

## · 节能技术 ·

# 钢铁企业空分产品的供应与节能

武汉钢铁设计研究院 杨湧源

**【内容摘要】** 介绍空分设备的节能措施与途径,侧重分析了大型钢铁企业空分产品供应系统的十条节能措施:合理选择机组、采用高炉制氧机、纯氧设备生产中纯氧、选用单高和双高机组、降低氧压机排气压力、贮罐置炼钢附近、合理选择管径、搞综合利用、减少放散量、合理的总图位置。并进行了其效益测算。图3表1参11。

六十年代开始的高炉富氧鼓风和采用纯氧顶吹转炉,单就氧气而言,消耗指标就从 $2\sim 4\text{Nm}^3/\text{t}$ 钢猛增到 $100\sim 130\text{Nm}^3/\text{t}$ 钢。过去放空的氮气现在已逐步扩大使用到干法熄焦、高炉炉顶密封、煤粉输送、转炉吹氧管和料仓密封、可燃气体管道和贮罐的吹刷置换等,以吨钢消耗计算达到 $70\sim 80\text{Nm}^3\text{N}_2/\text{t}$ 钢,并且还在扩大中。氩气目前主要用于炼钢的复合吹炼、合金微调、连铸的钢水搅拌、调温、喷粉等,吨钢消耗已达 $1.5\text{Nm}^3\text{Ar}/\text{t}$ 钢,今后氩—氧炼钢的发展,还将使氩的需要成倍增长。

空分产品成本中电耗占 $70\sim 80\%$ ,因此氧气车间已经成了钢铁企业不容忽视的耗电大户,其耗电量约占整个冶金工厂总耗电的 $15\sim 20\%$ 。因此如何降低空气分离产品的能耗已经提到议事日程。

本文在简单列举空气分离设备节能方法的同时,重点从供应方面寻找节能的措施与途径。最后以年产600万吨钢厂为例,测算这些措施的年综合效果。谬误之处望读者批评指正。

## (一) 空分设备的节能措施与途径

联邦德国林德公司H. Springmann将空分设备的能耗(指制氧能耗),按其种类分为六项:

低温过程理论能耗	占48.3%;
空气压缩机等温效率损失	占29%;
压力损失	占18.6%;
空气流动损失	占2%;
热交换损失	占1.5%;
绝热损失	占0.6%。

空分设备节能主要是减少后五项损失。

### 一、提高气体压缩机的等温效率和调节性能

空压机的能耗占制氧能耗的90%以上。国外先进的离心式压缩机,等温效率可达75%。而我国目前仅在70%左右,如提高10%,则单位制氧能耗可相应降低10%。

离心式压缩机采用入口导叶代替节流调节空气量,可以在效率基本不变的情况下适应氧、氮用户用量的波动。

氧、氮气压缩机的等温效率提高,对节

能也有重要意义。

## 二、提高膨胀机的绝热效率与调节性能，回收膨胀功

提高膨胀机的绝热效率可以减少膨胀量，从而提高氧气提取率，达到节能的目的。国外反动式透平膨胀机的绝热效率可达85~88%。目前我国水平是78~80%，因而存在着较大的节能潜力。

用可调喷咀代替多喷咀、多机组组合和进口节流调节，可以在效率变化甚微的情况下改变膨胀量，以适应空分装置冷损的变化。

采用电机制动回收膨胀功，可以回收空压机电耗的2~2.5%。

## 三、提高传质与传热效率

用板翅式换热器代替管式换热器和蓄冷器，是强化传热过程，降低能耗的一个例子。通过减少温差和阻力，直接降低空压机的出口压力和系统冷损，达到节能的目的。

精馏塔采用往复流塔板和导向筛板的研制，则是强化传质过程的例子。可以收到缩小塔径、降低能耗的效果。

## 四、降低系统阻力，采用新型阀门

降低系统阻力即意味着降低空压机的排气压力。氨水预冷系统采用喷淋冷却塔和筛板塔，切换系统使用气动蝶阀，都起到了降低阻力的作用。新型阀门的选用还可起到减少空气量损失和冷量损失的作用。

# (二) 空分产品供应系统的节能措施与途径

## 一、合理的选择机组

机组能力是根据冶金工厂氧、氮、氩的小时平均用量来确定的。日常生产中经常见到氧气大量放散和设备偏离额定工况进行低负荷生产的例子，追其原因有两个：一是平衡做的不准确，机组选择过大；二是冶金工厂除高炉外各用户的作业率多在0.7~0.85之间，而大型空分装置的作业率可以高达

