

# 大空分冷态开车的危险性及对策

席文洪 杨善春

(齐鲁石化公司第二化肥厂, 山东淄博, 255400)

日立 14000 m<sup>3</sup>/h 空分采用可逆式换热器, 氮气膨胀流程。按日立公司原操作规程, 空分停车超过 2h 以上, 就必须对可逆式换热器及膨胀机进行全面升温加热, 特别是超过 36h 后, 必须对全系统进行升温加热干燥。这样, 如果再恢复开车, 前者至少需要 10h, 后者至少需要 96h。为此, 提出液氮保冷开车法, 通过几次实施液氮保冷开车法后, 既能确保设备安全, 又能缩短开车时间, 降低能耗。

## 1 液氮保冷特点及可行性分析

### 1.1 特点

液氮经液氮取出管线返流到空分塔下塔上部, 同时 0.5MPa 氮气经过可逆式换热器(从热端到冷端)进入下塔, 使之与液氮混合气化后, 经过馏分氮流量调节阀返到上塔, 液体由 LRG-1002 经液空吸附器进入上塔, 控制主冷液位在 70% 以上, 上塔中低温气体, 经可逆式换热器通过 4 个污氮切换阀定期排空。因此, 达到了冷却上、下塔, 过冷器, 液化器的目的, 同时建立可逆式换热器自清除工况(其中包括冷却和清除两方面)。

### 1.2 可行性分析

(1) 在 -173℃ 温度, 压力为 0.5MPa 下气、液氮焓值分别为 8.08 kJ/mol、3.85 kJ/mol, 两者的焓差为 4.23 kJ/mol。因此液氮在气化过程中, 将会放出大量的冷量, 并且气氮吸收其冷量使之温度降低, 温度达 -173℃。

(2) 在 0.58MPa 压力下, 空气液化温度为 -172℃, 因此利用液氮可将下塔温度冷却到 -172℃ 以下(液氮气化时温度达 -196℃), 所以空压机开车空分引气后, 进入下塔时变为液体, 上、下塔能够较快地建立起精馏工况。

(3) 从上塔出来的气化氮温度比液氮温度低, 达到 -175~ -180℃ 通过过冷器、液化器、板式换

热器后, 将使它们温度进一步降低。

(4) 液氮保冷安全可靠。①空分停车后, 由于塔内液体不断蒸发, 系统处于正压状态, 温度一般在 -170℃ 左右, 与返入液氮温度相差无几, 因此不会对有关设备产生应力破坏。②空分长时间停车后, 随着上、下塔液体的不断蒸发, 空分系统的设备及管道内氧含量不断升高, 且停车时间越长, 氧含量越高, 见图 1 所示。一般在 50%~98%, 自然保冷危险性较大。通过液氮保冷, 可以大大降低其氧含量, 确保设备安全。③由于空分装置处于工装置集中地区, 尤其是夏季, 炼厂等排放废物会通过空压机进入空分装置。因此, 乙炔及烃类含量比较高, 乙炔一般含量在 0.2 μg/g, 烃类含量在 70 μg/g。由于乙炔及烃类在液氧中溶解度很小, 而且随液氧蒸发逸出, 很容易浓缩析出。当主冷液位由 100% 下降到 25% 时, 易爆物含量将浓缩升高到原来的 4 倍, 下降到 10% 时, 易爆物浓缩升高到原来的 10 倍。按日立公司规定烃类不允许超过 175 μg/g, 乙炔不允许超过 1.08 μg/g。

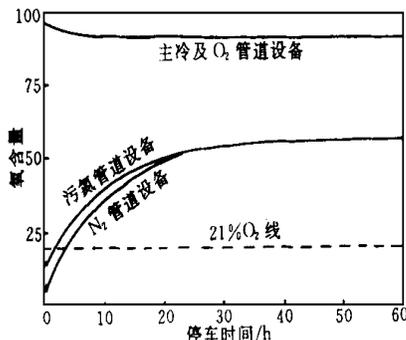


图 1 停车后空分设备及管路 O<sub>2</sub> 含量变化曲线

另外, 乙炔及烃类化合物在液氧中受到冲击摩擦后能够发生爆炸, 见图 2, 冲击高度与爆炸概率的关系可以看出, 乙炔冲击高度最低, 最易发生

收稿日期: 1998-08-12。

爆炸。所以,采用液氮保冷开车,一方面能够保持主冷液位在70%以上,不至于乙炔、烃类浓缩析出量增加。另一方面,通过污氮切换放空可将部分溶解的乙炔、烃类排出设备。同时又由于乙炔在液氧中溶解度比液氮中小。因此,液氮保冷,不利于乙炔析出,大大降低乙炔、烃类浓缩析出的危险,确保设备安全。

