

游 动 心 棒 拔 管

李 德 惠 編

冶 金 工 業 出 版 社

序 言

一般采用的心杆与短心棒圆柱和圆锥心头刚性固定的拔管方法的缺点是：所拔的管易形成“抖纹”，管内表面质量差，变形量小，拔制速度慢，拔小管和长管困难，操作较复杂。

采用游动心棒拔管是一种先进的拔管方法，我国冷拔钢管工人和革命技术人员早就提出和采用了这种拔管方法，并取得一定成效。但这一新工艺受到刘少奇一伙推行的反革命修正主义路线的干扰和破坏，一直没有得到应有的重视和推广。

在无产阶级文化大革命的斗、批、改中，我国拔管工人遵照伟大领袖毛主席关于“我们必须打破常规，尽量采用先进技术”的伟大教导，发扬了“独立自主，自力更生”的革命精神，进一步成功地把这一新工艺应用到生产上，解决了许多关键产品生产中的问题。尤其在高质量小口径管的生产上，获得良好的效果。

采用游动心棒拔管，有以下许多优点：

1. 用这种方法可获得较大的变形量（延伸系数可达1.8~1.92），而且变形均匀，管子内表面也平滑光洁；

2. 克服用固定短心棒拔制小口径管子时心棒与心杆固定的困难；

3. 能够拔制很长的管子，在链式和卷筒式冷拔机上，分别可获得长度在50米和300米以上的管子；

4. 可以提高拔制速度，链式和卷筒式冷拔机的速度分别可达120~150米/分和500~600米/分；

5. 在现有设备、工艺和劳动组织的条件下，使用游动

心棒拔管，可以获得显著的经济效果。

为了较系统的介绍用游动心棒拔制管材的先进工艺，发展我国的管材生产，现收集一些有关资料和我厂生产实践的经验，编写了《游动心棒拔管》这本小册子，供从事冷拔管材生产的工人和技术人员参考。由于编者认真学习马列的书、毛主席著作不够，水平有限，书中可能存在不少缺点，恳切希望广大读者批评指正。

目 录

一、游动心棒拔制理论基础	1
1. 游动心棒拔制原理	1
2. 拔制过程稳定条件	2
二、游动心棒的几何参数	3
1. 心棒圆柱段长度	3
2. 心棒和模子的锥角	4
3. 心棒后圆柱段直径	6
三、在链式冷拔机上使用游动心棒拔管	7
1. 消除“抖纹”	7
2. 减少道次	9
3. 提高速度	10
4. 提高质量	11
5. 降低拔制力	11
6. 操作简单	13
四、制造游动心棒的简单工艺	15
1. 心棒尺寸统一化	15
2. 心棒型式、公差尺寸和材质	19
3. 硬质合金心棒	23
五、游动心棒拔管道次计算	24
1. 管子的变形制度	24
2. 心棒与管子配合尺寸	25

一、游动心棒拔制理论基础

1. 游动心棒拔制原理

游动心棒分为前圆柱段(简称圆柱段)、圆锥段和后圆柱段三段,如图1所示〔1〕。圆柱段的直径等于拔出管子的内径;圆锥段的锥角 β 稍小于模子的锥角 α ;后圆柱段的直径稍小于拔制前管子的内径。心棒后端不固定(在链式冷拔机上,若将心棒固定在心杆上,则心杆后端不做刚性固定),可自由活动。心棒在拔制过程中,依其本身的形状,并借助于心棒与管子接触表面之间的摩擦力,而保持在变形区中。

