

· 专题综述 ·

小型空分设备及其部机的现状*

杭州制氧机研究所 徐建平

介绍变压吸附、薄膜分离、低温精馏三种小型空分设备的国内外情况，侧重综述了低温精馏法小型空分设备国外目前的特点和国内两种流程的特点，以及七个部机的改进情况。图2参10。

目前国内外用来生产少量氧气和氮气的方法有如下几种：1. 吸附分离法；2. 薄膜分离法；3. 低温精馏法。

现将国内外这三方面技术的空分设备产品现状综述如下：

一、变压吸附设备

变压吸附空气分离设备，国外70年代起就有应用。到目前，美国、日本、法国、联邦德国的一些大公司都能制造变压吸附分子筛制氧、制氮设备或碳分子筛制氮设备，又叫PSA设备。我国引进过许多这一类设备，据不完全统计有几十台。如：北京燕山石化总公司向阳化工厂1985年引进了一台PSA-595型分子筛制氮设备，产量 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ 、氮纯度99.9995%，输出压力 $8\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，是从美国KEMP公司进口的，费用为40万美元。

国内空分设备行业，从80年代初研制出变压吸附分离设备以来，目前研制出并形成产品的有：

四川空分设备厂研制成功的 $50\text{Nm}^3/\text{h}$ 变压吸附制氧设备，产量 $50\text{Nm}^3/\text{h}$ ，纯度为90%，工作压力 $1.6\sim 2.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，空气量 $638.4\text{Nm}^3/\text{h}$ ，提取率达36%，电耗 $1\text{kWh}/\text{m}^3$ 。该设备采用的是三塔变压吸附形式，每塔充填1t多5A分子筛，该机在1987年7月4日通过鉴定。

江苏吴县制氧机厂1985年研制出2ZY-2型和8ZY-84型变压吸附制氧设备（即 $2\text{Nm}^3/\text{h}$ 和 $8\text{Nm}^3/\text{h}$ ），其中 $8\text{Nm}^3/\text{h}$ 制氧设备的技术参数为：产量 $7\sim 8\text{Nm}^3/\text{h}$ ，纯度90~92%，工作压力 $2\sim 2.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，电耗 $1.627\text{kWh}/\text{Nm}^3$ ，它采用四塔12步吸附程序。该厂目前在研制碳分子筛制氮设备。

变压吸附设备较之于低温法具有占地面积小，纯度、产量变化大，启动快，自动化程度高等特点。

国内研制变压吸附气体分离设备的单位还有：上海化工研究院的碳分子筛制氮设备；湖南湘潭化工研究所的分子筛制氮设备；浙江瑞安仪表三厂的碳分子筛制氮机；四川纳溪西南化工研究院的分子筛变压吸附制氢、制氮设备。

二、膜分离设备

气体膜分离技术国外主要以美国的孟山都和陶氏化学公司为主，推出了不少的新产品。美国孟山都公司1977年首次推出这种装置，到1985年已先后建造了390套膜分离设备，其中60%销往国外。日本等国也推出过各自的产品。

这种气体膜分离设备利用各种气体通过薄膜渗透率的不同，将气体加以分离。目前主要用于石油、化学品的净化，天然气提纯，

* 本文为机械工业空分设备科技情报网小空分网第二次年会暨制氧技术交流会（1987年8月5日至8日，长春）的发言材料，刊出前作者作了补充整理。

空气分离, 尾气提氢等领域。

美国陶氏化学公司推出一种命名为 GENERON 型薄膜的富氮装置^[1], 它采用聚烯烃为主体的超细中空纤维所组成的渗透膜, 并装嵌成直径为 23cm、长约 91cm 的圆柱形便携式模件。每个模件的主要技术参数为:

加工空气量	36Nm ³ /h
加工空气压力	6.3kgf/cm ²
氮气产量	8.5Nm ³ /h
氮气纯度	95%
氮气输出压力	6.0kgf/cm ²

模件可以组合, 如 10 个模件组成的装置, 每小时可产氮气 85m³, 设备长、宽、高仅 1.5m, 另外再配一台空压机即可。现在一台具有 5 根模件的装置(包括相应的空压机和冷却器), 国内进口整套设备包括海关税在内约 9 万美元。包括动力消耗, 折旧费和工资, 每生产 1 m³氮气的成本只有 0.23 元人民币。

