

基于涡旋压缩机装配工艺的制程分析

● 王 晨



[摘要] 作为中央空调等系统的核心部件,涡旋式压缩机的性能对整个系统的正常运行起到了至关重要的作用。影响产品性能的关键,除了设计端的优化,还有制程端的控制。本文简要分析影响涡旋式压缩机产品性能的装配制程工艺技术,包括电机装配、支架装配、泵体装配、机壳装配等模块的工艺方案,为后续涡旋式压缩机的制程工艺改良与产品性能提升提供参考。

[关键词] 涡旋压缩机;装配工艺;压缩机性能

涡旋式压缩机是一种新型高效容积式空气压缩装置,具有高效率、转矩变化小、可靠性高、噪声低等优势,广泛应用于空调制冷、发动机增压等领域。本文主要从立式涡旋式压缩机装配制程工艺角度,探讨电机装配、支架装配、泵体装配等制程要点及其对产品性能的影响。

电机装配

涡旋压缩机主要依靠接通系统电路来提供能源。电力通过机壳上的接线端子,传递到涡旋压缩机的定子绕组。电机部分主要由定子组件和转子组件两大部件构成。定子绕组通电后,产生的磁场驱动转子组件运动。

定子组件主要由定子铁芯组件、铜漆包线、电机引出线等组成,定子作为电机中的相对固定部分,其铁芯固定在压缩机机壳上,且需要足够裕度的保持力,使其在压缩机电机通电运转过程中不会出现位移。若定子与机壳之间的相对高度位置发生变化,则电机磁中心异常。当定子铁芯中心比转子铁芯中心高时,转子受到的竖直向下的磁拉力会减小,曲轴止推面在运转过程中不能充分完全贴合止推板,曲轴容易在压缩机中上下窜动,导致压缩机噪声大;当定子铁芯中心比转子铁芯中心低时,转子受到的竖直向下的磁拉力会增大,同时也增大了曲轴止推面与止推板之间的滑动摩擦力,增大了压缩机的摩擦损耗。定子与机壳之间采用过盈配合的方式,通过定子铁芯外径与机壳组件内径的过盈配合,实现定子与机壳之间的保持力要求。根据保持力的余裕度要求,进行过盈量设计,过盈量越大,保持力越大。机壳材质的强度要大于定子铁芯硅钢片,因此保持力过大会导致定子铁芯的整体变形,整个铁芯会沿机壳作轴向拉伸,若此时定子硅钢片之间的铆扣力不足,则会出现硅钢片之间

断层和变形的情况,因此过盈量不能过大。定子与机壳过盈装配的方式主要是通过加热机壳,让机壳配合内径受热膨胀变大,然后将定子插入机壳中后,冷却机壳使机壳收缩,完成机壳与定子的装配。为减少定子铁芯的变形,可采用小过盈配合设计,通过机壳与定子铁芯之间的焊接补偿来满足保持力要求。

转子组件主要由转子铁芯组件、主平衡块和副平衡块等组成。转子固定在曲轴上,通过定子通电后的磁场力,驱动曲轴转动。转子组件与曲轴之间需具有足够的保持力,使其在压缩机运转过程中不会出现位移。若转子和曲轴的相对高度位置发生变化,则电机磁中心异常;若转子相对曲轴周向角度发生变化,转子上的平衡块角度变化,改变了曲轴偏心的动平衡状态,同样会导致振动噪声过大等一系列的产品品质风险。转子与曲轴之间采用过盈配合的方式,通过转子铁芯内径与曲轴外径的过盈配合,实现转子与曲轴之间的保持力要求。根据保持力的余裕度要求,进行过盈量设计,过盈量越大,保持力越大。转子与曲轴过盈装配的方式主要是通过加热转子,让转子内径受热膨胀变大,然后将曲轴插入转子中后,冷却转子使转子内径收缩,完成转子与曲轴的装配。另外一种装配方式是转子冷套,即在常温或相对热套更低的温度下,通过一定压力将转子推到曲轴上相应安装位置。通过冷压的方式可检测转子与曲轴之间不同位移的保持力变化。图1为试验台检测过程状态。

搭载旋转式压缩机整机试验,针对内嵌磁钢式样永磁电机转子组件,转子冷套式样压缩机的整体性能要优于热套式样;针对无内嵌磁钢式样感应电机转子组件,热套式样压缩机的整体性能要优于冷套式样。为保证压缩机转动过程中泵体的动平衡,通常通过冷套在曲轴上或者铆压在转子组件

