

空分设备“冷态”开车的操作方法

张生鹏 张文斌 郭书江 秦小改

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要:空分设备冷态启动过程,易出现冷量调整不均导致板式换热器热端温度偏低,甚至触发联锁跳车,造成冷态开车时间过长,延迟产品外供;更有低温介质造成管道冷脆的风险。

经风险辨识,结合实际经验,分析空分设备冷态开车注意事项及操作要点。

关键词:板式换热器;膨胀机;碳钢管;热端温度;精馏塔

内蒙古伊泰16万t/a煤制油项目配套空分设备采用液空全低压低温精馏技术,设计氧气产量52000Nm³/h,氮气20000Nm³/h。空分设备冷态开车是在系统短时间停车后,为了尽快恢复生产,保留塔内低温液体或塔内接近液化温度下的开车。冷态开车既要避免污氮气、低压氮气等碳钢管道因热端温差过大、冷流体温度过低造成低温脆裂,又要防止塔内介质因热负荷过大、液体急剧气化发生超压事故。

所以,冷态开车的难点在于开车初期冷量平衡的调节和系统内压力的控制。

1 流程简述

空气经进口空气过滤器F01除尘过滤后,在空压机经四级压缩三级冷却后通过一台止逆阀后进入空冷塔E07进行双级冷却,空压机出口设有防喘振阀FV7048;在空冷塔中由冷冻水、冷却水与压缩空气直接换热后,温度由83℃降低至14℃以下,在纯化器(R01/R02)除去水份、CO₂及部分碳氢化合物,一股经程控阀门HV1296A、HV1296B、止逆阀CVAG033B进入低压板式换热器E01-LP,与从上塔K02顶部出来的污氮和下塔K01顶部抽出的低压氮气换热进入下塔参与精馏,在进下塔前设有一台由下塔压力PT1602参与控制的程控阀HV1602,防止下塔K01超压;纯化器出口的另一股低压空气送入增压机C05,设有防喘振阀FV7248及紧急放空阀PV7249。

增压机提压后的压缩空气一路经高压板式换热器E01-HP进入膨胀机ET01膨胀做功后与低压板式来的低压空气汇合后送入下塔K01;一路送入膨胀增压机ET01C提高压力进入高压板式换热器E01-HP复热高压氧气和污氮,经FV1532高压节流通气液分离器V03进入下塔参与精馏,气液分离器V03设有一台安全阀PSV1532,防止下塔超压,从气液分离器抽出一部分由FV1556送入上塔K02参与精馏,调节该阀以保持两个塔的回流比。

在下塔K01中,空气被初步分离,在塔顶部获得高纯

氮,一部分作为下塔(K01)回流液,一部分从下塔K01顶部抽出的低压氮气(0.42MPa)经低压板式换热器E01-LP复热后送入氮气管网。

下塔K01的污液氮回流液、富氧液空在过冷器(E03)中过冷后,分别经FV1558、LV1601节流送入下塔K02参与精馏。

从主冷E02的底部抽出液氧,经高压液氧泵P03A/B增压至6.4Mpa后进入高压板式换热器E01-HP复热接近空气温度后送入氧气管网。在上塔K02顶部抽出的污氮气经过冷器E03与下塔液体过冷后,一部分经低压板式换热器E01-LP复热后由PV1626A调节上塔压力后,送入氨水塔E60降低循环水温度后放空;一部分经高压板式换热器E01-HP复热后用作分子筛再生气,高、低板式换热器污氮气压力、热端温度通过PV1213、PV1626A调节,上塔K02顶部设有一台放空阀PV1628。

2 冷态开车板式换热器热端温度低原因分析

2.1 开车导气操作不当造成下塔超压

冷态开车初期,精馏塔下塔、主冷凝蒸发器存在低温液体,也存在排放不及时液位偏高的弊端。这样,打开下塔充压阀,易造成低温介质反流。向下塔充压导气过程,精馏塔内下流液较多,上升气不足,此时压力期初降低,随着进塔空气量加大逐步达到初步精馏工况,在此过程,导气过快,下塔气温介质汽化量增大,易造成下塔超压,进塔正流空气量降低,导致热端返流介质温度偏低,同时冷态开车期间,返流控制阀调节过快、滞后均会造成冷量偏流,导致板式换热器热端温度过低^[1]。

有些空分流程中,分子筛纯化器出口至低压板式换热器进口不设置止逆阀,冷态开车时,若操作人员思路不清、操作不全面。如:为维持膨胀机机前温度、热端温度会开大高压节流阀,如若此时下塔压力过高,加之分子筛出口去向增压机的气量会增大,倘若此时空压机出口压力突然降低,由于下塔超压下塔低温介质会沿正