膜法分离设备在国外正作为一种新型的气体分离设备, 逐步在占领小型气体分离设备的市场, 尤其在纯度要求不高、启动要求快、占地面积小、结构紧凑、易损件少等方面显示了其优势。但目前其能耗还是较高的。

国内在膜分离设备研究方面, 有中科院大连化学物理所研制成功的制氢、制富氧设备。薄膜研制的有上海吴泾化工厂, 但由于起步晚和膜的技术水平还未完全过关, 故还未形成工业产品。但预计今后的几年中将有很大的进展。

三、低温精馏分离设备

低温精馏法的空分设备, 具有量大、连续稳定、能耗低、技术成熟等特点, 因此目前大量生产还是低温精馏法的空分设备。

国外小型空分设备产品从 50 年代到 80 年代, 从基本流程和原理上无多大变化, 但其各个部机及整套设备都已更新换代了, 这方

面的产品有联邦德国林德公司的 GOX、LOX 型空分设备^[2]; 日本日立的 TOM 型空分设备^[3]。

国外小型空分设备有下列一些特点:

1. 操作压力下降。一般为中压 (10~30kgf/cm²), 即使是液体设备也采用中压设备另配外循环液化系统。

2. 普遍采用分子筛吸附器纯化空气。大多数采用分子筛单层床, 也有用硅胶 + 活性氧化铝或分子筛 + 活性氧化铝双层床; 采用氟里昂预冷的较普遍。

3. 压缩机大多数采用无润滑空气压缩机。联邦德国林德公司虽然采用喷油螺杆式压缩机, 但后继除油措施相当严格。

4. 普遍采用透平膨胀机制冷, 取代活塞式膨胀机。

5. 设备以铝代铜, 热交换器及塔器均用铝结构。

6. 适应能力增强。一台设备可以在多种工况下运行, 大多数设备既能生产气态产品也能生产液态产品, 并采用自动控制措施; 纯度普遍提高, 一般氧 99.5%, 氮含 5ppmO₂。

7. 采用集装箱形式, 将一套小型制氧机分置于 2~3 个集装箱内, 便于安装、移动。

8. 产品带压输出, 采用液氧泵压缩后气化, 保证了产品气的质量。

9. 自动化程度高, 有的已达到启动后整天无人操作。

10. 可动的部机、部件均采用通用性能高的机种、配件, 标准化程度高的零部件, 确保可靠性。

国内小型空分设备(围绕 50、150Nm³/h 空分设备而论), 目前主要的工艺流程有两种: 第一种是正流气膨胀流程(克劳特循环), 如: 杭氧厂的 150Nm³/h (KFS-860-II、III 型、KZON-150/600 型)、吴县制氧机厂的

150Nm³/h、邯郸制氧机厂的50Nm³/h (KZON-50/120型)等的空分设备属于这一类,第二种是返流气膨胀流程(拉鲁日循环),如:哈尔滨制氧机厂的50Nm³/h制氧机(KZO-50、KZON-50/120型)、四川空分设备厂的30Nm³/h氧、150Nm³/h氮和3Nm³/h氩设备(KZON-30/150型)属于这一类。两种流程示意图见图1、图2。

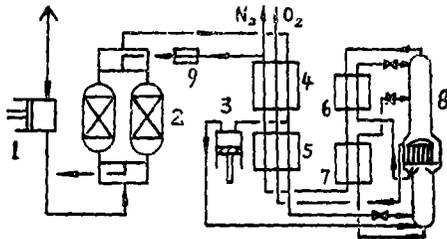


图1 正流气膨胀循环空分设备

1. 活塞式压缩机 2. 分子筛纯化器 3. 膨胀机
- 4、5. 第Ⅰ、Ⅱ热交换器 6. 液氮过冷器 7. 液空过冷器 8. 精馏塔 9. 加热器

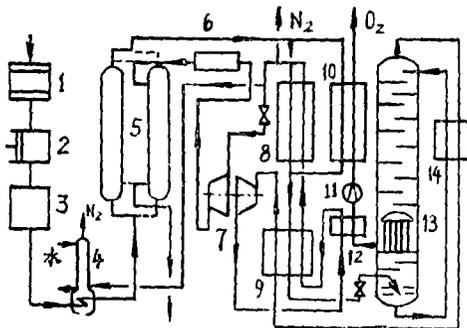


图2 返流气膨胀循环空分设备

1. 空气过滤器 2. 空气压缩机 3. 冷却器
4. 氮水预冷器 5. 纯化器 6. 加热器 7. 透平膨胀机 8、9. 第Ⅰ、第Ⅱ热交换器 10. 高压热交换器 11. 液氧泵 12. 液氧过冷器
13. 精馏塔 14. 液空过冷器

