

高等学校试用教材

混凝土与砌体结构

(上册)

主 编 王祖华 副主编 陈眼云

华南理工大学出版社

高等学校试用教材

混凝土与砌体结构

(上册)

主 编 王祖华 副主编 陈眼云

华南理工大学出版社

内 容 提 要

本书是在《钢筋混凝土与砖石结构》(本社1987年版, 专科教材)的基础上, 按国家颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)、《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)等重新编写的, 根据高校“工业与民用建筑专业”本科《混凝土结构》和《砌体结构》课程大纲以及课程设计和毕业设计的要求作了相应的扩充。

全书分上、下两册。本书为上册, 内容包括绪论、混凝土结构材料的主要力学性能、混凝土设计基本原则、荷载与地震作用、受弯构件正截面承载力、受弯构件斜截面承载力、扭曲截面承载力、混凝土受弯构件裂缝宽度与挠度、混凝土平面楼盖、砌体结构等。每章节都有典型的例题, 并附有必要的资料和思考题、习题, 便于教学和读者学习。

本书适用于工业与民用建筑专业本科和专科(选用), 也可供有关工程设计、施工和科研人员参阅。

高等学校试用教材

混凝土与砌体结构 (上册)

主编 王祖华 副主编 陈眼云

责任编辑 李彩英

华南理工大学出版社出版发行

(广州 五山 邮编 510641)

广东省新华书店经销

华南理工大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 28.25 字数: 653千

1992年12月第1版 1993年2月第2次印刷

印数: 3001—8000册

ISBN 7—5623—0384—3/TU·20

定价: 12.95元

目 录

绪 论.....	(1)
第一节 建筑结构的概念	(1)
第二节 钢筋混凝土的概念	(2)
**第三节 混凝土结构的应用和发展	(3)
第四节 本课程的特点及学习方法	(5)
第一章 钢筋混凝土材料的主要力学性能.....	(7)
第一节 混 凝 土.....	(7)
第二节 钢 筋	(19)
*第三节 钢筋与混凝土的粘结	(24)
第四节 钢筋和混凝土的选用	(28)
思考题	(30)
第二章 混凝土结构设计的基本原则.....	(31)
第一节 结构的功能及其极限状态	(31)
第二节 结构可靠度基础	(32)
**第三节 混凝土结构按概率极限状态设计方法的概念	(39)
第四节 承载能力极限状态计算表达式	(39)
第五节 正常使用极限状态的验算	(41)
*第六节 材料强度取值	(42)
附 录	(46)
思考题	(51)
第三章 荷载及地震作用.....	(52)
第一节 荷载的分类	(52)
第二节 荷载的代表值	(53)
第三节 荷载分项系数	(55)
第四节 荷载计算	(55)
第五节 荷载的组合	(65)
**第六节 地震作用	(67)
**附 录	(87)
思考题与习题	(96)
*第四章 受弯构件正截面承载力计 算	(97)
第一节 概 述	(97)
第二节 受弯构件的一般构造要求	(98)
第三节 受弯构件正截面抗弯性能的试验研究	(105)
第四节 受弯构件正截面承载力计算的基本理论	(110)

第五节	单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(117)
第六节	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(125)
第七节	T形截面受弯构件正截面承载力计算	(134)
第八节	双向受弯构件和深梁	(143)
第九节	钢筋混凝土结构构件的抗震设计	(144)
附录		(150)
	思考题与习题	(152)
第五章	受弯构件斜截面承载力计算	(156)
第一节	概述	(156)
第二节	受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态	(156)
第三节	影响斜截面受剪承载力的主要因素	(158)
第四节	梁斜截面承载力计算公式	(164)
第五节	斜截面承载力计算方法和步骤	(170)
第六节	纵向钢筋的弯起、截断和锚固	(175)
第七节	箍筋的构造要求	(183)
	思考题与习题	(184)
第六章	扭曲截面承载力计算	(186)
第一节	概 述	(186)
第二节	纯扭构件受扭承载力计算	(187)
第三节	钢筋混凝土弯、剪、扭构件承载力计算	(195)
第四节	钢筋混凝土弯剪扭构件的构造要求	(200)
第五节	钢筋混凝土弯剪扭构件的设计计算方法	(202)
	思考题与习题	(209)
第七章	钢筋混凝土构件的变形和裂缝验算	(210)
第一节	概 述	(210)
第二节	受弯构件的变形验算	(211)
第三节	裂缝宽度验算	(222)
	思考题与习题	(227)
第八章	钢筋混凝土平面楼盖	(228)
第一节	整体式单向板交梁楼盖	(230)
第二节	整体式单向板楼盖中单向板与主、次梁的内力计算	(232)
第三节	整体式单向板楼盖的计算步骤和构造	(242)
第四节	整体式双向板交梁楼盖概述	(266)
第五节	整体式双向板交梁楼盖中的双向板、次梁、主梁内力计算方法和构造要求	(267)
第六节	双重井式楼盖	(295)
第七节	装配式钢筋混凝土楼盖	(296)
第八节	无梁楼盖	(301)
第九节	钢筋混凝土楼梯	(305)
第十节	钢筋混凝土过梁	(315)

第十一节 钢筋混凝土雨篷	(315)
附 录	(318)
思考题与习题	(344)
第九章 砌体结构	(346)
第一节 概 述	(346)
第二节 砌体材料及砌体的力学性质	(346)
第三节 砌体结构的基本设计原则	(355)
第四节 砌体结构构件的承载力计算	(359)
第五节 混合结构房屋的结构布置及静力计算方案	(381)
第六节 混合结构房屋墙、柱设计	(392)
第七节 混合结构房屋的构造措施	(418)
第八节 过梁、墙梁、挑梁	(425)
第九节 混合结构房屋墙、柱及基础	(438)
思考题与习题	(442)
参考文献	(444)

