

试论直接测定岩心天然气饱和度的可能性

——介绍冷冻法封闭岩心流体的压力取心技术

刘 仑

(中 原 油 田)

内容提要 本文介绍了冷冻法封闭岩心流体的压力取心技术及压力岩心分析法,从理论和实践上阐述了直接测定天然气饱和度的可能性。冷冻的压力岩心可以测定其天然气的全组分,对于气油比较低或是气相组分中重烃含量较高的井,所取得的数据较准确;对于以气体为主或是甲烷含量在90%以上的干气井,使用压力取心分析则没有实际意义。

储层岩石的流体饱和度,在油气田勘探与开发中具有十分重要的作用。它是计算油气储量、分析开发动态以及提高最终采收率等不可缺少的参数。

多年来,岩心流体饱和度是采用常规技术取心、在室内进行常规分析取得的,结果不太令人满意。其主要原因是,当岩心取到地面时,由于压力降低,岩心孔隙里溶解于残余油的气体和原生水,都会全部或部分被排掉。即使把到达井口的岩心立即封蜡并尽快测定,所得到的油水饱和度数据,与地层条件下的相比,也还是有相当差异的。至于岩心中所储存的气体,在岩心到达地面后,几乎全部被排放掉,试验室无法取得任何气饱和度的数据。油气田开发研究中不能直接取得这项资料是十分遗憾的。为了取得代表

地层条件下的流体饱和度,国外曾进行多方的探索。八十年代,美国较成功地利用了压力取心法,取得保持地层压力的岩心。在地面用于冰冷冻,使岩心里的流体凝固,低温下运输。到试验室后立即破筒,在液氮冷却下取样,样品置于密闭的容器内慢慢解冻,收集释放出的流体进行定量测定,可获得准确的饱和度数据。在美国常用于恢复二次采油,可能获得准确的残余饱和度与现场油气比的数据,并做出三次采油的评价。至于岩心里饱和流体内的天然气,压力取心分析可以测得天然气的重量。由于天然气在不同压力条件下在油里的溶解度不同。因而准确的油气比数据较岩心中天然气绝对重量更为重要。经过换算,用压力取心的方法已经能取得岩心中的天然气饱和度。

横窜水为主,底水为次,影响南区东翼生产井生产的是底水。为提高气藏采收率,建议在横窜水的入口处对中22、38井进行强排

水,以减轻横窜水的危害。

(本文收到日期 1986年6月28日)

压力取心工艺过程及对气饱和度的影响因素

用常规工艺取心,岩心内压力随岩心筒的提升而逐渐减小,当岩心到达地面后,便与大气压力一致,因而岩心内的流体随压力下降而减少,这是常规取心所测饱和度不能代表地下实际情况的原因。要得到反映油藏下的饱和度,必须从取心到实验室全过程都采取保压措施。1970年美国爱克桑产品研究公司取得保压岩心筒的专利,可以达到密闭保压的效果。从此开始了压力取心的新工艺。

成功的压力取心工艺不单是只靠保压岩心筒,首要的是井底流动压力必须估计准确,并选择合适的取心流体。良好的压力取心流体是当压力超过地层压力时,只有极微小的流体侵入岩心;它不与油藏岩石或油层流体起化学反应,又能提供良好的稳定的钻井性能;它具有低凝固点,便于取出冷冻岩心;有合适的粘度,以防止井底静压力与流体压力大幅度改变。取心流体利用加入发泡剂来调节流体静压力,以免在压力下切割岩心造成的冲洗作用。发泡剂也应具有稳定的性能,在取心过程中根据油藏的情况改变其组成,它便于调节和试验室的性能测定。加入发泡剂的钻井流体能成功地完成压力取心。在井下泡沫压缩变小,只要没有达到破坏泡点的压力,则气泡所携带的流体质点要比基岩孔隙喉道大,即可防止岩心被钻井流体侵入。此外,利用发泡剂的另一优点是可以实验室分析的方法测定组成。泡沫本身的气态流体相很小,即使对岩心表面有所污染,而对岩心脱出气的组分的影响也是极小的。

