

MTO 装置丙烯制冷压缩机系统设计研究

徐雯雯*

(惠生工程(中国)有限公司,上海 201210)

摘要:介绍了 MTO 装置烯烃分离单元丙烯制冷压缩机系统工艺流程及关键设备的设计,主要包括丙烯制冷压缩机、丙烯制冷剂储罐及各段吸入罐。同时分析了不同驱动型式的压缩机工艺系统设计的区别以及压缩机开停车步骤等。丙烯制冷压缩机选用离心式压缩机,分析了离心式压缩机的工作原理、“喘振”原因,及影响“喘振”的因素,提出相应的防喘振措施。

关键词:离心式压缩机;系统设计;喘振;防喘振措施

中图分类号:TQ536.9

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)04-0150-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.04.037

Design of propylene refrigeration compressor system for MTO device

XU Wen-wen*

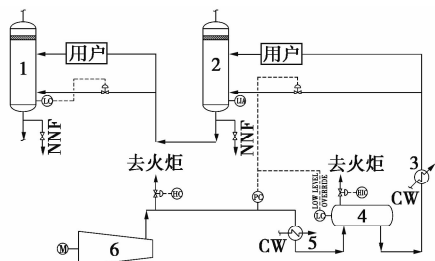
(Wison Engineering Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: The process of the propylene refrigeration system for MTO device is introduced. The design of the key equipment, including propylene refrigeration compressor, refrigerant tank and suction tanks for propylene is also described. The design differences between different drive types of compressor process system are compared. The start and shutdown procedures of the compressor are analyzed. A type of centrifugal compressor is chosen as propylene refrigeration compressor. Its working principle, reason and influence factors causing surge are discussed. The countermeasures for anti-surge are also proposed.

Key words: centrifugal compressor; system design; surge; anti-surge measures

1 丙烯制冷压缩机系统工艺流程简述

丙烯制冷压缩机系统由多级离心式压缩机以及相关的缓冲罐和换热器组成,提供多个温度级位的丙烯制冷剂,通过与这些温度对应的汽化压力下的丙烯蒸发来实现制冷过程。蒸发后的气体再通过丙烯制冷压缩机压缩后,经丙烯冷凝器冷凝,进入丙烯制冷剂储罐。从丙烯制冷剂储罐出来的液相丙烯作为热源进入预切割塔再沸器,降温后开始作为冷剂,为系统中的各换热器提供冷量。具体工艺流程见图 1。



1—其他各级吸入罐;2—最后一级吸入罐;3—预切割塔再沸器;
4—丙烯制冷剂储罐;5—丙烯冷凝器;6—丙烯制冷压缩机

图 1 丙烯制冷压缩机系统工艺流程简图

2 丙烯制冷压缩机的选用

丙烯制冷压缩机是丙烯制冷系统的关键设备,

选用离心式压缩机。离心机具有压力范围广、效率高、操作范围宽、排气均匀无脉动、体积小、流量大、质量轻、连续运转周期长、运转可靠、易损件少、维修量小、压缩机润滑油不会污染输送气体等优点,在化工、能源和冶金等工业生产中发挥着极为关键的作用。

2.1 离心式压缩机工作原理及“喘振”发生

离心式压缩机由 1 个叶轮和扩压器组成 1 个级。在 1 个级中,气体首先由叶轮加速到一定速度,再由扩压器将其动能转变为压能。当级的流量减小到某一值时,气流进入叶轮时的速度与叶片进口角不一致,气流冲击叶片,在叶道中引起边界层分离,此时叶道进出口将出现强烈的气流脉动。当级的流量继续减小,气流边界层的分离扩及整个通道,以致不能正常工作。此时级的压力突然下降,而出口端有压力的气体将倒流至级内。瞬间,倒流至级内的气体弥补了流量的不足,压缩机回复正常工作,重新将倒流的气体压出去,这样又造成级中流量减少,继而压力下降,出口端气体再次倒流至级中。如此循环,在压缩机级和出口端间形成一种低频高振幅的压力脉动。由此引起叶轮应力增加,噪音严重,整机振动强烈,以致无法正常运转,这种工况称为“喘振”或“脉振”^[1]。“喘振”是离心式压缩机的固有

