

旋压力算法对比试验研究

Comparison Experimental Research on Spinning Force Algorithm

中航工业北京航空制造工程研究所 张喻琳 孙彩霞 许翠芳 马岩

[摘要] 针对旋压力算法计算值的不同,在新结构立式三旋轮旋压机 SY-50L 上,设计旋压力标定试验和动态旋压试验,用试验数据对比研究旋压力算法,得出适合现有实测数据的一种修正旋压力算法,为设计旋压机时选取旋压力算法提供有效的参考。

关键词: 旋压力 算法 试验研究

[ABSTRACT] The results of spinning-force algorithm are different. By the new structure of three rollers vertical spinning machine, the design of calibration experiment and the dynamic spinning experiment are designed to analyze the difference. Statistical analysis of the experimental results obtained for the existing experimental data, and the modified spinning force algorithm selected to provide the effective reference.

Keywords: Spinning force Algorithm Experimental research

旋压技术被广泛应用于航天、航空、兵器和民用等领域。旋压机是金属旋压技术的主要应用设备^[1],在旋压机设计中,旋压力是选取主轴功率、轴向、径向驱动力的重要参数之一。目前旋压力的算法有多种,计算得出的旋压力结果也各不相同,旋压力计算值过大会造成主轴电机功率、轴向径向驱动动力、结构刚度及液压电器的浪费、设备成本过高等不良后果。旋压力计算值过小,会造成设备无法满足工艺的旋压加工效率要求进而影响产品的加工质量^[2]。因此,准确的旋压力计算可提供满足设备工艺需求和节约成本的最佳方案。

1 试验方案

为便于研究,现将旋压力 P 分解为 3 个互相垂直的分力^[3],即径向力 P_r 、轴向力 P_z 、切向力 P_t ,如图 1。收集到典型工艺参数下各种计算方法得出的旋压力值见表 1。

表 1 按目前工艺对设备的典型工艺参数要求代入计算(典型工艺参数是指待设计新设备的最大工艺参数,由旋压工艺人员根据所加工产品的精度和效率提出)。目前典型工艺参数如下:工件壁厚 $t_0=35\text{mm}$,减薄

后壁厚 $t_f=25\text{mm}$,进给量 $f=1\text{mm/r}$,平均变形抗力 $\sigma_m = 2\sigma_s/\sqrt{3} \text{ kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$,旋轮工作角 $\alpha=25^\circ$,工件半径 $R=1250\text{mm}$,旋轮半径 $R_p=315\text{mm}$,材料的屈服极限 $\sigma_s=70\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ 。表 1 通过对以上工艺参数的旋压力计算对比得出的扎马舍特算法值最大,陈适先算法值最小,切向力、轴向力、径向力的取值范围分别是 10~23kN、170~720kN、370~1530kN,安全设计时取值范围较宽,可选计算值最大的一组值,并乘以安全系数后选用。在实际应用中,选值过大会造成功率的浪费,如何选取合适的算法,有待进一步研究。

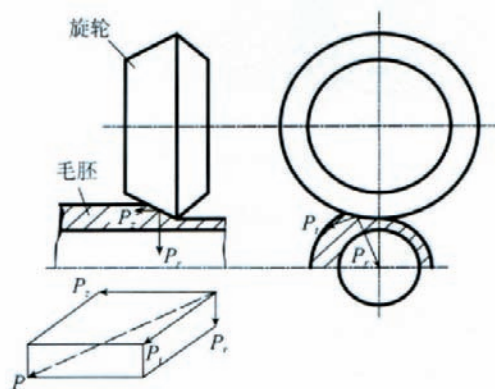


图 1 旋压力及其分力示意图

Fig.1 Diagram of spinning force and component force

表 1 典型工艺参数下各种计算方法得出的旋压力值 kN

计算方法	径向力 P_r	轴向力 P_z	切向力 P_t
扎马舍特	1530	720	23
叶山益次	860	400	23
马泽恩	570	270	16
柯巴耶希	550	260	15
陈适先	370	170	10

注:扎马舍特是基于轧制力的相似计算;叶山益次是基于强力旋压变薄拉深成形;马泽恩是斜面锻造筒形件强旋;柯巴耶希是料处于平面应力状态,忽略旋轮和工件间的摩擦力;陈适先是用能量法按轧压变形计算。

