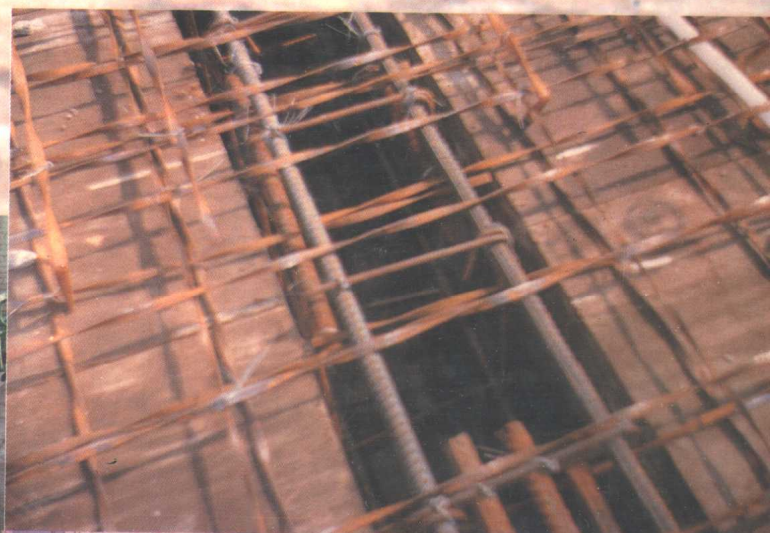
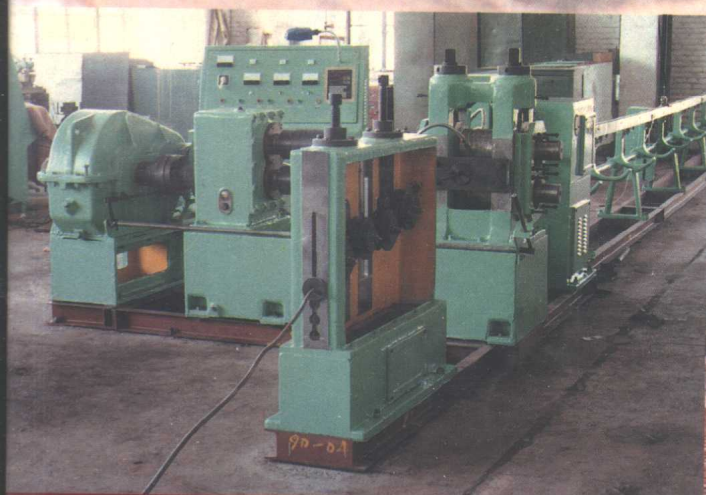


冷轧扭钢筋及其 混凝土结构的设计与施工

张钧林 编著



LENGZHA NIUGANGJIN

同济大学出版社

冷轧扭钢筋及其混凝土 结构的设计与施工

张钧林 编著

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

冷轧扭钢筋及其混凝土结构的设计与施工/张钧林编著

—上海:同济大学出版社,2000.5

ISBN 7-5608-2129-4

I. 冷… II. 张… III. ① 冷轧-钢筋②钢筋混凝土
结构-结构设计③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(1999)第 57726 号

冷轧扭钢筋及其混凝土结构的设计与施工

张钧林 编著

同济大学出版社出版发行

(上海市四平路 1239 号 邮编 200092)

全国新华书店经销

崇明晨光印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:20.75 字数:530 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—4000 定价:29.00 元

ISBN 7-5608-2129-4/TU·357

2000年5月第1版第1次印刷

序

在建筑工程中,采用新品种钢筋和新型钢筋逐步替代强度较低的热轧Ⅰ级圆钢和延性较差的低碳冷拔钢丝,是我国建筑钢筋技术的一个重要方向。

近年来,我国先后发展了三种冷加工钢筋——冷轧扭钢筋、冷轧带肋钢筋以及冷拔螺旋钢筋。其中冷轧扭钢筋是80年代初期由我国工程技术人员研制成功的,经过不断地改进和完善,目前已在全国形成了推广应用的局面,并已取得了瞩目的技术经济效益。

1993年11月,在浙江宁波召开了全国首届冷轧扭钢筋及其应用技术研讨会,本人应邀出席并作了发言。1996年12月作为专家组成员,我出席了建设部在深圳举行的《冷轧扭钢筋》(JB 3046-1998)及《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》(GBJ 115-97)审定会。为了进一步推广应用冷轧扭钢筋,希望全国有更多的人能熟悉、了解与正确应用这种新型钢筋,也希望冷轧扭钢筋的性能指标能在应用中不断地提高、完善,尤其是延伸率与均匀延伸率指标,应真正与国际先进标准接轨,以适应我国飞速发展的现代化建设对高质量结构用材料的需要。

现在奉献在读者面前的这本著作,是同济大学张钧林副教授十多年来致力于探索冷轧扭钢筋及其应用技术的试验研究以及推广应用的成果。这一课题的客观内容是纷繁复杂的,相关技术及有关规范又处于不断地发展变化之中,给作者在搜集、整理、分析、取舍技术资料及自己的试验研究成果等方面带来了不少难度。但他不辞辛劳,克服了种种困难,花费了大量的时间与精力,反复酝酿、推敲,几易其稿,终于写出了一本既对冷轧扭钢筋的生产加工、质量控制、设计计算、施工应用等工程实践有指导作用,又有理论研究、具有鲜明观点和一定学术价值的著作。

