

工业软件让油气开采更聪明

一直以来，石油工程师们靠着岩心样本和多年积累的工作经验，在茫茫地下寻找油气藏的踪迹。如今，坐在中控室里，年轻的工程师们只需轻点鼠标，即可清晰看到地下数千米深处的储层分布，实时预测水力压裂“地下油气高速通道”的裂缝形态。

“以往，这样一套方案需要五六名资深技术骨干耗时半个月，反复核对几十份地质资料、多款国外软件间来回计算上百组的数据才能敲定。随着FrSmart等一批国产自主可控工业软件的崛起，不仅将工程师从繁冗的跨平台劳作中解放出来，更让中国油气开发首次在软件底层拥有了自己的‘话语权’，真正打破了国外产品在油气勘探开发领域的长期垄断格局。”中国石油勘探开发研究院企业高级技术专家杨立峰说。

从过去依赖进口软件、跟着国外技术路线走，到如今把几位石油人的行业经验沉淀进代码，科技工作者们用数字技术高效解构地下数千米的储层“黑箱”，打造出地下油气“高速公路或路网”。国产工业软件为助力油气高效开采、保障能源安全，开辟出一条全新的智慧赛道。

自研工业软件势在必行

很长一段时间里，油气勘探开发领域的核心工业软件，几乎是国外厂商的“一言堂”。压裂设计、油藏模拟这类关键工具，不仅单套采购成本动辄数百万元，后续每年的升级服务费还要再掏数十万元，更重要的是，所有录入软件的地质数据、生产数据，都要经过进口软件的后端处理，核心数据安全始终像一把悬在行业头顶的利剑。

“遇到国内复杂的致密油、页岩气储层时，经常会出现软件运行‘水土不服’的情况。”中国石油勘探开发研究院压裂酸化技术研究所地质工程一体化室主任、一级工程师刘哲说，这些软件模型大多是基于海外简单地质工况开发的，放到国内复杂多变的油气储层里，模拟出来的结果与实际施工效果经常差一大截。想要让海外软件企业做定制化调整，不仅要价极高，沟通周期更是长达一两年，完全跟不上国内油气田快速开发的要求。

早在20世纪90年代，我国就以科研项目为依托开发软件程序。但由于缺乏长期有效的研发投入、持续稳定的人才队伍等核心技术积累和稳定的国产化软件应用生态，一直未形成工业化产品。据不完全统计，仅用于储层改造优化设计的相关软件进口费用就高达10亿元以上。

“软件与硬件装备一样，是核心技术的载体，‘要不来、买不来、讨不来’。”杨立峰告诉经济日报记者，近年来，国内每年有几千口水平井和万余口直井进行储层改造，产业链产值千亿元以上。无论是从投入成本看还是从能源安全考虑，都离不开高精度、高效率且拥有自主知识产权的工业软件做支撑。自主研发适应我国发展实际的储层改造技术工业化软件势在必行。

为了啃下这块“硬骨头”，中石油研发团队聚焦全国重点油气田的问题需求，前后花了6年多时间，基于岩石力学、断裂力学、渗流力学等经典理论，深入融合大庆、长庆、新疆等国内主力油气田数十年的储层改造经验与认识，一行一行地编写成算法逻辑，最终研发了拥有完全自主知识产权的FrSmart大型地质工程一体化压裂优化设计软件。这款软件经过万余口井的现场检验，成功入选中国石油2024年十大科技进展，把曾经“卡脖子”的关键核心技术牢牢掌握在自己手里。



