

对我国浮法玻璃工业供气现状的思考

Thinking about the Gas Transportation Status of Float Glass Industry

in China

沈 斌

安徽方兴科技股份有限公司 安徽蚌埠 233054

摘 要 玻璃工业特别是浮法玻璃行业对工业气体的品种和数量需求日益增长, 对其依赖程度不断提升。但是从气体的生产装备、工艺技术以及输送方式等现状看却不尽合理, 存在一定的问题。本文对此一一做了深入剖析, 并提出了相应的解决措施, 为整个浮法玻璃行业的节能减排和产品质量上等级工作奠定了一定的基础条件。

Abstract The variety and quantity of industry gas which the gas industry especially the float glass industry needs grow rapidly, and so is the dependence of the gas industry on industry gas. However, from the production equipment, the technology and the transportation of the gas, it is not reasonable and still has some problems. Analysis has been done in this paper and a solution is proposed, which will be the foundation of the energy saving and the product quality improvement for the float glass industry.

关键词 浮法玻璃 工业气体 生产工艺 全氧燃烧 现状与改进

Key words float glass industrial gas production process oxy-fuel status and improvement

1 前言

随着人们对舒适度的追求以及住宿条件的改善, 建筑玻璃的用量逐年增加。而工业气体在玻璃工业的作用也越来越大, 如: 中空玻璃需要充填惰性气体; 低辐射镀膜玻璃在线 low-E 技术的化学气体沉积 (CVD) 工艺, 及离线 low-E 的物理气相沉积 (PVD) 工艺均需要特种气体; 采用全氧燃烧的玻璃熔窑则需要大量的助燃气体。另外, 在浮法玻璃的生产中, 保护气体的作用更是至关重要, 从某种程度的意义上讲, 其重要性像水、电一样, 一刻也不能中断。否则, 不但造成整条浮法玻璃线停产, 同时还会造成锡槽内的锡液大量氧化挥发, 甚至还可能发生重大安全事故。由此可见, 玻璃工业对工业气体的依赖程度越来越大。

本文所表达的认识是:

- (1) 浮法玻璃工业采用的制氢工艺应当改进。
- (2) 浮法玻璃生产线的保护气输气管网的质量有待提高。
- (3) 保护气体的供气压力的制订有待商榷。
- (4) 浮法生产线上空分设备的配置现状, 应该改变。

下面就我国浮法玻璃生产线的供气现状谈点思考意见, 供同行参考。

2 对氢气生产工艺现状的思考

氢气作为一种还原气氛被添加到保护气中而送入锡槽内。我国浮法玻璃工业在上世纪90年代之前, 所采用的制氢生产工艺全都是水电解法, 所不同的是有的采用常压电解槽, 有的采用压力式电解槽。上世纪90年代后我国进入了一个浮法玻璃大上马的高潮期, 特别是民营企业的介入, 使国内的浮法玻璃生产线扩张迅猛。为了降低生产成本, 有些企业开始探索利用氨分解制氢工艺来取代水

电解制氢生产工艺。

鉴于氨分解制氢装置的设备投资低，约为水电解设备的1/3，另外，生产工艺简单，每立方米氢气的生产成本约为水电解的1/2（参见表1），但是人们却忽视了以下负面问题：

（1）氨分解制氢对环境的影响危害严重。我们知道，氨经过分解以后所生成的是氮、氢混合气体，而这里氨分解所生成的氮是新生态的氮原子，它具有很大的化学活性，很容易生成氮的氧化物，并对生态环境构成危害。因此，在有些欧美发达国家是严格禁止采用氨分解制氢工艺的。

（2）我们的合成氨工艺大都以原煤为原料，因此，液氨中的杂质含量主要是焦油和硫化物。特别是中、小型的合成氨生产线，其液氨质量波动大，杂质含量高，所有这些造成了采用氨分解工艺制成的产品气其质量也受到了影响。特别是当硫带入锡槽之后，将生成硫化锡和硫化亚锡，迫使锡槽内的气氛受到污染，最终影响到玻璃的板面质量。

