

# 掺混式代用天然气的试生产

上海石洞口煤气制气有限公司 盛胜庆 李海涛 季健

**摘要:** 代用天然气作为上海地区东海天然气的一种应急气源,具有快速启动的特点。文章介绍了掺混式代用天然气的生产过程,其中对城市煤气热值的调整、煤气中二氧化碳的脱除、液化气的掺混作了比较详细的阐述。通过对代用天然气的华白数、燃烧势与天然气分类中12T类进行了比较,表明这次试生产是成功的。

**关键词:** 代用天然气 变压吸附 液化石油气 气化 掺混 热值

## 1 前言

城市燃气是现代化城市的一种主要能源,是必不可少的基础设施之一。而天然气作为城市燃气的一种,具有清洁、高效、方便等优势,它的开发和利用具有显著的经济效益、社会效益和环境效益。随着我国西气东输战略的实施,我国将有更多的城市用上天然气。

1999年东海天然气一期正式供应上海地区。几年来,东海天然气开采的上游工程遭受过台风、输气管线泄漏等事故,给用户的正常用气造成了不同程度的影响。为了减少各种不可抗拒的因素所带来的风险,保障稳定供气,除了已经建成的液化天然气贮罐外,另外建造一套保障东海天然气安全供应的应急装置,也是一个切实有效的办法。

上海石洞口煤气制气有限公司充分利用自身的生产工艺优势,经过论证,决定在轻油制气生产线东面的空置区域建造日产代用天然气(SNG)80万 $\text{m}^3$ 的生产线。这条生产线于2002年7月建设完毕,在8月中旬进行了调试。

## 2 设计标准

天然气是一种以甲烷为主要可燃成分的可燃性气体。在通常情况下,只要它具有可燃性就能被认定为可提供给用户的气体燃料。但是,现在的“城市天然气”已经不是上述广义上理解的天然气,由

于天然气的成因和地质条件的不同,不同地域开采的天然气其发热量和组分的差异较大,至今还没有一种燃具,不经改动或调整就可适用所有种类的天然气并能保持正常燃烧。因而国际上惯用的方法是首先将可利用的天然气按发热量和燃烧特性指标进行分类,并提出每一种类别天然气不产生黄焰、回火、离焰和结炭等不正常燃烧的界限指标。而我国颁布的GB/T 13611-92《城市燃气分类》按照表示气体燃烧特性的指标—华白数(W)和燃烧势(CP)进行分类,其中关于天然气的分类如表1。

表1 天然气的分类

类别	华白数 W (MJ/m <sup>3</sup> )		燃烧势 CP	
	标准	范围	标准	范围
4T	18.0	16.7~19.3	25	22~57
6T	26.4	24.5~28.2	29	25~65
10T	43.8	41.2~47.3	33	31~34
12T	53.5	48.1~57.8	40	36~88
13T	56.5	54.3~58.8	41	40~94

华白数与燃烧势也可由下列二式来计算:

$$W = \frac{1}{\sqrt{d}} Q_g \quad (1)$$

$$CP = \frac{K}{\sqrt{d}} [1.0H_2 + (0.6C_m H_n + CO) + 0.3CH_4] \quad (2)$$

式中: W—华白数, MJ/m<sup>3</sup>;

$Q_g$ —燃气高热值, MJ/m<sup>3</sup>;

d—燃气的相对密度(空气相对密度为1)。

CP—燃烧势;

- H<sub>2</sub>—燃气中氢含量, %(体积);
- C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>—燃气中除甲烷以外的碳氢化合物含量, %(体积);
- CO—燃气中一氧化碳含量, %(体积);
- CH<sub>4</sub>—燃气中甲烷含量, %(体积);
- d—燃气的相对密度(空气相对密度为 1);
- K—燃气中氧含量修正系数;
- O<sub>2</sub>—燃气中氧含量, %(体积)。

为了不影响燃气器具的正常燃烧, 代用天然气必须与提供给上海的东海天然气保持同一类别。东海天然气属于 12T 标准的天然气(参见计算结果), 因而石洞口煤气制气有限公司设计生产的 SNG 应符合天然气分类中的 12T 标准。东海天然气一期供气的主要组分如表 2。