工作人员在大庆喇嘛甸油田智慧指挥中心监测新能源设备运行数据。 新华社记者 王 松摄

重构油气开采全链流程

向低渗透、深层油气藏，海洋油气藏，非常规油气藏等领域进军，是近年来我国油气资源勘探开发的新方向。不过，这些资源绝大多数品位低，需要通过储层改造提高油气产量。

“常规的做法，就是通过地面高压设备向地下几千米的地层注入大量‘液体’和‘砂子’，形成地下油气开采的高速通道。这就是压裂技术，它是打开油气资源宝库的‘金钥匙’，也是助力油气增储上产的工程技术利器。”刘哲坦言，过去遇到重点井的压裂方案设计，“老专家的经验”是最宝贵财富——压裂方案怎么定、压裂材料怎么选，很大程度上取决于技术骨干的实际经验，但面对地下数千米的复杂储层，再丰富的经验有时也难以覆盖所有可能性。

国产工业软件的出现，直接把油气开采从“经验驱动”推到了“数据驱动”的新阶段。就拿储层改造这个核心环节来说，高质量的压裂方案、精准压裂的实施，离不开专业的“导航系统”——压裂软件，就像医生做手术需要CT影像一样，工程师需要软件来模拟裂缝走向、计算施工参数，避开风险层位，实时优化施工方案等。

“我们研发的FrSmart软件，就如同压裂工程的‘自动驾驶’系统，通过压前模拟方案优化和实时裂缝扩展分析，将非常规储层中的每一份油气资源高效产出，为能源安全保驾护航。”杨立峰说，在现有可借鉴资料不足的情况下，研发团队内联昆仑数智科技有限责任公司、东方地球物理勘探有限责任公司以及大庆油田、长庆油田、西南油气田、新疆油田、吉林油田，外联中海油、延长石油和国内多家知名高校等单位，组成“产、学、研、用”联合攻关体，攻克了非平面全三维裂纹模拟技术、考虑二维天然缝的复杂裂缝模拟等技术难题，构建了地质工程一体化算法体系，实现了国产压裂软件零的突破。

不止是压裂设计环节，国产工业软件已经延伸到了油气开采的全链条，带来的不只是效率的提升，更是行业能力的代际升级。借助工业软件，几代人积累的宝贵经验被转化成可复用的数字资产，即便是年轻技术人



中国石油勘探开发研究院工程师利用FrSmart软件进行决策模块试验。 (资料图片)

员，靠着软件辅助也能快速拿出高质量的设计方案。

为更多油井装上智慧引擎

近日，国务院国资委“基础软件与工业软件专题研修班”学员，到访中国石油勘探开发研究院开展现场教学活动。40余家中央企业的青年科技领军人才，实地观摩了以FrSmart等为代表的国产油气工业软件研发与应用最新成果，深度体验国产工业软件关键核心技术攻关与产业化生态建设成就。

不做纸上谈兵的“花瓶软件”，要打造经得起现场考验的工业级产品。杨立峰说，研发团队采用“边研发、边应用、边反馈、边迭代”的敏捷开发模式，每一个版本功能开发出来后，都送到油田现场接受检验，而现场的反馈意见又体现在下一个迭代版本中。

当前，国产工业软件发展已跨越“从0到1”的突破阶段，正式进入了“从1到N”的规模化迭代期。AI和工业软件的深度融合，正在成为行业明确的发展方向，未来的油气工业软件将不再只是一个辅助的计算工具，而是能够自主思考的“行业智能体”，

但这一切都必须扎根工程实践。

“好的技术方案，往往来自对工程实践的深刻理解。一个优秀的工业软件工程师，首先必须是优秀的现场工程师。”在杨立峰看来，一个优秀的石油软件团队不仅能深耕技术细节，也能放眼行业未来，在不断攻克技术难关的同时，也不断拓展产业发展的边界。

专家认为，未来，云化和平台化将是国产工业软件的一个重要发展路径。未来的油气工业软件将不断迈向云端协同平台，行业整体数字化门槛将大幅降低。同时，数字孪生技术的深度落地，让油气勘探开发数值模拟更精准，助力实现对油气藏全生命周期的科学管控。

从“人拉肩扛找石油”的艰苦创业年代，到如今用数字技术为地下储层精准画像的智慧开采时代，以FrSmart为代表的国产工业软件，正在成为中国石油工业高质量发展的全新数字底座。国家发展改革委国家信息中心信息化和产业部研究员张晓兰表示，随着更多自主可控工业软件不断迭代升级，更多油井有望装上中国自己的智慧引擎，为保障国家能源安全注入数字力量。

