

钢索接头拉结工艺

于延年編

張修春校

(內部資料 注意保存)



國防工業出版社

T6

鋼索接头拉結工艺

于延年編

張修春校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

850×1168 $1/32$ 印張 $5/8$ 16 千字

1965年5月第一版 1965年5月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

統一書号：N15034·(活)-36 定价：(科六) 0.13 元



T43
03681N±1: TG
8
01

一、概 述

为满足产品操纵系统结构上的要求，部分采用着带接头的钢

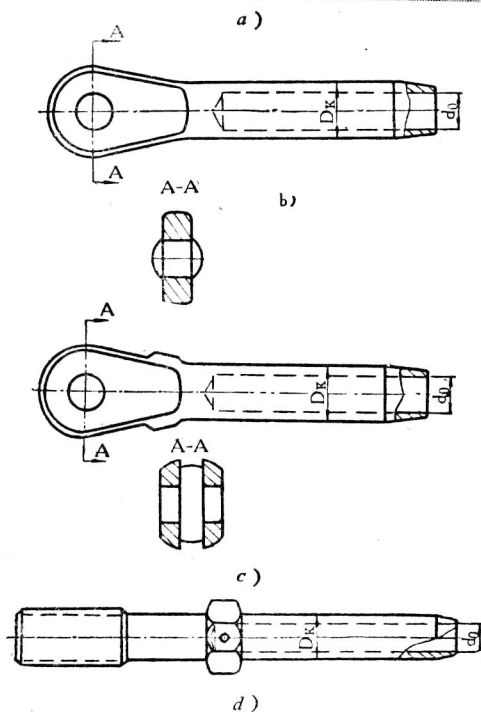
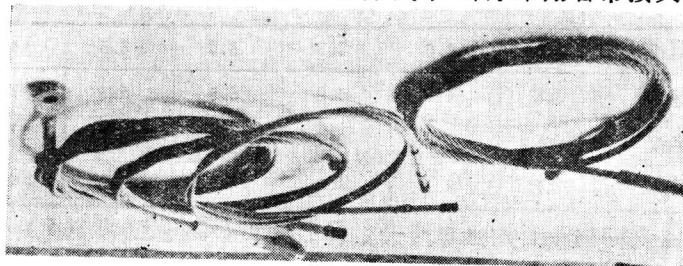


图1 接头的类型：

a—钢索接头；*b*—耳型；*c*—叉型；*d*—带螺纹的。

索进行操纵。常用的鋼索直径为 1.8~4 毫米,鋼索与被操纵的构件通过不同型式的接头相连。接头的型式有耳型,叉型及带螺纹的三种类型。接头的尺寸是标准的。

与拉結有关的各类型接头的主要尺寸,如表 1 所示。

表 1 各种接头的主要尺寸

鋼索直径 d	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
D_{KC4}	3.8	4.2	4.8	5.5	6.5	7.5
$d_{0.44}$	1.9	2.3	2.7	3.3	3.7	4.5
D_k	3.2	3.5	4.0	4.5	5.5	6.2

注: D_k ——拉結后接头直径。

鋼索与接头之間的連結,过去在生产車間里采用的是压結的方法;即在敞开的压模里,进行多次压缩,使接头金属挤入鋼索縫隙之内,以达到連結的目的。采用压結的方法,对大多数鋼索接头,滿足不了技术条件的要求。在結合强度試驗时,經常发生鋼索从接头里抽出及接头压結部分被拉断的現象。廢品率最高能达到 10% 左右。压結质量不高的原因有以下几方面:

1. 压缩量与压缩次数

(1) 当压缩量一定时,压缩次数少,尺寸达不到要求,而压缩次数增多时,又会使接头过多承受交变应力,使材料性质变坏;

(2) 增加压缩量时,压缩次数可以减少,会使接头内鋼索压碎。因此,压缩量与压缩次数之間的正确关系,必須由有經驗的老工人来調整。

2. 变形情况

(1) 压模内部的接头金属,受不均匀压应力(參閱图 2),最大变形是沿軸向方向;

