



地层温度为 108.06℃, 查  $p-T$  相图可知, 该天然气藏为单相气藏。但天然气井的开采多属于定温减压过程, 常伴随着凝析或反凝析现象<sup>[1]</sup>。在一定状态下还会产生自发凝结和水化物等现象。从所给基本参数即可看出, 液体中 2/5 为凝析油, 其余为水。

水汽的存在往往会造成天然气管道积液, 降低输气能力和气热值, 加速 H<sub>2</sub>S 和 CO<sub>2</sub> 对材料的腐蚀等危害。因此, 在分离器设计和运行时, 必须进行充分的估算, 避免上述问题的发生。

天然气的饱和含水量取决于其温度、压力和组分。比如, 压力为 6.4 MPa, 相对密度为 0.6, 温度为 10℃ 的天然气, 其饱和含水量为 0.26 g/m<sup>3</sup>。通过气—固平衡常数来推算水化物的生成条件:

$$\sum X_i = \sum Y_i / K_i = 1 \quad (1)$$

其中:  $X_i$  为  $i$  组分在固相的浓度;  $Y_i$  为  $i$  组分在气相中的浓度,  $K_i$  则为  $i$  组分水化物的气固平衡常数。查文献<sup>[1]</sup>中图 2-74 至 2-79, 并用试凑法求得 10℃ 下, 生成水化物的最低压力为 3.9 MPa; 4.5 MPa 压力下, 水化物形成最高温度为 10.95℃ (4.5 MPa 相当 70% 工况条件)。计算结果表明, 本分离器大多数工况存在水化物; 水化物为松散固体, 密度为 0.88~0.9 g/cm<sup>3</sup>, 其尺寸相对较大, 显然增加了液体的分散度。因而, 从天然气的自发成核到水化物, 液体的尺寸范围约为 0.5 μm。

根据以上分析可知, 本分离器设计具有以下特点:

(1) 分离器压力高, 温度低, 液体尺寸分散度大且密度不同, 这些均不利于惯性分离。

(2) 集气站分离器工作影响因素多, 任一井场变化都会改变分离器的工作状态, 因而, 要求分离器必须具有良好的大弹性工作适应性。

(3) 本分离器处于沙漠和风暴袭击的环境, 采用卧式结构比较安全。总体结构一确定, 分离器元件的选择就更加局限。比如, 旋风式分离元件虽有比通流横截面分离效率高的显著优点, 但在卧式结构条件下, 由于旋风元件疏通液体不便和其出口高速气流引起液面强烈波动, 而无法采用。

(4) 本分离器不配置加热系统。

## 设计和工业实验结果

上述设计思想及现场条件, 实际在很大程度上限制了分离器内部元件的选取。设计前, 又专赴陕北天然气井场考察了现用的引进美国 LTV 公司生产的三相分离器, 发现仪表外有明显的液体残痕, 这

一现象表明仪表气源净化质量不高, 因此, 一次分离的主气流品质就更需提高。美国 LTV 公司的分离器一级初分离采用一组上下错位挡板, 二级分离元件厚度为 115 mm 的丝网。

分离器设计中最主要控制参数是气流速度, 一旦超过分离元件液泛速度(开始撕破分离元件表面上液膜并重新夹带液体进入气流中的速度, 也叫二次湿润或破膜速度), 分离过程立刻恶化。然而液泛速度仅与液量、分离元件的疏水方式、液体物性、气动参数有关, 与液滴尺寸无关<sup>[2]</sup>, 一般可准确求取。设计时必须作为分离气流速度的上限。但若气流速度太低, 惯性分离元件分离效果会明显下降。

经过大量的资料数据分析及多方面考察、方案论证, 最终确定本分离器内部采用一级初分离, 两级细分离, 再加均孔板。

### 1. 一级初分离元件——半圆弧形缓冲罩

由于要吸收旋风分离元件的优点且又要克服其缺点, 因此专门设计选用一半圆弧形缓冲罩, 如图 1 所示。当气液混合物进入分离器并立刻通过缓冲罩时, 由于离心力作用, 使液体贴着罩的内壁向下流动, 而气体则由缓冲罩出来转向流到气体空间。缓冲罩的宽度是逐渐扩大的, 所以气、液速度会逐渐降低, 因而使气液混合物的射程减小, 有利于气液平稳分离, 且防止了高速混物流对分离器液面的冲击。该分离元件可全部去掉大液滴、块状液体及水化物晶体。

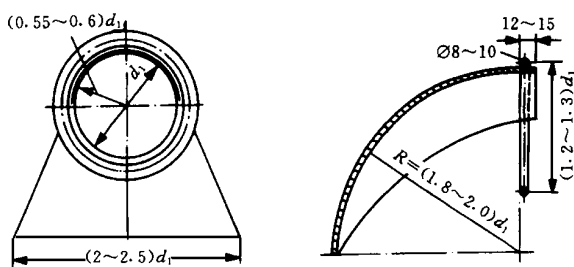


图 1 一级分离元件弧形缓冲罩  
Fig. 1. Arcuate buffer hood of first stage Separation component.

