

# 焦炉煤气变温变压吸附制氢

董义财 (武汉钢铁公司硅钢片厂 430083)

## 一、概述

我厂在冷轧硅钢片的生产过程中需要进行中间退火、脱碳退火、高温退火和拉伸退火等多种热处理,以上退火热处理都必须在高纯度的氢、氮保护气氛中进行,氢气纯度要求在99.99%以上,其中含氧量在2ppm以下,含水量在11ppm以下(露点低于 $-60^{\circ}\text{C}$ )。原来所用氢气是采用水电解法制取,每年耗电2000万kW·h左右,占全厂总耗电量的1/6~1/5。

在冶金工厂里有大量廉价的炼焦副产品——焦炉煤气,其含氢量高达50~60%。从1987年开始,我们同西南化工厂研究院合作研制开发采用变温、变压吸附技术从焦炉煤气中提取 $\text{H}_2$ 气的装置。经过3年多的努力,于1990年9月底正式投产发挥效益,宣告我国第一套从焦炉煤气中每小时制取 $1000\text{m}^3$ 高纯氢气的装置研究应用成功。几个月的生产实践证明,各项性能指标均接近和超过国际同类装置的水平。

## 二、工艺原理

本工艺技术主要利用固体吸附剂的物理吸附特性,即吸附剂的选择性吸附和吸附容量随温度、压力的高低而变化,来分离气体混合物。

焦炉煤气的组成十分复杂,除了有大量的 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 和一定量的 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2\sim\text{C}_4$ 饱和及不饱和烃类外,还有少量的 $\text{C}_5$ 饱和烃类及苯、萘、有机硫、焦油等。后者都是高沸点的组分,在吸附剂上具有很强的

吸附性,很难在常温下脱附,因此需要采用两种不同的吸附工艺,一是变温吸附(简称TSA)工艺,一是变压吸附(简称PSA)工艺。

TSA的原理是利用吸附剂对气体的吸附容量随温度的不同而有较大差异的特性,在吸附剂选择吸附的条件下,常温高压下吸附上述高沸点杂质组分,高温低压或高温等压下脱附这些杂质而再生吸附剂。

PSA的原理是利用所采用的吸附剂对各组分的吸附容量随压力的不同而差异的特性,在吸附剂选择吸附条件下,加压吸附以除去原料气中的杂质组分,减压下脱附这些杂质而使吸附剂获得再生。将TSA和PSA两个过程循环操作,以达到连续提取出纯度为99.5%以上的氢气之目的。

表1 焦炉煤气的组成

成份名称	含量 (%)	成份名称	含量 (%)
氢	53~59	丁烯	0.019
氧+氩	0.34	正丁烷	0.0040
氮	2.42	戊烷	0.0064
一氧化碳	5.63	苯	0.017
甲烷	26.70	甲苯	<1ppm
二氧化碳	2.77	萘	<400mg/m <sup>3</sup>
乙烷	2.19	糠基硫	19mg/m <sup>3</sup>
乙烷	0.96	二硫化碳	20mg/m <sup>3</sup>
丙烷	0.17	噻吩	0.26mg/m <sup>3</sup>
丙烷	0.016	二甲基二硫化碳	0.17mg/m <sup>3</sup>
丙二烯	0.0040	水份	在40°C下饱和
异丁烷	0.019		

## 三、工艺流程

根据焦炉煤气制氢的工艺特点,可将流程分为四个工序,即加压工序、预处理工序

(简称TSA—1)、变压吸附工序(简称PSA)和氢气净化工序(简称TSA—2)。

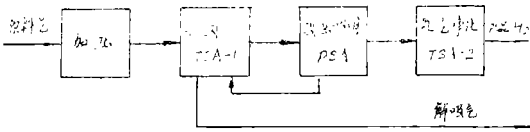


图1 焦炉煤气制氢工艺流程方框图

进入制氢装置系统的原料气的压力只有14.7~15.6kPa,为了满足变压吸附工艺的需要,首先必须用煤气压缩机将其压力提高到1.77MPa。经过升压的焦炉煤气通过TSA—1工序除去C<sub>2</sub>以上烃类及苯和其它高沸点杂质。经过预净化的气体再进入PSA工序去除氧以外的所有杂质,获得99.5%以上纯度的H<sub>2</sub>。最后通过催化反应除去少量的O<sub>2</sub>,并经TSA—2脱掉微量的水以制得纯度为99.99%以上的产品H<sub>2</sub>气,其含O<sub>2</sub>量小于2ppm,露点低于-60℃。

#### 四、工艺过程的控制与调节和工艺参数的检测

焦炉煤气制氢的关键是对工艺过程的控制与检测。生产过程中主要控制参数有气体的压力、流量、温度和成分四种。为了使装置正常、稳定、安全地运转,根据各工序特点共设置了1套由微机组成的PSA全自动程控系统;2套TSA手操程控系统;11套压力、流量调节回路;1套产品质量报警联锁系统;1套远程手操联锁系统;7套流量计量系统;20路压力、温度、成分、电流报警(或联锁)和5套自动成份分析仪。为了便于对整个生产过程及时监视和调整,本装置重要参数的记录、指示、调节、控制等有关仪表都集中安装在控制室的仪表盘上,在该室中操作者能监控全系统安全正常自动运行。

#### 五、装置的功能

本装置先后于1990年9月27日至30日经

过72小时的全负荷运行、功能考核,1991年2月16日至20日生产运行中的能耗记录和至今的生产实践,证明这套制氢装置主要性能指标均接近或超过日本类似的装置的水平,具体数值见表2。

表2 制氢装置的功能和能源介质消耗

项目	武钢硅钢厂		日本
	设计值	实测值	
产量(m <sup>3</sup> /h)	1000	1000	100
H <sub>2</sub> 气压力(MPa)	1.5	1.5	0.9
质 量	H <sub>2</sub> 纯度(%)	>99.99	99.9986
	含O <sub>2</sub> 量(ppm)	<2	<1
	露点(℃)	<-60	-70
氢回收率(%)	75	75~80	70
能 源 介 质 消 耗	电(kW·h)	450	353.3
	水(t)	45	72
	蒸汽(t)	0.30	0.42
	仪表空气(m <sup>3</sup> )	40	5.2

产品H<sub>2</sub>的纯度直接关系到生产出的高牌号冷轧硅钢片的性能和质量,即H<sub>2</sub>气纯度必须高于99.99%。经过几次用钢瓶取样对H<sub>2</sub>的成份进行全分析,H<sub>2</sub>的纯度>99.998%,达到设计要求。

#### 六、经济效益

##### 1、节省电能

水电解制氢是通过电化学反应将电能转化为氢能,在电解过程中水的实际分解电压远远高于其理论分解电压,所以电耗很高。与此同时,将电解产生的0.7kPa的常压氢加压到1.5MPa的过程中,压缩机水泵等还需要消耗部分电能。而焦炉煤气制氢只是在将原料气加压到1.8MPa的过程中,煤气压缩机以及风机、照明等消耗少量的电能,与电解水制氢的相比,能耗要低很多。电解水制氢每生产1m<sup>3</sup>(标)纯氢实耗电7kW·h左右,用焦炉煤气制氢电耗小于0.45kW·h。按设计能力每年满负荷生产8000小时,则每年可节电5240万kW·h,节约电费1150余万元。

