

责任编辑:秦紫函  
电 话:59964339  
邮 箱:  
审 校:张春燕  
版式设计:赵博



周“油”列国  
油 事 精 彩



西南油气岩芯、岩屑自动化工库。曹凯 摄

# 做好岩芯研究 破解“深地密码”

能源强国调研纵深行

□本报记者 王福全  
通讯员 朱维 刘景涛

岩芯是通过特殊钻井工艺从地层中钻取的岩石样品，被称为“向地球深部进军的探针”。

在西北油田的岩芯库里，收藏着4200余口井的岩芯样本。近年来，随着被誉为“深地一号”的顺北油气田勘探开发工作持续展开，很多超深井的岩芯资料也在这里安家。今年3月，顺北84斜井获得油气突破，垂直深度8937.77米，是目前亚洲陆上最深的“千吨井”，它的岩芯是岩芯库里的新成员。

这块生成于4.7亿年前、藏身地下9000米深处的岩芯样本，帮助研究人员解密岩芯里的“深地密码”。

## 每一块岩芯都有属于自己的编号，就像身份证号码，具有唯一性

西北油田的岩芯库于1999年建成投用，面积1.1万平方米，存放着来自新疆、青海、甘肃、宁夏等省区，以及塔里木、准噶尔、吐哈等7个盆地的岩芯样本。

“这里有17万盒样本，累计长度34万米。”西北油田负责岩芯库管理工作的高级工程师王君奇介绍，“最早的岩芯样本生成于距今20亿年的前震旦纪，我们熟悉的恐龙时代是侏罗纪，比它还要晚十几亿年。”

从井场上拉运过来的岩芯样本，经过工作人员的仔细检查、复核，达标后才能入库编号、上架、建档。

王君奇从岩芯盒里拿起了一块编号为“17/43”的岩石样本，这代表什么呢？

今年3月，顺北84斜井在奥陶系鹰山组获得油气突破。工程技术人员钻到地质预测的油气发育段时，在9000米以深的井段处，连续取芯3次。

与其他井的岩芯一样，从顺北84斜井取出来的岩芯运送到这里，经过切割、打磨、归类后，1/3的岩芯作为永久样本保存，2/3的岩芯放置在岩芯库里，供研究人员观察，或取样分析研究使用。

“岩芯取之不易，研究价值更高。很

多岩芯的价值堪比黄金。”王君奇说，“每一块岩芯都有属于自己的编号，就像人的身份证号码，具有唯一性。”

编号“17/43”，就是顺北84斜井在第1次取芯作业时，共获得岩芯43块，这是其中的第7块。

## 取芯不易，在顺北超深层油气发育段取芯，更是难上加难

在5亿年前的寒武纪，塔里木盆地还是“塔里木海”。沧海桑田，海洋中沉积的碳酸盐岩地层深埋在了数千米的地下，慢慢形成了石油和天然气。

塔里木盆地地质条件与世界其他盆地不同，地质结构复杂多样，油气藏普遍超深、超高温、超高压。

“取芯就是为了直接获得真实可靠的地下岩层的有关资料，通常取芯是在油气的发育段。顺北油气田超深井的取芯深度接近9000米，位置大多是在斜井段，这增加了我们取芯作业的难度。”西北油田石油工程技术研究院钻井研究所所长于洋介绍。

在钻井作业现场，工程技术人员通过分析钻时加快、气测升高等工程参数的变化，来判断钻头是否到达取芯位置。如果到达位置，则需要起钻更换专用的钻头和工具，再下钻进行取芯作业。

由于每口井的取芯要求和井下条件各异，取芯深度、长度及采用的工具、作业时间，均不相同。顺北油气田的油气藏平均埋藏深度超过7300米，是世界上埋藏最深的油气藏之一，地层破碎程度高，取芯最大的难题是提高收获率。

收获率是指实际取出岩芯长度与钻进距离的百分比。收获率高，即钻孔中取出的样品多，在一定程度上表示操作方法好、技术水平高。

为此，西北油田持续优化取芯钻头和取芯筒设计。

于洋和同事们对国内外破碎地层取芯工具展开广泛调研，针对顺北油气田储层破碎、易堵芯、掉芯等难题，从通过性、稳定性、强抓取、防堵芯、促保形等方面优化设计取芯工具，研制了适应顺北破碎储层的个性化保形取芯工具。他们

采用长保径钻头，减少取芯过程中的钻头振动，保证岩芯平稳进入取芯筒；采用内壁更光滑的铝合金取芯筒，使岩芯入筒更加顺利，减少堵芯；底部采用双岩芯爪，减少上提过程中的岩芯掉落。

