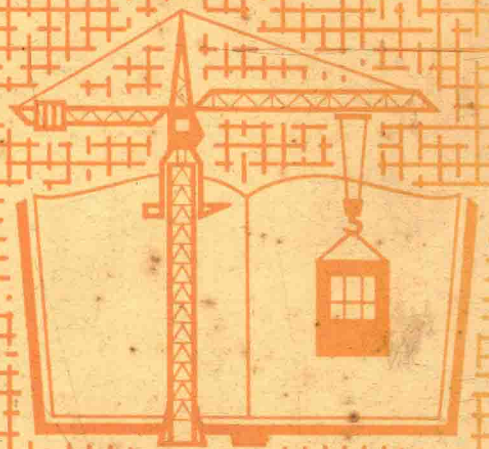


给水排水工程结构

重庆建筑工程学院
太原工学院编
湖南大学



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

给水排水工程结构

重庆建筑工程学院

太原工学院 编

湖南大学

中国建筑工业出版社

前 言

本书是根据高等院校给水排水专业教材座谈会 对“给水排水工程结构”课程的要求编写的试用教材,教学时数为80学时。参加编写的单位有重庆建筑工程学院、太原工学院和湖南大学。由重庆建筑工程学院主编。各章节的编写分工:绪言、第一至五章以及第十和十一章由重庆建筑工程学院白绍良、周基岳、钮先钰、陈文钦执笔;第六、七、八章由太原工学院苏景春执笔;第九章由湖南大学刘建行执笔。

本书由天津大学主审(主审人余权、王士琴)。参加审稿的单位还有西安冶金建筑学院、哈尔滨建筑工程学院、北京建筑工程学院、武汉建筑材料工业学院、同济大学、上海市政工程设计院和武汉给排水设计院。

编 者

目 录

绪言	1
第一章 钢筋混凝土材料的主要物理和力学性能	5
第一节 钢筋	5
第二节 混凝土	12
第三节 钢筋与混凝土的共同工作	23
第二章 钢筋混凝土结构的基本计算原则	27
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面强度计算	34
第一节 单筋矩形梁正截面强度计算	34
第二节 双筋矩形梁正截面强度计算	46
第三节 单筋T形梁正截面强度计算	51
第四节 截面构造要求	57
第四章 受弯构件斜截面的强度计算	60
第一节 斜截面的受剪破坏形态及受力特点	61
第二节 斜截面抗剪强度计算	63
第三节 斜截面抗弯强度问题	73
第四节 箍筋及弯起钢筋的其它构造要求	76
第五章 受弯构件的裂缝和变形验算	78
第一节 受弯构件的抗裂度和裂缝宽度验算	78
第二节 受弯构件的变形验算	86
第六章 钢筋混凝土轴心受压构件及轴心受拉构件	92
第一节 轴心受压构件	92
第二节 轴心受拉构件	98
第七章 钢筋混凝土偏心受压和偏心受拉构件及钢筋混凝土基础	105
第一节 矩形截面偏心受压构件	105
第二节 矩形截面偏心受拉构件	120
第三节 钢筋混凝土基础设计	124
第八章 钢筋混凝土梁板结构设计	134
第一节 整体式单向板肋形顶盖	135
第二节 整体式双向板肋形顶盖	166
第三节 圆形平板	173
第四节 整体式无梁顶盖	181
第五节 装配式梁板结构	195
第六节 板上开洞的构造处理	198
第九章 钢筋混凝土水池设计	200
第一节 水池的结构型式	200

第二节	水池的荷载	203
第三节	钢筋混凝土圆形水池设计	208
第四节	钢筋混凝土矩形水池设计	245
第五节	预应力混凝土圆形水池设计	268
第十章	砖石砌体的力学性能和强度计算	288
第一节	砖石砌体的力学性能	288
第二节	无筋砌体构件的强度计算	292
第十一章	中小型地面泵房结构设计	304
第一节	泵房的结构组成及作用	305
第二节	砖石墙柱设计	305
第三节	基础设计	313
第四节	门窗过梁和圈梁	316
附录		320

绪 言

给水排水工程通常都是由各类构筑物和建筑物所组成的。常用的构筑物有水池、水塔、取水井、沟渠、管道、检查井等,而建筑物则包括泵房以及其它生产、管理用的房屋。“给水排水工程结构”这门课程所讨论的就是这些构筑物和建筑物的结构设计问题。

在给水排水工程中,构筑物和建筑物的结构部分往往占用相当大一部分基本建设投资,而结构设计的质量又直接关系到给水排水工程的坚固性、适用性和经济性,因此,结构设计是给水排水工程设计中的一个相当重要的组成部分。

(一)

我国当前的大、中型给水排水构筑物一般采用钢筋混凝土结构,其中大型圆水池多采用预应力混凝土结构;而一些小型构筑物则可以采用部分钢筋混凝土结构、部分砖石结构的混合形式,或全部采用砖石结构以及配筋砖石结构。至于给水排水工程中的房屋建筑则大多采用混合结构,其中某些大型泵房也可以全部采用钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土结构和砖石结构之所以能在给水排水工程中得到广泛应用,是由它们本身的特点所决定的。

混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度相当低的材料;而钢筋的抗拉和抗压强度都相当高。如果把一定数量的钢筋配置在混凝土构件中的必要部位,用以补偿混凝土的内在弱点,这样形成的钢筋混凝土结构就能发挥钢筋和混凝土这两种材料各自的优点,作到经济合理、物尽其用。

