

目 录

第一章 概述	1
第二章 钢筋混凝土结构所用的材料	5
第一节 混凝土	5
第二节 钢筋	10
第三章 钢筋混凝土构件设计的原则和要求	20
第四章 钢筋混凝土梁和板	25
第一节 梁和板的构造	25
第二节 正截面强度计算	31
第三节 斜截面强度计算	66
第四节 挠度计算	79
第五节 抗裂度及裂缝计算	89
第五章 钢筋混凝土柱	96
第一节 一般说明	96
第二节 轴心受压柱	103
第三节 偏心受压柱	110
第六章 钢筋混凝土楼(屋)盖	143
第一节 楼(屋)盖的形式	143
第二节 单向板肋形楼盖	147
第三节 双向板肋形楼盖	193
第七章 楼梯、过梁、圈梁和雨篷	221
第一节 楼梯	221
第二节 过梁及圈梁	233
第三节 雨篷	237

第八章 钢筋混凝土基础	249
第一节 基础的形式	249
第二节 板式条形基础	253
第三节 柱下单独基础	257
第九章 装配式钢筋混凝土结构	288
第一节 装配式构件的计算特点	288
第二节 装配式构件的连接	289
第三节 预埋件及吊钩	301
附 录	
附录 1 钢筋截面面积表	310
附录 2 板及梁的计算跨度	313
附录 3 工业与民用建筑的标准荷载	314
附录 4 T 形截面梁的计算用表	318
附录 5 单跨梁的支座反力、剪力、弯矩、挠度表	324
附录 6 截面的弹塑性抵抗矩及弹性抵抗矩的比值 γ 表	331
附录 7 计算矩形截面对称配筋偏心受压构件用的 η 值	333
附录 8 矩形及工字形柱截面特征	345
附录 9 应用图表法求解矩形及工字形截面偏心受压构件对 称配筋的数量	347
附录 10 等跨连续梁的内力系数表	365
附录 11 承受三角形及梯形荷载等跨梁的弯矩及剪力系数 表	382

第一章 概 述

天然石是人类最早使用的建筑材料，它的最大优点是能够耐受强压，耐久性、耐火性均很好，但是由于加工成型制成构件要花很多的劳动力，同时在力学性能方面也存在着抗拉、抗弯能力很差的缺点，因此天然石在工程结构上的应用就受到一定的限制，不能随心所欲的将它做成各种构件。水泥的发明（约在1824年）打开了人类制造石料的大门，这种人造石料就是目前在建筑上广泛使用的混凝土，它是采用水泥、石子、砂子和水按一定配合比均匀拌合后在模板中浇捣成型，并使之在适当的温度和湿度条件下经历一定时间硬化而成。混凝土不但克服了加工成型困难的问题，而且具有和天然石相似的各种优点，但是在力学性能方面所存在的缺点仍然与天然石一样，其抗拉强度大约只有抗压强度的 $\frac{1}{10}$ ，受拉时极易发生断裂。在建筑物中，例如梁、板等构件，在荷载作用下系处于受弯状态，此时中和层以上部分是承受压力，中和层以下部分是承受拉力；如用混凝土制作这类构件，即使在很小的荷载作用下，也会因其下部经受不起拉力以致引起梁、板产生裂缝而破损，如图1-1a所示。可见混凝土抗压能力虽强，但在受弯构件中却不能发挥其特性。矛盾的产生推动了事物的发展，针对混凝土抗拉强度低这一客观情况，我们就设法在构件的受拉区配置上适当数量的钢筋，有意识的让这种抗拉性能很好的材料去帮助混凝土承担拉力，这样就使混凝