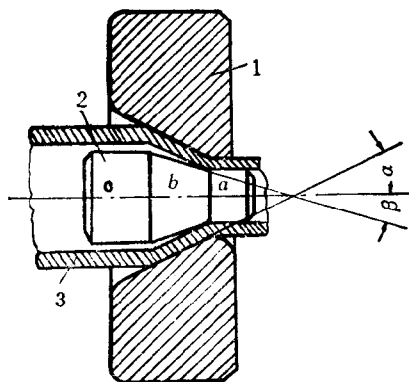


图 1 游动心棒拔制原理

1—模子; 2—心棒 (a—圆柱段; b—圆锥段; c—后圆柱段); 3—管子

2. 拔制过程稳定条件

心棒在拔制过程中，形成自动调整。若要保证拔制过程的正常进行，需满足下列基本条件：

1) 心棒锥角 β 应大于摩擦角 φ

心棒在变形区中，金属作用在心棒圆锥表面上的单位面积上的力，有正压力 P_K ，摩擦力 $P_K f$ (f ——管子与心棒之间的摩擦系数)，而作用在心棒圆柱表面上的力，有正压力 P ，摩擦力 $P f$ ，如图 2 所示。

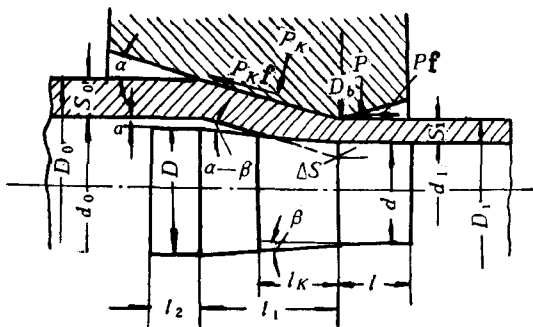


图 2 游动心棒在变形区中，处于平衡位置时，作用在心棒上的力

当心棒处于平衡位置时，根据力的平衡原理得出 β 与 φ 的关系式如下 [14]：

$$P_K l_K d_m \pi \sin \beta - P_K l_K d_m f \pi \cos \beta - P f l d \pi = 0 \quad (1)$$

$$P_K l_K d_m \pi (\sin \beta - f \cos \beta) = P f l d \pi \quad (2)$$

式中 d_m ——心棒圆锥段 l_K 上的平均直径； $d_m = d_1 + l_K \tan \beta$

若

$$P f l d_1 \pi > 0, P_K l_K d_m \pi > 0,$$

或

$$\tan \beta > f, \text{ 也就是 } \beta > \varphi \quad (3)$$

所以，心棒圆锥部分的锥角 β ，应该大于管子与心棒之

间的摩擦角 φ ，否则有可能使心棒随管子一起拉出模子孔，形成空拔。

2) 心棒锥角 β 应小于或等于模子锥角 α

即 $\beta \leq \alpha$ (4)

经过试验证明：当条件2)不满足时，在开始咬入瞬间，往往将管拉断。即使管不被拉断，由于心棒在变形区中，被周期的咬住，则在管子内表面上，形成明显的明暗交替的环纹。

二、游动心棒的几何参数

1. 心棒圆柱段长度

游动心棒圆柱段的长短，影响拔制过程的调整（特别是拔制薄壁管）。圆柱段过长，往往会使心棒处在拔制方向上的不适当位置，以致拔断管子。圆柱段过短，则心棒在拔制方向上不能保持正常位置，不是拔断管子就是拔出管子尺寸不稳定。因此，一般心棒圆柱段长度可按式〔2, 3〕确定：

$$l \geq \frac{D+d}{2d} \left(\frac{D-d}{2f} - l_1 \right) + 4 \sim 6 \text{ 毫米} \quad (5)$$

式中 l ——心棒圆柱段长度；

l_1 ——心棒圆锥段长度；

$f = 0.1 \sim 0.12$ 。

心棒圆柱段的长短，影响拔制力的变化。拔制应力随心棒圆柱段长度增加而增大，成直线性的关系，如图3所示〔6〕。当心棒圆柱段长度从4.5毫米增加到14毫米时（心棒圆柱部分的直径 $d = 15$ 毫米），拔制应力比原有的拔制应力增加15.5~20.5%。因此，对于拔制薄壁管时，在保证心棒在变形区中，

