

加氢站用隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机的性能和应用

王世宇 林忠华

顶端(北京)科技有限公司 北京市 102200

摘要: 作为加氢站的核心设备,氢气压缩机发挥着为氢气增压的作用。至于隔膜压缩机、液驱活塞式压缩机是当下应用频率较高的容积式往复压缩机。本文根据隔膜压缩机、液驱活塞式压缩机的工作原理、结构特点,综合分析了压缩机的性能、优势,以选择最佳的压缩机类型并推动加氢站的发展与建设。

关键词: 加氢站;隔膜压缩机;液驱活塞式压缩机;性能

Performance and application of diaphragm compressors and hydraulic drive piston compressors for hydrogenation stations

Wang Shiyu, Lin Zhonghua

Dingrui (Beijing) Technology Co., LTD. Beijing 102200

Abstract: In the construction of hydrogen energy industry, the construction of hydrogenation station is particularly important. Hydrogen compressor is one of the core equipment in the construction of hydrogenation station, which plays a role in supercharging hydrogen gas. At present, the construction of hydrogenation stations is developing towards the direction of commercial operation, and the hydrogen compressor market has also welcomed an opportunity for development, especially the two volume reciprocating compressors, liquid drive piston compressor and diaphragm compressor, which have the highest application frequency in the construction of hydrogenation stations. Based on this, this paper focuses on the diaphragm compressor and the liquid drive piston compressor, and discusses the properties, advantages and disadvantages according to the working principle of both, which can lay a good foundation for selecting the suitable compressor type for the hydrogenation station.

Keywords: hydrogenation station; diaphragm compressor; liquid drive piston compressor; performance

引言

《氢能产业发展中长期规划》的颁布推动了我国氢能产业的发展,全面发挥氢能作用,可以助力碳中和与碳达峰。而要想推动氢能产业的进步,首先应统筹建设加氢站等基础设施。在加氢站建设过程中,加氢机、压缩机以及储氢容器是核心设备,压缩机起着氢源增压的作用,其可确保氢燃料电池车的车载储氢罐的氢气压力达到 35 或 70 兆帕。同时,压缩机性能关系着加氢站的运行,通常情况下,加氢站主要使用隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机,尽管二者都是容积式往复压缩机,但不论是其工作原理还是结构、性能,都有明显的差异,所以,加氢站运营过程中应根据压缩机的性能特点科学选择。

1、隔膜压缩机概述

1.1 隔膜压缩机的结构

隔膜压缩机包括主机、传动与驱动等部分。其中,主机部分包括进出气阀、气盘以及活塞杆等;传动部分涉及联轴器、曲轴箱与连杆等;驱动部分则以电机为主^[1]。

1.2 工作原理

隔膜压缩机的工作原理如下:首先电机会基于飞轮、联

轴器带动曲轴旋转,曲轴可以借助连杆带动活塞,使其可以在活塞腔内往复运动(上下运动)。活塞运动过程中会不断挤压其上方的液压油,其可带动固定在其边缘的圆形膜片挠曲变形,还会使气体压缩腔内的容积扩大/缩小,这一环节便是氢气吸气/压缩的过程。针对无需皮带传动的直联电机隔膜压缩机,电机无需减速,只要直接通过联轴器、飞轮便可推动曲轴旋转,所以该压缩机的电机转速应与压缩腔的吸气/放气次数相符,这也意味着电机旋转一圈,活塞就需完成一次往复运动。通常情况下,隔膜压缩机的压缩循环次数在 210-740 次/分钟,所以其直联电机的转速应控制在 780r/分钟。至于飞轮机构,其不仅转动惯性相对较大,还能存储、释放并转化能量,发挥该机构的作用,可以进一步均衡电机载荷,也能使原本较大的功率波动不断缩小。此外,在整个系统中,曲柄连杆机构发挥着重要作用,作为主要受力部件,其运行的稳定性、有效性直接关系着压缩机运行的安全性、可靠性。而且这类机构的受力情况相对复杂,需要承受周期性变化载荷以及惯性力等,所以这类机构应具备较强的刚度与动静态力学等特性。

2、液驱活塞式压缩机概述

2.1 液驱活塞式压缩机的结构

液压系统、增压缸是液驱活塞式压缩机的核心部分。其中, 液压系统包含很多部分, 比如换向阀、油箱等, 充分发挥液压系统作用, 可使液压腔内部的液压油带动组合活塞进行往复运动, 这可促使氢气压缩腔容积在活塞运动的过程中不断吸气、压缩, 这可有效实现增压的目的。至于增压缸, 其包括组合缸体、液压腔、氢气压缩腔与进出口单向阀等部分, 增压缸外罩冷却水套, 在冷却水的作用下, 缸体的高温氢气可以得到冷却。同时, 在组合缸体以及活塞的配合下, 该结构的氢气压缩机处于动密封状态, 所以, 怎样确保其密封性并使氢气、液压油有效隔离, 是该结构压缩机的核心。

