

# 定径区摩擦力对拉拔力的影响<sup>①</sup>

陈家民<sup>②</sup>鲍俊峰<sup>③</sup> 张福绵<sup>③</sup>

(东北工学院)

(沈阳有色金属加工厂)

## 摘 要

将定径区看作准塑性区, 利用塑性条件推导了考虑定径区摩擦力对拉拔力影响的拉拔力计算公式, 并进行了实验验证。计算与实验结果一致表明, 对于棒材拉拔及管材空拉, 忽略定径区摩擦力影响是允许的。但对于用固定芯头拉拔管材, 尤其是拉拔薄壁管, 定径区摩擦力对拉拔力的影响, 却是不可忽视的。

**关键词:** 定径区摩擦力, 拉拔力, 棒材拉拔, 紫铜管空拉, 固定芯头拉拔

现有的拉拔力计算公式, 一般均忽略了定径区摩擦力的作用。然而理论和实践证明, 这样处理, 对于棒材拉拔或管材空拉来说, 所引起的误差虽不算大; 但是在用固定芯头拉拔管材时, 定径区摩擦力的影响就不容忽视了。尤其是当我国某些厂家采用“中式芯头”拉拔薄壁管时, 拉模定径区摩擦力对拉拔力的影响将更为明显。

为定量分析定径区摩擦力对拉拔力的影响, 作者在现有计算变形区终了断面上的拉应力公式基础上, 推导了考虑定径区摩擦力影响的拉拔力计算公式, 并用实验进行验证。

## 1 计算公式的导出

由棒材拉拔示意图(图1)可见, 从几何上说, 金属坯料从变形区出口断面 a-a 进入定径区以后, 似乎已不再继续变形了。但是, 由于弹性恢复, 定径区模壁继续对坯料施加法向压力  $\sigma_n$ , 且其大小接近于变形区终了断面 a-a 附近的数值。这使我们有必要把定径区视

作准塑性区, 并按塑性条件处理各应力分量之间的定量关系。

从定径区取出一单元体, 其上作用的应力如图 1-(b)所示, 取静力平衡

$$(\sigma_x + d\sigma_x)\pi D_a^2 / 4 - \sigma_x \pi D_a^2 / 4 - f\sigma_n \pi D_a dx = 0$$

$$D_a d\sigma_x / 4 = f \sigma_n dx$$

将近似塑性条件  $\sigma_x + \sigma_n = \sigma_s$  代入前式, 得

$$D_a d\sigma_x / 4 = f (\sigma_s - \sigma_x) dx$$

$$d\sigma_x / (\sigma_s - \sigma_x) = 4f dx / D_a$$

将上式积分, 再得

$$\int_{\sigma_{xa}}^{\sigma_d} \frac{d\sigma_x}{\sigma_s - \sigma_x} = \frac{4f}{D_a} \int_0^l dx$$

$$\ln \frac{\sigma_s - \sigma_{xa}}{\sigma_s - \sigma_d} = \frac{4f}{D_a} l$$

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_s} = 1 - (1 - \sigma_{xa} / \sigma_s) / e^{\frac{4fl}{D_a}}$$

$$\text{或 } \frac{\sigma_d}{\sigma_s} = 1 - (1 - \sigma_{xa} / \sigma_s) / e^C \quad (1)$$

式中  $\sigma_d$ ——拉模出口断面处坯料上的拉应力, 即拉拔应力;

$\sigma_s$ ——坯料变形拉力;

①于1991年7月19日收到;

