

车床拨叉零件数控加工工艺与夹具设计研究

黄诚

(广西机电职业技术学院 广西 南宁 530007)

摘要: 车床拨叉零件形状结构比较复杂,加工精度不容易保证。随着数控机床的普及,采用数控机床加工车床拨叉零件,具有工艺路线短、工序集中、工艺装备数量少、加工效率高、加工精度高等优点。本文在分析车床拨叉零件形状结构和加工表面技术要求的基础上,合理选择加工方法、工艺装备和切削用量,编制零件的数控加工工艺规程,设计数控铣床专用夹具,保证零件的加工精度达到要求,同时具有较好的加工经济性。

关键词: 车床拨叉; 数控加工工艺; 夹具设计

0 引言

车床拨叉是车床主轴箱传动系统的组成零件。车床工作时,扳动车床主轴箱的变速手柄,拨叉在轴上移动时带动滑移齿轮跟随移动,使滑移齿轮与不同齿数的固定齿轮相啮合,改变传动齿轮组的传动比,从而使得车床主轴获得不同级别的转速^[1]。拨叉类零件形状结构比较复杂,采用普通机床进行加工,存在加工工艺路线长、工序分散、工艺装备数量多、加工效率低、加工精度难保证等问题。目前,机械加工已经向着数字化方向迈进,随着数控机床的应用越来越普及^[2],采用数控机床加工车床拨叉零件,具有工艺路线短、工序集中、工艺装备数量少、加工效率高、加工精度高等优点,特别适用于形状复杂、生产批量小的车床拨叉零件的加工。本文以CY6140车床拨叉零件为原型,在分析零件形状结构和加工表面技术要求的基础上,编制零件的数控加工工艺规程,设计其中一道工序的数控铣床专用夹具。

1 零件结构和加工表面技术要求分析

1.1 零件结构

车床拨叉零件结构形状如图1所示。

1.2 零件加工表面技术要求分析

- (1) $\phi 22^{+0.021}_0$ mm 孔: 尺寸精度为 IT7, 表面粗糙度 $Ra3.2\mu m$;
- (2) 拨叉口 $12^{+0.05}_{-0.16}$ mm 上下两端面: 尺寸精度为 IT11, 表面粗糙度 $Ra6.3\mu m$, 与 $\phi 22^{+0.021}_0$ mm 孔轴线的垂直度公差为 0.05mm;
- (3) $12^{+0.11}_0$ mm 滑槽: 尺寸精度为 IT11, 表面粗糙度

$Ra6.3\mu m$, 与拨叉口 $12^{+0.05}_{-0.16}$ mm 上下两端面中心线的对称度公差为 0.12mm;

- (4) 拨叉口 $\phi 44^{+0.16}_0$ mm 圆弧面: 尺寸精度为 IT11, 表面粗糙度 $Ra6.3\mu m$, 与 $\phi 22^{+0.021}_0$ mm 孔的中心距为 $137^{+0.13}_{-0.40}$ mm;

- (5) 其他次要表面: 尺寸精度为自由公差, 表面粗糙度 $Ra6.3\mu m$ 。

2 车床拨叉零件数控加工工艺规程设计

2.1 生产类型和毛坯

车床拨叉零件的生产类型为小批量生产。零件毛坯采用单件铸造,材料为 HT200, 毛坯铸造时 $\phi 22^{+0.021}_0$ mm 孔不铸出底孔, 其他加工表面的加工余量均为 2mm。

2.2 零件表面加工方法选择

- (1) $\phi 22^{+0.021}_0$ mm 孔及倒角: 加工方法选择“钻—扩—铰—铰”;
- (2) 拨叉口 $12^{+0.05}_{-0.16}$ mm 上下两端面、拨叉口 $\phi 44^{+0.16}_0$ mm 圆弧面、其他次要加工表面: 加工方法选择“粗铣—精铣”;
- (3) $12^{+0.11}_0$ mm 滑槽: 滑槽的宽度尺寸由刀具保证, 加工时滑槽宽度和深度一次铣削完成。

