

第 1 章 绪 论

基本内容:主要介绍了建筑结构发展沿革,混凝土结构、砌体结构、钢结构的优缺点与应用,建筑结构抗震的发展,本课程的主要内容及特点和学习方法。

学习要求:

- (1)了解建筑结构发展沿革,混凝土结构、砌体结构和钢结构的应用;
- (2)熟悉混凝土结构、砌体结构、钢结构的优缺点;
- (3)掌握本课程的主要内容及特点和学习方法。

1.1 建筑结构沿革

• 1.1.1 建筑结构发展沿革 •

结构按承重结构所用的材料分类,可分为混凝土结构(图 1.1)、砌体结构(图 1.2)、钢结构(图 1.3)和木结构(图 1.4)等,前三类结构是目前应用最广泛的结构,俗称三大结构。本书只介绍这三大结构的计算、构造等有关内容。



图 1.1 混凝土结构



图 1.2 砌体结构

土木工程结构有着悠久的历史。我国黄河流域的仰韶文化遗址就发现了公元前 5000 年—前3000 年的房屋结构痕迹。2000 多年以前,我国已有了“秦砖汉瓦”。我国早期建筑采用的多为木结构的构架制,砖、石仅作填充维护墙之用,如气势宏伟的北京故宫及大量的民居等。而全长达 6 350 多千米的万里长城则是砖砌体的杰作。此外高 40 m,坐落在河南登封的

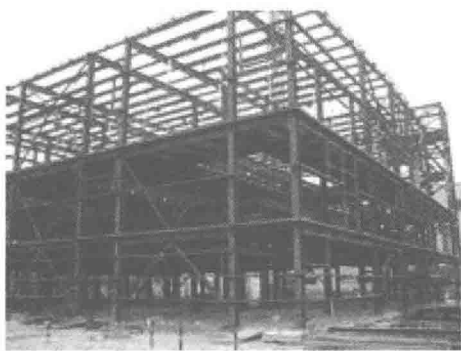


图 1.3 钢结构

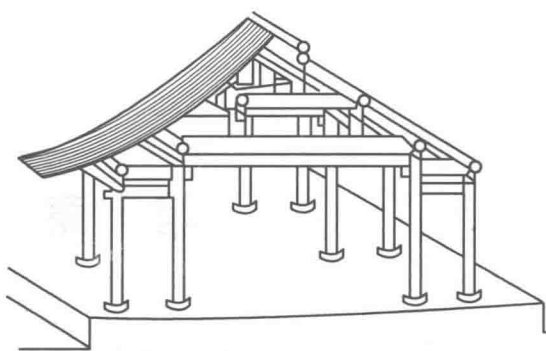


图 1.4 木结构

嵩岳寺塔是现存最古老的砖砌佛塔。金字塔(建于公元前 2700—前 2600 年)、万里长城、赵州桥等都是结构发展史上的辉煌之作。

17 世纪工业革命后,资本主义国家工业化的发展推动了建筑结构的发展。17 世纪开始使用生铁,19 世纪初开始使用熟铁建造桥梁和房屋。自 19 世纪中叶开始,钢结构得到蓬勃发展。19 世纪 20 年代,美国人发明水泥,钢筋混凝土结构得到了迅猛发展。1861 年法国花匠用水泥砂浆制作花盆,其中放置钢筋网增加其强度,从而开创了“蒙氏体系”。随着 19 世纪末工业的发展,水泥、钢材质量不断提高;随着科学研究的深入,计算理论不断改进;由于施工经验的不断积累、完善,钢筋混凝土结构得到相当广泛的应用。到了 20 世纪 20 年代,德国人制造了钢筋混凝土薄壳结构。1928 年,法国人就已制成了预应力混凝土构件,预应力混凝土结构的出现使混凝土结构的应用范围更加广泛。

我国在土木工程结构领域也取得了辉煌成就。建筑结构方面,2008 年建成矗立于我国上海浦东陆家嘴的上海环球金融中心,高 492 m,地上 101 层,地下 3 层。上海中心大厦,设计高度 632 m,118 层,结构高度为 580 m,是中国结构第二高楼,如图 1.5 所示。2008 年 6 月建成了主跨跨径达 1 088 m 的当时世界第一跨径的苏通斜拉桥,如图 1.6 所示。2002 年中国建成跨度 550 m 世界最大跨径钢拱桥钢结构大桥——卢浦大桥。1988 年建成的飞云江桥,位于浙江瑞安,跨越飞云江,全长 1 718 m,最大跨度 62 m,桥面宽 13 m,混凝土强度等级 C60,是我国最大的预应力混凝土筒支梁桥。



图 1.5 上海浦东陆家嘴



图 1.6 苏通大桥

• 1.1.2 混凝土结构的特点与应用 •

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土这两种物理力学性能完全不同的材料组成共同受力的结构。这种结构能很好地发挥钢筋和混凝土这两种材料不同的力学性能,形成受力性能良好的结构构件。