目前，顺北油气田整体取芯收获率由3年前的不足50%提高至98%。顺北84斜井在9000米以深的地段，取芯长度超过10米，作业用时不到9天。

现场取芯作业完成后，工程技术人员将全井的岩芯统一进行分装标注，转交给岩芯库归类存档。

## 来自地下9000米，生成于4.7亿年前的岩石，到底藏着什么信息

粗看顺北84斜井的岩芯，与顺北其他井取出来的岩芯并无多大差异，外表呈暗黑色，剖面呈灰色。如果用放大镜观察，可以看到里面有细小的孔隙。

是不是岩芯中有这些孔隙就能证明这块地层含有油气？

“岩芯的研究是一门大学问，要借助很多先进的设备和技术手段，这里面别有洞天，大有学问。”王君奇说。

为了解开岩芯里蕴藏的“深地密码”，记者走进西北油田实验检测技术中心，这里也是中国石化缝洞型油藏提高采收率重点实验室所在地。

从事岩芯研究工作已经27年的实验检测技术中心岩芯管理所技术总监阳国进介绍：“这是顺北84斜井岩芯上的一小块岩屑，我们将它制作成厚度仅有0.03毫米的岩石薄片，这个厚度仅有普通A4纸厚度的1/3，不要小看这么小的薄片，它承载的信息量非常大。”

在研究人员的眼中，一块岩芯包含了很多的地质信息，比如，矿物学、成岩学、古气候、古地理、粒度分析、孔隙分析、物性分析等。

每一口井的岩芯都来之不易且无法增加，对研究所用的岩芯，也有着严格的审批程序和管理要求。

制作岩石薄片所采用的原料，都取自岩芯的岩屑或者边角料。他们通过精心切割、打磨、烘样、粘贴等一系列操作，

才能成功制作出一张薄如蝉翼的作品。

“通常，一口勘探井需要制作500~1000张岩石薄片。刚学习制作薄片时，不能精准地把握研磨剂的用量、稀稠度，以及手上的力度。”岩芯管理所员工陈丽宇介绍，现在她每天能制作薄片近30张。

岩芯分析人员借助偏光显微镜、阴极发光显微镜、紫外光谱、X射线荧光光谱等设备和技术，开展多种类型岩石薄片的分析，全面认识油气发育段岩石的物理性质、岩石矿物组成，以及敏感性矿物的类型、产含量及分布特征。

阳国进介绍，岩芯研究需要宏观与微观同步展开。薄片分析只是针对岩芯的特性开展的微观分析，他们还要通过CT、核磁等设备，研究岩芯的宏观特性，分析岩芯的饱和度、孔隙度、渗透率等指标。

在塔里木盆地，深层、超深层的油气大多是储藏在纳米级的细小岩石孔隙中，这就像在人的毛细血管中采集血液，研究难度大。

阳国进向记者展示了两块岩芯样品，他们通过CT扫描，得到了岩芯孔隙结构特征的分析结果。

图片上一块圆柱体形状的岩芯被红、黄两种颜色杂乱地填充。填充红色的空间为封闭孔，属于无效孔隙空间；填充黄色的空间为连通孔，属于有效储集空间。通过测算，这块岩芯的开放孔体积在七成以上，表明岩芯所处的位置属于油气储藏的有利井段。

在另一张图片上，被测试的岩芯只能显示一些微裂缝。这些微裂缝还被其他物质所充填。实验结论是，总体判断不发育，不利于油气生成或通过。

通常情况下，一块岩芯涉及的实验项目分为地质、开发两大类30余项，实验数据近千个。

岩芯分析人员将这些实验数据和结果输入大型数据库。地质、开发、储层等不同专业、不同项目的研究人员按需提取不同的数据和结论，为科研攻坚或在各项作业中更精准地制定方案提供可靠的决策依据，从而推动实现一口井、一个条带、一个区块，甚至一个新油田的突破或诞生。

## 西南油气

### 见微知著 解锁大油气

□薛婧 董晓霞

“我们买西瓜时会让商贩切一小块尝味道。”西南油气勘探开发研究院勘探三所所长宋晓波在介绍钻井岩芯时形象地比喻，“切一块西瓜看看，才能最直观展示真实情况。因此，野外剖面和钻井岩芯是气藏勘探研究的两大法宝。”

地下几千米深的地层是个“黑箱”，只能通过地球物理勘探、测井等技术间接探测基本情况。

随着非常规气成为天然气接续阵地主力军，新领域、新层系、新类型油气勘探因为资料不足、可靠性弱，岩芯样品分析研究对气藏评价、区域勘探开发的支撑指导作用就愈加显著。

“取全取准第竹寺组全段岩芯，对井研寒武系新类型勘探取得重大突破至关重要。”西南油气田副总经理熊亮说。早在2015年，金石构造第竹寺组就取得了油气勘探发现，苦于没有系统完整的岩芯资料，储层认识、资源评价都无法落实。

西南油气果断决策——打一口井系统取芯。2020年，金石103井完钻，科研人员精准卡层，完成第竹寺组300米地层系统取芯，将岩芯实物资料直观呈现在科研人员眼前。

300米岩芯被敲碎、编号，科研人员反复观察，详细记录岩石的颜色、岩性、纹层、孔缝发育程度等特征，随后系统拍照编制成册，总结、拼接、归位、投射，绘制成为岩芯柱状图。