2.2 工作原理

液驱活塞式压缩机的工作原理是: 活塞从底部开始, 沿着一条曲线往上移动, 而吸、排气阀保持开启, 使得空气进入封闭的气缸, 随着气缸的容量减少, 压力和温度也会不断提升, 最终达到压力和温度的平衡^[2]。液驱活塞式压缩机的设计改变了传统的压缩机的结构, 它采用了液压系统来驱动活塞的往复运动, 使得压缩过程可以更加精确、高效地完成。活塞的转速可以控制在 18-32rpm 之间, 这可使得压缩机的流量达到与普通活塞压缩机相当的水平。对于组合缸体和组合活塞的搭配, 其使该结构的氢气压缩机的密封处于动密封状态, 在此背景下, 确保液压油和氢气之间的密封性能达到最佳状态并避免渗漏, 是此类压缩机的核心要领。

3、隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机的发展与应用现状

由于其独特的静密封特性, 隔膜压缩机可以完全防止与外界润滑油的混合, 这样就可以将纯度非常高的气体进行压缩, 同时也可以用来处理一些具有较强腐蚀性、放射性、有毒、易燃的气体, 正因如此, 隔膜压缩机被广泛地应用于化学、医药等行业领域。Hofer 和 Haskel 是液驱活塞式压缩机的主要国外品牌, 但是 Hofer 的型号单一, 成本高, 交货期长, 所以应用较少。相比之下, Haskel 的液驱压缩机应用更加广泛, 市场份额也更高, 在国内加氢站也有使用。就目前来看, 国内液驱压缩机的生产厂家数量较少, 虽然这类压缩机在国内发展起步较晚, 但随着加氢站建设和压缩机研究的不断深入, 相关规范标准不断完善, 这也使其进入了蓬勃发展的阶段。

根据最新的统计数据, 隔膜压缩机和液驱压缩机在加氢站的应用中分别占据了 60%和 35%的市场份额。之所以隔

膜压缩机的占比较多, 得益于隔膜压缩机的早期发展, 以及其在化工和其他行业的广泛应用, 为加氢站的运营提供了良好的基础。虽然加氢站的压缩机工况已经大大改善, 但仍存在一些不足, 比如许多加氢站的加氢车辆数量不足, 处于间断加氢状态, 压缩过程中容易出现压力变动, 这对隔膜压缩机的性能和使用寿命造成负面影响。所以在实际运营过程中, 隔膜压缩机的使用寿命往往低于理论寿命, 甚至会出现膜片破裂、漏油等问题, 不论是对压缩机的使用还是加氢站的经营发展, 都十分不利。而液驱活塞式压缩机因其具有高效率的启停能力和耐压性, 而且启停操作不会影响压缩机的使用寿命, 再加上其应用流程简便、维护成本较低, 所以在加氢站的应用中受到了广泛重视和欢迎。

4、隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机的性能对比

4.1、隔膜压缩机的性能分析

针对隔膜压缩机, 其密封性能如下: 基于多层膜片周边的 O 型圈实现静密封, 利用膜片表面可将液压腔、氢气腔有机隔离。经实践证明, 隔膜压缩机密封的破坏主要源自膜片边缘的疲劳破裂, 在膜片中间运动部分也易发生破裂情况。压缩机的启停性能: 不适宜频繁启停, 启停操作很容易缩减膜片的使用寿命。一般而言, 隔膜压缩机适用于压力相对稳定且需要持续运行的工况, 并且其维护成本相对较高, 若进行大规模保养, 需要 6 小时以上的时间, 还应有 2-3 人协同工作, 使用吊装、专用工具完成维护作业, 从整体角度分析, 隔膜压缩机的维护成本偏高。而且一旦隔膜压缩机出现停机, 工作人员需要泄放腔内氢气后, 再次启动, 这在一定程度上损耗了少量的氢气。

