

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1981

No. 28

张拉力为300—500吨高强度钢丝束的 张拉锚固技术及施工工艺

Investigation of a Post-Tensioning Wire Tendon
System with Jacking Force of 300~500t

中国建筑科学研究院
CHINESE ACADEMY OF BUILDING RESEARCH



提 要

本文介绍张拉力为300~500 t 高强度钢丝束的锚固技术, 包括张拉千斤顶及测力设备的研制。本文还介绍了在36 m直径安全壳环段试验中大吨位预应力束等长下料、编束、穿管灌油等施工工艺。此外, 对钢绞线束组合型锚具的初步试验结果也作了简要介绍。

研究单位及人员

中国建筑科学研究院建筑结构研究所

李继勤 丁方儒 刘永顺 陈 中 关健光 李绍业 陶学康

焦占栓 周凤濂 王树龙 孟繁德

本项工作是在820、728工程指挥部组织和领导下完成的。

目 录

前 言.....	(2)
大吨位高强钢丝束锚头锚具的试验研究	(2)
直径 5mm 预应力高强钢丝锚头工艺研究.....	(8)
YL-500 型千斤顶试制总结.....	(13)
650t 穿心式压力传感器的研制和应用	(20)
大吨位锚头锚钢丝束施工工艺	(22)
大吨位钢绞线束组合锚具	(30)

Investigation of a Post-Tensioning Wire Tendon System with Jacking Force of 300~500t

Abstract

This Paper introduces a post-tensioning wire tendon system with jacking force of 300~500t, including the making of button-head anchorage, the development of 500t hydraulic jack and 650 t load cell equipment. The technology of large tendon for the test section of 36 m diameter reactor containment, such as making equal length of wires, bundling the wires, pulling cables through the tubes and filling oil in the tubes etc. are also introduced. Besides, the composite typed strand tendon anchorage are mentioned simultaneously.

张拉力为300-500吨高强度 钢丝束的张拉锚固技术及施工工艺

前 言

十余年来,随着核电站、水电站、大吨位水压机、海洋工程、桥梁和大跨度建筑的发展,对预应力束张拉锚固吨位的要求越来越高,例如一个核电站预应力混凝土压力容器就要求施加四、五十万吨预压力,因此必须采用大吨位预应力束。目前,不少国家研制了多种类型的大吨位预应力束张拉锚固体系,钢束类型一般采用钢丝束和钢绞线束两种,张拉力通常在200~800 t之间,最大的达1000 t,锚固型式则有锥头锚、夹片锚、锥塞锚等多种方案,工艺上则有整束张拉或分束张拉等不同方式。随着工程领域的不断扩大,大吨位预应力束的应用将日益广泛。

自1976年开始,我所曾先后与清华大学、二机部728设计队、二机部27公司、上海建筑科学研究所、二机部二院、上海50000 t水压机试验组、大连拉伸机厂等单位协作,进行核电站预应力混凝土压力容器、安全壳和50000 t水压机预应力混凝土机架等的试验研究,并主要承担了大吨位高强钢丝束张拉锚固技术及若干应用问题的实验研究工作,内容包括: $\phi 5$ 、 $\phi 6$ mm 高强钢丝冷锥头工艺及大吨位预应力束锥头锚具的试验研究; 500 t级张拉千斤顶和650 t级测力设备的设计与试验; 大型钢丝束等长下料、编束、穿管、灌油等施工工艺的研究; 钢绞线束组合型锚具的试探性试验。同时,对大吨位钢丝束在工程结构应用中可能遇到的一些技术问题进行了研究,内容包括: 大吨位直线和曲线高强钢丝束应力均匀性、强度效率和极限延伸率等受力性能的研究; 曲线钢丝束在不同润滑材料和管道中摩擦应力损失的实验研究; 空间曲线束摩擦应力损失计算方法的研究; 大吨位预应力束锚固区混凝土局部承压强度和抗裂性的研究以及安全壳扶壁在预加应力过程中的受力分析与试验实测。

上述研究成果分两部分汇集成册,第一部分为张拉力为300~500 t 高强度钢丝束张拉锚固技术及施工工艺,第二部分为大吨位高强钢丝束受力性能、摩擦损失和锚固区混凝土局部承压强度的实验研究(见本院编辑出版的建筑科学研究报告1981N $\circ$ 29)。本册为第一部分。

大吨位高强钢丝束锥头锚具的试验研究

李继勤 执笔

通过对国外几种大吨位锚固体系优缺点的分析,考虑到锥头锚固体系有锚具尺寸小、锚固可靠和张拉锚固损失小等优点,我们在大吨位预应力束张拉锚固技术的研究中,选用锥头锚固方案,并根据工程需要进行极限拉断力600多吨的144根 $\phi 6$ mm 高强钢丝束锥头锚具试验研究。主要内容有 $\phi 6$ mm 高强钢丝锥头性能、锚具强度性能及钢丝束的力学性能等试验研究。

