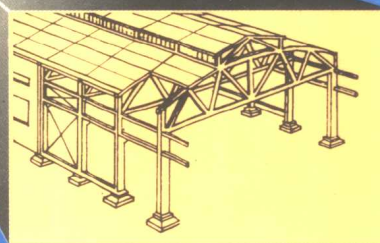
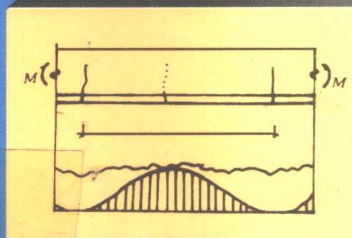
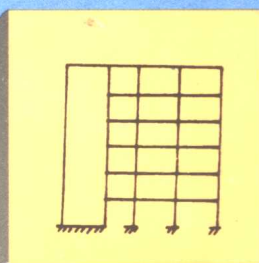
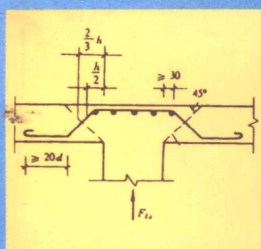
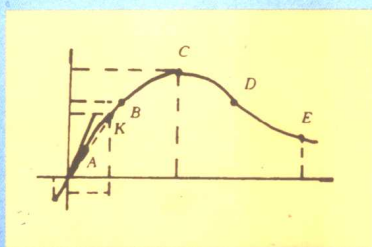
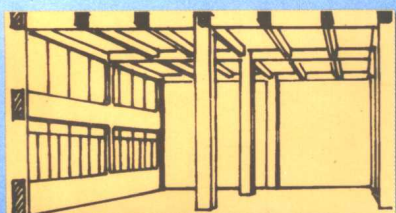


混凝土结构(上)

主编 蓝宗建
主审 童启明



东南大学出版社

996825

混凝土结构

主编 蓝宗建

编者 蓝宗建 曹双寅 刘伟庆

主审 童启明

东南大学出版社

内 容 简 介

本书系按照高等工科院校的《工业与民用建筑和建筑结构工程专业教学大纲》和《全国一级结构工程师注册考试大纲》的要求,并根据国家建设部颁布的国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)、《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)、《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)和有关的修订内容以及其他有关的规范、规程编写的。

本书分上、下两册,上、下册各三篇。上册三篇为:基本概念和设计原则、钢筋混凝土结构构件、预应力混凝土结构构件。下册三篇为:钢筋混凝土梁板结构、单层厂房结构、多层和高层建筑结构。全书在讲清物理概念和计算原理的基础上,介绍了工程设计中实用的计算方法,并列举了适量的实例。

本书可作为高等院校的工业与民用建筑和建筑结构工程专业的教材,也可供土建设和施工技术人员参考。

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 17.625 字数 440 千

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

印数:1-4000 册

ISBN 7-81050-310-3/TU·36

定价:25.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

前 言

本书系按照高等工科院校的《工业与民用建筑和建筑结构工程专业教学大纲》和《全国一级结构工程师注册考试大纲》的要求编写的,可作为大专院校的教材,也可供工程技术人员参考。

本书是根据国家建设部颁布的国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)、《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)、《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)和有关的修订内容以及其他有关的规范、规程编写的。有关的修订内容包括:国家建设部于1993年颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)局部修订内容、《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)局部修订内容及1996年颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)局部修订条文等。

全书共六篇,分上、下两册,上、下册各三篇。上册三篇为:基本概念和设计原则、钢筋混凝土结构构件、预应力混凝土结构构件。下册三篇为:钢筋混凝土梁板结构、单层厂房结构、多层和高层建筑结构。

本书内容密切结合我国工程实际,力求文字简练、深入浅出。为了使读者既能深入、系统地理解结构和构件的受力性能,又能正确、灵活地掌握结构和构件的设计方法,全书在讲清物理概念和计算原理的基础上,介绍了工程设计中实用的计算方法,并列举了适量的实例。

参加本书上册编写工作的人员为:蓝宗建(第一、二、三、四、五、六、九、十章)、刘伟庆(第七、八章)、曹双寅(第十一、十二、十三章)。参加本书下册编写工作的人员为:刘雁(第十四、十五、十六章)、李琪(第十七、十八、十九章)、蓝宗建(第二十、二十二、二十三、二十四、二十五章)、刘伟庆(第二十一章)、梁书亭(第二十六章及第二十三、二十五章部分内容)。

