

冷拔低碳钢绞线 预应力混凝土

刘奇履 编著

中国建筑工业出版社

冷拔低碳钢绞线 预应力混凝土

刘奇履 编著

中国建筑工业出版社

本书从冷拔低碳钢绞线的基本力学性能特点出发，介绍了冷拔低碳钢绞线预应力混凝土构件的材料、结构设计和生产工艺，以及这类构件在大跨度屋架和重型吊车梁中的试验应用。书中还对硬钢配筋的预应力混凝土构件的某些计算理论问题作了初步探讨。在构件设计部分附有实例。

本书可供建筑结构设计和构件生产人员参考。

冷拔低碳钢绞线预应力混凝土

刘 奇 履 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6 $\frac{3}{4}$ 字数：152 千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

印数：1—7,300册 定价：1.05元

统一书号：15040·4997

目 录

序

第一章 绪论	1
1-1 冷拔低碳钢丝与冷拔低碳钢绞线	1
1-2 冷拔低碳钢丝与冷拔低碳钢绞线预应力混凝土	1
第二章 冷拔低碳钢绞线的基本力学性能	5
2-1 抗拉强度与延伸率	5
2-2 应力-应变特性曲线	9
2-3 弹性模量与条件流限	10
2-4 松弛(徐舒)	11
2-5 疲劳	15
第三章 冷拔低碳钢绞线预应力混凝土结构设计	18
3-1 混凝土及其设计指标	18
3-2 冷拔低碳钢绞线设计指标	21
3-3 结构计算内容和计算原理	22
3-4 张拉控制应力与预应力损失值	26
3-5 冷拔低碳钢绞线传递长度 l_t	29
3-6 冷拔低碳钢绞线锚固长度 l_m	29
3-7 冷拔低碳钢绞线与混凝土预应力计算	31
第四章 冷拔低碳钢绞线预应力混凝土受弯构件	34
4-1 受弯构件的破坏形态与有关计算	34
4-2 正截面强度计算	35
4-3 正截面抗裂计算	51
4-4 斜截面强度计算	52
4-5 斜截面的抗裂度验算	58

4-6	变形验算	54
4-7	疲劳验算	66
4-8	计算实例	68
第五章 冷拔低碳钢绞线预应力轴心受压与偏心受压		
	构件	117
5-1	轴心受压构件	117
5-2	偏心受压构件	120
5-3	偏心受压构件的纵向弯曲	126
5-4	偏心受压构件有关问题的讨论	135
5-5	轴心受压与偏心受压界限的讨论	149
5-6	纵向弯曲与稳定问题的讨论	155
第六章 冷拔低碳钢绞线预应力轴心受拉与偏心受拉		
	构件	158
6-1	轴心受拉构件	158
6-2	冷拔低碳钢绞线在大跨度预应力结构中的应用	159
6-3	偏心受拉构件	161
第七章 构造要点		
7-1	一般要求	171
7-2	先张法构件构造要点	173
7-3	后张法构件构造要点	173
7-4	组合构件构造要点	174
第八章 冷拔低碳钢绞线制作工艺与机具		
8-1	冷拔低碳钢绞线编束	176
8-2	冷拔低碳钢绞线工艺技术指标	177
8-3	冷拔低碳钢绞线制作与机具	177
8-4	冷拔低碳钢绞线质量检验	180
8-5	冷拔低碳钢绞线简易检验法	182
第九章 冷拔低碳钢绞线预应力构件生产工艺		
9-1	锚夹具	184

9-2	先张法生产工艺.....	187
9-3	后张法生产工艺.....	191
9-4	先张法大型冷拔低碳钢绞线预应力构件生产实例.....	194
9-5	后张法冷拔低碳钢绞线预应力构件生产实例.....	199
9-6	电热张拉.....	201
附 录	部分常用表.....	203
参考文献		209

第一章 绪 论

1-1 冷拔低碳钢丝与冷拔低碳钢绞线

冷拔低碳钢丝是使普通碳素盘条钢筋强行通过比它本身直径小的硬质合金钢模孔，拔制而成的钢丝。普通碳素钢冷拔以后，其强度提高40~90%，可以达到节约钢材的目的，但塑性区域变小，性质变脆，伸长率减小，没有明显的屈服点。所以冷拔低碳钢丝属于无屈服台阶的钢种，在工程结构中属于硬钢。

