

七辊卧式车轮轧机调整参数的分析计算

秦国庆 韩静涛 李连诗

北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083

摘要 对太原重型机械(集团)有限公司钢轮厂七辊卧式车轮轧机调整参数进行了分析计算, 确定了斜辊、车轮与主辊间的速度关系与斜辊中锥段处的截面曲线方程; 计算了斜辊各部位、压紧辊与车轮的接触面积, 以及斜辊各段的水平、垂直分力. 此外, 通过对车轮轧制过程中作用在各动态平衡体系力进行分析, 得到了相互间各作用力.

关键词 机车车轮; 铁路; 轧机; 轧制

分类号 TG 334.1

七辊卧式车轮轧机分别由主轧辊、上下斜辊、2根压紧辊和2根导向辊组成. 主轧辊主要用于车轮踏面和轮缘的成形, 并能控制被轧车轮的长大速率. 导向辊主要用于给被轧车轮导向和定位, 该辊为非传动辊, 分别布置于主辊两侧. 上下斜辊主要用于轧制车轮辐板、轮辋内径与轮辋高度. 上下斜辊对称布置于轧制中心线, 该中心线与轧制平面夹角为 35° . 2根压紧辊对称布置于轧机中心线两侧, 在轧制过程中紧紧压在被轧车轮的踏面上, 轧出轮缘与踏面; 压紧辊与上下斜辊之间形成的孔型, 在压紧辊逐渐压下的同时, 将轮辋断面轧小.

1 轧机参数计算与分析

1.1 车轮轧制的速度制度

文献[1]提供了斜辊和轮辋的速度曲线图. 在图1中, $A-A'$ 线上选取一点, 以便确定轮坯在主辊带动旋转时的速度. 对直线2有, $\tan\alpha = (v_0 + v_1)/R_2$, α 为直线2的倾角, v_1 为斜辊缩颈点处的圆周速度与斜辊缩颈上的速度之差, v_0 为斜辊缩颈点处的圆周速度, ω_k 为轮坯的旋转角速度, R_2 为缩颈点处轮坯内径半径, r_c 为斜辊缩颈处半径, n_k 为斜辊转速, 则轮坯转速

$$n_k = (v_0 + v_1)/2\pi R_2 = n_s \cdot r_c / R_2 + v_1 / 2\pi R_2 \quad (1)$$

对基点, 即主辊和轮坯圆周速度相同点, 有

$$\omega_k R_k = \omega_B R_B \quad (2)$$

式中, R_k 表示与主辊断面基点相接触点上轮坯

半径, R_B 表示基点的主辊半径, ω_B 表示主辊的角速度. 则:

$$\omega_B = \omega_k \cdot R_k / R_B;$$

$$n_B = n_k \cdot R_k / R_B = R_k / R_B R_2 \cdot (n_s \cdot r_c + v_1 / 2\pi);$$

n_B 为轮坯转速, n_k 为主辊转速.

取 $v_1 = 200$ mm/s, 按上述公式计算各接段速度, 并采用先低速, 后高速, 再低速轧制, 最后调整速度制度, 合理分配各阶段的轧制时间, 确定出经现场使用证明合理的轧制速度制度.

1.2 中锥段处的截面曲线方程式

斜辊的工作部分是由3个各以底面相连的圆锥体组合而成. 初轮坯在碾轧时, 中锥段和中锥段与尾锥段的连接处, 起着主要的变形作用. 斜辊这些部分的形状决定着轮坯每旋转1周的

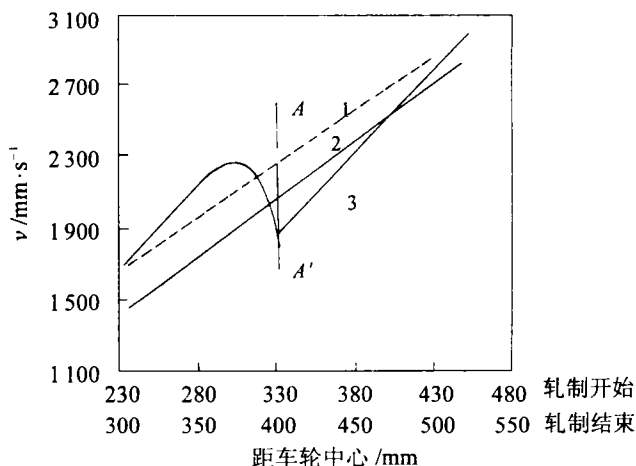


图1 斜辊和轮坯轮辋的速度曲线图. 1—轧制结束时主轧辊传给轮坯的速度; 2—轧制开始时主轧辊传给轮坯的速度; 3—斜辊传给轮坯的速度

压下量.初锥段的用途是把轮坯轮辋的高度压到要求的尺寸,保持此尺寸不变.几何因素对压下量的影响,可采用分截面的方法来分析.即在沿与轮坯旋转面平行的方向截取工作斜辊上一个平面,可得出金属与辊子在这一截面上的接触曲线,如图2所示;按所选择的角值,在截面上求出3种不同形状的曲线.