本书资料丰富,内容翔实,概貌周全,形成体系。尤其对一些基本理论问题,如冷轧扭钢筋的表面螺旋效应、冷轧扭钢筋的均匀延伸率与结构的破坏形式、冷轧扭钢筋混凝土结构塑性内力重分布问题等,作者既进行了专题试验研究,又进行了全面的理论分析,对冷轧扭钢筋的技术性能作了较全面而客观的评价。

本书可以提供给有关生产、设计、施工、科研部门及大专院校有关专业作为相关技术的工具书或教学、科研参考书。作者从事冷轧扭钢筋混凝土结构性能试验研究十多年,现在又认真写作了这本书,作为在这方面的勇敢探索,书中难免有疏漏和欠缺,相信这能得到同行和读者的鉴谅,并热情地提出相应的修改意见,这不仅能使本书得到改进,而更重要的是进一步推动这一研究,使这一课题获得前进。这是本书作者的愿望,也是本人所热切企盼的。

相信本书的出版会继续推动冷轧扭钢筋——这一我国自行研制的新型钢筋的技术发展,相信冷轧扭钢筋会在我国推广应用得更多、更好,应用的领域更为宽广。

是为序。

丁大钧

于东南大学

2000年元月

前 言

冷轧扭钢筋是我国自行研制开发的应用于混凝土结构的新型冷加工钢筋。它以Ⅰ级盘圆钢筋作母材,表面呈扁截面螺旋状。该钢筋在保持了足够塑性的前提下提高了母材的强度,螺旋状外形提高了与混凝土的握裹力,改善了构件的受力性能——具有承载力高、刚度好、裂缝细、破坏前有明显预兆等特点。该钢筋可按工程需要定尺供料,不须做弯钩直接应用于混凝土结构;其刚性好,绑扎后不易变形和位移,特别适用于现浇板类构件。由于其性能的大幅度改善,应用于混凝土工程可节约钢筋 30%~40%,节省资金 15%~25%。它是一种节能、节材、效益显著的高科技低能耗建筑材料。

冷轧扭钢筋最早于 80 年代初期由北京市建筑工程研究所研制而成。经过近 20 年的发展,已在全国二十多个省、市、自治区推广应用。国家科委及建设部曾多次发文,要求大力推广应用冷轧扭钢筋。国家标准《冷轧扭钢筋》(JG 3046-1998)及建设部标准《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》(GBJ 115-97)从 1997 年开始相继颁发。

该钢筋在上海的诞生起自 1987 年底。当时,笔者在上海住宅总公司工作,受令赴北京调研并负责引进了该项技术。次年,与上海市建研院合作完成了科研项目“冷轧扭钢筋在混凝土预制构件中的应用”。该项目于 1989 年 3 月通过了市建委的专家鉴定。以后,笔者从未间断过对冷轧扭钢筋的科研工作。尤其是 1990 年到高校工作后,在上海市建委及学校各级领导的大力支持下,先后参与负责实施了科研项目“冷轧扭钢筋混凝土结构性能研究”及上海市标准《冷轧扭钢筋混凝土结构技术规程》(DBJ 58-97)的编制;1994 年,参加了标准《冷轧扭钢筋》(JG 3046-1998)及《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》(GBJ 115-97)的制定。由于冷轧扭钢筋是一种表面形态特殊的新型结构材料,尚未为大家所熟悉;又由于是完全由我国自行研究开发的冷加工钢筋,在理论机理与设计应用等方面均有不少争议及疑虑。为了使冷轧扭钢筋及其应用技术得到更好的发展,为我国现代化事业作出更大贡献,特编写此书。

本书分九章,着重讨论冷轧扭钢筋的材料性能、轧制生产,冷轧扭钢筋混凝土结构的设计方法、施工工艺及试验研究等内容。为了帮助从事冷轧扭钢筋生产的中小企业专业技术人员掌握生产全过程的有关技术与管理知识,本书较详细、通俗地介绍了有关冷轧扭钢筋生产的各方面内容。为了帮助读者掌握冷轧扭钢筋混凝土结构构件的设计方法,书中专辟一章,介绍冷轧扭钢筋混凝土结构构件的设计实例;施工工艺部分结合了目前建筑业推广应用 10 项新技术中的有关内容。书中所含的有关标准、规范尽量引用最新版本。在本书的最后,还就冷轧扭钢筋的“螺旋效应”问题、破坏形式问题、连续板内力重分布等问题进行了探讨,以引起进一步的深入研究与讨论。

本书的出版是许多同仁无私帮助的产物。在十多年中,笔者利用寒、暑假对全国 19 个省、市的有关科研单位、设计院所、大专院校、施工企业进行了调研,许多相识或不相识的朋友向笔者提供了大量的宝贵资料。在参加规程编制的过程中又直接得到了各方面专家、教授的热心施教,校内外许多教师、工程技术人员辛勤工作,参与完成了各项试验研究项目。本书浓缩着这些前辈及同辈的造诣与经验,在此深表谢意。

