

# 立式超声珩磨设备的研制

张云电 王 纯 喻家英

(杭州电子工业学院机械工程系 杭州 310037)

1993年6月14日收到

本文介绍了立式超声珩磨设备的设计理论和特点。在研制卧式超声珩磨设备的基础上,我们提出了在机床不停机的条件下使油石胀开以及珩磨杆、珩磨头体均不振动的设计思想,并采取了两条相应的措施:(1)采用有圆柱孔的压电换能器和变幅杆;(2)在弯曲振动圆盘的圆周节线处制有四分之一波长的声绝缘杆,然后将珩磨杆安装在声绝缘杆上。对立式超声珩磨设备的温升进行了测试,并采取了相应的降温措施,立式超声珩磨设备的最高温度可以控制在40℃,频率漂移量减少39.6%。最后,讨论了立式超声珩磨设备的应用范围。

## ABSTRACT

The theory of design and characteristics of the vertical ultrasonic honing device are presented. The designing thought that the abrasive sticks be expanded during machine tool operation and the honing bar and the honing head base should not vibrate is proposed. Two solutions are adopted: (1) a piezoelectric transducer and ultrasonic amplitude transformer with a cylindrical hole in the center; (2) a 1/4 wavelength sound insulation bar at the vibration node of a vibration disc, to which the honing bar is assembled. Temperature increase of vertical ultrasonic honing device is measured, and method of decreasing the temperature is adopted. The highest temperature of the device can be controlled to 40℃, and frequency floating reduced by 39.6%. Finally, the fields of the device is mentioned.

## 一、引 言

高精度、高表面质量、高耐磨性、精密孔的传统珩磨加工中,普遍存在着加工效率低、油石易堵塞、加工精度低、表面质量差等问题。作者的研究实践表明,超声珩磨技术具有珩磨力小、珩磨温度低、油石不易堵塞、加工质量好、加工效率高等特点,能够解决上述问题。

立式超声珩磨设备是机电声一体化的设备。在设计立式超声珩磨设备时,应考虑以下几个问题:

1. 超声波发生器不需预热,体积小,重量轻,成本低。

2. 应在机床不停机的情况下给珩磨油石施加胀开运动或珩磨压力,从而使得立式超声珩磨设备具有实用价值<sup>[1]</sup>。

3. 换能器与发生器的阻抗匹配良好。影响阻抗变化的原因有:油石和油石座的尺寸,磨料的粒度、浓度和结合剂,振幅和振动频率,珩磨力负载,超声振动系统的发热等。工厂操作人员希望,在上述诸多因素的影响下,换能器与发生器的阻抗处于良好匹配状态,确保超声波发生器在连续工作或断续工作的条件下可靠工作。

4. 超硬磨料油石的设计和制造。根据不同的珩磨对象,选择相应的油石尺寸、磨料种类、粒度、浓度和结合剂。油石座应有足够的强度

和刚度。油石和油石座的联接必须可靠。

5. 立式超声珩磨设备的珩磨头应能旋转。碳刷应耐磨,不放电。

6. 珩磨头的制造精度要高。

7. 立式超声珩磨设备体积小,重量轻,操作简单。

作者使用自行研制的立式超声珩磨设备,对发动机气缸套和韧性材料管件进行了大量超声珩磨试验,取得了满意的加工效果,开辟了一条高效率珩磨加工的新途径。

## 二、立式超声珩磨设备

立式超声珩磨设备示意图见图 1。它由超声波发生器、有圆柱孔的夹芯式压电换能器、有圆柱孔的变幅杆、弯曲振动圆盘、挠性杆、油石座、珩磨油石、珩磨头体、浮动机构、油石胀开机构、换能器罩、旋转机构等零部件组成。其中,油石胀开机构由顶销、胀芯轴、短顶杆、长顶杆、弹簧等零件组成;浮动机构由浮动球体、钢球、前衬套、后衬套、压紧螺母、锁紧螺母等零件组成;旋转机构由上轴承、下轴承、外壳、集流环、碳刷、弹簧等零件组成(图 1 中未表示)。

超声振动系统的工作原理是:超声波发生器产生的超声频电振荡信号通过压电换能器转换为超声频纵向机械振动,变幅杆将换能器的纵向振动放大后传给弯曲振动圆盘,挠性杆再将弯曲振动圆盘的弯曲振动变成纵向振动后传给油石座,油石座带动与其联接在一起的油石进行纵向振动。

超声波发生器分为电子管型和晶体管型超声波发生器两种类型。由于晶体管型超声波发生器具有成本低、体积小、耗能少、开机时不需预热等特点,因此,在研制立式超声珩磨设备时,采用了晶体管型超声波发生器作为功率超声源。

