

供应保障

责任编辑:秦紫函
电 话:59964339
邮 箱:
qinzih@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:王 强



周“油”列国
油事精彩

野外地质考察:传统观测与现代探测共溯地质“史书”

□石油勘探开发研究院 王静彬 朱东亚 丁 茜

我国石油勘探已迈入深地时代,万米之下的油气藏世界充满未知。李四光先生曾指出:“地质科学的源泉在野外。这里,也只有在这里,才能产生真正的科学问题和科学理论!”每一层岩石、每一道纹理都铭刻着地质变迁的密码,而野外地质考察便是连接地表与地下油气藏的关键桥梁。因此,野外地质考察既是油气勘探开发“根基工程”,更是破解地下资源密码的“关键密钥”。

野外地质考察中的“望、闻、问、切”

通过野外考察,勘探人员得以洞悉地质体的构造、沉积、成储、成藏特征与演化过程,解码深埋地下的油气信号。野外地质考察工作恰与医者“望、闻、问、切”有着精妙的对应关系。

“望”,如同望气色察病情,是精确开展目的层考察的关键第一步。勘探人员通常会先沿着地质剖面观察地层走向、岩石颜色、构造沉积特征以及上下地层接触关系,从宏观角度初步判断其所属地层年代与沉积环境等。

“闻”,如同听声息辨症结,是判断岩性、油气发现的重要途径

径。地质锤与岩石碰撞会释放肉眼不可见的“地质气息”,是发现油气藏的重要线索,如若闻到特殊的汽油味,便可确定地下油气在岩层孔洞缝中迁移的蛛丝马迹。

“问”,如同询问探病病因,岩石虽无言语,却已暗藏深意,通过间接现象向勘探人员“述说”它的过往。例如,在贵州野外工作中发现大量泉水出露地表,则暗示

着地下水系统脉络走向;四川震旦系岩层中发现的微化石,则是后生物演化的古老证据。

“切”,如同把脉知脏腑,是地质考察的核心工作。通过布设测线详细测量岩层真厚度、产状,并进行现象描述、岩石采集,通过绘制地质要素素描图系统梳理出地质构造的“油气运行”规律,让深埋的油气藏分布脉络逐渐清晰。

野外考察以传统经验为尺丈量岩层肌理,用罗盘记录地层脉络;现代科技则借助无人机、激光扫描、微米CT精密透视地层深处。“传统观测与现代精密探测”共同溯源地质过程。

无人机技术为野外露头航拍摄影。为解决“塔里木盆地奥陶系地下古岩溶缝洞储层空间分布规律”不清问题,勘探人员对贵州一处陡峭崖壁上碳酸盐岩溶洞露头进行无人机扫描。操作员遥控无人机攀升至高空,按照预设航线拍摄和扫描山体,短短十几分钟就完成了人工徒步攀爬几天都难以完成的大面积测绘工作。无人机能够实时获取全面、准确的地形地貌数据,展示露头区域构造裂缝、大型溶洞、小型孔洞的三维模型,帮助识别构造断裂/裂缝如何控制溶洞发育和分布规律。大家很快建立溶洞发育模型并解释岩溶演化过程,圈出优质储层发育的潜在位置。

探地雷达是穿透地表的“透视眼”。为进一步解决“地表以下古岩溶缝洞储层发育深度”问题,勘探人员转战地表覆盖着厚10~20米坡积物的平缓坡地,使用探地雷达探测地下结构。探

地雷达的高频电磁波在地下介质中能穿透50米厚的覆盖层,信号的形状和强弱能够用于推测地质结构。探地雷达天线紧贴地面移动,主机屏幕上的波形图案随之更新,同步测量了6条总长1000米的测线。同时,中—高电阻率信号还显示地表以下15~70米的深度有溶洞群发育,这正是勘探人员朝思暮想的油气储集“仓库”。这种隐藏在地下的目标地质体,仅靠传统的地质锤、罗盘等工具,难以准确探测,而探地雷达却能快速、高效地提供关键信息。

激光扫描绘制露头的“毫米级画像”。传统方法用皮尺、罗盘等测量溶洞的走向、产状、长度,误差较大。勘探人员通过高分辨率激光扫描仪绘制精确的三维岩溶洞穴模型,实现“溶洞内部三维形态可视化”。激光扫描能将精度控制在0.1度以内,通过建立三维点云模型自动测量出岩层的倾向、走向、厚度、坡度、体积等数据。与传统的测量方法相比,激光扫描技术大大提高了测量的精度和效率,精准记录洞壁上的每一道裂隙、每一个溶孔,甚至能够识别出直径0.5毫米的微孔隙,为后续储层建模