钢筋混凝土之所以可以共同工作,首先钢筋与混凝土有着近似相同的线膨胀系数,不会因环境不同而产生过大的应力使之破坏;其次钢筋与混凝土之间有良好的黏结力,有时钢筋的表面也被加工成有间隔的肋条(称为变形钢筋)来提高混凝土与钢筋之间的机械咬合,当此仍不足以传递钢筋与混凝土之间的拉力时,通常将钢筋的端部弯起 180° 弯钩。此外,混凝土中氢氧化钙提供的碱性环境,在钢筋表面形成一层钝化保护膜,使钢筋相对于中性与酸性环境更不易腐蚀。

钢筋混凝土结构在土木工程中被广泛应用,这种结构除了能够很好地利用钢筋和混凝土这两种材料各自的性能外,还具有取材容易,耐久、耐火性好,整体性好,刚度大,可模性好等优点。

钢筋混凝土结构具有以下缺点:自重大,抗裂性能差,施工工期长,工艺复杂,且受环境、气候影响较大,隔热、隔声性能相对较差,并且不易修补与加固。因此,对于限制裂缝宽度的结构,就需要采取专门的结构或工程构造措施。

这些缺点使得钢筋混凝土结构的应用范围受到一些限制,但随着科学技术的发展,上述缺点正在逐步克服和改善之中。如采用轻质高强混凝土,可大大降低结构的自重;采用预应力混凝土,可减少混凝土开裂;采用粘钢或植筋技术等,可解决加固的问题;采用装配式结构工厂化生产的方式,可克服工期长、受环境气候影响大等问题。

钢筋混凝土结构可按不同的分类方法进行分类。

①按受力状态和构造外形,可分为杆件系统和非杆件系统。杆件系统是指受弯、拉、压、扭等作用的基本杆件(如梁、板、柱等);非杆件系统是指大体积结构及空间薄壁结构等。

②按制作方式,可分为整体(现浇)式、装配式、整体装配式三种。整体(现浇)式结构刚度大、整体性好,但施工工期长、模板工程多;装配式结构可实现工厂化生产,施工速度快,但整体性相对较差,且构件接头复杂;整体装配式兼有整体式和装配式这两种结构的优点。

③按有无预应力,分为普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。预应力混凝土结构是指在结构受荷载作用之前,人为地制造一种压应力状态,使之能够部分或全部抵消由于荷载作用所产生的拉应力,提高结构的抗裂性能。

在工业与民用建筑工程中,住宅、商场、办公楼、厂房等多层建筑广泛地采用钢筋混凝土框架结构、剪力墙结构、筒体结构等。在大跨度建筑方面,由于广泛采用预应力技术和拱、壳、V形折板等形式,已使建筑物的跨度达100 m以上。

在交通工程中,大部分的中、小型桥梁都采用钢筋混凝土建造,尤其是拱形结构的应用,使得大跨度桥梁得以实现。一些大跨度桥梁常采用钢筋混凝土与悬索或斜拉结构相结合的形式,悬索桥如我国的润扬长江大桥、日本的明石海峡大桥;斜拉桥如我国的杨浦大桥、日本的多多罗桥等,都是极具代表性的中外名桥。

在水利工程中,钢筋混凝土结构也扮演着极为重要的角色。世界上最大的水利工程——长江三峡水利枢纽中高达 185 m 的拦江大坝,即为混凝土重力坝,坝体混凝土用量达 1 527 万 m^3 ;此外,在仓储构筑物、管道、烟囱及电视塔等特殊构筑物中也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土,如上海电视塔和国家大剧院等。

• 1.1.3 砌体结构的特点与应用 •

砌体是由砖、石或各种砌块用砂浆砌筑黏结而成的材料。由砌体构成墙、柱作为建筑物主要受力构件的结构称为砌体结构。由普通烧结砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖作为块体与砂浆砌筑而成的结构称为砖砌体结构;由天然毛石或经加工的料石与砂浆砌筑而成的结构称为石砌体结构;由普通混凝土、轻骨料混凝土等材料制成的空心砌块作为块体与砂浆砌筑而成的结构称为砌块砌体结构。根据需要在砌体的适当部位配置水平钢筋、钢筋网或竖向钢筋作为建筑物主要受力构件的结构总称为配筋砌体结构。砖砌体结构、石砌体结构、砌块砌体结构以及配筋砌体结构统称为砌体结构,在铁路、公路、桥涵等工程中又称为圬工结构。在我国悠久的历史中,砌体结构应用非常广泛,其中石砌体结构与砖砌体结构更是源远流长。

砌体结构具有下列优点:砌体结构材料如石材、页岩、砂等是天然材料,分布广,易于就地取材,具有较好的耐火性和耐久性,采用砌体结构较现浇钢筋混凝土结构可以节约水泥、钢材和木材,即节约三材。

砌体结构也具有以下缺点:砌体结构自重大,强度不高,砂浆和砖、石、砌块之间的黏结力较弱,砌体结构砌筑工作繁重。

砌体结构具有的优点,使其在村镇建筑中应用广泛,但砌体结构存在的缺点,也限制了其在某些环境中的应用。采用砌体可以建造房屋的承重结构及其他部件,包括基础等。无筋砌体房屋一般可建 5~7 层,配筋砌块剪力墙结构房屋可建 8~18 层。在某些产石材的地区,可以用毛石或料石建造低层房屋。采用砌体可以建造特种结构,如烟囱、管道支架、对渗水性要求不高的水池等。在交通运输建设方面,砌体结构可用于桥梁工程、隧道工程、地下渠道、涵洞、挡土墙等。在水利建设方面,可用石材砌筑坝和渡槽等。

