

文章编号: 2097-0021 (2021) 02-0045-05

基于油气岩心数字化的能源绿色勘探新思路

孙华峰^{*1}, 史维鑫¹, 高鹏鑫¹, 陈潇², 张弘¹, 高卿楠¹

(1.中国地质调查局自然资源实物地质资料中心; 2.中国石油天然气股份有限公司规划总院)

孙华峰等. 基于油气岩心数字化的能源绿色勘探新思路. 油气与新能源, 2021, 33 (2): 45~49

摘要: 基于岩心分析在油气勘探中的作用, 强调了油气岩心收集、保存和分析的必要性, 阐述了传统岩心分析方法及其优缺点, 探讨并总结了近几年兴起的数字岩心技术方法和应用, 并基于此提出了能源绿色勘探的新思路, 为国家的油气资源总体规划、部署、管理和改革方向提供指导, 为科学研究提供基础的数据支撑。

关键词: 油气岩心; 实验分析; 图像处理; 数字化; 信息技术

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.2097-0021.2021.02.008

A New Idea for Hydrocarbon Green Exploration Based on Digitalization of Oil and Gas Cores

SUN Huafeng¹, SHI Weixin¹, GAO Pengxin¹, CHEN Xiao², ZHANG Hong¹, GAO Qingnan¹

(1.Cores and Samples Center of Natural Resources, China Geological Survey;

2.PetroChina Planning and Engineering Institute)

Abstract: Based on the role of core analysis in oil and gas exploration, the necessity of oil and gas core collection, storage and analysis are emphasized, the traditional core analysis methods and their advantages and disadvantages are analyzed, and the digital core technology and applications that have emerged in recent years are discussed and summarized. Based on these, a new idea is proposed for green energy exploration, the guidance is provided for national overall planning, deployment, management and reform of oil and gas resources, and the fundamental data support is also provided for scientific research.

Keywords: Oil and gas cores; Experimental analysis; Image processing; Digitalization; Information Technology

0 引言

能源是国民经济和社会发展的基础。油气资源作为人类社会最重要的能源, 对于世界各国的政治、经济、军事等具有重要的战略影响。面对油气资源供需格局新变化、国际能源发展新趋势, 习近平总书记从保障国家能源安全的全局高度, 提出“四个革命、一个合作”能源安全新战略^[1]。新战略给出了重要指示: 要保障能源安全和大力推广能源技术革命和发展绿色低碳能源。基于此, 中国地质调查局全力加大常规油气资源评价, 在油气资源潜力巨大但现有勘探程度仍较低的某盆地, 优选并

完钻了几口关键井, 取得了该盆地几十年以来的重大勘探突破。同时, 为大力发展页岩气等低碳能源开发, 着力构建长江经济带页岩气勘查开发新格局, 在长江经济带某地区部署了多口重要参数井, 在国内页岩气勘探中取得了重大突破。

为了掌握地下地质的情况, 在钻井过程中需要用取心工具将岩心取到地表, 通过观测、实验、分析等手段获得地下岩石的一些参数, 目的是发现油气层、了解含油气情况和储集特征, 从而确定油气层的岩性、物性、厚度等基础数据, 利用这些数据建立地层剖面并分析油气的生成、储集和运移等特征, 这对于油气的勘探和开采阶段都是重要的一手

* 孙华峰, 男, 高级工程师。2017年毕业于中国石油大学(北京)地质资源与地质工程专业, 获博士学位。现在中国地质调查局自然资源实物地质资料中心, 从事岩心数字化技术、数字岩心分析等研究工作。地址: 北京市海淀区东升双泉堡125号, 100192。E-mail: sunhf@mail.cgs.gov.cn

资料^[2]。油气钻井岩心获取后,保存时通常直接暴露于空气中,极易遭受破碎与风化,部分岩心甚至直接就地掩埋,失去了研究价值,如何有效保存油气钻井岩心成为亟待解决的关键问题。同时,传统岩心测试也面临分析周期长、实验条件受限、岩心易受损等局限性。因此,寻求一种用于岩心的长久保存、重复利用、缩短测试时间、无损的方法尤为重要。