绪 论

第一节 建筑结构的概念

在各种工业与民用建筑中,由屋架、梁、板、柱和基础等“构件”组成的能承受各种“作用”的体系叫做“建筑结构”。它是房屋建筑的骨架。所谓结构上的作用是指施加在结构上的集中或分布荷载,以及引起结构外加变形或约束变形的原因。施加在结构上的荷载有结构自重、土压力、风、雪压力 and 人群重等。引起结构外加变形或约束变形的原因有地震、基础沉降、温度变化和焊接等。

建筑结构按所用材料一般分为下列几类:

1. 混凝土结构 是以混凝土主要材料并在其中用钢材加强的结构。包含钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、劲性钢筋混凝土结构和没有钢筋的素混凝土结构,特别是钢筋混凝土结构,在各种工业与民用建筑中应用十分广泛。如多层与高层住宅、宾馆、办公楼、大跨度的会堂、剧院、展览馆和单层、多层工业厂房等一般都采用混凝土结构建造。此外,如烟囟、水塔和水池等特种结构也多采用混凝土结构建造。

2. 砌体结构(以前称为砖石结构) 是指用普通粘土砖、承重粘土空心砖(简称空心砖)、硅酸盐砖、中小型混凝土砌块或粉煤灰砌块、料石或毛石等块、板材料通过砂浆砌筑而成的结构。

3. 钢结构 由钢材制成的结构。

4. 木结构 全部或大部用木材制成的结构。

建筑结构通常也按承重结构的类型划分:

1. 混合结构 通常是指竖直承重构件(墙、柱)用砌体(砖、石),而水平结构构件(梁、板)用混凝土,这样两种材料混合建造的结构。它多用于六层及六层以下的住宅、旅馆、办公楼、教学楼以及食堂、会堂及单层工业厂房中。

2. 单层厂房结构 是由柱子和屋架组成的结构。柱子和屋架多采用混凝土结构,也可采用钢结构。这种结构的跨度大,一般为12~36m,可以是单跨和多跨。有吊车,荷载大,广泛应用于各种工业厂房建筑。

3. 框架结构 是由纵梁、横梁和柱组成的结构。目前我国框架结构多采用钢筋混凝土结构建造,也有采用钢框架的,框架结构的建筑布置灵活,因此在单层和多层工业与民用建筑中应用十分广泛。钢筋混凝土框架结构一般用于不超过10层的建筑,有时也可以超过。

4. 框架-剪力墙结构 这种结构是在框架结构内纵横方向适当布置的柱与柱之间设置几道厚度大于140 mm的钢筋混凝土墙体而成的结构体系。由于在这种结构中设置的墙在平面内的侧向刚度比其余的框架侧向刚度大得多,所以,在风荷载和地震作用下产生的水平剪力大部分由墙来承担,故称剪力墙。而框架只分担一小部分剪力,主要承受竖向荷载。由于框架-剪力墙结构充分发挥了框架和剪力墙各自的优点,因此在高度15~30层的高层建筑中采用它比框架结构更经济合理。

5. 剪力墙结构 由纵、横向钢筋混凝土剪力墙组成的结构。这里的墙除抵抗水平地震作用和竖向荷载外，还对房屋起围护和分隔作用。剪力墙结构适用于高层住宅、宾馆等建筑。因剪力墙结构墙体很多房，屋的侧面刚度大，可建得很高，我国剪力墙结构多用于15~50层的住宅和旅馆建筑。如广州的33层白云宾馆即采用了剪力墙结构体系。

6. 筒体结构 随着房屋层数(高度)的增加，房屋结构需要具有更大的侧向刚度，便出现了筒体结构。筒体结构是由钢筋混凝土墙或密集的柱围成的一个侧面刚度很大的筒体，其受力特点与一个在基础上固定的筒形悬臂构件相似，犹如一根挺拔高耸的竹子。由于采光的要求在筒壁上往往有孔洞时，这种筒叫做空腹筒或框筒。当要求侧向刚度更大时，可采用筒中筒（外筒套内筒）或筒束（几个筒并束在一起）结构。筒体结构多用于高层或超高层（高度 $h \geq 100\text{ m}$ ）的公共建筑中。如北京中央彩电大楼即采用的钢筋混凝土筒中筒结构（26层高107m）。

7. 大跨度结构 指跨度很大的体育馆、大型火车站和航空港等公共建筑中所采用的结构。其中竖向承重构件多采用钢筋混凝土柱，屋盖采用钢网架、悬索或钢筋混凝土薄壳等结构。例如我国首先采用钢网架建筑的是首都体育馆，它的屋盖宽度为99 m，长达112.2 m。