应当说:两种流程各有自己的特点,从能量平衡的角度来说,没有绝对的谁先进谁落后之分。正流气膨胀循环的特点是:工作压力较高(一般在25kgf/cm²),气流量较小,冷量足产液量大;返流气膨胀循环的特点是:工作压力较低(一般在20kgf/cm²以下),相应的加工空气流量大,产液量较小。

但由于其压力较低,相应的制造简单一些,各种部机较之于正流气膨胀循环更能适应新技术的发展,如板翅式换热器、透平膨胀机等的应用。从这种意义上来说,返流气循环的流程较为先进。

国内小型空分设备几十年来发展比较缓慢,整套的更新还很少,技术性能指标也不高。但在各个部机的发展上也取得了一定的进步,主要表现在以下几个方面:

1. 空气压缩机改用无油润滑

空气压缩机是空分设备的主要部机之一,空分设备行业制造的空压机有^[4]:

(1) 配50Nm³/h空分设备的有:

邯郸制氧机厂和吴县制氧机厂制造的L2-5.55/40、L型二列三级活塞式空气压缩机,配KFS-300型空分设备;

四川空分设备厂制造的L4-5.5/40型空压机,配KZON-50/100型空分设备;

哈尔滨制氧机厂制造的1-5/50型空压机,配KFS-300型空分设备。

无润滑的空压机有:

哈尔滨制氧机厂制造的L3.5-9.4/14型空压机,配KZO-50型空分设备;

哈尔滨制氧机厂和邯郸制氧机厂制造的L3.5-8.6/16型空压机,配KZON-50/120型空分设备。

(2) 配150Nm³/h空分设备的有:

吴县制氧机厂制造的L型5L-16/50型空压机,配KFS-860=II型空分设备;

杭州制氧机厂制造的2D8-17/45型卧式对称平衡型无润滑空压机,配KZON-150/600-3型空分设备。

目前正在运行的小型空分设备配套的空压机,很大一部分是由国内压缩机制造行业的专业厂生产制造的。如:沈阳气体压缩机厂、江西气体压缩机厂、柳州空气压缩机厂等等。

有油润滑的空压机虽然在机器的等温效

率上较无润滑空压机有一定的优势,但由于空气中带油,容易造成纯化器内的分子筛油中毒,影响空分设备的运转周期。同时,有油润滑的空压机在运行中容易造成积炭、烧缸等不安全事故,因此行业中建议推广应用无润滑空气压缩机。除了在新设备上及时考虑采用无润滑压缩机,建议在技术改造时积极采用新技术,将油润滑改为无润滑压缩机。这方面改造成功的例子有:

湖南益阳橡胶机械厂在 $150\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分设备配套的 5L-16/50 型空压机上改铸铁活塞环为尼龙 6 活塞环^[6],改造后空压机各级出口温度与改造前相比,相对降低 10°C ;同时,减少了每年一次的对空分塔的清洗,并可以节约气缸油 2520kg,每年可取得实际效益 4700 元,而实际改造过程仅需 400 元。

宁波炼钢厂制氧站也在 5L-16/50 空压机上采用尼龙环,代替铸铁件活塞环,取得了显著的效益^[6]。现在尼龙环一级可用一年、二级 6~9 个月、三级 6 个月。改造后每年可节油 1.6~4.0 t,并提高分子筛寿命 1 倍以上,实际改造的材料费仅 460 元。

2. 采用氟里昂预冷系统

采用预冷来降低进分子筛吸附器的空气温度,可取得两方面的效果:(1)降低空气温度,可增大分子筛的吸附容量。试验已表明,分子筛吸附空气中水份、二氧化碳最佳吸附温度为 $4\sim 8^\circ\text{C}$,而实际空气进吸附器温度一般在 30°C 左右,南方地区夏天气温高,进气温度达 $40\sim 50^\circ\text{C}$,造成吸附容量减小,吸附周期缩短,从而影响空分设备的运转;(2)获得高温冷量较获取低温冷量容易,虽然增加预冷系统也要增加冷量与电耗,但分馏塔工况稳定,可增产氮气,带氩也有利。比较之,经济上还是合算的^[6]。