回收利用好新能源
汽车废旧动力电池，是
构建循环经济体系的重
要一环，对于保障资源
安全、推动绿色低碳发
展、减少环境污染具有
重要意义。

近日，工信部发布《关于废止和修订新能源汽车废旧动力电池“梯次利用”相关政策标准以及规范有关行业活动的公告》，既废止了《新能源汽车废旧动力电池综合利用行业规范条件(2024年本)》中“梯次利用”有关条款，也提出不再开展“梯次利用”企业公告管理，并将100家已公告的“梯次利用”企业移出名单。

所谓“梯次利用”，是指将废旧动力电池经检测、分类、拆分、重组等工序，制成电池产品并用于通信基站备用电源、储能等对性能要求相对较低的场景，最大化挖掘退役动力电池剩余价值，避免直接拆解造成的资源浪费。

一个本意是“变废为宝”的绿色概念，为何最终被政策彻底叫停？原因在于，废旧动力电池在“服役”的过程中经历了复杂工况下的考验，普遍存在一致性差、余能各异等问题。若仅作简单拆解和重组，缺乏严格的质量控制流程，生产的电池产品容易因过充、短路、挤压等情况引发热失控，带来安全隐患。

同时，还有部分企业借“梯次利用”之名，行生产不合格电池产品之实。长期以来，“梯次利用”这个标签在某种程度上被市场模糊理解，好像这类产品因为是从“二手”的，就可以在性能和安全上打折扣。一些企业借机将未经充分检测、简单翻新的电池以“梯次利用”名义推向市场，用于电动自行车等明令禁止使用的领域，导致安全事故频发。有数据显示，全品类电动自行车火灾中约33%由非法改装电池引发，而这些改装起火电池中，约80%的电池源自非法拆解、重组后的新能源汽车废旧动力电池。

此外，“梯次利用”和“再生利用”之间也存在矛盾。由于只需简单重组就能卖出，“梯次利用”企业在废旧动力电池回收中出价更高，导致大量动力电池流入“梯次利用”环节。而“白名单”上正规的“再生利用”企业普遍面临“吃不饱”的窘境，产能利用率长期在低位徘徊，大部分企业经营陷入亏损。

废旧动力电池含有锂、镍、钴、锰、铜等高价值金属材料，被称为移动的“城市矿山”。此次叫停“梯次利用”，并非否定废旧动力电池回收利用价值，而是不再把“梯次利用”当成一个特殊的、可以区别对待的产品类别。废旧动力电池做的产品必须和新品一样满足同样的质量和安全标准，承担同等的生产者责任。这让“合规成本高”的正规企业不再吃亏，有助于扭转“劣币驱逐良币”的现象。

回收利用好新能源汽车废旧动力电池，是构建循环经济体系的重要一环，对于保障资源安全、推动绿色低碳发展、减少环境污染具有重要意义。随着我国新能源汽车产业快速发展，动力电池退役量逐年攀升，单纯的物理搬运和拼接无法释放其价值。告别“梯次利用”概念套利，握稳安全方向盘，意味着我国动力电池回收行业正在驶入规范化再生利用新阶段。

本版编辑 陶 珺 美 编 倪梦婷

重点行业节能降碳改造全面提速

本报记者 徐蕾洁 黄 鑫

近日，工业和信息化部、国家发展改革委、市场监管总局联合印发《关于组织开展2026年度重点行业能效、碳效领跑者企业推荐工作的通知》（以下简称《通知》），部署开展能效、碳效领跑者企业推荐工作。

《通知》在稳步扩大能效领跑者企业推荐行业范围的基础上，创新开展碳效领跑者企业推荐工作，进一步强化能效、碳效对标达标，引导工业企业对标行业先进实施节能降碳改造，支撑能耗双控逐步向碳排放双控转变。

