

建 筑 工 程 部

預应力混凝土及鋼筋混凝土結構會議
快 速 施 工 經 驗 交 流 會

技 術 資 料 選 編

第 三 集 預应力配筋用鋼材

建筑工程部 建筑科学研究院
施 工 管 理 局 編

建 筑 工 程 出 版 社

建 筑 工 程 部

預应力混凝土及鋼筋混凝土結構會議
快 速 施 工 經 驗 交 流 會

技 術 資 料 選 編

第三集 預应力配筋用鋼材

建築工程部 建築科學研究院
施 工 · 管 理 局 編

建 筑 工 程 出 版 社 出 版

• 1 9 5 9 •

建 筑 工 程 部
預应力混凝土及鋼筋混凝土結構會議
快 速 施 工 經 驗 交 流 會
技 術 資 料 選 編

第三集 預应力配筋用鋼材

建筑工程部 建筑科学研究院 編
施 工 管 理 局

1959年7月第1版

1959年7月第1次印刷

5,070册

850×1168 $1/32$ • 198千字 • 印張 $78/8$ • 插頁5 • 定价(10) 1.35元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华書店发行 • 書号: 1594

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业營業許可証出字第052号)

目 录

鋼絲徐变試驗报告.....	中国科学院土木建筑研究所 (1)
低碳冷拔鋼絲、冷拉 π 及25 Γ C鋼筋的松弛与徐变	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室 (6)
25 Γ C鋼筋的热处理試驗	
.....	铁道科学研究院铁道建筑組、金屬化学組 (30)
高强鋼筋初步研究报告	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室 (34)
国产鍍鋅鋼絞綫基本力学性能的研究	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室 (50)
国产鍍鋅鋼絞綫預应力混凝土配筋性能的研究	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室 (66)
波纹鋼絲的性能及其在鋼弦混凝土构件中的应用	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室 (85)
扭結及刻痕規律变形高强鋼絲及其应力配筋混凝土	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室等 (108)
冷拉 π 鋼筋配筋預应力混凝土梁疲劳性能的研究	
.....	建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室 (130)
国产建筑鋼材勻質系数	冶金工业部建筑研究院 (154)
低合金25 Γ C鋼筋在重級工作制吊車梁中的疲劳性能研究	
.....	冶金工业部建筑研究院 (171)
球墨鑄鉄筋混凝土試驗研究	清华大学土木系 (190)
冷压規律变形鋼筋在梁內受力性能的試驗研究	
.....	建筑科学研究院、电力建設研究所等 (215)

鋼絲徐變試驗報告

中国科学院土木建筑研究所

一、概 述

材料在外力作用下所生变形随時間而增長的現象称为徐变。

在一些結構物中，材料产生徐变是有利的，但在許多情況下，它将导致受力状态的日益恶化。近年来，关于材料徐变規律及在工程結構中計算徐变影响的研究，已受到建筑者的注意。

在預应力混凝土結構中，混凝土和預应力鋼筋的徐变引起預应力的損失，从而降低这种結構的抗裂性。

关于金屬徐变的許多研究結果指出，影响金屬徐变值的因素很多，其中金屬的种类、試件所受应力的大小、延續的時間和所处的溫度等起着最重要的作用。一般建筑物不受高溫的作用，且預应力筋通常設置在混凝土結構物內部，因此，溫度对預应力鋼絲徐变的影响不重要。

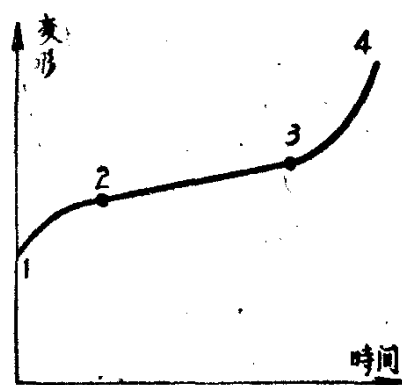
在一定的拉应力和溫度条件下，典型的金屬徐变曲綫（如图 1 所示）可分为三个阶段（图中 01 是初始变形）：

