

冷拔钢丝预应力构件 的设计与施工

—《冷拔钢丝预应力混凝土构件
设计与施工规程》讲义

中国建筑科学研究院

1991年 1 月 北京

前 言

我国新修订的行业标准《冷拔钢丝预应力混凝土构件设计与施工规程》即将颁布施行。这本规程是在原《冷拔低碳钢丝预应力混凝土中小构件设计与施工规程》JGJ19—84 和《冷拔中强钢丝预应力混凝土构件设计与施工建议》的基础上结合国内近年来在冷拔钢丝方面的试验研究成果编制而成。

本规程共分四章介绍，除按章节顺序对规程条文进行讲解外，对规程中的主要技术问题进行了比较深入的介绍，以使广大设计、施工和管理部门的工程技术人员了解新规程的编制依据，更好地掌握贯彻执行，特编写了这本讲义。

由于这项作为初次尝试，缺乏经验，同时限于本人水平，难免有错误和解释不当之处，望广大读者批评指正。文中如有与正式规程条文和说明不符之处，应以正式文本为准。

为了配合各省市、地区预应力空心板标准图的修订工作，进一步推广冷拔钢丝（特别是冷拔低合金钢丝）预应力混凝土构件，特编写这本讲座材料。

本讲义是根据冷拔钢丝专题组的一些试验研究成果和国内大量工程实践经验并参考了规程编制过程中的有关背景材料和国内外有关标准、规范写成。本讲义由中国建筑科学研究院结构所顾万黎和张荣成编写。

《冷拔钢丝预应力混凝土构件
设计与施工规程》管理组

1991年1月 北京

第一部分

《冷拔钢丝预应力混凝土构件设计 与施工规程》介绍

1991年1月 北京

目 录

第一部分《冷拔钢丝预应力混凝土构件设计与施工 规程》介绍

第一章 规程编制概况	(1)
第一节 编制过程	(1)
第二节 主要修订内容	(2)
第三节 规程适用范围	(6)
第二章 材料	(8)
第一节 钢丝	(8)
第二节 混凝土	(13)
第三章 构件设计	(15)
第一节 一般规定	(15)
第二节 正截面承载力计算	(24)
第三节 斜截面承载力计算	(43)
第四节 抗裂验算	(53)
第五节 变形验算	(65)
第六节 施工阶段验算	(70)
第七节 构造规定	(72)
第四章 施工工艺	(88)
第一节 台座	(88)
第二节 模板	(89)
第三节 机具及设备	(90)
第四节 钢丝的冷拔工艺	(91)

第五节	钢丝的张拉工艺·····	(98)
第六节	混凝土工艺·····	(104)
第七节	构件的运输、堆放和安装·····	(106)

第二部分 《冷拔钢丝预应力混凝土构件设计与施工规程》报批稿

第一章 规程编制概况

第一节 编制过程

根据原城乡建设部(88)城标字第141号文关于编制规程计划的通知,由中国建筑科学研究院和浙江省建筑科学研究所负责主编,会同江苏省建筑科学研究院、四川省建筑科学研究院、辽宁省建筑科学研究所、冶金部建筑研究总院、湖南大学、浙江大学、哈尔滨建筑工程学院、山东建筑工程学院、青岛海洋大学和浙江省建筑设计院等12个单位组成编制组,共同完成编制任务。

1988年4月组成编制组,整个编制过程可分以下三个阶段:

第一阶段 征求意见稿阶段

1988年5月在杭州召开了编制组第一次工作会议。在总结原《冷拔低碳钢丝预应力混凝土中小构件设计与施工规程》JGJ19—84和《冷拔中强钢丝预应力混凝土构件设计与施工建议》实施以来取得的经验和存在的问题,结合国内近年来在冷拔钢丝(包括冷拔低碳钢丝和冷拔低合金钢丝)方面的科研成果并参考了最近批准的《混凝土结构设计规范》GBJ10—89(送审稿阶段)以及国内最近编修的有关规程、规范,编制组对本规程的编制原则、指导思想等进行了充分地讨论,对主要修订问题、进度计划、工作方式和分工等作了具体安排。在各单位分工完成有关条文的基础上,由主编