处于稳定性的情况下，应尽可能的减少心棒圆柱段的长度。

心棒圆柱段长短对拔制应力的影响，随管壁厚度减薄而增加（当为同一变形程度）。因为当管壁减薄时，在管子横

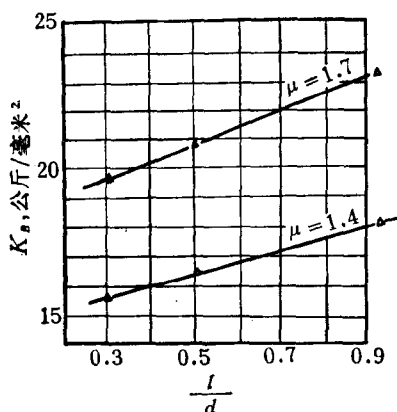


图3 心棒圆柱段长度对拔制应力的影响（拔制 M_2 铜管）

断面的单位面积上，摩擦力增加。因此，当拔制薄壁管时，采用短圆柱段的游动心棒是相当重要的。

从图3还可看出，心棒圆柱段长度从4.5毫米增加到7.5毫米，即长度变化为67%，而应力变化仅为5.0~6.0%，这在实际生产中，可以忽略不计。因

此对于拔制一般管，心棒圆柱段可根据经验来确定。通常心棒圆柱段长度比模子工作带的宽度长出6~10毫米。

2. 心棒和模子的锥角

模子和心棒的锥角对拔制过程的影响是相当大的。当模孔角 α 适当的大于心棒锥角 β 时，则拔制过程稳定，拔断管的可能性就很小。若 α 远大于 β ，则有拔断管的可能，或造成不稳定拔制。

在表1〔6〕中，列出模子和心棒锥角从5~20°范围内的实验数据。所采用的坯料为铜管，并进行了退火处理。当延伸系数为1.22时壁厚为1.05毫米；当延伸系数为1.75时壁厚为1.45毫米。

表 1

延伸系数	模子錐角	拔制应力 (公斤/毫米 ²)							心棒圓柱 段长度 (毫米)
		游 动 心 棒 錐 角 β							
		5	7	9	11	13	15	20	
μ	α								
1.22	5	—	—	—	—	—	—	—	9.8
	7	10.30	9.80	—	—	—	—	—	9.70
	9	10.30	9.70	9.60	—	—	—	—	10.50
	11	10.65	10.20	9.90	10.15	—	—	—	10.65
	13	—	—	11.15	10.35	11.30	—	—	10.80
	15	—	13.30	10.65	9.70	10.70	11.60	—	10.60
	20	—	—	10.50	9.55	10.10	10.65	—	10.50
1.75	5	—	—	—	—	—	—	—	32.20
	7	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	—	—	—	—	—	—	—	—
	11	—	—	27.90	—	—	—	—	—
	13	—	—	30.30	28.80	—	—	—	34.20
	15	—	—	35.25	32.10	29.60	—	—	34.20
	20	—	—	35.60	31.90	33.50	34.70	—	30.90

注: “—”表示由于 $\alpha < \beta$ 管被拉断; “—”表示由于 $2\alpha \geq \beta$ 管被拉断。

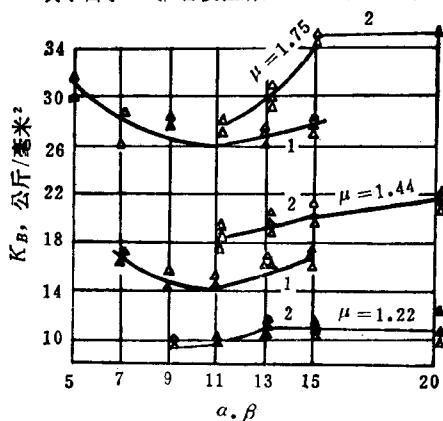


图 4 模子和心棒錐角与拔制应力的关系
1—模孔 $\alpha = 13^\circ$, 銅管, 退火; 2—心棒 $\beta = 9^\circ$, 銅管, 退火