金石103井作为西南油气首口第竹

## 江汉油田

### 一叶知秋 发现新储层

□本报记者 石建芬

通讯员 刘猛 王茜

8月23日，江汉油田专家吴世强拿起一块标有“黄61斜井，2358.6~2359.0”的岩芯说：“这块岩芯是2023年1月26日从潭口地区取出的，通过岩芯研究，我们发现了湖相碳酸盐岩储层模量。”

为了深入探索地下，找到更多的储量，江汉油田对重庆石柱及湖北恩施红阳、复兴地区做了大量的科学钻探研究，红阳区块二叠系吴家坪组、茅口组两套页岩慢慢浮出水面。

2019年，江汉油田决定部署红页1井钻探取芯，计划施工井深3300米。“该井在设计阶段，地质人员要求取芯收获率达到95%以上，但红阳地区地质特别复杂，任务艰巨。”江汉油田专家陈学辉介绍。

随着我国油气勘探开发力度不断加大，岩芯高效利用面临两大难题：一是岩芯服务模式周期长、成本高、损耗大，极大制约了岩芯共享利用；二是随着时间推移，岩芯会产生风化、氧化、破碎等改变，导致大量信息丢失甚至损毁。

攻克难题的根本办法就是提高岩芯的数字化程度。下一步，西南油气将重点开展数字化技术和统一数据平台为基础的岩芯研究，助力油气地质研究、成藏理论深化和勘探开发一体化方案制定，支撑“十个千亿立方米”储量阵地目标实现。

红页1井钻探取芯现场，科研人员不断讨论地层变化情况，确保该井按设计要求准确到达取芯层位，取全取准岩芯资料。通过反复观察钻时、气测曲线，他们将井口返出岩屑与区内取芯井目的层段进行逐一对比，找准吴家坪组茅口组4段取芯深度，顺利完成取芯任务。累计取芯4回次，总收获率

96.54%，现场浸水试验显示良好，展示出较好勘探潜力。

去年，江汉采油厂的一名科研人员查阅地质资料时，发现潭口地区资料显示有所不同，但到底哪里不同？是不是真的有油气？是认识有问题还是研究方向有偏差？

对此，吴世强翻阅了邻井20世纪80年代录井资料，发现录井资料上记录在碳酸盐岩层有好的油气显示，但是当时主要关注常规砂岩油藏，针对非砂岩层油层解释，也只在备注里打了一个问号。

他走进实验室、岩芯库、资料档案室，利用岩芯、分析化验第一手资料深入基础研究，提出在潭口地区发育碳酸盐岩质砂岩、砂质内碎屑碳酸盐岩致密油藏的新认识。带着这种想法，攻关团队运用岩相组合体划分技术，对几百口井几千块岩屑薄片进行鉴定，发现碳酸盐岩结构复杂，在泥晶结构之外大量存在颗粒结构，这些颗粒结构组成的颗粒碳酸盐岩属于盐湖碳酸盐岩新储层。吴世强果断提出，在砂岩和化学岩之间过渡带的碳酸盐岩间寻找油藏。

江汉油田优选成藏条件好、埋藏适中、油气显示好的潭口地区开展老井复查。黄20斜-4井不负众望，作为探索盐湖碳酸盐岩特殊新类型储层的首口井，仅用15天便完成大型压裂，获得日产26.22立方米油流，标志江汉潜江盐湖盆地碳酸盐油藏勘探取得重大突破。

## 数字岩芯技术是重要发展方向

□马冬晨

在油气资源勘探过程中，通过钻井岩芯薄片、粒度、阴极发光、铸体等实验技术，能够综合分析研究区域油气储层岩性特征、成岩演化特征、沉积相，以及成藏温度和流体盐度等，这些数据能够为油气储层成因及储层分类定级提供有力支持。

在油气开发领域，岩芯实验也是油气开发和提高采收率获取基础数据的重要手段。

随着科学技术发展，特别是扫描电镜、CT技术在岩芯分析中应用和人工智能技术迅速发展，数字岩芯技术成为目前岩芯分析技术的重要发展方向。

数字岩芯技术具有高效快速、直观灵活、岩芯保护等优势，利用二维扫描电镜及三维CT扫描获取真实的岩芯图像，通过软件分析进行岩芯三维数据重构，提取岩芯孔隙空间结构网络模型，再经过数值模拟及人工智能软件，对储层微观孔隙和裂缝结构、渗流特征、储层参数等进行定性定量分析。

结合岩芯大数据分析应用，数字岩芯技术将从岩芯尺度向油藏尺度迈进，这将为油气高效勘探开发提供数字化、立体化、高效智能化的技术支撑。

（作者系西北油田实验检测技术中心高级专家）