

过滤分离设备在天然气长输管道中的应用

吴 瑞

(南方石油勘探开发有限责任公司)

摘 要 天然气中的固体颗粒杂质以及液滴会对压缩机、流量计、管道造成磨损和腐蚀,影响长输管网的运营安全,因此必须安装过滤分离设备去除上述污染物。文章介绍了天然气过滤分离器、气-液聚结分离器、旋风分离器以及组合式过滤分离器的技术原理及特点,并对不同设备在天然气长输管道中的应用进行了探讨,为过滤分离设备的选用提供参考。

关键词 天然气; 过滤分离器; 气-液聚结分离器; 旋风分离器; 组合式过滤分离器

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2021.05.008

文章编号:1005-3158(2021)05-0034-05

Application of Filtration and Separation Equipment in Natural Gas Long-distance Pipeline

Wu Rui

(Southern Petroleum Exploration and Development Co., Ltd.)

ABSTRACT Solid particle impurities and liquid droplets in natural gas will cause wear and corrosion to compressor, flow-meter and pipeline, and affect the operation safety of long-distance pipeline network. Therefore, filtration and separation equipment must be installed to remove the above pollutants. This paper introduces the technical principle and characteristics of natural gas filter separator, gas-liquid coalesce separator, cyclone separator and combined filter separator, and discusses the application of different equipment in natural gas long-distance transmission pipeline, providing reference for the selection of filtration and separation equipment.

KEY WORDS natural gas; filter separator; gas-liquid coalescence separator; cyclone separator; combined filter separator

0 引 言

天然气在开采及储运过程中不可避免地会混入固体颗粒杂质、水以及轻烃类污染物,这些污染物若不去除,在运行过程中会产生以下问题:①磨损、腐蚀压缩机的叶片,造成输气效率降低;②堵塞计量仪表,影响计量的准确性;③气体中的液态物质在低温时易凝结,堵塞管道;④腐蚀管道、设备等,引发安全事故;⑤天然气品质不能达到标准要求。因此,在长输储运过程中必须对天然气进行净化处理。

过滤分离设备主要用于去除天然气中的固体颗粒和液体杂质,保证长输管网的运行安全,是管网运营的核心设备。根据天然气气质和功能要求不同,可选择不同结构和形式的过滤分离设备。

1 长输管道中过滤分离设备介绍

1.1 过滤分离器

天然气过滤分离器采用过滤滤芯作为过滤元件,主要用于去除天然气中夹带的较小粒径的固体粉尘和粒径较大的液滴,其结构如图 1 所示。

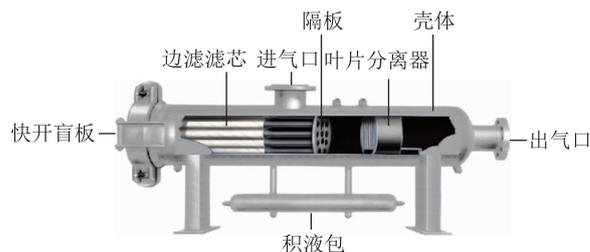


图 1 天然气过滤分离器结构示意图

过滤分离器主要由壳体、快开盲板、积液包以及内件组成,内件主要包括隔板、过滤滤芯和叶片分离器^[1]。过滤分离器以卧式结构为主,内部隔板将壳体分为进料腔和出料腔,过滤滤芯固定在隔板上。天然气首先从进气口进入进料腔,气体中夹带的较大固体颗粒和液滴在重力作用下沉积到壳体底部,液滴汇集后流入积液包。在经过初步沉降分离后,天然气由外向内通过过滤滤芯,气体中未沉降的细小固体杂质和较大液滴被拦截在滤芯外表面,净化后的天然气由滤芯内部进入出料腔。在出料腔设有叶片分离器,通过改变天然气流道,使得气体中夹带的小液滴碰撞聚结成大液滴后沉降,汇入积液包。天然气通过过滤滤芯和叶片分离器两次分离后,由壳体出气口进入下游,从而实现气固、气液的分离。

过滤分离器的核心功能元件是过滤滤芯,过滤精度为 $1\ \mu\text{m}$,固体颗粒过滤效率为 99.0% ^[2],结构示意图如图 2 所示。

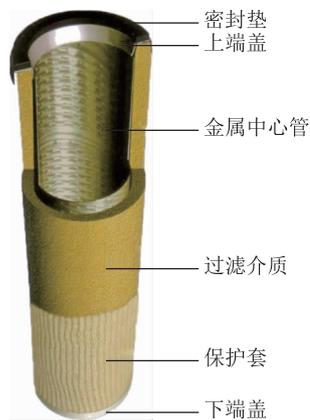


图 2 过滤滤芯结构示意图

过滤滤芯主要由上端盖、下端盖、金属中心管、密封垫、过滤介质和保护套组成。上、下端盖和金属中心管为不锈钢材质,过滤介质为聚酯纤维缠绕管或聚丙烯纤维熔喷管,形成梯度型深度过滤。胶垫材质为丁腈橡胶或氟橡胶。过滤滤芯通过端盖接口安装固定在过滤分离器壳体内部,气体由外向内通过滤芯,固体杂质及较大液滴被拦截在过滤介质内部,实现气液、气固分离。过滤滤芯整体结构强度要求在 $0.65\ \text{MPa}$ 以上,需要定期更换,更换压差为 $0.12\ \text{MPa}$ 。

1.2 气-液聚结分离器

气-液聚结分离器采用气液聚结滤芯作为分离元件,主要用于去除天然气中的较小粒径液滴,适用于天然气中含液量较高或处理精度要求更高的场所,其结构如图 3 所示。

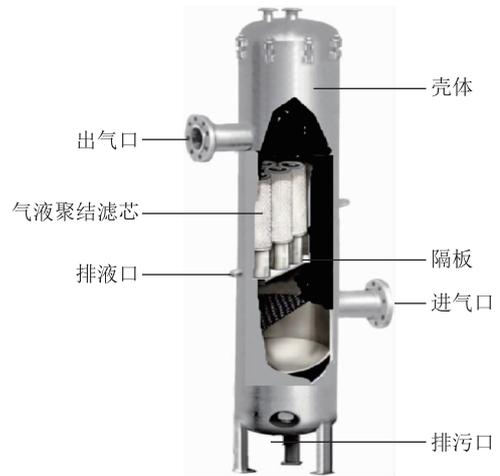


图 3 气-液聚结分离器结构示意图

气-液聚结分离器主要由壳体和内件组成,内件主要包括隔板和气液聚结滤芯。气-液聚结分离器多为立式结构,内部被隔板分为上、下两个腔室。气液聚结滤芯位于上腔室,固定在隔板上。天然气首先由进气口进入下腔室,较大液滴和粉尘在重力作用下初步沉降,由底部排污口排出。之后天然气由内向外通过气液聚结滤芯,聚结滤芯由内向外依次为过滤层、聚结层和排放层。通过过滤层进一步去除气体中的固体颗粒杂质,通过聚结层使气体中的细小液滴变为较大粒径的液滴,通过排放层使得聚结长大的液滴能够与滤芯本体快速脱离。在重力作用下,较大粒径液滴沉降到隔板底部,由排液口排出。除液后的天然气由位于滤芯上部的出气口进入下游,气液分离过程结束。

气-液聚结分离器的核心元件是气液聚结滤芯,过滤精度为 $0.3\ \mu\text{m}$,对于气体中 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上液滴的去除率为 99.8% ^[2],其结构如图 4 所示。

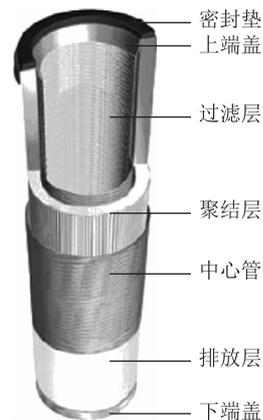


图 4 气-液聚结滤芯结构示意图

气-液聚结滤芯主要由上端盖、下端盖、中心管、密封垫和功能层组成。端盖和中心管为不锈钢材质,

密封垫为氟橡胶材质。功能层由内向外分为过滤层、聚结层和排放层。过滤层材料为玻璃纤维纸,精度为 $0.1\ \mu\text{m}$,通过折波形式增大过滤面积。过滤层主要功能是去除天然气中的固体颗粒杂质,防止颗粒杂质污染聚结层材料,影响脱液效果;聚结层材料为玻璃纤维毡,丝径为 $1\ \mu\text{m}$,孔径随气流方向逐渐变大。超细玻纤能够有效捕捉气体中的微小液滴,随着气体的流动,小液滴被送入深层纤维,同其他小液滴碰撞后聚结成更大的液滴。聚结过程不断重复,最终将 $0.5\sim 300\ \mu\text{m}$ 的小液滴变为 $0.5\sim 2.2\ \text{mm}$ 的大液滴^[3]。气-液聚结原理如图 5 所示;排放层材料为聚酯纤维,一般多以针刺毡形式使用,孔径多为 $50\sim 100\ \mu\text{m}$ 。排放层表面多经过改性,具有良好的疏油疏水功能,能够使聚结长大的液滴快速脱落。

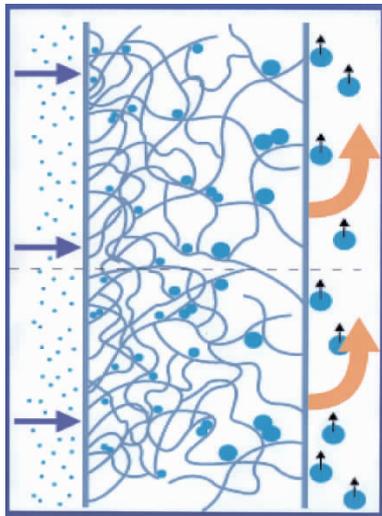


图 5 气-液聚结原理示意

气-液聚结滤芯也是易耗品,需要定期进行更换,更换压降为 $0.12\ \text{MPa}$,使用时间不能超过 24 个月。

1.3 旋风分离器

旋风分离器采用旋风子作为分离元件,主要用于去除天然气中粒径大于 $10\ \mu\text{m}$ 的固体颗粒杂质和液滴,对于 $10\ \mu\text{m}$ 以上的固体颗粒杂质去除率为 99% ^[4],对于液滴的去除效率相对较低。旋风分离器主要用于杂质和液滴含量较高的气质场所,常用作预分离设备,减轻后续过滤分离器的处理负荷,其结构如图 6 所示。

旋风分离器的总体结构由进气室、排气室、集尘室和进出口及人孔等部分组成。进气室、排气室和集尘室分别由上下隔板隔开。旋风分离器的核心是旋风子,多根较小尺寸的旋风子组装在一起,分流处理含有杂质的天然气,实现高效分离与低压降、小尺寸的完美结合。

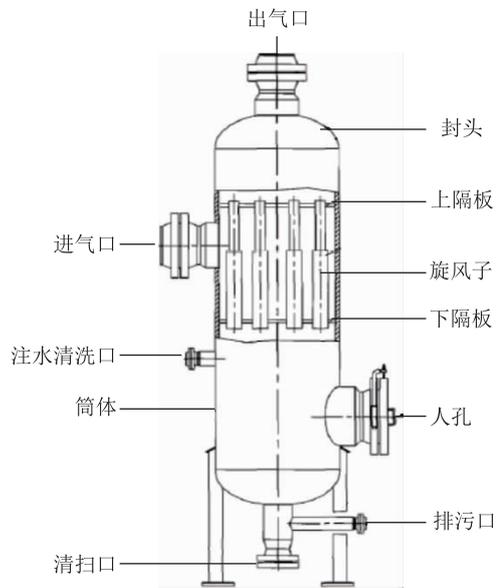


图 6 旋风分离器结构示意图

含有杂质的气体由旋风分离器的进气口进入气体分配室后进入多个旋风子中,在单根旋风子中,离心力的作用使得重相从多相混合物中分离出来,并集结到旋风管内壁上,最终与其它旋风子中的分离相一起从筒体的排污口中排出。经过净化的气体从升气管进入壳体集气室,然后从出气口排出。单根旋风子的结构如图 7 所示。

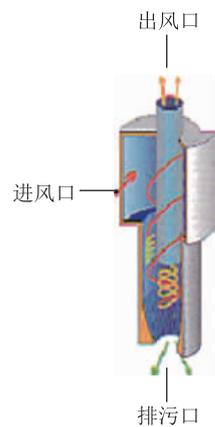


图 7 单根旋风子结构示意图

1.4 组合式过滤分离器

组合式过滤分离器将旋风分离和滤芯式气液聚结两种技术集成在一起,形成两级处理的形式,即含有杂质污染物的天然气进入壳体内部后,首先经过一级旋风分离去除粒径大于 $10\ \mu\text{m}$ 固体颗粒杂质和部分液态污染物,然后通过隔板组件进入气液聚结滤芯进行二级处理。利用气液聚结滤芯的过滤层、聚结层和排放层实现对天然气中 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上固体

颗粒杂质和液滴的分离。组合式过滤分离器结构如图8所示。



图8 组合式过滤分离器结构示意图

组合式过滤分离器集旋风分离、聚结过滤、聚结分离三种功能于一体，一台设备即可完成原需两台或三台设备的工作，节省了占地空间，降低了运行成本，其绿色理念顺应时代发展需求，紧凑、高效、节能优势突出，可以用于天然气、煤层气及页岩气的过滤分离，应用前景广阔^[5]。

2 过滤分离设备在长输管道中的应用

在天然气长输管网建设中，每隔150~200 km建一座压气站，主要是将上游来气进行计量、过滤、加压和外输，保证天然气管道压力的均匀和平稳，可以说压气站是整个输气系统的核心^[6]。而压缩机又是压气站的核心，其运行稳定性直接关系到整个输气系统的安全平稳可靠。过滤分离设备的主要作用便是保护压缩机，防止杂质磨损、腐蚀压缩机叶片，保证压缩机的正常工作效率，因此过滤分离设备在每座压气站都有配备。此外，在天然气储气库、LNG输气站、天然气计量站等都会配有过滤分离设备。

根据天然气的气质情况以及运行要求，在不同领域、不同环节配置的过滤分离设备也不一样。

2.1 固体颗粒杂质含量较高的工况

在天然气长输管道的首站、天然气储气库井口以及煤层气并网压气站等环节，天然气中固体颗粒杂质含量很高，但含液量相对较低。针对此种气质状况，为达到天然气净化要求，同时考虑到运行的经济性，一般多采用图9所示工艺。

进站天然气首先进入旋风分离器，去除粒径在10 μm以上的较大固体颗粒杂质，然后进入滤芯式过滤分离器，通过过滤滤芯去除粒径在1 μm以上较为细小的固体颗粒杂质和较大液滴。通过两级处理后，天然气

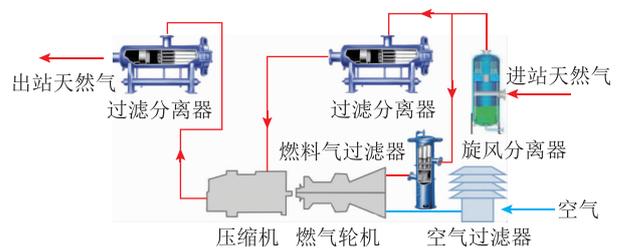


图9 固体杂质含量较高工况过滤分离设备工艺流程

达到气质要求进入压缩机，经过加压后进入下游。压缩机下游的过滤分离器视气质而定，若经过压缩机后含液量不高，可以直接进入管网，不需通过下游的过滤分离器。

旋风分离器的核心元件为旋风子，可长期使用不需更换。而过滤分离器内的过滤滤芯为耗材，若来气中杂质含量高时，过滤滤芯压降上升较快，使用寿命会变短。两者结合使用后，实现分级处理，既保证了处理效果，同时也最大限度延长了过滤滤芯的使用寿命，实现了运行维护的经济性。

2.2 固体颗粒杂质及液滴含量较低的工况

天然气长输管道的中下游，由于经过压气站过滤分离设备的层层净化，天然气的气质条件较好，天然气中固体颗粒杂质及液滴含量均较低，在此种工况条件下，多使用滤芯式过滤分离器一级处理单元来净化天然气，其工艺如图10所示。

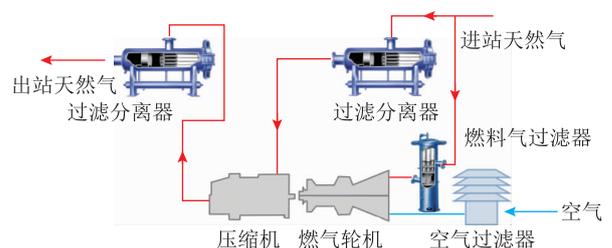


图10 固体杂质及液滴含量较低工况过滤分离设备工艺流程

此种工况下，过滤分离器的效率应满足SY/T 6883—2012《输气管道工程过滤分离设备规范》中的相关规定，即固体1 μm以上颗粒分级效率为99.0%，3 μm以上颗粒分级效率为99.5%，5 μm以上颗粒分级效率为99.8%；1 μm以上液滴分级效率为98.0%。

2.3 液滴含量较高的工况

在天然气长输管线中，部分压气站采用往复式压缩机增压输气。往复式压缩机定期需要补充润滑油，但在高温高压状态下，润滑油气化为非常微小的油滴随气流进入下游，导致润滑油流失严重，补油频繁，而且使得天然气在燃烧时热值不稳定，无法达到供气质