由表 1 看出, 不同的心棒锥角, 经过固定的模子孔时, 仅在一定的 β 范围内才有可能进行拔制。当每道变形量增加时, 这个区间缩小。对某些较小的角度, 一般不可能进行拔制。由此可见, 要保证拔制过程的稳定性, 必须随每道变形量增加而变小。在拔制应力区间内, 有最小的应力值。当模子角 $\alpha = 11 \sim 15^\circ$, 心棒锥角 $\beta = 9 \sim 13^\circ (\alpha \geq \beta)$ 时, 应力区间最小, 如图 4 所示〔6〕。

实践证明: 心棒锥角选择 9° , 模子角选择 12° , 较为适宜。

3. 心棒后圆柱段直径

在实际拔管中, 心棒后圆柱段直径 D 的确定, 一般是考虑心棒装入管中方便, 心棒与管子内表面之间留有间隙值 a , 如图 2 所示。同时还要考虑, 当拔制终了时, 心棒不越过模子孔, 心棒后圆柱段直径与模子孔 D_0 之间应留有差值。它们之间的关系式如下:

$$D = D_0 - 2a \quad (6)$$

式中 $a = 0.5 \sim 3$ 毫米 (对于热轧管坯弯曲度达 1.5 毫米/米, 椭圆度达 1.5%, 壁厚不均度为 $\pm 10\%$, 取 $a = 1 \sim 3$ 毫米; 对于中间规格的管子内径 $d_0 \leq 30$ 毫米, $a = 0.5$ 毫米)。

当拔制小规格的管子时, 为了防止心棒不随管子一起拉出模子孔, 心棒后圆柱段直径要大于模子孔直径 0.5 毫米:

$$D = D_1 + 0.5 \text{ 毫米} \quad (7)$$

$$\text{或} \quad D = d_1 + 2S_1 + 0.5 \text{ 毫米} \quad (8)$$

式中 d_1 ——拔后管子的内径;

S_1 ——拔后管子的壁厚。

在拔制小规格厚壁管时, 为了保证心棒不被拉出模子孔, 心棒后圆柱段直径小于模子孔直径, 应满足下列条件:

$$D_b > D \geq D_1 - S_1 \quad (9)$$

式中 D_1 ——拔后管子的外径，等于 D_b 。

在链式冷拔机上，若超出上面条件时，即 D 远小于模子孔 D_b ，就要将心棒联接在心杆上。这样，后圆柱段直径虽小于模子孔，但在拔制终了时，借助于心杆的拉力，心棒仍留在模子孔中。

在卷筒冷拔机上拔制时，则应满足如下条件：

$$D = D_b + (0.1 \sim 0.2) \text{毫米} \quad (10)$$

三、在链式冷拔机上使用游动心棒拔管

在链式冷拔机上，用游动心棒拔管具有下列优点：

1. 消除“抖纹”

在有效长度12米以上的链式冷拔机上拔管，若用心杆刚性固定的圆柱形短心棒（简称短心棒）进行拔制，往往心杆会产生“抖动”，

因而使管子内外表面

出现环状抖纹，

如图5所示。并且

随着心杆的长度，

管子的变形程度和

拔制速度的增加，

心杆的“抖动”就

更加厉害。这是由

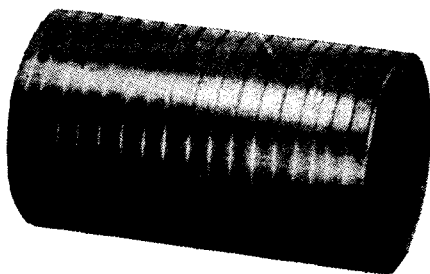


图5 管子“抖纹”缺陷

于短心棒与心杆刚性的联接，心杆与心棒承受的力为拔制力的30~40%，因而使心杆长度产生相当大的弹性变形。

例如, 在 30 吨冷拔机上, 拔制 $\phi 46$ 毫米热轧管坯 (心杆长度为 16 米, 直径为 34 毫米) 时, 可以看到拔制速度对短心棒在变形区中产生临界振动和管子抖动的影晌。