特性,是一种周期性的听得见的现象,它能在压缩机机械部件上产生很大应力,造成压缩机内部损伤,严重时将导致重大的设备损坏事故。

2.2 离心式压缩机喘振曲线

离心式压缩机在不同转速 n 下都有一条出口压力 P (或压比 K) 与流量 Q 的曲线。该曲线为一条在流量不为 0 处有一最高点的曲线。将不同转速下的 $Q-P(K)$ 曲线的最高点连接起来即为离心式压缩机的喘振曲线。详见图 2 中虚线。虚线右侧为稳定工作区 (非喘振区), 左侧为不稳定工作区 (喘振区)。每条 $Q-P(K)$ 曲线的最高点对应的流量即为压缩机喘振流量。一般多级离心压缩机的喘振限见表 1^[2]。离心压缩机允许的最小工作流量一般比喘振流量大 5% ~ 10%。

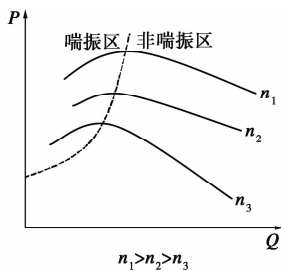


图 2 离心式压缩机喘振曲线

表 1 多级离心式压缩机喘振限

压缩机级数	2~5	6	7	8	9
喘振点	60%的	65%的	70%的	75%的	80%的
	额定流量	额定流量	额定流量	额定流量	额定流量

2.3 引起离心式压缩机喘振的因素及防喘振措施

2.3.1 引起压缩机喘振的因素

引起压缩机喘振因素很多,除阀门、仪表失效及压缩机本身故障外,入口流量或压力降低、入口温度升高、入口气体分子质量降低、压缩机转速升高和压缩机出口压力与管网压力不匹配等都是造成喘振的原因。

2.3.2 防喘振措施

(1) 设置最小回流线

对于压缩机入口流量降低引发的喘振,最直接有效的方法就是打开防喘振控制阀,增加压缩机入口流量。以丙烯压缩机一段吸入罐为例,在丙烯压缩机一段吸入罐入口设置一条从压缩机出口管线接出的最小回流线,管线上设置防喘振控制 FV 阀。同时为控制进入压缩机一段入口温度,设置一条激冷液管线接至最小回流线上,并设置 TV 阀。当压

缩机入口流量小于喘振流量时,开启 FV 阀及 TV 阀。为混合均匀并尽量减少压缩机入口带液量,在最小回流线与激冷液管线混合处设置混合器 M-5001,使最小回流线内高温气态丙烯和激冷液液态丙烯经混合器混合均匀后进入压缩机一段吸入罐。同时 FV 及 TV 上设置如下联锁:①压缩机/透平停车时,全开防喘振控制 FV 阀,关闭激冷液管线 TV 阀。②防喘振控制 FV 阀全开,允许压缩机开车。详见图 3 丙烯制冷压缩机一段防喘振控制。其他各段防喘振控制方式与一段相同。

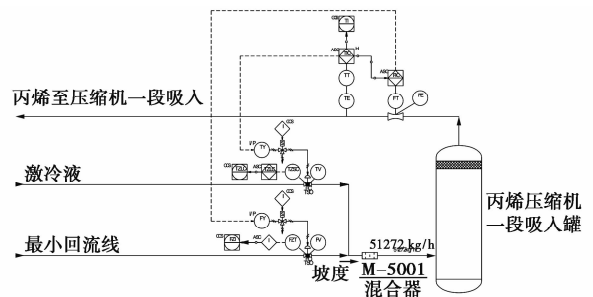
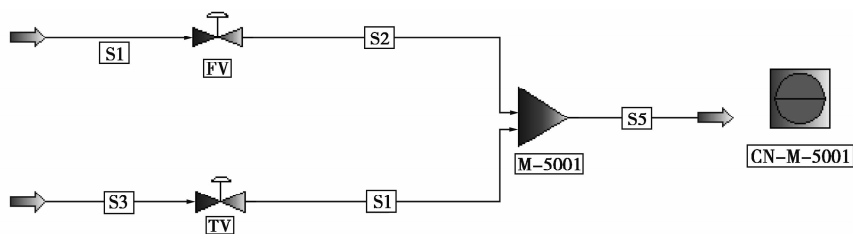


