

第1篇

钢筋及预应力工程基础知识

建筑工程钢筋概论

1.1 钢筋的定义与分类

钢筋(rebar)是指钢筋混凝土用和预应力钢筋混凝土用钢材,包括光圆钢筋、带肋(变形)钢筋和预应力钢筋。光圆钢筋(plain round bars)是经热轧成型并自然冷却的成品钢筋,由低碳钢和普通合金钢在高温状态下轧制而成,主要用于钢筋混凝土结构的配筋,是土木建筑工程中使用量最大的钢材品种之一;带肋(变形)钢筋是指表面带肋的钢筋,通常带有两道纵肋和沿长度方向均匀分布的横肋,横肋的外形为螺旋形、人字形、月牙形等;预应力钢筋是在结构构件使用前,通过先张法或后张法预先对构件混凝土施加压应力,用以提高构件的抗裂性、刚度及抗渗性,能够充分发挥材料的性能,节约钢材,主要由单根或成束的钢丝、钢绞线或钢筋组成。

钢筋直径通常用公称直径的毫米数表示。带肋(变形)钢筋的公称直径相当于与其横截面积相等的光圆钢筋的公称直径,钢筋的公称直径一般为6~50 mm,钢种有20MnSi、20MnV、25MnSi、BS20MnSi。钢筋在混凝土中主要承受拉应力,广泛用于各种建筑结构,带肋(变形)钢筋因为肋的作用,和混凝土有较大的黏结握裹能力,因而能更好地承受外力的作用。

1.1.1 按照钢筋生产工艺分类

按照不同的生产工艺,钢筋可分为热轧钢

筋(微合金化钢筋)、超细晶粒钢筋、余热处理钢筋(穿水冷却钢筋)、冷轧带肋钢筋等。

热轧钢筋(微合金化钢筋)是通过控制钢的晶粒细化和碳氮化合物沉淀进行强化,在热轧状态下获得最佳力学性能的工程结构材料。在普通低C-Mn钢中添加微量(通常质量分数<0.1%)的强碳氮化合物形成元素(如Nb、V、Ti等)进行合金化,可以起到晶粒细化、析出强化等作用。该生产工艺设备要求较低,过程控制简单,在国内外得到了广泛应用。该工艺生产的钢筋具有高强度、高韧性、高可焊接性、高耐疲劳性、良好的耐腐蚀及成型性能等,内部组织为铁素体+珠光体,组织均匀,但由于铌、钒、钛等合金成本较高,导致钢筋成本偏高。

超细晶粒钢筋是利用超细晶形成的基本原理使形变与相变建立耦合机制,主要控制技术是使奥氏体过冷和获得大的累积变形量,精轧阶段轧制温度控制在 $Ac_3 \sim Ar_3$,使其产生形变,诱导铁素体相变(CIFT),获得细小的铁素体晶粒,通过轧后的控冷进一步阻止铁素体晶粒长大,从而获得超细晶组织,这样在普通碳素钢的基础上,依靠细晶强化,使钢的强度成倍增加,达到400 MPa、500 MPa级高强钢筋要求。该工艺生产的钢筋具有强度高、韧性好、生产成本低的优点,但钢筋强屈比降低,焊接过程高温将导致焊接热影响区晶粒长大,焊接接头出现软化现象,因此应用较少。

余热处理钢筋(穿水冷却钢筋)是在热轧

轧件离开终轧机架后进入水冷箱,通过强力快速冷却使钢筋表层形成具有一定厚度的淬火马氏体,而心部仍为奥氏体;当钢筋离开强制快速冷却水箱进入冷床后,心部的余热向表层扩散,使表层的马氏体自回火;当钢筋在冷床上缓慢冷却时,心部奥氏体发生相变,形成铁素体和珠光体。该工艺可利用同一基材得到更高强度级别螺纹钢,工艺灵活性大,技术投资少且经济效益好,世界各国普遍采用,但该工艺在国内建筑行业认可度小,使得在我国该工艺生产的钢筋应用受到限制,大部分产品出口。该工艺生产的钢筋具有高强度、高韧性及良好的成型性能,且生产成本低,但钢筋横截面组织不均匀,心部和表面力学性能差别较大,冷弯易开裂,耐腐蚀性能差,焊接性能较差。