表 2 东海天然气的主要组分 (%)

C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
87.35	7.56	0.11	4.22	0.76

相对密度: 0.666

平均高热值: 43.953 MJ/m<sup>3</sup>

东海天然气的华白数:

$$W=Q_g \times d^{-1/2} = 43.953 \times 0.666^{-1/2} = 53.858 \text{ MJ/m}^3$$

东海天然气的燃烧势:

$$CP=K[1.0H_2+0.6(C_mH_n+CO)+0.3CH_4]d^{-1/2} = 1 \times [1.0 \times 0 + 0.6 \times (7.56 + 0.11) + 0.3 \times 87.35] \times 0.666^{-1/2} = 37.75$$

### 3 生产工艺

石洞口煤气制气有限公司的 SNG 生产线是将城市煤气与液化石油气进行掺混, 制得代用天然气产品。如将城市煤气与液化气直接掺混成的燃气其热值与天然气热值相近, 但燃烧特性方面却存在较大的差异, 从而导致燃气器具不能正常燃烧。如上所述, 为了让代用天然气与东海天然气保持同一类别, 必须将城市煤气进行适当的处理, 其中包括提高煤气热值和 CO<sub>2</sub> 的脱除。整套 SNG 生产工艺包括以下四个部分:

#### 3.1 城市煤气系统

根据 SNG 设计要求, 热值为 15.910 MJ/m<sup>3</sup> 的城市人工煤气应调整至 17.272 MJ/m<sup>3</sup> (煤气组成如表 3)。由减少进入改质炉改质的富甲烷气量, 可以提高城市人工煤气的热值, 从而达到这个要求。

表 3 高热值煤气组成及热值

组分	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	H <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	热值 Q (MJ/m <sup>3</sup> )
(%)	19.38	3.00	48.23	29.39	17.272

#### 3.2 CO<sub>2</sub> 脱除系统

城市煤气的 CO<sub>2</sub> 脱除采用变压吸附脱碳技术, 它根据介质在吸附剂上吸附量的差异, 在常温、1.6 MPa 的设计压力下, 原料城市煤气中大量 CO<sub>2</sub> 及少量可燃性气体如 H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO 等被吸附剂吸附, 从煤气中分离出来。吸附的气体在低压或真空状态下被解吸出来, 使吸附剂得到再生。再生的吸附剂在冲压后可以循环操作, 解吸出的 CO<sub>2</sub> 及少量可燃性气体被排放至大气中。CO<sub>2</sub> 脱除系统由一台水分离器、八座吸附塔、三台真空泵和一些辅助设施组成。城市煤气在工作压力和环境温度下进入水分离器, 将原料气中的游离水分离掉, 由流量计计量后通过程控阀进入吸附塔, CO<sub>2</sub> 被吸附脱除后的气体(以下称脱碳气)经计量后输送至掺混系统。变压吸附装置采用八塔真空解吸、三塔同时进料、三次均压过程, 简称 8-3-3/V 工艺。每个塔在一次循环中都要经历吸附、压力均衡 1 降、压力均衡 2 降、压力均衡 3 降、逆向放压、抽真空、压力均衡 3 升、压力均衡 2 升、压力均衡 1 升及最终升压等十个步骤。八个吸附塔在工作程序上相互错开, 保证在一个循环中有三个塔同时进料, 实现了连续、稳定生产。吸附塔出口设置的 CO<sub>2</sub> 分析仪对脱碳气中 CO<sub>2</sub> 的含量进行在线分析, 使操作人员了解生产过程是否满足了脱除 CO<sub>2</sub> 的目的, 并可通过改变原料气的处理量和循环周期的时间, 以控制脱碳气中 CO<sub>2</sub> 的含量。

#### 3.3 液化石油气罐区系统

液化石油气罐区建有 6 座 2 000 m<sup>3</sup> LPG 球罐, 可以从危险品码头或 LPG 槽车接收 LPG。配有 2 台烃泵将 LPG 输送至液化石油气气化器进行气化,