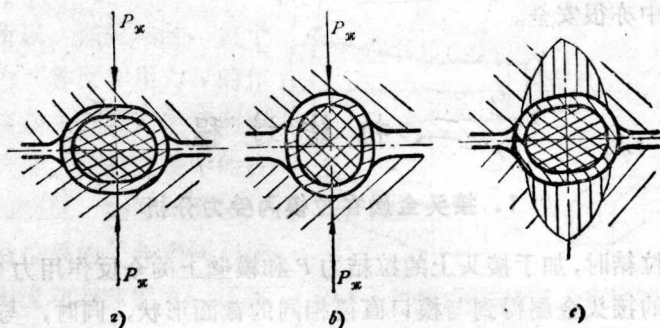


图2 接头金属在压模内受力情况：

a —第一次压缩； b —轉 90° 后压缩； c —压力分布情况。

(2) 靠近压模分离面处的接头金属，因受压模圆角間隙的影响，金属向該方向流动，在每次压缩之后，接头在模内将成为椭圆形状。

采用拉結工艺方法有以下主要优点：

(1) 接头金属在拉模内受的是封闭的、均匀徑向压应力 σ_r ，代替了压缩过程中接头金属受交变不均匀的应变情形（见图3），它有利于接头金属挤入鋼索縫隙之内，提高了鋼索与接头之間的結合强度。試驗結果表明，采用拉結方法制造的鋼索接头，都超过了規定的結合强度，根本消灭了廢品；

(2) 拉結的质量，主要取决于拉模的加工质量（工作部分的表面光洁度和精度）和几何形状的选择，因而，对操作工人技术水平要求不高。拉結接头表面光洁度、尺寸精度、結合强度等都比较稳定；

(3) 成批生产时，拉結方法的生产效率高于压結方法（大約1~1.5倍左右），同时，操作

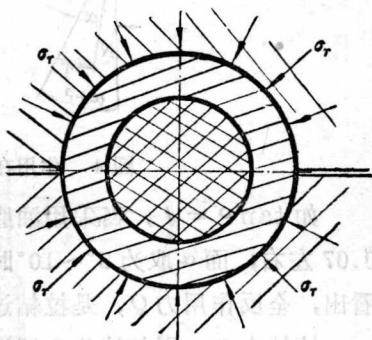


图3 拉結时，接头横截面在拉模内受力情况。

过程中亦很安全。

二、拉 結 过 程

1. 接头金属在拉模内受力分析

拉結时,加于接头上的拉結力 P 和模壁上的全反作用力 Q ,使拉結的接头金属得到与模口直径相同的截面形状,同时,与拉伸系数成比例地使接头金属伸长。与拉模工作表面垂直方向成摩擦角 ρ 的全反作用力 Q 和拉結力 P 的关系,可用下式表示 (图 4):

$$P = Q \sin(\alpha + \rho) \quad \text{或} \quad Q = \frac{P}{\sin(\alpha + \rho)}$$

式中 α ——拉模变形带的錐半角。

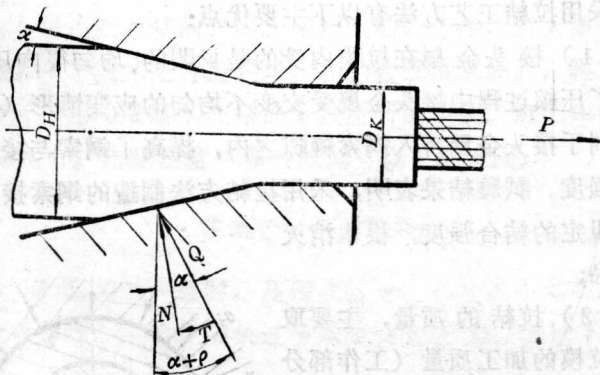


图 4 作用在接头上的力。

如 $\tan \rho = f$, 当采用油脂潤滑剂时, 摩擦系数 $f = 0.05 \sim 0.07$ 左右; 而 α 取为 $5^\circ \sim 10^\circ$ 时, 则 $Q \approx (5 \sim 10) P$ 。由此可以看出, 全反作用力 Q , 是拉結过程中接头金属主要的变形力。

