

在役天然气分离除尘设备性能评价*

梁 政¹ 杨 志¹ 邓 雄¹ 钟功祥¹ 罗立然²
(1. 西南石油大学 2. 中国石油西南油气田公司)

梁政等. 在役天然气分离除尘设备性能评价. 天然气工业, 2006, 26(11): 144-147.

摘 要 针对现有天然气分离除尘设备分离不彻底、除尘效率不高、评价困难等问题, 利用 3A 分子筛吸附脱水和湍球水浴除尘原理, 研制了橇装式天然气含水含尘检测装置。利用该检测装置对川东气田几十台次不同类型的分离除尘设备进行了检测。结果表明, 现有分离除尘设备中, 卧式气液分离器能很好地满足初分离需要, 多管干式除尘器、过滤分离器分离性能较好, 但对小直径粉尘分离效率仍然不高, 其余类型分离除尘设备则性能较差, 难以满足矿场分离除尘指标要求, 亟待改进。

主题词 天然气 气液分离 除尘 设备 性能 评价 建议

由于地层、管壁腐蚀和磨蚀等原因, 使得天然气中常常含有一定量的水和粉尘。在天然气管输过程中, 这些污物会磨蚀减压阀等各类阀件, 亦可能沉积在各类塔器及管道之中, 从而影响设备的正常运转, 使输压增加, 计量结果出现较大的负偏差, 给企业带来巨大的经济损失; 沉积的硫化亚铁粉末还会与空气反应而引起自燃, 对安全生产造成不利影响。同时, 由于固相颗粒是低温条件下水结冰和形成天然气水合物的天然晶核, 它的存在加剧了含水天然气生产中存在的问题。

为了消除天然气中水和粉尘带来的巨大危害, 在天然气生产过程中, 常常利用分离器、除尘器进行脱水、除尘处理。这些分离除尘设备主要有旋风分离器、螺道式分离器、循环分离器、多管式除尘器、过滤分离器等。在天然气矿场生产中, 由于这些在役

分离除尘设备工作原理、装置类型、设计制造年代差异很大, 部分装置分离除尘效果与设计指标偏差较大, 造成气田集输系统含水、含尘量超标, 从而导致管线、阀门、设备等出现严重腐蚀、磨损、堵塞等问题。以川东气田为例, 在实施智能清管中, 在石竹段一次性清除污物 11.35 t, 液体 7.07 m³; 竹福段一次性清除污物 2.0 t, 液体 10.4 m³。即使定期清管, 每次也还会清出成吨的污物。因此, 正确评价分离除尘设备的工作性能, 合理选择分离除尘设备, 对于天然气的安全生产具有重要的意义。

一、矿场宏观调查与评价

2001 年重庆气矿对所属 5 个采气厂共计 522 台分离除尘设备运行效果进行了调查, 调查结果见表 1。调查结果表明: ①螺道式分离器已经被淘汰,

表 1 重庆气矿在役分离除尘设备运行效果调查表

		循环分离器	旋风分离器	多管干式除尘器	过滤分离器	卧式气液分离器	立式重力气液分离器
总台数		14	33	40	13	86	336
效果差	台数	7	3	3	1		28
	比例(%)	50	9	8	8		8
效果一般	台数	4	30	13	4	13	164
	比例(%)	29	91	32	30	15	49
效果好	台数	3		24	8	73	144
	比例(%)	21		60	62	85	43

* 本文属于中国石油西南油气田公司重点科研项目“在役天然气分离除尘设备效果检测分析”部分成果。本文作者还有中国石油西南油气田公司的徐立。

作者简介: 梁政, 1960 年生, 教授, 博士生导师; 1982 年毕业于西南石油学院矿机专业; 现从事油气开采、石油装备研制及技术管理工作。地址: (610500) 四川省成都市新都区。电话: (028) 83033353, 13981892159。E-mail: yz_swpi@163.com

旋风分离器运行效果最差,其次为循环分离器、立式重力气液分离器,多管干式除尘器与过滤分离器较好,而卧式气液分离器分离性能最好;② 旋风分离器适用范围窄,只有在设计工况下才能取得较满意的分离效果,而立式重力分离器和卧式气液分离器适用范围宽,只要使用在等于或低于设计工况下的任意范围内都能取得较满意的效果,能满足气田开采过程中产气量、出水量变化的要求。

二、天然气含水含尘检测装置研制

1. 天然气含尘检测现状

天然气中的含尘检测包含两个方面:一是天然气中的总含尘量即粉尘浓度检测,二是天然气中粉尘的分散度即粉尘的分级测试。目前国内外对天然气的含尘检测基本上都是在厂内或实验装置上进行的,国内尚未真正建立起工业生产检测装置^[1]。

粉尘浓度的测定方法主要有光测法、电测法、超声波测尘仪法等;粉尘分散度的检测方法主要有机械法(筛分法)、沉降法、流体动力法、光学法、电导法等^[2]。这些方法均难以满足天然气高压、高流速、易燃易爆、不一定为干气的测试要求。

近年来,人们提出了用滤膜称量法测定天然气中颗粒物含量^[1]。该测试方法由于滤膜的承压强度较低,若要在高压、含水状态下测试,当滤膜部分拦截了固相介质之后,可能在膜上形成不均匀的压差,这时膜极易受到损坏,而实际测试中也难以及时发现破损情况;同时,天然气中的缓蚀剂、油污等均会粘附在滤膜上,干燥滤膜后称量得到的粉尘含量将会比实际天然气中所含的粉尘含量高。因此,该方法测试误差难以避免。此外,若通过滤膜拦截粒径达 3~5 μm 以上的颗粒,所选的滤膜孔径亦很小,含尘天然气通过滤膜时的阻力必然较大,考虑到滤膜承压强度较低的缺陷,这种天然气粉尘含尘量检测方法仅能适用于低压、低流速天然气的测试,而很难适应矿场天然气的实际流动条件。

2. 天然气含水检测现状

测定天然气中的含水量主要有两类方法:一类是用仪器测量,包括用冷却镜面凝析湿度计测定天然气水露点和用电解式含水量分析仪直接测定天然气中水含量;另一类是用化学方法测定,包括卡尔费休法、五氧化二磷吸收法和比色法。这些方法已被列入 ISO、GB 或 SY 标准。以上测试方法的主要缺点在于检测气量小,主要适应于低压、低含水天然气的含水测试,且天然气中存在的 H_2S 常会引起测试

误差。如卡尔费休法仅适用于水含量在 5~5000 mg/m^3 的天然气测试,且不能用于天然气中含有同卡尔费休试剂反应的其他组分(如硫化氢、硫醇和含氮有机物等)的天然气水含量测定。

高压下天然气中水含量的测定国内外均按 ISO11541 进行,其测试原理为:一定体积的气体通过充填有颗粒状 P_2O_5 的吸收管,气体中水被 P_2O_5 吸收形成磷酸,吸收管增加的重量即为气体中所含水的质量。该方法适用于 1 MPa 压力以上,水含量等于或高于 10 mg/m^3 的天然气,但天然气中所含的醇类、硫醇、硫化氢和乙二醇等会同 P_2O_5 反应,从而影响测试结果。

在实际生产过程中,需要测试的天然气含水量有时会很很高且含水量存在波动,如为了评价气液分离器的分离效果,需要在单井对含水量高于 10 g/m^3 、压力高于 5 MPa 条件下的天然气进行测试,在此条件下,以上测试方法均难以满足测试需要。因此,必须寻求满足较高含水量和高压下的天然气含水量检测方法,并要求该方法具较高测试精度。

3. 含水含尘检测装置的研制

为了实现对在役分离除尘设备的评价,按照与天然气生产管线“等速、等压、等温”条件下同步测试的原则,研制了橇装式天然气含水含尘检测装置,其流程如图 1 所示。该装置既可单独用于含水或含尘测试,又可同时对天然气含水与含尘量进行检测。

(1) 天然气中含水量检测

天然气含水检测是利用图 1 中的含水检测流程来实现。待检测天然气通过图 1 左端取样口、天然

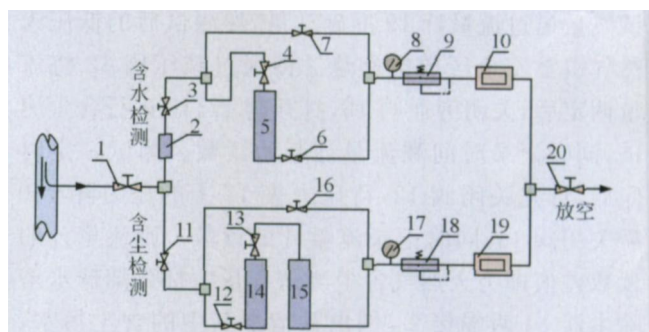


图 1 天然气含水含尘检测装置流程示意图

注: 1. 天然气进口总阀; 2. 筛网式预除尘器; 3. 含水检测流程截止控制阀; 4、6. 含水检测筒控制阀; 5. 含水检测筒; 7. 含水检测流程旁通阀; 8、9、10. 含水检测压力计、减压阀、流量计; 11. 含尘检测流程截止控制阀; 12、13. 湍球水浴除尘控制阀; 14. 湍球水浴除尘器; 15. 脱水筒; 16. 含尘检测流程旁通阀; 17、18、19. 含尘检测压力计、减压阀、流量计; 20. 出口低压机

气进口总阀 1 和含水检测截止控制阀 3 以“等压、等温”方式进入右端天然气含水测试流程,通过减压阀

9 的调节,在保证测试气流速度不超过吸附筒内分子筛吸附速度条件下尽可能使取样口探头内的气流流速与管输天然气流速一致。天然气的含水检测是利用 3A 分子筛作吸附剂,通过精确称量测试前后含水检测筒 5 内分子筛的质量,即可得到测试气体的含水量;测试气量通过流量测试仪 10 计量。

与 ISO 11541 中用 P_2O_5 作吸附剂相比,分子筛具有以下显著特点^[3]:①吸水量高,可达 9~12 kg(水)/100 kg(分子筛);②脱水深度深,经过分子筛脱水后气体的含水量可降至 $0.1 \mu\text{g/g}$ (质量),即使吸附温度高达 90°C ,分子筛仍有良好的吸附能力;③分子筛的再生容易;④使用寿命长;⑤ 3A 分子筛只能吸附直径小于 $3.2\sim 3.3 \text{ \AA}$ 的分子,如 H_2O 、 NH_3 等,不吸附 C_2H_6 、 H_2S 等大分子,克服了用 P_2O_5 测试时 H_2S 等对测试结果的影响。

(2) 天然气中总粉尘含量检测

天然气中总粉尘含量检测是利用图 1 中的含尘检测流程来实现。资料表明,在不同结构形式的除尘器中,湍球湿式除尘器的除尘效率很高,对于直径为 $2 \mu\text{m}$ 的粉尘颗粒,除尘效率达 99% 以上^[1]。因此,利用湍球水浴除尘原理进行粉尘的捕集。

待检测天然气通过图 1 左端取样口、天然气进口总阀 1 和含尘检测截止控制阀 11 以“等压、等温”方式进入右端天然气含尘测试流程。测试时,关闭阀 12、13,将掺入适量表面活性剂的蒸馏水倒入湍球水浴除尘器 14 中,待流程连接无误后,依次打开总阀 1、出口低压阀 20,然后打开旁通阀 16,利用减压阀 18 调节流量,以尽可能实现“等速”测试要求。测试气量通过流量计 19 准确计量,经测试后的低压天然气引至安全区放空燃烧。待通过减压阀 18 将流量调定后,关闭旁通阀 16,打开阀 12、13 进行含尘测试,同时记录时间和流量计起始读数。测试一定时间后,首先关闭阀 12,待压力表 17 上的压力降至 0 后关闭阀 13,同时记录流量计的读数。则流量计的读数差值即为天然气含尘测试气量。打开湍球水浴除尘器 14 两端接头,倒出并清洗其中的含尘污水、密封保存,以进行室内处理。为了避免含尘测试时被水湿润的天然气在节流时发生冰堵,将含尘测试后的天然气通过分子筛脱水筒 15 进行脱水,防止在减压阀处因节流而产生冰堵。

4. 粉尘的分级

所收集到的粉尘,若直径在 $30 \mu\text{m}$ 以上,可利用不同孔径的金属筛网进行分级,直径在 $30 \mu\text{m}$ 以下的粉尘,可利用不同渗滤直径(如 30、20、15、10、5、1、

0.45、0.2 μm) 的膜进行分级。将分级、干燥后的粉尘进行称量,即得到天然气中不同粒径的粉尘含量。

5. 检测装置的主要特点

橇装式检测装置尺寸为 $1.0 \times 0.5 \times 1.2 \text{ m}^3$ 左右,满足车载要求。含水检测以 3A 分子筛不被饱和、含尘检测以湍球水浴除尘器内水不被完全带出为原则确定测试时间和测试气量。

三、检测装置的现场应用

按照图 1 所示测试流程加工了两台橇装式天然气含水含尘检测装置,测试时,同时在待检测分离除尘设备进出口立管取样口上连接该检测装置进行同步测试,以评价分离效果。

1. 验证性测试

为了评价该检测装置的实际效果,对深度脱水后的干气进行了对比测试。利用该检测装置测得的天然气含水率为 70.2 mg/m^3 (等速、等压、等温测试,测试气量 202.5 m^3),利用粉末状 P_2O_5 吸附法测得该天然气含水率为 80 mg/m^3 (通过减压阀将高压气降至常压后测试,测试气量 20 L)。由此可以看出,二者测试结果基本一致,这表明该新型含水检测装置能满足含水检测的需要。

2. 对分离除尘设备的评价测试

利用加工的两台检测装置于 2001 年开始,对川东气田几十台次不同类型的分离除尘设备进行了百多个点的测试,部分测试结果列于表 2、3 中。

表 3 为改变单井产量下的测试,以考察不同处理气量下卧式气液分离器的分离性能。该井正常生产时按 $25.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生产,测试时先将产量下调至 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,然后按 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的产量递增,稳定 6 h 左右后测试,且每次测试时均及时排污。表 3 测试数据表明。

当井产量由 $25.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 降至 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 后,气井带水能力减小,进口含水率较低,随着产量的增加,分离器进口含水率逐渐上升,尤其是当产气量上升至 $35.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 后,分离器进口含水量明显超过以前各级含水量且呈继续上升趋势,这表明在此生产条件下容易造成该井边水或底水的锥进。尽管产量变化引起进口含水率发生变化,但分离器出口含水均能保持在 1.0 g/m^3 以下,这表明产量波动对卧式分离器的出口含水率(分离能力)影响较小。

表 2 某多管干式除尘器测试结果表

分离器进出口	测试气量 (m ³)	含 尘 量										总含尘量 (g)	天然气 总含尘率 (mg/ m ³) ³	除尘器 总除尘率(%)
		≥5 μm		≥15 μm		≥30 μm		≥57 μm		≥0. 105 mm				
		含量 (g)	含尘率 (%)	含量 (g)	含尘率 (%)	含量 (g)	含尘率 (%)	含量 (g)	含尘率 (%)	含量 (g)	含尘率 (%)			
进 出	232.97	0.246	1.055	0.109	0.467	0.970	4.165	0.200	0.856	2.811	12.066	4.336	18.61	83.02
	253.20	0.234	0.923	0.052	0.207	0.260	1.025	0.039	0.155	0.215	0.851	0.800	3.160	
除尘率		12.5%		55.7%		75.4%		81.9%		92.95%				

表 3 某单井卧式气液分离器测试结果表

分离器处理量 (× 10 ⁴ m ³)	测试气量 (m ³)		含水量 (mg/ m ³)		脱水效率 (%)	
	进口	出口	进口	出口		平均值
10	55. 07	54. 91	642. 67	430. 46	33. 02	28. 38
	63. 73	64. 08	640. 37	452. 51	29. 34	
	52. 45	51. 87	600. 56	463. 81	22. 77	
15	41. 35	40. 56	1342. 42	511. 47	61. 90	61. 23
	50. 76	51. 43	1360. 38	542. 75	60. 10	
	45. 62	46. 37	1298. 86	497. 95	61. 66	
20	35. 07	35. 35	2137. 79	1000. 00	53. 22	55. 93
	30. 42	30. 08	2218. 38	984. 31	55. 63	
	31. 27	30. 98	2376. 44	976. 02	58. 93	
25	35. 15	35. 02	1573. 61	763. 41	51. 49	52. 32
	36. 78	35. 97	1605. 71	733. 89	54. 29	
	35. 23	35. 77	1632. 69	796. 95	51. 19	
30	26. 72	26. 13	2880. 89	499. 01	82. 68	82. 04
	25. 02	25. 35	3009. 88	568. 97	81. 10	
	25. 06	25. 42	2972. 27	524. 67	82. 35	
35	15. 03	15. 42	3377. 73	630. 08	81. 35	86. 46
	15. 11	15. 61	5818. 99	666. 96	88. 54	
	15. 07	15. 33	6678. 73	702. 31	89. 48	

含水率可控制在 1. 5 g/ m³ 以下, 卧式分离器出口含水率则可控制在 1. 0 g/ m³ 以下。因此, 产水气井推荐采用卧式气液分离器进行初分离。

(4) 多管干式除尘器除尘性能较好, 其总除尘率可达 80% 以上, 且粉尘粒径越大分离效率越高, 但对小于等于 30 μm 的粉尘分离效率较低, 其最佳处理气量推荐在小于等于 0. 25 m³/s 的稳定流量下(工作压力、温度下, 以 12 管为例), 产量波动对其性能影响很大。

(5) 过滤分离器同时具有脱水和除尘功能, 粉尘粒径越大, 分离越彻底, 但对直径 15 μm 以下细粉尘分离效果较差。

(6) 管理制度对提高气液分离器、除尘器的分离效率有着重要意义。在实际工作中, 气液分离器应根据液位而不宜以时间间隔来作为排污制度; 在工作制度改变(尤其是气流量增大)前应先进行排污。

(7) 测试结果与现场宏观统计结果基本一致。在现有分离除尘设备中, 推荐选用卧式气液分离器、多管干式除尘器和过滤分离器。

参 考 文 献

[1] 天然气分析测试技术及其标准化编写组. 天然气分析测试技术及其标准化[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

[2] 陈国渠, 胡健民. 除尘器测试技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.

[3] 油田油气集输设计集输手册编写组. 油田油气集输设计集输手册(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.

[4] (日) 小明川. 气体中颗粒的分离[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.

(修改回稿日期 2006-09-06 编辑 居维清)

四、结 论

(1) 气液分离器、除尘器均不宜将分离效率作为衡量其分离性能的唯一指标, 应将分离效率与出口含水含尘量综合起来才能科学合理地衡量气液分离器、除尘器的分离性能。

(2) 旋风分离器、循环分离器分离效率及出口含水含尘率指标均较差。

(3) 卧式和立式气液分离器处理气量适应范围宽, 分离效果较好, 只要排污及时, 立式分离器出口

Add:Guangzhou Gas Company, No. 416, East Road, Huanshi, Guangzhou, Guangdong Province 510060, P.R. China

Tel: 86-20-8812 1161 **Cell phone:** 13501520589 **E-mail:** ldx2005@vip.sohu.com

PERFORMANCE EVALUATION OF NATURAL GAS SEPARATION AND DEDUSTING FACILITY IN SERVICE

Liang Zheng¹, Yang Zhi¹, Deng Xiong¹, Zhong Gongxiang¹, Luo Liran²(¹ Southwest Petroleum University; ² PetroChina Southwest Oil and Gasfield Company). *NATURAL GAS IND.* v. 26, no. 11, pp. 144-147, 11/25/2006. (ISSN 1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: Because the natural gas separation and dedusting facilities in service do not work efficiently and hard to appraise, the skid-mounted water and dust detection device for natural gas was developed by using 3A molecular dehydration and turbulent ball water bath dedusting theory. Dozens of separation and dedusting facilities with different types in the Eastern Sichuan Gasfield have been detected by applying this detection device. The result shows that the horizontal gas-liquid separator can well meet the demand of initial separation. The multi-string dry-style dedustor and filter separator have better separation performance, whereas it is not efficient when separating small-diameter dust. Other separators have bad performances, which are hard to attain field separation and dedusting specification. Therefore, they need further improvement urgently.

SUBJECT HEADINGS: natural gas, gas-liquid separation, dedust, facility, performance, evaluation, suggestion

Liang Zheng (professor), born in 1960, is now a doctoral tutor. He graduated in mine mechanics from the former Southwest Petroleum Institute in 1982. He is now mainly engaged in the research and fabrication works on oil and gas exploitation, oil facility research and manufacture, and technology management.

Add:Southwest Petroleum University, Xindu District, Chengdu, Sichuan Province 610500, P.R. China

Tel: 86-28-8303 3353 **Cell phone:** 13981892159 **E-mail:** yz_swpi@163.com

WELL-TO-WHEEL ANALYSIS ON ENERGY USE AND GHGS EMISSION OF NG-BASED ALTERNATIVE FUELS

Shen Wei¹, Zhang Ailing², Han Weijian³(¹ School of Public Policy and Management, Tsinghua University; ² Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University; ³ U.S. Ford Motor Company). *NATURAL GAS IND.* v. 26, no. 11, pp. 148-152, 11/25/2006. (ISSN 1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: To quantitatively explain the potential of energy saving and GHGs reduction of different NG-based alternative fuels in China, Well-to-Wheel analysis of 4 NG-based alternative fuels and traditional gasoline and diesel has been completed, based on quantities of data from NG and petrochemical industries. The lifecycle energy consumption and GHGs emission of NG-based methanol, DME and GTL are obviously higher than those of gasoline. CNG is the only NG-based pathway to compete with gasoline and diesel in energy use and GHGs emission. NG-based fuels have lower lifecycle petroleum consumption than gasoline and diesel, so they may be the short-term answer to Chinese oil security. It should be cautious to expand NG-based alternative liquid fuels with present technology. In terms of energy saving and GHGs emission, Hybrid Electric Vehicles with lower cost and higher fuel-economy level may be a more attractive choice.

SUBJECT HEADINGS: natural gas, methanol, DME, GTL, vehicle, substitute fuel, greenhouse gas, energy consumption, comparison

Shen Wei, born in 1975, is studying for a Ph. D degree at the School of Public Policy and Management, Tsinghua University.

Add:Room 308, Energy Science Tower C, Tsinghua University, Beijing 100084, P.R. China

Tel: 86-10-6277 3122 **Cell phone:** 13520290075 **E-mail:** shen-w03@mails.tsinghua.edu.cn

APPLICATION OF HGSD COMBINATION GAS-SOLID SEPARATION FACILITY

Yang Kaiwu¹, Huang Xiaowei², Jin Wei²(¹ Northwest Polytechnical University; ² Shanghai Research In-