（3）利用氨分解制氢广泛用于浮法玻璃生产线，这是一种独特的“中国特色”，同时也是一种重复的资源浪费。我们知道，化工行业利用氮、氢两种气体通过耗费一定的代价（如高温、高压和催化剂的作用），来合成出氨的产品。而我们浮法玻璃工业，再通过耗费一定的代价，反过来再把氨分解成氮、氢两种气体，这显然是一种资源浪费。然而，人们之所以愿意这样做，其实是在钻国家政策空子。因为，液氨是一种农业生产资料，液氨的制取可享受到一定的优惠政策，否则，液氨的市场售价肯定会高得多，那么氨分解制氢的生产成本也将会大幅度上升。

（4）氨是一种强腐蚀、强刺激性的有毒气体，并且易燃易爆。因此，在装运、储存过程中不可避免的会产生一些泄漏，并对环境构成污染。另外，液氨在充装过程中发生的软管爆裂所致的人身伤亡事故，也时有发生。总之，液氨的储运和使用现场，对各单位来讲都是一个需要严格控制和重点防患的危险源控制点。

综上所述，可以看出采用氨分解制氢存在着较多的隐性弊端。但是在浮法玻璃行业竞争日益激烈的市场中，人们为了满足低成本扩张的需求，大都仍采用氨分解制氢的生产工艺。对于这种仅顾眼前的经济效益，不顾其对产品质量和环境影响的短视行为，值得我们深思。

表1 水电解与氨分解生产成本对比分析表

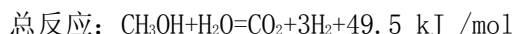
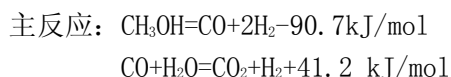
类别	项目	单耗	单位成本/(元)	年耗	年总成本/(万元)
水电解	电	5kWh	4.68	525.60万度	409.97
	蒸馏水	1kg	0.09	78.8吨	0.71
	小计				410.68
氨分解	液氨	0.51kg	1.79	446.76	156.37
	电	1kWh	0.78	87.60万度	68.32
	小计		2.57		224.69

注：表中按100m³/h纯氢进行比较，综合电价按每度0.78元，液氨按每吨3500元计算。虽然氨分解成本较低，但长期看其综合社会效益和经济效益并不好。

笔者认为，从长期的和发展的眼光来看，要全面提高我国浮法玻璃工业的装备水平和产品质量，应尽快采用甲醇裂解制氢来取代现有的氨分解制氢，这也是最为可行的措施之一。

首先，甲醇裂解制氢是目前气体工业正大力推广的、成熟的科研成果，它具有反应温和、使用安全、无污染、原料储运方便、产品质量好、输出压力高等特点。其次，甲醇是石化和焦化工业的副产品，国家已把甲醇作为一种洁净能源进行开发利用。国外发达国家甚至把甲醇作为一种储氢材料来对待。第三，甲醇裂解制氢装置结构简单，自控程度高，单套机组的产气规模可做到1000m³/h以上（氨分解装置的单机规模仅能做到200m³/h以下），特别适合中、小气量的用气点使用。另外，甲醇裂解反应器的工作温度较低，一般在300℃以下（氨分解反应器工作温度在800℃以上），因此，只要将玻璃熔窑的烟道气余热回收利用，就能满足其生产工艺对热量的需求，故能源综合利用率高。

本工艺以来源方便的甲醇和脱盐水为原料，使用专用催化剂催化转化制成组成为3:1的氢和二氧化碳混合转化气。该化学反应过程为吸热反应（可利用窑炉余热），可以认为是甲醇分解和一氧化碳变换反应的综合结果。其原理如下：



