

目 录

1. 概述	第 3 页
1.1 主要指标	第 3 页
1.2 基本原理和过程	第 4 页
1.3 工艺流程概述	第 8 页
2. 部机	第 10 页
2.1 过滤器	第 10 页
2.2 冷却塔	第 10 页
2.3 纯化器	第 10 页
2.4 热交换器	第 10 页
2.5 精馏塔	第 11 页
2.6 透平膨胀机	第 11 页
2.7 汽液分离器	第 11 页
2.8 消声器	第 11 页
2.9 加热器	第 11 页
2.10 离心式液体泵	第 11 页
2.11 柱塞式液体泵	第 11 页
2.12 水泵	第 11 页
2.13 阀门	第 11 页

拟 制			审 核			打 印		
校 对			批 准			提出单位	杭氧股分设计院	

3. 空分设备的启动	第 15 页
3.1 起动应具备的条件	第 15 页
3.2 起动准备	第 15 页
3.3 冷却阶段	第 15 页
3.4 积液和调整阶段	第 33 页
3.5 装置安全操作措施	第 42 页
4. 装置的管理	第 47 页
4.1 正常操作	第 47 页
4.2 维护	第 48 页
4.3 故障及其排除	第 52 页
5. 停车和加温	第 53 页
5.1 停车和重新启动	第 53 页
5.2 分馏塔全面加温	第 57 页
6. 安全规程	第 62 页
6.1 空气及空气组份的一般特性	第 62 页
6.2 安全注意事项	第 62 页
6.3 安全措施	第 64 页
6.4 绝热材料的使用	第 64 页

1. 概述

1.1 主要指标

主要指标	单位	第一工况 (设计工况)	第二工况	第三工况
原料空压机排气量	Nm ³ /h	147000	147000	147000
出口压力	MPa(A)	0.615	0.615	0.615
增压空压机排气量	Nm ³ /h	86000(一级)	83600(一级)	82700(一级)
	Nm ³ /h	35500(二级)	39500(二级)	38300(二级)
出口压力	MPa(A)	2.16(一级)	2.16(一级)	2.16(一级)
		5.77(二级)	5.77(二级)	5.77(二级)
氧气产量	Nm ³ /h	27000	29000	28000
压力(出冷箱)	MPa(G)	3.0	3.0	3.0
纯度	%O ₂	99.6	99.6	99.6
液氧产量	Nm ³ /h	2300	300	1300
纯度	%O ₂	99.6	99.6	99.6
氮气产量	Nm ³ /h	28000	28000	28000
纯度	ppmO ₂	≤5	≤5	≤5
压力(出冷箱)	KPa(G)	~10	~10	~10
压力氮气产量	Nm ³ /h	1000	1000	1000
纯度	ppmO ₂	≤5	≤5	≤5
压力(出冷箱)	MPa(G)	~0.45	~0.45	~0.45
液氮产量	Nm ³ /h	800	1800	1800
纯度	ppmO ₂	≤5	≤5	≤5
气氩产量	Nm ³ /h	580	/	1100
纯度	%Ar	99.999	/	99.999
	PPmO ₂	≤2	/	≤2
	PPmN ₂	≤3	/	≤3
压力(出冷箱)	MPa(G)	3.0	/	3.0
液氩产量	Nm ³ /h	600	1100	/
纯度	%Ar	99.999	99.999	/
	PPmO ₂	≤2	≤2	/
	PPmN ₂	≤3	≤3	/
压力(出冷箱)	MPa(G)	~0.1	~0.1	/
仪表空气	Nm ³ /h	400	400	400

1.2 基本原理和过程

空气分离的基本原理，是利用液化空气中各组份沸点的不同而将各组份分离开来。要达到这个目的，空分装置的工作包括下列过程：

- (1) 空气的过滤和压缩
- (2) 空气中水份和二氧化碳的清除
- (3) 空气被冷却到液化温度
- (4) 冷量的制取
- (5) 液化
- (6) 精馏
- (7) 危险杂质的排除

1.2.1 空气的过滤和压缩：

大气中的空气先经过空气过滤器过滤灰尘等机械杂质，然后在空气透平压缩机中被压缩到所需的压力，压缩产生的热量被冷却水带走。

1.2.2 空气中水份和二氧化碳的清除：

加工空气中的水份和二氧化碳若进入空分设备的低温区后，会形成冰和干冰，就会阻塞换热器的通道和塔板上的小孔。因而配用分子筛吸附器来预先清除空气中的水份和二氧化碳，进入分子筛吸附器的空气温度约为 $\sim 17^{\circ}\text{C}$ 。分子筛吸附器成对切换使用，一只工作时另一只再生。

1.2.3 空气被冷却到液化温度：

空气的冷却是在主换热器中进行的，在其中空气被来自精馏塔的返流气体冷却到接近液化温度。与此同时，冷的返流气体被复热。

1.2.4 冷量的制取：

由于绝热损失、换热器的复热不足损失和冷箱中向外直接排放低温流体，分馏塔所需的冷量是由空气在膨胀机等熵膨胀和等温节流效应而获得的。

1.2.5 液化

在起动阶段，加工空气在主换热器和过冷器中与返流冷气流换热而被部分液化，在正常运行中，氮气和液氧的热交换是在冷凝蒸发器中进行的，由于两种流体压力的不同，氮气被液化而液氧被蒸发，氮气和液氧分别由下塔和上塔供给，

这是保证上、下塔精馏过程的进行所必需具备的条件。(注:起动时,大部分气体也是在主冷中被冷却至液化温度而被液化的)。

1.2.6 精馏

空气中主要组份的物理特性如下表 1.1 和表 1.2

表 1.1

名 称	化学符号	体积百分比	重量百分比
氮	N ₂	78.09	75.5
氧	O ₂	20.95	23.1
氩	Ar	0.932	1.29
二氧化碳	CO ₂	0.03	0.05
氦	He	0.00052	0.00006
氖	Ne	0.0018	0.0011
氪	Kr	0.000114	0.00032
氙	Xe	0.0000086	0.00004

表 1.2

名称	化学符号	气化温度℃	熔化温度℃	比 重		临 界 点	
				Kg/m ³	Kg/l	℃	10 ⁻¹ Mpa (G)
氮	N ₂	-195.8	-209.86	1.25	0.81	-147	34.5
氧	O ₂	-183	-218.4	1.43	1.14	-119	51.3
氩	Ar	-185.7	-189.2	1.782	1.4	-122	49.59
氦	He	-268.9	-272.55	0.18	0.125	-267.7	2.335
氖	Ne	-246.1	-248.6	0.748	1.204	-228.7	28.13
氪	Kr	-153.2	-157.2	1.735	2.155	-63.7	56
氙	Xe	-108.0	-111.8	1.664	3.52	+16.6	60.1

空气中 99.04%是氧气和氮气, 0.932%是氩气, 它们基本不变。氢、二氧化碳和碳氢化合物视地区和环境在一定范围内变化。空气中的水蒸汽含量随着饱和温度和地理环境条件影响而变化较大。水蒸汽和二氧化碳具有和空气大不相同的性质,

在大气压力下,水蒸汽达到 0°C 和二氧化碳达到 -79°C 时,就分别变成冰和干冰,就会阻塞板式换热器的通道和筛板上的小孔。因此这些组份必须在空气进冷箱前除去。空气中的危险杂质是碳氢化合物,特别是乙炔。在精馏过程中如乙炔在液空和液氧中浓缩到一定程度就有发生爆炸的可能,因此乙炔在液氧中含量规定不得超过 0.1PPm ,这必须予以充分的注意。稀有气体中的不凝性气体如氖氦气,由于其冷凝温度很低,总以气态集聚在冷凝蒸发器中,侵占了换热面积而影响换热效果,因此也要经常排放。

分离过程可获得相当产量的高纯度产品。空气的精馏是在氧—氮混合物的气相与液相接触之间的热质交换过程中进行的,气体自下而上流动,而液体自上而下流动,该过程由筛板(填料)来完成。由于在氧—氮混合物中,氮比氧易蒸发,氧比氮易冷凝,气体逐(段)板通过时,氮浓度不断增加,只要有足够多的塔板(填料),在塔顶即可获得高纯的氮气,反之液体逐板(段)通过时,氧浓度不断增加,在下塔底部可获得富氧液空,在上塔底部可获得高纯度氧气。

上升气体和下流液体在塔板(填料)上的热质交换过程可从图 1.1 中理解:液体沿塔板(填料)逐渐向下流,蒸汽自下而上沿塔板(填料)上升,互不平衡的蒸汽和液体接触,液体处于点 2 状态,蒸汽处于点 1 状态,二者温差 δt 。蒸汽与液体在塔板(填料)上混合,发生热交换,液体受热蒸发,较多的氮组份逸至蒸汽中,其内氧组份增加,液体温度上升,状态由点 2 变至 2',蒸汽冷凝,较多的氧组份冷凝至液体中,蒸汽中氮组份增加,蒸汽温度下降,状态由点 1 变至点 1'。当蒸汽与液体温度相等时,蒸汽和液体处于平衡状态(点 2' 和点 1'),如此下去,蒸汽经过层层塔板(填料)愈往上氮的浓度愈高,液体愈往下氧的浓度愈高,最后可得到纯度较高的液氧和氮气。

在下塔中空气被初次分离成富氧液空和氮气,液空由下塔底部抽出后经节流送入和液空组份相近的上塔某段上,一部分液氮由下塔顶部抽出后经节流送入上塔顶部,液空、液氮和污液氮在节流前一般先在过冷器中过冷。空气的最终分离是在上塔进行。从上塔底部抽出液氧经液氧泵加压送入主换热器汽化后送出,而氮气由上塔顶部抽出经主换热器复热到常温后送出。

低温全精馏制氩(无氢制氩)的所有设备均置于空分设备的保冷箱内,粗氩塔 I、粗氩塔 II(因粗氩塔太高故分成两段)、纯氩塔均为填料塔。在粗氩塔 I 内,气态氩馏份沿填料盘上升,由于氧的沸点比氩高,故高沸点组分氧被大量地洗涤

下来，形成回流液返回上塔。粗氩塔 II 底部粗液氩返回粗氩塔 I 上部作回流液。因此上升气体中的低沸点组份(氩)含量不断提高，最后在粗氩塔 II 顶部得到含氧 $\leq 2\text{PPM}$, 含氩 98~99%的粗氩气，粗氩气在粗氩冷凝器中被液空冷凝成粗液氩。

由于氮的沸点(-195.78℃)与氩的沸点(-185.7℃)相差较大，因此含氮量约为 1~1.5%的粗液氩在纯氩塔中得到进一步分离，最后在纯氩塔蒸发器底部得到 99.9995%Ar 以上的纯氩产品。

1.2.7 危险杂质的排放:

空气中的危险杂质是碳氢化合物，特别是乙炔。在精馏过程中如乙炔在液空和液氧中浓缩到一定程度就有发生爆炸的可能，因此乙炔在液氧中含量规定不得超过 0.1PPm，这必须引起充分的注意。

在冷凝蒸发器中，由于液氧的不断蒸发，将会有使碳氢化合物浓缩的危险，但是只要从冷凝蒸发器中连续排放部分液氧就可防止浓缩。而当在冷凝蒸发器中提取液氧时，就可不用再另外排放液氧来防止碳氢化合物浓缩。

1.3 工艺流程概述:

1.3.1 氧气和氮气的生产(参照工艺流程图 1.3)

原料空气自吸入口吸入，经自洁式空气过滤器除去灰尘及其它机械杂质，空气经过滤后在离心式空压机中经压缩至 0.615MPa(A)左右。经空气冷却塔 AC1101 预冷，冷却水分段进入冷却塔内，下段为循环冷却水，上段为经水冷塔 WC1101 冷却后的水，空气自下而上穿过空气冷却塔，在冷却的同时，又得到清洗。空气经空气冷却塔冷却后，温度降至 $\sim 17^\circ\text{C}$ ，然后进入切换使用的分子筛纯化器 MS1201(或 MS1202)，空气中的二氧化碳、碳氢化合物及残留的水蒸汽被吸附。分子筛纯化器为两只切换使用，其中一只工作时，另一只再生。纯化器的切换周期约为 240 分钟，定时自动切换。

