

冷轧扭钢筋应用技术论文选集

Applied technical thesis excerpt for
cold-rolled and twisted bars

主 编 张承起
副主编 吴佳雄 周 彬

中国建材工业出版社

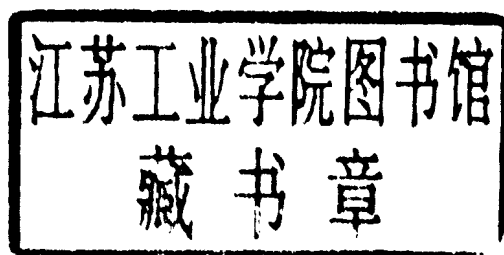


冷轧扭钢筋应用技术论文选集

Applied technical thesis excerpt for
cold-rolled and twisted bars

主 编 张承起

副主编 吴佳雄 周 彬



中国建材工业出版社

(京)新登字 177 号

图书在版编目 (CIP) 数据

冷轧扭钢筋应用技术论文选集/张承起编著.-北京:
中国建材工业出版社, 1999.5
ISBN 7-80090-864-X

I. 冷… II. 张… III. 钢筋-冷轧-文集 IV. TU755.3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 10245 号

《冷轧扭钢筋应用技术论文选集》

张承起 编著

责任编辑 马学春

*

中国建材工业出版社出版 (北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云红光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 400 千字

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—3100 册 定价: 35.00 元 (精: 45.00 元)

ISBN 7-80090-864-X/TU·200

内 容 提 要

本选集较全面系统地介绍了有关《冷轧扭钢筋》(GJ3046—1998)与《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》(JGJ115—97)的技术科学研究成果,并对近几年有关冷轧扭钢筋的材性和构性所作的更深入的试验研究、Ⅲ型冷轧扭钢筋—冷轧螺旋肋钢筋的基本性能和应用等方面均作了较详细的论述。还与相类同的冷加工的钢种进行了全面的分析对比,也对冷轧扭钢筋作了理论和工程应用的综合性效益的详细分析。

特别是附录中的《塑性理论分离式配筋正交双向板计算系数表说明》对正交矩形板考虑内力重分布,目前还有很多设计人员仍用在板跨中为固定式的塑性铰线推导的公式,从它建立的四个板块的力学方程式中,容易证明:是不协调平衡的(文中已证明)。该文建议采用机动法(最小荷载原理)推导的公式。以板内钢筋配置的优化(板内所需配置钢筋总用量为最小值作为双向板的优化原则)为原则,推导出各种边界约束度的计算公式和相应的计算用表50个。当板上有非均布荷载(局部面荷载、线荷载和集中荷载)作用时,亦有推导的等效均布荷载的计算公式和计算用表。

为设计人员深化了解和应用,文中对每个公式、板跨中塑性铰线的定位系数(C_1 、 C_2 和 C_3)和非均布荷载作用下的等效均布荷载等公式均作了较详细的推证,并对板四周结构(墙、梁)的负荷面积作了较合理的建议。对公式及计算用表,均作了相应的计算实例分析,供设计人员参考。本计算用表可用于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级和冷轧扭钢种的钢筋。

本选集是一部集研究成果、设计方法、施工经验和应用技术为一体的综合性的技术科学文献,可供各有关建设部门从事冷轧扭钢筋工程决策、科研、设计、材料和设备生产人员参考使用。

前 言

冷轧扭钢筋是一种具有强度高、加工制作简单且产品商品化、施工方便等优点的新的结构材料。在板类构件及构造钢筋中可以全面推广，具有广阔的发展前景。

近几年来，这一技术在应用范围、推广数量、材料品种、生产工艺及计算方法等方面取得了卓有成效的发展，越来越显示出它的作用，既满足了我国基本建设的要求，又节约了钢材，降低了工程造价，具有显著的综合效益。

值此世纪之交，交流冷轧扭钢筋的科研成果，总结这一领域的应用技术，探讨和发展新思路，进一步提高其技术水平是工程建设的需要。为此，第二届全国冷轧扭钢筋应用技术研讨会暨贯标会筹备委员会决定编纂这本综合性科技文献——《冷轧扭钢筋应用技术论文选集》。

全书大多为近年来工程设计、施工经验以及基本理论和应用的研究成果。其中按内容分为四部分，所选论文综合 9 篇；试验研究 11 篇；推广应用 5 篇；有关标准选编 6 篇，共收入文稿 31 篇。

冷轧扭钢筋技术在国家重点工程——50 万平方米建设规模的首都国际机场新航站楼及停车楼中的应用，充分显示了该项技术的可靠、节约钢材、降低工程造价等一系列优点。

本选集的出版，必将使从事冷轧扭钢筋工程设计、施工、科研和工艺设备制造人员进一步了解冷轧扭钢筋的发展动向，认识和掌握该结构材料的关键技术，提高冷轧扭钢筋技术发展水平，促进和扩大冷轧扭钢筋技术在各类工程领域中的应用。

在选集出版的全过程中，得到了行业标准《冷轧扭钢筋》和《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》编制组和全国冷轧扭钢筋应用协作网全体成员的关心和帮助，在此表示衷心的感谢。