第二节 钢筋混凝土的概念

钢筋和混凝土是两种物理力学性能差异很大的材料。这两种材料组成整体，共同发挥作用即为钢筋混凝土。

结硬后的混凝土与天然石料相似，其抗压强度很高，而抗拉强度却很低（一般为抗

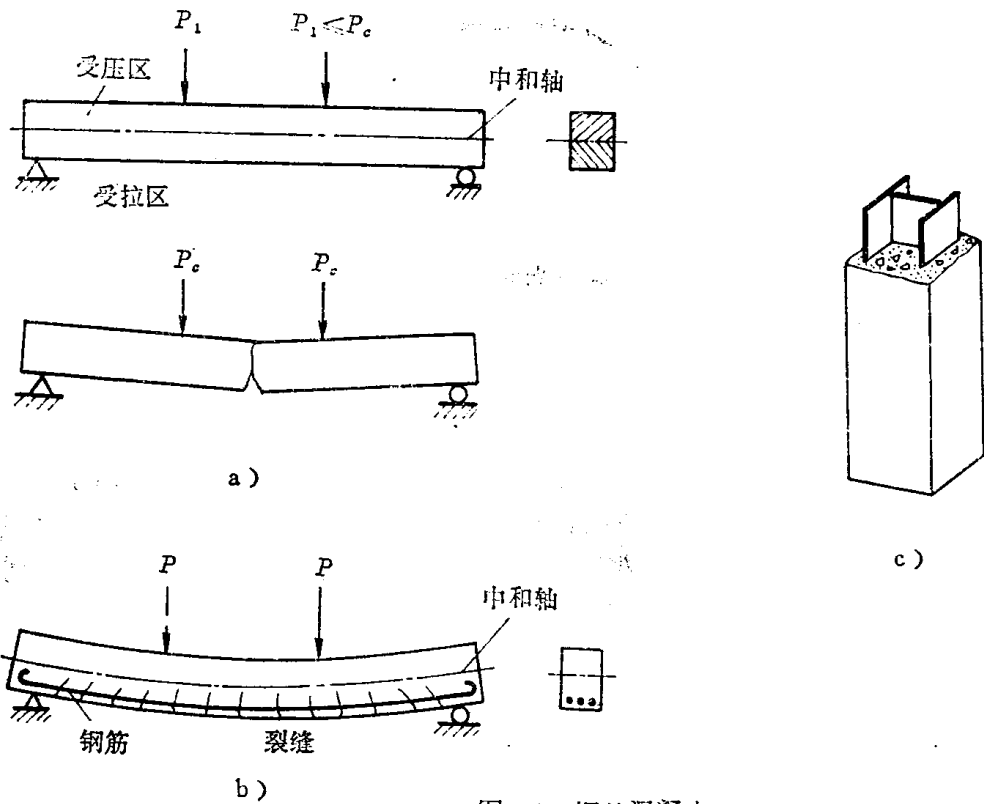


图0-1 钢筋混凝土

压强度 $1/18\sim 1/9$)。如果用素混凝土做一条梁(图0-1a),梁在荷载作用下,其截面中和轴以上受压,而中和轴以下部分受拉。由于混凝土抗拉强度远低于其抗压强度,因而在荷载不太大的情况下,受拉区混凝土即开裂,裂缝的发展使梁瞬即脆断破坏。很显然,梁的破坏是由于受拉区混凝土抗拉强度不足而引起的。此时梁不仅承载力低,破坏发生之前没能给人们关于破坏的预兆,而且,混凝土抗压强度高这一特性也未得到充分的发挥。

如果在上述混凝土梁的受拉区配置适量的钢筋(图0-1b)来加强混凝土抵抗拉力的能力,则在这种所谓的钢筋混凝土梁内不仅承载力比相同情况的素混凝土梁大许多倍,而且它在破坏之前其变形和裂缝宽度要经历一个由小到大的较长过程。这个过程给人以破坏的预兆。这种预兆在工程上具有重要意义,它可以使人们对将要破坏的构件采取安全措施。就破坏特征而言,用适量钢筋加强的混凝土梁在破坏时,首先是受拉钢筋屈服,然后是受压区混凝土达到极限强度被压碎。显然,适筋混凝土梁在破坏时钢筋和混凝土这两种材料的强度都得到了充分的发挥,比素混凝土梁承载力大,且经济合理。

在受压的素混凝土柱中配置适量的受压钢筋,协助混凝土承受压力,可以提高柱的承载力,从而可以减少柱子的截面尺寸,如图0-1c所示(图中采用了劲性钢筋)。

钢筋混凝土除了充分利用钢筋和混凝土两种材料的受力性能之外,尚有如下优点。

1. 耐久性好;
2. 耐火性好;
3. 可模性好;
4. 整体性好,因而具有较好的抗震性能;
5. 能就地取材;
6. 节约钢材。

钢筋混凝土结构也存在一些缺点,主要是:

1. 自重大。由于钢筋混凝土重度大(25 kN/m^3),使材料的运输量增大,给施工吊装带来困难。此外,自重大对于大跨度结构、高层建筑结构以及抗震都是不利的。为了克服钢筋混凝土结构自重大的缺点,目前国内外都在研究和采用轻质混凝土和高强混凝土以减轻自重和构件截面尺寸。也可以采用预应力钢筋混凝土结构减轻结构自重。

2. 消耗木料多,费工时多,施工周期长,而且有的地区还受到气候和季节的限制。为了克服这个缺点,一般可以采用装配式钢筋混凝土结构,或者改善施工方法和工艺,如采用滑模、提模和升板等施工技术。

3. 抗裂性差。钢筋混凝土结构一般是带裂缝工作的,对于一些不允许出现裂缝或者对裂缝宽度有严格限制的结构来说,要满足这些要求,往往使工程造价提高很多。采用预应力混凝土结构可以使这个缺点得到改善。

此外,钢筋混凝土的隔热、隔声性能也较差。必要时可采用泡沫混凝土或膨胀珍珠岩砂浆等材料弥补。

****第三节 混凝土结构的应用和发展**

混凝土材料在历史上的应用沿于很古老的年代。不过,最初使用的胶结材料是粘土,

石膏、气硬性石灰，后又使用火山灰、火山灰加气硬性石灰、水硬性石灰等。例如：早在罗马时代就曾用天然性水硬性材料（火山灰）建造道路、城墙和下水道。近期报载，发现我国比此早三千年就有和现代硅酸盐水泥基本相同的混凝土地面。

