维普资讯 http://www.cqvip.com

Accu Roll 轧管机的空间解析及运动学分析

席正海
（成都无缝钢管厂）

通过对Accu Roll轧管机空间结构的分析，提出了计算工艺参数和速度参数的数学模型，并结合生产实际进行了分析。该模型对辊型的设计及轧制工艺参数的计算提供了依据。

关键词 Accu Roll轧管机 轧辊辊型 轧件尺寸 数学模型

SPACE AND KINEMATIC ANALYSES OF ACCU-ROLL PIPE MILL

Xi Zhenghai
(Chengdu Seamless Steel Tube Plant)

Based on an analysis of the spacial structure of Accu-Roll Pipe Mill, the author presents the mathematic models for calculation of technological and velocity parameters with which a further analysis is given on the ground of actual operation conditions. The said models provide certain basis for calculation of rolling process data and for the design of the work roll contour.

Key words Accu-Roll Pipe Mill Work roll contour Rolled piece dimensions Mathematic model

1 前言

Accu Roll轧管机的特点是轧辊形状呈锥形，轧辊轴线与轧制线呈空间交叉，即既有送进角，又有辗轧角，空间结构比较复杂。因而在进行辊型设计、速度计算、调整参数确定时就不能按一般斜轧方法进行计算。本文根据Accu Roll轧管机（以下简称AR轧管机）的结构特点，按空间三维关系建立了工艺参数计算数学模型，并对轧制过程的运动学进行了分析。

2 轧制空间关系

如图1所示，将轧辊与轧件在变形过程中的位置置于OXYZ直角坐标系中，设轧件中心线为X轴，L直线为轧辊轴，过辊喉且与轧辊辊轴相交的直线为Z轴。由轧管机结构可知，φ_0为辗轧角，β_0为送进角，m为L轴与Z轴的截距。

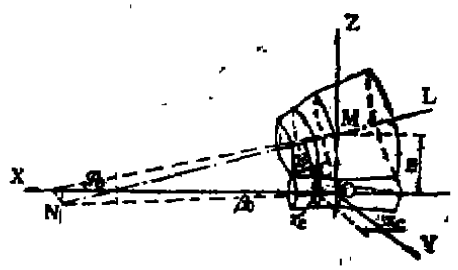


图1 轧制空间关系示意

为便于分析，设定轧辊与轧件在变形过程中为刚体接触，接触点为$C(x_c, y_c, z_c)$，轧辊表面上所有C点的集合为轧辊曲面，轧

维普资讯 http://www.cqvip.com

件表面上所有C点的集合为轧件曲面。过C点且垂直于轧辊轴线的平面截轧辊为一圆形断面，其半径用R_c表示，在垂直于轧件轴线的平面可截得一轧件圆断面，用r_c表示其断面半径。

设L直线的方向是由$M(o,o,m)$到N点，由几何关系则有一组方向数为

$$\{\cos\varphi_0,\ \mathrm{tg}\beta_0\cos\varphi_0,\ -\sin\varphi_0\}$$

方向余弦为

$$\begin{cases}\cos\alpha=\dfrac{\cos\varphi_0}{(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)^{\frac{1}{2}}}\\ \cos\beta=\dfrac{\mathrm{tg}\beta_0\cos\varphi_0}{(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)^{\frac{1}{2}}}\\ \cos\gamma=\dfrac{-\sin\varphi_0}{(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)^{\frac{1}{2}}}\end{cases}\quad(1)$$

则

$$\begin{cases}\sin\alpha=\left(\dfrac{\sin^2\varphi_0+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0}{1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0}\right)^{\frac{1}{2}}\\ \sin\beta=\dfrac{1}{(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)^{\frac{1}{2}}}\\ \sin\gamma=\cos\varphi_0\left(\dfrac{1+\mathrm{tg}^2\beta_0}{1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0}\right)^{\frac{1}{2}}\end{cases}\quad(2)$$

L直线的方程为

$$\frac{x}{\cos\varphi_0}=\frac{y}{\mathrm{tg}\beta_0\cos\varphi_0}=\frac{z-m}{-\sin\varphi_0}$$

当以x为参数时，有方程

$$\begin{cases}x=x_c\\ y=x\mathrm{tg}\beta_0\\ z=m-x\mathrm{tg}\varphi_0\end{cases}\quad(3)$$

在$x=x_c$处，作平面$\pi\parallel yoz$，则该平面与L轴线必相交于$P(x_0,y_0,z_0)$点，截轧件曲面为一圆，圆心为O'，半径为r_c，截轧辊曲面为一椭圆，设其两半轴分别为a、b，在π平面上建立直角坐标系，如图2所示。