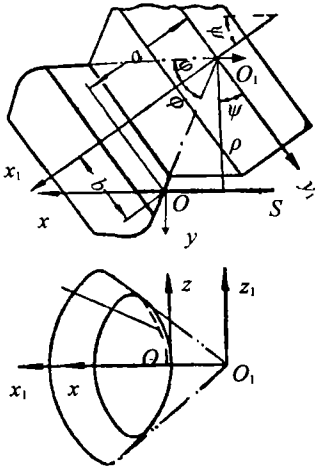


图2 斜辊中锥段S平面的截面 (S平面与轮坯旋转面平行)

(1)椭圆($A > 0, \phi < \psi$):

$$z^2 = 2r_c(\sin\psi + \cos\psi \cdot \tan\phi)x - Ax^2 \cdot \cos^2\psi \quad (3)$$

(2)抛物线($A = 0, \phi = \psi$): $z^2 = 4r_c x \cdot \sin\psi$ (4)

(3)双曲线($A < 0, \phi > \psi$):

$$z^2 = 2r_c(\sin\psi + \cos\psi \cdot \tan\phi)x + Ax^2 \cdot \cos^2\psi \quad (5)$$

式中, x 值是车轮和斜辊中锥段通过斜辊水平截面上一点的接触弧的投影,决定着压下量;但由于轮辋内表面为圆形表面,故实际压下量小于 x 值,并与其成正比,故可用 x 值表示压下量(称“假定”压下量).当 ψ 不变时,从达到最大压下量观点来看,椭圆曲线是最合适锥体截面,因椭圆时 ϕ 角最小, z^2 也最小.椭圆为最大的凸形曲线,当压下量一定时,椭圆接触表面最小,而在弧长相等时,椭圆时的压下量最大. ϕ 角越小,当纵坐标相等时,压下量越大.另外,可证明 Z 值随 ψ 角减小而减小.因此, ϕ 角和 ψ 角值小时,工作顺利;但由于车轮结构妨碍此二个角度同时减小,必须使二者的大小配合得很合适.

对于该车轮轧机,分析得到中锥段表面曲线为双曲线,方程式为:

$$\frac{(x+1994.8)^2}{1994.8^2} - \frac{z^2}{755.7^2} = 1 \quad (6)$$

1.3 轧辊和金属接触面积的确定及力的计算

(1)斜辊水平分力接触面积.

1)中锥段水平力的接触面积 F_1 .由前可知,斜辊中锥段与轧辊接触弧于 xoz 平面上之投影为:

$$z^2 = 2r_c(\sin\psi + \cos\psi \tan\phi)x \pm A \cos^2\psi \cdot x^2,$$

r_c 为斜辊中锥段可变半径, $r_c = r_c + l \sin\phi$, l 为收缩处沿轧辊母线到所研究截面的距离,则,

$$Z = 2l \sin\phi(\sin\psi + \cos\psi \tan\phi)x + B,$$

$$B = 2r_c(\sin\psi + \cos\psi \tan\phi)x \pm Ax^2 \cos^2\psi \quad (7)$$

令, $l \sin(\psi + \phi) = s$, $l = s / \sin(\psi + \phi)$, 得:

$$z^2 = 2s \frac{\sin\psi + \cos\psi \tan\phi}{\sin(\psi + \phi)} \sin\phi \cdot x + B = 2s \tan\phi \cdot x + B,$$

$$Z = \sqrt{2s \tan\phi \cdot x + B},$$

$$\text{则, } F_1 = \int_0^s z ds = \frac{1}{3x \tan\phi} [(2s \tan\phi \cdot x + B)^{3/2} - B^{3/2}],$$

考虑接触曲线函数关系的连续性及曲线的折曲,接触长度公式为 $l = l_0 - x \cos(\psi + \phi)$, x 为假定压下量, l_0 为中锥段的母线长度, $s = l \sin(\psi + \phi) = l_0 \sin(\psi + \phi) - x \sin 2(\psi + \phi) / 2$, 故,

$$F_1 = \frac{1}{3x \tan\phi} \{ [2l_0 \sin(\psi + \phi) \tan\phi \cdot x - x^2 \tan\phi \sin 2(\psi + \phi) + B]^{3/2} - B^{3/2} \}.$$

求垂直分力时,接触面积,

$$F'_1 = F_1 / \tan(\psi + \phi) \quad (8)$$

2)中锥段至尾锥段交接部分接触面积.