2.3 定位基准的选择

定位基准分为粗基准、精基准、辅助基准等类型。定位基准的选择对机床夹具结构和零件加工质量有着非常重要的影响^[3]。

2.3.1 粗基准的选择

以 $\phi 40$ mm 圆柱下端面、拨叉口 12mm 下端面、 $\phi 40$ mm 圆柱面、幅板侧面作为粗基准, 加工

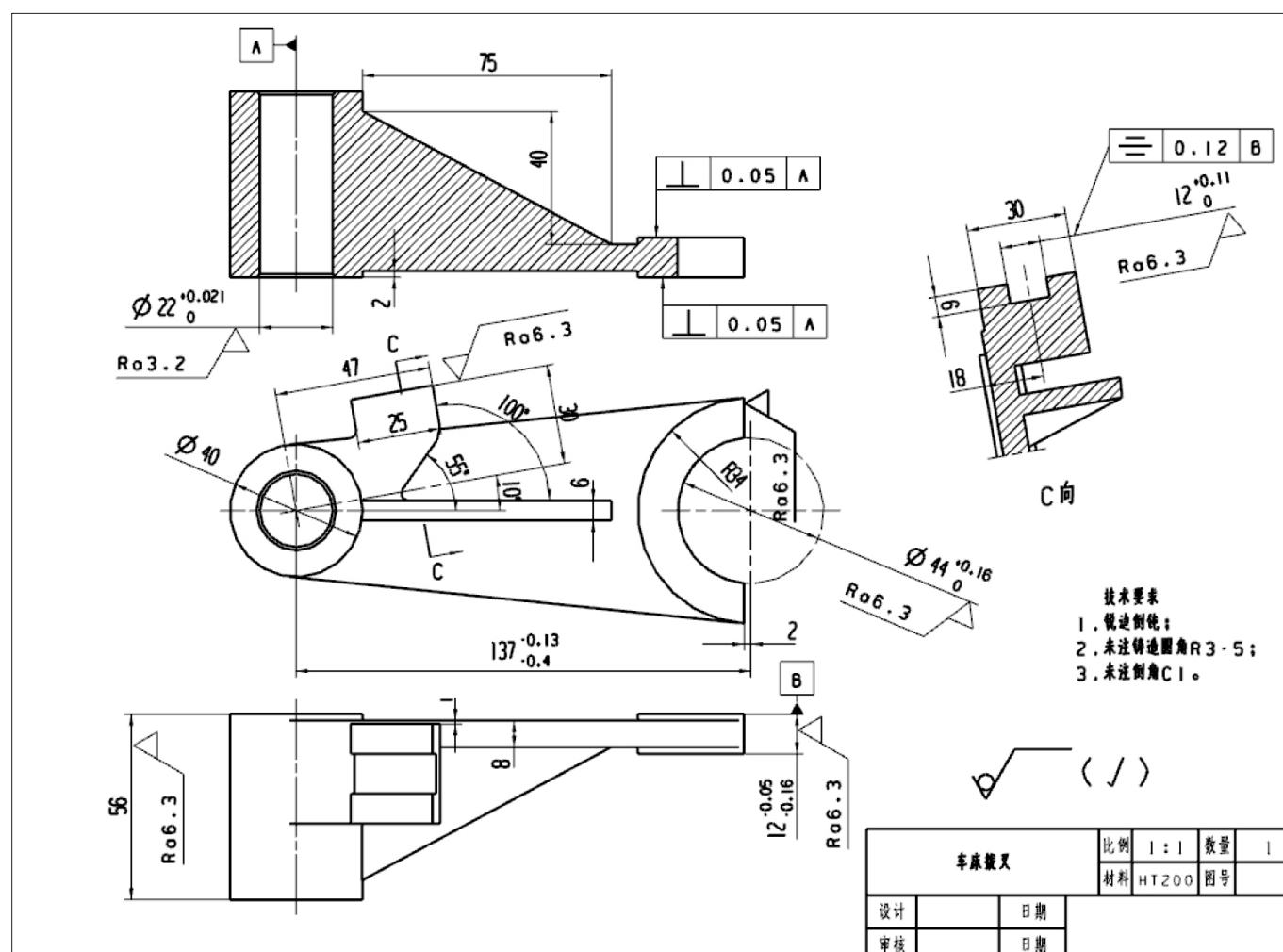


图1 车床拨叉零件图

$\phi 40$ mm 圆柱的上端面、拨叉口上端面、 $\phi 22$ mm 孔等。

2.3.2 精基准的选择

以加工过的 $\phi 22$ mm 孔、 $\phi 40$ mm 圆柱上端面、拨叉口 12mm 上端面作为精基准，加工 $\phi 40$ mm 圆柱下端面、拨叉口 12mm 下端面、拨叉口 135mm 右端面和 $\phi 44$ mm 圆弧面、凸台侧面、滑槽等。

