

大型双进给珩磨头的珩磨力数学模型研究*

廖秋岩^{1,2}, 张龙波^{1,2}, 樊思敏^{1,2}

(1. 兰州理工大学 数字制造技术与应用省部共建教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 对大型双进给珩磨头进行运动及加工过程分析, 并运用牛顿运动定律对珩磨头进行分阶段受力分析, 进而分析珩磨头在不同加工过程的受力情况, 从而建立珩磨头在不同加工过程中法向力、切向力及轴向往复力的理论计算公式, 为珩磨力的精确计算提供参考, 并为大型珩磨头强度及刚度的进一步研究打下坚实基础。

关键词: 珩磨头; 珩磨力; 牛顿定律; 数学模型

中图分类号: TH 123 **文献标志码:** A

Research on Mathematical Model of Large Double Feed Honing Force

LIAO Qiuyan^{1,2}, ZHANG Longbo^{1,2}, FAN Simin^{1,2}

(1. Digital Manufacturing Technology and the Application of the Ministry of Education Key Laboratory, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Mechanical and Electrical Engineering College, Lanzhou

University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: For doing analysis of large double feed honing head movement and process, and using Newton's laws of motion to force analysis in stages of honing head, honing head was analyzed on the stress distribution in the different processing process, thus established honing head in the process of different processing method of the pressure, axial pressure and the formulas of tangential stress. It provided a reference for the precise calculation of honing force, the strength and stiffness analysis of the next step for honing head to lay a solid foundation.

Key words: honing head, honing force, Newton's law, mathematical model

目前, 大多数珩磨力的数学计算模型是采用的宁夏大河机床厂提供的粗略计算的公式^[1]。由于该经验公式用于粗估电动机功率及夹具设计等技术分析中计算, 而且未考虑珩磨头受重力的影响, 因此在实际应用和理论计算中已经显得不再合适。而珩磨力是研究珩磨头强度及刚度的基础^[2], 对珩磨力新型数学模型的建立是珩磨头进行下一步研究的基础^[3]。

1 珩磨力的概念

大型双进给珩磨头在加工时, 由于油石表面上

的磨粒与工件表面发生切削、耕犁及摩擦等作用, 因此产生珩磨力。珩磨力可分为法向力、切向力和轴向往复力 3 个部分^[4], 如图 1 所示。 F_n 、 F_t 和 F_o 分别表示法向力、切向力和轴向往复压力, F_s 为 F_t 和 F_o 的合压力。切向力主要影响珩磨时的主轴动力消耗及磨粒的磨损状况; 轴向往复力对往复系统的动力消耗及油石磨损有重要影响; 而法向力则对油石和工件间的接触变形和加工质量有重要影响, 并对其他 2 个分力有决定性的作用。

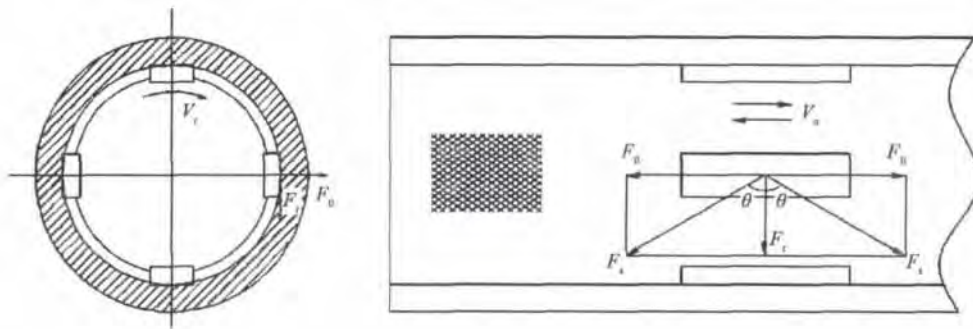


图 1 珩磨头受力分析

各珩磨力间关系如下:

$$F_s = \sqrt{F_t^2 + F_n^2}$$

$$\theta = \arctan \frac{F_0}{F_t}$$

$$F_h = \sqrt{F_s^2 + F_n^2} = \sqrt{F_t^2 + F_0^2 + F_n^2}$$

式中, θ 是网纹夹角; F_h 是总的珩磨压力, 简称珩磨力。

2 珩磨头的运动分析

在珩磨加工时, 珩磨头由机床主轴带动, 相对工件做旋转运动和直线往复运动, 同时油石对加工表面做径向进给运动。旋转运动和往复运动构成珩磨的主运动, 并使油石形成螺旋运动, 故油石上大量的磨粒在加工表面上形成螺旋交叉的珩磨网纹^[5]。