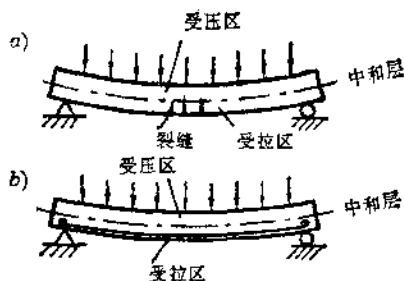


图 1-1 混凝土梁与钢筋混凝土梁

土和钢筋在受弯构件中各尽其能的分担了两种不同的内力，这种配有钢筋的混凝土就叫钢筋混凝土。图 1-1b 即为钢筋混凝土梁的示意图。

钢筋混凝土的产生和应用是人类对客观世界认识不断深化的结果，这种认识目前仍未终止，采用各种不同性质材料在工程上的组合应用，尚在不断发展中。

钢筋和混凝土是两种不同性质的材料，它们为什么能够联合在一起进行共同工作呢？回答这个问题，可以从分析事物内在因素着手，在构件浇捣完后混凝土的结硬过程中，钢筋与混凝土渐渐产生了粘结力，这种粘结力是由于下列原因形成的：(1)水泥结硬时在钢筋表面的胶着作用；(2)钢筋凹凸表面(螺纹)的咬合作用；(3)混凝土结硬时的收缩作用。这些原因的联合作用，使钢筋在混凝土中可靠的被握裹在一起，当构件受力时，他们就互相约束、共同变形而成为一个抵抗外力的整体。此外，由于钢筋与混凝土具有近似的温度膨胀系数(钢筋为 0.000012 ，混凝土为 $0.000010 \sim 0.000014$)，所以在温度变化不大时也不致因胀缩不匀而破坏两者之间的粘结。

总之，由于钢筋混凝土结构在耐久性、耐火性、可塑性及刚性等方面具有很多优点，同时占主要体积和重量的砂和石子，几乎在任何地区均可就近取得，因此在建筑上已经取得日益广泛的应用。任何事物都有其相对的一面，这种结构亦存在一些缺点，例如自重大、需要消耗较多的木模、拆除修补均较困难、施工受气候影响等等。但是，对于钢筋混凝土结构的缺点，我们已经在生产实践中得出许多克制的办法，例如利用轻骨料制成的混凝土就可以减少自重，构件定型化、生产工厂化就可以减少模板的损耗量，使用膨胀水泥或掺合快凝剂修补混凝土可以避免裂缝的形成，因此上述缺点，在不同程度上都可以得到改善。

解放前，旧中国由于受到帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫和剥削，工业落后，全国只有寥寥可数的几家水泥厂和炼钢厂，水泥和建筑钢材多数依赖国外进口，因此钢筋混凝土建筑物只有在少数的几个大城市中才能见到，广大地区的房屋仍然以砖瓦、砂石、石灰、木材为主要建筑材料；解放后，在党中央和毛主席的英明领导下，贯彻了“独立自主、自力更生”的方针，全国各大地区建成了很多大型水泥厂和炼钢厂，支援了国家重点工程的建设；同时为了发展地方工业的需要，在县社企业中也普遍的办起了为数众多的小水泥和小钢铁工业，目前水泥和钢筋已成为全国人民常用的建筑材料，广泛的应用于水利、海港、桥梁、人防、建筑等各项工程，各种钢筋混凝土建筑物、构筑物几乎随处可见，而且建筑物的质量和形式都有很大的发展和提高。

伟大的无产阶级文化大革命，粉碎了刘少奇、林彪、“四人帮”反党集团妄图篡党夺权的阴谋，我国的社会主义革命和社会主义建设进入了一个新的发展时期，在英明领袖华主席提

出的抓纲治国战略决策指引下,全国形势一派大好,向科学技术现代化进军的群众运动正在蓬勃开展,为了适应在新的形势下“抓革命、促生产、促工作、促战备”的需要,为了争取提前实现四个现代化的宏伟目标,我们基本建设战线上的广大职工必须认真学习马列著作和毛主席著作,坚持党的基本路线,坚持“鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义”的总路线,把我们的社会主义祖国建设得更加繁荣,更加强大。

