

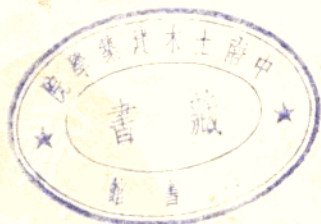
87.108
RTC
5

151945

060447

一九五六年全國鐵道科學工作會議
論文報告叢刊
(5)

預應力鉛結構所用國產高強度 鋼絲機械性質的研究



人民鐵道出版社

87.108



一九五六年全國鐵道科學工作會議論文報告叢刊
(5)

預應力鉗結構所用國產高強度
鋼絲機械性質的研究

一九五六年全國鐵道科學工作會議論文編審委員會編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

(北京市建國門外七聖廟)

1957年6月第1版第1次印刷

平裝印1—1,000冊

書號764開本787×1092₁印張1字數:23千定價(9)

統一書號:15043·317

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师们几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、車輛、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京、唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，选择其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向、和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了避免浪费，凡是其他刊物或是以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再刊载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，并無主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾经做过九次学术报告，我们已将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步的改进。

铁道部技术局

1957年2月

預应力鉛結構所用國產高强度 鋼絲机械性質的研究

唐山鐵道学院材料力学教研組

一九五六年七月

本文根据比較系統的實驗研究說明國產高强度鋼絲的机械性質，及關於利用預張拉以及时效处理后鋼絲机械性質的改善情况。

探討對於預应力鉛結構用鋼絲之机械性質的要求。

(一) 序 言

由於預应力鉛結構的發展，高强度鋼絲得到廣泛的应用。根据苏联重工業企業建造部技術管理局1952年10月10日批准的預应力鉛結構設計規程^{*1}規定：預应力鉛結構所用鋼筋最合理的品种为强度極限大於100公斤/公厘²的光滑的炭素压延鋼絲；苏联1955年7月1日公佈了新的預应力鉛結構用的圓形炭素鋼絲规范^{*2}，对鋼絲机械性質的規定見表1；德國用於預应力鉛結構之鋼絲的机械性質見表2^{*3}；表3是比利时用於預应力鉛結構的几种鋼絲的性質^{*4}；英國1945年的规范^{*4}要求預应力鉛結構用的鋼絲在其应力达到强度極限的70%时，其残余变形不能超过長度的1%，鋼絲的强度極限为80~128噸/口²。美國用的鋼絲有直徑为5公厘、6公厘和7公厘的，5公厘鋼絲的强度極限为250,000磅/口²，

預应力鉛結構用的鋼絲的机械性質（苏联ГОСТ7348—55） 表1

鋼絲直徑 (公厘)	截面積 (公厘 ²)	抗拉强度極限 公斤/公厘 ²	弯折180°		100公厘計算長度 內拉断时的引伸率 不小於(%)	1公尺長的理論重 量 (公斤)
			軸直徑 (公厘)	弯折次数 不少於		
2.5	4.91	200	20	10	2	0.039
3.0	7.06	190	20	8	2	0.063
4.0	12.56	180	20	6	3	0.099
5.0	19.63	170	20	4	3	0.154
6.0	28.26	160	30	3	3	0.222
7.0	38.47	150	30	2	4	0.302
8.0	50.24	140	30	2	4	0.395
10.0	78.50	100	30	2	4	0.617

当应力不小于190,000磅/口"时引伸率为0.7%，6公厘和7公厘鋼絲的强度極限为 240,000磅/口"，当应力不小于180,000磅/口"时引伸率为0.7%；这种鋼絲断裂后的引伸率（标距为10吋）不小于4%。其他如捷克、波蘭、法國和瑞典等國对預应力鉚結構所用鋼絲的研究和生產亦很注意。

預应力鉚結構用的鋼絲的机械性質（德國1953）

表 2

类别	标 号	直徑 (公厘)	計算彈性 極限 $\sigma_{0.01}$ (公斤/ 公厘 ²)	計算彈性 極限 $\sigma_{0.03}$ (公斤/ 公厘 ²)	計算流限 $\sigma_{0.02}$ (公斤/ 公厘 ²)	强度極限 σ_B (公斤/ 公厘 ²)	疲勞極限 σ_{kr} (公斤/ 公厘 ²)	彈性模量 10^6 公斤/公分 ²	引伸率 %
II	st 200	2.3	169	178	197	206	145	2.1	7
	st 170	5.0	142	148	162	177	125	2.1	7.6
	st 190	5.0	155	162	180	191	138	2.0	7
	st 180	7.0	136	144	165	180	125	2.0	7.1
	st 170	4.1	129	140	163	176	120	1.9	6.8
III	st 160	5.0	136	145	150	161	120	2.1	7.1
III	Neptun N20	—	129	140	147	159	120	2.1	7.1

預应力鉚結構用的鋼絲的机械性質（比利时）

表 3

标 号	直 徑 (公厘)	計算流限 (磅/口")	强度極限 (磅/口")	無徐滑应力 (磅/口")	备 註
5—I	5	160,000	200,000	58,000	
5—III—B	5	180,000 (210,000)	230,000 (245,000)	123,000 (137,000)	
7—I—B	7	160,000 (188,000)	200,000 (223,000)	103,000 (123,000)	

我國自1955年度起，铁道部与重工業部等所屬的几个工程機構已开始試制和生產預应力鉚構件；但我國目前尚無正式預应力鉚結構設計規範，也沒有專門生產預应力鉚結構用的鋼絲。現在所用鋼絲为天津鋼厂和鞍山鋼厂生產的信号鋼絲和纜用鋼絲，根据初步实验研究証明，这种鋼絲基本上可以用于預应力鉚結構，但是其中还有一些問題需要作進一步的研究。問題中有些是在國際上还未得到解決的，有些則屬於我國內部的技術問題。