近年来, 国外随着大吨位预应力束的发展, 用于锚头锚固的钢丝向着大直径发展。大吨位锚头锚具锚固的钢丝数量多, 锚具的厚度大, 增大钢丝直径, 不但可以减少每束中钢丝数量, 而且可加大钻孔直径, 有利于锚具的制作。过去国产高强钢丝最大直径是5mm, 为了适应大吨位预应力高强钢丝束的发展, 1976年我们同天津钢厂协作, 试生产了一批直径6mm 高强钢丝, 其性能见表1。该钢丝所用原材料与 $\phi 5$ 高强钢丝相同, 初始直径8mm, 经冷拔两道而成, 强度为 $140 \sim 150 \text{ kg/mm}^2$, 延伸率大于或等于5%, 屈服强度($\sigma_{0.2}$)与极限强度之比一般大于85%。

$\phi 6\text{mm}$ 高强钢丝机械性能

表1

试件号	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (kg/mm^2)	极限强度 σ_B (kg/mm^2)	延伸率 (%)	弹性模量 (kg/cm^2)	$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_B}$
1	122	143	6	2.1×10^6	0.85
2	123	144	6	2.18×10^6	0.86
3	122	143	6.3	2.1×10^6	0.85
4	123	143	6	2.1×10^6	0.86
5	123	143	6	2.08×10^6	0.86
6	122	143	6	2.1×10^6	0.85
7	128	150	5.0	2.07×10^6	0.85
8	128	151	5.5	2.05×10^6	0.85
9	128	152	5.8	2.16×10^6	0.845

6mm 直径高强钢丝的锚头是利用 LD-10 型冷墩器进行的, LD-10 型冷墩器原设计为墩 $\phi 5\text{mm}$ 的钢丝, 为了适应墩 $\phi 6\text{mm}$ 的钢丝, 对夹片及锚头模进行了适当的修改。根据美国锚头经验, $\phi 6\text{mm}$ 高强钢丝的锚头与锚具锚孔接触部分做成平肩台(见图1b), 这种形式的锚头与图1a相比, 不易陷入锚孔内, 受力明确, 且锚具锚孔和锚头夹片加工也容易。同时

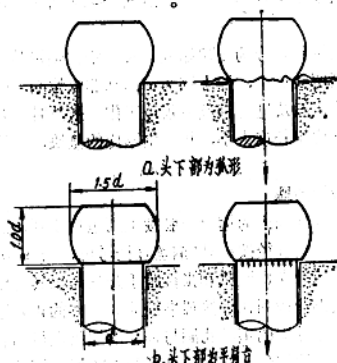


图1 钢丝锚头的头型

为了使锚头过程中不易产生歪头, 锚头模与钢丝接触部分作成球面。使头部受有约束, 减少偏歪。钢丝冷墩后, 头的扁平程度及头下部平台大小, 与锚头时压力大小有关, 墩压力大, 头就扁, 头的直径也大。各国对钢丝锚头的直径规定不一样, 一般为钢丝直径的1.4~1.8倍, 锚头高度为钢丝直径的0.6~1.0倍。对于 $\phi 6\text{mm}$ 钢丝, 为了得到合适的头形尺寸和锚头压力, 进行了不同墩压力对比试验, 部分试验结果见表2。

从试验结果看, 锚头压力过小, 锚头直径及其锚头下面承压面积也小, 易陷入锚孔内, 形成挤压

φ 6 mm 钢丝不同锚压力下锚头性能

表 2

试件组号	锚头油压 (kg/cm ²)	锚 头 力 (t)	锚头平均直径 (mm)	拉 断 力 (t)	拉断部位	锚头钢丝拉断力 钢丝拉断力
1	300	7.1	8.1	3.67~4.12	头部及根部	0.88~0.986
2	350	8.3	8.5	4.11~4.18	根 部	0.985~1.0
3	400	9.5	9.0	4.02~4.18	中 间	1.0
4	450	10.6	9.2	4.02~4.18	中 间	1.0

注：每组取 9 个试件。

等附加力，使钢丝断在头部及根部，强度及变形不能充分发挥；锚头压力大，锚头直径及锚头下面的承压面积也大，不易陷入锚孔内，受力明确，钢丝强度及变形均能充分发挥。但是锚头力过大，不但锚头易产生裂缝，而且头形过扁也影响钢丝强度。从锚压力对比试验看，锚头压力在 9.5~10.6 t 时，φ 6 mm 高强钢丝锚头的直径和高度分别为高强钢丝直径的 1.5~1.53 倍和 1.0~1.06 倍，钢丝强度及变形已能够充分发挥。