20世纪末,美国前副总统戈尔在开放地理信息协会年会上首次提出“数字地球”的概念,展望了其未来前景,随后又出现了“数字中国”“数字城市”“数字油田”^[3]等概念。直到“数字岩心”的提出,才解决了传统岩心分析测试遇到的瓶颈。数字岩心就是通过一系列方法和手段,将真实的岩心数字化,得到岩心表面及内部结构的二维、三维的图像信息,结合图像处理和数值模拟,对岩心进行物理和化学等各方面研究,推算岩心及地层的各种性质^[4]。通过岩心数字化,不但可以永久保存岩心表面及内部的各种细节,而且可以通过图像分析和数值模拟计算得到岩心的多尺度参数,因此可以对岩心进行经济的、重复的研究和利用,从而实现油气岩心永久、有效的保存,促进能源绿色勘探和发展。

1 岩心收集、保存和数字化的必要性

《中华人民共和国矿产资源法》中明确规定,地质工作的岩心、测试样品和其他实物标本资料,应当按照有关规定保护和保存,随后发布的条例和实施办法也规定将岩心等实物地质资料纳入国家地质资料统一管理范畴,明确了国家对成果地质资料、原始地质资料和实物地质资料实物统一汇交管理^[5]。中国地质调查局布置的油气资源调查工作中,前期基础调查工作获取的岩心多来自调查井和参数井,属于勘探井岩心,往往位于研究程度不高的区域,这样的岩心具有典型性、代表性,且在后续进一步研究过程中具有重大的利用价值。对其采集、接收并安全妥善保管,是贯彻国务院令第349号《地质资料管理条例》、国土资规〔2016〕11号《实物地质资料管理办法》等的重要体现。

依据上述有关规定,为加强岩心汇交管理,提高岩心数字化与信息共享工作水平,创新保管与服务机制,构建全国统筹、有效汇集、高度共享的岩心大数据共享服务格局,自然资源部办公厅在2020年5月21日下发了自然资办函〔2020〕907号《关于做

好岩心数字化与信息共享工作的通知》,并规定在油气、海洋和深地等重点领域,各级组织所属相关单位在汇交实物资料前率先完成岩心的图像、矿物成分、元素浓度及物性参数等的数字化,推动岩心数据更好地共享利用^[6]。图1所示为岩心数字化保存的意义。

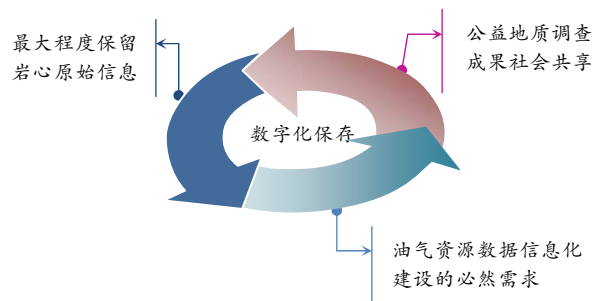


图1 岩心数字化保存的意义

2 传统岩心分析方法

传统的岩心分析包括利用显微技术、分光技术及其他测试方法对岩心进行宏观和微观的描述及分析,从而得到岩石的物理性质、孔隙特征、矿物类型、粒度分布信息等。

2.1 岩石物理性质测量

岩石物理性质包括:孔隙度、渗透率、比表面、相对渗透率和润湿性等^[7]。孔渗测量可以利用孔隙度仪及渗透率仪按照一定的岩心制样和测试流程进行测量。比表面可以通过压汞或等温吸附方法进行测量。相对渗透率可以通过稳态法和非稳态法进行测量。润湿性的测定可以通过接触角测量、离心机法毛管压力曲线获得。