作者在 1989 年研制成功的卧式超声珩磨设备,使用的换能器为镍片磁致伸缩换能器。如果将镍片磁致伸缩换能器应用于珩磨头可旋转的立式超声珩磨设备时,存在下述问题:①电

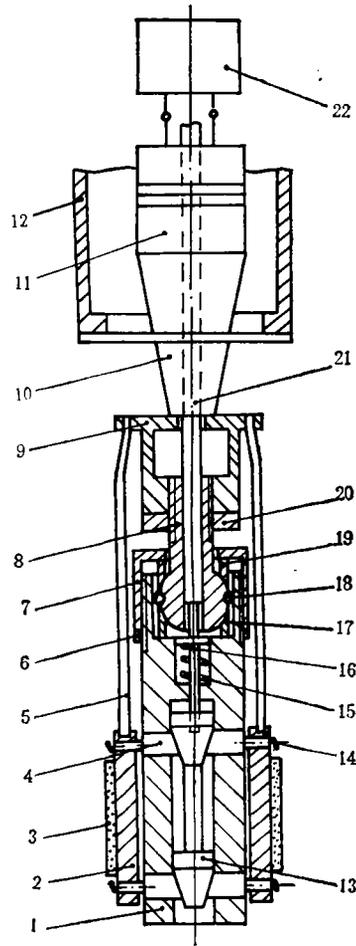


图 1 立式超声珩磨设备示意图

1—珩磨头体; 2—油石座; 3—珩磨油石; 4—顶销; 5—挠性杆; 6—锁紧螺母; 7—压紧套; 8—浮动球体; 9—弯曲振动圆盘; 10—变幅杆; 11—压电换能器; 12—换能器罩; 13—胀芯轴; 14—弹簧; 15—弹簧; 16—短顶杆; 17—前衬套; 18—钢球; 19—后衬套; 20—锁紧螺母; 21—长顶杆; 22—超声波发生器

声转换效率低,一般只有 30% 左右;②体积大;③需要循环水冷却;④珩磨头在旋转工作状态时,为了使珩磨油石在机床不停机的情况下能够胀开,需要在换能器和变幅杆的中心钻一通路,并在其中穿过一个钢质加压顶杆(图 1 中长顶杆 21)。对于镍片磁致伸缩换能器来说,容易产生磁涡流,并且冷却水将会通过孔壁泄漏。

因此,立式超声设备不能使用有圆柱孔的镍片磁致伸缩换能器。由于夹芯式压电换能器

没有上述缺点,作者采用了夹芯式压电换能器。

为了使珩磨油石在机床不停机的情况下能够胀开,在不影响联接螺栓强度的前提下,可根据输入换能器的电功率、电声转换效率、珩磨压力的大小、加压顶杆的刚度等因素,在夹芯式压电换能器的中心钻一个一定直径的圆柱通孔。

与有圆柱孔的夹芯式压电换能器相对应,变幅杆的中心也应有一个直径相同的圆柱通孔。有圆柱孔的圆锥形变幅杆如图2所示。

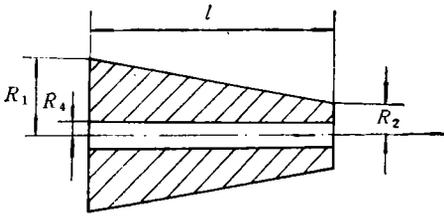


图2 有圆柱孔的圆锥形变幅杆

有圆柱孔的圆锥形变幅杆在有负载条件下作半波长振动的共振频率方程为

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(kl) = & \left\{ \frac{R_1 - R_2}{l(R_1 - R_4)^2} - \frac{1}{R_2 - R_4} \right. \\ & \left. \cdot \frac{R_1 - R_2}{lk} - \frac{\omega X_L}{s^2 E} \cdot \frac{1}{R_2 - R_4} \right\} / \\ & \left\{ \frac{k}{R_2 - R_4} - \frac{(R_1 - R_2)^2}{(R_2 - R_4)^2} \cdot \frac{1}{l^2 k^2} \right. \\ & \left. - \frac{\omega X_L}{s_2 E} \cdot \frac{1}{R_2 - R_4} \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

式中  $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c}$ ,  $f$ ——共振频率(Hz),  
 $c$ ——声波在细棒中传播的速度(m/s),  $X_L$ ——负载力抗(N·s/m)。

