

钻井用四相分离器的现状及发展趋势

杨毅 马晓伟 白晓捷 崔树建

中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院

杨毅等. 钻井用四相分离器的现状及发展趋势. 天然气工业, 2012, 32(2): 75-78.

摘 要 钻井用四相分离器(地面密闭分离系统)是实施欠平衡钻井作业所必备的装备,目前该分离系统在国外已被广泛使用。为在国内推广应用欠平衡钻井技术,介绍了国外 VETERAN 能源公司、哈里伯顿和威德福公司所研制的钻井用四相分离器结构及原理,阐明了它们的应用范围和技术特点,同时还介绍了中国石油川庆钻探工程公司钻采工程技术研究院研制的 WS2×8-1.5/1 型四相分离器,分析了国内外四相分离器的设计差异和应用情况。强调了研制和使用钻井用四相分离器的必要性和其在未来欠平衡钻井作业中的重要性。

关键词 钻井用四相分离器 欠平衡钻井 密闭分离器系统 多相地面分离系统 装备

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2012.02.018

钻井用四相分离器是应用于欠平衡钻井作业中的地面分离装置,其独特的结构设计使它在钻进过程中较精确地分离所有从井筒中产出或循环出的液体、原油、气体和固体。欠平衡四相分离器安装于地面节流管汇后,循环钻井液可以通过它进行油、气、液和固的多相分离。循环钻井液进入分离器后一般在前舱通过固液旋流器或者重力沉淀等方式分离出固相,固相通过泵被排出分离器;液相流入中舱后通过密度差对其进行分离,分离后被送入储蓄罐或者再次循环;气体出口一般位于分离器顶部,通过旋流器和捕雾器等设备对气相进行分离,然后排出后进行点火。

加拿大 VETERAN 能源公司于 1991 年成功研制了第一台欠平衡四相分离器,该分离器不仅能在密闭状态下对循环钻井液进行四相分离,而且分离能力远远大于液气分离器,在欠平衡钻井中被迅速推广使用^[1]。随后美国 SWACO、哈里伯顿、威德福等石油公司也先后研制出各自的四相分离器及密闭分离系统。而国内对这种四相分离器一直处于调研和摸索阶段,直到 2005 年中国石油川庆钻探工程公司钻采工程技术研究院(以下简称川庆钻采院)才对该设备展开了深入的研究,目前已经研制出第一台分离器样机,并进行了现场试验。

1 国外钻井用四相分离器的发展现状

国外许多石油公司已经研制出了钻井用的四相分离密闭系统,并成功地在欠平衡钻井中使用。而且该分离系统在加拿大、沙特阿拉伯、阿曼、印度尼西亚等国家广泛使用,由于各地的地层状况不同以及各石油公司的设计理念存在差异,所以各公司研制的四相分离器相关配置也有较大区别,主要有以哈里伯顿公司为代表的垂直型四相分离密闭系统和以威德福公司为代表的水平型四相分离密闭系统^[2]。

1.1 加拿大 VETERAN 能源公司的地面四相分离密闭系统

加拿大 VETERAN 能源公司于 1991 年对四相分离密闭系统进行了研究开发,次年该公司和加拿大勘探公司第一次将密闭系统应用于欠平衡钻井作业,并前后进行 3 次改造最终取得成功,随后该系统在加拿大得到了广泛使用,仅在 1992—1995 年的 4 年间,使用四相分离密闭系统进行欠平衡作业的井已达 731 口,加拿大能源储备部(ERCB)还制定了相关标准以指导四相分离系统的设计和作业。除加拿大本土外,密闭系统还在印度尼西亚苏门答腊北部 ARUN 油田得到应用,并成功实施了 3 口高温(大于 180 ℃)、低

作者简介:杨毅,1984 年生,助理工程师,学士;2007 年毕业于西安石油大学石油工程专业;现从事欠平衡钻井、气体钻井科研和现场服务工作。地址:(163413)黑龙江省大庆市红岗区中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院欠平衡钻井技术研究所。电话:13836802171。E-mail:yangyi008@cnpc.com.cn

压、高含硫的欠平衡水平井。

该密闭系统的配置一般包括四相分离器、密闭式取样器、储油罐、自动点火装置、防回火装置、压井液罐、钻井液罐等^[3]。在系统配置中,四相分离器是核心设备,为一个水平放置的罐状结构,其简易的内部构造如图1所示。

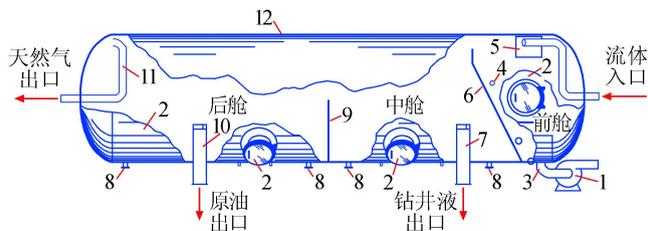


图1 加拿大钻井用四相分离器结构示意图

注:1.螺杆泵;2.检修口;3.漏斗出口;4.喷射管;5.进料口;6.固液分离挡板;7.钻井液出口立管;8.排液口;9.油水分离挡板;10.原油出口立管;11.气体出口;12.分离器壳体

返出的钻井液从一个螺旋通道进入分离器内,该螺旋通道用来降低返出物流速和引导返出物水平流动。螺旋通道的出口指向分离器的前端部,这样设计是为了降低返出液流的紊流度,加速岩屑的沉降。由于该四相分离器基本采用的是重力沉淀式分离,所以分离效率取决于钻井液在其内停留的时间。加拿大在地面密闭分离系统中使用的四相分离器参数如表1所示。

表1 加拿大钻井用四相分离器设计参数表

项 目	设计参数
罐体直径	2.73 m
罐体长度	12.2 m
气体处理量	$99 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$
总液体容量	67.575 m^3
工作压力	0.14~0.34 MPa
最大额定压力	1.38~3.45 MPa

地层产生的固相颗粒完全是由四相分离器依靠重力沉降作用进行分离的,显然这种分离方式只能分离颗粒较大的固相,且效率难以稳定。所以该系统只适于时间较短的欠平衡作业。

1.2 哈里伯顿公司的钻井用四相分离器

哈里伯顿公司的欠平衡钻井分离系统程序是让返出流体通过四相分离器后把混合物分离成高压气体(初级分离器)、低压气体(二级分离器)、含屑稠浆、轻质流体(通常指碳氢化合物)、重质流体(主要包括水基钻井液或者地层水)然后从分离器各出口排出。所有

出口的流动速率都将被地面数据采集系统所测量,其目的是为了测定井下流体动态和储层数据,当然入口的流体也可能通过地面数据采集系统中的井场数据传输被测量或者记录,从而让操作者第一时间了解流体返出情况。

哈里伯顿密闭式四相分离系统是由6个集装的橇体组成,分别为节流管汇橇体、录井取样器、初级分离器、二级分离器、泵和管汇橇体以及喷射泵橇体^[4]。除这6个橇体之外还包括一些测量、控制等装置,其中最主要的部分为初级和二级分离器。如图2所示。

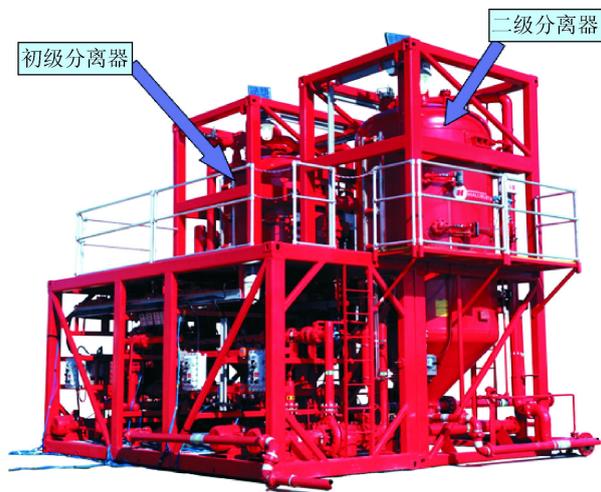


图2 哈里伯顿公司立式四相分离器实物图

初级分离器是整个管线上的首次分离装置。它是一个独立的能够移除固相,分离大部分气体和流体的装置。井筒返出的混合物经过进口管汇进入初次分离装置。固相在入口处通过重心分离和旋流器分离后被运送到锥形底部。气体通过上部捕雾器被分离,经气体检测仪后被排出,而流体通过一个液面控制装置来引导和流动,然后被送入到二级分离装置内进行再次分离。二级分离器是安装在初级分离器后的又一个四相分离设备,其结构和分离方式与初级分离器基本相似,不同之处在于初级分离器是高压分离,而二级分离器是低压分离,是对初级分离器分离后的流体进行第二次全面分离^[5]。其性能参数如表2所示。

哈里伯顿公司立式钻井用四相分离器近年来主要在泰国、墨西哥、挪威等地使用,共完成38口欠平衡钻井作业,顺利解决了欠平衡钻井中循环钻井液的地面分离问题,并成功实现了含 H_2S 地层的欠平衡钻井作业,实施了3口高温(超过 180°C)、低压、高含硫(含量超过2%)的欠平衡水平井。2008年在挪威提出深水井作业的申请。

表 2 哈里伯顿公司四相分离器设计参数表

项 目	设计参数
处理气体的能力	140×10 ⁴ m ³ /d
处理流体的能力	5 563.2 m ³ /d
处理固体的能力	288 m ³ /d
工作压力	1.75 MPa(冲洗系统 5.18 MPa)
操作温度	-29~93 ℃
腐蚀容限	容器 3.17 mm,管道 1.58 mm
除雾器	10 μm 以上的液滴清除率达 99.9%
分离器尺寸	2.9 m×2.4 m×6.1 m

1.3 威德福公司的钻井用四相分离器

近年来威德福(Weatherford)公司在加拿大和哈里伯顿四相分离器的基础上,进行了进一步的研究,加强了分离系统的部分功能,成功研制出了卧式钻井用四相分离器和立式钻井用四相分离器。如图3、4所



图 3 威德福公司四相卧式分离器实物图



图 4 威德福公司四相立式分离器实物图

示,从而拓宽了欠平衡钻井密闭系统的使用条件。

威德福公司四相卧式分离器性能参数如表 3 所示。

表 3 威德福公司四相分离器性能参数表

项 目	设计参数
气体处理量	113×10 ⁴ m ³ /d
液体处理量	6 360 m ³ /d
工作压力	1.75 MPa
工作温度	93 ℃

由于威德福公司使用了离心机,所以它可使钻井液中的固相得到很好的控制。该四相分离器可控制钻井液的固相含量,又可使钻井液得到持续循环,同时也满足了密闭要求。该公司曾在美国得克萨斯州、加拿大、中东等国家和地区的欠平衡井中使用钻井用四相分离器,并取得了良好的地面分离效果^[2]。2005年使用四相分离器成功地在加拿大 Alberta 南部环境敏感地区实施了含硫地层(含 9% 的 H₂S)欠平衡钻井作业。

2 国内钻井用四相分离器的发展现状

国内对于钻井用四相分离器的研制还处于起步阶段,只有川庆钻采院在 2009 年研制出第一台钻井用四相分离器样机并进行了现场试验。该 WS2×8-1.5/1 型钻井用卧式四相分离器,设计目的是为了提高钻井作业的 HSE 水平,解决含硫化氢地层的欠平衡钻井。同时它能够简化地面分离设备,方便施工操作。

该分离器主要由取样器、旋流分离筒、油水分离板、排固装置、排液泵、排油泵、排气管线、电控柜以及清砂机构等组成^[6]。图5为川庆钻采院所设计的



图 5 川庆钻采院四相分离器实物图

WS2×8-1.5/1型四相分离器实物图。

川庆钻采院研制的钻井用四相卧式分离器性能参数如表4所示。

表4 川庆钻采院 WS2×8-1.5/1型四相分离器设计参数表

项 目	设计参数
外形尺寸(长×宽×高)	12 m×2.4 m×3 m
液体处理量	4 800 m ³ /d
气体处理量	48×10 ⁴ m ³ /d
额定工作压力	1.5 MPa
工作介质	含油气钻井介质(有限抗 H ₂ S)
工作模式	电控、全自动控制

该四相分离器于2009年3月在川庆钻探工程公司承钻的“磨017-H6”欠平衡定向井进行了四相分离器现场试验。对井内返出钻井液中的固相颗粒进行了分离,效果明显,能够清除74 μm粒径以上的固相颗粒。分离出的气体流量在10~200 m³/h且经该设备处理后的钻井液满足循环使用要求。本次试验证明了川庆钻采院设计的四相分离器原理正确且固相清除、气体分离、油液分离等效果良好,在欠平衡钻井中使用能满足钻井工艺技术的要求。

3 结论与建议

加拿大石油公司与威德福公司使用的密闭系统均有自己的特点。前者使用的密闭系统可使钻井液在整个分离循环的过程中均处密闭状态,所以避免了钻井液中的地层产物对外界环境造成污染。但是没有超细固相的控制设备,这就使该系统的使用受到时间的限制。后者的四相卧式分离器中注射氨水以及使用硫化氢清除器,从而有效清除了钻井液中的硫化氢;离心机的使用,使钻井液中的超细固相颗粒得到了有效控制,

从而使井内返出的钻井液可以持续循环利用。同时该密闭系统使用了两个分离器,可以满足高产、高含硫欠平衡钻井作业的需要,但使用的设备较多(包括许多监测控制装备),程序也相对复杂。

随着油气资源需求的不断增长和易采油气藏的日益衰竭,采用欠平衡钻井技术来开采油气层是有效而且必要的措施,国内的欠平衡设备相对于美国、加拿大等还很落后,进一步加大对四相分离器等欠平衡钻井重要设备的研究是非常有必要的。只有欠平衡钻井的设备满足了工艺技术的需求,才能保证欠平衡作业的安全性。

参 考 文 献

- [1] 付志胜,郑桂荣.负压钻井分离器简介[J].石油钻采工艺,1997,19(6):52-53.
- [2] 张保贵,韩烈祥,姜维伟,等.密闭式钻井液地面分离系统技术发展现状分析[J].钻采工艺,2009,32(3):71-74.
- [3] KARIGAN J M, BURRIS W J. Apparatus and methods of separation of materials in an under-balanced drilling operation; USA, 6328118[P].2001-12-11.
- [4] HOMAN E D. Method for separating components in well fluids; USA, 5928519[P].1999-07-27.
- [5] BULLOCK R, KARIGAN J, WIEMERS T, et al. New-generation underbalanced drilling 4-phase surface separation technique improves operational safety, efficiency, and data management capabilities[C]// paper 72153 presented at the SPE Asia Pacific Improved Oil Recovery Conference, 6-9 October 2001, Kuala Lumpur, Malaysia. New York: SPE, 2001.
- [6] 张保贵,韩烈祥,姜维伟,等.钻井液密闭分离系统流程方案及装备配套[J].天然气工业,2010,30(6):73-76.

(修改回稿日期 2012-02-03 编辑 凌 忠)