

冷拔低碳钢丝预应力混凝土 研究报告选编

(一)

浙江省建筑工程局

一九八三年三月

前 言

本选编是为配合《冷拔低碳钢丝预应力混凝土中小构件设计与施工规程(部标)》的编制而选辑的。全集共二十篇文章、约五十四万字。

冷拔低碳钢丝预应力混凝土是我国广大科技人员根据我国国情研制、创造成功的一项预应力混凝土新技术。这项新技术主要解决了两个问题,第一是把先进的预应力混凝土技术的使用范围,从大型、重型结构构件扩展到了量大面广的中小型结构构件;第二是把价格低、资源多的普通低碳钢材应用到了需要高强度合金钢材的预应力混凝土技术领域中。从而形成了具有我国自己特色的预应力混凝土技术。

冷拔低碳钢丝预应力混凝土具有质量可靠、取材容易、施工方便和经济效益高等优点,自六十年代中期试制应用以来,由于其强大的生命力,已在全国十五个省(市、自治区)得到了推广应用,其中仅四川、江苏、浙江三省的年产量(包括县以下生产企业)约二百五十万立方米,与普通钢筋混凝土构件相比较,每立方米混凝土可节约钢材三十~四十公斤,总计每年约可节约钢材七万五千吨~十万吨左右,价值四千五百万元~六千万元左右,取得了极大的经济效益。

本集所选辑的文章主要反映了冷拔低碳钢丝预应力混凝土的材性、构性、设计、构造和生产施工等各个方面的试验研究和调查研究成果,为《冷拔低碳钢丝预应力混凝土中小构件设计与施工规程》的编制,提供了理论与实践的依据。

随着我国社会主义现代化建设事业的发展,冷拔低碳钢丝预应力混凝土将在城镇和农村建筑中,发挥更大的作用。它的试验研究工作还将继续发展和深入,技术将更趋完善。

本选编由陈葆真同志主编,殷仁虎、邵柏舟同志编校。

浙江省建筑工程局

一九八二年十二月

目 录

一、冷拔丝材性及拔丝工艺	(1)
二、冷拔丝强度检验方法的探讨	(21)
三、冷拔丝疲劳强度取值的探讨	(28)
四、预应力冷拔丝的传递长度	(38)
五、预应力冷拔丝的锚固长度	(44)
六、冷拔丝混凝土受弯构件的试验研究	(68)
七、冷拔丝预应力圆孔板静力性能的研究	(99)
八、冷拔丝预应力圆孔板抗冲击性能的研究	(125)
九、预应力混凝土受弯构件最小配筋率的计算方法	(147)
十、小跨度冷拔丝预应力混凝土受弯构件自锚区锚固性能的研究	(161)
十一、冷拔丝预应力混凝土受弯构件不需作挠度验算的最小截面高度	(169)
十二、冷拔丝混凝土偏心受压矩形短柱强度试验与计算方法的探讨	(179)
十三、预应力混凝土构件锚固部位的端面裂缝及其配筋	(200)
十四、冷拔丝预应力混凝土组合截面梁试验分析中若干问题的讨论	(209)
十五、冷拔丝预应力混凝土构件的脆断问题及其控制方法	(219)
十六、冷拔丝预应力混凝土耐久性的研究	(229)
十七、冷拔丝预应力混凝土构件耐久性的调查报告	(233)
十八、冷拔丝应力松弛的测定	(243)
十九、冷拔丝预应力混凝土构件生产中的几个问题	(248)
二十、钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土双向受弯构件正截面强度的计算	(256)

冷拔低碳钢丝材料性能及拔丝工艺

山东建筑科学研究所

浙江建筑科学研究所

湖南建筑科学研究所

江苏建筑科学研究所

四川建筑科学研究所

执笔：张毅

一、冷拔低碳钢丝的材料性能与设计指标

(一) 问题的提出

为了合理地确定冷拔低碳钢丝的材性指标，我们调查了山东、浙江、湖南、江苏、四川、湖北、广东及上海市等33个地区，调查情况分别列于表1、表2、表3。

表1是根据40498个调查试验数据统计的结果。从中可以看出，冷拔丝强度波动范围较大，均方差在6.45~11.31公斤/毫米²之间，离散率在8.6~15.6%之间。若按几个不同强度等级统计其合格率见表2，对照《钢筋混凝土工程施工及验收规范（GBJ10—65）》（修订本），有很大一部分不符合预应力筋要求。造成冷拔丝强度不稳定的主要因素有以下三方面：①原材（盘条）强度不稳定。调查中发现各地所用原材钢号混杂，不少单位用2号钢和乙类钢，还有个别单位用1号钢和4号钢。即使是3号钢，有的钢厂“混级”现象严重，抗拉强度最高达5500公斤/厘米²，最低只有3400公斤/厘米²，相当于2号与5号钢之间。另外，由于钢材反复转运，盘条牌号不明，无法辨清钢厂和钢号。②拔丝工艺不同，主要是原材直径不同而造成总压缩率不同，影响冷拔丝的强度（见表3）。③抽样方法和试验的误差。

各地采用的冷拔钢丝标准强度也不统一。由于规范《GBJ10—65》（修订本）规定 $\phi 5 \sim \phi 3$ 甲级冷拔低碳钢丝标准强度一律为6500~7500公斤/厘米²，多数单位达不到这个要求，在设计中就自行规定了标准强度。

根据以上调查收集的资料，很难确定冷拔丝强度指标，而只有按钢厂、分钢号，按统一规定的总压缩率拔成钢丝，再根据这些钢丝的试验结果进行统计，才能得出较为合理的强度指标。

参加本文工作的有：山东省建筑科研所陈挺生、张毅、韩光晨、赵杰三、吴敦忠
浙江省建筑科研所裘炽昌、张金灵、胡雪雄、朱金根、吴银棣
湖南省建筑科研所陈信孚。
江苏省建筑科研所卢锡鸿。
四川省建筑科研所谷秀珠。