书中除了介绍上海的研究成果外,还引用了部分省、市兄弟单位公开发表的研究成果;在本书写作过程中参阅、引用了许多优秀的专著;同济大学有关部门、院系及同济大学出版社的领导,各级编务人员对本书的写作与出版给予大力支持,在此也一并致谢。

由于本人水平有限,错漏之处在所难免,热忱欢迎批评指正。

张钧林

1999 年于同济大学

目 录

第一章 冷轧扭钢筋的性能	(1)
第一节 冷轧扭钢筋概况.....	(1)
第二节 冷轧扭钢筋的基本性能.....	(5)
第三节 冷轧扭钢筋与混凝土粘接锚固特性	(16)
第四节 几种冷加工钢筋的比较	(27)
第二章 冷轧扭钢筋的生产	(33)
第一节 母材选用	(33)
第二节 轧制工艺与设备	(51)
第三节 冷轧扭钢筋的生产管理与质量检测	(64)
第四节 冷轧扭钢筋生产的经济效益分析	(71)
第三章 混凝土	(75)
第一节 混凝土的组成	(75)
第二节 混凝土的强度	(76)
第三节 混凝土的变形	(83)
第四章 结构构件设计方法	(91)
第一节 基本设计规定	(91)
第二节 正截面承载力计算	(99)
第三节 斜截面承载力计算.....	(116)
第四节 抗裂计算.....	(123)
第五节 裂缝宽度计算.....	(126)
第六节 受弯构件挠度计算.....	(138)
第七节 构造规定及结构构件的规定.....	(143)
第八节 钢筋代换.....	(146)
第五章 楼盖结构设计方法	(151)
第一节 单向板肋梁楼盖.....	(152)
第二节 双向板肋梁楼盖.....	(180)
第六章 结构构件设计实例	(187)
第一节 钢筋混凝土平板.....	(187)
第二节 钢筋混凝土圆孔板.....	(190)
第三节 钢筋混凝土板式楼梯.....	(194)
第四节 钢筋混凝土单向板肋梁楼盖.....	(197)
第五节 钢筋混凝土双向板肋梁楼盖.....	(213)
第七章 结构构件施工工艺	(219)
第一节 模板工程.....	(219)

第二节 混凝土工程	(235)
第三节 钢筋工程	(257)
第八章 研究与探讨	(262)
第一节 冷轧扭钢筋混凝土梁结构性能特征	(262)
第二节 冷轧扭钢筋混凝土板类构件性能特征	(268)
第三节 冷轧扭钢筋的表面螺旋效应	(277)
第四节 冷轧扭钢筋的均匀延伸率与结构破坏形式	(283)
第五节 冷轧扭钢筋连续板的塑性内力重分布	(290)
结语	(294)
附录	
附表 1 冷轧扭钢筋强度标准值、设计值和弹性模量	(297)
附表 2 冷轧扭钢筋公称截面面积、公称重量及几何尺寸允许偏差表	(297)
附表 3 热轧扭钢筋、冷拉钢筋及热处理钢筋强度标准值	(297)
附表 4 热轧扭钢筋、冷拉钢筋及热处理钢筋强度设计值	(298)
附表 5 混凝土强度标准值	(298)
附表 6 混凝土强度设计值	(298)
附表 7 混凝土弹性模量	(299)
附表 8 冷轧扭钢筋受弯构件的最大裂缝宽度	(299)
附表 9 受弯构件允许挠度值	(299)
附表 10 冷轧扭钢筋混凝土矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算系数表	(300)
附表 11 截面抵抗矩塑性系数表	(300)
附表 12 单跨梁板的计算跨度 l_0	(302)
附表 13 连续梁板的计算跨度 l_0	(302)
附表 14 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下按弹性分析的内力系数表	(303)
附表 15 双向板按弹性分析的计算系数表	(314)
附表 16 钢筋混凝土结构受弯构件的计算机计算程序(挠度、裂缝)	(319)
附表 17 冷轧扭钢筋与Ⅰ级钢筋单根抗拉强度设计值	(321)
附表 18 每米板宽Ⅰ级钢筋改用冷轧扭钢筋代换	(322)
参考文献	(323)

第一章 冷轧扭钢筋的性能

第一节 冷轧扭钢筋概况

一、冷轧扭钢筋简介

我国是一个人口多、底子薄的发展中国家,勤俭节约、挖潜增效是长期国策。为满足日益增长的基建要求,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热轧钢材潜力,使钢筋的强度提高,以达到节材增效的目的。提高现有热轧钢材强度的途径有三条:其一是提高现有热轧钢材的合金元素含量;其二是改进热处理工序;其三则是通过采用冷加工强化控制轧制工艺来改善热轧钢筋的组织以提高强度,也即对热轧钢筋进行深加工。用前两种方法已取得了显著成果,典型的例子就是新Ⅲ级钢。但对量大面广的普碳钢线材而言,实践证明,冷加工方法则是最有效、也是最经济的提高钢材综合性能的方法。80年代以来在我国崭露头角的冷轧扭钢筋就是一例。