鉴于本书编辑出版时间仓促，对于水平参差不齐的来稿，编者仅进行了粗选。因此，书中用词不妥或遗漏以及深度不足等缺陷在所难免，敬请读者谅解。

《冷轧扭钢筋应用技术论文选集》编者
1999 年“五一”节前于北京

目 录

一、综 合

1. 冷轧扭钢筋的研究开发和设计施工 张承起 周 彬 杨嗣信 栾德成 (1)
2. 冷轧扭钢筋混凝土结构的现状和发展前景 梁福康 (8)
3. 冷轧扭钢筋加工工艺和材料性能研究 吴佳雄 张钧林 (12)
4. 冷轧扭钢筋混凝土构件试验及受力性能分析 王世慧 张承起 周 彬 (19)
5. 冷轧扭钢筋粘结锚固性能的试验研究 徐有邻 刘立新 管品武 林红宇 (22)
6. 冷轧扭钢筋力学性能与工艺参数的试验研究
..... 徐有邻 刘立新 申爱兰 李佑钧 (27)
7. 配置冷轧扭钢筋的受弯构件可靠度分析 王世慧 (33)
8. 关于冷轧扭钢筋材料性能和应用的讨论 吴佳雄 李通坤 (36)
9. 均布受荷下冷轧扭钢筋混凝土板塑性内力重分布计算的建议
..... 张承起 张世忠 冯 阳 (40)

二、试验研究

10. 冷轧扭钢筋基本性能试验研究 管品武 刘立新 徐有邻 钱 伟 (68)
11. 冷轧扭钢筋混凝土板类构件结构性能试验研究 张钧林 (74)
12. 冷轧扭钢筋混凝土空心板受力性能的试验研究
..... 刘立新 戚瑞元 张达勇 魏 星 (85)
13. III型冷轧扭钢筋——冷轧螺旋肋钢筋的基本性能和应用
..... 吴佳雄 李通坤 黄昌锦 朱宗裕 朱 斌 林红宇 (91)
14. 配置冷轧扭钢筋为非预应力筋的局部部分双向预应力板的试验研究
..... 欧新新 张文华 王纪锋 吴佳雄 邹 勇 (96)
15. 钢筋混凝土空腹夹层板的研究与应用综述 马克检 黄 勇 方侠敏 (100)
16. 冷轧扭钢筋山砂混凝土预制空心板试验与研究 方侠敏 何延彬 (104)
17. 冷轧扭(变形)钢筋材性分析 李建国 陈爱英 韩行书 刘有兆 (107)
18. 冷轧扭钢筋拉伸试验方法的讨论 吴佳雄 李通坤 林红宇 (112)
19. 冷加工钢筋的塑性及冷轧扭加工工艺质量保证
..... 徐有邻 刘立新 管品武 李佑钧 (117)
20. II型冷轧扭(方菱型)钢筋 郑康平 (125)

三、推广应用

21. 冷轧扭和冷轧带肋两类钢筋应用技术刍议
..... 王长酉 丁士玲 申爱兰 张 蕊 (130)
22. 冷轧扭钢筋应用于现浇楼板中的推广价值 王希建 王 燕 李宪吉 (136)
23. 冷轧扭钢筋受弯构件性能及工程应用 方侠敏 (139)

24. 从冷轧扭钢筋技术的应用看其社会效益与经济价值 姜 舟 王伯宁 (143)
25. 冷轧扭钢筋效益分析 王尔其 (146)

四、附 录

26. 中华人民共和国行业标准《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》
(JGJ 115—97) (150)
27. 中华人民共和国建筑工业行业标准《冷轧扭钢筋》(JG 3046—1998) (175)
28. 中华人民共和国国家标准《金属拉伸试验方法》(GB228—87) (184)
29. 中华人民共和国冶金行业标准《低碳钢无扭控冷热轧盘条》
(YB 4027—91) (197)
30. 中华人民共和国国家标准《低碳钢热轧圆盘条》(GB/T 701—1997) (201)
31. 《塑性理论分离式配筋正交双向板计算系数表》说明和正交矩形板上
等效均布荷载计算的建议 张承起 张世忠 冯 阳 (207)

冷轧扭钢筋的研究开发和设计施工

张承起 周 彬 杨嗣信 栾德成

摘 要 通过对冷轧扭钢筋技术发展历史的介绍和可靠性分析计算,表明此类构件可用于一级安全等级的重要性工业与民用建筑,可节约用钢量,降低造价。

关键词 钢筋 冷轧扭钢筋 轧扁厚度 面缩率 节距

冷轧扭钢筋是利用Ⅰ级热轧圆钢经冷拉、冷轧和冷扭一次成型,沿长向形似螺旋状的钢筋。即对其母材的经纬方向同时进行冷加工,在保留原截面中心区域晶体的相对平衡和稳定的前提下,在提高抗拉(压)强度的同时,仍保留足够的延性,使冷轧钢筋的几何参数(轧扁厚度、截面宽厚比、面缩率和节距)和4项材质指标(抗拉强度、条件屈服值、伸长率和冷弯)经可靠指标分析能达到优化值。

