

# 布朗工艺合成回路循环气量高原因分析与对策

陈宝祥，刘兰英

(重庆建峰化工股份有限公司)

**摘要：**本文对布朗工艺合成回路循环气量大的原因进行了分析并提出应对措施。

**关键词：**布朗工艺；循环气量；原因；对策

## 1 流程简介

重庆建峰化工股份有限公司的一化合成氨装置是年产 30 万吨合成氨，采用法国布朗工艺流程的大型合成氨装置。本装置设计合成气经合成气压缩机（100C2）三段压缩后与循环气混合，再经四段压缩至 15.81MPa，在合成塔进出口换热器（100E40A/B）及第一合成塔进出口换热器（100E41）中加热后，进入三个串联的合成塔进行反应，反应热被两个废锅（100E42、100E43）及高压蒸汽过热器（100E53）带走。合成塔出口气压力 15.0MPa，温度 467℃，含氨 21.01%，经废锅（100E43）被冷却到 341℃，然后经合成塔进出口换热器（100E40A/B）温度降至 92.4℃，通过合成塔出口气冷却器（100E44）冷却至 32℃，经冷交换器（100E47）及两级氨冷后被冷却至 4.4℃，产品氨在第一分离器（100V19）中被分离下来，剩余气体除少量进入驰放气系统，全部循环返回合成气压缩机四段进口。液氨又进入减压罐（100V20）中减压到 3.6MPa，再进入氨收集槽（100V25）中进一步减压到 1.6MPa。工艺流程如图 1：

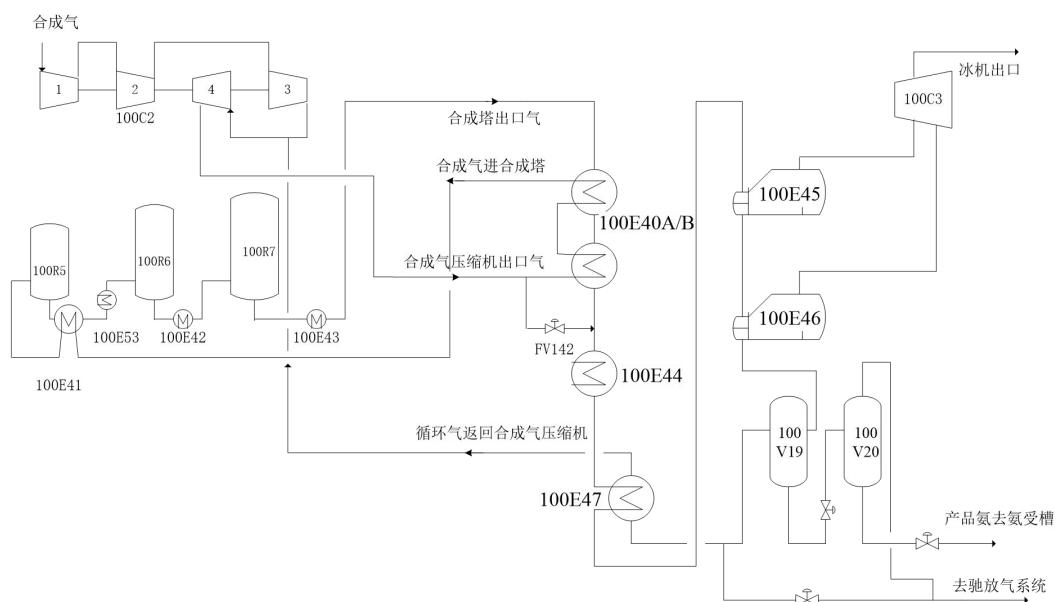


图 1 合成回路工艺流程图

## 2 问题提出

多年来，在100%负荷下运行，一化合成氨装置始终存在合成回路循环量较高、合成反应氨净值较低的问题，由此造成100CT2耗汽增加、合成回路压力偏高，给装置安全经济运行带来不利影响，成为装置超负荷运行的瓶颈。主要参数与设计值对比如表1：

表1 主要运行参数与设计值对比

	负荷 (m <sup>3</sup> /h)	合成气压缩机 一段入口气量 (KNm <sup>3</sup> /h)	合成气压 缩机四段 出口气量 (KNm <sup>3</sup> /h)	氨净值 (%)	合成塔 总温升 (℃)	合成气压 缩机透平 耗汽 (t/h)	合成气压缩机 四段出口压力 (MPa)	氨产量 (t/h)
设计值	30660	115.55	378	17.6	264	109.9	15.81	41.67
实际值	30654	118.4	410	16	240	124.5	15.8	41.9

