

全低压制氧机原理及计算

西安交通大学 制冷教研室 编
热工教研室

8.17

机械工业出版社



全低压制氧机原理及计算

西安交通大学 制冷教研室 编
热工教研室

机械工业出版社

本书以国内生产的3200标米³/时制氧机为实例介绍了全低压制氧机的工作原理、流程与主要设备的计算。此外,还介绍了国内其它装置的流程和设计数据。

本书可供从事制氧机制造、使用、安装的工人和技术人员参考。

全低压制氧机原理及计算

西安交通大学 制冷教研室 编
热工教研室

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张16¹/₂·插页19·字数489千字

1976年12月北京第一版·1976年12月北京第一次印刷

印数 00,001—13,000·定价1.80元

*

统一书号: 15033·4305

毛 主 席 语 录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

实践的观点是辩证唯物论的认识论之第一的和基本的观点。

前 言

制氧机是用深度冷冻的方法把空气分离成氧、氮及稀有气体的一种设备。氧气顶吹转炉炼钢、高炉富氧鼓吹炼铁及合成氨化肥等生产都需要大量的氧、氮气体。无产阶级文化大革命以来，在“独立自主、自力更生”方针指引下，全国许多单位都在自行设计、制造或改造制氧机。为了满足从事制氧机设计、制造和使用工作的同志的需要，我们以三结合方式编写了此书，供同志们参考。

由于目前大、中型制氧机一般采用全低压流程，所以本书仅介绍全低压制氧机的原理及计算，全书共分八章，第一章作为认识制氧机的入门，介绍全低压制氧机各部分的主要性能、作用及参数，第二章至第七章分别介绍空气分离的基本原理以及制氧机中各主要设备的设计计算。在熟悉各单体设备设计计算的基础上，第八章介绍制氧机的流程计算及参数选择。在内容编排上本书将基本原理、基本概念和各单体设备的计算及制氧流程的计算尽量结合在一起。在题材的选择上，主要围绕 3200 标米³/时 制氧机，使读者对这个装置有一个比较完整的了解。此外本书还搜集了一些其他低压制氧机的流程及设计数据，使读者对全低压制氧机有一个比较全面的认识。

在本书编写和修改过程中得到了开封空分设备厂和杭州制氧机研究所的大力支持，在此表示感谢。

由于我们水平有限，时间亦较仓促，一定会有不少缺点和错误，希读者批评指正。

一九七四年七月

目 录

前言

第一章 全低压制氧机的初步介绍	1
第一节 3200标米 ³ /时制氧机	1
(一) 3200标米 ³ /时制氧机中各系统的介绍	1
(二) 3200标米 ³ /时制氧机的特点	18
第二节 全低压制氧机的启动	18
第三节 其他全低压制氧机的介绍	19
(一) 采用中抽法流程的全低压制氧机	19
(二) 全板式低压流程制氧机	21
(三) 西德10400标米 ³ /时制氧机	25
第二章 空气分离原理和它的热力学基础	28
第一节 气体的热力性质	28
(一) 气体的基本状态参数	28
(二) 理想气体的基本定律——理想气体状态方程	30
(三) 理想气体的混合气体	32
(四) 实际气体及其状态方程	33
(五) 热、功及能量转换	35
(六) 蒸汽	43
第二节 空气的制冷过程和压缩过程	47
(一) 空气的节流	47
(二) 膨胀机的制冷量	52
(三) 压缩机及液氧泵耗功计算	54
第三节 空气分离的基本原理	58
(一) 氧氮混合物的平衡曲线	58
(二) 精馏原理	59
(三) 氧、氮的浓度、产量与加工空气量的关系	62
(四) 混合气体的 $T-y$ 图及其应用	64
第三章 精馏塔	66
第一节 塔板数的计算	68
(一) 理论塔板和塔板上浓度变化规律	68
(二) 三元组份分离时, 理想塔板数的基本计算方法	69
(三) 双级精馏塔中理论塔板数计算的一些具体问题	73
(四) 精馏塔塔板数计算举例	75
(五) 塔板效率和实际塔板数	79
第二节 塔板结构设计	79
(一) 塔板阻力的计算	79
(二) 允许的最小孔速度 w_{OH}	82
(三) 塔板间距	83
(四) 筛板塔结构设计程序及举例	86
(五) 几种国产制氧机空分塔的结构尺寸	88

第四章 热交换器的基本原理	89
第一节 空分装置对热交换器的要求及设计计算任务	89
(一) 空分装置对热交换器的要求	89
(二) 空分装置中热交换器设计计算的任务	91
第二节 热交换器中传热的基本原理	91
(一) 传热系数的求取	91
(二) 放热系数的求取	97
(三) 热交换器的传热计算	113
第三节 热交换器中流动阻力的基本概念	121
(一) 流体流动过程中能量损失的概念	121
(二) 流动阻力的计算	122
第四节 无相变的盘管热交换器计算	126
(一) 传热特性、阻力特性与结构参数的关系	128
(二) 盘管式热交换器的计算程序	130
(三) 盘管式液空过冷器计算举例	133
第五章 冷凝蒸发器	135
第一节 流体发生相变时的放热计算	135
(一) 沸腾放热计算	135
(二) 凝结放热计算	139
第二节 冷凝蒸发器的传热计算	142
第三节 冷凝蒸发器的设计举例	143
第六章 石头蓄冷器	146
第一节 石头蓄冷器的传热及其计算	146
(一) 石头蓄冷器的换热特点	146
(二) 石头蓄冷器传热计算	150
(三) 石头蓄冷器的阻力计算	153
(四) 石头蓄冷器设计计算举例	154
第二节 石头蓄冷器内水分及二氧化碳的自清除	161
(一) 水蒸汽及二氧化碳在空气中析出的规律	161
(二) 空气中水蒸汽及二氧化碳在蓄冷器中的冻结和清除	163
(三) 保证蓄冷器不冻结性的方法及比较	167
第七章 板翅式热交换器	170
第一节 翅片的作用、种类和参数	170
(一) 翅片的作用	170
(二) 翅片的种类	171
(三) 翅片的参数	172
第二节 板翅式热交换器的传热计算	173
(一) 翅片效率与表面效率	173
(二) 传热系数计算	175
(三) 放热系数计算	176
第三节 板翅式热交换器的阻力计算	177
第四节 板翅式热交换器结构设计	177

