

组合式高效气液分离器 在轻烃深度回收装置中的应用

陈波^{1*}, 邵仕铭¹, 林涛¹, 嵇翔¹, 金子涵², 张子龙¹

(1. 中国石油塔里木油田分公司塔里木能源分公司, 新疆 库尔勒 841000;

2. 中国石油塔里木油田分公司开发事业部, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:塔里木油田轮南轻烃深度回收装置在低温分离器设置方面需要满足高压低温的气液分离工况要求, 彻底分离粒径 10 μm 以上的液滴, 保护膨胀机的安全运行, 同时兼顾装置撬装化、模块化设计理念。通过各种分离设备选型比较, 采用组合式高效气液分离器, 兼具多种分离机理的优点, 分离效果好, 适应性强, 在直径、长度 2 方面有绝对优势, 便于装置模块化、撬装化设计、安装。后期运行效果表明, 能够达到分离要求, 处理操作弹性大, 即使在装置以 5% 负荷开车预冷阶段也能达到相关要求。

关键词:轻烃回收; 旋流分离; 分离机理; 组合式; 低温高压; 高效

中图分类号: TH645

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)08-0180-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.08.039

Application of combined-type high efficient separator in light hydrocarbon deep-recovery unit

CHEN Bo^{1*}, SHAO Shi-ming¹, LIN Tao¹, JI Xiang¹, JIN Zi-han², ZHANG Zi-long¹

(1. Tarim Energy Branch, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China;

2. Development Business Department, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China)

Abstract: Setting of the low temperature separator of the light hydrocarbon deep recovery unit in Lunnan of Tarim Oilfield is required to meet the requirements of high pressure and low temperature gas liquid separation conditions and separate completely the droplets with particle size more than 10 microns in order to protect the safe operation of the expander. Meanwhile, it is asked to consider the unit pricing and modular design concept. Through comparing and screening various separation facilities, a combined type high efficient gas-liquid separator is selected. It collects advantages of many separation mechanisms and exhibits good separation effect and strong adaptability. In particular, it possesses absolute advantage in diameter and length both, which makes it be modularized easily and be prized conveniently in design and installation. The following operation results show that it can meet the separation requirement and its operation is very flexible. It can meet the relevant requirements even when the unit is in the precooling stage under 5% load.

Key words: hydrocarbon recovery; cyclone separation; separation mechanism; combined type; low temperature and high pressure; high efficiency

塔里木油田轮南凝析气轻烃深度回收厂采用膨胀机制冷+DHX 回收工艺, 深度回收 LPG、轻烃, 为国内目前最大的轻烃深度回收装置, 2 列装置并联运行, 单列装置日处理天然气 $1\ 500 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$, 遵循“标准化设计、规模化采购、工厂化预制、模块化施工”理念建造而成。为保护高速旋转磁悬浮膨胀机、J-T 阀免于液滴高速冲击损坏^[1], 膨胀机前段需设分离器, 满足高压低温工况运行相关要求, 工作温度 -45°C 、工作压力 5.7~6.5 MPa。

与普通气液分离工况相比, 存在以下特点: 低气

液密度差, 气相黏度大, 烃类物质表面张力低, 造成的液滴粒径分布小、重力沉降推动力低、流动助力大的问题; 对液滴分离要求更加严格, 保护高速膨胀机, 厂家要求进入膨胀机的液体颗粒需要小于 $10\ \mu\text{m}$ ^[2]; 开车过程中降温速度严格要求控制在 $3\sim 5^\circ\text{C}/\text{h}$ ^[3], 操作弹性要求高, 负荷范围要求宽; 撬装化制造安装, 设备尺寸受限。

采取合理的气液分离机理, 合理选择气液分离器型式, 优选分离内件种类以及合理布置分离内件, 成为保障装置安全、高效、平稳运行的关键。

收稿日期: 2017-12-22; 修回日期: 2018-05-06

作者简介: 陈波 (1990-), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事油气站场操作与管理相关工作, 通讯联系人, 329904594@qq.com。