冷轧带肋钢筋使用光圆钢筋盘条经冷轧专用设备轧制而成。钢筋外形分为二面月牙横肋、三面月牙横肋和四面月牙横肋。该工艺生产的钢筋具有能耗低、与混凝土黏结锚固性能优良、工艺简便、产品经济效益高等优点,且具有高强度、良好的表面质量,但塑性及伸长率较低,抗震性能不佳。

1.1.2 按照钢筋力学性能分类

按照钢筋混凝土用钢的力学性能,工程钢筋主要分为Ⅱ级钢筋(屈服强度为 300 MPa)、Ⅲ级钢筋(屈服强度为 400 MPa)、Ⅳ级钢筋(屈服强度为 500 MPa)、Ⅴ级钢筋(屈服强度为 600 MPa)。

在钢筋混凝土结构中最常用的是热轧钢筋,包括热轧光圆钢筋和热轧带肋钢筋。热轧光圆钢筋牌号为 HPB300(Ⅱ级),HPB 是热轧光圆钢筋的英文(hot rolled plain bars)缩写,300 是Ⅱ级钢筋屈服强度特征值,其下屈服强度标准值 $R_{eL} \geq 300$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 420$ MPa。热轧带肋钢筋牌号有 HRB400、HRB400E、HRBF400、HRBF400E、HRB500、HRB500E、HRBF500、HRBF500E、HRB600 九种,HRB 是热轧带肋钢筋的英文(hot rolled ribbed bars)缩写,400 是Ⅲ级钢筋屈服强度特

征值,其下屈服强度标准值 $R_{eL} \geq 400$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 540$ MPa;500 是Ⅳ级钢筋屈服强度特征值,其下屈服强度标准值 $R_{eL} \geq 500$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 630$ MPa;600 是Ⅴ级钢筋屈服强度特征值,其下屈服强度标准值 $R_{eL} \geq 600$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 730$ MPa。字母 E 是“地震”(earthquake)的英文首位字母,代表抗震钢筋;F 是细晶粒的英文(fine)首位字母,代表细晶粒钢筋。现浇楼板的钢筋和梁柱的箍筋多采用 HPB300 和 HRB400 级钢筋;梁柱的受力钢筋多采用 HRB400、HRB400E、HRBF400、HRBF400E、HRB500、HRB500E、HRBF500、HRBF500E 级钢筋。

预应力钢筋分为预应力混凝土用螺纹钢和预应力钢绞线。预应力混凝土用螺纹钢(也称精轧螺纹钢)采用热轧、轧后余热处理或热处理等工艺生产,是在整根钢筋上轧有外螺纹的大直径、高强度、高尺寸精度的直条钢筋,以屈服强度划分级别,其代号为 PSB 加上规定屈服强度最小值表示,P、S、B 分别为 Prestressing、Screw、Bars 的英文首位字母。预应力混凝土用螺纹钢的公称直径分为 15、18、25、32、36、40、50、60、63.5、65、70、75 mm 12 种规格,按力学性能级别分为 PSB785、PSB830、PSB930、PSB1080、PSB1200 五种。其下屈服强度标准值 R_{eL} 分别不小于 785、830、930、1080、1200 MPa,抗拉强度 R_m 分别不小于 980、1030、1080、1230、1330 MPa,断后伸长率 A 分别不小于 8%、7%、7%、6%、6%。

冷轧带肋钢筋主要用于预应力混凝土、普通钢筋混凝土和钢筋焊接网等。冷轧带肋钢筋按延性高低分为冷轧带肋钢筋(CRB+抗拉强度特征值)和高延性冷轧带肋钢筋(CRB+抗拉强度特征值+H)两类,C、R、B、H 分别为冷轧(cold rolled)、带肋(ribbed)、钢筋(bar)、高延性(high elongation)4 个词的英文首位字母。按钢筋力学性能分为 CRB550、CRB650、CRB800、CRB600H、CRB680H、CRB800H 6 个牌号。其中,CRB550、CRB600H 为普通钢筋混凝土用钢筋,CRB650、CRB800、CRB800H 为预应力混凝土用钢筋,CRB680H 既可作为普通