单位汇总加工后形成规程初稿，于1988年11月在长沙召开了编制组第二次工作会议，对初稿进行深入细致地讨论，编制组于1989年2月提出征求意见稿。

第二阶段 送审稿阶段

1989年3月征求意见稿发至全国各有关单位广泛征求意见，同时在哈尔滨、杭州、南京和长沙等地分别召开了座谈会，重点征求意见。根据各地所提的意见和建议，编制组于1989年9月在青岛召开了第三次工作会议，形成本规程的送审稿。

由建筑工程标准研究中心主持，于1989年11月在南京市召开了规程送审稿审查会，审查会议的评价是：本规程送审稿体现了我国冷拔钢丝预应力构件的发展水平，具有技术上的先进性，反映出我国自己的特色，本规程具有国内先进水平，在某些方面达到国际水平。

第三阶段 报批稿阶段

经过审查会议后，主编单位根据会议审查意见对公式、图表、符号、文字等进行全面的核对，并与最近颁布的或即将颁布的有关建筑结构、施工等规范进行了协调统一工作，于1990年4月份提出了报批稿。

第二节 主要修订内容

本规程共有四章、十六节、七个附录，总共114条。本规程主要修订内容如下：

(一) 符号、计量单位和基本术语

按照现行国标《建筑结构设计通用符号、计量单位和基

本术语》GBJ83—85的规定，对符号和计量单位作了全面的更新，并与最近批准的《混凝土结构设计规范》GBJ10—89采用的符号、计量单位和基本术语进行了统一。

（二）材料

本规程所指的冷拔钢丝包括原规程广泛采用的冷拔低碳钢丝和近几年试制应用的冷拔低合金钢丝（即所谓中强钢丝）。冷拔低合金钢丝目前主要有三个品种，即唐山钢铁公司的B20MnSi、首都钢铁公司的21MnSi和鞍山钢铁公司的24MnTi制成的 $\phi 5$ 钢丝。补充了冷拔低合金钢丝的力学性能和松弛试验指标。直径3mm的甲级冷拔低碳钢丝由于直径太细、抗锈蚀能力差，不作为受力主筋。

根据混凝土标号双改方案，新规程将混凝土标号改为混凝土强度等级。原规程混凝土试块的标准尺寸为200mm立方体，新规程定为150mm立方体。原规程规定混凝土标号为立方体试块抗压强度分布的0.15分位数，新规程规定混凝土强度等级按立方体试块抗压强度分布的0.05分位数确定，用符号C和立方体抗压强度标准值（ N/mm^2 ）表示。

（三）正截面承载力计算

本规程基本采用与《混凝土结构设计规范》一致的设计原则和计算公式，对拉、压、弯构件引进了平截面假定等一些设计原则。给出了相对界限受压区高度公式，但为简化计算起见，仍保留原规程中相对界限受压区高度近似取为定值0.45的规定。经过对不同钢丝强度、不同张拉控制应力下的受弯、受压构件计算表明，相对界限受压区高度取为定值，对正截面承载力的影响是很小的。

(四) 受剪承载力计算

原规程在划分普通构件与薄腹构件的界限条件上不够明确,对普通构件截面限制条件也偏松,新规程适当加严了普通构件($\frac{hw}{b} \leq 4$)的截面限制条件,并提出了划分普通构件与薄腹构件的界限。

新规程的斜截面受剪承载力计算公式仍采用原规程的形式,但对有些地方适当增加一些箍筋用量。对原规程集中荷载作用下简支梁受剪计算公式中的混凝土受剪承载力项作了调整。对仅配置箍筋的简支梁受剪承载力计算公式中箍筋项的系数作了适当调整。

对于中小型冷拔钢丝预应力受弯构件,由于构件受荷不大,其斜截面抗剪设计仅采用箍筋,一般不用弯起钢筋,以利施工。

(五) 抗裂及变形验算

对冷拔钢丝预应力构件正截面抗裂验算,将原规程按照抗裂安全系数的分档,改为按照一级、二级裂缝控制等级划分,并给出计算公式及相应的拉应力限制系数。

一级:要求构件受拉边缘混凝土应力在荷载短期效应组合下,不出现拉应力,适用于严格要求不出现裂缝的构件。

二级:要求构件受拉边缘混凝土应力在荷载长期效应组合下,产生较低的拉应力,约为 $0.75 \sim 0.92 \text{ N/mm}^2$;在荷载短期效应组合下,构件受拉边缘混凝土处于有限拉应力状态,约为 $1.8 \sim 2.2 \text{ N/mm}^2$,构件出现裂缝的概率较小。