第二章 钢筋混凝土结构 所用的材料

第一节 混 凝 土

(一) 混凝土的标号及强度

怎样来确定混凝土的质量，这是在使用材料时必须懂得的问题。

混凝土质量的高低用标号来表示。混凝土的标号系指按照标准方法制作、养护的边长为 20 厘米的立方体试块，当龄期为 28 天时，在压力试验机上进行试压所得的抗压极限强度。根据规范①规定，混凝土的标号分为 9 个等级，自 75 号至 600 号(见表 2-1)；如果某种混凝土试块的抗压极限强度在上列等级之间时，则应认为属于较低标号的一种，例如对试压强度为 164 公斤/厘米²的混凝土，则应定为 150 号。混凝土的标号越高即表示其质量越好。

由于混凝土的标号系根据对标准立方体试块的试压而得，但在绝大多数情况下，混凝土并非处于立方体受压状态；试验表明，棱柱体试件(高度大于边宽的方柱体)的轴心抗压强度要比立方体试件为低，并随试件高宽比增加而减低，这种强度减低的原因，显然是因为其中部在受压时易于扩张引起破坏的缘故；但当试件的高宽比大于 4 时，所测得的抗压强度，其数值基本上变化不大，因此在实际计算中常以棱柱强度作

① 本书系按《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10-74)编写。

混凝土的设计强度(公斤/厘米²)

表 2-1

项次	强度种类	符 号	混 凝 土 标 号							
			75	100	150	200	250	300	400	600
1	轴心抗压	R_a	42	55	85	110	145	175	230	325
2	弯曲抗压	R_w	52	70	105	140	180	220	290	405
3	抗 拉	R_t	6.8	8	10.5	13	15.5	17.5	21.5	26.5
4	抗 裂	R_f	8.5	10	13	16	19	21	25.5	30.5

注: 计算现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件时, 如截面的长边或直径小于 30 厘米, 则表中混凝土的设计强度应乘以系数 0.8, 当构件质量确有保证时, 可不受此限。

为混凝土轴心抗压强度。由于混凝土是一种非匀质材料, 所以在不同受力方式时所表现的强度均不一致, 弯曲时的抗压强度比轴心抗压强度高, 抗拉及抗裂强度则比轴心抗压强度低得很多。根据大量试验资料并考虑了材料强度在具有可靠保证率条件下的变异性, 得出各种强度在设计计算时的取值; 称为混凝土的设计强度, 可在表 2-1 中查得, 这些数值均与标号有关①。

① 各种设计强度与混凝土标号 R 的关系:

$$\text{轴心抗压: } R_a = 0.7R \frac{1-2C_v}{1-C_v}$$

$$\text{弯曲抗压: } R_w = 0.875R \frac{1-2C_v}{1-C_v}$$

$$\text{抗 拉: } R_t = 0.5R^{\frac{2}{3}} \frac{1-2C_v}{(1-C_v)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\text{抗 裂: } R_f = 0.5R^{\frac{2}{3}} (1-C_v)^{\frac{1}{3}}$$

式中: C_v ——试验时材料强度的变异系数, 按不同混凝土标号采用:

当 $R=75\sim200$ 时, 取 $C_v=0.167$;

当 $R=250\sim400$ 时, 取 $C_v=0.145$;

