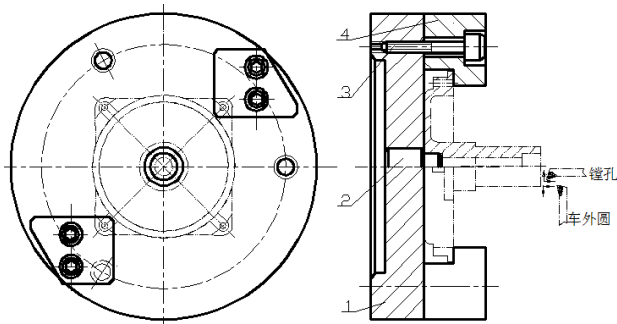


1.1 机壳定位、夹紧分析

如图 3 所示是斜楔轴向压紧式车夹具，针对左侧端盖部壁厚仅 0.8mm 且有四个等分的用户安装凸耳不适合自定心三爪卡盘装夹的难点（非自定心的四爪卡盘无法满足大批量生产）^[1]。车夹具用两个固定式斜楔（如图 4 所示），实现了变传统径向夹紧为轴向压紧，又利用端盖侧已完成车削的轴承室做定位基准，摆脱了传统概念的车削加工无从选择装夹位置的尴尬。



1—夹具体；2. 定位芯；3—紧固螺钉；4—斜楔。

图 3 斜楔轴向压紧式车夹具

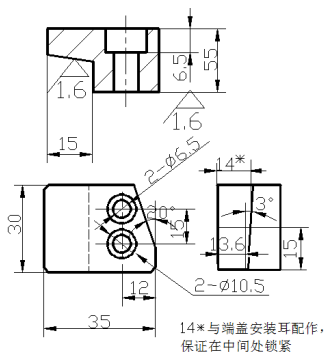


图 4 斜楔

1.2 车夹具结构与工作原理

1.2.1 夹具结构

该夹具由两件对称紧固在夹具体 1 上的斜楔 4 和定位芯 2 组成，定位芯 2 作为定位元件，与端盖左侧轴承室内缘为 0.03mm 的间隙配合。为保证良好的自锁效果，斜楔 4 斜面斜角取 3° 并且斜面中心处于端盖安装凸耳的中间对称部位。

1.2.2 工作原理

如图 3 所示，将端盖左侧轴承室（ $\Phi 220+0.012$ 深 8）套入与之间隙配合的位于夹具体 1 中心的定位芯 2，靠紧夹具体大平面后顺时针转动端盖，依托压铸件尺寸一致性高的特点，当端盖的对角二凸耳进入斜楔斜面中部区域时将被同时锁紧，实现车削件的轴向压紧，当开动车床进入车削加工时，由于端盖轴承孔壁或管壁外缘所受主切削力的方向与端盖旋紧方向一致，所以在整个车削过程期间端盖不会发生松动（反而只会越车越紧）；完成车削后逆时针旋转端盖使其

对角二凸耳锁紧面同时退出斜楔 4 斜面锁紧区，轴向压紧力随之消除，端盖无变形，取件后可进入下一端盖的车削。

1.3 夹具特点分析

基于所加工端盖零件为薄壁铸铝合金材料难以承受径向力的特点，放弃了传统的三爪螺旋夹件而巧妙运用自锁小角度斜楔式轴向压紧机构，利用压铸件尺寸一致性好和车刀切削力方向与端盖锁紧方向相同的特点实现了变径向夹紧为轴向压紧的初衷。实践证明该夹具操作快捷简便产品合格率高，且压紧处对端盖无伤害。

2 定子铁芯浮动过渡定位叠压工装

定子铁芯是由定子冲片散片在完成扭斜并在压紧状态下将已完成车削后的端盖压入（过盈配合）铁芯内孔，以形成带端盖内定子装配部件完整体。

定子斜槽的作用在于，可有效弱化齿谐波磁场附加转矩所产生的电磁振动与噪声，因此定子斜槽角度到位与否将直接关系到反电势中齿谐波的大小。因此寻求一种行之有效的定子斜槽工装是满足上述要求的重要依托。