本书由蓝宗建主编,童启明主审。

由于作者水平所限,书中难免有不妥或疏误之处,请读者指正。

蓝宗建
1997年8月

目 录

第一篇 基本概念和设计原则

第一章 绪论	(3)
§ 1-1 钢筋混凝土的一般概念	(3)
§ 1-2 混凝土结构的发展简况	(5)
第二章 混凝土和钢筋的物理和力学性能	(8)
§ 2-1 混凝土	(8)
§ 2-2 钢筋	(19)
§ 2-3 钢筋和混凝土的粘结	(22)
第三章 混凝土结构设计的基本原则	(25)
§ 3-1 混凝土结构设计理论发展简史	(25)
§ 3-2 结构的功能要求和极限状态	(26)
§ 3-3 结构的可靠度和极限状态方程	(27)
§ 3-4 可靠指标和目标可靠指标	(29)
§ 3-5 极限状态设计表达式	(30)
§ 3-6 材料强度指标	(33)
§ 3-7 荷载代表值	(34)

第二篇 钢筋混凝土结构构件

第四章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	(39)
§ 4-1 受弯构件的一般构造要求	(39)
§ 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力计算	(49)
§ 4-5 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(55)
§ 4-6 单筋 T 形截面受弯构件正截面承载力计算	(61)
§ 4-7 双向受弯构件正截面承载力计算	(69)
第五章 钢筋混凝土受压构件正截面承载力计算	(72)
§ 5-1 配有纵向钢筋和普通箍筋的轴心受压构件承载力计算	(72)
§ 5-2 配有纵向钢筋和螺旋箍筋的轴心受压构件承载力计算	(76)
§ 5-3 偏心受压构件正截面的受力特点和破坏特征	(79)
§ 5-4 偏心受压构件的纵向弯曲	(81)
§ 5-5 偏心受压构件正截面承载力计算的基本原则	(83)
§ 5-6 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(84)
§ 5-7 I 形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(98)
§ 5-8 矩形截面双向偏心受压构件正截面承载力计算	(102)
§ 5-9 受压构件的一般构造要求	(109)
第六章 钢筋混凝土受拉构件正截面承载力计算	(112)
§ 6-1 轴心受拉构件正截面承载力计算	(112)
§ 6-2 偏心受拉构件正截面承载力计算	(112)

§ 6-3 双向偏心受拉构件正截面承载力计算	(115)
第七章 钢筋混凝土受弯构件和偏心受力构件斜截面承载力计算	(117)
§ 7-1 受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态	(117)
§ 7-2 影响受弯构件斜截面受剪承载力的主要因素	(122)
§ 7-3 受弯构件斜截面受剪承载力计算	(125)
§ 7-4 保证斜截面受弯承载力的构造措施	(133)
§ 7-5 箍筋和弯起钢筋的一般构造要求	(137)
§ 7-6 受弯构件斜截面承载力的计算步骤	(140)
§ 7-7 偏心受力构件斜截面承载力计算	(143)
第八章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	(145)
§ 8-1 纯扭构件的开裂扭矩和破坏形态	(145)
§ 8-2 纯扭构件承载力计算	(148)
§ 8-3 压扭构件承载力计算	(154)
§ 8-4 弯剪扭构件承载力计算	(154)
§ 8-5 受扭构件的一般构造要求	(160)
第九章 钢筋混凝土构件受冲切和局部受压承载力计算	(161)
§ 9-1 受冲切承载力计算	(161)
§ 9-2 局部受压承载力计算	(168)
第十章 钢筋混凝土构件裂缝和变形计算	(174)
§ 10-1 裂缝和变形的计算要求	(174)
§ 10-2 抗裂度计算	(175)
§ 10-3 裂缝宽度计算	(179)
§ 10-4 刚度和挠度计算	(192)