注：本书中下脚码 g （拼音字母）因印刷条件限制，均用 g （英）代替。

冷 拔 丝 强 度 统 计

表 1

钢丝直径	调 查 地 区	数 据	强 度 范 围 R (公斤/毫米 ²)	平均强度 $\bar{R}$ (公斤/毫米 ²)	均方差 σ (公斤/毫米 ²)	离散率 C (%)	$\bar{R}-1.645\sigma$ (公斤/毫米 ²)	$\bar{R}-2\sigma$ (公斤/毫米 ²)
5	山东(六个地区)	1719	50.0~98.0	66	8.90	13.5	51.36	48.20
	四川(重庆成都)	58	54.5~97.5	66.14	9.56	14.5	50.41	47.02
	湖北(武汉)	51	51.9~85.2	62.55	6.45	10.3	51.94	49.65
	浙江(九个地区)	1146	50.0~91.4	70.87	8.19	11.6	57.40	54.49
	江苏(南京)	210	50.0~95.4	63.59	9.55	15.0	47.88	44.49
	合 计	3184	50.0~98.0	67.54	8.66	12.8	53.29	50.22
4	山东(九个地区)	6152	51.6~99.2	75.33	8.00	10.6	62.17	59.33
	四川(重庆成都)	1723	50.7~100.0	72.73	8.62	11.9	58.55	55.49
	湖北(武汉)	3565	50.2~99.5	71.07	8.28	11.9	57.45	54.51
	广东(广州佛山)	1433	53.3~99.4	72.21	8.98	12.4	57.44	54.25
	浙江(九个地区)	2179	52.1~99.5	75.73	7.10	9.4	64.05	61.53
	江苏(南京)	473	50.0~95.4	69.73	10.23	14.7	52.90	49.27
	上 海	3028	51.6~99.0	75.21	7.41	9.9	63.02	60.39
	湖南(八个地区)	5117	55.0~95.0	69.42	7.26	10.5	57.48	54.90
	四川建研所	12263	50.0~100.0	71.40	6.87	9.6	60.10	57.66
	合 计	35933	50.0~100.0	72.42	7.53	10.4	60.03	57.36
3	四川(重庆成都)	118	52.2~97.5	79.12	6.78	8.6	67.97	65.56
	湖北(武汉)	73	51.0~93.2	77.64	8.89	11.5	66.49	59.86
	浙江(九个地区)	959	49.7~99.8	81.60	8.10	9.9	68.28	65.40
	江苏(南京)	231	50.0~98.6	72.49	11.31	15.6	53.89	49.87
	合 计	1381	49.7~99.8	79.65	8.57	10.8	65.56	62.51

冷拔丝强度合格率统计

表 2

钢 丝 直 径 (毫米)	总 数 据	≥7500 (公斤/厘米 ²)		≥7000 (公斤/厘米 ²)		≥6500 (公斤/厘米 ²)		≥6000 (公斤/厘米 ²)		≥5500 (公斤/厘米 ²)	
		数 据	合格 率 %	数 据	合格 率 %	数 据	合格 率 %	数 据	合格 率 %	数 据	合格 率 %
5	3184	570	17.9	1265	39.7	1377	43.2	2571	80.7	3000	94.2
4	35933	12603	35.1	21672	60.3	29696	82.6	34420	95.8	35777	99.6
3	1381	993	71.9	1194	86.5	1273	92.2	1345	97.4	1365	98.8

拔 丝 工 艺 (参 数) 调 查

表 3

地 区	原 材 (盘 元) 直 径	钢 丝 直 径	总 压 缩 率 (%)	冷 拔 次 数	备 注
山东省(济南、青岛、淄博、烟台、临沂、菏泽等地)	6.5	5	40.8	2	个别有一次拔成的。
		4	62.2	3, 4, 5	
		3	78.7	5, 6, 7	
	8	5	60.9	3, 4	
		4	75.0	5, 6	
浙江省(杭州、绍兴、丽水、天台、舟山、宁波、温州、嘉兴、金华等地)	6.5	3	78.7	4, 5, 6, 7	
		4	62.2	2, 3, 4	
	8	5	60.9	3, 4, 6	
湖南省(长沙、湘潭、株洲、衡阳、岳阳等地)	6	4	55.5	4	
	6.5	4	62.2	3, 4, 5	
	8	4	75.0	6	
四川省(成都、重庆)	6.5	5	40.8	2	
		4	62.2	3, 4	
		3	78.7	4	
	6	4	55.5	4	
		3	75.0	6	
湖北省(武汉)	6.5	4	62.2	3~5	
广东省(广州、佛山)	6	4	55.5	2, 3, 4	
	8	4	75.0	4	
江苏省(南京)	6.5	4	62.2	2, 3	
上 海 市	6.5	4	62.2	2, 4	4次实际由2道拔成, 每道通过2个模子

