

进气压力与温度对加氢站隔膜压缩机性能的影响

王世宇 刘佳宁

(顶端 (北京) 科技有限公司 北京 102200)

摘要: 加氢站隔膜压缩机的进气压力和温度是隔膜压缩机性能的重要参数, 通过对加氢站隔膜压缩机运行工况进行分析, 得出进气压力和温度对隔膜压缩机性能的影响, 从实际应用角度考虑, 适当提高进气压力并保持压缩机工作在较低的进气温度可以提高隔膜压缩机的性能。同时为提高加氢站隔膜压缩机运行寿命及经济性, 应控制进气压力和控制进气温度, 以以此为依据提出改进措施。

关键词: 压力与温度; 加氢站; 隔膜压缩机

随着我国氢能发展战略的提出, 燃料电池汽车作为氢能汽车的代表, 在交通领域和能源领域得到了快速发展, 而加氢站是燃料电池汽车产业发展的基础。隔膜压缩机是加氢站的核心设备, 其运行可靠性直接影响加氢站的正常运行及加氢车的使用寿命。为保证加氢站隔膜压缩机安全、稳定、可靠运行, 通过对加氢站隔膜压缩机运行工况进行分析, 得出进气压力和温度对隔膜压缩机性能的影响。在相同条件下, 进气压力越高, 隔膜压缩机的功率和效率越高; 同时进气压力越高, 排气温度越低。因此在加氢站运行时, 应根据实际情况选择合适的进气压力和温度。而隔膜压缩机作为加氢站中常用的气体压缩设备, 其性能直接关系到加氢站的整体性能, 因此必须对隔膜压缩机进行详细分析和研究。隔膜压缩机的性能主要取决于工作气体压力、排气温度、吸气压力和进气温度。而进气压力对压缩机的输出特性影响也很大, 进气压力越高, 压缩气体过程中的能量损失也越小。但在实际应用中, 由于 TT 车卸气量的不断减少, 进气压力和温度一直再变化。因此, 为了准确地描述隔膜压缩机的性能参数及分析其变化规律, 必须建立合理的数值模型进行研究。

目前国内所用的隔膜压缩机主要是豪顿华、PDC、京城压缩机、中鼎恒盛、天高等品牌。这些厂家经过多年改进, 其性能得到了很大提高。然而在实际使用过程中, 由于气体的温度、压力和流量等参数变化较大, 导致隔膜压缩机出现功率下降、排气温度升高、和排气流量降低等现象。

1. 压缩机结构与模型搭建

1.1 压缩机结构与工作原理

隔膜压缩机是一种容积式压缩机, 由曲轴箱、中体、曲轴连杆机构、缸体、供油系统、底座及冷却器等部件组成。压缩机的动力由电动机通过三角皮带或联轴器传递至主机曲轴, 曲轴带动连杆, 连杆通过十字头分别与活塞杆(柱塞杆)连接, 至此将旋转运动转换为往复运动, 通过活塞驱动缸体内的液压油, 将力均匀地传递至膜片, 使膜片作往复运动, 从而达到提高介质压力的目的。

以活塞处于外止点的位置为起始点, 当曲轴转动时, 活塞开始向轴侧运动, 膜片在残余气体的压力下和真空抽动下随油向轴侧运动, 这时气腔容积逐渐增大, 先是残留在余隙中的气体膨胀, 继而从缸盖的吸气阀吸入气体, 当活塞行至内止点时, 膜片到达轴侧极限位置, 则气腔中吸气结束, 这个过程称为吸气过程。接着, 活塞

开始向盖侧运动, 驱动油液, 通过缸体上的小槽均匀地作用在膜片上, 推动膜片向盖侧变形, 这时气腔中开始压缩气体, 当压力高于排气管道中的气体压力时, 排气阀自动开启, 气体被压出, 油压继续上升, 迫使膜片紧贴缸盖曲面, 排净气体, 则排气结束, 这个过程称为排气过程。往复运动的活塞驱动油液, 促使膜片来回振动, 在吸、排气阀的配合下, 膜片每振动一个周期, 气缸中就完成一次包括膨胀、吸气、压缩和排气的循环过程, 从而提高了气体的压力。