2.4 拟定加工工艺路线

拟定加工工艺路线时应合理安排切削加工、热处理、辅助工序的顺序，充分发挥机床的功能，得到最完善、最合理的加工工艺路线^[4]。

车床拨叉零件加工工艺路线：铸造—时效处理—铣削（粗铣 $\phi 40$ mm 圆柱的上端面、粗铣拨叉口 $12_{-0.16}^{-0.05}$ mm 的上端面、精铣 $\phi 40$ mm 圆柱的上端面、精铣拨叉口 $12_{-0.16}^{-0.05}$ mm 的上端面、钻扩铰 $\phi 22_{+0.021}^0$ mm 孔、铰倒角）—铣削（粗铣 $\phi 40$ mm 圆柱的下端面、粗铣拨叉口 $12_{-0.16}^{-0.05}$ mm 的下端面、精铣 $\phi 40$ mm

圆柱的下端面、精铣拨叉口 $12_{-0.16}^{-0.05}$ mm 的下端面、铰倒角、粗铣拨叉口 135mm 右端面、粗铣拨叉口 $\phi 44_{+0.16}^0$ mm 孔、粗铣凸台侧面、精铣拨叉口 135mm 右端面、精铣拨叉口 $\phi 44_{+0.16}^0$ mm 孔、精铣凸台侧面、铣滑槽）—清洗—检验—油漆入库。

2.5 加工设备和工艺装备

2.5.1 机床、夹具选择

工序 3、工序 4 选择 XK715 数控铣床进行加工，数控系统为 FANUC-0iM，两道工序均需要设计专用夹具。

2.5.2 刀具、量具选择

(1) 工序 3： $\phi 80$ mm 面铣刀（YG6 硬质合金刀片、5 刀刃）； $\phi 20$ mm 麻花钻（高速钢）； $\phi 21.8$ mm 扩孔钻（高速钢）； $\phi 22$ mm（H7）铰刀（高速钢）；铰孔钻（高速钢）。

(2) 工序 4： $\phi 80$ mm 面铣刀（YG6 硬质合金刀片、5 刀刃）；铰孔钻（高速钢）； $\phi 16$ mm 立铣刀（YG6

硬质合金整体刀具、4 刀刃)； $\phi 25\text{mm}$ T 型槽铣刀 (YG6 硬质合金整体刀具、8 刀刃)。

(3) 量具：游标卡尺、内径千分尺、表面粗糙度样板等。

2.6 确定各工序的加工余量、工序尺寸及偏差

(1) 钻扩铰 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 孔的加工余量、工序尺寸及偏差：钻孔工序余量为 20mm ，工序尺寸及偏差为 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ ；扩孔的工序余量为 1.8mm ，工序尺寸及偏差为 $\phi 21.8_0^{+0.084}\text{mm}$ ；铰孔工序余量为 0.2mm ，工序尺寸及偏差为 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 。

(2) 其他加工表面的加工余量、工序尺寸及偏差： $\phi 40\text{mm}$ 圆柱的上下端面、拨叉口 12mm 的上下端面、拨叉口 135mm 右端面、拨叉口 $\phi 44\text{mm}$ 圆柱面、凸台侧面的加工精度均为 IT11，粗铣加工余量选择 1.5mm ，精铣加工余量选择 0.5mm ，粗铣的工序尺寸及偏差采用自由公差，精铣加工到尺寸。滑槽的宽度和深度尺寸一次铣削完成，宽度尺寸由刀具保证，深度尺寸为自由公差。

2.7 确定工序的切削用量

切削用量的选择对加工质量、加工效率的影响非常大，加工时必须合理选择切削用量。查阅机械加工工艺设计手册，确定了工序的切削用量^[5]。

2.7.1 钻扩铰 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 孔

(1) 钻孔到 $\phi 20_0^{+0.21}\text{mm}$ ：背吃刀量 $a_p=20\text{mm}$ ；切削速度 $v_c=21\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=334\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=0.4\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=133\text{mm/min}$ 。

(2) 扩孔到 $\phi 21.8_0^{+0.084}\text{mm}$ ：背吃刀量 $a_p=1.8\text{mm}$ ；切削速度 $v_c=28\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=409\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=0.5\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=204\text{mm/min}$ 。

(3) 铰孔到 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ ：背吃刀量 $a_p=0.2\text{mm}$ ；切削速度 $v_c=8\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=115\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=1\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=115\text{mm/min}$ 。