冷拔丝强度试验统计

表 4

盘条直径 (毫米)	钢丝直径 (毫米)	总缩率 (%)	钢号	原材钢厂	总根数 (n)	原材强度(公斤/毫米 ²)			冷拔丝强度(公斤/毫米 ²)			统计值(公斤/毫米 ²)		备 注
						范围	均值 ($\bar{R}$)	均方差 (σ)	范围	均值 ($\bar{R}$)	均方差 (σ)	$\bar{R}-1.645\sigma$	$\bar{R}-2\sigma$	
8	5	60.9	3	北京一轧	216	37.0~50.2	45.0	2.47	66.3~89.9	79.3	3.90	72.88	71.50	
				绍兴	130	35.3~50.4	42.5	3.19	53.8~85.9	71.7	4.82	63.79	62.08	
	2			上钢二厂	76	34.4~47.7	41.0	2.84	60.8~80.3	69.7	4.52	62.26	60.66	
				青钢	108	31.6~46.2	40.5	2.77	57.6~83.3	71.2	5.83	62.59	59.52	
6.5			3	青钢	145	33.9~44.4	33.9	2.17	66.1~80.1	73.1	2.81	68.44	67.44	
				绍兴	288	37.5~53.4	44.2	3.70	64.4~92.9	77.7	6.10	67.70	65.50	
				上钢二厂	119	34.5~45.1	41.0	1.82	62.2~80.3	70.5	3.21	65.18	64.04	
				昆钢	50	37.1~50.8	44.4	3.79	60.7~89.7	73.0	6.30	62.60	60.40	
	4	62.2	2	成钢	101	34.9~49.7	43.0	3.15	62.7~94.5	75.7	6.50	65.01	62.70	
				青钢	196	32.7~44.4	37.0	1.77	58.1~80.5	66.3	3.61	61.34	59.06	
				绍钢	171	36.2~52.9	42.5	2.70	66.8~87.5	75.6	3.60	69.70	68.40	相当于三号钢
				上钢二厂	106	34.5~43.0	37.8	1.81	59.3~73.6	66.7	2.98	61.97	60.91	
6.5	3		3	绍钢	205	33.2~53.4	45.2	3.60	73.7~98.4	87.1	5.80	77.60	75.50	
				上钢二厂	107	34.5~45.1	41.1	2.13	68.2~88.9	78.3	3.89	71.86	70.48	
	2	78.7		青钢	199	32.8~43.3	37.2	1.78	65.5~88.3	77.3	3.90	70.85	69.47	
				绍钢	131	37.1~52.9	42.8	2.40	75.0~94.5	83.5	3.80	77.20	75.90	相当于三号钢
				上钢二厂	106	34.5~45.1	37.8	1.81	66.2~81.8	73.3	3.02	68.35	67.28	

注①强度均按实测直径计算

冷拔丝强度试验合格率统计

表 5

钢 丝 直 径 (毫米)	钢 号	原 材 钢 厂	总 根 数	≥7500 (公斤/厘米 ²)		≥7000 (公斤/厘米 ²)		≥6500 (公斤/厘米 ²)		≥6000 (公斤/厘米 ²)		≥5500 (公斤/厘米 ²)	
				根 数	合格率 (%)	根 数	合格率 (%)	根 数	合格率 (%)	根 数	合格率 (%)	根 数	合格率 (%)
5	3	北京一轧	216	187	86.6	212	98.2	216	100.0				
		绍 钢	130	38	29.2	98	75.4	124	95.3	130	100.0		
		上钢二厂	76	12	15.8	32	42.1	66	86.8	76	100.0		
	2	青 钢	108	31	28.7	69	63.8	88	81.5	106	98.2	108	100.0
	合 计		314	81	25.8	199	63.4	278	88.5	312	99.4	314	100.0
4	3	青 钢	146	34	23.3	123	84.3	146	100.0				
		绍 钢	288	183	63.5	258	89.6	287	99.7	288	100.0		
		上钢二厂	119	9	7.6	72	60.5	111	93.3	119	100.0		
		昆 钢	50	22	44.0	31	62.0	45	90.0	50	100.0		
		成 钢	101	55	54.5	80	79.2	97	96.0	101	100.0		
	2	青 钢	196	4	2.4	26	13.3	126	64.3	189	96.5	196	100.0
		绍 钢	171	92	53.8	158	92.4	171	100.0				
		上钢二厂	106			16	15.1	77	72.6	105	99.1	106	100.0
	合 计		1177	399	33.9	764	64.9	1060	90.1	1169	99.3	1177	100.0
3	3	绍 钢	205	203	99.0	205	100.0						
		上钢二厂	107	79	73.8	106	99.1	107	100.0				
	2	青 钢	199	141	70.8	194	97.5	199	100.0				
		绍 钢	131	131	100.0								
		上钢二厂	106	27	25.5	93	88.7	106	100.0				
	合 计		748	581	77.6	729	97.5	748	100.0				

注：北京一轧 $\phi 5$ 强度特高，合计时没有计算在内。

(二) 材性指标的探讨

为了研究原材强度与总压缩率对冷拔丝材性的影响, 我们分别用北京一轧、绍钢、青钢、上钢二厂、昆钢及成钢生产的 2 号及 3 号钢热轧盘条 (共 2455 盘), 按统一的总压缩率 ($\phi 5$ 钢丝用 $\phi 8$ 盘条拔成, $\phi 4$ 及 $\phi 3$ 钢丝用 $\phi 6.5$ 盘条拔成) 拔成钢丝。每盘取一组试样 (包括原材料及这盘原材料拔成的钢丝) 测定其抗拉强度及伸长率, 每组取二个以上有效数据的平均值。试验结果见表 4、5。总的来看, 控制钢号和总压缩率以后, 冷拔丝的强度比较稳定, 均方差显著减小。说明控制这二个因素是有效的。

用回归分析方法对青钢、绍钢及上钢二厂的原材和冷拔丝强度进行计算分析 (回归直线及经验相关系数见表 6 及图 1, 计算结果见表 7) 得出如下规律: ①原材强度与冷拔丝强度基本上成一定的线性关系; ②各钢厂及钢号之间没有一定的共同规律。在相同的总压缩率下, 强度增加率不完全相同; ③用同一钢厂、同一钢号的盘条拔成的 $\phi 4$ 与 $\phi 3$ 钢丝的经验回归直线基本上是平行的, 即其斜率相接近。可见回归直线方程中系数 a 受总压缩率所影响, b 与原材性能有关。④冷拔总压缩率对钢丝强度有重要的影响 (将在本文第二部分讨论)。