2.2 岩石结构与矿物分析

岩石结构和矿物分析主要研究岩石的孔隙结构、骨架颗粒、填隙物等。岩石的孔隙结构主要通过铸体薄片、电镜扫描、X射线、核磁共振、压汞等方法研究孔隙和喉道的类型、大小、形态、连通性和分布等。砂岩的骨架颗粒主要由石英、长石、云母等矿物组成,可以通过筛析法、薄片粒度图像分析等手段研究其接触关系、成分、含量、成岩和产状等。填隙物主要由黏土矿物和非黏土矿物等组成,可以通过铸体薄片、电镜扫描图片、电子探针及能谱、XRD(X-Ray Diffraction, X射线衍射)分析等手段,来研究其类型、成分、含量和产状等。

2.3 常规岩心分析的优缺点

岩心的常规分析通过实验手段可以获得岩石的

物理性质、孔隙特征、矿物类型和成分、粒径信息等，可为储层评价和油藏描述提供基本的参数。但仅通过实验方法获取这些参数存在一些缺陷，如，有的实验达不到储层条件，导致测量结果不准确；有的实验测试时间很长（如相渗实验），可达几个月甚至几年；有的实验只能测量一次，样品便被破坏，不能再用。另外，实验室的测量仅停留在宏观层次上，很多微观层次上的机理无法考虑。要想更深入地研究油气储集和运移机理，就必须从微观角度出发，研究储层岩石内部的本质问题，才能从根本上认识宏观和微观的联系，找到提高油气采收率的方法和技术手段，为油藏描述和现场生产提供指导。

3 岩心数字化技术

由于常规岩心分析存在一些缺点，一定程度上制约了油气勘探领域的发展脚步。基于此，岩心图像和数值模拟算法的数字岩心技术成为了当今岩石物理学研究的重要手段。数字岩心通过一些实验技术和仪器将真实的岩心样品数字化，在计算机上以二维或三维图像的形式将岩心表面及内部的图像、结构等还原，然后利用图像分析技术和数值模拟计算得到储层岩石的各种性质，如孔隙度、渗透率、地层因素、电磁性质等。相较于传统的实验室测量，数字岩心技术达到了孔隙尺度的观察和测量，提高了测量精度，揭示了微纳米尺度的物理机制，大大缩短了测试时间从而降低了测量成本。同时，结合实验室数据可分析和研究更多的储层岩石物理性质，从而能更有效地为油藏描述和油气田开发提供指导。

3.1 岩心表面图像采集

利用照相机和岩心图像采集与管理系统，可以在野外钻井现场或岩心库中将放置在岩心盒中的岩心样品进行表面图像的采集，同时记录项目和岩心相关信息，并可以补充录入或导入（模板）岩心的描述信息。完成采集后，在图像采集和管理系统里可以查询岩心的各种信息，并下载相应图像。

3.2 光谱矿物和 X 荧光元素扫描

光谱矿物和 X 荧光元素扫描通过台式或者手持式扫描仪器，并在仪器配套的软件上设置相应的扫描参数，如文件名称、岩心箱号、岩心箱参数、岩心长度、起始深度、结束深度、扫描间隔、保存路径等，对盛放在岩心盒里的岩心依次进行扫描。在

获得光谱反射率数据和 X 荧光元素数据后，再利用各种方法进行解译，得到岩心矿物及化学元素等信息，并用于推断地层的沉积、构造和演化等特征。

3.3 岩心多尺度 CT 扫描

岩心多尺度 CT 扫描通过利用 X 射线成像原理对岩心进行 X 射线扫描，获得样品的三维图像和内部结构信息。它包括全直径 CT、微米 CT 和纳米 CT 等不同尺度的扫描手段，不但可以分析全直径岩心宏观上的裂缝、溶洞和充填矿物的特征等，还可以分析岩心柱塞样品的微纳米孔隙结构等特征。

3.4 大面积二维背散射扫描电镜成像

大面积二维背散射扫描电镜成像技术可以对多张扫描电镜图像数据进行导航、平铺、拼接、关联和分析。将多张扫描电镜图片拼接，可让研究人员在把握整体特征的同时，对感兴趣的细节部分进一步放大，从而进行精细研究。