冷拔低碳钢绞线是由多根冷拔低碳钢丝按一定的方向、捻距（波长）和捻角按一定程序编绞而成（详见第八章）。常用的冷拔低碳钢丝有 ϕ_6^b 和 ϕ_8^b ，此外还可以采用 ϕ_{10}^b 和 ϕ_{12}^b 。编绞的根数可根据需要增减，以制成各种不同直径的钢绞线。其强度接近单丝强度，一般相当于Ⅲ级或Ⅳ级冷拉钢筋的强度。

1-2 冷拔低碳钢丝与冷拔低碳钢绞线预应力混凝土

冷拔低碳钢丝预应力混凝土是我国的一项独特工程技术，它具有一般预应力混凝土的优点，且取材容易，制作简便，因而为预应力结构在我国中小城镇和农村的普及、推广创造了有利的条件。但冷拔低碳钢丝预应力混凝土一般仅适

用于采用先张法工艺的中小型构件。这是因为，对于承载力较大的混凝土构件，若采用单根冷拔钢丝配筋，由于受构件截面的限制，将无法布置过多的单丝，即使能布置，也将使截面有效高度 h_0 大大减小，影响其经济性。而密集的钢丝单根张拉，费工费时，锚夹具的需用量和损耗也大。此外，冷拔丝预应力混凝土还有一些不足处，如：一般需采用细石混凝土，水泥用量大，收缩徐变亦大；钢丝密，混凝土难于浇捣密实，工效较低；钢丝与混凝土的粘结握裹性能较差，不适用于后张法工艺。

冷拔低碳钢绞线预应力混凝土是冷拔丝预应力混凝土的新发展，对比来说，它具有如下一些优点：

1. 可用于中小型构件，也可用于荷载和跨度较大的构件。钢绞线可以根据构件设计要求选用适合的编束形式、直径和长度。

2. 钢绞线有利于在构件中排列布置，增大截面有效高度 h_0 ，得到较经济合理的构件几何尺寸。

3. 钢绞线的外形呈波纹状，能与混凝土牢固粘结，从而改善结构受力性能。

4. 不需要采用细石混凝土，可减少水泥用量，减小混凝土的收缩与徐变。

5. 构件钢筋间距增大，便于浇捣混凝土。

6. 使用成盘钢绞线，可根据构件长短来下料，省去焊接工序，便于运输堆放。

7. 适用于先张法与后张法工艺。

冷拔低碳钢绞线预应力构件是在七十年代初，首先在我国湖南省通过试验、试制并应用于工程的。其中突出的如在湖南长沙市某铸钢车间应用的50吨重级工作制吊车梁，跨度

为6米与12米（图1-1），至今已正常运行十多年。又如1973年在该市兴建的某工业厂房，全部采用了低碳钢绞线预应力结构（见图1-2），其中包括采用先张法生产的高达15米的双肢柱、空腹式吊车梁、T形等高空心吊车梁以及采用后张法制作的跨度达30米的屋架与大型屋面板等。

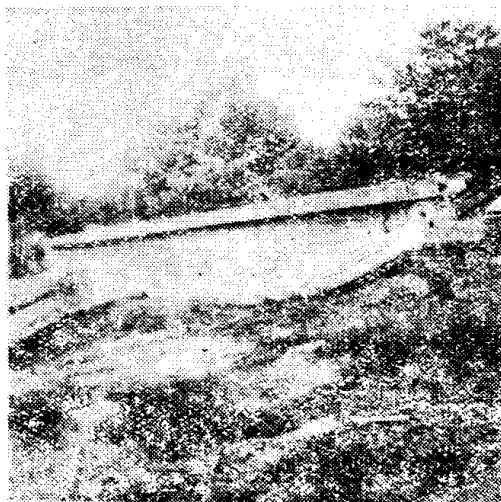


图 1-1 50吨重级工作制12米冷拔低碳钢绞线预应力吊车梁

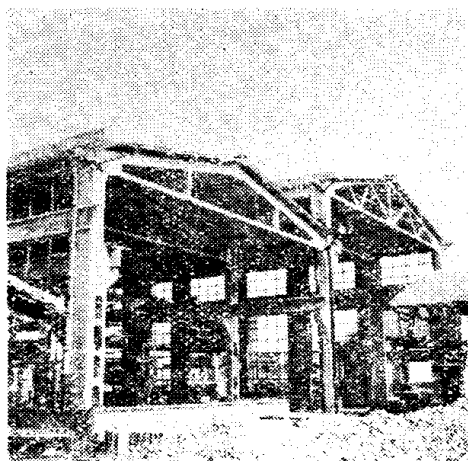


图 1-2 全部采用冷拔低碳钢绞线预应力构件的厂房

冷拔低碳钢绞线预应力结构在其他各地也相继得到应用与发展。例如,江苏省在长线台座上生产各种预制构件,包括工业建筑用的叠合梁、吊车梁等,且编制出了冷拔低碳钢绞线预应力构件标准图集;浙江省定型生产各种冷拔低碳钢绞线预应力混凝土Y形梁、大型折板以及其它较大的预制构件;山东省用冷拔低碳钢绞线制作大型屋面板;广西省制作的冷拔低碳钢绞线预应力双T板,跨度达30米。在湖北、辽宁等省冷拔低碳钢绞线预应力结构也有发展。