对于一定规格的钢丝，头形尺寸是很重要的。要达到一个合理的头形尺寸，就要有相应的夹片、锚头模及合适的锚头力。其次，钢丝锚头的性能与钢丝本身性能也有关，有些国家用于锚头钢丝的钢材含碳量都取同类钢丝含碳量的下限，我国目前还没有这方面的规定。

二、锚头锚具的构造、设计与制作

1. 锚头锚具的构造

锚头锚具的构造型式与所用管道和施工方法有一定关系，从国外的施工情况看，一般有如下的三种型式：一是先在工厂或工地将束预先编好锚好运往施工现场穿束张拉；另一种是先穿束后锚头，这样管道直径可减小，但管道两端要有一段较长的喇叭管，而且在工程上直接锚头，预应力束要来回拉几次，操作比较麻烦；第三种是采用软管，首先在工厂穿管、编束和锚头，卷成圆盘运往施工现场铺设，这样可减少施工现场工作量。这三种工艺所采用的锚具在构造上是有些区别。

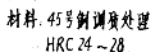
这次试验用的 144 根 φ 6 mm 高强钢丝束锚头锚具，分为张拉端锚具及非张拉端锚具（见图 2、图 3）。张拉之前，锚杯带着钢丝束穿过预留孔道后，拧上锚环锚固在非张拉端。张拉端锚具的外圈车有螺纹，与千斤顶的连接套连接，以及进行钢丝束张拉工作。张拉时千斤顶两个撑脚支撑在构件端部垫板上，张拉完后根据拉出长度大小，垫一定厚度的垫块，垫块由两个半圆环组成，插入锚具与垫板之间。

2. 144 根 φ 6 mm 高强钢丝束锚头锚具的设计步骤

(1) 钢丝的排列和锚杯直径的确定：锚头锚具锚固的钢丝一般按正六边形排列，这样排列便于保证钢丝之间等距。试验用锚头锚具，锚头直径按 1.5 倍钢丝直径考虑，为 9 mm，考虑锚头之间留 1 mm 间隙，钢丝间距取 10 mm，另外考虑灌浆和张拉时千斤顶与锚具对中及穿束等需要，中间设有直径 36 mm 的孔，第一层钢丝排列在外接圆半径为 30 mm 的正六边形周边上，共排 5 层，锚杯外径为 150 mm，为保证最外圈的钢丝孔洞与锚杯的螺纹底径间有一定厚度，以免产生穿通现象，所以去掉 6 个角顶端的钢丝，故实际排列为 144 根。钢丝强度按 150 kg/mm² 计算，束的极限拉断力可达 613 t。

(2) 锚杯高度的确定：锚杯高度应根据锚杯受力情况计算确定。锚杯受力情况比较复

解: 设 Δ 为 Δ 的角, 则



1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1033-1038.



杂, 整个受力过程中有弯、剪、挤压等作用, 但从试验结果来看主要由剪切破坏控制。因此, 对于试验用锚具, 锚杯高度可根据锚杯最外层钢丝锚孔之间截面的抗剪强度计算确定。考虑外层钢丝所产生的剪力不是全部由该截面承担, 所以外层钢丝所产生的剪力可近似考虑一半由该剪切面承担, 则该剪切面承担的剪力为钢丝总拉力减去最外层钢丝拉力之半。

(3) 锚环外径的确定: 锚头锚具的锚环在使用过程中支承在垫板或垫块上, 锚环的外径主要根据锚环和垫板之间的承压强度来确定。

(4) 锚环高度的确定: 锚头锚具的锚环一般与锚杯同高, 二者之间用普通三角螺纹连接, 因此应根据连接螺纹的抗弯和抗剪应力验算确定, 看其能否满足材料的相应强度指标。

(5) 张拉端锚具螺纹强度验算: 张拉端锚具用外螺纹与张拉千斤顶相连接, 这种螺纹不但要满足强度要求, 而且还要考虑与连接套旋合方便, 所以应选用梯形或矩形螺纹, 这次试验锚具选用非标准的矩形螺纹。张拉端锚具螺纹是在张拉过程中受力, 本锚具张拉力按 430 t 考虑, 锚具的螺纹部分在 430 t 张拉力下, 除应满足抗弯和抗剪的强度要求外, 还应验算螺纹的挤压应力, 以免挤压应力过高, 产生变形, 影响连接套的拧动。

3. 锚具制做

试验用的锚头锚具直径较大, 采用小直径的 45 号钢经锻造后进行加工。锚具有经过调质与不经调质处理两种, 调质处理的锚具, 硬度为 HRC 24~28, 机加工并不困难, 而锚具的强度性能比不经调质的有明显提高。