从表1看出，合成气压缩机一段入口新鲜气量偏高于设计值近3KNm<sup>3</sup>/h，在混合了循环气后，四段出口气量高于设计值达32 KNm<sup>3</sup>/h，且随运行时间的延长还会不断增加。机组做功增加，耗汽增加近13%。由于循环气量的增加，压缩机出口压力经常在超过设计值15.81MPa，给设备安全带来隐患。

## 3 原因分析

### 3.1 对合成塔催化剂性能进行分析

催化剂更换情况如表2：

表2 催化剂更换情况统计表

设备	装填时间	型号	厂家	装填量	备注
第一合成塔 100R5	1992年初装	A110-1H	南京	46T	
	1997年8月	A110-1H	南京	15.03T	部分更换
	2002年10月	A301/A110-H	上虞/南京	12.8/3.84T	部分更换
	2006年7月	A-10H	辽河	42.2	
第二合成塔 100R6	1992年初装	A110-1	南京	79T	
第三合成塔 100R7	1992年初装	A110-1	南京	127T	
	2010年1月	A10-H	辽河	46.24	部分更换

合成塔催化剂运行情况如表3（各参数为当年相同负荷下平均值）：

表 3 催化剂运行情况统计表

时间	合成气压缩机一段入口气量 (KNm <sup>3</sup> /h)	合成气压缩机四段出口气量 (KNm <sup>3</sup> /h)	合成气压缩机四段出口压力 (MPa)	第一合成塔100R5温升 (°C)	第二合成塔100R6温升 (°C)	第三合成塔100R7温升 (°C)	总温升 (°C)	备注
06 大修前	119.7	419.8	15.92	120.8	80.5	58.5	259.8	
06 大修后	119.8	411.4	15.99	132.8	70.9	55.7	259.4	部分更换 100R5 催化剂
2007	119.6	426.4	15.95	112.7	73.6	56.2	242.5	100R5 第一层温度表更新，显示温度下降
2009	119.8	422	15.95	112.7	74.2	57.1	244	
2010	119.6	426	15.91	113.7	73.2	59.4	246.3	部分更换 100R7 催化剂
2011	119.7	417.4	15.83	111.2	72.6	58.8	242.6	
2012	119.8	418.4	15.84	111.4	73.1	58.9	243.4	
2013	119.7	418.8	15.82	111.7	71.5	59	242.2	
2014	119.5	412.7	15.81	112.6	70.6	58.3	241.5	
2015	119.93	406.97	15.56	115.87	70.79	58.79	245.45	
2016	119.14	407.09	15.59	114.52	69.54	58.47	242.53	
2017	119.6	405.7	15.7	113.36	67.9	59.6	240.86	
2018	120.9	404.8	15.55	112.7	67.5	60.7	240.9	
2019	119.7	406.8	15.58	112.2	67.1	59.8	239.1	

从表中可看出，第一、第三合成塔催化剂活性基本稳定，第二合成塔催化剂自原始开车运行至今未更换，活性有所下降。总体来看，合成塔总温升变化不大，对合成回路循环量高的影响不大。

### 3.2 天然气总碳的影响

天然气组分与设计值对比如表 4：

表 4 天然气组分对照表

组分	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He	$\Sigma C$
设计值%	95.53	0.69	0.12	0.06	/	3	0.6	/	/	97.51
实际值%	97.39	0.45	0.047	0.005	0.002	1.26	0.8	0.004	0.04	98.47

由于天然气总碳高于设计值，在满负荷下，实际产氢必然高于设计值，合成气压缩机一段入口气量高于设计值，合成实际负荷在 103% 左右，循环量有所增加。根据合成气一次通过合成塔有 30% 的转化率，循环量增加 3KNm<sup>3</sup>/h 左右。

### 3.3 合成塔进口气体组分的影响

#### 3.3.1 入塔气氨浓度

设计值 3.46%，目前基本维持在 3%-3.5%，符合设计要求，说明冷冻系统运行正常。

#### 3.3.2 氢氮比

最佳反应值在 2.8-3.0，实际控制中由于在线分析表显示存在一定的偏差，只能根据经验值控制。操作中由于冷箱节流膨胀阀 AV102 调节性能不佳，氢氮比调节存在一定的波动，不能始终保持最佳氢氮比，对合成氨反应有一定的影响。

#### 3.3.3 惰气含量

第一合成塔入口气体组分如表 5：

表 5 第一合成塔入口气体组分对照表

第一合成塔 进口	H <sub>2</sub> (%)	He (%)	Ar (%)	N <sub>2</sub> (%)	NH <sub>3</sub> (%)
设计值	69.85	/	3.41	23.28	3.46
实际值	67.04	4.04	2.99	22.38	3.55