（二） 有关預应力鉚結構所用鋼絲的一些問題

在我們進行实验的过程中首先遇到的問題是試驗規範的問題，也就是对鋼絲机械性質的試驗方法及設備的問題。這個問題在國際上亦未得到解決^{*5}，苏联米哈伊洛夫教授曾指出这是一个極待解決的問題。由於試驗規範的不統一，因此對於鋼絲的有些性質就很难比較；例如苏联規範計算鋼絲引伸率的标距是100公厘^{*1}，而德國規範的規定标距是所試驗之鋼絲直徑的20~100倍^{*6}。對於鋼絲的試驗方法在苏联指定按照國定規範（ГОСТ 1497-42）^{*7}，但这个規範主要適用於圓鋼和鍛鋼，對於鋼絲是不太合宜的。我們測定國產

鋼絲機械性質的方法，主要是根據蘇聯規範，但很多方面是我們自己設計的。

第二個問題是應該對於預應力鉛結構所用的鋼絲的那些性質加以規定。這個問題在國際上的看法也不一致；蘇聯最新規範^{*2}對於預應力鉛結構所用的鋼絲的性質只規定了強度極限、引伸率及彎折次數的標準，然而德國規範則要求拉伸圖、比例極限、流動極限、強度極限、引伸率及徐滑的性質等^{*6}；英美方面對於流動極限也有規定。我們認為對於預應力鉛結構所用的鋼絲應對其以下各方面加以規定：

- (1) 靜荷拉伸試驗：拉伸圖、強度極限、引伸率及工作應力時的彈性模量；
- (2) 彎折試驗：彎折次數；
- (3) 徐滑試驗：予張拉後最大徐滑量；
- (4) 疲勞試驗：疲勞極限的測定。

至於比例極限和流動極限對於預應力鉛用鋼絲來說並沒有實際意義，因為這種鋼絲的拉伸圖根本沒有顯著的比例極限及流動極限，應用計算比例極限及流動極限的概念往往會限制鋼絲實際強度的利用；同時這類鋼絲在施工時都經過予張拉的，予張拉後鋼絲的計算比例極限及流動極限都失去了意義。

第三個問題是關於鋼絲的計算強度。由我們所做實驗的結果證明，國產鋼絲的實際強度一般均比設計採用的計算強度高，這樣就表示有一部分強度未發揮其作用。鋼絲的計算強度應該是該項鋼絲由大量試驗得到的強度之統計平均值（加以均質限制）。但在我國還沒有科學地來確定鋼絲的計算強度，因此設計施工機構及生產機構對計算強度的作用的了解是不一致的。

第四個問題是鋼絲引伸率的問題。這一個問題在預應力鉛第二次國際會議上爭論得很厲害^{*5}，有些國家的代表主張鋼絲的引伸率不應小於6%，但蘇聯等國家根據實踐證明不需要這樣大。蘇聯最新規範規定為2%~4%。我們的試驗是以蘇聯規範為基礎的。

第五個問題是彈性模量的問題。根據蘇聯重工業企業建造部技術管理局批准的預應力鉛結構設計規程規定：單鋼絲的彈性模量用 2.1×10^6 公斤/公分²，鋼絲束的彈性模量用單鋼絲的85%。德國規範規定單鋼絲的彈性模量為 1.95×10^6 公斤/公分²，鋼絲束的彈性模量為 $1.6-1.8 \times 10^6$ 公斤/公分²。我國鋼絲的彈性模量一般為 1.70×10^6 公斤/公分²，但是由於高強度鋼絲的特點，彈性模量變動很大，因此必須首先解決予張拉程度、控制應力及工作應力後，確定彈性模量才有意義。

第六個問題是控制應力及予張拉程度問題。預應力鉛結構中鋼絲的控制應力一般採用強度極限的65%，我國在設計中只用到強度極限的50%^{*8}，而國外已提高到強度極限的70%~80%。在蘇聯曾作過將控制應力提高到強度極限的80%的研究^{*9}，證明控制應力提高後構件的強度並未提高，但抗裂性提高了。我們現在的試驗是採用控制應力為強度極限的70%，而超荷予張拉到強度極限的85%。顯然用強度極限的50%是低了，目前可以提高到70%，不過這要求對鋼絲的均質系數加以限制。

第七個問題是鋼絲的徐滑問題。對於這一問題國際上認識也不一致；有的人認為鋼絲徐滑對於預應力影響不大^{*10}、^{*13}，但有的人也認為鋼絲徐滑是一相當嚴重的現象^{*4}。我們的意見是鋼絲的徐滑量的大小決定於鋼絲的成分、加工方法及施工方法，一般說來冷抽鋼絲的徐滑量較大，但是如果經過予張拉，徐滑量就可以大大減小；還有一個問題是預應力鉛結構中鋼絲徐滑的性質問題，因為在此種情況下顯然鋼絲既非定載亦非定

長，而是兩種情況的交織作用，因此徐滑問題必須從質和量兩方面來解決。

第八個問題是鋼絲的疲勞問題。由於在預應力鉤構件中，應力變化幅度比較小（5%~14%）^{*4, *12, *10}，所以鋼絲中不會產生疲勞破壞；根據德國的資料^{*3}，鋼絲的持久極限一般為強度極限的70%，因此在工作應力下在疲勞方面是可靠的。但疲勞方面的另一個問題是塑性變形的積累問題，這個問題在國際上的資料極為缺乏，國內也沒有文獻可考，進行研究的主要困難是儀器設備的問題。

第九個問題是關於鋼絲在高應力下因銹蝕而引起的脆性斷裂問題。這個問題在國際上亦曾引起很大的注意，蘇聯A. A. 格沃茲捷夫教授亦曾提出防止銹蝕斷裂的建議^{*10}，但是這一問題還沒有得到完全的解決。