回 归 分 析 汇 总

表 6

钢 厂	钢 号	直 径	经 验 回 归 直 线 方 程 $y=a+bx$	经 验 相 关 系 数 r	平 均 值		试 件 数 n
					$\bar{x}$	$\bar{y}$	
绍 兴 钢 厂	3	$\phi 4$	$y=12.02+1.49x$	0.7638	43.06	76.29	238
	3	$\phi 3$	$y=14.27+1.64x$	0.7664	43.85	86.05	155
	2	$\phi 4$	$y=42.86+0.77x$	0.54678	42.52	75.63	171
	2	$\phi 3$	$y=51.1+0.76x$	0.48667	42.79	83.47	131
上 钢 二 厂	3	$\phi 4$	$y=41.7+0.70x$	0.3966	40.97	70.46	119
	3	$\phi 3$	$y=55.6+0.548x$	0.127	41.14	78.14	107
	2	$\phi 4$	$y=25.43+1.16x$	0.7024	37.72	69.18	106
	2	$\phi 3$	$y=35.6+1.0x$	0.5766	37.72	73.20	106
青 岛 钢 厂	3	$\phi 4$	$y=49.1+0.6x$	0.465	38.90	73.06	146
	2	$\phi 4$	$y=50.31+0.43x$	0.223	36.85	66.25	145
	2	$\phi 3$	$y=76.25+0.26x$	0.119	37.21	77.22	199

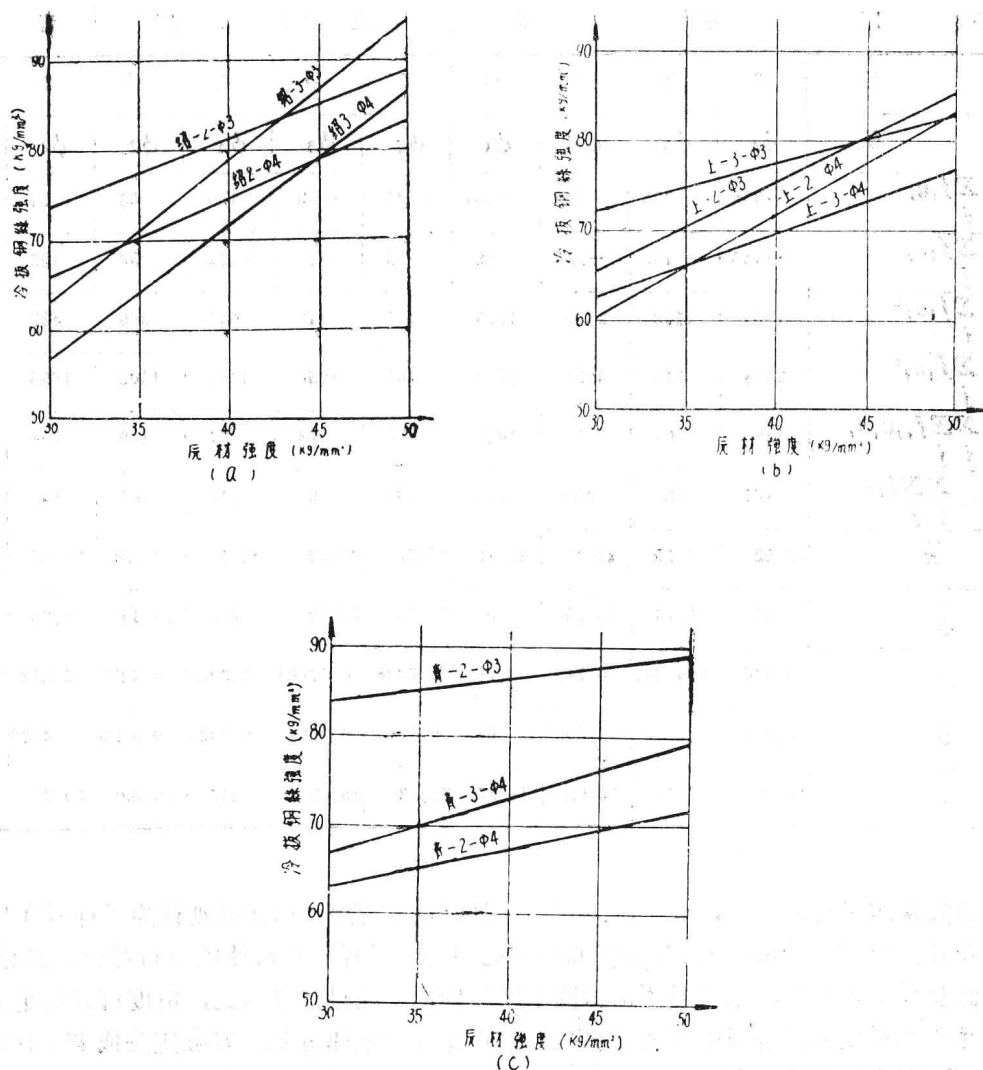


图1 三个钢厂盘条强度与冷拔丝强度回归直线

为了确定冷拔低碳钢丝的强度取值，首先必须确定母体的分布特征。当母体符合正态分布时，可按 t 分布方法来确定冷拔丝材质指标的下限。据有关资料介绍，认为热轧钢筋的强度是按正态分布的。但是经过冷拔加工以后，钢丝的强度是否仍按正态分布？过去这方面的工作做得不多。我们参考有关统计资料，用两种方法检验冷拔钢丝母体的分布规律：①用“ χ^2 分布”检验，先计算均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 及标准离差 $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ ；然后将数据

按大小顺序排列，分成10个区间，计算统计量 $\eta = \sum_{i=1}^{10} \frac{(V_i - np_i)^2}{np_i}$ 。查 χ^2 分布表得参数

