

丁二烯螺杆压缩机防爆、防聚技术研究

钟子健

(中国船舶重工集团公司第七一一研究所, 上海 200072)

摘要:为满足丁二烯螺杆压缩机的防爆、防聚要求,制定了相应的技术方案,采用两级干式压缩,改良密封形式和工艺流程,并着重注意温度的控制。正式投用结果表明,该机组在满足实际工艺流程要求的同时,解决了丁二烯螺杆压缩机防爆、防聚的问题。

关键词:丁二烯螺杆压缩机;防聚;防爆

中图分类号:TH455

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2012)01-0076-04

Study on anti-explosion and anti-polymerization technology of screw compressor for butadiene plant

ZHONG Zi-jian

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

Abstract: In order to satisfy the anti-explosion and anti-polymerization requirement of process screw compressor for butadiene plant, the special design was made, which used two stages of dry compressors, improved shaft seals and modified the process design. In addition, it should pay much attention to the temperature control. The commissioning test results indicate that the unit can meet the process requirement. Moreover, the anti-explosion and anti-polymerization problems are solved well.

Key words: process screw compressor for butadiene plant; anti-explosion; anti-polymerization

丁二烯是一种重要的石油化工基础原料,是C₄馏分中最重要的组分,是合成橡胶、合成树脂的重要单体,在石油化工烯烃原料中的地位仅次于乙烯和丙烯。丁二烯主要有2个来源:一是从炼油厂C₄馏分脱氢而得到,该方法目前只在一些丁烷、丁烯资源丰富的少数几个国家采用;另一个是从乙烯裂解装置副产的混合C₄馏分中抽提得到。混合C₄抽提工艺制取丁二烯的成本远低于C₄脱氢工艺,从而成为目前丁二烯生产的主要方法。

在混合C₄抽提工艺制取丁二烯工艺流程中,需要将常压操作的第一解析塔中的丁二烯混合气体(C₄)送到压力较高的第二萃取精馏塔。由于该流程混合气体流量大(>7 000 m³/h),介质气易聚合,轴封系统不允许充氮,使得螺杆压缩机成为抽提工艺压缩机的最佳选择。目前该工艺中使用的压缩机全部为螺杆压缩机。随着石化行业的蓬勃发展,大炼油、大乙烯装置的不断投建,丁二烯螺杆压缩机的需求量逐渐增加。丁二烯螺杆压缩机是国内进口数量较多的石化工艺压缩机。

作为国内工艺气螺杆压缩机的主要研发与制造机构,中国船舶重工七一一研究所于2008年自主立项进行丁二烯螺杆压缩机的开发工作。该项目在开展过程中还得到了中国石化重大装备国产化办公室的支持,被列为“2009年度中国石化重大装备国产

化攻关计划”项目。

丁二烯由于化学性质活泼,极易与氧化性物质发生反应。丁二烯在生产和储存期间,如与氧化物相遇,极易生成一种高聚物,并极有可能产生爆炸,使得生产过程中发生急剧膨胀,从而产生极大的应力作用于设备上,聚合点局部温度过高,停车以及重大的设备事故在所难免,并且被堵塞的设备和容器根本无法清理,造成整套装置无法正常使用,从而引起重大的人员和财产损失^[1]。因此,防聚、防爆是丁二烯螺杆压缩机设计与制造的关键。

1 防爆、防聚技术方案

温度是发生氧化反应的重要影响因素,温度越高,反应速度越快,因此在对丁二烯进行压缩的过程中,关键要控制好螺杆压缩机压缩过程中的温升,同时要防止压缩过程中介质气体与氧化物接触而导致的自聚和爆炸。因此,丁二烯螺杆压缩机的防聚、防爆技术的关键是温度控制技术与密封技术。