从表 5 可以看出，原设计组分中没有氦气，而实际情况是进口气中有 4% 左右的氦气，按入塔气量 410KNm<sup>3</sup>/h 计算，则有近 16.4KNm<sup>3</sup>/h 的氦气被压缩后进入合成塔，是造成合成回路循环量高的主要原因。

氦气来源于原料天然气（见表 4），按装置满负荷计算，有 12.5Nm<sup>3</sup>/h 氦气带入系统。由于氦气极难液化（沸点 4.3K），所以不能在冷箱除去，全部在合成回路积累。经过一

段时间的运行，循环气中的氦气逐渐积累，造成循环气量增高。

氩气沸点为-185.7℃，通过驰放气返回前端，部分在冷箱被除去，实际值符合设计要求。

### 3.4 设备内漏对循环量的影响

合成回路换热器较多，如存在内漏，必然增加循环气量。

(1) 如合成塔进出口换热器 100E40A/B 泄漏，就相当于部分合成气未通过合成塔进行反应直接在回路里循环，将造成合成塔出口气体组分发生变化，可通过对比其进出口气体成分加以判断。数据表 6：

表 6 合成塔进出口换热器 100E40 进出口气体组份

时间	样点	H <sub>2</sub> (%)	He (%)	Ar (%)	N <sub>2</sub> (%)	NH <sub>3</sub> (%)
2017 年 6 月 30 日	100E40 进口	57.68	3.73	3.59	17.62	17.38
	100E40 出口	58.44	3.65	3.66	18.66	15.59
2018 年 3 月 8 日	100E40 进口	58.49	4.30	3.59	16.30	17.32
	100E40 出口	58.09	2.89	3.52	17.63	17.87

排除分析误差，合成塔进出口换热器 100E40A/B 存在泄漏的现象不明显。

(2) 第一合成塔进出口换热器 100E41 如果存在泄漏，部分合成气未通过第一合成塔 100R5，直接进入后端，如第二、第三合成塔活性下降，不足以弥补其带来的影响，将使整个合成塔的氨合成率下降从而导致回路循环气量增大。目前无法通过取样分析判断是否存在内漏，但从合成塔总的反应情况看，变化不大，故判断不漏。

(3) 如冷交换器 100E47 泄漏，部分合成气未经过冷冻分离，回到合成气压缩机 100C2 循环段，将造成合成气中氨含量上升，同时影响合成反应。近年来，从分析数据看，在冷冻系统运行正常的情况下，合成塔进口气体中氨含量均低于设计值，故判断冷交换器 100E47 未发生明显泄漏。

(4) 如四段防喘振阀 FV142 内漏，则部分合成气不经过合成塔，直接进入下游工序，造成循环气量增加。通过关闭 FV142 前后切断阀，观察防喘振流量及合成塔入口流量无变化，确认 FV142 无泄漏。

## 4 处理措施

根据造成合成回路循环量高的原因，在工艺操作上进行优化。

- (1) 定期对氨急冷器排污，确保换热效果良好，正常运行时将冰机进口压力按较低值控制，保证制冷量，进一步降低循环气中氨含量。
- (2) 根据氢氮比在线分析表 AI103 与手动分析数据之间的偏差，规定在线分析表 AI103 控制范围，指导运行人员操作，尽可能使合成塔入塔气氢氮比在最佳值。
- (3) 调整各塔入口温度，在确保最佳反应的前提下按较低温度控制，严格控制热点温度不超过 512℃，尽量延长催化剂的使用寿命。
- (4) 惰气积累是造成合成回路循环气量高的主要原因，采取以下方式进行控制：将驰放气量由设计值  $5150\text{Nm}^3/\text{h}$  提高至  $8000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，使更多的氩气在冷箱中除去，进一步降低回路中氩气含量；按照合成回路压力小于  $15.81\text{MPa}$  进行控制，压力高时通过将部分驰放气（约  $500\text{-}1000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，持续 1-2 小时）送至一段炉燃烧来降低回路惰气含量，将循环气中氦气含量控制在 4%-5%。

## 5 结束语

通过一系列有效措施，基本可以控制合成回路压力在设计值以下，入塔气量基本稳定在  $410\text{KNm}^3/\text{h}$ ，保证了装置的安全稳定运行。但应该看到，将驰放气送至一段炉燃烧将损失一定的氢，对合成氨生产来说是不经济的。而且，氦气属于一种稀有气体，多用于科研活动，具有较高的经济价值。在后续技术攻关中还需引入能够单独将氦气提取出来的技术，才能最终达到节能降耗的良好运行状态。