空气经净化后，由于分子筛的吸附热，温度升至 $\sim 24^\circ\text{C}$ ，然后分两路：一路空气在主换热器 E1 中与返流气体(纯氧、纯氮、污氮等)换热达到接近空气液化温度约 100.3K(-172.8℃)进入下塔 C1。另一路空气进入增压空气压缩机进行增压。这部分空气又分为二部分：相当于膨胀空气的这部分空气从增压空气压缩机 I 段抽出，经膨胀机的增压机增压后进入主换热器。增压空气在主换热器内被返流气体冷却至 149K(-124℃)时抽出，进入膨胀机 ET401 膨胀制冷，膨胀后的空气经汽液分离器 PV3 分离后气体部分进入下塔，少量液体经节流后送入粗氩冷凝器。

另一部分继续进增压空气压缩机 II 段增压，从增压空气压缩机 II 段抽出后进入主换热器，与返流的液氧和其他气体换热后冷却至 100.3K (-172.8℃)，经节流后进入下塔中部。

在下塔中，空气被初步分离成氮和富氧液体空气，顶部气氮在主冷凝器 K1 中液化，同时主冷的低压侧液氧被气化。液氮作为下塔回流液全部回流到下塔，再从下塔顶部引出一部分液氮，经过冷器 E2 被纯气氮和污气氮过冷并节流后送入上塔 C2 顶部。污液氮（含氧量为~20%O₂）经过冷器 E2 过冷后，再经节流送入上塔上部。液空在过冷器中过冷后经节流送入上塔中部作回流液。

液氧从上塔底部引出，经低温液氧泵 OP601（OP602）加压，经主换热器 E1 复热后以 3.0MPa(G) 的压力作为气体产品出冷箱。

污气氮从上塔上部引出，并在过冷器及主换热器中复热后送往分馏塔外，部分作为分子筛纯化器的再生气体，其余进入水冷塔 WC1101。纯气氮从上塔顶部引出，在过冷器及主换热器中复热后出冷箱，作为气体产品出冷箱，多余部分送往水冷却塔中作为冷源冷却外界水。产品液氧、液氮分别经 V7、V8 阀送入各自的贮槽。

1.3.2 氩气的生产(参照工艺流程图 1.2)

精液氩是采用低温全精馏法制取的。

从上塔相应部位抽出氩馏份气体约 37120m³/h(标)，含氩量为 8~10%(体积)，含氮量小于 0.017%(体积)。氩馏份直接从粗氩塔 I 的底部导入，粗氩塔 I 上部采用粗氩塔 II 底部排出的粗液氩作回流液，作为回流液的粗液氩经液氩泵 AP501(或 AP502) 加压到 0.9MPa(G) 后直接进入粗氩塔 I 上部。粗氩自粗氩塔 I 顶部排出，经粗氩塔 II 底部导入，粗氩冷凝器 K701 采用过冷后的液空作冷源，上升气体在粗氩冷凝器 K701 中液化，得到粗液氩和约 1160m³/h 的粗氩气(其组成为~99.6%Ar，≤2PPmO₂)。后者经 V705 阀导入 K704 粗气氩冷凝器进行液化，然后进入纯氩塔 C703 中，继续精馏；前者作为回流液入粗氩塔 II。冷凝器 K701 蒸发后的液空蒸汽和底部少量液空同时返回上塔。

粗液氩从纯氩塔 C703 中部进入，与此同时在纯氩塔蒸发器 K703 氮侧内利用下塔顶部来的压力氮气作为热源，促使纯氩塔底部的液氩蒸发成上升蒸汽，而氮气被冷凝成液氮从 0.5MPa 节流至 0.035MPa(G) 返回上塔。来自液氮过冷器并经节流的液氮进入纯氩冷凝器 K702 作为冷源，使纯氩塔顶部产生回流液，

以保证塔内的精馏，使氩氮分离，从而在粗氩塔底部得到纯液氩。

纯液氩经调节阀 V708 后部分排入液氩贮槽贮存，槽内蒸发的气体返回纯氩塔，产品液氩从液氩贮槽输送至槽车提供客户；部分经中压液氩泵 AP2201 (2201B) 加压，经主换热器 E1 复热后以 3.0MPa (G) 的压力作为气体产品出冷箱。

2. 部机

这里所列的是由我厂制造和配套的主要部机，对部分部机及保冷箱内的单元设备作了简要说明，其它系统、机器、设备和阀门的简要说明请参阅各自的使用说明书。

2.1 过滤器

水过滤器	4 台	WF1101	WF1102
		WF1103	WF1104
仪表空气过滤器	1 台	AF2001	
增压空气过滤器	1 台	AF402	
膨胀空气过滤器	1 台	AF401	

2.2 冷却塔

空气冷却塔	1 台	AC1101	
水冷却塔	1 台	WC1101	

2.3 纯化器

分子筛吸附器	2 台	MS1201	MS1202
--------	-----	--------	--------

2.4 热交换器

主热交换热器	4 台	E1-1	E1-2	E1-3	E1-4
液空液氮过冷器	2 台	E2-1	E2-2		
主冷凝蒸发器	1 台	K1			
粗氩冷凝器	2 台	K701	K704		
纯氩冷凝器	1 台	K702			
纯氩蒸发器	1 台	K703			
空气热交换器	1 台	E751			
空气喷射器	1 台	SE301			
增压空气冷却器	1 台	WE401			

2.5 精馏塔

下塔	1台	C1
上塔	1台	C2
粗氦塔 I	1台	C701
粗氦塔 II	1台	C702
纯氦塔	1台	C703

2.6 增压透平膨胀机 1台 ET401

2.7 汽液分离器 1台 PV3

2.8 消声器

放空消声器(污 N ₂)	1台	SL1201
氧气放空消声器	1台	SL101
氮气放空消声器	1台	SL102

2.9 加热器

电加热器	3台	EH1201 EH1202 EH1203
------	----	----------------------

2.10 离心泵

离心式液氧泵	2台	OP601 OP602
离心式液氦泵	2台	AP501 AP502

2.11 柱塞式液氦泵 2台 AP2201A AP2201B

2.12 水泵

200D43×2 水泵	2台	WP1101 WP1102
125D25×5 水泵	2台	WP1103 WP1104

2.123 阀门 1套

空气冷却塔

符号: AC1101

工厂代号: KLT14A. 10000

作用: 把出空压机的高温气体($\leq 100^{\circ}\text{C}$)冷却到 $\sim 17^{\circ}\text{C}$, 以改善分子筛纯化器的工作情况。

结构: 立式圆筒型塔, 分上下二部份, 上段、下段均为填料塔。塔内设有旋

风分离器、不锈钢丝网捕雾器。

使用方式：出空压机的空气从下部进入空冷塔，水通过布水器均匀地喷淋在填料上，顺填料空隙流下，空气则逆水流而上与水进行热质交换，经旋风分离器，不锈钢丝网捕雾器出塔，进入分子筛吸附系统。

水冷却塔：

符号：WC1101

工厂代号：KLT14A. 30000

作用：用空分塔来的污氮气和纯氮气冷却外界供水，然后由水泵送入空气冷却塔的上段。

结构：本塔为填料塔，塔顶设捕雾器和布水器，填料分两层装入塔内，在两填料层中间设有再分配器，内设支撑板，以支撑填料。

使用方法：被冷却的水自上而下流经填料，与从空分塔出来的 $\sim 33.3^{\circ}\text{C}$ 的氮气进行热质交换，使水冷却下来，在塔底被水泵抽走，氮气带走热量后从塔顶排往大气。

分子筛吸附器：

符号：MS1201, MS1202

工厂代号：KJT14A. 10000

作用：吸附空气中的水份、二氧化碳及乙炔等碳氢化合物，使进入冷箱的空气纯净。

结构：卧式圆筒体，内设支承栅架，以承托分子筛吸附剂。

使用方式：空气通过分子筛床层时，由于分子筛的吸附特性将空气中的水份，二氧化碳，乙炔等碳氢化合物吸附，净化后的空气二氧化碳含量 $< 1\text{PPm}$ ，在再生周期中，先被高温干燥气体反向再生后，再被常温干燥气体冷却到常温，分子筛吸附器成对交替使用，一只工作时，另一只再生。

主热交换器

符号：E1-1, 2, 3, 4

作用：进行多股流之间的热交换。

结构：为多层板翅式，相邻通道间物流通过翅片和隔板进行良好的换热。

使用方式：对经分子筛吸附器除去水分和二氧化碳的压缩空气进行冷却，直至达到接近液化温度，各返流气在此被加热到常温。

液空液氮过冷器

符号：E2-1, E2-2

工厂代号：B3K27A

作用：对低温液体进行过冷

结构：为多层板翅式。相邻通道间物流通过翅片和隔板进行良好的换热。

使用方式：液空、液氮和污液氮在流经过冷器时被氮气和污氮气进一步冷却，使之低于饱和温度，这样，液体在节流后可以减少气化，改善上塔的精馏工况。

冷凝蒸发器

符号：K1

工厂代号：N1K20

作用：供氮气冷凝和液氧蒸发用，以维持精馏塔精馏过程的进行。

结构：为多层板翅式，相邻通道的物流通过翅片和隔板进行良好的换热。

使用方式：冷凝蒸发器一般置于上、下塔之间，下塔上升的氮气在其间被冷凝，而上塔回流的液氧在其间被蒸发。这个过程得以进行，是因为氮气压力高，液氧压力低。例如氮气压力为 0.511MPa 时，液化温度为 94.4K，而液氧在压力为 0.1389MPa 时，蒸发温度 93.1K，两者温差 1.3K。这样，氮气的冷凝和液氧的蒸发就可进行。各类冷凝蒸发器都是按此原理进行的，只是冷凝和蒸发的介质不同而已。

下塔与上塔

符号：下塔 C1 上塔 C2

工厂代号：T1K18, T2K33

作用：利用混合气体中各组分的沸点不同，将其分离成所要求纯度的组分。

结构：塔体为圆筒形，下塔内装多层筛板，筛板上设置溢流斗，有一个溢流挡板，并密布小孔。上塔内装规整填料及液体分布器。

使用方式：下塔精馏过程中，液体自上往下逐一流过每块筛板，由于溢流堰的作用，使塔板上造成一定的液层高度。当气体由下而上穿过筛板小孔时与液体接触，产生了鼓泡，这样就增加了汽液接触面积，使热

质交换过程高效地进行。低沸点组份逐渐蒸发，高沸点的组份逐渐液化，至塔顶就获得低沸点的纯氮，在塔底获得高沸点的富氧液空组份。上塔在精馏过程中，气体穿过分布器沿填料盘上升，液体自上往下通过分布器均匀地分布在填料盘上，在填料表面上气、液充分接触进行高效的热质交换。上升气体中低沸点份(氮)含量不断提高。高沸点组份(氧)被大量的洗涤下来，形成回流液最终在塔顶得到低沸点纯氮，塔底得到高沸点的液氧。

粗氩塔

符号: C701. C702

工厂代号: T3K20 天钢、T3K21 天钢

结构: 因粗氩塔太高故分成两段，即粗氩塔 I 与粗氩塔 II。粗氩塔为圆筒形填料塔。塔内相邻两段填料之间设置分布器，以利于液体在塔内均匀分布。

使用方式: 其原理与上塔相同，顶部得到粗气氩，底部得到富氧液体，回流到上塔。

纯氩塔

符号: C703

工厂代号: T3111

结构: 圆筒形填料塔，结构与粗氩塔类似。

使用方式: 粗液氩从纯氩塔中部导入塔内，在塔内进行氩—氮二元混合物的分离，在精馏过程中，低沸点组份(氮)与高沸点组份(氩)在填料表面进行充分高效的热质交换，由于氮的沸点与氩的沸点相差较大，且粗液氩中含氮量仅为 1~1.5%左右，故在塔底可获得高纯度的高沸点组分液氩产品。

3. 空分设备的起动:

3.1 起动应具备的条件:

3.1.1 空分设备所属管道、机械、电器等安装完毕, 校验合格。

3.1.2 所有运转机械原料空压机、增压空压机、膨胀机、水泵、液氧泵、液氩泵等均具备启动条件，有的应先进行单机试车。

3.1.3 所有安全阀调试完毕，并投入使用。

3.1.4 所有手动，气动阀门开关灵活，各调节阀需经调试校验。

3.1.5 所有机器、仪表性能良好，并具备使用条件。

3.1.6 分子筛吸附器程序控制调试完毕，运转正常，具备使用条件。

3.1.7 冷箱内低温设备的管道加热，吹刷完毕，并经检测合格。

3.1.8 空分设备所有阀门应处于关闭状态。特别要检查启动管线 V201、V202，膨胀机出入口 V41、V42 及膨胀机喷嘴必须处于关闭状态。

3.1.9 供电系统正常工作。

3.1.10 供水系统正常工作。

3.2 启动准备：

启动前应对保冷箱内的管道和容器进行彻底加温和吹刷(具体步骤参阅加温)。对于低温下工作的各个部分都不能有液态水分和机械杂质存在。空分装置的所有气封点，包括透平膨胀机的喷嘴，都必须关闭。除分析仪表和计量仪表外，所有通向指示仪表的阀必须开启。接通温度测量仪表。并进行以下各操作步骤：

