

再论空分装置现代化的途径

杭州制氧机厂高级工程师

陳逸樵

【内容摘要】 本文是作者对我国空气分离技术的回顾与展望。提出了面向用户，实行针对性设计与走中国式空分装置现代化道路的意见。指出要加速引进技术的消化，掌握先进的制造工艺和相适应的技术管理，提高产品质量和可靠性，集中全国优势攻下成套关，开发新型的专用空分设备，实行集中供氧，促进综合利用，开发新流程，降低流程压力。表2，参考文献14。

随着我国经济对外开放，我国空分设备行业面临着严峻的抉择，要么给国家提供现代化的设备，要么国家进口先进的设备。也就是说，企业不提高产品质量，不更新设备，就无法生存和发展。笔者1977年在总结我国空分装置发展的经验和教训的基础上，写了“空分装置现代化的途径”一文^[1]，提出了摆脱落后走向先进的管见，认为面向用户实行针对性设计是当前的首要问题*。五年来，空分装置取得的成就究竟怎么样？借庆祝《深冷技术》创刊一百期的机会，对空分技术进行一次回顾和展望，提出进一步努力的意见。

一、面向用户实行针对性设计与空分装置现代化

针对性设计是我们采取的一项带有战略性的决策，即企业根据每一个用户的自然条件和工艺流程的需要，不论在产品产量、纯度、成套性、交货期和现场服务方面，都要满足用户的要求，价格也要低廉，并在合同上加以保证；同时使用单位也要受到一些制约，如空分设备必须及时安装调试，领导机关或设计院也不能随便调用设备等等。这样，如果成套厂不采用最先进技术，便不能满足合同的要求，从而促进了产品品种的更新换代和产品质量的提高。

实行针对性设计之后，通用产品的弊端消失了。如化工厂需要纯产品量，不仅纯度有很高的要求，而且氮氧比高于1.3:1，制造厂就得为其推荐、设计采用常温分子筛吸附器净化空气中杂质的新流程；当用户工艺系统中蒸汽热量有富余时，就可以蒸汽轮机为动力，使能源得到有效而充分的利用。这样做显然装置的经济性提高了。

从前发展一套新产品需要三到五年，可以重复生产十年八载，而现在要求两年内完成一种新产品，交货期短，有时甚至于当年设计当年要出商品，这些当然给企业很大的压力。

为了达到合同要求，企业如果没有技术上和经营管理上的保证，不彻底改革，简直是不可想象的。现采取的主要措施是：

* 本刊1978年第1期“空分装置现代化的途径”一文，其主要章节为：一、面向用户——增加品种提高质量；二、降低电耗；三、发展新流程，降低装置压力；四、提高空气压缩机的效率；五、降低空气透平压缩机各级进气温度；六、大搞综合利用，多产纯产品，降低能耗；七、降低单位产品的空气消耗量；八、提高设备的经济实效及其他。

——编者

1. 引进先进技术并消化运用

国产空分设备质量差的主要原因是设计落后，这是经过多年争论后得出的结论。提高设计水平，理论上应当靠科学研究，但是根据实际情况，我们采取了在自力更生基础上引进国外先进技术。它有两个优点：一是与现有水平相适应，把握性大，可以取信于用户；二是速度快，可争取时间。1979年我们瞄准世界先进水平，向西德林德公司购买技术，并签订了合作生产合同。通过合作生产初步考验了我们消化引进技术的能力。如杭州制氧机厂在不太长的时间内和不违反合同的条件下，已经设计制造了三个成套新产品，改造了四个老产品。新的装置中有林德的空分技术，有日本日立公司的空透和氧透技术，日本恒河等公司的仪表技术，还有自己研制的具有世界先进水平的大截面长板翅式热交换器技术。

2. 掌握先进的制造工艺和相适应的技术管理

光有先进的设计还不是商品，必须有工艺、检验和管理的配合。杭州制氧机厂这几年在派遣实习人员中，除设计人员外，还有工艺、检验、计划管理人员和制造工人。他们回国后在制造中起了很大的作用，在合作生产中攻破了许多新工艺新技术，同时建立了“焊接压力容器质量管理制度”。我们体会到这些措施是消化引进技术的重要环节。

3. 集中全国技术优势攻下成套关

引进先进技术的条件是苛刻的，卖给我们的技术是不配套的。凡是林德公司的外配套产品，如透平空气压缩机、氧压机、仪电控、重点阀门和板翅式换热器都不包括在内。单机成套容易，系统成套却难，这也是我们和用户共同担心的一个环节。