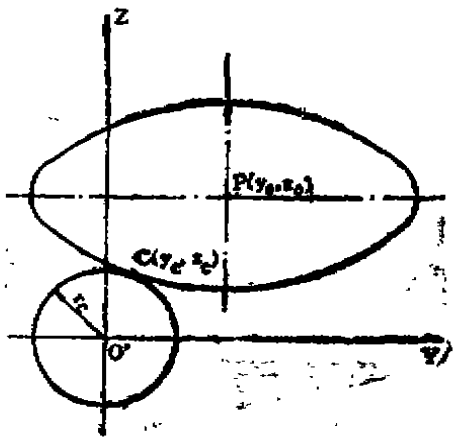


图2 π平面上轧辊与轧件关系示意

利用几何关系有

$$y_0=x_c\mathrm{tg}\beta_0$$

$$z_0=m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0$$

$$a=R_c\sin\beta=\frac{R_c}{(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)^{\frac{1}{2}}}$$

$$b=\frac{R_c}{\sin\gamma}=R_c\left(1+\frac{\mathrm{tg}^2\varphi_0}{1+\mathrm{tg}^2\beta_0}\right)^{\frac{1}{2}}$$

则椭圆方程为

$$\frac{(y-y_0)^2}{a^2}+\frac{(z-z_0)^2}{b^2}=1\quad(4)$$

而r_c圆的方程为

$$y^2+z^2=r_c^2\quad(5)$$

在r_c圆上过接触点$C(y_c,z_c)$的法线方程为

$$Z=\frac{z_c}{y_c}Y\quad(6)$$

为简化计算，假设法线(6)过点$P(y_0,z_0)$，则由(6)式可得

$$y_c=\frac{y_0}{z_0}\cdot z_c=z_c\frac{x_c\mathrm{tg}\beta_0}{m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0}\quad(7)$$

将(7)式代入(5)式得接触点C的坐标为

$$\begin{cases}x_c=x_c\\ y_c=\dfrac{r_cx_c\mathrm{tg}\beta_0}{[(x_c\mathrm{tg}\beta_0)^2+(m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0)^2]^{\frac{1}{2}}}\\ z_c=\dfrac{r_c(m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0)}{[(x_c\mathrm{tg}\beta_0)^2+(m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0)^2]^{\frac{1}{2}}}\end{cases}\quad(8)$$

将（8）式代入（4）式得

$$R_c=\{(x_c\mathrm{tg}\beta_0)^2(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)+\frac{(m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0)^2}{1+\mathrm{tg}^2\varphi_0\cos^2\beta_0}\}^{\frac{1}{2}}\times\left\{1-\frac{r_c}{[(x_c\mathrm{tg}\beta_0)^2+(m-x_c\mathrm{tg}\varphi_0)^2]^{\frac{1}{2}}}\right\}\quad(9)$$

若将x_c转换在轧辊轴上，并设定轧辊辊喉处横截面与L轴交点为坐标原点，x_L为轧辊轴上任意点至辊喉的坐标，则有

$$R_c=\{1-(r_c/[(x_L\sin\beta_0\cos\varphi_0)^2+(m-x_L\sin\varphi_0\cos\beta_0)^2]^{\frac{1}{2}})\}\times[(x_L\sin\beta_0\cos\varphi_0)^2(1+\mathrm{tg}^2\beta_0\cos^2\varphi_0)+(m-x_L\sin\varphi_0\cos\beta_0)^2/(1+\mathrm{tg}^2\varphi_0\cos^2\beta_0)]^{\frac{1}{2}}\quad(10)$$

（10）式表示在各调整参数设定后，轧辊辊型在变形区内与轧件几何特征的对应关系，因而可以确定在变形区内任意截面的变形量和轧件尺寸。反之，在考虑轧件的咬入条件、变形量及一定精度的钢管尺寸后，可作出符合工艺要求的辊型曲线。为了保证轧后钢管的壁厚精度，应使轧辊均整段与芯棒保持相对平行，即r_c=常数，并有2倍以上的螺距值，据此即可设计出该段的辊型曲线。由于AR轧管机带有辗轧角，其结构比较复杂，在进行工艺调整参数计算时就不能按传统方法计算，而应按空间函数关系推导，否则误差太大。利用上述数学模型在编制计算机程序输入有关参数后，可方便地计算出所需工艺参数，如确定轧件咬入和脱出位置，并计算变形区长度。以某轧管机轧制工艺参数为例：$\beta_0=8°$，$\varphi_0=10°$，轧辊辊喉半径$R_0=559$mm，孔型孔喉半径$r_0=96$mm，毛管尺寸为ϕ210mm×20.92mm，荒管尺寸为ϕ203.5mm×17.67mm，延伸系数为1.21，20钢，对该变形区参数进行计算，并与实测值比较，结果见表1。

表1　变形区参数计算值与实测值比较

参　数	实测值（mm）			计算值（mm）	实测值与计算值比较（%）
	大侧	小侧	平均		
变形区长度	438	398	443	483.4	+4.6
芯棒接触长度	325	320	322.5	308.5	−4.3