3.5 矿物成分定量分析

矿物成分定量分析（QEMSCAN）通过分析岩石样品对 X 射线的响应获得扫描区域的成分特征，并提供各矿物和黏土含量的数值。QEMSCAN 通过对制备的岩心薄片逐点扫描，直接揭示岩心上的矿物成分，并统计出总体的含量百分比^[8]。

3.6 聚焦离子束扫描电镜成像和分析

聚焦离子束扫描电镜（FIB-SEM）使用离子束对样品进行连续切割^[9]，同时在电子束下成像。它不仅具有更高的分辨率（最高可达纳米级别），还避免了制样过程中产生的人造孔隙，能够真实地还原致密岩心中孔隙结构特征，是目前研究页岩等纳米级孔隙致密储层的较好手段。FIB-SEM 是 SEM（扫描电镜）与 FIB（聚焦离子束）的结合，打破传统的二维扫描电镜成像与单一的聚焦离子束刻蚀，利用扫描电镜成像与聚焦离子束切割，将二者结合用于样品内部结构三维立体成像^[10]。

3.7 图像分析及岩心多参数提取

针对岩心数字化手段获得的岩心二维及三维图像，利用图像处理和数值模拟算法可以获得岩心内部的孔隙网络结构，将数字岩心图像的孔隙、矿物颗粒分布用最直观的方式呈现，并可以进行孔/喉半径分布、孔/喉形状因子、配位数、孔隙网络连通特性等特征参数的分析。结合宏观、介观、微观的数值模拟方法，还可以获得岩心的多尺度岩石物理参

数,比如电学性质、流体输运性质、力学性质、热学性质、放射性性质及核磁共振参数等。

4 能源绿色勘探新思路

为求全面、客观、系统地挖掘岩心中蕴含的各类地质信息,为后续地质科学研究提供数据支撑,必须充分考虑岩性、参数选择、仪器精度、速度等方面,合理布置流程和规划工作量。摸清已有钻孔数字化现状,合理优选岩心数字化扫描方法和参数,进而制订切实可行的不同类别油气钻井岩心数字化扫描方案。针对重点调查井和参数井,可选择光谱矿物和X荧光元素扫描等技术,以获取全井岩心的白光/荧光图像及所有矿物成分和化学元素信息;针对目的层可开展全直径CT扫描,以识别大溶孔、裂缝和薄互层;针对目的层段中感兴趣的位置可选

取柱塞样进行微纳米CT扫描及电镜扫描,以获取微观尺度的内部孔隙、矿物分布特征等;若目的层为致密储层,可再选择优选区进行大面积二维背散射扫描电镜成像、聚焦离子束扫描电镜等高精度扫描,以获取超高分辨率的二维及三维图像。因此,通过岩心数字化手段,可形成从宏观到微观(千米级到微纳米级)的不同尺度的数字化数据(见图2)。

图3所示为岩心数字化的全流程。通过岩心数字化手段可以获取从实物岩心表面到内部的图像信息、从物理到化学的参数信息、从宏观到微观的结构信息,进而形成数字化岩心信息综合分析与应用平台,将多种参数形成的相对离散的数据进行整合、分析。基于云服务器发布服务,为油气资源调查、地质科学研究等工作提供及时、高效、权威的数据支撑。