第三篇 预应力混凝土结构构件

第十一章 预应力混凝土结构的基本概念和一般规定	(203)
§ 11-1 预应力混凝土结构的基本概念	(203)
§ 11-2 预应力混凝土结构的分类	(205)
§ 11-3 预应力混凝土结构的材料和锚具	(207)
§ 11-4 预应力混凝土结构构件的计算规定	(212)
§ 11-5 预应力混凝土结构的构造要求	(219)
第十二章 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	(223)
§ 12-1 预应力混凝土轴心受拉构件各阶段的应力分析	(223)
§ 12-2 预应力混凝土轴心受拉构件使用阶段的计算	(229)
§ 12-3 预应力混凝土轴心受拉构件施工阶段的验算	(231)
第十三章 预应力混凝土受弯构件的计算	(236)
§ 13-1 预应力混凝土受弯构件各阶段的应力分析	(236)
§ 13-2 预应力混凝土受弯构件使用阶段的计算	(242)
§ 13-3 预应力混凝土受弯构件施工阶段的验算	(253)
附录	(262)
附表 1 混凝土强度标准值和设计值	(262)
附表 2 混凝土的弹性模量和疲劳变形模量	(262)
附表 3 不同 ρ^f 值时混凝土的疲劳强度修正系数 γ_p	(262)

附表 4	《规范》(TJ10-74)混凝土标号和《规范》(GBJ10-89)混凝土强度等级换算表	(262)
附表 5	钢筋强度标准值和设计值	(263)
附表 6	钢丝、钢绞线强度标准值和设计值	(264)
附表 7	钢筋弹性模量	(265)
附表 8	钢筋混凝土结构中钢筋疲劳强度设计值	(265)
附表 9	预应力钢筋的疲劳强度设计值	(265)
附表 10	受弯构件的允许挠度	(266)
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 $[w_{\max}]$	(266)
附表 12	混凝土保护层最小厚度	(267)
附表 13	混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率	(267)
附表 14	钢筋混凝土矩形和 T 形截面受弯构件正截面承载力计算表	(268)
附表 15	钢筋的计算截面面积及公称质量	(269)
附表 16	钢绞线公称截面面积及公称质量	(269)
附表 17	钢筋混凝土板每米宽的钢筋截面面积	(270)
附表 18	纵向受拉钢筋的最小锚固长度 l_a	(270)
附表 19	钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数 φ	(271)
附表 20	截面抵抗矩塑性系数 γ_m	(271)
附表 21	非法定计量单位与法定计量单位的换算关系	(272)
参考文献		(273)

第 一 篇

基本概念和设计原则

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材,其抗压强度很高,而抗拉强度则很低(约为抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$)。当用混凝土梁承受荷载时(图 1-1a),在梁的垂直面(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,梁的受拉区边缘混凝土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 1-1b)。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,没有明显的预兆,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开裂荷载,也是混凝土梁的破坏荷载。由此可见,混凝土梁的承载力是由混凝土的抗拉强度控制的,而受压区混凝土的抗

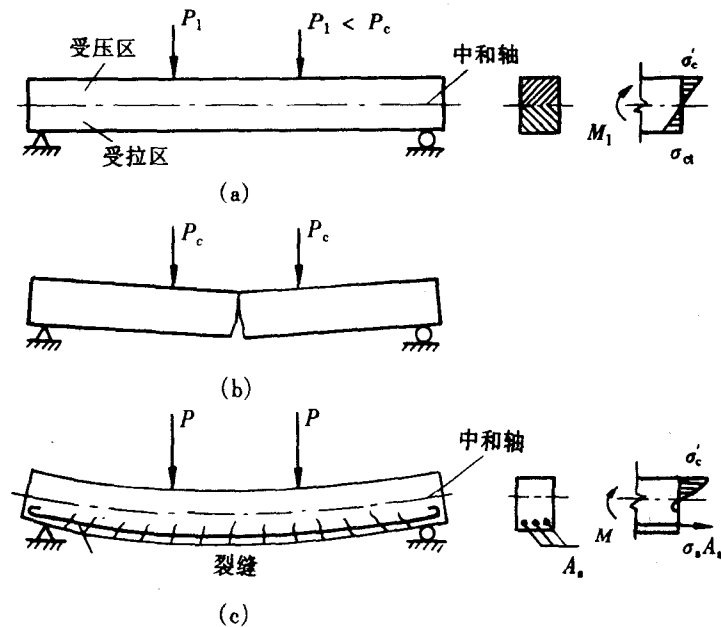


图 1-1 混凝土梁和钢筋混凝土梁

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,也就是在混凝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,其开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_c , 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,配置在受拉区的纵向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 1-1c),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压碎,梁才告破坏。因此,钢筋混凝土梁的承载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的数量和强度有关。