采用经验公式^[1]:

$$F_2 = \int_0^y [(0.25\rho + 7) + \frac{33x}{\rho} \sqrt{y}] dy$$

式中: ρ 为中锥段与尾锥段连接半径, $y = [1 - \cos(\psi + \alpha)]$, 误差不大于 3.5%, ψ 为斜辊中心线对水平面之倾角, α 为由通过以 ρ 为半径的圆心并垂直于斜辊中心线的线段中计算出的可变角绝对值, α 应采用最大值 α_{max} , $\alpha_{max} = \alpha + \alpha_n$, α_n 为附加角,如图3所示, $\alpha_n = \arcsin[x \cos(\psi + \phi) / \rho]$, ϕ 为中锥段母线与斜辊中心线倾角.故 y 的最大值为: $y_{max} = \rho [1 - \cos(\psi + \alpha + \alpha_n)]$, 接触面积重心纵坐标 y' 值为:

$$(0.25\rho + 7)y' + \frac{33x}{\rho} y'^{3/2} = F_2 / 2 \quad (9)$$

求出 y' 后计算出 β 角, $\beta = \arccos(1 - y' / \rho)$, 经计算 $\beta = 55.5^\circ$, 据此角便可定出单位压力之合力作用点.

(2)压紧辊沿 z 轴接触面积.

$F_{H2} = 2h\sqrt{2r\Delta x}$, 式中, h 为压紧辊与金属接触高度, r 为压紧辊半径, Δx 为压下量.

(3)斜辊水平分力的计算.

1)金属对轧辊的单位压力.无论是斜辊使轮坯轮辋内表面变形,或圆柱辊压缩轮辋的外

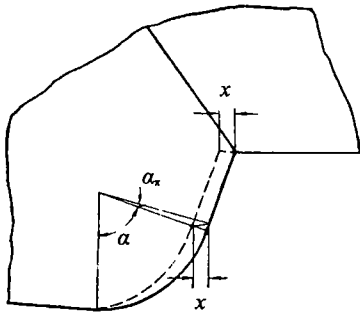


图3 中锥段与交接部分圆角联接处的附加角构成图

表面,都仅是有限部分金属产生变形,而其周围的大部分金属则未经受变形,所有这些未经受变形的金属对变形区内的金属流动有很大的阻力.因而,变形区内金属的受力状态,接近于三向均匀压缩状态.外区对平均单位压力值的影响用应力状态系数 n_{σ}'' 估算: $n_{\sigma}'' = p/p' = f(l/h)$, p' 为压缩短试样时的平均单位压力, p 为压缩较长试样时的平均单位压力, l 为接触面长度, h 为试样长度. 系数 n_{σ}'' 与比例因素、材料和变形系数关系很少. 在没有张力和压力不大情况下轧制时,对 $l/h < 1$ 来说,外摩擦影响是微小的,可忽略不计. 此时,单位压力可按公式 $p = kn_{\sigma}''$ 求得, n_{σ}'' 采用经验值, $n_{\sigma}'' = 3.5 \sim 6$, n_{σ}'' 的最小值用于软钢和大压下量,而最大值用于硬钢和小压下量.

2) 中锥段水平分力, $s_x'' = p \cdot F_1$.

3) 中锥段至尾锥段交接部分水平分力, $s_x''' = p \cdot F_2$

4) 初锥段水平分力,因液压缸柱塞螺母位置固定,则上斜辊将不受力,因而 $s_{xx}' = 0$,对上斜辊初锥段水平分力为 $p_{s_{x1}} = s_{xx}' + s_x'' + s_x'''$; 下斜辊所承受的压力将等于压紧辊沿 z 轴作用的力,此力在轧制过程中有变化,在轧制终了时其值最大. 为求得作为在下斜辊初锥段上的力,假定压紧辊沿 z 轴作用的力完全由下斜辊初锥段承受,此力为: $R_{zy} = p \cdot F_H$, 下斜辊初锥段上的水平分力 $s_{xx}' = \mu R_{zy}$; 对下斜辊初锥段水平分力为 $p_{s_{x2}} = s_{xx}' + s_x'' + s_x'''$.

(4) 斜辊垂直分力的计算.