流空气通道反流，造成冷箱外空气管道冷脆事故。

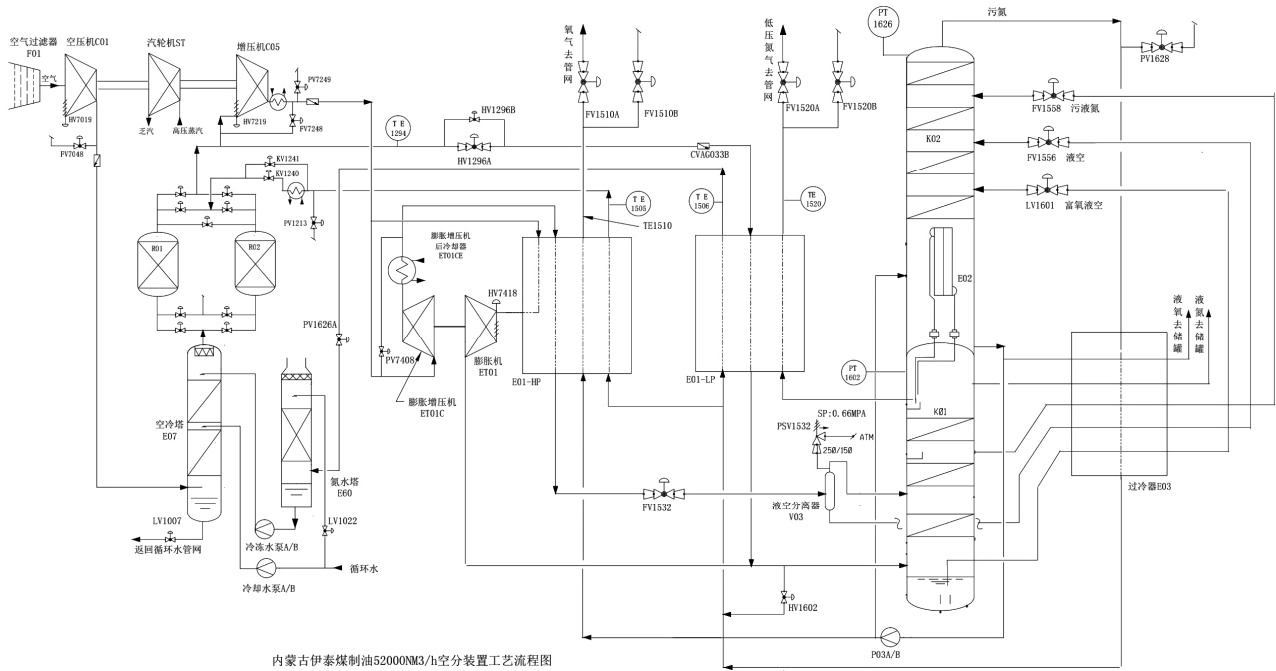


图1 内蒙古伊泰煤制油52000nm³/h空分装置流程图

2.2 冷态开车纯化器程序投运不当

本套空分纯化器程序在停车后默认为“当前状态”，开车时仍从“当前状态”步进，而分子筛纯化器再生气由高压板式换热器复热后的污氮气通过“加热”阀门KV1240和“冷吹”阀门KV1241供给，通过PV1213调整流量。在冷态开车后，倘若在“加热”或“冷吹”步骤，点击KV1240或KV1241电磁阀得电按钮，该阀门自动打开调整再生气量，致使高压板式换热器通道污氮较多，导致高、低压板式换热器通道返流介质分配不均，导致热端温度过低^[2]。

综上所述，空分设备冷态开车由于操作不当，向导气过快，加快精馏塔内低温介质汽化，进塔空气量不足，易造成返流介质热端温度偏低；纯化器程序投运不当易造成返流污氮分配不均，造成膨胀机入口温度TE7416偏低、高压板式热端温度TE1505偏低，甚至触发联锁机组卸载，延长冷态启动时间，严重时，低温介质易导致碳钢管道冷脆断裂的事故。

3 冷态开车方法探讨

结合本套空分设备特点，对“冷态”开车的相关经验及步骤做如下描述：

首先需要确认精馏塔系统所有控制阀电磁阀得电，以免开车过程遗忘，导致阀门执行器无法工作。如：PV1213、PV1626、FV1532、FV1556、FV1558、LV1601；确认下塔压力调节阀HV1602压力设定0.5MPa，

投自动位；上塔放空阀PV1628压力设定50KPa，投自动位；同时确认膨胀机出口阀全开，油冷器、膨胀增压机后冷却上回水阀全开，防止开车温度高触发联锁；增压机C05向膨胀机充压要缓慢，使用旁路阀（DN50）均压后方能全开大阀，防止充压过快膨胀机旋转。

为保证开车期间，对各指标兼顾到位、操作人员在开车时互不影响调整，“冷态”开车时要求有三人参与、分工明确，监控操作不同的DCS画面。操作工A充压、启动冷箱；操作工B主要启动膨胀机、调节机前温度；操作工C主要监控精馏塔上、下塔压力和液位、调节压力^[3]。

