

# “8·13”工程变压吸附脱碳 气体损失及电耗计算

杨晓勤 蒋远华 何 涛

(湖北省宜化化工股份有限公司 443007)

湖北省宜化化工股份有限公司“8·13”尿素工程于1999年9月28日开工建设,2000年11月30日一次开车成功,至2001年2月底实现首批出口美国2.5万t大颗粒尿素,国内首创的变压吸附(PSA)双高脱碳技术在“8·13”尿素工程中起了很关键的作用。

## 1 工艺流程

工艺流程见图1。从变换工段出来的变换气先经变压吸附(PSA)提纯装置提取高浓度CO<sub>2</sub>送尿素系统,含一定CO<sub>2</sub>的氢氮气经过压缩升压后进入变压吸附(PSA)净化装置进一步脱除CO<sub>2</sub>至规定含量后,送入后工段生产合成氨。

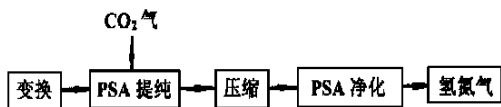


图1

## 2 基础数据

### 2.1 提纯装置

变换气流量: 61 100 m<sup>3</sup>/h(标态);

循环时间: 2 300 s;

四均降完压力: 0.049 MPa;

放回一入总管结束压力: 0.044 MPa;

抽真空结束压力: -0.070 MPa;

进口温度: 23.5 ℃;

CO<sub>2</sub>气纯度: ≥98.2%。

### 2.2 净化装置

循环时间: 1 700 s;

四均降完压力: 0.149 MPa;

放回一入总管结束压力: 0.025 MPa;

抽真空结束压力: -0.076 MPa;

净化气CO<sub>2</sub>: ≤0.2%。

### 2.3 部分气体成分

用奥氏气体分析仪分析部分气体成分(体积分数)见表1。

气体名称	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
变换气	26.4	0.4	0.3	1.2	51.7	20.0
净化气	0.2	0.7	0.5	2.4	69.4	26.8
CO <sub>2</sub> 气	98.8					
提纯顺放气	53.4	0.2	1.0	1.8	17.7	25.9
净化逆放气	24.0	0.6	1.2	1.2	42.3	30.7
净化抽真空气	65.6	0.4	1.2	1.3	8.8	22.7

## 3 气体损失计算

变压吸附(PSA)装置中气体损失主要是每塔每一循环所进行的放空及抽真空放气损失,分别计算如下:

### 3.1 放空损失

每塔从放回一入总管结束压力一直放到零压,放出的气体量即为放空损失。

$$\text{放空前: } P_1V = n_1RT$$

$$\text{放空后: } P_2V = n_2RT$$

$$\text{放出气量: } \Delta n = [(P_1 - P_2)/RT] V$$

$$\text{折算为标态气量: } P_0V_0 = nRT_0$$

$$\text{即: } V_0 = (\Delta P/P_0) \cdot (T_0/T) \cdot V \quad (1)$$

#### (1) 提纯装置

$$\Delta P = 0.044 \text{ MPa,}$$

$$V = 71.0 \text{ m}^3。$$

$$\text{每循环每塔气量: } V_0 = (0.044/0.1) \times$$

$$273.15 / (273.15 + 23.15) \times 71.0 = 28.80 [\text{m}^3 (\text{标态})]$$

$$\text{则每小时12塔气量: } (28.80 \times 12 / 2300) \times$$

$3\ 600 = 540.94[\text{m}^3(\text{标态})]$

其中含  $\text{H}_2$ :  $540.94 \times 17.7\% = 95.75[\text{m}^3(\text{标态})]$

以  $2\ 000\ \text{m}^3(\text{标态})\ \text{H}_2$  产  $1\ \text{t}$  氨计, 每小时损失氨:  $95.75/2\ 000 = 0.479(\text{t})$

每天损失  $\text{H}_2$ :  $0.479 \times 24 = 1.15(\text{t})$

其中  $\text{N}_2$  损失:  $540.94 \times 25.9\% = 140.10[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