锚具钻孔是加工此种锚具的关键, 这种大吨位锚头锚具孔很深, 孔径及孔距又很小, 要保证钻孔质量, 必须制做专门模具或采用自控钻床, 试验用的锚具由于数量少, 采用了直径为 6.2mm 的加长钻头, 单面钻模一面钻通。从试验来看, 锚具加工质量基本上能满足使用要求。

三、锚具性能

锚头锚具的薄弱部位是沿最外层钢丝孔洞间的剪切面及锚杯与锚环连接的螺纹部位, 这些部位的应力目前尚无法进行测量。在张拉试验过程中, 在不同荷载情况下对锚杯的变形进行了观察和测量, 并拉到一定荷载后卸荷, 拧动锚具锚环看其螺纹有无咬死现象, 经多次束的张拉破坏试验可见, 在张拉力 555~575 t 情况下, 张拉端及非张拉端锚具的螺纹部分均能拧动。张拉试验完后, 将锚具卸下来, 在钳工平台上用百分表进行测量, 发现所有锚具都有一定的塑性变形, 其变形情况见图 4。由图 4 可见, 100mm 厚调质锚具的锚杯经受 555 t 张拉力后, 最大残余变形值为 0.32mm; 110mm 厚的未经调质处理的锚杯经受 575 t 张拉力后最大残余变形值为 1.02mm。由图 4 还可看出, 与锚头直接接触的锚具表面变形比较大, 因为上部接触部分应力集中, 塑性变形较大。另外可见, 调质锚杯比不调质锚杯变形小得多。

为了研究锚具的最大承载力和了解锚具的破坏部位, 在 1000 t 压力试验机上, 对不

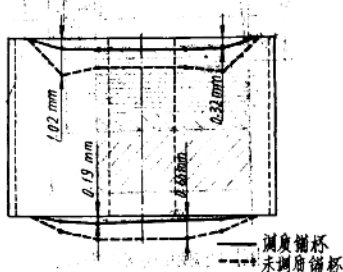


图 4 锚杯变形图

同厚度的锚具进行了压力试验。试验时,为了模拟实际受力情况,锚杯每个孔眼都放入一短段锚头钢丝,锚环下面垫以环形垫板。由于试验机吨位有限,为了能测出螺纹的强度,将锚杯拧出10~20mm,不同锚具的破坏吨位及按螺纹强度公式计算的应力见表3。由表3可见在同样的螺纹搭接高度90mm情况下,经过调质处理的锚具,其破坏吨位是未经过调质处理锚具的1.27倍。破坏时螺纹的计算弯曲应力,调质锚具平均为50.7kg/mm²,未经调质锚具平均为39kg/mm²。破坏时螺纹的计算剪应力,调质锚具平均为27.6kg/mm²,未调质锚具平均为22kg/mm²。可见调质处理之后锚具强度明显提高。

锚具强度试验情况 表3

序 号	锚具尺寸 直径×厚度 (mm)	热 处 理 情 况	破坏试验时 螺纹搭接长度 (mm)	破坏情况	破 坏 吨 位 (t)	按破坏吨位计算的应力 (kg/mm ²)	
1	230×110	调 质	90	螺纹陷下去 3 mm	946	49.5	26.8
2	230×100	"	"	螺纹陷下去 1~2mm	940	49.2	26.7
3	230×100	"	80	螺纹陷下去 5mm	920	53.5	29.3
4	230×110	未调质	90	螺纹陷下去 5mm	750	39.4	23.1
5	230×110	"	"	螺纹陷下去 5mm	740	38.8	21

从锚具强度试验来看,锚具最后破坏是连接螺纹部位达到流限,而沿钢丝外层孔眼之间的剪切面并未破坏。按束的计算拉伸吨位613 t计算,调质锚具的强度安全系数大于1.5,未调质锚具的强度安全系数大于1.2。

结 语

1. $\phi 6$ mm 高强钢丝是天津钢厂试制产品,强度 ≥ 140 kg/mm²,如果适当调整原材料含碳量和加大原材料直径,增加冷拔次数,提高强度,降低松弛值,这对大吨位锚头锚固预应力束的发展是有利的,可以减少束的钢丝数量,加大锚具钻孔直径,有利于锚具制做。

2. $\phi 6$ mm 高强钢丝的锚头性能较好,通过试验锚头力在9.5~10.6 t时,锚头钢丝基本断在母材,能保证钢丝强度充分发挥。

3. 通过锚具对比试验,说明采用45号钢制做的锚具,经过调质处理,强度及变形大大改善,加工也不困难,锚具高度可比不调质者减小。

4. 关于锚具的内力计算,由于锚固吨位较大,锚具很厚,直径与厚度之比为两倍多,按弹性薄板理论计算不符合。因此作为试验用锚具,可以通过计算锚杯最外圈抗剪面强度来确定锚具高度,然后再验算锚具螺纹部分的抗剪、抗弯等强度。锚具锚环的外径可以通过锚环与垫板的承压强度计算确定。锚头锚具受力较复杂,完全通过计算确定有一定困难,应通过试验最后确定。锚头锚具与其他锚具一样,为了保证钢丝束强度的充分发挥,应有一定的强度储备。