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。

图 1-2 所示的轴心受压柱,如果在混凝土中配置受压钢筋和箍筋,协助混凝土承受压力,也同样可提高柱的承载力,改善柱的受力性能。

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。

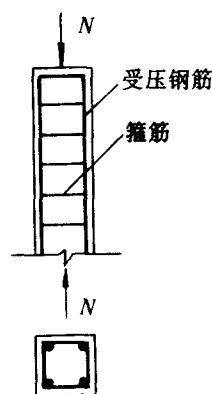


图 1-2 钢筋混凝土柱

(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,由于混凝土的耐热性能较好,在火灾中将对钢筋起着保护作用,使其不致很快达到钢筋软化的临界温度而造成结构丧失承载力。所以,与钢结构相比,钢筋混凝土结构的耐火性是较好的。

(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、振动以及强烈爆炸时冲击波作用的性能较好。

(4) 钢筋混凝土结构的刚度较大,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,有利于环境保护,并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,在建筑工程中得到了广泛的应用。

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;建造时耗工较多;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结构的抗裂性(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 混凝土结构的发展简况

钢筋混凝土在 19 世纪中叶开始得到应用,至今只有大约 150 年的历史。从 19 世纪 50 年代到 20 世纪 20 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,所采用的混凝土和钢筋的强度都较低,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。20 世纪 20 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,构件承载力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 $20 \sim 40 \text{ N/mm}^2$,预应力混凝土结构的混凝土强度可达 $80 \sim 100 \text{ N/mm}^2$ 。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 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$ 。此外,纤维混凝土、聚合物混凝土也在研究发展中,有的已在工程中开始应用。常用的热轧钢筋的屈服强度已达 420 N/mm^2 ,有的可达 $600 \sim 900 \text{ N/mm}^2$,热处理钢筋的抗拉强度一般为 $1250 \sim 1450 \text{ N/mm}^2$,用于预应力混凝土结构中的钢丝的抗拉强度已达 1800 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 20 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。如德国采用预应力轻质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混凝土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),朝鲜平壤柳京饭店达 105 层(高 319.8m)。另外,还有加拿大已建成的高度为 549m 的多伦多电视塔。

在此期间,设计理论也有了新的发展。70 年代以来,以统计数学为基础的结构可靠度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。60 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结构应力状态的分析,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结构理论和试验研究中,钢筋混凝土结构的计算理论和设计方法日趋完善,向着更高的阶段发展。

在19世纪末和20世纪初,我国也开始有了钢筋混凝土建筑物。解放后,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图集。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、南京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有较快的发展。如48层(高165m)的上海展览中心主楼,50层(高160m)的深圳国际贸易大厦,80层(高321m)的广州中天大厦等。此外,北京、上海等地还建造了一批高层住宅建筑。目前,世界第一高楼,94层(高460m)的上海环球金融中心正在兴建中。

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35m×35m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。近年来,预应力混凝土楼盖和预应力混凝土框架结构也有较快的发展。

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年起,不少设计部门先后参考了前苏联钢筋混凝土和预应力混凝土结构按极限状态计算的规范进行设计。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。70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。

70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70年代初开始的。20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、大跨度结构、结构抗震、工业化建筑体系、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很多成果,为修订和制定有关规范和规程提供了大量的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》(GBJ68-84),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度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》(GBJ10-89),以下简称《规范》,把我国的混凝土结构设计提高到一个新的水平,这对混凝土结构的发展有着重大的影响。

第二章 混凝土和钢筋的物理和力学性能

§ 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抗压强度、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，而且与试件的尺寸和试验方法有密切关系。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，将试件箍住，延缓了裂缝的发展，从而提高了试件的抗压强度。破坏时，试件中部剥落，其破坏形状如图 2-1a 所示。如果在试件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。《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 的立方体试件在 28 天龄期，用标准试验方法测得的抗压强度。

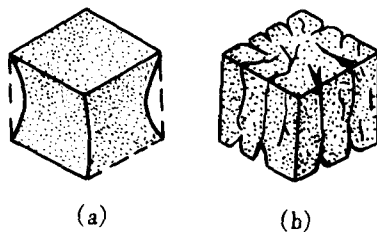


图 2-1 混凝土立方体的破坏特征

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

《规范》所规定的混凝土强度等级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 § 3-6），用符号 C 表示。《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 II 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

如前所述，混凝土的抗压强度与试件尺寸和形状有关。在实际工程中，一般受压构件不是立方体而是棱柱体，即构件的高度要比横截面宽度（或边长）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件的抗压强度低。棱柱体试件高度与其横截面宽度(边长)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 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的试件为标准试件。混凝土轴心抗压强度又可称为混凝土棱柱体抗压强度。