取心流体是否侵入岩心可借事先加入的氙示踪剂,在岩心抽提水中测定氙含量来证实,以便对最终饱和度测定的准确度予以

评价,并以此估计取心施工时取心流体入侵量与入侵深度。最难以控制的还是气饱和度的影响因素,当取心流体压力大于井下流动压力,泥浆的入侵会造成对岩心流体的驱替作用;如果取心流体压力小于井下流动压力,则会造成气侵。不论上述那种情况都要影响油气比的测定值。

当岩心取到地面,在未进行冷冻之前应测其压力是否与地层压力一致,判断压力取心是否成功。对破碎严重井段的取心效果其代表性差甚至完全失真,这完全可以在实验室利用氙示踪剂分析与泡沫成分分析加以证实。根据目前所掌握的资料,尚未发现示踪剂氙入侵到岩心基质内,但是泡沫可以入侵大的裂缝和粉碎性岩心。对这类岩心里的气体组分就更难以保存了。因而油气比的测定数据就几乎没有什么意义。

压力岩心分析的严密性

压力取心的目的是为了取得能代表地层条件下准确的饱和度数据。为此,压力岩心分析采取了两项校正;通过常规岩心收集的水的含盐量分析,测定岩心中水的含盐量浓度,以此数据将甲苯抽提法测定的水(蒸馏水)校正为相当该含盐量浓度的盐水体积,即真实的水饱和度在岩心孔隙体积内所占的体积。另外,测定岩心的压缩系数,对实测孔隙度进行校正。

岩心经过冷冻处理,其中的水结为冰。冰体积的膨胀效应是否对岩心的物理性质有影响?这是新方法建立后众所关注的。美国岩心公司福兰克·C·凯尔顿曾对49对水平相邻的岩心,在经过冷冻与未经冷冻的条件下,分别测定其孔隙度和渗透率,然后进行对比(详见表1)。

从表1可以看出,冷冻岩心渗透率平均值增加范围为3.8%~12.9%;在四组未经

水平相邻的冷冻与未经冷冻岩心的渗透率和孔隙度比较表

表 1

渗透率范围 md	样品 对数	平均 渗透率 md	平均渗透率 变化百分率		冷冻后 渗透率 变化百分率	平均 孔隙度 %	平均孔隙度 变化百分率		冷冻后 孔隙度 变化百分率
			冷冻的	未冷冻的			冷冻的	未冷冻的	
0~10	15	2.7	6.1	7.0	-0.9	10.0	3.3	2.1	1.2
10~100	5	322	3.8	-0.2	4.0	18.4	0.0	-0.1	0.1
100~1000	14	546	12.9	9.3	3.6	19.1	1.0	-0.8	1.8
1000~3840	5	1636	6.7	6.5	0.2	21.6	-1.9	-2.3	0.4
重量平均值			8.0	6.8	1.2		0.7	-0.3	1.0

注: $md = 9.87 \times 10^{-4} \mu m^2$

冷冻的样品渗透率平均值降低从0.2%至增加9.3%。说明在高渗透率范围内没有特殊的校正系数可供使用。但每组冷冻的与未冷冻的样品平均增加值是一致的。平均孔隙度的变化比渗透率变化要小些,其变化范围从降低2.3%至增高3.3%。由于冷冻的处理,其总重量平均增高1.0%。从岩心试验所用的简单步骤来看,影响渗透率与孔隙度改变有多种因素,例如水化作用、离子吸附作用、表面结构与润湿性的改变、冰生成的膨胀与压缩效应和盐水被驱替导致孔洞的增大和张开等等。它涉及的因素很多,不宜机械地视其变化去找原因。即上述对比数据的变化也不一定是快速冷冻所造成的。研究表明:特殊的样品与使用的技术方法,如萃取、干燥手段不同,所造成渗透率的变化可能较快速冷冻处理大四、五倍。在这里应该说明的是美国岩心公司约翰·D·威辛贝克研究表明,经过冷冻处理的岩样,(据含气饱和度的不同对孔隙度测定有影响(见表2和图1))。