一、冷轧扭钢筋技术的开发及发展过程

自1979年冷轧扭钢筋由北京市建筑工程研究院开发、研究并与北京市建筑设计研究院共同将该技术应用于工程后,相继已有10多个省、市(北京、山东、江苏、福建、湖南、浙江、广东、河北、河南、上海、四川、天津、贵州)相继颁布了地方标准和规程。1993年11月在浙江宁波召开了首届全国冷轧扭钢筋及其应用技术研讨会。1994年建设部下达了中华人民共和国建筑行业标准《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》编制任务,1994年8月在北京成立并召开了编制组会议和第一次全国冷轧扭钢筋技术编制组会议。1994—1996年编制组召开了4次技术工作会议。1995年建设部下达中华人民共和国建筑行业标准《冷轧扭钢筋》编制任务。1996年年底在深圳市召开了冷轧扭钢筋产品标准及工程标准的专家审查会议。1997年7月在北京召开了冷轧扭钢筋及应用技术推广应用汇报会,1997年8月21日建设部科学技术司下发了《冷轧扭钢筋应用技术推广应用汇报会纪要》。1998年中华人民共和国建筑行业标准《冷轧扭钢筋》发行,中华人民共和国建筑行业标准《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》得到批准并相继发行。

三、冷轧扭钢筋技术的可靠性分析

(一) 冷轧扭钢筋的基本概念

冷轧扭钢筋是用低碳热轧圆盘条作原料,经专用的钢筋冷轧扭机调直、冷轧并冷扭一次成型,具有规定截面形状(多种截面轧扁厚度及宽厚比)和节距的连续螺旋状钢筋。其截面宽厚比约2.45,面缩率约12%,节距为母材直径的10~12倍。

(二) 冷轧扭钢筋的技术性能

按上述给定的加工指标,在全国轧制不同规格的冷轧扭钢筋试样1627个,作了大量几何参数的力学性能试验和复检,获得了冷轧扭钢筋典型的 $\sigma-\epsilon$ 曲线(图1)。

1. 冷轧扭钢筋的抗拉强度 f_t 。(不分规格)和强度设计值 f_y

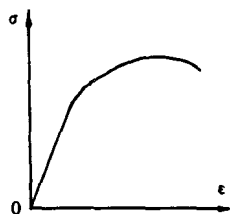


图1 冷轧扭钢筋
σ-ε 曲线

1300 多个试样 (有效试样 1164 个) 试验结果显示, 其 $f_u = 558 \sim 786 \text{ N/mm}^2$, 平均值 $f_u = 665.9 \text{ N/mm}^2$, 标准差 $\sigma = 45 \text{ N/mm}^2$, 取 95% 的保证率 $f_u = 591.8 \text{ N/mm}^2$ (取整 580 N/mm^2), 按专门规定 $f_y = f_y = 387 \text{ N/mm}^2$ (取值 360 N/mm^2)。

2. 冷轧扭钢筋弹性模量 E

按 95% 的保证率 $E = 1.96 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。(取值 $1.9 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)

3. 冷轧扭钢筋的拉断伸长率 δ_{10}

根据 1014 个各种规格的有效试样试验结果 $\delta_{10} = 4.21\% \sim 10\%$, 平均值 $\delta_{10} = 5.68\%$, 标准差 $\sigma = 0.71\%$, 按 95% 保证率计算 $\delta_{10} = 4.51\%$ (取值 4.50%)。

4. 冷轧扭钢筋的冷弯试验

各地做的 180° 冷弯试验结果表明, 当弯心直径为 $3d$ (或 $4d$), 弯转角度为 180° 时的钢筋均无裂缝、鳞落和断裂现象。 90° 反复弯曲试验中经反复 4~7 次 (弯心半径为 2 倍母材直径) 仍未出现裂缝等现象, 说明冷轧扭钢筋的变形能力均能满足规定要求。为方便检测并与其他钢种测试项目统一, 规定冷轧扭钢筋只作 180° 冷弯试验。

5. 冷轧扭钢筋的均匀伸长率

根据 101 个均匀伸长率测试, 其变化范围在 $1.02\% \sim 2.28\%$ 之间, 平均值 1.49% , 标准差为 0.3% 。完全满足工程应用及相关规范的要求。

6. 冷轧扭钢筋的强屈比

鉴于冷轧扭钢筋系无明显屈服点的钢材, 宜以 $\sigma_{0.2}$ 作为条件屈服强度 (即以应变为 0.2% 所对应的应力为条件屈服强度)。根据自动记录 $\sigma-\epsilon$ 曲线, 按比例计算得到各试样条件屈服强度、极限抗拉强度见表 1。

从表 1 比较可知, 冷轧扭钢筋强屈比在 $1.05 \sim 1.20$ 之间, 平均值为 1.1049 , 可满足有关规范和应用的要求。

试样的条件屈服强度和极限抗拉强度

表 1

极限抗拉强度 f_u N/mm ²		条件屈服强度 f_y N/mm ²		$f_u/\sigma_{0.2}$	
范 围	平均值	范 围	平均值	范 围	平均值
558~786	665.9	496~710	601	1.05~1.20	1.1049

等截面周长的比较

表 2

截面形状	圆 形	方 形	矩 形
面 积	$\pi D^2/4$	b^2	nb^2
周 长	πD	$4b$	$2(1+n)b$

7. 冷轧扭钢筋的粘结锚固性能

等截面周长的比较见表 2。

表 2 中面积为 $\pi D^2/4 = b^2 = nb^2$, $b = \frac{D}{2} \sqrt{\pi}$ (方形), $b = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\pi}{n}}$ (矩形), 其中 $n = \frac{h}{b}$