冷拔钢丝预应力受弯构件不需作挠度验算的最小截面高度,按照新的混凝土强度等级,考虑了活荷载准永久系数等

因素，对原规程附图中的曲线重新计算，作了修改。

（六）传递及锚固长度

通过对 $\Phi 5$ 冷拔低合金钢丝的系统试验，新规程给出了单根或两根并丝的预应力冷拔低合金钢丝的传递长度和锚固长度设计值。

（七）构造规定

1. 混凝土保护层 考虑混凝土长期碳化结果及施工时保护层厚度负偏差的可能性，对室内高湿度或露天环境下的构件混凝土保护层最小厚度从原规程的20mm增至25mm；对于C40及以上的混凝土，最小保护层厚度取15mm。

2. 最小配筋率 预应力冷拔钢丝受弯构件最小配筋率的确定原则基本上是考虑在此配筋率下构件的正截面受弯承载力不低于同截面预应力混凝土构件的受裂承载力。同时根据原冷拔丝规程（JGJ19—84）执行以来的经验，注意到各地预应力空心板的配筋特点、特别是较低配筋率空心板的实际情况，对预应力冷拔钢丝的应力采用应力调整系数的方法，使用钢量维持在与目前实际用量大致相当的水平。

3. 短板自锚区抗裂验算 调整了原规程自锚区抗裂验算公式的系数，同时给出了冷拔钢丝强度设计值折减系数。

（八）施工工艺

1. 模板 对模板的允许偏差值作了个别调整。

2. 机具的检验 用于长线生产的张拉机具的校验期限由原规程的两个月、测力误差不得超过2.5%，新规程相应的改为三个月、3%。用于短线生产的油泵压力表的精度和设备检验期限也都作了新的规定。

3. 盘条和钢丝技术条件 冷拔低碳钢丝用盘条的技术条

件，按国标《碳素结构钢》GB700—88规定，将原规程的抗拉强度和伸长率作了新的取值；对冷拔低合金钢丝用盘条规定抗拉强度不低于 550N/mm^2 ，伸长率（ δ_5 ）不低于23%。取消了直径3mm冷拔低碳钢丝伸长率和直径允许偏差的要求。

4. 预应力值抽检 关于钢丝的预应力值检测的方法、数量与检测时间等新规均作了相应的调整。新规改为：长线生产按每一工作班抽查构件条数的10%，且不小于一条；短线生产每一工作班抽查构件数的1%，且不少于一件。从抽样概率上看，可解决对大厂宽对小厂严的不合理情况。检测时间也统一规定为张拉完毕后一小时进行。

5. 混凝土工艺 按照混凝土双改方案，规程给出了与设计混凝土强度等级相应的混凝土施工配制强度公式及强度标准差的计算公式。对混凝土在拌制和浇筑过程中的检查制度作了新的规定。

对不同生产工艺条件下的混凝土强度验收规定如混凝土强度合格率的判定、混凝土生产的质量水平的评判以及统计周期内混凝土强度标准差的统计公式等，新规均作了较详细的规定。

第三节 规程适用范围

本规程为冷拔钢丝先张法预应力混凝土预制构件设计与施工的专用规程。目前冷拔钢丝主要用于一般工业与民用建筑的中小型构件，这些构件在南方地区大多采用先张法长线生产，在北方地区长线生产和短线钢模模外张拉工艺兼而有

之，故本规程以冷拔钢丝先张法预应力混凝土构件的设计和施工工艺为主。

预应力冷拔钢丝的强度标准值为 $600\sim 800\text{N/mm}^2$ ，属于中等强度，主要适用于中小型构件比较经济。对于大型构件建议采用高强预应力钢材。

光面的冷拔钢丝由于粘结锚固性能较差，在无可靠试验或实践经验时，不宜用于承受动荷载作用的吊车梁、受振动荷载的楼面板等构件。

从长期耐久性考虑，处于侵蚀环境或高温下的结构，不得采用冷拔钢丝预应力混凝土构件。

第二章 材 料

第一节 钢 丝

一、钢丝的种类

本规程所指的冷拔钢丝，包括目前在国内广泛采用的冷拔低碳钢丝和近几年研制成功通过国家鉴定已在国内十多个省市工程上采用80余万平米的冷拔低合金钢丝（即所谓中强钢丝）。