图 3 丙烯制冷压缩机一段防喘振控制

混合器 M-5001 的设计计算采用 Pro II 模拟。模拟过程如图 4。以山东某项目丙烯制冷压缩机一段吸入罐为例,要求混合器 M-5001 出口物流 S5 质量流量为 51 272 kg/h,温度 -35.9°C ,压力 0.04 MPa。混合器压降为 80 kPa。其中物流 S1 为最小回流线,FV 阀后压力为 0.12 MPa,S3 为激冷液管线,TV 阀后压力为 0.12 MPa。设一个控制器 CN-M-5001,定量为混合器 M-5001 出口物流 S5,温度 -35.9°C ,变量为激冷液流量 S3。给 S1 赋予一个值,运行程序,系统会自动得出相应的 S3 值,从而得出 S5 值。该过程反复迭代,直到得出满足规定的 S5 的温度、压力。此时会得出一个 S5 的流量值,将该计算值与要求的 51 272 kg/h 比较后,重新赋予 S1 新值,运行程序,直到计算的 S5 值与 51 272 kg/h 一致。程序运行结束。根据计算出的 S1、S3 值,确定最小回流线及激冷液管线尺寸及相应调节阀尺寸。运行结果如图 4 所示。

(2) 其他防喘振措施

在压缩机恒压的运行工况下,入口压力越低,越容易发生喘振。因此压缩机入口过滤器前后压差增大时,须及时更换滤芯。入口气体温度越高,压缩机越容易发生喘振。因此对同一台压缩机来说,夏天比冬天更容易发生喘振。对于压缩机出口压力与管网压力不匹配,当管网的压力高于压缩机出口排气



Stream Name Stream Description		S1	S2	S3	S4	S5
Phase		Vapor	Vapor	Liquid	Mixed	Vapor
Total Stream						
Rate	KG-MOL/HR	878.280	878.280	339.929	339.929	1218.209
	KG/HR	36965.001	36965.001	14307.000	14307.000	51272.001
Std. Liq. Rate	M3/HR	71.275	71.275	27.586	27.586	98.861
Temperature	C	71.900	52.738	4.362	-28.877	-35.655
Pressure	MPAG	1.634	0.120	0.569	0.120	0.040
Molecular Weight		42.088	42.088	42.088	42.088	42.088
Enthalpy	MF KJ/HR	17.525	17.525	0.100	0.100	17.624
	KJ/KG	474.092	474.092	6.963	6.963	343.744
Mole Fraction Liquid		0.0000	0.0000	1.0000	0.8114	0.0000
Reduced Temperature		0.9438	0.8914	0.7591	0.8682	0.6496
Reduced Pressure		0.3721	0.0475	0.1437	0.0475	0.0303
Acentric Factor		0.1399	0.1399	0.1399	0.1399	0.1399
UOP K factor		14.262	14.262	14.262	14.262	14.262
Std. Liquid Density	KG/M3	518.628	518.628	518.628	518.628	518.628
Sp. Gravity		0.5191	0.5191	0.5191	0.5191	0.5191
API Gravity		141.066	141.066	141.067	141.067	141.066
Vapor						
Rate	KG-MOL/HR	878.280	878.280	n/a	64.117	1218.209
	KG/HR	36965.001	36965.001	n/a	2698.536	51272.001
Vapor Std Vbl Flow	M3/HR	1201.574	10501.470	n/a	556.548	16397.023
Molecular Weight		19685.765	19685.765	n/a	1437.125	27304.927
Z (from K)		42.088	42.088	n/a	42.087	42.088
Enthalpy	KJ/KG	0.82753	0.87666	n/a	0.94591	0.96332
	KJ/KG-C	474.092	474.092	n/a	350.216	343.744
CP		1.962	1.688	n/a	1.372	1.331
Density	KG/M3	30.764	3.520	n/a	4.849	3.127
Th. Conductivity	W/M-K	0.02270	0.02053	n/a	0.01221	0.01160
Viscosity	CP	0.00996	0.00941	n/a	0.00700	0.00679
Liquid						
Rate	KG-MOL/HR	n/a	n/a	339.929	275.812	n/a
	KG/HR	n/a	n/a	14307.000	11608.464	n/a
Liquid Std Vbl Flow	M3/HR	n/a	n/a	27.586	22.383	n/a
Molecular Weight		n/a	n/a	42.088	42.088	n/a
Z (from K)		n/a	n/a	0.02401	0.00818	n/a
Enthalpy	KJ/KG	n/a	n/a	6.963	-72.831	n/a
CP	KJ/KG-C	n/a	n/a	2.558	2.255	n/a
Density	KG/M3	n/a	n/a	530.030	506.974	n/a
Surface Tension	N/M	n/a	n/a	0.0095	0.0141	n/a
Th. Conductivity	W/M-K	n/a	n/a	0.10888	0.12262	n/a
Viscosity	CP	n/a	n/a	0.10654	0.14464	n/a