第十個問題是提高大直徑鋼絲的強度問題。冷抽鋼絲的特点是直徑愈小強度愈高，但是小直徑的鋼絲不僅在施工上困難，並且也易產生銹蝕斷裂等問題；現在一般應用直徑為3公厘以上的鋼絲，有的甚至採用5—7公厘的粗鋼絲。細鋼絲的另一缺點是自錨力小，所以現在蘇聯及資本主義國家已在研究及生產變截面鋼絲^{*10, *11, *14}。

(三) 對國產鋼絲機械性質的實驗研究及結果分析

結合以上提出的問題我們對國產（主要是天津鋼廠和鞍山鋼廠生產的）高強度鋼絲作了比較系統的研究。

研究的鋼絲品種有以下几种（表4）：

鋼 絲 的 成 分

表 4

廠 名	編 號	直 徑 (公厘)	成 分	備 註
天津鋼廠	100	5		
" " "	—	4		
鞍 鋼	—	1.5		
" "	—	2.0		
" "	—	2.2		
" "	—	2.4		
" "	—	2.6		
" "	—	2.8		
" "	—	3.0		
" "	—	3.2		
" "	—	3.5		
" "	—	4.0		

我們對這些鋼絲進行了以下的研究：

1. 靜荷拉伸試驗：拉伸圖，強度極限，引伸率及彈性模量 E ；
2. 彎折試驗：測定彎折次數；
3. 徐滑試驗：測定徐滑量及研究防止徐滑的方法；
4. 疲勞試驗：測定疲勞極限及研究塑性變形的積累情況。

靜荷拉伸試驗在Amster25噸全能機上進行，畫圖設備是自動的（圖1）。試杆長度

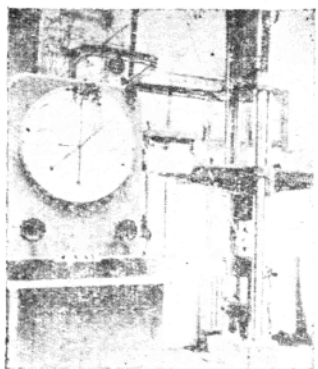


圖 1 自动画圖設備

250公厘（有一些曾用200公厘），标距 100 公厘，試驗結果見表 5。

表 5 和圖 2 中所列結果都是我們自己進行試驗所得到的。为了獲得强度極限的統計平均值，我們已就生產單位的資料進行統計分析，由於这个工作剛剛作了一小部分，这里不能給出最后的結果；不过对丰台桥梁厂所用天津鋼厂生產的直徑 $d=5$ 公厘的鋼絲曾作了系統的研究，鋼絲强度極限的分布曲線如圖 3，其他方面的結果見表 5。我們还对一片桥中所用的 28 盤鋼絲中的 10 盤（每盤 600 ~ 700 公尺）作了强度均匀性的研究，一般說來每盤鋼絲的兩端强度比較低。

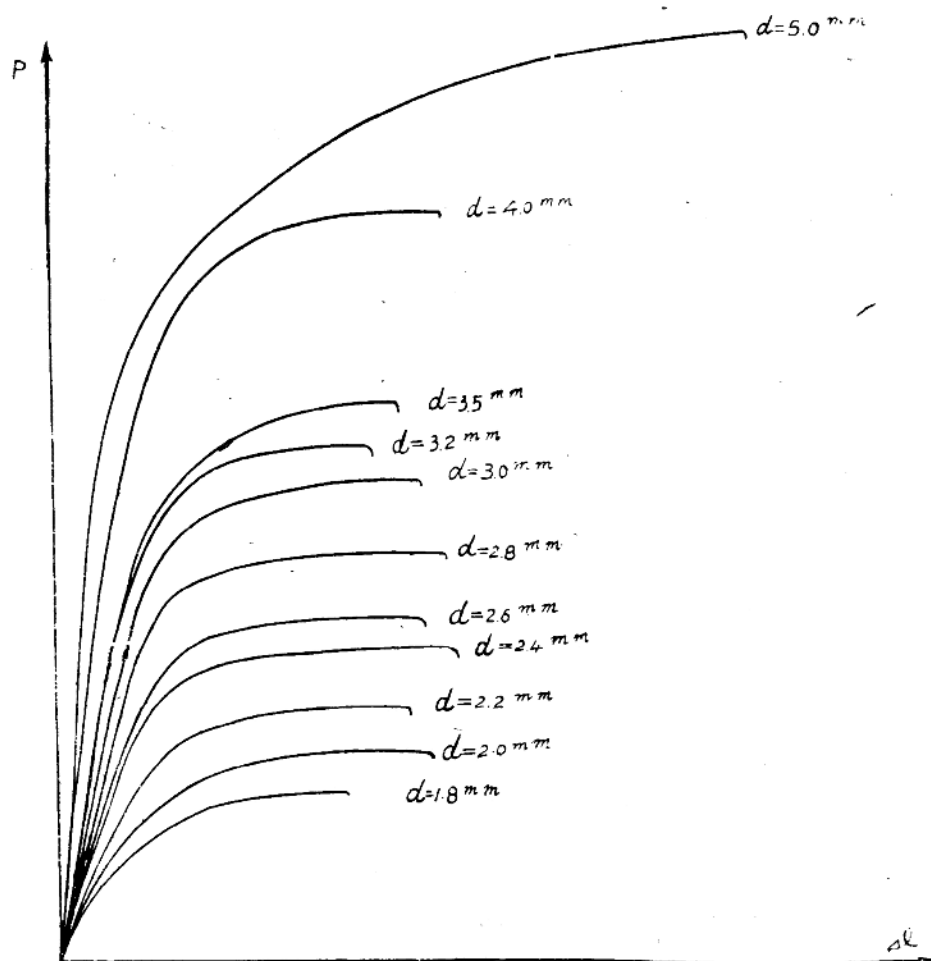
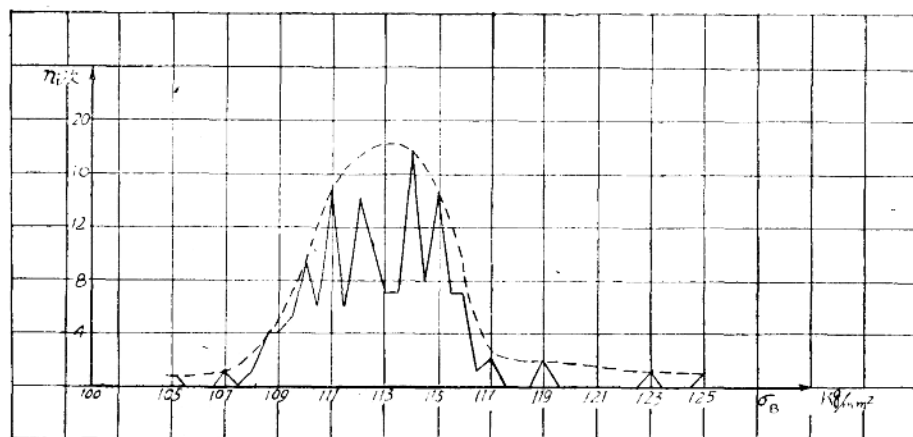