回归分析计算结果汇总

表7

钢 厂	绍 钢				上 钢 二 厂				青 钢	
钢 号	2 号		3 号		2 号		3 号		2 号	
直 径	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3
$\sum f_i u_i$	-339	-224	-342	-101	-83	-83	175	68	51	-57
$\sum f_i v_i$	-148	-135	-526	86	39	-32	-124	39	109	143
$\sum f_i u_i^2$	1939	1142	2438	1279	415	415	647	366	437	669
$\sum f_i v_i^2$	2646	1973	8594	5584	969	1056	1348	1405	1655	3218
$\sum \sum f_{ij} v_i v_j$	1270	805	3661	1930	375	374	91	110	564	128
$N = \sum \sum f_{ij}$	171	131	238	155	106	106	119	107	145	199
$\bar{x}$	42.52	42.79	43.06	43.85	37.72	37.72	41.0	41.136	36.85	37.21
$\bar{y}$	75.63	83.74	76.29	86.05	69.18	73.20	705	78.136	66.25	77.22
r	0.54678	0.48667	0.7638	0.7664	0.7024	0.57663	0.3966	0.1272	0.223	0.1185
b	0.7708	0.7565	1.4925	1.637	1.16	0.9969	0.7025	0.5480	0.4326	0.26
a	42.86	51.10	12.02	14.27	25.43	35.60	417	55.596	50.31	7625

为7, 当置信水平为95%时, $\eta_\alpha = 14.067$ 。对照 η 与 η_α , 若 $\eta < 14.067$ 则认为子样所在母体的分布符合正态分布; 若 $\eta > 14.067$ 则以95%的把握否定子样所在母体的分布符合正态分布①。②为了减少计算工作量, 也可用“正态概率纸”判别(经过计算对比, 精度可以满足要求)。正态概率纸的横坐标是普通的刻度。纵坐标按正态分布规律分划。将强度分成若干区间, 算出每个区间强度的频数及累计频数百分率, 然后以强度为横坐标, 累计频数百分率为纵坐标, 在概率纸上描点。如果是正态分布, 则所描的点几乎在一条直线上, 若偏离直线过远则认为不符合正态分布。按以上两种方法对冷拔丝的强度进行检验后, 我们认为, 冷拔丝的母体基本上属于正态分布范畴。现就冷拔丝材性指标的有关问题, 讨论如下:

(1) 标准强度问题

《钢筋混凝土工程施工及验收规范GBJ10—65(修订本)》将甲级冷拔丝强度按直径分为三个指标: ϕ_3 为7500公斤/厘米², ϕ_4 为7000公斤/厘米², ϕ_5 为6500公斤/厘米²。以目前大量使用的 ϕ_4 冷拔丝为例, 强度符合甲级7000公斤/厘米²要求的仅60.3%, 还有39.7%按规定就不能作为预应力筋用, 而这些冷拔丝的强度一般均在5500公斤/厘米²以上。为此, 我们认为, 将甲级冷拔丝的标准强度在规范《修订本》的基础上分三组, 较为合理(表8)。

①参见复旦大学编《概率论与数理统计》。

建议采用的冷拔丝标准强度(公斤/厘米²)

表 8

钢 丝 直 径 (毫米)	甲 级 I 组	甲 级 II 组	甲 级 III 组
3	7500	7000	6500
4	7000	6500	6000
5	6500	6000	5500

按表8分组取值时的合格率如表9。

冷拔丝标准强度按表8分组取值的合格率(%)

表 9

钢 丝 直 径 (毫米)	甲 级 I 组		甲 级 II 组		甲 级 III 组	
	调 查	试 验	调 查	试 验	调 查	试 验
3	71.9	77.6	86.5	97.5	92.2	100
4	60.3	64.9	82.6	90.1	95.8	99.3
5	43.2	88.5	80.7	99.4	94.2	100

这样,就有60%以上冷拔丝符合甲级 I 组要求,85%以上符合甲级 II 组要求,而90%以上可用作预应力筋。这对于合理利用钢材,发展冷拔丝预应力混凝土都具有促进作用。

如果以六个钢厂的盘条拔丝抽样的试验数据,按平均强度减去1.645倍的均方差(保证率为95%)计算出冷拔丝的标准强度(结果见表4),与表8比较:3号钢冷拔丝标准强度值在甲级 I、II 组之间,2号钢冷拔丝标准强度值在甲级 II、III 组之间;综合统计则接近于相差一个组距,即强度值相差500公斤/厘米²。由此可见,甲级冷拔丝的标准强度分三组取值是合理的。

应该指出,经过机械调直的冷拔丝,会出现强度下降和伸长率提高的情况。山东、浙江、江苏、四川建科所对冷拔丝调直前后共作了166盘对比试验,见表10。对比试验结果,调直

冷拔丝调直前后对比试验

表10

试 验 单 位	钢 丝 直 径 (毫 米)	试 件 组 数	强 度				延 伸 率		
			调 直 前 (公斤/毫米 ²)	调 直 后 (公斤/毫米 ²)	平均降低率 公斤/毫米 ²	平均降低率 %	调 直 前 %	调 直 后 %	平均增长率 %
山 东 建 研 所	5	54	69.3~86.3 79.3	62.5~82.9 73.2	6.1	7.7	2.84~4.45 3.42	4.34~7.05 6.00	75.0
	4	30	60.7~90.5 74.0	57.3~83.2 69.6	4.4	5.9	2.36~3.96 3.13	4.14~6.04 5.38	69.2
浙 江 建 研 所	4	22	82.7~98.3 90.7	74.8~90.7 84.1	6.6	7.3	2.00~2.80 2.38	3.0~5.2 3.6	51.3
江 苏 建 研 所	4	30	72.2~92.1 79.8	60.3~87.3 74.4	5.4	6.8			
四 川 建 研 所	4	30	66.9~94.5 74.2	62.2~89.8 69.6	4.6	6.2	1.60~3.85 2.80	2.7~5.7 4.04	44.3

后冷拔丝的强度平均值比调直前降低6.89%，而延伸率提高63.1%。因此在确定冷拔丝强度取值时，应考虑机械调直后强度下降的因素，降低值按一个组距500公斤/厘米²考虑。