直径 5mm 预应力高强钢丝锚头工艺研究

陈 中 执笔

为了保证锚头锚固的质量,我们对 $\phi 5$ mm 高强度钢丝的冷锚工艺进行了系统的研究。试验中所选用的钢丝为天津钢厂生产,其出厂日期、炉号、批号和强度都不相同,共十一盘,均为合格品。用大连拉伸机厂1977年试生产的 LD-10 型液压冷锚器试锚试件1655个,在万能材料试验机上进行试验。试验中,当试件同时满足抗拉强度不小于 16000 kg/cm²、延伸率不小于 4 %时,判为合格,否则为不合格。

一、钢丝下料方法的影响

钢丝下料常用剪切或砂轮锯锯切,用平剪刀下料时端部不平,高低相差 1~2 mm,用圆弧凹口剪刀或锯切的端部较平整,高低差不到 0.8 mm,由于我们没有圆弧凹口剪刀和砂轮锯,所以把平口剪刀剪切下料的端部磨平进行对比,试验情况见表 1。

下料方法对锚头强度的影响

表 1

下料情况	拉断情况	锚 头 油 压 kg/cm ²					
		250~290	300~330	335~360	365~380	400	450
剪切下料	合格(根)	1	0	1	0		
	不合格(根)	34	30	36	20		
	合格率(%)	3	0	3	0		
剪后磨平	合格(根)		43	80	23	6	27
	不合格(根)		27	20	16	4	7
	合格率(%)		61	80	59	60	79

锚头留量 9 mm,其他条件相同。

端部不平不但使锚头歪斜,还会使实际预留长度减小,造成锚头尺寸不足,试件大部断在锚头根部,合格率极低。仅把端部平整情况加以改善,合格率就大为提高。

二、锚头预留长度的影响

锚头预留长度是锚头器夹片已经夹紧钢丝而尚未开始锚头时,夹片和锚头模之间钢丝的长度。

表 2 中列举了锚头留量为 9 和 10 mm 的试验情况。从表 2 可以看出,锚头留量增加到 10 mm 后,合格率大大提高,最高可达 93%。但是,当我们制作预留长度为 11.5 mm 的试件时,锚头失稳严重,形状不对称,合格率又降到 10% 以下。这说明,在目前加工精度条件下,锚头留量以 10 mm 为宜。

预留长度对锚头强度的影响

表2

锚头留量 (mm)	拉断情况	锚 头 油 压 (kg/cm ²)					
		200~250	300	320~345	350~380	400	450
9	合 格 (根)	0	3	108	59	6	27
	不合格 (根)	10	2	38	36	4	7
	合格率 (%)	0	60	75	61	60	79
10	合 格 (根)		19	192	64	19	23
	不合格 (根)		6	14	8	6	4
	合格率 (%)		76	93	89	76	92

三、锚具锚孔形状、尺寸的影响

在进行上述两项试验时,热轧46号炭钢制成的锚具锚孔表面被压陷的情况比较严重,每次试验前必须除去压塌下来的一圈金属,将锚孔直径复原后钢丝方可穿入锚具,每次试验时,需将锚头根部、夹片间隙所形成的三个肋状体放在上次试验形成的三条压痕内,试验合格率

锚孔端面形状对锚头强度的影响

表3

钻头直径	锚 孔 尺 寸 (mm)	拉断情况	锚 头 油 压 (kg/cm ²)					
			250~270	290~300	335	360	400	450
5.2*		合 格 (根)	20	9	10	5	10	10
		不合格 (根)	20	6	0	0	0	0
		合格率 (%)	50	60	100	100	100	100
		合 格 (根)	23	5	5	5	5	5
		不合格 (根)	10	0	0	0	0	0
		合格率 (%)	70	100	100	100	100	100
		合 格 (根)	26	10	15	13	15	5
		不合格 (根)	0	1	0	0	1	0
		合格率 (%)	100	96	100	100	93	100
5.3**		合 格 (根)		18	29	29	29	
		不合格 (根)		2	2	1	2	
		合格率 (%)		90	94	97	94	
		合 格 (根)		18	20	20	20	
		不合格 (根)		4	0	0	0	
		合格率 (%)		82	100	100	100	

注: *钢丝极限强度 $\sigma_b = 16000 \sim 17000$ kg/cm²;