1.2 数值模型建立

隔膜压缩机是加氢站中的主要能量转化设备, 它能将氢气或其他高压气体压缩到一定压力, 以满足后续流程对高压气体的需求。由于加氢站通常为封闭式, 且所用的高压气体大部分为氢气, 因此该压缩机的容积效率对于氢气的利用率有直接影响。相同条件下, 容积效率越高, 压缩后氢气的温度越高。通常情况下, 双原子分子绝热指数较低, 压缩时, 过程指数低, 温升小, 容积效率较高; 单原子分子的稀有气体, 绝热指数较高, 温升大, 容积效率一般不易过高。对于加氢站的隔膜压缩机, 由于其内部结构复杂且有许多零部件与控制系统, 因此需要对其进行数值仿真模拟。以某一型号隔膜压缩机为研究对象, 在该模型中对隔膜压缩机内部流场进行了分析。根据 Fluent 软件操作说明和相关设置参数, 将仿真网格划分为对应的几何网格并导入到 Fluent 中。设置仿真计算区域为三维结构化网格, 将计算域划分为 2D 平面网格或 3D 结构网格。最后通过模型验证并设置相关参数即可完成数值模型建立。

1.3 理论计算

压缩机的进气压力和温度是影响压缩机性能的两个重要因素, 进气压力直接影响压缩机的气体流量, 而温度影响着气体分子的热运动, 所以在压缩机设计过程中需要对进气压力和温度进行综合考虑。一般进气温度与排气温度有较大差异, 所以需要两者进行综合考虑。在考虑进气温度和排气温度对压缩机性能的影响时, 需要先建立压缩机的热力学模型。该模型中, 工质、气体、热力膨胀系统、气动系统等均采用理想气体状态方程进行描述。热力学模型建立好之后, 将其代入到计算软件中即可得到压缩机的各项性能参数。通过对压缩机相关性能参数的计算与分析, 可以得出进气压力和温度对压缩机性能的影响规律。

2. 压缩机特性参数影响分析

为了更好地理解压缩机的工作特性,除了研究进气压力和温度对压缩机输出特性的影响之外,还需要研究进气压力和温度对气体实际压缩比的影响。由于压缩机气阀产生节流,导致膜腔内的气体实际压缩比远比压力表现实际的压缩比要大,隔膜压缩机一般情况下压缩机在3至7,压缩机运行最稳定,当压缩机实际压缩比过大时,会影响压缩机的吸气效率,并影响压缩机流量及排气温度。压缩机的排气温度可以通过进气温度、换热材料和压缩比来调节,但是在压缩机进行工作时,材料换热和压缩比以固定,可以通过降低进气温度的方式调节压缩机出口温度,排气温度过高会导致压缩机吸气效率下降,压缩机进气压力表与膜腔内气压相差较大,实际压缩比变大,使气体的温升变高,导致压缩机气阀阀片寿命降低,弹簧退火严重并失效,压缩机工作效率降低^[9]。此外,进气压力是影响气体压缩比的另一个重要因素。在压缩机进行工作时,如果进气压力高,会使压缩腔内实际压缩比降低,余隙影响减少,压缩机效率比较高。

2.1 试验方法与工况

为了研究进气压力和温度对隔膜压缩机性能的影响,在试验室搭建了一个试验平台,该平台采用1台隔膜压缩机和2台压力传感器来模拟实际工况。压缩机为美国公司的隔膜压缩机,压力传感器为美国UE公司的压力传感器,隔膜压缩机安装在2台压力传感器的中间位置。试验中,以进气压力:5-20MPa、排气压力45MPa、额定流量为500Nm³/h的氢气作为试验介质,环境温度为32℃;通过调整进气压力和进气温度来研究进气压力和环境温度对隔膜压缩机性能的影响。