必须指出,在超声珩磨装置中,有圆柱孔的圆锥形变幅杆是在有负载条件下工作的。珩磨负载包括质量负载和力负载,其负载状况十分复杂。因此,正确地确定负载十分重要。

弯曲振动圆盘位于圆锥形变幅杆和珩磨杆之间,它是立式超声珩磨设备的重要零件。弯曲振动圆盘必须满足下述条件:

1 共振频率接近换能器和变幅杆的共振频率;

2 圆盘波腹振幅  $a \geq 15\mu\text{m}$ ;

3 圆盘有足够的强度和刚度;

4 准确确定圆周节线位置;

5 使圆盘圆周节线附近的振动传递到珩磨杆上的振幅达到最小。

弯曲振动圆盘相当于中心固定的薄圆盘,其共振频率  $f$  可按下式计算:

$$f = 0.045944 \frac{h}{r^2} \cdot \frac{\beta c}{\sqrt{1-\nu}} \quad (2)$$

式中  $h$ ——圆盘厚度(m),  $r$ ——圆盘半径(m),  $c$ ——声波在细棒中传播的速度(m/s),  $\nu$ ——泊桑系数,  $\beta$ ——频率系数。当  $\nu = 0.3$  时,  $\beta$  值见表1<sup>[2]</sup>。

表1 频率系数  $\beta$  ( $\nu = 0.3$  时)

$n \backslash s$	0	1	2	3
0	3.75	20.91	60.98	119.7

$n$ ——简正振动振幅分布的直线节数数目,

$s$ ——简正振动振幅分布的圆周节线的数目。

显然,从式(2)可知,可采取以下措施改变共振频率:

1 改变圆盘材料,以改变声速  $c$  和泊桑系数  $\nu$ ;

2 改变圆盘几何尺寸(厚度  $h$ 、半径  $r$ )。

在实际装置中,中心固定的面积较大,根据式(2)计算出来的共振频率只是近似值。实际试验时,应使用数字频率计测定圆盘的实际共振频率,并进行修正,以接近计算值。

圆盘圆周节线处不振动,但圆周节线附近肯定有一定的振动。由于圆盘与珩磨杆之间的过渡联接套有一定厚度,因此这个过渡联接套不可避免地有一定的振动,解决得不好将有振动传递到珩磨头体上去。为了解决这一难题,试验过程中,在圆盘的圆周节线处制有1/4波长的声绝缘杆,然后将珩磨杆安装在声绝缘杆上,再将珩磨头体与珩磨杆(图1中浮动球体8)连接在一起,从而使珩磨杆、珩磨头体上的振

幅达到最小。

挠性杆和油石座按照半波长理论进行设计。油石座有两种结构,一种为平装结构(见图1),另一种为立装结构。两种结构的刚度和装配工艺不同,它们都在立式超声珩磨设备中得到了应用。油石和油石座采用粘接法、锡焊法和热压成型法等方法联接在一起,联接可靠,传声效率高。

超硬磨料油石的磨料采用了人造金刚石和立方氮化硼,粒度号根据被加工材料、热处理、加工余量、加工效率、加工精度和表面质量等因素进行选择。磨料结合剂采用了树脂结合剂和青铜结合剂。浓度是指油石中超硬磨料层部分单位体积内超硬磨料的含量,常用浓度为75%(3.3克拉/cm<sup>3</sup>)和150%(6.6克拉/cm<sup>3</sup>)。

### 三、温升及其对策

立式超声珩磨设备工作时,由于采用了在空气中自然冷却的方式,超声振动系统的热量不能及时散发,两小时内温度达到66℃,立式超声珩磨设备已感烫手,影响工人操作和加工质量。

在环境温度为34℃的条件下,使用φ86mm立式超声珩磨设备对气缸套进行超声珩磨,连续开机两小时和断续开机两小时(开机2分钟,停机1分钟),采用WMS-10型多点数字温度计测量采样点的温度。测量结果见表2。

从表2可以看出,连续开机时,弯曲振动圆盘和变幅杆输出端的温度最高,均为66℃;模拟珩磨加工断续开机时,弯曲振动圆盘的温度最高,为63℃,变幅杆输出端的温度次之,为60℃。因此,立式超声珩磨设备的主要热源是弯曲振动圆盘,其次是变幅杆输出端。此时,频率漂移量达109Hz。

究其发热原因,有以下几个方面:换能器的电声转换效率不足100%,超声能量在振动传递系统中传播时产生的热量(尤其要注意的是传输界面之间的声损耗),机床发热,珩磨热等。立式超声珩磨设备的主要热源是变幅杆输

表2 无降温措施的测量结果

测试部位	连续开机后温度(℃)	断续开机后温度(℃)
换能器反射罩	59	54
变幅杆位移节点	62	57
变幅杆输出端	66	60
弯曲振动圆盘	66	63
上轴承	54	55
下轴承	56	53
超声波发生器	46	46
M4215立式珩磨机床身	43	42

