

黄福堂 巢华庆 张宏志
程仙梅 赵葆忠 张作祥

编著

压力密闭取心分析技术



石油工业出版社

压力密闭取心分析技术

黄福堂 巢华庆 张宏志 编著
程仙梅 赵葆忠 张作祥

石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据压力密闭取心技术在油田上的应用和大量的室内分析实验研究,系统地概述了压力密闭取心保压工艺技术与室内分析实验技术及脱气校正的实验方法。其主要内容包括,全直径岩心保压取心工艺技术、全直径岩心加工与处理、全直径岩心气体收集、气体组分分析、原油物理性质分析、水的总矿化度分析、全直径岩心油气水饱和度测定、全直径岩心洗油方法、全直径岩心孔隙度测定、全直径岩心渗透率测定和压力密闭取心技术在油田开发研究中的应用。

本书可供从事石油地质实验、油田开发专业技术和研究人员及石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

压力密闭取心分析技术/黄福堂等编著.
北京:石油工业出版社,2001.3

ISBN 7-5021-3311-9

I. 压…

II. 巢…

III. ①油气勘探-取岩心,压力密闭-技术

②油气勘探-岩心-分析

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 12410 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 8 印张 200 千字 印 1—1500

2001 年 3 月北京第 1 版 2001 年 3 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3311-9/TE·2481

定价: 25.00 元

前 言

压力密闭取心分析技术是油田开发过程中研究油田中、高含水期的水淹状况和剩余油饱和度分布的一种重要手段，是一项能够保持或接近地层压力的一项新的取心技术。由于该技术采用低温冷冻密封技术，使岩心中流体及溶解气能保持在原始状态，对准确地确定储层剩余油分布，合理调整二次、三次采油井网布局，尤为重要。80年代中期我国有三个油田从美国引进三套保压取心仪器设备，但由于工艺条件限制，未被广泛应用。大庆勘探开发研究院科技人员在消化引进仪器设备的基础上，建立并完善了现场和室内压力密闭取心分析技术，成功地在大庆长垣和塔里木探区进行了应用试验，其保压冷冻岩心孔隙中的油气水三相回收率达到了95%以上，取心保压成功率达100%，并在新疆塔中4区块和大庆萨尔图油田进行了6口井的保压取心分析技术服务。该技术建立了一套保压岩心现场和室内分析技术和资料处理研究方法，填补了我国压力密闭取心技术的空白，达到了国外先进水平。

本书的结构和章节安排，主要是依据压力密闭取心现场保压工艺技术、室内全直径岩心加工、岩心物性分析、油气水分析、油气水饱和度计算和压力密闭取心技术在油田上应用等方面内容进行编写的。其主要内容涉及密闭取心保压工艺技术、全直径岩心加工与处理、全直径岩心气体收集、气体组分分析、全直径岩心油水饱和度测定、水的总矿化度分析、原油物理性质分析、岩

心洗油、全直径岩心孔隙度测定、全直径岩心渗透率测定和压力密闭取心技术在油田上应用等。

本书由黄福堂统编定稿审核。大庆石油管理局钻井研究所梁宝昌、王允良，大庆勘探开发研究院中心化验室赵晶波、潘昊、张维琴、董娟、邵英梅等单位的科技人员、专家给予了大力的支持和指导，在此表示衷心地感谢！

作 者

1999年10月1日

目 录

第一章 保压取心工艺技术	(1)
第一节 保压取心工具	(1)
一、工具结构	(1)
二、工作原理	(2)
三、工具特点	(3)
四、技术规范与性能	(4)
第二节 工艺过程及技术要求	(4)
一、工艺过程	(4)
二、技术要求	(6)
三、工具组装	(6)
第三节 密闭液的选择及使用方法	(7)
一、油基密闭液	(7)
二、CH 型水基密闭液	(8)
三、DSM 型油基密闭液	(13)
第四节 钻井液示踪剂检测技术	(15)
一、示踪剂选择原则	(15)
二、酚酞示踪剂分析技术	(16)
三、硫氰酸铵示踪剂分析技术	(19)
第二章 岩心加工与处理	(26)
第一节 现场的岩心处理与技术要求	(26)
一、岩心处理	(26)
二、技术要求	(26)
三、岩心记录	(27)
第二节 岩心分析前的准备	(27)
一、保压冷冻岩心的技术要求	(27)