目前配 $150\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分设备的氟里昂空气预冷器为 UF-960/55 型,制冷量要求为 $9000\text{kcal}/\text{h}$ 左右,电机功率 5.5kW ;配

$50\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分设备的空气预冷器型号为 UF-425/13 和 UF-380/40 两种,冷冻机制冷量为 $3000\text{kcal}/\text{h}$ 左右,电机功率为 3kW 和 4kW 。吴县制氧机厂有产品。

江苏省丹阳钢铁厂制氧车间采用氟里昂预冷器取得了良好的效果^[7]。分馏塔原运行周期只有 15~20 天(夏季),电耗高达 $1.8\sim 1.83\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{O}_2$ (年平均在 $1.75\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{O}_2$)。采用预冷后,单位电耗月平均降低到 $1.5\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{O}_2$,全年可节电约 20 万度。宁波炼钢厂制氧站也在纯化器前增加氟里昂预冷机组,运行表明经济合算,一年可获利 14.9 万元^[6]。

3. 分子筛纯化器净化空气的改进

采用分子筛纯化器净化空气,国内已普遍使用,通过十几年的科研和技术革新,目前分子筛纯化器有不同的改进:

(1) 采用 13X 分子筛取代 5A 分子筛,从而提高了分子筛的吸附容量;

(2) 采用预冷系统,增大分子筛吸附容量;

(3) 采用 5A 分子筛+硅胶或者 13X+活性氧化铝的双层床结构。其原理是:充分利用硅胶或活性氧化铝吸附空气中水份的性能优于分子筛的特点,先去除空气中大部份水份,然后再进分子筛去除痕量水份和二氧化碳等杂质。这样可使纯化空气的程度提高,延长空分设备的运转周期,同时能耗可降低 50% 以上。据杭氧所在浙江兰溪化肥厂 $150\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分设备试验表明^[8],采用双层床吸附以后,使得纯化后空气干燥度露点从 -60°C 降到 -66°C ,净化后 CO_2 含量从 $<5\text{ppm}$ 降到 $<3\text{ppm}$,再生温度从 300°C 降低到 220°C ,电耗费用从 8988 元/年下降到 3400 元/年。从单层床改双层床,吸附器结构上一般不用改造,只需改变吸附剂。充填吸附剂时有的中间用筛板隔开,也有两层之间不加以隔开^[6]。

(4) 再生方式。最近杭氧所的“长周期两步再生法”通过了技术鉴定。青岛氧气厂150Nm³/h空分设备首先采用该方法,纯化器的每只吸附筒内装X- ρ 型活性氧化铝12.5kg, KDH-13X分子筛 $\phi 3\sim 4$ 球形680kg, $\phi 1.6$ mm条形165kg。工作周期为24h,再生时,先用常温氮气吹扫解吸约2~3.3h,然后加温再生,后再用氮气吹冷,平均日耗电量<100kWh。利用该再生方法在50Nm³/h空分设备上也试验成功,工作周期24h,日耗电量31~38kWh。采用长周期的纯化工艺,可减少切换次数,增加氧产量,对带氩塔的设备尤为重要。该试验包括采用新型分子筛和新型容器结构在内的综合节能效果,可降低再生能耗2/3左右。按150Nm³/h空分设备常年运转计,每年可节电6万余度。长周期两步再生法,需要对原纯化器吸附筒进行改大、改长的加工,运用新的操作方法,达到24小时切换一次的目的,如不改变纯化器结构,仅改新的吸附剂和采用新的操作方法,也可延长切换周期,但达不到24h。

4. 采用铝结构的空分设备

采用铝制板翅式换热器替代原绕管式的铜换热器,在传热效果相同的情况下,取得了结构紧凑、制造成本低、冷损小等的益处。目前哈尔滨制氧机厂、四川空分设备厂制造的小型空分设备不少采用了铝制板翅式换热器,随之带来管道等设备也采用铝材。

精馏塔,现在小空分设备大多数还是采用环流形式,无论是单塔、双塔,结构上无多大变化。为了适应大流量的要求,四川空分设备厂在小型空分设备也采用了中、大型空分塔所采用的对流筛板塔,其特点是:传热传质强度大、塔径小,如KZON-30/150型空分设备的精馏塔就是这种结构,目前在湖北江汉钻头厂使用。