我们取图 1 a 和 b 中的两根梁进行对比。若先在图 1 a 所示的纯混凝土梁上施加荷载,则随着荷载的增加,梁截面中的拉、压应力也将不断增长。由于混凝土的抗拉强度很低,故当荷载很小时,梁内最大弯矩截面中受拉边缘的拉应力就达到混凝土的抗拉强度,而使该处混凝土开裂。这将立即导致梁的折断。这种梁不仅承载能力很低,破坏时受压区混凝土的抗压强度远未充分利用,而且破坏发生得很突然,事先并无预告。因此纯混凝土梁在工程中没有什么实用价值。

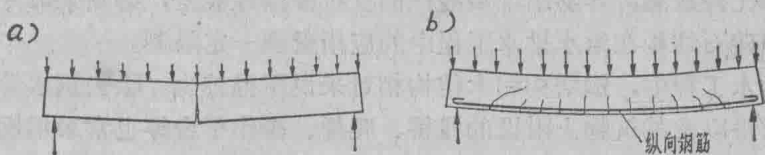


图 1

反之，如图 1 b 所示，若在梁的受拉区沿纵向配置一定数量的钢筋，则当截面受拉区的拉应力达到混凝土的抗拉强度而使混凝土开裂后，原来由混凝土和钢筋共同承担的拉力转由钢筋单独承担，而受压区的压力则仍由混凝土承担。由于钢筋的抗拉强度很高，因此，只要配置的纵向受拉钢筋不致过少，这种钢筋混凝土梁在受拉区混凝土开裂后就不会折断，而且能继续承担更大的荷载。纵向钢筋配置的数量越多，梁的抗弯能力也就越高。

对受力不同的其他各类结构构件，同样可以通过在适当部位配置钢筋来改善构件的受力性能和提高构件的承载能力。正是因为钢筋混凝土结构中尽量利用了混凝土的抗压能力，而只在必要的部位用强度较高的钢筋来承担拉力或压力，因此与同类型钢结构相比，它的钢材用量较省，结构造价也较低。

除此以外，钢筋混凝土结构的耐久性较好。只要在设计中根据不同的使用条件对其抗裂性或裂缝开展宽度加以控制，就可以不需要专门保养维修而长期使用。

钢筋混凝土结构可以根据设计要求浇注成不同的形状和尺寸，而且具有较好的抗渗性和抗冻性，这些特点都恰是给水排水构筑物所特别需要的。

钢筋混凝土结构，特别是现浇钢筋混凝土结构，还具有良好的整体性和抗震性。因此，处于地震烈度较高地区的给水排水构筑物大多采用现浇钢筋混凝土结构。

与钢、木结构相比，钢筋混凝土结构还具有较好的耐火性。在火灾时，包裹在钢筋外面的混凝土能延迟钢筋达到软化温度的时间，防止结构过早发生整体破坏。

钢筋混凝土结构也存在一些缺点，如自重大、抗裂性较差、加固和改建比较困难以及在低温条件下施工时需要采取专门的保温防冻措施等。此外，现浇钢筋混凝土结构木模板的消耗量大，施工周期也比较长。近年来已经采取了不少措施来克服上述缺点。其中比较突出的，如通过推广装配式结构以及在现浇钢筋混凝土工程中采用工具式滑动模板和定型化大模板等来降低木模消耗和施工成本，加快施工进度；通过采用预应力混凝土结构来改善构件的抗裂性，降低材料消耗和减轻自重。特别是在大型圆池池壁上采用预应力混凝土结构，其效果更为显著。

砖石结构是一种传统的结构形式。它虽然具有一些显而易见的缺点，如笨重的手工操作，粘土原料与农业争地等，但因为它能充分利用地方材料，不用或少用三大主材（钢材、木材和水泥），造价低，施工条件简单，因此在小型给水排水工程中仍然用得不少。砖石砌体的受力特点也是抗压强度较好而抗拉强度很低，因此它主要适用于轴心受压和偏心较小的受压构件。如果受材料供应条件限制而需要采用砖石材料砌筑水池池壁时，也可以采取在灰缝内配置钢筋或在砖砌体内设置钢筋混凝土带的办法来提高砌体的抗拉强度。正因为砖石砌体的抗拉强度低，因此砖石给水排水构筑物对温度应力、地基不均匀沉降和地震作用等都比较敏感，容易出现裂缝；而且抗渗性能差，必须采取专门的防水措施。这些因素使得砖石结构在给水排水工程中的应用受到一定限制。

在给水排水工程中，钢结构和木结构相对来说用得较少。除去钢水管外，某些特殊用途的水池和水塔以及构筑物上附设的栈桥、爬梯、操作平台等也常采用钢结构。木结构则只用于林区附近给水排水工程中房屋的屋盖结构。限于篇幅，本书对这两种结构不作专门介绍。

(二)

给水排水工程的设计工作一般是由工艺、结构、建筑等工种相互配合，共同完成的。结构设计是给水排水工程设计中的一个有机组成部分，它和工艺设计以及建筑设计之间存在着既相联系又相制约的辩证关系。

结构设计的任务是根据工程任务书中所提出的各项条件和要求（如工程地点、供水水源情况或所处理的废水性质、设计规模、投资及占地面积等），结合当地的工程地质、水文地质和气象特点以及材料供应情况和施工条件，在已经确定的工艺流程的基础上，与工艺和建筑设计相配合，选择结构方案和结构型式；再根据各个构筑物或建筑物的受力特点和地质条件，确定其计算简图，选定钢筋品种和混凝土标号；然后根据内力分析结果计算截面尺寸和配筋数量，并采取必要的构造措施，最后完成结构施工图。