钢筋混凝土用钢筋,也可作为预应力混凝土用钢筋使用。CRB550、CRB600H、CRB680H 钢筋的公称直径范围为 4~12 mm,CRB650、CRB800、CRB800H 钢筋的公称直径分别为 4、5、6 mm。钢筋表面横肋分为二面肋、三面肋和四面肋,二面肋和三面肋钢筋横肋呈月牙形,四面肋横肋的纵截面应为月牙状,并且不应与横肋相交。二面肋和三面肋钢筋的公称直径为 4~12 mm,每间隔 0.5 mm 为一种规格;四面肋钢筋的公称直径为 6~12 mm,每间隔 1 mm 为一种规格。普通钢筋混凝土用 CRB550、CRB600H、CRB680H 的规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 分别不小于 500、540、600 MPa,抗拉强度 R_m 分别不小于 550、600、680 MPa;预应力混凝土用 CRB650、CRB800、CRB800H 的规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 分别不小于 585、720、720 MPa,抗拉强度 R_m 分别不小于 650、800、800 MPa, $R_m/R_{p0.2}$ 均不应小于 1.05。

除了上述钢筋外,还有《钢筋混凝土用四面带肋钢筋》(YB/T 4657—2018)规定的热轧带肋钢筋。热轧四面带肋钢筋按屈服强度特征值分为 400 级和 500 级,钢筋牌号分为 B400F 和 B500FB 两种,首字母 B 代表带肋钢筋,字母 F 代表四面,后缀字母 B 代表精卷工艺,400、500 代表钢筋屈服强度特征值,钢筋公称直径分别为 6、8、10、12、14、16 mm,屈服强度标准值 R_{el} 分别不小于 400 MPa、500 MPa,抗拉强度 R_m 分别不小于 540 MPa、550 MPa,B500FB 是以 B400F 为原料,在一定张力条件下在线或离线采用工字轮收线工艺加工而成。该牌号钢筋只适用于钢筋焊接网,不适用于其他用途。

1.1.3 按照钢筋轧制外形分类

按照钢筋的轧制外形,可分为光圆钢筋、带肋(变形)钢筋、钢丝及钢绞线、冷轧扭钢筋等。

光圆钢筋是指表面为光滑圆柱面的钢筋,主要用于箍筋、板钢筋和墙分布筋等。热轧光圆钢筋的公称直径为 6~22 mm,交货状态为盘圆和直条均可。

带肋(变形)钢筋是指在钢筋表面具有不同的肋型(有月牙形、螺旋形、人字形等),利用肋增强钢筋与混凝土的黏结力和握裹力,主要用于柱、梁等构件中的受力筋。带肋(变形)钢筋的出厂长度一般有 9m、12m 两种规格。

钢丝是钢材的板、管、型、丝四大品种之一,是用热轧盘条经冷拉制成的再加工产品,按丝径尺寸分为特细(<0.1 mm)、较细($0.1\sim 0.5$ mm)、细($0.5\sim 1.5$ mm)、中等($1.5\sim 3.0$ mm)、粗($3.0\sim 6.0$ mm)、较粗($6.0\sim 8.0$ mm)和特粗(>8.0 mm)。按钢丝极限抗拉强度分为低强度(<390 MPa)、中低强度($390\sim 785$ MPa)、普通强度($785\sim 1225$ MPa)、中高强度($1225\sim 1960$ MPa)、高强度($1960\sim 3135$ MPa)和特高强度(>3135 MPa)。钢丝一般分为冷拔低碳钢丝和碳素高强钢丝两种,直径均在 5 mm 以下。钢丝又分为螺旋肋钢丝和刻痕钢丝。螺旋肋钢丝是通过专用拔丝模冷拔使钢丝表面沿长度方向产生规则间隔肋条的钢丝,直径为 4~9 mm,标准抗拉强度 1570~1770 MPa,螺旋肋能增加与混凝土的握裹力,可用于先张法构件;刻痕钢丝是用冷轧或冷拔方法使钢丝表面产生周期性变化的凹痕或凸纹的钢丝,钢丝表面的凹痕或凸纹能增加与混凝土的握裹力,可用于先张法构件。