1 常用气液分离机理

重力沉降分离是运用液滴和气相的密度不同而进行分离,重力分离理论成熟,结构简单。重力分离主要对于大液滴或者高含液浓度的气液两相分离效果较好,对于 100 μm 以下的液滴分离效果差^[4],特别对于高压工况造成的烃类气液流体低密度差、低表面张力形成的微小液滴分离时,结构庞大,壳体造价高;火炬分液罐除外,工程上单独应用比较少,一般作为分离流程中的预分离来应用。

惯性撞击分离器利用锯齿形挡板、叶片、波纹板、丝网等惯性捕集件使气流方向突然改变,而使惯性较大的液滴无法快速改变运动方向,被迫被分离元件捕获,最终使细微液滴碰撞、润湿、变大、沉降。丝网除雾器对颗粒直径大于 5 μm 的液滴,分离效率可以达到 98.0%~99.8%,压降损失却只有 250~500 Pa^[5],负荷因子 k 值最大可取 0.12 m/s^[6];叶片除雾器这种分离方法对于 10 μm 以上的液滴分离效率 99%,压降 50~100Pa^[7],负荷因子 k 值最大可取 0.35 m/s^[6]。但是,对于高液气比、高气体流速下,超过液泛点时,容易造成分离原件的液泛、二次破碎夹带(液滴撞击液膜、气流剪切液膜破裂)、压降快速升高等问题^[8-9]。并且易受固体杂质、易凝固的高含蜡性、高黏度稠性液体的堵塞,造成分离效率降低。

过滤聚结分离是液滴流过分离原件时,由于滤层网丝产生惯性撞击、直接拦截、布朗扩散等作用而使液滴微粒聚集分离。普通丝网除雾器的材料直径 80~230 μm ^[10],而过滤元件使用直径仅有几微米的玻璃或金属纤维为丝网滤材(不锈钢纤维直径与玻璃纤维直径可分别达到 8、1.5 μm ^[11-12]),滤孔的直径就可以做得很小,比表面积更大,从而能够拦截直径更小的液滴,通常可以有效分离粒径 0.1 μm 以上的液滴;0.3 μm 液滴累积效率 99.8%以上,1 μm 液滴累积效率 99.99%^[13-14]。其中,惯性撞击主要去除 10~20 μm 的液滴,与滤孔直径大小相近的 1~10 μm 液滴由直接拦截作用除去,对于做布朗运动的 0.1 μm 颗粒的去除取决于扩散拦截作用,丝网直径越小,扩散拦截作用越强。但是,聚结过滤压降大,在浓度太大或气速太高时容易产生雾沫夹带,严重影响分离效果。液体饱和时需要定期更换滤芯,一般作为终端净化使用,不适用液体含量多的场合,常用在脱硫塔、分子筛、三甘醇吸收塔等塔器入口,并且前段设置重力式分离器。

离心分离主要是指旋流分离,液滴与气流密度不同,旋流旋转产生的离心力差异巨大,离心力数值上可达到重力的数十倍,相比于重力分离,离心分离的效率更高^[15]。能够有效除去 5~10 μm 液滴,压降 2~4 kPa,对于含蜡、黏度高的液体分离,气体、液体、固体的处理能力大,具有设备体积小、操作灵活、运行稳定等诸多特点。旋流分离分为圆柱型旋风脱水装置、旋流板除雾器、螺旋片导流式气液旋流器、轴流导叶式旋流器、管道式旋流器等^[15-16]。

另外,为进一步增强分离器的可操作弹性、分离效率,适应更加复杂的工况条件,组合式分离器得到应用,如克拉 2 气田、迪那气田、榆林气田、长北气田等浅冷低温脱水脱烃工艺,均采用丝网+旋流管式组合分离器作为低温分离关键设备,增强烃水露点控制效果。表 1 为常见分离器分离性能比较。

表 1 常用气液分离器性能比较

名称	成本	气体容量	液体处理能力	固体承受力	液滴直径/ μm	压降/kPa
重力分离	—	2	*	*	100	—
惯性分离						
丝网	1	5	5	3	2~10	0.25~0.5
叶片	2~3	5~15	10	10	10~20	0.1~1.0
离心分离 (多旋流管)	3~5	15~20	10	10	5~10	2.0~3.5
过滤聚结分离	10	1	1	1	0.1~3	0.5~2.5
组合式分离						
丝网+叶片	4	5~15	10	3	10~20	0.4~1.5
叶片+丝网	4	5	10	10	2~10	0.4~1.5
丝网+旋流管	6	15~20	10	3	5~10	2.3~4.0