(一) 翅片的选择	177
(二) 流体的通路形式	179
(三) 流体的分配	180
(四) 封条与封头结构	180
第五节 板翅式热交换器的设计	181
(一) 板翅式热交换器的一般设计计算程序	181
(二) 板翅式过冷器的计算	183
(三) 板翅式切换式热交换器的计算	186
第八章 全低压制氧机流程设计	193
第一节 全低压制氧机流程的设计方法	193
(一) 建立全低压流程应解决的主要问题	193
(二) 设计方法	193
第二节 工艺流程计算	194
(一) 各主要状态参数的计算	194
(二) 装置的物料平衡	195
(三) 装置的总热量平衡, 确定膨胀机制冷量及膨胀空气量	196
(四) 能耗计算	199
(五) 流程计算举例	200
第三节 全低压空分流程设计参数选择	213
(一) 产品的纯度和产量	214
(二) 跑冷损失及其分配	217
(三) 蓄冷器热端温差、冷端温差及中部抽气温度	218
(四) 冷凝蒸发器温差	219
(五) 设备阻力	220
(六) 膨胀后过热度	220
(七) 液氧泵的循环量	221
(八) 膨胀机的效率	221
(九) 切换损失	221
第四节 流程的组织	221
(一) 制冷系统	221
(二) 精馏系统	225
(三) 热交换系统	226
(四) 安全防爆系统	227
(五) 加温系统	227
(六) 压氧系统	228
(七) 仪控系统	229
第五节 变工况分析	230
(一) 进气条件对加工空气量的影响	230
(二) 关于增产和减负荷问题	231
(三) 生产部分液氧的问题	233
第六节 保冷箱内的管路设计	233
(一) 管路设计中的基本问题	233

(二) 热胀冷缩及其补偿	234
(三) 管路配置	237
(四) 阀门的安装	239
附录	241
附1. 几种气体的基本物理化学常数	241
附2. 氧的饱和蒸汽压力	243
附3. 氮的饱和蒸汽压力	244
附4. 氩的饱和蒸汽压力	245
附5. 氧的饱和蒸汽和饱和液体的重度	246
附6. 氮的饱和蒸汽和饱和液体的重度	246
附7. 氩、氖、氦、氪、氙的饱和液体的重度	247
附8. 氧、氮、氩、氖、氦、氪的气化潜热	248
附9. 氧、氩、氮、氖、氦的表面张力	249
附10. 液氮比热	250
附11. 液氧比热	250
附12. 液氧、液氮的导热系数	251
附13. 氧、氮的导热系数	251
附14. 液氧、液氮与液空的粘度	252
附15. 氧、氮、氩与空气的粘度	252
附16. 氮气的压缩系数和压力关系图	253
附17. 绝热材料	253
附18. 单位换算	254

第一章 全低压制氧机的初步介绍

制氧机又称空分装置，其主要任务是把空气分离成氧和氮。空气是多种气体的混合物，它的组成如表 1-1 所示。其中的主要成分是氧和氮，还有少量的其他气体：氩、氖、氦、氪、氙、氢，以及二氧化碳、乙炔和水蒸汽。氩、氖、氦、氪、氙由于它们在空气中的含量很少，被称为稀有气体。空气的各种成分在气体状态下是均匀的混合在一起的，很难把它们分开。如果把空气液化，然后再把它蒸发，由于氧的沸点比氮高，所以低沸点组份氮先蒸发，而液体中的氧量也相对增加了，应用这个方法能逐步的实现空气的分离。空气中的其他气体，其中氩、氮气沸点很低，在空气液化时，它们不液化，氦、氖气沸点较高，随着空气一同液化，但由于它们在空气中的含量极微，对空气的分离影响不大。氙气的含量不算太少，沸点又介于氧、氮之间，对空气的分离影响较大。水分及二氧化碳等杂质在空气液化时，早已凝固了，固态的二氧化碳及水分聚集在制氧机的各处，会影响制氧机运转周期。因此，一个空分流程的组织主要是围绕着空气的冷却、液化、分离和清除二氧化碳及水分来进行的。

表1-1 空气的组成及沸点

名称	分子式	体 积 %	沸点, °K/°C (760毫米汞柱)	名称	分子式	体 积 %	沸点, °K/°C (760毫米汞柱)
氧	O ₂	20.95	90.19/-182.97	氢	H ₂	5×10 ⁻⁵	20.41/-252.75
氮	N ₂	78.09	77.35/-195.81	氙	Xe	0.8×10 ⁻⁵	164.06/-109.1
氩	Ar	0.930	87.46/-185.7	二氧化碳	CO ₂	0.03~0.04	194.96/-72.8(升华)
氖	Ne	1.8×10 ⁻³	27.26/-245.9	乙 炔	C ₂ H ₂	0.01~0.02 P. P. M*	189.56/-83.6(升华)
氪	Kr	5.24×10 ⁻⁴	4.21/-268.95	水蒸汽	H ₂ O	由具体情况决定	273.16/0
氬	Kr	1×10 ⁻⁴	119.96/-151.8	空气	—	100	78.81/-194.35