近年来,国内外部分预应力混凝土正在兴起。在硬钢钢筋混凝土体系中,有许多理论与实践问题有待研究。冷拔低碳钢绞线预应力混凝土作为这个体系的一个组成部分,其理论和实际问题的探讨,将有助于最终建立硬钢混凝土这个学科分支。

第二章 冷拔低碳钢绞线

基本力学性能

2-1 抗拉强度与延伸率

1. 抗拉强度

冷拔低碳钢绞线的性能在很大程度上取决于母材冷拔低碳钢丝的性能，其抗拉强度与母材强度、编绞的根数和捻距的长短有关。试验表明，一般用3根与7根冷拔丝编成的钢绞线，基本能保持单根的强度，而7根以上钢丝编成的钢绞线，其强度比单根强度略有降低。这可以从捻角增大、单丝难得均匀受力得到解释；为确保组成钢绞线的单丝能均匀受力，采用合适的锚夹具是很重要的。锚夹具应能与钢绞线很好地锚定，同时应避免咬伤钢绞线。较为理想的锚夹具具有CJ₃-A、B、C三型分丝环销锚具以及销片锚具，703锚具等（详见第九章）。表2-1列出了母材冷拔低碳钢丝289根试件分8批进行试验的结果。表2-2列出了用这批母材编成钢绞线后混合取110根试件分8批进行试验的结果。由表可见，采用CJ₃-A锚具夹持7 ϕ ₄钢绞线36根试件测得的平均抗拉强度为7500公斤/厘米²，用万能材料试验机直接夹持7 ϕ ₄钢绞线21根试件测得的平均抗拉强度为6650公斤/厘米²。而用两端灌锌夹持测得5根7 ϕ ₄钢绞线试件的平均抗拉强度为6880公斤/厘米²。用第一种夹持测得的结果7500公斤/厘

表 2-1

冷拔低碳钢绞母材冷拔低碳钢丝基本力学性能表

顺 序	钢丝母材		钢丝 直 径 (mm)	试 验 批 数	试 验 数 量 (根)	抗拉强度 R_m (kg/cm ²)		条 件 流 限 $\sigma_{0.2}$	σ_b — R_m	延 伸 率 (%)	冷 拔 次 数	核 制 单 位
	规格 (mm)	产地				抗拉强度 R_m	平均 抗拉 强度 R_m					
1	$\Phi 6.5$	湘钢	Φ^4	1	60	7600~8600	8100	7700	0.95	3	4	湖南六公司
2	$\Phi 6.5$	北钢	Φ^4	2	60	8250~8670	8500	7650	0.9	2.5	4	湖南六公司
3	$\Phi 6.5$	上钢	Φ^4	3	12	6840~7250	7100	6420~ 6680	0.89~ 0.94	2.5	4	湖南六公司
4	$\Phi 6.5$	湘钢	Φ^4	4	91	6200~8050	7000	6650	0.95	2.64	4	湖南六公司
5	$\Phi 6.5$	湘钢	Φ^3	5	21	9010~9575	9337	8450	0.9	1.5	4	湖南六公司
6	$\Phi 6.5$	湘钢	$\Phi^2.6$	6	18	9595~10200	9800	—	—	1	3	湖南六公司
7	$\Phi 8$	上钢	Φ^4	7	12	8300	8800	—	—	2	4	湖南六公司
8	$\Phi 6.5$	湘钢	$\Phi^2.0$	8	15	10300~10650	10400	—	—	0.5	2	湖南六公司