## (2) 净化装置

$\Delta P = 0.025\ \text{MPa}$ ,

$V = 58.0\ \text{m}^3$ 。

每循环每塔气量:  $V_0 = (0.025/0.1) \times (273.15/296.65) \times 58.0 = 13.35[\text{m}^3(\text{标态})]$

每小时 8 塔气量:  $(13.35 \times 8/1\ 700) \times 3\ 600 = 226.16$  其中含  $\text{H}_2$ :  $226.16 \times 42.3\% = 95.67[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

其中含  $\text{N}_2$ :  $226.16 \times 30.7\% = 69.43[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

损失氨:  $(95.67/2\ 000) \times 24 = 1.15(\text{t}/\text{d})$

故整套装置放空损失氨:  $1.15 + 1.15 = 2.30(\text{t}/\text{d})$

整套装置氢损失率:  $[(95.75 + 95.67)/(61\ 100 \times 51.7\%)] \times 100\% = 0.61\%$

整套装置氮损失率:  $[(140.10 + 69.43)/(61\ 100 \times 20.0\%)] \times 100\% = 1.71\%$

## 3.2 抽真空损失

由式(1)可知, 当其它条件不变时,  $V_0$  与  $\Delta P$  成正比, 因此:

$$V'_0 = (\Delta P' / \Delta P) \times V_0 \quad (2)$$

### (1) 提纯装置

将置换过程当作抽真空过程来算:

$V'_0 = (0.070/0.044) \times 540.94 = 860.59[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

以其平均含  $\text{H}_2$  体积分数为  $5\%$  计, 损失  $\text{H}_2$  量:  $860.59 \times 5\% = 43.03[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

损失氨:  $(43.03/2\ 000) \times 24 = 0.52(\text{t}/\text{d})$

以其平均含  $\text{N}_2$  体积分数为  $10\%$  计, 损失  $\text{N}_2$  量:  $860.59 \times 10\% = 86.06[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

### (2) 净化装置

$V'_0 = (0.076/0.025) \times 226.16 = 687.53[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

含  $\text{H}_2$ :  $687.53 \times 8.8\% = 60.5[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

含  $\text{N}_2$ :  $687.53 \times 22.7\% = 156.14[\text{m}^3/\text{h}(\text{标态})]$

损失氨:  $(60.5/2\ 000) \times 24 = 0.73(\text{t}/\text{d})$

故整套装置置换、抽真空共计损失氨:  $0.52 + 0.73 = 1.25(\text{t}/\text{d})$

氢损失率:  $[(40.03 + 60.5)/(61\ 100 \times 51.7\%)] \times 100\% = 0.32\%$

氮损失率:  $[(86.06 + 156.14)/(61\ 100 \times 20.0\%)] \times 100\% = 1.98\%$

整套装置综合损失氨:  $2.30 + 1.25 = 3.55(\text{t}/\text{d})$

氢回收率:  $100\% - (0.61\% + 0.32\%) = 99.07\%$

氮回收率:  $100\% - (1.71\% + 1.98\%) = 96.31\%$

## 4 电耗

总共开 10 台真空泵, 平均运行电流  $240\ \text{A}$ , 电耗为:  $P = 10\sqrt{3}UI\cos\phi = 10\sqrt{3} \times 380 \times 240 \times 0.85 = 1\ 342.69(\text{kW})$

开 1 台  $132\ \text{kW}$  罗茨机按满负荷计算, 变压吸附(PSA)装置总电耗为:  $1\ 342.69 + 132 = 1\ 474.69(\text{kW})$

以目前平均氨产量  $344\ \text{t}/\text{d}$  算, 吨氨变压吸附(PSA)装置电耗为:  $24 \times 1\ 474.69/344 = 102.89(\text{kWh})$

## 5 结论

(1) 变压吸附(PSA)双高脱碳装置应用于尿素生产, 气体损失小, 每天仅损失氨  $3.55\ \text{t}$ 。

(2) 变压吸附(PSA)装置的  $\text{H}_2$  回收率为  $99.07\%$ ,  $\text{N}_2$  回收率为  $96.31\%$ 。

(3) 变压吸附(PSA)装置的吨氨电耗仅为  $102.89\ \text{kWh}$ , 且加负荷后还会进一步降低。