5. 采用透平膨胀机取代活塞式膨胀机

气体轴承透平膨胀机从1981年江西制氧机厂和西安交通大学研制出配150Nm³/h空分设备的第一台PLK-8.33/20-6型透平膨胀机后,到目前为止,已在150Nm³/h空分设备上应用的有300多台^[9]。据估计,全国有150Nm³/h空分设备上千台,那么用透平膨胀机的制氧机占了1/4~1/3左右。

自江西制氧机厂研制成功透平膨胀机后,江苏吴县制氧机厂也研制成功同类型的气体轴承透平膨胀机,两者仅在气体轴承的结构上有所不同。四川空分设备厂、哈尔滨制氧机厂也研制出用于返流气膨胀的气体轴承透平膨胀机。

配150Nm³/h空分设备的PLK-8.33/20-6型静压气体轴承透平膨胀机可直接取代PZK-14.3/40-6型活塞式膨胀机,具有重量轻、体积小、效率高及连续运转周期长等特点,与活塞式膨胀机相比,零部件减少1026件,重量减轻75倍(仅21kg),体积缩小84倍,而绝热效率提高5~15%。据普遍反应,操作压力平均可降低4~5kgf/cm²,每年可节电13.9万度,其技术参数为:

气量	500Nm ³ /h
进口压力	20kgf/cm ²
进口温度	-100℃
出口压力	6kgf/cm ²
绝热效率	>65%
轴承气供压力	6kgf/cm ²
转速	107000r/min
轴承气供耗量	15~17Nm ³ /h
重量	~21kg
外形尺寸	200×260×435mm

配50Nm³/h空分设备用的透平膨胀机有两种:一种是返流气膨胀循环上用的气体轴承透平膨胀机,其特点是:从4~6kgf/cm²膨胀到0.4kgf/cm²,状态点体积流量较大。如:哈尔滨制氧机厂KZO=50型空分设备上用的透平膨胀机。

另一种是邯郸制氧机厂和中国科学院低温中心研制成功的适用于正流膨胀流程用的动压气体轴承透平膨胀机,它的特点是无需外部提供轴承气,具有耗气量小,绝热效率高、起动容易、运转稳定、适应性强等特点。PLZK-2.53/18-6型动压气体轴承透平膨胀机的技术参数为:

气 量	152Nm ³ /h
进气压力	18kgf/cm ²
排气压力	6kgf/cm ²
转 速	18 × 10 ⁴ r/min
绝热效率	65%
制动功率	1.2kW

这种透平膨胀机也可直接取代原50Nm³/h空分设备配套的PZK-5/40-6型活塞式膨胀机。

6. 氧气压缩机改无润滑式

氧气压缩机主要由空分设备行业生产,外系统配套较少。配50Nm³/h、150Nm³/h空分设备的氧压机,主要是充瓶用,即150kgf/cm²级氧,其主要产品有^[1]:

四川空分设备厂配50Nm³/h的3Z3-1.67/150型三列、三级活塞式氧压机;

哈尔滨制氧机厂配50Nm³/h的2-1.67/150型三列、三级活塞式氧压机;

杭州制氧机厂配KZON-150/600型空分设备的3Z3.5-1.67/150型氧压机;

吴县制氧机厂配150Nm³/h空分设备的2-2.833/150型氧压机。

近年来行业推出的无润滑氧压机有:

杭州制氧机厂制造的2Z2-3/165型无润滑高压氧压机,立式、双列、五级、气量180Nm³/h,终压165kgf/cm²,冷却后气体温度≤40℃,冷却水耗量7t/h,配用电动机Y250M-4,55kW,设有5个点的压力、温度、声光报警或停车联锁控制点。

邯郸制氧机厂制造的2Z2.7-1.1/150二列四级无润滑氧压机,气量60Nm³/h,终压

150kgf/cm²。经几年的运转,表明产品质量是稳定的。

根据国家标准GB3863-83的要求,氧气要达到一级品必须是无水的,因此要使氧气质量达到一级品要求,显然目前采用的水润滑氧压机是不符合其要求了。此外,水润滑氧压缩机一旦脱水,很容易造成氧压机爆炸、起火一类的严重事故,这方面的教训全国每年总有那么几起,可以说是教训惨重。

