

放大百万倍，古龙页岩“特写”长啥样

□ 吴松涛 姜晓华 高波



大庆油田岩心库摆满了排列整齐的灰黑色、圆柱形石头。它们是利用特殊工具从井下钻取出的圆柱形岩石，是了解和研究地下条件和矿产情况的重要实物资料，更是古龙页岩油在地下居住的“家”。一边是黑乎乎、表面几乎看不到孔隙、像铁板一样的岩心，另一边是淡黄色、清亮的油，它们之间有什么联系呢？

为了揭开古龙页岩的神秘面纱，石油科学家应用高精尖的仪器设备，为我们打开了奇妙的微观世界大门。原来，在这些看似铁板一样的黑色页岩里，蕴藏着无数肉眼无法识别的微小孔隙，它们为石油提供了居住场所。

古龙页岩油住在纳米级“卧室”

岩石中大大小小的孔隙和裂缝，为油气分子提供了安身之地。古龙页岩也不例外，但相比常规的油气储层而言，古龙页岩的储集空间极为细小，石油大都“居住”在地下纳米级的“卧室”（孔隙）和微米—纳米级的“长廊”（裂缝）之中。

你知道这些孔隙有多小吗？常规的显微镜已经无法观察到它们，只有借助高分辨率电子扫描电镜，将图像放大几十万倍甚至上百万倍，分辨率达到1纳米，我们才能看到孔隙的真实面貌。如此一来，我们就可以对微观世界来一个深入的“特写”，看看这些页岩中的孔隙是如何分布的。

古龙页岩孔隙的直径基本小于100纳米。我们人类头发丝的直径通常为70微米，古龙页岩孔隙大小只相当于人类头发丝的七分之一甚至千分之一。如果我们把人类头发丝比喻成足

球场大小的话，古龙页岩有效孔隙大小就相当于足球场中的足球。

页岩油旅行有“通道”

既然“卧室”这么小，怎么才能将石油从地下开采出来呢？如果把页岩想象成一栋大房子，内部的孔隙是各自独立的“卧室”，喉道就是连接卧室之间的“过道”，石油在地下流动需要从无数个“卧室”进入“过道”。“卧室”对存储多少石油起到了决定性作用，“过道”对石油能否流动和运输起到了关键作用。

研究发现，尽管古龙页岩单个孔隙体积很小，但累积总孔隙体积相对较大，也就是“卧室”够多、总空间大；美中不足的是“过道”较少，较难形成连续的流动通道。这对于石油开发是一个非常不利的因素。

那么，古龙页岩油如何解决这道难题呢？古龙页岩发育有层理缝、构造裂缝和超压裂缝，其中层理缝最为发育。由于层理缝的存在，岩石极易沿层理缝剥开，形成“千层小薄饼”。微米—毫米级尺度的层理缝肉眼就可以看到，而纳米尺度层理缝需要借助扫描电镜才能识别，这种微米级层理缝发育密度极高，可达每米数十万条。

微米级尺度的层理缝好比是细密的乡间小路，虽然狭窄，但是数量多、分布广，可以将石油从乡间小路输送到省道；小尺度和大尺度层理缝好比省道或国道，数量虽然相对较少，但是路面宽阔，延伸距离较长，对来往车辆的输送能力更强。它们改善了储层之间的渗流能力，为石油分子的流动提供便利。

说到构造裂缝和超压裂缝，它们则进一步在页岩不同的通道之间架起了桥梁，使得页岩中的“道路”更加四通八达。这样一来，“油娃娃”得以在页岩储层中“昂首阔步”，自由流动。



古龙页岩孔隙与人类头发丝对比，如同足球之于足球场。沈月制图

纳米限域效应下，“油娃娃”易变脸

居住在微纳米级孔缝中的“油娃娃”非常淘气，要想让它们出来可不是件容易的事。这里还要谈到一个效应——纳米限域效应。

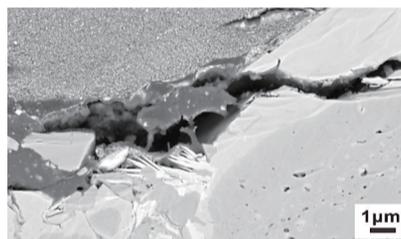
通俗点讲，纳米限域效应指的就是在纳米级空间里，由于受狭小空间的限制，会引起物质性质的变化，甚至是物理反应或者化学反应。在大尺度孔隙内，与流体分子间的相互作用力相比，流体分子与孔壁间的相互作用可以忽略不计。但在纳米尺度下，孔壁固体的

子与流体分子间的作用力较大，当流体分子和孔壁发生碰撞的平均路径长度与孔隙大小相当时，流体分子的自由热运动受到显著影响。

这就好比“油娃娃”们课间正在学校操场里玩儿，由于空间足够大，他们可以开心追逐游戏，互不碰撞。当上课铃声响起时，“油娃娃”们争先恐后地进入狭窄的楼道，由于你推我搡，前进的阻力一下子变大，一时间便无法通过楼道。