(h 为矩形截面高度)。

方形、矩形与同截面的圆形截面的周长相比, 比方形大 12.8%, 比矩形大 25%。

从粘结锚固试件的试验结果进行统计回归, 由滑移不过大而定义的锚固强度 $\tau_s = (1.217 + 2.1d/l_s) f_1$ (式中 d 为标志直径, 即母材轧扭前的直径; l_s 为锚固长度; f_1 为混凝土抗拉强度)。对此进行可靠性分析, 取可靠指标 $\beta = 3.95$ (相应失效概率为 $p_1 = 4 \times 10^{-5}$) 进行计算, 得到具有相当可靠度的冷扎扭钢筋锚固长度, 其取值与混凝土强度有关, 强度等级较高的锚固长度减小。

在此基础上, 根据我国工程实践经验和设计习惯, 对上述锚固长度进行了简化取整处理, 即得到与新Ⅲ级钢筋表 (或 GBJ10-89 规范中月牙纹Ⅲ级钢筋表 6.1.4) 相同的受拉冷扎扭钢筋锚固长度, 即当计算中充分利用受拉冷扎扭钢筋强度时的最小锚固长度 l_s (mm)。C20、C25 混凝土的 l_s 分别为 $45d$ 、 $40d$, 高于 C30 (含 C30) 的混凝土 l_s 为 $35d$ 。

8. 冷扎扭钢筋的疲劳强度

虽然目前冷扎扭钢筋很少用于直接承受动力荷载作用的结构构件, 但从有限数据 $\phi'6.5$ 、 $\phi'8$ 、 $\phi'10$ 、 $\phi'12$, 取两种应力幅 ($\rho = 0.8$ 、 0.3), 均通过 200 万次的应力循环试验未见破坏。

(三) 短期测试荷载时试件的裂缝开展

通过板、梁试件 (板 20 个、梁 21 个) 加载试验, 逐级加载到出现裂缝, 计算开裂弯矩接近实测开裂弯矩。按 GBJ10-89 规范有关公式计算裂缝间距平均值 l_{cr}^s , 纵向受拉冷扎扭钢筋表面特征系数 γ 分别取 $0.7 \sim 1.0$ 计算 l_{cr}^s 值。 $\gamma = 1.0$ 时, 除个别外, 裂缝间距计算值均大于实测值; 取 $\gamma = 0.85$ 时与实测值较吻合, 说明冷扎扭钢筋的粘结锚固性能比光圆钢筋好, 而稍差于变形钢筋。

按 $l_{cr}^s = (2.7c + d/\rho_b) \times 0.85$ 计算, 标准差 $\sigma = 0.144$, 变异系数 $\delta = 0.136$ 。

计算裂缝宽度时, 构件受力特征系数 $\alpha_{cr} = 1.7$, 则最后取值 $\alpha_{cr} \cdot \gamma = 1.7 \times 0.85 = 1.45$ 。

(四) 冷扎扭钢筋混凝土受弯构件的破坏形态

编制组成立后补充进行了板 (11 个)、梁 (17 个) 冷扎扭钢筋混凝土受弯构件破坏性测试工作。

板: 配筋率低时破坏一般是由于裂缝宽度大 (达 1.5mm); 而配筋率稍大时, 其破坏是由于跨中挠度达 $l/50$ 。

梁: 配筋率低时破坏一般在钢筋最大应变达 0.01, 再继续加载钢筋亦随之拉断; 配筋量稍大时破坏都因裂缝宽度达 1.5mm, 此时钢筋应变一般都比 0.01 小。

全部受弯构件在破坏前均属“结构构件在破坏前有明显的变形和其他预兆”。故冷扎扭钢筋混凝土受弯构件属延性破坏。这进一步说明材性与构件的破坏形态绝不能混为一谈, 即不能以材性测试在破坏前的变形和预兆判定用此材料浇筑成的构件的破坏形态 (图 2)。

按不同配筋率、不同可变荷载效应与永久荷载效应比 S_{QK}/S_{CK} 下得出可靠指标 $\beta = 3.99 \sim 4.22$, 平均值 $\bar{\beta} = 4.05 > 3.9$ 。此类构件可用于一级安全等级的重要工业与民用建筑。

三、冷扎扭钢筋混凝土结构构件的设计计算

(一) 冷扎扭钢筋选用的母材

制作冷扎扭钢筋的原材料 (母材) 宜优先选用符合 YB4027 规定的低碳钢无扭控冷热轧盘条 (高速线材), 也可选用 Q215、Q235 系列碳素结构钢热轧圆盘条钢筋 (即应符合 GB701

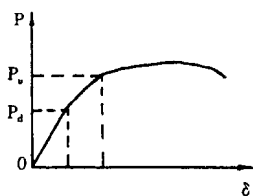


图2 受弯构件破坏形态

低碳素钢热轧圆盘条的要求)。当采用Q215时,碳的含量宜不小于0.12%。

(二) 冷轧扭钢筋的规格

I型(矩形截面): $\phi'6.5$ 、 $\phi'8$ 、 $\phi'10$ 、 $\phi'12$ 、 $\phi'14$; II型(菱形截面): $\phi'12$ 。