冷轧扭钢筋是我国独创的应用于混凝土结构的新型冷加工钢筋。它以Ⅰ级盘圆钢筋作母材,经过专门的生产线,先冷轧扁,再冷扭转,从而形成呈螺旋状的系列化直条钢筋(图 1-1)。

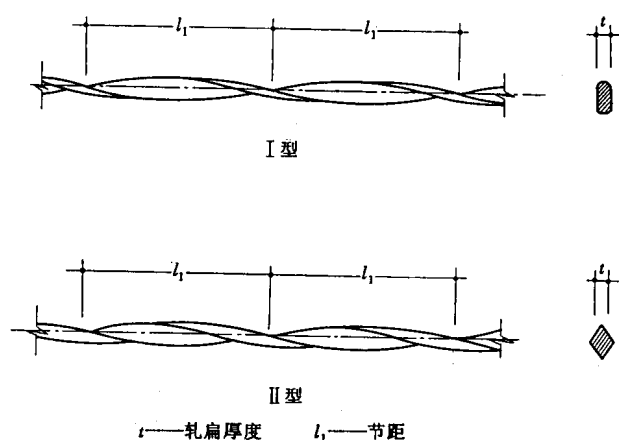


图 1-1 冷轧扭钢筋

l —轧扁厚度; l_1 —节距

该钢筋在保持了足够塑性的前提下提高了母材的强度,其螺旋状外形提高了与混凝土

的握裹力,改善了构件的受力性能,使形成的混凝土结构具有承载力高、刚度好、裂缝小、破坏前有明显预兆等特点。

该钢筋可按工程需要定尺供料,不须做弯钩可直接应用于混凝土结构;其刚性好,绑扎后不易变形和位移,对保证施工质量,提高管理水平十分有利,特别适用于现浇板类构件。

冷轧扭钢筋将钢筋的生产与加工合一,产品商品化、系列化,机械结构紧凑,电耗量很低,是一种节能、节材、效益显著的高科技低能耗建筑材料。与用Ⅰ级钢相比,可节约钢筋30%~40%,可节省资金15%~25%。

冷轧扭钢筋的规格及主要力学性能见表1-1及表1-2。

表 1-1 冷轧扭钢筋的规格及截面参数

标志直径 d (mm)		公称截面面积 A_s (mm ²)	公称重量 G (kg/m)	等效直径 d_0 (mm)	截面周长 u (mm)
Ⅰ 型	6.5	29.5	0.232	6.1	23.4
	8.0	45.3	0.356	7.6	30.0
	10.0	68.3	0.536	9.2	36.4
	12.0	93.3	0.733	10.9	42.5
	14.0	132.7	1.042	13.0	49.2
Ⅱ 型	12.0	97.8	0.768	11.2	51.5

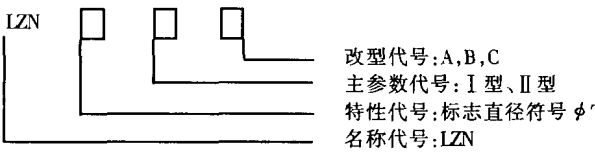
注:1. Ⅰ 型为矩形截面;Ⅱ 型为菱形截面。

2. 等效直径 d_0 为与公称截面面积等效的圆形截面的直径。

表 1-2 冷轧扭钢筋主要力学性能

强度标准值 f_{sk} (N/mm ²)	强度设计值 f_y (N/mm ²)		延伸率 δ_{10} (%)	弹性模量 E_s (N/mm ²)
	抗 拉	抗 压		
≥580	360	360	4.5	1.9×10^4

冷轧扭钢筋的型号标记由产品名称代号、特性代号、主参数代号及改型代号四部分组成:



如 $\phi'8$ (Ⅰ),即为标志直径为8mm的矩形截面的冷轧扭钢筋。本书凡未特指,所涉及的冷轧扭钢筋均指矩形截面。

二、冷轧扭钢筋技术的开发及发展

1. 钢筋冷加工历史

对热轧钢筋进行冷加工以提高钢筋的强度、节约钢材,是国内外建筑行业普遍采用的方法。钢筋冷强化方法有多种。在国外,奥地利和欧洲其他一些国家于 1935 年就使用了“Tor”钢筋,它是将一根表面带有两条纵向对称肋条的热轧圆钢进行冷扭转,使其两条纵向肋条成为螺旋形的冷加工钢筋。德国的“Drillwulst”钢筋是将四根圆钢热轧在一起而后经过冷扭转制成的。法国的“Caron”钢筋是用截面为方钢、四角为圆弧形的钢材做原料,经冷扭转制成的。丹麦及西欧使用的“Tencor”钢筋是一根带有两条纵向肋条的热轧变形钢筋,在冷加工时一面扭转、一面拉伸制成的。荷兰的“Torma”钢筋是将圆钢先冷压刻痕,然后冷扭转和拉伸使其表面形成一条螺旋槽的冷加工钢筋。上述这些冷强化钢筋都是采用特定的截面形状的热轧钢材做原料,采用冷扭转结合拉伸的方法而制成。由于对原料的截面形状提出特定要求,不仅增加了热轧钢材的轧制工艺困难,同时生产冷强化钢筋时母材受到限制,因而难以推广。

