

冷轧带肋钢筋混凝土 结构设计 与 施工

沈蒲生 编著

中国建筑工业出版社

冷轧带肋钢筋混凝土 结构设计 与 施工

沈蒲生 编著

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

冷轧带肋钢筋混凝土结构设计与施工/沈蒲生编著. 北京:
中国建筑工程出版社, 1997
ISBN 7-112-03110-9

I. 冷… II. 沈… III. ①混凝土结构-钢筋混凝土结构
-结构设计②钢筋混凝土结构-混凝土施工 IV. TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 24474 号

冷轧带肋钢筋混凝土结构设计与施工

沈蒲生 编著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义板桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 486 千字

1997 年 4 月第一版 1997 年 4 月第一次印刷

印数: 1—5,000 册 定价: 25.50 元

ISBN 7-112-03110-9

TU·2397 (8244)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书对冷轧带肋钢筋混凝土结构的材料、设计方法、施工工艺、预制构件可靠性检验方法作了介绍。为了帮助读者了解和掌握其设计方法，书中专辟设计实例一章。在最后一章中，还对结构内力重分布、混凝土拉应力限制系数取值、裂缝宽度和变形计算、通用图集编制方法等问题进行了讨论，并对如何推广采用冷轧带肋钢筋提出了建议。

本书适合各土建设计、施工单位及土建高等院校和中等专科学校师生参考，也可供冷轧带肋钢筋及设备生产厂家有关人员阅读。

* * *

责任编辑 王 跃

目 录

第一章 材 料	1
第一节 冷轧带肋钢筋	1
第二节 混凝土	40
第二章 结构构件设计方法	54
第一节 基本设计规定	54
第二节 正截面承载力计算	66
第三节 斜截面承载力计算	108
第四节 抗裂验算	114
第五节 裂缝宽度验算	116
第六节 受弯构件挠度验算	117
第七节 施工阶段验算	121
第八节 构造规定	123
第三章 结构构件设计实例	127
第一节 钢筋混凝土结构构件	127
第二节 预应力混凝土结构构件	155
第四章 结构构件施工工艺	175
第一节 模板工程	175
第二节 钢筋工程	184
第三节 混凝土工程	186
第四节 预制构件工程	197
第五章 预制构件可靠性检验	216
第一节 概 述	216
第二节 挠度检验	230
第三节 裂缝检验	237
第四节 承载力检验	243
第六章 几个问题的讨论	252
第一节 关于结构内力重分布	252
第二节 关于混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 的取值	271
第三节 关于裂缝宽度和变形计算	276
第四节 关于通用图集的编制方法	284
第五节 几点建议	288
附 录	290
参考文献	313

第一章 材 料

第一节 冷轧带肋钢筋

一、母材

建筑上常用的钢筋分为热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、钢丝和钢绞线等许多种类。

热轧钢筋是钢厂用熔化的钢水轧制而成的。根据钢筋化学成分和机械性能的不同，建筑用热轧钢筋被分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级四个等级。Ⅰ级钢筋是普通碳素钢筋，其化学成分除含有铁元素外，还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素，由于其含碳量低于0.25%，又称为低碳钢筋。Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋为普通低合金钢筋，其主要化学成分除含有热轧碳素钢的元素外，还含有少量的钛、钒等合金元素。

我国生产的热轧Ⅰ级钢筋的牌号为Q235，热轧Ⅱ级钢筋的牌号为20MnSi和2MnNb(b)，热轧Ⅲ级钢筋的牌号为20MnSiV、20MnTi、K20MnSi和25MnSi，热轧Ⅳ级钢筋的牌号为40Si₂MnV、45SiMnV和45Si₂MnTi等。K20MnSi钢筋系余热处理钢筋。

建筑上对钢筋的要求是：强度高，塑性和可焊性好，与混凝土的粘结锚固可靠。

热轧钢筋有明显的屈服点及流幅，属“软钢”的范畴。随着钢筋级别的提高，钢筋的强度增加，但延伸率减小。

热轧钢筋的应力-应变曲线如图1.1所示。我国冶金部规定的热轧钢筋强度、伸长率、冷弯试验等几项机械性能指标如表1.1所示。我国《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)规定的各种热轧钢筋的强度标准值与强度设计值如表1.2所示。

由图1.1、表1.1和表1.2可见，热轧钢筋特别是热轧Ⅰ级钢筋和热轧Ⅱ级钢筋，虽然塑性性能很好，但是强度却比较低，在受力相同的情况下，用它们做构件的配筋时，需要配置的钢筋数量，比采用强度高的钢筋要多。

我国的钢产量虽然已达到一亿吨左右，居世界钢产量前列。但是，我国是一个大国，各行各业都需要用钢，能够供给建筑用的钢是有限的。我国基本建设规模宏大，需要的用钢量很大，因此，一方面要增加钢材产量，发展高效钢材；另一方面要充分发挥现有钢材