二、出心前的准备·····	(28)
第三节 岩心出筒的技术要求·····	(29)
一、铣剖岩心筒·····	(29)
二、清除密闭液·····	(30)
三、丈量与整理·····	(30)
四、自然伽马测定·····	(31)
第四节 选 样·····	(32)
一、岩心样品·····	(32)
二、示踪剂样品·····	(32)
三、剩余岩心的保存·····	(32)
第三章 保压岩心气体收集·····	(34)
第一节 收集装置·····	(34)
一、装置结构·····	(34)
二、辅助设备·····	(34)
第二节 仪器校正·····	(35)
一、准备工作·····	(35)
二、仪器校正·····	(36)
第三节 保压岩心气体收集方法·····	(39)
一、装 样·····	(39)
二、计 量·····	(41)
三、取气样·····	(42)
四、样品转移·····	(42)
五、管壁液体的收集·····	(43)
六、液体分离和读数·····	(43)
七、油、水装瓶·····	(43)
第四节 脱气体积计算·····	(44)
一、理想气体·····	(44)
二、真实气体·····	(45)
三、关于 Z 系数的确定 ·····	(46)
四、天然气压缩因子的计算·····	(50)

五、天然气“脱水”校正·····	(51)
第四章 天然气化学组成与分析 ·····	(52)
第一节 天然气化学组成·····	(52)
一、天然气中的烃类·····	(52)
二、天然气中的非烃类·····	(52)
第二节 天然气的物理性质·····	(53)
一、分子量·····	(53)
二、密 度·····	(54)
第三节 天然气组分分析·····	(54)
一、仪器与设备·····	(54)
二、分析条件选择·····	(55)
三、分析步骤·····	(59)
四、结果计算·····	(61)
五、质量要求·····	(64)
六、常见误差和预防措施·····	(65)
七、补充方法·····	(67)
第五章 原油的化学组成与性质分析 ·····	(70)
第一节 原油的化学组成·····	(70)
第二节 原油的物理性质·····	(72)
一、颜 色·····	(72)
二、密 度·····	(73)
三、粘 度·····	(73)
四、凝固点·····	(73)
五、闪 点·····	(73)
六、荧 光·····	(74)
七、旋光性·····	(74)
八、导电率·····	(74)
九、分子量·····	(75)
第三节 原油密度测定·····	(75)
一、密度计法·····	(75)

二、韦氏天平法·····	(78)
三、比重瓶法·····	(81)
四、电磁振荡法·····	(83)
第六章 保压岩心脱出水总矿化度的测定·····	(86)
第一节 水的化学组成和物理性质·····	(86)
一、地下水的化学组成·····	(86)
二、水的物理性质·····	(87)
第二节 脱出水的总矿化度测定·····	(88)
一、方法原理·····	(88)
二、测试方法·····	(88)
第七章 保压岩心油水饱和度测定·····	(117)
第一节 蒸馏法·····	(117)
一、原 理·····	(117)
二、仪器设备·····	(117)
三、仪器的校正与准备·····	(117)
四、溶剂的除水·····	(118)
五、装 样·····	(118)
六、蒸 馏·····	(119)
七、干燥与称重·····	(119)
第二节 保压岩心油气水饱和度计算·····	(120)
一、溶于油状态脱出气的计算·····	(120)
二、凝析气态脱出气的计算·····	(122)
三、游离态脱出气的计算·····	(123)
第八章 岩心洗油与干燥·····	(126)
第一节 洗油溶剂的选择与质量鉴定·····	(126)
一、溶剂的选择·····	(126)
二、溶剂的处理·····	(127)
三、质量检查·····	(127)
第二节 岩心洗油方法·····	(128)
一、岩心增压洗油·····	(129)

二、二氧化碳溶剂驱替洗油·····	(131)
第三节 样品的干燥·····	(136)
一、恒温干燥法·····	(137)
二、恒温恒湿干燥法·····	(137)
三、注意事项·····	(137)
第九章 岩心孔隙度的测定·····	(138)
第一节 岩心总体积的测定·····	(138)
一、封蜡排液法·····	(138)
二、游标卡尺法·····	(140)
三、液体饱和法·····	(141)
四、加和法·····	(143)
第二节 岩心孔隙体积与颗粒体积测定·····	(143)
一、氦气法的测定原理与适用范围·····	(143)
二、氦孔隙仪结构·····	(144)
三、方法概述·····	(145)
四、计算方法·····	(145)
五、仪器的调零与检漏·····	(146)
六、仪器校正·····	(147)
七、岩样颗粒体积的测定·····	(148)
八、岩样孔隙体积的测定·····	(149)
九、质量要求·····	(150)
第十章 岩心气体渗透率的测定·····	(151)
第一节 渗透率的概念·····	(151)
一、达西定律·····	(151)
二、达西定律的应用条件·····	(151)
第二节 仪器结构与功能·····	(152)
一、仪器结构·····	(152)
二、功能作用·····	(153)
第三节 岩心渗透率的测定方法·····	(154)
一、仪器校正·····	(154)