注:  $d_1$  为天然气进入分离器进口管外径尺寸。

### 2. 二级细分离元件——百页窗

百页窗又称波纹板。它的板形很多, 为便于加工, 选用了国内外普遍采用的板形, 如图 2 所示。该板形较好地兼顾了分离效率和压力损失两项技术指标。由若干波纹板按布置要求, 组装成均匀不透光

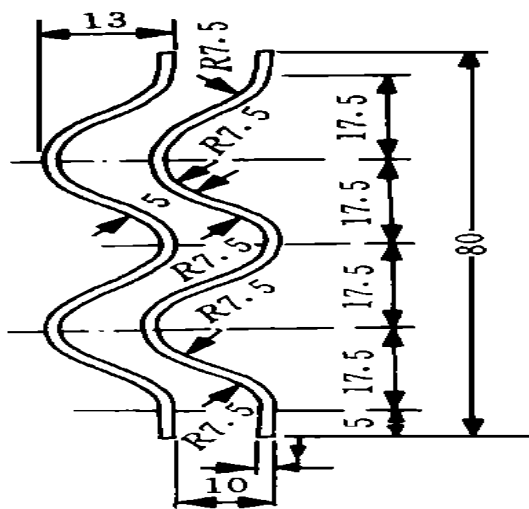


图 2 百叶窗分离元件

Fig. 2. Corrugated plate separation component.

的立式弯曲通道, 气液混合物流过密集布置的弯曲变径通道时, 由于流向不断变化所产生的离心力作用, 使液滴不断甩向板壁, 粘附后形成液膜沿板下流。

百叶窗分离元件液泛速度高, 液体处理能力大, 适用工况范围宽, 因此是一种非常有效的分离元件, 它能 100% 的分离掉直径大于 15  $\mu\text{m}$  的液滴<sup>[2]</sup>。图 3 示出 3 种布置形式的波纹板组百叶窗入口最大允许气流速度与分离器压力的关系曲线<sup>[3]</sup>。用查得

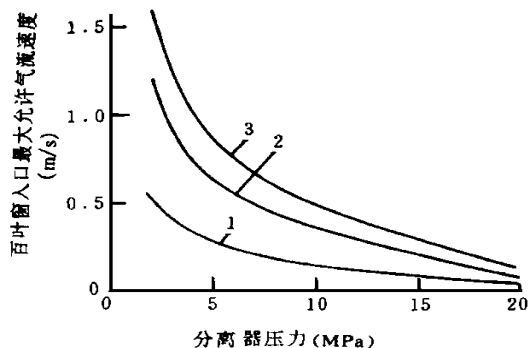


图 3 百叶窗液泛速度与压力关系曲线

Fig. 3. Relationship between corrugated plate flooding speed and pressure.

注: 1. 水平百叶窗  $K_{by} = 0.4$ ; 2. 立式百叶窗  $K_{by} = 0.9$  (有气流清洗); 3. 立式百叶窗  $K_{by} = 1.2$  (无气流清洗)

的速度作为波纹板分离元件的上限设计速度。若液体及气体的物性参数为已知时, 也可用式(2)求百叶窗入口最大允许气流速度。

$$V' = K_{by} \sqrt{\sigma g (\rho_l - \rho_g) / \sqrt{\rho_g}} \quad (2)$$

式中:  $K_{by}$  为元件特征系数;

$\sigma$  为液体表面张力;

$g$  为重力加速度。

### 3. 二级细分离元件——丝网除雾段

丝网分离元件分离效率在惯性分离元件中效率最高, 但只适用于含液量较小的场合。丝网分离原理是当气液混合物通过丝网时, 由于速度及流向的多次变化, 使气液分离; 利用丝网的可湿润性, 液体的表面张力及细丝的毛细管作用, 使雾滴逐渐扩大成大液滴沿网流入储液段。丝网的液泛速度用式(3)求得。

$$V'' = K (L/10)^{0.56} \sqrt{(\rho_l - \rho_g) / \rho_g} \quad (3)$$

式中,  $K = 0.4 \sim 0.5$ ,  $L$  为分离器有效长度。在丝网内的气流速度  $V = (0.7 \sim 0.8) V''$ 。图 4 为丝网前蒸汽速度与分离器压力的关系曲线。经过计算分析, 选用 GF1W 0.355/0.14 不锈钢丝网, 采用交错布置, 除雾段厚度为 124 mm。

