工具研究与应用

穿孔顶头辗轧段锥角的计算及合理设计

詹才俊
（上钢五厂钢管厂）

根据穿孔时轧辊的布置特点，导出了空间变形区模型条件下的穿孔顶头辗轧段锥角的计算公式，比较了不同送进角时按照目前所采用的三种计算方法所计算的穿孔顶头辗轧段锥角的差异，给出了合理确定穿孔顶头辗轧段锥角的顶头位置参数。

CALCULATION AND RATIONAL DESIGN OF PIERCING PLUG ROLLING TAPER

Zhan Caijun
(Steel Tube Works, Shanghai No.5 Steel Works)

Based on the roll arrangement for piercing, the calculation formula for piercing plug rolling taper is deduced with a space deformation-zone model. Calculated with the three current calculation methods, different tapers due to different feeding angles are given. also the plug position parameters ensuring a rational taper.

1. 前言

二辊斜轧穿孔变形区由轧辊、导板和顶头组成，根据变形区各段的不同作用，一般将其分为穿孔准备区、穿孔区、辗轧区和转圆区四部分，其中辗轧区的作用是将穿孔为规定壁厚的空心管坯反复进行辗轧，以改善和提高壁厚精度及内外表面质量，这就要求轧辊出口锥和顶头辗轧段之间的间隙尺寸保持不变。

通常在设计穿孔顶头时均取顶头辗轧段锥角（γ_1）等于轧辊出口锥锥角（γ）。由于斜轧穿孔时轧辊轴线与轧制中心线倾斜了某一角度（α），两轧辊之间所形成的空间变形区模型不是锥角等于γ的圆锥体，因而使辗轧区内轧辊与顶头间的间隙尺寸逐渐增大。当管坯在辗轧区内进行辗轧时会产生螺旋状壁厚不均，特别是采用大送进角穿孔时，螺旋状壁厚不均更为严重。为此，必须配置特殊的轧辊辊型或穿孔顶头。

本文试推导空间变形区模型条件下的穿孔顶头辗轧段锥角的计算方法，并探讨穿孔顶头辗轧段锥角的合理确定方案。

2. 穿孔顶头辗轧段锥角的计算方法

通过对变形区模型的分析，目前主要采取轧辊出口锥辊型补偿和顶头辗轧段锥角补偿两种方法达到辗轧区内轧辊和顶头之间的间隙尺寸保持不变。

使用锥形轧辊时顶头辗轧段锥角补偿的计算方法有两种。

2.1 文献[1]的计算方法

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为了简化顶头设计计算，文献[1]作了三点假设：（1）当送进角为α时，轧辊出口锥端面垂直投影仍为正圆；（2）轧辊倾斜后，轧制线处轧辊母线水平投影仍为一直线；（3）轧辊O点为倾斜转动点。由此而导出的穿孔顶头辗轧段锥角的计算式为

$$\gamma_1 = \operatorname{arctg}\frac{\frac{D_0}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_0}{2} - L_2 \cdot \operatorname{tg}\gamma\right)^2 - L_2^2 \cdot \sin^2\alpha}}{L_2 \cdot \cos\alpha} \qquad (1)$$

式中　γ_1——穿孔顶头辗轧段锥角

γ——轧辊出口锥锥角

D_0——轧辊压轧带处直径

L_2——轧辊出口锥长度

α——轧辊送进角

2.2 文献[2]的计算方法

文献[2]分析了轧辊轴线倾斜α之后沿轧辊轴线上某点至轧制线的距离逐渐增大的变化规律，确定出轧辊补偿角的计算公式

$$\gamma' = \operatorname{arctg}\frac{x \cdot \operatorname{tg}^2\alpha}{\sqrt{(R_0 + r_0)^2 - K^2 \cdot \operatorname{tg}^2\alpha + x^2 \cdot \operatorname{tg}^2\alpha}} \qquad (2)$$

若采用锥形轧辊穿孔，在顶头辗轧段锥角上加上上述补偿角，就仍可保持辗轧区内轧辊与顶头之间的间隙尺寸不变。因此，穿孔顶头辗轧段锥角可由下式确定

$$\gamma_1 = \gamma + \gamma' \qquad (3)$$

（2）式和（3）式中

γ'——轧辊出口锥补偿角

R_0——轧辊压轧带处的半径

r_0——压轧带处的管坯半径

K——压轧带距旋转中心的距离

x——讨论截面至旋转中心的距离

3. 空间变形区模型下顶头辗轧段锥角的计算方法

首先，分别以轧辊轴线和轧制线为X′、X″和X轴，以轧辊轴线、轧制线和轧制线的公垂线为Z′、Z″和Z轴，以公垂线与轧辊轴线、轧制线的交点为坐标中心，分别作Y′、Y″和Y轴，组成三个直角坐标系（图1）。