没有气饱和的样品,冷冻后孔隙度平均增加1.74%,气饱和度为39.7%的样品,冷冻后平均降低0.46%。由此可见有一定的气饱和度还有衬垫的缓冲作用。既然冷冻处理对孔隙度没有明显的变化,就可以认为冷冻

胶结砂岩样以全水和部分水饱和和快速冷冻前后孔隙度比较表 表 2

样品个数	平均气饱和度 %	孔隙度 孔隙百分比		
		冷冻前	冷冻后	变化百分率
25	0	17.21	17.51	1.74
13	39.7	15.25	15.18	-0.46

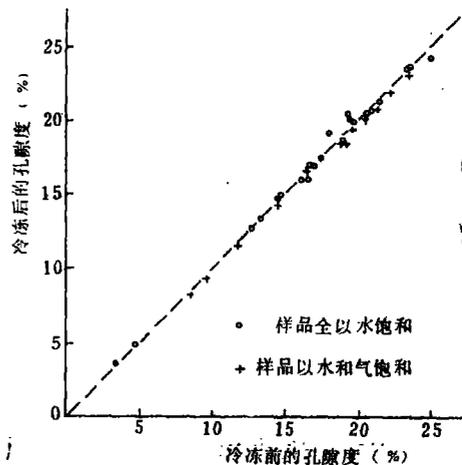


图1 有气饱和度和以全水饱和的岩样冷冻前后孔隙度的变化

处理对流体饱和度的计算不会造成大的偏差。

对压力岩心气体部分的测定,美国岩心公司专门设计了气体收集装置,见图2。截

取一定长度在冷冻状态下的全直径岩心样品精确量出其长度和直径并称其重量，放入气体收集装置内。气体收集装置的两个玻璃室的体积是已知，加入已知体积的样品则可算出气体收集装置的剩余空间体积。系统抽空后令其在室温下慢慢解冻，则油和水流入液体收集管内。但流出水只是水饱和度的一部分，大部分的岩心水饱和度要用甲苯抽提法

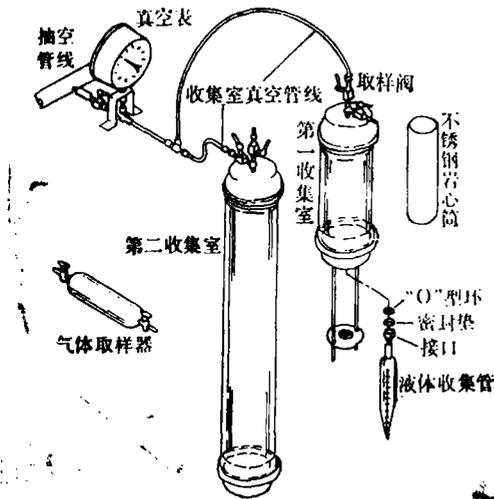


图2 气体收集装置图

求出。气体则释放于空间内，使压力增高，如果释放的气体多，可打开两个收集室的阀门，使气体进入第二收集室。当压力恒定时，准确读出压力和环境温度，则可计算岩心释放出来的气体体积。又因气体收集器与气体取样器相连，故而气体可进入取样器。如果气体收集器压力不大，则可事先充部分氮气使呈正压，以免在气体取样器扭动玻璃考克时，外界空气侵入。收集的气样用气相色谱法测定其组分，以取得气体比重数据。再根据上述测出的释放气体的准确体积，就可计算岩心释放出气体的绝对重量。从而在试验室得到油气比的测定数据。