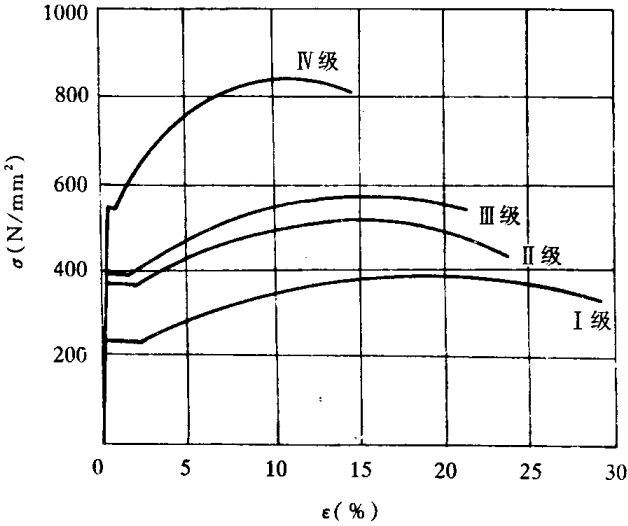


图 1.1 热轧钢筋的应力应变曲线

的潜力，使钢材的强度提高，以达到节约用钢量的目的。

热轧钢筋的机械性能 表 1.1

钢筋 级别	牌 号	公称直径 (mm)	屈服点 (N/mm ²)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率 δ_5 (%)	冷 弯 $D =$ 弯心直径 $d =$ 钢筋直径
			不 小 于			
I	Q235	8~25	235	370	25	$180^\circ \quad D = d$
		28~50				$180^\circ \quad D = 2d$
II	20MnSi 20MnNb (b)	8~50	335	510	16	$180^\circ \quad D = 3d$
III	20MnSiV 20MnTi K20MnSi 25MnSi	3~40	370	555	14	$90^\circ \quad D = 3d$
IV	40Si ₂ MnV 45SiMnV 45Si ₂ MnTi	10~25	540	835	10	$90^\circ \quad D = 5d$
		28~32				$90^\circ \quad D = 6d$

热轧钢筋强度标准值与强度设计值 (N/mm²) 表 1.2

种 类	强度标准值	强度设计值	
	f_{yk} 或 f_{pyk} 或 f_{ptk}	f_y 或 f_{py}	f'_y 或 f'_{py}
I 级	235	210	210
II 级	335	310	310
III 级	370	340	340
IV 级	540	500	400

在常温下对热轧钢筋进行加工称为“冷加工”。用冷加工方法可以使强度较低热轧钢筋的强度得以提高，是节约钢材行之有效的方 法之一。

常用的冷加工方法有冷拉和冷拔两种，近十年来，又发展了冷轧和冷轧扭等方法。

冷轧带肋钢筋是采用强度较低、塑性较好的普通低碳钢或低合金钢热轧圆盘条钢筋为母材，经冷轧或冷拔减径后在其表面冷轧成具有三面或二面月牙形横肋的钢筋。

轧制冷轧带肋钢筋的普通低碳钢牌号为 Q215 和 Q235 热轧圆盘条钢筋。轧制冷轧带肋钢筋的低合金钢牌号有 24MnTi 和 20MnSi 等热轧圆盘条钢筋。24MnTi 是低合金钢，主要是添加微量元素 Ti 使之合金化，通过弥散强化来达到提高强韧性的目的。

母材的力学性能是影响冷轧带肋钢筋力学性能的主要因素之一。一般地说，母材的强度愈高，塑性愈好，则冷轧带肋钢筋的强度也高，塑性也好。鉴于我国目前生产冷轧带肋钢筋的母材品种较多，冷轧加工工艺也不尽相同，冷轧带肋钢筋的强度差异较大。因此，为了合理地利用材料，我国国家标准《冷轧带肋钢筋》（GB 13788—92）（以下简称 GB 13788—92）将冷轧带肋钢筋分为 LL550、LL650 和 LL800 三个级别。第一个 L 为“冷”字的汉语拼音字头；第二个 L 为“肋”字的汉语拼音字头；后面的三个阿拉伯数字表示钢筋的抗拉强度，单位为 N/mm²，如 LL550 表示抗拉强度为 550N/mm² 的冷轧带肋钢

筋。

LL550 级钢筋由于强度较低，主要用以替换钢筋混凝土结构中的小直径热轧 I 级光圆钢筋，做钢筋混凝土结构构件中的受力主筋、架立钢筋、分布钢筋和箍筋。LL650 级和 LL800 级钢筋的强度较高，主要用以取代冷拔钢丝作预应力混凝土中小构件的受力钢筋。

LL550 级的钢筋宜采用 Q215 热轧圆盘条钢筋轧制，LL650 级的钢筋宜采用 Q235 热轧圆盘条钢筋轧制，LL800 级的钢筋宜采用 24MnTi 和 20MnSi 等热轧低合金圆盘条钢筋轧制。但是，由于钢厂生产的钢材材质有时不够稳定，冷轧带肋钢筋性能还受到冷轧工艺的影响，因此，上述母材的选用不是绝对的，只供生产厂家参考。

GB 13788—92 规定，生产冷轧带肋钢筋的盘条应符合 GB 701（I）或 YB 4027 低碳无扭控冷轧盘条的有关规定。母材的化学成分（熔炼分析）应符合表 1.3 的规定，Cr、Ni、Cu 的残余含量各不大于 0.30%，As 的残余含量不大于 0.08%，N 的含量不大于 0.008%。若供货方保证，可不作此项检验。