4.2 液驱活塞式压缩机的性能分析

液驱活塞式压缩机的密封性能, 主要借助活塞密封件、缸体内孔实现动密封。密封的破坏主要源自密封件磨损程度加深, 从而造成轻微泄漏。不同于隔膜压缩机, 液驱活塞式压缩机可以带载频繁启停, 启停操作不会对压缩机的使用寿命产生影响^[3]。通常此类压缩机应用于带载频繁启停等多变工况中, 若进行大规模保养, 液驱活塞式压缩机仅需 1-3 小时便可完成, 最快可控制再 30 分钟内完成, 但更换频率较多, 建议 800-1000 小时更换一次气侧密封件, 一名维护人员便可操作, 维护期间不需要使用专业设备, 从整体角度分析, 液驱活塞式压缩机的维护成本相对较低, 维护工作也很简便, 维护人员可以快速、高效地完成维护工作。至于氢气损耗方面, 处于正常密封状态时, 该压缩机的泄漏率偏低, 启停过程中也不需要泄放氢气, 相较于隔膜压缩机, 液驱活

塞式压缩机对氢气的损耗极小。

综上所述,在目前加氢站的工况下,液驱活塞式压缩机的性能要比隔膜压缩机的性能更佳,实际应用中液驱活塞式压缩机的效率更高,维护成本以及氢气损耗相对较小,十分有利于加氢站的运营和建设。

5、隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机的具体应用

5.1 隔膜压缩机的应用

在加氢站的运营中,隔膜压缩机的使用方式如下:当氢气的压力在 5-20 兆帕之间时,氢气会通过卸气柱进入两台主压缩机,并在压力升至 43 兆帕之后,进入 43 兆帕的低中高瓶组,然后通过支路输送到加氢机进行氢气加注。当管束拖车的氢气压力达到 5 兆帕时,管束推车返回加氢站的母站,再次使用隔膜压缩机将其增压,并将其储存在 20 兆帕的瓶组中,然后再进入加氢站按照正常的流程进行充装和加注。

5.2 液驱活塞式压缩机的应用

为了提高液驱活塞式压缩机的效率,将加氢站入口的管道拖车的充氢压力从原来的 6-19 兆帕降低到了 4-9 兆帕和 9-19 兆帕,这样就可以有效地减少氢气的损失。例如,在一个 12 小时连续工作的加氢站中,如果使用液驱压缩机,那么应该配备两台常规的 44 兆帕、500 千克/天的主液驱压缩机。具体应用流程如下:当管道内的氢气压力处于 9-19 兆帕之间,氢气将通过卸气柱被输送到两台主要的压缩机,并且随着压力的升高,其将被输送到 45 兆帕的高、中、低瓶组,最终通过第一条输送线被输送到加氢机,从而实现氢气的加注。当管束拖车的氢气压力处于 4-9 兆帕时,液驱压缩机就会开始工作,其会把剩余的氢气压缩并储存在 45 兆帕瓶组的低压瓶组中。此外,当 45 兆帕瓶组的压力低于 18 兆帕时,就会启动 1 台压缩机,从第二个支路把压缩后的氢气输送到更高的瓶组,以便进行进一步的加氢处理。

经过对隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机的加氢站应用流程进行比较,发现液驱活塞式压缩机具有多种功能,既可

[4]

以与其他压缩机一起作为主压缩机,将管束拖车中的氢气压缩至 45 兆帕的低中高压瓶组,又可以单独运行,将 45 兆帕的低中压瓶组中的低压 18 兆帕的氢气输送至 45 兆帕的高压瓶组,从而有效地利用加氢站中的氢气资源。就目前而言,液驱压缩机具有启停性强、压力调节灵活的特点,所以其可在加氢站的各种场景下发挥出较大的作用,不必额外安装压缩机。然而,隔膜压缩机更适用于压力波动较大的环境,其进气压力范围也比液驱压缩机窄,所以,在压力不足的情况下,除了液驱活塞式压缩机之外,还需要安装隔膜压缩机来提高压力。

由于目前燃料电池车用氢气的纯度目前没有具体要求,所以液驱活塞压缩机关于活塞环磨损、油气分压所造成的影响未列入其中。

结束语:

总而言之,加氢站建设中经常使用隔膜压缩机和液驱活塞式压缩机。基于性能角度,液驱活塞式压缩机可以频繁带载启停,不会对压缩机寿命产生影响,其整体适应性更强。至于隔膜压缩机通常适用于压力相对稳定的环境中,无法频繁启停,而且启停操作会对压缩机的寿命产生影响。基于维护成本,与隔膜压缩机相比,液驱活塞式压缩机的维修流程简便且成本较低,实际建设中,加氢站可结合自身情况与需要选择压缩机类型。

参考文献:

- [1] 夏一航,李云,高秀峰,冯诗愚.70MPa 加氢站用隔膜压缩机二级缸盖热应力分析[J].压缩机技术,2023(01):6-10.
- [2] 黄振辉,聂连升,王向丽,朱海涛,李建成.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[J].化工设备与管道,2022,59(06):78-82.
- [3] 田中辉,何广利,赵文静,许壮,翟俊香,赵月晶.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(09):139-147.