反应产物气经过变压吸附等净化过程，可得不同规格的氢气产品。

甲醇裂解制氢与氨分解制氢的主要技术指标比较（参见表2）。

表2 甲醇裂解与氨分解的主要技术指标比较

类别 指标	甲醇裂解制氢	氨分解制氢
纯度： $\text{H}_2\%$	99~99.9999	75
氢气输出压力：MPa	≥ 0.8	≤ 0.1
反应温度 $^{\circ}\text{C}$	< 300	≥ 800
原料储运	较安全	危险
电耗	低	高
安全环保性能	好	差
氢气中杂质含量	$\text{CO} \leq 1\text{ppm}$	$\text{N}_2 = 25\%$
	$\text{CO}_2 \leq 1\text{ppm}$	$\text{NH}_3 \leq 2\text{ppm}$
	无	含有硫等微量杂质

值得指出的是，氨分解产品气中所含有的杂质进入锡槽后会带来负面效应，而甲醇裂解产品气中含有的杂质如： CO 它本身也是一种还原气体，而 CO_2 还是一种很好的保护气体。因此，即使这些微量气氛进入锡槽也不会带来负面影响。

3 对输气管网和供气压力的思考

3.1 输气管网存在的问题

在浮法玻璃的生产工艺中，必须连续均衡地向锡槽内输送保护气体（ N_2+H_2 ），使锡槽内始终处在全密封、微正压的动态工作环境下，并尽可能地确保其内部处在无氧的状态中。否则，混入保护气中的氧组份不但直接造成锡槽中的锡液氧化消耗，并且还会进一步影响到玻璃表面的沾锡和玻璃热钢化中出现彩虹缺陷等质量问题。因此，就保护气的纯度（残余氧含量）要求而言，无论多么苛刻都不为过分。就目前国内气体分离的工艺水平来看，要保证保护气中的残余氧含量 $\leq 310^{-6}$ （甚至 $\leq 1\text{ppm}$ 乃至达到痕量 ppb 级）完全可以做到，然而，从国内浮法玻璃线保护气的输送方式看却存在一定的问题。

我们知道，要确保高纯气体的输送质量，最好采用内壁经过抛光处理的有色金属管。而目前国内已建成的浮法玻璃生产线中，其保护气体的输送管的材质均为普通碳钢无缝管。鉴于碳钢管内壁光洁度差，易污染，加之管网在焊接过程中会出现夹渣，气孔等缺陷以及管网中的阀门、附件、法兰等所出现的密封失效问题，均会造成外界氧的渗透。要想解决高纯气体输送中的二次污染问题，笔者认为必须对高纯气输送管网的设计和施工加以重视，并采用内壁光滑的不锈钢管替代普通的碳钢管。对管道施工中的焊接，应该严格采用氩弧焊打底，电弧焊覆盖的焊接工艺，尽量减少用法兰连接的方式。对管网中阀门、附件的质量等级要有严格的要求，并且安装方式最好以焊接为主。总之，提高保护气输送管网的质量，是防止高纯气体二次污染的最佳方法，必须引起重视。否则，有必要加装保护气终端纯化器来消除二次污染问题。

3.2 供气压力存在的问题

我国浮法玻璃生产线对供气压力的要求大相径庭，不少业内人士认为压力高总比压力低要好，但确拿不出充要条件和理论依据来解释清楚这个问题。以高纯氮的供气压力（出空分塔的表压）为

例，有的厂家要求为常压（ $\leq 50\text{kPa}$ ），有的厂家要求为 0.2MPa ，有的厂家要求为 0.4MPa ，有的甚至要求的更高些。但是，从实际情况看，有的厂家将氮气送至配气室就降为了常压，有些厂家氮气刚送出气体生产车间就降压输送了，还有的厂家甚至氮气刚出空分塔就降为常压输送了。再看我们的最终用气点锡槽内的压力，仅有几十个 Pa，有的厂家才十几个 Pa。由此可见，过高的供气压力实在毫无意义，反而增加了能耗。