提供高精度的基础数据资料。

微米CT揭开微孔隙的“神秘面纱”。在油气勘探中储层微孔隙结构是油气赋存的“毛细血管”,传统方法难以捕捉微孔隙尺度的孔隙特征。实验室内微米CT扫描犹如“超显微镜”,通过X射线穿透逐层扫描岩样,完成样品的“三维微透视”,经计算机重生成三维孔隙网络模型,将原本隐匿的微裂缝、溶蚀孔、吼道及空间结构清晰呈现,构建微米级“孔隙地图”。

通过结合野外地质考察与无人机、探地雷达、激光扫描、微米CT等高新技术,研究团队建立了千米—米—毫米—微米—纳米多尺度碳酸盐岩孔隙结构表征技术方法,为储层成因机理研究提供了丰富、精确的数据。

野外地质考察浸透着跋涉山野的艰辛,既有翻山越岭的付出,更饱含“为国找油”的赤诚初心。现代科技为这项传统工作注入了强劲动能,多尺度表征技术体系帮助野外地质踏勘从传统的“眼看手摸”向“数字智能”迈进。传统坚守与科技加持共同筑牢油气勘探的科学根基,彰显着勘探工作者探索深层超深层油气资源的决心与智慧。

勘探分公司:80公里山路上的“地质拓荒”

□贺彦 汪子豪 冀策

漫天黄沙、炎炎烈日、陡峭山崖……近日,勘探分公司18名勘探人员组成的两支小分队在新疆野外踏勘80多公里12条剖面,实测奥陶系潜在烃源岩剖面270米,系统采集各类样品523件、伽马数据98组。

“吃苦不怕,定有成果”

塔西南山前分队深入西昆仑腹地,开展地质“拓荒”,目的是落实寒武—奥陶系新剖面,建立石炭—二叠系地层层序,明确石炭系沉积相序和生储条件等,调查时长22天。

尽管曾经多次参加野外地质考察的老队员们已经对暴晒、榨菜配馍、山陡路远等困难做好了心理准备,但踏勘塔莎古道寒武—奥陶系烃源岩剖面的经历依旧令他们难忘。这里勘探程度极低,寒武—奥陶系烃源岩的地质资料几乎是一片空白。

剖面点到最近县城车程6小时,为了节省时间,队员们驻扎在阿尔塔什村的简易旅店,日常洗漱全靠山涧流水。

从村庄出发,超80%的路是极窄崎岖碎石路,越野车在乱石路上蹦来跳去。

“道路崎岖,一个接一个的急转弯,望着道路两侧60~80度的陡崖、水库陡坎,心里第一次生出恐惧。”有着多年云贵川踏勘经验的勘探分公司专家张桂权说。

大套黑色的泥页岩层面析出大片金黄色

的硫化物晶体,空气中弥漫着强烈的臭鸡蛋气味。烃源岩品质好,对揭示塔西南下古生界石油地质条件、指导未来勘探实践具有不可估量的价值。可困难接踵而至:顶底出露不全,构造复杂多变,地层产状陡峭且变化快。

勘探分公司塔里木研究中心构造地质室主任、突击队长王均杰带领大家调整策略:追索剖面周边数公里,摸清地层展布;重点观察河谷对岸出露地层,秉持“一层层看,一层层抠”的理念,发扬“吃苦不怕,定有成果”精神,制定了实测方案。

最终,队员们成功实测了这条关键剖面,系统采集了样品,填补了该区下古生界烃源岩资料的空白。

“剖面真厚度竟然有4.5公里”。拿到前人实测库山河剖面地层柱状图时,队员们无不震撼。这是建立石炭系地层相序的关键剖面点,有利于寻找有利烃源岩发育相带边界。

难度空前,令人生畏;前人实测与实际有明显偏差,剖面陡峻,很多地层的新鲜面要爬上四五十米高的碎石堆,既需攀爬体力与勇气,更需破解“地质谜题”的智慧。

顶着烈日,他们像象棋里的“卒”,手脚并用,小心试探,一步一步地“往上拱”,进行测量,采样。通过实地考察,他们认清了关于地层顶底界线划分的依据及其局限性,识别并校正了局部构造造成的真厚度失真状况,成功识别出两套具有潜力的烃源岩发育层段等,为后续深入研究该区域石炭系烃源岩的发育条件与分布规律奠定了坚实基础。

“无限风光在险峰”