图 4 混合器 M-5001 计算结果

压力而造成喘振时,可开启出口放火炬阀。但该方法造成压缩功浪费的同时也造成了压缩气体的浪费,多发生于项目开停车操作中。为降低该现象出现的几率,开车时,应该先升速后升压,停车时,则应该先降压后降速。

3 丙烯冷剂储罐及各段吸入罐的设计

3.1 丙烯冷剂储罐的设计

压缩机出口的高温气态丙烯经冷凝器冷凝成 40℃ 液态丙烯进入丙烯冷剂储罐。因冷凝器循环水侧循环水温度由 32℃ 升至 40℃,故丙烯冷剂的冷凝温度不能低于 40℃,否则会出现温度交叉。该罐的主要作用是液封,并分离出系统中的不凝气。该罐多为卧式,入口管线应从罐底部接入,且前面冷凝器出口管线也应从底部接出,以满足液封要求,详见图

1。且为防止冷凝器出口的饱和凝液气化,丙烯冷凝器底部出口与丙烯冷剂储罐罐顶高差不应太大,故宜设计成卧式罐。该罐不要求有大的储存和缓冲能力,否则将占地太大。其通常为满液位操作,液位无需控制,但为避免气体短路,需设置低液位超持控制。

3.2 各级吸入罐的设计

对冷剂起到储存及缓冲功能的储罐一般为压缩机的最后一级吸入罐。该罐相对于其他各级吸入罐,尺寸较大,液体的停留时间较长,通常设为 10 min,因此无需设液位控制,只需设液位指示与报警。若发现罐的液位太高或太低,可人工由系统向外界排放或由外界向系统补充冷剂。该罐进口管线设置 PV 控制,压力信号来自于压缩机出口,以维持压缩机出口压力稳定,详见图 1。其他各级吸入罐

设置原则基本相同,按照气液分离罐设计,在分离气相中可能夹带的液滴的同时,也可以贮存本级饱和的丙烯冷剂,液体停留时间只需设3 min左右即可,因此罐的体积较小,需设置液位控制。由各段吸入罐液相进料管线上的调节阀进行控制。

丙烯制冷压缩机系统是一个闭路循环系统,为满足不同的冷剂用户,可提供多个温位冷剂。以山东某项目为例,丙烯压缩机制冷系统一共提供4个温位的冷剂, -40.6 、 -24.6 、 -7.2 、 4.8 ℃。对应的饱和压力分别为 0.028 、 0.156 、 0.365 、 0.569 MPa。压缩机停车时,整个系统处于平衡状态,此时会有一个平衡压力(也称滞止压力),系统的设计压力必须高于该值。因此在考虑各段吸入罐的设计压力时,不仅要考虑本段的操作压力,还应考虑系统的滞止压力。