• 1.1.4 钢结构的特点与应用 •

钢结构是以钢板和型钢等钢材,通过焊接、铆接或螺栓连接等方法构筑成的工程结构。

与混凝土结构相比,钢结构具有如下突出优点:强度高,自重轻,材质均匀,可靠性高,工业化程度高,工期短,环境影响小,连接方便,改造容易,重复利用率高,抗震性能好,密封性好。

钢结构也存在以下主要缺点:耐腐蚀性差,耐火性差,稳定问题较突出,价格相对较贵。

钢结构优点突出,应用很广泛,普通钢结构在土木工程中主要应用在以下几方面:

①重型工业厂房:如大型冶金企业、火力发电厂和重型机械制造厂等的一些车间,由于厂房跨度和柱距大、高度高,设有工作繁忙和起重量大的起重运输设备及有较大振动的生产设

备,并需兼顾厂房改建扩建要求,常采用由钢柱、钢屋架和钢吊车梁等组成的全钢结构。

②高层及超高层房屋:房屋越高,所受侧向水平作用如风荷载及地震作用的影响也越大。采用钢结构可减小柱截面,减小结构重量,增大建筑物的使用面积,提高房屋抗震性能。

③大跨度结构:由于受弯构件在均布荷载下的弯矩与跨度的平方成正比,当跨度增大到一定程度时,为减轻结构自重,采用自重较轻的钢结构具有突出的优势。

④高耸结构:电视塔、输电线塔等高耸结构采用钢结构,可大大减少地基处理费用,降低运输费用,当施工现场场地受限时,亦便于施工组织。

⑤密闭结构:密闭性要求较高的高压容器、煤气柜、贮油罐、高炉和高压输水管等,适合采用钢板壳结构。

⑥临时结构:需经常装拆和移动的结构,如各类钢脚手架、塔式起重机和采油井架等。

此外,大跨桥梁结构、水工结构中的闸门、各种工业设备的支架如锅炉支架等,也常采用钢结构。随着我国钢材年产量超过4亿t,除上述采用钢结构的传统领域外,钢结构在高速公路、铁路、物流业乃至游乐设施等领域也得到了越来越广泛的应用。

• 1.1.5 建筑结构抗震的发展 •

我国是一个多地震国家,历史上曾发生过多次强烈地震,近几十年来更是地震频繁,且在人口稠密的大城市和工业区不断发生。1976年7月28日,北京时间凌晨3时42分,在人口达100余万人的工业城市唐山市,发生了里氏7.8级的强烈地震。震中位置在市区东南,震源深度约11km,有明显的地震断裂带贯通全市,市区地震烈度高达11度,房屋建筑普遍倒塌及场地破坏(图1.7、图1.8),幸存无恙者甚少。震害遍布唐山外围十余县,波及百余公里外的北京、天津等重要城市。死亡24万余人,伤残16万人之多,灾情之重,为世界地震史上所罕见。



图 1.7 房屋毁损



图 1.8 场地破坏

2008年5月12日14时28分,发生在四川汶川的里氏8.0级特大地震,震源深度14km左右,震中烈度超12度。此次地震不仅在震中区附近造成灾难性的破坏,而且在四川省和邻近省市大范围造成破坏,震感更是波及全国绝大部分地区乃至国外,“5·12”汶川特大地震使44万余平方千米土地、4600多万人口遭受灾难袭击。其中,重灾区面积达12.5万余平方千米,房屋倒塌778.91万间,损坏2459万间(图1.9至图1.12)。这是新中国成立以来破坏力最强、经济损失最大、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震灾害。



图 1.9 砌体结构毁损

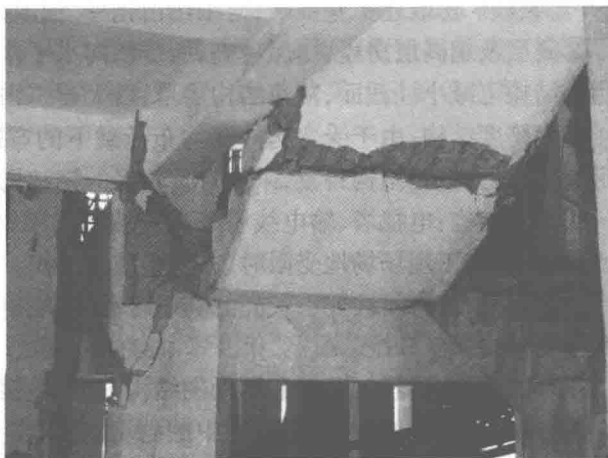


图 1.10 房框结构楼梯毁损



图 1.11 农房毁损



图 1.12 农房毁损

地震不但造成大量房屋倒塌、破坏,还引起山体崩塌、滚石、滑坡、道路破坏、堰塞湖、火灾等地质灾害和次生灾害,由此造成大量人员伤亡、财产损失、居民无家可归、学生无法正常上课。

研究解析地震的成因及其内在运动规律,认真总结地震的特点和经验教训,从中积累抗御地震的宝贵经验,减少未来大地震给人类可能造成的损失是工程界永恒的课题。地震带给人们灾难的同时,也检验了建筑物的质量和现行设计标准的合理性。