我国浮法玻璃生产线所采用的制氮工艺，均为低温空气分离法。该生产工艺是以空气为原料，通过消耗电力来得到纯氮产品。而空分设备的单位电耗（即生产1标准立方米氧气所耗的电力，这里氮气等副产品不占有能耗指标），仅与气体的产量，排气压力和气液比有关。所以，降低供气压力是节能降耗的最直接方法之一；因为，提高供气压力是以消耗能耗为代价的。现以供氮压力为例，氮气的排气压力决定着空分塔的上塔压力，从空分工艺理论上讲，上塔压力每提高1个单位，操作压力（下塔压力）将提高3个单位，而操作压力又决定着原料压缩机的排气压力，而空分设备的单耗又与压缩机终压比的对数成正比，由此可见，氮气供气压力对空分设备的能耗影响很大。因此，设计单位在做工厂设计时，首先要给出氮气的最终排气压力——锡槽压力。然后再计算出管网的阻力（沿程阻力和局部阻力），这里的管网阻力和最终排气压力之和即为氮气的供气压力。从理论计算和实际情况看，氮气的供气压力是非常低的，实践证明，也完全没有必要定的过高。

另外，管网阻力主要由管内流速所决定，因此，增大管径可使管网阻力大幅下降，这样做虽然一次性投资略大些，但是，仅为了节省这一点投资而片面的来提高供气压力显然是得不偿失的。

4 对空分设备配置问题的思考

4.1 浮法线空分设备的配置现状

我国浮法玻璃行业，大都自备小空分制氮设备来为锡槽提供保护气体。通常每条浮法线均配置多套小空分设备，常采用开2备1或开3备1的配置方式。而国外许多大城市早在几十年前就实现了区域内大空分设备集中供气，有些工业发达国家为了降低能耗，提高集中供气的可靠性和综合效益，甚至在几国之间实行了大机组国际联网供气。为此，笔者十多年前曾撰文指出，我国浮法玻璃工业空分设备的配置不尽合理，并提出了相应的改进方法。目前，我国已建成的浮法生产线有200多条，因此，毫不夸张地说，仅浮法玻璃行业内就有小空分设备数百套之多，简直不可思议。近年来，随着人们观念的转变，加之节能意思的提高，部分新建的浮法线开始尝试一对一配置空分设备的做法。

4.2 小空分制氮设备存在以下弊端

4.2.1 我们知道，空分设备的单位能耗是随着单机容量的提高而下降的。因此，采用小空分制氮设备供气显然能耗很高，就国内浮法线上小空分制取 1Nm^3 纯氮的平均电耗来看，约在 0.3kWh 以上。

4.2.2 小空分设备内部流体通道狭小，易出现冻堵，因此，小空分设备的加温解冻周期通常为1年以内（大空分的加温解冻周期都在2年以上）。由于小空分设备的加温解冻频繁，而在这一期间又无产品输出白白消耗大量电能。

4.2.3 频繁的加温解冻还会引起空分塔内部器件在较大的热应力作用下，发生材料疲劳撕裂或脱焊使用寿命下降。

4.2.4 小空分设备运行工况的稳定性，操作弹性、产品的多样性以及自动化程度等均远比不上大型空分设备好。

4.3 小空分设备与大空分设备之间的差异性

鉴于每条浮法玻璃生产线均配有1至2套（甚至多套）小型空分制氮设备，故某一区域上马的浮法线越多，则小空分设备越泛滥严重，并且管网复杂，管理困难。由于空分设备是高能耗的“电老虎”，其单位能耗与单机的容量成反比，增大单机规模对节能是十分有利的。因此，采取开大关小的措施，实现区域内集中供气是最经济、最有效的方式。工业发达国家乃至发展中国家几十年前就大力推广这种方式，而我国浮法玻璃行业目前仍采用这种低效的小空分设备各自为阵的散乱供气方式，实在令人心痛。