(1) 启动冷却水系统。

(2) 启动用户仪表空气系统及分子筛纯化器系统的切换系统。

(3) 启动原料空气压缩机。

(4) 启动空气预冷系统。

(5) 吹刷空气管路。

下面将以上各步骤加以叙述，有关阀门的状态和仪表检测将另列附表 3.2 加以说明。

3.2.1 启动冷却水系统：

(1) 通知做好供冷却水的准备工作。

(2) 打开冷却水的进、出口阀。

3.2.2 启动仪表空气系统和切换系统

(1) 开启各空气切换管路。

(2) 将备用仪表空气(由用户提供)接通。

- (3) 接通程序控制器。
- (4) 接通切换阀、并检查切换程序。
- (5) 按仪控说明书和仪表制造厂的说明，将除分析和计量仪表以外的全部仪表投入。

3.2.3 起动原料空气透平压缩机

详细参阅“空气透平压缩机使用维护说明书”

- (1) 起动空气过滤器(按过滤器使用说明书操作)。
- (2) 接通冷却水系统。
- (3) 作好电机的启动准备。
- (4) 按制造厂说明启动空气压缩机。
- (5) 逐步增加压缩机后的压力。

3.2.4 起动空气预冷系统

详细参阅“空气预冷系统使用维护说明书”

- (1) 接通空气冷却塔的全部指示仪表。
- (2) 检查空气预冷系统的仪电系统。
- (3) 打开冷却水进、出口阀。
- (4) 慢慢增加空压机出口空气压力，并导入空气冷却塔中，待空气压力稳定并大于 0.45MPa(表压)时，启动水泵 WP1103(或 WP1104)，水泵 WP1101(或 WP1102)同时启动。
- (5) 调节冷却水泵的压力和流量。
- (6) 接通液面控制器。
- (7) 慢慢增加空气压缩机排出压力。

3.2.5 起动分子筛纯化系统

详细参阅“分子筛纯化系统使用说明书”

- (1) 切换程序的运行(手动)。
- (2) 调节各控制阀门阀位是否正常。
- (3) 先导入再生气再接通电加热器。
- (4) 接通切换程序。
- (5) 分子筛吸附器的起动(包括吸附和再生)，至少正常运行一个周期后，才能向分馏塔送气。(须确定 CO₂ 和水份含量达到设计值)

注意：进入分子筛纯化系统的空气流量要根据 PdIAS-1205 阻力（不大于 8KPa），加以控制，以防止分子筛床层的破坏。

(6) 当出分子筛吸附器的空气中 CO₂ 的含量 ≤ 1PPm 时，可倒换仪表空气气源。

3.2.6 吹刷空气管路

吹刷的目的是除去杂质如灰尘等，并检查有没有水滴存在。吹刷用的气体是出分子筛吸附器的常温干燥空气。每一只吹除阀均打开进行吹除，一直到没有灰尘和水汽为止。

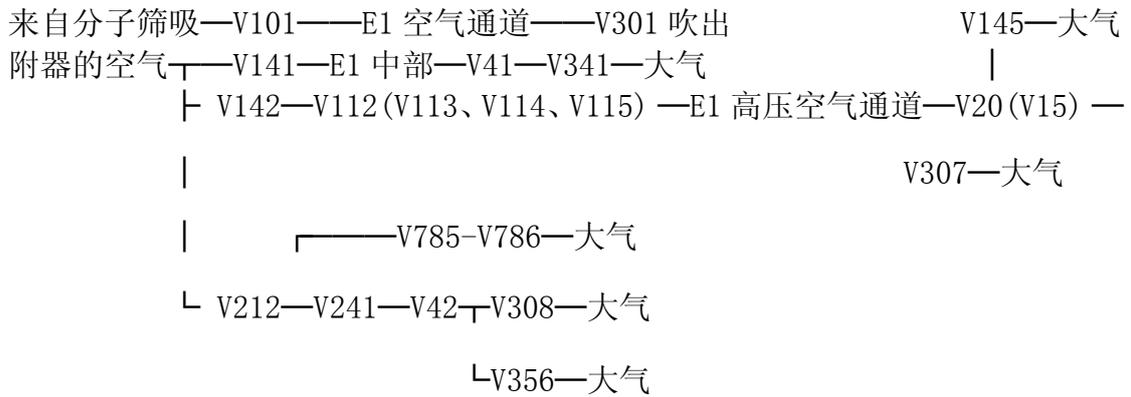
(1) 空气导入空气管线操作：

全开吹除阀 V301, V307, V308

缓慢打开空气总阀 V101 (V109)，注意分子筛吸附器压差 PdIAS1205 应不超过 8Kpa，阀门操作应缓慢，避免分子筛床层激烈波动。

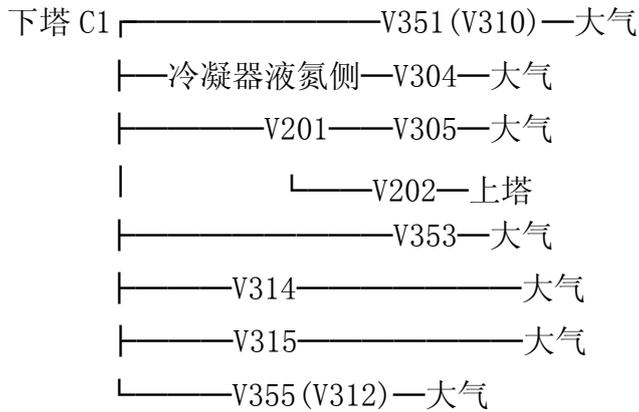
(2) 接通各空气流路

A. 第一流路：吹刷主换热器。

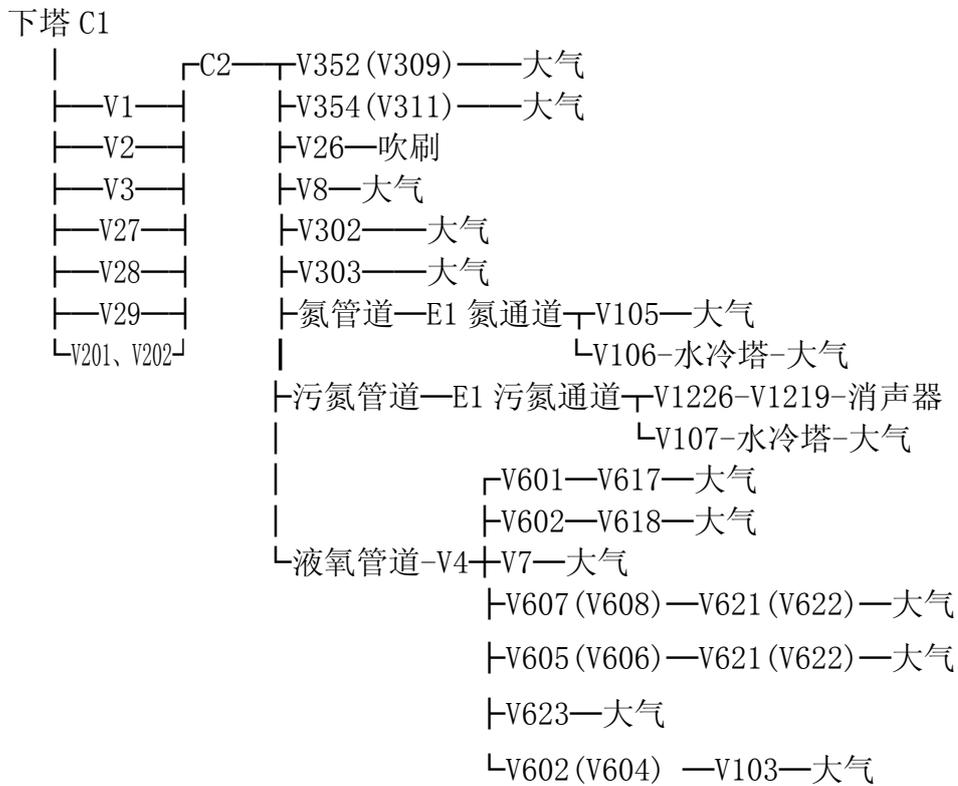


(为确保透平膨胀机的安全, 吹刷增压空气管路时, 膨胀机的密封气和油泵必须接通, 详见透平膨胀机使用说明书)

B. 第二流路，吹刷下塔 C1 及起动管线：

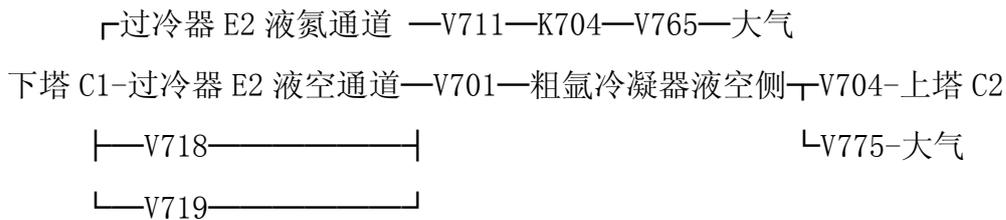


C. 第三流路：吹刷上塔 C2 及相应的管路吹除阀



注：吹刷液氧管道时，液氧泵应供油，密封气预先提供。

D. 第四流路：吹刷粗氦塔



上塔 C2-氩馏份抽口-粗氩塔 I C701-粗氩塔 II C702(下部) —

—┐V755-大气

┆V501 (V503)-V511 (V512)-大气

┆V507 (V508)-V511 (V512)-大气 (液氩泵供油, 密封气预先提供)

└粗氩塔 II C702(上部)-粗氩冷凝器

冷凝侧┐V773-大气

┆V712-大气

| ┌V764-大气

└V705—K704┐纯氩塔 C703-V757-大气

|

V776

└大气

┌V703 (V717)-粗氩塔 II 下部

上塔 C2-氩馏份抽口-粗氩塔 IC701-V713-┆

└V754-大气

E. 第五流路:吹刷纯氩塔

下塔 C1 ┌ 纯氩塔蒸发器冷凝侧—V779—大气

| └V707—吹刷

└过冷器 E2 的液氮侧-V706┐纯氩塔冷凝器 K702 的蒸发侧-V762—大气

└V715—污氮管

纯氩塔 C703┐V708————┐贮槽—大气

| ┆V777—大气

┆V756—吹刷 └V2281A(V2281B)—V2285A(V2285B) —大气

┆V761—吹刷

┆V752—V786—大气

└V714—吹刷

(3) 注意事项:

A. 用露点仪检查各吹除阀出口气体的含水量, 待 AIA1203 CO₂ 含量 ≤ 1PPm, 可把气体导入冷箱吹扫, 当各吹除阀出口气体的露点 ≤ -65℃ 时, 才能关闭吹除阀, 转而吹扫别的管道。

B. 在吹除各流路过程中, 要逐渐开大 V101, V141, V142, 既要避免压力下降又要保证有足够量的吹刷用气。

C. 严格控制上塔压力 PI202 < 0.05MPa, 避免上塔超压。

D. 在接通各系统时, 必须先开吹除阀, 再开入口阀。停止吹刷时应先关入口阀, 再关出口阀。

E. 在吹刷过程中, 空压机应在主厂房保压操作, 不能用主控室自动控制。

表 3.2 阀门状态和仪表检测

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
3.2.1		起动冷却水系统				用户 接通用户提供的 仪表气源
3.2.2		起动仪表空气系统				
	1	将备用仪表空气接 通： V2006 V2005 V2001	开 开 开	PIA2001	0.5MPa	
	2	起动切换系统				按“分子筛纯化 系统使用说明书”和“仪控说 明书”操作。
	3	按仪控说明书和仪表制造厂的说明书, 将除 分析和计量仪表以外的全部仪表投入				
3.2.3		起动空压机				
	1	空气过滤器投入				按“空气过滤器 使用说明书”操 作
	2	起动原料空气透平 压缩机				按“空气透平压 缩机操作使用 说明书”操作
	(1)	检查供油和供水系 统				
	(2)	做好电机的起动准 备				当空压机出口压 力达到 0.45MPa(G) 时才可起动空气 预冷系统
	(3)	按说明书起动原料 空气压缩机				
3.2.4		起动空气预冷系统				按“空气预冷系 统说明书”操作
	1	向空气冷却塔送入 空气		PIAS-1102	>0.4MPa	