新中国成立以来,我国总结了历次强震的震害经验,形成了一门新的学科,即“抗震防灾学”。“抗震防灾学”是通过工程技术手段,采取各种防范措施,以尽量减轻地震灾害的科学。我国抗震规范充分吸收国内外大地震的经验教训,以及有价值的科学研究成果和工程实践经验,从 1966 年邢台地震以后提出的“基础深一点、墙壁厚一点、屋顶轻一点”的概念,到 1976 年唐山地震以后创造的砖房加“构造柱圈梁”技术,直到今天的“小震不坏,中震可修,大震不倒”的“三水准”抗震设防理论,抗震规范也经历了:1974 年版《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—74)(试行),这是我国第一本初级的、反映当时技术和经济水平的低设防水平的规范,仅有一些简单的基本规定;1978 年版《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—78),第一次提出适用于设防烈度 7~9 度工业与民用建筑的抗震设计要求,但 6 度区仍为非设防区,也未提出“大震不倒”的设防标准;1989 年版《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89),增加对 6 度

区的抗震设防要求,提出强度验算和变形验算的两阶段设计要求,增加砌块房屋、钢结构单层厂房和土、木、石房屋抗震设计内容;2001年版《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001),1989规范和2001规范引入弹塑性分析法和时程分析法抗震计算,提出“小震不坏,中震可修,大震不倒”的抗震设防目标;2010版《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010),从2010年12月1日开始实施,建筑抗震性能设计方法被明确地编入其中,充实了中国特色的“三水准两阶段”抗震设防理念;现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010,2016年版)对2010年版进行了局部修订,自2016年8月1日起实施。

随着社会的发展进步,我国抗震设防标准也在不断完善。抗震规范是为实现工程抗震设防目标而制定的工程技术标准。任何一个国家的抗震设计规范都与其当时的工程、材料技术水平和经济发展水平密切相关。我国抗震规范版本的升级,反映了工程抗震科学技术与工程实践的发展和进步。

1.2 课程内容及特点和学习方法

• 1.2.1 本课程的主要内容 •

本课程属于专业基础课,主要介绍建筑结构中的三大结构——钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本知识,内容包括:钢筋混凝土的材料、结构计算原则、钢筋混凝土基本构件、钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算、预应力混凝土结构的基本知识、钢筋混凝土现浇楼盖构造、砌体结构基本知识、钢结构的材料和连接、钢柱和钢梁、结构施工图识读、三大结构抗震设防要求及抗震构造措施等。本课程的教学目的是使学生通过课程学习,能熟知结构相关的基本概念,掌握建筑结构的基本知识和理论,了解现行规范对结构构件计算及构造的有关规定,熟悉结构计算的基本方法和步骤,能识读结构施工图等,进而能运用所获得的基本理论知识解决一般工程中的结构问题。

• 1.2.2 本课程的特点和学习方法 •

本课程的特点是内容多、符号多、公式多、构造规定也多,在学习中要注意理解概念,忌死记硬背、生搬硬套,要突出重难点的学习,特别是要做好复习总结工作。本课程和许多课程关系密切,互相呼应配合,有的需要先行掌握,有的是后续课程,如建筑材料课程中有关混凝土和钢材的基本知识。要正确理解三大结构的性能,首先必须熟悉混凝土、砌块和钢材的性能,尤其是力学性能。建筑力学课程,如建筑力学课程中对各种结构的内力分析和变形计算,都是结构计算中要用到的,还必须掌握房屋构造课程有关建筑方案、房屋构造方面的知识等。

因此,学习本课程时必须要注意:

①工程项目的建设是国家的重要工作,必须依照国家颁布的规范进行。设计人员必须遵照各种结构类型的设计规范或规程进行设计。各种设计规范或规程是具有约束力的文件,其

目的是使工程结构的设计在符合国家经济政策的条件下,保证设计的质量和工程项目的安全可靠。

②要重视构造要求。结构设计离不开计算,但现行的计算方法一般只考虑荷载效应,其他影响因素如混凝土收缩、温度影响以及地基的不均匀沉降等难以用计算公式来表达。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010,2015 年版)等根据长期的工程实践经验,总结一些构造措施来考虑这些因素的影响。因此,在学习本课程时,除了对各种计算公式了解和掌握外,对于各种构造措施也必须给予足够的重视。

③由于工程结构类型很多,不同的结构类型有不同的设计规范或规程,但基本理论是一致的,应重点学好基本理论。

本章小结

(1)按照建造材料,常见建筑结构的形式的有钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构。三种结构具有各自的优缺点,在工程中都有广泛的应用。

(2)我国抗震规范经过多年的发展,历经多次修订,形成了“三水准两阶段”抗震设防理念,在历次地震中已证明只要按照正规程序建造的建筑物都能满足抗震的需求。

(3)课程内容逻辑性强,计算公式多数为半解析、半经验,因此学习过程中理论与实践结合、书本与规范相结合就尤为关键。

复习思考题

- 1.1 建筑结构主要有哪几种结构? 主要的优缺点是什么?
- 1.2 钢筋和混凝土结合在一起共同工作的基础有哪些?
- 1.3 简述我国建筑抗震的发展历程。
- 1.4 本课程包括哪些内容? 它与哪些课程密切相关? 学习本课程应注意的要点是什么?