* P. P. M表示百万分之一，局部地区可超过此值。

目前工业规模的制氧机有高压制氧机，中压制氧机，高低压制氧机和全低压制氧机之分。高压制氧机工艺流程较简单，但由于生产 1 标米³ 氧气所需成本较高，所以只适用于小规模的生产 and 移动式装置。中压制氧机的产量较大些，经济性较高压制氧机好，但需要采用结构复杂的活塞式膨胀机。全低压制氧机由于具有经济性好，安全可靠及运转周期长等优点，所以一般大型制氧机都为全低压的。

下面我们通过对 3200 标米³/时 制氧机的介绍来了解全低压制氧机的一般特点，并在此基础上简单介绍全低压制氧机启动的基本知识及其它类型低压制氧机的特点。

第一节 3200标米³/时制氧机

(一)3200 标米³/时制氧机中各系统的介绍

3200 标米³/时制氧机是我国自行设计和制造的全低压制氧机，其加工空气的能力为 19580 标米³/时，压缩机排气压力为 6.29 公斤/厘米²，每小时能生产纯度为 99.6%的氧气 3200 标米³，

纯度为 99.99% 的氮气 3200 标米³。现在分别按照空气的冷却、液化, 空气的分离和清除空气中的水分, 二氧化碳等杂质这三个系统来进行介绍。

(1) 空气的冷却和液化系统

图 1-1 所示为空气的冷却和液化系统的简图。它主要由离心式空气压缩机 1, 氮水预冷器 2, 蓄冷器 3, 液化器 4, 膨胀机 5 等装置组成。这个系统的主要作用是把空气冷却到液化温度, 产生部分液态空气及生产维持空分装置正常运转所需要的冷量。离心式空气压缩机是制氧机的配套机组, 这里不作介绍, 下面仅把氮水预冷器, 蓄冷器, 液化器和膨胀机的作用及结构介绍一下。

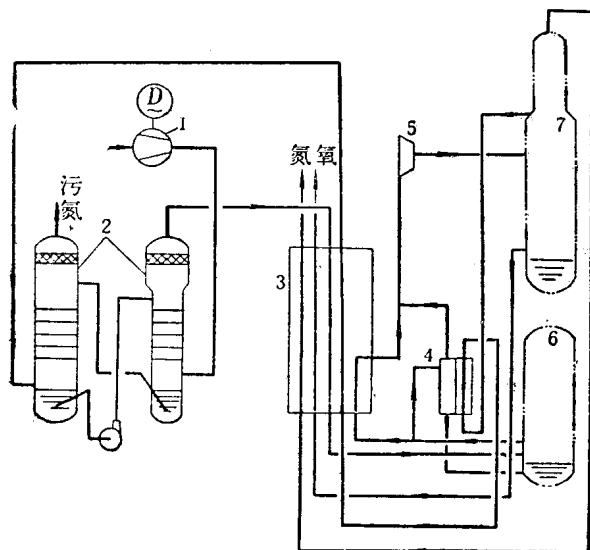


图1-1 冷却和液化系统

1—DA-350-6型离心式空压机; 2—氮水预冷器; 3—蓄冷器; 4—液化器; 5—膨胀机; 6—下塔; 7—上塔
注: 其中上塔和下塔属于精馏系统中的设备

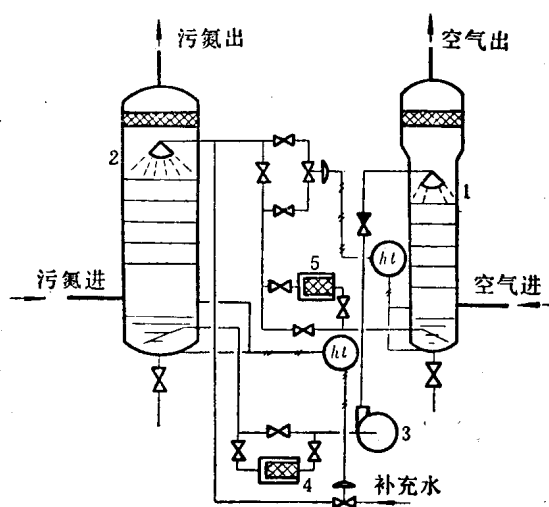


图1-2 氮水预冷器

1—空气冷却塔; 2—水冷却塔; 3—水泵; 4、5—水过滤器;
注: ht为液位控制器

1. 氮水预冷器

空气在离心式压缩机中被压缩到压力为 6.29 公斤/厘米², 温度升高到约 50℃后, 进入氮水预冷器 (见图 1-2)。设置氮水预冷器的目的是为了利用从精馏塔中部来的纯度不高的污氮的冷量, 使空气的温度降低到 30℃以下, 然后进入蓄冷器中。

氮水预冷器包括空气冷却塔 1, 水冷却塔 2, 水泵 3 及水过滤器 4、5, 阀门和仪表等。水冷却塔和空气冷却塔都是淋降式冷却塔, 结构基本相同。塔内装有 5 块筛孔塔板, 筛孔直径为 5 毫米, 孔间距 $t = 9$ 毫米。由于空气冷却塔的压力高于水冷却塔的压力, 因此在空气冷却塔底部的水经过水过滤器 5 过滤掉机械杂质后, 就被压到水冷却塔上部淋降下来, 通过塔板上的筛孔往下流。而温度为 28℃的污氮, 由水冷却塔的下部通过筛孔往上流, 水和污氮相互接触发生热量交换使水温下降, 在这个过程中有一部分水蒸发, 被污氮带走, 水蒸发也要吸收热量, 降低水温, 这样就在塔的底部得到冷却水。冷却了的水经过滤器 4, 过滤掉机械杂质后被水泵送到空气冷却塔的上部, 淋降下来, 而高温的压缩空气由塔的底部进入冷却塔, 经过塔板的筛孔, 鼓泡穿过冷水, 使温度为 50℃的压缩空气冷却到 30℃, 在这个过程中水的温度升高到 45℃, 从塔的底部再被压到水冷却塔, 进行冷却。3200 标米³/时制氧机中每只塔的水喷淋量约为 20 吨/时。