拉結力 P , 引起接头金属沿軸向的主拉应力 σ_x ; 限制接头金属流动的反作用力 N 与拉模的工作表面垂直, 并使变形金属产生沿徑向的主压应力 σ_r 及切向的主压应力 σ_t ($\sigma_r = \sigma_t$)。

所以，在拉結时，由于拉結力 P 和反作用力 N 的作用，使接头金属产生三向应力与应变。拉結过程中的应力分布情况，如图 5 所示。

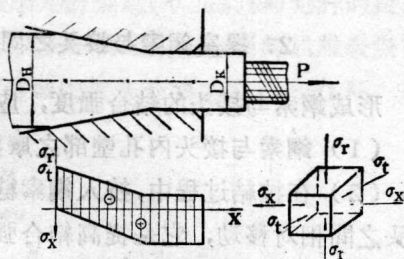


图 5 拉結过程中应力分布情况。

沿拉模的工作表面与接头金属流动方向相反的摩擦

力 T ，使接头金属产生附加切变形，即金属晶粒軸偏轉而与拉力軸綫成一定角度。偏轉的角度大小，与拉模的变形带錐半角 α 和变形带的长度大小有关。一般說来，离开拉力軸綫愈远的那层金属的晶粒偏轉愈大，靠近拉力軸綫的金属晶粒，几乎不产生偏轉。拉結时的切变情况，如图 6 所示。

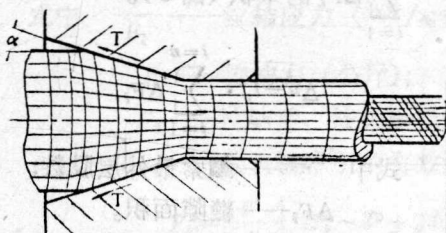


图 6 拉結时的切变情况。

拉結过程中，变形区域内的接头金属各点的应力是变化的。各力在变形区域内对接头金属的微小变形体上的作用情况，如图 7 所示。

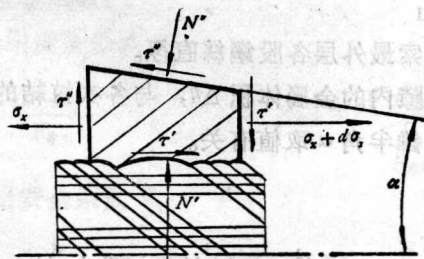


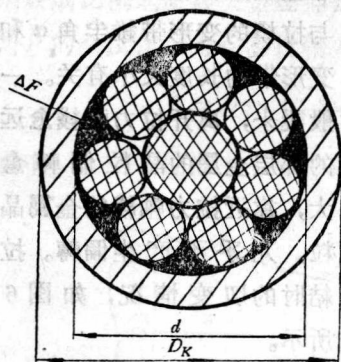
图 7 微小变形体上的受力情况。

2. 提高鋼索与接头之間結合强度的原因

形成鋼索与接头的結合强度，应包括如下两个方面：

- (1) 鋼索与接头內孔壁部之摩擦力；
- (2) 在拉結过程中，挤入鋼索縫隙之內的金属，阻止鋼索与接头之間相对移动，它是提高結合强度的主要因素。

拉結时，挤入鋼索縫隙之內的金属体积 Δu ，可由变形体体积不变定律求得。它应等于拉結后的长度 l_k 与鋼索縫隙面积总和



$\sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_i$ 的乘积 (图 8)。

$$\Delta u = l_k \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_i,$$

式中 n —— 鋼索最外层股数；

ΔF_i —— 縫隙面积。

假設鋼索直徑 d 在拉結过程

图 8 拉結时，接头金属挤入鋼索縫隙的情况。

中保持不变，則 $\sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_i$ 可用下式表示：

$$\sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_i = \frac{\pi}{4} q^2 \left[\frac{2d}{q} - \left(1 + \frac{n}{2} \right) \right], \quad (1)$$