某丁二烯抽提装置现场工艺参数如表1。

表1 丁二烯抽提装置系统参数

系统参数	操作条件	
	正常工况	氮气置换
介质	丁二烯混合物	氮气
容积流量/m ³ ·h ⁻¹	8785	8336

收稿日期:2011-09-11

作者简介:钟子健(1972-),男,大学,高级工程师,长期从事螺杆压缩机研究工作,021-66313293, zhongzijian2000@163.com。

续表

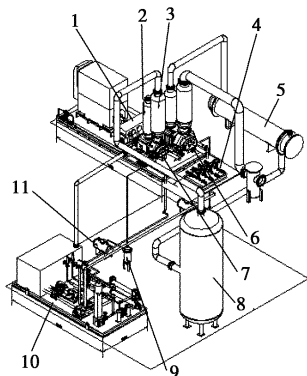
系统参数	操作条件	
	正常工况	氮气置换
入口压力/kPa	106.2	106.2
入口温度/℃	≤40	≤40
出口压力/kPa	689	689
出口温度/℃	≤80	≤80(喷液冷却后)

结合实际工艺流程要求,为满足丁二烯螺杆压缩机的防爆、防聚要求,机组采取如下技术方案。

(1) 两级干式压缩

丁二烯化学性质活泼,如与氧化物质相遇,极易生成一种高聚物,并极有可能产生爆炸。在实际生产过程中,可能遇到的氧化性物质有铁锈、水、氧气。因此丁二烯在压缩过程中不允许注水,必须采用干式压缩。另外,为防止因温度升高而引发聚合反应,丁二烯在压缩过程中必须严格控制温度,一般不得超过 80℃。基于以上因素,该工艺用螺杆压缩机需采用两级干式压缩作为丁二烯压缩机的主要方案,同时在级间设置中间冷却器以降低单级的排气温度,将介质温度控制在 80℃ 以内。

机组包括一级压缩机、二级压缩机、联轴器、增速齿轮箱、主电机、消音器、气液分离器、中间冷却器、独立油站、酸油收集器、油气分离器、补液阀组等结构,采用双层布置,其中压缩机、中间冷却器、补液阀组、入口过滤器放置于二层,独立油站、油气分离器、酸油收集器放置于一层,总体布置图如图 1。



1—增速齿轮箱;2—二级压缩机出口消音器;3—二级压缩机进口消音器;4—补液阀组;5—级间冷却器;6—一级压缩机;7—二级压缩机;8—气液分离器;9—二级压缩机油气分离器;10—独立油站;11—二级压缩机收集器

图 1 总体布置图

(2) 改良密封方案

根据混合 C₄ 抽提工艺, C₄ 出丁二烯压缩机进

入下游回收塔,为防止不凝气影响丁二烯的产品纯度,回收塔内不能混入不凝气,因此丁二烯在压缩过程中,轴封装置一般不允许充氮。而且丁二烯压缩机转速高、轴径大、线速度高,且介质气成分复杂,另外,丁二烯螺杆压缩机要求无故障运行时间长,一般不低于 2 年。基于上述特点,丁二烯螺杆压缩机对轴封的选型及系统设计提出了很高的要求,必须采用适合丁二烯压缩机的专用密封形式。

(3) 工艺流程

虽然螺杆压缩机是易聚合工艺介质物料输送设备的最佳选择,但在运行过程中,必须配备相应的冲洗手段,特别是在停车时,有必要将物料排空。因此工艺流程中要考虑配备相关的溶剂冲洗管线及流程^[2]。