这种限域效应也会影响流体相态的变化，给石油开发开采带来难题。在这种限域效应下，古龙页岩油流体的相态在“易挥发油”和“凝析气”两种状态之间“反复横跳”。这就好比“油娃娃”们变成了“孙悟空”，在狭小的孔隙中时，由于“屋子”拥挤闷热，便“嗖”地变成一缕烟，当进入另一个孔隙，由于温度和压力的变化，又“嗖”地变回了油珠。调皮的“油娃娃”们带来的挑战远不止如此，而这也正一步步考验着石油地质学家和工程师的智慧。

（作者吴松涛、姜晓华系中国石油勘探开发研究院高级工程师，高波系大庆油田有限责任公司高级工程师）



古龙页岩微裂缝内石油赋存扫描电镜照片。姜晓华 摄

应急科普下沉一线 防灾理念落地生根

□ 刘自杰 谢汉明 周圆

科普经验一线谈

5月12日是全国防灾减灾日。面对各类自然灾害，大众应该如何防范和处置，离不开平常的应急科普。近年来，北京市应急管理局坚持把科普宣传作为提升全民科学素质的重要抓手，积极引导广大群众树立安全理念，增强安全意识和应急处置能力。

强化统筹规划，实现多元共治

2021年国务院印发的《全民科学素质行动规划纲要（2021—2035年）》提出，建立健全应急科普协调联动机制，显著提升基层科普工作能力，基本建成平战结合应急科普体系。依据北京市科学素质行动规划纲要任务分工，北京市应急管理局将全民科学素质提升工作纳入“十四五”应急管理规划、防灾减灾救灾专项规划体系。

应急管理需要协同社会力量参与，构建共建共治共享格局。为此，北京市应急管理局加强多部门联动，建立与首都精神文明办、北京市民政局、共青团

北京市委员会、北京市总工会、北京市红十字会等单位协调工作机制，全面建成应急志愿者队伍市、区、街道（乡镇）三级体系，为推动全民科学素质工作建设奠定了坚实力量基础。

为了让应急知识“飞”进千家万户，近年来，北京应急管理坚持以安全社区及综合减灾示范社区、安全文化建设示范企业（集团）创建为契机，将评分考核指标与社区、企业人员科学素质和开展活动挂钩，有力提升了评建效果。2023年，129家社区被命名为“北京市综合减灾示范社区”，95家企业被命名为“北京市安全文化建设示范企业”，还有440个社区、37家企业通过了2023年度“北京市综合减灾示范社区”复评。

增强人才队伍，创新宣传模式

建立一支涵盖领域广、专业素质高的应急科普专家队伍很有必要，可以在关键时刻站出来有效发声。为此，北京市应急管理局以市级应急志愿服务总队建设为样板，遴选50名应急科普专业骨干，在此基础上研究细化全市应急科普志愿者工作规范，明确初、中、高级能

力素质标准认定，并研究制定了30余门“菜单式”课程，有效提升了应急科普人员专业能力。

应急科普只有入脑入心，才能发挥真正的作用，宣传模式创新可有效推动应急科普工作。聚焦中小学生普及安全防范常识，北京市应急管理局连续5年策划制作《公共安全开学第一课》特别节目，采取外拍实验、道具模型、动画讲解等多种手段，提升了中小学生对危险和自救等本领。

为了让科学声音跑在谣言前面，北京市应急管理局广泛开展社会宣传，围绕安全生产、防汛、森林防火、应急救援等主题内容，设计“疯狂安全家”等文创作品25种，制作海报发放6万余份；协调公交、地铁、高速公路以及王府井等标志性建筑相关方，在屏幕上不间断播放有关安全防范的动漫视频和安全提示，进一步提升了科普宣传的受众率。

强化群众主体作用，科普“破圈”聚人气

应急科普如何“接地气、聚人气”？北京市应急管理局紧紧抓住社会公众

这个关键，开展形式多样的宣教活动，提升公众参与科学素质行动的热情。

2023年以来，北京市应急管理局与北京市文化局携手，扎实开展基层巡演。通过采取“节目征集+自主创作”形式，基层巡演推出了《充电记事》《酒后贪杯》等多部安全文艺作品。聚焦生产一线、工地、社区、学校等场所，基层巡演以歌舞、相声、快板、曲艺等多种表演形式，传播防灾减灾常识，累计巡演30余场次。应急宣传车也开进了重点灾害防护乡镇村、人口密集社区及企业集团，开展了60余场应急安全宣传教育活动，取得了良好效果。

志愿者有着数量庞大、专业类型广泛、服务形式灵活的特点，连接着应急管理的“最后一公里”。2023年，北京市应急管理局持续开展志愿服务行动，区分不同领域、不同对象，开展各类应急安全宣传活动，提升公众防灾减灾意识和能力。2023年，北京市出动应急志愿者2万人次，组织活动超过3000场，服务全市公众超过30万人次。

（作者单位：北京市应急管理局）