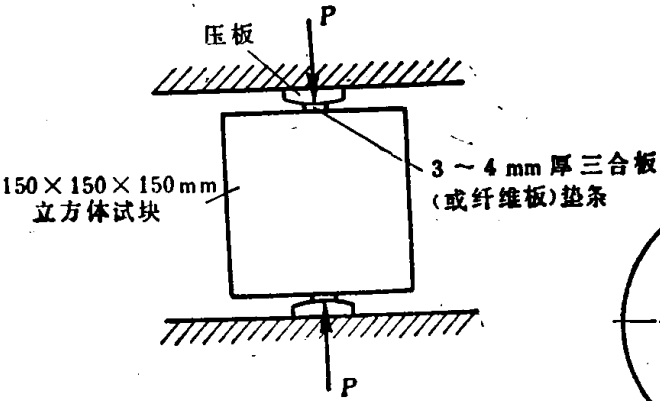


图 2-3

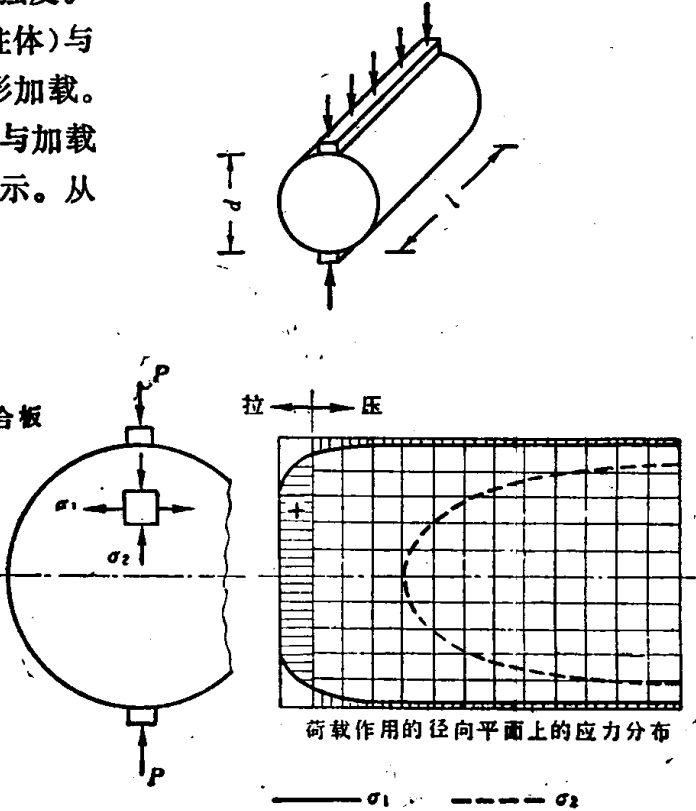


图 2-4