由操作工A通过HV1296B向下塔导气、均压初期，要控制开阀速率，充压时间在5-6分钟为宜，开阀速率过快易拉低空压机出口压力，开阀过快下塔易超压；在此过程要检查空压机出口压力PT7047大于0.45Mpa，放空阀FV7048在自动位；待压差PDT1296小于65Kpa后，操作工B快速启动膨胀机组ET01，快速打开导叶阀HV7418至45~50%，在3分钟内让膨胀机转速大于20000rpm，否则膨胀机触发跳车联锁，同时打开高压节流阀FV1532至40%~45%左右加大制冷量，根据膨胀增压机出口压力通过手操器缓慢关小防喘振阀PDCV7408，直至防喘振阀PDCV7408由增压端出口压力调节后，将控制器PIC7424投自动位。

在启动膨胀机的同时，操作工C要快速开大下塔K01

到上塔K02富氧液空液位调节阀LV1601至65~70%、液空节流阀FV1556至70~75%、污液氮节流阀FV1558至75~80%，下塔K01压力PT1602达到0.48mpa，适当打开FV1520B泄压，要注意TE1520A/B温度不能过低；观察上塔K02压力PT1626，将上塔泄压阀PV1628全开泄压，若PT1626达到75KPa，适当打开PV1626，但是要注意低压板式热端温度TE1506不能过低^[4]。

在此期间，操作工要检查其它系统压力、液位等指标稳定。

膨胀机启动后，由操作工A点击冷箱启动按钮HSH1295，冷箱系统联锁投运，缓慢全开低压空气进低压板式换热器E01-LP大阀HV1296A，并关闭充压阀HV1296B。

进低压板式换热器空气阀HV1296A全开、膨胀机启动后，精馏塔内精馏工况基本形成，需要通过高、低压板式换热器污氮调节阀PV1213和PV1626A调整进、出塔物料平衡、热端温度；上塔压力稳定在45KPa左右后，可将PV1626A投自动，上塔放空阀PV1628设定50KPa，投自动。

随着精馏工况的形成，下塔K01富氧液空液位LT1601逐步接近25%，待阀门输出在50%左右后可将LV1601投自动，主冷液位LT1660过高适当排液、置换塔内有害物质；依据下塔氮气纯度、上塔污氮中氧含量适当关小FV1558至65%，调整液空节流阀FV1556至60%左右；待下塔氮气纯度小于10PPm且与现场手动分析一致后，可以向后系统外送低压氮气。

主冷液位达到全浸100%液位、氧气纯度达到96.2%以上后，可以预冷两台液氧泵，同时检查机组、预冷等系统工况稳定无异常波动。待液氧泵满足启动条件后，启动液氧泵、取氧外送^[5]。

点击HSH1282按钮启动分子筛程序，此时程序在“手动”状态，只依据程序设定工作，不会步进下一阶段；若分子筛在加热、冷吹阶段，需要先将加热阀KV1240或冷吹阀KV1241手动关闭至0%，再将KV1240、

KV1241电磁阀得电，手动缓慢打开KV1240或KV1241直至达到相应的再生气流量，同时要观察PT1213压力稳定，若再生气压力下降快，说明开阀速率快，易导致膨胀机入口温度偏低，甚至触发联锁。待再生气量压力、流量稳定后，点击HSH1281A，将分子筛投到自动运行。还要注意：倘若停车时，分子筛程序在“加热”状态，开车后要延长加热时间有利于脱附上周期未被彻底解析的水和CO₂；同时要关注蒸汽加热器蒸汽温度、压力及积液罐液位，防止再生不合格；若再生中压蒸汽中断需要重新预热加热器，防止蒸汽阀门开度过快、过大造成蒸汽加热管件因受热应力不均发生泄漏造成分子筛带水。

结语

空分设备冷态开车时间紧、调整难度大，需要思路清晰、操作人员调整手法准确、精细。采用上述方法，既能有效管控开车步骤，保证一次性开车成功，减少工况波动，缩短开车时间，又能避免低温精馏塔超压、低温介质反流等造成的管道冷脆事故。要定期对各类阀门密封性进行检查、维护，利用检修停车机会对联锁逻辑进行静态试验，设备安全附件严格按照国家规范标准定期校验保障完好性。同时积极开展各项培训，提高岗位操作技能，认真履行设备厂家、工艺包设计商提供的技术要求、运行参数，才能有效设备保障长周期、安全运行。

参考文献

- [1]陈宗毅.变矩器换热器建模与数值仿真技术研究[D].2015
- [2]刘鸿德.透平膨胀机的关键控制技术研究[D].2017
- [3]赵琛,王一帆,李思颖,等.中国未来核电发展趋势与关键技术[J].能源与节能.2020,(11)
- [4]杨振宁.乙烯精馏塔的配管设计[J].乙烯工业.2017,(3).23-29
- [5]王立保.高频脉冲管制冷机几何参数及关键结构的理论与实验研究[D].2012.