注:1代表最低值,其余呈倍数增加;*代表几乎无限制。

2 设备选型比较

为满足下游高速膨胀机对于液滴分离的相关要求(分离 10 μm 以上液滴的技术要求),制定该工况下低温分离器的分离指标:能达到规定的 60%~120%处理能力;对直径 $\geq 3 \mu\text{m}$ 的液滴,分离效率 $\geq 99.8\%$,且气体出口气体带液量 $< 13.4 \text{ L}/10^6 \text{ m}^3$ ^[17];依据现场天然气的密度、黏度、处理量等操作数据,对符合以上要求的分离器进行设备选型,设备选型比选结果见表 2。通过表 2 数据对比分析,组合式旋流分离器的处理能力明显高于普通单一内构件分离器,分离直径仅有 2.2 m,由于液烃停留时间的要

求,适当将分离器内径增加为 2.6 m,缩小分离器长径比,以增加装置区域的美观与协调。考虑模块化施工与后期检修的方便性,综合液滴去除效率,最后选择组合式的高效气液分离器。

表 2 符合工况要求的分离器比选表

分离器类型	重力式分离器 (立式)	重力式分离器 (卧式)	组合式旋流分离器(立式)
尺寸	内径 3.6 m, 长度 11 m(液相空间 3 m)	内径 3.2 m, 长度 12 m(基于高液位 1 m)	内径 2.2 m, 高度 8 m(液相空间 4 m)
内件	普通丝网除雾器、半管式入口分布器	普尔利斯 P 系列叶片、叶片前置聚结器、叶片式进料分布器	叶片入口分布器、丝网聚结器、旋流分离件与圆桶丝网除雾器
备注	最大气体表观速度系数 k 取值 0.0753 ^[18]	普尔利斯内构件	苏儿寿内构件

3 设备结构及工作原理

组合式高效气液分离器由入口叶片分布器、KnitMesh V-MISTER™ 丝网聚结器、旋流板式除雾板(26 个旋流板式旋流管构成)、圆桶型丝网除雾器从上而下依次排列组成,并配合积液板、降液管共同组成,内部结构见图 1。

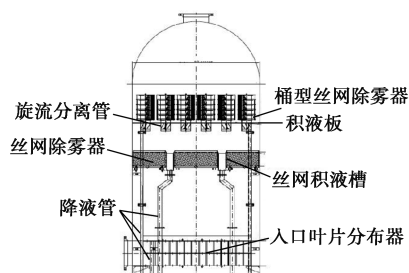
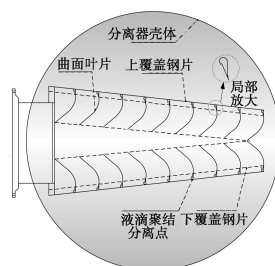


图 1 低温分离器内部结构示意图

3.1 入口叶片式分布器

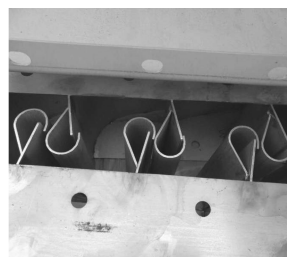
叶片式入口分布器由堆积型偏移叶片(带尾部卷边)、上下覆盖钢片构成,结构以及实物图见图 2。气液两相流体进入上下封闭盒体,被迫沿左右对称分布的偏移叶片高速抛出,液滴在强制切向力作用下,实现惯性聚结,向下沉降,实现气液的初步分离,尾部卷边起到增强气液分离、减少气液夹带作用。能够承受较高进口动能,对气液两相进料实现初步分离,减少液体由于高速撞击的二次破碎夹带,良好的气体分布,减缓进入上层气液分离空间的偏流,主要相关参数见表 3。



(a) 叶片分布器示意图



(b) 叶片分布器实物图



(c) 叶片边缘卷边

图 2 叶片入口结构及实物图

表 3 叶片式入口分布器主要参数

参数	设计值	运行值
入口管径/mm	485	—
气液两相冲击势能/Pa	4865	1751
气相冲击势能/Pa	4784	1722
压降/Pa	2433	876
大液滴的去除效率/%	68.45	95.83