为进一步比较各种算法,通过试验测出旋压力同各种算法进行比较^[4-5]。在立式三旋轮数控强力旋压机 SY-50L 上进行试验,设备如图 2。设备性能参数如

下: 电机功率为 300kW, 主轴转速为 10~80r/min, 单轮径向力 500kN, 轴向总合力 1000kN, 加工工件最大直径 1500mm, 加工工件最大长度 2000mm。新设备在径向、轴向驱动缸上安装有 BOSCH 压力传感器如图 3, 可读取油缸两腔的油压值, 计算油缸输出力值: $F=P_A \cdot S_A - P_B \cdot S_B$, 其中 P_A, S_A, P_B, S_B 分别是有杆腔和无杆腔的压力值和油缸截面积。为消除压力传感器数据中包含的液压缸、导轨摩擦力误差、液压油弹性误差、平衡缸平衡力误差、传感器误差等而采用压力差算法。压力差算法是用测试中油压值的计算力减去静态油压值的计算力得出设备的输出力: $F_0=F-F'$ 。静态油压值是设备在无负载时油缸的压力值: $F'=P_A' \cdot S_A - P_B' \cdot S_B$, 其中 P_A', P_B' 是无负载时油缸的压力值。为保证静态油压值数据可靠, 取 7 组不同点位置的数据, 计算后取平均值, 这 7 组数据同旋压力标定试验的数据对应一致, 减少了测点引起的数值误差; 在设备上还进行了旋压力的标定试验, 保证设备输出力值的准确。

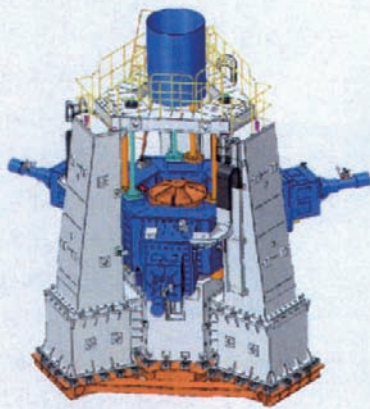


图2 SY-50L旋压机
Fig.2 SY-50L spinning machine

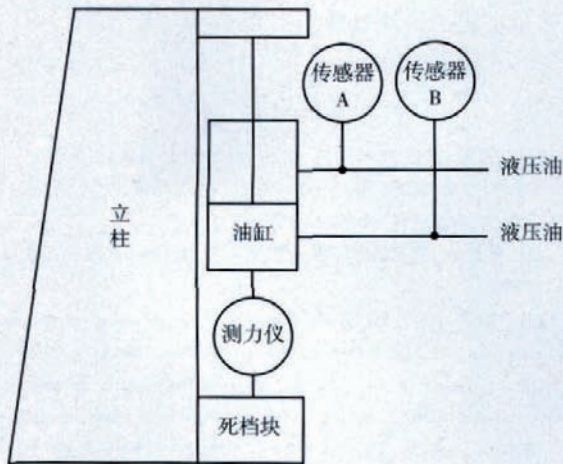


图3 标定试验原理图
Fig.3 Principle of calibration experiment

2 试验研究

2.1 旋压力标定试验方法和结果

试验原理如图 3, 用测力仪在现有设备上测出标定力 f 与计算力 F_0 的比值系数 $C: C=F_0/f$ 。标定力 f 由测力仪直接读出, 计算力 F_0 由设备上驱动缸的油压值计算得出, 计算中要减去无负载力, 即用压力差算法用 300kN 三等标准测力计, 在设备立柱的死挡块和垂滑枕位置进行测力试验(如图 4)。该位置从结构上来看是最适合的位置, 可承受达到 300kN 的压力, 便于读取测



图4 静态测力试验现场
Fig.4 Static experiment site of force measuring

量数值。为保证数据可靠, 在 3 个立柱相同的位置都进行测试。

试验数据如表 2 所示, 用线性回归分析得出函数如下, 其中立柱 2 的线性回归函数如图 5。

表2 静力测力数据 kN

实测值	立柱 1	立柱 2	立柱 3
30	30.2	21.7	35.5
50	46.2	40.2	29.2
100	92.5	90.4	89.4
150	145.6	136	137.6
200	193	185	180.5
250	236	237	230.4

立柱 1: $Y=0.9527X+0.062$,

立柱 2: $Y=0.9733X-8.145$,

立柱 3: $Y=0.9315X-4.000$ 。

取出各函数系数, 求平均值 $(0.9527 + 0.9733 + 0.9315) / 3 = 0.9525$, 该平均值即是所求的比值系数。由于横向驱动缸和垂向驱动缸结构一样, 可将这一比值系数应用于横向缸。

2.2 动态旋压试验方法和结果

在旋压机 SY-50L 上进行毛坯件的试旋, 毛坯材料

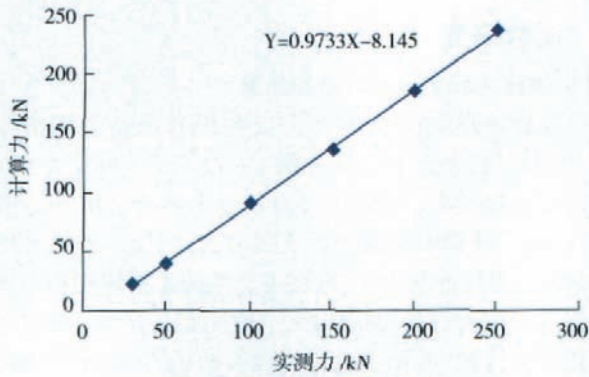


图5 立柱2的线性回归函数图
Fig.5 Linear regression function of pier 2

Q235,壁厚 10mm,直径 1400mm,高 1000mm,在旋压中,读取表 3 中工艺参数对应的驱动缸油压值,通过油缸固定面积计算出设备输出力。计算时,同样减去空载时相应旋压参数下的动态油缸计算力,再与标定试验的比值系数相除得出实际输出力。