2 关键技术

2.1 温度控制技术

丁二烯对温度的控制要求十分严格,为防止聚合,丁二烯在整个压缩过程中,任何状态点的温度都不能超过 85℃,出口温度不能超过 80℃。丁二烯抽提装置要求将 40℃ 的丁二烯从 106 kPa 压缩至 689 kPa,在这样的压比下如采用一级压缩,实际排气温度将超过 104℃。因此目前丁二烯螺杆压缩机均采用两级干式压缩方式,以降低单级压缩的压比,同时在级间设置中间冷却器。考虑丁二烯经过级间冷却器、分离器及管线将产生 20 kPa 左右的压降,单级压比一般在 2.65 以上,理论上 40℃ 的丁二烯在这样的压比下排气温度也将超过 72℃。而螺杆压缩机的实际工作过程存在着泄漏损失、气体流动损失及气体动力损失,都会提高丁二烯的温度。为控制排气温度,必须设计合理的间隙、内容积比及转速,并设计结构合适的冷却水套,利用循环水尽可能地带走介质气的热量。

(1) 间隙设计

在螺杆压缩机的实际运转过程中,高温高压气体通过转子间的齿间间隙及转子与缸体间的间隙由高压区向低压区泄漏,将引起排气温度升高的危险。为减少泄漏,在保证运行时转子不会发生摩擦事故的前提下,应尽量选取较小的冷态间隙值。

冷态间隙的选取,可借助于对转子力、热变形的分析计算。一、二级转子在运行工况条件下的热力变形情况分析如图 2。此外,在设计中对应用于工程实际中的进口丁二烯螺杆压缩机的配合间隙情况进行对比和参考,可得到较为合理的冷态间隙值。

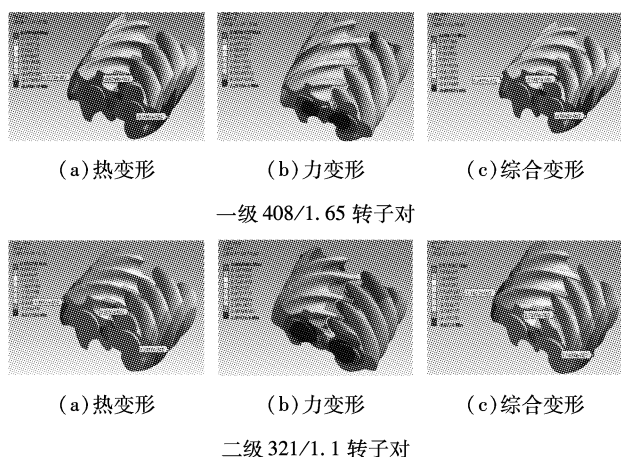


图2 转子热力变形

中船重工七一研究所的螺杆压缩机型线采用SRM非对称型线,效率高,受热变形热膨胀不大。根据有限计算结果,冷态间隙留出15%~20%余量,这样既能保证压缩机的可靠性,也能控制排气温度。经过将间隙值导入热力学模型及有限元模型,无论排气温度还是力热耦合变形都符合设计要求。

(2) 内容积比设计

螺杆压缩机是一种强制输气的容积式压缩机,依靠在机壳上合理地配置吸、排气孔口实现压缩机的吸气、压缩、排气的基​​本工作过程。螺杆压缩机吸、排气孔口的位置和形状决定了其内压缩比。当内外压比不一致时,会造成排气温度升高、效率下降等不利影响。在开设排气孔口时,必须根据完善的热力学计算模型,针对特定的内压比进行设计。

按照丁二烯螺杆压缩机的级间压力分配,一级压比为2.67,二级压比2.62。按正常操作条件,介质气绝热指数1.109,不考虑介质气泄漏、传热等因素影响,将压缩过程看作绝热压缩过程,当内外压比一致时,一级压缩机内容积比应为2.42,二级压缩机内容积比为2.38。如考虑氮气置换流程,氮气绝热指数1.4,当内外压比一致时,一级压缩机内容积比应为2.02,二级压缩机内容积比为1.99。本项目考虑到机型、转速及型线的因素,高转速下排气孔口