空分装置要现代化，要创名牌，就得选用先进的机组。我们在配套设计中，强调方便用户，扩大配套范围，采取灵活态度，谁家的产品先进就用谁家的产品。如空气透平压缩机、仪控、电控、部分阀门，都由专业厂生产。另外，国内技术暂时无法解决的，就部件单机进口。空分行业内部也做了适当分工，扬长避短，彻底改变了样样都自己动手的小生产习惯。此外，我们又制定了“项目工程师”负责制，使配套工作专人负责，从组织上给以保证。这一切，使产品配套的先进性基本上有了保证。

通过几年的努力，我们取得了几项重大的技术突破：

①空分装置的单位电耗已接近国外公司的水平

“空分装置现代化的途径”一文所作的分析，大多数意见已付诸实现，见表1。

表1 国产11000米³/时空分设备主要工艺参数与国外的比较

制造国别与厂家		日本—神钢	西德—林德	中国—杭氧	
比较项目	产量/纯度	10000/99.6	10000/99.6	11000/99.6	
	(标米 ³ /时/%)	气 氧	10000/99.99	10000/99.99	11000/99.99
		气 氮	200/99.6	100/99.6	100/99.6
		液 氧	120		200/99.999
空 氧 比	V空/V氧	5.83	5.3	5.5	
氧 提 取 率	φ%	82	89.5	87	
电 耗	千瓦小时/标米 ³ 氧	0.517	0.446	0.52	

由于采用电子计算机模块计算流程和精馏系统，用电子计算机程序进行带可调喷嘴的透平膨胀机计算，经过优化设计，绝热效率提高了，氧提取率提高了。用这种方法设计的分馏

塔,在××钢厂的改造中得到了验证。“万立”制氧机的单位电耗从0.65降到0.52千瓦小时/标米³氧。

②小型制氧机的流程压力降低了

150、300米³/时制氧机的流程压力,经西安交通大学和江西制氧机厂、吴县制氧机厂的共同研究,成功地制成气体轴承小型透平膨胀机,使150米³/时制氧机的高压压力下降到15~17公斤/厘米²[12];杭州制氧机研究所协助邯郸制氧机厂研制的带透平膨胀机的中压流程的300米³/时制氧机也获得成功,使流程压力从22公斤/厘米²下降到13~17公斤/厘米²;又如分子筛变压吸附制氧和制氮流程,也获得了工业性的应用[13]。在超低压流程的理论研究上也有相应的方案提出[14],引起了广泛的兴趣。

③提高了机器效率

透平压缩机是引进日本日立DH型技术,其总等温效率为71.86~73.57%[15],比以往自己配套时的68%提高了不少,达到了一定的先进水平。

④研制成功大型板式换热器

1978年我国最大的板式单元尺寸为开封空分设备厂试制的700×750×3000毫米。现杭州制氧机厂已试制成功1000×1200×3300毫米大断面长板式换热器,样品经过一百万次耐疲劳试验,产品也已在××钢厂运转,经过测试,其换热和自清除效果都达到了原设计指标,现已进入成批生产。它的成功不仅在制造质量上有新的突破,如翅片冲床解决了翅片齿形切口、齿数和外形精度等问题,并向林德公司出口。由于加大了钎接炉容量和改进炉型,已稳定了钎接质量。还增加了氨检漏技术,制定了“板式换热器技术条件”(JB/TQ 258-81)。更重要的是我们已从理论上找到了影响换热和自清除的设计机理和合理的参数选择,按阻力搭配组装出厂。在设计制造中又贯彻了“压力容器安全监察规程”,从而使我国自力更生研制的板式换热器步入了国际行列。

⑤可调喷嘴透平膨胀机研制成功

1978年以前,我国只能设计机前节流或部分喷嘴数调节的膨胀机。近年来杭州制氧机研究所研制成功大叶片可调喷嘴新结构[16],在国产6000米³/时空分设备中配套使用,提高了氧提取率,实测绝热效率达82~84.6%。四川空分设备厂近期制成了两相透平膨胀机。杭州制氧机厂也根据引进技术,设计制造了可调喷嘴型的膨胀机。

综上所述,实行针对性设计引起了企业内部一系列的变革,促进了技术进步,缩小了国内外的差距,使我国空分装置向现代化迈出了可喜的一步。可以相信,我国的空分行业在产品更新和改造方面,将为用户做出更多的贡献。