我国在 50 年代中期曾由冶金系统专门生产一种热轧带耳钢条,再将该钢条在特制的冷扭机上扭成牛耳钢筋(抗拉强度达 500MPa),由于当时的工艺设备及材料性能等方面的原因,冷扭转钢筋没能大量应用。

50 年代起,又先后有冷拉钢筋、冷轧钢筋和冷拔低碳钢丝问世。其中冷拔低碳钢丝发展较快,尤其在预应力圆孔板中大量应用。但因其表面光滑,与混凝土的握裹力小,在普通钢筋混凝土构件中不能发挥钢丝的高强作用。同时,由于冷拔低碳钢丝的延伸率指标偏低,减少了结构的安全储备。自 70 年代后期起,许多地方已开始研制替代冷拔低碳钢丝的新产品。

2. 冷轧扭钢筋技术的开发

为了能在普通钢筋混凝土构件中既能发挥钢筋的高强效果,节约钢材,又能提高钢筋与混凝土的锚固作用力,提高结构的安全性,北京市建筑工程研究所等单位的科技人员吸取了国外有关冷轧变形钢筋的优点,又结合了我国国情,构思并研究试验出了冷轧扭钢筋及其加工设备。一种新的钢筋品种——冷轧扭钢筋终于应运而生了。

80 年代初期,冷轧扭钢筋首先在北京刘家窑住宅小区中应用,在楼前塔下进行预制,节约钢筋效果显著,取得了较好的经济效益。但那时,在现场预制构件,浪费了养护构件的能量,又占用了施工场地,也不能发挥工业化生产的优势。同时,在材料性能、结构性能试验以及实际工程应用等方面均不成熟;冷轧扭机的装备也有待于完善和提高。

3. 冷轧扭钢筋技术的发展

80 年代初期,根据当时冷轧扭钢筋应用中存在的问题,北京建筑工程研究所、北京市第六建筑工程公司及北京建筑设计研究院等单位的科技人员又对冷轧扭钢筋的材性和构件性能进一步探索、试验,找出了材料本身的内在规律,完善了冷轧扭钢筋技术,在原有试验的基础上,重新对冷轧扭钢筋的轧扁度、节距以及延伸率作了修正,对设计强度也做了调整。在选择材性参数的基础上做了 5400mm×6000mm 的双向叠合楼板结构性能试验,构件的强度、刚度及抗裂度等都满足设计需要,并有一定的安全储备。在此基础上,冷轧扭钢筋成功

地应用于中央彩电中心和科技情报中心两个试点工程。

1988年,该项技术获北京市科技进步三等奖。

试点工程之后,冷轧扭钢筋又相继在北京市的渔阳饭店、总工会住宅楼及塔院小区居住楼等十几个工程的钢筋混凝土薄板叠合楼板中得到应用。在应用过程中,对发现的技术问题及时加以解决,实行了对冷轧扭钢筋薄板的生产、出池、运输、堆放、安装等工艺跟踪一条龙调查;确定六点及多点吊装和支垫等措施,使薄板在工程上的完好率达到100%。

冷轧扭钢筋的研制成功,向社会展示出了一种独特的冷加工钢筋新品种。利用普通圆钢筋经冷轧加工,截面形式有了变化,使强度提高近一倍,再经冷扭使钢筋呈连续螺旋状,改善了与混凝土的粘结和锚固性能。冷轧扭钢筋研制所获得的技术经济和社会效益更极大地引起了全国范围内工程界的关注。在各地,许多互不相识的技术人员以极大的热情不约而同地投入到了冷轧扭钢筋的科研与推广应用之中。

经过十几年的努力,获得的成果可做如下概括:

(1) 轧制装置有了不断革新、发展

① 山东威海三建公司试生产出冷轧扭机设备(目前其设备型号为GQZ12型),并由省设计院编制冷轧扭空心板图集,大力在全省推广应用。

② 浙江嘉兴市振华冷轧扭钢筋实业公司也随之研制成功GQZ10A型和GQZ12型多功能冷轧扭钢筋机,轧制的钢筋直径分别扩大到12mm及14mm。

③ 邢台市钢筋冷轧扭机制造厂也生产出改进了性能的结构紧凑的GZU12冷轧扭机,以适应生产的需要。

④ 深圳星盟冷轧变形钢筋有限公司(其前身为“大盟冷轧变形钢筋公司”)生产出了“钜星”冷轧扭钢筋机组,并在科研及推广应用方面有许多突破,取得了明显的经济效益与社会效益。

全国各地前后从事研制冷轧扭钢筋轧机的单位有近十家,分布于河北、山东、江苏、浙江、广东、广西、甘肃、湖北等省、市、自治区。

(2) 应用研究全面、深入开展

许多科研单位、大专院校的科研人员加强了对冷轧扭钢筋的机理研究,完成了系统的有关钢筋材料性能、锚固性能及结构性能试验研究,优化和完善了技术工艺,使冷轧扭钢筋的性能不断改善。

(3) 建立了协作网

1993年11月,在宁波召开了第一届全国冷轧扭钢筋及其应用技术研讨会。同时,全国冷轧扭钢筋应用技术协作网宣告成立。

(4) 制订了相应的标准、规程

至1997年底,全国已有17个省市制订了冷轧扭钢筋设计应用规程。

国家行业标准《冷轧扭钢筋》(JG 3046-1998)及《冷轧扭钢筋混凝土构件技术规程》(JGJ 115-97)于1994年8月开始编制,1996年12月在深圳审定,并已分别于1998年5月1日及1998年7月1日正式施行。