冷拔低碳钢丝自六十年代中期试制应用以来，已有二十多年使用时间，是目前国内制作中小型预应力板类构件的主要钢种之一，广泛用于一般民用与工业建筑中。

冷拔低碳钢丝分甲乙两级。甲级用于预应力配筋，已级用于非预应力配筋。

原规程预应力钢丝直径有三种规格，新规程定为 $\phi b5$ 和 $\phi b4$ 二种直径，取消3mm直径，主要考虑 $\phi b3$ 钢丝直径太细，抗锈蚀能力和构件耐久性较差。乙级冷拔低碳钢丝用于非预应力筋，主要用作焊接骨架、焊接网、架立筋、箍筋和构造钢筋等。

强度800N/mm²级直径5mm的冷拔低合金钢丝是用 $\phi 6.5$ 热轧盘条拔制的，目前国内生产主要有三个品种：即唐山钢铁公司生产的B20MnSi $\phi 5$ 钢丝、首都钢铁公司生产的21MnSi $\phi 5$ 钢丝和由鞍山钢铁公司生产的24MnTi $\phi 5$ 钢丝。研制冷拔低合金钢丝主要目的是克服目前冷拔低碳钢丝强度偏低、

延性差的缺点，在不改变现有冷拔低碳钢丝生产设备的情况下，达到提高强度和延性的目的。几年来的试验研究和工程实践表明，冷拔低合金钢丝是一种强度较高、性能稳定、延伸率较大、加工方便、可以明显改善预应力混凝土构件性能的新钢种，并能适应建筑上适当增加板跨的要求。与冷拔低碳钢丝相比，用在预应力板类构件中可节省预应力钢丝15%左右，具有较好的经济效益和社会效益。

二、钢丝强度标准值

新规程明确规定，钢丝强度标准值应按符合规定质量的钢丝强度总体分布的0.05分位数确定，即具有不低于95%的保证率。对于无明显物理流限的冷拔钢丝，取极限抗拉强度作为标准值，但构件设计时仍按传统取 $0.8\sigma_b$ （ σ_b 为极限抗拉强度）作为条件屈服点。

根据七省一市23049个（ $\phi b5$ 和 $\phi b4$ ）冷拔低碳钢丝试件的试验结果，各地生产的冷拔丝大约55%以上符合甲级Ⅰ组要求，80%以上符合甲级Ⅱ组要求，即有80%以上的钢丝可作为预应力筋用。这对于经济合理使用钢材，发展冷拔低碳钢丝预应力构件有一定促进作用，比较符合当前实际情况。原规程甲级冷拔低碳钢丝定为三个组别，考虑第Ⅲ组强度级别偏低又兼组别偏多，对同一单位易造成生产上的混乱和差错。因此，在新规程中，甲级冷拔低碳钢丝规定二个组别。各生产单位可根据长期使用情况和检验结果，确定某一组强度值作为预应力钢丝取值标准。对达不到该值要求的少数冷拔钢丝，可当作非预应力钢丝用。冷拔低碳钢丝强度标准值仍维持原规程（JGJ19—84）的水平。

— $\phi 6.5$ 低合金热轧盘条，钢中碳含量比Q235略有提高，加

入微量合金元素，通过细晶强化等手段提高铁素体强度和加工硬化率，使盘条机械性能显著改善，强度达 550N/mm^2 以上， $\phi 6.5$ 盘条的机械性能见表4.4.1。

$\phi 6.5$ 低合金热轧盘条，经过二次冷拔成 $\phi d5$ 钢丝。根据1000余吨2400根未调直冷拔低合金钢丝(B20MnSi钢种)试件的试验结果，钢丝的机械性能如表2.1.1所示。

冷拔低合金钢丝（未调直）机械性能 表2.1.1

项 目	条件流限 $\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	抗拉强度 σ_b (N/mm^2)	弹性模量 E_s (KN/mm^2)	延 伸 率 δ_{100} (%)	最大均匀延伸 δ_{max} (%)
数 量 (n)	469	2400	468	2089	386
平均值 (X)	791.2	894.4	193.3	4.784	1.79
均方差 (σ_x)	41.843	38.958		0.472	0.3528
$X-1.645\sigma_x$	722.4	830.3		4.01	1.22