给水排水工程的结构设计应全面符合坚固适用、经济合理、技术先进的设计原则。设计人员通常需要通过深入的调查研究，全面掌握与工程项目设计有关的第一手材料。在此基础上，根据结构本身的特定规律，对各种影响因素进行综合分析，正确处理可能出现的各种矛盾。例如，在设计中常需对能够满足工艺要求的各种构筑物布置方案或结构方案进行技术经济指标的综合分析对比，以确定最佳方案。又如，在确定结构的受力体系和计算简图时，由于给水排水构筑物的受力情况和结构体系往往比较复杂，设计人员常需根据具体情况对结构体系进行某种简化，以使用比较简单的计算方法求解内力。这时，关键的是简化后的计算简图应尽可能正确地反映结构的实际受力情况。如若不然，即使计算再精确，其结果也依然是不可靠的。

到目前为止，我国各给水排水专业设计单位和施工单位已经积累了比较丰富的、具有我国特点的设计和施工经验，完成了大量的设计和施工任务。近年来还对钢筋混凝土圆池在温、湿度影响下的裂缝规律、在不同地质条件下构筑物的计算理论以及地震区构筑物的设计理论等进行了研究，取得了不少积极的成果。为了适应四个现代化的需要，今后有必要进一步加强对特种结构设计理论和设计方法的研究，不断改进结构形式以及施工工艺和施工技术，使给水排水工程的结构设计和施工水平尽快提到一个新的高度。

(三)

本书是为高等院校给水排水专业的工程结构课编写的试用教材，目的在于使学生通过本课程的学习掌握必要的钢筋混凝土和砖石结构的基本理论以及结构设计的基本方法，以便在进行工艺设计时能够主动地考虑构筑物和建筑物结构设计的可能性、合理性和经济性。而在必要时也能独立进行一般结构构件和简易构筑物的设计，或运用本课程中所介绍的基本知识正确处理施工中的结构问题。

书中第一章到第七章分别介绍钢筋混凝土结构设计的基本原理和各类基本构件的设计计算方法及构造要求；第十章介绍砖石结构的受力性能和砖石构件的设计要点。这几章是结构设计的基础理论部分，是结合我国现行《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ10-74）和《砖石结构设计规范》（BGJ3-73）进行编写的。这两本规范是以国内外的科研成果和我

国建国以来的大量工程实践经验为依据制订出来的，是我们进行结构设计的主要依据。考虑到专业对本课程的要求，各章在内容安排上侧重于阐明物理概念和公式、图表的应用，而不在试验结果分析和公式推导上花费过多篇幅。对于目前正在探讨而尚无成熟计算方法的一些问题，如偏心受拉和大偏心受压构件的抗裂度和裂缝宽度验算等，在本教材中不准备专门论述，需要时可参阅有关专题资料。

在第八章中介绍了一般钢筋混凝土顶盖的设计要点。这部分内容是设计各类现浇钢筋混凝土结构的通用基础知识。由于给水排水构筑物，特别是大、中型构筑物的结构体系通常都比较复杂，设计工作多是由专业结构设计人员完成的。根据专业对本课程的要求，在本书中不可能对各类复杂构筑物的设计理论逐一进行介绍。故在第九章中仅以比较简单的、有代表性的构筑物：圆形水池和矩形水池为例，对构筑物结构设计的全过程作了比较全面的介绍，以便使学生对这类构筑物的设计方法和计算步骤获得一个比较完整的概念。最后，在第十一章中以泵房为例介绍一般单层混合结构房屋的设计要点。根据目前试行的给水排水专业教学计划，本书第九章中的第五节（预应力混凝土圆形水池设计）和第十一章不列为正式讲课内容，可供学生自学或在毕业设计阶段参考。

第一章 钢筋混凝土材料的主要物理和力学性能

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能以及它们的共同工作特性，是学习钢筋混凝土结构理论所必须具备的基础知识。这是因为钢筋混凝土结构的计算理论、计算方法和构造措施都是以这两种材料所具有的特定物理力学性能为依据的。另外，只有全面了解这两种材料的品种、性能和生产供应情况，才能在设计中根据材料特性确定合理的结构方案，并根据每个工程的具体条件正确选择材料的品种和等级。

第一节 钢 筋

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中所用的钢筋，按其生产工艺、力学性能和加工方式的不同，可分为热轧钢筋、冷拉钢筋和钢丝三大类。现分述如下：

一、热轧钢筋

钢材按其化学成分不同可分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢是以铁为主要成分的铁碳合金，其中一般还含有在冶炼过程中未能除掉的少量杂质，如锰、硅、硫、磷、氧、氮等。热轧碳素钢的力学性能主要取决于含碳量的高低。随着含碳量的增加，钢材强度不断提高，塑性性能则逐渐降低。在所含杂质中，硫和磷是主要有害元素。磷降低钢材的塑性，使它在低温条件下容易发生脆断。含硫量过大将使钢材在焊接时容易产生裂纹，而且还将降低钢材的抗腐蚀性能。因此，钢材的含磷量应限制在0.045~0.05%以下，而含硫量则应限制在0.045~0.055%以下。若在钢材冶炼过程中有意识地加入一种或几种合金元素，如锰、硅、钒、钛、铜等，所得的钢材则称为合金钢。根据所加元素种类和份量的不同，合金钢的性能与碳素钢相比将得到不同程度的改善。