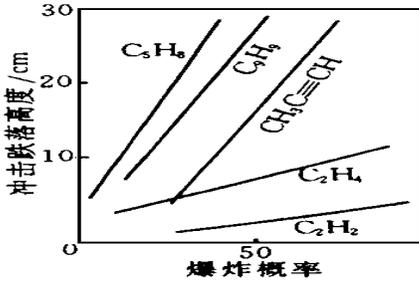


图2 冲击跌落高度与爆炸概率关系

(5)可逆式换热器自清除工况的建立。所谓自清除包括冷却和清除两方面。就是把冻结在可逆式换热器空气中的水分、二氧化碳在一定温度范围内,通过返流气体带出可逆式换热器,从而降低其通道阻力。由饱和蒸汽压与温度关系图可知空气进入板式换热器,温度达到 $-60^{\circ}\text{C}$ 时其饱和蒸汽压力 $1.07\text{Pa}$ ,水分已基本清除,温度在 $-130^{\circ}\text{C}$ 以下时,二氧化碳才开始析出,到 $-170^{\circ}\text{C}$ 时其饱和蒸汽压力为 $0.049\text{Pa}$ 。因此,在 $-130\sim -170^{\circ}\text{C}$ 称为二氧化碳析出区,用液氮保冷目的也在于建立可逆式换热器自清除工况。

$0.5\text{MPa}$ 氮气由可逆式换热器热端到冷端,从常温被冷却到接近冷端温度,然后进入下塔,此部分氮气温度高于返入下塔的液氮温度,焓值也大大高于液氮的焓值,二者混合后导致液氮气化,氮气温度进一步降低,低温氮气经上塔至可逆式换热器冷端,液氮气化后放出冷量,一部分传给换热器本体,使换热器本体温度由冷端至热端逐渐降低,一部分以换热方式传给了由热端至冷端的 $0.5\text{MPa}$ 氮气,同时 $0.5\text{MPa}$ 氮气又将低温氮气传给换热器热端部分冷量,带到换热器中部和冷端,这样既保证可逆式换热器冷端温度达到 $-172^{\circ}\text{C}$ ,热端达到 $20^{\circ}\text{C}$ 左右,保证了不冻结性,建立了自清除工况。

## 2 方案实施

### 2.1 自然保冷

自然保冷就是停车后,下塔液体全部送到上

塔中,让设备自然维持低温状态,其保冷的效果取决于工艺处理。①关闭可逆式换热器与外部连通的所有阀门,以防跑冷;②系统的余压由污氮切换阀进行排放,以防换热器热端过冷;③关闭中部温度调节阀、环流阀;④其余按正常长期停车工艺处理程序执行。

### 2.2 液氮保冷

长时间停车后,由于冷损造成,可逆式r换热器、过冷器、液化器及上、下塔温度都有不同程度地回升。另外,考虑到乙炔、烃类的积累以及管道内氧气量上升,因此将来自液氮罐液氮经蒸发器加热后,沿中压氮气管线经可逆式换热器(从热端到冷端),返入下塔顶部,同时 $0.5\text{MPa}$ 液氮经过液氮槽(F-104)至HIG-1017返到下塔顶部,二者混合后,经过FIG-1010节流膨胀,温度进一步降低后到上塔,下塔中液体由LRG-1002液位调节阀经液空吸附器到上塔,上塔中低温气体经液化器、过冷器,从可逆式换热器冷端到热端,通过污氮切换阀手动切换轮流放空,在可逆式换热器中低温氮气与 $0.5\text{MPa}$ 氮气进行冷量交换,使换热器冷端温度、热端温度达到自清除所需要的温度。

### 2.3 可逆式换热器温度平衡及自清除工况的建立

停车时间长之后,可逆式换热器两大组8个单元的冷、热端及中部温度出现不平衡,因此,采取以下措施:

(1)热端温度平衡主要通过入换热器各组氮气流来实现,即调节两个环流阀开度来调整,温度低可加大氮气流,反之减少氮气流。

(2)冷端温度平衡,主要通过增加或减少通过可逆式换热器低温氮气流来调节。温度高的一组可增加污氮阀切换排放次数,反之,可减少污氮阀切换的次数。

(3)中部温度平衡,主要用8个中部温度调节阀,通过增加或减少进入8个单元的低温氮气流来实现。这时,中部温度可控制低一些,在 $-110\sim -120^{\circ}\text{C}$ ,这样可使二氧化碳冻结面积增大。

上述3方面相互制约,因此应对整个换热器进行全面温度平衡,直到热端温度 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、中部温差小于 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ,冷端温度达 $-175\sim -176^{\circ}\text{C}$ 。

### 3 冷态开车

空分可逆可式换热器工况建立后,按正常生产工艺流程开车。其主要控制点是:空压机开车→空分引气→膨胀机开车,抽环流→切换时间调整→中部温度调整→按正常程序调整产品纯度。