4. 冷轧扭钢筋技术应用的现状

(1) 1990年,在建设部(90)建科字第484号文件《关于公布建设部“八五”科技成果推广计划第一批推荐推广项目的通知》中,冷轧扭钢筋技术首次被列为推荐项目(第23~25项,

共有推荐项目 140 项)。国家科委也于 1992 年将其列为“星火计划”项目。1996 年,建设部再次把冷轧扭钢筋列为重点推广项目。

(2) 全国许多省市政府主管部门对冷轧扭钢筋的推广应用也采取了积极措施。河南、河北、浙江、广东等省建委为推广冷轧扭钢筋技术下达了文件,在全省大面积地推广冷轧扭钢筋技术,颁布并建立了协调激励机制,调动建设、设计、施工、加工单位的积极性,为科技成果转变为生产力提供了可靠的保证。

(3) 冷轧扭钢筋已大量应用于各种混凝土构件,主要形式有:

① 预制混凝土构件 圆孔板、叠合板、过梁、楼梯板、沟盖板等。

② 现浇混凝土构件 楼板、叠合板、过梁、楼梯板、加汽混凝土复合板、密肋板、基础地板、钻孔灌注桩、水箱、机场跑道等。

目前,各种现浇楼板已成为冷轧扭钢筋的主要应用形式,其建筑结构包括外浇内砌、高层剪力墙、高层框架、多层框架、砖混等类型。

许多有重大影响的工程均采用了冷轧扭钢筋,其中有首都机场新航站楼、停车库等重点工程(北京市建筑工程设计研究院设计)。

冷轧扭钢筋混凝土构件应用的跨度已发展到 $6900\text{mm} \times 9300\text{mm}$ 的双向大楼板(江苏省建筑科学研究院研究设计)。

经过十几年的发展,至 1998 年,全国已有 300 多条冷轧扭钢筋的生产线,遍及 20 多个省、市自治区,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,节约投资近亿元。在我国南方,特别是在东南沿海各省,冷轧扭钢筋已形成了较好的推广应用市场;近年来应用面积之多,内容之广已不容怀疑。上海市至 1998 年底,应用冷轧扭钢筋已达 5000 多吨,建筑面积达 100 多万平方米,1999 年将突破万吨。

5. 应用前景

据有关资料介绍,1995 年,全国建筑钢筋消耗量约 1350 万吨,其中 $\phi 6.5 \sim \phi 12$ 的线材约占 25%,即约 337 万吨,若其中 30%应用冷轧扭钢筋约需 100 万吨,而目前我国冷轧扭钢筋的生产能力是约 70 万吨,故发展应用潜力很大。

6. 技术发展方向

冷轧扭钢筋的延伸率指标虽已达 4.5%,但与国际上同级别的冷加工钢筋($\delta_{10} = 8\%$)相比仍有不小的差距,须在机理及机械装备上有新的突破才能进一步提高。冷轧扭钢筋的规格也较小,限制了其应用范围。冷轧扭钢筋尚未解决钢筋的焊接问题,因而不能制成焊接网片,也限制了其应用范围的拓宽(详见本书结论部分)。

第二节 冷轧扭钢筋的基本性能

一、冷轧扭钢筋的应力-应变曲线

在钢筋的拉伸试验中,经过自动绘图机构,可绘出钢筋的“拉力-位移”曲线,再将拉力转化为应力,位移转化为应变,即可绘制出钢筋的“应力-应变”曲线。从钢筋的应力-应变曲线

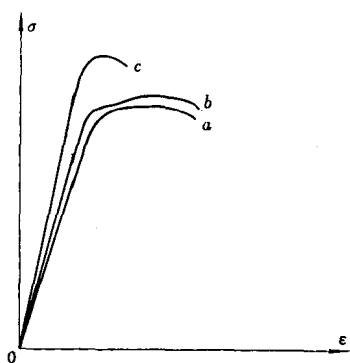


图 1-2 钢筋的应力-应变曲线示意
a—冷轧扭钢筋；b—冷轧带肋钢筋；
c—冷拔低碳钢丝

的形态可对钢筋的基本力学性能作出形象的判断。

冷轧扭钢筋的应力-应变曲线见图 1-2。为作比较,特将其他冷加工钢筋的应力-应变曲线一并画出。

从图 1-2 可见,冷轧扭钢筋、冷拔低碳钢丝及冷轧带肋钢筋虽均属同强度级别的冷强化无明显屈服点的钢材,但冷拔低碳钢丝表现为一旦应力达到极限很快就被拉断,冷轧扭钢筋与冷轧带肋钢筋一样表现有一段较长的非弹性变形过程,即曲线平缓变形段(冷轧扭钢筋菱形截面的非弹性变形值可达 2% 以上)。这实际上反映了冷轧扭钢筋的均匀延伸率的水平(该问题将在第八章详细讨论),因此,现在的冷轧扭钢筋绝不像冷拔低碳钢丝那样较易脆断(由本章第四节可知,三种钢筋的弹性模量相近,故