**钢丝极限强度 $\sigma_b = 17000 \sim 18000$ kg/cm²。

才能提高,否则合格率很低,这说明锚具表面情况影响了试验结果,锚具不经修复不能重复使用,也说明应对锚孔端面形状进行研究。试验结果见表3。

表3中,用 $\phi 5.3\text{mm}$ 钻头钻成的孔不易卡住钢丝,但锚头油压要求高,端部要倒角,小钻孔对锚头油压要求不严。综合考虑,我们认为使用 $\phi 5.3\text{mm}$ 钻头打孔,然后加工深 0.5mm 120° 的倒角是有利的。

四、各种钢丝与锚头油压、锚头最大直径的关系

锚头操作常以油压为依据,质量检验中除做拉断试件检验外,工件仅做外观检验。试验中,逐个测量锚头球体的最大直径将它和锚头油压建立一定关系,进行合格率统计,具有实践意义。其结果见表4。

锚头油压与锚头直径的关系

表4

钢 丝 极 限 强 度 (kg/cm ²)	锚 头 油 压 (kg/cm ²)	锚 头 最 大 直 径 (mm)												拉断情况		
		7.40	7.40~7.45	7.45~7.50	7.50~7.55	7.55~7.60	7.60~7.65	7.65~7.70	7.70~7.75	7.75~7.80	7.80~7.85	7.85~7.90	7.90~7.95	7.95	合 格 (根)	不 合 格 (根)
16000~17000	300	0	0	2	13	7	19	1	0	0	0	0	0	17	1	94
	335	0	0	0	0	0	2	6	31	1	0	0	0	10	0	100
	360	0	0	0	0	0	0	2	13	24	3	0	0	15	0	100
	400	0	0	0	0	0	0	0	0	5	30	6	1	13	1	93
17000~18000	300	0	9	12	13	0	0	0	0	0	0	0	0	18	4	82
	335	0	0	0	5	7	19	0	0	0	0	0	0	20	0	100
	360	0	0	0	2	1	10	11	26	1	0	0	0	20	0	100
	400	0	0	0	0	0	0	2	20	12	7	0	0	20	0	100
18000~19000	370	0	2	4	1	2	0	1	0	0	0	0	0	10	0	
	400~410	0	1	2	2	6	4	2	0	0	0	0	0	17	3	85
	430	0	0	0	0	0	3	13	8	1	0	0	0	29	1	97
	450	0	0	0	0	0	1	1	5	2	1	0	0	16	0	100

注:拉断试验的试件是从统计过锚头最大直径的试件中任取10~30支试样,故总数不相等。

由表4可知:(1)锚头最大直径随油压上升而增大,增大到某一数值后,合格率可达100%;(2)强度不同的钢丝为达到100%合格率所需条件不同。极限强度为16000~18000 kg/cm^2 的钢丝需锚头油压不小于335 kg/cm^2 ,锚头最大直径不小于7.50mm;极限强度为18000~19000 kg/cm^2 的钢丝锚头油压450 kg/cm^2 ,锚头最大直径不小于7.62mm时,合格率达100%。

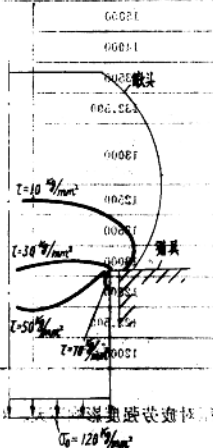
观察试件形状可发现,合格试件的形状对称性好,这造成了试件中心受拉的良好条件。

但是,提高锚头油压、增大锚头直径并不是提高合格率的唯一方法,我们曾以335 kg/cm^2 的锚头油压制作了6个母材强度为19600 kg/cm^2 的试件,改用硬度为HRC 40的锚具进行试验,结果完全合格。说明高硬度锚具对于提高合格率是有利的。

五、锚头裂缝的影响

试验中, 仅有一盘钢丝锚头后裂缝较少, 其余十盘钢丝锚头表面均有裂缝。裂缝产生于不和锚头模、夹片接触的部位, 裂缝的数量和宽度, 随锚头油压的增大而增加。但是, 和锚具接触部位的地方裂缝很少。

观察试件断口可知, 所有合格试件和绝大多数不合格试件断在钢丝上, 极少数不合格试件断在锚头根部, 断口呈球冠状, 稍稍地凸向锚头。用电算机计算了无裂缝锚头受力情况如右图。由图可见锚头和钢丝交界处有应力集中, 其余部份应力较小, 因此, 可以允许有一定的裂缝。但是, 交叉的或贯通球体的裂缝必将大大改变锚头受力情况, 是不能允许的。