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
----	---	------	------	-----	-----	----

2	准备启动大水泵				
(1)	V1101(或 V1102)	开	泵进口阀		
(2)	V1111(或 V1112)	开—关	泵进口阀吹除后关闭		
(3)	V1113(或 V1114)	开—关	泵进口阀吹除后关闭		
(4)	V1169	开	LI-1102	投入	
(5)	V1170	开			
(6)	V1167	开	LICAS-1101	投入	
(7)	V1168	开			
(8)	启动水泵 WP1101(或 WP1102)				
(9)	V1105(或 1106)	开			
(10)	V1107	调节		F IA-1102	~345T/h
(11)	V1110	开—关	吹除后关闭		
(12)	V1107	开			
(13)	V1164	调节	LICAS-1101 LI-1102		稳定液面检查仪表
3.	准备启动小水泵				
(1)	V1178 或 V1176	开	向水冷却塔加水		
			LI1104	1250~1350mm	
(2)	V1178(或 V1176)	关	待水冷却塔加满水		
(3)	V1121(或 V1122)	开	泵进口阀		
(4)	V1127(或 V1128)	开—关	泵进口吹除阀吹除后关闭		
(5)	V1129(或 V1130)	开—关	泵出口吹除阀吹除后关闭		
(6)	启动小水泵 WP1103(或 WP1104)				开 V1176, 待水
(7)	V1125(或 V1126)	开	泵出口阀		冷却塔液面稳定
(8)	V1132	开—关	吹除后关闭		后用 LICAS1103
(9)	V1146	调节	FIA1101	~70m ³ /h	自动调节 V1176
(10)	V1164	开—关	LICAS1101		观察液面
(11)	V1161	开			
(12)	V1163	开			
(13)	V1162	逐渐打开	LI1102		观察液面
(14)	V1162	调节	LICAS-1101	设计值	

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
3.2.5	1	起动分子筛纯化系统 起动切换系统		详见“分子筛纯化系统说明书”		
	(1)	开启各空气切换系统				
	(2)	备用仪表空气接通				
	(3)	接通程序控制器				
	(4)	接通切换阀、并检查切换程序				
	(5)	按仪控说明书和仪表制造厂说明书,将除分析和计量仪表以外的全部仪表投入				
	2	起动电加热器 EH1201(或电加热器 EH1202、EH1203)				
		按电控要求,对电加热器通电按钮一按即放看其是否通电,然后应先送气体后通电,使其投入工作。				
		V1218	开			
		V1231(V1233、V1235)	开			
		V1232(V1234、V1236)	开			
	3	V1250	手调	PI1207 FICS1201	~0.012MPa 26500m ³ /h	
	4	使入纯化器前的空气压力和温度逐步达到要求 空气的压力和温度达不到设计要求,可将空气送入纯化器但暂不把空气送入分馏塔。				(在空气送入分馏塔前二只纯化器须已彻底再生)
	5	纯化器投入工作和加温时的流程				
		纯化器的吸附和再生的切换由时间程序控制器自动控制,详见说明书				
	(1)	对纯化器 MS1201 加温再生时				
		V1218	开			
		V1231(V1233、V1235)	开			
		V1232(V1234、V1236)	开			
		V1205	开			MS1201 排气
		V1213	开			打开加温出口阀
		V1211	开	TI-1202	~170℃	打开加温进口阀
	(2)	对纯化器 MS1201 吹冷时				
		V1218	关			
		V1217	开	TIS-1201	17+(5~10)℃	吹冷结束
	(3)	对 MS1201 工作				
		V1213	关			
		V1211	关			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
		V1205	关			
		V1207	开—关	PIS-1201	~0.5MPa	对 MS1201 充气结束
		V1203	开			
		V1201	开			
		V1204	关			
		V1202	关			
	(4)	对纯化器 MS1202 加温再生时				
		V1218	开			
		V1206	开			MS1201 排气
		V1214	开			打开加温出口阀
		V1212	开	TI-1204	~170℃	打开加温进口阀
		V1217	关			
	(2)	对纯化器 MS1202 吹冷时				
		V1218	关			
		V1217	开	TIS-1203	17+(5~10)℃	吹冷结束
	(3)	对 MS1202 工作				
		V1214	关			
		V1212	关			
		V1206	关			
		V1208	开—关	PIS-1201	~0.5MPa	对 MS1201 充气结束
		V1204	开			
		V1202	开			
		V1203	关			
		V1201	关			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
3.2.6		吹刷空气管路				
		V101 (V109)	渐开	PI-1	~0.45MPa (G)	
		V301	开-微开			
		V141	渐开			
		V41	开			
		V341	开-微开			
		V142	渐开			
		V112	开			
		V113	开			
		V114	开			
		V115	开			
		V145	开-微开			
		V20	开			
		V15	开			
		V307	开-微开			
		V212	开			
		V241	开			
		V42	开			
		V308	开-微开			
		V356	开-微开			
		V785	开			
		V786	开-微开			
		V351	开-微开			
		V310	开-微开			
		V304	开-微开			
		V201	开			
		V305	开-微开			
		V353	开-微开			
		V314	开-微开			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
		V315	开-微开			
		V355	开-微开			
		V312	开-微开			
		V202	开			
		V1	开			
		V2	开			
		V3	开			
		V27	开			
		V28	开			
		V29	开			
		V352	开-微开			
		V309	开-微开			
		V354	开-微开			
		V311	开-微开			
		V26	开			
		V303	开-微开			
		V8	开-微开			
		V302	开-微开			
		V105	开-微开			
		V106	开-微开			
		V1226	开			
		V1219	开-微开			
		V107	开-微开			
		V4	开			
		V601 (V603)	开			
		V617 (V618)	开-微开			
		V607 (V608)	开			
		V621 (V622)	开-微开			
		V602 (V604)	开			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注	
		V7	开-微开				
		V103	开-微开				
		V710	开				
		V711	开				
		V765	开-微开				
		V718	开				
		V719	开				
		V701	开				
		V704	开				
		V775	开-微开				
		V755	开-微开				
		V501 (V503)	开				
		V511 (V512)	开-微开				
		V773	开-微开				
		V712	开-微开				
		V705	开				
		V764	开-微开				
		V757	开-微开				
		V776	开-微开				
		V756	开				
		V761	开				
		V752	开				
		V786	开-微开				
		V714	开				
		V713	开				
		V703	开				
		V717	开				
		V754	开-微开				
		V779	开-微开				
		V707	开				
		V706	开				
		V762	开-微开				
		V715	开				
		V708	开				
		V777	开-微开				
		V2281A (B)	开				
		V2285A (B)	开-微开				
		待出口气露点达到-65℃时加温结束，关闭所有吹除阀。					

3.3 冷却阶段

参阅分馏塔系统冷却时阀门状态及仪表检测附表 3.3 和工艺流程图 3.1。

3.3.1 分馏塔冷却前必备条件

- (1) 原料空气压缩机已经投入运转；
- (2) 分子预冷系统已投入运转；
- (3) 分子筛纯化器已投入运转；
- (4) 增压空气压缩机已投入运转。

3.3.2 起动增压透平膨胀机

- (1) 按“透平膨胀机的使用说明书”规定, 做好透平膨胀机的起动准备；
- (2) 打开冷却流路各阀门；
- (3) 然后缓慢地开大喷嘴和缓慢关小增压空气回流阀, 起动透平膨胀机；
- (4) 增加膨胀机的供气量, 慢慢地使增压透平膨胀机达到最大气量；
- (5) 切断用户提供备用仪表空气, 改用系统自身仪表空气；
- (6) 打开冷箱气封阀。

3.3.3 冷却分馏塔系统

冷却分馏塔的目的, 是将正常生产时的低温部分从常温冷却到接近空气液化温度, 为积累液体及氧、氮分离准备低温条件。

冷却开始时, 压缩机排出的空气不能全部进入分馏塔, 多余的压缩空气由放空阀排放大气, 并由此保持空压机排出压力不变。随着分馏塔各部分的温度逐步下降吸入空气量会逐渐增加, 可逐步关小放空阀来进行调节。

应特别注意的是在冷却过程中保冷箱内各部分的温差不能太大, 否则会导致热应力的产生。冷却过程应按顺序缓慢地进行, 以确保各部分温度均匀。

- (1) 顺序开启冷却流路的阀门；
- (2) 保持原料空气压缩机排出压力恒定；
- (3) 把分子筛纯化器的再生气路由空气流路切换换到污氮气流路上。此时应特别注意空压机排压, 防止因超压而引起连锁停机停泵；
- (4) 必须注意各流路通过流量, 使各部分温度均匀下降。不能出现大的温差。

3.3.4 增压透平膨胀机的控制:

在冷却阶段,透平膨胀机的产冷量应保持最大。当主换热器冷端空气已接近液化温度时,冷却阶段即告结束。

3.3.5 阀门状态:

(1) 分馏塔阀门状态

分馏塔所有阀门全部处于冷却时所要求的开关状态

(2) 空气导入

随着分馏塔内温度逐渐下降,需缓慢打开 V101, V112, V113, V114, V115, V15, 并逐渐增加空气量。注意:分子筛压差 PdIAS-1205 不超过 8Kpa, 同时要求进分馏塔前压力 PI-101 与下塔空气压力 PI-1 的压差不能太大, 使下塔压力保持不变, 并随着温度下降逐渐增加膨胀量以保持最大产冷量。

由于膨胀后空气进下塔, 为了使 PI-1 压力不过高, 须特别注意调整 V201 和 V202 阀的开度。

(3) 接通冷却流路:

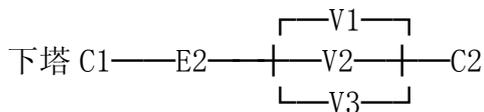
A. 第一流路, 冷却主冷 K1。

B. 第二流路, 冷却上塔 C2, 过冷器 E2 和主换热器 E1 的氮通道, 开纯氮出分馏塔放空阀 V105(也可开 V106 去水冷塔)。

C. 第三流路, 冷却上塔 C2, 过冷器 E2 和主换热器 E1 的污氮通道, 渐开 V1226. 稍关 V1250(也可开 V107 去水冷塔)。

D. 第四流路, 液空、液氮、污液氮流路

开阀 V1、V2、V3



E. 第四流路, 冷却粗氩塔 C701、C702

C2 氩馏份抽口-粗氩塔 I C701-粗氩塔 II C702-K701-V712-大气

下塔 C1-过冷器 E2-V701-V704-上塔 C2

F. 第六流路，冷却精氦塔

下塔 C1—过冷器 E2—V706—K702—V762—大气

└─K703—V707—上塔 C2

└─K702—V751—大气

粗氦塔 II C702—K701—K704—C703 —┘ K703—V757—大气

└─V764—大气 └─K702—V714—C703

下塔 C1—V201—V761—C703

└─V710—C2

C1—V711—K704—┘

└─V765—大气

(4) 倒换分子筛吸附器再生气源：

在空分设备起动时，分子筛的再生气体采用分子筛净化后的空气。当空分设备起动后，并有足够的再生气量时，可改用污氮流路，作为分子筛再生气体。

(5) 起动冷箱充氮系统：

在空分设备冷却过程中，冷箱内温度逐渐降低，应及时起动冷箱充氮系统，避免冷箱内出现负压。

开阀 V272、V273、V274

(6) 冷却阶段应注意事项：

A. 随着冷却流路的增加，空压机应不断地增加空气量，原料空压机出口压力稳定在 0.515MPa(G)。而增压空压机的出口压力应缓慢逐渐加大。空压机控制方式应在主厂房就地控制。

B. 在整个冷却过程中应控制各部分温度，不要使温差太大。

C. 为加快冷却速度，应最大限度地发挥膨胀机的制冷能力，随塔内温度的降低逐渐增加膨胀量，调节膨胀机工况。

D. 随着温度的下降冷箱内压力也会逐渐降低，应随时注意调节冷箱充气的流量。

E. 在冷却阶段空分阀门应处于手动控制状态。

F. 当主冷底部(或下塔底部)出现液体冷却阶段即结束。

表 3.3 阀门状态和仪表检测

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注	
3.3	1	冷却分馏塔系统				按透平膨胀机说明书起动 检查各部分情况正常后逐渐开大。	
		检查阀开状态					
		V201	开 1~2 圈				
			V202	稍开			
			其余阀门	全关			
	2	空气导入					
		V1226	稍开				
		V105	稍开				
			V101 V15	打开 PdIAS-1205 \leq 8KPa			
	3	起动透平膨胀机					
		起动膨胀机 ET401					
		V404	开				
		V42	开				
		V41	开				
		HV432	稍开				
		HS499	开				
	4	接通冷却流路					
		(1) 冷却下塔 C1、主冷凝器 K1、主换热器 E1 氧通道					
		V201	开				
		V202	开(调节)PI-202 \leq 0.07MPa(G) 当主冷出现液体时全关				
(2) 冷却上塔 C2、过冷器 E2 和主换热器 E1 氮通道							
V105(或 V106)		开					
(3) 冷却上塔 C2 过冷器 E2 和主换热器 E1 污氮通道							
V1226		渐开					
V1250		稍关					
或 V107		稍开					
(4) 冷却液空、液氮、污液氮流路							
V1		开					