2.1 内定子铁芯基本要求

作为外转子风机核心部件的内定子铁芯（如图 1 所示）是将 48 片定子冲片经理片、叠压扭斜后内孔压入端盖成为带端盖内定子装配部件，为满足电机的温升、振动和噪声要求，必须保证片间的紧密无错位。叠压工装必须同时保证斜槽质量、内定子铁芯上下端面平整、定子铁芯内外缘轴线同轴度要求^[4]，并且操作应简便可靠。

2.2 叠压工装要点解析

因受扭斜结构要求限制铁芯无法采用低成本的铆钉结构，但相比扣片结构，本结构制造成本低廉。为了获得图 1 所示带端盖内定子装配部件，仅靠图 5 所示一套工装将难以奏效，原因是若将过渡芯轴 4 换成图 1 的端盖零件，一旦将端盖压入定子铁芯，由于中间隔有上模板 7 将无法顺利脱模。因此必须借助浮动过渡定位压入工装完成端盖的最终压入。

过渡芯轴 4 先紧配压入已处于扭斜压紧状态的定子铁芯，脱模后将取出的带过渡芯轴定子铁芯置于图 6 所示的浮动过渡定位压入工装的基座 4 沉孔内再行端盖压入。

2.2.1 叠压工装定位分析

围绕定位、扭斜二个关键点，本工装（如图 5 所示）采用不同于传统槽口定位方式，运用三点（不在同一直线）确定一个平面的原理^[4]，用三根扭斜棒 13（如图 7 所示）分别插入冲片组成的松散铁芯三条均布槽中，再端起一并放至工装的下模板 9（如图 8 所示），并将三根扭斜棒分别插入下模板的三个基准孔（与扭斜棒 0.1mm 间隙）中。

2.2.2 扭斜原理与操作

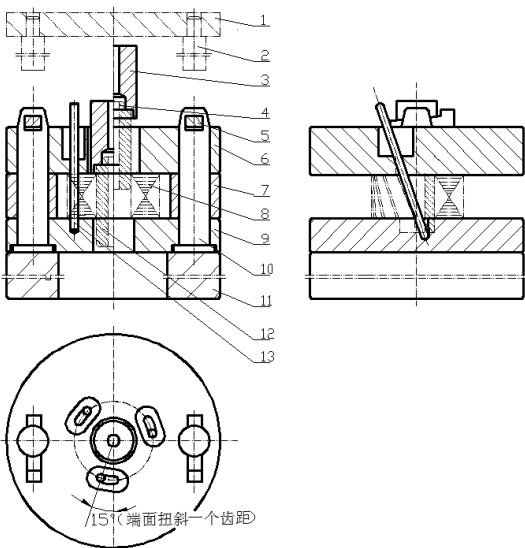
①扭斜棒直径的确定。

由图 1 可知，铁芯端面扭斜一个齿距即 15°，在槽型最大内接圆圆心的 $\Phi 62$ 圆周上所对应的弧长

$L=15^\circ \times \pi \times 62/360^\circ=8.1$; 轴向对应扭斜角 $\alpha=\tan^{-1}L/24=\tan^{-1}8.1/24=18.6^\circ$; 由图 1 计算可知冲片槽型最大内接圆直径为 $\Phi 4.8$, 故扭斜一个齿距后扭斜棒的直径应为 $\Phi d=\Phi 4.8 \times \cos 18.6^\circ=\Phi 4.5$ (如图 9 所示)。