另外,小空分制氮设备的产品单一,并且产品提取率很低一般在60%左右。而大型空分设备不但可产多种气体产品,同时产品提取率高,一般可达95%以上。目前,我国的空分设备设计制造工艺日臻成熟,与国外先进水平的差距明显减小,就制作水平而言,每标米氧气的单耗完全可以做到0.4kWh以下,同时氮气的产量可做到氧气产量的1~3倍(根据需求可任意调整)。还可连产氩等产品,由此可见,大型空分设备的综合性能和经济效益要比小空分制氮设备优越得多。

4.4 氧气的开发利用

玻璃熔窑全氧燃烧技术是国家“十一五”科技支撑计划资金支持的课题项目,它主要着眼于把传统的空气燃烧系统变为氧气燃烧系统。其优越性有以下几点:

(1) 热效率高,热损失小,与空气燃烧相比可节约燃料30%以上,节能效果显著。

(2) 烟气排放量可减少70%以上,主要是氮氧化物的排放量几乎为零,有利于生态环境的改善。

(3) 熔窑结构简单,省去了蓄热室、烟道换火系统和助燃风系统,窑内燃烧更加平稳,自控程度高,可实现文明生产。

(4) 火焰刚度好、温度高,可将窑内热点由窑顶转移到玻璃液表面上来,有利于玻璃液的澄清均化,有利于提高玻璃质量和熔化率。

倘若浮法玻璃行业将小空分设备改换成高提取率,多品种的大型空分设备,这将为玻璃熔窑的全氧燃烧技改工作的推广,提供了一个很大的平台,和充足的廉价氧气资源。由于空分设备的主要运行成本是电费(约占70%以上),而目前国内一些大型水电、风电等可再生能源的并网发电,将使国内的电力资源相对充足,电价相对稳定,这将为大型空分设备的运行提供了稳定的基础条件。而玻璃熔窑所用的燃料是不可再生的一次能源,燃料的价格不断上涨是未来的必然趋势。因此,合理的配置大型空分设备,挖掘其潜力,充分开发和利用氧气资源,将会为我国浮法玻璃工业的节能减排和发展壮大起到事半功倍成果。

5 结语

节能与环保是我国实行可持续发展战略的保证。而能源消耗大,能源利用率低,能源供需矛盾加剧的问题在一定程度上制约了我国经济的发展。尤其是我国的建筑能耗总量大、比例高、能效低的现实情况,由此导致了我们的能源消耗系数比发达国家高4~8倍。通过以上分析可知,要想改变浮法玻璃工业高能耗、重污染的现状,就应该对浮法玻璃行业现有的制氢生产工艺,气体输送方式以及空分设备的配置现状,做以全面的评审和整改,这也是行业管理部门、设计单位以及生产厂家的领导和科技工作者值得深层次思考的问题。

综上所述,要改变我国浮法玻璃行业的落后被动局面,必须加快行业内的整合并购步伐,积极促进和发展一批具有国际竞争力的大企业集团,提高浮法玻璃行业的集中度,这既有利于增强国际市场的竞争力,又有利于改变行业内高能耗的小机组散乱供气的落后现状,从而实现大机组集中供气,为玻璃熔窑全面实现全氧燃烧奠定基础,并使我国浮法玻璃行业早日由玻璃大国迈入绿色产业的玻璃强国。

参考文献

- [1] 沈 斌. 空分设备在浮法玻璃生产中的应用及配置现状[J]. 中国玻璃, 1998 (6): 37-42.
- [2] 沈 斌. 从空分行业的发展形势看浮法玻璃工业的发展机遇[J]. 玻璃, 2008 (3): 6-10.
- [3] 沈 斌. 谈终端纯化器的应用与设计[J]. 玻璃, 2009- (11): 27-29.

作者简介

沈斌,男,1955年出生,大学,高级工程师,现任安徽方兴科技股份有限公司气体车间主任。长期从事低温空气分离设备和制氢设备的运行与研究,曾多次受邀前往国内外20余家企业协助与指导空分设备、制氢设备的现场安装、调试和施工现场的技术监理工作。通讯地址:安徽蚌埠市涂山767号。