对于同一盘内钢丝强度分布不均匀的影响问题，我们也做过一些试验，结果见表11。可

冷拔丝同一盘内试验结果 表11

钢 丝 直 径 (毫米)	试 样 数	抗 拉 强 度(公斤/毫米 ²)				取 样 方 式
		最 大	最 小	平 均	均 方 差	
4	22	75.0	74.1	74.3	0.26	在每盘二头取样，原材青 钢φ6.5
4	29	75.0	71.0	72.0	1.00	
4	48	86.8	82.2	84.7	1.30	每隔一米取样。原材绍 钢φ6.5
3	29	87.7	82.7	84.6	1.30	

见同一盘内强度均方差较小。考虑到实际使用时冷拔丝在构件的同一截面内不可能同时出现强度最低的情况，因此在确定冷拔丝强度值时可以不考虑这种影响。

(2) 抗拉设计强度及弹性模量

为了确定抗拉设计强度和弹性模量值，我们用六个钢厂生产的盘条拔成的φ4 钢丝进行应力应变特征试验，结果见表12。应力应变曲线如图 2。

试验结果表明，冷拔钢丝的应力应变特征与原材（普通低碳钢盘条）有明显的差异，表现在强度提高而塑性降低，没有明显的屈服台阶；但和高强碳素钢丝的应力应变特征又有所不同，表现在冷拔丝的比例极限 σ_p 与强度极限 σ_b 之比接近0.8（相当于高强钢丝的条件屈服点 $\sigma_{0.2}$ 与强度极限的比值），而条件屈服点 $\sigma_{0.2}$ 则接近于其强度极限 σ_b 。普通钢筋的设计强度一般均采用屈服强度，高强钢丝的设计强度则采用其条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。为了保证一定的安全贮备，我们认为冷拔丝的抗拉设计强度以采用比例极限 σ_p 为宜（表13）。

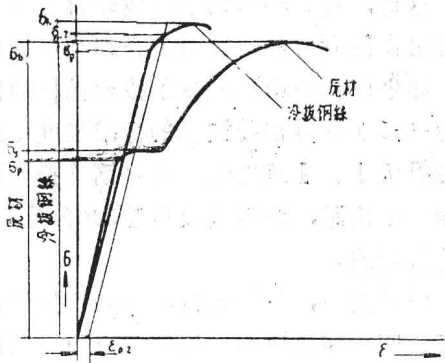


图 2 冷拔丝与原材应力应变曲线

建议采用的冷拔丝抗拉设计强度(公斤/厘米²) 表13

钢 丝 直 径 (毫米)	甲 级 I 组	甲 级 II 组	甲 组 II 组
3	6000	5600	5200
4	5600	5200	4800
5	5200	4800	4400

