

文章编号:1006-2343(2008)01-100-02

二辊矫直机凸辊辊形参数的研究

陈建国, 胡大超

(上海应用技术学院 机电学院, 上海 200235, E-mail: baoxianzyp@hotmail.com)

摘要: 为满足高速、高精度地矫直棒、管材的要求,二辊矫直机在矫直棒、管材时,棒、管材与矫直辊应全部接触。提出了满足此要求的二辊矫直机的凸辊辊形曲面的计算公式。现有的辊形曲线计算公式以凹辊辊形的设计计算为主,且繁而复杂。这里提出的凸辊辊形曲面设计公式计算简单、方便,为二辊矫直机辊形设计提供了一种新方法。

关键词: 矫直机;辊形研究;参数计算

中图分类号: TG333.14 **文献标识码:** A

Research on Roll-shape Parameter of a Two-roll Straightener

CHEN Jiang-huo, HU Da-chao

(Institute of Mechanical and electronics engineering, shanghai Institute of technology, shanghai 200235)

Abstract: To meet the requirement of high speed and precision in straightening a steel tube or bar, a two roll straightener must be in full contact with the steel tube or bar when they are straightened. This paper presents a formula on calculating the convex roll-shape surface of a two roll straightener which meets this requirement. The existing formula is focusing on the calculation in concave roll-shape design, which is very complex. The proposed formula for designing the convex roll-shape surface in this paper is very plain and straight, which provides a new method in designing in a two-roll straightener.

Key words: straightener the study of roll shape; the calculation of parameter

二辊矫直机是棒、管材(以下简称工件)生产过程中的重要设备,其主要功能是对工件进行矫直。矫直机中一对矫直辊分别是凹辊和凸辊。它们是二辊矫直机中的关键零件。矫直辊在旋转过程中带动工件,使工件一边转动,一边沿轴向前进,形成螺旋形运动前进。工件在螺旋形运动前进的过程中承受径向力和轴向力,使弯曲的工件发生多次连续的弹塑性变形,从而达到矫直工件的目的,同时降低了工件的圆度误差和表面粗糙度、增强了表面强度。

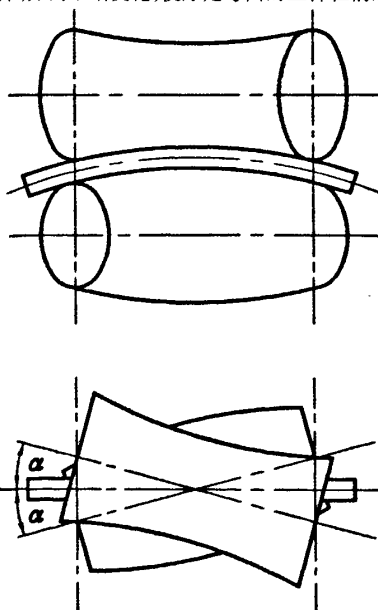
二辊矫直机的矫直质量在很大程度上取决于矫直辊的辊形,辊形的计算方法有多种,如对直圆材全部接触辊形的计算,就有平面作图—数学分析法、内等距曲面法、相对运动包络法、几何解析法等,但这些方法都是针对凹辊辊形的计算,对凸辊辊形的计算研究相当少。各种算法的出发点不一样,但其共同点是繁而复杂,使用不方便。下面提出一种满足精度要求、计算简单可靠、使用方便的二辊矫直机凸辊辊形曲面的计算方法,为矫直辊设计提供了一种新途径。

1 矫直机凸辊辊形设计

1.1 辊形设计理论依据

二辊矫直机由凹辊和凸辊等零部件组成,见示意图1。凹辊和凸辊的轴线交叉,角度为 2α 。对于两辊矫直机理想

的矫直状态是在矫直辊的工作长度内,工件和矫直辊每一点都接触,并且形成一条空间的弧形曲线,工件在螺旋形前进过程中弯曲方向不断变化,使原是弯曲的工件在前进过程中

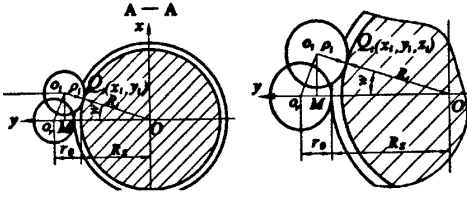
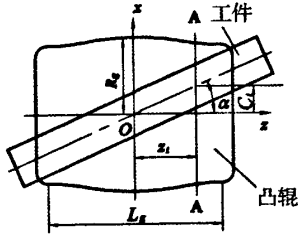