如果从一根钢筋上截取一段试件进行抗拉试验，随着拉力的增加不断测定其应力和应变的变化情况，则可根据测定结果绘出钢筋的拉伸应力应变曲线。这种曲线能比较直观地反映出钢筋的基本力学性能。从图1-1中可以看出，热轧钢筋的应力应变过程具有下列特点：

(1) 自开始加荷到应力达到比例极限之前(oa段)，应力与应变成正比。

(2) 超过比例极限后，应力与应变不再成比例，应变的增长速度变得比应力为快。但在 a' 点以下，应变在卸荷后尚可全部恢复。因此我们把对应于 a' 点的应力称为“弹性极限”。

(3) 应力超过弹性极限后，应变在卸荷后已不能全部恢复。当应力达到屈服极限(即对应于b点的应力值)后，钢筋在应力不增加的情况下将产生相当大的塑性伸长，直到应力应变曲线上的c点为止。这种现象也称为“流动”。bc两点之间的应变值即称为

“流幅”。

由于弹性极限与屈服极限之间的差距很小，故常用屈服极限代替弹性极限。

(4) 超过c点后，钢筋应力重新开始增长，但伴随着相当明显的塑性变形。我们把这个阶段称为钢筋的强化阶段。当应力增大到一定数值后，在试件的某个比较薄弱的部位应变急剧增加，试件直径迅速变细，即产生所谓的颈缩现象。最后试件在这里被拉断。产生颈缩现象后，材料本身的应力实际上仍在不断提高，但由于试件直径缩小，因此按初始截面换算出的应力反而不断降低，从而使应力应变曲线上出现de下降段。

应力应变曲线上对应于d点的应力即为钢筋的极限抗拉强度。

我国目前热轧钢筋所用的钢材有低碳钢(含碳量低于0.25%的碳素钢)和普通低合金钢两种。按强度高低则分为四级，即I级(24/38级)、II级(34/52级)、III级(40/60级)和IV级

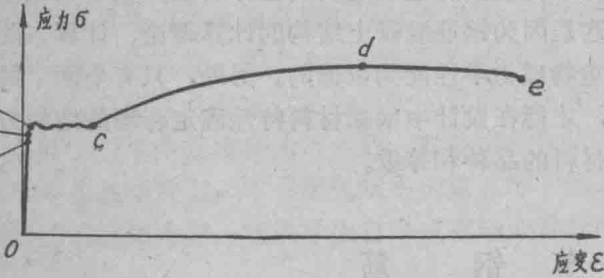


图 1-1 热轧钢筋的应力应变曲线

(60/90级)。括号中分子、分母分别表示钢筋屈服强度和极限抗拉强度的出厂检验废品限值(以 kg/mm^2 计)。即当抽样检验结果低于上述数值时，这批钢材只能按不合格品处理。

I级钢筋 是由低碳钢中的3号钢轧成的光面圆钢筋。这种钢筋各地钢厂均能生产，在钢筋混凝土结构中使用得最为广泛。直径为 $\phi 6 \sim 40$ 。

II级钢筋 是由低合金钢中的16锰(16Mn)钢轧成的，表面带人字形肋纹(图1-2 a)。它的强度比I级钢高，塑性也比较好。表面肋纹有助于改善钢筋与混凝土之间的粘结性能。这种钢筋是在普通钢筋混凝土结构中使用得最普遍的低合金钢筋。

III级钢筋 是由低合金钢中的25锰硅(25MnSi)钢轧成的，表面也是人字纹。III级钢筋的强度更高，故与其屈服强度对应的应变值也比I、II级钢筋大。如果在钢筋混凝土结构中使用III级钢筋作受力钢筋，则有些构件在使用阶段将会裂缝过宽、变形过大。因此规范规定，在轴心受拉和小偏心受拉构件中，III级钢筋的强度只能取等于II级钢筋的强度值。而在其它类型构件中则可充分利用其强度。III级钢筋经冷拉后也常作为预应力钢筋使用。

IV级钢筋 也是由低合金钢轧成的，钢种有45锰硅钒(45MnSiV)、44锰₂硅(44Mn₂Si)、40硅₂钒(40Si₂V)和45硅₂钛(45Si₂Ti)等，分别由几个钢厂专门生产，表面通常为螺纹(图1-2 b)。在普通钢筋混凝土结构中，IV级钢筋的强度不能充分利用，主要是冷拉后作为预应力钢筋使用。

此外，还有一种V级钢筋(145/160级)，亦称调质钢筋。它是IV级钢筋

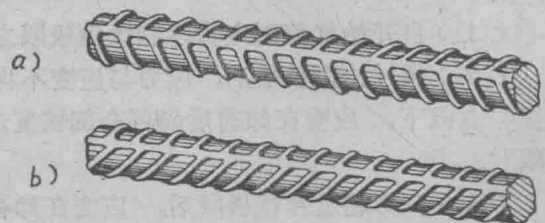


图 1-2

a) 人字纹钢筋； b) 螺纹钢筋

(45MnSiV或44Mn₂Si)经过淬火和高温回火处理后制成的。钢筋经淬火后强度大幅度提高,但塑性和抗冲击韧性相应降低。通过高温回火可以在不影响强度的前提下改变淬火形成的不稳定组织结构,消除淬火产生的内应力,改善其塑性和抗冲击韧性。热处理钢筋对锈蚀很敏感,在高应力作用下容易在轻微锈蚀处发生脆断,这种现象称为应力锈蚀。因此,这种钢筋的使用和保管必须遵守专门的规定。V级钢筋只能用作预应力钢筋。