当前，我国正从能耗双控全面转向碳排放双控，深入开展能效、碳效领跑者遴选，是推动这一转型从单点突破迈向系统协同的关键举措。中国电子技术标准化研究院副院长陈大纪介绍，“十四五”时期以来，我国修订发布的30余项强制性能源消耗限额标准技术指标较旧版标准均有大幅提升。领跑者企业的先进实践，直接推动了能效标准技术指标的动态升级，形成了“标杆引领—标准提升—行业跟进”的良性循环。围绕重点行业深入开展能效、碳效领跑者行动，有利于加快产业结构、能源结构优化调整，助力产业智能化、绿色化、融合化发展。

节能和能效提升是最清洁、最经济的“第一能源”，也是二氧化碳减排的最主要路径。据了解，《通知》聚焦电解铝、水泥熟料、合成氨、乙烯、甲醇

5个高碳排放行业，首次开展碳效领跑者遴选，推动行业企业生产环节节能降碳。

能效、碳效领跑者企业推荐工作是建材行业加快推进绿色低碳转型的重要抓手。中国建筑材料联合会科技发展部主任罗宁认为，领跑者指标将为建材行业节能降碳改造、碳排放评价及标准制定修订等提供重要参考，引导建材行业进一步聚焦节能降碳量更为显著的前沿性颠覆性技术研发、中试以及规模化应用，加速全流程节能降碳改造，提升建材行业绿色低碳发展水平。

《通知》提出了原油加工、合成氨、乙烯等22个石化化工细分行业的申报范围，这些细分行业是节能降碳诊断和改造的重点对象，不少企业存在系统和装置能效偏低、余热利用不足、绿色能源使用比例有待提高等问题。

对此，中国石油和化学工业联合会党委委员、副会长凌逸群表示，企业开展节能降碳诊断，需要及时、权威的对标指标作为参照，以避免改造方案目标模糊、节能降碳潜力测算偏差较大等问题。通过遴选能效、碳效领跑者，形成分产品、分工艺的能效、碳效标杆阈值，有利于企业对照标杆、定位差距，精准识别系统、装置的运行和管理潜力空间，大幅提升诊断精准度和技改务实性。

凌逸群建议，石化化工产业链长、细分品类多、工艺路线差异大，节能降碳管理和技术进步等

工作都需要加强企业间的交流，选树能效、碳效领跑者，为企业节能降碳工作提供优秀案例，有利于营造节能降碳“比学赶帮超”的浓厚氛围，以标杆企业为样板，推动大中小企业分层对标、梯度提升，逐步缩小行业内部能效、碳效差距，降低石化化工行业能耗和碳排放量，支撑全国如期实现碳达峰目标。

重点行业能效领跑者覆盖行业范围进一步扩大。据了解，《通知》进一步新增工业硫酸、工业冰醋酸、甲醛、苯乙烯和单晶硅5个细分行业。

陈大纪分析，其中，工业硫酸、工业冰醋酸、甲醛、苯乙烯均为重要的基础化工原料，涉及的下游产品众多，其生产过程具有较大的节能潜力；单晶硅是光伏产业和半导体产业的核心基础材料，其能效水平直接关系到我国在全球新能源和芯片产业链中的竞争力。截至目前，能效领跑者企业遴选行业范围已拓展至43个细分行业，实现《工业重点领域能效标杆水平和基准水平(2023年版)》所有行业全覆盖。

工业和信息化部相关负责人表示，下一步，将按照《通知》要求，做好重点行业能效、碳效领跑者遴选推广工作，充分发挥领跑者企业引领带动作用，推广先进节能降碳典型经验，引导重点行业全面实施节能降碳改造，实现重点行业提质降本降碳。



能效领跑者企业
遴选行业范围
已拓展至
43个
细分行业

中石化川维化工生产基地工作人员在对甲醇生产线进行巡查作业。 新华社记者 唐 奕摄