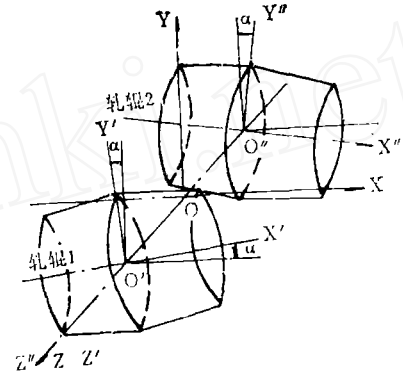


图1　轧辊1和轧辊2所建立的直角坐标系

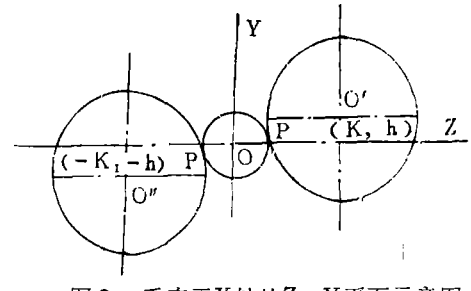


图2　垂直于X轴的Z、Y平面示意图

根据斜轧穿孔时轧辊的空间布置特点和三个坐标系之间的关系可建立如下轧辊的有效锥面方程[3]

$$Z = K - \sqrt{[R_0 - \operatorname{tg}\gamma \cdot (x\cos\alpha + y\sin\alpha)]^2 - (x\sin\alpha - y\cos\alpha)^2} \qquad (4)$$

从距坐标中心x处作垂直于X轴的截面，截轧辊为两个椭圆（图2），并以O点为圆心，作一个与两个椭圆公切的圆，得切点P（Y，Z）。根据平面解析几何原理，可以求得圆心O至椭圆的最短距离$\overline{OP}$（即$\gamma(x) = \overline{OP}$），考虑所截椭圆长短轴之比值

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

近似等于1（$C^2\approx1$），因此空间变形区模型可表达为（具体推导见文献[3]）

$$\gamma(x)=\sqrt{K^2+h^2(x)}-R(x) \qquad (5)$$

式中 K——椭圆中心在Z轴上的坐标值，等于R_0+r_0

$h(x)$——椭圆中心在Y轴上的坐标值，等于$\sin\alpha\cdot[x\cos\alpha-tg\gamma\cdot(R_0-xtg\gamma\cdot\cos\alpha)]$

$R(x)$——椭圆短半轴，等于$(R_0-xtg\gamma\cdot\cos\alpha)^2-x^2\cdot\sin^2\alpha+h^2(x)$

对（5）式求$d\gamma(x)/dx$，得到空间变形区模型的锥角γ_1，即

$$tg\gamma_1=\frac{d\gamma(x)}{dx}=\frac{h(x)\cdot h'(x)}{\sqrt{K^2+h^2(x)}}+\frac{(R_0-xtg\gamma\cdot\cos\alpha)\cdot tg\gamma\cdot\cos\alpha+x\cdot\sin^2\alpha}{\sqrt{(R_0-x\cdot tg\gamma\cdot\cos\alpha)^2-x^2\cdot\sin^2\alpha+h^2(x)}}-\frac{h(x)\cdot h'(x)}{R(x)} \qquad (6)$$

式中 $h'(x)=\sin\alpha\cdot\cos\alpha(1-tg^2\gamma)$

化简(6)式得到空间变形区模型下顶头辗轧段锥角的计算式

$$\gamma_1=\operatorname{arctg}\left[\frac{(R_0-xtg\gamma\cdot\cos\alpha)\cdot tg\gamma\cdot\cos\alpha+x\cdot\sin^2\alpha}{\sqrt{(R_0-xtg\gamma\cdot\cos\alpha)^2-x^2\cdot\sin^2\alpha+h^2(x)}}-\frac{\sin\alpha\cdot\cos\alpha(1+tg^2\gamma)\cdot h(x)\cdot\gamma(x)}{\sqrt{K^2+h^2(x)}\cdot R(x)}\right] \qquad (7)$$

若略去(7)式中第二项微小量的影响，则顶头辗轧段锥角的计算可简化为

$$\gamma_1=\operatorname{arctg}\frac{(R_0-xtg\gamma\cdot\cos\alpha)\cdot tg\gamma\cdot\cos\alpha+x\cdot\sin^2\alpha}{\sqrt{(R_0-x\cdot tg\gamma\cdot\cos\alpha)^2-x^2\cdot\sin^2\alpha+h^2(x)}} \qquad (8)$$