柯坪野外分队以前期工作为基础,进一步落实南华—震旦—寒武系地层层序、沉积模式,补来源储层等样品,调查时长12天。

这里的山呈刀片状,沟壑狭窄且幽深。走在剖面河床的砾石上,第一次参与新疆野外地质考察的队员杨煊仔对照地层,从最基础的岩性、地层产状,到沉积构造,用相机和地质簿记录每一个重要的瞬间……

在奥依皮克西沟剖面,无人区的老石头被岁月剥蚀得久了,风化严重,一踩就四分五裂。“坚持住,把手脚放稳,别着急,慢慢来。”山壁陡峭,大家又背着沉重的装备,塔里木研究中心储层室主任李春辉边探路边回头提醒队友。

“无限风光在险峰,这是身体上的挑战,更是一场心灵洗礼。”杨煊说,“即使筋疲力尽,但站在山顶看到地质特征的那一刻,所有疲惫都烟消云散。”

队员们明确了尤尔美那克组冰碛岩和巧恩布拉克组碎屑岩整体岩性特征,以及震旦系整体沉积特征,落实了南华系不整合面的发育情况,惊喜地发现了奇格布拉克组上部发育着一套约40米的储层。

在金矿矿剖面考察时,小分队遇到了更严峻的挑战。

徒步观测6~8公里到肖一段顶部时,队员们已精疲力竭,可观察肖二段需从这座山横移到一座山,大家打起了“退堂鼓”。山边几簇小个头骆驼刺开着粉红色的花,闻着骆驼刺

清淡得似有似无的花香,杨煊精神一振。他和队友再次出发,最终成功到达采样点,进行了实测。

本次野外地质考察两支小分队初步取得了“四新”成果:新线索,初步明确奥陶系发育一套厚度超30米的深水陆棚相泥页岩潜在烃源岩;新依据,初步落实塔西南山前卡拉沙依组沉积相序,明确烃源岩有利相带展布特征;新特征,明确了南华系—下寒武统地层接触关系和沉积特征;新基础,明确了肖尔布拉克组发育一套相控储层,为寒武系盐下风险井论证奠定了基础。下一步,科研人员将深化地质认识,为后续勘探部署和普1井钻井地质跟踪提供支撑。

专家点评

勘探分公司勘探研究院副院长、塔里木项目部副经理、塔里木研究中心主任 潘磊:
2024年以来,勘探分公司通过对塔西南地区的资料评估和基础地质研究,初步明确了勘探有利方向和领域。

本次野外地质考察以问题为导向,制订了详细工作计划,设立两支野外小分队。塔西南山前小分队重点针对古生界地层层序、烃源岩等问题,柯坪小分队重点针对寒武系沉积建库和源储分布规律等问题。队员们克服恶劣环境,取得了第一手实物资料,高质量完成了任务,为接下来评价寒武系盐下、上古生界等重点领域的石油地质条件和部署论证井位等工作,奠定了坚实基础。

专家点评

西南油气勘探开发研究院副院长 杨映涛:
在油气勘探开发过程中,野外露头剖面是最直观、最易获取、最易获取的地质研究实物资料。能直观反映构造变形样式及岩性组合特征,对钻井取芯、地震资料解释,以及整个地下情况的预测起到指导作用。为了更好地发挥野外露头剖面的价值,应该做好以下四方面工作:强化技术创新,构建快速、高效、多尺度、高精度的现代野外地质考察技术装备体系;注重数据的采集、整合与数字化,为油气勘探决策提供更全面的数据支持;针对深层、非常规等领域,开展更深入的基础地质考察和战略选区评价;培养具备扎实专业知识、掌握先进技术的复合型人才队伍。

专家点评

西南油气勘探开发研究院副院长 杨映涛:
在油气勘探开发过程中,野外露头剖面是最直观、最易获取、最易获取的地质研究实物资料。能直观反映构造变形样式及岩性组合特征,对钻井取芯、地震资料解释,以及整个地下情况的预测起到指导作用。为了更好地发挥野外露头剖面的价值,应该做好以下四方面工作:强化技术创新,构建快速、高效、多尺度、高精度的现代野外地质考察技术装备体系;注重数据的采集、整合与数字化,为油气勘探决策提供更全面的数据支持;针对深层、非常规等领域,开展更深入的基础地质考察和战略选区评价;培养具备扎实专业知识、掌握先进技术的复合型人才队伍。

西南油气:借“金钉子”划界 丈量亿载光阴

□本报记者 薛婧 通讯员 张南希

“地层学之父”、英国地质学家威廉·史密斯曾说:“每层岩石都是地球的日记本。”层层叠叠的岩石记录着亿万年地质变迁的故事,地质勘探人员如同时空漫步,在裸露的岩层里探寻埋藏地下的时光密码。