在图1-3中绘出了通过拉伸试验测得的I~IV级钢筋的应力应变曲线。从图中可以看出,各级热轧钢筋一般均具有明显的屈服台阶。而随着强度的提高,钢筋的极限延伸率则不断有所降低。

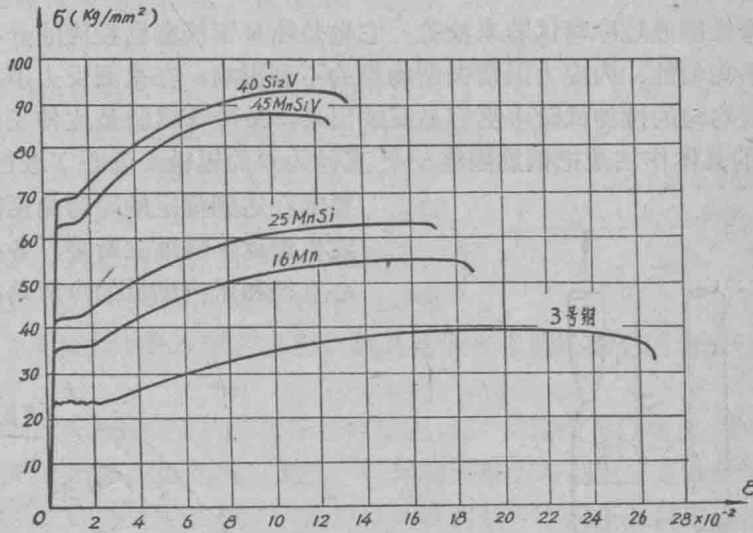


图 1-3

热轧钢筋受压时的应力应变性质,直到应力达到屈服强度为止均与拉伸时的应力应变性质大致相同。

对热轧钢筋的物理力学性能起控制作用的指标和要求一般有下列几项:

(1) 屈服强度和极限抗拉强度

这两项指标是热轧钢筋强度性能的主要标志。在按极限状态理论对钢筋混凝土构件进行强度计算时,原则上都是取屈服强度作为热轧钢筋的强度上限。这是因为,当构件某个截面中的钢筋应力达到屈服极限后,钢筋的塑性变形将持续增长,从而导致该截面进入破坏阶段。对钢筋的极限抗拉强度提出要求则是为了在极限抗拉强度与屈服强度之间留有必要的差距,以保证钢筋混凝土构件在其受力钢筋达到屈服强度后,不致因钢筋很快达到极限抗拉强度而破坏。各级热轧钢筋在进行质量检验时的强度控制值详见附录1-1。

(2) 伸长率

我们把一定标距长度的一段钢筋在拉断后所产生的塑性应变称为钢筋的伸长率。若取钢筋试件拉伸前的标距为 l_1 ,拉断后这个标距长度增大为 l_2 (图1-4),则伸长率即为:

$$\delta = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \quad (1-1)$$

由于钢筋临断前的颈缩现象只发生在断裂面附近的局部长度的上,故当所取的标距长度不同

时,计算所得的伸长率也不相同。常用的标距为试件直径的5倍或10倍,计算出的伸长率则分别以 δ_5 和 δ_{10} 来表示。伸长率是衡量钢筋塑性变形性能的指标。我们要求钢筋具有足够的伸长率,主要是为了使钢筋混凝土结构中的受力钢筋达到屈服强度后,在结构或构件完全破坏之前具有产生较大塑性变形的能力。这除了能在超静定钢筋混凝土结构中引起塑性内力重分布以外,还能提高构件的延性,并使构件在发生破坏之前通过明显的变形给人以必要的预告。此外,塑性好的钢筋对内部和表面缺陷处的应力集中现象不敏感,故在多次重复荷载作用下的抗脆断能力也比较好。各级热轧钢筋进行质量检验时的伸长率控制值,详见附录1-1。

(3) 冷弯性能

钢筋的冷弯性能通过冷弯试验来检验。它也是衡量钢筋塑性性能的一项指标。由于钢筋内部组织的不均匀性、内应力以及夹杂物等的不利影响,在截面受力不均匀的冷弯试验中比在受力比较均匀的拉伸试验中更容易反映出来,故冷弯试验是比伸长率更为严格的检验指标。冷弯的具体作法是把钢筋围绕一个直径为 D 的辊轴(弯心)进行弯转(图1-5),

要求在达到规定的冷弯角度时,钢筋外侧不发生裂纹、鳞落或断裂。各类热轧钢筋的弯心直径和所应满足的冷弯角度详见附录1-1。

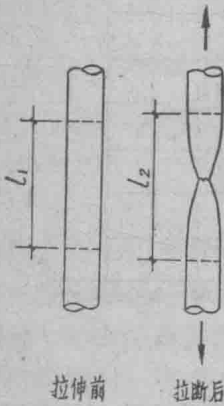


图 1-4

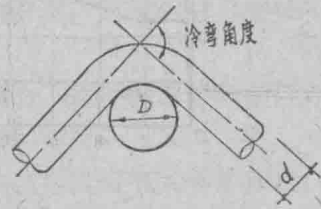


图 1-5

上面所述的屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能是检验钢筋质量的四项主要指标。

(4) 弹性模量

通过试验测得的热轧钢筋弹性模量值一般都比较稳定,具体数值详见附录2-3。

(5) 焊接性能

钢筋混凝土结构中常用的I、II级钢筋都具有良好的可焊性,既可以采用电弧焊,也可以采用闪光对焊。III级钢筋的可焊性也比较好。IV级钢筋则只能采用闪光对焊,而且因为它的碳、锰、硅含量较高,在闪光对焊过程中存在着过热脆化倾向,对氧化、淬火也比较敏感,因此必须注意选择合适的焊接工艺和参数,以保证焊接质量。效果较好的焊接工艺有“连续闪光焊——焊后通电热处理”和“预热闪光焊”两种。