在空气冷却塔的顶部和水冷却塔的顶部都设有金属丝网除雾器，其除水效率较高，可达99%。金属丝网除雾器可以使气体通过，液体雾沫在与网相碰时被捕集下来。除雾器的高度为200毫米。

当空分装置在冬季运转或在我国北方运转时，空气出压缩机的温度并不高，加上压缩机末端冷却器的冷却，空气的温度已在 30°C 以下，所以可以不使用氮水预冷系统。

3200标米³/时制氧机的空气冷却塔和水冷却塔的结构如图1-3和图1-4所示，使用材料主要是A3。

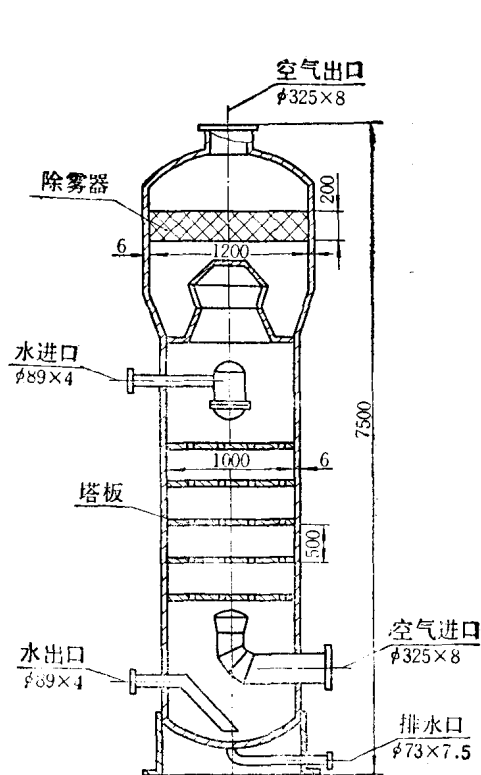


图1-3 空气冷却塔

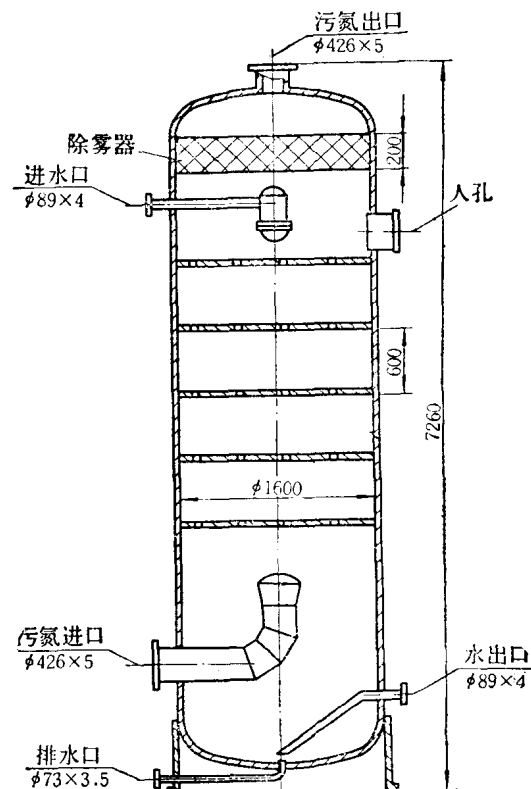


图1-4 水冷却塔

2. 蓄冷器

蓄冷器的作用之一是使空气冷却到接近液化的温度。图1-5所示为蓄冷器的系统图。当阀门3打开，阀门4和1关闭时，空气进入蓄冷器1，从充满在蓄冷器中的温度较低的卵石以及盘管中的纯氧或纯氮那里获得冷量，温度从 30°C 一直降低到 -172°C ，然后经自动阀1出蓄冷器。蓄冷器中卵石的温度由于从空气中得到热量而升高。与此同时若阀2打开，温度为 -175.5°C 的污氮经自动阀2进入蓄冷器2，与卵石进行热交换，把冷量交给卵石。在这过程中污氮本身的温度升高到 28°C ，经阀2排出蓄冷器。经过一定时间后，二只蓄冷器互相切换，阀门3、2关闭，阀门4、1打开，这时空气经阀4进入蓄冷器2，把贮存在卵石上的冷量带走，污氮由自动阀1进入蓄冷器1中，并将冷量贮存在蓄冷器1内的卵石上。如此交替切换，用卵石作为媒介物，把污氮的冷量传给了空气。因此，在一般情况下蓄冷器总是成对使用的。3200标米³/时制氧机设有结构相同的二对石头蓄冷器，其中一对蓄冷器的盘管中通过的是纯氧，另一对蓄冷器的盘管中通过的是纯氮。纯氮由上塔的顶部出来，其温度约为 -194°C ，在蓄冷器中吸收空气的