盘条的牌号及化学成分 表 1.3

钢筋 级别	盘 条 牌 号	化 学 成 分（%）					
		C	Si	Mn	Ti	P	S
LL550	Q215	0.09~0.15	≤0.30	0.25~0.55	—	≤0.050	≤0.045
LL650	Q235	0.14~0.22	≤0.30	0.30~0.65	—	≤0.050	≤0.045
LL800	24MnTi	0.19~0.27	0.17~0.37	1.20~1.60	0.01~0.05	≤0.045	≤0.045

我国生产的热轧钢筋根据轧机的不同，可以分为高速线材轧机轧制的热轧盘条和复二重轧机轧制的热轧盘条两种类型。由于高速线材轧机与复二重轧机在轧制工艺、冷却方法等方面有所不同，因而生产配冷轧带肋钢筋盘条的金相组织和晶粒度也不同，尤其在伸长率方面差异较大。试验统计数据见表 1.4。

由表 1.4 可以看出，高速线材轧机生产的母材强度高、伸长率好、均匀性好。加之高速线材每盘盘重大、线材长度长，用高速线材生产冷轧带肋钢筋时，压头数量少，停机次数少，生产效率高。因此，应优先采用高速线材热轧圆盘条生产冷轧带肋钢筋。

GB 13788—92 还规定，钢筋每盘应由一根组成，盘重不小于 100kg。LL650 和 LL800 级钢筋因用于预应力构件，不得有焊接接头。从这个意义上讲，也要求钢筋生产厂家选择原料时，要选大盘重的才能连续生产，也就是说，最好选用高速线材做母材。

采用复二重母材与高线母材生产的冷轧带肋钢筋性能试验统计数据 表 1.4

采 用 母材类别	抗拉强度 σ_t (MPa)			伸长率 δ_{10} (%)		
	$\bar{X}$ (均值)	σ (均方差)	$\bar{X} - 1.645\sigma$	$\bar{X}$ (均值)	σ (均方差)	$\bar{X} - 1.645\sigma$
复二重母材	874	11.43	855	3.784	0.248	3.338
高线母材	895.66	9.583	879.896	4.982	0.45	4.24

二、加工工艺

如前所说，冷轧带肋钢筋是采用强度较低的普通低碳钢筋或低合金钢筋为母材，经冷

轧加工而成的，其基本工艺流程如图 1.2 所示。

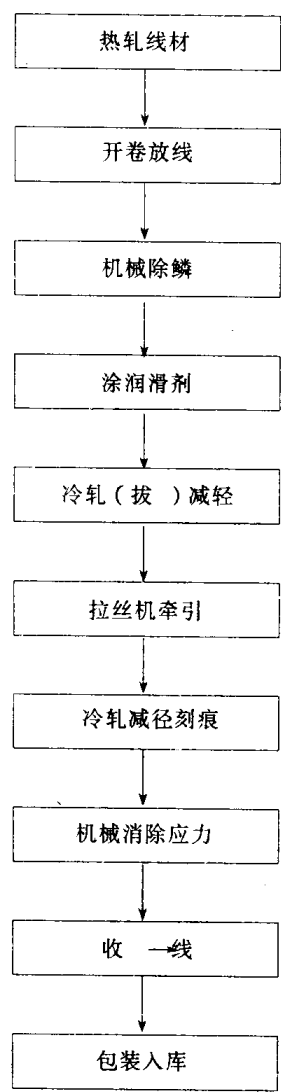


图 1.2 冷轧带肋钢筋生产工艺基本流程

直径在 10mm 以下的冷轧带肋钢筋，一般采用盘条形式供货。直径为 10mm 和 12mm 的冷轧带肋钢筋，根据使用单位的需要，可以采用盘条形式供货，也可以采用直条形式供货。对于需要采用直条形式供货的冷轧带肋钢筋，生产时还需要增加钢筋调直与切断工序。

下面就与冷轧带肋钢筋生产有关的几个问题进行讨论。

（一）轧制方式

冷轧带肋钢筋的轧制方式分为被动轧制方式和主动轧制方式两种形式。

1. 被动轧制方式

按被动轧制方式生产冷轧带肋钢筋时，轧辊不是主传动机构，钢筋靠其它动力牵引，并对其进行拔轧。

随着生产产品规格大小的不同，流程的布置上不完全一样，大致可以分为以下三种情况：

(1) 拔轧法

拔轧法是用冷拔方法使钢筋减径 1~2 次，然后再对其冷轧减径刻痕，其余工序均一样。这种布置方式的优点是占地面积小，需要的动力小，投资少，适宜生产小直径钢筋，而且年产量不大的厂家。

(2) 全轧法

这种工艺主要是将拔制全部改为冷轧减径。它的优点在于钢筋的变形较冷拔均匀，特别是变形方式改为滚模拉拔，消耗动力小，同时可以加大轧制速度，不会导致象拔丝模那样因拔制速度快，拔丝模过热而使钢筋拉断的事故，因此生产效率高。另外，由于穿线过程中不需要将钢筋压尖，减少了切头消耗，提高了成材率，操作方便，劳动生产率高。

(3) 双卷筒式

这种布置减少了钢筋由拔丝罐绕经滑轮的过程，减少了钢筋扭转，对提高产品延伸性能有益。另外，由于不经过滑轮，生产大直径较方便，可以生产 $\Phi 4 \sim \Phi 12\text{mm}$ 的钢筋（本书将以符号 Φ 表示冷轧带肋钢筋）。但该套设备需要的动力较大，一般为 200kW 左右，一次性投资较大。