二、冷拉钢筋

各级热轧钢筋都可以通过冷拉进一步提高强度。所谓冷拉,就是把钢筋用卷扬机或其他张拉设备逐根拉到使其应力超过屈服强度而进入强化阶段,然后放松。在钢筋第一次超过屈服强度而产生塑性变形的过程中,钢材内部组织中沿滑移面两侧的晶格将发生扭曲或

破碎。因此，当钢筋再次受拉时，对塑性变形的阻力就会增大，从而使钢筋获得比原来更高的屈服强度。这种现象称为冷拉强化。如图1-6所示，若第一次把钢筋拉到对应于 k 点的应力，然后放松，则卸荷应力应变曲线即为直线 ko' 。若立即使钢筋重新受拉，则应力应变曲线将变为 $o'kde$ ，即屈服强度由原来对应于 b 点提高到对应于 k 点，但极限抗拉强度未变。

冷拉碳素钢筋在自然条件下放置一段时间后，其屈服强度和极限抗拉强度还会有所提高。这时钢筋若重新受拉，其应力应变曲线将变为图1-6中的 $o'k'd'e'$ 线。这种现象称为冷拉时效。在自然条件下完成的时效称为自然时效。

普通低合金钢在自然条件下的时效进程很慢。而且强度级别越高，自然时效效果越不明显。若要进一步提高屈服强度，只有通过人工时效。一般作法是使钢筋温度升高到 250°C 并持续半小时。但这种方法既不经济，又可能降低钢筋的塑性和韧性，故我国目前很少采用。《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74)(试行)①在确定II至IV级普通低合金钢冷拉后的屈服强度时，均未考虑时效效果。

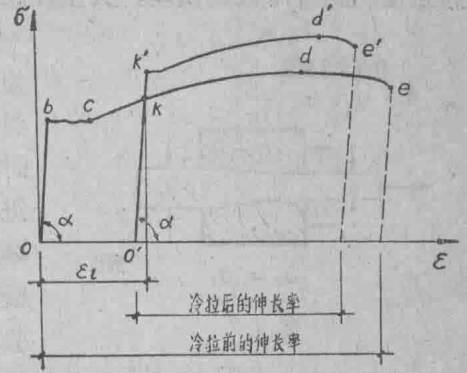


图 1-6

图1-6中对应于 k 点的应力值称为冷拉控制应力。从图中可以看出，若 k 点位置选得高，冷拉后钢筋的屈服强度固然相应提高，但伴随而来的不利后果是伸长率下降，屈服强度与极限抗拉强度之间的差距减小。因此应全面权衡利弊，选择合理的冷拉控制应力值。

钢筋的冷拉工艺有“双控”、“单控”两种。所谓“双控”是指每根钢筋都必须拉到表1-1中规定的控制应力值。同时，测得的冷拉率(相当于图1-6中的 ϵ_t)不得超过表中规定的限值。经双控冷拉的钢筋，其屈服强度的离散性较小。而且这种工艺能把冷拉率超过限值的钢筋，其中多数是母材强度过低的钢筋分辨出来，从而能比较严格地控制冷拉钢筋的质量。“单控”则只要求把每根钢筋拉到事先确定的控制冷拉率，其具体数值一般是在施工现场通过试验确定的，但不应超出表1-1给定的范围。单控冷拉钢筋屈服强度的离散性较双控冷拉钢筋大，故其设计强度取值也比双控冷拉钢筋为低。

冷拉III、IV级钢筋主要用作预应力钢筋，故应优先采用双控工艺。

冷拉钢筋受高温作用后其屈服强度将有所降低。温度达到 700°C 后冷拉强化现象将完全消失。因此，当冷拉钢筋需要焊接时，一般均应先焊接后冷拉。

冷拉钢筋应分批进行质量检验，检验结果应符合附录1-1的要求。

钢筋冷拉参数 表 1-1

钢筋种类	双 控		单 控
	控制应力 (kg/cm^2)	冷拉率不大于 (%)	冷 拉 率 (%)
I级钢筋	—	—	不大于10.0
II级钢筋	4500	5.5	3.5~5.5
III级钢筋	5300	5.0	3.5~5.0
IV级钢筋	7500	4.0	2.5~4.0

① 以下简称《规范》。

三、钢丝

钢丝分为高强钢丝和冷拔低碳钢丝两大类，都是通过冷拔制成的。

冷拔是在拔丝机上用强力把圆钢筋拉过硬质合金钢模上比钢筋直径稍小的锥形拔丝孔，迫使钢筋截面缩小、长度增大（图1-7）。钢筋通过拔丝孔时，由于受轴向拉力和侧向压力的同时作用，其极限强度将明显提高。钢丝一般需经多次冷拔，逐级减小直径，提高强度。经过冷拔的钢丝，其塑性比母材明显下降。