钢丝的抗拉强度在95%保证率下为 830.3N/mm^2 。满足规程的规定值 800N/mm^2 的要求。其它钢种冷拔低合金钢丝的抗拉强度试验结果也与上述情况相近。规程的强度标准值与冶标规定是一致的。

冷拔低合金钢丝经过机械调直后，会出现强度下降、延伸率提高的情况。调直后钢丝(B20MnSi $\phi d5$)的试验结果见表2.1.2。

冷拔低合金钢丝（调直后）机械性能 表2.1.2

项 目	条件流限 $\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	抗拉强度 σ_b (N/mm^2)	弹性模量 E_s (KN/mm^2)	延 伸 率 δ_{100} (%)	最大均匀延伸 δ_{max} (%)
数 量	304	711	320	655	292
平均值 (X)	693.01	875.71	193.81	6.8868	3.904
均方差 (σ_x)	13.3474	45.1468		1.3196	1.0715
$X-1.645\sigma_x$	671.05	801.44		4.72	1.53

调直后冷拔低合金钢丝抗拉强度在95%保证率下为801.4N/mm²。与调直前相比约降低30N/mm²。根据 $\phi^b 5$ 、 $\phi^b 4$ 冷拔低碳钢丝试验结果,调直后钢丝强度标准值大约降低50N/mm²。因此,规程中规定,预应力冷拔钢丝经机械调直后,强度标准值应按降低50N/mm²考虑。冷拔钢丝的强度标准值如表2.1.3所示。

冷拔钢丝强度标准值 (N/mm²) 表2.1.3

钢丝种类		钢丝直径 (mm)	符号	强度标准值(f_{ptk} 或 f_{stk})	
				I组	II组
冷拔低碳钢丝	甲级	5	ϕ^b	650	600
		4		700	650
	乙级	3~5		550	
冷拔低合金钢丝		5	ϕ^d	800	

三、钢丝强度设计值

1. 抗拉强度设计值

根据工程经验,按照现行规程(JGJ19—84)与冷拔钢丝新规的规定,按钢筋混凝土轴拉构件承载能力相等的原则,进行校准计算,以确定钢丝的材料分项系数和强度设计值。

轴拉构件的设计表达式:

$$\text{现行规程 } KN_1 = A_y R_y = A_p R_y \quad (1)$$

$$\text{新规程 } rN_2 = A_p f_{ptk} / r_s \quad (2)$$

令 $N_1 = N_2$, 可得:

$$r_s = \frac{K}{r} \cdot \frac{f_{ptk}}{R_y} \quad (3)$$

式中 r_s ——钢丝材料分项系数；

R_y ——现行规程预应力冷拔钢丝设计强度；

f_{ptk} ——预应力冷拔钢丝强度标准值；

K ——现行规程的安全系数，取 $K = 1.5$ ；

A_p ——纵向受拉钢丝截面面积；

r ——新规程的平均荷载系数，取 $r = 1.267$ ；

N_1 、 N_2 ——纵向力。

冷拔钢丝强度标准值除以钢丝材料分项系数定义为钢丝强度设计值，即 $f_{py} = f_{ptk} / r_s$ 。

例 1、求冷拔低碳钢丝（ $\phi 4$ 甲级 I 组）的 r_s 和强度设计值 f_{py} 。

已知： $K = 1.5$ ， $r = 1.267$ ， $f_{ptk} = 700 \text{ N/mm}^2$ ， $R_y = 560 \text{ N/mm}^2$ 。由（3）式可得：

$$r_s = \frac{1.5}{1.267} \frac{700}{560} = 1.48$$

规程取 $r_s = 1.5$ ，并将强度值取整数，将冷拔钢丝的抗拉强度设计值 $f_{py} = \frac{700}{1.5} = 466 \text{ N/mm}^2$ ，取 $f_{py} = 460 \text{ N/mm}^2$ 。

2. 抗压强度设计值

冷拔钢丝的抗压强度设计值 f'_{py} 或 f'_y 的取值原则与原规程相同，仍以钢丝压应变 $\epsilon'_s = 0.002$ 作为取值条件，并根据 $f'_y = E_s \epsilon'_s$ 和 $f'_y = f_y$ 二者的较小值确定。

对于乙级冷拔低碳钢丝：用于焊接骨架和焊接网时，取 $r_s = 1.7$ ；用于绑扎骨架和绑扎网时，取 $r_s = 2.2$ 。

冷拔钢丝强度设计值见表 2.1.4。