当 $R=500\sim600$ 时, 取 $C_v=0.123$ 。

对 500 号及 600 号混凝土, 考虑到材料有明显的脆性破坏形态, 因此按以上公式中取值时再分别乘以折减系数 0.95 及 0.90。

(二)混凝土的各种特性

我们通过对混凝土在结硬过程和受力作用后的观察，得到它所具有的下列几种特性：

1. 强度与龄期的关系 混凝土在浇捣初期，强度的增长速度甚快，图 2-1 表明混凝土强度增长与龄期的关系。实线代表混凝土长期处于潮湿环境养护中的情况，

虚线代表混凝土浇捣后最先七天在潮湿环境中而后即处于普通环境中养护的情况。由于混凝土的先期强度增长速度甚快，故对混凝土浇捣

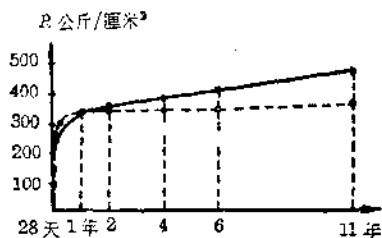


图 2-1 混凝土强度与龄期的关系

后作短期养护是非常重要的事；从图中曲线可以看出，若能使混凝土长期处于潮湿环境中，则在十一年以后强度的增长尚不停止。

2. 混凝土的收缩及膨胀 混凝土在空气中结硬时，体积会缩小，而在水中结硬时，体积会胀大。这种在不同环境中结硬时的体积变动情况，是由于混凝土中水泥浆在结硬过程中所发生的化学作用及物理作用所共同引起的。收缩现象要比膨胀现象明显，较大的收缩往往可以引起构件的开裂，应该设法避免。

影响混凝土结硬时体积收缩程度的因素有下列几种：

(1) 混凝土的收缩量随龄期的增加而增加，但发展不大，在短期内即能中止。

(2) 水泥用量愈多，水灰比愈大，则收缩愈大。

(3) 浇捣混凝土愈不密实，采用骨料的弹性模量愈低，则

收缩愈大。

(4) 养护不良可以增加混凝土的收缩量。

在正常条件下,普通混凝土的收缩量约为每米0.2毫米,在配有适量钢筋的构件中,一般不会因收缩引起明显的裂缝。

3. 混凝土的变形 混凝土在荷载作用下将发生一定数量的变形,这种变形不但取决于荷载的大小,同时与荷载的作用时间有关,根据试验和观察,可以发现混凝土的变形有如下两种情况:

(1) 瞬变——混凝土在短期荷载作用下的变形

如对混凝土作拉伸和压缩试验,即可得出其在短期荷载下的应力-应变曲线(见图2-2)。

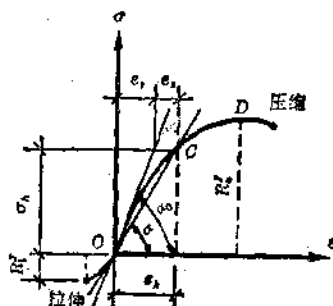


图2-2 混凝土的应力-应变图

从图中可以看出应力和应变的关系是:

1) 当应力较小时,应力和应变基本上是呈直线关系,但应力渐大时,应变的增加总比应力的增加为快,因此应力和应变即呈曲线关系。

2) 不出现屈服阶段,受压时的极限强度和极限变形(即材料在破坏时的最大应力和变形),要比受拉时大得多。

3) 卸荷后,混凝土的变形不能完全恢复,残留了一部分塑性变形,因此混凝土在荷载作用下的总应变 ϵ_u 系由弹性应变 ϵ_s 和塑性应变 ϵ_p 两部分所组成,压应力甚小时, ϵ_p 接近于零。

根据以上情况,由于混凝土的总变形中存在着一一定成分的塑性变形,因此严格的说,混凝土的弹性模量不是一个常数

值,而是随应力而变的变量;在实际应用中,我们常以混凝土的应力 σ_s 与其弹性应变 ε_s 的比值来表示它的弹性模量 E_s ,此值相当于应力-应变图原点切线与横轴交角 α_0 的正切值,即

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\varepsilon_s} = \operatorname{tg} \alpha_0$$

混凝土受压和受拉时的弹性模量基本上相等,并与它的标号有关,见表 2-2。

混凝土的弹性模量 E_s (公斤/厘米²) 表 2-2

项次	混凝土标号	弹性模量	项次	混凝土标号	弹性模量
1	75	1.55×10^5	6	300	3.00×10^5
2	100	1.85×10^5	7	400	3.30×10^5
3	150	2.30×10^5	8	500	3.50×10^5
4	200	2.60×10^5	9	600	3.65×10^5
5	250	2.85×10^5			

(2) 徐变——混凝土在长期荷载作用下的变形

混凝土在长期荷载作用下,即使荷载不变,其变形亦会随时间的增加而增加,这种现象称为“徐变”,影响徐变的因素有如下几点:

1) 混凝土的徐变量随受荷时间的增加而增加,受荷初期徐变量的增加较快,以后则渐趋缓慢。

2) 承受不同荷载的试件,如受荷时间相等,则应力大者徐变亦大。

3) 如采用相同标号而不同龄期的混凝土试件,在相等荷载作用下,则龄期愈短的混凝土徐变愈大。

4) 应用高级水泥、高质量骨料,并使之级配得愈密实,则可使徐变减少。

5) 环境愈潮湿, 则徐变愈小。

第二节 钢 筋

(一) 钢材的力学性能

钢筋在钢筋混凝土构件中的主要任务是承担拉力, 因此我们可以通过对钢材的拉伸试验去认识它的力学性能。

在做钢材的拉伸试验时, 先将钢材按标准尺寸加工制成试件, 然后将它装入试验机的上、下夹头上, 并按一定标距 l (一般取 $10d$ 或 $5d$, d 为试件直径) 装上变形仪, 如图 2-3 所示, 开动机器使上夹头慢慢上升, 此时试件的拉伸变形 Δl 将随着拉力 P 的增加而增加, 其数值均可从变形仪及试验机的示力盘上读出, 如试件的截面面积为 A , 则可求得其应力 $\sigma = \frac{P}{A}$, 应变 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 。如以软钢 (即低碳量钢, 如 3 号钢等) 作试件, 并将测定的应力和应变绘成坐标图形, 则可得出图

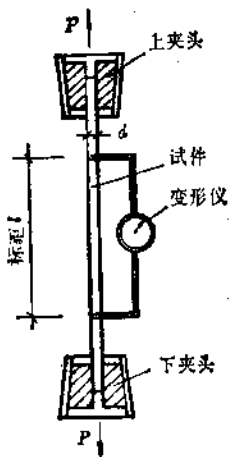


图 2-3 拉伸试验示意图

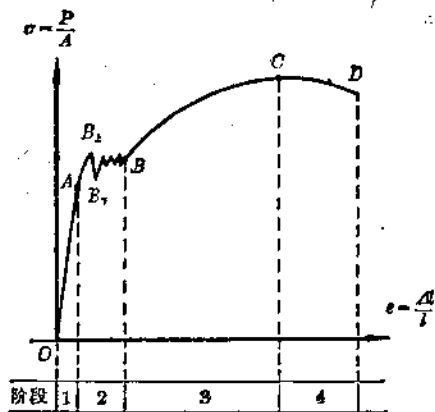


图 2-4 软钢受拉的应力-应变图

2-4 中的曲线, 这个曲线图形称为应力-应变图, 它表达了软钢在拉伸全过程中的力学性能, 现描述如下:

1. 弹性阶段 当试件受力不太大时, 其应力与应变的增长, 始终保持着正比的关系; 卸去外力时, 变形亦能完全消失, 表现出钢材的弹性, 等到应力超过某一限度时, 则应力与应变的增长即失去正比的关系, 在这个限度内的最大应力称为比例极限(或称弹性极限), 如曲线上的 A 点, 从 O 至 A 这一阶段称为弹性阶段。

2. 屈服阶段 当应力超过比例极限时, 应力与应变不再成正比增长, 在这阶段开始时, 图形渐变为曲线, 稍后, 则应变突然急剧增长, 而应力却在很小幅度内波动, 这种现象好象钢材已经屈服于外力, 因此图形上从 A 至 B 这一阶段称为屈服阶段。波动应力的下限(即图中 B_r 点)称为屈服强度。

由于应力到达屈服阶段后, 材料已丧失了弹性, 卸去外力后, 试件将产生很大的残余变形, 一般已不能满足使用要求, 因此在工程上就规定了屈服强度作为软钢强度的计算指标。

3. 强化阶段 当钢材屈服到一定程度后, 内部组织就发生了性质的变化, 抵抗外力的能力又重新提高了, 应力与应变的关系就沿着 BC 一段曲线上升, 这一阶段称为强化阶段。对应于最高点 C 的应力称为极限强度。