珩磨头的速度是一个合成速度, 由珩磨头在主轴带动下的旋转运动和往复运动合成, 如图 2 所示。

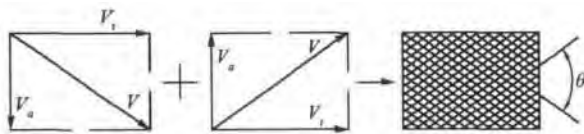


图 2 珩磨速度与网纹交叉角

设圆周速度为 V_t , 往复速度为 V_a , 两者的合成速度即为珩磨头的速度 V 。因为有 2 个速度的合成, 并且 V_a 的方向不断上下变化, 故在工件上构成网纹角 θ 。

$$V_t = \frac{\pi D n}{1\ 000}$$

$$V_a = \frac{2n_a l_x}{1\ 000}$$

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_a^2}$$

$$\theta = \arctan \frac{V_a}{V_t}$$

式中, V 是珩磨速度, 单位为 m/min; V_t 是珩磨头的圆周速度, 单位为 m/min; V_a 是珩磨头的往复速度, 单位为 m/min; D 是珩磨头直径, 单位为 mm; n 是珩磨头转速, 单位为 r/min; n_a 是珩磨头往复行程数, 单位为 dst/min; l_x 是珩磨头单形成长度, 单位为 mm; θ 是珩磨所形成的网纹角, 单位为°。

将珩磨油石条上其中一点的切削路径按平面展开研究, 可以得到如图 3 所示的珩磨网纹生成原理图, 直观形象地看到珩磨网纹角的生成。

3 珩磨头加工过程分析

从珩磨加工工艺和珩磨头与工件的位置关系来分析, 珩磨加工过程^[6-7] 存在如下 3 种情况: 1) 珩磨油石条由上而下进入缸体内壁开始加工时, 油石条

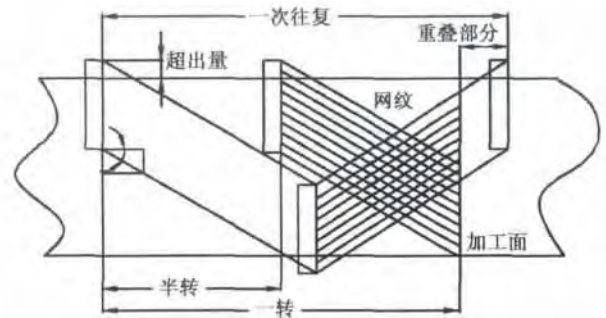


图 3 珩磨网纹生成原理

有一部分在缸体之外, 这时珩磨油石条与工件的接触面积发生改变, 这个过程中有一些磨粒不参与到磨削过程中来, 油石受力跟稳定状态必定是发生改变的; 2) 珩磨油石条完全进入缸体内壁进行加工时, 即整个油石都参与珩磨切削, 在此状态下, 珩磨油石处于稳定状态, 所有的磨粒都参与加工; 3) 珩磨油石条由下而上进行加工时, 珩磨油石条受力情况与第 1 种状态类似。

4 珩磨头的受力分析

珩磨头相当于珩磨加工的刀具, 通过安装在珩磨头上的油石条与工件的相对运动从而达到对工件珩磨的效果^[8-9]。根据珩磨加工过程中存在 3 种情况, 将珩磨头的受力状态分为如下 3 种情况。

1) 珩磨头自上而下开始加工。

$$F_{\text{合}} = F + G - F_{\text{摩}} \quad (1)$$

$$a = \frac{F_{\text{合}}}{M} \quad (2)$$

$$F_0 = \mu_1 F_n \quad (3)$$

$$F_t = \mu_2 F_n \quad (4)$$

$$\mu_1 = f \cos \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

$$\mu_2 = f \sin \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

$$\frac{F_0}{F_t} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{V_1(t)}{V_t(t)} = \tan \theta \quad (7)$$