12——第一阶段，即徐变速度减少阶段；

23——第二阶段，即徐变常速度阶段；

34——第三阶段，徐变速度增加并导致破坏。

在实际应用中，使用应力很小，第三阶段不会发生，故获得图 2 中虛綫的图形。Andrade 的研究指出，这种徐变图形可看作



0 图 1 金屬徐变曲綫

两个过程的結合，即图 2 中的 I 和 II，Andrade 称之为徐变的 β 过程和 k 过程。

从图 2 可看出， β 过程的徐变速度随時間而减小，至一定時間后減至零，即 β 过程已經完成，而 k 过程徐变与時間成正比。

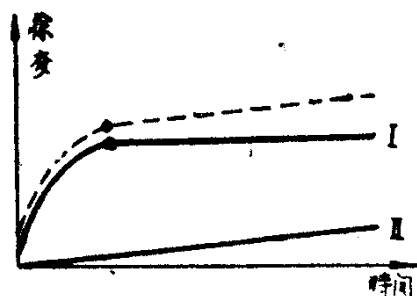


图 2 徐变的 β 过程和 k 过程

二、鋼絲徐变极限

为了表征徐变发展的規律和正确地計算徐变的影响，引出了徐变极限的概念，对于徐变极限有不同的規定。預应力混凝土用鋼絲的徐变极限是指在所規定的時間內徐变达到某一

极限值时的应力，相当于徐变极限的徐变值很小，如果应力不超过此限值，則徐变的影响可以不計。

德国設計规范 DIN4227 原規定（1950年）鋼絲徐变极限是加荷后第60分鐘至第100小时的拉伸度为0.008%的极限应力（定荷載試驗），但此极限值只是在加荷后第6分鐘至第60分鐘的拉伸度不超过0.016%时才是有效的。DIN4227 新规范已改为定長度試驗（松弛），徐变极限是当加荷后第6分鐘至第1,000小时的內力損失为原荷重的3%时的极限应力。

根据我們的試驗，鋼絲徐变的 β 过程历时 100 小时左右。因此，100 小时試驗所得到的徐变主要是 β 过程的结果，不能反映出在开始时虽較 β 过程为小、但与時間成正比增加的 k 过程的影响。显然，1,000 小时徐变試驗方能获得較正确的結果。

三、試驗

用定荷載試驗。我們测定了鋼絲在各种荷載下徐变发展的規律。

試驗前，先将荷載装置好，緩慢地懸掛到鋼絲下端的卡具上，加載時間不超过半分鐘。加載后第6分鐘开始測讀，并記錄第1、2、3、4、5小时的变形，以后每天記錄二次，至1,000小



图 3

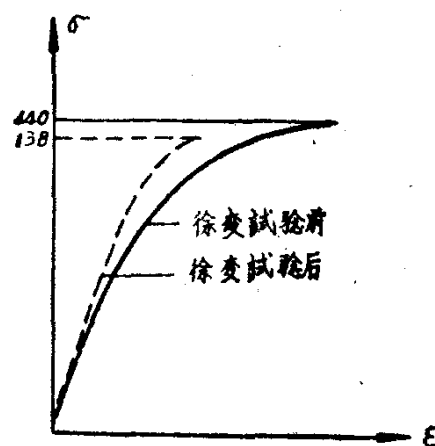


图 4

时后試驗終止。測量變形是用一對1/1000公厘的千分表，測量基距不小于一公尺。

試驗裝置如图 3 所示。这个裝置較好地消除了溫度变化的影响。

四、試驗結果及分析

鋼絲直徑 4 公厘（天津厂），強度极限 $\sigma_p = 14,000$ 公斤／平方公分，拉伸图如图 4。

表 1 列出几个主要阶段的徐变值。

表 1

№	荷 載		徐变 10^{-6} （自第 6 分鐘至）				
	公 斤	% σ_p	第 1 小时	第 5 小时	第 100 小时	第 500 小时	第 1000 小时
1	968	55	67.16	112.77	192.78	248.30	265.30
2	1,144	65	111.62	210.67	332.25	374.65	390.75
3	1,232	70	165.06	302.41	440.57	485.76	502.00
4	1,320	75	318.60	441.86	590.03	644.16	670.60
5	1,408	80	508.35	722.35	928.47	1,007.95	1,052.90
6	1,496	85	669.87	1,078.71	1,532.68	1,706.82	1,766.10
7	1,584	90	879.02	1,319.80	1,613.84	2,159.40	2,246.50