3.2 丝网聚结器

本装置的 KnitMesh V-MISTER™ 丝网除雾器是在普通丝网结构上的优化,在丝网的底部增加 V 字形支撑钢,使得气流通过丝网时,在底部形成低压涡流,促进丝网上聚结的液滴向此低压区域流动聚集,并向气流速度低的容器边壁以及气流速度较小的丝网中部积液溢流,结构原理及实物图见图 3。普通丝网除雾器底部 1/3~1/2 空间会被气液两相流占据,与普通丝网除雾器相比,能增加丝网的除雾空间,减少气流的二次夹带,对 2~3 μm 的液滴实现有效的捕获分离,可以增加 300% 的液体处理负荷,使得丝网的气泛速度提高 20%。丝网聚结器的主要设计参数见表 4,可以看出,设计气体流速为 0.171 m/s,目前分离器的真实气体流速为 0.283 m/s,工作点远高于气泛点,此时其主要作为预处理器,使得 2~3 μm 液滴以及更小的液滴聚结放大,大部分液滴聚结扩大至 10 μm 以上的液滴后穿透丝网,为后续的高液相负荷的旋流分离创造更好的分离条件;同时,为扩大分离器的操作弹性,在小负荷工况下,高负荷的旋流元件性能下降,由丝网

除雾器作为主要的分离元件;而大负荷工况下,旋流分离器起主要的分离作用。

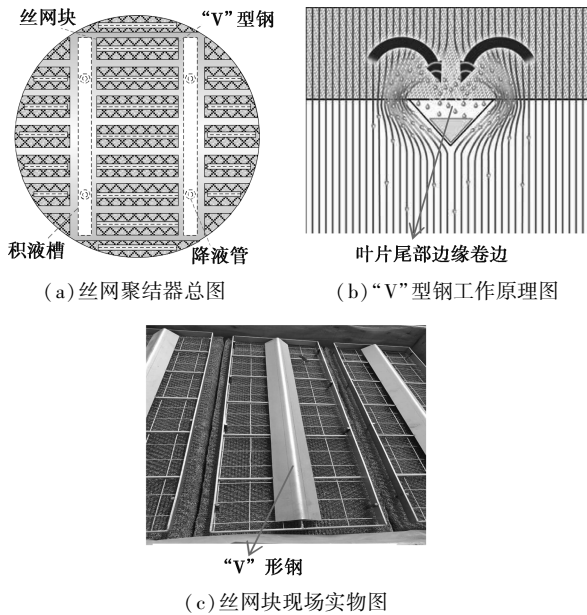


图3 丝网聚结器结构原理及实物图

表4 丝网聚结器主要设计参数

参数	设计值	运行值
厚度/直径/mm	300/2600	
液体负荷/($m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	1.022	0.081
设计负荷因子 $k/(m \cdot s^{-1})$	0.094	0.155
设计风速/($m \cdot s^{-1}$)	0.171	0.283
最小风速/($m \cdot s^{-1}$)	0.051	0.048
带液压降/Pa	288	79

3.3 旋流分离+丝网除雾——烛台式旋流分离器

本分离器顶部安装有 Sulzer's MKS MultiCassette™ 分离元件,首次应用于俄罗斯的三甘醇吸收塔提能改造中,减少三甘醇损耗。由旋流板式旋流管、堆砌而成的桶式丝网除雾器、积液盘、降液管4大部分组成,使得高效离心力分离与高效的丝网聚结分离进行有效结合。含细小液滴的气流首先进入旋流叶片,实现气液离心分离,液滴在管壁捕获成膜聚结涨大,克服重力与表面张力的共同作用而下落;极小部分液滴随气流二次进入桶式除雾器而被丝网捕获,再次聚结进入带降液管的积液盘,结构原理及实物图见图4。处理操作弹性大(可达到10,一般的气-液分离器仅为2~4)^[19],也可以根据现场实际运行负荷的变化,对旋流管的个数进行增减,现场螺栓块组装,调节处理负荷^[20],气体处理负荷因子可以达到0.3 m/s,能够在高压、低表面张力