这三种形式都属于滚模拉拔的形式，轧机为三辊 Y 型轧机，我国进口的轧机以及国产的大部分轧机都属于这种类型。

图 1.3 所示为某单位生产的 2/600 直进式冷轧带肋钢筋生产线平面示意图。

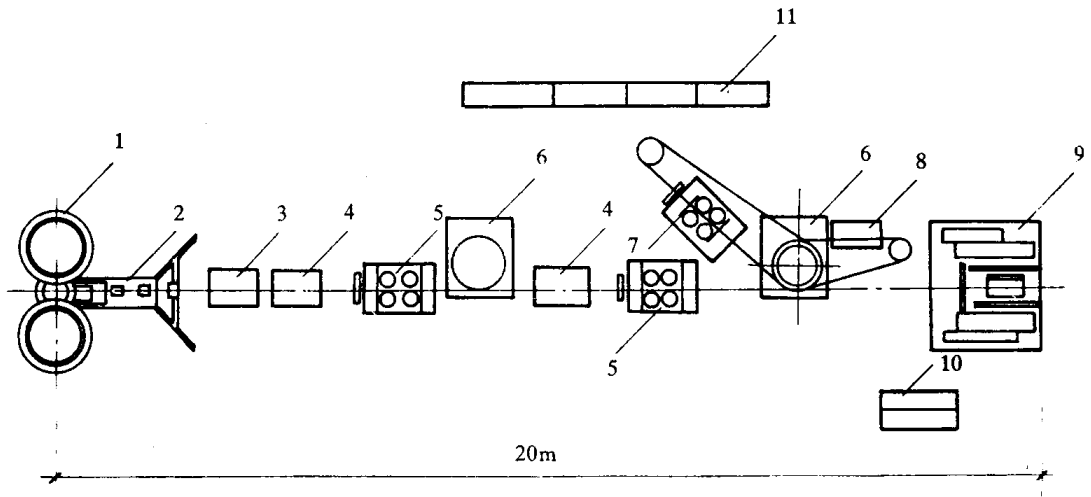


图 1.3 某单位生产的 2/600 直进式冷轧带肋钢筋生产线平面示意图
1—盘条；2—放线架；3—除鳞机；4—润滑装置；5—轧机；6—拉丝机；
7—刻痕机；8—应力消除装置；9—水平收线机；10—操作台；11—电控柜

2. 主动轧制方式

主动轧制冷轧带肋钢筋的方式是以轧辊为主传动的轧制方式。这种主动式轧机生产线又有两种形式：一种是三辊 Y 型轧机；另一种是二辊式复二重式轧机。从变形均匀方面考虑，以三辊 Y 型轧机为好。

主动轧制方式与被动轧制方式相比，从产品性能上看，主动轧制方式在钢筋的强度和塑性方面比被动轧制的要好。以抗拉强度 σ_b 为 380MPa 的 Q215 热轧盘条轧制冷轧带肋钢筋为例，用被动方式轧制将截面的压缩变形量（简称面缩率）控制在 40% 时，轧成的产品强度一般都在 650MPa 以下，而用主动方式轧制的产品强度一般可达 670MPa ~ 680MPa。

（二）轧制设备

生产冷轧带肋钢筋的核心设备是三辊 Y 型轧机。产品规格大小，外形尺寸精度，以及性能和生产是否正常，主要取决于 Y 型轧机，目前国产 Y 型轧机多种多样，大体上有以下几种：

第一种是用车床卡盘作机器，安装三个轧辊，这种轧机南方某厂生产，作试验用勉强可以，作为生产设备，无论是刚度、精度、调整方法等均不能满足要求。特别是轧辊轴承极易损坏，轧制几吨钢筋后就得更更换，因此，这种轧机建议淘汰。

第二种是用一整块厚钢板，两面各铸成 Y 型槽，两个 Y 型槽成 60° 交叉分布，轧辊装在槽内，这种轧机也是南方另一家生产，虽比卡盘式进了一步，但由于结构不太合理，轧辊轴承损坏频，换辊不方便，调整困难，生产不稳定，这种机型在辽宁等省都在逐步淘汰。

第三种是两组三辊成 Y 型布置，这种轧机每个轧辊可单独径向轴向调节，也可以三辊同时压下与放开，两组轧辊还可以水平调整，因此调整方便，换辊容易，轧制成品规格范围广，是一种结构合理和比较先进的轧机，虽然如此，但由于加工精度，以及其局部地方设计不合理，外形虽相似，生产不稳定，因此，选择生产线时，首先应注意轧机的刚度，两组轧辊的轴的同心率，轧辊是不是 120° 等分，以及换辊是否方便、调整是否灵活。

其次是牵引设备，也就是拔丝机。目前拔丝机大体分两类，即积线式（又称滑轮式）和双卷筒两种。积线式拔丝机中又分调速与不调速电机两种，生产线生产效率的高低取决于拔丝机的牵引速度，速度越快生产效率自然就高，但需要与工艺方法和其它方面相匹配。