$$V_1(t) = V_0 + at \quad (8)$$

$$V_t(t) = 2\pi n R \quad (9)$$

$$L(t) = V_1(t) + \frac{1}{2}at^2 \quad (10)$$

式 1~式 10 中, F 是驱动力, 单位为 N; a 是轴向向上的加速度; M 是珩磨头质量, 单位为 kg; F_n 、 F_t 和 F_0 分别是法向压力、切向压力和往复压力, 单位为 N; f 是切削系数; θ 是网纹夹角, 单位为°; $V_1(t)$ 是珩磨头进入工件之前的初速度, 单位为 m/min; V_0 是珩磨头原始初速度, 单位为 m/min; t 是运动时间, 单位为 s; n 是珩磨头的旋转速度, 单位为

m/min; R 是加工缸体内径, 单位为 mm; $L(t)$ 是珩磨头与工件的接触长度, 单位为 mm。

$$F_n = L(t)BNF_{ne} \quad (11)$$

$$A = BNF_{ne} \quad (12)$$

$$N = \frac{1}{W^2} = \frac{6V_g}{\pi d_g^2} \quad (13)$$

$$W = \sqrt{\frac{\pi}{6V_g} d_g} \quad (14)$$

$$F_{ne} = \frac{P_2 d_g^2}{K_2 NBL \nabla_g^{2/3}} \quad (15)$$

式 11~式 15 中, B 是油石有效加工宽度, 单位为 mm; N 是单位面积磨粒数; F_{ne} 是单个磨粒所受的法向力, 单位为 N; W 是磨粒间的平均间距, 单位为 mm; P_2 是作用在油石上的切削负荷, 单位为 MPa; d_g 是磨粒的平均直径, 单位为 mm; ∇_g 是油石的粒度; K_2 是系数, 与磨粒形状、修正条件有关。

由式 1、式 2、式 10~式 15, 整理得:

$$F_n = \frac{2MAV_1(t) + A(F+G)t^2}{2M + At^2 f \cos \frac{\theta}{2}} \quad (16)$$

根据式 16, 再结合式 3~式 9, 整理得:

$$F_0 = \frac{2f \cos \frac{\theta}{2} MAV_1(t) + f \cos \frac{\theta}{2} A(F+G)t^2}{2M + At^2 f \cos \frac{\theta}{2}} \quad (17)$$

$$F_t = \frac{2f \sin \frac{\theta}{2} MAV_1(t) + f \sin \frac{\theta}{2} A(F+G)t^2}{2M + At^2 f \cos \frac{\theta}{2}} \quad (18)$$

2) 珩磨油石条完全进入缸体内壁进行加工(见图 4)。

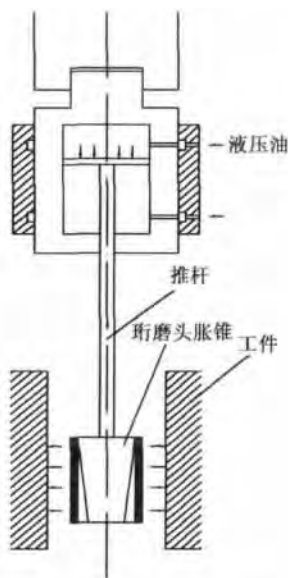


图 4 液压珩磨油石进给系统

$$P = \frac{P_1 A_p}{A_s \tan \varphi}$$

$$P_t = f \cos \frac{\theta}{2} P$$

$$P_0 = f \sin \frac{\theta}{2} P$$

式中, P 是珩磨压力, 单位为 MPa; P_1 是系统油压, 单位为 MPa; A_p 是活塞面积, 单位为 cm^2 ; A_s 是油石总面积, 单位为 cm^2 ; φ 是进给锥体母线斜度, 单位为 $^\circ$ 。

3) 珩磨头自下而上开始加工。受力分析与第 1 种情况类似。

$$F_n = \frac{2MAV_1(t) + A(F+G)t^2}{2M + At^2 f \cos \frac{\theta}{2}}$$

$$F_0 = \frac{2f \cos \frac{\theta}{2} MAV_1(t) + f \cos \frac{\theta}{2} A(F+G)t^2}{2M + At^2 f \cos \frac{\theta}{2}}$$

$$F_t = \frac{2f \sin \frac{\theta}{2} MAV_1(t) + f \sin \frac{\theta}{2} A(F+G)t^2}{2M + At^2 f \cos \frac{\theta}{2}}$$

5 结语

运用牛顿运动定律对珩磨头进行分阶段受力分析, 通过分析珩磨头在不同加工过程的受力情况, 从而建立珩磨头在不同加工过程中法向力、切向力及轴向往复力的理论计算公式。新型珩磨力数学模型的建立为大型珩磨头强度及刚度的进一步研究打下基础。