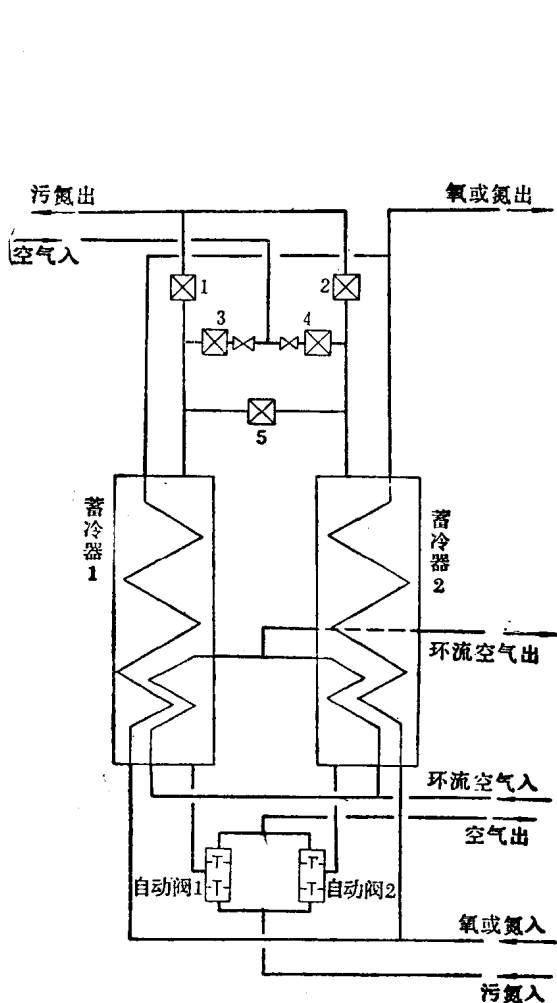


图1-5 蓄冷器系统图

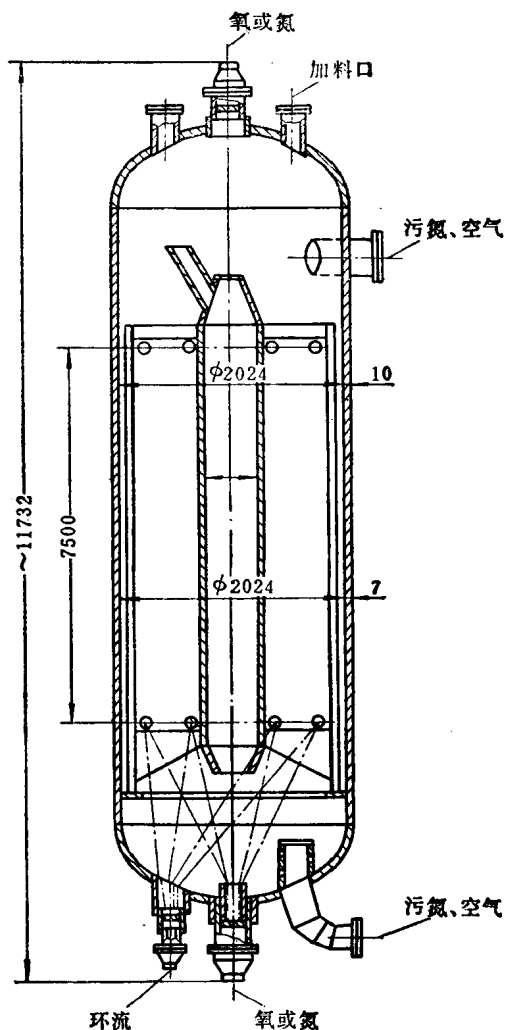


图1-6 蓄冷器结构示意图

图中点划线表示通过氧、氮或环流空气的盘管

热量，温度升高到 24℃后排出蓄冷器。纯氧由上塔的下部出来，其温度约为 -179.5℃，在蓄冷器中吸收空气热量，温度升高到 24℃，然后送到压氧系统，供炼钢等使用。因此，蓄冷器的作用之一是回收污氮、纯氮和纯氧的冷量，由于石头蓄冷器中充满大量的卵石，因此热交换进行得比较完善，冷量回收比较完全。

蓄冷器热端的污氮、纯氧、纯氮出蓄冷器的温度和空气进口的温度之差,称为热端温差。热端温差表示冷量不完全回收损失。冷热气体间的换热量称为热负荷。

还有一股准备进膨胀机的冷空气，它由蓄冷器冷端进入，在蓄冷器中被加热到 -120°C ，再由蓄冷器中部排出，这股空气称为环流空气。环流空气的作用以及蓄冷器清除水分及二氧化碳的作用将在下面专门介绍。

图 1-6 所示为蓄冷器的结构简图，在蓄冷器内氧或氮所通过的盘管是 $\phi 19 \times 1.5$ 的紫铜管，共 138 根，每根紫铜管长约 75 米，分层绕制在 0.6 米的中心管上，共 15 层，每层间有垫条，垫条采用异形钢管 $25 \times 10 \times 1$ ，材质为 A3。环流空气所通过的盘管共 32 根，每根长约

33 米。因为，蓄冷器上部的温度较高，所以其上部筒体(约长 2.5 米)采用的材料为 16Mn + Re, 蓄冷器下部的温度低，采用不锈钢作筒体。筒体内盘管之间装有约 32 吨粒度为 9 ~ 12 毫米的卵石，为了不使卵石及其碎块进入下塔，在空气出蓄冷器的管口上装有孔板和金属丝网。

蓄冷器热端的几个阀门(指图 1-5 中的阀 1, 2, 3, 4)是每隔 7~9 分钟强制切换的。当蓄冷器切换时，每次都有剩余在通道中的空气在切换时随着污氮排出装置，这部份没有参加精馏的空气与压缩机排气量之比，

称为切换损失。为了尽量的减少切换损失，在蓄冷器的热端设置有均压阀 5 (见图 1-5)。

若蓄冷器 1 通空气，蓄冷器 2 通污氮，在切换前，先打开阀 5，使蓄冷器 1 中的空气通过阀 5 流到蓄冷器 2 内，一直到二个蓄冷器的压力相等为止，然后进行切换，使蓄冷器 2 通空气，蓄冷器 1 通污氮。石头蓄冷器的切换损失一般为 4% 左右。在蓄冷器的冷端装有自动阀 1, 2。