二、渗透率的测定·····	(155)
三、水平渗透率的测定·····	(158)
四、垂直渗透率的测定·····	(159)
第四节 岩心渗透率的计算·····	(160)
一、渗透率计算公式与达西公式的关系·····	(160)
二、垂直渗透率的计算·····	(161)
三、水平渗透率的计算·····	(162)
四、高低压渗透率仪计算公式中的 C 值 ·····	(163)
第五节 仪器检校与维护·····	(165)
一、哈斯勒岩心夹持器试漏·····	(165)
二、仪器管线的试漏·····	(166)
三、仪器节流器的校正·····	(167)
第十一章 压力密闭取心技术的应用·····	(168)
第一节 压力密闭取心技术在大庆油田开发研究中的 应用·····	(168)
一、概 况·····	(168)
二、油气水计量·····	(169)
三、资料处理技术与解释·····	(178)
四、脱气校正图版的制作·····	(185)
五、图版的精度与检验·····	(193)
第二节 压力密闭取心技术在塔里木探区的应用·····	(194)
一、储层岩性、物性及特征评价·····	(194)
二、油藏类型特征·····	(202)
三、保压密闭取心分析评价·····	(204)
参考文献·····	(217)
附 表·····	(218)

第一章 保压取心工艺技术

保压密闭取心是能够保持或接近地层压力的一项新的技术，由于采用了低温冷冻密封方法，使岩心中流体和溶解气能保持在原始状态。这种分析技术对于正确认识地质情况、计算油田可采储量、残余油分布、合理地制定开发方案、提高采收率有着十分重要的意义。

保压密闭取心与常规取心不同。它能取出保持储层原始压力下的含油、含水饱和度的岩心。常规取心主要受两种不利因素影响：一是钻井液浸入并冲刷岩心，因而驱走了岩心中所含油气水组分。二是当岩心出筒后，因环境压力降低和温度下降影响，使岩心中的气体和原油中的轻质组分剧烈膨胀而散逸。而保压密闭取心能保持岩心中的压力状态，对于定量分析油水饱和度资料更加精确。

美国最先在 1939 年提出了保压取心技术。经过 40 年的研究改进，于 1982 年投入生产使用。我国大庆油田于 1985 年引进了压力密闭取心分析仪器设备。经过在大庆油田长垣上三口保压密闭取心井取心分析，建立完善了一套室内分析技术和分析资料处理方法。这项配套技术主要包括压力测试、岩心冷冻、切割、包装运输、岩心化验分析等。

第一节 保压取心工具

一、工具结构

该工具由七大部分组成。

(1) 钻头、岩心筒、球阀关闭机构、气室联通总成及测压接

头、气体压力调节机构、悬挂总成和差动机等采用六翼三阶梯式取心钻头。其切削面为锥形，水眼的方向朝向井壁一侧，以避开钻井液直接冲刷岩心座表面。另外，为减少钻井液在水眼上的压降，适当增加了水眼的总面积，采用 $18 \times$ 直径 10mm 水眼。

卡心机构：采用卡环与卡箍组合方式。可满足软—硬地层取心。

密闭头：从密闭头孔道注入密闭液。钻进时引导岩心入筒，并迫使密闭液从内筒不断非出，使岩心柱表面形成保护液涂层，防止外界钻井液污染。

(2) 内外岩心筒部分。外筒采用 API 直径 190mm N-80，壁厚 12.7mm 套管。内筒采用 API 直径 88.9mm N-80，壁厚 6.45mm 油管。

(3) 球阀关闭机构。由球体、上下阀座、预紧弹簧、阀外壳、滑环、密封盘根、轴销等件组成。靠外筒重力迫使球阀旋转 90° 而关闭，使岩心密闭于筒中，以保持岩心所在地层压力。