4 压缩机驱动方式不同对系统流程的影响

为合理利用装置能源,压缩机的驱动方式也不尽相同,主要有蒸汽透平驱动、电机驱动2种方式。其中电机驱动又分为定频和变频2种。因变频驱动的压缩机各级转速可调,与透平驱动的压缩机效果相同,因此变频驱动压缩机系统流程与透平驱动压缩机系统流程大体一致。定频压缩机因各级转速不可调,因此在流程设计上需要增加级间连通管线。以四级压缩机为例,需设置4返3、3返2、2返1管线,以维持各段压力稳定。

另外对于定频压缩机,需在压缩机一段吸入管线设置1个电动阀。刚开车时,将该阀门开度控制在70%~75%,降低启动电流。当压缩机开起来后,再将开度调到100%。

5 丙烯制冷压缩机的开停车步骤

5.1 开车步骤

(1) 实气置换

先将气相丙烯从压缩机四段吸入罐注入系统内,充压到系统压力为 0.3 MPa,再泄压至火炬系统,这样充压、泄压3次将氮气完全置换掉。

(2) 引实物料

置换完毕并且整个系统用丙烯充压到合适压力($0.5 \sim 0.6$ MPa)后,缓慢地将液相丙烯冷剂注入四段吸入罐,并且在二段、三段和四段吸入罐内建立液位。液相丙烯的注入速度一定要适当,以防止设备过冷。

(3) 启动压缩机前的确认

润滑油、密封气、缓冲气、丙烯冷凝器的冷却水、电机和润滑油、冷却器所需的冷却水准备就绪。压缩机供应商到现场调试压缩机轴承间隙、位移和对中找正等。了解压缩机调试和开车细节。

(4) 启动压缩机

根据厂家提供的启机说明启动压缩机后,根据实际情况调整最小回流阀和激冷阀。通过调节激冷阀使最小回流的温度高于吸入罐 $5 \sim 10$ ℃,注意最小回流不能过度激冷,以防止吸入罐内液位升高。当系统稳定后,冷剂引到各用户,用液相丙烯将各段间吸入罐充至正常液位。界外引入丙烯补充至所需的液体储量。

5.2 停车步骤

丙烯制冷系统是正常停车步骤中最后一个环节。当停止进料和停产品气压缩机后停丙烯制冷系统。停压缩机后,整个系统将会平衡在滞止压力上,通过压力控制阀泄放多余的物料。在整个过程中润滑油系统始终运转,干气密封系统不能关闭,直到机组降到常温、盘车结束、压缩机系统置换合格并维持微正压,详见压缩机厂家的操作指导。

6 结论

(1) 丙烯制冷压缩机系统是MTO装置烯烃分离单元的重要组成部分。作为该系统的关键设备的丙烯制冷压缩机的防喘振控制更是重中之重,在保证大机组的安稳运行方面起着极其重大的作用。因此在实际生产过程中,应结合生产实践,分析喘振产生的原因,采取有效的防喘振控制措施,提高压缩机的抗喘振性能及运行的可靠性。

(2) 在满足设计要求的情况下尽可能优化设备和管线的尺寸及布置,以便最大程度地节约投资。

(3) 丙烯制冷压缩机的开停车过程需严格按照压缩机厂家的开停车步骤完成,保证压缩机顺利开停车,减少能耗。

(4) 整个丙烯制冷系统各级用户的设置可优化,以实现能量的最大化利用。

参考文献

- [1] 陈滨. 乙烯工学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997: 209.
- [2] 吴德荣, 王江义, 华峰, 等. 化工工艺设计手册(上册)[M]. 4版. 北京: 化学工业出版社, 2009: 987. ■