当速度提高时, 短心棒会产生强烈的振动, 这是由于心棒—心杆系统的自由振动和强迫振动的频率很接近, 以致引起共振的缘故, 如图 6, *a* 所示^[5]。在上述冷拔机上, 拔制热轧管坯 $\phi 63$ 毫米、 $\phi 57$ 毫米和 $\phi 46$ 毫米, 壁厚为 3.5~4.5 毫米时, 拔制速度以不超过 30~35 米/分, 延伸系数不超过 1.4~1.5 为宜, 否则心杆和管子都会产生振动。

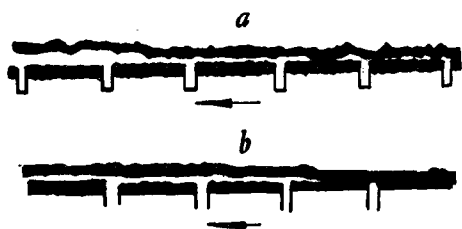


图 6 拔制 $46 \times 3.5 \rightarrow 38 \times 2.4$ 管子的拔制力示波图 (箭头指拔制方向)

a—在短心棒上; *b*—在游动心棒上

游动心棒纵向振动的特性, 与固定的短心棒相应特性根本不同。由于心杆没有刚性固定, 因此, 游动心棒完全消除了自由振动与强迫振动两种频率相接近, 以致于趋向共振的可能性。因此, 拔制过程较固定短心棒平稳, 如图 6, *b* 所示^[5]。

游动心棒在变形区中形成自动调整, 使管子内表面质量得以改善。

用游动心棒拔制时, 也有可能在管子内外表面上出现环纹。这是由于心棒几何尺寸的设计与管子减壁量不相适应的缘故 (即心棒圆锥段的长度 l_1 小于心棒圆锥段与管壁接触部分的长度 l_K 如图 7 所示), 即^[5]

$$l_1 < \frac{\Delta S}{\sin(\alpha - \beta)} = l_K \quad (11)$$

式中 ΔS ——减壁量。

如果在管子纵向和周向有明显的壁厚不均，或沿管子长度上摩擦系数有显著的变化，使心棒在变形区中引起冲击，结果同样会出现环纹。在拔制 $43 \times 8 \rightarrow 34 \times 7.5$ 毫米管子时，出现的环状缺陷，如图 8 所示。

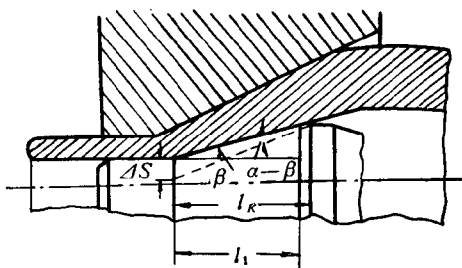


图 7 心棒圆锥段长度与管子减壁量不相适应

由于管坯周向有严重的壁厚不均，以及心棒圆锥段长度的计算长度不足以保证正常拔制的接触长度，以致将心棒后圆柱段也拉入了变形区，同时也会使管子出现环纹缺陷。

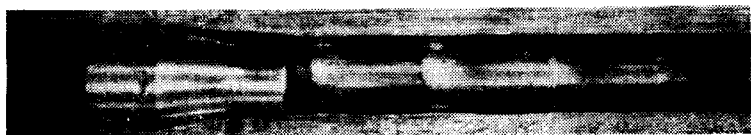


图 8 管子在变形区中被游动心棒冲击的环纹

2. 减少道次

经验证明：应用游动心棒拔制管的变形程度比短心棒大，因此，能减少拔制道次，缩短加工周期，提高产量。

当拔制 20 号镀磷钢管，其尺寸为 $57 \times 3.6 \rightarrow 42 \times 2.45$ 毫米时，延伸系数达 1.8。

以前拔制的低碳钢管和合金钢管的壁厚为 6.5~8.25 毫米以上，需要两道（用短心棒和无心棒）。

例: $57 \times 6.5 \rightarrow 48 \times 5.9 \rightarrow 42 \times 6.0$
 $57 \times 8.25 \rightarrow 48 \times 7.9 \rightarrow 42 \times 8.0$