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
	(5)	V2 V3 冷却粗氩塔 C701、C702、K704	开			
		V701	开			
		V704	开			
		V712	开			
		V755	开			
		V705	开			
		V764	开			
	(6)	冷却纯氩塔 C703				
		V705	开			
		V706	开			
		V707	开			
		V710	开			
		V711	开			
		V714	开			
		V715	开			
		V751	开			
		V757	开			
	(7)	倒换分子筛吸附器再生气源				
		V1250	关			按分子筛纯化系统说明书进行
	(8)	向冷箱充污氮				
		V272	开	FI201	10Nm ³ /h 氮	
				PI203	100Pa	
		V273	开	FI202	10Nm ³ /h 氮	
				PI204	100Pa	
		V274	开	FI203	10Nm ³ /h 氮	
				PI205	100Pa	

3.4 积液和调整阶段:

所有冷箱内设备被进一步冷却, 空气开始液化, 下塔(或主冷) 出现液体, 上、下塔精馏过程开始建立, 待冷凝蒸发器建立一定液氧液面, 打开 V4 阀, 打开液氧泵进口阀 V601 (V603), V611 (V612) 预冷泵, 打开回流阀 V607 (V608), 并将液氧泵投运。根据主冷液氧液面的情况, 可开始调节产品纯度, 并将氧产量设定在设计产量的 50%~70%左右。

注意:当预冷液氧泵时, 液氧一定要向安全的区域排放, 以免发生危险!!!

在液化阶段, 膨胀机的出口温度尽可能保持较低。

有关阀门的调节参阅积液和调整阶段的阀门状态表 3.4 和工艺流程图 3.1。

3.4.1 阀门的调节:

所有阀门的调节应按步骤缓慢并逐一地进行, 当前一只阀门的调节取得了预期的效果以后, 方可开始下一只阀门的调节。

3.4.2 温度的控制

(1) 主热交换器冷端的温度应接近液化点 TI-1 约为 100.3K, 中部空气温度 TI-41 约为 149K。高压空气出主换热器温度 TI-15 为 100.3K。

(2) 其它部分温度应调节到正常生产时的规定温度。

3.4.3 液体的积累:

(1) 稍开氖氮吹除阀 V314, V315。

(2) 调节原料空气压缩机的流量, 以满足分馏塔吸入空气量的增加, 并保持原料压缩机后的恒压, 可用进口导叶和放空阀配合调节。同时也必须保持增压空压机一级和二级出口的恒压。

(3) 慢慢关闭各冷却用专门管路。主冷有液氧液面时, 要全关 V201, V202, 开 V305。

(4) 先微开下塔液氮回流阀 V11, 根据主冷液氧上涨情况逐渐增加开度。V11 阀

要开启次数勤，每次只能微调。

(5) 取样分析初始积累的液体。如发现液体中有杂质和 CO₂ 固体等，则应将液体连续排放，直到纯净为止。由于空气中含有水分，在抽取液体样品时，水分会凝结进入液体，使液体变得混浊，因此，应把抽取液体的容器罩起来。

(6) 用 V1 阀调节下塔液空液面 LIC-1，并投入自动控制。LIC-1 定为 600mm。

(7) 用 V2、V3 阀抽取污液氮、液氮送入上塔，加速精馏过程的建立。

3.4.4 精馏过程的建立：

(1) 将计量仪表投入(参阅仪控说明书)，控制产品流量为设计值的 50~70%。

(2) 调整上塔和下塔的压力，使之达到正常值。

(3) 从阻力计上读数的上升，可知精馏过程已经开始建立。

A. 当主冷液面上升至设计值 50-60%以上时，视吸入空气量和下塔压力情况调节下塔液氮回流阀 V11，初步建立下塔精馏工况。

B. 根据下塔液位上升和液空纯度、液氮纯度情况，调节 V2、V3 阀。

C. 调节出分馏塔的污氮阀 V1226(V107)，出分馏塔的纯氮放空阀 V105(V106)，及产品氧放空阀 V103(V102) 及液氧回流阀 V607(V608)，使产品氧、氮达到设计值。

(4) 操作粗氩塔

A. 缓慢开 V701 使回上塔的液空蒸发量增加，促使进粗氩冷凝器 K701 的工作，待粗氩塔液空出现液面时，密切注视粗氩塔阻力计 PdI-701、PdI-702 的变化，使其缓慢升高到额定值，AI-705 氩分析仪可投入使用。

B. 调整氩馏份纯度 AI-701 在 9~10%Ar，这时主塔已达正常工况，渐开 V701，使液空液面缓慢升高到额定值，工况稳定后液面计 LIC-701 投入自动。

C. 在粗氩塔 II 工作初期，粗氩塔 I 精馏工况还未建立，此时粗氩含氧量分析仪 AIAS-704 不投入使用，而将粗氩塔 I 出口气体含氧分析仪 AIA-702 接入代替 AIAS-704 使用。当 AI-705 稳定，并 $\geq 98\%Ar$ 时，AIAS-704 方可投入使用。

D. 当粗氩塔 II 液面 LICAS-702 缓慢升到 1000mm 时,启动液氩泵 AP501 (或 AP502) 将粗氩塔 II 的粗液氩送入粗氩塔 I ,此时 V703 (或 V717) 投入自动,使 LICAS-702 保持在 800~1000mm。

E. 从分析仪 AE-703 取样,定期分析液空中乙炔含量,其值不得高于 0.01PPm。

(5) 当冷凝蒸发器液面达到最小规定值时,可有步骤地减少透平膨胀机的产冷量或向贮槽抽取液体产品,如果空气压缩机的产量已经达到最大值,而下塔的压力仍有下降趋势时,应提前减少透平膨胀机的产冷量或向贮槽抽取液体产品。

3.4.5 精馏工况的调整:

(1) 按制造厂说明,将分析记录仪表投入。

(2) 按各分析点数据,利用 V2、V3 对精馏工况进行调整。

(3) 在调整时,产品取出量维持在设计值的 80%左右。

(4) 当工况稳定后,可加大产品取出量到规定值,将污氮气纯度维持在规定指标上。

(5) 氧气产品的产量、纯度、压力均达到指标时逐渐把氧气从放空管路切换到产品输出管路上。

(6) 注意液氧液面,应保持稳定,不能下降,必要时,可增加透平膨胀机的产冷量。

3.4.6 粗氩塔的调整

由于粗氩塔与主塔有着紧密联系,只有在保证主塔工况稳定于设计工况的前提下,才能开始粗氩塔正常工况调整工作。

影响粗氩塔正常工况建立的主要因素是氩馏份的组成及热负荷发生变化,因此,粗氩塔正常工况的调整目的,就是要建立最佳的氩馏份组成及冷凝器热负荷,从而保证粗氩纯度及产量。

(1) 氩馏份含氧量的调整

氩馏份组成的稳定性是粗氩塔正常工况建立的基础。

若氩馏份含氧量太高、将导致粗氩含氧量上升。塔板阻力会升高，且氩提取率会下降，产量减少。若含氧太低，则含氮量往往会升高，含氮量过高，会导致粗氩塔精馏工况恶化(例如产生“氮塞”)。过多的氮带入精氩塔又会增加精氩塔的精馏热负荷，并影响产品纯度。

氩馏份含氧量是通过调整主塔的正常工况来达到的，调整时一定要把主塔和粗氩塔视为一个整体来考虑，二者中有任一参数偏离正常工况往往都会引起氩馏份组成的变化，因此操作调整一定要谨慎小心，且要缓慢而行。最通用的调整方法是，在允许范围内适当增加氧气抽出量(如打开 V26 阀, 把氧气旁通到污氮管道)。这样可降低氩馏份的氧含量，反之会增加氩馏份的氧含量。

特别应当指出，氮气产量、入塔空气量和压力及膨胀空气量的改变、空气纯化系统的切换，都会引起氩馏份组成的变化。在调整时，应周密考虑各种因素之间的相互影响，尽量把不可避免的干扰因素错开发生。

(2) 液空液面的调整

粗氩冷凝器热负荷是根据粗氩塔阻力 PdI-702 指示，通过调整液空液面和液空蒸发侧压力来实现，它将影响粗氩的产量及纯度。开大 V701 阀，液空液面升高，冷凝器的热负荷增加，反之减少。开大 V716, PIA-707 降低，冷凝器的热负荷增加，反之减少。

(3) 粗氩纯度的调整

粗氩纯度主要调整氩馏份来达到，适当增加冷凝器热负荷，有助于粗氩的纯度提高。

3.4.7 纯氩塔的操作与调整

(1) 操作前应具备的条件

A. 主塔及粗氩塔的工况稳定在设计工况。

- B. 纯氩塔和粗氩液化器已进行彻底的吹刷冷却。
- C. 粗氩含氧量分析 AIAS-704 \leq 2PPmO₂。
- D. 计量仪表和安全阀均已校好，并可随时投入使用。
- E. 检查所有阀门是否灵活好用，并全部处于关闭状态。
- F. 贮存系统的液氩槽已准备就绪。

(2) 纯氩塔的操作

- A. 当 AIAS-704 \leq 2PPmO₂时缓慢开大 V705，将粗氩导入冷凝器 K704。
- B. 渐渐开大 V710、V711，促进冷凝器 K704 的工作，待 PIC-702 达一定值投自动，被液化粗氩进入纯氩塔，同时打开 V706，冷凝器液氮侧出现液面并缓慢上升到额定设计值时，V706 投自动。。
- C. 在蒸发器液面 LIC-704 初达 10%后，应全部排放积液。开 V757 以确保纯氩纯度。
- D. 当蒸发器液面 LIC-704 上升到额定值，渐渐开大 V707，使塔内阻力 PdI-703 靠近设计值，待塔内压力稳定后 V707 投自动。
- E. 在蒸发器液面 LIC-704 达到设计额定值时，从分析阀 AE-706 取样分析氩纯度，若含氮量超过 70PPm，则适当开大 V751，直到合格为止。若氩中含氧大于 10PPm，则打开 V757，排放掉一部分液氩后再重新积液。
- F. 当纯氩中的氧、氮含量达到要求且液面达到 1200mm 时，可打开 V708，去液氩槽。

(3) 纯氩塔的调整

- A. 塔内阻力稳定是纯氩塔工况稳定的标志，开大 V707，增加上升蒸汽量，塔内阻力增加。
- B. 当塔内压力 PIAS-704 超过正常值时，V751 开大，塔内压力恢复正常。
- C. 定期开关或经常微开 V779，排除不凝性气体(氦氮气)。