1) 中锥段垂直分力: $R_z'' = s_x'' / \tan(\psi + \phi - \gamma)$; $\tan \gamma$ 为摩擦因数,取 0.35.

2) 中锥段至尾锥段交接部分垂直分力: $R_z''' = s_x''' / \tan(\psi + \phi - \gamma)$.

3) 初锥段垂直分力,对上斜辊初锥段垂直分力, $R_z' = 0$; 对下斜辊初锥段垂直分力,

$$R_z' = R_{zy}.$$

(5) 车轮轧制过程中的力学分析.

1) 作用在“被轧制的车轮—工作机架”体系的力.

如图4,将装着主轧辊和导辊的工作机架和装着导辊的滑座与轮坯看作是一个整体. 在轧制过程中,所有作用在“车轮—工作机架”这一体系上的力都处于动平衡状态. 这一体系的外力是: p_1 为作用在工作机架液压缸柱塞上的力, $p_{s_{x1}}, p_{s_{x2}}$ 为分别为上、下斜辊作用在轮坯上的力在 x 轴上投影, p_{s_x} 为上、下斜辊作用在轮坯上的力在 x 轴上的投影之和, p_{4x} 为压紧辊作用在轮坯上的力在 x 轴上的投影, $G\mu_1$ 为工作机架移动时的摩擦力, G 为工作机架的质量, μ_1 为工作机架沿导板移动时的摩擦因数. 则有, $\sum p_x = 0, p_1 + G\mu_1 - 2p_{4x} + p_{s_x} = 0, p_1 = 2p_{4x} - p_{s_x} - G\mu_1$.

2) 作用在轧制车轮上的力.

如图5所示, R_x, R_y 分别为主轧辊作用在轮坯上的力在 x 轴 y 轴上的投影, p_{4x}, p_{4y} 分别为压紧辊作用在轮坯上的力在 x 轴 y 轴上的投影; p_{3x}, p_{3y} 分别为导辊作用在轮坯上的力在 x 轴 y 轴上的投影.

$$\sum p_x = 0, R_x + 2p_{3x} + p_{s_x} - 2p_{4x} = 0; R_x = 2p_{4x} - p_{s_x} - 2p_{3x} \quad (10)$$

3) 作用在滑座上的力.

如图6, R_{3x} 为轮坯作用在导辊上的反力在 x 轴上的投影, Q_1 为作用在滑座液压缸柱塞上的力, $G\mu_2$ 为滑座移动时的摩擦力, G_c 为滑座质量, μ_2 为滑座滑动摩擦因数.

$$\sum p_x = 0, 2R_{3x} + G\mu_2 - 2Q_1 = 0, R_{3x} = Q_1 - G\mu_2/2 \quad (11)$$

4) 作用在上斜辊上的力.

如图7, Q_3 为压紧缸柱塞所施加的力, R_z', R_z'', R_z''' 分别为作用在斜辊初锥段、中锥段、中锥

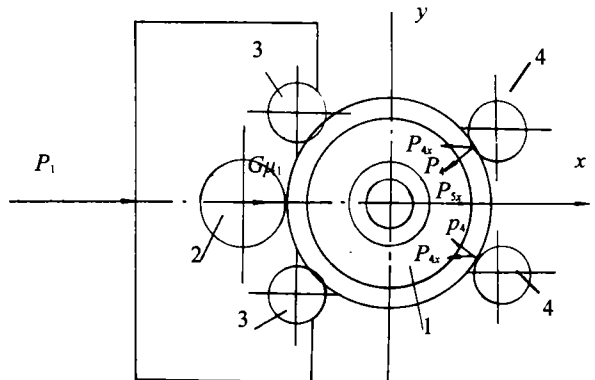


图4 作用在被轧制的车轮—工作机架体系的力. 1—轮坯, 2—主辊, 3—导辊, 4—压紧辊.

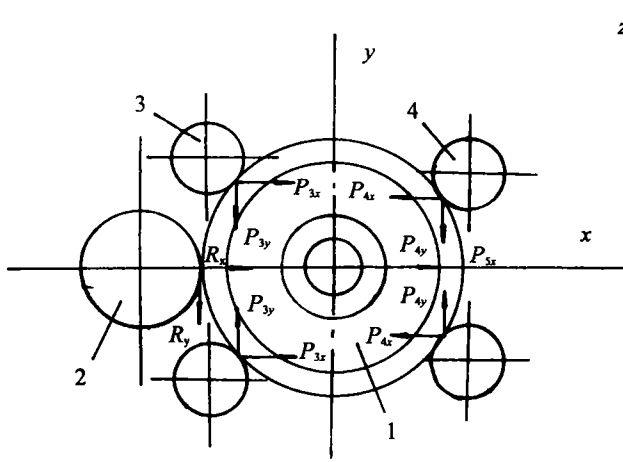


图5 作用在轧机车轮上的力.1—轮坯,2—主辊,3—导辊,4—压紧辊.