4. 穿孔顶头辗轧段锥角的合理确定

4.1 顶头辗轧段锥角的三种计算方法比较

为了合理的确定穿孔顶头辗轧段锥角，分别计算了不同送进角（4～14°）时的顶头辗轧段锥角（见下表）。

不同送进角的顶头辗轧段锥角

顶头辗轧段锥角(γ,度) \ 送进角(α,度)	4	6	8	10	12	14
公式(1)	3.104	3.233	3.416	3.650	3.943	4.289
公式(3)	3.081	3.182	3.326	3.513	3.745	4.024
公式(7)	3.075	3.169	3.300	3.468	3.672	3.911
公式(8)	3.087	3.196	3.347	3.540	3.775	4.048

注：轧制条件$R_0=300mm$ $r_0=47mm$ $\gamma=3°$ $L_2=200mm$ $x=100mm$

由上表可以看出，在相同轧制条件下，随着送进角的增大，三种计算方法所确定的顶头辗轧段锥角（γ_1）的差异逐渐增加，其中公式（1）确定的γ_1变化值最大，主要是推导时的假设条件不够准确，忽略了轧辊倾斜后轧辊截面为椭圆和变形区模型为曲线型这一特征以及穿孔顶头在变形区中不同位置所受影响，因此，只能与变形区中某一特殊位置相对应。公式（7）全面考虑了不同参数对空间变形区模型的影响，计算虽较精确却较为复杂。简化后的公式（8）与公式（3）所确定的穿孔顶头辗轧段锥角仅比精确值大0.01～0.13°，因而是可行的，只要合理地确定顶头位置参数X，仍可以得到满意的顶头辗轧段锥角。

4.2 穿孔顶头辗轧段锥角的合理确定

在进行穿孔机调整时，各生产厂通常按照满足二次咬入条件和管坯在变形区内不出现孔腔的原则来选定顶头前压缩量，就每组管坯或毛管的调整参数而言，一般选取的顶

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

头前伸量（C）和二辊间距（$2\gamma_0$）的数值基本不变。根据上述公式分析，只要取辗轧段（L_2）的中间位置至轧辊压轧带的距离为X值（图3），就可以获得使轧辊和顶头之间间隙尺寸相同的顶头辗轧段锥角。

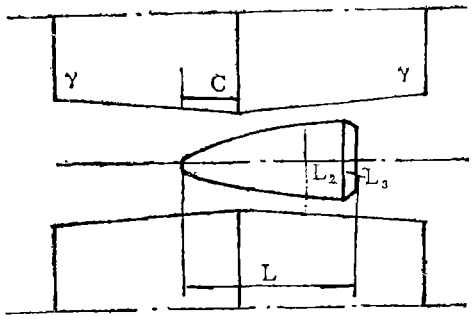


图3　顶头位置图

但应用公式（8）和（3）进行设计，会使顶头辗轧段锥角偏大0.01～0.13°，而且在使用这种顶头时，顶杆及抱固系统刚性较差，穿孔过程中顶杆将不可避免地会产生一些跳动，使毛管实际脱离顶头的位置延伸到顶头反向锥（L_3）内，并在毛管内表面形成较严重的内螺纹，使壁厚不均加剧。为此，在应用公式（8）和（3）设计穿孔顶头辗轧段锥角（γ_1）时，顶头位置参数推荐采用下式确定

$$X = L - C - L_3 - L_2 \qquad (9)$$

式中　L——顶头总长度

C——顶头前伸量

L_3——顶头反向锥长度

L_2——顶头辗轧段长度

实际生产证明，使用（8）、（9）式设计的穿孔顶头可以增加穿孔过程的稳定性，减少毛管的螺旋状壁厚不均。

5. 结语

5.1 根据穿孔时锥形轧辊的布置特点导出了空间变形区模型条件下的穿孔顶头辗轧段锥角的计算式。

5.2 比较了按三种计算方法所计算的在不同送进角（4～14°）时的穿孔顶头辗轧段锥角之间的差异，给出了合理确定穿孔顶头辗轧段锥角的顶头位置参数。

5.3 按本文公式（8）、（9）设计的穿孔顶头可以增加穿孔过程的稳定性，减小毛管螺旋状壁厚不均程度。

参 考 文 献

〔1〕苏殿荣、赵金发，二辊斜轧穿孔机顶头设计的改进，钢管技术，1987，№2

〔2〕孙士秀，合理的穿孔机顶头设计，钢管，1989，№4

〔3〕詹才俊，空间接触曲线和变形区模型方程的解析，钢管，1989，№3

简讯

衡阳钢管厂轧制GCr15轴承钢管成功

SUCCESSFUL TRIAL ROLLING OF GCr15 BEARING STEEL PIPES BY HENGYANG STEEL TUBE PLANT

衡阳钢管厂在φ108mm三辊轧管机组上采用热减径后控制冷却的新工艺，成功地轧制出GCr15轴承钢管，最近通过技术鉴定，为我国又增添了一种钢管新产品。

（衡阳钢管厂　刘进超供稿）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net