D. 氩纯度可通过调节余气量来达到。开大 V751，可降低液氩中含氮量，若液氩中含氧量过高，只有打开 V757 排放部分液体，重新积液。

E. 应防止纯氩塔出现负压，因负压会使大气中水份吸入管内使管道堵塞。

F. 调节 V715 的开度，使纯氩冷凝器氮侧压力调节到合适的值，用以调节纯氩冷凝器的热负荷，使纯氩塔工况稳定。

表 3.4 阀门状态和仪表检测

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注	
3.4	1	主冷凝器 K1 彻底冷却后的流路调整				液氧泵按说明书启动	
		V201	关				
		V202	关				
		V305	开				
			启动液氧泵 OP601 (OP602)				
		2	V4	开			
	膨胀机出口温度控制 HV432		调节	TI-41	149K		
		3	稳定原料空压机和 增压空压机压力				
		4	液体的积累				排尽最初产生的液体，取部分液空观察有无二氧化碳 吹除不凝性气体 排尽最初产生的液体
	V351		全开-全关	LIC-1	150mmH ₂ O		
	V310		开—关				
	V1		投自动	LIC-1	600mmH ₂ O		
	V314 V315		稍开				
	V352		开—关	LIAS-2	100mm		
	AE-9		开—关	AE-9	≤0.01 PPmC _n H _m		
	V11		调节	LIAS- 2	~2800mm		
	V3		调节	PdI-1	~18.7KPa		
	V2		调节	PdI-2	~6.2 KPa		
		5	粗氩塔投入使用				阀门开启次数勤，开度增加量小 主冷液面不得下跌
	V701		渐开 →自动	PdI-702	10~12KPa		
V703 (V717)	调节		LIC-701	300~1200mm			
启动液氩泵 AP501 (AP502)	调节		LICAS-702	1000mm			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
		V712	稍开			液氩泵按说明书启动
	6	膨胀机减负荷 HV432	调节	TI-41	149K	按膨胀机操作说明书操作
	7	调整上、下塔压力及液面高度:		PI-1	~0.476MPa(G)	
				PIA-2	~0.042MPa(G)	
				LIC-1	600mm	
				LIAS-2	2800mm	
	8	调整上、下塔纯度		AE-1	397.2%O ₂	
	(1)	调节下塔纯度		AE-2	20%O ₂	
		V3、V2	调节	AIAS-103	≤5PPmO ₂	
	(2)	调节上塔纯度		AIAS-102	99.6%O ₂	
		增加高压空气量				提高液氧泵运行负荷
		V15	开大一调节		~0.476MPa(G)	
		V102	开大一调节	FIQCS-102	27000~29000Nm ³ /hO ₂	
		V104	开大一调节	FIQC-103	28000Nm ³ /hN ₂	
				AE-104	0.7%O ₂	
				AE-5	0.0132%O ₂	
	(3)	V107	调节	PIC-104	15.7KPa	
		V102	开			送产品氧去用户
		V106	开			送产品氮去水冷塔
		V103	关			
		V105	关			
	9	纯氩塔的操作与调整				
		主塔及粗氩塔工况稳定				
	(1)	V706	渐开	LIC-703	0~300mm	
		V705	渐开			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
		V710	渐开	PI-703	0.095MPa(G)	
		V711	渐开			
		V706	自调			
		V715	渐开	PI-706	0.039MPa(G)	
	(2)	V705	渐开—自调	FIC-701	808~828m ³ /h	
		V707	渐开	LIC-704	100mm	排尽积液
		V707	自调	PdIC-703	~7.35KPa	
		V779	开—关			排除不凝性气体
	(3)	V708	渐开—自调	LIC-704	1000~1350	向贮槽输送
		V767	开	AE-706	≤2PPmO ₂ ≤3PPmN ₂	纯液氩

3.5 装置安全操作措施:

3.5.1 安全液氧的排放:

在正常生产时,安全液氧的排放是冷凝蒸发器防爆的一个有力措施,不能忽视。

由于本装置采用液氧内压缩流程,在主冷中抽取大量的液氧加压后经主换热器汽化复热后出冷箱,因此,主冷凝蒸发器是非常安全的。

3.5.2 冷凝蒸发器中液氧的碳氢化合物必须严格控制,每隔8小时化验一次,测定结果必须记录,乙炔和碳氢化合物在液氧中的含量极限值规定如下:

化合物名称	正常 值	报 警 值	停 车 值
乙 炔	0.01PPm	0.1PPm	1PPm
碳氢化合物		30mg/L 液氧 (按碳计)	100mg/L 液氧 (按碳计)

当液氧中乙炔或碳氢化合物含量过高时,应采取下列措施:

- (1) 多测定尽快地查明含量增高的原因,进行消除。
- (2) 增加液氧排放量。
- (3) 检查分子筛吸附器的工作情况是否正常。
- (4) 如果采取措施后,乙炔或碳氢化合物含量仍然增长,已达停车极限值时,则应立即停车,排除液体,对设备进行加温解冻。

3.5.3 冷箱的充气:

为防止潮湿空气渗入冷箱和危险气体在冷箱内浓缩,冷箱内需充入气封干燥氮气,其气源来自于污氮气,经V272、V273、V274充入冷箱内。

在一般情况下,如气封气量过大,引起冷箱内压力的升高,可通过冷箱上的安全阀(呼气筒)渗出,以维护一定的压力,对冷箱安全阀(呼气筒)应定期检查,不要放置

任何物件在安全阀(呼气筒)上，同时要防止安全阀(呼气筒)被冰雪冻结。

3.5.4 空气预冷系统的循环冷却水在添加防腐剂时，应该严格控制用药量，不要使水起泡过多，否则容易造成空冷塔带水事故，影响分子筛吸附器的正常工作。

3.5.5 在启动时或停车后再启动时，应检查分子筛吸附器的进出口阀开关位置是否正确，否则应予调正。阀门的开启动作要缓慢地进行，不要造成对分子筛吸附床层的冲击。

3.5.6 在空分装置冷开车停车排液后开始进行全面加温时，必须注意加温气量少，速度要慢，切不可一开始就用大气量加温。加温气体为常温干燥空气。

3.6 重要的操作数据：

以下所列的操作数据是理论上的计算值，在实际运行中会有一些差别，操作者要根据实际情况控制在一定范围内。

在日常操作中要注意：

冷凝器和塔板上的液面不能太高，以免引起液泛，也不能太低，以免造成易爆的碳氢化合物的浓缩和沉积沉积。

重要操作数据:

(1) 压力

下塔底部压力 (PI-1)	0.476MPa (G)
上塔底部压力 (PICA-2)	42KPa (G)
液氧泵进口压力 (PI-3)	0.2MPa (G)
膨胀机 ET401 进口压力 (PI-41)	2.75MPa (G)
膨胀机 ET401 出口压力 (PI-42)	0.478MPa (G)
进冷箱空气压力 (PI-101)	0.492MPa (G)
出冷箱氧压力 (PI-102)	3.0MPa (G)
出冷箱氮气压力 (PI-103)	16KPa (G)
出冷箱污氮气压力 (PIC-104)	16.5KPa (G)
增压空气压缩机 I 段出口压力 (PI-111)	2.053MPa (G)
增压空气压缩机 II 段出口压力 (PIS-112)	5.673MPa (G)
纯氩冷凝器氮侧压力 (PI-706)	58.8KPa (G)
加温空气压力 (PI-201)	0.1MPa (G)
启动旁通管道压力 (PI-202)	0.1MPa (G)
仪表空气压力 (PIA-2002)	0.4MPa (G)
液氧出液氧泵 OP601 压力 (PICAS-603)	3.1MPa (G)
液氧出液氧泵 OP602 压力 (PICAS-604)	3.1MPa (G)
粗氩出粗氩塔 II 压力 (PIS-701)	20.5KPa (G)
粗氩液化器氩侧压力 (PIC-702)	17KPa (G)
粗氩液化器氮侧压力 (PIC-703)	95KPa (G)
纯氩塔上部压力 (PIAS-704)	29KPa (G)
液氩泵出口压力 (PICA-705)	0.85MPa (G)

粗氩冷凝器液空蒸汽侧压力(PIA-707) 58.8KPa(G)

(2) 温度和温差:

空气进下塔温度(TI-1)	-172.8℃
液空过冷后温度(TI-2)	-178.7℃
高压液空出主换热器温度(TI-15)	-172.8℃
液氧出液氧泵总管温度(TI-17)	-176℃
膨胀机 ET401 进口温度(TI-41)	-124.15℃
膨胀机 ET401 出口温度(TI-42)	-172.5℃
空气进冷箱温度(TIA-101)	24℃
氧气出冷箱温度(TIA-102)	33.5℃
出冷箱氮气温度的 (TI-103)	33.5℃
出冷箱去水冷塔污氮气温度的(TI-104)	33.5℃
出冷箱去分子筛系统污氮气温度的(TI-105)	21℃
增压空气进冷箱温度(TI-107)	40℃
增压空气压缩机 I 段出口温度(TI-111)	40℃
增压空气压缩机 II 段出口温度(TI-112)	40℃
粗氩冷凝器液空恒流阀后温度(TI-701)	-185.6℃
精氩冷凝器氩侧出口温度(TIA-702)	-187.5℃

(3) 阻力

下塔阻力(PdI-1)	~19.6 KPa(G)
上塔及辅塔阻力(PdI-2)	5.4KPa(G)
粗氩塔 I 阻力(PdI-701)	5 KPa

粗氩塔 II 阻力 (PdI-702)	10KPa
精氩塔阻力 (PdIC-703)	7.35KPa

(4) 液面

下塔液空液位 (LIC-1)	600~1000mm
主冷液氧液位 (LIAS-2)	3200~3400mm
主换热器液氧液位 (LI-3)	~2000mm
汽液分离器 PV3 液空液位 (LI-4)	~1000mm
粗氩冷凝器液空液位 (LIC-701)	600~1200mm
粗氩塔 II 底部液氩液位 (LICAS-702)	800~1200mm
精氩塔冷凝器液氮液位 (LIC-703)	0~300mm
精氩塔蒸发器液氩液位 (LIC-704)	1000~1350mm
粗氩液化器液氮液位 (LI-706)	0~300mm

(5) 流量

进冷箱空气流量 (FIQ-101)	59300/61700/62600 m ³ /h
产品氧气流量 (FIQC-102)	27000/29000/28000 m ³ /h
产品氮气流量 (FIQC-103)	28000 m ³ /h
增压空气压缩机 I 段出口流量 (FI-111)	50500/44100/44400 m ³ /h
增压空气压缩机 II 段出口流量 (FI-112)	35500/39500/38300 m ³ /h
粗氩气流量 (FIC-701)	1160/1124/1124 m ³ /h
粗氩塔 I 段粗氩流量 (FIC-702)	38043/36885/36885 m ³ /h
纯氩塔余气排放流量 (FI-751)	10 m ³ /h

(6) 纯度

氧气纯度(AIAS-102)	99.6%O ₂
氮气纯度(AIAS-103)	≤5ppmO ₂
液空纯度(AE-1)	37.2%O ₂
氩馏份气含氧量分析(AI-701)	9.183%Ar
粗氩塔 I 顶部粗氩含氧量分析(AIA-702)	1~3%O ₂
粗氩塔 II 出口氩气含氧量分析(AIAS-704)	2PPmO ₂
粗氩塔 II 出口氩气含氩量分析(AI-705)	99.6%Ar

4. 装置的管理

4.1 正常操作:

冷量的多少可根据冷凝蒸发器液面的涨落进行判断, 如果液面下降, 说明冷量不足, 反之, 则冷量过剩。

冷量主要由膨胀机产生, 所以产冷量的调节是通过对膨胀机膨胀气量的调节来达到的, 通过调节, 使在各种情况下的冷凝蒸发器液面稳定在规定的范围内。

4.1.2 精馏控制:

(1) 下塔的液面必须稳定, 可由 V1 阀投入自动控制, 保持在规定的高度。

(2) 精馏过程的控制主要由 V2 和 V3 阀控制, V3 开大, 则液氮中的含氧量升高, 关小, 则液氮中的含氧量降低。

(3) 产品气取出量的多少也将影响产品的纯度, 取出量增加纯度下降, 取出量减少, 则纯度升高。

4.1.3 达到规定指标的调节

(1) 把全部仪表调节至设定值。

(2) 用 V3、V2 阀调节下塔顶部氮气的浓度, 中部污液氮的纯度和底部液空纯度, 达到规定值。

(3) 调节上塔产品气的纯度，可先相应变动产品取出量。待纯度达到后再逐步增大取出量，直至达到规定值。

4.1.4 减少产量的方法：

- (1) 减少进入分馏塔的空气量。
- (2) 调整膨胀机膨胀量，减少产量。
- (3) 把产品气取出阀关小。
- (4) 用 V3、V2 阀对纯度作适当调整。
- (5) 经常检查纯度和液面。

4.1.5 液体的排放(参阅阀门状态和仪表检测表)

