

# 冷轧扭钢筋材料力学性能试验研究\*

管品武 刘立新 王菁 毕苏萍

(湖南大学,长沙,410082) (郑州工业大学土木建筑工程学院)

**摘要** 收集全国各地冷轧扭钢筋拉伸件 1627 根,经统计分析发现冷轧扭钢筋强度偏高、延性损失较多。同时通过 600 多根不同加工参数的冷轧扭钢筋的材料拉伸试验研究,提出了较优化的加工参数,以提高冷轧扭钢筋砼结构(构件)的变形性能。有关成果已被《冷轧扭钢筋砼结构技术规程》吸收。

**关键词** 冷轧钢筋;统计分析;延伸率;极限抗拉强度

**中图分类号** TU 502.6

冷轧扭钢筋是采用普通碳素结构钢 Q235、Q215 热轧圆盘条为原材料(母材),按照规定的工艺参数经专门的冷轧扭机调直、冷拉、冷轧和冷扭,一次加工成型的具有一定截面形式和螺距的连续螺旋状冷强化钢筋(见图 1)。与普通 I 级钢筋(母材)相比,设计强度提高 71.4%,延伸率虽有所降低但能控制在一定范围内。用冷轧扭钢筋代替母材应用于建筑工程中,理论上节省钢材 42%,实际工程中可达 35%左右,因此在工程中得到越来越广泛的应用。

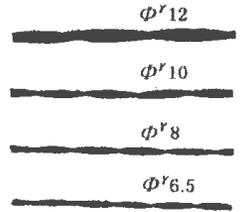


图 1 冷轧扭钢筋外形图

为进一步推广冷轧扭钢筋的工程应用,改进、完善和提高冷轧扭钢筋的应用技术,1994 年建设部成立了《冷轧扭钢筋砼结构技术规程》编制组,为此我们进行了冷轧扭钢筋基本力学性能的统计分析和材料拉伸试验研究,为编制《规程》提供了依据。

## 1 冷轧扭钢筋材料力学性能指标的统计分析

表 1 统计分布数据要求

规格	轧厚 $t \pm \Delta t$ (mm)	螺距 $t \pm \Delta s$ (mm)
Φ6.5	3.7 $\begin{matrix} +0.3 \\ -0.1 \end{matrix}$	70±5
Φ8	4.1 $\begin{matrix} +0.3 \\ -0.1 \end{matrix}$	80±5
Φ10	5.1 $\begin{matrix} +0.3 \\ -0.1 \end{matrix}$	100±5
Φ12(I)	6.1 $\begin{matrix} +0.3 \\ -0.1 \end{matrix}$	140±5

为反映目前全国各地冷轧扭钢筋,特别是全国《冷轧扭钢筋产品标准》(讨论稿)建议加工参数范围内冷轧扭钢筋主要力学性能指标的统计分布,在评题组已有资料的基础上广泛收集各地的试验数据(见表 1,统计数据要求见表 2),经统计直方图分析、分布类型假设、参数估计和假设检验等可得,冷轧扭钢筋的极限抗拉强度  $f_p$  和延伸率  $\delta_{10}$  服从对数正态分布,且  $\ln(f_p)$ ,  $\ln(\delta_{10})$  分布密度函数分别为

\* 河南省科技攻关项目(96119016)

收稿日期:1997-11-11;修改稿返回日期:1998-08-11

第一作者 男 1971 年 6 月生 博士研究生

$$f(y_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot (0.078)} \exp\left[-\frac{(y_1 - 6.513)^2}{2 \cdot (0.078)^2}\right] \quad (1)$$

$$f(y_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot (0.167)} \exp\left[-\frac{(y_2 - 1.683)^2}{2 \cdot (0.167)^2}\right] \quad (2)$$

表 2 冷轧扭钢筋材性试验数据来源表(根数)

钢筋来源	北京	邢台	嘉兴	河南	上海、浙江 广西、广东	其它
Φ6.5		47	18	8	283	41
Φ8		46	32	8	285	26
Φ10	43	44	26	6	271	49
Φ12	42			3	199 (含 II 型 87)	55 (含 II 型 21)
Φ14					97	
合计	85	137	76	25	1133	171
总计					1627	