▲图1 两辊矫直机示意图

通过弹塑性变形而被矫直。矫直辊和工件接触而形成了空间曲线,以此曲线为母线,绕矫直辊轴线旋转所得的曲面即为矫直辊的理论辊型曲面,则此辊形曲面满足矫直要求。为此,在凸辊的中心建立坐标系 $O-xyz$ (见图2)。沿着凸辊的 z 向,不同 z 坐标处取垂直于 z 轴的截面,计算工件和凸辊在矫直接接触时的凸辊半径,即不同的 z 坐标,对应有不同的凸辊半径。以 z 坐标作为变量,得到 $R_i = f(z_i)$ 的公式。此 R_i 是在理想状态下得到,因此满足工件的合理弹塑性变形,可得到良好的矫直质量。

1.2 矫直辊凸辊参数的确定

图2为凸辊和工件完全接触条件下的图形,坐标原点设在辊子中心 O 处。矫直凸辊工作长度为 L_g , 矫直凸辊正中处辊腰半径为 R_g , 工件和矫直辊间的夹角为 α 。



▲图2 棒材、线材(工件)和凸辊接触图

沿凸辊轴线,距原点 O 在 z_i 处取垂直于 z 轴的截面 $A-A$,此时对应的凸辊半径为 R_i ,取不同的 z_i ,对应不同的 R_i ; $A-A$ 截面交工件的轴线为 O_i ,工件截面为一椭圆,椭圆和凸辊的接触点为 $Q_i(x_i, y_i, z_i)$ 。令 $O_i Q_i = \rho_i$ 。过 O_i 作 y 轴的垂线,垂足为 M ,则在 z_i 处, O_i 到 z 轴的距离 MO_i ,令 $MO_i = C_i$,则:

$$C_i = z_i \tan \alpha \quad (1)$$

对于凸辊半径 R_i ,在三角形 $\triangle OO_i M$ 中:

$$(R_i + \rho_i)^2 = C_i^2 + MO^2$$

整理后得凸辊半径:

$$R_i = \sqrt{C_i^2 + MO^2} - \rho_i \quad (2)$$

1.3 确定 R_i 方程中的各参数

上式(2)中,随着截面位置 z_i 变化, MO 和 ρ_i 都会变化, ρ_i 即为点 O_i 到点接触点 Q_i 的距离,根据平面解析几何点到点的距离公式:

$$\rho_i = \sqrt{(C_i - x_i)^2 + (MO - y_i)^2} \quad (3)$$

上式(3)中以 r_0 (工件半径)等已知数据替换 x_i, y_i 后即可知 ρ_i, x_i, y_i 和 MO 都和接触点位置有关,接触点 Q_i 的坐标为 (x_i, y_i, z_i) ,根据平面几何, x_i, y_i 和 $\triangle OQM$ 有如下关系:

$$\left(\frac{x_i - C_i}{C_i} \right)^2 = \left(\frac{y_i - MO}{MO} \right)^2 \quad (4)$$

棒、线材在 $A-A$ 截面上的交线方程可写为:

$$\frac{(x_i - C_i)^2}{a^2} + \frac{(y_i - MO)^2}{r_0^2} = 1 \quad (5)$$

式中, r_0 为工件半径,即为椭圆短轴

$a = r_0 / \cos \alpha$, 即为椭圆长轴

将式(4)整理后代入式(5)且再代入式(3)得:

$$\rho_i = \sqrt{a^2 r_0^2 \frac{C_i^2 + MO^2}{C_i^2 r_0^2 + a^2 MO^2}} \quad (6)$$

将式(6)代入式(2),得

$$R_i = \sqrt{C_i^2 + MO^2} - \sqrt{a^2 r_0^2 \frac{C_i^2 + MO^2}{C_i^2 r_0^2 + a^2 MO^2}} \quad (7)$$