随着社会发展的需要，及至1824年阿斯普丁（J. Aspdin）发明波特兰水泥（现称为硅酸盐水泥）以后，制作混凝土的胶结材料发生了质的变化。此后水泥与混凝土的生产技术迅速发展，混凝土的用量急剧增加，使用范围日益扩大。至今它已成为世界上用量最多的人造材料，全世界平均每年每人超过1t以上。为了改善混凝土的性能，克服上的自述身缺陷，在波特兰水泥发明至今的一百多年，特别是近半个世纪内，混凝土结构经历了许多重大变化，有飞跃的进步。

从材料的角度来说，1850年法国人朗波特（Lambot）用加钢筋的方法制造了一条小水泥船。此后就用钢筋来增强混凝土以弥补混凝土抗拉强度低的缺陷，这种钢筋混凝土大大地促进了混凝土结构在各种工程上的应用。1887年科伦（M. Koenen）首先发表了钢筋混凝土的计算方法，1918年艾布拉姆斯（D. A. Abrams）发表了著名的计算混凝土本身强度水灰比理论。

对混凝土用钢筋增强，显然可用于受弯和受拉构件，但并未解决混凝土容易出现裂缝的问题。用张拉钢筋对混凝土预先施以压应力的方法可以保证混凝土构件在荷载作用下既能抗拉又避免裂缝出现。特别是应用高强材料时预应力方法最为有效。1928年法国弗列新涅（F. Freyssinet）提出了混凝土收缩和徐变理论，采用了高强钢丝，发明了预应力锚具，为预应力混凝土技术在工程中的应用奠定了基础。

预应力混凝土的出现，是混凝土技术发展的一次飞跃。它是通过外部条件对混凝土改性，实现对结构的功能要求。由于预应力技术在大跨建筑、高层建筑，以及在抗震、防裂和抗内压等方面的良好效果，从而大大地扩展了混凝土结构的应用范围。目前，混凝土结构的应用已从一般的工业与民用建筑、交通建筑、水工建筑和基础工程等领域扩展到了海上浮动建筑、海底建筑、地下城市建筑、高压储缸、核电站压力容器等领域。而且由于轻质高强度混凝土的发展使得钢筋混凝土结构应用的跨度和高度都不断地加大。目前世界上最高的钢筋混凝土高层建筑是美国芝加哥的水塔广场旅馆大楼（Water Tower Place），有74层，高达262 m。西德法兰克福航空港 270 m×100 m大跨度悬索飞机库即采用了预应力轻混凝土建造。法国利用预应力轻骨料混凝土建造了一座屋盖跨度达90 m的飞机库。加拿大安娜西斯桥（Annacis Bridge）属于结合梁斜拉桥，跨度465 m，是目前预应力混凝土桥梁的最大跨度。西班牙的卢纳桥（Barios de Luna Bridge）属于双索面地锚式预应力混凝土斜拉桥，跨度达到440 m。预应力高压容器内压力高达20000 kN/m²。预应力冷却塔的高度超过3150m，直径超过了100m。英国的北海采油平台海下深度达170 m，底部直径达138 m。加拿大和前苏联已分别建成高度为549 m和533 m的预应力混凝土电视塔等高耸结构。美国圣路易市建成的椭圆形中心纪念馆壳体的梁、柱均采用轻混凝土，长短轴分别达到226 m和223 m。

此外，为了防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗，保温等特殊需要，已研究和开始应用各种多孔混凝土、自应力混凝土、纤维增强混凝土和聚合物混凝土。

在设计和研究方法上，已从基于实验和经验的体系，向更为完善和更科学的方向发

展。目前,在实验研究方面应用了现代测试技术。在可靠性理论上已开始应用可靠度概念的分析方法。并在构件的计算中开始采用将强度、变形、延性贯串起来的全过程分析方法,它更接近实际,是更精确的方法。此外,当代电子计算机的迅猛发展也是结构设计发展的重要手段。借助于电子计算机,建筑结构设计能够应用现代设计理论,使结构设计周期缩短,经济效益提高,繁重的手工计算和绘图工作量大大减少。

在我国,1876年开始有了水硬性水泥,逐渐有了钢筋混凝土建筑物,但直到解放前,混凝土结构发展缓慢,应用范围不广,很少大的工程,钢筋混凝土结构从构造到设计方法上都套用当时外国的方法,没有独立的规范。

建国以后,在党和政府的领导下,我国进行了大规模的社会主义建设,钢筋混凝土结构也随着在各项建设中得到广泛应用和迅速发展,在工业建筑方面,单层和多层厂房已广泛采用了钢筋混凝土结构。并且,单层厂房广泛采用了各种配套定型的全国或地区通用的标准化构件和配件;在居住及公共建筑中,钢筋混凝土结构住宅、旅馆、影剧院、体育馆等大量涌现;在交通工程中,新型钢筋混凝土结构的铁路桥、公路桥以及现代繁华城市的钢筋混凝土立体交叉结构在不断出现;在水利及港口工程中,钢筋混凝土被广泛应用于建造水库、水坝和码头。此外,国防工程及各种特殊结构如贮油罐、仓储结构、水池、水塔和烟囱等也广泛应用钢筋混凝土。近年来钢筋混凝土高层建筑也得到迅速发展。在北京、上海、广州、深圳等地相继出现了许多高层住宅、办公楼和宾馆酒店等,例如正在建设的广东国际大厦,主塔楼有63层,地面以上高达200m,采用钢筋混凝土筒中筒结构,是我国目前最高的高层建筑。北京民航飞机库1959年成功地采用跨度达60m的块体拼装式预应力混凝土拱形屋架,比钢结构节约钢材70%以上。在铁路方面,拱桥跨度大的为丰沙线永定河七号桥,全长217.98m,全跨为跨长150m的钢筋混凝土系杆拱,矢高40m。青海龙羊峡水电站混凝土拱形重力坝高172m,是目前设计的最高大坝。闻名中外的葛洲坝水利枢纽工程是在我国第一大河主干流上修建的第一座坝,具有根治长江水害,开发长江水利资源的综合效益。现已完成二期工程,工程共开挖土石方3600多万立方米,灌混凝土470多万立方米。随着改革开放的深入和建设事业的发展,钢筋混凝土结构的应用会更加丰富多彩,范围也必将日益扩大。

