

苯乙烯尾气螺杆压缩机防聚合技术研究

杨毅

(中国船舶重工集团公司第七一一研究所,上海200072)

摘要:针对苯乙烯生产工艺对尾气压缩机的要求,研制开发了国内第一台苯乙烯尾气螺杆压缩机。分析了苯乙烯产生聚合的原因及发生聚合反应的危害,提出了多种防止苯乙烯聚合的技术措施,给出了系统工艺流程。该压缩机已在国内多套苯乙烯装置中投入运行,最长使用时间超过4年,未发生过苯乙烯在压缩机内产生聚合的事故。

关键词:螺杆压缩机;苯乙烯;尾气;聚合

中图分类号:TB652

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2011)07-0072-03

Research on anti-polymerization technology of screw compressor for styrene off-gas

YANG Yi

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200072, China)

Abstract: The first screw compressor for styrene off-gas is developed in China to meet the requirement of off-gas compressor during the styrene production process. The cause and hazard of the polymerization of styrene are analyzed. Various measures in preventing the polymerization of styrene are proposed. The new processes are provided. This screw compressor has been applied to many styrene units in China. The operation time is above 4 years. More importantly, the accidents of polymerization of styrene in the off-gas screw compressor have never happened.

Key words: screw compressor; styrene; off-gas; polymerization

目前,世界上生产苯乙烯的方法主要有乙苯脱氢法、环氧丙烷-苯乙烯联产法、热解汽油抽提蒸馏回收法以及丁二烯合成法等。而乙苯负压绝热脱氢反应技术是目前国内外生产苯乙烯的主要方法,几乎占据了整个国内市场。该苯乙烯生产工艺需要将脱氢反应器抽成真空状态,并且使反应器内的压力维持在0.025~0.035 MPa,以使苯乙烯的反应效率最高。苯乙烯在生产过程中会产生尾气,其中主要含有氢气、水蒸气,还有少量的一氧化碳、二氧化碳、甲烷、苯乙烯、甲苯、乙苯等气体。尾气中氢气体积分数高达65%以上,具有很高的回收利用价值。因此需要采用一种具备抽吸高负压能力的压缩机将反应器抽成真空状态,并将反应过程中产生的尾气及时输送出去。随着反应速度的变化,苯乙烯装置中尾气的气量变化较大,因此要求苯乙烯尾气压缩机应具有较好的调节和适应能力,以满足苯乙烯生产装置的稳定运行。

我国苯乙烯装置的尾气压缩机以往都从国外进口,由于进口价格高、交货周期长、售后服务不及时等原因,给国内苯乙烯产业的发展带来了较大的影响。针对这一情况,中国船舶重工集团公司第七一一研究所在具有近20年工艺螺杆压缩机的研制、开发和生产经验的基础上,从2002年开始致力于苯乙烯尾气压缩机的研制和开发,并于2004年成功开发

出国内第一台苯乙烯尾气压缩机,为我国石油和化工行业提供了更好的技术支撑,同时也有助于促进国产螺杆压缩机的进一步发展。

1 苯乙烯装置对尾气压缩机的要求

根据乙苯负压绝热脱氢反应技术生产苯乙烯的工艺特点,苯乙烯尾气压缩机需满足以下几方面的技术要求:

(1)根据目前国内主要苯乙烯装置的生产规模,年生产能力一般在6万~15万t,其尾气排放量较大,且随工况变化的波动量也较大,因此,苯乙烯尾气压缩机组需要满足大流量、调节范围广的要求。

(2)根据苯乙烯生产的工艺流程,需要将尾气压缩机组前的脱氢反应器抽成负压,并将尾气输送到吸收塔及其下游管线,因此,苯乙烯尾气压缩机需要具有较好的气密性,以适应高负压和高压比的要求。

(3)苯乙烯装置产生的尾气中主要组分为氢气、乙苯、苯乙烯和苯等,氢气为易燃易爆气体,苯为有毒气体,因此,尾气压缩机轴封系统应满足良好密封性的要求。

(4)由于苯乙烯易产生自聚,严重时被迫停车清理,因此,苯乙烯尾气压缩机组应满足防止苯乙烯在压缩机内聚合的要求。

2 苯乙烯尾气压缩机防聚合技术

2.1 聚合原因分析

苯乙烯是一种容易聚合的化工产品,在很多环境状态下易产生自聚,轻微时在压缩机内部形成黏稠物,严重时造成螺杆转子咬死或管道堵塞,只能被迫停车清理。对于苯乙烯原料,产生聚合的因素主要有以下几方面:

(1) 在液态下,温度高于 85℃ 时易产生聚合。

(2) 在静止状态下,苯乙烯与氧气接触易产生聚合。

2.2 防聚合技术措施

根据苯乙烯的物性特点,本项目主要从结构设计、工艺布置及系统控制等方面采取合理的措施,以防止苯乙烯在尾气压缩机内聚合。

2.2.1 确定合理间隙

为满足苯乙烯尾气压缩机的各项主要性能要求,必须设计合理的结构参数及啮合间隙。压缩机的阴、阳螺杆转子采用滑动轴承支撑和定位,并通过同步齿轮的调整来保证阴阳转子之间、转子与气缸之间、螺杆转子端面与气缸壁之间均有较小的间隙。由于苯乙烯尾气中氢气组分含量较高,有时体积分数甚至高达 90% 以上,因氢气分子质量小、绝热指数高、内泄漏大,比乙烯、二氧化碳等工艺气体难于压缩,因此需要提高加工及装配精度,减小螺杆转子之间、转子与缸体之间的啮合间隙,提高容积效率,有效降低排气温度,从而有利于防止苯乙烯在压缩腔内产生聚合。

另外,为确保压缩机转子在热态下保持适当间隙,除了设计合理的冷态间隙外,还需对轴承负荷、转子横向一阶临界转速等做细致的计算与校核。在热力学第一定律及质量守恒定律的基础上,全面考虑了压缩过程的泄漏、传热等现象,建立了喷液螺杆压缩机热力学模型^[1],并采用数值算法进行求解,得到压缩机工作腔内压力 P 、介质质量流量 Q 随转

子转角 φ 的变化关系,并做出 P 与 V 的变化关系图,见图 1。由于螺杆压缩机的阴阳转子具有复杂的空间几何形状,需利用空间解析几何理论对螺杆转子进行受力分析^[2]。考虑转子气体作用力、齿轮作用力、转子自重等载荷,建立了转子的受力模型,计算出阴阳转子轴承负荷,见表 1。

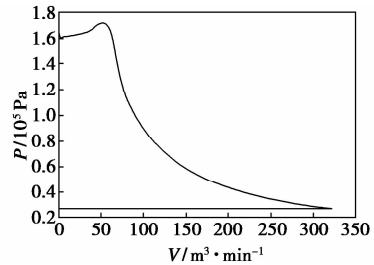


图 1 螺杆压缩机实际工作状态 P - V 图

表 1 尾气螺杆压缩机轴承负荷

转子	吸端径向轴承	排端径向轴承	轴向推力轴承
阴	9600	17300	2900
阳	6300	16100	7900

根据获得的轴承负荷,将转子计算模型简化为阶梯段圆轴,螺杆部分简化为当量直径圆柱轴段,采用 ANSYS 软件有限元结构动力计算程序进行分析,计算得出转子临界转速为 7 650 r/min,远高于压缩机正常运行转速,因此在机组启动和运行过程中可不必考虑临界转速的影响。

2.2.2 设计适合结构

当苯乙烯介质长时间停留在压缩腔内,则有可能在压缩腔内壁形成聚合物,因此压缩机的结构设计非常重要。螺杆压缩机的阴、阳螺杆转子水平且平行地配置在壳体内,靠进排气端座内的径向滑动轴承支撑。在阴、阳螺杆上的排气端外侧装有滑动止推轴承,承受由吸入和排出压力差产生的轴向推力。在轴承与压缩腔之间设有轴封装置,在轴封装置靠近压缩腔端充入蒸汽,靠近轴承端充入氮气

(上接第 71 页)

- [3] Anders L, Bo L, Tobias M. A fluidized-bed combustion process with inherent CO₂ separation: Application of chemical-looping combustion [J]. Chemical Engineering Science, 2001, 56(10): 3101-3013.
- [4] Singh D, Croiset E, Douglas P L, et al. Techno-economic study of CO₂ capture from an existing coal-fired power plant: MEA scrubbing vs. O₂/CO₂ recycle combustion [J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44(19): 3073-3091.
- [5] Li Z S, Cai N S, Eric C. Process analysis of CO₂ capture from flue gas

using carbonation/calcination cycles [J]. AIChE Journal, 2008, 54(7): 1912-1925.

- [6] Gui X, Tang Z G, Fei W Y. CO₂ capture with physical solvent dimethyl carbonate (DMC) at high pressures [J]. J Chem Eng Data, 2010, 55(9): 3736-3741.
- [7] 宿辉, 崔旭光, 王丽雪. TETA 对 CO₂ 的吸收及其动力学参数的推导 [J]. 四川环境, 2010, 29(3): 35-38.
- [8] 赵伟, 施耀, 魏建文, 等. 甘氨酸钠溶液吸收 CO₂ 及再生实验研究 [J]. 高校化学工程学报, 2008, 2(4): 690-696. ■

以防止介质气体和润滑油泄漏。在吸气端外侧均设置有同步齿轮,同步齿轮的速比与阴、阳螺杆转子的齿数比相等,确保转子之间保持适当间隙。另外,将苯乙烯尾气压缩机结构设计为排气口向下,有利于将压缩腔内的介质排放干净,尽量减少苯乙烯在压缩腔内聚合的可能性。