圖 2 鋼絲的拉伸圖

國產高强度鋼絲的机械性質

表 5

廠名	直徑 (公厘)	靜 荷 拉 伸							彎 折 (軸直徑 20公厘)	備 註
		強度極限, 公斤/公厘 ²			引伸率, (100公厘計 V%算長度) %	彈性模量, 10 ⁶ 公斤/公分 ²				
		最高	最低	平均						
天 津	5	119.0	105.0	112.6 (155)	2.48	2.2	10 (113)	1.84 (12)	6.0 (54)	() 內數字為試驗次數
	4	105.8	92.4	102.4	—	—	12.1	1.80	11.0	
鞍 山	1.8	160.0	148.0	154.0	—	—	3.0	1.84	合格	1.8~4.0公厘鋼絲 試驗次數均為10次
	2.0	159.0	153.0	154.0	—	—	3.0	1.79	“ ”	
	2.2	162.0	122.0	147.0	—	—	3.5	1.63	“ ”	
	2.4	158.0	143.0	151.0	—	—	3.5	1.70	“ ”	
	2.6	162.0	147.0	152.1	—	—	3.2	1.76	“ ”	
	2.8	158.5	142.0	148.0	—	—	3.4	1.78	“ ”	
	3.0	156.5	146.0	153.0	—	—	3.3	1.84	“ ”	
	3.2	143.0	132.0	139.0	—	—	4.0	1.66	“ ”	
	3.5	139.0	130.0	136.0	—	—	4.7	1.77	“ ”	
	4.0	139.5	136.0	139.0	—	—	5.0	1.77	“ ”	

圖3 鋼絲強度極限的分布曲線 $d=5mm$ (天)

鋼絲引伸率的測定是按照蘇聯規範(ГОСТ 7348—55)進行的，標距100公厘；為了防止斷口在標距以外我們就在二夾頭間交錯地劃好兩個標距(圖4)，這樣，除非斷口在夾頭內，否則引伸率總會得到。

要測定鋼絲的彈性模量 E ，就必須明確彈性模量的作用，彈性模量主要代表鋼絲在工作

应力时的刚度，用以判断应力的
大小及损失。因为高强度
鋼絲实际工作曲线与原来
拉伸圖不是一致的，所以我
們測定彈性模量时，先把鋼
絲予張拉到强度極限的85

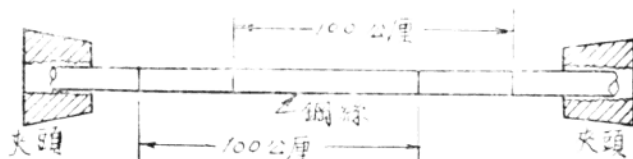


圖4 測定引伸率时的標準樣

%，然后測定相当於强度極限40%到70%之間的彈性模量，
这样測定的彈性模量可以比較正确地反映鋼絲在工作时的性
質。各种鋼絲的彈性模量大致相等，均在 1.7×10^6 公斤/公分²
左右。

鋼絲徐滑的試驗虽然在國外文献上有不少記載 *4 *14
*15 *16，但是在所見到的正式規範上只有德國規範對於鋼
絲的徐滑作了規定，但对試驗方法並未規定。我們用的是定
載式，簡接加荷法(圖5)确定鋼絲在6分,1小时,24小时，
48小时,72小时及100小时內的徐滑量，鋼絲試杆長100~70
公厘，标距有200,250及500公厘三种。控制应力原先用强
度極限的65%，現改用70%，予張拉的程度分原样(即不予
張拉)，予張拉到强度極限的75%，80%及85%，予張拉时
間为2分鐘。試驗結果見圖6和表6。