第2章 建筑结构材料

基本内容:主要介绍了混凝土、砌体和钢材三种建筑材料的物理力学性能。

学习要求:

- (1)了解三种建筑材料的选用、检测和处理;
- (2)熟悉三种建筑材料的分类、组成;
- (3)掌握三种材料强度指标。

不断推陈出新的建筑结构用材是建筑结构发展的必然结果,也是建筑结构发展的必须条件之一。近年来,出现了各种材料上的改进,如 C80 与 C100 及以上强度等级的混凝土等,新材料的出现为新型结构形式奠定了良好的基础。

2.1 混凝土

• 2.1.1 混凝土的组成材料 •

1) 混凝土的组成

普通混凝土是由水泥、细骨料(砂)、粗骨料(石)与水按一定配合比例,经搅拌、成型、养护而成的人工石材,是一种以固相为主的三相复合材料。混凝土的组成结构既可以从原子、分子层面分析,也可以从宏观分析,因而可将其分为微观结构、亚微观结构和宏观结构。

微观结构的物理力学性能取决于水泥的化学矿物成分、粉磨细度、水灰比和凝结硬化条件等。因此,微观结构决定了混凝土的弹性与塑性力学性能。混凝土中的砂、石、水泥凝胶体中的晶体、未水化的水泥颗粒组成了错综复杂的弹性骨架,主要承受外力,并使混凝土具有弹性变形的特点。而水泥胶体中的凝胶、孔隙和界面初始微裂缝等,在外力作用下使混凝土产生塑性变形。另外,混凝土中的孔隙(图 2.1)、界面微裂缝(图 2.2)等缺陷又往往是混凝土受力破坏的起源。在荷载作用下,微裂缝(图 2.2 与图 2.3)的扩展对混凝土的力学性能有着极为重要的影响。由于水泥凝胶体需要较长时间才能完成硬化,故混凝土的强度和变形也随时间逐渐增长。

亚微观结构即水泥砂浆结构;宏观结构即砂浆和粗骨料两组分体系。宏观结构与亚微观结构有许多共同点,可以把水泥砂浆看成基相,粗骨料分布在砂浆中,砂浆与粗骨料的界面是

结合的薄弱面。骨料的分布以及骨料与基相之间在界面的结合强度也是重要的影响因素。

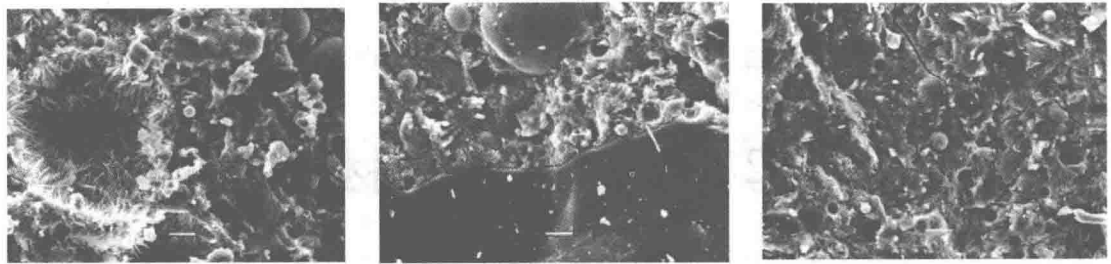


图 2.1 孔隙

图 2.2 界面微裂缝

图 2.3 水泥石收缩微裂缝

2) 水泥

水泥的种类繁多,但常用水泥主要是六大类,分别是硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥,见表 2.1。

表 2.1 常用水泥的选用原则

混凝土工程特点或所处环境条件		优先选用	不得使用
环境条件	在普通气候环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	
	在干燥环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥
	在高湿度环境中或永远处在水下的混凝土	矿渣硅酸盐水泥	
	严寒地区的露天混凝土、寒冷地区的处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥
	严寒地区处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥
	受侵蚀性环境水或侵蚀性气体作用的混凝土	根据侵蚀性介质的种类、浓度等具体条件按专门(或设计)规定选用	
工程特点	厚大体积的混凝土	普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥	硅酸盐水泥、快硬硅酸盐水泥
	有快硬性要求的混凝土	快硬硅酸盐水泥、硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥
	高强(大于 C60)的混凝土	硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥
	有抗渗性要求的混凝土	普通硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥	不宜使用矿渣硅酸盐水泥
	有耐磨性要求的混凝土	硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥

3) 细骨料

细骨料为粒径小于 4.75 mm 的天然砂或机制砂(俗称人工砂)。天然砂为河砂、湖砂、山

砂与淡化海砂。其中,河砂质地坚硬且洁净,为配置混凝土的理想材料;海砂质地坚硬但含有可溶性盐等,需清洁除去杂质后使用;山砂坚固性差,常含有黏土及有机杂质;人工砂比较清洁,但细粉、片状颗粒较多,成本高。因此,在配置混凝土时,细骨料质量一般要求:质地坚实、清洁、有害质含杂量少。