如严格要求,图中 a, b, c 的线性部分应近于重叠)。

二、冷轧扭钢筋强度标准值、设计值

1. 冷轧扭钢筋的抗拉强度标准值

根据国家标准规定,无明显屈服点的钢材的极限抗拉强度值即为抗拉强度标准值(对有明显屈服点的钢材,例如 I 级钢,则以其屈服强度为强度的标准值)。

由表 1-2 可知,冷轧扭钢筋的抗拉强度标准值达 580MPa。这一数据的获得具有充分的依据。

在编制规程过程中,编制组除收集了几千个有关试验数据作参考外,还按不同工艺参数又进行了多次试验。在最终确定了有关参数(主要是轧扁厚度和节距)后,在全国有代表性的地区及不同的加工机型生产的冷轧扭钢筋中又随机抽取了 2000 多个试样,按分散试验、集中统计的原则取得了有效试验数据 1000 多个,经统计分析列于表 1-3。各地的钢筋抗拉强度统计值情况表明,其具有 95% 保证率的标准值($\mu - 1.645\sigma$)均大大超过 580MPa。

表 1-3 各地冷轧扭钢筋抗拉强度统计(MPa)

地 区	项 目	$\phi'5.5$	$\phi'6.5$	$\phi'8$	$\phi'10$	$\phi'12$	不分规格
浙江	μ	696	684	689	697	681	690
	σ	52	36	47	41	40	43
	$\mu - 1.645\sigma$	610	624	611	629	615	619
	样本数	361	493	224	511	312	1901
北京	μ	—	671	738	617	—	675
	σ	—	41	28	19	—	—
	$\mu - 1.645\sigma$	—	604	692	583	—	—

续表

地 区	项 目	$\phi 5.5$	$\phi 6.5$	$\phi 8$	$\phi 10$	$\phi 12$	不分规格
广东	μ	669.1	679.9	699.7	672.5	—	680.6
	σ	17.1	66.1	40.4	20.7	—	40.7
	$\mu - 1.645\sigma$	640.9	571.1	633.2	638.4	—	610.3
湖南	μ	—	652	808.5	703.2	—	732.2
	σ	—	29.1	60.6	69.4	—	69.7
	$\mu - 1.645\sigma$	—	604.1	708.6	588.9	—	617.5
河南	μ	—	—	—	—	—	681.6
	σ	—	—	—	—	—	42.77
	$\mu - 1.645\sigma$	—	—	—	—	—	611.2

上海在制定《冷轧扭钢筋混凝土结构技术规程》(DBJ 08-58-97)时,通过对轧制设备的改造、轧制参数的优化,在将冷轧扭钢筋的塑性指标提高到 $\delta_{10} = 6\%$ 的同时保持了钢筋的较高的抗拉强度水平。其统计情况见表 1-4。

表 1-4 冷轧扭钢筋的抗拉强度标准值的统计(上海)

序号	钢筋规格	试件数量 (n)	抗拉强度(MPa)			
			平均值 (μ)	均方差 (σ)	验收指标 (K)	标准值 ($\mu - K\sigma$)
1	$\phi 6.5$	592	703.7	34.48	1.74	644
2	$\phi 8.0$	368	696.2	21.29	1.77	656
3	$\phi 10$	120	622.2	10.35	1.79	611
Σ		1080				

由表 1-4 可见,在制定上海市标准时, $\phi 6.5$ 、 $\phi 8.0$ 及 $\phi 10$ 强度平均值在 622 ~ 703MPa 之间,钢筋抗拉强度标准值分别达到了 644MPa,656MPa 及 611MPa,《冷轧扭钢筋混凝土结构技术规程》(DBJ 08-58-97)较保守地取 600MPa。

应指出的是,上海市地方标准《冷轧扭钢筋混凝土结构技术规程》(DBJ 08-58-97)在表 1-4 中计算标准值时,其验收系数采用了英国标准(BS 4449-1988)中的规定,分别取用了 1.77,1.74 与 1.79(而不是 1.645),因而其所列的强度与伸长率数值具有更高保证率(96%)。

2. 冷轧扭钢筋的抗拉强度设计值和材料分项系数

在《冷轧粗钢筋混凝土构件技术规程》(JGJ 115-97)中,冷轧扭钢筋抗拉强度的标准(f_{stk}

$=\mu-1.654\sigma$)为 580N/mm^2 , 冷轧扭钢筋的抗拉(抗压)强度设计值(f_y)均为 360N/mm^2 。按《建筑结构统一标准》(GBJ 68-84)的规定, 钢筋的强度设计值为材料的标准值除以材料的分项系数(γ_s), 则冷轧扭钢筋的材料分项系数

$$\gamma_s = \frac{f_{stk}}{f_y} = \frac{580}{360} = 1.60 \tag{1-1}$$

需说明的是, 在《混凝土结构设计规程》(GBJ 10-89)中也规定了, 在构件承载力设计时无明显屈服点钢筋的条件屈服点为 $0.8\sigma_b$ (σ_b 为钢筋的极限抗拉强度)。因此, 从与钢筋的屈服强度的关系考虑, 冷轧扭钢筋的材料分项系数 γ_s 又为

$$\gamma_s = \frac{0.8\sigma_b}{f_y} = \frac{0.8 \times 580}{360} \approx 1.29 \tag{1-2}$$