- (1) 打开液体排放阀必须缓慢。
- (2) 在停车后，准备加温前，一定要以各液体容器和管道排放液体，而且要放尽，在不易放尽的区段应带压排放。

4.2 维护：

这里仅对本装置的主要部机的使用维护作一说明，其中原料空气压缩机，增压空气压缩机，透平膨胀机，空气预冷系统，离心式液体泵、柱塞式液体泵水泵的使用维护详见相应的使用维护说明书。

4.2.1 总的操作管理：

建议设置操作记录表和维护履历本。

(1) 操作记录表每小时记录一次，其内容包括温度、压力、阻力、流量、液位、分析结果等，重要的自动记录仪表上的数据也应记录下来。

每班记录一次分子筛吸附器的阻力。

每班记录一次冷凝蒸发器液氧中的乙炔及碳氢化合物含量。

(2) 维护履历本应记录如下工作进行情况。

每周对所有测量管线吹刷一次，吹刷前应先关掉管线控制器，检查并在必要

时重新校正仪表零位。检查切换装置和控制仪器的功能是否正常。

每月检查空气和气体过滤器，并在必要时进行清洗。

4.2.2 热交换器：

热交换器的维护，主要是注意阻力和温度的变化。异常情况通常是因为冰、干冰和粉末阻塞的缘故。这往往是设备操作不当而引起的，可以通过加温吹除来消除。另外要注意热交换器有无渗漏，这可以通过分析热交换器进出口的组分有否差异进行判断，装置中提供有许多分析点供取样分析。

4.2.3 冷凝蒸发器：

每天需分析冷凝蒸发器和液氧蒸发器中液氧的乙炔含量，并将结果记录于操作记录上。

液氧中乙炔的含量一般低于 0.01PPm，不能超过 0.1PPm。含量过高有发生爆炸的危险，如果乙炔含量过高，就得采取措施，尽可能多地加大排液量，同时需加大膨胀量以保持液面，并对冷凝蒸发器和液氧蒸发器中的液氧不断进行分析。如果乙炔浓度继续上升，并达到 1PPm 应把所有的液体全部排空，并应停车加温和对分子筛吸附器进行再生。还须分析原因。为防止乙炔的局部增浓和二氧化碳的堵塞，冷凝蒸发器和液氧蒸发器板式单元操作液面应控制在 80~120%左右，一定要避免在低液面下长时间运行。若液面过低应立即增加制冷量，使液面上升到规定范围(详见液位简图 3.3)但也不能升得过高。否则会导致液体淹没塔板，造成淹塔。

4.2.4 精馏塔：

在精馏塔上、下设有压差计，可测定精馏过程中的阻力，当第一次起动，调整正常以后所测的阻力应作为运转的依据，当阻力减小时，表明有渗漏或者塔板上液面太低，必须查明原因。

如果阻力增大，这通常由于塔板或填料堵塞造成，这种情况下，则只有通过

加温精馏塔才能消除。

当精馏塔底部液面升得太高，使最下一块塔淹没，就会造成淹塔。此时阻力会显著增大，应排放液体后，重新调整。

4.2.5 分子筛纯化器：

分子筛纯化器的管理，一个重要的方面是“切换装置”管理，这可参看仪控说明书。

每星期需对纯化器检查一次，看再生和冷却期间有否达到规定的温度，切换时间是否符合规定，如有异常，应进行调整。

纯化器使用二年后，要测定分子筛颗粒破碎情况。必要时，要全部取出填料过筛，除去微粒，一定要仔细地吹刷过筛，以清除沉积在上面的微粒和粉末。

要按规定加添或更换分子筛，不得选用未经鉴定的分子筛，并且要确保吸附层达到规定厚度。

4.2.6 阀门

低温阀门和氧气管线上的阀门必须无油和油脂，在维护和修理这些阀门时，要特别注意确保这一点。如果与油或油脂接触，则应进行脱脂处理。

垫片和密封环也应无油和油脂，并必须用适合于氧阀门的不可燃材料制成。

阀门的管理和维护还包括保持阀杆可见表面的清洁和检查阀门的渗漏情况。阀杆的表面要定期涂上一种适合于氧阀门的润滑剂。

关于阀门和专用阀门的详细管理和维护要求，可参阅阀门使用维护说明书。

4.2.7 测量和控制装置：

各种仪表管理和维护必须按照“仪控使用说明书”的规定进行。测量管线应加特别维护，确保没有渗漏，不然，会影响仪表测量准确性，甚至不能工作。同样测量管线的堵塞也是不允许的，应通过加温和吹除加以排除。

4.3 故障及其排除：

这里仅对运行期间可能出现的一些故障加以说明，其它意外故障必须由现场人员根据情况具体、及时予以处理。

4.3.1 供气停止：

信号：空压机报警装置鸣响。

后果：系统压力和精馏塔阻力下降。

产品气体压缩机若继续运转，会造成在精馏塔及有关管道出现负压。

紧急措施：停止产品气体压缩机运转。

把分馏塔产品气放空。

停止液氧泵的运转。

停止增压空压机运转。

停止透平膨胀机运转。

关闭液体排放阀。

停止纯化器再生。

进一步措施：将装置停车。

排除故障方法：按空气压缩机使用维护说明书的规定查明原因，并采取相应的措施。

4.3.2 供电中断：

信号：所有电驱动的机器均停止工作，这些机器上的报警装置鸣响。

后果：系统压力和精馏塔阻力下降。

产品纯度破坏。

紧急措施：停止透平膨胀机及有关机器的运转，并关闭各进、出口阀。

把分馏塔产品气放空。

关闭液体排放阀。

停止纯化器再生。

进一步措施：把全部由电驱动的机器从供电网断开，将装置停车。

排除故障方法：电源故障排除后，电路恢复后视停电时间长短决定分离系统是否须重新加温，按起动程序重新起动。

4.3.3 透平膨胀机故障。

信号：透平膨胀机报警装置鸣响。

后果：转速过高，影响膨胀机正常运行，但转速过低制冷量降低冷凝蒸发器液面下降。产量下降。

紧急措施：调整转速使膨胀机稳定。

减少产品量，检验产品的纯度，必要时减少产品产量或液体排出量或完全停车。

进一步措施：立即排除故障

调整流量、转速和产量到正常值。

排除故障方法：透平膨胀机的常见故障是冰和干冰引起堵塞。这就必须进行加热。至于其它的故障则应按透平膨胀机的使用说明书查明原因，并排除之。

4.3.4 切换装置故障：

信号：切换周期失控。

后果：若分子筛纯化器的切换过程停止进行，势必造成延续时间很长，先是二氧化碳，后是水份进入分馏塔内，造成板式换热器堵塞。

紧急措施：紧急暂停分子筛切换程序。

进一步措施：如果预计排除时间要很长时间，则将装置停车。

排除故障方法：按照仪控说明书规定查明原因。并排除之。

4.3.5 仪表空气中断：

信号：仪表空气压力报警器鸣响。

后果：切换装置失效。

所有气动仪表失效。整个装置调节失控。

紧急措施：把备用仪表空气阀门打开，装置即可恢复运行。

如果不能正常，则将装置停车。

进一步措施：如装置继续运行，即应检验产品纯度，检查分子筛纯化器再生和吹冷程度。如不正常则应作相应调整。

排除故障的方法：故障可能是仪表空气过滤器堵塞，或是阀门和管道的泄漏造成。则应清洗过滤器，消除泄漏。

4.3.6 液氧泵、液氩泵操作故障及排除方法见该机使用维护说明书。

5. 停车和加温：

5.1 停车和重新启动.

5.1.1 正常停车：

参阅：阀门状态和仪表检测附表 5.1.1，正常停车迅速依次按以下步骤进行。

- (1) 停止向用户供产品气。
- (2) 开启产品管线上的放空阀。
- (3) 把仪表空气系统切换到备用仪表空气管线上。
- (4) 开启增压空压机 I 段进出口回流阀及 II 段进出口回流阀，并停增压空压机。
- (5) 停止透平膨胀机。
- (6) 停运液氧泵(OP601 或 OP602)
- (7) 停止原料空气压缩机。
- (8) 停运空冷系统的水泵。
- (9) 停运分子筛纯化器的切换系统。
- (10) 关闭空气和产品管线。打开冷箱内管线上的排气阀(视压力情况而定)。
- (11) 停运液氩泵(AP501 或 AP502)、AP2201A(AP2201B)。

- (12) 如停车时间较长，应排放液体。
- (13) 关闭所有的阀门(不包括上面提到的阀门)。
- (14) 对各装置进行加温。

如停车时间较短，则只按 1-11 步骤进行操作，注意在室外气温低于零度时，停车后需把容器和管道中的水排尽，以免冻结。

注意：低温液体不允许在容器内低液面蒸发，当液体内剩下正常液位的 20% 时，必须全部排放干净。

5.1.2 临时停车

由于各种故障需短时间停车处理，则按 5.1.1 节的第 1-11 步骤执行，并视消除故障时间快慢、决定执行第 12 步，直至第 13 步。一般停车时间大于 24 小时应进行全系统加温再起动。

5.1.3 临时停车后的启动：

装置在临时停车后重新启动时，其操作步骤应从哪一阶段开始应视冷箱内的温度来决定，保冷状态下的冷箱内设备不必进行吹除。

- (1) 起动原料空气压缩机，慢慢加大压力。
- (2) 起动空气预冷系统的水泵。
- (3) 起动分子筛纯化系统，为使另一只纯化器再生彻底，需在空气送入分馏塔前经过一个切换周期。
- (4) 慢慢向分馏塔送气、加压。
- (5) 起动增压空气压缩机。
- (6) 起动和调整透平膨胀机。
- (7) 起动液氧泵(OP601 或 OP602)
- (8) 调整精馏系统。
- (9) 调整产品产量和纯度到规定指标。

表 5.1 阀门状态和仪表检测

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
5.1.1	1	正常停车	停运			
		气体产品				
	2	压缩机	开			
		V103 V105				
	3	仪表空气切换到备用气源	开			
		V2001				
	4	V2003	关			
		增压空压机回流阀	开			
	5	V111 V112	关			
		HS-499	关			
V41		关				
6	V42	关				
	停运液氧泵(OP601 或 OP602)	关				
7	V601(或 V603)	关				
	V602(或 V604)	关				
8	原料空气透平压缩机停运					
	WP1101					
9	(或 WP1102)					
	WP1103					
10	(或 WP1104)					
	关闭水泵进出口阀门					
	分子筛纯化系统切换系统停车					
	V101		关闭			
	V109		关闭			
	V106		关闭			
	V102		关闭			
V103	关闭					
V107	关闭					
V1226	关闭					

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注	
		V1219	关闭			污氮进消声器	
		V1217	关闭			污氮进分子筛	
		V1218	关闭			污氮进电加热器	
		V105	全开			纯氮	
	11	AP501 (或 AP502)				停车	
		V501(或 V503)	关				
		V502(或 V504)	关				
	12	AP2201 (或 AP2201B)				停车	
		V2281A(或 V2281B)	关				
		V2284A(或 V2284B)	关				
		如停车时间过长应执行 5.1.1 的 12.13.14 点					

5.2 分馏塔全面加温：

空分装置经过长期运转，在分馏塔系统的低温容器和管道可能产生冰、干冰或机械粉末的沉积，阻力逐步增大。因此，运转两年后，一般应对分馏塔进行加温解冻以去除这些沉积物。

如果在运转过程中发现热交换器的阻力和精馏塔的阻力增加，以至在产量和纯度上达不到规定指标，这就要提前对分馏塔进行加温解冻。这种情况往往是与操作维护不当有关。

加热气体为经过分子筛纯化器吸附后的干燥空气。加温时，应尽量做到各部分温度缓慢而均匀回升，以免由于温差过大造成应力，损坏设备或管道。加温时所有的测量、分析等检测管线亦必须加温和吹除。上述方法必须严格执行。

5.2.1 阀的加温：

所有低温阀门由于泄漏，会造成冻结，这往往是填料函密封不严所致。对于已经冻结的阀门不能用强力开关，以免损坏阀门。可用热气或蒸汽直接吹阀门的结冰部位，但在使用蒸汽时应注意不要让水分进入填料函。阀门解冻后应找出泄漏部位，并加以消除。

5.2.2 透平膨胀机的加温(参见流程图 5.1)

参阅透平膨胀机加温时的阀门状态和仪表检测附表 5.2。

- (1) 停运透平膨胀机，关闭所有阀门。（注意：密封气和润滑油均应正常提供）
- (2) 全开喷嘴，并打开加温阀，加热紧急切断阀、喷嘴、机壳及出口管道。
- (3) 当所有出口的加温气体温度接近进口温度时，加温结束。
- (4) 关闭加温气体入口阀和其他所有阀门。