六、其他影响

试验中多次变化锚头油压加压速度和最大油压停留时间, 未发现试件受拉性能的变化。

对已有锚头的钢丝进行第二次锚头时, 若新锚头对称性不好, 则抗拉强度低。

锚头器的锚头模和夹片不对中、夹片表面压坏(崩裂或挤伤)会使锚头歪斜; 夹片齿部分过锋利会咬伤钢丝, 这些都可能影响质量。

七、疲劳性能试验

本试验在高频疲劳试验机上进行。由于荷载小, 电网电压波动大, 试验中荷载波动较大, 对试验结果有一定影响。试件断口都位于锚头和钢丝交界处, 疲劳核心在夹片间隙形成的肋状体附近, 疲劳核心的面积远小于母材试件的疲劳核心面积。试验结果列于表5, 为了便于比较, 母材试验结果列于表6。由表5可知静力强度低的钢丝锚头疲劳强度高, 锚头油

锚头钢丝的疲劳性能

表5

钢丝极限强度 σ_b (kg/cm ²)	锚头油压 (kg/cm ²)	最大应力 σ_{max} (kg/cm ²)	最小应力 σ_{min} (kg/cm ²)	疲劳寿命 N (×10 ⁴ 次)	疲劳断口位置
16000~17000	335	13900	10000	10.3, 8.3	根部
		12000	9600	7.8	根部
		12000	9600	24.1, 42.6	根部
		11600	9600	69.1, 230.7, 49.5, 60.5, 85.3	根部
	360	11100	9600	221.8	未断
17000~18000	335	11100	9600	304.8, 200.0	未断
		11100	9600	320.3, 230.0	根部
				87.1, 114.8, 91.4	根部

钢 丝 母 材 的 疲 劳 性 能

表 6

最大应力 σ_{max} (kg/cm ²)	最小应力 σ_{min} (kg/cm ²)	疲劳次数 N ($\times 10^4$ 次)	断 口 位 置
15000	10000	13.7	夹 头
14000		24.9, 22.3	夹 头
13500		83.3	中 间
132.500		181.2, 124.3	夹 头
13000		117.0	夹 头
		271.8	中 间
12500		399.6	未 断
13500	9000	156.4	中 间
13000		224.8	中 间
12500		31.4	夹 头
122.500		105.2, 183.6	夹 头
12000		226.6, 207.5	夹 头

压对疲劳强度影响不大。对比表 5 和表 6，可知锻头后疲劳强度低得多。

八、结 语

本次试验说明，国产钢丝都可以形成和母材等强的锻头；用 LD-10 型锻头器锻头配正火态 45 号炭素钢的锚具、锻头条件见表 7。

锻头器锻头条件

表 7

母 材 抗 拉 强 度 (kg/cm ²)	锻 头 最 大 直 径 不小于 (mm)	锻 头 油 压 不小于 (kg/cm ²)
16,000~18,000	7.50	335
18,000~19,000	7.65	450

为保证锻头和母材等强，尚应满足下列条件：（1）用圆弧形刀口的剪刀或砂轮锯下料，保证端面高低差不超过 1 mm；（2）锻头器的锻头模和夹片同心度允差 0.1 mm，锻头模圆凹槽直径不小于 7.65 mm，锻头预留长度 10 ± 0.2 mm；（3）不允许交叉、贯通裂缝存在；（4）二次锻头后，外形要对称；（5）经常抽查锻头外形，防止由于夹片损伤连续出现不合格的锻头。

YL-500 型 千斤顶 试制总结

丁方儒 执笔

根据某工程需要, 1975年5月由建研院结构所、大连拉伸机厂及清华大学试制组派员组成研制小组开始研制张拉力为500 t 的预应力千斤顶, 同年年底完成千斤顶的初步设计, 1977年5月试制出两台样机。经过试验、试用, 证明千斤顶的性能良好, 达到设计要求, 可以进行批量生产。

一、主要技术指标

根据工程要求, 千斤顶的主要技术指标确定如下:

- (一) 额定张拉力取钢丝绳束张拉吨位的1.25倍, 即500t。
- (二) 千斤顶的张拉行程按本工程需要为180 mm, 为扩大使用范围并考虑构造上的合理性, 加大到320 mm。
- (三) 已知锚具外径为230 mm, 按此估计千斤顶各主要零件的尺寸为, 连接套外径309 mm, 两个撑脚净距320 mm, 相应的结构垫板最小尺寸约需460×460 mm, 要求千斤顶液压油缸外径不大于460 mm。

(四) 千斤顶主要在垂直状态下工作, 有时也需在倾斜状态下工作, 为扩大使用范围设计时应考虑能水平或倒立使用。

(五) 千斤顶自重较大, 各滑动面之间的摩阻力也较大, 因此必须采用液压回程, 回程速度应尽可能大, 但回程油压不宜过高。

(六) 现有预应力油泵的额定油压最大为500 kg/cm², 其它如油管、密封圈等液压元件都在400 kg/cm²左右, 为在稳妥可靠的基础上能有所提高, 千斤顶的额定油压选用450 kg/cm², 回程油压由构造决定约100 kg/cm²左右。