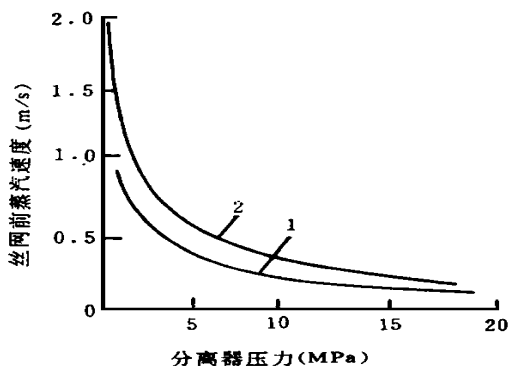


图 4 丝网液泛速度与压力关系曲线

Fig. 4. Relationship between wire-mesh flooding speed and pressure.

注: 1. 推荐值; 2. 最大允许值

### 4. 均气板

均气板的作用是均匀负荷, 防止局部出现液泛现象, 并能阻挡部分小雾滴。均气板的阻力损失应小于 3 kPa, 否则会弯曲翘起。表 2 为穿孔速度与分离器压力的对应关系(关于分离器设计的详细计算从略)。  $V_1 \leq 0.5 V_2$ ,  $V_2$  为板上部通道纵向速度。引出管速度  $V_3 \leq 0.7 V_1$ , 这样才能达到均匀负荷。

### 5. 校核计算及工业实验结果

图 5 示出了该分离器系统示意图。根据气相和液相的运动方程计算液滴的运动轨迹, 并编制了计算程序。判断液滴在分离元件通道运动中是否碰壁的条件是液滴一碰计算控制体边界即认为被分离。计算结果为液滴直径大于或等于 10  $\mu\text{m}$  可全部分

表 2 均气板穿孔速度与分离器压力关系

Table 2. Relation between the speed through dispersing plate and the separator pressure										
压力 (MPa)	0.49	0.78	1.08	1.37	1.67	2.55	4.41	7.81	10.89	15.3
$V_1$ (m/s) 推荐值	25	20	17	15	13.5	11	8	6.5	6	4
$V_1$ (m/s) 最大值	30	23.5	20	18	16.5	13.5	10	8.5	8	6

离掉。分离器出口的含液量为  $1.5 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{m}^3$ ，压力损失小于 0.05 MPa。

小于  $1.3367 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。即分离后的天然气品质达到了美国石油协会颁布的 API Spec 12 J 标准。

结 论

- (1) 工业实验表明,本分离器在较大天然气日处理量工况范围,均保持高效分离性能,净化天然气中不含大于  $10 \text{ }\mu\text{m}$  的液滴,其含液量小于  $1.3367 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,达到了美国 API Spec 12J 标准。
- (2) 本分离器的设计思想、方案论证是成功的;所提供的几种分离元件液泛速度与分离器压力的关系曲线和数据可作为天然气分离器工程设计依据。

参 考 文 献

1 四川石油管理局编. 天然气工程手册(上册), 北京: 石油工业出版社, 1982

2 Moore M J, Two- Phase Steam Flow in Turbines and Separators, Mc Graw- Hill Book Co, 1976

3 李守恒等. 电站锅炉汽水分离器的原理和设计, 北京: 水利电力出版社, 1986

(收稿日期 1997-03-03 编辑 王瑞兰)

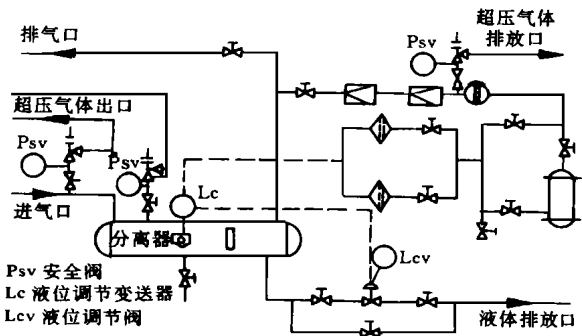


图 5 分离器系统示意图  
Fig. 5. Scheme of separator system

为了考察本分离器工作性能,在天然气井场运行一年多后,用专门研制的 YD- 3 型液滴尺寸测量仪器,在日处理气量为  $0.4 \sim 7.0 \times 10^4 \text{ m}^3$  工况范围,分四组对分离器出口进行实测。结果表明,天然气中均不存在大于或等于  $10 \text{ }\mu\text{m}$  的液滴,其含液量

nance time, distribution type and estimated value of gas trunk line as well as the accident rates of gas producing pipe, gathering branch pipeline and manifold in gathering station are given.