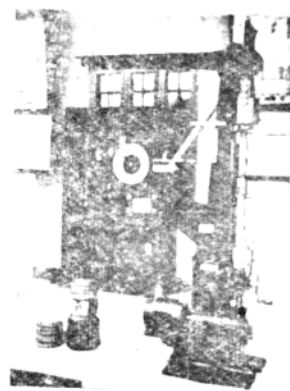


圖5 鋼絲徐滑試驗設備

國產鋼絲 100 小时定載徐滑量

表 6

直 徑 公厘	編 號	强度極限 公斤/公厘 ²	予張拉 限 度 % _{6B}	常荷 % _{6B}	标 距 公厘	予張拉 时 間 (分)	徐 滑 量 (10 ⁻⁵)						备 註
							6 分	1 小时	24 小时	48 小时	72 小时	100 小时	
5	5-5	112.6	0	65	259	0	29.4	40.5	43.3	43.5	45.0	45.1	
5	B-1	"	85	65	258	0	1.9	3.0	5.5	5.9	6.1	6.1	
5	C-3	"	75	70	256	2	0	0	5.2	6.4	6.4	6.4	
5	1-1	"	80	70	200	2	0	0.3	2.0	2.5	3.8	4.0	
5	—	"	85	70	256	2	0	0	0.1	0.8	1.1	1.2	
5	天-1	115.4	75	70	"	2	0	5	11.0	13.5	16.0	18.2	
5	—2	"	75	70	"	2	0	4	12.0	14.2	16.1	18.0	
5	—3	"	80	70	"	2	0	1.5	7.5	14.5	17.0	17.0	
5	—4	"	80	70	"	2	0	0.1	6.1	11.1	13.1	13.6	
5	—5	"	85	70	"	2	0	0.4	7.0	9.5	11.5	12.9	
5	—6	"	85	70	"	2	0	0.1	7.0	7.7	9.3	11.1	
3	安-3-1	153	"	70	"	2	0	1.2	7.4	9.5	—	12.4	

3	-2	"	"	70	"	2	0.3	1.7	7.0	8.9	—	11.6
3	-3	"	"	70	"	2	0	0.6	4.4	5.7	7.0	7.6
3	-4	"	"	70	"	2	0	0.6	4.9	6.4	7.6	8.4
3	-5	"	200°C 2 小时	70	"	0	0.6	2.2	6.8	8.8	10.9	10.6
3	-6	"	"	70	"	0	0.8	2.5	8.6	10.7	12.2	13.0

由於設備关系，鋼絲的疲勞試驗由天津大学材料力学試驗室协助进行。只对天津鋼厂 5 公厘的鋼絲作了初步試驗，結果見表 7，由於資料較少，不能作最后結論。

國產鋼絲疲勞試驗結果（天津大学材料力学試驗室）

表 7

編 號	直 徑 (公厘)	强度極限 公斤/公厘 ²	荷 重 (公斤)		循环次数 10 ⁶	破坏情况	備 註
			P_c	P_a			
I-1	5	112.6	1680	± 110	4.349	未断	
I-2	5	"	1710	± 100	3.333	" "	
I-3	5	"	1710	± 200	0.524	断在夹头内	
II-1	5	"	1720	± 100	3.811	未断	
I-6	5	"	1520	± 100	2.332	断在中間	

關於重复載荷下塑性变形積累的問題，我們也做了初步試驗，但因用人工加荷，重复次数太少，所以並沒有得到結論。

由以上結果看來，鋼絲的引伸率及弯折次数均符合苏联規范的規定，而强度則小於苏联規范的規定。同时根据100号鋼絲的試驗結果可以看到如鋼絲的計算强度採用 100 公斤/公厘²，則最低有 5 % 的强度未發揮，按其平均值則有 11.3 % 的强度未發揮，且此时鋼絲的均質系数为 0.933，变分系数 $V = 0.22$ ，証明鋼絲的質量是均匀的，所以 100 号鋼絲的計算强度顯然可以提高。彈性模量也小於 2.1×10^6 公斤/公分²，由於彈性模量的作用一般主要是为了判断应力及应力損失，所以只要符合鋼絲实际工作情况就可以了。關於鋼絲徐滑問題，由於苏联規范对此並無規定，因此还不能作比較，但从試驗結果可以得到以下几点：

(1) 原样鋼絲的徐滑量相当大，在相当强度極限 65 % 的控制应力下 100 小时內其徐滑量相应的应力損失相当鋼絲强度極限的 10 % ~ 20 %。50 ~ 90 % 的徐滑量在第一小时完成。

(2) 经过予張拉后在相当强度極限 70 % 的控制应力下，100 小时內徐滑量相应的应力損失相当鋼絲强度極限的 2 ~ 4 %；予張拉程度愈大，時間（现在是 2 分鐘）愈長，总徐滑量愈小。且在此种情况下第一小时內的徐滑量一般接近於零。