(4) 气室联通总成及测压接头。由气室联通接头、滑套、密封圈、钢球、针阀及测压接头组成。工具起钻后联通接头打开，高压气体由高压气室通过联通接头向内筒补充。测压接头可以接压力表测试内筒保存的压力值，或放空内筒压力。

(5) 气体压力调节机构。由高压气室、调节阀总成、密封圈、单流阀、丝堵组成。高压气室储存高压氮气。调节阀总成，可以恒定地控制高压气室气体，向内筒自动补偿。

(6) 悬挂总成。由悬挂轴承、轴承托、轴承套组成。内筒在悬挂弹子盘作用下，与外筒相对运动。钻进取心时内筒不转。

(7) 差动机构。由大接头、六方杆、六方套、Y 型盘根、定位销、压帽和“O”型圈组成。其用途是：传递钻具扭矩，钻进取心时内筒不转，释放外筒，关闭球阀。

二、工作原理

保压密闭取心筒是一种双筒式取心筒。外筒与取心钻头联

接,传递钻压和扭矩。内筒是非旋转的 API 薄壁管,悬挂在钻井液润滑的轴承上。它不但是容纳岩心的容器,同时也是作为岩心切割后的壳体,其长度适于运输。工具上部差动装置具有伸缩性,并带有锁闭和释放机构。内外六方传递扭矩。工具下部是球阀总成,这是工具下部密封系统。当钻完进尺后,上提钻具割断岩心。然后投入 $\phi 50\text{mm}$ 钢球一个,使其座放在滑套球座上。待钻井液返出泵压正常后,说明滑套到位。此时在外筒重力作用下,内外六方脱开,外筒下移,其重力作用在球阀半滑环上,半滑环使球体产生一定扭矩并旋转 90° 而关闭球阀,使岩心密闭在内筒中。压力补偿系统由高压氮气储气室和一个可调节的压力调节器,以及相关的供给氮气的阀门组机构组成。阀门机构可预先调节到规定压力,在起钻及以后的作业中,通过压力调节器向内筒补充压力,直到达到平衡于地层压力为止。工具下井前,内筒预先填充一种非侵蚀性胶体密闭液,钻进中不断地把岩心包封起来,保护岩心不受钻井液污染。割心时上提钻具,岩心抓卡断岩心,并把岩心扶正到球阀内。

三、工具特点

除钻头、密封活塞、卡心机构具有密闭取心工具及钻头一般特点外,还具有:

- (1) 割心后,密封内筒保持地层压力的球阀关闭机构;
- (2) 能够保持内筒压力恒定的压力自动补偿系统;
- (3) 具有充压、测压与汇压的阀门组机构;
- (4) 能够释放外筒,关闭球阀,打开气室调节阀并能自锁的差动机构;
- (5) 保证取心钻进时内筒不旋转的轴承悬挂总成;
- (6) 包括对岩心进行清洗、冷冻、切割、分析化验等功能在内的一整套专用地面处理系统;
- (7) 国产工具密封内筒,压力能直接向内筒补偿,工具从井口起出后,可直接抽出内筒进行岩心冷冻与切割,省去了地面冲

洗的麻烦;

(8) 美国工具密封外筒, 从井口起出后, 需要在服务车间内用专用仪器设备和冲洗液进行高压冲洗。冲洗后才能进行冷冻与切割。

四、技术规范与性能

(一) 技术规范

工具总长 8m, 总重 1000kg, 钻头外径 $\phi 215\text{mm}$, 钻头内出刃 $\phi 70\text{mm}$, 可取岩心长 4.6m, 可取岩心直径 $\phi 66 \sim \phi 70\text{mm}$, 单次密闭液用量 40L/筒, 滑套剪销 $2 \times \phi 6\text{mm}$ 、A3 钢、剪切力 22kN; 密闭头剪销 $3 \times \phi 6\text{mm}$ 、40Cr 钢、剪切力为 38kN; 球阀预紧力 2.3kN; 关闭球阀重力 0.46kN; 球阀通孔 $\phi 92\text{mm}$; 拉断岩心力 34~38kN; 气室充气压力 40MPa。