4. 破损阶段 钢材强化达到最高点 C 后, 在试件的薄弱截面处即产生了颈缩现象, 随着截面的急剧缩小, 塑性变形迅速增加, 拉力也随之下降, 最后在 D 点发生破损。

物质的性质并不是绝对的, 可以在一定条件下进行转化, 当钢材受拉应力超过屈服强度, 例如使之到达图 2-5 的 K 点, 然后放松; 在放松过程中, 应力-应变图则直接沿着平行于 OA 的 KL 线回到 L 点, 此时钢材产生了残余变形(塑性

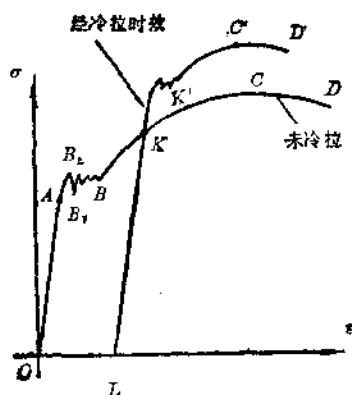


图 2-5 钢筋的冷拉时效

变形) OL 。如果立刻重新张拉, 则“应力-应变”图由 L 上升至 K 后即沿原曲线达 CD 而破损。钢材在引起塑性变形的应力作用下, 提高了屈服强度(由原来的 B 点提高到 K 点), 这种在冷加工下提高强度的现象称为冷强。冷强后钢材的屈服强度也不是保持不变的, 如使其在

常温下存放一个时期, 或在温度为 $100 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 下经历 $15 \sim 30$ 分钟, 它的屈服强度还会自动提高, 极限强度也略有提高, 这种现象称为时效。经过冷强和时效后, 应力-应变图形即变为 $LK'C'D'$, K' 点即为新的屈服强度, C' 点则为新的极限强度。从图上也可看出新的应力-应变曲线的横坐标幅度比原曲线小了一些, 也就是钢材的塑性变形区缩小了一些, 这说明了随着钢材的强度的提高, 钢材的韧性却降低了。

如果再以硬钢作试验, 我们即可从两者的应力-应变图(图 2-6)的对比中看出, 硬钢的特点是: 极限强度高, 没有屈服阶段, 弹性阶段长而塑性阶段短, 伸长率小。由于硬钢没有屈服阶

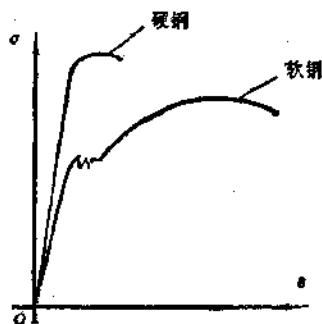


图 2-6 硬钢与软钢的应力-应变图

段,因此在应力达到极限强度前不会给人提出“危险”的预告,破坏是突然发生的,所以我们在使用硬钢时,所考虑的安全储备亦应大些。

设试件上原标距长为 l , 拉伸断裂后的标距长为 l_1 , 则 $l_1 - l$ 即代表钢材的塑性变形值, 此值与试件原长 l 的比率称为伸长率 δ , 即

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$$

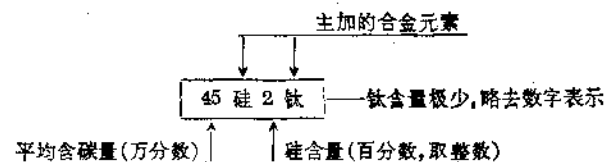
伸长率 δ 是衡量钢材塑性的一个指标, 它的数值愈大, 就表示塑性愈好。

(二) 钢筋的品种及强度

建筑用钢一般可按化学成分、生产工艺和机械性能予以分类。

按化学成分可分普通碳素钢和低合金钢两类。普通碳素钢除以铁元素为主体外, 还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素, 低合金钢除了含碳素钢的各元素外, 还加入少量其他合金元素, 如钛(Ti)、钒(V)、锰(Mn)……等, 加入这些元素后可以提高碳素钢的强度, 但又不影响钢的塑性。