(三) 主要构造规定

1. 混凝土强度等级:一般不得低于C20,处于露天或室内潮湿环境中的构件,混凝土强度等级不宜低于C25。

2. 混凝土保护层最小厚度:埋入土中的基础构件为35mm,基础底面无垫层时为70mm,其余构件同GBJ10-89表6.1.3。

3. 冷轧扭钢筋的锚固与接头:

(1) 最小锚固长度 l_a 同GBJ10-89表6.1.4中钢筋类型为月牙纹Ⅲ级钢筋的 l_a (即 $CX + l_a = 65$,则 $l_a = 65 - CX$)。例如C25, $l_a = 65 - 25 = 40d$ (当混凝土强度等级 $\geq C30$, $l_a = 35d$)。

(2) 纵向受拉冷轧扭钢筋搭接长度不应小于 $1.2l_a$,且不应小于300mm。

4. 冷轧扭钢筋一般不宜作抗剪承载力的弯起钢筋和箍筋之用。

5. 当作板支座负筋时,负筋端部的直钩一般只作一端,另一端不宜作直钩,但可交错放置。

6. 冷轧扭钢筋适宜作各种构件的构造配筋。

7. 严禁用冷轧扭钢筋作吊钩,严禁再次进行冷轧、冷拉等冷加工,冷轧扭钢筋网片应绑扎,严禁点焊成型。

(四) 冷轧扭钢筋的计算

1. 正常使用极限状态下不作验算的构件如下:

(1) 当同时符合下列条件的受弯构件可不作最大裂缝宽度验算。

- 处于正常环境下的板类构件;
- 混凝土强度等级 $\geq C20$;
- 冷轧扭钢筋标志直径 $\leq 10\text{mm}$;
- 混凝土保护层厚度 $\leq 25\text{mm}$;
- 当裂缝宽度最大允许值 $\omega_{\max} = 0.3\text{mm}$,或符合DBJ01-14-97附录D(P29)图D.0.1者。

(2) 当符合DBJ01-14-97附录C(P27)的条件一般可不作挠度验算。

2. 在进行使用中允许出现裂缝的板类构件内力计算时,可考虑塑性内力重分布,但调幅值不大于15%。对于双向板,因内力有拱架的作用,调幅值还可适当放宽。

3. 钢筋代换:当已出图的设计为I级圆钢时,可用降低一级标志直径的冷轧扭钢筋直接代用。例如 $\phi 8$ 可用 $\phi'6.5$ 代用, $\phi 10$ 可用 $\phi'8$ 代用, $\phi 12$ 可用 $\phi'10$ 代用, $\phi 14$ 可用 $\phi'12$ 代用。

对于板跨较大,配筋直径大于或等于 $\phi 16$ 时,亦可在板中采用双筋(并筋,间距宜为50mm)。

(五) 冷轧扭钢筋的经济效益

从冷轧扭钢筋与Ⅰ级钢筋抗拉强度设计代换可知：

$$A_t = \frac{210}{360} A_1 = 0.583 A_1 \quad (\text{式中 } A_t \text{ 为冷轧扭钢筋截面面积, } A_1 \text{ 为Ⅰ级钢筋截面面积}).$$

所以从理论上分析,采用冷轧扭钢筋比Ⅰ级圆钢可节约用钢量 41.7%,按目前市场钢材价格计算可节约造价 20%。

冷轧扭钢筋的生产厂家应为经所在地区有关部门进行资质审查后被认可的合法生产单位,生产厂家应选用国内名牌钢厂生产的合格原材料并具有出厂证明。工厂还必须对到厂的原材料抽样复试,复试合格后才允许正式投产加工,在加工冷轧扭钢筋过程中应按规定抽样检验,并出具出厂合格证书或试验合格报告单,并随同该批冷轧扭钢筋一并提交给施工单位。

四、冷轧扭钢筋的施工

(一) 冷轧扭钢筋的存放要求

冷轧扭钢筋进入施工现场后,应选择干燥场地并有可靠的防雨设施。根据来料先后顺序分批分规格捆扎码放整齐,挂标签或标牌,注明钢筋的规格、数量、生产日期、生产厂家和使用的工程及部位。冷轧扭钢筋堆放时应在下部垫木架空。

冷轧扭钢筋成品到现场后应分批进行检验。每批重量不应大于 10 吨,不足 10 吨也按一批计。其检验批以同一钢厂、同一牌号、同一规格、同一台轧机生产的钢筋为一批。

(二) 冷轧扭钢筋加工质量的检验

冷轧扭钢筋加工质量的检验应符合现行国家标准 GB 228、GB 232、GB 2101 等有关规定和省市地方有关标准,一般包括以下几个方面 [参照《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》(JGJ115-97)]。

1. 外观检查

表面不允许有影响钢筋力学性能的裂纹、折叠、结疤、压痕和机械损伤。锈蚀严重者严禁使用。

2. 轧扁厚度的检验

轧扁厚度应符合表 3 规定。

轧扁厚度用游标卡尺(精度 0.02mm)在试样两端量取。每端分别测其截面两边缘和中央部位厚度,取算术平均值为一端厚度。再取两端算术平均值为冷轧扭钢筋截面轧扁厚度。菱形截面测其两端横截面短向对角线尺寸,取算术平均值为菱形截面的轧扁厚度。