建国以来,我国还在钢筋混凝土结构的设计理论和设计方法方面进行了大量的科学研究工作,取得了很大的成绩。在此基础上并吸取国外的先进经验,我国于1955年、1966年、1974年和1989先后制定了混凝土结构设计应该遵循的设计规范或暂行标准。现行的《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)就是在总结建国以来40年的丰富工程实践经验和最新的科学研究成果的基础上编制的,它达到了技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,具有国际水平。而且在某些重要的设计理论和设计方法方面,达到了国际先进水平。同时还编制了一些专门规范、规程和设计手册,这对于统一设计标准,保证工程质量,提高设计速度,节约材料和降低造价等方面都起了重要作用。

第四节 本课程的特点及学习方法

如前所述,钢筋混凝土结构是我国目前工业与民用建筑中应用最为广泛的一种结

构。不论是从事设计、科研或施工工作，还是从事工程管理部门工作的工业与民用建筑工作者都要经常接触它。因此，它被列为工业与民用建筑专业主要课程之一。

钢筋混凝土结构课程通常按内容的性质可归纳为“钢筋混凝土基本构件”和“钢筋混凝土房屋结构”两大部分。前者主要讨论钢筋混凝土构件的受力性能、设计计算方法和配筋构造等，是钢筋混凝土结构的基本理论；后者主要讨论钢筋混凝土房屋结构的选型、内力分析方法和构造处理等问题，包括钢筋混凝土梁、板结构，单层厂房结构和多高层房屋结构。通过对这些内容的学习，要求学生基本上能掌握进行这些结构设计所必须的理论知识。然后再通过本课程课程设计和毕业设计等实践性教学环节，初步学会如何运用这些理论知识来正确进行设计和解决工程中的实际技术问题。

“钢筋混凝土基本构件”在性质上相当于钢筋混凝土的“材料力学”，因而它与材料力学有很多相似之处，但又有很多不同之处。在学习本课程时要注意区分它与材料力学的差异。例如，材料力学主要是研究单一、匀质、连续和弹性材料的构件，而“钢筋混凝土基本构件”则是研究钢筋和混凝土这两种力学性质差别很大的材料组成的构件，其中混凝土又是非匀质、非连续、非弹性的材料。因而，可以说材料力学解决问题的方法，如利用几何、物理和平衡关系建立基本方程的途径，对于钢筋混凝土也是适用的；但是要注意对于每一种这样的关系在具体内容上要考虑钢筋混凝土性能上的特性。

材料力学、结构力学等课程，侧重于构件的应力、内力和变形分析，其解答往往是唯一的。而钢筋混凝土结构课程所要解决的不仅仅是强度和变形计算问题，主要的还是“设计”问题。对构件设计来说，它包括决定方案、截面型式、截面尺寸、材料选择和配筋构造等，而且还需要考虑安全、适用、经济和施工方面的合理性、可行性等等，是一个综合性的问题。同一个构件在给定的荷载作用下，可以有不同的截面型式、尺寸和配筋数量，只有经过综合分析比较才能做出合理的选择。而在房屋结构设计中，这种综合性更加明显和复杂。所以，在学习钢筋混凝土结构课时，要注意对多种因素进行综合分析的设计方法这个特点，培养自己对问题的综合分析和归纳的观点和能力。

本课还具有实践性较强的特点。这是因为，一方面设计理论和计算方法是建立在结构性能试验和前人工程实践的基础上的，因而很多计算公式是根据试验资料，并特别注意它的适用范围和条件。另一方面，设计者除了理论知识外，还需要在方案选择和细部处理手法等方面的经验，而这些经验只有经过大量工程实践才能积累起来。因而学习本课时要特别重视加强实践。

最后还应指出，为了贯彻国家的技术经济政策，控制设计质量，加快设计速度，达到设计方法上必要的统一和标准化，国家各部（委）特颁布了一系列的具有技术法律性质的“设计规范”或“设计规程”，作为设计者必须遵守的准则。本课程直接依据的是1989年颁布的《混凝土结构设计规范》（GBJ 10—89），此外，还有1984年颁布的《建筑结构设计统一标准》（GBJ 68—84）、1986年颁布的《建筑结构荷载规范》（GBJ 9—87）和1989年颁布的《建筑抗震设计规范》（GBJ 11—89）等。所以，在学习本课时，要注意熟悉规范，并正确地运用设计规范。