**SUBJECT HEADINGS:** Natural gas pipeline, Oil and gas gathering, Reliability, Feature, Analysis.

**Song Dongyu**, born in 1958, graduated from East China Petroleum Institute in 1982 and received Master's degree from Southwest Petroleum Institute in 1992 and Doctor's degree from University of Petroleum in 1996. Add: Haidian District, Beijing, 100083, China. Tel: (010) 62094910.

**NATURAL GAS LIQUID AROMATIZATION BY THE ACTION OF Zn/ZSM- 5**

Du Guohua ( Design and Research Institute of Daqing Natural Gas Company) and Luo Xiaoling ( Chemical Department of Zhejiang University ). *NATURAL GAS IND.* v. 17, no. 6, pp. 54~ 58, 11/ 25/ 97. ( ISSN 1000- 0976; **In Chinese**)

**ABSTRACT:** Natural gas liquid aromatization means that under the action of Zn- modified ZSM- 5 zeolite molecular sieve catalyst ( 500 °C, normal pressure ), through dehydrogenation and aromatizaion reactions, the liquid hydrocarbons ( C<sub>3</sub>~ C<sub>9</sub> ) obtained from oil and gas processing can generate mixed aromatic hydrocarbons, such as benzene ( B ), toluene ( T ) and xylene ( X ) etc. , to achieve the modifying process of low carbon alkane The mixed aromatic hydrocarbons can be used as the blending agent for high- octane benzine and as the industrial chemicals, and the accessory substance obtained after reation can be comprehensively utilized, thus the usage rate of natural gas liquid can be obviously raised. The technological process by using low carbon alkane to make aromatic hydrocarbons not only explores a new approach for synthesizing aromatic hydrocarbons, but also opens up a way for raising multipurpose utilization of natural gas liquid. For this, the basic physical property of the catalyst was tested, the natural gas liquid ( C<sub>3</sub>~ C<sub>9</sub> ) aromatization by the action of Zn/ ZSM- 5 was evaluated on 100 ml test-

ing device, the reaction conditions were tested and a suitable technologic condition was found out.

**SUBJECT HEADINGS:** Light hydrocarbon, Aromatization, Zn/ZSM- 5 catalyst, Experiment.

**Du Guohua** ( *engineer* ), born in 1956 and graduated from the university for workers and staff members of Daqing Petrochemical Plant. Now he is engaged in natural gas processing and scientific research and development of fine chemical engineering. Add: Daging, Heilongjiang, 163453, China. Tel: ( 0459 ) 4999047.

**DESIGN AND EXPERIMENTAL STUDY ON GAS - LIQUID TWO- PHASE SEPARATOR FOR NATURAL GAS**

Mao Jingru, Wang Xinjun, Xu Tingxiang and Wang Biyu ( Xí an Communication University ), Lang Fengrong and Wang Jianhai ( Mechanical Plant of Changqing Petroleum Exploration Bureau ). *NATURAL GAS IND.* v. 17, no. 6, pp. 59~ 62, 11/ 25/ 97. ( ISSN 1000- 0976; **In Chinese**)

**ABSTRACT:** Taking a newly developed gas- liquid two- phase separator for high pressure natural gas as an example, the technique and design method of gas- liquid two- phase separation are discussed, the characteristics of several major elements and the relationship between their flooding speed and separator pressure are described and the results of industrial experiment at well site under the condition of daily throughput of 0. 4× 10<sup>4</sup>~ 7. 0× 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> are provided. The separator has the characteristics of small volume, large operation range and high separating efficiency etc. The quality of purified gas comes up to the standard of API Spec. [ 2 ]

**SUBJECT HEADINGS:** Natural gas, Gas- water separator, Parameter, Design, Research.

**Mao Jingru** ( *female, senior engineer* ), born in 1954 and graduated from Xí an Communication University in 1977 and stayed on and worked in the university up to now. She is mainly engaged in the gas ( vapor ) - liquid and gas- solid two- phase flow theory and the test technique in dynamic engineering. She has published about 50 treatises and her many achievements in scientific research were rewarded. Add: No. 28 Xianning Road, Xí an, ShanXi, 710049, China. Tel: ( 029 ) 3267808.