二、继续前进,走中国式现代化的道路

1. 加速消化引进技术,进一步提高产品质量和可靠性是今后要解决的重要课题

六十年代我国有个代表团出国考察,想买林德技术,他们提出透平膨胀机、切换阀等不卖。七十年代还是只卖图纸不卖秘密。目前国产空分装置能否使用户放心,关键在于“技术秘密”消化了没有。国内有识之士,对此也很关心,担心搞不好又要技术引进。笔者认为既然我们处在激烈的市场竞争之中,科学技术又在不断进步,不进则退,企业为增强国际市场竞争能力,技术应不断更新,引进和出卖先进技术都是正常的。但对引进技术要有重点的加速消化,产品质量和可靠性才有保证。目前成套厂、配套厂都认为自己应用了先进技术,但在产品质量和可靠性方面,还须进行大量的工作。没有可靠性就谈不上经济性,现代化就成为

空话。笔者认为引进技术之后,专业研究所应当以研究空分装置的可靠性为主;企业应当以掌握国际标准,掌握先进制造技术,提高产品质量,以成熟的技术大搞变型和适应性设计为主。空分装置供氧的可靠性,对于投资高的成套设备之所以特别重要,因为停机意味着重大损失。

提高产品的可靠性,除固有的可靠性之外,还要提高使用的可靠性。因此,在科研基础上,要把成套厂、配套厂和用户三方面联合起来,共同努力,利用可靠性技术,从设计、制造、管理、试验、使用各个环节着手,来提高产品水平,增强国际市场的竞争能力。这方面的工作很多,如空分装置运转周期,国外已达2~3年^[7];为提高零件寿命,塑料活塞环、导向环的寿命,中压要为8000小时,高压约要达到4000小时;活门片及弹簧寿命要4000~10000小时。此外还要研究可靠结构,避免主冷单元的爆炸;板翅式换热器的腐蚀;电磁阀及其他电气设备的失灵;水冷却器的早期失效;黄铜管的应力腐蚀等等。另外,怎样减少不定期的短期停车次数的研究也十分重要。

做好上面这些工作,用户一定会逐渐地欢迎国产空分设备的。

2. 开发适合我国特点的新型空分设备, 节约能源, 把针对性设计向前推进一步

目前的空分设备,考虑了用户正常工况的需要,从原料空气到产品压缩,做到了单机匹配。也考虑了正常用气有波动时,设置球罐作为调节负荷的手段,或由于系统短期停车,考虑了生产液体的第二个工况。但我们的空分设备,还缺乏由于供氧负荷的变化而调节产量的有效手段。近几年全国各大城市普遍存在着氧气放散(空)的问题,放散率多达30%以上。很明显单位氧的电耗增加了40% ($N_0 = \Sigma N / K(1 - 0.3) = 1.4N_0$), 每台“万立”空分设备每年就要损失约1000万度电。这种严重“产销脱节”,供需不相匹配的现象,是我国冶金工业系统突出的用氧问题之一。这个问题过去都是由用户自己设法去解决,如关小空气透平压缩机的导叶以减少加工空气量,或间断生产等。如果能由制造厂和用户及设计院共同来解决这个问题,提高空分装置的灵活性和适应性,收效将更大。这种调峰式的装置,不从设计着手,就难彻底奏效。利用微处理机技术,在日本加古川制铁所的一套30000米³/时空分设备上应用,放散率从14%下降到3~4%,每年可节电1200万度^[7]。当气量出现高峰时,可用程序控制装置生产最多的产品进行调峰^{[8][9]}。我国正在着手研究比目前更为有效的负荷调节措施^[10]。另外,象空分-氮洗联合装置、应用于城市煤气化的中等纯度空分装置、污水处理用的空分装置、高炉专用的中等纯度空分装置、适应化纤厂用的高纯氮装置、彩色显像管和集成电路用的超高纯气体设备,还有橡胶破碎再生用的液态设备和国防工业用的专用液化装置等。这些适合我国四化建设需要的专用空分设备的研制,必须有思想准备。

要先向用户学习,吃透其流程和功用,设计出新产品。在确定任务之前,要解决设计参数不明确和技术参数层层加码的问题。有必要增加“澄清任务”和“推荐合理流程”两个步骤^[14],使新型的设计真正地针对用户需要,保证有良好的社会效益。应当指出,不合理的技术参数,将使针对性设计变成非针对性,制造厂虽无责任,但国家将蒙受损失。