式中 q —— 鋼索最外层各股鋼絲直徑。

挤入鋼索縫隙內的金属体积 Δu ，与各次拉結的拉伸系数 μ_i ，以及拉模变形帶錐半角 α 取值有关。

三、拉結过程的必要条件

1. 順利实现拉結过程的必要条件是：拉結的应力，必須小

于接头金属被牵引部分的最小允许强度 $[\sigma]_{\text{牵引}}$ (即允许的拉、压、剪切等强度中的最小一个), 以及出模处接头金属的屈服极限强度 σ_s ; 同时, 应大于拉模变形区域内接头金属的变形抗力 K_f , 即满足下列不等式:

$$\frac{P}{F_{\text{牵引}}} < [\sigma]_{\text{牵引}}; \quad (2)$$

$$\frac{P}{F_k} < \sigma_s; \quad (3)$$

$$\frac{P}{F_k} > K_f, \quad (4)$$

式中 $\frac{P}{F_k}$ ——拉结应力 (公斤/毫米²);

P ——拉结力 (公斤);

F_k ——拉结后, 接头金属横截面面积 (毫米²);

$F_{\text{牵引}}$ ——接头被牵引的有效面积 (毫米²).

$$F_k = \frac{\pi}{4} \left[D_k^2 - d^2 + 2dq - q^2 \left(1 + \frac{n}{2} \right) \right], \quad (5)$$

式中 D_k ——拉结后接头外径 (毫米).

出模处的接头金属的屈服极限强度 σ_s , 随变形程度的不同而异。一般來說, 在拉结后趋近于抗拉极限强度 σ_B 。接头金属牵引部分的最小允许强度 $[\sigma]_{\text{牵引}}$, 视牵引方式确定。

2. 为使接头金属不被拉断, 接头被牵引部分不受损坏, 应考虑以下两个安全系数。

(1) 牵引安全系数 $K_{\text{牵引}}$

$$\frac{P}{F_{\text{牵引}}} = \frac{[\sigma]_{\text{牵引}}}{K_{\text{牵引}}} \quad \text{或} \quad K_{\text{牵引}} = \frac{[\sigma]_{\text{牵引}}}{\frac{P}{F_{\text{牵引}}}}; \quad (6)$$

(2) 拉结安全系数 K_p

$$\frac{P}{F_k} = \frac{\sigma_s}{K_p} \quad \text{或} \quad K_p = \frac{\sigma_s}{\frac{P}{F_k}}. \quad (7)$$

在实际拉結的条件下，接头被牵引部分的破坏力 P_p (应视为因牵引所产生变形时的力)，一般都小于出模处接头金属横截面 F_k 上所能承受的屈服力 P_s ，即 $P_p < P_s$ 。

$$P_p = \sigma_{\text{牵引}} \cdot F_{\text{牵引}} \text{ (公斤);}$$

$$P_s = F_k \cdot \sigma_s \text{ (公斤),}$$

式中 $\sigma_{\text{牵引}}$ ——被牵引部位的实际应力 (公斤/毫米²)。

所以，为顺利地实现拉結过程，保证被牵引部分不受损坏，则是主要要考虑的因素。

安全系数 $K_{\text{牵引}}$ 、 K_p ，一般可根据以下情况选取：

(1) 拉結力计算公式中各参数选用是否适当与准确，以及公式的准确精度；

(2) 金属变形后的材料性质变化情况，冷硬现象是否严重，变形是否均匀；

(3) 拉結时，潤滑情况是否正常，拉結速度是否过快，牵引的方式等等。

通常，采用的拉伸系数小于 1.4 时， $K_p = 1.2 \sim 1.4$ ， $K_{\text{牵引}} = 1.1 \sim 1.3$ 。

四、关于拉結力的計算

关于鋼索接头拉結过程中的拉結力計算，現在还没有可靠的計算方法。下面介绍的計算方法，仅是近似的，可作为初步計算，或在沒有經驗的情况下，做为选取拉結次数及采用拉結设备的参考。

假定，鋼索在拉結过程中不变形，且不计入鋼索与接头內孔的摩擦損耗，則拉結力 P 应消耗在以下几个方面：

(1) 变形区域内接头金属的塑性变形力 P_m ；

(2) 克服阻止金属塑流的摩擦力 P_u ；

(3) 由于拉模工作表面的摩擦力作用,使金属产生不均匀的剪切变形所需的力 P_h 。

同时,也不計拉模定徑带的表面摩擦力的影响,則拉結力应为上述各力之总和。即,

$$P = P_m + P_\mu + P_h \text{ (公斤)}.$$

1. 上述各力之計算

(1) 塑性变形力 P_m (參閱图 9)