其作用原理是：当压力为 6 公斤/厘米² 的高压空气从蓄冷器 1 进入自动阀 1 时，将其上阀片顶开，并压紧下阀片，空气经上阀片流出自动阀 1，与此同时自动阀 2 的上阀片也被空气压紧，所以压力为 1.26 公斤/厘米² 的低压污氮只能顶开自动阀 2 的下阀片，进入蓄冷器 2。在阀强制切换后，高压

空气从蓄冷器 2 流入自动阀 2，并将其上阀片顶开，这时自动阀 2 的下阀片和自动阀 1 的上阀片在空气压力的作用下被压紧，低压污氮只能顶开自动阀 1 的下阀片流入蓄冷器 1。自动阀的结构如图 1-7 所示，在阀内设有 4 只上阀片，7 只下阀片，阀片的材料为硬铝 LY11。由于阀片经常切换，易磨损而漏气，因此，在阀体上设有检修用的人孔。

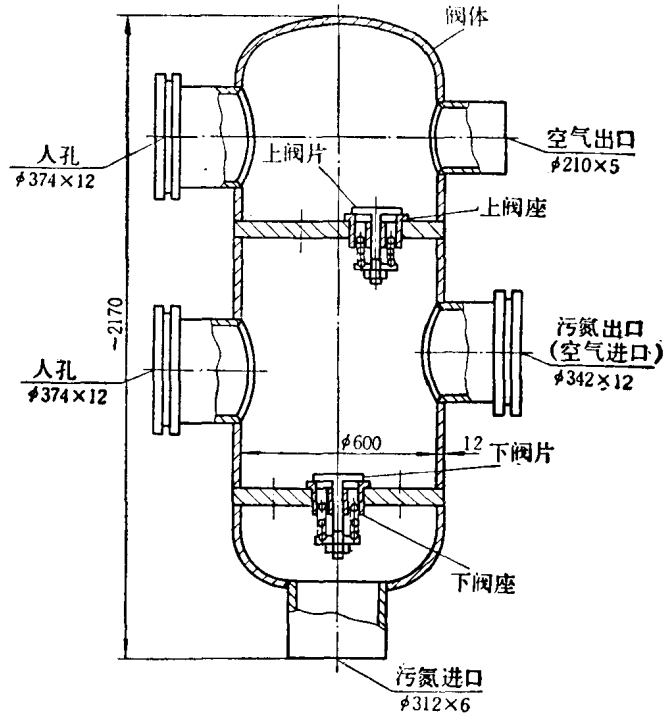


图1-7 自动阀的结构示意图

3. 液化器

液化器的主要作用是使上塔中部来的 -180.2°C 的低温污氮与下塔来的饱和空气进行热交换，使空气液化。在这个过程中，液态空气流回下塔，而污氮的温度升高到 -175.5°C ，进入蓄冷器中。此外，液化器还有如下作用：

a. 保持蓄冷器工作的稳定：蓄冷器工作的稳定性对整个空分装置的工作稳定性有较大的影响。若能保持污氮进蓄冷器的温度(即污氮出液化器的温度)恒定或变化较小，蓄冷器的工作就较稳定。由于当进入液化器的污氮温度发生变化时，空气的液化量会自动的进行调节，所以能使液化器出口污氮温度变化很小，达到保证蓄冷器稳定工作的目的。

b. 液化器在制氧机的启动过程中起着积累和生产液空的作用。

图 1-8 所示为板翅式液化器的基本结构，当空气和污氮通过板束 b) 时进行热交换。板束由通道组成。一层通道的结构如图 c)。液相侧通道为平直形翅片，其参数为：高度 $H = 4.7$

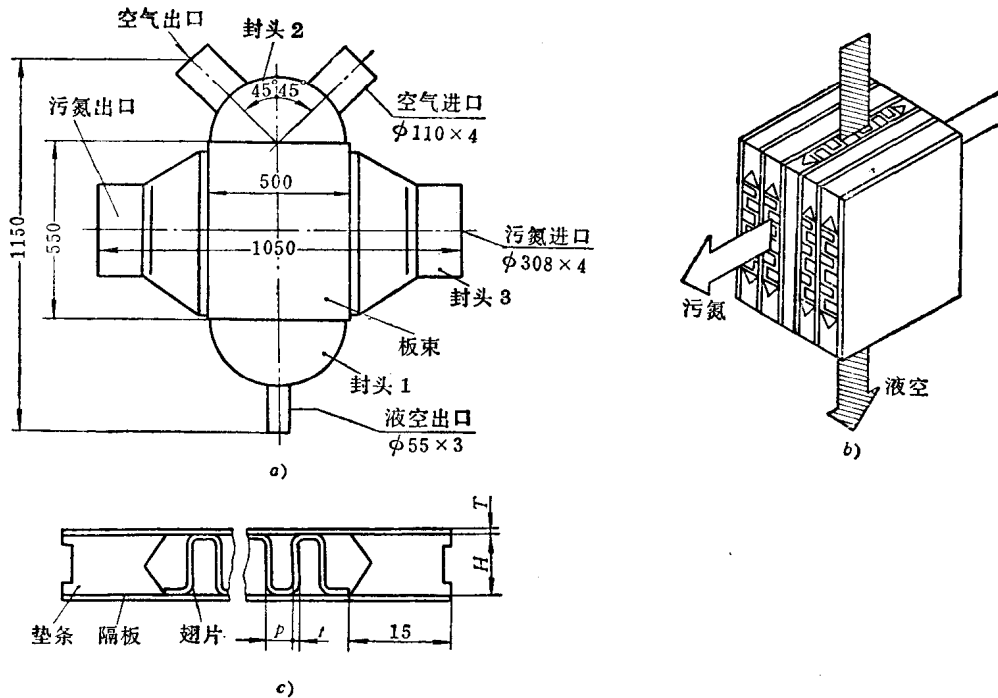


图1-8 板式式液化器

a) 外形图; b) 板束结构图; c) 一层通道的结构

毫米, 厚度 $t = 0.2$ 毫米, 节距 $p = 2$ 毫米, 气相侧通道为锯齿形翅片, 其参数为: 高度 $H = 9.5$ 毫米, 厚度 $t = 0.2$ 毫米, 节距 $p = 1.7$ 毫米。隔板厚度 $T = 1$ 毫米。翅片材料为铝锰合金 LF21; 垫条材料为 LF21; 封头材料为铝镁合金 LF2; 隔板为双面复合铝钣, 其基体材料为 LF21, 包覆层为铝硅合金。