2.2.3 设置自动盘车装置

在压缩机停车状态下,压缩腔内残留的苯乙烯介质在静止状态下会逐渐形成聚合物,并堆积在转子表面及压缩腔内壁。为防止此问题产生,在压缩机阳转子尾部设置了自动盘车装置,该装置在停机状态下可实现连续低转速自动盘车,使得螺杆转子一直保持 20 r/min 的低速运转,从而使得苯乙烯不易在转子表面产生聚合。

2.2.4 采用喷水冷却

在压缩机运行过程中,高温是苯乙烯介质产生聚合的关键因素,因此控制压缩介质的温度是防止苯乙烯聚合的有效措施。通过在压缩机入口喷入雾化软化水,对压缩介质进行冷却降温,以控制和调节压缩机排气温度,确保压缩介质温度在 83℃ 以下,防止苯乙烯在排气端因温度较高而产生聚合。

2.2.5 设置水夹层

在压缩过程中,采用喷水冷却是控制压缩介质温度最有效的方式。但喷水量过大,一方面增加运行成本,另一方面可能造成管线积液,增加介质气体流动阻力。为了尽量减少软化水的喷入量,在压缩机气缸体和排气座设置水夹层,水夹层内注入循环冷却水,通过热交换带走部分热量,可有效控制压缩介质温度。

2.2.6 采用可靠密封系统

为防止空气进入压缩机,降低介质气体与氧气接触的可能性,苯乙烯尾气压缩机采用使用寿命长、可靠性高的碳环密封结构。阳、阴转子的进端和排端各设置一套碳环密封,每套碳环装有 8 组石墨密封环,密封在填料箱中,密封环与螺杆轴之间有微小的间隙,环是静止状态,轴与环接触时,环能自由地径向移动,避免损伤轴表面。在第二、第三组密封环之间,充蒸气以阻止介质气体泄漏,少部分蒸气通过第二、第一道石墨环进入压缩机。在第六、第七组密封环之间充入氮气,既防止介质气体向外泄漏,也可有效防止润滑油向内泄漏。

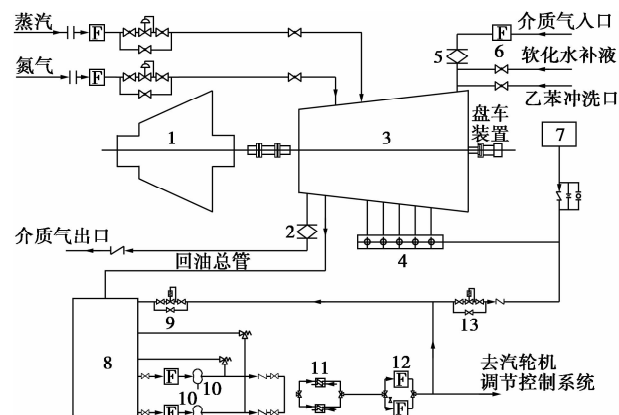
2.2.7 设置乙苯冲洗口

在压缩机入口设置了乙苯冲洗口,可通过该接口往压缩腔内注入乙苯。由于乙苯易溶解苯乙烯,

可有效防止苯乙烯在压缩腔内聚合。

3 系统设计

用于苯乙烯装置中的尾气螺杆压缩机系统流程见图 2。该机组为固定式抽真空机组,采用汽轮机通过叠片挠性联轴器直接驱动,并通过汽轮机调速和循环回流 2 种方式调节压缩机负荷。盘车装置设在压缩机另一端阳转子上,可实现低速连续盘车。机组设有独立油站和事故油箱、收集器、气液系统、轴封系统及仪表控制系统。



1—汽轮机;2—出口膨胀节;3—螺杆压缩机;4—润滑油分配器;
5—进口膨胀节;6—吸气过滤器;7—高位油箱;8—润滑油箱;
9—压力调节阀;10—油泵;11—润滑油冷却器;12—油过滤器;
13—压力调节阀

图2 尾气压缩机系统流程图

4 结语

本文介绍了苯乙烯装置中对尾气螺杆压缩机的具体要求,分析了苯乙烯产生聚合的原因及发生聚合反应的危害,并提出了多项防止苯乙烯聚合的技术措施,有效解决了苯乙烯在螺杆压缩机内部产生聚合的问题,提高了设备运行的安全性和可靠性。七一一所研制生产的苯乙烯尾气压缩机已在海南嘉盛、江苏利士德、大庆中蓝、山东华星、宁波科元、辽宁华锦等多套苯乙烯装置中投入运行,最长使用时间已超过 4 年,未发生过苯乙烯在压缩机内产生聚合的事故。事实证明,采取的多种防止苯乙烯聚合的技术措施是有效和可行的。

参考文献

- [1] 吴华根,邢子文,束鹏程. R134a 螺杆制冷压缩机工作过程数值模拟及实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(5): 487-490.
- [2] 曹锋,邢子文,束鹏程. 双螺杆转子的受力分析[J]. 应用力学学报, 2002, 19(1): 90-92. ■