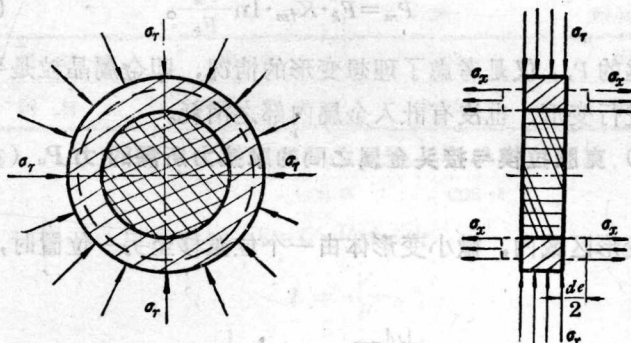


图 9 拉結时, 接头金属薄片的变形及应力情况。

取变形区域内一微小变形体, 厚度为 l , 截面积为 F 的薄片, 在徑向应力 σ_r 及軸向拉应力 σ_x 的作用下, 横截面面积縮小为 dF , 軸向伸长 Δl , 則变形体所需的微功 dA_m , 应等于变形体体积的变形功。即:

$$dA_m = l dF \sigma_r + dl \cdot F \sigma_x. \quad (8)$$

由变形体 V 的体积在变形前后相等的条件得:

$$F_h \cdot l_h = l_k \cdot F_k = V,$$

所以

$$l \cdot dF = dl \cdot F = V \cdot \frac{dF}{F}. \quad (9)$$

按塑性体最大剪应力理論, 其塑性变形条件为:

$$\sigma_x - \sigma_r = K_f. \quad (10)$$

将(9)、(10)式代入(8)式, 并整理后得:

$$dA_m = V \cdot \frac{dF}{F} \cdot K_{fm} \quad (11)$$

在实际拉結过程中， K_f 是随变形程度而变化的，为简化及計算方便起见，取其变形前后的平均值 K_{fm} ，所以将 (11) 式积分后得：

$$A_m = \int_{F_k}^{F_h} V \cdot \frac{dF}{F} \cdot K_{fm} = V \cdot K_{fm} \cdot \ln \frac{F_h}{F_k},$$

而

$$A_m = P_m \cdot l_k; \quad V = F_k \cdot l_k,$$

所以

$$P_m = F_k \cdot K_{fm} \cdot \ln \frac{F_h}{F_k} \quad (12)$$

上述的 P_m ，仅是考虑了理想变形的情况，即金属晶粒是平行六面体进行变形，也没有計入金属内部之消耗。

(2) 克服拉模与接头金属之间的摩擦力所需的力 P_μ (参阅图 10)

若变形区域内，微小变形体由一个位置移至另一位置时，则

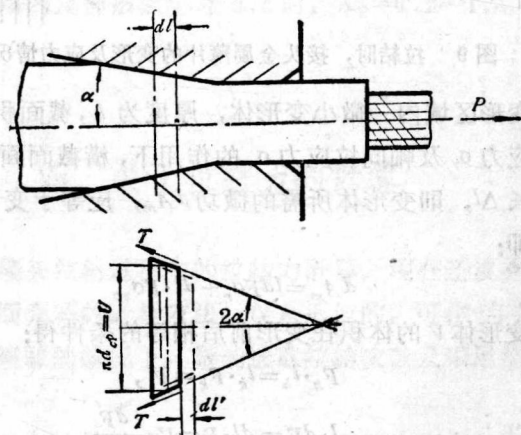


图10 拉結时，微小变形体的受力情况。

克服摩擦所消耗之微功，应等于微小变形体表面上的摩擦力 T 在軸綫方向的投影与移动距离 dl 在該軸上投影的乘积。

$$dA_{\mu} = \frac{T}{\cos \alpha} \cdot \frac{dl}{\cos \alpha}; \quad (13)$$

式中 $T = U \cdot l \cdot K_{tm}$;