3. 节距的检验

应取不少于 5 个整节距的长度,取其平均值(用直尺量精度 1mm)。平均值应符合表 4 规定。

轧扁厚度要求 (mm) 表 3

类 型	标志直径 d	轧扁厚度 t
Ⅰ 型	6.5	≥ 3.7
	8	≥ 4.2
	10	≥ 5.3
	12	≥ 6.2
	14	≥ 8.0
Ⅱ 型	12	≥ 8.0

冷轧扭钢筋的节距要求 (mm) 表 4

类 型	标志直径 d	节距 l_1
Ⅰ 型	6.5	≥ 75
	8	≥ 95
	10	≥ 110
	12	≥ 150
	14	≥ 170
Ⅱ 型	12	≥ 150

注：Ⅰ型为矩形截面；Ⅱ型为菱形截面。

4. 冷轧扭钢筋的实测重量和公称重量的负偏差每批应不大于 5% (见表 5)。

重量测量及偏差: 测量冷轧扭钢筋重量偏差时, 试样长度不应小于 500mm。

重量偏差按下式计算:

$$\text{重量偏差 (\%)} = \frac{G' - LG}{LG} \times 100\%$$

式中 G 为公称重量 (kg/m); G' 为实测重量 (kg); L 为试样长度 (m)。

5. 力学性能的检验

冷轧扭钢筋的最大抗拉强度 $f_{\max}$ 应不小于 580N/mm^2 , 伸长率 δ_{10} 不小于 4.5%, 冷弯 180° (弯心直径 $=3d$) 受弯曲部位表面不得产生裂纹。

试验方法: 从每批冷轧扭钢筋中随机抽取 3 根, 2 根作拉伸试验, 1 根作冷弯试验, 必须所有试样均合格, 否则应按规定进行复试。

6. 单根定尺长度允许偏差

当定尺长度 $<8\text{m}$ 时, 允许偏差 $\pm 10\text{mm}$; 当定尺长度 $\geq 8\text{m}$ 时, 允许偏差 $\pm 15\text{mm}$ 。

(三) 施工注意事项

冷轧扭钢筋混凝土构件的模板工程和混凝土施工, 均应符合国家有关规范及规定。其他注意事项如下:

1. 严禁采用对冷轧扭钢筋有腐蚀作用的各种外加剂或掺合料 (因冷轧扭钢筋对腐蚀较敏感);

2. 冷轧扭钢筋严禁再次冷加工 (包括冷拉、冷拔、冷轧等);

3. 冷轧扭钢筋发生弯曲不直情况时, 严禁用大锤猛砸、猛击, 应采用缓慢调直、平直的措施;

4. 冷轧扭钢筋连接不允许采用各种热加工接头, 必要时可采用绑扎搭接接头。冷轧扭钢筋必须严格要求绑扎结实, 不允许有松动现象, 且应防止变形;

5. 冷轧扭钢筋的存放时间应尽量缩短, 以防锈蚀。若需较长时间存放, 须有妥善的防锈措施;

6. 冷轧扭钢筋的混凝土保护层最小厚度取值仍可按 GBJ10-89 所定的限值。因冷轧扭钢筋截面绕中轴转动, 故使用冷轧扭钢筋时混凝土保护层应从截面的最外边缘算起;

7. 冷轧扭钢筋由于有螺旋状的连续混凝土咬合齿, 因此一般不会发生锚固拔出破坏, 受力后期锚固性能优于 I 级光圆钢筋。因此, 当计算中充分利用纵向受拉钢筋强度时, C20、C25 和 C30 以上的混凝土其锚固长度应不小于 $45d$ 、 $40d$ 和 $35d$ 。对纵向受拉冷轧扭钢筋的搭接长度规定: 搭接长度不应小于 $1.2l_a$, 且不应小于 300mm ; 在冷轧扭钢筋搭接长度范围内, 其箍筋 (一般在梁内) 的间距不应大于 $5d$, 且不应大于 100mm ;

8. 冷轧扭钢筋不能用作预制构件的吊环或梁的箍筋, 一般也不宜在钢筋末端做弯钩, 如必须作弯钩时, 允许弯 90° 直角弯钩;

9. 混凝土楼板中受力钢筋的间距: 当板厚 $\leq 150\text{mm}$ 时, 不应大于 200mm ; 当板厚 $> 150\text{mm}$ 时, 不应大于 1.5 倍的板厚, 且不应大于 300mm 。由板中伸入支座的下部钢筋, 其

冷轧扭钢筋的重量要求 表 5

类 型	标志直径 d (mm)	公称重量 (kg/m)
I 型	6.5	0.232
	8	0.355
	10	0.536
	12	0.733
	14	1.042
II 型	12	0.768

间距不应大于 400mm，其截面面积不应小于跨中受力钢筋截面面积的 $1/3$ ；

10. 用冷轧扭钢筋取代光圆钢筋时，一般可按 3.4.3 节所述方法取代，但应经过设计单位认可，并签订工程变更洽商单。

（参加本文工作的还有：高本立、肖家福、李国立、李荣元 李京一、李冬青等）

冷轧扭钢筋混凝土结构的现状和发展前景

梁福康

(建设部标准定额司 北京 100085)

摘 要 多年来的研究结果证明, 冷轧扭钢筋强度高、粘结握裹力强、锚固可靠、施工方便、经济效益显著。《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》的批准发布为今后的发展应用奠定了牢固的基础, 应用前景广阔。