二、方案比较

初步设计时作了五种方案进行比较, 如图1所示。其中1-a为单缸拉杆式, 1-b为并联缸拉杆式, 1-c为串联缸拉杆式, 1-d为单缸穿心式, 1-e为并联缸穿心式。

五种方案中按张拉杆形式来区分, 可

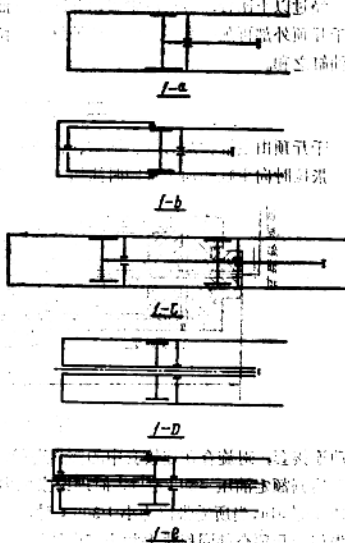


图1 五种方案比较

分为穿心与不穿心（即拉杆式）两类，按油缸构造则可分为单缸和复合缸两类，复合油缸又可分为并联复合油缸和串联复合油缸两种。

（一）穿心与不穿心的比较。按照拟定的工艺方案，千斤顶与锚具之间用螺纹连接。采用穿心式千斤顶时，可先把张拉杆与锚具旋合再穿入油缸进行张拉，这种把千斤顶分成两体逐步按装的方法比不能分离的拉杆式千斤顶方便省力。但是500 t千斤顶张拉杆自重约300 kg，不论分成二体或整台千斤顶一起进行连接，都必须由吊装设备来完成，在这种情况下，上述优点已无明显作用。另外，从构造上考虑，穿心式千斤顶要增加一个细长的穿心套，设备的径向尺寸要加大，零件数量增多，加工也比较困难，相比之下采用拉杆式千斤顶比较合适。

（二）单缸和复合缸的选择。单缸千斤顶只有一个工作油缸，结构简单，工作可靠，尺寸精度要求低，加工也比较方便。国内所生产的中、小吨位千斤顶全部是单缸的，设计和制造都有一定经验，在此基础上试制大吨位千斤顶把握性较大。但是根据千斤顶油缸外径不大于460 mm的要求，当额定油压450 kg/cm²时只能采用复合油缸。此外，当时已经定货的缸体材料壁厚无缝钢管外径尺寸较小，不能满足单缸方案的需要，因此决定采用复合油缸。

（三）串联或并联复合油缸的选择。经初步估计，串联式复合油缸千斤顶的轴向长度达2.5 m左右，轴向尺寸过长使用按装不方便。从制造方面考虑，如果把前后两个缸体做成整体，深孔加工十分困难，做成装配结构，同心度不易保证。串联油缸的外径虽然可以缩小，但撑脚部位的尺寸还要受到锚具和连接套的限制，不能相应减小，因此这个方案实际上没有很大意义。

经过以上比较，最后决定采用并联复合油缸拉杆式方案，即图2所示。这是在单缸拉杆式千斤顶外部再加一个并联的张拉油缸，张拉时使两个油缸同时工作，千斤顶的张拉力为两个油缸之和。

三、千斤顶的构造

千斤顶由主缸、加力缸、活塞、张拉杆、连接套和支架等主要零部件组成，如图2所示。张拉时向主缸和加力缸同时注压油，液压力通过主缸法兰盖和加力缸活塞传到张拉杆

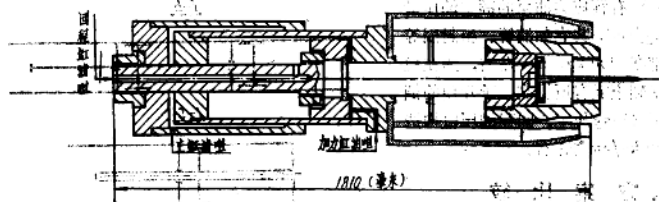


图2 YL-500型千斤顶构造图

带动连接套，对旋合在连接套中的锚具进行张拉。主缸有效液压面积801 cm²，加力缸334 cm²，达到额定油压450 kg/cm²时理论张拉力520 t，配用目前常用预应力油泵供油时张拉速度12 mm/min，当所需张拉力小于500 t时，可只用主缸进行张拉，最大速度约16 mm/min。此时要先使千斤顶全部回程排去加力缸中油液，拆去加力缸油管，并拧上防尘螺母，张拉过程中使外界空气通过防尘螺母进入加力缸，以免造成真空。