因此,我们建议气体行业生产厂尽可能地采用无润滑氧压机或改用液氧泵充瓶流程。

7. 用液氧泵充瓶取代氧压机

液氧泵工艺流程,是将液氧从空分精馏塔主冷抽出,经液氧泵加压到165kgf/cm²,然后经高压热交换器换热后,直接充瓶。采用该流程取代氧压机可以带来上面所述的使氧气产品干燥无水、质量高和消除氧压机以及管道、附件爆炸的危险等优点外,还能带来设备简化、占地面积小、分馏塔操作无需定期排放液氧、确保设备运转安全等优点。

国内采用液氧泵充瓶流程的小型空分设备目前有:

哈尔滨制氧机厂制造的KZO-50型空分设备。该设备采用BPO-65/220型卧式活塞式液氧泵,该泵采用JZT系列电磁调速电机转速来实现,其技术参数为:流量52~84l/h,进口压力0.4kgf/cm²,排出压力220kgf/cm²(最高),转速170~275r/min,配用电动机JZT22-4,电机功率1.5kW。

四川空分设备厂制造的KZON-30/150型空分设备。该设备采用BPO-70/165型液氧泵,流量30~70m³/h,进口压力~3kgf/cm²,出口压力165kgf/cm²。

参 考 文 献

[1] 《国外产品与技术》,1986, №4

[2] 吴廷珩: 林德公司小型空分设备概况,《深冷技术》,1981, №6

- [3] 孙慧慈: 日立 150 标米³/时 TO-M 空分设备介绍与分析, 《深冷技术》, 1983, №1
- [4] 《机械产品目录》第 8 册, 机械工业出版社, 1986 年
- [5] 刘与义: 5L-16/50 型空压机改无油润滑小结, 《深冷技术》, 1984, №4
- [6] 郑嘉麟: 150m³/h 制氧机新技术的应用, 《深冷技术》, 1986, №6
- [7] 吴觉明: 氟里昂预冷器的采用及效果, 《深冷技术》, 1986, №3
- [8] 李国芳等: 活性氧化铝-分子筛双层床吸附试验小结, 《深冷技术》, 1984, №1
- [9] 陈纯正: 空分装置气体轴承透平膨胀机, 《空分设备新技术展览会专题报告》, 1986 年
- [10] 陈福民: 静压空气透平膨胀机, 《空分技术 节能科研成果推广应用调研报告》, 机械部空分设备情网, 1984 年

(1987年8月)

国外低温信息报道三则

1. 美国液化空气工程公司 (Liquid Air Engineering Corp) 将按合同为亚利桑那州 San Manuel 的 Magma 铜公司建造一台 743 吨/天 (21695.6m³/h) 制氧机。该设备的特点是采用低温再生的分子筛空气净化系统, 它是 Magma 公司正在安装的污染控制工程的一个重要部分, 按计划将于 1988 年年中投入运行。

2. 美国 Airco 工业气体公司装在加利福尼亚州 Sacramento 的 70 吨/天 (2044m³/h) 空分设备将开始向微电子工业供应大量纯度超过 99.9999% 的氧气, 它所含的氮、氩、氙及其它杂质少于 1ppm, 销售价格为 3 美元/100 呎³。(注: 呎³ = 0.0283m³)

摘自 Cryogenic Information Report, 1987, No. 5

3. 美国联合碳化物公司林德分公司已和美国 Monsanto 公司签订了一项合同, 将为它在 Springfield 的 MA 设备增加一台 35000 呎³/时 (990.5m³/h) 氮气设备, 定于 1987 年第一季度投产。

摘自 Cryogenic Information Report, 1987, No. 4

杭州制氧机研究所 谢开明 译

订阅本刊注意事项

本刊 1988 年仍自办发行, 征订中发现有些汇款单有一些问题, 使得我们无法开票、登记、邮发。为此特提出下列**订阅注意事项**:

① 汇款务必注明用途, 可简写“88 深冷 × 份”; ② 收件地址务必详写, 最好写出部门与姓名; ③ 字迹务必清晰, 切忌潦草, 尤为地址、姓名; ④ 银行信汇单第 4 联务请复写清楚 (有些淡得认不出字), 请在“汇款用途”栏中附注收件部门与姓名。

本期是 1987 年度订户的最后一次联系, 请勿错过机会而漏订。

——本刊启