5.2.3 精馏塔系统的加温(参见流程图 5.1)

参阅精馏系统加温时的阀门状态和仪表检测附表 5.2。

- (1) 排放所有液体，关闭全部阀门。
- (2) 起动原料空气透平压缩机空气预冷系统的水泵，分子筛纯化器(加热空气量为总的空气量的 30~60%)。
- (3) 按加温流路开启各阀。
- (4) 当各加温气出口的气体温度升至 0℃ 以上时，打开加温管路上的检测管线。
- (5) 当加温气体的进出口温度基本相同时，加温结束。

- (6) 停止原料空气透平压缩机，空气预冷系统的水泵、分子筛纯化器的工作，关闭所有阀门。

5.2.4 分子筛纯化器的吸附和再生

详细说明请参阅分子筛纯化系统说明书和仪控使用说明书，这里只作简要说明。

两只分子筛纯化器的吸附和再生的切换是由专门的切换程序自动进行的，其步骤如下所述。

(1) 再生：

再生气体经加热器加热至规定温度然后进入分子筛纯化器，从下部引出排至大气。

(2) 冷却：

当加温达到要求后，再生气就自动切换至旁通管路上，不经加热器，进入纯化器进行冷吹，待出纯化器的再生气的温度降到规定温度即自动停止。

(3) 升压：

再生后的纯化器在切换以前，所有的进出口阀是关闭的。通过一只均衡阀放入空气，使纯化器的压力逐渐升高，待达到压力时，即自动切换空气流路，进行吸附。

(4) 泄压

这时已经工作过的另一只纯化器的压力，通过一只小阀慢慢降低，然后该纯化器按上述步骤进行再生。

5.2.5 加温气的提供：

本装置的局部加温或全面加温用气都是从原料透平空气压缩机来的空气，它经空气预冷系统并经分子筛纯化器干燥而成。对纯氩塔的加温气源来自下塔启动管线 V201 阀后。

表 5.2 精馏系统加温阀门状态和仪表检测

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注	
5.2.2	1	透平膨胀机的加温:				油泵不能停, 密封气正常提供	
		ET401	停车				
		V41	关				
		V42	关				
	2	V341	全开				
		HS-499	开				
		HV-432					
		V212	开				
		V241	缓缓打开	PI-42	<0.1MPa(G)		
	3	加温吹除检测管线					
			若	TI-41 ≈ 常温	加温结束		
	4	V241	关				
		V212	关				
		HS-499	关				
HV-432		关					
V341		关					
	关闭检测管线						
	ET401 加温结束, 可待使用						
5.2.3	1	分馏塔的加温					
		排放液体					
		V352	开一关			排放主冷液氧	
		V351	开一关			排放下塔液空	
		V355	开一关			排放污液氮	
		V356	开一关			排放 PV3 液空	
		V623	开一关			排放液氧管道液氧	
		V353、V354	开一关			排放液氮	
		V307、V355	开一关			排放液空	
		V611、V612	开一关			排放液氧	
		V757	开一关			排放纯氩塔蒸发器液氩	
		V755	开一关			排放粗氩塔 II 液氩	
		V762	开一关			排放纯氩塔冷凝器液氮	
V754	开一关			排放液氩泵液氩			

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注
		V507 (V508)	开一关			
		V765	开一关			排放粗氩液化器液氮
		V773	开一关			排放液氩回流管液氩
		V775	开一关			排放液空回流管液空
		V776	开一关			排放粗液化器液氩
		V777	开一关			排放纯液氩管道液氩
	2	原料空压机 空气预冷系统 分子筛纯化系统		继续运转		原料空压机放空使排压 ~ 0.5MPa (G)
	3	V1250	开一手调	PI1206	0.012MPa (G)	
		V301 V307	开	FICS-1201	26500m ³ /h 作分子筛再生气源	
		V101	渐开	PI-1	加温主换热器	
		V314 V315	开		~0.5MPa (G)	
		V351	开			
		V353 V355	开			
		V304	开			
		V1	开			
		V2 V3	开			
		V201	开			
		V202	开			
		V302	开			加温过冷器、上塔
		V303	开			
		V26	开			
		V308	开			
		V309	开			
		V105	开			
		V1226	开			
		V107	开			
		V103	开			
		V621	开			加温液氧泵
		V622	开			OP601 (OP602)

项目	点	阀门代号	阀门状态	测量点	测量值	备注		
		V615	开			加温液氩泵 AP501 (AP502)		
		V616	开					
		V505	开					
		V506	开					
		V507	开					
		V508	开					
		V755	开				加温粗氩塔	
		V712	开					
		V775	开					
		V704	开					
		V701	开					
		V764	开					
		V773	开					
		V705	开					加温纯氩塔
		V710	开					
		V711	开					
		V776	开					
		V765	开					
		V757	开					
		V751 (V752)	开					
		V785	开					
		V714	开					
		V762	开					
		V706	开					
		V715	开					
		V707	开					
		V779	开					
		V777	开					
		待出口气露点与进分馏塔空气基本一致时加温结束。 关闭分馏塔所有阀门						
		原料空压机		停止运行				
		空气预冷系统		停止运行				
		分子筛纯化系统		停止运行				

6. 安全规程:

空分装置的使用必须遵守安全规程。操作人员及在空分部门工作的人员都必须事先学习安全规程, 并进行必要的训练。

6.1 空气及空气组份的一般特性:

6.1.1 空气:

空气液化后经精馏可获得所含的各种组份, 如果把液空放在敞口容器中搁置一段时间, 由于更易挥发的氮的逐步汽化, 因而液体中氧的含量将会增加, 液体将逐渐具有液氧的性质。

6.1.2 氧:

氧是一种无色、无嗅、无毒的气体, 有强烈的助燃作用。氧的浓度越高, 燃烧就越剧。空气中的氧含量只要增加 4%, 就会导致燃烧显著加剧。包括金属在内的许多物质在普通大气中不会点燃但在较高浓度氧的情况下, 或在纯氧中便能燃起来。因此, 可燃性物质在较高氧浓度的情况下, 如遇火花极易燃烧, 甚至爆炸。如遇受压氧气和液态氧, 则情况更会加剧。

浸透氧的衣服极易着火(例如由静电荷产生的火花), 并会极其迅速燃烧起来, 如不及时加以驱氧, 则在相当长时间内都会有这种危险。

6.1.3 氮

氮气是一种无色、无嗅、无毒的气体, 但在高浓度的情况下, 人一旦吸入, 引起缺氧, 便会窒息, 这是很危险的, 因为受害者会在事先没有任何不舒服表示的情况下很快失去知觉。

氮能阻止燃烧。因此, 氮气在许多场合是作易燃和易爆物质的保护气, 在空分装置的保冷箱内, 充有氮气, 以排除湿气和防止氧的积聚。氩、氖、氦、氪、氙等稀有气体也具有和氮相似的性质。

6.1.4 液化气体

空气及其组份的液态, 均由于温度很低, 若与人的皮肤接触, 将引起冻伤, 类似严重烧伤。

6.2 安全注意事项:

空分装置的工作区及所有储存, 输送和再处理各类产品气的场所, 都必须注意以下安全事项。

6.2.1 防止火灾和爆炸:

(1) 禁止吸烟和明火:

会产生火苗的工作,如电焊、气焊、砂轮磨刮等,通常禁止在空分生产区进行,如确需进行,则必须采取措施,确保氧浓度不高的场地,并要在专职安全人员的监督下才能进行。

(2) 不得穿着带有铁钉或带有任何钢质件的鞋子,以避免摩擦产生火花。并不能采用易产生静电火花的质料作工作服。

(3) 严格忌油和油脂,所有和氧接触的部位和另件都要绝对无油和油脂,因此要进行脱脂清洗,应该用碳氢氯化物或碳氢氟氯化物,例如全氯乙烯来清洗,一般的三氯乙烯等不适用于铝或铝合金的清洗,因为,这会引发爆炸反应。由于这类清洗剂有毒,在使用时,必须注意通风,皮肤的保护,并戴防毒面具。

(4) 现场人员的衣着必须无油和油脂。即使脂肪质的化妆品也会成为火源。

(5) 装置的工作区内禁止贮放可燃物品。对于装置运行所必需的润滑剂和原材料必须由专人妥为保管。

(6) 要防止氧气的局部增浓。如果发现某些区域已经增浓或有可能增浓,则必须清楚地作出标记,并以强制通风。

人员在进入氧气容器或管道之前,必须用无油空气吹除,并经取样分析确认含量正常才能进入。

(7) 人员应避免在氧气浓度增高的区域停留。如果已经停留则其衣着必被氧气浸透,应立即用空气彻底吹洗置换。

(8) 氧气阀门的启闭要缓慢进行,避免快速操作,特别是对加压氧气必须绝对遵守。

(9) 冷凝蒸发器液氧中的乙炔和碳氢化合物的浓度必须严格控制,详见 2.5 节。

6.2.2 防止窒息引起死亡:

(1) 要防止氮气的局部增浓。如果发现某些区域已经增浓或有可能增浓则必须清楚地作出标记,并加以强制通风。

(2) 严禁人员进入氮气增浓区域。如要进入氮气增浓区域,需先通风置换,经检验分析确认正常以后才能允许进入。并要在安全人员监督下进行。

(3) 人员进入氮气容器或管道前,必须经检验分析确认无氮气增浓,才允许进

入。并要在安全人员监督下进行。

6.2.3 防止冻伤:

(1) 在处理低温液化气体时, 必须穿着必要的防护服, 戴手套, 裤脚不得塞进靴子内, 以防止液体触及皮肤。

(2) 进入空分装置保冷箱内前, 有关的区段必须先加温。

6.3 安全措施:

6.3.1 厂房设计:

空分装置的厂房和附属建筑必须设置适当的通风系统, 尤其在地下室, 地坑和通道等处, 这些地方易造成气体成分的增浓。

在液氧有可能泄漏的地方, 楼板不得复盖任何易燃材料(例如木板, 沥青等)而且必须平滑, 不得有接口和断层。

空分装置和附属建筑区域内的下水道必须设置液封, 要有足够的紧急出口, 并有明显的标记。

6.3.2 防火设备:

为及时扑灭起火, 应该配置足够的灭火设备, 如:

- (1) 特殊的喷淋装置, 只要用手一按或人一起进去便能喷水。
- (2) 配置有足够长度水龙带的消防龙头。
- (3) 配备方便的手提式灭火器。
- (4) 安全可靠的报警系统。
- (5) 在氧气可能增浓场所安置禁止吸烟和禁止明火的醒目警告牌。

6.3.3 防止超压

在受压状态下工作的所有容器和管道, 以及内部压力可能会升高的容器和管道, 必须配备防超压的安全装置(安全阀、防爆膜等)。这些安全装置必须保持良好的工作状态。必要时, 安全阀的起跳压力要定期进行检查。报警系统必须定期进行检查。

6.4 绝热材料的使用.

6.4.1 为使保冷箱内的绝热材料保持良好的绝热性能, 需在保冷箱内充氮以防止湿气的浸入, 要定期检查保冷箱内充氮压力、流量。

6.4.2 为防止保冷箱内因氧气渗漏造成氧气增浓, 而使得绝热材料含氧, 要定期

检查保冷箱内气体组分。如果有氧气增浓现象，应用氮气吹洗，以便氧浓度降至安全范围。

6.4.3 在装填绝热材料时，必须使用特制面罩和手套，防止损害呼吸器官和皮肤。保冷箱装砂口应设置防护栅格以防人员或其他杂物掉入冷箱内，千万别踏入珠光砂堆中，以免陷落，造成生命危险。

6.4.4 珠光砂的排放，必须首先打开主冷箱顶部和板式冷箱顶部的所有人孔。全量通入冷箱密封气进行彻底加温，与此同时，冷箱内的所有设备必须加温至常温。然后，检测冷箱内气体的含氧量，若其含氧量超过 20.95%，则应将整套设备静置等待，直到符合标准。珠光砂的排放必须从冷箱顶部开始，逐渐向下排放。下部人孔（包括珠光砂排放孔）严禁直接打开。珠光砂的排放速度应该缓慢，若有冰块，必从冷箱顶部取出。采取以上措施是为了防止静电和无法估计的物理、化学反应，而损坏设备。