4) 粗骨料

粗骨料为粒径 $>4.75\text{ mm}$ 的岩石颗粒,分为卵石和碎石两类。

卵石(砾石)包括河卵石、海卵石和山卵石等,其中河卵石应用较多。碎石大多由天然岩石经破碎筛分而成。碎石和卵石按技术要求分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类三种类别。Ⅰ类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土;Ⅱ类宜用于强度等级为 C30 ~ C60 及抗冻、抗渗或其他要求的混凝土;Ⅲ类宜用于强度等级小于 C30 的混凝土。

5) 水

混凝土拌和及养护用水均宜采用饮用水,地表水与地下水需要检验合格后才能使用,海水与生活污水不宜采用。

6) 外加剂

除了水泥、砂、石和水之外,外加剂作为改善混凝土性能、提高经济性的材料,被广泛使用。外加剂的大量使用使之成为混凝土成分中重要的一部分。外加剂按其改善性能,可分为减水剂、早强剂、速凝剂、缓凝剂、膨胀剂、防水剂、防冻剂、加气剂等。

①减水剂:主要用于减少拌和水用量。它是一种表面活性材料,可以改善和易性,从而降低水灰比,增加流动性,有利于混凝土强度的增长,适用于大体积混凝土、泵送混凝土等。

②早强剂:用于加快混凝土的凝结硬化过程,提高早期强度,加快工程进度,缩减工期;但加有早强剂的混凝土含有氯化物,可能腐蚀钢筋,因此不适用于预应力混凝土及大体积混凝土工程。

③速凝剂:用于加速水泥的凝结硬化过程,适用于快速施工、堵漏、喷射混凝土等。

④缓凝剂:用于延长混凝土凝结硬化所需的时间,并对后期强度无影响,适用于大体积混凝土、气候炎热地区的混凝土工程和长距离输送的混凝土。

⑤膨胀剂:使混凝土在水化过程中产生一定的体积膨胀,用于配制补偿收缩混凝土、填充用膨胀混凝土、自应力混凝土。

⑥防水剂:含有水玻璃,不但能使混凝土在凝结硬化后防水,还能加大黏结力和加快混凝土凝结硬化,是配制防水混凝土的方法之一。适用于修补工程和堵塞漏水处。

⑦防冻剂:可以在一定负温条件下仍然保持混凝土内所含水分不冻结,并促使其凝结硬化,如亚硝酸钠与硫酸盐复合剂,能适用于 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下的施工。

⑧加气剂:掺入加气剂能使混凝土中产生大量微小、密闭的气泡,既改善混凝土的和易性,减小用水量,提高抗渗、抗冻性能,又能减轻自重,增加保温隔热性能,常用作隔热、隔声的墙体材料。

• 2.1.2 混凝土的强度 •

1) 混凝土的强度等级

我国国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)规定:以边长150 mm 立方体标准试件,在标准养护条件下(20 ℃ ±3 ℃, ≥90% 相对湿度)养护 28 d,用标准试验方法[加载速度 0.3 ~0.5 N/(mm² · s),两端不涂润滑剂]测得的抗压强度为立方体抗压强度。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010,2015 年版)规定混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定,即用上述标准试验方法测得的具有 95% 保证率(混凝土强度总体分布的平均值减去 1.645 倍标准差)的立方体抗压强度作为混凝土的强度等级。

《混凝土结构设计规范》根据强度范围,从 C15 ~ C80 共划分为 14 个强度等级,级差为 5 N/mm²,用符号 C 表示。例如,C30:混凝土立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}=30\text{ N/mm}^2$ 。C60 以上为高强混凝土。我国现已有 C90 与 C100 的高强度混凝土。

《混凝土结构设计规范》规定,钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15;当采用 HRB335 级钢筋时,混凝土强度等级不应低于 C20;当采用 HRB400 级钢筋和 RRB400 级钢筋以及承受重复荷载的构件,混凝土强度等级不应低于 C20;预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C30;当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时,混凝土强度等级不应低于 C40。

2) 混凝土强度设计指标

由于影响混凝土强度的因素众多,按统一标准生产的混凝土各批次强度可能不同,而同一批次搅拌的混凝土制作出的构件其强度等级也有差异。因此,设计时取混凝土强度等级标准值用于计算,见表 2.2。混凝土强度设计值等于混凝土强度标准值除以混凝土材料分项系数(取 1.4),见表 2.3。

表 2.2 混凝土强度标准值 单位:N/mm²

强度种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
轴心抗压强度 f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.5	50.2
轴心抗拉强度 f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.40	2.51	2.65	2.74	2.85	2.93	3.00	3.05	3.10

表 2.3 混凝土强度设计值 单位:N/mm²

强度种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
轴心抗压强度 f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
轴心抗拉强度 f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

3) 混凝土的耐久性

混凝土的耐久性是指结构在规定的使用年限内,在各种环境条件作用下,不需要额外的费用加固处理而保持其安全性、正常使用和可接受的外观能力。其中各种环境条件被归类为混凝土结构的环境类别,见表 2.4。

表 2.4 混凝土结构的环境类别

环境类别	条 件
—	室内干燥环境; 无侵蚀性静水浸没环境
二 a	室内潮湿环境; 非严寒和非寒冷地区的露天环境; 非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境; 严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
二 b	干湿交替环境; 水位频繁变动的环境; 严寒和寒冷地区露天的环境; 严寒和寒冷地区的冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
三 a	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境; 受除冰盐影响环境; 海风环境
三 b	盐渍土环境; 受除冰盐作用环境; 海岸环境
四	海水环境
五	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