2.7.2 $\phi 80\text{mm}$ 面铣刀

(1) 粗铣：背吃刀量 $a_p=1.5\text{mm}$ ；切削速度 $v_c=60\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=238\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=1.2\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=285\text{mm/min}$ 。

(2) 精铣：背吃刀量 $a_p=0.5\text{mm}$ ；切削速度 $v_c=108\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=430\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=0.7\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=300\text{mm/min}$ 。

2.7.3 $\phi 16\text{mm}$ 立铣刀

(1) 粗铣：背吃刀量 $a_p=1.5\text{mm}$ ；切削速度

$v_c=60\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=1194\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=0.24\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=286\text{mm/min}$ 。

(2) 精铣：背吃刀量 $a_p=0.5\text{mm}$ ；切削速度 $v_c=108\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=2149\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=0.16\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=343\text{mm/min}$ 。

2.7.4 $\phi 25\text{mm}$ T 型槽铣刀

背吃刀量宽度方向为 12mm ，深度方向为 6mm ；切削速度 $v_c=108\text{m/min}$ ，主轴转速 $n=1375\text{r/min}$ ；每转进给量 $f=0.16\text{mm/r}$ ，进给速度 $v_f=220\text{mm/min}$ 。

3 工序 3 数控铣床专用夹具设计

机床夹具的功能是实现工件定位及夹紧，使工件加工时相对于机床、刀具占据正确的加工位置，同时引导刀具对工件进行加工。合理的夹具设计可以保证工件的加工质量，提高加工效率，降低劳动强度。

3.1 定位方案设计

3.1.1 自由度限制

应限制的自由度分析：粗铣、精铣 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱的上端面 and 粗铣、精铣拨叉口 $12_{-0.16}^{0.05}\text{mm}$ 的上端面需要限制 Z 移动、 X 转动、 Y 转动 3 个自由度；钻扩铰 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 孔及铰倒角需要限制 X 移动、 Y 移动、 Z 移动、 X 转动、 Y 转动 5 个自由度。综合上述，工序 3 需要限制 X 移动、 Y 移动、 Z 移动、 X 转动、 Y 转动 5 个自由度。

3.1.2 定位元件设计

定位元件采用两个支承钉、一个 V 型块、一个防转销定位，限制全部 6 个自由度，实现工件的完全定位。定位元件中，支承钉限制 Z 移动、 X 转动、 Y 转动 3 个自由度，V 型块限制 X 移动、 Y 移动 2 个自由度，防转销限制 Z 转动 1 个自由度。

3.1.3 定位误差分析

定位误差 Δ_D 的组成包括基准不重合误差 Δ_B 和基准位移误差 Δ_Y 。粗铣、精铣 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱的上端面以及粗铣、精铣拨叉口 $12_{-0.16}^{0.05}\text{mm}$ 的上端面的定位基准与工序基准重合， $\Delta_B=0$ ；采用平面定位， $\Delta_Y=0$ 。拨叉口 $12_{-0.16}^{0.05}\text{mm}$ 的上端面与 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 孔轴线的垂直度公差 0.05mm ，加工时定位基准与工序基准重合，并且钻扩铰孔与平面铣削在一次装夹中完成，可以保证垂直度公差要求。钻扩铰孔 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 的尺寸精度由刀具保证，与定位无关。 $\phi 22_0^{+0.021}\text{mm}$ 孔的中心与 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱的中心没有同轴度要求。综上所述，定位方案可以满足加工精度

要求。

3.2 夹紧机构设计

采用螺旋压板夹紧机构,具有结构简单、自锁性能好、制造方便、夹紧行程不受限制等优点,在手动夹紧机构中应用广泛。

3.2.1 切削力计算

查阅机械加工工艺设计手册,计算切削力^[5]。

(1) 钻 $\phi 20\text{mm}$ 孔的钻削转矩计算公式为:

$$M=225.63 \times d_0^{1.9} \times f^{0.8} \times 10^{-3}$$

式中: d_0 — 钻头直径,取 $d_0=20\text{mm}$;

f — 钻孔进给量,取 $f=0.4\text{mm/r}$ 。

代入公式,得 $M=225.63 \times 20^{1.9} \times 0.4^{0.8} \times 10^{-3}=32\text{Nm}$ 。

(2) 粗铣 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱上端面的铣削力的计算公式为:

$$F_z=9.81 \times 54.5 \times a_e \times f_z^{0.74} \times a_p^{0.9} \times z \times d_0^{-1}$$