上的方式在转子组件上或曲轴上安装主平衡块和副平衡块，平衡块需要实现曲轴偏心的动平衡，对安装角度有一定要求。



图1 试验台

Q 支架装配

为维持曲轴的稳定运转，需设置轴承支撑。涡旋压缩机由一个主轴承和一个副轴承为曲轴提供固定和支撑。主轴承过盈配合在主支架上，主支架与机壳通过焊接或过盈配合固定，有足够的保持力。安装主副支架时，需重点关注主轴承与副轴承内孔之间的同轴度。如果主轴承与副轴承之间的同轴度超过了设计裕度，压缩机产品会出现轴承磨损、泵体磨损等失效，继而造成压缩机性能逐步恶化。降低摩擦功耗、减少磨损是提升涡旋压缩机运行效率和可靠性的主要途径，因此支架装配中该尺寸的管控非常关键。

采用一种卡盘涨套，卡盘内外径分别安装有内径套夹爪和外径涨套夹爪，两侧夹爪通过气压的驱动同步动作。外径夹爪涨紧定子内径，将已固定在机壳中的定子内径作为基准定位，内径夹爪涨紧工装定位轴的芯轴。工装定位轴端盖上的以定位轴芯轴的轴线为中心对称分布的定位销，与主支架上的以主轴承内孔轴线为中心对称分布的定位销孔配合安装，然后通过工装定位轴上的螺钉锁紧主支架上的泵体安装螺纹，使得泵体安装配合面与工装定位轴的定位面紧密配合。工装定位轴与主支架安装完成后，将工装定位轴放置在机壳上，且接触位置预留一定的浮动量。以上述操作提前将主支架固定在机壳预安装位置，通过工装定位轴和涨套保证主轴承内孔与机壳上定子内径的同轴度。该安装方式可保证定子内径与主轴承之间的同轴度，从而间接管控定子与转子的电机气隙。同时，对涨套和工装定位轴的定位精度也有着较高的要求，需要定期维护保养，以保证工装夹具定位时的动作顺畅程度和定位精度。主支架上的两个对称定位销孔，作为主轴承内孔的替代定位，对其加工精度也有较高的要求。以上定位方式适用于焊接装配主支架，在完

成对主支架的定位后，通过焊接将主支架固定在机壳上。

在副支架安装工序中，需要同时兼顾副轴承与主轴承内孔之间的同轴度，以及电机气隙。在定子内径安装限位间隙片以保证电机安装间隙，然后将轴系组件插入主轴承，完成整个电机结构的预装，合理均布的间隙片为定子铁芯与转子铁芯提供了足够的电机气隙。副支架主要通过过盈量或焊接安装在机壳上。安装副支架需要保证副轴承与主轴承内孔之间的同轴度，以主支架为基准，采用卡盘定位的方式分别固定主支架和副支架。由于在安装副支架时，轴系组件已安装到主轴承中，且放置副支架时，副轴承已与曲轴副轴部配合，无法直接定位主轴承内孔和副轴承内孔，因此通过下卡盘定位主支架油池孔内径、上卡盘定位副支架小外圆的方式实现间接定位。该定位方式对上下卡盘夹爪的同轴度有很高的要求，需要定制标准件来模拟工件被上下卡盘夹紧固定的状态，从而调整上下卡盘夹爪的同轴度以保证安装精度。该方式对主支架本身定位的加工精度以及副支架本身定位的加工精度也有较高的要求。以上定位方式适用于焊接装配副支架，上下卡盘夹爪固定住主支架和副支架后，通过焊接将副支架固定在机壳上。

以上主支架和副支架的安装方式，均采用工装夹具定位工件后焊接固定的方式，将机床的刀具替换为焊枪，提升了焊机的加工精度，实现了“焊接机床”的功能。如何在焊机内保持定位夹具的精度和加工稳定性，仍然需要持续研讨。另外一种主副支架的安装方式，是将机壳作为定位基准。采用一道工序，将机壳内径主支架位置和副支架位置加工完成，保证机壳内径两个位置之间的同轴度。管控主轴承内孔和主支架与机壳配合大外圆的同轴度，使得主支架大外圆可作为主轴承内孔的替代定位面。为保证主支架具有足够的保持力，主支架大外圆与机壳内径需采用过盈量设计。在没有焊接或辅助焊接以减小过盈量改善主支架泵体安装配合面变形的情况下，不需要工装夹具定位，即可安装固定主支架。副支架同理，通过与机壳内径的过盈量配合定位，保证副轴承内孔与主轴承内孔之间的同轴度。该方式对焊机或压力机的中心定位要求不高，但前端机壳的制造需增加一道加工工序。