大体上说来，滑轮式拔丝机适用于轧制 $\Phi 4 \sim \Phi 7\text{mm}$ 钢筋。而轧制大直径产品，由于钢筋经卷筒牵引到滑轮上穿线不容易，而且拉丝机的能力也不适应。双卷筒拉丝机作牵引时，钢筋可以经轧机直接进入拉丝机再进入下一道工序，轧制过程中钢筋不扭转，对提高延伸性能有利。另外，用这种拉丝机牵引，可以生产 $\Phi 4\text{mm} \sim \Phi 12\text{mm}$ 的钢筋，生产规格较广。当然动力也较大，国产设备一般是 70 ~ 80kW，引进设备则为 120 ~ 145kW，牵引力大，投资也较大。

牵引设备用卧式拉丝机或立式拉丝机都可以。国外生产线立式与卧式单卷筒与双卷筒均可作为冷轧机牵引动力。主要在于配置什么样的收线机，一般来说，立式拉丝机不配置收线机也可以生产，卧式拉丝机在没有收线机条件下就困难一些。

第三是消除应力装置，是生产线中提高延伸率的主要一环。

热轧钢筋经冷轧后，在强度得到显著提高的同时，延伸率却急剧降低。在母材塑性较差或面缩率过大的情况下，冷轧带肋钢筋有可能因伸长率达不到标准的要求而不能出厂。这可能是困扰冷轧带肋钢筋生产厂家的问题。因此，提高钢筋的延伸率是冷轧带肋钢筋生产中的一个重要环节。

研究表明，钢筋在冷轧过程中由于晶格变形产生的内应力对冷轧带肋钢筋的伸长率有重大影响。面缩率越大，钢筋的内应力也愈大。如果能设法消除钢筋的内应力，钢筋的伸长率将有明显提高。

目前有两种消除钢筋内应力的方法：一种是机械方法，另一种是低温回火热处理方法。

机械消除钢筋内应力的方法是，在钢筋收线前，在轧机上安装两个滑轮组，每个滑轮组内有几对滑轮，让钢筋在收线前通过滑轮在不同方向多次反复弯曲消除内应力，这种方法设备简单，工效较高，动力消耗只为轧机总能耗的百分之几，可提高伸长率1%~3%，是目前用得最多的方法。

低温回火热处理方法是将钢筋成盘装入100kW的井式炉中，使其加热到300℃~400℃，并保温0.5h左右，使扭曲的晶格恢复，从而提高延伸率。试验表明，采用此法对Φ5冷轧带肋钢筋进行处理，可以使伸长率 δ_{100} 达到8%~9%。但是，采用这种方法消除钢筋内应力的能源消耗大，要求变压器容量也大，增加了一次投资费用，还存在生产过程不连续以及每盘钢筋因内外温度不均匀而使钢筋伸长率不均匀等问题。

国外冷轧带肋钢筋生产线都采用机械应力消除方法进行生产，国内各生产线采用机械消除应力后，一般也都能满足标准要求。因此，从节能的观点出发，应尽可能提倡机械应力消除方法，没有必要去耗费更多的能量把延伸率提高到不必要的水平。

冷轧带肋钢筋是国外70年代中期开发的一种新型高效建筑钢材品种，我国80年代中期将其引进。80年代中期，我国苏州钢铁厂、南京轧钢总厂等单位先后从德国和意大利引进11条生产线（表1.5）。与此同时，有关科研院所和生产单位积极消化移值，自行研制冷轧带肋钢筋轧制设备，并且取得成功，目前国内已有许多厂家可以生产这种设备，而且设备的类型很多。表1.6是冶金部钢铁研究总院研制的生产线类型。冷轧带肋钢筋轧机的选择原则一般是：生产小规格冷轧带肋钢筋可采用滑轮式生产线，若生产产品规格稍大，希望劳动强度较轻的，可采用直进式生产线，如果生产12mm以下的钢筋，生产线操作控制自动化程度高，钢筋质量要求高的，可采用直进式生产线，当然投资相应大些。也有用拉丝模拉拔减径，最后用三辊Y型轧机刻痕来生产冷轧带肋钢筋的，虽然投资大大减少，但产品延伸率不易达到 $\delta_{100} \geq 4\%$ 的要求，不宜提倡。各类生产线组合形式及基本技术参数见表1.6所示。用户可以根据产品的规格、产量及投入资金的多少选择自己所需要的型号。

国内引进冷轧带肋钢筋生产设备情况 表 1.5

序号	引进内容	国内引进厂家或单位	引进生产线条数	提供设备厂家	年产量(万t)	备注
1	冷轧带肋钢筋生产线	苏州钢铁厂	1	德国 KOCH 公司	2.0	
2	冷轧带肋钢筋生产线	南京轧钢总厂	1	德国 Harborn Breitenhach 公司	1.5	
3	冷轧带肋钢筋生产线	河北沧州地区轧钢厂	1	德国 KOCH 公司	2.0	

续表

序号	引进内容	国内引进厂家或单位	引进生产线条数	提供设备厂家	年产量(万 t)	备注
4	冷轧带肋钢筋生产线	青岛钢铁厂	6	德国 KOCH 公司	6.0	二手设备
5	冷轧带肋钢筋生产线		1	德国 Harborn Breitenbach 公司	1.5	
6	冷轧带肋钢筋生产线	上海钢铁工艺研究所	1	意大利 PITTINI 公司	1.5	