表 2-2

冷拔低碳钢绞线基本力学性能

钢 绞 线 规 格	直 径 (mm)	试 验 批 数	试 件 数 量 (根)	试 验 用 具	抗拉强度 R_b	平均抗 拉强度 $\bar{R}_b$	条件流限 $\sigma_{0.2}$		$\frac{\sigma_{0.2}}{R_b}$	弹性模量 E_p ($\times 10^4$ kg/ cm ²)		延伸率 δ_{100}	
							预拉	未预拉		预拉	未预拉	预	拉
7 Φ 4	12	1	36	CJ- A	8600~7400	7500	7120	6680	0.95	0.89	1.85	1.71	3.4 2.5
7 Φ 4	12	2	21	万能机 夹	6480~7050	6650	6250	5750	0.94	0.865	1.82	1.68	3.1 2.5
7 Φ 4	12	2	5	灌铅	6580~7230	6880	6250	5750	0.905	0.835	1.82	1.63	2.8 2.5
19 Φ 3	15	3	9	CJ- B	9500~9250	9000	8360	7875	0.93	0.875	1.81	1.54	2.2 1.9
19 Φ 3	15	3	9	703 锚墩	8500~9010	8530	8360	7875	0.946	0.89	1.81	1.54	2.2 1.9
37 Φ 2.5	17.5	4	12	CJ- C	9100~9575	9250	8130	7680	0.88	0.83	1.79	1.62	—
37 Φ 2.5	17.5	4	9	703 锚墩	8850~9170	9100	8130	7680	0.895	0.845	1.79	1.62	—
37 Φ 2.0	14.0	5	9	703 锚墩	材质较脆 (10100)	—	—	—	—	—	—	—	—

注：1. 预拉延伸率栏内的分子值示预拉控制应力 $0.7R_b$ ，持荷5分钟；分母值示预拉控制应力 $0.85R_b$ ，持荷5分钟。
2. 703锚墩栏内系多束张拉测得的平均值。

米²与母材平均抗拉强度 7705 公斤/厘米²基本接近, 比值为 0.97, 说明选用 CJ₃ 锚具是合适的。灌锌夹持试验强度较低, 其原因可能是加热后的锌对钢绞线有退火作用。从表还可看出, 19 Φ ^b₃、37 Φ ^b_{2.5} 钢绞线强度损失较大, 说明编绞钢绞线所用钢丝越多, 抗拉强度损失越大。

2. 延伸率

冷拔低碳钢绞线拉断时, 测不出断口颈缩变形, 因此, 其延伸率是指钢绞线开始断裂 (即第一根丝被拉断) 时的伸长值 ΔL , 与标距长度 L 的比值。一般规定的标距长度为 20 厘米, 延伸率以 δ_{200} 表示; 为与冷拔钢丝对比, 亦可取标距长度为 10 厘米, 相应的延伸率为 δ_{100} 。

延伸率是衡量钢材塑性性能的重要指标。冷拔低碳钢丝的延伸率较低, Φ ^b₄、 Φ ^b₅ 的延伸率 $\delta_{100} \approx 1.5 \sim 3.0\%$, 可见其塑性性能差, 而其条件流限 $\sigma_{0.2}$ 则高达 $0.95\sigma_p$ 以上, 因而在临近拉断时, 才有较大的变形。冷拔钢丝和钢绞线配筋的构件大多呈脆性破坏。

表 2-1、表 2-2 列出了冷拔钢丝母材及钢绞线延伸率的一部分数据。由于钢绞线在编绞时松紧程度不一, 有一定的构造松弛, 影响到延伸率的测定。为测得实际延伸率, 就必须先对钢绞线进行预拉以消除构造松弛。实验表明, 当预拉控制应力为 $0.7R_b$ (R_b 为钢绞线抗拉强度), 持荷 5 分钟时, 延伸率在 3% 以上; 预拉控制应力为 $0.85R_b$, 持荷 5 分钟所测得的延伸率约为 2.5%。而未经过预拉测得的延伸率一般约为 4% 左右。

钢筋混凝土工程施工及验收规范 GBJ10—65 规定, 钢绞线使用前, 必须按 $0.85R_b$ 持荷 5 分钟进行预拉。表 2-2 中 62 根 7 Φ ^b₄ 钢绞线按此规定预拉后的平均延伸率 $\delta_{100} = 2.5\%$ 。

另外尚有按此规定预拉后的51根试件，延伸率的平均值为 $\delta_{100} \approx 2.64\%$ 。新规范GBJ204—83未规定钢绞线必须经过预拉。但根据以上试验结果冷拔低碳钢绞线的延伸率可取2.5%。

2-2 应力-应变特性曲线

冷拔低碳钢绞线的应力与应变特性基本与冷拔低碳钢丝相近，特性曲线（图2-1）符合硬钢的变化规律，其重要特征是没有明显的屈服台阶。由于具有一定的构造松弛，钢绞线的应变一般略大于冷拔丝。