由图2:

$$MO = (R_g + r_0) - O_i M \quad (8)$$

R_g —辊腰半径

将式(8)代入式(7)得:

$$R_i = \sqrt{C_i^2 + (R_g + r_0 - O_i M)^2} - a r_0 \sqrt{\frac{C_i^2 + (R_g + r_0 - O_i M)^2}{C_i^2 r_0^2 + a^2 (R_g + r_0 - O_i M)^2}} \quad (9)$$

上式中可视 $O_i M$ 变化为正弦规律,考虑新旧辊不同:

$$O_i M = H \sin \frac{2z_i}{L_g} = H \cdot \sin \left[\left(0.25 + \frac{3z_i}{L_g} \right) \frac{z_i}{L_g} \right] \quad (10)$$

式中, H 为幅值。

由图2,设角度 w 为 R_i 和 y 轴的夹角,则幅值 H 为:

$$H = (R_g + r_0) (1 - \cos w) = (R_g + r_0) \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{0.5 L_g \tan \alpha}{R_g + r_0} \right)^2} \right] \quad (11)$$

式(11)中,角度 w 由下式求得:

$$\sin w = \frac{0.5 L_g \tan \alpha}{R_g + r_0}$$

1.4 凸辊半径 R_i 的最后形式

将式(10)转换后代入式(9),得:

$$R_i = \sqrt{C_i^2 + \left\{ R_g + r_0 - H \sin \left[\left(0.25 + \frac{3z_i}{L_g} \right) \frac{z_i}{L_g} \right] \right\}^2} - a r_0 \sqrt{\frac{C_i^2 + \left\{ R_g + r_0 - H \sin \left[\left(0.25 + \frac{3z_i}{L_g} \right) \frac{z_i}{L_g} \right] \right\}^2}{C_i^2 r_0^2 + a^2 \left\{ R_g + r_0 - H \sin \left[\left(0.25 + \frac{3z_i}{L_g} \right) \frac{z_i}{L_g} \right] \right\}^2}} \quad (12)$$

公式(12)即为工件和矫直辊在全接触条件下的凸辊半径 R_i 方程计算表达式。

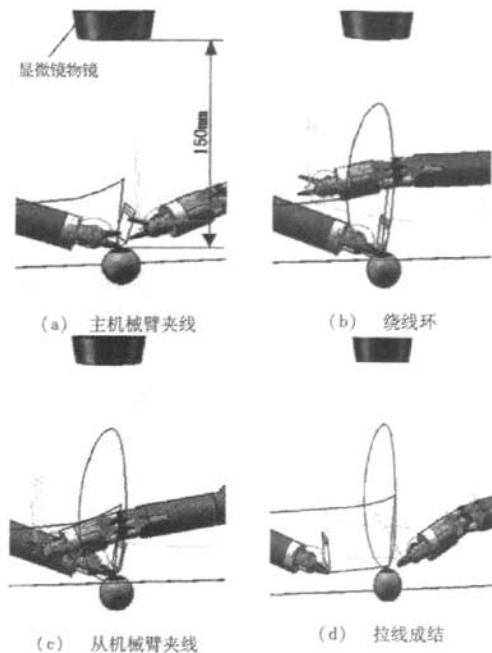
2 计算实例及实际效果

以下的计算实例为上海力达重工制造有限公司与我校联合研制开发的2-4吨多功能连续拉拔机组配套使用的二辊矫直机,主要用于矫直 $\phi 3 - \phi 15$ 棒材、管材。取工件直径 $\phi 15$ ($r_0 = 7.5$), $\alpha = 20^\circ$, $R_g = 110$, $L_g = 280$ 为设计参数,通过式(11)和式(12)计算,凸辊半径 R_i 数值见下表:

z_i 和 R_i 的数值表

z_i	0	10	20	30	40	50	60	70
R_i	110	109.863	109.662	109.397	109.075	108.706	108.305	107.901
z_i	80	90	100	110	120	130	140	
R_i	107.531	107.247	107.118	107.225	107.663	108.532	109.932	

在从机械臂末端器上从而形成线环;图7c所示为从机械臂末端器运动到缝线处进行夹线操作;图7d所示为两个机械臂同时运动将缝线从线环中拽出并拉紧,形成单结的操作。使用轨迹跟踪功能可得到打结运动全过程中夹持点的轨迹,如图7d所示。图7中的a、b、c、d分别与图1中的持钳打结过程相对应。