钢绞线是由多根碳素钢丝在绞线机上成螺旋形绞合,并经低温回火消除应力制成。钢绞线的整根破断力大、柔性好、施工方便,具有广阔的发展前景。钢绞线常用于承力索、拉线、加强芯、预应力材料、阻拦索、地线等,被广泛应用于桥梁、电力、水利、建筑及道路围栏等多类工程领域。钢绞线按表面涂覆层可以分为光面钢绞线、镀锌钢绞线、涂环氧树脂(epoxy coated)钢绞线、铝包钢绞线、镀铜钢绞线、包塑钢绞线、无黏结钢绞线、模拔钢绞线、不锈钢钢绞线等。常用光面钢绞线的规格有 1×3 和 1×7 两种,直径为 8.6~15.2 mm,标准抗拉强度为 1570~1860 N/mm²。后张法预应力均采用 1×7 钢绞线, 1×3 钢绞线仅用于先张法构件。无黏结钢绞线是用防腐润滑油脂涂敷在钢绞线表面上、外包塑料护套制成,主要用于

后张法中无黏结预应力筋,也可用于暴露或腐蚀环境中的体外索、拉索等。钢绞线规格型号一般分为 1×7 、 1×2 、 1×3 和 1×19 等,最常用的是7丝结构。规格型号表示为“ $1\times 19\phi 5$ ”,表明1根钢绞线由19根直径为5 mm的钢丝绞合而成。按照用途分为预应力钢绞线、电力用的镀锌钢绞线及不锈钢钢绞线,其中预应力钢绞线涂防腐油脂或石蜡后包高密度聚乙烯(HDPE)称为无黏结预应力钢绞线(unbonded steel strand)。预应力钢绞线也有用镀锌或镀锌铝合金钢丝制成的。电力用的镀锌钢绞线及铝包钢绞线包含的钢丝数量分为2、3、7、19、37等,最常用的是7丝。

冷轧扭钢筋是以热轧Ⅰ级盘圆为原料,经专用生产线,先冷轧扁,再冷扭转,从而形成系列螺旋状直条钢筋。冷轧扭钢筋是20世纪80年代我国独创的实用、新型、高效的冷加工钢筋,具有良好的塑性($\delta_{10}\geq 4.5\%$)和较高的抗拉强度($\sigma_b\geq 580\text{ MPa}$),与Ⅰ级钢筋相比,可节约钢材30%~40%,在建筑行业应用较多。

1.1.4 按照钢筋直径大小分类

按照钢筋直径大小分为钢丝(直径3~5 mm)、细钢筋(直径6~12 mm)、粗钢筋(直径22~50 mm)等。精轧螺纹钢公称直径较大(直径15~75 mm),基本以粗直径钢筋为主。

1.1.5 按照钢筋在结构中的作用分类

按照钢筋在结构中的作用,工程钢筋可分为受力钢筋和构造钢筋。受力钢筋是在钢筋混凝土结构中按结构计算承受拉力或压力的钢筋,它是建筑工程用的主要钢筋,包括受拉钢筋、受压钢筋等;构造钢筋在钢筋混凝土构件中是根据构造要求设置的钢筋,包括架立筋、分布筋、箍筋、腰筋等。

架立筋(erection bar)是为满足施工要求而设置的定位钢筋。其作用是把主要的受力钢筋和箍筋固定在正确的相对位置上,并与主钢筋连成钢筋骨架,从而充分发挥各自的受力特

性。架立筋是构造要求的非受力钢筋,一般布置在梁的受压区,并且直径较小。当梁支座处的上部布置有负筋时,架立筋可只布置在梁的跨中部分,两端与支座负筋搭接或焊接,搭接时需要满足搭接长度的要求并应绑扎。在设计时梁上部如果需要布置受压纵筋,受压纵筋可兼作架立筋。