工况下,对3 μm液滴实现高效分离,对不同粒径的除去效率见表5。如果前段增加丝网聚结器,处理效果可以进一步增强,对操作压力没有限制。与丝网的结合,有效避免普通开口与变径式轴流旋流分离器由于压力变化而引起的液滴二次夹带与破碎。

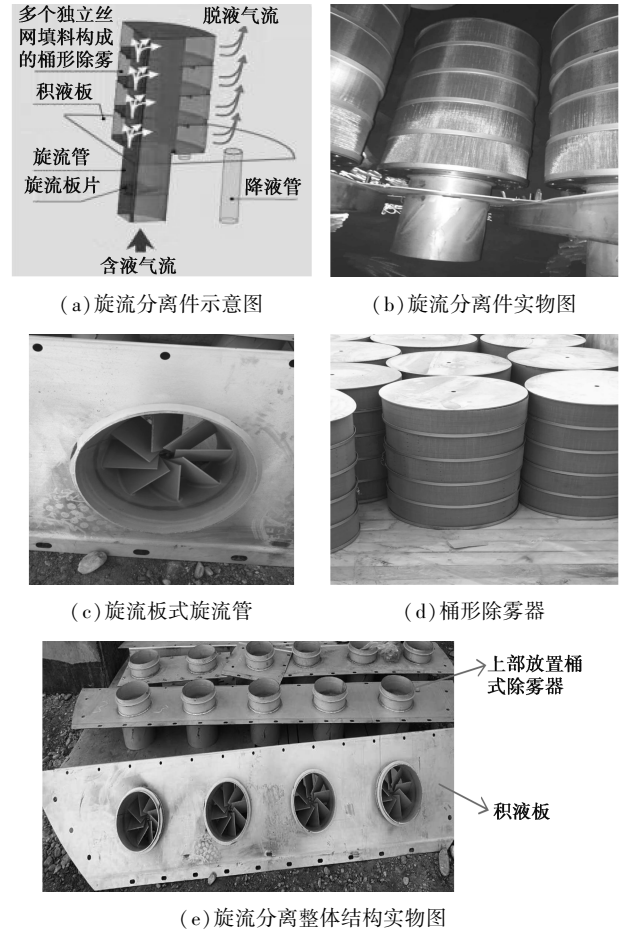


图4 烛台式旋流分离器结构原理及实物图

表5 烛台式旋流分离器除液效率

参数	设计值	运行值
整体除液效率/%	99.96	99.97
不同粒径液滴计算除液效率/%		
2 μm	89.72	96.42
3 μm	99.91	99.93
10 μm	100	100
15 μm	100	100
20 μm	100	100

4 现场应用效果分析

该高效气液分离器的设置目的在于除去10 μm液滴,防止下游高速旋转的磁悬浮膨胀机由于液滴的撞击侵蚀径向与轴向位移偏高,通过目前膨胀机开车、满负荷运行情况下,根据轴振动运行的DCS

检测情况,振动值偏低,运行平稳,轴位移上下波动 10 μm ,且装置开车预冷阶段,处理量介于 5%~100%运行时,运行效果依旧正常。说明该高效气液分离器能够满足分离性能要求,有效保护磁悬浮膨胀机。

实践证明在低温分离器分离器效率不佳的工况下,会造成气相带液,组分较大偏离理论计算工况^[21],通过对低温分离器进出口流体的全组分分析结果,并利用 HYSYS 软件进行运行工况下温度与压力模拟对比,实测全组分组成含量与模拟值极为相近,相关数据见表 6。也证明分离器的气相出口几乎不存在微小液滴的夹带情况。另外,摘取不同工况下低温分离器运行压差数据,压差介于 3~8 kPa,运行压差小于设计要求的 10 kPa,达到最初设计要求。

表 6 低温分离器气相出口组分比较

组成	进口摩尔 分数/%	气相出口摩尔分数/%	
		HYSYS 计算	气相色谱实测
N ₂	2.069	2.137	2.16
CO ₂	0.638	0.626	0.64
CH ₄	88.091	89.625	89.34
C ₂ H ₆	6.769	6.267	6.49
C ₃ H ₈	1.376	1.008	1.07
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	0.249	0.132	0.13
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	0.319	0.139	0.13
<i>i</i> -C ₅ H ₁₂	0.13	0.032	0.02
<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	0.11	0.021	0.01
C ₆ +	0.249	0.012	0.01