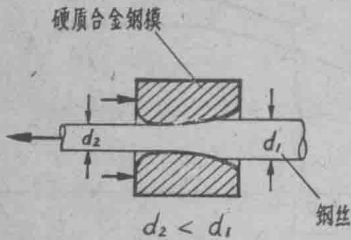


图 1-7

用普通 I 级钢筋冷拔出来而不经其它处理的钢丝称为冷拔低碳钢丝。这种钢丝冷拔工艺简单，成本较低。当采用冷拔低碳钢丝作中小型预应力构件的预应力钢丝时，应按附录1-1中“甲级”一栏的要求，对钢丝逐盘进行抽样检验。其中，根据钢丝实际抗拉强度的高低又分为 I、II 两组。如果用冷拔低碳钢丝作中小型钢筋混凝土构件中的焊接网或箍筋时，则只需分批进行抽样检验，检验结果应符合附录1-1中“乙级”一栏的要求。

高强钢丝（碳素钢丝）也是经冷拔制成的。它与冷拔低碳钢丝不同之处是原材料含碳量较高，而且冷拔后经回火处理，因此强度高，塑性也比冷拔低碳钢丝好。这种钢丝由专门工厂生产，工艺定型，质量比冷拔低碳钢丝稳定。为了提高高强钢丝与混凝土之间的粘结力，也可以在钢丝表面用机械刻痕，则称为刻痕钢丝。把多根碳素钢丝用绞盘绞在一起，就成为钢绞线。目前建筑用的钢绞线都是由 7 根钢丝绞成的。

上述各种钢丝与普通热轧钢筋，在力学性能方面的主要区别在于钢丝没有明显的屈服点，而且伸长率较低。从图1-8中可以看出，当应力较低时，钢丝的应力与应变成正比。当应力超过比例极限（约相当于极限抗拉强度的0.65倍）后，即逐渐表现出越来越明显的塑性，直到拉断为止。在设计中一般是取对应于残余应变为0.2%的应力值（即把钢丝拉到该应力值后放松到应力为零，这时残余应变为0.2%）作为钢丝的“条件流限”，以 $\sigma_{0.2}$ 表示，并以它作为预应力混凝土构件强度计算中钢丝应力的控制上限。由于钢丝没有明显的屈服极限，故取其极限抗拉强度作为唯一的强度检验指标。根据试验，条件流限约相当于极限抗拉强度的0.7~0.85倍，《规范》中统一取等于极限抗拉强度的0.8倍。

除冷拔低碳钢丝可以用点焊焊成钢筋网以外，其它各类钢丝均不能焊接。

碳素钢丝、刻痕钢丝和钢绞线只能作为预应力钢丝使用。

四、钢筋的结构形式

钢筋混凝土结构中的配筋都是以钢筋网或钢筋骨架的形式出现的，一般不允许采用分散的、互无联系的单根钢筋。根据制作方法不同，可以分为用手工绑扎成的绑扎钢筋网和绑扎钢筋骨架（图1-9）以及用点焊或电弧焊焊成的