分布筋(distributing bar)是在垂直于板或梁荷载方向上设置的构造钢筋。其作用是将作用于板或梁上的荷载更均匀地传给构件,同时在施工中可通过绑扎或点焊固定主钢筋的位置,并用来抵抗温度应力和混凝土收缩应力。分布筋大部分用于楼板上,在受力钢筋上面,与之成 90° ,起固定受力钢筋位置的作用,并将板上的荷载分散到构件上,同时也能防止因混凝土的收缩和温度变化等原因,使受力钢筋和分布筋形成钢筋网,防止双向开裂。在剪力墙上,墙梁与墙柱之外的墙体纵筋和横筋亦称作分布筋。在单向板中,布置在受力钢筋的上部,属于构造钢筋。板上部的钢筋,放在最上面的是受力筋,用于抵抗负弯矩,下面的是分布筋。正弯矩筋布置在下面的钢筋为受力筋,在上面垂直分布的钢筋为分布筋;负弯矩筋(如悬挑板)相反,在下面的钢筋为分布筋,在上面的钢筋为受力筋。

箍筋(hoop, stirrup)是用来满足斜截面抗剪强度,并连接受力主筋和受压区钢筋骨架的钢筋,分单肢箍筋、开口矩形箍筋、封闭矩形箍筋、菱形箍筋、多边形箍筋、井字形箍筋和圆形箍筋等。箍筋应根据计算确定,箍筋的最小直径与梁高 h 有关,当 $h\leq 800\text{ mm}$ 时,直径不宜小于6 mm;当 $h>800\text{ mm}$ 时,直径不宜小于8 mm。梁支座处的箍筋一般从梁边(或墙边)50 mm处开始设置。支承在砌体结构上的钢筋混凝土独立梁,在纵向受力钢筋的锚固长度 L_a 范围内应设置不少于两道的箍筋,当梁与混凝土梁或柱整体连接时,支座内可不设置箍筋。

腰筋(waist muscle)作为建筑结构中的一种钢筋,又称“腹筋”,其得名于在构造中的位置,一般位于梁两侧中间部位,是梁中部构造

钢筋,主要是因为有的梁太高,需要在箍筋中部加条连接筋(梁侧的纵向构造钢筋实际中又称为腰筋)。腰筋分两种:一种为抗扭筋,在图纸上以N开头;一种为构造配筋,以G开头。梁的抗扭在设计上属配筋,即力学上不用设计和计算具体力的大小,按国家设计规范的构造要求查得此数据。当梁高达到一定要求时,就须加设腰筋,安装多少、加多大规格应按构造要求由规范查得。抗扭腰筋的锚固长度按规范或图集受力钢筋要求设置,构造配筋的锚固长度按 $15d$ (d 为钢筋直径)要求设置,具体可见《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(16G101-1)第29页。

1.1.6 按照钢筋的功能应用分类

按照其功能应用,钢筋分为普通钢筋、预应力钢筋、耐火钢筋、耐腐蚀钢筋、耐低温钢筋等。

普通钢筋是各种非预应力钢筋的总称,其中包括抗震钢筋和非抗震钢筋。抗震钢筋是指在抗震结构中使用的具有抗震性能的钢筋,即在建筑物受到地震波冲击时,可延缓建筑物断裂发生时间、避免建筑物在瞬间整体倒塌,从而提高建筑物的抗震性能。因此在抗震结构中,理想的钢筋性能应有一个较长的屈服平台,有很好的延性,同时钢筋实际屈服强度相对于屈服强度标准值不宜过高。抗震钢筋除应满足标准规定的普通钢筋所有性能指标外,还应满足:①抗震钢筋的实测抗拉强度与实测屈服强度之比不小于1.25;②钢筋的实测屈服强度与标准规定的屈服强度特征值之比不大于1.30;③钢筋的最大力总伸长不小于9%。抗震钢筋和普通钢筋的本质区别就是抗震钢筋可以使钢筋获得更好的延性,从而能够更好地保证重要结构构件在地震时具有足够的塑性变形能力和耗能能力。

预应力钢筋主要分为预应力钢丝、预应力钢绞线、热处理钢筋、精轧螺纹钢。预应力钢筋是在结构构件使用前,通过先张法或后张法预先对构件混凝土施加压应力。普通钢筋混凝土结构中,由于混凝土极限拉应变低,在