0.98~1.0。这样势必在15~30%的时间内设备不能满负荷生产，从而使空分设备的提取率下降，单位能耗上升。因此在机组选择时既要考虑大型化所带来的单位能耗降低，也要考虑主要用户一台或几台设备检修时机组的适应能力。切忌只选用一台大型空分设备。如在一个300~600万吨的大型钢铁企业内配上一台6000Nm<sup>3</sup>/h左右的空分设备也是可取的，则在试生产阶段不必为满足几个小用户而去动用大设备。投产后可以作为一种调节能力的手段。当炼钢系统检修、工艺用氧用氮停止时，也可由它供应焦化、炼铁和部份轧钢用户，而停下大设备以节省能耗。

以××工程为例，焦化车间需比高炉提前四个月投产，为了满足干熄焦用的少量氮气(800Nm<sup>3</sup>/h)，不得不去开动26000Nm<sup>3</sup>/h空分设备，四个月内电耗高达3755万度。如配用一台6000Nm<sup>3</sup>/h空分设备则可节电2720Nm<sup>3</sup>/h万度，折合人民币约200万元。

联邦德国蒂森Ruhrot分厂氧气站的总能力为12.5万m<sup>3</sup>/h，其机组配备情况为：1×4000+2×8000+1×15000+3×30000，即总共有大小七台设备(4000Nm<sup>3</sup>/h和8000Nm<sup>3</sup>/h设备，平时以生产液体产品为主)。喜欢选用大机组的日本，大部分工厂在配有30000~35000Nm<sup>3</sup>/h大型空分设备的同时，也配有几台6000~10000Nm<sup>3</sup>/h左右的空分设备。

## 二、高炉专用制氧机的采用

高炉富氧鼓风的富氧率一般为3~7%，即含氧24~30%的空气，故可采用中纯度制氧机。在产品氧气纯度降低时其冷凝温度降低，在相同的主冷凝器温差条件下，下塔顶部的氮气冷凝温度也随之降低，下塔压力下降，空压机排气压力下降，从而可达到减少制氧电耗的目的。空压机排气压力和氧气纯度的关系见图1。

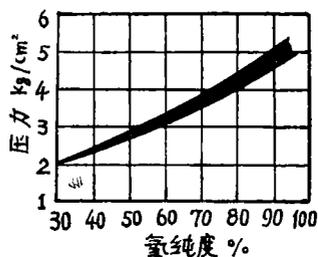


图1 氧气纯度和空压机排气压力的关系

由于空压机的排气压力，还受水份和二氧化碳自清除条件及膨胀机单位产冷量的限制，通常不得低于 $2.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ，因此高炉专用制氧机的氧气纯度多在60~95%之间。如联邦德国蒂森钢铁厂的施文格尔分厂建有一台 $70000\text{Nm}^3/\text{h}$ 高炉专用空分设备，供 $4085\text{m}^3$ 高炉富氧，纯度60% $\text{O}_2$ ，由林德公司设计。日本川崎的水岛制铁所建有一台 $47000\text{Nm}^3/\text{h}$ 高炉专用空分设备，纯度90%。法国敦克尔及里歇蒙特制氧中心的高炉专用制氧机，氧气纯度为95%。日本神户制钢所运用有效氧的概念经过计算比较，推荐高炉制氧机的氧气纯度为80%。美国和英国则倾向氧气纯度为70%。

蒂森钢铁厂 $70000\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分设备的单位制氧电耗为 $0.355\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{O}_2$ （折算成99.5%纯度）。如纯氧设备的能耗取 $0.44\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{O}_2$ ，则每标米立方氧的能耗差为 $0.085\text{kWh}/\text{Nm}^3$ ，每万立方米有效氧气每年可节电700万度。

高炉制氧机虽然具有降低单位能耗的作用，但不能作为转炉用制氧机的备机。据资料介绍，可以制造两用制氧机，即在通常情况下生产中纯度氧气，一旦纯氧设备检修时，改用位置较高的液空节流阀，调节工况进行纯氧生产。其制氧能耗高于高炉专用制氧机，但低于纯氧设备，价格与纯氧机组相近。总之，当选用高炉专用制氧机时，必须考虑到当一台纯氧设备检修期间，全厂转炉和其它用户氧、氮、氩气的供应。