低合金钢的代号主要用化学成分来表示, 现以“45 硅 2 钛”钢为例说明其含义:



按生产工艺不同, 钢筋又可分为下列四类:

1. 热轧钢筋 热轧钢筋系采用钢筋原材(普通碳素钢或低合金钢)加热至白炽状态后用机械方法轧制而成, 其表面有

光圆、人字纹和螺纹三种，低合金钢筋因强度高承受拉力大，为了防止在混凝土内产生滑移，所以多数轧制成人字纹或螺纹表面，如图 2-7 所示。

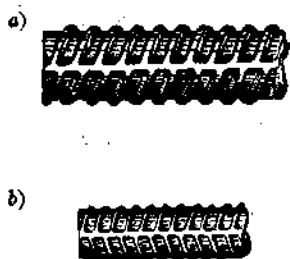


图 2-7 螺纹和人字纹钢筋

a) 螺纹钢筋；b) 人字纹钢筋

2. 冷拉钢筋 利用前述钢材冷强时效的作用，我们可以将各种热轧钢筋用机械方法进行冷拉以提高其强度。冷拉时的控制方式有单控和双控两种，单控系仅以冷拉伸长率控制，设备简单，无需测力系统；双控则以应力和冷拉伸长率同时控制，因此强度变异较小。冷拉应力的数值要定得合宜，如太高，虽强度提高多，但塑性差；如太低，虽塑性好，但强度提高少。单控冷拉时的伸长率应由试验确定。

3. 热处理钢筋 钢筋经过冷拉加工可以提高其强度，如进行热处理，则其强度可以比冷加工提得更高，这种钢筋的生产由于工艺复杂、成本高，目前仅用于重要的预应力混凝土结构。

4. 冷拔钢丝 冷拔钢丝是把钢筋强制拉过比其直径较小的硬质合金模，使截面变小而长度增加(图 2-8)，这种钢丝和冷拉钢筋不同之处是前者变形时仅受纵向拉力，而后者却同时受到径向挤压力，因此其抗拉强度的提高比冷拉钢筋更

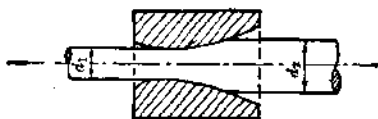


图 2-8 钢筋冷拔示意图

大,但是由于冷拔时其内部组织变化较大,因此钢筋变得更脆了,在作拉伸试验时,已经没有了明显的屈服阶段,冷拔钢丝的直径一般均在 5 毫米以内。

钢材虽属匀质材料,但同标号的同批钢筋的强度亦存在着微小的变异性,在设计计算时,钢筋强度的取值称为设计强度,此项强度系根据试验数据由统计数学得出,并使之具有 97.73% 的保证率^①。

各种钢材受拉和受压时的强度在弹性比例内基本上是一致的,但对受压钢筋来说,由于混凝土受压时的极限应变量为 0.002,产生与此值同量应变的钢筋应力为

$$\sigma'_s = \epsilon'_s E_s = 0.002 \times 2.0 \times 10^6 = 4000 \text{ 公斤/厘米}^2$$

因此规定受压钢筋的设计强度既不大于受拉钢筋的设计强度,也不大于 4000 公斤/厘米²;此外还规定了冷拉钢筋在受压时的设计强度不考虑冷拉提高的效果,仍按相同等级的热轧钢筋的受压设计强度取用。

在以上公式中 E_s 为钢筋的弹性模量,其物理意义是指钢材产生单位应变时的应力,它是一个比较稳定的数值,钢材的化学成分及组织结构对弹性模量的影响极小,如 II、III、IV、V 级钢筋的弹性模量均在 2.0×10^6 公斤/厘米² 左右。I 级钢筋稍高,为 2.1×10^6 公斤/厘米²。

^① 强度保证率 97.73% 是指取同类钢筋作拉伸试验时,有 97.73% 以上试件的屈服强度不低于所定的设计强度。