2.2 试验结果与分析

进气压力和温度对隔膜压缩机性能影响的试验结果显示,在相同条件下,进气压力越高,压缩机的性能越好。当进气压力达到20MPa时,压缩机的流量和效率都达到最高,进气压力小于20MPa,压缩机的流量和效率逐步降低,当进气压力达到5MPa时,压缩机流量仅有200Nm³/h。同时可以看出,在相同条件下,随着进气温度升高压缩机性能变差。这是因为进气温度升高后隔膜压缩机的润滑油粘度减小,润滑性能降低;同时压缩机内部气体温度升高后膨胀速度加快,气体膨胀动能增加导致气体压缩时消耗增加。在相同工况下(介质相同,环境温度相同),进气压力越高、环境温度越低、排气压力越低时压缩机的功率和效率都越高。隔膜压缩机运行时由于排气温度较高,内部气体膨胀动能增加导致气体压缩时消耗增加。因此为保证隔膜压缩机运行安全、稳定且高效运行应控制进气压力和环境温度。通过上述试验可以得出:在相同条件下,进气压力和温度对隔膜压缩机性能影响较大。

3. 分析与讨论

3.1 进气压力和温度对压缩机输出特性有显著影响,当进气压力增加时,气体压缩比变小,压缩机的效率升高。但进气压力和排气温度的变化会导致气体温度变化,气体在压缩过程中容易产生气体膨胀。

3.2 进气压力与排气温度对压缩机噪声特性的影响较小。在相同条件下,由于转动惯量相同,随着进气压力增加和排气温度升高,

压缩机的压缩比减小,需要的转动惯量增加,如果不能增加转动惯量,压缩机的震动及噪声值呈增大趋势。但在较低的进气压力和较高的排气温度条件下,压缩机的噪声值较低。

3.3 数值模拟结果表明,在较低的进气压力条件下,压缩机实际工作点会向高转速方向移动。为提高压缩机性能,在实际应用中应适当提高进气压力和提高排气温度^[9]。

4. 改进措施及效果

在加氢站隔膜压缩机的设计阶段,为保证其运行效率和安全,一般采用的是定频设计,在使用过程中,随着进气压力的不断降低,压缩机效率随之逐步降低,如果可以提高压缩机转速,将可以弥补由于压缩机入口压力低,压缩比增加,对流量的影响除此之外,也可通过对压缩机运行工况进行优化来提高压缩机性能。具体方法是:

- (1) 对压缩机的进气压力和温度进行优化设计;
- (2) 根据压缩机实际运行工况对进气压力进行合理调整;
- (3) 采用合理的控制手段控制进气温度,即降低进气压力和环境温度。

根据以上改进措施,隔膜压缩机在实际使用中运行状况良好。经统计,在相同工况下,与同类产品相比,隔膜压缩机的效率提高了3%~5%。

5. 结论

本文建立了压缩机压缩过程的三维数值模型,采用试验数据进行了验证,计算结果与试验结果吻合良好。压缩机的输出特性随进气压力的增加而变好,但当进气压力过高时,气体压缩比变小;随着进气压力的提高可使隔膜压缩机的输出功率增加,压缩机的效率提高。进气温度对压缩机的输出特性有显著影响,进气温度过低时,压缩机的排气压力升高,压缩比增大;当进气温度的提高使隔膜压缩机的输出功率下降,效率降低,排气温度对隔膜压缩机的性能影响较小。在相同工况下,进气压力越高,隔膜压缩机的压缩比越小,排气温度越低,通过降低进气温度、提高进气压力能有效降低隔膜压缩机工作时的排气温度。通过对研究进气压力与温度对加氢站隔膜压缩机性能的影响,从而提出了相应的改进措施,为后续研究工作提供了理论基础。此外,在实际应用过程中还需根据实际情况对相关参数进行适当调整,以保证加氢站隔膜压缩机安全稳定运行。

参考文献:

- [1]田中辉,何广利,赵文静等.加氢站用隔膜压缩机性能测试系统设计与开发[J].现代制造工程,2022,504(09):139-147.
- [2]林世响.进气压力与温度对氢站隔膜压缩机性能的影响分析[J].制冷技术,2021,41(03):72-77.
- [3]何广利,许壮,等.35MPa加氢站整站和加氢机技术开发[J].中国科技成果,2021,22(24):2.
- [4]陈倩倩,颜苏芊,靳贵铭,等.基于进气温度预处理的空压机节能适用性分析[J].棉纺织技术,2022,50(7):4.
- [5]黄振辉等."加氢站用隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机的性能和应用分析."化工设备与管道 59.6(2022):5.