冷拔丝的弹性模量在设计中均沿用 1.8×10^6 公斤/厘米²。这次我们测定了一批不同钢厂、不同钢号、不同直径的冷拔丝的弹性模量，结果见表14。

表12

φ4 冷拔铁丝应力应变特征

钢 厂	钢 号	试 件 数	比例极限 σ_P (公斤/毫米 ²)	强度极限 σ_b (公斤/毫米 ²)	条 件 屈 服 点(公斤/毫米 ²)			比例极限 与强度极 限之比 σ_P/σ_b	条 件 屈 服 点与强度极限之比			弹 性 模 量 E ($\times 10^4$ 公斤/厘米 ²)
					$\sigma_{0.05}$	$\sigma_{0.1}$	$\sigma_{0.2}$		$\sigma_{0.05}/\sigma_b$	$\sigma_{0.1}/\sigma_b$	$\sigma_{0.2}/\sigma_b$	
青 钢	3	25	$\frac{46.5 \sim 61.5}{56.0}$	$\frac{67.0 \sim 76.5}{70.5}$	$\frac{54.5 \sim 67.5}{62.5}$	$\frac{63.5 \sim 72.5}{67.3}$	$\frac{65.5 \sim 76.5}{70.3}$	$\frac{0.70 \sim 0.84}{0.80}$	$\frac{0.82 \sim 0.94}{0.89}$	$\frac{0.90 \sim 0.99}{0.96}$	$\frac{0.98 \sim 1.00}{0.99}$	$\frac{1.91 \sim 2.37}{2.05}$
	2	26	$\frac{51.5 \sim 68.5}{58.6}$	$\frac{66.0 \sim 81.0}{72.6}$	$\frac{59.0 \sim 73.0}{65.4}$	$\frac{63.0 \sim 78.5}{70.0}$	$\frac{65.5 \sim 79.0}{72.0}$	$\frac{0.74 \sim 0.90}{0.80}$	$\frac{0.85 \sim 0.98}{0.90}$	$\frac{0.93 \sim 1.00}{0.96}$	$\frac{0.99 \sim 1.00}{1.00}$	$\frac{1.99 \sim 2.15}{2.05}$
绍 钢	3	10	$\frac{57.0 \sim 70.0}{62.60}$	$\frac{73.5 \sim 89.5}{81.3}$	$\frac{64.5 \sim 78.0}{70.4}$	$\frac{68.5 \sim 84.0}{75.9}$	$\frac{72.0 \sim 88.0}{79.7}$	$\frac{0.69 \sim 0.83}{0.77}$	$\frac{0.78 \sim 0.93}{0.87}$	$\frac{0.87 \sim 0.99}{0.94}$	$\frac{0.94 \sim 1.00}{0.98}$	$\frac{2.04 \sim 2.17}{2.13}$
	2	10	$\frac{54.5 \sim 63.5}{57.5}$	$\frac{70.0 \sim 82.0}{75.1}$	$\frac{62.0 \sim 72.5}{65.8}$	$\frac{66.5 \sim 77.0}{70.3}$	$\frac{69.5 \sim 81.0}{73.4}$	$\frac{0.72 \sim 0.86}{0.77}$	$\frac{0.82 \sim 0.96}{0.88}$	$\frac{0.90 \sim 1.00}{0.94}$	$\frac{0.95 \sim 1.00}{0.98}$	$\frac{2.02 \sim 2.17}{2.10}$
上 钢	3	11	$\frac{48.5 \sim 58.0}{54.6}$	$\frac{62.5 \sim 77.5}{70.9}$	$\frac{56.5 \sim 64.5}{61.9}$	$\frac{60.0 \sim 70.5}{65.3}$	$\frac{62.5 \sim 75.0}{68.7}$	$\frac{0.67 \sim 0.80}{0.75}$	$\frac{0.83 \sim 0.91}{0.86}$	$\frac{0.86 \sim 0.96}{0.92}$	$\frac{0.96 \sim 1.00}{0.97}$	$\frac{2.05 \sim 2.13}{2.10}$
	2	11	$\frac{44.0 \sim 64.5}{56.4}$	$\frac{63.5 \sim 74.5}{67.5}$	$\frac{52.0 \sim 71.5}{62.8}$	$\frac{57.5 \sim 74.0}{65.9}$	$\frac{61.5 \sim 75.5}{67.1}$	$\frac{0.69 \sim 0.88}{0.84}$	$\frac{0.82 \sim 0.97}{0.93}$	$\frac{0.95 \sim 1.00}{0.98}$	$\frac{0.97 \sim 1.00}{0.99}$	$\frac{2.06 \sim 2.17}{2.11}$
湘 钢	3	12	$\frac{44.5 \sim 57.5}{50.4}$	$\frac{62.0 \sim 76.5}{70.7}$	$\frac{49.0 \sim 64.5}{55.5}$	$\frac{56.0 \sim 70.5}{61.8}$	$\frac{59.0 \sim 74.5}{66.7}$	$\frac{0.64 \sim 0.84}{0.71}$	$\frac{0.71 \sim 0.87}{0.79}$	$\frac{0.83 \sim 0.92}{0.87}$	$\frac{0.91 \sim 0.99}{0.94}$	$\frac{1.76 \sim 2.02}{1.89}$
	2	7	$\frac{43.0 \sim 54.5}{48.6}$	$\frac{66.5 \sim 73.0}{68.7}$	$\frac{51.0 \sim 61.5}{54.4}$	$\frac{57.5 \sim 65.5}{60.1}$	$\frac{62.0 \sim 67.5}{64.6}$	$\frac{0.66 \sim 0.81}{0.71}$	$\frac{0.75 \sim 0.91}{0.79}$	$\frac{0.85 \sim 0.97}{0.87}$	$\frac{0.92 \sim 1.00}{0.94}$	$\frac{1.87 \sim 2.17}{1.98}$
昆 钢	2~3	7	—	$\frac{62.3 \sim 71.4}{68.1}$	$\frac{49.6 \sim 62.1}{54.3}$	$\frac{54.8 \sim 64.6}{59.1}$	$\frac{59.1 \sim 66.3}{62.8}$	—	$\frac{0.75 \sim 0.88}{0.80}$	$\frac{0.83 \sim 0.91}{0.87}$	$\frac{0.89 \sim 0.94}{0.93}$	$\frac{1.96 \sim 2.15}{2.06}$
	3	20	—	$\frac{62.2 \sim 89.7}{74.8}$	$\frac{48.8 \sim 77.6}{58.5}$	$\frac{56.5 \sim 81.3}{64.7}$	$\frac{65.4 \sim 83.6}{69.6}$	—	$\frac{0.71 \sim 0.89}{0.78}$	$\frac{0.80 \sim 0.97}{0.87}$	$\frac{0.88 \sim 0.96}{0.93}$	$\frac{1.90 \sim 2.27}{2.10}$
成 钢	3	6①	—	$\frac{61.5 \sim 82.5}{70.4}$	$\frac{52.6 \sim 68.7}{58.0}$	$\frac{56.8 \sim 73.0}{61.1}$	$\frac{60.4 \sim 76.2}{64.0}$	—	$\frac{0.78 \sim 0.90}{0.82}$	$\frac{0.83 \sim 0.93}{0.87}$	$\frac{0.87 \sim 0.96}{0.93}$	$\frac{2.05 \sim 2.24}{2.12}$

注: ①调直后的钢丝。

冷拔丝伸长率试验统计

表15

钢丝直径	钢号	钢厂	总根数 n	原材伸长率 $\delta_{10}(\%)$			冷拔丝伸长率 $\delta_{100}(\%)$			统计值	
				范围	均值 $\bar{\delta}$	均方差 $\bar{\sigma}$	范围	均值 $\bar{\delta}$	均方差 $\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}-1.645\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}-2.06\bar{\sigma}$
5	3	北京一轧	216	24.6~33.4	29.89	1.76	2.58~4.31	3.43	0.37	2.82	2.69
		绍 钢	126	22.5~33.2	29.57	3.04	2.30~4.70	3.31	0.14	3.08	3.03
		上钢二厂	72	24.5~34.5	30.41	2.45	2.30~5.00	3.65	0.64	2.60	2.37
	2	青 钢	108	15.5~34.3	28.97	3.80	2.45~4.10	3.24	0.31	2.73	2.62
	合 计		522					3.39	0.34	2.83	2.71
4	3	青 钢	146	22.7~33.6	29.96	2.17	1.95~3.15	2.49	0.28	2.03	1.93
		绍 钢	282	20.7~37.9	29.50	3.04	1.30~4.40	2.60	0.50	1.78	1.60
		上钢二厂	113	25.8~36.8	31.46	2.22	1.20~4.80	2.88	0.51	2.04	1.86
		昆 钢	50	21.4~38.1	31.25	3.00	1.20~3.90	2.46	0.52	1.60	1.42
		成 钢	100	19.4~37.7	29.39	3.52	1.20~3.90	2.87	0.58	1.92	1.71
	2	青 钢	196	21.2~37.7	29.50	3.48	1.52~3.72	2.81	0.36	2.22	2.09
		绍 钢	165	16.9~33.8	26.22	4.17	1.30~3.80	2.57	0.40	1.91	1.77
		上钢二厂	105	25.4~46.9	34.48	5.09	1.70~4.10	2.88	0.44	2.16	2.00
	合 计		1157					2.69	0.42	2.00	1.89
	3	3	绍 钢	199	19.7~37.9	29.16	3.10	1.10~3.20	1.99	0.45	1.25
上钢二厂			99	25.8~36.8	31.50	2.15	1.60~3.50	2.36	0.41	1.69	1.54
2		青 钢	199	18.7~36.3	29.47	3.14	1.00~2.47	1.57	0.27	1.13	1.03
		绍 钢	127	16.9~33.8	26.41	4.23	0.80~2.80	1.79	0.41	1.12	0.97
		上钢二厂	104	25.4~46.9	34.48	5.09	1.20~3.70	2.40	0.48	1.61	1.44
合 计		728					1.95	0.39	1.31	1.17	