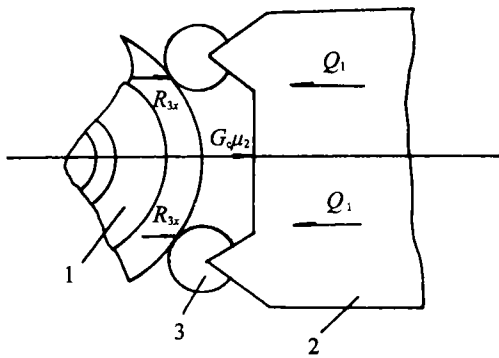


图6 车轮轧机的滑座.1—轮坯,2—滑座,3—导辊.

段与尾锥段交接部分的力在Z轴上的投影, s_x' , s_x'' , s_x''' 分别为作用在斜辊初锥段、中锥段、中锥段与尾锥段交接部分的力在x轴上的投影. Q_{sz} 、 Q_{sx} 分别为摇架支架的垂直、水平反作用力, G_x 为摇架质量.

$$\sum p_z = R_z' + R_z'' + R_z''' - Q_3 + Q_{sz} - G_x = 0;$$

$$Q_{sz} = Q_3 + G_x - R_z' - R_z'' - R_z''';$$

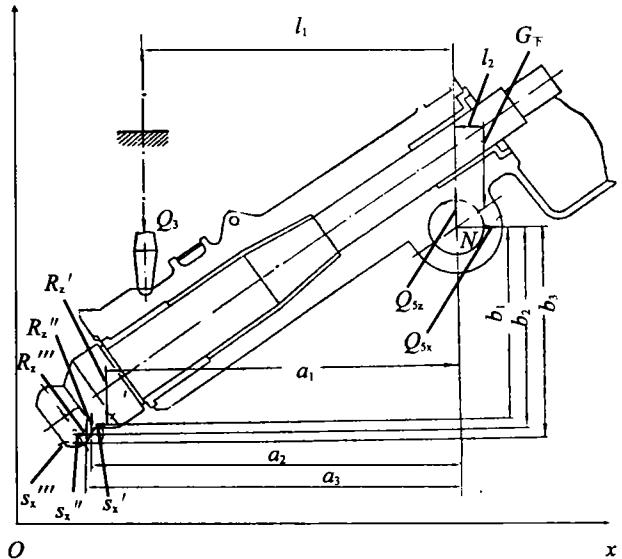


图7 作用在上斜辊上的力

$$\sum p_x = s_x' + s_{mx}'' + s_x''' - Q_{sx} = 0; Q_{sx} = s_x' + s_x'' + s_x''';$$

N 点上各力的力矩方程式为:

$$\sum M_n = R_z' a_1 + R_z'' a_2 + R_z''' a_3 + s_x' b_1 + s_x'' b_2 + s_x''' b_3 - Q_3 l_1 + G_x l_2 = 0, \text{得:}$$

$$Q_3 = \frac{R_z' a_1 + R_z'' a_2 + R_z''' a_3 + s_x' b_1 + s_x'' b_2 + s_x''' b_3 + G_x}{l_1} \quad (12)$$

将已知参数代入上述公式,得到所需各力.

2 结论

太重钢轮厂应用这些调整参数控制轧机的轧制过程,该轧机轧制的铁路机车车轮符合质量要求,证明了这些参数计算是正确的.

参考文献

- 1 席夫林 M.H. 车轮和轮箍轧制. 北京黑色冶金设计总院专家工作室译. 北京: 中国工业出版社, 1965

Analysing and Computing of Adjustable Parameters of Horizontal Wheel Rolling Mill with Seven Rolls

Qin Guoqing, Han Jingtao, Li Lianshi

Material Science and Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT The train wheel rolling mill of Steel Wheel Factory of Tai Yuan Heavy Mechanical (Group) Limited Company are introduced. The speed relationships among oblique rolls, wheel and main roll and cross section circle line equation of middle cone section of oblique rolls are determined. The contact area among each part of oblique rolls, pressure rolls and wheel and horizontal, vertical component of force of each section of oblique rolls are computed. In addition, through analyses of forces under the condition of being dynamic steady in the process of wheel rolling, each mutual function forces are got.

KEY WORDS train wheel; railway; rolling mill; rolling