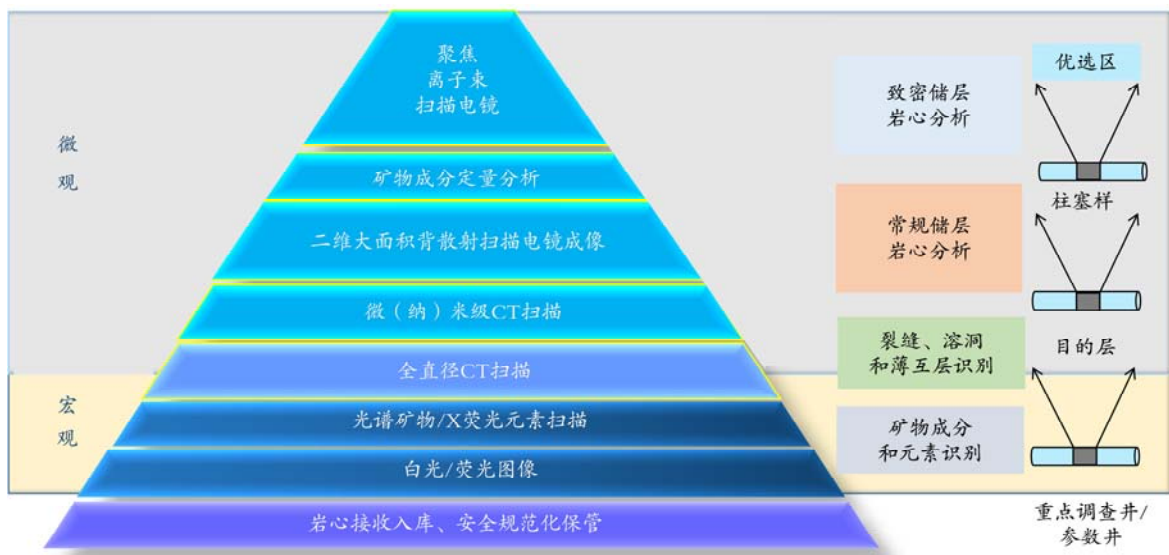


图2 不同尺度的岩心数字化工作内容

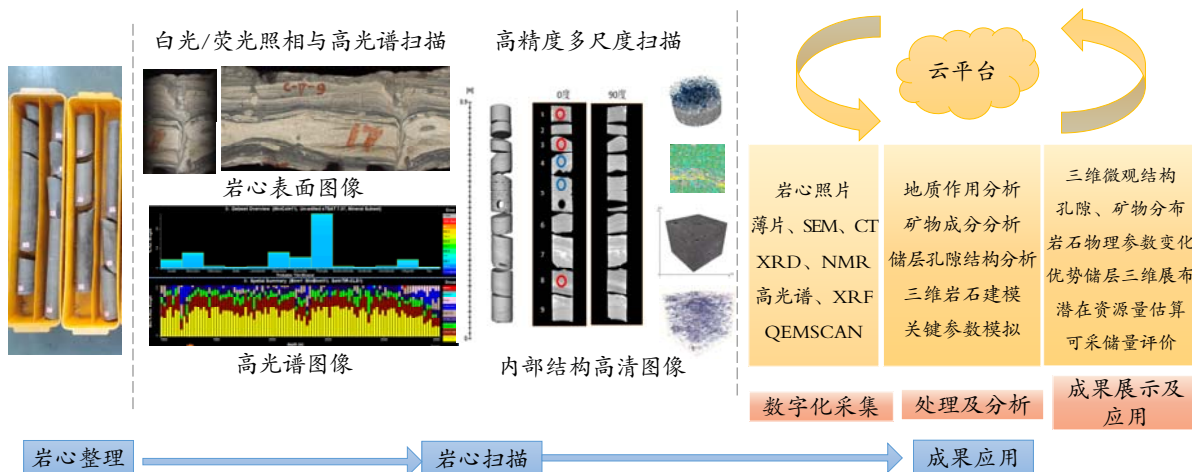


图3 岩心数字化的全流程

通过油气岩心的数字化,可以形成3个层次的思路:

(1)资料层次。通过油气岩心采集保管及前置管理,实现所有油气调查岩心的及时采集与保管防护,从而实现所有油气调查实体岩心的有效保存,为未来地质调查、科研、科普等工作保留珍贵的第一手研究素材。