利用式(1)、式(2)可得目前冷轧扭钢筋  $f_p$  和  $\delta_{10}$  不同分位值的相应保证率(见表 3、表 4)。由表 3、表 4 可知,目前冷轧扭钢筋的强度依然偏高,  $f_{yk} = 540 \text{ MPa}$  的保证率高达 99.99%, 远大于一般设计标准要求的 95%, 而延伸率  $\delta_{10} = 4.5\%$  的保证率只有 85.8%。因此从提高冷轧扭钢筋砼结构(构件)的变形性能来讲,有必要进一步优化冷轧扭钢筋的加工参数,以适当降低强度、尽可能地提高其延性,进一步提高冷轧扭钢筋砼结构(构件)的变形能力。

表 3  $\delta_{10}$  的不同分位值及相应保证率

$\delta_{10}(\%)$	4	4.5	4.54	5
保证率 $P_s$	96.2%	85.8%	85%	67%

表 4  $f_p$  的不同分位值及相应保证率

$f_p(\text{MPa})$	540	560	580	606.5
保证率 $P_s$	99.99%	99.6%	98.7%	95%

## 2 冷轧扭钢筋材料力学性能试验研究

为了反映全国各地冷轧扭钢筋母材的广泛性,我们分别从河北邢台、浙江嘉兴和河南鹤壁等地分别选取了 300, 200 和 50 多根不同加工参数的冷轧扭钢筋,并且附带同批母材各 15 根进行拉伸试验,以排除各地母材差异对试验结果的影响。需要说明的是由于试验数据较为离散,试验分析时采用组内平均值。

### 2.1 轧制厚度 $t$

由图 2 可知,在冷轧扭钢筋正常可能的轧厚

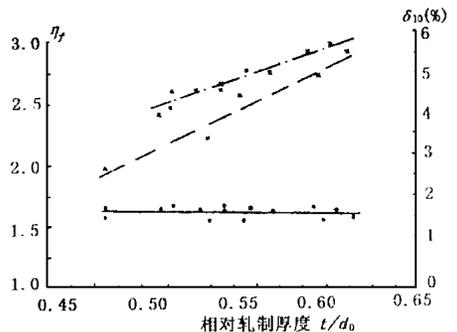


图 2 相对轧厚影响

范围内,随着轧厚的增加,强度略有下降,但延伸率却明显增加。这说明通过控制冷轧扭钢筋的轧厚  $t$ ,可在保证强度的同时提高产品的延性。经统计回归有

$$\eta_f = 1.943 - 0.674 \frac{t}{d_0} \quad (R = 0.506) \quad (3)$$

$$\delta_{10} = \begin{cases} -6.957 + 20.192 \frac{t}{d_0} & (\Phi 6.5) & (R = 0.972) \\ -3.351 + 15.01 \frac{t}{d_0} & (\Phi 8 \text{ 以上}) & (R = 0.962) \end{cases} \quad (4)$$

式中  $\eta_f$  —— 冷轧扭钢筋和母材极限抗拉强度的比值;

$t$  —— 冷轧扭钢筋的轧制厚度;

$d_0$  —— 冷轧扭钢筋母材的直径(轧前直径);

$\delta_{10}$  —— 冷轧扭钢筋的延伸率;

$R$  —— 相关系数。

### 2.2 螺距 $S$

由图 3 可知,随着螺距  $S$  的增加,钢筋强度降低,延伸率增加,但二者变化均较平缓,这说明螺距对冷轧扭钢筋的材料力学性能影响不大,根据大量的工程实践,建议螺距的选取仍维持于目前水平(约为  $10 d_0$ )。