3. 集中供氧, 促进空分设备的综合利用

综合利用能大幅度降低能耗和成本,理论上早为人们所认识。对于综合利用的空分设备单位能耗的公式,可改写为如下形式:

$$N_0 = \Sigma N / (V_{\text{氧}} + \Sigma \alpha_i V_i)$$

式中: V_i ——指氮、氩、氦、氖、氙、氡; α_i ——指氮或某种稀有气体产量的氧当量。

因 $\Sigma \alpha_i V_i > 0$, 故单位能耗下降。 α_i 值见表2。

表2 某种纯度的有用产品折合为气氧的 α_i 值^[11]

产 品	气 氧	液 氧	气 氮	液 氮	液 氩
纯 度	99.6%O ₂	99.6%O ₂	10ppmO ₂	10ppmO ₂	99.999%Ar
α_i	1	4.44	0.23	4.02	5.95

用上面公式计算车间成本,有利于提高生产水平和经济效益,也可用它评价不同流程的合理性。开展空分装置的综合利用,要从实际出发,才能收到经济效益,多年来的实践证明了这个论点。目前综合利用经济效益最好者,不一定是拥有“全提取”设备的单位,而是集中供气的专业化气体厂,如北京氧气厂、上海吴淞化工厂等。有的单位要求带氩塔,可是投产时并不需要氩,装了氩塔长期不用(或粗氩放空)。从能耗公式来看, ΣN 增加了,但是 $\Sigma \alpha_i V_i = 0$,故单位电耗和设备造价反而提高。

我国开始制造制氧机不久,一直重视综合利用,几乎所有大小装置都是双高产品,尽管如此,纯氮放空者不计其数。在2500多套大小气态设备中附有稀有气体者只有190余套,这说明搞不搞综合利用也要根据实际需要而定。最近各地区在经委领导下,对各该地区空分装置的布局和供气情况作了一些调查^[10],发现了不少问题。如有两套制氧机,分属两个单位,仅一墙之隔,一台用氧放氮,另一台只用氮不用氧,如果拆掉了墙,不是建一台就够用了吗?问题的深刻意义远不只这一点。大家在分析之后,建议从建站体制上、供气方法和设厂布局上改革,采取区域集中供气,分片包干,关停经济指标差的小型空分装置,改由地区氧气站集中供气。这些建议是很有经济意义的。

我国在七十年代曾派代表团赴巴基斯坦等国考察,为液体输送创造条件。以后又做了不少不同供气形式的试点。据报道,位于化工厂的北京氧气厂,根据不同条件实行不同供气方式,现氮气、氧气有一半用管道输送,其他气体充入气瓶出售,又推广了液态产品输送方法,所以制氧设备的综合利用率高,氧的单位能耗(包括压缩氧)从1975年的0.92下降到1981年的0.82(千瓦小时/米³)^[10]。据苏联报道,建立地区氧气站的主要优点是产品成本可以降低9.1~21.4%^[7]。改变氧气站的布局和供气方法,遇到的阻力不小,但我们国家有能力改变这种现状,预计不久将来,“专业化生产,社会化供气”的新体制将会实现,到那时经济效益最佳的空分设备就会被逐步采用。

4. 开发新流程,降低流程压力

八十多年来空分设备的发展,总是以提高设备效率、降低流程压力为主要标志;以降低单位能耗,降低单位成本为目的。所有从事空分设备的科研、设计、制造和操作工作者,无一不是围绕这个目标而努力着。下面常用的电耗公式也可以为我们指明努力的基本方向:

$$N_i = \frac{RT\gamma \ln P}{427 \times 860 \eta_{\text{等}} \eta_{\text{机}} \eta_{\text{电}}} \cdot \frac{V_{\text{空}}}{V_{\text{氮}} + \Sigma \alpha_i V_i} \cdot \frac{1}{1 - \beta} \text{ 千瓦小时/标米}^3 \text{ 氧}$$

综观上式,经过数十年改进,单机效率中等温效率 $\eta_{\text{等}}$ 从60%提高到了74%;绝热效率 $\eta_{\text{绝}}$ 从45%提高到了82~90%;机械和电机效率 $\eta_{\text{机}}$ 、 $\eta_{\text{电}}$ 都达到96%或以上了;氧提取率已达到87%,最高90%;已会设计制造带五种稀有气体的全提取设备,因此 $V_{\text{空}}/(V_{\text{氮}} + \Sigma \alpha_i V_i)$ 降低到4以下。目前在利用天然气的空分装置中,实现了氮压缩机低温进气技术,也即降低 RT 值以减少能耗。剩下来可以改善的是流程的压力了,如装置压力从6.5绝压降到4.5绝压,则单位能耗可下降20%。