3　速度关系

由于轧辊横截面的表面上任意一点的速度是相同的，故按坐标变换的方法计算。设轧辊轴的坐标系为$x'y'z'o'$，轧辊的转速和角速度分别为n、ω，如图3所示。

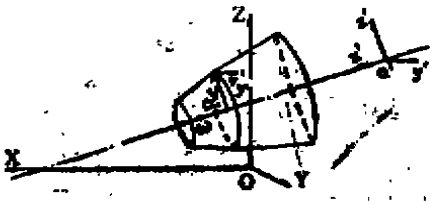


图3　轧辊速度转换示意

在$x'y'z'o'$坐标系中，轧辊上任意一点的速度为

$$v_c'=Rc\omega\quad(11)$$

为简化计算，假设轧辊与轧件接触点的该速度平行于y'轴，则其速度分量为

$$\begin{cases}v_{x'}=0\\v_{y'}=v_c=R_c\omega\\v_{z'}=0\end{cases}\quad(12)$$

按照$z'\to\varphi_0$，$x'\to\varphi_0$，$x'\to\beta_0$，$y'\to\beta_0$的顺序进行坐标变换。并代入（11）式，则有

$$v_x=R_c\omega\sin\beta_0\cos\varphi_0=\frac{\pi D_c n}{60}\sin\beta_0\cos\varphi_0\quad(13)$$

上式即为存在辗轧角φ_0和送进角β_0时，轧辊与轧件接触点的轴向速度，而切向速度为

$$v_t=R_c\omega\cos\beta_0=\frac{\pi D_c n}{60}\cos\beta_0\quad(14)$$

维普资讯 http://www.cqvip.com

若考虑轴向滑移系数η_x和切向滑移系数η_t，则轧件速度为

$$v_{rx}=\frac{\pi D_c n\eta_x}{60}\sin\beta_0\cos\varphi_0$$

$$v_{rt}=\frac{\pi D_c n\eta_t}{60}\cos\beta_0 \qquad (15)$$

轧件的转速为

$$n_r=\frac{D_c n\eta_t}{d_e}\cos\beta_0 \qquad (16)$$

在实际计算时，尚需要确定轧件每半转的螺距值，即轧件每半转的轴向位移

$$t_x=\frac{1}{2}\times\frac{60}{n_r}v_{rx}=\frac{\pi}{2}d_e\cdot\frac{\eta_x}{\eta_t}\mathrm{tg}\beta_0\cos\varphi_0 \qquad (17)$$

4 运动学分析

由上可知，AR轧管机轧辊的轴向速度与轧辊直径、转速、送进角、辗轧角有关，随轧辊直径、转速、送进角的增大而增大，随辗轧角的增大而减小。某一轧制条件下，$\varphi_0=10°$，$\beta_0=8°$，$n=94.53$r/min，轧辊直径$D=559$mm，轧辊表面沿轴向的分速度如图4所示。

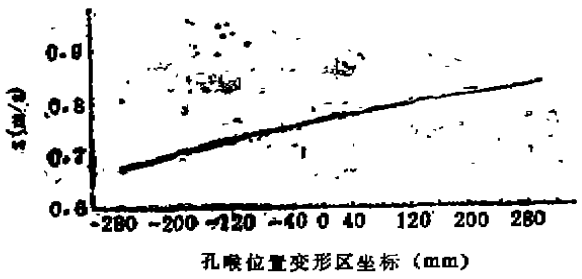


图4 变形区内轧辊轴向速度分布

可见，轧辊表面的轴向分速度从入口到出口是逐渐增加的，与金属在变形区内的延伸变形趋势相一致。由于轧辊轴向速度的递增，有利于金属纵向流动，因而避免了变形区内金属的堆积和扭转，从而改善了所轧钢管的质量，这是AR轧管机的一大优点。

在变形区内，金属是以螺旋方式前进的，从入口至出口要经过若干个螺距，其螺距值也是逐渐增大的，如表2所示。

表2 变形区入口至出口的螺距值

轧制规格（mm）	延伸系数	曲型截面的螺距值（入口至出口）（mm）						
轧管 203×8.09	1.94	24.12	25.13	26.78	30.90	36.25	43.11	46.52
穿孔 214×17.95	2.78	11.84	12.13	16.20	21.29	26.81	31.33	34.52

一般在约500mm长的变形区内，穿孔机要经过30余个螺距，轧管机要经过约15个螺距。根据实测轧件的出口速度、螺距值、轧辊和轧件尺寸，推算出变形区轴向滑移系数η_x约为0.5～0.95，从入口至出口逐渐增大，切向滑移系数η_t约0.75，在变形区内变化不大。

5 结语

经过对轧制空间的分析，提出了计算轧辊辊型和轧件尺寸的数学模型。该模型考虑了辗轧角、送进角、坐标位置等因素，可进行辊型设计及轧制工艺参数的计算。

利用空间坐标变换的方法，建立了轧制过程速度计算方程，并对各种速度参数及特点进行了分析。在AR轧制条件下，轧辊轴向速度从变形区入口至出口是逐渐递增的，有利于金属纵向流动，从而改善产品质量。

（收稿日期：1993－04－20）