②副教授; ③工程师

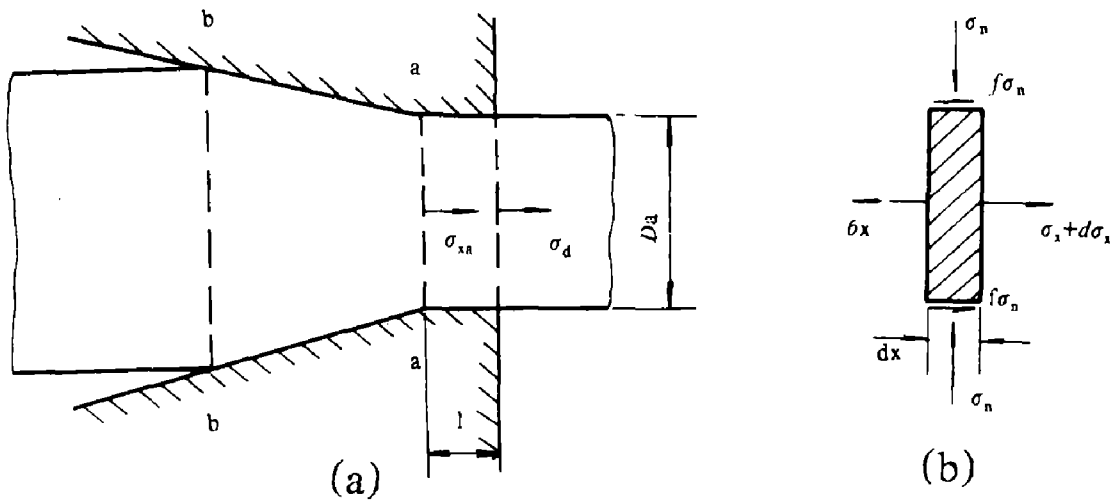


图1 棒材拉拔示意图

$c_1$ ——定径区摩擦力影响系数

$$c_1 = 4 f l / D_a;$$

$D_a$ ——定径区直径;

$f$ ——摩擦系数;

$l$ ——定径区长度;

$c_1$ ——定径区摩擦力影响系数

$$c_1 = 4 f l / D_a;$$

$D_a$ ——定径区直径;

$f$ ——摩擦系数;

$l$ ——定径区长度

管材空拉时 (见图2), 同样可得

$$\sigma_d / \sigma_s = 1 - (1 - \sigma_{xa} / \sigma_s) / e^{c_2} \quad (2)$$

式中  $c_2 = 2f l / (D_a - S_a)$ ;

$D_a$ ——拉模定径区管材外径;

$S_a$ ——拉模定径区管材壁厚;

其余同前

用固定芯头拉拔管材 (图3), 由于定径区管材内外表面同时受到芯头与拉模的摩擦力作用, 单元体的受力情况与前两种情况有所不同。如果假设  $\sigma'_n = \sigma_n$ ,  $f' = f$ , 同理可得

$$\sigma_d / \sigma_s = 1 - (1 - \sigma_{xa} / \sigma_s) / e^{c_3} \quad (3)$$

式中  $c_3 = 4f l / (D_a - d_a) = 2f l / S_a$ ;

$d_a$ ——定径区管材内径;

其余同前

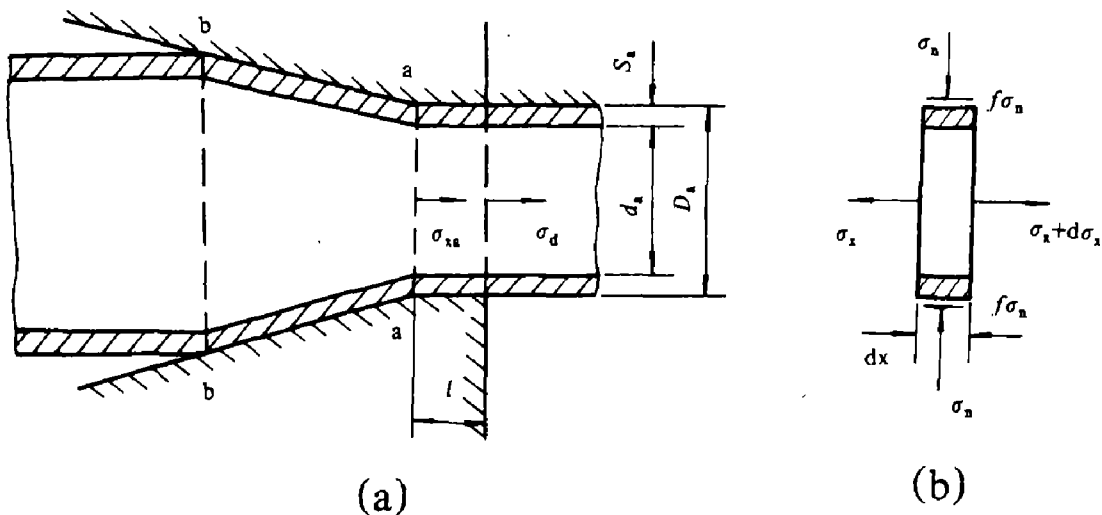


图2 管材空拉示意图



表2 紫铜管空拉实测值与计算比较

拉模定径区长度		实测值		计算值	
$l, \text{mm}$	$p, \text{kN}$	$\sigma_d, \text{MPa}$	$\sigma_{xa}, \text{MPa}$	$c$	$\sigma_d, \text{MPa}$
1	7.30	110.8	94.8	0.0212	101.2
2	7.80	118.4	94.8	0.0424	107.5
4	8.20	124.5	94.8	0.0848	119.6
6	8.40	127.5	94.8	0.1272	131.3