式中: a_e — 铣削宽度,取 $a_e=40\text{mm}$;

f_z — 端铣刀每齿进给量,取 $f_z=0.24\text{mm/z}$;

a_p — 背吃刀量,取 $a_p=1.5\text{mm}$;

z — 端铣刀齿数,取 $z=5$;

d_0 — 端铣刀直径,取 $d_0=80\text{mm}$ 。

代入公式,得 $F_z=9.81 \times 54.5 \times 40 \times 0.24^{0.74} \times 1.5^{0.9} \times 5 \times 80^{-1}=669.6\text{N}$ 。

3.2.2 夹紧力计算

螺旋夹紧机构的夹紧力为:

$$F = \frac{PL}{r_1 \tan \varphi_1 + r_2 \tan(\alpha + \varphi_2)}$$

式中: P — 源动力 (N) ;

L — 作用力臂 (mm) ;

r_1 — 螺旋副的当量摩擦半径 (mm) ;

φ_1 — 螺杆端部与工件间的摩擦角 ($^\circ$) ;

r_2 — 螺纹中径的一半 (mm) ;

α — 螺旋升角 ($^\circ$) ;

φ_2 — 螺旋副的当量摩擦角 ($^\circ$)。

螺旋压板夹紧机构采用 $M10 \times 1.5$ 螺纹,取 $P=45\text{N}$, $L=120\text{mm}$,计算夹紧力 $F=3550\text{N}$ 。螺旋压板夹紧机构采用两边夹紧的方式,所以计算夹紧力 $F=7100\text{N}$ 。

实际夹紧力:

$$F_k = Fl/L = 7100 \times 35/70 = 3550 \text{ (N)}$$

式中: l — 螺母中心到支承杆中心

的距离;

L — 工件夹紧点到支承杆中心的距离。

实际夹紧转矩:

$$M_k = F_k L / 1000 = 3550 \times 86 / 1000 = 305 \text{ (Nm)}。$$

式中: L — 工件夹紧点到 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱中心的距离。

从以上计算的切削力和夹紧力结果可知,螺旋压板夹紧机构能够满足工件夹紧的要求。

3.3 对刀和导向装置设计

数控铣床加工时需要一个编程原点来标定走刀路径的坐标值。夹具结构中专门设计了一个对刀块,将对刀块上的一个固定点作为数控编程的原点,编制车床拨叉零件的数控加工程序。

3.4 夹具在机床的安装方式

夹具通过定位键和数控铣床工作台的凹槽定位,确保夹具体与工作台紧密贴合不发生相对位移。夹具体设计安装槽,利用 T 型螺杆和螺母垫片将夹具固定在数控铣床工作台上。

3.5 夹具整体结构

工序 3 数控铣床专用夹具的组成包括夹具体、定位元件 (支承钉、V 型块、防转销)、夹紧机构 (双头螺栓、夹紧垫片、螺母、支承杆)、对刀和导向装置 (对刀块)、其他装置或元件 (定位键) 等。夹具整体结构见图 2。

4 结语

CY6140 车床拨叉零件形状结构比较复杂,加工精度不容易保证。本文在分析车床拨叉零件形状结构和加工表面技术要求的基础上,合理选择加工方法、工艺装备、切削用量,编制零件的数控加工工艺规程,其具有工艺路线短、工序集中、工艺装备数量少、