4. 透平膨胀机

我们已经知道, 空分装置启动时, 需要一定的冷量, 把设备冷却, 并将空气冷却到液化温度。空分装置在正常运转时, 可以回收分离产品的冷量, 但是由于蓄冷器的热端有温差, 冷量不能全部回收, 有一个冷量不完全回收的损失, 以及空分装置处于低温状态下工作时, 虽然有保温层, 但不可避免的仍不断有热量传进空分装置, 造成冷量损失, 这部分冷量损失称为跑冷损失。在空分装置中每加工 1 标米³ 空气的跑冷损失称为装置的冷损。3200 标米³/时制氧机的冷损为 1.5 大卡/标米³ 加工空气, 一般用符号 $q_{\text{总}}$ 表示。空分装置正常运行时, 由于冷损及冷量不完全回收损失的存在, 所以还要产生一部分冷量, 补充冷量的损失。透平膨胀机是全低压空分装置中产生冷量的主要设备。在 3200 标米³/时制氧机中, 86.7% 的冷量由膨胀机产生。其余的冷量由节流产生。进膨胀机的气流是二股汇合而成的, 其中一股是通过石头蓄冷器的环流空气, 温度为 -120°C ; 另一股是由液化器来的 -173°C 的空气, 二股气流混合后的温度为 -144.5°C , 压力为 5.94 公斤/厘米², 气量为 4030 标米³/时。进入到膨胀机中的空气, 在膨胀机中膨胀并对外做功, 空气的温度降低到 -180.85°C , 压力也降低到 1.35 公斤/厘米²。膨胀后的空气进入上塔中部。