出端和弯曲振动圆盘的传输界面之间的声损耗,应采取有效的对策。

降低立式超声珩磨设备温度的措施有两个:第一个措施是减少变幅杆输出端和弯曲振动圆盘的传输界面之间的声损耗,降低该界面之间的发热量;第二个措施是给弯曲振动圆盘和变幅杆输出端施加冷却液,将该界面之间产生的热量带走。

采取降温措施后,降温效果十分显著(最高温度只有40℃),测量结果见表3。

表3 有降温措施的测量结果

测试部位	有降温措施后的温度(℃)	频率变化范围(Hz)
换能器反射罩	39	
变幅杆位移节点	38	20573
变幅杆输出端	39	—20510
弯曲振动圆盘	40	
上轴承	38	Δf = 63Hz
下轴承	38	
超声波发生器	37	
M4215立式珩磨机床身	35	

工厂连续8小时开机试验表明,采取降温措施后,立式超声珩磨设备的温度可以控制在40℃,不影响珩磨质量和工人操作,同时,超声波发生器和换能器阻抗匹配良好,频率漂移量减少39.6%,能够满足工厂生产要求。

### 四、讨 论

作者已经研制成功了φ65mm、φ86mm、φ102mm立式超声珩磨设备。它们具有以下

特点:

1. 立式超声珩磨设备的珩磨头可以旋转, 整机连续 8 小时工作可靠, 碳刷磨损极小, 不发生放电现象。

2. 采用晶体管型超声波发生器, 它具有低功耗、高效率、开机时不需预热、造价低、体积小等特点。与作者原来在 1989 年研制的卧式超声珩磨设备使用的 2kW 电子管型超声波发生器相比, 它的功率降低至 250W, 只有原来功率的 1/8, 体积只有原来的 1/10, 重量只有原来的 1/10, 价格只有原来的 1/3。

3. 采用有圆柱孔的夹芯式压电换能器, 它具有电声转换效率高、体积小(只有 2kW 镍片磁致伸缩换能器的 1/3)、不需要水冷、重量轻、价格低的优点。

4. 钢质加压顶杆穿过有圆柱孔的夹芯式压电换能器和变幅杆, 从而实现了在机床不停机的条件下使油石胀开或施加珩磨压力, 操作方便, 达到了实用要求。

5. 珩磨杆、珩磨头体均不振动, 珩磨头结构简单。

6. 油石和油石座采用粘接法、锡焊法和热

压成型法联接成一体, 使得油石在超声振动的作用下, 不会从油石座上脱落下来, 保证了声能可靠、高效的传输。

7. 立式超声珩磨设备总重量 30kg, 其中超声波发生器重量 15kg。整机体积小, 重量轻, 便于在立式珩磨机安装使用。

测试和试验结果表明, 立式超声珩磨设备的振动频率为 19—21 kHz, 性能稳定, 工作可靠, 使用方便, 可以满足超声珩磨的要求。

作者使用自行研制的立式超声珩磨设备对铜、铝、钛合金、钢、铸铁等材料进行了大量试验, 取得了很好的工艺效果。立式超声珩磨设备主要用于高精度、高表面质量、高耐磨性的精密孔(包括铸铁缸套, 钢质薄壁镀铬缸套, 合金钢缸套, 油缸, 减振器, 铜、铝、钛合金等韧性材料管以及其它可在立式珩磨机上加工的孔)的粗珩、精珩和光珩加工中。有关超声珩磨的机理和工艺效果将另文发表。

### 参 考 文 献

- [1] 上海市大专院校机械制造工艺学协作组, 机械制造工艺学, 福建科学技术出版社, 1985, 161—163.
- [2] 郑兆昌, 机械振动, 机械工业出版社, 1980, 423—426.

## CDG 型超声频电功率监测仪的研究

任金莲 王志刚

(陕西省师范大学应用声学研究所 西安 710062)

1993 年 6 月 21 日收到

本文论述了 CDG 型超声高频电功率监测仪的主要技术原理, 详细分析了该监测仪所采用的频率补偿方法及信号取样原理, 给出了该机的主要技术指标及获取换能器(负载)的平均功率、平均电压及平均电流的读数方法。

### ABSTRACT

The technical principle of Model CDG Ultrasonic-frequency electronic power monitor is expounded in this paper which analyses in detail the frequency compensation method and the signal sampling principle used in the monitor as well as presents its main technique index and its reading method of obtaining average power, average voltage and average current of the transducer (load).