### 三、高纯制氧机进行中纯氧生产的节能效果

前面谈到采用高炉专用制氧机，可以收到节省能耗的巨大效益，但由于不能与转炉用纯氧设备互为备用和影响氩气的提取，从而在推广上受到限制。

以氧气纯度95%为目标，日本中村正典在共同酸素株式会社小仓和鹿岛工厂的 $15000\text{Nm}^3/\text{h}$ 双高空分设备上试验，结果是：有效氧增产6.4%，单位电耗下降9.23%。中国空分公司在江苏六合化肥厂对国产 $1500\text{Nm}^3/\text{h}$ 双高空分设备调试中也得到类似的结果：有效氧增产5.17%，单位电耗下降6.8%。

### 四、选用单高纯和双高纯机组问题

冶金工厂除了轧钢保护气体需要99.999%的纯氮外（600万吨以下的钢铁厂其量不大于 $6000\text{Nm}^3/\text{h}$ ），其余均可采用98~99%的氮气。对上述数量的纯氮，可以采用纯氮塔生产压力氮的流程（如太钢引进的林德公司 $10000\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分流程），在纯氧设备或高炉专用制氧机上生产。高纯氮气（99.999%）由纯氮塔出来靠自己的压力（ $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ）直接专管送轧钢车间，这样做既省去了高纯氮气加压机又可避免高纯氮的污染。其余均可采用单高纯机组。单高机组除了操作简单外，还可节省设备投资约1%。由于塔板数比双高纯机组减少20~22块，使空压机排气压力下降 $0.13\text{kg}/\text{cm}^2$ ，从而使单位制氧电耗可降低1.3%。对一台 $20000\text{Nm}^3/\text{h}$ 空分设备，年节电可达100万度。

### 五、降低氩压机排气压力

转炉用氧压力随炉容大小而异，一般在 $10\sim 17\text{kg}/\text{cm}^2$ ，并且是间断使用，因此需设置缓冲罐，其压力多在 $20\sim 30\text{kg}/\text{cm}^2$ 之间。轧钢和连铸的用氧压力也是 $10\sim 17\text{kg}/\text{cm}^2$ 。通常 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 终压，压氧电耗为 $0.14\sim 0.20\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{O}_2$ ，占制氧电耗的40%左右。

设法降低氧压机的排气压力,就可降低单位压氧电耗。

武汉钢铁设计院在一些中型和大型钢铁企业设计中采用了将贮罐和输氧管道并联的系统,如图 2 所示。

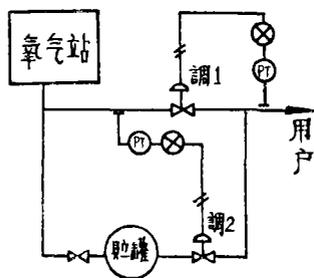


图 2 贮罐与输氧管道并联布置

这样,当转炉炼钢用氧量大于或等于氧压机输送量时,氧气经调一 1 阀直接去转炉,不足部份由贮罐补充,此时管道输送压力等于转炉用氧压力;当炼钢用氧量小于氧压机输送量时,部份氧气经调一 1 阀去转炉,多余部份送入贮罐,此时管道输送压力等于贮罐工作压力。调一 1 阀的开度由阀后压力控制,调一 2 阀的开度由调一 1 阀的阀前压力控制。由于贮罐处于旁通位置,故仅在转炉停止吹氧时(在三吹二时该时间为 30% 冶炼周期)氧气才通过贮罐,另 70% 时间氧气直接去转炉,也就是说在此 70% 时间内氧压机工作压力可以降低 6~10 kg/cm<sup>2</sup>。据计算压力每降低 1 kg/cm<sup>2</sup>,对 10000 Nm<sup>3</sup>/h 氧气压送量,可节省操作费 2.6~4 万元/年。

#### 六、贮罐放在炼钢车间附近

贮罐放在炼钢附近的优点如下:

##### 1. 可以节省管道投资

就转炉供氧而言,当贮罐放在炼钢车间附近时,氧气站至炼钢车间之间的管道可按转炉的平均用量考虑。贮罐放在氧气站时,其间管网必须按转炉的最大量考虑,两者之间流量相差一倍以上。所以流速相同时管道直径相差 1.5 倍,氧气站与炼钢车间相距愈

远,投资相差愈大。

##### 2. 可以增加贮罐容积

当贮罐放在炼钢车间附近时,氧气站至炼钢车间之间的管道可以作为贮气之用。由于目前每立方米水容积贮罐的投资高达 1700 元,因此可节省的贮罐费用也是相当可观的。

#### 七、合理地选择管径

在管径选取时应考虑以下几个因素:

- 1) 必须低于安全流速。
- 2) 比较由于管径变化所引起的设备投资和运行费用的改变。
- 3) 考虑由于管径不同引起压力降变化对贮罐量的影响。

4) 当贮罐放在炼钢附近时,由于管道可以兼起贮气作用,还应考虑管径变化引起贮罐容积变化这部份所相当的投资。

通常经济流速远小于安全流速,故管径选择应根据上述(2~4)项,对不同管径计算比较后确定。

#### 八、开拓空分产品使用范围,进行综合利用

根据计算,如能将某钢铁厂 26000 Nm<sup>3</sup>/h 空分装置生产的高纯氮利用率由现在的 30% 提高到 100%,则有效能效率可以从现在的 14.6% 提高到 16.1%,从而使各项分离能耗下降 9.5%。

#### 九、改善供应系统,提高调节水平

氧气放散是当前存在的一个严重问题,据统计在钢铁企业一般是 10~15%,个别高达 20~30%。

##### 1. 建立足够容量的气体贮罐系统

气体贮罐贮量除了能满足炼钢生产用量的正常波动外,还必须满足在事故时吹完 1~2 炉钢(三吹二时)的用气量。

##### 2. 考虑液体产品生产,并配备贮罐

选用可以生产液氧、液氮的变工况机组,并配备一定容量的液氧、液氮、液氩贮罐。这样当某些车间检修时可以减少气体产

品产量而生产部份液体，一旦需要时可以弥补气体贮罐的不足。

3. 采用电子计算机控制

1976年，日本神户制钢所在加谷川钢厂的30000Nm<sup>3</sup>/h空分设备上使用计算机控制后，氧气放散量由13.6%下降到4.9%。美国空气制品公司在日产1000吨(29130Nm<sup>3</sup>/h)的空分设备上使用计算机控制后，空分系统在70~105%负荷范围内可以用2%/分的速度调整，空压机能力可以在3分钟内变量±20%，氧压机的调整速度是10%/分。由于电子计算机起了最佳操作员的作用，因而氧气放散量大大减少，使能耗下降9%。

4. 设置能源中心

集中氧气车间各机组运行情况、外供产品量和气液贮罐的贮量数据，根据对一些主要用户的潮流监视，可以对氧气车间发出增减负荷指令，也可以在氧气车间操作室显示炼钢车间的日作业计划和吹炼情况，从而对全厂用氧做到心中有数。

5. 实行区域性联网，集中供氧

早在五十年代国外就已实行空分产品“专业化生产，区域集中供应”的方案，取得了良好的经济效果。国外经验表明，管送的经济距离可为50km，液体产品的供应范围可达250km。一般管送率为90%，瓶送率为1%，液体产品输送占9%。

钢铁企业大空分多，如能与附近的冶金、机械、电子用户实行联网集中供应，就可以提高产品利用率，减

少放散，降低成本，对双方都是有益的。

十、氧气车间合理的总图位置

氧气车间在总图布置上应注意以下几点：

- 1) 应靠近主要用户(炼钢、炼铁)，以缩短输送管网，减少阻力损失。
- 2) 处于常年风向的上风向，以减少碳氢化合物集聚。

3) 如有可能氧气车间可毗邻锅炉房建造，使得空压机、氧压机、氮压机可直接使用蒸汽拖动，提高热效率。据估计，由于减少了发电机变压器、输电线、电动机等中间转换的电损，可以节能8~15%。