参考文献

- [1] 张云电. 现代珩磨技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] 李有堂. 机械系统动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [3] 李力钧, 付杰才. 磨削力的数学模型的研究[J]. 机械工程学报, 1981, 17(4): 31-41.
- [4] 张云电, 李国栋, 钟美鹏. 低碳钢珩磨过程中珩磨力的分析与试验研究[J]. 机电工程, 2002, 19(4): 59-61.
- [5] 孙伏. 珩磨头三维设计与仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2013(3): 188-190.
- [6] 熊元一, 郭建忠, 侯军丽, 等. 珩磨工艺原理简介[J]. 机械工人: 冷加工, 2004(5): 29-30.
- [7] 雷竹峰, 雷晓芳, 游小红. 深孔珩磨的实验与研究[J]. 煤矿机械, 2012, 33(7): 125-126.
- [8] 陈海玲. 强力珩磨工艺的试验研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.

基于 Verilog 的 FPGA 整数分频器设计及仿真

张 泽¹, 刘慧慧², 田 涛¹, 梁天泰², 周英杰³

(1. 北京工业大学 机电学院, 北京 100124; 2. 北京石油化工学院 光机电装备技术北京市重点实验室, 北京 102617; 3. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘 要: 简单介绍了主要的时钟分频方法, 提出了 FPGA 内部 PLL 分频的局限性, 给出了基于 Verilog HDL 的整数分频方法。编写了 Verilog HDL 程序, 实现了基于 FPGA 硬件平台的占空比为 50% 的任意整数分频。结合 Quartus 开发平台和 Modelsim 仿真软件验证表明, 该分频方法简单、实用。采用该方法, 替换 N 值可实现任意整数等占空比的分频。

关键词: Verilog HDL; FPGA; 计数; 分频; 仿真; 占空比

中图分类号: TN 40 **文献标志码:** A

FPGA Integer Frequency Divider Design and Simulation based on Verilog

ZHANG Ze¹, LIU Huihui², TIAN Tao¹, LIANG Tiantai², ZHOU Yingjie³

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Opto-mechatronic Equipment Technology Beijing Area Major Laboratory, Beijing Institute of Petro-chemical Technology, Beijing 102617, China; 3. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: A brief introduction for the main clock division method was given, put forward limitations of FPGA internal PLL frequency divider, and gave the integer divide method based on Verilog HDL. Wrote Verilog HDL program, realized an arbitrary integer divider that the duty cycle is 50% and based on the hardware platform of the FPGA. Combined with Quartus development platform and Modelsim simulation software validation, the results showed that the frequency division method is simple and practical. By using this method, the replacement value of N can realize any integer frequency divider that duty cycle.

Key words: Verilog HDL, FPGA, count, frequency divider, simulation, duty cycle

在大部分时钟电路设计中, 首先考虑的方法是集成的锁相环资源, 如使用 Xilinx 的 DLL 或 ALTERA 的 PLL 模块对时钟分频设计; 但芯片内部的 DLL 或 PLL 资源十分有限, 所以设计一些基本时钟电路时, 往往采用高频晶振产生高频率的脉冲, 然后通过分频方法进行分频, 得到不同频率的脉冲。例如对时钟要求不高的数字电路, 通过 Verilog HDL 进行时钟分频是非常通用的方法, 可以有效节省锁相环资源, 消耗不多的逻辑单元就可以得到所

需要的时钟频率^[1]。

1 Verilog HDL 语言

Verilog HDL 是目前世界上最流行的硬件描述语言之一, 它允许设计者进行各种层次的逻辑设计, 还能对所设计的数字系统进行逻辑综合、仿真验证和时序分析。其具有很强的文件读写能力, 允许用户在不同的抽象层次上对电路进行建模, 这些层次从门级、寄存器传输级、行为级直至算法级^[2]。

[9] 侯运丰, 张志万. 珩磨顶杆的有限元分析及结构优化[J]. 机械设计与制造, 2012(8): 23-25.

* 高档数控机床与基础制造装备科技重大专项资助项目 (2011ZX04002-122)

甘肃省自然科学基金资助项目 (1112RJZA025)

作者简介: 廖秋岩 (1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事特种装备设计与制造等方面的研究。

收稿日期: 2014-08-25

责任编辑 马彤