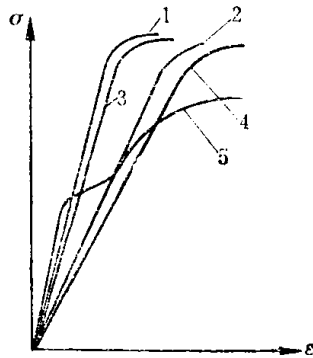


图 2-1 冷拔低碳钢丝与钢绞线应力-应变特性曲线

1— $\Phi 4$ 冷拔低碳钢丝；2— $7\Phi 4$ 冷拔低碳钢绞线经 $0.7R_0$ 预拉，持荷5分钟；3— $7\Phi 4$ 冷拔低碳钢绞线经 $0.85R_0$ 预拉，持荷5分钟；4— $7\Phi 4$ 冷拔低碳钢绞线，未预拉；5— $\Phi 6.5$ 盘条钢筋

试验表明，冷拔低碳钢绞线的应力-应变曲线也分为三个阶段：第一阶段为弹性变形阶段，应力与应变遵循比例关系，直至比例极限 σ_0 以前符合虎克定律；第二阶段自比例极限至条件流限 $\sigma_{0.2}$ ，这个阶段的变形增长比应力增长为快，

除弹性变形外，还产生了塑性变形；应力超过条件流限后为第三阶段，这个阶段钢绞线的塑性变形有更大的发展，当应力达极限抗拉强度 σ_p 时，钢绞线即被拉断。

2-3 弹性模量与条件流限

1. 弹性模量

弹性模量的物理意义是使钢筋产生单位应变所需要加的应力，亦可理解为材料抵抗变形的能力，即在相同的应力作用下，材料的弹性模量越大，越不易变形。

冷拔低碳钢绞线的弹性模量与是否经过预拉及预拉控制应力大小有关。试验表明，未经预拉的钢绞线，弹性模量为 $1.54 \sim 1.71 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ；通过 $0.85R_b^b$ 预拉，持荷5分钟后，其弹性模量约为 $1.76 \sim 1.85 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。说明冷拔低碳钢绞线的弹性模量有一定的波动。因此，其取值可为 $1.8 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。设计计算时，宜根据试验结果采用。

2. 条件流限

钢材受外荷要产生变形，卸荷后，钢材的残余变形值 $\epsilon = 0.002$ ，即 $\epsilon = 0.2\%$ 时所对应的应力值称作条件流限，表以 $\sigma_{0.2}$ 。条件流限介于应力-应变曲线第二阶段与第三阶段之间，此时钢材已产生塑性变形，卸荷曲线已不能回复到原始状态。

冷拔低碳钢绞线的条件流限 $\sigma_{0.2}$ 与预拉控制应力大小有关，未经预拉的钢绞线 $\sigma_{0.2}$ 约为 $0.82R_b^b$ ，经 $0.85R_b^b$ 预拉持荷5分钟，钢绞线的条件流限 $\sigma_{0.2} \approx 0.93R_b^b$ ，与冷拔丝的 $\sigma_{0.2}$ 基本相近。

2-4 松 弛(徐舒)

钢筋在常温下张拉到一定的应力后，若保持其长度不变，随着时间的增长钢筋中的应力会逐渐降低，这种现象叫做钢筋的应力松弛，简称钢筋的松弛或徐舒。松弛是钢筋内部晶体在应力作用下产生错位和滑移后重新排列的结果。在松弛过程中，钢材的弹性变形逐渐减少而塑性变形增加。

一般说来，钢材的松弛在张拉后的最初半小时发展最快，在24小时内约完成1000小时松弛量的80%，大约在1000小时以后，基本趋于稳定（根据最近国外资料报导，钢筋松弛甚至数十年都在继续发展，只是随时间的增加松弛增量愈趋微小）。因此，一般以1000小时的松弛量作为钢筋松弛量的理论取值。钢筋松弛量的大小与张拉应力和温度有关。张拉应力越大，松弛量也越大；温度增高，钢筋松弛量加大。在预应力结构中，预应力筋的松弛量还与混凝土（或灌孔砂浆）对钢筋的握裹粘结力、钢筋的外形有关。

冷拔低碳钢绞线的松弛量，用卧式台座和杠杆式平衡台座两种装置测定。测定工作是在恒温恒湿的条件下进行的，并考虑了台座和钢绞线试件温度膨胀系数的不同，以及温差对测定仪器的影响。测定结果列于表2-3，应力松弛曲线见图2-2。

表2-3与应力松弛曲线等测定结果表明，冷拔低碳钢绞线的松弛具有以下特征：

1. 在1000小时后松弛增量已趋微小，但并未呈现宏观上的稳定，而是在继续发展。例如经 $0.7R_p$ 预拉后的钢绞线1032小时的松弛量为 $8.8\% \sigma_k$ ，而增至1872小时则为 9.03%