简单地讲,混凝土材料的耐久性指标一般包括抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性、混凝土的碳化(中性化)、碱骨料反应等。

4) 混凝土保护层

为了防止钢筋锈蚀和保证钢筋与混凝土能紧密黏结在一起共同工作,梁、板的受力钢筋表面都应具有足够的混凝土保护层厚度。最外层钢筋外边缘到混凝土外边缘的最小距离,称为保护层厚度。根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010,2015 年版),构件中普通钢筋及预应力筋的混凝土保护层厚度应满足下列要求:构件中受力钢筋的保护层厚度不应小于钢筋的公称直径 d ;设计使用年限为 50 年的混凝土结构,最外层钢筋的保护层厚度应符合表 2.5 的规定;设计使用年限为 100 年的混凝土结构,最外层钢筋的保护层厚度不应小于表 2.5 中数值的 1.4 倍。

表 2.5 混凝土保护层的最小厚度 c

单位:mm

环境类别	板、墙、壳	梁、柱、杆
一	15	20
二 a	20	25
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

注:①混凝土强度等级不大于 C25 时,表中保护层厚度数值应增加 5 mm;

②钢筋混凝土基础宜设置混凝土垫层,基础中钢筋混凝土保护层厚度应从顶面算起,且不应小于40 mm。

此外,当构件表面有适当防护措施或为工程预制件时,可适当减小混凝土保护层厚度;当梁、柱、墙中的纵向受力钢筋的保护层厚度大于 50 mm 时,宜对保护层采取有效的保护措施;当在保护层内设置防裂防剥落的钢筋网片时,网片钢筋的保护层厚度应不小于 25 mm。

当梁的混凝土保护层厚度大于 50 mm 且配置表层钢筋网片时,表层钢筋宜采用焊接网片,其直径不宜大于 8 mm,间距不应大于 150 mm;网片应配置在梁底和梁侧,梁侧的网片钢筋应延伸至梁高的 2/3 处。两个方向上表层网片钢筋的截面积均不应小于相应混凝土保护层(图 2.4 阴影部分)面积的 1%。

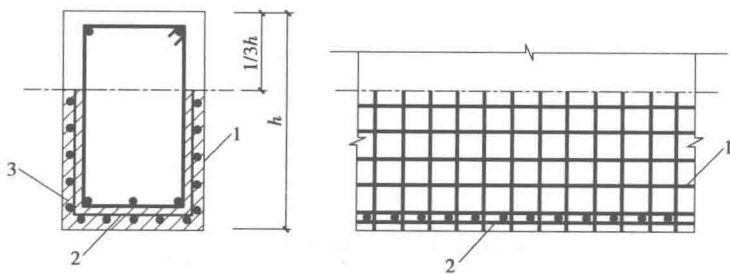


图 2.4 配置表层钢筋网片的构造要求

1—梁侧表层钢筋网片;2—梁底表层钢筋网片;3—配置网片钢筋区域

2.2 钢 材

• 2.2.1 钢材的性能要求 •

建筑用的钢材称为结构钢,必须满足下列要求:

①抗拉强度 f_u 和屈服强度 f_y 较高。钢结构设计把 f_y 作为强度承载力极限状态的标志。 f_y 高可减轻结构自重,节约钢材和降低造价。 f_u 是钢材抗拉断能力的极限, f_u 高可增加结构

的安全保障。

②塑性和韧性好及伸长率和冷弯性能好。塑性和韧性好的钢材在静载和动载作用下有足够的应变能力,即可减轻结构脆性破坏的倾向,又能通过较大的塑性变形调整局部应力,使应力得到重分布,提高构件的延性,从而提高结构的抗震能力和抵抗重复荷载作用的能力。

③良好的加工性能。材料应适合冷、热加工,具有良好的可焊性,不致因加工而对结构的强度、塑性和韧性等造成较大的不利影响。

④耐久性好,价格便宜。

此外,根据结构的具体工作条件,有时还要求钢材具有适应低温、高温等环境的能力。

施工单位检验软钢是否合格的4个主要指标是屈服强度、极限强度、伸长率和冷弯性能。钢筋的检验方法应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)的规定。其中,屈服强度、伸长率是通过钢材的拉伸试验确定的,试验应当按照《金属材料室温拉伸试验方法》(GB/T 228—2002)的有关要求进行。冷弯性能是通过冷弯试验来确定的,试验应当按照《金属材料弯曲试验方法》(GB/T 232—2010)的要求进行。

可焊性是评定钢筋焊接后的接头性能的指标。可焊性取决于材料中碳及各种合金元素的含量。

钢材的冲击韧性是钢材在冲击荷载作用下断裂时吸收机械能的一种能力,是衡量钢材抵抗可能因低温、应力集中、冲击荷载作用等而致脆性断裂能力的一项机械性能。在实际结构中,脆性断裂总是发生在有缺口高峰应力的地方。因此,最有代表性的是钢材的缺口冲击韧性,简称冲击韧性。钢材的冲击韧性试验采用有V形缺口的标准试件,在冲击试验机上进行。冲击韧性值用击断试样所需的冲击功 A_{KV} 表示,单位为J。冲击韧性与温度有关,当温度低于某一负温值时,冲击韧性值将急剧降低。因此在寒冷地区建造的直接承受动力荷载的钢结构,除应有常温冲击韧性的保证外,还应依钢材的类别,使其具有 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冲击韧性保证。