使用荷载作用下,构件中钢筋的应变大大超过了混凝土的极限拉应变。为了充分利用高强度材料,弥补混凝土与钢筋拉应变之间的差距,人们把预应力钢筋运用到混凝土结构中去。亦即在外荷载作用到构件上之前,预先用某种方法在构件上(主要在受拉区)施加压力,构成预应力钢筋混凝土结构。当构件承受由外荷载产生的拉力时,首先抵消混凝土中已有的预压力,然后随荷载增加,才能使混凝土受拉而后出现裂缝,因而延迟了构件裂缝的出现和开展。

预应力钢绞线施工设计的控制张拉力,是指预应力张拉完成后钢绞线在锚夹具前的拉力。因此在进行钢绞线预应力张拉理论伸长量计算时,应以钢绞线两头锚固点之间的距离作为钢绞线的计算长度。但在预应力张拉时钢绞线的张拉力是在千斤顶工具锚处控制的,故为控制和计算方便,一般以钢绞线两头锚固点之间的距离加上钢绞线在张拉千斤顶中的工作长度作为钢绞线预应力张拉理论伸长量的计算长度。在钢绞线预应力张拉时,钢绞线的外露部分大部分被锚具和千斤顶所包裹,钢绞线的张拉伸长量无法在钢绞线上直接测量,故只能通过测量张拉千斤顶的活塞行程计算钢绞线的张拉伸长值,但同时还应减掉钢绞线张拉全过程的锚塞回缩量。钢绞线的承载能力一般应为总牵引力的4~6倍。

热处理钢筋是由普通热轧中碳合金钢筋经淬火和回火调质热处理制成,具有高强度、高韧性和高黏结力等优点,直径为6~10 mm。成品钢筋为直径2 m的弹性盘卷,开盘后自行伸直,每盘长度为100~120 m。热处理钢筋的螺纹外形有带纵肋和无纵肋两种。

精轧螺纹钢是一种热轧成带有不连续的外螺纹的直条钢筋,该钢筋在任意截面处均可用带有匹配形状的内螺纹的连接器或锚具进行连接或锚固。精轧螺纹钢具有锚固简单、施工方便、无须焊接等优点。目前国内生产的精轧螺纹钢品种有PSB785、PSB830、

PSB930、PSB1080、PSB1200 五种牌号,钢筋公称直径为 15~75 mm,共 12 个规格。

钢筋混凝土用热轧碳素钢-不锈钢复合钢筋是以不锈钢做覆层、碳素钢(或低合金钢)做基材通过热轧法生产的不锈钢复合钢筋,两种材料复合界面在温度或压力(或二者共同)作用下两种金属相互扩散而形成连接结合状态。按照屈服强度特征值分为 300 级、400 级、500 级,按外形分为光圆和带肋两种,钢筋牌号主要有 HPB300SC、HRB400SC 和 HRB500SC,HPB*SC 代表热轧光圆碳素钢-不锈钢复合钢筋(hot-rolled plain bars of carbon steel and stainless compound bars),HRB*SC 代表热轧带肋碳素钢-不锈钢复合钢筋(hot-rolled ribbed bars of carbon steel and stainless compound bars),其力学性能和工艺性能与热轧钢筋相同。钢筋不锈钢覆层厚度不低于 180 μm 。

钢筋混凝土用不锈钢钢筋是以不锈、耐蚀性为主要特征的钢筋。按照屈服强度特征值分为 300 级、400 级、500 级,按外形分为光圆和带肋两种,钢筋牌号主要有 HPB300S、HRB400S 和 HRB500S,HPB*S 代表热轧光圆不锈钢钢筋(hot-rolled plain bars of stainless steel),HRB*S 代表热轧带肋碳素钢-不锈钢复合钢筋(hot-rolled ribbed bars of stainless steel),其力学性能和工艺性能与热轧钢筋相同。光圆不锈钢钢筋的公称直径范围为 6~22 mm,带肋不锈钢钢筋的公称直径范围为 6~50 mm。