冶金部钢铁研究总院研制的冷轧带肋钢筋生产线类型 表 1.6

设备与参数	类 型		
	滑 轮 式	直 进 式	直 进 式
放 线 架	(鸭嘴式放线) 1 台	高架放线 1 台	高架放线 1 台
剥 壳 机	三轮迴转式 1 台	三轮迴转式 1 台	四轮迴转式 1 台
润 滑 机	1~2 台	1~2 台	1 台
轧 机	2~3 台	2~3 台	2 台
拉 丝 机	2~3 台 交流滑差电机	1~2 台 直流电机	1 台 直流电机
收 线 机	象鼻式收线机 (或起线吊) 交流滑差电机	工字轮式收线机 直流电机	工字轮式收线机 直流电机 立式收线机
轧制速度	9~2.5m/s	0~4.5m/s (0~6m/s)	0~4m/s
产品规格	1、 $\Phi 4 \sim \Phi 6\text{mm}$ 2、 $\Phi 5 \sim \Phi 6\text{mm}$	1、 $\Phi 4 \sim \Phi 8\text{mm}$ 2、 $\Phi 5 \sim \Phi 8\text{mm}$	$\Phi 5 \sim \Phi 12\text{mm}$
年 产 量	4500~6000t	1、7000~15000t 2、10000~15000t (12000~18000t)	10000~28000t
装机容量	~ 120kW	~ 150kW	~ 200kW
特 点	工人劳动强度较大, 产量较低	实现无扭曲、高速轧制, 可实现 PC 机控制。工人劳动强度小, 产量高	以轧制大规格产品为主。其它同上 ($\Phi 8 \sim \Phi 12$)

(三) 钢筋直径

钢筋直径的大小，影响到它的使用范围，也影响到它在结构构件中的布置以及构件的耐久性问题。冷轧带肋钢筋的公称直径相当于横截面相等的光面钢筋的公称直径。我国目前生产的 LL550 级钢筋的公称直径有 4、5、6、7、8、9、10、12mm 八种规格，LL650 级钢筋的公称直径有 4、5、6mm 三种规格。LL800 级钢筋系采用直径为 6.5mm、强度为 550N/mm² 的低合金钢热轧盘条轧制，由于目前盘条仅有 6.5mm 一种规格，因此，

LL800 级钢筋的公称直径目前也只有 5mm 一种规格。为了简单起见，我们下面将“公称直径”简称为“直径”。

考虑到冷轧加工会适当增加钢筋的成本，直径较粗的钢筋冷轧时需要的动力也比较大，以及直径在 12mm 和 12mm 以上的热轧钢筋已有热轧Ⅱ级、热轧Ⅲ级和热轧Ⅳ级钢筋等原因，因此，GB 13788—92 中冷轧带肋钢筋的最大直径定为 12mm。

钢筋的直径愈细，愈容易使实际配置的钢筋数量接近计算需要的数量，对节省用钢量有利，特别适合于跨度短、荷载小的板类构件。因为这些构件所需要配置受力钢筋的面积很小，由于构造上的原因，钢筋的根数不能太少，即钢筋间距不能太大，如果选用直径较大的钢筋做受力钢筋时，实际配置的钢筋数量比需要配置的钢筋数量大很多；如果选用直径较小的钢筋做受力钢筋时，钢筋的用量可以节省许多。因此，我国南方许多省市以往大量采用直径为 4mm 的冷拔低碳钢丝做预应力混凝土中小构件的受力钢筋，收到了很好的经济效果。考虑到在相同的使用条件下，直径较细钢筋锈蚀时对结构构件可靠性造成的影响，比直径较粗钢筋锈蚀时对结构构件的影响严重，此外，4mm 直径的冷轧带肋钢筋由于面缩率较大，延伸率一般较低，因此，GB 13788—92 从构件的耐久性等因素考虑，不推荐直径为 4mm 的冷轧带肋钢筋做构件的受力主筋。

(四) 表面形式

钢筋与混凝土之间的粘结力是这两种性能完全不同材料能够协同工作的基础，也是钢筋混凝土结构构件中钢筋强度能够充分发挥的重要条件。热轧Ⅰ级钢筋强度较低，表面光圆不带肋（图 1.4a），其余热轧钢筋均为表面带肋的变形钢筋，目的在于增加钢筋与混凝土的粘结锚固效果。我国以往长期采用螺旋纹和人字纹，表面花纹为两条纵肋和螺旋形横肋或人字形横肋（图 1.4b、c）。由于这种形式的横肋较密，消耗于肋的钢材较多，且纵肋和横肋相交，容易造成应力集中，对钢筋的动力性能不利，故近年来我国已将变形钢筋的肋纹改为月牙纹（图 1.4d）。月牙纹钢筋的特点是横肋呈月牙形，与纵肋不相交，且横肋的间距比老式变形钢筋大，故可克服老式钢筋的缺点，但与混凝土的粘结强度则略有降低。