流程的每一变革,都将带来能耗方面的突变。开发新流程之所以引起广大科研和技术人员的兴趣,原因就在于此。在分析上述公式时,应当注意装置压力与单机效率是隐函数关系。在改革流程时,一定要从现实出发,做艰苦的工作,单个机组的细小改善绝对不能忽视,促进量变,以达到质变的目的。

此外,空分设备还应当降低造价,才能扩大应用领域,促进自身的发展。

总而言之,国产空分设备也必须“打基础,上水平,攻成套”,增强市场竞争能力,为四化作出更大的贡献!

(一九八三年八月)

参 考 文 献

- [1] 陈逸樵:“空分装置现代化的途径” 《深冷技术》,1978年第1期1~6页
- [2] 赵仑:“小型制氧机改配透平膨胀机的节能分析” 《深冷技术》,1982年第5期37~38页
- [3] 武汉药用玻璃厂:“分子筛制氧情况介绍” 《深冷技术》,1976年第3期16~17页
孔祥芝:“变压吸附法制氮” 《深冷技术》,1981年第6期32~36页
- [4] 范铭:“超低压制氧机的流程方案及其理论分析” 《南京工学院学报》1981年第2期
- [5] 内部谈判资料
- [6] 钱永析:“提高国产透平膨胀机有效利用率的分析” 《深冷技术》,1982年第2期31~36页
- [7] 杭氧研究所技术情报室:“国外制氧机技术发展的一些动态”(顾福民执笔,1983年6月)
- [8] “微处理仪表系统在低温装置上的应用” 《第十五届国际制冷大会论文译丛》上册140~144页,《制冷学报》编辑部,1981年6月
- [9] “空分设备与天然气调峰设备的联合装置”(译文) 《深冷技术》,1980年第3期15~18页
- [10] 杭州制氧机厂技术情报组编:《制氧机节能资料汇编》,1983年6月
- [11] 卢明章:“空分产品单位能耗的计算方法” 《深冷技术》,1982年第5期1~11页
- [12] “空气分离技术现状和发展”(译文) 《深冷技术》,1982年第3期6~13页
- [13] “大型空分设备的经济性和可靠性”(译文) 《深冷技术》,1982年第2期20~30页
- [14] 黄致甲:“建立我国设计方法学体系雏见” 杭州汽轮机厂

杭氧配鞍钢“一万”制氧机氩塔试车成功

鞍钢为了炼钢需要,对引进10000米³/时制氧机配置杭氧制氩装置进行提氩。经鞍钢氧气厂和杭州制氧机厂的二年努力,于1983年9月25日至10月4日进行了连续运转调试(其中因故中断调试2天),获得成功。10月8日鞍钢氧气厂和杭氧厂签署了“试车纪要”,双方认为:杭氧厂制造的120标米³/时成套制氩装置配在日本神钢产的10000标米³/时制氧机是能够连续稳定生产的。氩气产量、纯度能够达到设计指标,即液态精氩(折气态)产量120标米³/时,纯度99.99%Ar。供氩压力能够达到设计指标,即30~150公斤/厘米²。对液氩泵等关键零部件使用寿命尚待进一步考验。

该成套制氩装置是根据神钢所要求的指标:氩馏分为5~6%Ar,产量为液氩(折气氩)120标米³/时,纯度99.99%进行设计的。通过这次试车当产品氧纯度高于99.65%时,粗氩、工艺氩都达到160标米³/时左右,粗氩纯度97%Ar左右,粗氩中含氧1.7~1.8%。精氩产量150标米³/时左右,精氩中含氧少于2ppm,充钢瓶以后精氩中含氮量少于20ppm。当氧气纯度低于99.65%时,氩馏分大于6%Ar,粗氩与工艺氩流量都超过流量计最大量程160标米³/时,粗氩产量大于150标米³/时,产品纯度仍能达到99.99%Ar。

这次连续稳定运转生产的氩气供给炼钢,并把400立方米压力球罐、两只5000升液氩槽、所有氩气钢瓶都充满。

(转载 空分《行业动态》第36期 杭氧所 裴定荣)