关键词 冷轧扭钢筋 伸长率 试验 钢筋代换

一、前 言

目前, 在国内外建筑业中, 除普遍采用热轧钢筋外, 也大力发展应用冷加工钢筋, 在保证结构安全的前提下, 可提高材料强度、节约钢材。例如, 早在 1935 年奥地利和欧洲其他一些国家就使用了一种叫“Tor”的冷加工钢筋, 随之有法国的“Caron”钢筋、荷兰的“Torma”钢筋、美国的“Cold worked steel or cold reduced steel wire”等。我国 50~60 年代只采用冷拉和冷拔方法。其强度虽高, 但延性较差, 易造成脆断, 发生工程事故。70 年代末期开始自行研制冷轧扭钢筋, 首先在北京的一些工程中应用, 发现伸长率仍不够理想。为使冷轧扭钢筋在提高强度的情况下具有足够的延性, 以满足工程需要, 节约钢材, 北京和全国有志于此项技术的科研、设计、施工、生产和教学工作者自愿联合在一起, 自力更生, 以普通碳素结构钢 Q235、Q215 热轧圆盘条为原材料(母材)进行冷轧扭加工的探讨和研究, 经长达 18 年的研究、应用和发展, 形成了我国特有的钢筋冷加工技术——冷轧扭钢筋加工技术。

二、冷轧扭钢筋的应用发展概况

众所周知, 普通低碳钢筋大量应用于混凝土建筑工程, 其延性虽好, 但强度较低, 用钢量较多, 很不经济。随着建筑工程中混凝土强度等级的提高, 亦需提高钢筋的强度, 以求最佳匹配, 物尽其用。为此, 进行了冷轧扭钢筋基本性能的大量试验研究。特别是近几年来, 在《冷轧扭钢筋》和《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》编制组的组织下, 会同 14 个科研、设计、施工、高等院校和生产单位, 针对开发初期存在的强度偏高而塑性不够理想的缺陷, 从提高材料综合性能, 特别是改善延性方面进行优化和系统的科学试验、数据分析, 对加工工艺、轧扁厚度、面缩率、节距等工艺参数进行了最佳性能的优化。在全国采样 2000 多个, 在保证必要的强度指标情况下, 改善延性指标, 对粘结锚固、疲劳强度和构件试验等均做了系统的试验, 取得良好的结果。

在研究、开发并应用到工程中的 18 年中, 历经了 4 次优化改进, 冷轧扭钢筋在我国建筑工程上的应用愈来愈广。据不完全统计, 全国已有 300 多条生产线, 遍及 20 多个省市, 已在 2000 余万平方米的建筑中采用, 用钢量达 20 余万吨, 节约钢材 4 万余吨, 节省投资

近亿元。1990年该技术列入建设部“八五”科技成果重点推广项目,1993年11月在浙江宁波召开了首届全国冷轧扭钢筋及其应用技术研讨会。该技术受到了建设部和全国基本建设系统同仁的重视和关注。会议回顾、总结和交流了冷轧扭钢筋技术和应用的经验,进一步明确必须尽快地制订全国统一的法规,以指导该项技术的健康发展。对此,建设部有关部门经深入调查和论证,于1994年(建标[1994]314号文)、1995年(建标[1995]174号文)分别下达了编制中华人民共和国行业标准《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》和中华人民共和国行业标准《冷轧扭钢筋》的任务。1994年8月在北京成立了统一的编制组,并召开了第一次全国冷轧扭钢筋技术编制组会议,相继成立了3个科研组,进行了深入工作,解决难题,特别是与设备制造、科研、设计、施工单位密切配合,卓有成效。该项目1996年被继续列为建设部重点推广科研成果。1997年7月24日在北京由建设部科学技术司主持召开了“冷轧扭钢筋及应用技术推广应用汇报会”,参加会议听取汇报的除建设部科学技术司外,还有标准定额司、建筑业司、科技发展促进中心,技术归口单位中国建筑科学研究院、冶金部科技司、质量监督司、技术情报研究中心、冶金部建筑研究总院等单位的领导和专家。行业标准《冷轧扭钢筋》和《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》编制组和来自全国各省市部分生产企业和应用单位的代表作了汇报。汇报得到了领导和专家的一致认可,并于1997年8月21日由建设部科学技术司印发《冷轧扭钢筋及应用技术推广应用汇报会议纪要》。会议认为冷轧扭钢筋是我国自行研制成功的一种适合我国国情的新品种钢筋,要求各地建委(建设厅)及有关主管部门设计单位和施工企业积极热情地支持冷轧扭钢筋的推广和应用,以科学的、实事求是的态度加强宣传,突出应用优点,抓好示范工程,总结经验,以点带面,不断扩大应用范围。会议也指出了冷轧扭钢筋今后深化研究的方向,认为钢筋的延性指标在可能条件下还需进一步与国际标准接轨。

根据建设部建标[1998]23号文的通知,由北京市建筑设计研究院主编的《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》和《冷轧扭钢筋》于1996年12月通过专家审查会审查,与会专家认为编制组在现有12个地方标准和大量的材性(1600多个)、粘结锚固(400多个)和构件性能试验(28个)基础上,提高了材性,完善了强度和塑性指标,优选了有关设计参数和计算公式,完善了规程内容,获得优于原地方标准的各项指标,起到了指导该项技术推广应用的作用,达到同类标准的国际水平。该规程于1998年2月9日批准为行业标准,自1998年7月1日起执行。规程的批准发布标志着该项技术的成熟,是对过去工作经验的总结,对生产、科研、设计、应用成绩的肯定,同时也为今后更好地发展应用提供了依据并创造了良好的条件。产品标准《冷轧扭钢筋》(JG3046—1998)于1998年5月1日起实施。

