

中科院声学所团队不断探索发展横波远探测成像测井技术

给大地“做B超”，用声波找油气

本报记者 吴月辉

2011年至2021年，我国用10年时间实施找矿突破战略行动。其间累计发现17个亿吨级大油田和21个千亿立方米级大气田，新形成32处非油气矿产资源基地，主要矿产保有资源量普遍增长。

石油能源建设对我们国家意义重大，中国作为制造业大国，要发展实体经济，能源的饭碗必须端在自己手里。端牢能源的饭碗，必须发挥科技创新第一动力作用，通过技术进步解决能源资源约束、生态环境保护、应对气候变化等重大问题和挑战。

近年来，中国科学院声学研究所超声学实验室固体声学组与深部探测团队，数十年如一日不懈探索用井下声波来探测能源的核心技术，开发出性能更优越的井下声学探测仪器，对支撑我国深地勘探、保障国家能源安全具有重要的意义。

——编者

找到油气田，有哪些步骤？

“望闻问切”定位置，测井仪器作“眼睛”

油气勘探是一项复杂而又具有高难度的工作，并且存在巨大风险。那么，要想找到油气田，需要经历哪些步骤？

中国科学院声学研究所研究员、超声学实验室主任陈德华说：“找油气田的过程，可以用传统医学中的‘望闻问切’四字来概括。”

首先，地质学家会进行区域概查，确定可能存在油气田的地区和范围。这一步相当于“望闻问切”中的“望”和“闻”；然后进行区域普查，利用人工地震方法推断地下岩石的结构，这一步相当于“问”，可以大体确定地下哪些位置存在油气储层；接下来，工程师会钻开潜在油气田的第一口井——探井，进行区域详查，相当于“切”。

陈德华说：“如果想了解油气田的具体位置以及油气的开采价值，以上的‘望闻问切’还不够，还需要结合一些高科技手段，比如测井技术。”

测井被称为“石油工业的眼睛”，因为在漆黑而又高温的地下，无法直接观察到地层岩石信息，必须通过测井仪器记录数据并传输到地面，这个过程就好比人的眼睛接收到光信号，并处理成图像以供辨别。

“将先进的测井仪器放入钻孔内，我们就可以对地下几千米处的油气层进行精细探测，精度能达到厘米级甚至更高。通过测井，可以确定地层的性质，进一步对地层作出准确评价，从而确定地层是否含有油气、含油气量多少、油层厚度以及评估油气可采量。”陈德华说，“这个过程就好比人们在医院体检时‘做B超’。”

测井方法通常分为声法、电法、核物理法和核磁共振法四种。其中，向地层发射声波、接收处理反射或折射回来的声波从而获取地层信息的方法，被称为声波测井。“相比其它几种方法，声波测井不仅环保，成本相对还低，更重要的是能够获得许多至关重要的地层岩石力学参数。”陈德华说。

国产高端声波测井装备，是如何研发出来的？

“从零开始”解难题，反复试验验证量产

本世纪初，世界范围内油气资源勘探和开发的竞争不断升级。“当时，我们缺乏自主研发的偶极子声波测井换能器，也难以大面积推广应用偶极横波测井的先进技术。这不仅影响了我国高端声波测井装备的国产化，还严重阻碍和制约了我国油气勘探、开采的进度。”陈德华回忆。

面对棘手难题，中科院声学所的研究团队迎难而上。

研究可以说是“从零开始”，团队成员们除了能看到市面上已有换能器嵌入仪器后的“长相”，了解它可以实现的一些基本功能外，其余相关材料、结构、参数等具体信息几乎一无所知。

此后，经过近3年的反复摸索、试验，经历了成百上千次的失败后，团队终于研制出了换能器的第一批样品。陈德华说：“但是，这批换能器样品一旦放入高温环境中进行测试，要么整体开裂，要么压电陶瓷破碎，导致试验失败了一次又一次。”

究竟是哪里出了问题？近4个月的时间里，团队成员反复研究材料选型，换了十几批材料，并不断改进粘接工艺，经过上百次的反复试验，终于克服了耐高温、高压声波测井换能器的制作难题，研制出了达到国际先进水平的成品。

国产换能器交付后，随即投入实际应用，并进行了小规模量产。

如何克服测井技术的“一孔之见”？

优化设计“探得远”，激发声源“听得清”

常规声波测井的探测范围往往局限在井周几厘米至几十厘米的范围内。这就像两个人说话时，双方距离越远，越难以听清对方的话；而如果藏在密闭空间里说话，外面人听到的声音会更小。由于测井是在非常狭小的钻孔中进行的，常规测井技术的探测范围非常有限，因此测井技术常被人形容为“一孔之见”。

如何既“探得远”又“听得清”？

“对声波测井来说，这就需要不断优化设计激发声源，让声波不仅传得更远，还能‘戴上瞄准镜’，具有‘指哪打哪’的方向性。”陈德华介绍。

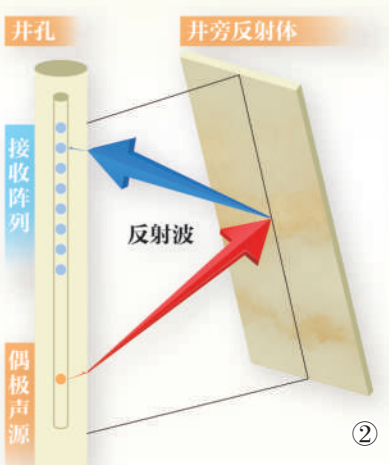
我国超声学领域几代科技工作者从上世纪80年代就开始探索。经过不懈努力，近年来，中科院超声学实验室不断发展低频横波远探测技术，将声波测井的探测范围拓展到了井周数十米至上百米。