现用游动心棒一道可以拔成

$57 \times 6.5 \rightarrow 42 \times 6.0$
 $57 \times 8.25 \rightarrow 42 \times 8.0$

以前用短心棒拔制 50 号 锈化钢管需要 6 道 (三道短心棒, 三道无心棒)。

$58 \times 8.5 \rightarrow 51 \times 8.1 \rightarrow 44 \times 7.8 \rightarrow 37 \times 7.5$
 $\rightarrow 30 \rightarrow 24 \rightarrow 20 \times 6.7$

现用游动心棒改为 5 道 (三道游动心棒, 二道无心棒), 并增加了管坯壁厚。

$58 \times 9 \rightarrow 47 \times 8.5 \rightarrow 37 \times 8.2 \rightarrow 30 \times 7.4 \rightarrow 24 \rightarrow 20 \times 6.7$

在 30 吨冷拔机上用游动心棒拔制碳素钢管坯, 拔制速度为 62 米/分, 延伸系数为 1.8~1.92, 拔制工艺为:

$46 \times 3.5 \rightarrow 38 \times 2.25$; $57 \times 3.5 \rightarrow 51 \times 2.5$
 $57 \times 3.5 \rightarrow 38 \times 2.3$; $46 \times 4.5 \rightarrow 38 \times 3.0$

用游动心棒拔制, 变形量大的原因, 从理论上可以这样解释: 管壁在心棒圆锥部分上承受变形时, 作用在管壁单位体上的正压力的水平分力的方向彼此相反, 在圆柱和圆锥部分之间创造了平衡力的条件, 使管壁容易变形。此外, 管壁变形区长度也增加了, 因此获得较大的变形量。

3. 提 高 速 度

由于使用游动心棒在理论上不受拔制速度的限制, 因此, 设计形状合理的游动心棒, 就有可能在有效长度为 50 米的多根自动化链式冷拔机上, 把拔制速度提高到 120~150 米/分, 从而提高冷拔车间的劳动生产率和产量。

4. 提 高 质 量

应用游动心棒拔制，使管的内表面质量良好，特别是小规格管子尤为显著。因为小规格管子应用短心棒拔制，心棒与心杆固定困难，故多采用无心棒拔制。但无心棒拔制不能减壁，结果在管子内表面上形成皱纹和折叠。此外，壁厚尺寸不易精确。

所有这些缺点，采用游动心棒拔制就可以得到解决。目前在拔制小口径管的生产中，游动心棒获得广泛的应用。同时在拔制过程中，由于壁厚变形比无心棒均匀，还可以获得精确的尺寸和光洁的内表面。

用游动心棒拔制直径为 70~120 毫米钢管时，由于在模具上“粘模”的现象减少，大大降低废品率，增加合格率和产量。

对于脱碳层有要求的管子，由于使用游动心棒减少道次，加大每道的变形量，使脱碳层减薄；由于变形均匀，内外表面脱碳层差距变小。

5. 降 低 拔 制 力

在链式冷拔机上，应用游动心棒拔制（如图 9 曲线 A 所示）和用短心棒拔制（如图 9 曲线 B 所示）时^[5]，对于不同的变形特点进行拔制力比较，可以看出，采用游动心棒的拔制力均有所降低。