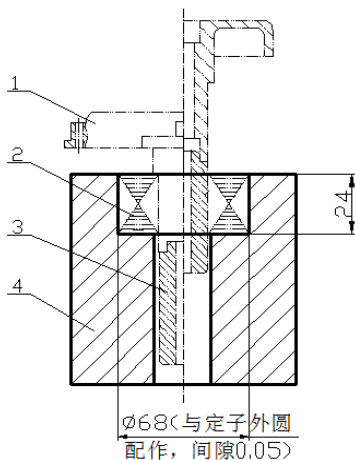
②扭斜原理与操作。

上模板如图 10 所示, 三处均布的腰圆孔依据上述计算结果在扭斜方向上的倾斜角取 18.6° 。由于扭斜棒的长度远长于导柱 (如图 11 所示), 将上模板 6 (如图 10 所示) 的三个腰圆孔先套准已插入下模板 9 相应腰圆盲孔三根扭斜棒, 再将 $2-\Phi 16_0^{+0.027}$ 孔同时套入二导柱 10 (如图 11 所示) 并一压到底 (气压机), 可以发现随着三根扭斜棒沿冲片槽形最大内接圆中心的 $\Phi 62$ 的切向逐步倾斜, 当下压到底时铁芯扭斜角度亦同时到位。



1—压板; 2—压杆; 3—压头; 4、12—过渡芯轴; 5—斜楔; 6—上模板; 7—限位套; 8—内定子冲片; 9—下模板; 10—导柱; 11—垫板; 13—扭斜棒。