环氧树脂涂层钢筋是指在钢筋表面熔融结合环氧涂层的钢筋,包括环氧涂层钢筋和镀锌环氧涂层钢筋。熔融结合环氧涂层是指将材料以粉末形式喷涂在加热的洁净金属表面,固化后形成连续的涂层,涂层包含热固性环氧树脂、固化剂、颜料及其他添加剂。镀锌环氧涂层钢筋是指底层为热镀方式涂覆的锌合金涂层,面层为熔融结合环氧涂层的钢筋。按加工工艺,环氧树脂涂层钢筋分为涂装后可加工钢筋,用 A 表示;涂装后不可加工钢筋,用 B 表示。按涂层类别,环氧树脂涂层钢筋分为环

氧涂层钢筋,用 E 表示;镀锌环氧涂层钢筋,用 ZE 表示。环氧树脂涂层钢筋的型号用环氧树脂涂层钢筋名称代号(ECR)+加工工艺代号+钢筋强度级别代号+钢筋公称直径+涂层类别代号表示。例如用直径 20 mm、牌号为 HRB400 的钢筋制作的可再加工环氧涂层钢筋的型号为 ECRA·HRB400-20(E)。

耐火钢筋是指在钢中加入适量的耐火合金元素,如 Mo、Cr、Ni、Nb、V 等,使其具有在 600℃时屈服强度不低于常温下屈服强度 2/3 的耐火性能并按热轧状态交货的钢筋。主要分为热轧光圆耐火钢筋 HPB300FR、热轧带肋耐火钢筋 HRB400FR 和 HRB500FR,其中字母 FR 是耐火(fire resistant)的英文缩写。

耐腐蚀钢筋是指具有抗腐蚀功能的钢筋,它具有一般钢筋的承受拉应力的功能,同时具有抗腐蚀的特性,相对腐蚀率低于 70%,可有效延长钢筋的使用寿命。根据钢筋的使用环境不同,如工业大气腐蚀环境、氯离子腐蚀环境,分为耐工业大气腐蚀钢筋和耐氯离子腐蚀钢筋。

耐低温热轧带肋钢筋 HRB500DW 是液化天然气(简称 LNG)储罐工程专用低温钢筋,钢筋规格为 12~40 mm,在 0~-165℃低温下,试样力学性能指标应达到无缺口试样规定,塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 575 MPa,无缺口试样最大力总延伸率 A_{gt} 应不小于 3%,缺口试样最大力总延伸率 A_{gt} 应不小于 1%。常温条件下屈服强度标准值 R_{el} 为 500 MPa,实测抗拉强度与实测屈服强度的比值应不小于 1.1,断后延伸率 A 应不小于 14%,最大力总延伸率 A_{gt} 应不小于 5%。

1.1.7 按照钢筋生产标准分类

按照钢筋生产标准分为国标钢筋、国际标准钢筋、美标钢筋、英标钢筋、日标钢筋、韩标钢筋、澳标钢筋等,其力学性能如表 1-1、表 1-2 及表 1-13 所示。

表 1-1 国际标准钢筋力学性能

标准	级别	牌号	上屈服强度/MPa		强屈比	断后伸长率 /%	最大力总 延伸率/%
			最小值	最大值	最小值	最小值	最小值
国际标准 ISO 6935— 2: 2015	A	B300A-R	300	—	1.02	16	2
		B400A-R	400	—		14	
		B400AWR					
		B500A-R	500	—			
		B500AWR					
		B600A-R	600	—		10	
		B450AWR	450	$1.25\times R_{\text{eH}}(\text{min})$	1.05	—	2.5
	B	B300B-R	300	—	1.08	16	5
		B400B-R	400	—		14	
		B400BWR					
		B500B-R	500	—			
		B500BWR					
		B600B-R	600	—		10	
	C	B300C-R	300	—	1.15	16	7
		B400C-R	400	—		14	
		B400CWR					
		B500C-R	500	—			
		B500CWR					
		B600C-R	600	—		10	
		B450CWR	450	$1.25\times R_{\text{eH}}(\text{min})$		—	7.5
	D	B300D-R	300	—	1.25	17	8
		B300DWR					
		B350DWR	350	—			
		B400D-R	400	—		16	
		B420DWR	420	—			
		B500D-R	500	$1.30\times R_{\text{eH}}(\text{min})$		13	