表3 紫铜管固定芯头拉拔实测值与计算值比较

拉模定径区长度		实测值		计算值	
$l, \text{mm}$	$p, \text{kN}$	$\sigma_d, \text{MPa}$	$\sigma_{xa}, \text{MPa}$	$c$	$\sigma_d, \text{MPa}$
1	15.50	296.4	244.7	0.460	302
2	17.30	330.8	244.7	0.920	338
4	19.60	374.8	244.7	1.840	375.2
6	20.50	392.0	244.7	2.760	390

因此, 对于管材空拉和棒材拉拔来说, 在计算拉拔力时, 忽略定径区摩擦力的影响, 误差并不大; 但用固定芯头拉拔管材, 特别是拉拔薄壁管时, 定径区摩擦力的影响往往很大, 有时甚至导致不能拉拔。

例如, 用定径区长度  $l=1.5 \text{ mm}$  的拉模和固定芯头拉拔  $d 10 \times 0.15 \text{ mm}$  的薄壁管时, 即使道次加工率很小, 如  $\sigma_{xa} / \sigma_s = 0.3$ ,  $f=0.1$ , 其

$$c = 2f l / S_a = 2 \times 0.1 \times 0.5 / 0.15 = 2$$

$$\begin{aligned} \sigma_d / \sigma_s &= 1 - (1 - \sigma_{xa} / \sigma_s) / e^c \\ &= 1 - (1 - 0.3) / e^2 = 0.905 \end{aligned}$$

在这种情况下拉拔很容易断管。

如果改用“中式芯头”拉拔这种薄壁管 (见图4), 其拉拔应力  $\sigma_d$  将大大减小。因为它的变形区与定径区分界面 (a-a) 上的拉应力  $\sigma_{xa} / \sigma_s$ , 与用道次加工率相同的一般固定芯头拉拔时非常接近, 区别仅在于定径区内的管材内外表面同时有摩擦力作用, 故  $c$  值大; 而用“中式芯头”拉拔时, 只有外表面受摩擦力作用, 故  $c$  值较小。

按上例中的数据, 用“中式芯头”拉拔  $d 10 \times 0.15 \text{ mm}$  的管材, 使  $l=3 \text{ mm}$ , 可得

$$\begin{aligned} c &= 2f l / (D_a / S_a) = 2 \times 0.1 \times 3 / (10 - 0.15) \\ &= 0.061 \end{aligned}$$

$$\sigma_d / \sigma_s = 1 - (1 - 0.3) / e^{0.061} = 0.341$$

这说明, 由于“中式芯头”改变了定径区摩擦力的作用性质, 使拉拔应力比  $\sigma_d / \sigma_s$  值由

一般固定芯头的 0.905 降低到 0.341。因而允许增加道次加工率或减少拉拔道次, 而且可用一般固定芯头不可能拉拔的工艺进行拉拔, 这就是定径区摩擦力所显示的重要性的例证。

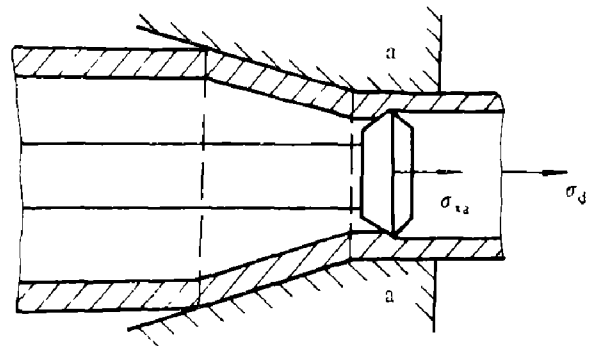


图4 “中式芯头”拉拔示意图

## 4 结论

1 用 (4) 式计算的拉拔力与实验结果基本一致, 故可用该式计算考虑定径区摩擦力影响的拉拔力;

2 对于一般棒材和管材空拉, 其定径区摩擦力的影响比较小, 在计算拉拔力时将其忽略不计, 不会引起重大的误差;

3 对于用一般固定芯头拉拔管材, 尤其是薄壁管材, 如忽略定径区的摩擦力影响, 其计算的拉拔力将比实际值低很多, 故须将定径区摩擦力的影响反映入拉拔力计算式之中。