从这些試驗中得出了下列重要結果：

(1) 徐变随荷載和時間而增長，但是也应看到；虽然徐变延續到 1,000 小时以后，然而此时徐变速度很小，且仍有繼續減小的趋势，故可認為徐变是有极限值的。第 1,000 小时的徐变值已接近可能有的徐变的最終值，特别是当应力不大于 $70\% \sigma_p$ 时，在 1,000 小时以后徐变几乎不再增長。

(2) 以 1,000 小时徐变作为最終值，并称此值与初始彈性变形之比为徐变系数 η 。

(3) 試驗得到的鋼絲徐变值很大，按照 DIN4227 旧规范，即使是应力为 $55\% \sigma_p$ 时，第 1 小时至第 100 小时徐变也达到 0.0125% ，大大超过了 0.008% 。

定荷載試驗得到的徐变值往往大于定長度試驗的結果，但由于缺乏足够的試驗資料，二者之間不能作准确的換算。Magnet 的試驗指出，用同样的加載过程，定荷載試驗在加載后 60 天徐变值为初始变形的 16.2% ，而定長度試驗 12 天以后的应力損失为初始应力的 12% ，即前者在数值上較后者大三分之一。据此，我們將 DIN4227 新规范中按定長度試驗的規定，即徐变极限是当加荷后第 6 分鐘至第 1,000 小时的內力損失为原荷重的 3% 时的极限应力，改为按定荷載試驗，即徐变极限取加載后第 6 分鐘至第 1,000 小时徐变达到初始变形的 4% 时的极限应力。在計算初始变形时可取彈性模数为常数，因試驗指出，鋼絲卸荷綫很好地符合直綫規律。根据这个新的折算过的徐变极限，容易看出：

当 $55\% \sigma_p$ 时

$$\text{徐 变} \quad \varepsilon_n = 265.3 \times 10^{-6}$$

$$\text{初始变形} \quad \varepsilon_y = \frac{0.55 \times 14000}{2 \times 10^6} = 3850 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_y} = 6.88\% > 4\%$$

即徐变极限低于 $55\% \sigma_p$ 。

(4) 在开始时徐变速度最大，徐变总值的很大一部分是在

最初的几小时产生的,例如65% σ_p 时1,000小时徐变值为 390.75×10^{-6} , 而最初5小时为 210.67×10^{-6} , 占54%。徐变速度随時間而減小, 經過一定時間后逐漸平直。徐变近似地为常速度(实际土徐变速度仍繼續減小), 符合Andrade的徐变理論。

(5) 分析所得到的試驗結果, 可以看出, 徐变 k 过程在徐变总值中只占很小一部分, 占徐变总值主要部份的 β 过程, 其速度不仅与時間有关, 而且随荷載加大而增長。假定在第6分鐘至第60分鐘的徐变值中忽視 k 过程的影响, 則易看出, 当应力从65% 增至70% σ_p 时, 在这段時間內 β 过程平均徐变速度增加48%, 換句話說, 用提高应力的方法, 可以使在极短時間內所产生的 β 过程徐变等于在低应力下需要很長時間才能达到的值。根据这个分析, 就能很好的解釋一些国外文献中所提出的利用短期过張拉減小徐变值的試驗結果。因为, 即使是很短的过張拉也能大大消去徐变的 β 过程。

图6和表2指出过張拉对徐变的显著影响。所試驗的鋼絲直徑3公厘(鞍山厂), $\sigma_p = 14,100$ 公斤/平方公分。图5中綫1是正常的徐变曲綫, 应力为65% σ_p , 綫2則經過反复的过張拉工作, 其加荷过程如图6所示。

表 2

№	加 載 方 式	徐变 10^{-6} (自第6分鐘至)				
		第1小时	第5小时	第100小时	第500小时	第1000小时
1	按普通方法	100.23	167.43	26.58	291.97	316.62
2	过 張 拉	18.01	39.81	76.30	105.12	124.60