表 1-2 其他国家标准钢筋力学性能

标准	牌号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率/%	最大力总延伸率/%	强屈比
美标钢筋 ASTM A615: 2016 ASTM A706: 2016	Grade40[280]	≥280	≥420	≥11.0 或 12.0	—	—
	Grade60[420]	≥420	≥620	≥7.0 或 8.0 或 9.0		
	Grade75[520]	≥520	≥690	≥6.0 或 7.0		
	Grade80[550]	≥550	≥725	≥6.0 或 7.0		
	Grade100[690]	≥690	≥790	≥6.0 或 7.0		
英标钢筋 BS 4449: 2005	B500A	500~650	—	—	≥2.5	≥1.05
	B500B	500~650			≥5.0	≥1.08
	B500C	500~650			≥7.5	≥1.15, <1.35

续表

标准	牌号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率/%	最大力总 延伸率/%	强屈比
目标钢筋 JIS J3112: 2010	SR235	≥235	380~520	≥20.0 或 22.0	—	—
	SR295	≥295	440~600	≥18.0 或 19.0		
	SR295A	≥295	440~600	≥16.0 或 17.0		
	SR295B	295~390	≥440	≥16.0 或 17.0		
	SR345	345~400	≥490	≥18.0 或 19.0		
	SR390	390~510	≥560	≥16.0 或 17.0		
	SR490	490~625	≥620	≥12.0 或 13.0		
韩标钢筋 KS D3504: 2016	SD300	≥300	≥440	≥16.0 或 18.0	—	—
	SD350	≥350	≥490	≥18.0 或 20.0		
	SD400	≥400	≥560	≥16.0 或 18.0		
	SD500	≥500	≥620	≥12.0 或 14.0		
	SD600	≥600	≥710	≥10.0		
	SD700	≥700	≥800	≥10.0		
	SD400W	≥400	≥560	≥16.0 或 18.0		
	SD500W	≥500	≥620	≥12.0 或 14.0		
澳标钢筋 ASNZS 4671: 2019	250N	≥250	—	—	≥5.0	≥1.08
	500L	500~750			≥1.5	≥1.03
	500N	500~650			≥5.0	≥1.08
	300E	300~380			≥12.0 或 15.0	1.15~ 1.50
	500E	500~600			≥10.0	1.15~1.40
	600N	600~750			≥5.0	≥1.08
	750N	750~900			≥4.0	≥1.04

1.2 钢筋及预应力钢筋技术标准

根据现行国家标准规定,钢筋混凝土用钢的产品标准为《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》(GB/T 1499.1—2024)、《钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋》(GB/T 1499.2—2018)、《钢筋混凝土用钢 第3部分:钢筋焊接网》(GB/T 1499.3—2022)、《冷轧带肋钢筋》(GB/T 13788—2017)、《钢筋混凝土用热轧碳素钢-不锈钢复合钢筋》(GB/T 36707—2018)、《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》(GB/T 33959—2017)、《钢筋混凝土用热轧耐火钢筋》(GB/T 37622—2019)、《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》(GB/T 33953—2017)、《环氧树脂涂层钢筋》(JG/T 502—2016)、《钢筋混凝土用四面带肋钢筋》(YB/T 4657—2018)和《耐低温热轧带肋钢筋》(Q/MGB 533—2018)。预应力钢筋的产

品标准有:《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224—2023)、《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223—2014)、《无粘结预应力钢绞线》(JG/T 161—2016)和《缓粘结预应力钢绞线》(JG/T 369—2012)等。

1.2.1 热轧光圆钢筋

钢筋混凝土用热轧光圆钢筋(hot rolled plain bars)是指经热轧成型、横截面为圆形、表面光滑的成品钢筋。根据《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》(GB/T 1499.1—2024)的规定,钢筋可按直条或盘卷交货,直条钢筋定尺长度应在合同中注明,按定尺长度交货的直条钢筋,其长度允许偏差范围为0~+50 mm,直条钢筋的弯曲度应不影响正常使用,每米弯曲度应不大于4 mm,总弯曲度应不大于钢筋总长度的0.4%。在无限多次的检验中,与某一规定概率所对应的分位值叫作特征值,热轧光圆钢筋牌号用钢筋的屈服强度特征