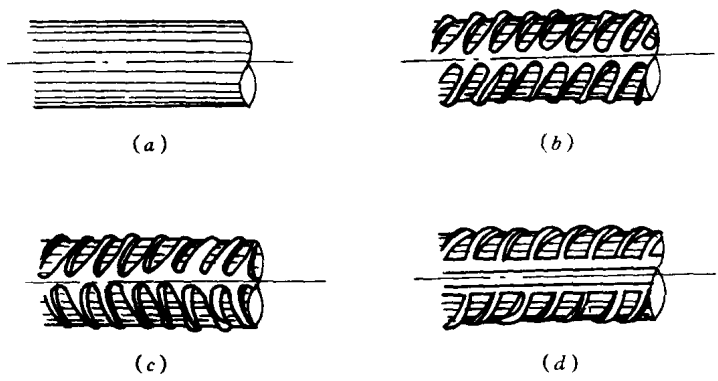


图 1.4 热轧钢筋表面形式

冷轧带肋钢筋由于强度较高，因此表面带肋。我国生产的冷轧带肋钢筋大部分为三面带有月牙形横肋，钢筋的外形如图 1.5 所示。肋应沿钢筋横截面周圈上均匀分布，且其中必须有一面的方向与另两面反向。肋中心线和钢筋纵轴夹角 β 为 $40^\circ \sim 60^\circ$ 。肋两侧面和钢筋表面斜角 α 不得小于 45° 。肋间隙总和 $\sum f_i$ 应不大于公称周长的 20%，即 $\sum f_i \leq 0.2\pi d$ 。

相对肋面积 f_r 按下式计算：

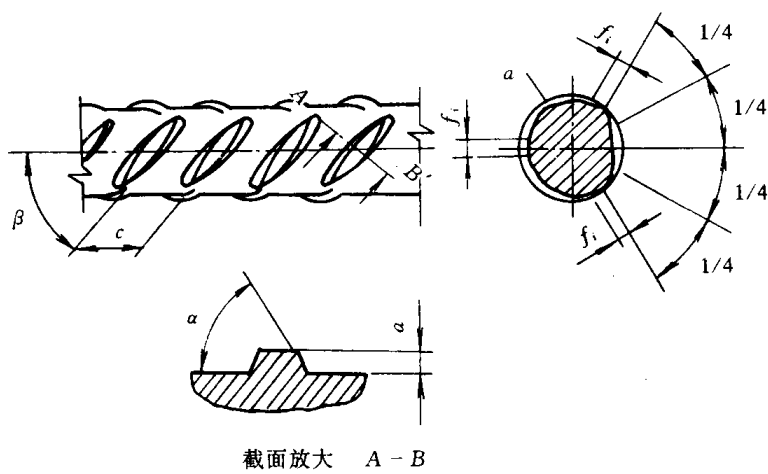


图 1.5 冷轧带肋钢筋的外形

$$f_r = \frac{K \times F_R \times \sin \beta}{\pi \times d \times c} \tag{1.1}$$

式中 $K=3$ (三面带肋)；

F_R ——一个肋的纵向截面积；

β ——肋与钢筋轴线的夹角；

d ——钢筋公称直径；

c ——肋的间距。

我国除生产三面带肋钢筋之外，还有少数厂家生产二面带肋的冷轧钢筋（图 1.6），

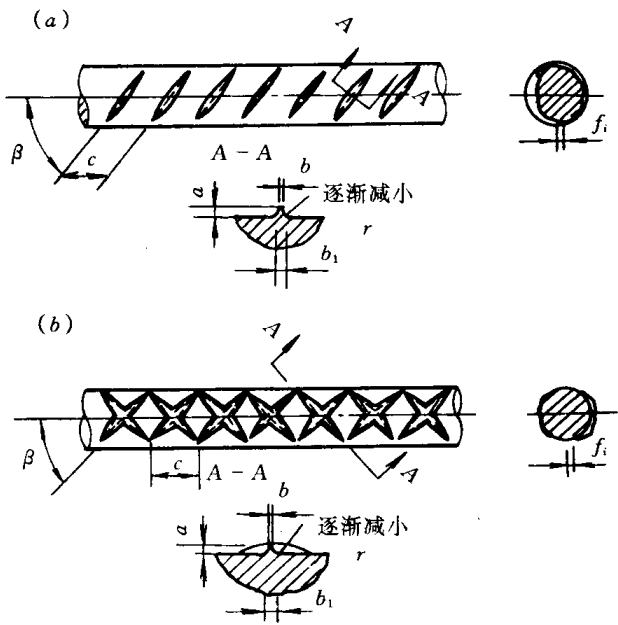


图 1.6 二面带肋钢筋外形
(a) 月牙形肋；(b) 梅花形肋

有的厂家生产表面有压痕的冷轧带肋钢筋（图 1.7）。个别厂家还生产表面带阴螺纹的冷轧钢筋，以减少肋造成的应力集中现象。

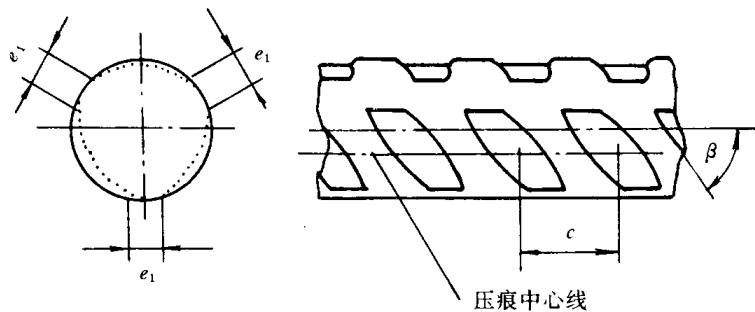


图 1.7 表面带压痕钢筋

根据许多单位所做的材性试验以及我们所做的简支梁板的试验对比情况表明，二面带肋冷轧钢筋与三面带肋冷轧钢筋的力学性能并无显著的区别。GB 13788—92 和《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》（JGJ 95—95）中（以下简称 JGJ 95—95）未将两种带肋钢筋的力学性能加以区分。