图 1-9 为 3200 标米³/时制氧机的膨胀机的结构示意图, 图 1-10, 1-11, 1-12 分别为膨

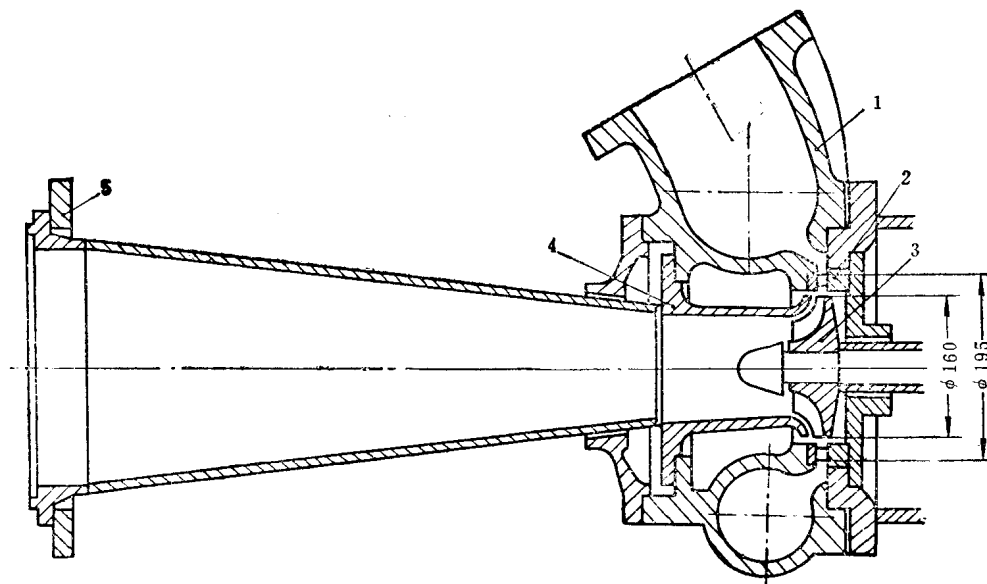


图1-9 径流向心式透平膨胀机示意图

1—蜗壳；2—导流器；3—工作轮；4—扩压室；5—出口管

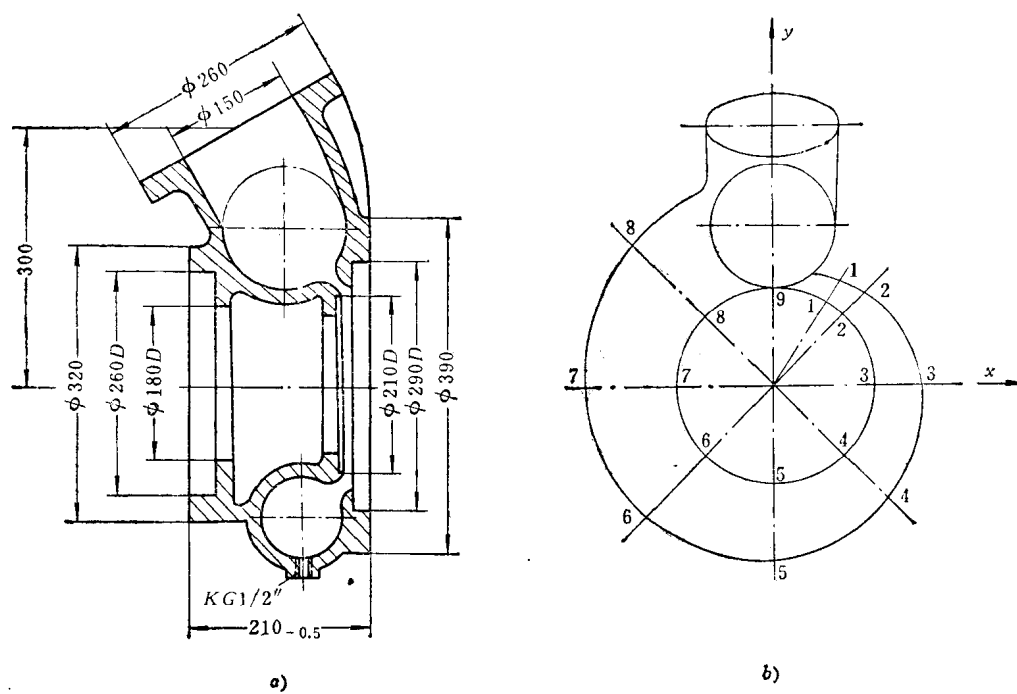


图1-10 蜗壳

a) 蜗壳结构图；b) 流道图

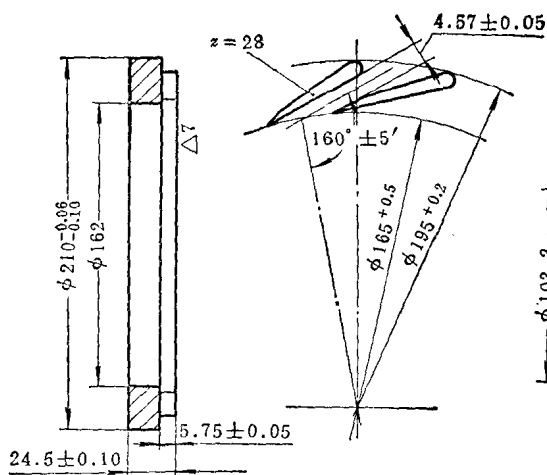


图1-11 导流器叶型图

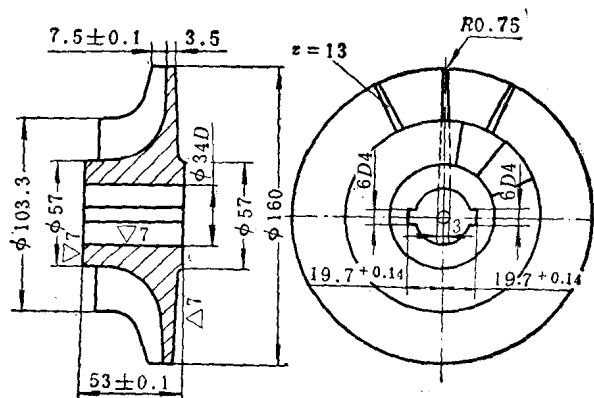


图1-12 工作轮

胀机的蜗壳、导流器叶型和工作轮。空气进入蜗壳1后被均匀的分配在导流器2中，在导流器中气体被膨胀，压力降低并且具有很高的速度（约200米/秒）。高速的空气冲进工作轮3，推动工作轮旋转，气体进一步被膨胀，压力进一步降低，气流的速度逐渐降低，旋转的工作轮可以带动风机或电机对外做功。由于膨胀机对外做了功，必然减少了气体本身的能量，这就使气体本身的温度降低了。

膨胀机的旋转速度很高，3200标米³/时制氧机的膨胀机其转速为23190转/分，如果被膨胀的空气中微小的颗粒或者膨胀以后出现液滴，就会损坏膨胀机的工作叶轮和导流器，因此，在膨胀机前有设置空气过滤器，进一步过滤掉可能留在空气中的微小颗粒杂质；并不允许膨胀以后的空气温度降低到出现液空。3200标米³/时制氧机中膨胀机后的压力为1.35公斤/厘米²，在此压力下空气的液化温度为-188.85℃，由于膨胀机的出口温度为-180.85℃，比液化温度高8℃，因此能保证不出现液滴，这8℃称为膨胀过热度。为了使膨胀后的空气具有一定的过热度，就要将膨胀机进口的温度控制在一个确定的值，所以要用环流后温度较高的空气与下塔来的一部分低温空气（经液化器的上封头）混合后进膨胀机。

膨胀机工作时，是对外做功的，因此，可以带动电机或风机转动，这称为膨胀机的制动方式。3200标米³/时制氧机的透平膨胀机的制动方式是风机制动，也就是在透平膨胀机轴的另一端再安上一个鼓风机，由透平膨胀机直接拖动制动风机，风机鼓出的空气放空。这种制动方式比较简单，不需要复杂和精密的减速齿轮箱，而且膨胀机的转速可以调节，比较灵活、机动，缺点是膨胀机所做的功不能回收，以及风机在高转速下工作，排出空气时会产生很大的噪音，所以在风机出口处需安装消音器。

膨胀机所产生的冷量大小，主要决定于进膨胀机的空气量、膨胀机前空气的压力及温度、膨胀机后的压力及温度。为了使膨胀机生产的冷量能够进行调节，以适应制氧机对冷量需要的变化，3200标米³/时制氧机设置了结构基本相同，加工空气量分别为4000标米³/时，4500标米³/时，5000标米³/时的三台膨胀机。这些膨胀机除可以调节转速外，还在膨胀机前装有阀门，可以调节进膨胀机的空气压力与流量。当空分装置启动时，冷量需要特别大，则三台膨胀机同时使用。正常运转时，视需要冷量的大小选开三台中的一台。