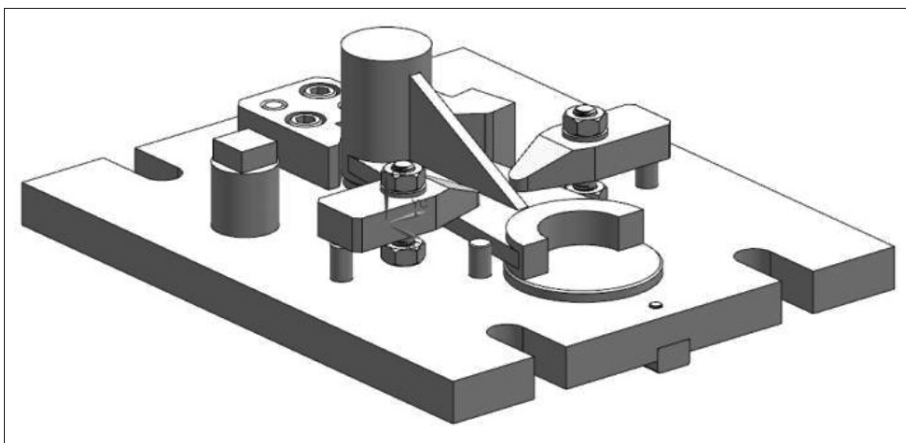


图 2 工序 3 数控铣床专用夹具

加工效率高、加工精度高等优点。同时设计了工序 3 的数控铣床专用夹具，夹具定位可靠、结构简单、操作安全方便、夹紧效率高。车床拨叉零件数控加工工艺规程与数控铣床专用夹具，保证零件的加工精度达到图纸的要求，同时具有较好的加工经济性。

参考文献：

[1] 邹胜林，李玮. CA6140 车床拨叉镗孔夹具的设计 [J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43(10):25-27.

[2] 魏金. 圆盘类零件的专用铣床夹具设计 [J]. 南方农机, 2021(20):125-127.

[3] 邹德东，孙智文，张高辉，等. 齿轮泵泵体加工工艺与专用夹具设计 [J]. 内燃机与配件, 2021(4):72-74.

[4] 张久雷. 叶轮泵室的数控加工工艺与夹具设计 [J]. 机械工程师, 2021(3):116-118.

[5] 张耀宸. 机械加工工艺设计手册 [M]. 北京：航空工业出版社, 1987.

作者简介：黄诚（1967.04-），男，壮族，广西百色人，本科，副教授，研究方向：机械设计与制造。

（上接第 19 页）

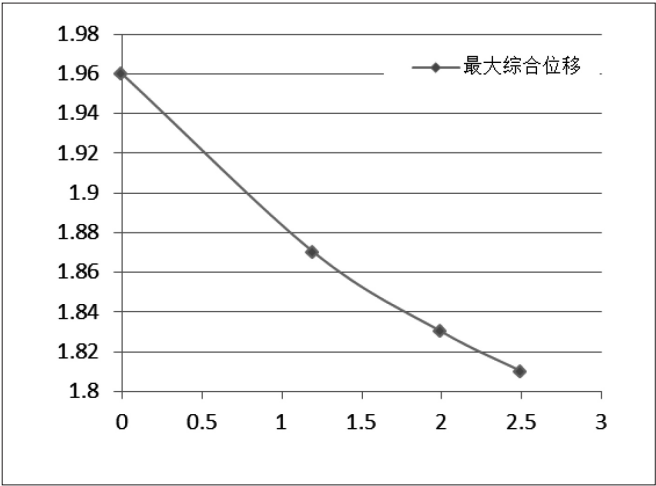


图 8 连接轴最大综合位移随 α 变化曲线

机, 2008, 34(1):23-27.

[5] 李海伟. 支承参数对转子临界转速的影响分析 [J]. 上海电气技术, 2014, 7(1):48-52.

[6] 邓旺群，聂卫健，何萍，等. 高速柔性转子临界转速随支

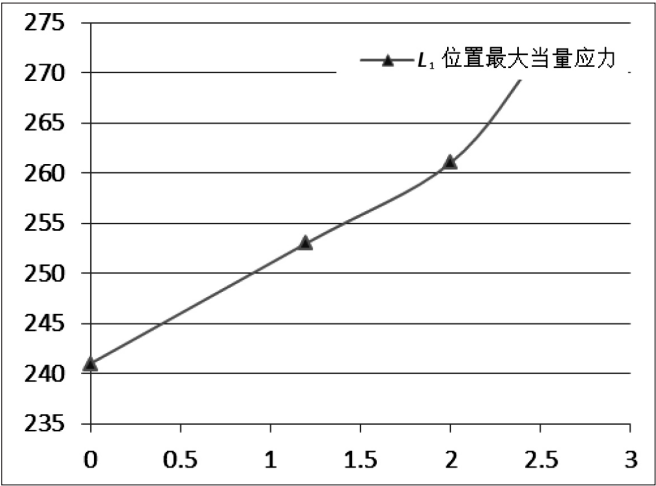


图 9 连接轴 L_1 位置最大当量应力随 α 变化曲线

承刚度的变化规律 [J]. 噪声与振动控制, 2015, 35(3):98-101.

作者简介：朱银方（1984.08-），男，汉族，硕士研究生，高级工程师，研究方向：航空发动机压气机设计。