▲图7 机器人形成线结的工作仿真过程

通过以上仿真过程的夹持点轨迹和机器人作业动画可以看出,本机构的作业动作与医生打结作业动作相一致,打结过程运动平稳,能够模拟医生双臂进行打结作业。

4 结 论

以上根据角膜移植显微外科打结的工作要求,设计了一种打结机器人的机构形式,并对其进行了运动学求解,为机器人动力学分析及控制提供了理论基础。此外,通过在机器人虚拟样机的运动仿真中得到的打结动作动画和夹持点轨迹,可以判断出机器人打结动作连贯,协调性好,工作时无干涉现象,机构构型和尺寸满足操作空间需求,验证了此机构设计的合理性和实用性。

参考文献:

- [1] 张建勋. 用于显微手术操作的机器人系统的体系结构分析[J]. 机器人, 2006, 28(3): 303~308.
- [2] Taylor R H, Stoianovici D. Medical robotics in computer-integrated surgery[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2003, 19(5): 765~781.
- [3] 马 榕, 吕 斌. 手术结及打结方法的规范与进展[J]. 中国实用外科杂志, 2006, 26(1): 31~32.
- [4] 刘 达, 王田苗, 张玉茹, 等. 面向微创手术的医疗外科机器人构型综合[J]. 机器人, 2003, 25(2): 132~135.
- [5] (美) Saeed B Niku. 机器人学导论——分析、系统和应用[M]. 孙富春, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 丁杰男. 显微外科手术机器人系统(MicroHand)的研究与开发[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [7] 陈 雷. 五自由度机械手的运动学和动力学分析[D]. 石家庄: 河北工业大学, 2006. 3.
- [8] 江 洪, 陆利锋, 魏 峰. SolidWorks 动画演示与运动分析实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005, 8.

作者简介: 魏 民(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为微操作机器人、医疗机器人。

(上接第101页)

研制的二辊矫直机通过了上海市机电产品质量检测中心的整机性能和产品精度的检测(产品质量检测报告编号: W07052B10544)。

经用户单位广东佛山南海毅兴铜业有限公司使用, 生产的产品矫直精度高, 直线度和表面质量好, 在矫直运行速度为40~50m/min, 产品矫直后直线度<0.5mm/m, 表面粗糙度为1.6~0.8。

3 结 论

(1) 用上述计算方法的理论依据是: 矫直辊的辊型是根据辊与棒、管格接触的空间关系确定的, 在理想状态下矫直辊与工件轴线间有一夹角, 并且二者连续紧密地接触, 其接触线是一连续的空间曲线, 以此曲线为母线, 绕矫直辊轴线旋转所得的旋转曲面即为矫直辊的理论辊形曲面。

(2) 实践表明使用该计算方法, 制造加工的矫直辊矫直精度高, 产品直线度和表面质量好。

(3) 上述计算方法与传统的一些计算方法相比, 理论计算精度高, 计算量少、简单可靠、使用方便, 为今后的二辊矫

直机设计提供了一种新方法。

参考文献:

- [1] 崔 甫. 矫直原理与矫直机械[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [2] 刘志亮. 两辊矫直机辊形参数确定[J]. 机械设计与制造, 2005, 25~26.
- [3] 矫庆春, 黄晓娟. 矫直机矫直辊设计分析[J]. 冶金设备, 2005, 3: 26~28.
- [4] 贺 镇, 胡高举, 郑才刚. 两辊对辊式管棒材矫直机辊形设计[J]. 机械, 2001, 28(6): 58~59.
- [5] 周高峰, 曹巨江. 管材矫直机矫直辊曲面数学模型的研究[J]. 陕西科技大学学报, 2005, 23(3): 93~94.
- [6] 刘鹤然, 李 强. 矫直辊辊形分析与辊棒材矫直的密切关系[J]. 钢管, 1995, 91(4): 27~29.
- [7] 苑国纱, 吴凤芳. 辊形曲面的计算方法[J]. 山东工业大学学报, 1999, 29(5): 427~431.

作者简介: 陈建国(1950-), 男, 讲师; 主要研究方向为机械设计与制造、冶金机械, 已发表论文两篇。