

在大型铣齿机上利用温度补偿法修正齿距偏差

■ 宜昌长机科技有限责任公司 （湖北 443000） 黄 帅

摘要：长时间运转的铣齿机刀盘铣刀架易产生热变形，从而会改变刀具与工件的相对位置，产生偏差，影响加工精度。温度补偿法使用贴片式PT100热电阻及相关温度传感器实时测控铣刀架的温度，而后依据材料本身的热变形率计算出温度变化下的变形量，以人为补偿进刀尺寸的方法达到修正齿距偏差的目的。

实际工作中的大型铣齿机经常遇到加工齿距偏差问题，其中最为常见的就是加工的第一个齿与最后一齿之间所出现的齿距偏差超差。这种偏差超差在现场频繁出现，成为常常需要解决的难题。而通过对检测齿距偏差得到的数据计算发现，在切削过程中齿槽的径向切削深度从第一齿到最后一齿有规律地加深，这说明在切削过程中进给量出现了变化，这种变化也会引起齿距偏差超差。笔者推测，这一现象可能是铣刀架的温度变化引起的。

铣齿机的工作原理是铣齿采用成形法单分齿加工，加工完上一个齿后，铣刀返回原位，工作台转动 $360^{\circ}/Z$ （ Z 为加工工件齿数），进行下一个齿的加工，如此循环，直到加工完全部齿数。从这一原理可以看出，加工过程中的铣刀盘一直在维持运转，而长时间不停歇的运转很可能会导致铣刀架本身温度上升，伴随时间变化，加工同一工件上编号不

同的齿数时，铣刀架的温度变化会引起其产生形变，这种形变量使刀具逐渐偏离相对工件的实际位置，而与此同时，进给量维持不变，其相对工件的径向切入量就会在不同齿数间产生差异，从而影响到齿槽的深度，造成齿距偏差过大，也就很容易形成首齿与尾齿之间常见的退刀大牙。

为了对以上关于铣刀架温度变化引起齿槽深度变化造成齿距偏差的推测进行验证，在型号为YK83500/4的铣齿机上进了简单的打表试验。试验采用的测量仪器是一只测温枪和两只百分表，将百分表一的表座吸附于工件或胎具上，调整铣刀架位置，使百

分表表针压在铣刀架上，调节其指针对零；将百分表二的表座吸附在立柱导轨上，调整使此百分表表针压在床身立柱上，调节其指针对零，调整测温枪，检查其精度。试验开始前，用测温枪测量铣刀架的初始温度，后启动刀盘。在铣齿机的运转过程中，每相隔一定时间用测温枪测量铣刀架温度，并读取相应百分表读数，结果如表1所示，记录过程中，刀盘转速为120r/min，室温为14℃。

时间至360min后，停下铣齿机，随时间变化读取测温枪及两个百分表读数，得到数据积累如表2所示，记录过程中，刀盘转速为0r/min，室温为14℃。

表 1

时间/min	0	20	40	60	90	120	180	...	300	360
温度/℃	18.5	21	23.3	25.1	27.7	29.4	31.8	...	37.8	37.8
表一读数/mm	0	0.02	0.05	0.08	0.11	0.135	0.163	...	0.22	0.22
表二读数/mm	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0

表 2

时间/min	360	380	400	420	450	480	540	...	1 200
温度/℃	37.8	35	33.4	30.9	28	28	28	—	19
表一读数/mm	0.22	0.2	0.185	0.154	0.12	0.12	0.12	—	0
表二读数/mm	0	0	0	0	0	0	0	—	0

分析表1、表2的数据可以发现,铣齿机起动后,由测温枪测得铣头温度不断上升,温差从18.5℃升到最高37.8℃,有约20℃的温差,而伴随时间变化,温度上升,刀架在径向方向上产生了形变,有了一定的伸长量,伸长量从0mm一直到0.22mm,温度升高至最高,伸长量也达到最大,后主轴停止,铣刀架温度以稳定速率回落,此时刀架在径向方向上的形变量也从0.22mm慢慢恢复至0mm。依据以上数据绘制温度与铣刀架形变量关系如图1所示。

以上数据与图表说明,在铣齿机运转过程中,确实存在因为铣刀架温度上升而导致的形变,并且形变也确实在径向上有一定的伸长量,正是这个径向伸长最终造成了齿槽的深度加深,进而引起齿距偏差。这说明,笔者关于铣刀架温度变化引起齿槽深度变化的猜测是正确的。而经过这一试验,发现了温度变化是引起齿距偏差的根源所在。

为了解决温度变化带来的影响、保证加工精度,有两个方案可供参考,一是研车,使铣刀架内部达到热平衡后再行加工;二是人为计算偏移量并在加工过程中设置进给量同时予以偏移,从而达到补偿温度变化引起的偏移的目的。其中,第一种方法看似可行,但在加工车间很难实现,因为要达到热平衡需要很长的空研车时间,在实际生产中的效率

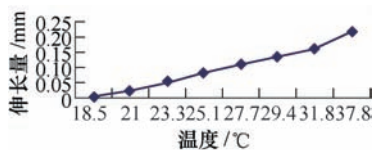


图1 温度与伸长量关系

太低。因此,采用第二种方法,即为温度补偿法。这一方法的具体操作为:实时检测铣刀架的温度,通过温度的变化量来估算刀盘的偏移量,将刀具的偏移量补偿到径向切削量中,从而实现实际切削量的平衡,减小由于主运动产生的热量而引起的热变形导致最终对尺寸的影响。具体温度补偿方案如表3所示。