调节烃泵的回流阀可将 LPG 的输送压力控制在需要的范围之内。液化气组成如表 4。

表 4 液化气组成

组成	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	N-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>
%	1.00	65.00	9.18	24.72	0.1

### 3.4 气化与掺混系统

本系统由 2 台蒸汽加热式气化器和一个静态混合器组成。来自球罐区的液化石油气经烃泵升压后进入气化器，在气化器内被低压饱和蒸汽加热气化，气化后的液化气由一个气动控制阀控制掺混量，与来自吸附装置的脱碳气按一定的比例(1:4)在混合器中均匀混合，获得符合 12T 标准的代用天然气(也称混合气)。控制阀由中央控制系统根据设定的掺混比例进行调节，当然这种前馈式控制可以使控制阀对脱碳气的流量变化作出即时的反应，从而能维持稳定的混合比例。但是脱碳气和液化气的热值可以在一定的范围内变化着，如仅采用前馈式控制还是不能确保准确地控制煤气的热值，可在混合器出口配置一台高速热值仪，用以核对混合气的热

值是否与标准热值产生偏差，如产生偏差，中控系统则根据偏差量修正掺混比，这种后馈讯号消除了仪表误差和热值变化带来的干扰及其它因素造成的误差，使混合气的热值更符合要求的。混合气经过加臭、计量后，送入天然气管网。

SNG 的生产工艺流程见图 1。

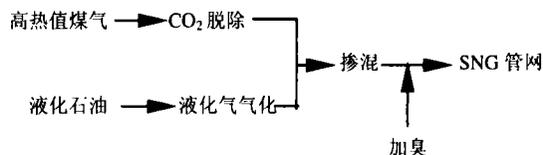


图 1 SNG 的生产工艺流程

### 4 生产结果

进行了为期 4 天的 SNG 的试生产，在生产过程中对城市煤气、脱碳气和代用天然气定期取样分析，化验分析结果见表 5、表 6。表中的华白数、燃烧势根据公式(1)、公式(2)计算而得。

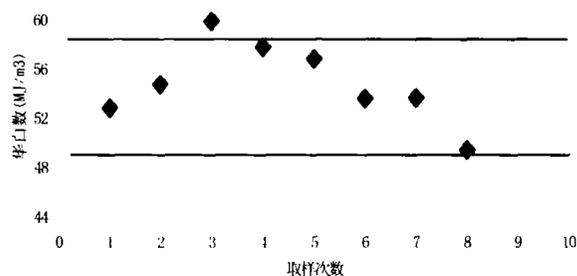
表 5 燃气的组成及热值

次数	城市煤气					脱碳气				
	组成 (%)				热值 $Q_g$	组成 (%)				热值 $Q_g$
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	(MJ/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	(MJ/m <sup>3</sup> )
1	19.24	3.17	53.13	24.46	16.911	7.49	4.00	64.19	24.31	18.366
2	19.56	3.46	52.24	24.74	16.946	7.49	3.58	65.84	23.08	18.033
3	20.13	2.32	52.95	24.59	16.832	7.22	3.38	71.86	17.54	16.569
4	20.02	2.38	51.25	26.35	17.324	9.29	2.68	63.87	24.17	18.102
5	19.97	2.51	52.86	24.66	16.873	8.00	3.67	70.64	17.69	16.510
6	20.57	3.06	52.08	24.30	16.699	16.63	2.36	55.67	25.35	17.487