### 3.1 有关阀门开度及相关工艺参数的控制

a. 空分引气开车之前: ①8 个中部温度及 2 个环流温度调节阀恢复到正常运行时的开度; ②下塔液空液位调节阀开度为 20%, 去上塔馏分氮流量调节阀开度为 25%; ③膨胀机出口氮气流量调节阀开度为 25%; ④氧气、低压氮放空阀全关, 空气、污氮切换阀全关, 其余手动阀门都处于正常运行时的位置。

b. 空分开车时: ①各中部温度及两组可逆式换热器温度根据其变化, 按工艺要求进行相应调整; ②下塔液空液位控制在 50%; ③膨胀机的膨胀量不低于 18000 m<sup>3</sup>/h。去上塔馏分氮量控制在 12000 m<sup>3</sup>/h; ④根据可逆式换热器的冷端、热端温差(3~ 5℃)、中部温差(小于 10℃), 以及氧气、氮气的纯度, 变化调整氧气和氮气的放空阀开度; ⑤其它相关的工艺参数调整以及开车步骤, 按正常开车规程进行操作, 直到产品纯度合格。

### 3.2 开车过程两个重要控制点的操作

a. 空分引气开膨胀机抽环流时间尽量缩短, 其目的就是快速通过二氧化碳析出区。见图 3。对清除水分而言有无环流均可, 因为水分在 - 60℃以上已经清除。对清除二氧化碳而言, 在 - 115℃以下温度如果不抽环流, 换热器实际温差将超过二氧化碳自清除允许最大温差, 在无环流情况下, 冷端温差最高达 11℃(H 点), 而保证自清除的许可最大温差只有 3.5℃(G 点), 根本无法保证二氧化碳的清除。因此, 必须及时启动膨胀机, 抽环流, 建立自清除工况, 防止二氧化碳带入下塔悬浮液空中, 造成液空吸附器堵塞, 影响开车进度。

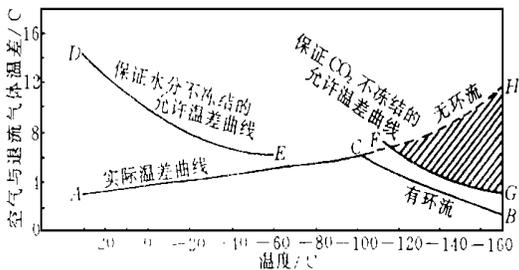


图 3 可逆式换热器实际温差曲线

切换时间实质是将可逆式换热器的温度工况变化减小, 近似于稳定状态(见图 4 切换时间与冷端温差的关系), I 和 I' 是冷端自清除温差线, 它随切换时间延长而增大, 线 II 是冷端允许温差线, 线 III 和 III' 是冷端操作温差线。从图中可以看出, 缩短切换时间, 以便缩小冷端自清除温差与冷端操作温差的差值, 以利于达到自清除目的。

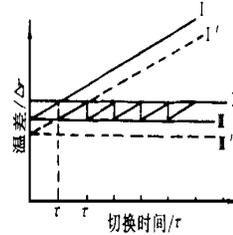


图 4 切换时间与冷端温差的关系

另外, 返流空气将水分和二氧化碳冻结在通道内, 会使其热阻增加, 影响传热效果, 造成温差增大。缩短切换时间, 切换次数增加, 正流空气析出水分和二氧化碳量减少, 相应减少了热阻, 增加传热效果, 因此缩短切换时间是保证启动初期杂质自清除的有效措施。

当然, 随着冷端操作温差的缩小, 保证自清除时间可以逐渐延长到正常要求的切换时间。

## 4 实施效果

空分停车后采用液氮保冷开车, 建立起自清除工况, 冷却了上、下塔及有关设备。这样在空压机开车后, 空分可立即引气开车, 节省了解冻加热再开车的时间。1995 年至今, 空分停车保冷共 4 次, 最长保冷时间达 40h, 一般在 10~ 20h, 按日立公司规定, 开车需全部解冻加热或局部加热。表 1 列出每次停车后开车的时间对比。

表 1 开、停车时间的对比

停车日期	停车时间 h	保冷开车 用时/min	原开车用时 h	缩短开车 时间/h
1995-07-13	15.8	45	> 10	约 10
1995-07-16	41	65	> 4d	约 95
1996-08-07	13.5	40	> 10	约 10
1997-06-07	16	50	> 10	约 10

从表 1 看出 4 次停车, 共缩短开车 126h, 单锅炉节省渣油 1512t, 价值约 150 万元, 加上水、电消耗等费用, 甲醇、丁醇装置停车损失, 则总的损失是巨大的。因此, 采用液氮保冷开车, 既能保证设备安全, 缩短开车时间, 又能降低能耗。