三、冷轧扭钢筋的主要优点

(1) 冷轧扭钢筋虽为无明显流幅的钢筋,但试验证明,其配置在构件中当达到破坏荷载时,构件不是立即“折断”。受弯构件破坏前有相当的延续时间,属延性破坏。

(2) 在允许出现裂缝的现浇板类构件使用时,可考虑不超过15%的塑性内力重分布。

(3) 冷轧扭钢筋比普通热轧圆钢(I级)强度高,可节约钢材约40%,节约投资25%左右。

(4) 加工应用方便。由于冷轧扭钢筋是将盘圆母材一次调直、冷轧和扭转,并可按下料尺寸定尺成型,可按施工需要,按计划进度生产供应。将钢筋冷加工和建筑施工计划紧密配合,变传统的现场钢筋加工为适度规模的工厂化、机械化生产。一次便完成调直、除

锈、下料、配料等全部加工工序。同时,也可在现场直接加工,因地制宜,简便灵活。尤其是在城市或施工现场场地狭窄的情况下,采取成品供应更为适宜,具有突出的优点。

冷轧扭钢筋有特殊的螺旋形,铺设安装绑扎方便,不易移位,钢筋骨架刚度增大、整体性好,不易因施工被踩踏而变形,与混凝土粘结握裹力强,可防止混凝土收缩裂缝,保证混凝土现浇构件质量,加快施工进度。

(5) 有的冷加工钢筋成盘供应使用时还需经再次机械调直,不仅增加工序和费用,而且降低抗拉强度设计值 20MPa (实际上超过此规定值,波动幅度很大),而冷轧扭钢筋则无此弊端。

(6) 就规格而言,冷轧扭钢筋的直径从 6.5~14mm,较其他一些冷加工钢筋适用范围稍广。

(7) 钢筋代换应用简便。为方便设计、施工代换应用,在总结以往代换应用经验的基础上,规程中专门列有附录 A 冷轧扭钢筋与 I 级钢筋抗拉强度设计代换表,查用非常简便,易学易用。不少已出图的工程在施工前确定改用冷轧扭钢筋,还可进行代换,以保证工程进度,实践证明这一方法是成熟的。例如广东省江门市远辉广场(广东省建筑设计研究院设计),初期方案采用 I 级钢筋作楼板配筋,混凝土强度等级为 C25,厚度为 180mm,后改用冷轧扭钢筋,代换很简便,通过计算,混凝土强度等级不变,而楼板厚度仅需 160mm 即可满足设计要求。由于楼板减薄 20mm,不但减轻了自重,而且直接节约混凝土量 2400m³,节约资金 169 万元,加上节约的钢材,甲乙双方都获得了明显的经济效益。

四、发展和应用前景

(1) 冷轧扭钢筋的规格从 $\phi 6.5 \sim \phi 14$,截面形式分为 I 型(矩形)和 II 型(菱形)。对矩形截面的 $\phi 12$ 及其以下的应用经验较成熟,对 $\phi 14$ 矩形和菱形截面形式的大直径钢筋,从生产到应用尚需进一步加强研究,积累数据总结经验,扩大应用范围。

(2) 据建设部有关资料表明,1995 年全国建筑钢筋消耗约 1350 万吨,其中 $\phi 6.5 \sim \phi 12$ 约占 25%,即 337 万吨左右,若每年 10%应用冷轧扭钢筋也需 33 万吨左右,因此发展应用潜力仍很大。今后应按照规程规定,在承受静荷载的受弯构件(如预制或现浇楼板、基础、底板、较小跨度的梁等)中大量应用。首都机场新航站楼、停车库等重点工程的大量应用已证明其社会和经济效益明显。在叠合板的应用方面,北京、广西等地已有多种形式的成熟经验。由于冷轧扭钢筋的上述优点,获得了设计、施工、监理和业主的青睐,已形成一定的应用规模。

(3) 冷轧扭钢筋在预制构件中的应用也是有发展前途的。应编制一些常用结构构件的标准图集(如冷轧扭钢筋混凝土空心板图集等)以便应用。

(4) 应进一步研究冷轧扭钢筋与 I 级热轧圆钢混合配筋应用等问题,在试验研究的基础上确定最佳配置方案,以解决在需更好延性的构件中应用的问题。

(5) 进一步提高冷轧扭钢筋的基本性能。在可能情况下,进行低温钢筋力学性能试验。摸清低温状态下强度提高而塑性降低的具体指标,研究冷轧扭钢筋冷脆现象的特点。

(6) 我国高速线材总的生产能力约 650 万吨,可满足供应。建议各生产厂优选《低碳钢无扭控冷热轧盘条》(YB4027-91)作为母材,进一步提高冷轧扭钢筋的加工质量,特别是提高伸长率。在尽可能情况下控制钢筋的硫磷含量在 0.020%~0.040% (前苏联在 $d=15\text{mm}$ 时,硫 0.032%,磷 0.020%)。另外,宜选用高速轧机生产的线材,不宜采用复二重