量要求。因此,必须对天然气中的油滴进行有效去除。

此外,天然气长输管路在建设过程中有时会通过海底地段,由于温差的变化,天然气中也会产生大量凝析液,这些凝析液也必须通过过滤分离设备进行去除。对于含液量较高的工况,多采用气-液聚结分离器来进行净化处理,其工艺如图 11 所示。

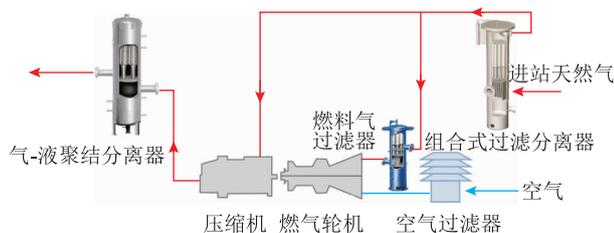


图 11 液滴含量较高工况过滤分离设备工艺流程

通过在压缩机进口安装组合式过滤分离器,对上游来气中的大量液滴以及少量固体杂质进行去除,使天然气达到进入压缩机的气质要求。在压缩机出口,设置气-液聚结分离器,对混入天然气中的润滑油微小液滴进行有效去除,使其满足天然气使用要求。

对于此工况下的气-液聚结分离器,对 $0.3 \mu\text{m}$ 以上液滴的去除率达到 99.8% 以上。

3 结 论

天然气中的固体颗粒杂质以及液滴会对天然气的

储运、计量以及运营安全造成重大影响,因此必须采用相应的过滤分离设备去除上述污染物,保证管网安全稳定运行。天然气过滤分离器、气-液聚结分离器、旋风分离器以及组合式过滤分离器是目前在天然气长输管道中广泛使用的过滤分离设备,根据设备的技术原理、气质工况以及运行要求,在长输管道不同工况采取不同的工艺方案。过滤分离设备是天然气长输管网安全运行的有效保证,随着我国天然气用量的不断增长,过滤分离设备将发挥越来越重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 李建国. 过滤分离设备在坦桑尼亚天然气管道的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(17): 17-19.
- [2] 国家能源局. 输气管道工程过滤分离设备规范: SY/T 6883—2012[S]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [3] 尚明华. 天然气聚结过滤分离技术应用[J]. 广州化工, 2014, 42(16): 132-134.
- [4] 张潍然, 陈宇慧, 刘亚莉, 等. 浅析油气分离设备及相关技术[J]. 山东化工, 2016, 45(24): 96-97.
- [5] 杨云兰, 姬忠礼, 邹峰, 等. XGF 型组合式过滤分离器[J]. 石油科技论坛, 2015(增刊): 120-122.
- [6] 李沫, 蒋婕, 程圆晶, 等. 天然气压气站设计及运行分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(2): 84-85.

(收稿日期 2021-08-13)

(编辑 王蕊)

(上接第 33 页)

- [5] 常启新. 涪陵页岩气钻井污水重复利用研究[J]. 石油与天然气化工, 2016, 45(5): 95-99.
- [6] DING R, WANG Y M, CHEN X, et al. Extended Fenton's process: toward improving biodegradability of drilling wastewater[J]. Water science and technology, 2019, 79(9): 1790-1797.
- [7] THACKER J, CARLTON D, HILDENBRAND Z, et al. Chemical analysis of wastewater from unconventional drilling operations[J]. Waste, 2015, 7(4): 1568-1579.
- [8] 田建超, 李玉涛, 修书志, 等. 我国油田产出水再利用技术现状及展望[J]. 油气田环境保护, 2021, 31(1): 15-20.
- [9] 陈丹丹, 王波, 袁增, 等. 非均相催化臭氧氧化处理钻井废水的研究[J]. 油气田环境保护, 2021, 31(2): 11-14.
- [10] 罗平凯, 张太亮, 喻璐, 等. 催化氧化复合生物技术处理油气田压裂返排液[J]. 油气田环境保护, 2017, 27(1): 28-31.
- [11] 程芳, 程金平, 桑恒春, 等. 大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 1062-1066.
- [12] 舒欣欣, 庞维海, 张华, 等. 某污水处理厂出水色度超标原因分析[J]. 给水排水, 2018, 54(7): 41-46.
- [13] 李文强, 赵文涛, 肖靓, 等. 城市污水深度脱色技术研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32(11): 2734-2743.
- [14] 贾万瑾, 屈晓芳, 冉照宽, 等. 不同钻井液液滤液色度与 COD_{Cr} 关联性[J]. 油气田环境保护, 2018, 28(3): 35-37.

(收稿日期 2021-04-04)

(编辑 刘晓辉)