第一章 钢筋混凝土材料的主要力学性能

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土这两种性质不相同的材料组成，它们共承受和传递结构的荷载。钢筋混凝土结构的计算理论、计算公式的建立，都与这两种材料的力学性能密切相关。在工程中，适当地选用材料，合理地利用这两种材料的力学性能，不仅可以改善结构和构件的受力性能，而且也有可能取得较好的经济效果。因此，了解钢筋和混凝土这两种材料的力学性能，不仅对理论研究者，而且对工程技术人员都是非常重要的。

本章主要从强度和变形两个方面，阐述这两种材料的力学性能、它们的共同工作，及在工程中这两种材料的使用。

第一节 混 凝 土

一、混凝土的强度

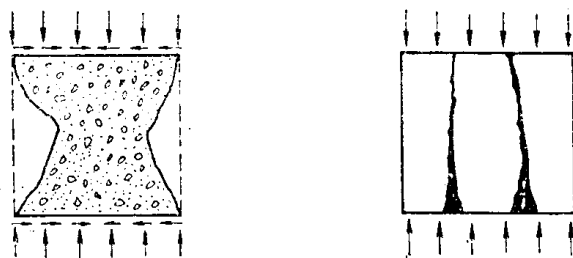
混凝土强度是混凝土受力性能的一个基本标志。荷载的性质及混凝土受力条件的不同，使混凝土具有不同的强度。在工程中常用的混凝土强度有：立方强度、轴心抗压强度、轴心抗拉强度、弯曲抗压强度等。

（一）混凝土的立方强度及等级

混凝土的立方强度，是衡量混凝土强度大小的基本指标，是评价混凝土等级的标准。我国规范规定，用边长为150 mm的标准立方体试件，在标准养护条件下（温度20℃，相对湿度不小于90%）养护28天后在试验机上试压。试验时，试块表面不涂润剂，全截面受力、加荷速度约为 $0.15\sim 0.25\text{ N/mm}^2\cdot\text{s}$ 。试块加压至破坏时，所测得的极限平均压应力，作为混凝土的立方强度，用符号 f_{cu} 表示，单位为 N/mm^2 。

混凝土的立方强度，是在上述条件下取得的。试验表明，混凝土立方强度不仅与养护期的温度、湿度、龄期等因素有关，而且与试验的方法有关。试件在试验机上受压时，纵向缩短，横向就要扩张。在一般情况下，试件的上下表面有内向的摩擦力，这是由试件横向扩张产生的。摩擦力就如同在试件上下端各加了一个套箍，它阻碍了试件的横向变形，这样就延缓了裂缝的开展，从而提高了试件的抗压极限强度。在试验过程中也可以看到，试件破坏时，首先是试块中部外围混凝土发生剥落，试块成为图1-1a的形状。这也说明，试块和试验机垫板之间的摩擦对试块有“套箍”作用，且这种“套箍”作用，越靠近试块中部则越小。

图1-1b是上下表面加润滑剂的试件破坏情况。由于这种试件在受压时没有“套箍”作用的影响，横向变形几乎不受约束。试验表明，这样的试件不仅测得的混凝土抗压强度低，而且试件破坏情况与前述试件也不相同。



a) 不涂润滑剂破坏情况 b) 涂润滑剂破坏情况
图1-1

试验还表明，混凝土的立方体抗压强度还与试块的尺寸有关，立方体尺寸越小，测得混凝土抗压强度也越高，这也可以从上述试块和试验机垫板之间的摩擦力对试块的影响得到解释。

我国规范规定的混凝土强度等级，是按立方强度标准值（即有95%超值保证率，详见第二章第六节）确定的，用符号C表示，共有12个等级，即：C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。字母C后面的数字表示N/mm²为单位的立方强度标准值。

（二）混凝土的轴心抗压强度（棱柱体强度）

用标准棱柱体试件测定的混凝土抗压强度，称为混凝土的轴心抗压强度或棱柱强度，用符号 f_c 表示（这里的 f_c 及（四）中的 f_t 虽与第二章中的设计值表示符号相同，但其实质不同，本章中的 f_c 、 f_t 只表示试验值）。

在实际工程中，受压构件的高度 h 通常要比构件截面的边长 a 大许多倍，而并非前述确定混凝土立方体抗压强度时的立方体。这时，混凝土的工作条件与前述立方体试块时的工作条件大不相同，因而二者的强度也不相同。为了用于对实际工程中受压构件的设计和计算，就必须测定混凝土在实际受压构件中的强度。为此，也必须确定和实际受压构件工作条件相同或接近的试件，用以测定混凝土在实际轴心受压构件中的强度。试验表明，棱柱体试件当其高度 h 与截面边长 b 之比太小时，由于前述试件上下表面摩

“套箍”作用的影响，使混凝土的抗压强度，随 h 与 b 的比值减小而增大；当 h 与 b 的比值太大时，由于难以避免的附加偏心距的影响，使混凝土的强度随 h 与 b 的比值的增大而减小。而当试件的 h 与 b 之比值在2~4之间时，混凝土的抗压强度比较稳定。这是因为在此范围内既可消除垫板与试件之间摩擦力对抗压强度的影响，又可消除可能的附加偏心距对试件抗压强度的影响。因此，国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》（GBJ 81—85）规定以150mm×300mm的试件作为试验混凝土轴心抗压强度的标准试件。