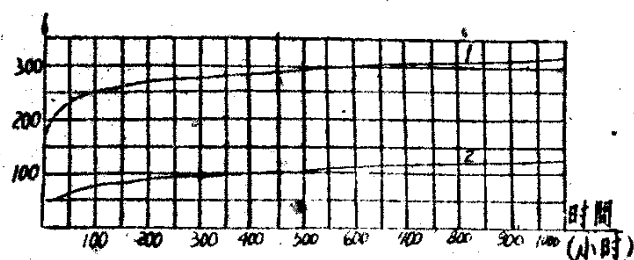


图 5

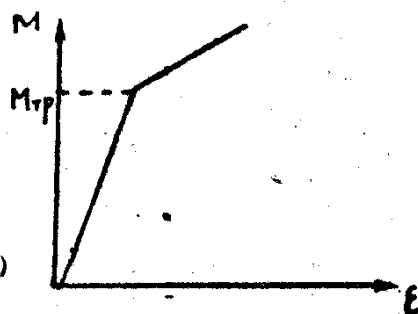


图 6 过張拉加载过程

这一試驗証实了过張拉对减小徐变 β 过程的显著效果。鋼絲在过張拉后的1,000小时徐变減至正常值的39.3%，徐变系数由6.9%減至2.72%，即小于4%。同时，第1至第100小时的徐变減为0.0058%，也小于0.008%。这样，由于过張拉的影响，使徐变极限提高到了65% σ_p 以上。

低碳冷拔鋼絲、冷拉 A_5 及25 ΓC 鋼筋的松弛与徐变

建筑科学研究院加筋混凝土結構研究室

前 言

鋼材在常溫高应力下具有不断的塑性变形发展的特性，这个特性常用徐变或松弛来表示。

松弛系鋼材 受力后在固定 長度下随着時間 所发生的应力降低；徐变系鋼材在不变应力（外荷載）下随着時間所发生的塑性变形。

由于預应力結構采用的高强鋼筋經常处于高应力状态，故松弛或徐变引起的应力降低数值較大，特別是低碳冷拔鋼絲更为严重。

因为混凝土收縮及徐变引起构件縮短的程度不大，即构件長度几乎不变，因此，預应力結構用的鋼材使用时的应力損失应按照松弛来考虑。不过，对鋼絲直接作松弛試驗比較困难，所以，采用易于进行的徐变試驗来代替，这样得出的結果偏大一些。

我們对鋼絲进行了比較多的徐变試驗，同时也作了少量松弛試驗作为参考，粗鋼筋仅仅作了松弛試驗，而未作徐变試驗。

由于目前高强鋼絲供应量不大，且唐山鐵道学院正在进行这种鋼絲的松弛及徐变試驗，因此我們选取供应量較大的低碳冷拔鋼絲进行研究，此外对粗鋼筋則选用冷拉 A_5 及25 ΓC 鋼筋。

一、低碳冷拔鋼絲的徐变試驗

对原鋼材为 σ_3 的低碳冷拔鋼絲进行的徐变試驗,包括有 $\phi 3$ 公厘及 $\phi 4$ 公厘两种,其靜力特征如表1所示。 表1

鋼絲种类	直徑 (公厘)	条件流限 与极限强 度之比 $\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_p}$	极限强度 σ_p (公斤/ 平方公分)	彈性模量 (公斤/ 平方公分)	冷弯次数 ($d=20$)	引伸率 5% ($l=100$ 公厘)	盘徑 (公厘)
低碳冷拔鋼絲($\phi 6$ 拔成 $\phi 3$)	3	0.96	7750~8900	1.75×10^6	8~12	2.7	350~400
低碳冷拔鋼絲($\phi 6$ 拔成 $\phi 4$)	4	0.93	7100~8000	1.85×10^6	10~12	3.4	500~600

图1为鋼絲拉伸应力——应变图形。

試驗采用直接加荷法,試件長为1.1—1.2公尺,用夹具(图2)将下端有荷重籃的鋼絲試件悬吊于支持在混凝土墩子上的两根工字鋼梁上(图3)。

用百分表拉力引伸仪及杠杆引伸仪配合測量应变(图4),前者标距为300公厘,精度为1/100公厘,用以測量开始阶段发展較速較大的变形;后者标距为200公厘,精度为1/1000公厘,測量30分鐘以后的变形,这时徐变速度已大大降低。