图 5 定子铁芯扭斜叠压工装



1—端盖; 2—定子铁芯; 3—过渡芯轴; 4—基座。

图 6 浮动过渡定位压入工装

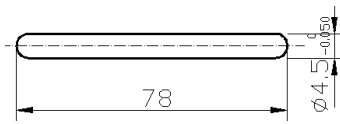


图 7 扭斜棒

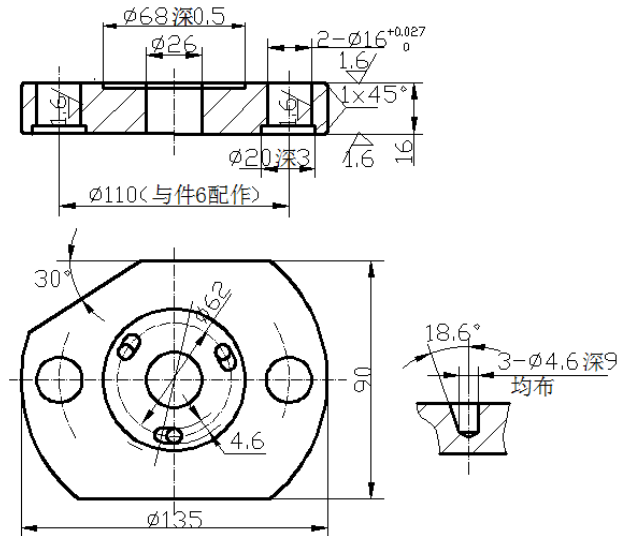


图 8 下模板

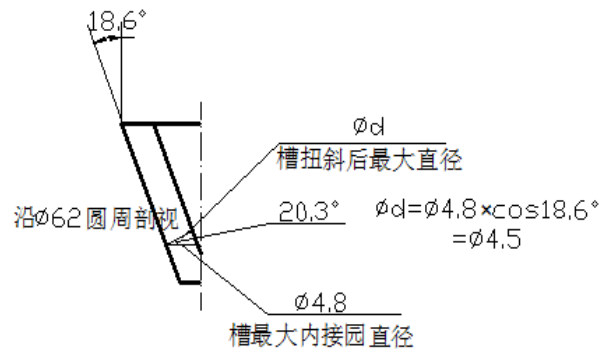


图 9 扭斜棒直径计算示意图

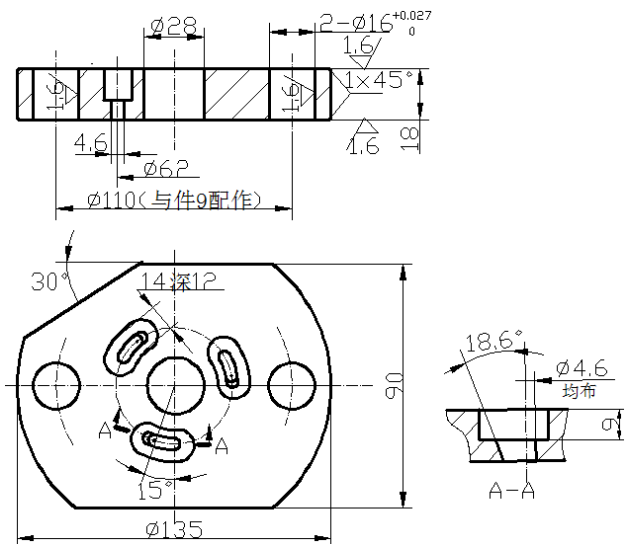


图 10 上模板

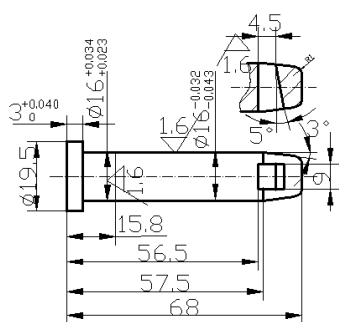


图 11 导柱

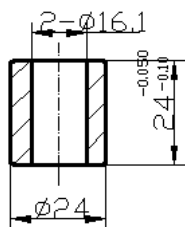


图 12 限位套

③压过渡芯轴。

为克服在定子铁芯内孔直接压入端盖后上模板 6 被夹在中间无法脱模问题，特设置过渡芯轴，以便使已完成扭斜但处于松弛状态的定子铁芯在被压入过渡芯轴后成为一紧密的刚体，最后借助图 6 所示浮动过渡定位压入工装在边退出过渡芯轴的同时边压入端盖零件直至完成替代。

压入过渡芯轴前，定子冲片必须处于被压紧状态。由图 5 知，启动气压机，压板 1 受压通过压柱 2 先压紧上模板 6，经上模板 6 的压力传递，定子冲片 8 被压紧，铁芯扭斜也同时到位，保持此受压的状态，在二导柱 10（见图 11）上端露出的梯形斜孔中迅速各插入一块斜楔 5（如图 13 所示）。利用其小斜度（ $\leq 7^\circ$ ）自锁功能，定子散片在受压弹性回复中将斜楔 5 反向弹紧在导柱 10 斜孔的顶端；至此可开动气压机回程；移除压板 1 和压柱 2 组合体后定子散片仍处于压紧状态，将过渡芯轴 4（见图 14 所示）10mm 引导段经上模板 $\Phi 28$ 孔插入定子冲片内孔，在过渡芯轴 4 的上部套上压头 3，再次启动气压机使其活塞杆下行以便压头 3 将过渡芯轴 4 压入定子铁芯冲片组。由于限位套 7（见图 12 所示）的高度尺寸取铁芯厚度的下限，因而在其高度限位作用下可保持铁芯端面的平整度。

④脱模取件。

重复前述操作，利用件 1、2 下压上模板 6，取下发生松动的斜楔 5，气压机回程后移除件 1、2 组合体、从二导柱上脱出上模板 6，取出带过渡芯轴的定子铁芯，拔出三扭斜棒即可。

⑤压入端盖。

为获得图 1 所示带端盖内定子装配部件，必须借助图 6 所示浮动过渡定位压入工装。将上道工序得到的带过渡芯轴的定子铁芯置于图 6 所示工装的沉孔中，再将端盖管部的轴

承室套于过渡芯轴（见图 14）的 $\Phi 18$ 止口（如图 6 右半侧视图所示），整体放置于气压机工作台并开动下压，随着端盖受压下行，过渡芯轴亦受压并逐渐退出直至全部被端盖套筒所替代（如图 6 左半侧视图所示），随着过渡芯轴落下，取件便最终获得所需带端盖内定子装配部件。