用表 3 中这 3 组工艺参数代入旋压力算法公式,将计算值与对应实际输出力作比得倍数,得试验数据如表 4。

表4 动态旋压数据在各种算法的对比倍数表

倍数	扎马舍算法	马泽恩算法	叶山益次算法	柯巴耶希算法	陈适先算法	实际力/kN
参数 1	径向	145%	284%	67%	107%	1.779
	轴向	415%	816%	193%	307%	0.434
参数 2	径向	301%	155%	158%	106%	5.473
	轴向	756%	390%	397%	266%	1.528
参数 3	径向	304%	196%	160%	107%	7.677
	轴向	551%	356%	289%	194%	2.965

在三向旋压分力中,径向力 > 轴向力 >> 切向力^[6],本试验结果的实际力同其他计算力比较,在径向力中陈适先算法值最小。在参数 1、2、3 中陈适先算法值分别是实际力的 31%、71% 和 72%;最大径向力是马泽恩算法,在参数 1 中,马泽恩算法是实际力的 2.84 倍,在参数 2 和 3 中,扎马舍算法是实际力的 3.01 倍和 3.04 倍。最接近实际径向力的是柯巴耶希算法,分别是实际力的 1.07 倍、1.06 倍和 1.07 倍。在轴向力上,各公式计算力普遍偏大,除参数 3 的陈适先算法是 89% 外,其余算法的倍数都大于等于实际力的 1 倍。最大轴向力是马泽恩算法,在参数 2 中,是实际力的 8.16 倍,而柯巴耶希算法在参数 1、2、3 中分别是实际力的 3.07 倍、2.66 倍和 1.94 倍,同实际力比较数值偏大,从综合径向力和轴向力考虑,柯巴耶希算法径向力与实际力最为接近。用柯巴耶希算法的径向力倍数修正公式,修正后的柯巴耶希算法如下:

表3 动态旋压工艺参数

	减薄量 (壁厚)/mm	进给量/ (mm·min ⁻¹)	主轴转速/ (r·min ⁻¹)
参数 1	0.5 (3.5)	10	40
参数 2	3(10)	10	35
参数 3	3(10)	20	35

$$\begin{cases} P_r = t_0 \times \sigma_m \times \sqrt{2R_p f \cot \alpha} \times K/1.07 \\ P_z = t_0 \times \sigma_m \times \sqrt{2R_p \tan \alpha} \times K/1.07 \\ P_t = t_0 \times f \times \sigma_m \times K/1.07 \end{cases}$$

3 结论

(1) 根据表 4 试验数据分析,用柯巴耶希算法进行最大旋压力的计算,所得力值最为合适;表 1 数据对比中,扎马舍特算法同柯巴耶希算法相比,其径向力是柯巴耶希算法的 2.78 倍,轴向力是柯巴耶希算法的 2.76 倍,切向力是柯巴耶希算法的 1.53 倍。陈适先算法计算值偏小,同扎马舍特算法相比,其径向力、轴向力和切向力各小了 67%、65% 和 67% 倍。因此,依据实际力对

比的表 4 比相互算法对比的表 1 研究更深入。

(2) 试验数据更准确地反映出旋压力通过实测数据对柯巴耶希算法进行修正,用此理论公式来指导设计的方法更具有工程实用价值。

(3) 本文的试验方法是针对新设备专门设计的。在后续旋压中可进行其它种类材料或工艺性的分析研究,以利于进一步了解旋压力,同时也为设备设计提供重要的设计参数。

参考文献

- [1] 张涛. 旋压成形工艺. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2] 日本塑性加工学会. 旋压成形技术. 陈敬之, 译. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [3] 陈适先, 贾文铎等. 强力旋压工艺与设备. 北京: 国防工业出版社, 1986.
- [4] Y. Tianguo, M. Makoto. An experimental study on spinning of taper shape on tube end. J. Mater. Process. Technol. 166:2005, 405-410.
- [5] S. Debin, Y. Guoping, X. wenchen. Deformation history and the resultant microstructure and texture in backward tube spinning of Ti-6Al-2Er-1Mo-1V. J. Mater. Process. Technol. 209:2009, 5713-5719.
- [6] 许洪烈. 强力旋压技术. 北京: 国防工业出版社, 1984.

(责编 飞翔)