試驗开始前,先在荷重籃中放置100公斤鉄块,將鋼絲拉直,然后安装百分表拉力引伸仪,并以每秒70—140公斤/平方公分速度加鉄块,全部加完的一刹那記初讀数,以后在开始的五分鐘內每一分鐘讀表一次,在开始的卅分鐘內每十分鐘讀表一次,最后則于1小时、2小时、24小时、72小时及100小时分別讀表。作試驗的时间大部分为100小时,以观察100小时以后徐变的发展。考虑到温度变化对試驗的影响,每次試驗时室內溫差保持在 4°C 以內。另外还作了8根1000小时的試驗。

試驗时考虑到以下三种因素对徐变的影响:

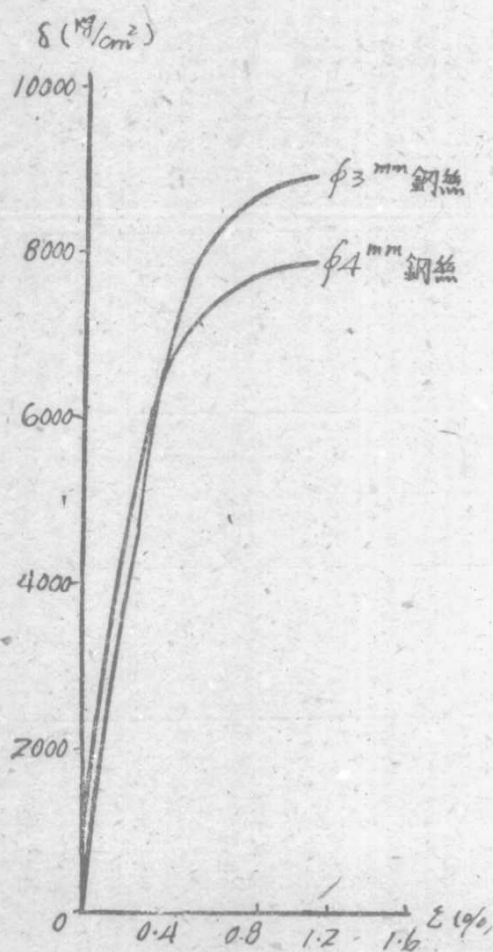


图 1 $\phi 3$ 公厘及 $\phi 4$ 公厘应力—应变图

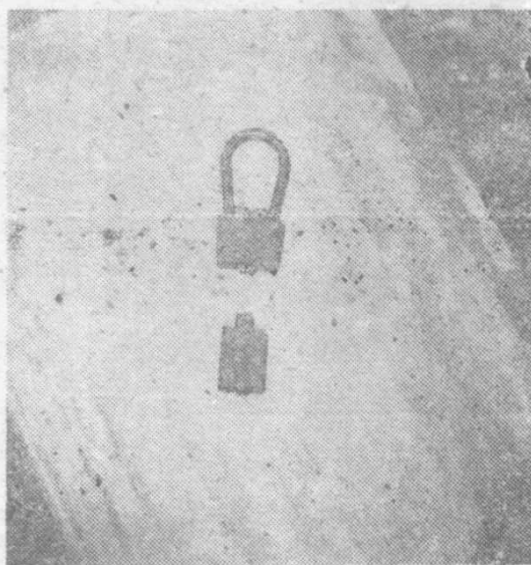


图 2 鋼絲徐变試驗用的夹具

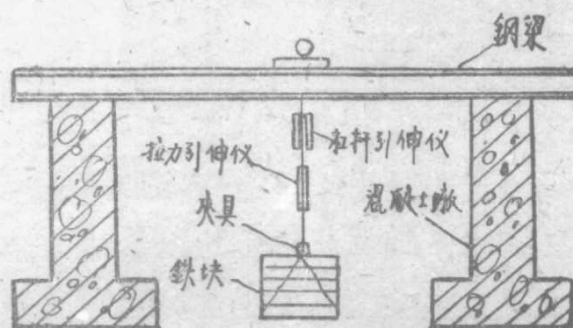
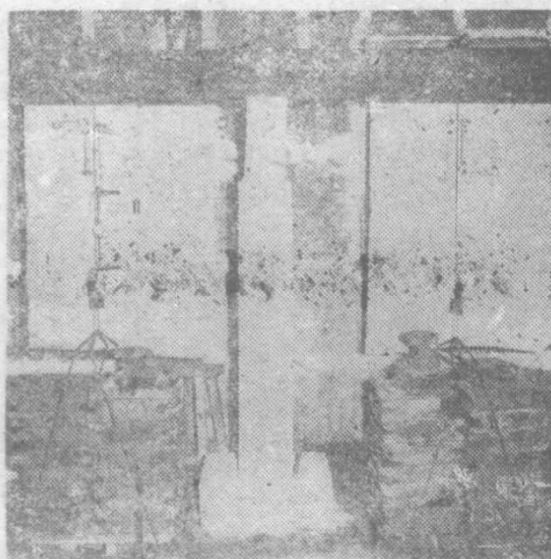