混凝土的立方抗压强度与轴心抗压强度之间关系很复杂，与很多因素有关。根据试验分析，混凝土棱柱体抗压强度平均值，与边长为150 mm立方体抗压强度平均值的关系为：

$$\mu_{f_{pr,i}} = 0.76\mu_{f_{cu,15}}$$

$\mu_{f_{pr,i}}$ —— 棱柱体抗压强度平均值（N/mm²）。

式中： $\mu_{f_{cu,15}}$ —— 边长为150 mm立方体抗压强度平均值（N/mm²）。

考虑到结构中混凝土强度与试件强度之间的差异，根据以往的经验，并结合试验数

据分析,以及参考其他国家的有关规定,对试件强度修正系数取为0.88,则结构中混凝土轴压强度平均 μ_{f_c} 为:

$$\mu_{f_c} = 0.88 \times 0.76 \mu_{f_{cu,15}} = 0.67 \mu_{f_{cu,15}}$$

在钢筋混凝土结构中,计算轴心受压构件(例如轴心受压柱、桁架受压腹杆等)时,是采用混凝土的轴心抗压强度(棱柱强度)作为计算指标的。

(三)混凝土的弯曲抗压强度

当混凝土构件受弯和偏心受压时,截面上的压应力分布是不均匀的,这时,混凝土的强度和前述的截面压应力均匀分布的轴心受压构件是不相同的。混凝土在非均匀受压下的强度,称为弯曲抗压强度。关于混凝土的弯曲抗压强度,将在第二、四章中详述。

(四)混凝土的轴心抗拉强度

混凝土的抗拉强度远小于其抗压强度,一般只有抗压强度的 $1/18 \sim 1/9$ 。因此,在钢筋混凝土结构中,一般不采用混凝土承受拉力。但是,在钢筋混凝土结构构件中,处于受拉状态下的混凝土,在未开裂之前,确实承受了一部分拉力。如果计算混凝土构件在混凝土开裂之前的承载力,或者控制混凝土构件的开裂,都必须知道混凝土的抗拉强度。混凝土的轴心抗拉强度用 f_t 表示。

混凝土抗拉强度的测定方法分为两类:

一类为直接测试法,即对棱柱体试件两端预埋钢筋,且使钢筋位于试件的轴线上,然后施加拉力(图1-2a),试件破坏时截面的平均拉应力即为混凝土的轴心抗拉强度。这种试验,对试件的制作及试验都要求较严格。

另一类为间接测试方法,如弯折试验、劈裂试验(图1-2b)等。这些试验一般都需要较高的试验技术及条件。

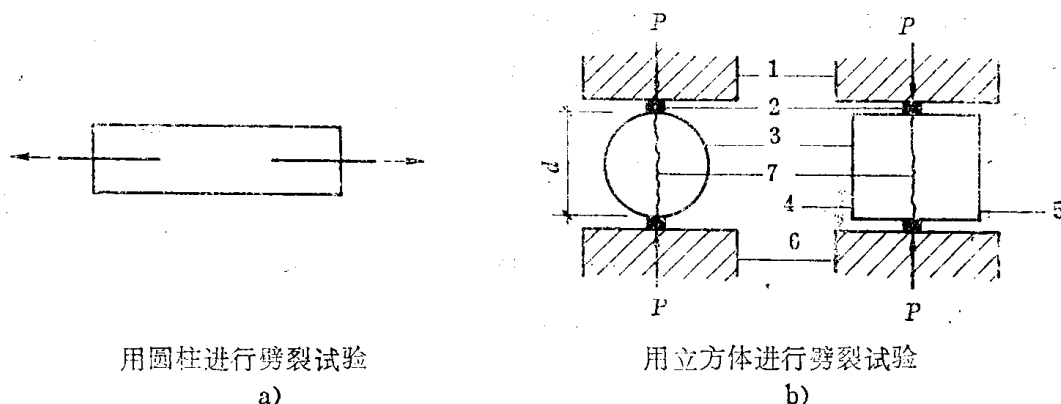


图1-2

1—压力机上压板;2—垫条;3—试件;4—浇模顶面;5—浇模底面;6—压力机下压板;7—试件破裂线

根据国内72组轴心抗拉试件强度与边长为200 mm立方体强度的对比试验,两者平均值的关糸:

$$\mu_{f_t,sp} = 0.58 \mu_{f_{cu,20}}^{2/3}$$

将其换算为边长为150 mm的立方体标准试件,考虑尺寸效应影响,上式变为:

$$\mu_{f_t,sp} = 0.58 \times (0.95 \mu_{f_{cu,15}})^{2/3} = 0.56 \mu_{f_{cu,15}}^{2/3}$$

上两式的单位为 kgf/cm^2 。与轴压强度相同，取试件强度修正系数为0.88，同时将计量单位由 kgf/cm^2 改为 N/mm^2 ，则结构中混凝土轴心抗拉强度平均值：

$$\mu_{f_t} = 0.88 \times 0.56 \mu_{f_{cu,15}}^{2/3} \times 0.1^{1/3} = 0.23 \mu_{f_{cu,15}}^{2/3} \quad (\text{N}/\text{mm}^2)$$

混凝土的轴心抗压强度、弯曲抗压强度及轴心抗拉强度值，我国规范已经给出（见第二章附表），进行结构计算时，可以直接查用，而不必再根据它们与立方强度的关系进行换算。

在实际工程中检验混凝土的强度时，由于一般的单位要作混凝土的轴心抗压、轴心抗拉强度试验比较困难，而混凝土的轴心抗压、轴心抗拉强度又与立方体抗压强度存在上述数量关系，因而只需做混凝土立方体抗压强度试验，就可以计算出相应轴心抗压、轴心抗拉强度，或者直接用立方体抗压强度来衡量混凝土各种强度指标是否符合要求，这样就为实际工作带来很大方便，这也是为什么我们要知道混凝土的立方体强度与其他强度指标的关系的原因之一。