Q 泵体装配及整机总装

在完成支架的装配后，涡旋压缩机主体结构还缺少泵体组件。作为涡旋式压缩机中的核心结构，泵体组件主要由主支架、十字滑环、动涡旋盘、静涡旋盘组件所构成。不同涡旋压缩机产品之间的泵体结构存在较大差异，其差异与电机结构差异，是影响涡旋压缩机运行工况的关键要素。泵体结构的工作原理是动涡旋盘受到曲轴偏心轴带动，由于十字滑环的防自转功能，动涡旋盘只能伴随曲轴作公转运

动，无法自转。静涡旋盘安装在主支架上，部分种类静涡旋盘可以上下浮动。动涡旋盘沿静涡旋盘涡卷做平动运动，其啮合位置随曲轴转角的变化而变化，使冷媒从吸气侧进入，在动涡旋盘与静涡旋盘的型线形成多个密闭腔，并逐步向泵体中心压缩并排出。由于涡旋压缩机泵体结构上零部件众多且结构较为复杂，大部分工序采用人工半自动作业的方式进行。

泄漏是影响泵体性能的主要问题，会造成压缩机排气量减少、容积效率降低等性能不良。泄漏主要位置有涡旋盘型线、涡旋盘齿底配合面、排气阀片等。涡旋型线对涡旋压缩机的设计与开发起着至关重要的作用，在制程端通过三坐标检测，对型线的内线和外线曲线轮廓进行管控，避免动静盘啮合位置出现间隙或干涉导致泵体各密封腔气体重复压缩，导致效率降低等不良现象。涡旋盘齿顶齿底配合位置尺寸有严格的管控要求，若间隙过大，会造成效率降低等性能问题；若间隙过小，则会由于油膜密封不足等原因造成泵体齿顶和齿底磨损，导致性能恶化。当动静盘涡旋齿高加工水平无法满足产品齿顶齿底配合规格要求时，可采用分选的方式，对加工完成的动盘和静盘进行齿高检测，根据检测结果对每个工件进行组别分类，并按照组别配套组装。

静涡旋盘高压侧排气阀分为两种类型，一种是中间高压排气阀，一种是中间密封腔泄压阀。在小负荷工况下，压缩机达到过压缩状态，中间密封腔满足压力要求即可通过泄压阀泄压，提升压缩机效率。高压侧排气阀贴合在静盘排气阀孔上形成单向阀结构，若该单向阀泄漏，会导致排气阀从高压侧向低压侧泄漏，该泄漏会导致泵体重复压缩，同样影响效率。在阀片等零部件安装完成后，将阀片一侧形密封，通过抽真空或加压等方式模拟压缩机中的压差状态，检测密闭腔的气密性，以避免压缩机中出现相应泄漏问题。

涡旋压缩机电机部分、支架轴承结构、泵体组件结构均安装完成后，需检测主副轴承同轴度、电机气隙和整机扭矩等关键参数。然后对压缩机整机进行密闭安装，组装压缩机的上盖和下盖并进行上下壳体圆周焊接。部分产品还需

进行铜管或钢铜复合管的钎焊，以匹配空调系统中的管路安装要求。压缩机在正常运行状态下内部充满了高压气体，因此需确保压缩机外观不会泄漏，否则有较大安全隐患。目前压缩机行业内较为普遍的整机泄漏检测方式主要有水检、氦检、氢检等。水检最为直观，是通过在压缩机中充入惰性气体，目视观察水中压缩机的外观是否存在气泡。氦检和氢检对环境要求较高，氦检是通过在压缩机中充入氦气，然后在真空中抽真空的方式，取得压缩机在真空中泄漏出的氦气分子量。氦检精度较高，但同时检测环境和密封接头非常敏感，容易误判，且氦气成本较高。氢检成本相对较低，检测精度也较高，但对检测环境的安全要求严格。

在整体外观气密检测合格后，涡旋压缩机经过涂装、烧付、抽真空等工序后，进行注油和整机性能测试，并完成下线打包。

Q 结束语

产品的设计与制程工艺是相辅相成的，共同影响着涡旋压缩机的整体性能。涡旋压缩机拥有极具发展潜力的研究前景，在设计端对涡旋盘型线、摩擦和润滑等领域开展研究的同时，在制程端如何让产品更高效地以良好的品质被制造出来，也是一个任重道远的课题。

参考文献

- [1]李超,刘忠良,金银霞,等.基于粒子滤波算法的涡旋压缩机性能预测研究[J].流体机械,2022,50(05):54-61.
- [2]钱月,唐景春.变转速工况下电动汽车涡旋压缩机切向泄漏研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2022,45(03):302-306.
- [3]张加扬,孙敬伟,刘彬豪,等.电动汽车空调用涡旋压缩机关键技术综述[J].现代制造技术与装备,2022,58(01):222-224.

作者简介:

王晨(1995—),男,汉族,辽宁葫芦岛人,硕士,广东美的环境科技有限公司,研究方向:机械设计与制造。