大型钢铁企业空分产品供应建议系统图见图3。

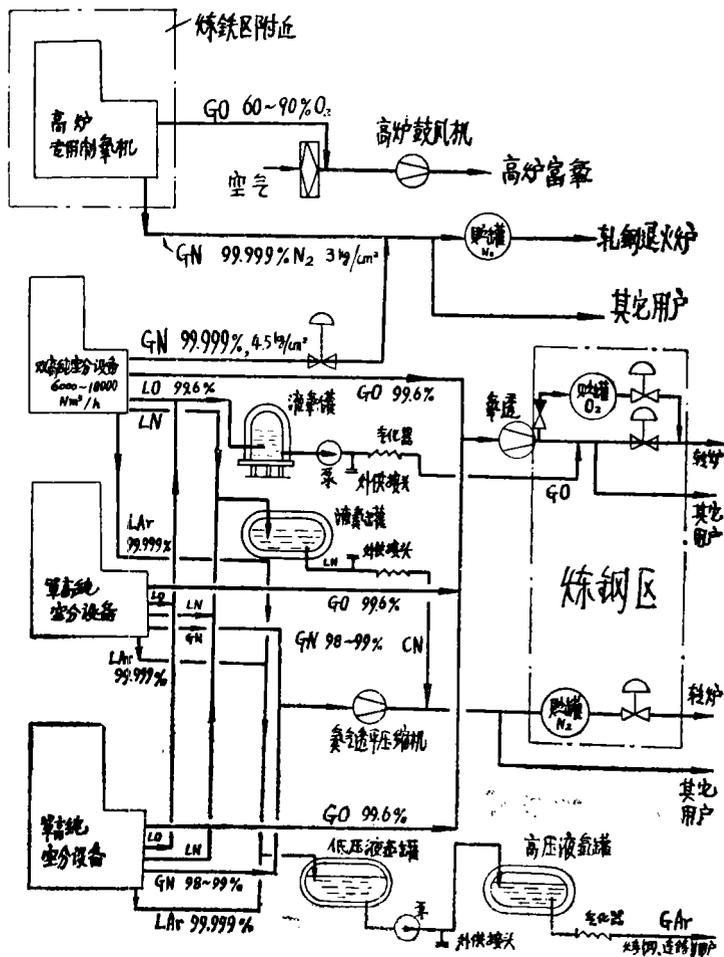


图3 大型钢铁企业空分产品供应建议系统图

### (三) 空分产品供应系统节能措施的效益测算

吨钢铁厂为例, 测算其年经济效益。测算是粗略的, 其目的只是为了给出一个量的概念。其中 2、3 两项不能同时实施。测算效益详见表 1。

以下就上述十条供应节能措施, 以 600 万

表 1 空分产品供应系统十条节能措施年效益测算

序 号	措 施 名 称	经济效益(万元)		备 注
		节 省 设 备 费	节 省 操 作 费	
1	合理地选择机组	—	—	因比较基准不好确定, 故效益从略
2	采用高炉专用制氧机	—	223	按 3% 富氧率考虑
3	纯氧设备生产 95% 纯度氧气	—	104	按日本 15000Nm <sup>3</sup> /h 机组的试验数据(节能 9%)
4	选用单高纯和双高纯机组	40	22.5	按单高机组制氧能耗比双高机组下降 1.3% 计算
5	降低氧压机排气压力	—	73.5	按 70% 时间内氧压机排气压力下降 6kg/cm <sup>2</sup> 计算
6	贮罐位置放在炼钢车间附近	37	—	氧气站至炼钢之间距离按一公里计算
7	合理选择管径	—	—	因比较基准不好确定, 故效益从略
8	开拓空分产品使用范围, 进行综合利用	—	—	大型空分装置提取稀有气体后, 可使氧氮成本降低 50%, 但能耗只增加 2%
9	改善供应系统, 提高调节水平, 降低放散量	—	540	以节省能耗 9% 或减少放散量 90% 计算
10	合理的总图位置	—	—	因比较基准不好确定, 故效益从略

### 参 考 文 献

- [1] 降低空分装置单位能耗的可能性(译文), 《深冷技术》, 1984 年第 3 期。
- [2] 《制氧机节能技术汇编》, 杭州制氧机厂, 1983 年。
- [3] 孙德盛: 精馏塔导向筛板试验小结, 《深冷技术》1983 年第 3 期。
- [4] 杨湧源: 蒂森钢铁厂氧气设施, 武汉院《钢铁设计情报》, 1976 年 1 月。
- [5] 日本钢铁工业用空分设备(译文), 《深冷技术》, 1977 年第 4 期。
- [6] 高炉专用空分装置的最适纯度の检讨, 《日立评论》, 55 卷第 7 期。
- [7] 杨湧源: 宝山钢铁厂空分产品的生产与产品的能耗分析, 1983 年 10 月。
- [8] 高炉吹运用酸素制造装置, 日本神户制钢所。
- [9] H. Springman: Planning of large oxygen Plants in steel works, 《Linde Rep. Sci. Technal》, 1977. №25。
- [10] 管甫凯: 冶金工厂氧气输配中的几个问题, 《燃气通讯》, 1980 年第 2 期。
- [11] 杨湧源: 昆钢氧气站设计与施工总结。1971 年 7 月。

## 氧压机自动排水装置投入使用

由杭州制氧机厂设计制造的氧气压缩机自动排水装置, 1985 年 12 月 28 日首次安装在我厂氧压机总出口管道上使用。经实践证明, 该装置可代替手工操作自动排水, 符合设计要求。

(范天保 报道 摘自空分情报网《行业动态》第 51 期)