冷拔丝伸长率试验合格率统计

表16

钢丝直径	钢厂	总根数 (n)	≥3%		≥2.5%		≥2%		≥1.5%		≥1.0%	
			根数	合格率(%)	根数	合格率(%)	根数	合格率(%)	根数	合格率(%)	根数	合格率(%)
5	北京一轧	216	192	88.9	216	100						
	3 绍 钢	126	102	80.9	122	98.4	126	100				
	上钢二厂	72	66	91.7	71	98.6	72	100				
	2 青 钢	108	87	80.5	107	99.2	108	100				
	合 计	522	447	85.5	516	98.8	522	100				
4	青 钢	146	7	4.8	72	49.3	143	98.0	146	100		
	3 绍 钢	282	68	24.1	153	54.3	262	92.9	281	99.6	282	100
	上钢二厂	113	50	44.2	88	77.9	111	98.2	113	100		
	昆 钢	50	6	12.0	29	58.0	42	84.0	48	96.0	50	100
	成 钢	89	37	41.6	67	75.3	83	93.3	86	96.6	89	100
	2 青 钢	196	65	33.2	163	83.2	191	97.5	196	100		
	绍 钢	165	27	16.4	102	61.8	156	94.5	155	99.4	165	100
	上钢二厂	105	45	42.9	89	84.8	103	98.1	105	100		
	合 计	1146	305	26.6	763	66.6	1091	95.2	1130	98.6	1146	100
	3 绍 钢	199	5	2.5	33	16.6	99	49.7	180	90.5	199	100
3	上钢二厂	99	8	9.1	40	40.4	75	75.8	99	100		
	2 青 钢	199	0	0	0	0	16	8.1	95	47.8	199	100
	绍 钢	127	0	0	4	3.1	48	37.8	103	81.1	127	98.3
	上钢二厂	104	14	13.5	47	45.2	89	85.6	101	96.2	104	100
	合 计	728	27	3.7	124	17.0	327	44.9	578	79.5	728	99.7

注：统计重庆构件厂4 765根伸长率≥3%占38.2%，≥2.5%占57.9%，≥2%占88.5%，≥1.5%96.7%，≥1.0%占99.9%。

冷拔丝弹性模量试验统计

表14

钢 丝 直 径 (毫米)	试 件 数 量	弹性模量 $E \times 10^6$ (公斤/厘米 ²)			备 注
		波 动 范 围	均 值	均 方 差	
5	58	1.90~2.12	2.02	0.059	不分钢厂、钢号
4	214	1.80~2.28	2.04	0.084	
3	57	1.83~2.06	1.98	0.059	
合 计	329	1.80~2.28	2.03	0.080	

试验表明,冷拔丝的弹性模量基本上是稳定的。为了使计算挠度和裂缝开展时的数值与实际试验的数值取得一致,我们建议冷拔丝的弹性模量取 2.0×10^6 公斤/厘米²。

(3) 伸长率问题

规范《GBJ10—65修订本》规定冷拔丝的伸长率(标距100毫米)为:φ5及φ4不小于3%,φ3不小于2%。我们用六个钢厂盘条拔成的钢丝进行了试验(结果见表15),其合格率φ5为85.5%,φ4为26.6%,φ3为44.9%(见表16)。这表明,除φ5外,大多数冷拔丝的伸长率达不到规范的要求。

为了控制冷拔丝生产过程中的原材质量及冷拔工艺,防止塑性过低,质量不稳定,冷拔丝应当有一个适当的伸长率指标。现根据表15中冷拔丝伸长率试验统计结果,提出伸长率的建议最低限值(表17),基本上反映了目前冷拔丝伸长率的实际情况。近年来大量的实践表明,在一般情况下,尚未发现因伸长率低而发生构件脆断的质量事故(关于“脆断”问题另有专题研究)因此,这个指标是可行的。

冷拔丝伸长率的试验值和建议值

表17

钢 丝 直 径 (毫米)	平 均 值 $\bar{\delta}$ (%)	均 方 差 σ (%)	$\bar{\delta}-1.65\sigma$ (%)	建议最低限值 δ_{100} (%)
3	1.95	0.54	1.06	1.0
4	2.69	0.42	2.00	2.0
5	3.39	0.34	2.84	2.8

(4) 反复弯曲指标问题

反复弯曲指标主要用于检验钢丝的韧性。规范《GBJ10—65》(修订本)规定冷拔低碳钢丝必须通过180°反复弯曲四次,但没有提出具体做法。我们参照《线材反复弯曲试验法》(GB238—63),以90°五次折合180°四次,对照五省试验结果,绝大多数均能达到这个要求。鉴于冷拔丝用作预应力筋时一般都不存在弯钩或反复弯曲的情况,而规范中关于冷拔丝反复弯曲试验的意义和目的也不明确,实际试验结果又能满足要求,因此建议取消这个指标。

二、拔丝工艺及其对冷拔丝材性的影响

各地建筑单位使用的冷拔丝,有的自己加工,有的外加工。建筑单位拔丝一般都不酸洗,其工艺流程如下: