

U 形管采样技术研究

潘德元, 李小杰, 郑继天, 叶成明

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

摘要:深部流体样品是深井工程的重要组成部分,介绍了获取深部流体样品的一种方法——U 形管采样技术。通过对 U 形管采样技术原理进行研究分析,设计研制 U 形管取样器具并进行野外试验,取样深度达到井深 500 m,最大流量达到 40 L/h,取得了较好的效果。

关键词:U 形管;取样器;深部流体;采样技术

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)05-0050-03

Research on the Sampling Technique with U-tube/PAN De-yuan, LI Xiao-jie, ZHEN Ji-tian, YE Cheng-ming (Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding Hebei 071051, China)

Abstract: Fluid samples from deep boreholes can provide a variety of information, which is an important part of deep drilling engineering. This paper introduces a technology for borehole fluid sampling—U-tube sampling technology. By the research and analysis on the principles of U-tube technique, U-tube sampler was designed and developed with field tests; the sampling depth reaches 500m and the maximum flow is up to 40L/h.

Key words: U-tube; sampler; deep fluid; sampling technique

0 引言

深部地层流体样品能够提供地下流体化学特征、同位素组分、溶解气体和微生物特征等,具有深部空间物理、化学和生物信息,对深井设计开发以及深部流体监测具有重要意义,是深井工程的重要组成部分。然而,采集地下原状流体具备相当大的困难,首先,钻探及成井过程中钻井液会对地层流体产生污染;其次,取样过程中的工艺手段会对地层流体产生扰动,影响其原状性;第三,井下空间狭小,且存在很高的液柱压力,深部流体取样对取样设备需要合理的结构设计和较高的性能要求。

地层流体采样技术主要分浅层流体取样和深部流体取样。国内外浅层流体取样设备种类较多,如国外 QED 公司的气动压出式隔膜泵、Solinst 公司的蠕动泵采样器、以及国内的地下水采样系统等等,但是这类设备的取样深度都较浅,基本在几十到 200 m 之间。深部流体取样中油井中通常运用电缆地层测试器,但是工艺复杂,成本高。我国地下水采样技术在深部地下水取样目前仍是空白。

U 形管采样技术(The U-tube Sampling System)是目前国际上最先进的深井井下狭小空间取样技术,其最大特点是在环状间隙很小的井筒内实现深部采样。美国劳伦斯伯克利试验室于 2004 年研

发成功 U 形管采样设备,并整合了多项监测系统,最大取样深度达到 2000 m。

Frio 项目就采用 U 形管取样技术实现地下流体采集,监测二氧化碳在储层中的赋存状态和运移规律,以及监测二氧化碳在盖层中的泄漏风险,是二氧化碳在咸水含水层封存的示范工程。

1 U 形管取样技术原理

U 形管取样器是一个简单的流体容积泵,使用高压气体驱动。图 1 为安装封隔器的 U 形管取样器示意图。

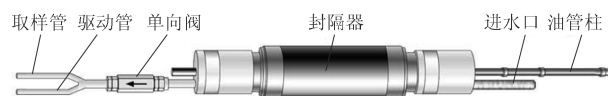


图 1 U 形管结构示意图

在概念上,U 形管取样原理较为简单,取样管和驱动管回路形成一个 U 形回路,回路下方安装一单向阀,通过封隔器隔离地层流体(可采用双封隔器)。

采集地下水样品时,先将 U 形管驱动管管头和取样管管头与大气连通,地层水通过单向阀进入 U 形管内,从驱动管管头注入高压氮气(或其它惰性气体),此时单向阀关闭,驱使地层流体样品从取样

收稿日期:2013-11-26

基金项目:国土资源部公益性行业基金项目“深部咸水层二氧化碳地质储存关键技术研究”(201211063)

作者简介:潘德元(1982-),男(汉族),江西婺源人,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心助理工程师,钻井工程专业,硕士,从事钻探研究工作,河北省保定市七一中路 1305 号,pandyice@163.com。

管流出地表,完成样品采集。通过重复以上采样过程,地层流体可以不断置换、更新,最终采集到新鲜的地层流体。采样过程如图 2 所示。

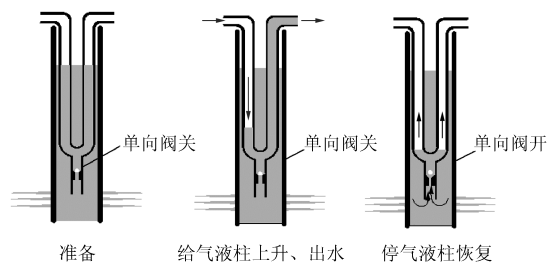


图 2 U 形管采样原理图

2 U 形管取样系统设计

2.1 总体设计

U 形管取样系统设计分为地面控制系统和井下采样系统 2 部分。地面系统包括动力组件、管线及绞车系统、取样控制组件、样品采集容器等;井下采样系统包括上下封隔器(上封隔器过管线设计)、单向阀组件。如图 3 所示。

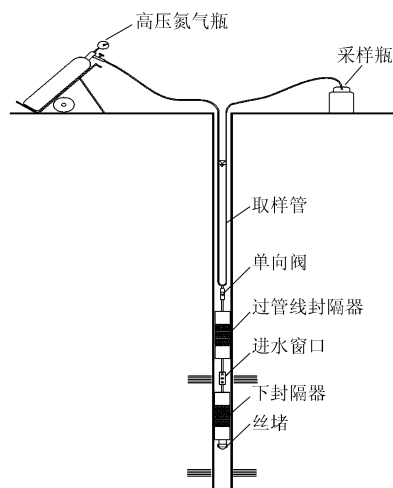


图 3 U 形管取样系统总成

2.1.1 动力组件

空压机驱动或高压氮气瓶,产生高压气体驱动地层流体流出地面。

2.1.2 管线及绞车系统

管线分为驱动管和取样管,需要将管线盘绕绞车上方便运输及取样。

2.1.3 取样控制组件

控制从空压机或者高压氮气瓶输出的气体进入驱动管线的压力和时间、以及驱动管连通大气的的时间。

2.1.4 样品采集容器

收集从取样管中流出的样品。

2.1.5 封隔器

上下封隔器的目的是隔离上下地层流体,防止地层流体混合,以便获得目的层位流体,上封隔器需要进行过管线设计。在本次试验中未加入封隔器。

2.1.6 单向阀组件

允许地层流体在地层压力作用下进入管线中,阻止回流重新进入地层。

2.2 单向阀组件设计

单向阀组件是为获取地层流体而设计的,为满足深井取样需求,单向阀组件具有小体积、较高强度、耐腐蚀性、耐磨损等性能。采用 316 不锈钢为材料,总体设计组装图见图 4,主体部件体积为 $50\text{ mm} \times 22\text{ mm} \times 58\text{ mm}$,单向阀采用球阀设计,下方为地层流体入口,上方左边连接送气管线,右边连接取样管。

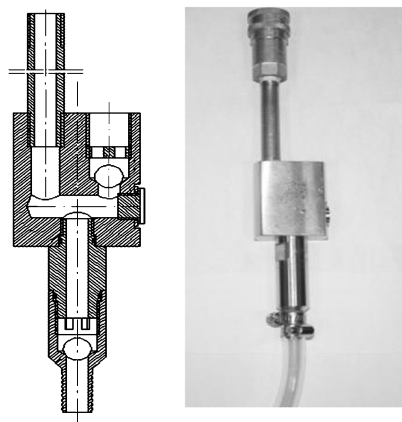


图 4 单向阀组件组装图及实物

为能够实现在地面取样和压力驱动多样化,在取样管底端设计一个单向阀,当取样管中液面高于驱动管时,这种设计能够防止取样管中样品回流,主要目的是降低地面气体的压力,采用较低的驱动压力就能驱动样品一段一段进入取样管就是实现取样,确保地面控制系统安全性能。

2.3 管线选择

针对驱动管和取样管的使用环境,管线需要满足内外径尺寸、耐磨及耐腐蚀性能要求,同时具有较高的抗压、抗挤以及抗拉强度,并且弯曲半径不宜过大,方便随车携带。经过广泛调研,选取了不锈钢盘管和超高压钢丝缠绕软管作为 U 形管管体材料的备选管材。

高压不锈钢盘管材料有 202、304、316L 等多种材质,经过特殊处理后具有抗内压、外压强度高、管壁薄、单根长度大等特点,但下管和盘管时都需要进行盘管作业,对提下管操作提出很高要求,在起下管

柱频繁的情况下增加了工作量,同时易对管线造成损坏。

高压钢丝缠绕软管由一层耐液压流体的橡胶内衬层、以交替方向缠绕的钢丝增强层和一层耐油和耐候的橡胶外覆层构成,最高承压能力可以达到 400 MPa,具有承压能力高、耐磨损、抗老化、耐高低温(−40 ~ +90 ℃)、卫生安全、弯曲灵活、使用方便等许多特点,但是管壁厚,管线内径损失较大。

综合对比高压不锈钢盘管和高压钢丝缠绕软管的各项性能,再结合本次 U 形管取样试验要求,确定选择高压钢丝缠绕软管作为 U 形管管线。驱动管和取样管的内外径分别为 7.5 mm/11.6 mm,8 mm/14.3 mm,爆破压力达到 55.0 MPa 以上。