图 3 試驗設備簡图



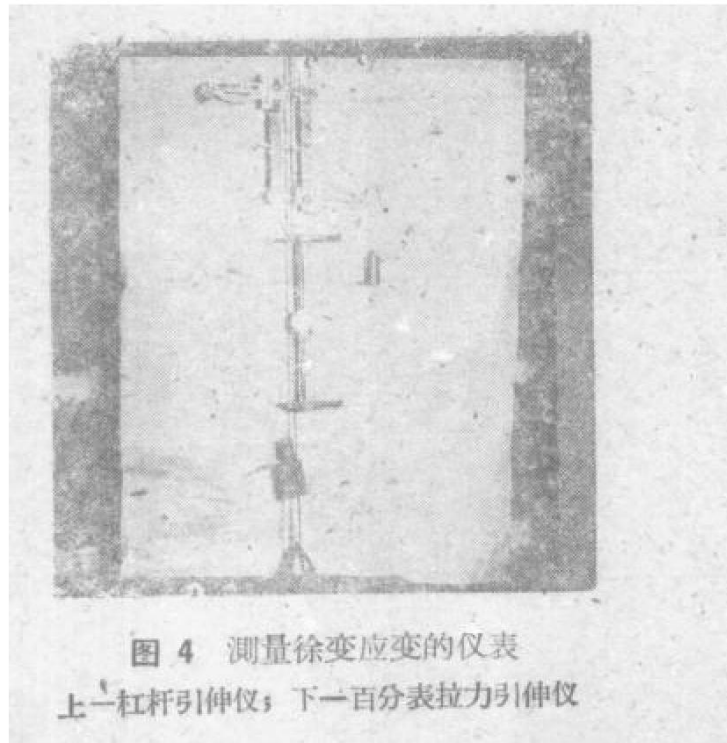


图 4 测量徐变应变的仪表
上一杠杆引伸仪；下一百分表拉力引伸仪

1. 不同的控制应力值；
2. 不同的張拉方法（一次張拉及超荷張拉）；
3. 不同的直徑。

对每一种情况作了 2 ~ 3 根試驗，如果結果相差較大，再增加試件数量，最多有达到 6 根的。 $\phi 3$ 公厘及 $\phi 4$ 公厘两种鋼絲共作了 60 次試驗，对每一种情况选取一根具有适当結果的列入表 3。

对試驗結果作如下分析：

1. 一次張拉时，徐变量随控制应力的增高而加大。100 小时的徐变应力損失值列入表 2；各种控制应力下徐变应力損失值范围繪成曲綫見图 5。

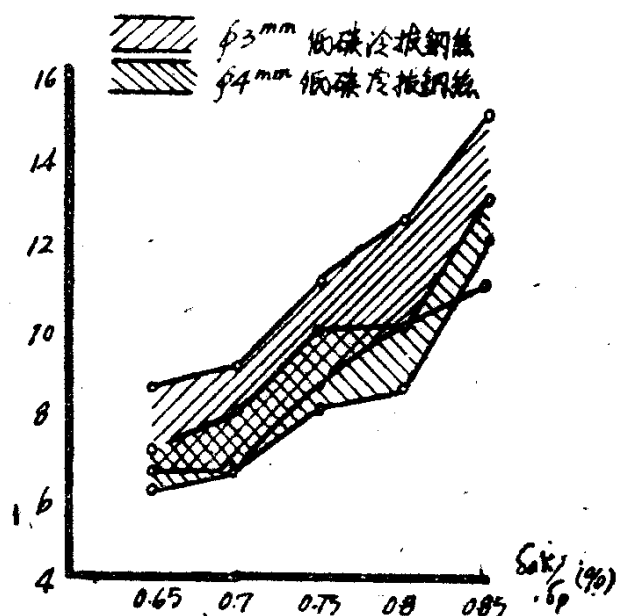
在两种鋼絲强度相差不多的情况下，当控制应力与强度极限比相同时， $\phi 3$ 公厘較 $\phi 4$ 公厘的徐变量为大，一次張拉的約大 10%。