U —— 微小变形体平均之周长;

l —— 微小变形体厚度;

f —— 拉模与接头金属表面之间的摩擦系数 (见表 2)。

表 2 摩擦系数 f 值

材 料		拉 模 材 料	
		鋼	硬质合金
鋼 材	軟 化	0.07	0.06
鋼 材	硬 化	0.06	0.05

所以
$$dA_{\mu} = \frac{U \cdot l \cdot K_{tm} \cdot f}{\cos \alpha} \cdot \frac{dl}{\cos \alpha} \circ \quad (14)$$

而
$$dF = U \cdot dl \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (15)$$

$$l = \frac{V}{F} \circ \quad (16)$$

将 (15)、(16) 式代入 (14) 式后, 积分得:

$$\begin{aligned} A_{\mu} &= \int_{F_k}^{F_h} V \cdot K_{tm} \cdot \frac{f}{\sin \alpha \cos \alpha} \cdot \frac{dF}{F} \\ &= V \cdot K_{tm} \cdot \frac{f}{\alpha} \ln \frac{F_h}{F_k} \circ \end{aligned} \quad (17)$$

当 α 很小时, $\sin \alpha \cdot \cos \alpha \approx \alpha$,

而
$$P_{\mu} \cdot l_k = A_{\mu}; \quad F_k \cdot l_k = V,$$

所以
$$P_{\mu} = F_k \cdot K_{tm} \cdot \frac{f}{\alpha} \cdot \ln \frac{F_h}{F_k} \circ \quad (18)$$

由上式可以看出, 摩擦消耗的力与塑性变形消耗的力成正比, 和模子角度成反比。

(3) 由于摩擦力作用所产生的不均匀附加剪变形所需的力 P_{μ}

由上述情况可以看出, 附加变形所需的力与拉模锥半角 α 大

小成正比。但对于鋼索接头拉結的实际情况来看，則消耗在切变形的功，仅是接头金属部分。根据考尔布尔、易庆格尔研究的結果，这部分所消耗的力 P_h ，由下式表示：

$$P_h = \frac{4}{3 \cdot \sqrt{3}} F_k \cdot K_{fm} \cdot \alpha \quad (19)$$

2 总拉結力 P

将 (12)、(18)、(19) 各式相加并整理后，得

$$P = F_k \cdot K_{fm} \cdot \ln \frac{F_h}{F_k} \left(1 + \frac{f}{\alpha} + \frac{0.77\alpha}{\ln \frac{F_h}{F_k}} \right)。$$

将 F_k 之值代入并整理后，得

$$\begin{aligned} P &= \frac{\pi}{4} K_{fm} \cdot \ln \frac{F_h}{F_k} \left(1 + \frac{f}{\alpha} + \frac{0.77\alpha}{\ln \frac{F_h}{F_k}} \right) \\ &\times \left[D_k^2 - d^2 + 2d \cdot q - q^2 \left(1 + \frac{n}{2} \right) \right] \\ &= \frac{\pi}{4} K_{fm} \left[0.77\alpha + \ln \frac{F_h}{F_k} \left(1 + \frac{f}{\alpha} \right) \right] \\ &\times \left[D_k^2 - d^2 + 2d \cdot q - q^2 \left(1 + \frac{n}{2} \right) \right]。 \end{aligned} \quad (20)$$

五、拉結工序确定

按拉伸系数的定义，对首先拉伸和总拉伸系数可以用下式表示：

$$\mu_{\text{总}} = \frac{F_h}{F_k} = \frac{D_h^2 - d^2}{D_k^2 - d^2 + 2d \cdot q - q^2 \left(1 + \frac{n}{2} \right)}, \quad (21)$$

式中 D_h ——接头拉結前外徑。

对以后各次拉伸系数 μ_i ，可用下式計算：

$$\mu_i = \frac{D_h^2 - d^2}{D_k^2 - d} = \frac{(D_h - d)(D_h + d)}{(D_k - d)(D_k + d)} \quad (22)$$