为了使 LL550、LL650 和 LL800 三种冷轧带肋钢筋在使用时易于辨认，钢筋表面必须要有清晰的标志。

GB 13788—92 规定的三个级别标志是：抽两个肋，中间剩一个表示 LL550 级钢筋，中间剩两个表示 LL650 级钢筋，中间剩三个表示 LL800 级钢筋（图 1.8）。这种标志是参照国际标准采用的，很容易识别。

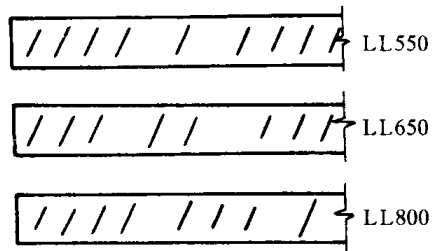


图 1.8 冷轧带肋钢筋标志示例

（五）面缩率的影响

一般情况下，影响冷轧带肋钢筋强度与塑性的主要因素有两个：一个是母材的强度和塑性；另一个是截面压缩率，简称为“面缩率”，即母材截面面积减去冷轧后的钢筋截面面积与母材截面面积的百分比：

$$\Psi = \frac{A_0 - A_l}{A_0} \tag{1.2}$$

式中 A_0 ——母材的截面面积；
 A_l ——冷轧带肋钢筋的截面面积。

一般地说，母材的强度愈高，塑性愈好，冷轧带肋钢筋的强度则愈高，塑性也愈好；反之亦然。面缩率愈大，冷轧带肋钢筋的强度会愈高，但塑性会愈小。这是因为热轧钢筋在冷轧加工过程中，其横向压缩而纵向伸长，晶格发生变形，被拉长呈纤维状组织结构，使钢筋的强度随冷加工变形量的增加而提高，但塑性急剧下降，且无明显屈服点与屈服台阶，即由软钢变为硬钢。钢筋的变形量如果过大，将导致塑性指标恶化，不能满足使用要求。

中国建筑科学研究院等单位曾取样对面缩率影响进行过试验，母材盘条性能的试验结果如表 1.7。对于直径为 6.5~8mm 的 Q215 和 Q235 的热轧盘条，抗拉强度平均值在 450N/mm² 左右，伸长率 $\delta_5 = 34\%$ 。根据 46 盘 $\phi 6.5 \sim \phi 6.9$ 、平均直径为 6.75mm 的盘条冷轧成 $\Phi 5$ 钢筋，实际的面缩率 $\Psi \approx 45\%$ ，强度提高约 56%，伸长率降低 85.6%。相应地，根据 86 盘平均直径为 6.75mm 的母材轧成 $\Phi 4$ 钢筋，实际面缩率达 65%，强度平均提高 65%，伸长率降低 89.4%。

直径为 6.5mm 的热轧低合金钢盘条 (24MnTi) 抗拉强度平均值为 623N/mm²，伸长率 $\delta_5 = 31\%$ ，冷轧成 $\Phi 5$ 钢筋后，面缩率为 40.8%，强度平均提高 44.2%，伸长率降低 84.1%。

因此，为了使得冷轧带肋钢筋既具有较高的强度又不致于塑性太差，按母材的直径选择面缩率是十分重要的。表 1.8 为我国目前常用的母材直径与冷轧带肋钢筋直径的关系。

热轧盘条基本性能试验统计结果 表 1.7

直径 (mm)	项 目	条件流限 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_b}$	伸长率 δ_5 (%)	均匀延伸率 ϵ (%)	弹性模量 E_s ($\times 10^5$ N/mm ²)	钢 种
6.5~8	数 量 (n)	37	276	35	250	33	36	Q235 Q215
	平均值 (x)	322.4	459.5	0.66	34.08	17.362	1.998	
	均方差 (σ)	23.576	46.695	—	3.952	3.171	—	
	X - 1.645σ	283.6	382.7	—	27.6	12.1	—	
6.5	数 量 (n)	22	23	22	23	15	19	24MnTi
	平均值 (x)	448.0	623.1	0.717	31.155	13.44	1.931	
	均方差 (σ)	77.971	47.012	—	4.376	3.69	—	
	X - 1.645σ	319.7	545.8	—	23.91	7.37	—	

我国目前常用的母材盘条直径与冷轧带肋钢筋直径对应关系 表 1.8

盘条直径 (mm)	冷轧钢筋直筋 (mm)	面缩率 Ψ (%)	盘条直径 (mm)	冷轧钢筋直径 (mm)	面缩率 Ψ (%)
12	10.5	23.4	11.5	10	24.4
11	9.5	25.4	10.5	9	26.5
10	8.5	27.8	9.5	8	29.1
9	7.5	30.6	8.5	7	32.2
8	6.5	34.0	7.5	6	36.0
6.5	5.0	40.8	6.5	5	40.8
5.5	4.0	47.1	5.5	4	47.1

表 1.9 是某厂选择的工艺参数，其从原料到成品的面缩率为 31%~40%，减径量为 1~2mm。