2.4 地面控制箱设计

控制箱是为了调节驱动管送气、放气时间(连接大气)及气体压力,需要具有耐高压、自动控制及参数可调等特点,目前设计的控制箱自动控制充放气,耐压 5 MPa,时间调节 0 ~ 999 s。

2.5 取样方式设计

根据试验要求,设计了 2 种取样方式:单循环取样、连续取样。

单循环取样方式是指将驱动管接通空压机或者高压氮气瓶一次性将管内液体推出地面,然后将驱动管和取样管连通大气,等待地下流体进入管内,再次进行第二次取样。

连续取样方式是在驱动管前端连接控制系统,控制驱动管充气及放气时间(与大气连通时间)和气体压力,通过调整时间将液体逐段推入取样管中,实现连续取样。单次循环时间是指从上次取样停止,驱动管与取样管连通大气等待水位回复时间加上第二次取样时间。

3 现场试验

野外试验用井选取了位于河南临颍县的一口地热井,井深为 1206 m。管井结构自上而下为:0 ~ 168 m 为 Ø273 mm × 7 mm 螺旋钢管;168 ~ 1206 m 为 Ø159 mm × 6 mm 钢管及同径桥式滤水管。静水位 35 m。

由于是首次开展深井 U 形管井下取样测试,取样深度大、取样压力高,本次野外试验分为井下 270、370 和 500 m 3 个递进阶段进行单次循环取样试验,以及采用控制箱进行低扰动连续取样试验,在逐步探索过程中积累经验。经过项目组人员的共同努力,历时一个星期,终于完成了试验测试,取得满

意的试验效果。在取样深度 500 m 的条件下,U 形管平均单循环取样量为 20 L;控制箱取样时最大流量达到 40 L/h。

本次试验单循环取样深度由浅入深,在取样深度 500 m 处是将单向阀下至 400 m,下方进水窗口连接 100 m 管线,取样各项参数见表 1。随着取样深度增加,单次循环时间增加。

表 1 单循环取样参数						
序号	取样深度/m	上水时间/min	上水时气压/MPa	水量/L	单次循环时间/min	流量/(L·h ⁻¹)
1	270	12	3.5	16.8	20	50.4
2	370	14	4.2	18.8	24	47
3	500	14	4.8	22	27	48.9
4	500	12	4.9	21.6	27	48
5	500	12	4.9	23.3	25	55.9

本次试验连续取样时将气体驱动时间和与大气连通时间都设置为 100 s,控制气压进行取样试验时发现,当气压 < 1 MPa 时不上水,提升到 2 MPa 时开始上水,并随着气压升高上水量增加,最大流量达到 40.5 L/h。随着单向阀下入深度越深,管内流体阻力越大,驱动气压越高。连续取样现场参数见表 2 和图 7。

表 2 连续取样参数						
序号	取样深度/m	驱动时间/s	与大气连通时间/s	气压/MPa	周期取样体积/L	平均流速/(L·h ⁻¹)
1	500	100	100	1	0	0
2				2	0.56	10.08
3				3	1.52	27.36
4				3.2	1.93	34.74
5				3.5	2.25	40.5

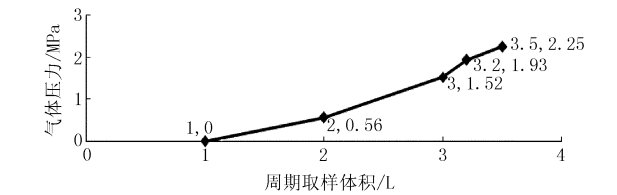


图 5 连续取样气压与取样体积关系

4 结论

深部狭小空间取样是目前国际上的一个技术难题,此次结合国内二氧化碳地质储存监测井取样的实际需求,根据 U 形管取样原理,自主设计了一套 U 形管采样器,取得了较好的成果,也存在很多的不足。

(1) 本次试验取样深度达到 500 m,流量 40 L/h,填补了我国深孔液体取样技术的空白。

(下转第 65 页)

MPa、注浆量 ≥ 50 L/min 的情况下维持 30 min 以上。

4.3 堵水工程效果

动水截流工程结束后,奥灰水位完全恢复,剩余水量约为 $80\text{ m}^3/\text{h}$,桑树坪矿井开始恢复生产。经过延伸至 11 煤底板及奥灰顶部进行注浆后,最后的残余水量仅为 $24\text{ m}^3/\text{h}$,整个堵水工程的堵水率达到 99.8%。

5 结语

桑树坪矿堵水实践表明,对于小煤矿越界开采本矿底部煤层造成的被动型矿井特大突水,在过水通道位置不清楚的前提下,可采取如下方法进行堵水:

(1)首先要通过走访调查了解小煤矿的采掘情况,之后结合本矿采掘系统确定截流段的大体位置;

(2)之后采用物探手段对截流段巷道位置进行详细探查,并根据物探成果在井下使用钻探方法精确查明过水巷道的空间位置;

(3)截流段巷道查清后先进行动水截流注浆,

截流成功后在追排水的同时再进一步对煤层底板和奥灰顶部进行注浆。

参考文献:

- [1] 李松营.应用动水注浆技术封堵矿井特大突水[J].煤炭科学技术,2000,28(8):28-30.
- [2] 赵苏启.煤矿突水灾害快速治理的配套技术[J].煤炭科学技术,2001,29(2):26-28.
- [3] 刘建功,赵庆彪,白忠胜,等.东庞矿陷落柱特大突水灾害快速治理[J].煤炭科学技术,2005,33(5):4-7.
- [4] 白峰青,卢兰萍,熊书宝,等.德盛煤矿特大突水治理技术[J].煤炭学报,2007,32(7):741-743.
- [5] 李彩惠.矿井特大突水巷道截流封堵技术[J].西安科技大学学报,2010,30(3):305-308.
- [6] 南生辉.综合注浆法建造阻水墙技术[J].煤炭工程,2010,(6):29-31.
- [7] 刘生优.骆驼山煤矿 16 煤大巷奥灰突水封堵工程设计[J].煤炭工程,2011,(10):37-42.
- [8] 邵红旗,王维.双液注浆法快速建造阻水墙封堵突水巷道[J].煤矿安全,2011,42(11):40-43.
- [9] 岳卫振.平衡压力法在极松散煤巷注浆截流堵水中的应用[J].煤炭工程,2012,(8):40-42.

(上接第 52 页)

(2)试验数据显示,2 种取样模式对比发现,连续取样模式能够在地面采用较低的驱动气压实现取样,保障地面系统的安全性能。

(3)在试验过程中对比 2 种取样模式,在对样品影响方面,连续取样时每一小段流体都与大气产生接触,而单循环取样只有两端流体与大气接触;在取样工序上,目前单循环模式每次都需要人工操作,而连续取样可以实现初步的自动化;在取样速度方面,单循环取样速度比较恒定,与井深等参数无明显关系,连续取样方式随着驱动气压的升高增加取样速度。

(4)U 形管采样技术体积小,有较广的应用前景。油藏流体是油气田开发最基本的资料之一,在

探井完井过程中依附完井管柱下入永久式 U 形管取样设备,同时设计整合其他监测系统,如地层压力监测等能够有效的监测目的层油藏各项参数。

参考文献:

- [1] Barry Freifeld. The U-tube: A New Paradigm for Borehole Fluid Sampling[J]. Scientific Drilling, 2009, 8(9): 41-45.
- [2] 中国 21 世纪议程管理中心,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心.中国二氧化碳地质封存选址指南研究[M].北京:地质出版社,2012.
- [3] 郑继天,叶成明,王建增,等.地下水污染调查惯性取样泵的设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):37-39.
- [4] 郑继天,王建增.国外地下水污染调查取样技术综述[J].勘察科学技术,2005,(6):20-23.
- [5] 靳成军,郑继天.污染调查中的水、土样品采集技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):38-41.

我国陆上最深水平井开钻

《中国矿业报》消息(2014-05-22) 塔里木油田塔中 862H 井日前顺利完成 1502 m 的开钻任务,成为我国陆上设计最深的水平井。

为解开塔中深层地带地质密码,塔里木油田推广应用科技成果,设计了塔中 862H 井。该井设计井深 8008 m,垂深 6325 m,水平段长 1557 m,目的层为上奥陶统良里塔格组。该井的设计是为了探索塔中 861 号奥陶系缝洞系统的含油气性、获得产能、流体性质及物性等资料。

塔中 862H 井位于塔克拉玛干沙漠腹地,地质条件复杂,施工难度大,属于典型的“三高”井,加之超深和水平段超长,

钻具组合抗拉安全存在一定风险,在实钻过程中,可能出现水力压耗大、环空返速低、托压严重、钻井周期长等问题。在塔中 862H 井设计中,塔里木油田利用自身优势,对深部井段钻具组合进行水力参数及力学分析,提出优化方案,降低钻井风险,二开设计使用旋冲钻具,以满足井段提速需要;三开水平段设计使用等壁厚螺杆及水力振荡器,以减少托压程度,确保塔中 862H 井顺利钻探。

塔中 862H 井钻探任务由川庆钻探塔里木第二勘探公司 80003 钻井队承担实施。