对气体饱和度测定值 可靠性的讨论

天然气的组分能否经冷冻全部固化于岩

心内？气体收集装置所取样品分析能否代表地层条件下的天然气组分？从美国得克萨斯州米德兰压力取心分析实验室所提供的天然气组分分析报告可知：冷冻的压力岩心可以测定其天然气的全组分。现在应考虑的是气体组分的精确程度如何。冷冻岩心采用干冰为制冷剂，它在常压下的凝固点是 -56.5°C ，液体二氧化碳沸点 -78.5°C ，临界温度 31°C ，则干冰最低维持温度为 -56°C 。现再与被冷冻的几种碳氢化合物常数进行比较（详见表3）。

碳氢化合物有关温度物理常数表 表3

名称	沸点 $t, 0.1\text{MPa}$	凝固点 t	临界温度 t
甲烷	-161.52	-182.47	-82.6
乙烷	-88.58	-182.8	32.27
丙烷	-42.07	-187.68	96.67

从表4可见，以干冰作冷冻剂不可能使甲烷、乙烷液化和固化。然而在实践中可以从压力岩心收集到甲烷、乙烷的组分，这只能解释为冷冻岩心表面的水及重烃固化的封闭作用，使岩心内部的气体组分得以保存。而冷冻岩心表面的甲、乙烷组分，当冷冻岩心破筒时已经散失，则气体组分中甲烷、乙烷含量比实际偏低，而其他组分则比实际偏高，气体比重的计算值自然是比实际偏高。至于压力取心所得到的气饱和度可用性如何，则应当根据情况区别对待，气油比较低的或是气组分中重烃含量较高的井，所取得的数据应当是较准确的；对流体饱和度以气体为主的或是甲烷含量在90%以上的干气井，使用压力取心分析则没有实际意义。

参考文献

- [1] John, D Wisenbacker, Quick freezing seals Fluid content in Cores
- [2] Ronald Lamar sparks, A Technique for Obtaining In-situ Saturations of Under Pressured Reservoir

（本文收到日期 1986年10月16日）

42 Trying to Discuss the Possibility of Directly Measuring Gas Saturation in Core

This paper presents the pressure coring technique by freezing to seal core fluids and pressured core analysis method and states the possibility of directly measuring gas saturation in theory and practice. The complete component of gas in freezing pressure core may be measured. The data, obtained from those wells which possess lower gas-oil ratio or contain more heavy hydrocarbons in gas phase, are relatively correct. It is un-significant to use pressure core analysis method for dry gas wells or the content of CH_4 is more than 90 percent.

Liu Lun

DRILLING / PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

46 Deviating of Big Hole and Its Trace Control

In this paper, the directional drilling technology of two directional wells at Ziyang exploring area, Liaodong Gulf, Bohai Sea, is introduced. The characteristics are as following: deviating of big hole of $\varnothing 345$ was successful; directional deviating in whole well was finished only once; directly reached to the target area without correcting the direction; well bore trace was accurately controlled; a considerable reserve had been proved; the accuracy of hole trace control and technology level were raised as a result by using computer technique in design of well bore profile, calculation of hole trace, analysis of mechanical characteristics of drilling tool and design of hydraulic programme and using SST and SRO tools, the operation safety was guaranteed.

Jiang Wei

52 Cementing with Low Density and Microbead Cement

Through indoor research and field experiments, the authors of this paper propose that it can satisfy the needs of cementing operation in low pressure formations to add a fixed proportion of low density and hollow microbead cement in the oil well cement, and the notice for applying such cement is proposed also.

Xie Boshou, Zheng Minguang

56 Kill Mud Used after Gas Well Blow Out in East Sichuan Region

In view of practice, the property of kill mud, its field compounding method and the notice are introduced in this article for rising the success rate of killing operation and for guaranteeing the downhole operation going on smoothly after killing the well.

Luo Yuanyou

59 Mechanismic Analysis of Recovering Low Pressure Gas with Kangpen Device

Selecting Dongyuan well as an object, which has produced for 90 years with a stable and high production over a long period of time, the authors tell of the drilling and producing history of this well, expound the structure of the ancient gas production device—Kangpen and make a systematic study and analysis of the gas production mechanism by utilizing the modern scientific theory and observation method.

Ding Chuanbo, Zhang Guoyan