考虑到高强度混凝土的脆性破坏特征和工程经验不足，我国《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89对强度等级为C45、C50、C55、C60的混凝土的轴心抗压强度、轴心抗拉强度、弯曲抗压强度的标准值，除按前述与立方体抗压强度的关系进行计算外，还分别乘以脆性折减系数0.975、0.95、0.925、0.9。

（五）复合应力状态混凝土的强度

在钢筋混凝土结构中，混凝土很少处于单向应力状态，而往往处于复合应力状态之下。例如框架梁、柱节点区的混凝土，它既受到柱轴向力的作用，也受到两个方向梁的约束；处于局部受压状态下的混凝土，所受到的也是多向应力，即处于复合应力状态之下。处于复合应力状态之下的混凝土，其强度和变形都有明显的变化。研究混凝土在复合应力状态下的强度，不仅对认识强度极限状态有重要的意义，而且对工程实践也有重要的意义。

对于处于复合应力状态下的混凝土，目前尚未建立起完善的强度理论，只是借助于有限的资料，推荐一些近似方法作为计算依据。因此，也是一个需要进一步研究的问题。

对于双向应力状态，如两个相互垂直的平面上作用有法向应力 σ_1 和 σ_2 ，第二个平面上应力为零，这时，双向应力状态下混凝土强度变化曲线如图1-3所示。

从图1-3可以看出：

（1）当双向受压时（第三象限），混凝土一向的强度，随另一向压应力的增加而增加。双向受压混凝土的强度要比单向受压强度最多可提高约27%。

（2）当双向受拉时（第一象限），混凝土一向的抗拉强度，与另一向拉应力大小基本无关，即抗拉强度和单向应力时的抗拉强度基本相等。

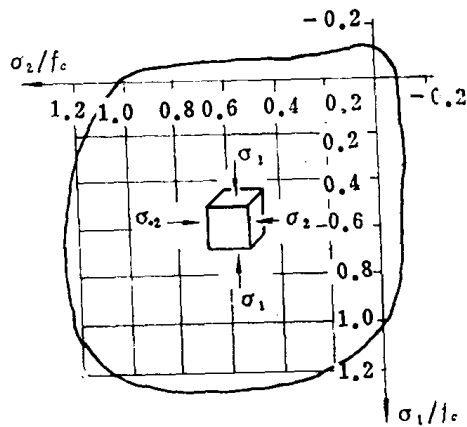


图1-3

(3) 当一向受拉、一向受压时(第二、四象限)混凝土一向的强度,几乎随另一向应力的增加而呈线性降低。

在一个单元体上,如果除作用有剪应力 τ 外,并在一个面上同时作用着法向应力 σ ,就形成拉剪或压剪复合应力状态。这时,其强度变化曲线如图1-4所示。从图1-4可以看出,当 $\frac{\sigma}{f_c} > 0.5 \sim 0.7$ 时(混凝土在构件中受压时经常所处的状态),其抗压强度由于剪应力的存在而降低。因此,当结构中出现剪应力时,将要影响梁与柱截面受压区混凝土的强度。从图1-4中还可看出, $\frac{\sigma}{f_c} \approx 0.6$ 时,混凝土的抗剪强度达到最大。

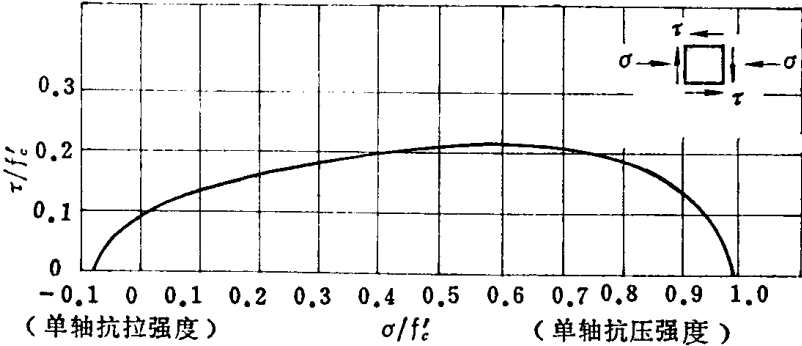


图1-4

混凝土三向受压时,其任一向的抗压强度和极限应变都会随其他两向压应力的增加而有较大程度的增加。根据对圆柱体周围加液压约束混凝土,并在轴向加压,直至试件破坏,得到下列关系式:

$$f_{cc} = f_b + 4.1\sigma_r$$

式中 f_{cc} —— 被约束试件的轴心抗压强度;
 f_b —— 非约束试件的轴心抗压强度;
 σ_r —— 侧向约束压力。

较早试验资料给出的侧向压应力系数为4.1,后来的试验资料给出的侧向压应力系数为4.5~7;当侧向压应力低时,就会得到较高的侧向应力系数。

在实际工程中,常常采用横向钢筋约束混凝土的办法提高混凝土的抗压强度。例如,在柱中采用密排螺旋钢筋,由于这种钢筋有效地约束了混凝土的横向变形,所以使混凝土的强度和延性都有较大的提高。

在现浇框架结构的梁柱节点处的混凝土,由于其处于多向的受压状态,其工作条件较有利。因而,由于施工方面的原因,节点处混凝土等级虽可能稍低于柱的其他部分的混凝土,但在结构工作中,节点处的混凝土强度可能并不比柱的其他部位低,当所设计框架梁柱节点处混凝土等级相差不超过5时,节点处混凝土一般可不采取特殊施工措施,直接采用梁的混凝土等级。

二、混凝土的变形

混凝土的变形性能,是混凝土的又一个重要力学性能指标。由于钢筋混凝土结构的