2. 超荷張拉可以降低徐变量。（1）一次超荷張拉：将超荷部分为强度极限的 5 ~ 15%，保持 2 分鐘，然后卸荷，再加荷至

表 2

一次張拉时低碳冷拔鋼絲100小时徐变应力损失($\sigma_{H^0.1}/\sigma_p\%$)

控制应力与强度极限比 (%)	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	备 注
直徑(公厘)						
3	6.5~8.5 (5)	6.5~9.0 (3)	8.5~11 (3)	10~12.5 (6)	11~15 (3)	括弧内的数字表示試驗次数
4	6~7 (2)	6.5~8 (3)	8~10 (3)	8.5~10 (2)	12~13 (2)	同上

图 5 一次張拉对各种控制应力下徐变应力
的损失 (100小时) 范围

控制应力, 其試驗結果列入表 4。由表 4 可見, 和一次張拉相比較, $\phi 3$ 公厘鋼絲徐变量可減少 40~50%; $\phi 4$ 公厘鋼絲徐变量可減少 55~60%。(2) 两次超荷張拉; 超張次数越多則徐变量越少, 两次超荷張拉 (即超荷部分为控制应力的 10%, 2 分鐘后卸荷至零, 重加至該荷重, 2 分鐘后卸至控制应力), 和一次張拉相比, $\phi 3$ 公厘可減少徐变量 70%; $\phi 4$ 公厘可減少徐变量 75%。

低 碳 冷 拔 鋼 絲 100 小 時 徐 變 試 驗 結 果

表 3

直徑 (公厘)	張 拉 方 法	編 號	彈度 極限 (公斤/平方公 分)	控強 制度 應力之 對比 (%)	超強 荷度 應力之 對比 (%)	超 荷 時 間 (分)	變 性 特 性										備 注
							2 分 鐘		5 分 鐘		1 小 時		24 小 時		100 小 時		
							徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	徐變應力 損失與極 限應力之 比 (%)	
3	一 次 張 拉	3—1	8350	0.65	—	—	2.66	35.2	3.20	42.60	4.95	65.6	6.73	89.3	7.54	3.60	
		3—2	7850	0.7	—	—	1.71	22.0	2.39	30.7	4.35	59.0	6.62	85.2	7.77	3.49	
		3—3	7750	0.75	—	—	1.88	20.6	2.71	29.7	5.44	59.4	8.18	89.4	9.15	4.05	
		3—4	7750	0.8	—	—	3.06	30.0	3.94	38.5	7.06	69.0	9.60	93.7	10.20	4.58	
		3—5	8320	0.85	—	—	4.56	33.0	5.90	42.7	10.10	73.1	13.30	96.1	13.84	6.57	
	一 次 超 荷 張 拉	3—6	7750	0.7	0.75	2	0.750	15.90	1.13	23.8	—	—	—	—	4.72	2.09	
		3—7	7850	0.7	0.8	2	0.199	6.43	0.297	8.8	1.27	32.6	2.50	73.7	3.14	1.52	
		3—8	7760	0.7	0.85	2	0.068	2.37	0.226	7.9	0.95	33.2	2.24	78.1	2.87	1.27	
		3—9	7750	0.75	0.8	2	0.300	5.86	0.45	8.8	2.26	44.2	4.42	86.4	5.12	2.27	
		3—10	7850	0.8	0.85	2	0.669	12.40	1.19	22.1	2.78	51.7	4.82	89.5	5.39	2.42	
4	二 次 超 荷 張 拉	3—11	8350	0.8	0.88	2	0.139	4.55	0.21	6.88	0.93	30.5	2.36	77.4	3.05	1.46	加荷至控制應力的110%,荷載保持2 分鐘,卸荷、重加至和前面同樣的荷 重,2分鐘後卸至控制應力。
		4—1	7650	0.65	—	—	1.61	24.0	2.1	31.4	3.82	57.0	5.68	85.0	6.70	2.76	
	一 次 張 拉	4—2	7650	0.7	—	—	3.2	41.8	3.79	49.3	5.48	71.2	7.10	92.3	7.70	3.18	
		4—3	7650	0.75	—	—	2.98	34.8	3.94	46.2	5.98	69.9	7.50	87.6	8.55	3.53	
		4—4	7650	0.8	—	—	4.17	42.5	4.59	46.8	7.34	75.0	9.20	94.0	9.0	4.06	
		4—5	7650	0.85	—	—	3.62	28.6	4.67	37.0	7.44	58.7	11.30	89.0	12.67	5.25	
		4—6	7650	0.7	0.75	2	0.555	18.6	0.555	18.6	1.40	47.0	2.52	84.9	2.93	1.23	
	一 次 超 荷 張 拉	4—7	7650	0.7	0.8	2	0.32	10.9	0.404	13.7	1.16	39.6	2.28	77.6	2.94	1.22	
		4—8	7650	0.7	0.8	5	0.24	10.0	0.25	10.32	0.685	28.3	1.53	63.2	2.42	0.998	
		4—9	7650	0.7	0.85	2	0	0	0.242	10.4	0.75	32.2	1.62	69.9	2.32	0.96	
		4—10	—	0.75	0.8	2	0.26	6.9	0.39	10.3	0.86	22.9	2.98	79.0	3.77	1.45	
		4—11	7650	0.8	0.85	2	0.32	8.1	0.556	14.0	1.35	34.1	3.15	79.5	3.97	1.64	
		4—12	7300	0.8	0.88	2	0.176	7.4	0.176	7.4	0.256	10.76	1.70	71.4	2.38	0.94	
	加荷方式同編號 3—11																