(3) 经过时效处理过的鋼絲徐滑量亦减小，这說明徐滑的原因可能与鋼絲內的初应力有关系。

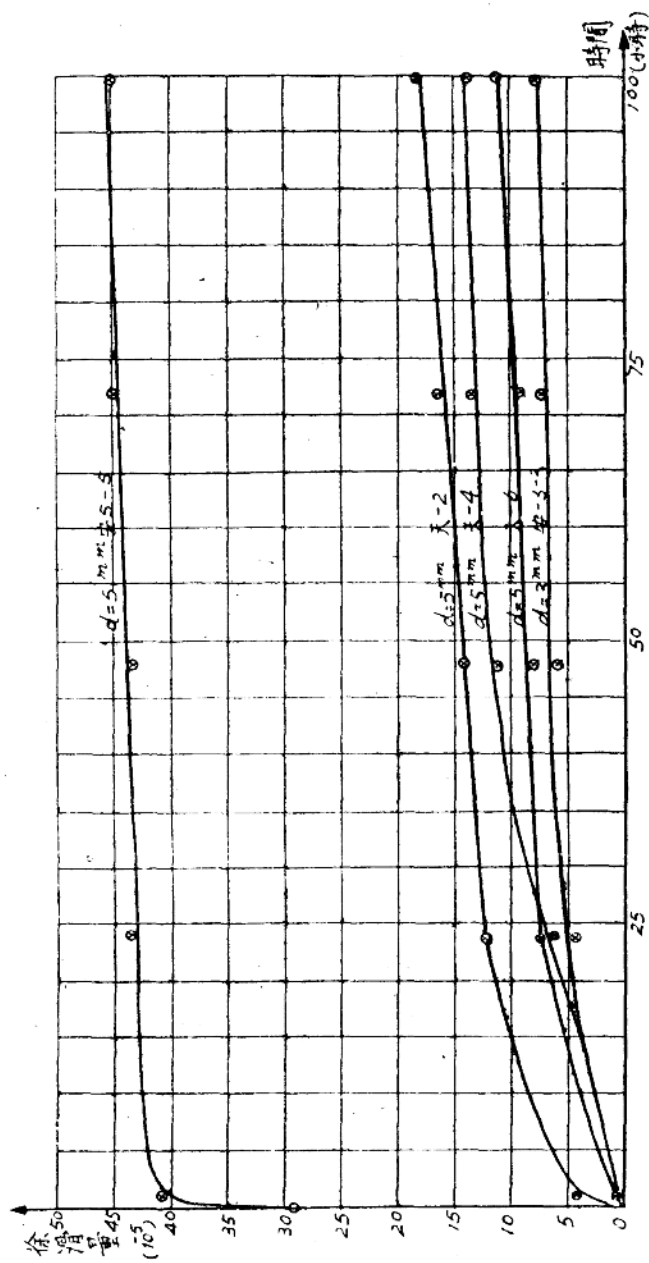


圖6 鋼絲定載100小時後滑曲線

(四) 對於國產高强度鋼絲機械性質的改進 試驗研究

對於如何改善現有國產高强度鋼絲的機械性質，我們作了以下兩種研究：

1. 將原樣鋼絲予張拉到其強度極限的85%，然後再確定它的機械性質。試驗結果見表8和圖7。

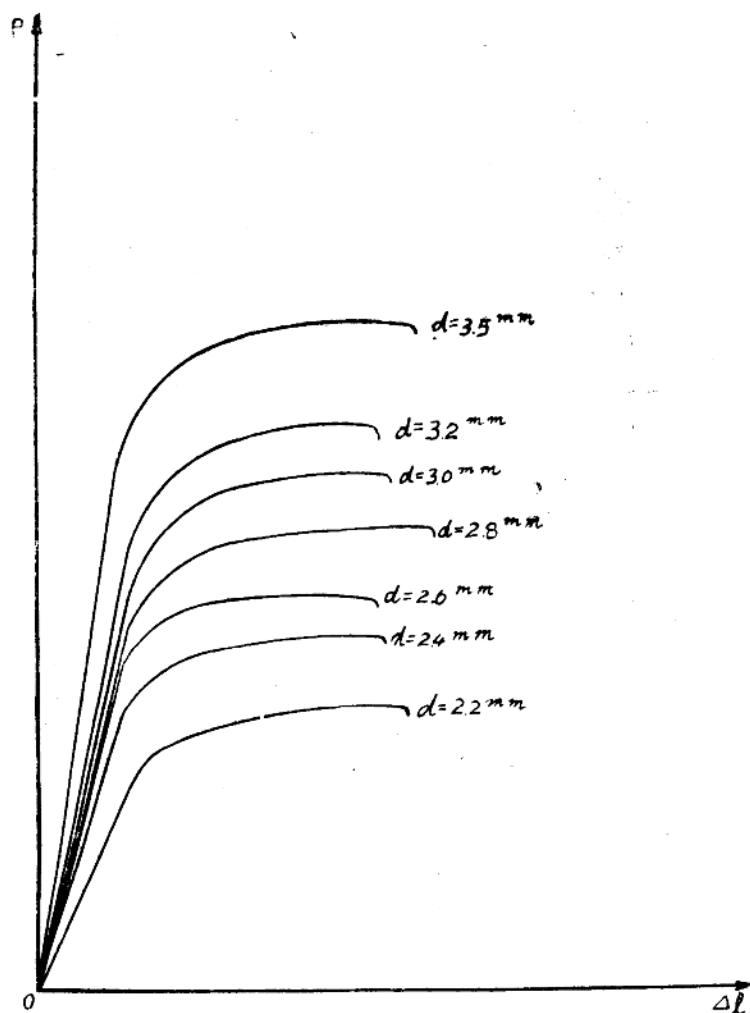


圖7 國產鋼絲予張拉85%後的機械性質

由試驗結果可以看到

- (1) 拉伸圖的直綫部分增加了，強度極限沒有顯著變化，但強度的利用率可以提高；
- (2) 引伸率與彎折次數均有減小，但仍舊合格；
- (3) 彈性模量未變，因為試驗方法相同；

國產鋼絲予張拉到 85% σ_b 后的機械性質

表 8

直徑 (公厘)	強度極限 (公斤/公厘 ²)	引伸率 (計算長度 100公厘) (%)	彈性模量 E, 10 ⁶ 公斤/公分 ²	彎折次數	備 註
1.8	161.0	2.0	1.84	合格	
2.0	154.0	—	1.79	合格	此種直徑鋼絲的引伸率一般較低
2.2	155.0	2.3	1.68	合格	
2.4	156.0	2.5	1.70	32	
2.6	154.5	2.1	1.76	24	
2.8	148.8	2.8	1.78	25	
3.0	152.0	2.9	1.84	19	
3.2	139.0	2.8	1.66	13	
3.5	140.0	3.2	1.77	14	
4.0	141.0	4.0	1.77	12	

(4) 試驗證明予張拉后鋼絲的徐滑量減小;