2.3 叠压工装结构要求与特点分析

根据图 5 所示工作原理可以看到：

①相关计算为获得正确的扭斜角度，必须先计算出冲片绕组槽型最大内接圆直径（ $\Phi 4.8$ ）及其圆心直径（ $\Phi 62$ ）（见图 1）和三根扭斜棒直径（ $\Phi 4.5$ ），扭斜过程是随定子铁芯的压紧逐步完成的；

②扭斜保障。上模板 6 与下模板 9 之间的三个均布扭斜棒孔相应按钮斜方向错开 15° ；图 8 腰圆斜孔的形成：将球头铣刀插入下模板的 $\Phi 4.6$ 深 9mm 直孔，原位沿 $\Phi 62$ 圆周逐步倾斜至 18.6° 即可；由图 10 可知，上模板 6 的 $\Phi 4.6$ 扭斜棒孔是在与下模板 9 相同位置打出直孔后沿 $\Phi 62$ 圆周先铣至端面 15° 处，再沿 $\Phi 62$ 圆周倾斜 18.6° 铣出斜孔。扭斜棒的工作长度必须大于导柱长度，以便上模板 6 按边缘的 30° 削边与下模板 9 对齐后先将均布的 3- $\Phi 4.6$ 孔套入冒出铁芯端面的三根 $\Phi 4.5$ 扭斜棒，再使二导柱孔套入安装于下模板的两导柱，当气压机通过件 1、2 将上模板 6 下压到位，铁芯外圆柱面的开口槽便获得一个齿距（端面 15° ）的斜槽角。因此上、下模板的二导柱孔和二组扭斜棒孔必须采用配作加工工艺。上模板 6 所铣出三处深 12 腰圆沉孔是为了方便上模板的套入，在底板 9（如图 8 所示）的上平面车出 $\Phi 68$ 深 0.5 沉孔，作为定子铁芯散片组底片的安放初定位。

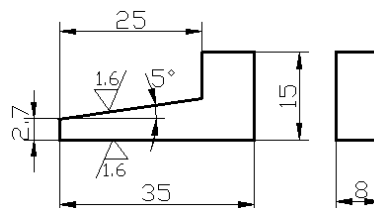


图 13 斜楔图

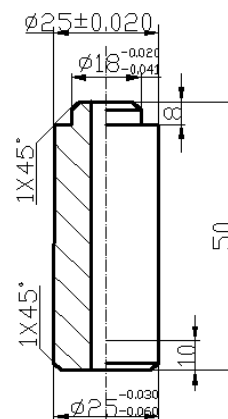


图 14 过渡芯轴

③定子铁芯紧密度的保证。图 11 (导柱) 中, 尺寸 57.5 必须小于图 5 中件 6、7、9 三件厚度尺寸的和, 以确保斜导柱斜孔中插入斜楔 5 后在小斜度的自锁作用下产生良好的预紧效果。

④定子铁芯端面平面度的保证限位套 7 的高度值稍小于定子铁芯的叠厚, 目的是起到限位作用, 防止定子铁芯被过度压紧而产生碟形翘曲。

⑤为解决在定子铁芯扭斜叠压工装直接压入端盖后无法脱模的难题, 间接引入过渡芯轴, 以便完成定子铁芯扭斜叠压后以端盖重复替代压入最终获得所需的带端盖内定子装配部件。

3 结语

在风机生产中作为核心部件的定子质量至关重要, 因而为了保证作为定子核心部件的内定子铁芯的制作达到原

设计要求必须寻求一组相应的工艺装备, 但不论是铁芯叠压模还是端盖轴承室车夹具, 快速、精准、便捷是微电机生产质量和效率的根本保证。

参考文献:

- [1] 方日杰. 电机制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [2] 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
- [3] 王光斗. 机床夹具设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [4] 郗珂庆. 双转子电机的定子固定装置的优化设计[J]. 微电机, 2020, 53(9): 82.

作者简介: 李有智(1982-), 女, 中国江苏仪征人, 硕士, 讲师, 从事机械制造工艺和工程力学教学研究。

基金项目: 江苏省高职院校教师专业带头人高端研修项目(项目编号: 2022GRGDYX053)。