表 6 代用天然气组成及主要参数

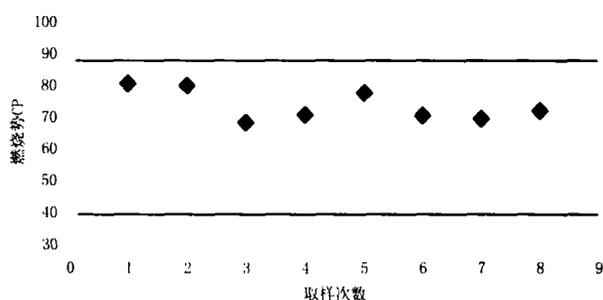
次数	组成 (%)										热值 $Q_g$ (MJ/m <sup>3</sup> )	比重 $d$	华白数 $W$ (MJ/m <sup>3</sup> )	燃烧势 $CP$
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>				
1	5.86	2.28	43.75	18.69	0	23.66	0	1.70	4.07	0	44.944	0.723	52.84	80.39
2	5.15	2.41	43.27	16.30	0.06	26.52	0	1.88	4.41	0	47.588	0.755	54.76	79.78
3	5.63	2.44	33.17	14.43	0.19	35.76	0	2.57	5.80	0	57.789	0.930	59.93	67.99
4	5.80	3.37	35.54	14.48	0.62	32.26	0	2.42	5.51	0	54.373	0.885	57.79	70.56
5	5.52	2.03	42.43	11.73	0.10	30.66	0	2.29	5.24	0	51.488	0.820	56.87	77.47
6	8.76	2.15	37.01	17.54	0.12	27.63	0	2.06	4.73	0	49.083	0.838	53.62	70.23
7	9.04	3.00	36.20	15.81	0.32	28.56	0	2.17	4.90	0	49.847	0.862	53.68	69.26
8	11.08	2.65	39.66	16.63	0	24.04	0	1.83	4.11	0	44.271	0.802	49.44	71.72

将 SNG 的分析结果与 12T 标准的天然气进行比较,从图 2 和图 3 可以看出脱碳后的城市煤气与液化气掺混而制成的代用天然气符合 12T 标准的要求,可以与东海天然气互换。



两直线为 12T 天然气华白数的上、下范围

图 2 SNG 华白数的分布图



两直线为 12T 天然气燃烧热的上、下范围

图 3 SNG 燃烧热的分布图

## 5 结论

这次 SNG 的生产基本完成了先前制定的生产调试计划,向用户送出了符合 12T 标准的代用天然气,但也存在以下一些问题,有待今后根据现场生

产的实际将工艺参数加以适当调整并进一步完善。

1) 由于原城市人工煤气压力低于二氧化碳脱除系统的设计压力(1.6 MPa),因而在实际生产中对变压吸附脱碳的各个工序段的工作压力按照城市人工煤气压力作相应的调整;

2) 受到下游用户接收 SNG 能力的影响, SNG 的最高生产负荷为 28 000 m<sup>3</sup>/h, 达到了设计能力的 84%;

3) 液化气与城市人工煤气混合后,气体组成发生了很大的变化,液化气气体的分压远远低于常温下的饱和蒸气压,因而 SNG 在长距离、较高压力、常温的输送条件下,掺混的液化气不会产生再次液化的现象;

4) 随着生产负荷的变化,掺混的液化气量也同时改变,对烃泵的出口压力影响较大,为了保持稳定的出口压力,必须由操作人员对烃泵的回流阀作相应的调整,回流阀已经不符合原设计中可以自动调节的功能。回流阀的自动调节需要在以后的生产中加以解决,确保安全、稳定地生产。

在城市煤气正常生产的前提下,掺混式代用天然气的生产具有启动时间短、提升负荷快的特点。石洞口制气有限公司 SNG 试生产的成功,给东海天然气提供了有力的保障,同时也可以“西气”到来之后,能起到调峰和输气的作用。

## 参考文献

- 张宝隆,我国城市天然气质量指标的探讨,上海煤气,2002,(5),4-9  
姚玉英,化工原理(下册),天津科学技术出版社,1992

(收稿日期:2003-01-23)

## Trial Production of Mixed SNG

Shanghai Shidongkou Gas Manufacturing Co., Ltd. Sheng Shengqing Li Haitao Ji Jian

**Abstract:** Substitute nature gas is the emergency gas resources for Donghai natural gas in Shanghai, which can start-up rapidly. The article introduces production process of mixed SNG and takes the detail of regulation of city gas heat value, the removal of CO<sub>2</sub> and the mixture with LPG. From comparison of the W and CP of SNG with that of 12T in natural gas classification, it shows its success.

**Key word:** SNG shift pressure adsorption LPG gasification mixture heat value