因此我們的意見是如現場無特殊設備, 可用予張拉的方法改善鋼絲的性質, 予張拉的程度可採用強度極限的85%, 維持時間至少2分鐘。

2. 將鋼絲予張拉到強度極限的85%后經過溫度為200°C 保溫2小時的時效處理, 然後再測定它的機械性質。試驗結果見表9和圖8。

國產鋼絲予張拉85% σ_b 及時效(200°C保溫2小時)后的機械性質 表 9

直徑 (公厘)	強度極限 公斤/公厘 ²		流動極限 公斤/公厘 ²	引伸率 (100公厘 標距)		彈性模量 10 ⁶ 公斤/公分 ²		彎折次數		備 註
		增減 %			增減 %		增減 %		增減 %	
5	113.8		98.7	8.2	-19	2.10	+14.1	—		天 鋼
4	104.5		95.2	9.3	-23	2.12	+17.8	—		” ”
1.8	162.0	+3.9	—	3.0	0	2.02	+9.8	—		安鋼, 6 _a 與6 _r 同
2.0	167.0	+8.4	—	—	—	2.04	+13.9	28		” ”
2.2	168.0	+10.9	—	3.0	-14	2.08	23.8	41		” ”
2.4	165.0	+5.7	—	2.8	-20	2.00	+17.7	27		” ”
2.6	161.0	+4.2	—	2.5	-22	2.00	+13.6	24		” ”
2.8	156.0	+5.0	—	3.1	-10	2.02	+13.5	24		” ”
3.0	157.0	+7.5	—	3.5	-26	2.04	+13.0	18		” ”
3.2	151.0	+8.6	—	3.2	-20	2.04	+22.9	—		” ”
3.5	146.0	+7.4	—	3.8	-19	2.10	+18.5	12		” ”
4.0	152.0	+7.8	—	3.8	-24	2.02	+14.7	10		” ”

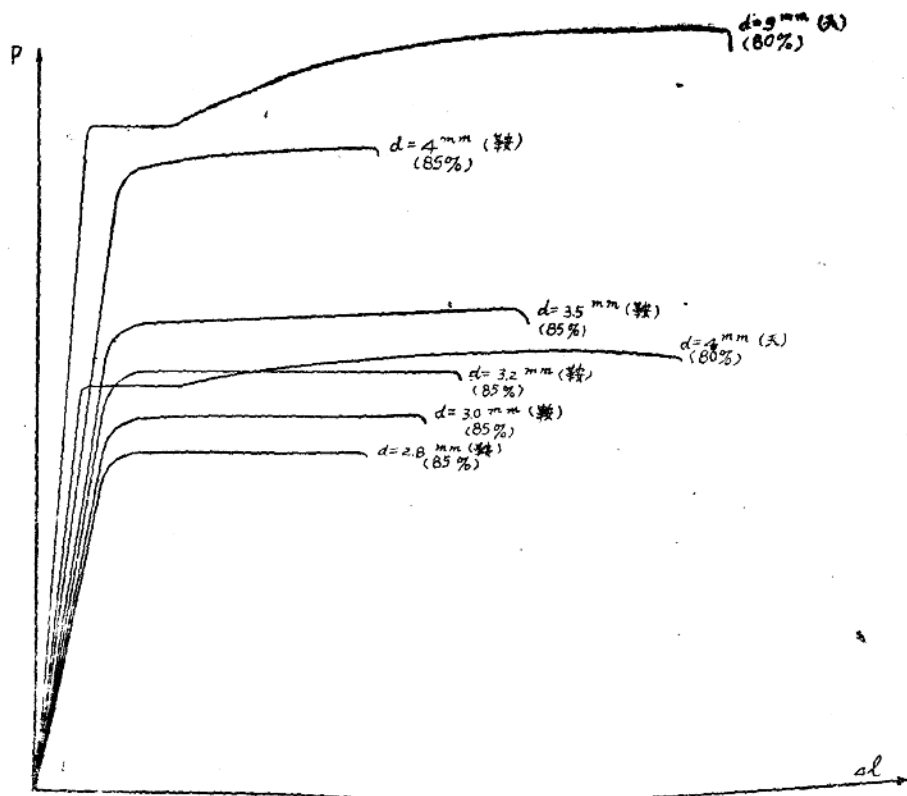


圖8 國產鋼絲予張拉85% σ_a 及時效(2小時, 200°C)後的拉伸圖

從試驗結果可以得到以下幾點結論:

(1) 拉伸圖有了顯著的流動階段, 且流動極限與強度極限很接近, 直徑愈小, 這種接近程度愈大;

(2) 強度極限有顯著提高(提高程度約為原強度極限的4%—10%);

(3) 引伸率及彎折次數均合格(比原來減小);

(4) 彈性模量顯著提高, 一般均在 2.0×10^6 公斤/公分²以上;

(5) 經試驗結果證明經過此種處理後的鋼絲的徐滑量大大減小。

此外我們曾作了同溫度不同時間及同一時間不同溫度的時效處理, 其結果見圖9和圖10。

由以上二圖看來可以斷定: 在同一溫度(200°C)下保溫1小時及2小時對試驗結果的影響差別不大; 但保溫時間相同(保溫2小時)而溫度為100°C和200°C時所得結果相差較大。100°C的時效處理與未經時效處理的結果變化不大。

因此我們對於改進現有國產高強度鋼絲機械性質的意見是根據具體情況分別採用以下兩種方法:

1. 在施工現場進行提高強度的措施時採用予張拉到85% σ_a , 這可以和其他一般工序連系起來進行;