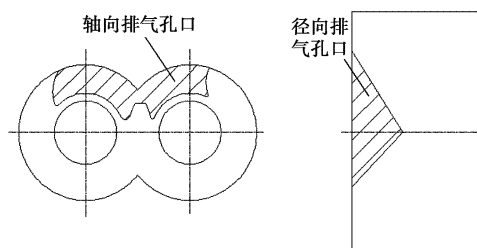


图3 丁二烯螺杆压缩机排气孔口示意图

应提前一定角度来设置,设计的内容积比要小于理论内容积比。选择较小的内容积比2.14,更能适应工况的波动及氮气置换流程,其轴向和径向排气孔口形状见图3。

在设定内容积比后,根据热力学计算模型,获得丁二烯螺杆压缩机的工作容积温度特性见图4。其中一级压缩机压缩腔内介质气最高温度为83.3℃,二级压缩机压缩腔内介质气最高温度为82.7℃,均低于85℃,这样就确保介质气在压缩任一阶段不会出现结焦现象。

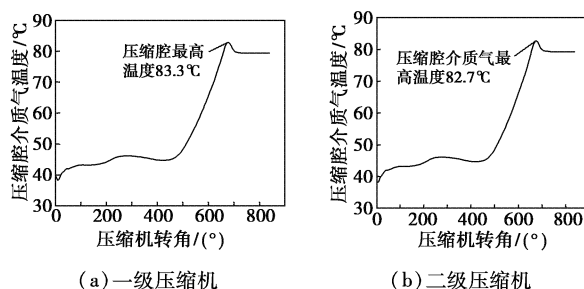
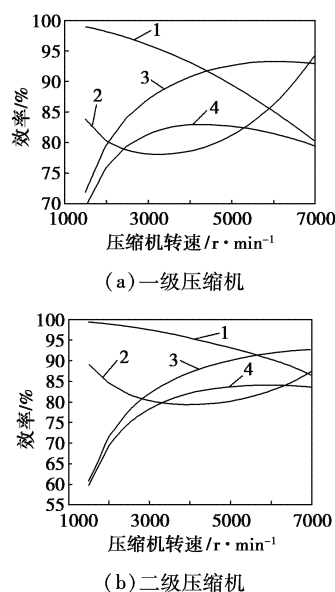


图4 丁二烯螺杆压缩机工作容积温度特性

(3) 转速选择

为在保证容积流量及排气温度要求的前提下,尽可能地提高压缩机的容积效率和总效率,转速是较大的影响因素之一。由于螺杆压缩机存在最佳的齿顶速度范围,因此针对特定的工况条件和机型,转速也存在一个性能优越的选择范围。本项目中,针对丁二烯的特定工况和选择的机型进行了模拟,见图5。



1—压缩机流动效率;2—压缩机排气温度;3—压缩机容积效率;4—压缩机绝热效率

图5 丁二烯螺杆压缩机性能曲线

根据图5结果显示,对于一级压缩机,当转速位于2 100~4 900 r/min内,排气温度不会高于80℃。二级压缩机转速位于2 700~5 400 r/min内,排气温度不会高于80℃。工程实际中,根据设计容积流量的要求选择的转速均在以上较为合适的区间内。

2.2 密封技术

现有的进口丁二烯螺杆压缩机多采用机械密封与迷宫密封相结合的方式^[2]。从实际运行过程中来看,都存在着一些问题。

本项目的压缩机密封形式为碳环密封+双端面机械密封,密封系统带酸油回收系统,确保介质气和润滑油不发生相互污染。通过采用“碳环密封+双端面流体动压型机械密封”的组合形式,整个开机、停机过程均无需充氮,保证了系统丁二烯的纯度,一级和二级压缩机机封泄漏量均小于5 L/d,泄漏出的少量润滑油通过油气分离器处理后回收,保证了装置的长周期运行,酸油不会进入下游工艺。

2.3 控制系统设计

为适应丁二烯装置工况的波动及保证压缩机安全,机组在二级压缩机出口和级间管线均采用循环回流,以保证入口压力和级间压力稳定。在各级压缩机吸排气管线上均对温度、压力信号进行监测,对压缩机、齿轮箱滑动轴承温度进行监测,一旦超温、超压,中控室能迅速发出报警并及时停机。