在計算拉結次數 n 時，可以假定各次拉伸係數為一常數，則：

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \cdots = \mu_c,$$

所以

$$\mu_{\text{總}} = \mu_c^n,$$

$$n = \frac{\ln \mu_{\text{總}}}{\ln \mu_c} \quad (23)$$

一般可取 $\mu_c = 1.25 \sim 1.5$ 。但在實際拉結過程中，金屬有冷硬現象產生，所以在拉結條件可能的情況下，應盡量使前道工序的拉伸係數大於後道的拉伸係數。

六、試驗結果與結論

按上述選定拉伸係數及拉結次數之計算方法，應滿足（6）、（7）式的要求。並在實際試驗中加以調整，各拉結工序的接頭尺寸列於表 3。

表 3 拉結尺寸及工序

鋼索直徑(毫米)	拉接前接頭直徑(毫米)	第一工序	第二工序
1.8	3.8	3.5	3.2
2.0	4.2	3.8	3.5
2.5	4.8	4.4	4.0
3.0	5.5	4.9	4.5
3.5	6.5	5.9	5.5
4.0	7.5	6.8	6.2

各工序之拉結力的測定，是在拉力試驗機上，用專門工具進行的。各次的拉結力列於表 4。

表 4 各工序之拉結力

鋼索直徑(毫米)	第一工序拉結力 P_1 (公斤)	第二工序拉結力 P_2 (公斤)
118	~150	~270
2.0	~230	~310
2.5	~240	~370
3.0	~300	~540
3.5	~320	~550
40	~450	~1050

接头在拉結过程中，其直徑减小，长度伸长，伸长值可按下式計算：

$$l'' = \frac{\text{接头金属被拉結的变形体积}}{\text{拉結后接头金属假想截面面积}} = \frac{(D_h^2 - d^2)l_h}{D_h^2 - d^2}$$

式中 l_h ——接头金属被拉結的长度。

实际上，接头金属在拉結过程中被挤入鋼索縫隙之内，即实际伸长值 $l_{\text{实}}$ 小于計算伸长值 l'' ，它們之間差值愈大，愈表明被挤入縫隙的金属愈多，結合强度愈好。如果使 $F_{k\text{实}} = F_k$ 时，可求出最大的差值 $\Delta l_{\text{最大}}$ ，并以它作为判別結合强度的标志。

$$\text{实际伸长值 } l_{\text{实}} = \frac{\text{接头金属被拉結的变形体积}}{\text{拉后接头金属的真实面积}}$$

計算的伸长值与实际伸长值的差值，列于表 5。

表 5 計算的伸长值与实际伸长值之差值

鋼 索 直 徑	計算伸长值与实际伸长值之差值(%)
1.8	12.6~13.4
2.0	8~12.7
2.5	13.6~15.8
3.0	14.5~18
3.5	17~19
4.0	9.2~12.3

在拉結强度試驗时，一般都是鋼索被拉断，鋼索与接头之間的真实結合强度无法測定。从表 5, 6 中可知，計算伸长值与实际伸长值之差愈大，則鋼索接头承受的載荷就愈大。試驗載荷与規定的結合强度列于表 6。

表 6 試驗載荷与規定的結合强度

鋼索直徑(毫米)	規定的結合强度(公斤)	試驗載荷(公斤)	提高的百分率(%)
1.8	260	330	27
2.0	380	380	—
2.5	500	540	8
3.0	750	880	17.1
3.5	950	1150	27.7
4.0	1270	1550	22

試驗結論：

(1) 按上述近似公式計算的拉結力与試驗值之差在 20~40% 左右，对第一工序拉結力偏大；而对第二次拉結力偏小；

(2) 計算伸长值大于实际伸长值，其差值在 8~19% 範圍之內。差值愈大，結合强度愈好；

(3) 拉結后的接头直徑 D_A 略大于拉模定徑帶尺寸，約在 0.05~0.1 範圍內。表面光洁度低于拉模工作表面光洁度一級左右；

(4) 如接头表面有鍍鋅层，在拉結过程中，并不损坏，仍均匀包复着；

(5) 拉結速度对拉結力有影响，速度过大，会使接头在薄弱环节处损坏。拉結的速度平均应为 80~100 毫米/分。

七、工艺装备

1. 拉 模

为便于套装被拉結的接头，拉模采用分离型式的結構，即拉