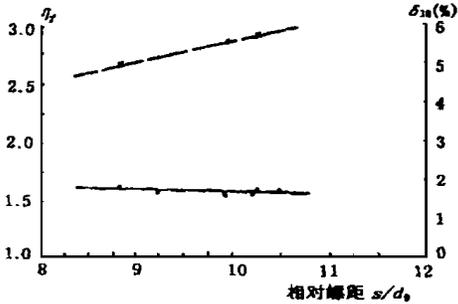


图 3 相对螺距影响

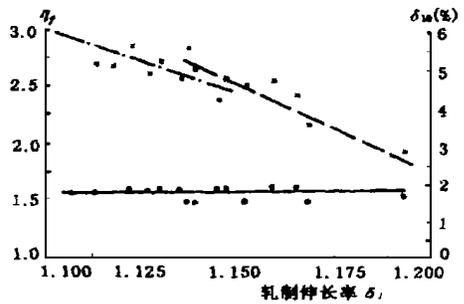


图 4 轧制伸长率影响

### 2.3 轧制伸长率 $\delta_l$

轧制伸长率就是单位长度的母材加工成冷轧扭钢筋后的长度,也就是相同质量的冷轧扭钢筋与母材的比值。母材在加工的各过程中,无论是拉伸、轧扁及扭转过程中,钢筋长度均发生改变,因此轧制伸长率实际上反映了整个加工过程中钢筋力学性能的改变,综合了轧厚、螺距等工艺参数对冷轧扭钢筋力学性能的影响。如图 4 所示,随着轧制伸长率的增长,钢筋强度增加,但趋势平缓;延伸率减少,钢筋强度降低,而且趋势明显,这说明通过控制轧制伸长率也可以达到改善冷轧扭钢筋材料力学性能的目的。经统计回归有

$$\eta_f = 1.559 + 0.011 \delta_l \quad (R = 0.953) \quad (5)$$

$$\delta_{10} = \begin{cases} 57.203 - 45.688 \delta_l & (\Phi 6.5) & (R = 0.975) \\ 29.32 - 21.51 \delta_l & (\Phi 8 \text{ 以上}) & (R = 0.808) \end{cases} \quad (6)$$

式中  $\delta_l$  为冷轧扭钢筋轧制伸长率。

### 3 冷轧扭钢筋加工参数的优化及建议

早期的冷轧扭钢筋因强度高,延性损失较大而影响其推广和应用。从试验资料来讲,目前已有极大改善,但鉴于冷轧扭钢筋作为一种没有明显流幅的冷强化硬钢,为防止冷轧扭钢筋砼结构(构件)的脆性破坏,不必要在保证强度的同时,尽可能提高冷轧扭钢筋的延性,以改善其受力性能。

对于非预应力钢筋的延伸率  $\delta_{10}$ ,一般要求不低于 4.5%,基于这一目标和试验回归公式(3)~(6),并在一定可靠度保证的基础上,结合长期冷轧扭钢筋的工程经验,建议冷轧扭钢筋的加工参数按表 5 取用。

表 5 冷轧扭钢筋的建议工艺参数表

规格	轧制伸长率 $\delta_l(\%)$	轧扁度 $t/d_0$	轧厚 $t \pm \Delta t(\text{mm})$	螺距 $s \pm \Delta s(\text{mm})$
$\Phi 6.5$	1.10	0.57	3.7 $\begin{matrix} +0.3 \\ -0.0 \end{matrix}$	70 $\pm$ 5
$\Phi 8$	1.10	0.52	4.2 $\begin{matrix} +0.5 \\ -0.1 \end{matrix}$	80 $\pm$ 5
$\Phi 10$	1.10	0.52	5.2 $\begin{matrix} +0.5 \\ -0.1 \end{matrix}$	100 $\pm$ 5
$\Phi 12(I)$	1.10	0.52	6.2 $\begin{matrix} +0.5 \\ -0.1 \end{matrix}$	120 $\pm$ 5

需要说明的是,由于目前冷轧扭钢筋母材直径普通偏大,在轧厚度一定的情况下,母材直径偏大,将造成实际的钢筋轧扁度  $t/d_0$  偏小,钢筋的加工程度偏大造成延性损失过多。因此本文给出建议轧扁度  $t/d_0$ ,加工时根据母材实际直径调整轧厚。同时鉴于目前冷轧扭钢筋强度偏高,本文建议允许较大正偏差、较小负偏差,以达到间接保证冷轧扭钢筋延性的目的。

### 参考文献

- 1 管品武,刘立新,徐有邻. 冷轧扭钢筋粘结固性能的试验研究. 郑州工业大学学报,1997,18(1):8~16
- 2 管品武. 冷轧扭钢筋材性与粘结固性能试验研究:[学位论文]. 郑州:郑州工业大学,1997

### Experimental Research on the Material Mechanical Properties of Cold-rolled and Twisted Bars

Guan Pinwu      Liu Lixin   Wang Jing   Bi Shuping

(Hunan University)   (Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** The statistical analysis of 1627 specimens shows that the tensile strength limit  $f_p$  of cold-rolled and twisted bars is higher than necessary while elongation  $\delta_{10}$  is lower. So the stretching test with more than 600 bars of various shapes and manufacture parameters is done for optimizing cold-rolled and twisted bars. The suggestions in respect of optimum manufacture parameters have been adopted in Chinese code specification for Reinforced Concrete Structure with Cold-rolled and Twisted Bars.

**Keywords** cold-rolled and twisted bar; statistical analysis; enlongation; limited tensional strength