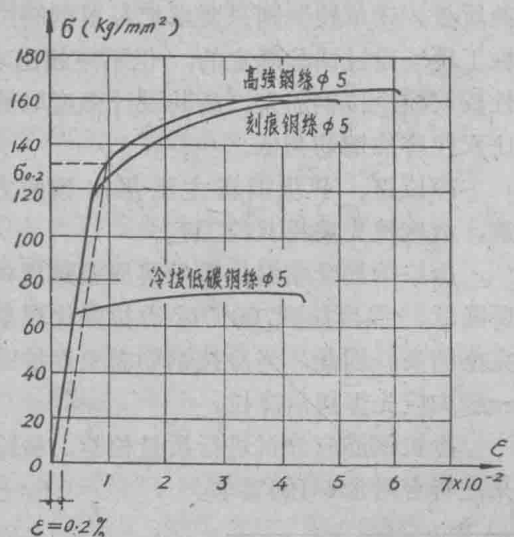


图 1-8

焊接网和焊接骨架（图1-10）。

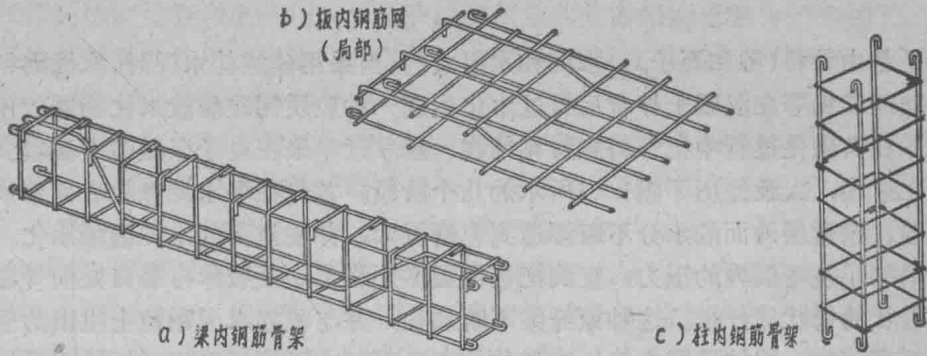


图 1-9 绑扎网和绑扎骨架

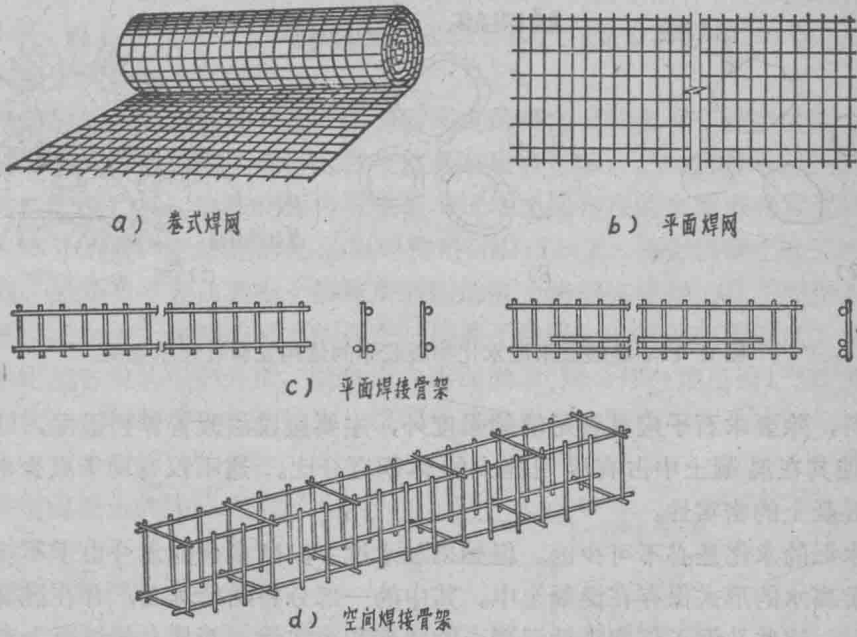


图 1-10 焊接网和焊接骨架

钢筋网主要用在板式结构,如楼板、水池池壁、池底和池顶以及其他薄壁空间结构中。在单向受力的钢筋混凝土板内,应沿受力方向铺设受力钢筋,并在垂直于受力方向布置分布钢筋。如果结构本身是双向受力的,则应分别在两个方向布置受力钢筋。

钢筋骨架主要用在梁、柱等构件中。其中的受力主筋根据构件受力情况和钢筋所在部位的不同,可能受拉,也可能受压。在一般情况下,钢筋混凝土梁的受压区并不需要钢筋协助混凝土承担压力,因此在受压区布置的纵向钢筋只起构造作用,称为架立钢筋。箍筋则依构件不同分别起受力作用(如梁内箍筋承担由剪力和弯矩所引起的拉力)或构造作用(如柱内箍筋可以改善受压主筋的工作条件和构件的破坏状态,但本身不直接受力)。

第二节 混 凝 土

混凝土是由骨料(砂和石子)、水泥和水组成的。当采用硅酸盐水泥时,水泥熟料中的硅酸三钙和硅酸二钙等在混凝土拌合后经过水化生成一种胶质钙硅酸盐水化物凝胶体。正是这种凝胶体在其硬化过程中把骨料颗粒粘结在一起。近年来在电子显微镜下观察到硅酸盐水泥的水化过程,大致经历了图1-11所示的几个阶段。首先在各水泥颗粒表面形成一层凝胶体包覆层。包覆层外面的水分不断渗透到包覆层内,并使里面的水泥继续水化。新生成的凝胶体增加了包覆层内的压力,直到把包覆层多处胀裂,凝胶体自裂口处向外溢出并逐渐长成放射状的管状原纤维。这种原纤维不断加长,并与相邻水泥颗粒上生出的管状原纤维贯穿交织在一起,固结呈网络状。这种结构在受压时由于原纤维相互抵紧而呈现出较大的抗压强度。但是在受拉时则由于交织在一起的管状原纤维不长,很容易被拉断或拉脱,因此抗拉强度很弱。

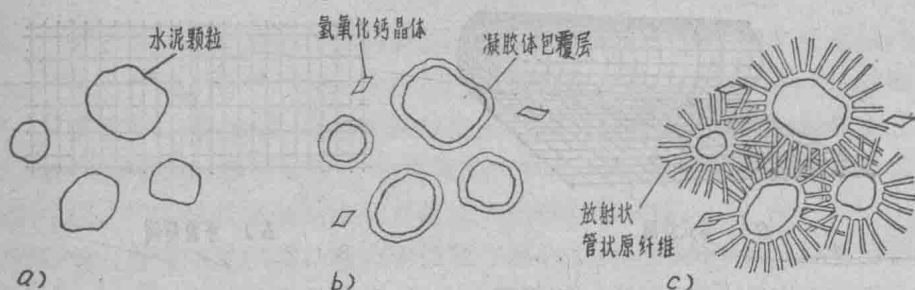


图 1-11 硅酸盐水泥水化物凝胶体的结构发育过程示意图

对于骨料,除要求石子应具有足够的强度外,主要应设法改善骨料级配,即颗粒大小搭配适当,使其在混凝土中占有尽可能大的体积百分比。这不仅有助于减少水泥用量,而且将增加混凝土的密实性。

水对于水泥的水化是必不可少的。但如果加水过多,则多余的水分由于不能参与水泥的水化而以游离水的形式保存在混凝土中。其中的一部分将陆续蒸发,并在混凝土中留下大量微小孔洞。这些孔洞不仅将降低混凝土的强度和密实性,而且会使混凝土产生更大的体积收缩。这对于钢筋混凝土及预应力混凝土结构都是很不利的。因此在施工中应特别注意控制用水量,防止水灰比过高。

一、混凝土的强度

(一) 混凝土的标号及立方强度

在钢筋混凝土结构中,混凝土的主要作用是承担压力。因此,一般是采用混凝土立方体试块在压力机上加压所测得的抗压强度作为衡量混凝土力学性能的特征指标,称为立方强度,并以符号 R 来表示。

影响混凝土抗压强度的因素很多,其中主要有水泥的标号和用量、骨料的级配、水灰比、龄期以及捣制方法和养护温、湿度等。除此以外,实际强度相同的混凝土,当试验方法、加荷速度以及试件形状、尺寸不同时,也往往会测得大小不等的强度值。