20世纪50年代,李四光、黄汲清等老一辈地质学家深信“在我国辽阔的领域内,石油天然气资源的蕴藏量应当是丰富的,关键是要抓紧做地质勘探工作”。大规模石油地质普查由此在多个盆地拉开大幕。

“早期地质考察主要分三步。”西南油气勘探开发研究院主任师简万洪参加过20世纪90年代原地矿部组织的四川盆地地区地质考察。

第一步踏勘,选择剖面点,看地层、看构造,明确大概有哪些地层,是否缺失或混乱,是否具备测剖面的条件。

第二步测剖面,通过岩性组合、古生物特征等,详细确定年代地层及分布情况、沉积特征及岩性组合,测量剖面的长度和倾向,计算地层厚度,推测地下情况。

第三步穿线。“1个图幅涵盖430平方公里,我们会跑20多条线,在纬线上每隔1公里为1条线的起点,沿

线纵穿。”简万洪回忆往事仍然饱含激情,“我们背回来的岩石样品最大有两平方米,通过综合研究绘制地层柱状图、区调图、矿产图等基础性战略图件。”

侏罗系、三叠系……在野外地质考察时,这些年代地层如何确定呢?如果说基础图件是地球史书的封面,那么年代地层单位就是这部“编年史”的章节,“金钉子”就是划分章节的标志。

“金钉子”一词源于美国。首条横穿美洲大陆的铁路在犹他州钉下最后一颗钉子宣告竣工。这枚18K金钉子的象征意义被地质学借用,以标定全球范围内因地球历史上各种地质事件而形成的标准地层剖面和地质点。“金钉子”一旦钉下,这个剖面就成为某一地质时代分界点的唯一标准,极具权威性。目前全球已经钉下81枚“金钉子”,其中11枚在中国,分别位于浙江、湖南、广西、湖北、贵州等地,记录着地球距今6亿多年来的重要历史时刻,为研究地质事件、生物演化、古环境变化等提供了珍贵资料。

“我国第11枚‘金钉子’在贵州剑河县巴郎村乌溜—曾家岩剖面,因为发现了三叶虫动物群等10个化石门类、120余个化石属,明确了寒武系第三统和第五阶的时代界限。”简万洪说,“正是基于这些标准剖面的研究资料,我们在四川乐山、资阳等地区对寒武系筇竹寺组页岩气的地质认识才有了基础。”

作为全球最古老的页岩层系之一,寒武系筇竹寺组页岩岩形成于距今5.4亿年前的显生宙寒武纪。通过地质研究,科研人员发现,这一

段波涛暗涌的神秘时代,平均地温温度远超现今,发生过强烈的构造运动,超大陆裂解,地壳被频繁隆起—拉张,形成系列洋盆和拉张槽,海水反复侵入又退却。绵阳—长宁拉张槽快速形成,为古生物提供了相对稳定的高可容空间,石英等脆性矿物和底栖藻、浮游藻等低等海洋生物随海水在槽内和槽缘富集、在底部沉积,三叶虫等海生无脊椎动物爆发性出现,经过数亿年演化为有机质,封存在连片叠置的页岩地层中。

科研人员进一步研究页岩气成藏路径——随着地球年龄变化,地层温度、组成与相态随之变化,由此可以确定油气形成、运移和成藏期。筇竹寺组顶部和底部地层致密、厚度大、封闭性好,大部分页岩气被“捂”在这套地层中。“还原寒武纪地壳各圈层运动、生物演化和烃源岩热演化史,明确页岩气藏形成的最基本物质条件和前提,从而取得‘三新’领域勘探突破。”简万洪说。

“当我们涉足新领域、新类型、新层系油气勘探时,研究资料往往非常有限,野外踏勘是获取资料的重要手段。”西南油气勘探开发研究院勘探三所党支部书记宋晓波说。野外踏勘不同于早期的区域地质考察,是站在巨人的肩膀上看世界——在基础图件、地层“金钉子”、钻探资料等基础上,有针对性选择剖面、取得资料,用于油气勘探“开疆拓土”。

20年前,四川盆地海相油气地质研究刚起步,为了准确获取川西海相雷口坡组勘探研究所需的第一手地质资料,宋晓波团队穿梭于龙门山的深山中、河谷间,用十余年跑遍了川



新疆喀什地区库山河剖面菊石化石。 王均杰 摄



▲西南油气勘探人员在川西地区龙门山燕子岩二叠系剖面进行实地考察。 王海军 摄



西南油气页岩气攻关团队在云南考察筇竹寺组剖面。 周梓 摄