“偶极横波远探测的声源相较于普通声波测井的频率范围要低很多。低频声波衰减较小，故而能实现更远的横向探测距离。”陈德华说，“同时，偶极声源的信号存在方位差异性，采用多分量的声波发射和接收，通过信号处理可以确定声波反射体的方向，这就让声波具有了指向性。”

2012年，中科院超声学实验室成功研发出偶极子阵列声波测井仪；2013年，开始着手横波远探测关键技术的研究；2021年底，第三代横波远探测成像测井仪在超深井中实现了清晰的井外地层成像及8340米深度的探测纪录，创下该类国产仪器深度探测纪录，对保障国家能源安全具有重要意义。



偶极横波远探测测井示意图



图①：新疆富满油田II区地面骨架工程富源联合站施工现场。

谭 辉摄(影像中国)

图②：偶极横波远探测测井示意图。

中国科学院声学研究所供图

图③：石油工人在塔克拉玛干沙漠腹地挑战超深层勘探开发极限。

苏 华摄(影像中国)

图④：2022年10月3日，深水导管架平台“海基一号”在南海陆丰油田作业区正式投产。图为“海基一号”陆丰15-1平台。

新华社记者 梁 旭摄

图⑤：4月10日，“深海一号”超深水大气田完成远程遥控生产改造与调试工作，成为世界首个具备遥控生产能力的超大型深水半潜式生产储油平台。图为“深海一号”平台。

本报记者 张武军摄

图表数据来源：国家能源局

新生活 新体验

国产智能重卡越来越“聪明”

本报记者 沈文敏

在通往我国最大集装箱港口的上海浦东新区东海大桥上，最右侧车道路面被黄色油漆醒目地喷涂为“10-13(时)自动驾驶专用”。数辆与众不同的重卡在依次有序行驶，车辆之间保持着相同车距。超车经过这些重卡时，会发现主驾驶座处于自动驾驶状态。这就是我国自主研发的全球最长L4自动驾驶商业化运营智能重卡。

作为智能重卡的一名安全员，龙在勇在这条线路上往返了近3年。每天上午10时，他都会准时出现在东海大桥临港的桥头，登上一辆智能重卡的主驾座，开始对重卡的智能驾驶过程进行“监督”。

“开始测试！”龙师傅接到手持电台指令后，将方向盘旁边的一个按键切换为自动驾驶，他便起身离开主驾座位，倚靠到了驾驶室第二排，副驾驶的测试员胡广权则注视着前方的屏幕。原来，这是智能重卡进行的“减员化”运营测试。

“开这个大伙最大的感受是安全省力。”龙在勇有着20多年的驾龄，开重卡也有10年以上，

但一开始他还是蛮紧张的，不相信这么大的车能自己开。

曾经有几次相邻车道的社会车辆经过，司机故意向右偏移方向别车试探一下，结果智能重卡均能及时主动刹车，化险为夷。“隔一段时间车辆自动驾驶系统还会升级，车越来越‘聪明’了。”他笑着说。

说起省力，龙师傅更是感触很深。“以前人工开重卡到港口取箱，还要排队办票，遇上天气不好或夜晚运输，一天得工作十七八个小时，非常考验体力，容易疲劳驾驶。现在只要在平板电脑上一点，箱子自动派单，重卡到达就能提，而且可以全天候运输，大大提高了生产效率。”

从东海大桥桥头到洋山港四期自动化码头这段往返72公里的物流环线，涵盖了高速公路、自动化码头、上下匝道等复杂情况，是自动驾驶测试的天然场景。从2022年7月18日开始，除周末和法定节假日外，每天10点到13点，东海大桥双向最外侧的第三车道就被作为仅供自动驾驶测试车辆

使用的专用车道。

龙在勇所在的这辆智能重卡，当天被编排在车队的第二辆，以45公里的时速行进，它的方向盘左右小幅转动，使车辆始终保持在车道中间行驶。根据前方车辆状态，智能重卡自动减速、加速。

在行驶过程中，车辆一辆接一辆地从左侧超越上来，有时相隔距离非常近，坐在智能重卡上的记者看得心里直发怵，但智能重卡还是自顾自地向前，异常平稳。在即将到达洋山港终点的时候，恰巧遇到“自动驾驶专用”车道上有道路维护设置的警示物品。只见车辆主动降低车速，并在确保安全的前提下，自动侧身向左偏打方向，完美实现变道。

东海大桥作为洋山港区的唯一陆路通道，其通行效率对港口发展至关重要。根据试点项目规划，到2023年底，上海将在洋山港—东海大桥—临港园区，投入不少于60辆自动驾驶智能重卡，累计完成集装箱集疏运量不少于20万标箱。

图⑥：在上海浦东新区的东海大桥上，处于无人驾驶状态的智能重卡在高速行驶。

上汽集团供图

图⑦：自动驾驶状态下的智能重卡。

本报记者 沈文敏摄

本版责编：孟 扬 唐中科 曹怡晴
版式设计：张丹峰