这里的温度采集选用的是两个贴片式温度传感器KYW-T1分别对床身和铣头进行采集,将采集来的信号通过KYW-DP3V温度变送器将温度值转换为电压信号反馈给数控系统。两个温度采集点以床身温度作为基准温度亦即环境温度。每加工完一个齿,计算一次两点的温度差值,温差增大,则有温升,温差增量则为温升量;温差不变,则温度稳定。这里使用的两点温差的增量作为温度补偿的数据,是为了避免环境温度的变化造成对温度数据采集的不准确而影响补偿的精度。温度变送器与传感器接线如图2所示,图中V0端子连接到系统I/O板的模拟量输入端上。

经过温度变送器转换后,在数控系统上,其显示如表4所示,此为西门子828D系统模拟量输入端电压测量运行方式的测量值。

通过表4可以看到,西门子828D系统采集到的数值范围

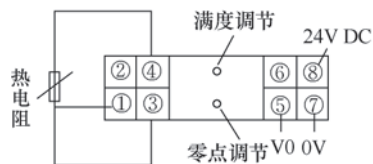


图2 温度变送器与传感器接线

为0~6 581,而温度传感器的量程范围为-50~100℃。依据此可以计算出温度上升的系数 $M=6\ 581 \div 150 \approx 43.87$,这个系数显示,温度每升高1℃,系统读取的数据增大43.87。而伸长量与温度的关系也可以通过表1、表2和图1得到。

依据表1、表2可知,此试验中主轴运行后的温升取近似值20℃,径向伸长量最大约为0.22mm,这一试验结果与材料研究室依据相关理论计算的温升参数0.01/℃相符。有了这个数据,可以计算出铣刀架材料本身的伸长系数K值。以公式计算如下:

$$K = \frac{\Delta L}{\Delta T} \approx 0.011 \quad (1)$$

式中, ΔL 为伸长量(mm), ΔT 为温升量(℃),则温度每升高1℃,系统上读取到的数据与伸长量之间的关系为

$$\begin{aligned} X &= K \times \frac{\Delta P}{M} \\ \Delta P &= \Delta P_{n+1} - \Delta P_n \\ &= (P_{n+1} - P'_{n+1}) - (P_n - P'_n) \end{aligned} \quad (2)$$

式中,K为伸长系数;M为温升系数; ΔP 为读数偏差的增量; P_n 为铣

表3 温度补偿方案

设备型号	所需器材	数量
6FC5311-0AA00-1AA0	西门子PP72/48D 2/2A PN I/O板 (带两路模拟量信号输入输出)	1块
KYW-T1	北京昆仑远传仪表贴片式温度传感器 (PT100热电阻,量程-50~100℃)	2个
KYW-DP3V	北京昆仑远传仪表温度变送器, 输出信号为电压信号0~10V	2个

表 4

16位数值 (hex)	16位数值 (dez)	系数	电压值/V
超出		—	取消使能
过载		—	至11.76
0x18B5	6 581	0.001 519 47	10
0x0CDA	3 291		5
0x066D	1 645		2.5
0x0000	0		0
0xF993	-1 645		-2.5
0xF326	-3 291		-5
0xE64B	-6 581		-10
低负载		—	至-11.76
未到达		—	取消使能

刀架处读取的数值； P'_n 为床身处读取的数值； n 为当前加工的齿数。

以此作为补偿，即每加工完一个齿，读取温度传感器数据，计算一次温度差，依据数控系统的读取数据设置伸长量补偿，在

补偿数据的基础上进行下一个齿的切削，以此循环，直到切完最后一个齿。这就是完整的温度补偿方案原理。

确认此方案后，在铣齿机YK83500/4上进行了编程工作，

调整程序以补偿铣刀架的伸长量，并在此状态下进行了试切验证。结果表明，此方案按照预期的效果减小了齿槽渐变的切削深度，切削深度不再发生变化，也就修正了后期加工出的齿距偏差。这一结果证明，温度补偿法是一个行之有效的修正齿距偏差的方案。后期，此方案将会被普遍应用于实际生产中。

参考文献：

- [1] 刘朝华，戴怡，石秀敏，等. 西门子840D数控系统温度误差补偿的研究与应用[J]. 机械与液压，2009 (9) : 12-13, 19.

MW (收稿日期：20160417)



高精度油压滚丝机 NC伺服滚丝机 滚丝轮



SHC-25CM



SHC-10CM

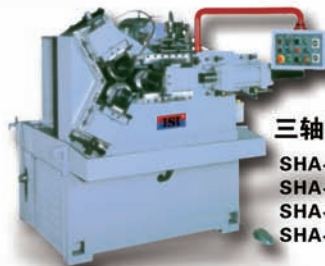


滚牙机

SHC-10CM
SHC-13CM
SHC-15CM
SHC-18CM
SHC-25CM



SHC-18CM



三轴滚丝机

SHA-8CMD
SHA-12CMD
SHA-80A
SHA-90A



进口滚牙轮、滚丝轮



日本圆锯片



SH-3T

台湾
原
装
制
造

总汇各型滚丝轮：如普通牙、蜗杆牙、梯型牙、电子螺杆牙轮、滚珠丝杆牙轮、直花、十字花、PT牙、NPT牙等各种牙轮的外径大小、厚度长短均可订做。

东莞市嵩濠五金机械有限公司
地址：东莞市长安镇锦厦聚和五金城1楼B区9号
电话：0769-85359660 85359670
传真：0769-85477511 手机：013925860379
Http://www.song-hao.com
E-mail:song-hao.com@163.com

上海嵩涌五金机械有限公司
地址：上海市松江区思贤路2399弄619号101室
电话：021-57710182
传真：021-57710182
手机：013925860379

嵩濠五金机械有限公司
地址：台湾省台中市潭子区民生街120号
E-mail: Zang5429@gmail.com

◆广告 查询编号：2563