仪表与控制系统用于保护丁二烯压缩机在非正常状态下不受到损坏,同时对压缩机组的关键参数进行数据采集、监测和控制,防止介质气聚合、爆炸等危险情况发生。

3 试验研究

丁二烯螺杆压缩机的样机研制完成后,分别对一、二级压缩机进行了单机空气试验、联机空气试验以及丁二烯介质气联机试验。

在现场试验中,对丁二烯螺杆压缩机在额定工况条件下的性能指标进行了全面考核,经调试后,机组性能指标全部达到设计要求,满足机组防爆、防聚的技术要求。机组在某丁二烯抽提装置现场的部分介质气试验记录见表2。

表2 部分机组介质气试验记录

项目	参数
一级压缩机进气压力/MPa	0.005
一级压缩机进气温度/℃	31.5
一级压缩机排气压力/MPa	0.172
一级压缩机排气温度/℃	72.3
二级压缩机进气压力/MPa	0.135
二级压缩机进气温度/℃	28.4
二级压缩机排气压力/MPa	0.542
二级压缩机排气温度/℃	72.1
一级压缩机密封油泄漏量/L·d ⁻¹	2
二级压缩机密封油泄漏量/L·d ⁻¹	0
压缩机质量流量/t·h ⁻¹	25

4 结语

丁二烯螺杆压缩机国产化项目经过3年的研制,样机已正式投用。通过对机组防爆、防聚技术的研究,解决了该类压缩机研制的关键技术。

(1)通过合理的方案设计、对温度的控制和采用可靠的密封结构,使机组满足实际工艺流程要求的同时,解决了丁二烯螺杆压缩机防爆、防聚的问题。

(2)通过将项目前期建立的热力学模型理论计算结果与试验数据进行对比,其误差最大为5.2%,最小为1.5%,均在工程允许范围内,热力学模型准确度较高。热力学模型理论计算对项目的整体设计起到了重要的指导性作用。为节约研制成本,提高设计的科学性、准确性做出了重要贡献。

本项目的完成,填补了国内丁二烯螺杆压缩机制造的空白。丁二烯螺杆压缩机的国产化的实现,对节约成本、缩短供货周期、推进石化行业重大设备国产化进程具有重要意义。

参考文献

- [1] 陈巍. 丁二烯抽提工艺防爆聚探讨[J]. 广东化工, 2000, 27(5): 31-32.
- [2] 袁柏峰. 国外螺杆压缩机在我国乙烯工业中的应用分析[J]. 广东化工, 2001, (1): 42-44. ■

拜耳材料科技和江苏源盛复材联手开启节能窗的新时代

江苏源盛复合材料技术股份有限公司与拜耳材料科技携手合作,推出玻璃纤维增强聚氨酯(GRPU)节能玻璃窗,整个窗框用聚氨酯制作,是国内首创,其惊人的保温效果将为门窗制造业和建筑行业带来了一场技术革命。

GRPU节能玻璃窗使用的拉挤窗框型材,是以玻璃纤维为增强材料,以拜耳材料科技生产的独特的聚氨酯树脂为基体,通过先进的注射浸胶拉挤工艺生产出的窗框型材,其导热系数低,只有铝合金的1/700,是优良的绝热材

料,尤其是在温差大、寒冷或较炎热地区有明显的隔热保温节能效果。线性热膨胀系数与墙体的线性热膨胀系数相近,因此,在温度变化时窗体不会与墙体产生缝隙,具有很好的密封性能;而且GRPU拉挤窗框轻质高强,其拉伸强度、弯曲强度是铝合金的2~3倍,是PVC的10倍以上;其弯曲模量是常规玻璃钢的2~4倍,因此不需要加钢衬补强,减少了组装工序,并使其具有先天优越的隔热性能。