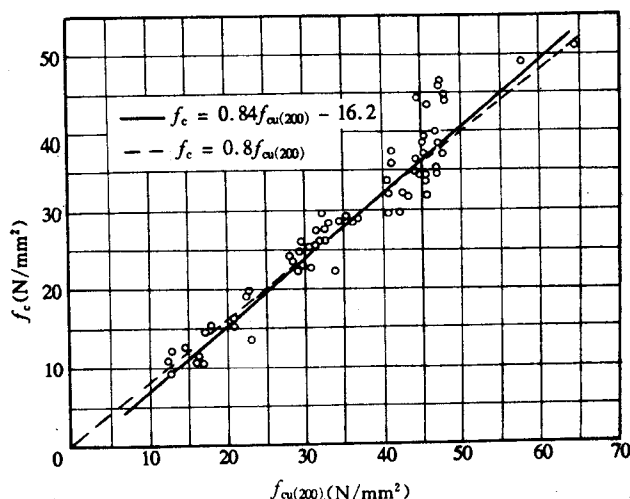


图 2-2 混凝土轴心抗压强度与立方体强度的关系

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。根据国内 349 组棱柱体(高宽比为 3~4)的强度试验结果,在立方体($200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$)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($200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$)强度之比平均为 0.80。图 2-2 示出 120 组截面为 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的棱柱体抗压强度的试验结果。按《规范》采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的立方体强度 f_{cu} 时,则轴心抗压强度与立方体强度的比值为 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

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

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,才能使裂缝向内发展,从而使混凝土被压碎。《规范》规定,弯曲抗压强度 f_{cm} 与轴心抗压强度 f_c 之间的关系为(详见 §4-3)

$$f_{cm} = 1.1f_c \quad (2-2)$$

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为 $1/18 \sim 1/8$,其比值随着混凝土强度的增大而减小。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。

大量的试验表明,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。

混凝土抗拉强度的试验方法有三种: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时,由于安装试件时很难避免有些歪斜和偏心,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,试验结果的离散性是较大的。采用弯折试验时,由于混凝土的塑性性能,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压条,使上下形成对应的条形加载。这样,在竖直面(荷载作用平面)上将产生拉应力,它的方向与加载方向垂直,并且基本上是均匀的(如图 2-3b 所示),从而形成劈裂破坏。对于立方体或圆柱体的劈裂试验,其抗拉强度可采用下列公式计算:

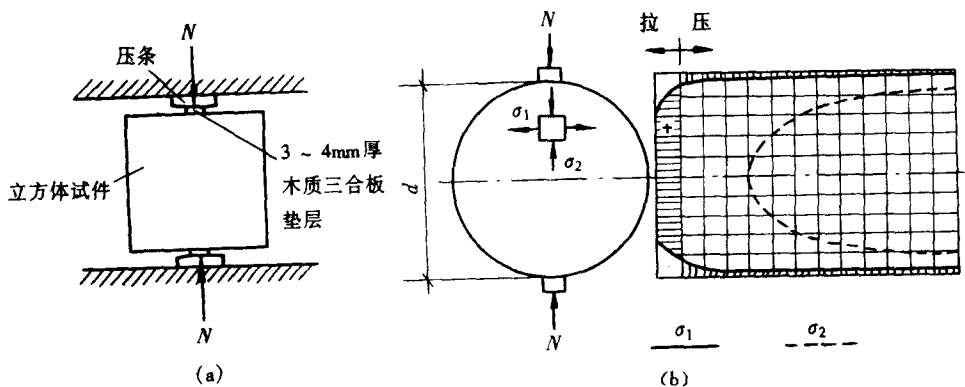


图 2-3 混凝土的劈裂试验

$$f_t = \frac{2N}{\pi dl} = 0.637 \frac{N}{dl} \quad (2-3)$$

式中 f_t ——混凝土轴心抗拉强度;

N ——劈裂荷载;

d ——立方体边长或圆柱体直径;

l ——立方体边长或圆柱体长度。

必须指出,加载垫板、压条和试件尺寸对劈裂试验的结果有一定影响,压条尺寸愈大,抗拉强度试验值愈大。由于混凝土是非匀质脆性材料,随着受拉断面尺寸的增大,内部薄弱环节增多,抗拉强度相应降低。因此,标准试验方法(参考文献[4])给出了详细的技术条件。