对于钢筋的性能,在《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010,2016年版)中要求:抗震等级为一、二、三级的框架和斜撑构件(含梯段),其纵向受力钢筋采用普通钢筋时,钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于1.25;钢筋的屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于1.3,且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于9%。

钢结构的钢材应符合下列规定:钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于0.85;钢材应有明显的屈服台阶,且伸长率不应小于20%;钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

普通钢筋材料性能尚应符合:钢筋宜优先采用延性、韧性和焊接性能较好的钢筋;普通钢筋的强度等级,纵向受力钢筋宜选用符合抗震性能指标的不低于HRB400级的热轧钢筋,也可采用符合抗震性能指标的HRB335级热轧钢筋;箍筋宜选用符合抗震性能指标的不低于HRB335级的热轧钢筋,也可选用HPB300级热轧钢筋。

• 2.2.2 钢材的选用 •

建筑用钢按其截面类型可大体分为钢筋、型钢、钢管。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010,2015 年版)中钢筋采用的分类方式为热轧钢筋、中高强钢丝、钢绞线、热处理钢筋和冷加工钢筋。而钢筋根据其用途,又可分为普通钢筋和预应力钢筋。普通钢筋是指应用于钢筋混凝土结构中的钢筋以及预应力混凝土结构中的非预应力钢筋。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010,2015 年版)中规定,混凝土结构的钢筋应按下列规定选用:纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400,HRB500,HRBF400,HRBF500 级钢筋,也可采用 HPB300,HRB335,RRB400 级钢筋;梁、柱和斜撑构件的纵向受力普通钢筋应采用 HRB400,HRB500,HRBF400,HRBF500 级钢筋;箍筋宜采用 HRB400,HRBF400,HRB300,HPB300,HRB500,HRBF500 级钢筋;预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。普通钢筋强度标准值和强度设计值见表 2.6 和表 2.7。

表 2.6 普通钢筋强度标准值

单位: N/mm²

牌 号	符 号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{yk}	极限强度标准值 f_{stk}
HPB300	Φ	6 ~ 14	300	420
HRB335	Φ	6 ~ 14	335	455
HRB400 HRBF400 RRB400	Φ Φ^F Φ^R	6 ~ 50	400	540
HRB500 HRBF500	Φ Φ^F	6 ~ 50	500	630

注:①热轧钢筋直径 d 系指公称直径;
②当采用直径大于 40 mm 的钢筋时,应有可靠的工程经验。

表 2.7 普通钢筋强度设计值

单位: N/mm²

牌 号	抗拉强度设计值 f_y	抗压强度设计值 f'_y
HPB300	270	270
HRB335	300	300
HRB400, HRBF400, RRB400	360	360
HRB500, HRBF500	435	435

钢筋弹性模量 E_s 应按表 2.8 采用。

表 2.8 钢筋弹性模量

单位: $\times 10^5 \text{ N/mm}^2$

牌号或种类	弹性模量 E_s
HPB300 级钢筋	2.10
HRB335, HRB400, HRBF400, HRB500, HRBF500, RRB400 级, 预应力螺纹钢筋	2.00

续表

牌号或种类	弹性模量 E_s
消除应力钢丝、中强度预应力钢丝	2.05
钢绞线	1.95

注：必要时可采用实测的弹性模量。

依据《钢结构设计规范》的要求,为保证承重结构的承载能力和防止在一定条件下出现脆性破坏,应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方法、钢材厚度和工作环境等因素综合考虑,选用合适的钢材牌号和材性。

承重结构的钢材宜采用 Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢,其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700)和《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591)的规定。当采用其他牌号的钢材时,尚应符合相应有关标准的规定和要求。

下列情况的承重结构和构件不应采用 Q235 沸腾钢:

①焊接结构:

- a. 直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构。
- b. 工作温度低于 -20 ℃时的直接承受动力荷载或振动荷载但可不验算疲劳的结构以及承受静力荷载的受弯及受拉的重要承重结构。
- c. 工作温度等于或低于 -30 ℃的所有承重结构。

②非焊接结构:工作温度等于或低于 -20 ℃的直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构。

承重结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证,对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材还应具有冷弯试验的合格保证。

常用的型钢有角钢、槽钢、工字钢、H 型钢和钢管等,其规格和截面特性查相关的型钢表,钢材的强度设计值见表 2.9。

表 2.9 钢材的强度设计值 单位: N/mm²

钢 材		抗拉、抗压 和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压(刨平顶紧) f_{ce}
牌 号	厚度或直径/mm			
Q235 钢	≤16	215	125	325
	> 16 ~ 40	205	120	
	> 40 ~ 60	200	115	
	> 60 ~ 100	190	110	
Q345 钢	≤16	310	180	400
	> 16 ~ 35	295	170	
	> 35 ~ 50	265	155	
	> 50 ~ 100	250	145	