5 结论

(1)通过现场运行效果分析,该组合式高效气液分离器满足低温高压的设计工况要求,装置的现场操作弹性大,装置开车预冷初期,处于 5%的低负荷阶段,同样能够达到分离要求,可以为类似高压低温分离工况分离器的选型提供借鉴。

(2)与普通的重力分离器相比,高效组合气液分离在直径、长度 2 方面有绝对优势,占地面积小,便于装置模块化、撬装化设计,安装较简单,现场安装费用低。

(3)各分离机理组合而成的组合式气液分离器能够合理发挥各分离原件的优势,增强分离器的处理效果,扩大处理范围。如本分离器中部的除雾丝网,虽然在高负荷下产生液泛,但是能够将细小液滴聚结变大,促进下游旋流分离的分离效果;而预冷阶

段的低负荷下,旋流管失去旋流分离作用时,中部与顶部丝网就成为主要的二级丝网除雾器,高效除去液滴。

参考文献

- [1] 程绪平,吴信军.气体轴承透平膨胀机常见故障分析和处理[J].深冷技术,2006,3(7):23-25.
- [2] Atlas Copco Mafi-Trench 手册与图例,第 1 卷-安装、运行和维护[Z].
- [3] 王良军,刘杨,罗仔源,等.大型 LNG 地上全容储罐的冷却技术研究[J].天然气工业,2010,30(1):93-95.
- [4] 刘承昭.撬装式集气装置用分离器的研制及现场测试[J].天然气与石油,1994,12(1):36-40.
- [5] 史永红.丝网气液分离器分离性能和压力损失分析[J].石油化工设备,2006,35(3):35-37.
- [6] 陈波.分离器分离内件及性能[J].化学工程与装备,2015,(6):123-127.
- [7] 张勤勤.基于 CFD 的叶片式除雾器的优化设计[D].成都:西南石油大学,2016.
- [8] Toshitsugu N. Development of simplified wave-type vane in BWR steam dryer and assessment of vane droplet removal characteristics [J]. Journal of nuclear Science and Technology, 1999, 36(5):424-432.
- [9] Toshitsugu N. Droplet behavior analyses in the BWR dryer and separator [J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 1998, 35(4):286-293.
- [10] HG/T 21618—1998.丝网除雾器[S].
- [11] 杨照玲,李建平,奚正平,等.超细不锈钢纤维的制备和性能[J].稀有金属材料与工程,2003,32(9):748-751.
- [12] 高智芳,刘进立,王笃金,等.聚结滤芯的结构和材料分析[J].液压与气动,2015,(1):16-19.
- [13] 张显威,李方俊.天然气聚结滤芯气液分离性能研究[J].现代化工,2015,35(8):1948-1951.
- [14] 李莲明,杜双都,余浩杰,等.气液聚结器在天然气低温分离工艺中的应用[J].天然气与石油,2002,20(3):42-44.
- [15] 任相军,王振波,金有海.气液分离技术设备进展[J].过滤与分离,2008,18(3):43-46.
- [16] 金向红,金有海,王建军,等.气液旋流分离技术的研究[J].新技术新工艺,2007,(8):85-88.
- [17] 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司.低温分离器内构件技术规格书[R].成都:2016.
- [18] Shell Global Solutions International B.V. Gas/liquid separators-type selection and design rules; DEP 31.22.05.11-Gen[S].2002-12.
- [19] 熊思,陈家庆,石熠,等.天然气脱水脱轻用 SM 系列分离器的研究与应用[J].石油与天然气化工,2015,44(3):6-13.
- [20] 徐彦明,杨小龙.长北气田 SMSM 低温分离器的优化改造[J].天然气工业,2010,30(3):87-90.
- [20] Xu Yanming, Yang Xiaolong. Optimization and alteration of the SMSM low-temperature separator in the Changbei gas field [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(3):87-90.
- [21] 杜通林,肖春雨,程林.天然气脱烃装置露点不合格原因分析及整改[J].天然气与石油,2015,36(6):25-29. ■