为了便于比较了解, 现将强度级别相近的冷加工钢筋的强度特征值和材料分项系数列于表 1-5。

表 1-5 几种钢筋抗拉强度特征值和材料分项系数

钢筋种类			抗拉强度标准值 (N/mm^2)	抗拉强度设计值 (N/mm^2)	材料分项系数
冷轧扭钢筋			580	360	1.61
冷轧带肋钢筋	LL550		550	360	1.53
	LL650		650	430	1.51
	LL800		800	530	1.51
冷拔低碳钢丝	甲级	$\phi 4$	700(650)	460(430)	1.52(1.51)
		$\phi 5$	650(600)	430(400)	1.51(1.50)
	乙级	焊接	500	320	1.72
		绑扎	500	250	2.20

注: 括号中数字为甲级Ⅱ组。

从表 1-5 可知, 除即将淘汰的冷拔低碳钢丝乙级外, 冷轧扭钢筋的材料分项系数属最大, 加上抗拉强度标准值取值的 95% 保证率, 说明冷轧扭钢筋在结构中有足够的强度储备。

在上海市标准《冷轧扭钢筋混凝土结构技术规程》(DBJ 08-58-97) 中, 考虑到冷轧扭钢筋经冷轧后截面面积减小而强度提高, 为便于设计人员计算, 将冷轧扭钢筋的强度标准值及设计值均折算成以冷轧前母材的截面面积为承载面积的表达值。其折算过程是: 先统计出冷轧扭钢筋的截面压缩率, 再将设计值相应缩减。

经过对近 2000 根钢筋的实际面积进行的测定及统计, 其截面压缩率如表 1-6。

表 1-6 钢筋面积比较表

母材公称面积 (mm^2)		冷轧扭钢筋公称面积 (mm^2)		压缩率 (%)
$\phi 6.5$	35.17	$\phi' 6.5$	29.80	15
$\phi 8.0$	50.24	$\phi' 8.0$	44.30	12
$\phi 10$	78.50	$\phi' 10$	66.77	15

由表 1-6 可知,三种钢筋最大压缩率为 15%,由此可计算出以母材的截面积来进行强度计算的标准强度值与设计强度值,分别为

以母材截面面积计的强度标准值:

$$600 \times (1 - 0.15) = 600 \times 0.85 = 510\text{MPa} \quad (1-3)$$

以母材截面面积计的强度设计值:

$$\frac{510}{1.60} = 318.8\text{MPa} \quad (1-4)$$

取 320MPa($\phi'10$ 取 310MPa)。

用上述两种方法进行冷轧扭钢筋的强度计算,其结果是基本一致的。

三、冷轧扭钢筋的弹性模量及强屈比

1. 钢筋的弹性模量

钢筋应力-应变曲线图上直线部分的斜率就是钢筋的弹性模量。

钢筋的弹性模量也是一个重要的力学性能指标,尤其在结构的挠度及裂缝宽度计算中更不可缺少。

在编制《冷轧扭钢筋》(JG 3046-1998)时,进行了冷轧扭钢筋弹性模量的测试。其样本数 45 个,实测的冷轧扭钢筋弹性模量在 $(1.67 \sim 2.13) \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 之间,平均值为 $1.958 \times 10^5 \text{N/mm}^2$,取 $1.9 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 。

上海曾对 12 根钢筋进行了测定,其弹性模量在 $(1.91 \sim 2.04) \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 之间。鉴于冷加工钢筋的弹性模量比母材略小,故上海标准《冷轧扭钢筋混凝土结构技术规程》(DBJ 08-58-97)中取冷轧扭钢筋的弹性模量为 $1.95 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 。

2. 冷轧扭钢筋强屈比

材料的强屈比即材料的抗拉强度与其屈服强度之比,反映了材料的强度储备(如框架结构纵向受力钢筋的强屈比,对于一、二级抗震等级,其实测值不应小于 1.25)。由图 1-2 可见,冷轧扭钢筋为无明显屈服台阶的冷加工钢筋。对于这类钢筋,在结构设计中要用到所谓“条件屈服强度”,即在“应力-应变”图上产生 0.2%残余变形时的应力值($\sigma_{0.2}$)。冷轧扭钢筋强屈比即钢筋的抗拉强度与条件屈服强度之比($\sigma_b/\sigma_{0.2}$),经对 61 根钢筋的测试,其值如表 1-7 所示。

表 1-7 冷轧扭钢筋强屈比

抗拉强度(MPa)		条件屈服强度(MPa)		$\frac{f_v}{\sigma_{0.2}}$		$\frac{\sigma_{0.2}}{f_y}$	
范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
558 ~ 786	665	496 ~ 710	601	1.05 ~ 1.20	1.11	0.83 ~ 0.95	0.905

由表 1-7 可知,冷轧扭钢筋不分规格的强屈比统计平均值为 1.11。而且随着冷加工面缩率的减少,强屈比也随之增高。进一步开发方形、菱形截面的冷轧扭钢筋将有助于强屈比