(二) 技术性能

该工具适用于软至硬地层, 800m~4000m 井段。安全抗扭 15kN·m, 最大抗拉 253kN。

第二节 工艺过程及技术要求

一、工艺过程

(1) 下井前工作准备: 为成功地进行压力取心, 取心前应配齐设备及所需材料。如运输车、压力取心专用工具、冷冻箱、切割机、密闭液和足够量的冷冻材料等。

(2) 组装、试压: 先组装内筒和球阀, 用清水试压 25MPa, 经 30 分钟压力下降不超过 0.3MPa 为合格。高压气室充入氮气 40MPa, 调节气室充入 25MPa, 检查未漏失后方可将内筒与外筒部分按要求进行整体组装。

(3) 工具下井前用齿轮油泵将密闭液从密闭头处注入内筒, 注满为止, 其容量 40L, 经检查不漏方可下井。

(4) 吊升岩心筒时, 用双猫头吊升到大门坡道处, 把吊卡扣在提升接头上。吊升岩心筒时钻头一端用绷绳拉起防止碰击钻台。然后用大钳上紧外筒各处联接螺纹再下井。

(5) 下钻操作要平衡, 防止猛顿猛刹。下放速度一般控制在 0.5m/s 内。

(6) 下钻至离井底 3m 左右, 开始循环钻井液。待井底冲洗干净, 钻井液性能达到要求, 工具慢慢接触井底, 并轻压慢转。当密闭头销钉剪断后, 密闭头引导岩心入筒, 再逐渐加压正常钻进。钻进时送钻要均匀, 进尺快时要? 上钻压, 防止溜钻、空钻。

(7) 起钻时上提钻具要慢而平衡, 岩心在岩心抓作用下锁紧拔断。钻柱座放吊卡后, 卸掉方钻杆, 把直径 50mm 钢球投入钻柱, 重新接上方钻杆, 循环钻井液, 将钢球泵送到滑套球座上, 当压力达到一定时, 滑套销钉剪断, 悬挂球脱开, 内外岩心筒开始滑动, 在外筒重力作用下, 球阀关闭。然后用 0.5m/s 的速度起钻, 要求用旋绳卸扣。

(8) 井口测压: 工具起到井口后, 卸掉六方套接头和悬挂接头, 将压力表接到测压阀上, 卸松锥形阀即可读出压力数值, 然后将内筒全部抽出送往冷冻容器进行冷冻。

(9) 冷冻: 内筒放入特制冷冻容器后, 周围要摆好足够量的干冰, 冷冻 $10\sim 12\text{h}$, 使岩心中的油气水处于凝固状态。冷冻时向内筒补充原有压力, 冷冻结束后再放掉残余压力。

(10) 切割: 为了方便运输和分析, 岩心冷冻后需要切割成一定的长度。将岩心筒放入支架切割, 切割时要求速度快, 切割后岩心两端用橡胶帽封好。用标签粘好送到冷冻箱中继续冷冻并运往化验室进行处理。

(11) 岩心化验时, 先用铣床铣开内筒, 清除密闭液, 再用切割机切成一定长度, 然后进行油气水的饱和度分析测定。

二、技术要求

(1) 钻具配合：直径 215mm 取心钻头 + 直径 193mm 压力取心筒 + 直径 178mm 钻铤 × 2 柱 + 直径 159mm 钻铤 × 3 柱 + 直径 127mm 钻杆 + 方钻杆。

(2) 取心钻进参数，见表 1-1。

表 1-1 取心钻进参数综合数据表

岩性	钻压, kN	转数, r/min	排量, L/s
油砂	60~80	60~80	15~20
泥砂	80~90	70~80	15~25
钙质砂岩	90~100	70~80	15~25

(3) 取心时，要求井底干净，无落物，无狗腿。

(4) 钻井液性能要符合设计，尽量减小压差，减少钻井液浸入岩心，并力求达到平衡地层压力。粘度：35~45s。固相含量低，含砂小于 0.5%，失水小于 3ml。

三、工具组装

(1) 将内筒接头与内筒联接，把组装好的球阀总成从内筒下部穿过，联接缩径套，然后用清水试压 25MPa 不漏为合格。

(2) 组装压力调节室。上部联接高压气室总成，下部与联通接头总成联接，用氮气将调节室充压到该井的井底液柱压力，高压气室充压到 2~2.5 倍井底液柱压力。检查密封情况，如无漏失现象，将气室总成与内筒上接头联接。

(3) 将组装好的内筒总成，从外筒总成下部穿入，气室从外筒上接头露出，再联接钢体以上各部件。

(4) 将组装好的内外六方接头装上悬挂球、滑套、定位销、大接头，然后与外筒上接头联接。