表 4

一次超荷張拉(保持 2 分鐘)100 小时徐变应力的损失($\sigma_{\text{H}}^{\text{H}}/\sigma_p\%$)

控制 直径(公厘)	超荷应力与强度 极限比(%)	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	备 注
	应力与 强度极限之 比(%)	0.7	0.7	0.7	0.75	0.8	
3		3~5 (5)	2~3.5 (3)	2.5~3 (2)	5~6 (3)	5~5.5 (2)	括弧内的数字 表示試驗次数
4		2.5~3.5 (3)	2~3.5 (3)	2~3 (1)	2~4 (3)	3~4 (3)	同 上

图 6 表示出 $\phi 3$ 公厘及 $\phi 4$ 公厘鋼絲一次超荷張拉时(超張 5 % 强度极限, 保持 2 分鐘)在各种控制应力下徐变应力损失值

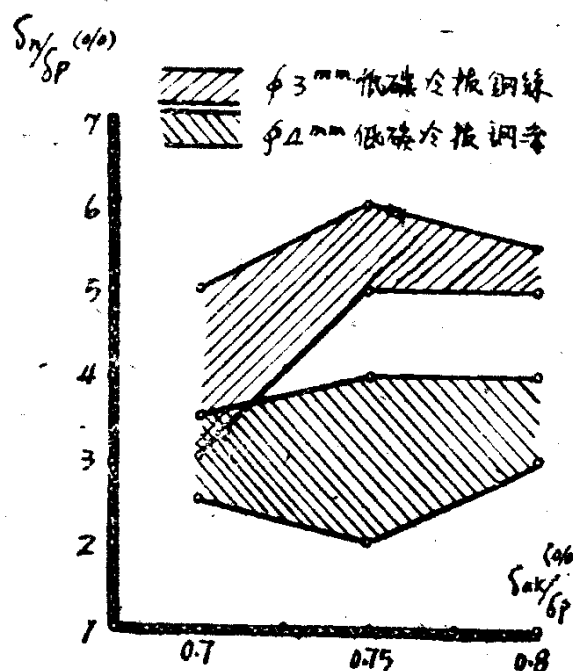


图 6 一次超荷張拉(超荷 5 % 强度极限, 保持 2 分鐘)各种控制应力下徐变应力损失值的范围