(2)数据层次。通过岩心数字化工作,实现所有新产生和历史积存的重要岩心的数字化工作,实现重要油气岩心的数字化保存,获取一大批宏观、微观相结合,物理、化学相结合,表面、内部相结合,定量、半定量相结合的多参数数据,防止岩心因风化、氧化、取样等原因造成的信息损失。实现实体岩心与数字岩心的双重保管与服务。

(3)产品层次。通过岩心数字化手段,可以制定油气岩心全流程管理制度及相关的技术方法,完善地质调查技术方法体系;可以支撑油气岩心数据平台建设和支撑油气地质资料服务产品的研发。

岩心数字化和数字岩心分析技术实现了从实体岩心的服务利用向数字岩心的服务利用的升级,不但提高了服务的效果,而且为能源的勘探提供了绿色新思路。

5 结论

通过油气岩心数字化的开展,使得珍贵的油气岩心得以实体及数字化保存,并能进行服务利用。同时,形成的数字化岩心信息综合分析与应用平台及岩心数字化资料,可实现数字化资料的保存,能够有效避免重复测试等工作量的投入,节省了开支。并且,研究的成果能够为国家油气资源规划、部署、

管理和改革提供指导,为科学研究提供基础数据支撑,其经济和社会效益显著。

参考文献:

- [1] 童亚辉. 署名文章: 习近平能源安全新战略的浙江探索[EB/OL]. (2019-07-02) [2021-04-11]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-07/02/c_1124699821.htm.
- [2] 许俊良, 宋淑玲, 成伟. 国外钻井取心新技术(一)[J]. 石油机械, 2000, 28(9): 53-56.
- [3] 张丹丹, 曹万岩. 油田数字化建设进展及发展趋势[J]. 石油规划设计, 2020, 31(5): 12-15.
- [4] 孙华峰. 复杂储层描述的数字岩心物理方法及应用研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2017.
- [5] 国务院. 地质资料管理条例[EB/OL]. (2017-03-01) [2021-04-11]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5219175.htm.
- [6] 自然资源部办公厅. 自然资源部办公厅关于做好岩心数字化与信息共享工作的通知[EB/OL]. (2020-05-21) [2020-04-11]. http://gi.mnr.gov.cn/202005/t20200522_2520618.html.
- [7] 万明浩. 岩石物理性质及其在石油勘探中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [8] 朱如凯, 金旭, 王晓琦, 等. 复杂储层多尺度数字岩心评价[J]. 地球科学, 2018, 43(5): 1773-1782.
- [9] 马勇, 钟宁宁, 黄小艳, 等. 聚集离子束扫描电镜(FIB-SEM)在页岩纳米级孔隙结构研究中的应用[J]. 电子显微学报, 2014, 33(3): 251-256.
- [10] 赵建鹏. 复杂储层数字岩心建立方法及声电特性模拟研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2015.

修改回稿日期: 2021-04-13

编辑: 倪杰清

原油期货正式挂牌上市

6月21日9时,原油期货在上海期货交易所子公司上海国际能源交易中心正式挂牌交易。上市首日成交4475手,成交金额 5068.57×10^4 元。

原油期货是我国首批以人民币计价并向境外投资者全面开放的期权品种。原油期货交易投资者适当性原则规定,参与原油期货交易的单位客户保证金账户可用资金余额不低于人民币 100×10^4 元或等值外币,参与原油期货交易的个人客户保证金账户可用资金余额不低于人民币 50×10^4 元或等值外币。原油期货交易的最小变动价位为0.05元/桶。

目前,我国原油行业逐步向高质量发展转型,涉油企业在风险管理方面认识不断深入,对原油价格的风险管理需求趋向更加专业化、精细化。原油期货的上市,是对原油期货市场的有效补充,有利于提高期货市场价格发现效率,进一步丰富涉油企业的避险工具,提升原油产业链企业在风险管理上的效率和精度。(楚海虹)

摘编自中国石油新闻中心网站

下载地址: <http://news.cnpc.com.cn/system/2021/06/22/030036208.shtml>