2. 在鋼絲生產單位進行提高強度的措施時，採用予張拉到85% σ_B ，然後進行時效處理（200°C，保溫2小時）。

至於對於生產新型鋼絲的要求，我們的意見是：

1. 直徑一般不要小於3公厘；
2. 強度、引伸率及彎折次數不低於蘇聯規範的要求；
3. 原始徐滑量小（鋼絲纏繞的圈徑不能過小）；
4. 抗銹能力強。

國外已採用熱軋鋼絲，這種鋼絲的性能比冷抽的好。

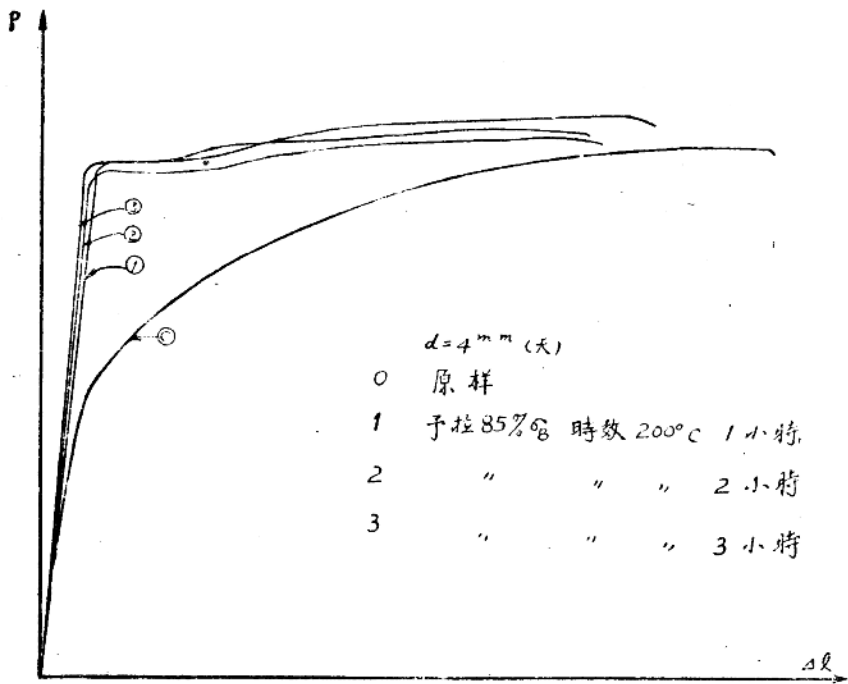


圖9 鋼絲予張拉85% σ_B 後同溫度不同時間處理後的拉伸圖， $d = 4 \text{ mm (天)}$

(五) 對今後鋼絲研究工作的意見

由於國家經濟建設的要求，今後一定要大量地採用預應力鉗結構，因此對於預應力鉗結構用的鋼絲今後一定也要大量生產，為了保證鋼絲的質量我們建議如下：

1. 在最短期間對現有國產鋼絲進行系統的研究，訂出暫行規範及改進方法；
2. 結合國內技術情況，參考國外規範（主要是蘇聯的），訂出預應力鉗用鋼絲的規格、試驗方法及設備標準；
3. 研究與試制國外已有的幾種高強度鋼絲，並製造適合我國具體情況的新型鋼

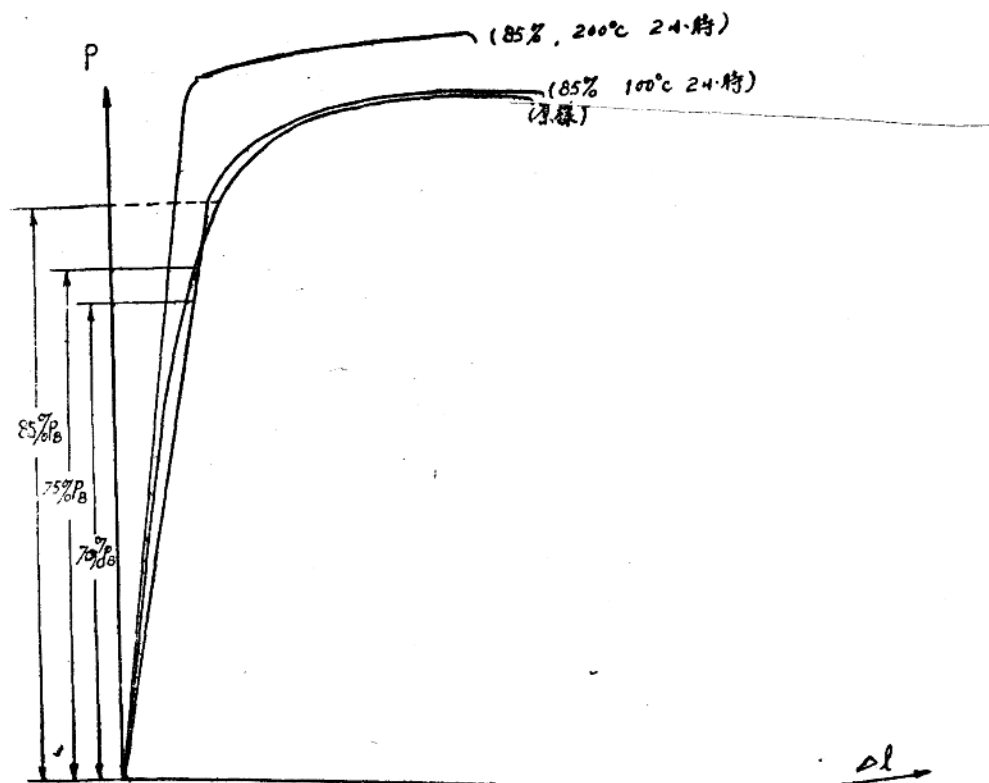


圖10 鋼絲在同一時間不同溫度處理後的拉伸圖， $d=4mm$ （鞍）

絲。

4. 對以下幾方面進行專門研究：

(1) 鋼絲的徐滑問題：了解徐滑現象，找出徐滑的原因，提出防止徐滑的辦法及生產無徐滑鋼絲；

(2) 研究鋼絲引伸率的作用問題及引伸率對銹蝕與徐滑的影響，訂出合理的引伸率；

(3) 研究彈性模量的作用及其對鋼絲徐滑的影響問題 *16；

(4) 研究鋼絲的疲勞問題；

(5) 研究提高鋼絲的控制應力問題 *9；

(6) 研究預應力鉛結構所用高強度鋼絲的合理截面及合理直徑的問題 *11。

總之雖然預應力鉛結構所用高強度鋼絲有許多問題在國際上尚未有解決，但這並不妨礙我們的研究工作，我們完全有條件作好上述的研究工作，這就要求領導機關科學地把有關部分組織起來，同時要求有關部分的密切配合。設計與施工機構要提出要求，生產機構要供給原始資料，研究機構要根據具體要求及原始資料進行分析，提出在技術上和生產上的改進意見。如能合理分工，集體研究，完全有可能在最短時間內趕上世界水平。