图 9 中左面 a 图的变形特点是：直径有很大的压缩，壁厚不变。右面 b 图的变形特点是：直径压缩较小，减壁量较大。

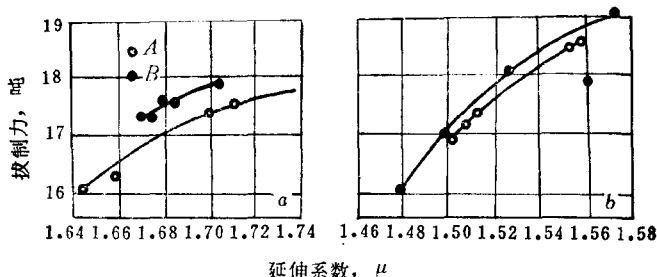


图 9 在游动心棒 (A) 和短心棒 (B) 上拔制力的比较

$a-57 \times 3.5 \rightarrow 38 \times 3.5$

$b-57 \times 3.25 \rightarrow 50 \times 2.3$

在两种心棒上拔制力的差值, 随每道变形量的增加或管壁厚度增加而加大, 如图 9、表 2〔6〕所示。这是因为游动心棒圆柱部分和圆锥部分形成了平衡力的条件, 管易变形, 所以拔制力较小。实践证明: 当有较小的摩擦系数时, 用游动心棒的拔制力要比用短心棒的拔制力低 3~25%。

表 2

測量次數	管子平均尺寸				延伸 係數 μ	拔制平均 應 力 (公斤/毫米 ²)	拔制應力差	
	拔 制 前		拔 制 后				絕對 (公斤)	相對 (%)
	D_0	S_0	D_1	S_1				
$\frac{22}{17}$	17.30	1.05	15.00	1.00	1.22	$\frac{11.86}{12.40} \times$	0.54	4.55
$\frac{21}{18}$	17.75	1.25	15.00	1.00	1.47	$\frac{18.80}{20.50} \times$	1.70	9.05
$\frac{21}{20}$	18.20	1.50	15.00	1.00	1.79	$\frac{27.80}{31.00} \times$	3.20	11.50

注: +——游动心棒; $\times$ ——短心棒;

坯料铜管 M_2 , 退火, 模角 $\alpha=15^\circ$, 心棒角 $\beta=11^\circ$ 。

从拔制应力差值可以看出, 用游动心棒可取得较大的延

伸系数。因此，特别是在拔制厚壁管和特厚壁管时，要用大延伸系数来强化拔制过程，减少拔制道次。

由图10〔6〕可以看出，摩擦系数的大小对拔制力是有影响的。当工具表面加工质量高、酸洗、冲洗和润滑好时，也就是取得较低的摩擦系数时，采用游动心棒的拔制力（线1）要比采用短心棒拔制力（线2）小。否则，游动心棒的拔制力（线3）反要比短心棒（线4）大20~25%。这是由于在变形区中，游动心棒与短心棒相比，接触表面加大了，对摩擦的变化比较敏感，因此用游动心棒拔制对冷拔工具的表面质量、对管子酸洗及润滑的质量要求较高。只有做到这点，才能更充分地发挥游动心棒的特长。

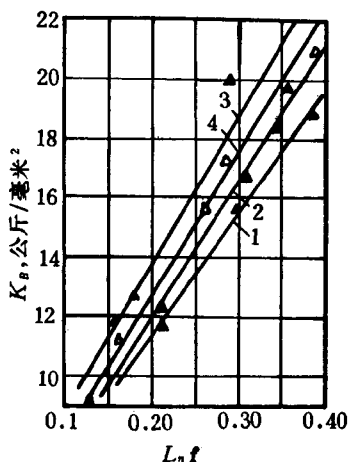


图 10 拔制应力与拔制方法和摩擦系数的关系

1、3—游动心棒；2和4—短心棒；
▲—酸洗好的管子；
△—酸洗不好的管子

6. 操 作 简 单

在链式冷拔机上用游动心棒拔管，对冷拔机的设备也不需要任何特殊的改造。所有操作还是按短心棒操作工艺进行，但是省去了更换心棒时调整心棒与模子位置的操作，以及在变换钢管规格时，可免去更换心杆和调整心杆位置等操作，从而提高了作业率。

游动心棒装入管时，为了实现机械化和自动化的操作目