



2025年12月15日 星期一

# 我为祖国献石油：向深层特深层进发

## ——对话中国石油大学(华东)副校长戴彩丽

(上接第一版)类似于倒U形。就我国的油田来说,陆上最大油田——大庆油田在经历了快速增长期后,连续27年实现年均原油5000万吨以上,连续12年实现年均原油4000万吨以上,连续10年实现年均原油3000万吨以上,累计生产原油25亿多吨,占全国陆上原油总产量的36%,如果装满60吨油罐车依次排开,可绕赤道15.6圈。胜利油田自投产以来已累计生产原油超13亿吨,占全国陆上原油总产量的近20%。两大油田作为我国重要的陆上油田都已处于开发的中后期。

现在也有一些油田正处于“当打之年”。中国第一大油气田长庆油田产量连续5年超过6000万吨油气当量(将天然气产量按热值折算为原油产量的换算系数)。渤海油田已建成60多个在产油气田,2024年全年油气当量达3880万吨,其中原油产量超过3600万吨、天然气产量达35亿立方米。以生产天然气为主的西南油气田去年生产天然气超过447亿立方米,年产量当量突破3500万吨。还有塔里木油田、延长石油、新疆油田、西北油田等也都是我国的主要油田。

油气安全是国家能源安全的核心,想要保障好“底线”,就要创新技术、手段,不断增强油气自给能力。

### 油田化学是“隐形功臣”

记者:您学习的是采油工程专业,而现在主要从事采油化学研究。是什么原因促使您作出这么大的跨越?

戴彩丽:报考志愿时,学校当时的采油工程专业只招收两个班,我想物以稀为贵,招生人数少的应该是最好的专业。1993年,我大学毕业,留在学校开发系采油教研室工作。因为对化学感兴趣,又调整到赵福麟老师领衔的采油化学研究小组工作。

赵老师是我国著名油气田开发专家,油田化学奠基人之一。他1952年考入清华大学化工系。1953年,国家以清华大学化工系、石油工程系为基础组建了新中国第一所石油高等学府——北京石油学院,也就是中国石油大学(华东)的前身。他因此成为这所新学校的首届学生。1957年,赵老师从北京石油学院石油炼制专业毕业并留校任教,1969年起逐步创办了石油行业最年轻的方向——采油化学。

申请加入采油化学研究小组时,赵老师提醒我:“从采油工程到采油化学跨度比较大,这是人生方向的问题,你可要想好了!”我的态度很坚定,就这样,我跟采油化学结缘了。在赵老师的指导下,开始了采油化学研究。

那时候,时间充裕,为了补齐短板,我跟着四大基础化学老师,和本科生、研究生一起学习、做实验,完成了无机化学、有机化学、分析化学和物理化学四门专业基础课程的学习。从未想过图什么,就是努力、积累,顺其自然,水到渠成。

记者:什么是油田化学?油田化学在油气开采过程中扮演什么样的角色,能否做一个简要解释?

戴彩丽:油田化学是研究油田钻井、采油和原油集输过程中化学问题的科学,其利用化学剂和化学方法解决石油开采的难题。

油田化学是石油行业的“隐形功臣”,主要包括钻井化学、采油化学、集输化学3个部分,每个部分都各有侧重,如在钻井过程中,使用各种功能化学剂改善泥浆的性能,防止井壁坍塌、漏失、井喷,提升钻速。在采油过程中,使用表面活性剂驱油剂更好地将原油从岩石表面剥离,提高原油效率;使用支撑剂防止裂缝闭合,保持裂缝通畅。在集输过程中,使用降黏剂,降低原油黏度提升输送效率;使用缓蚀剂在金属表面形成保护膜,延缓硫化氢等引起的腐蚀。

我的研究领域主要集中在采油化学,包括油气层酸化、压裂、堵水调剖、消防蜡、水处理、化学驱、降压增注、二氧化碳回注和防腐防垢等工艺技术,主要目的是提高采收率。

### 控水增油是永恒的主题

记者:您提到了“采收率”,这是一个油气开发过程中经常被提及的词。油气资源深埋于数千、上万米的地下,“采收率”该如何提高?

戴彩丽:采收率是采出原油数量与油藏地质储量之比。比如说,油田油藏原始储量是1亿吨,开采出的原油数量是2000万吨,那采收率就是20%。

我国的油田平均采收率不足30%,大庆油田等个别老油田采收率超过50%。以全国现有累计探明石油储量为基数,采收率每提高1%,就相当于增加大庆油田高峰年一年的采油量——5000万吨。这是一个相当可观的数字。

石油储存在有孔隙、洞穴和裂缝的岩石里面,这些细小的孔隙有粗有细,像血管一样分布于岩石中。最初的油田开采利用地层的能量即可把油挤出来。随着开采的深入,地层的能量会逐渐衰减,压力没有了,需要注水压注,实现油田高产稳产。

现在70%的油田都是注水开发,因此几乎所有的油田都会面临高含水的问题,俗称油田开发的“癌症”。我国的高含水油井已超过20万口,控水增油是油田开发永恒的主题。

优势通道调控是实现大幅提高油气采收率的主要方式。地下孔隙并不均匀,像地面一样,有大路也有小路。水进入地下后,喜欢走“大路”“直路”,而且越走越顺,水占据“大路”,油就出不来了。把水控制好,把“大路”“直路”堵住,让它多走“小路”“弯路”,才能把更多的油带出



▲戴彩丽在实验室进行实验。 韩星 摄

▼戴彩丽与学生交流。 韩星 摄



有一点需要强调的是,我们的技术不只是在陆上应用,在海上的应用也较为广泛。以渤海油田为例,相关技术在前期几十口注水井示范应用的基础上,已形成整体推广方案,准备规模应用。

记者:油气资源开发正在转向“非常规领域”,全球非常规油气资源开发现状如何?我国的情况又是怎样的?

戴彩丽:非常规油气资源主要包括致密和超致密砂岩油气、页岩油气、超重(稠)油、沥青砂岩、煤层气等。用传统技术无法获得自然工业产量,需借助新技术改善储层渗透率或流体黏度等条件才能实现经济开采。目前,美国、中国、加拿大、阿根廷等国家均实现了非常规油气资源的商业开发,全球非常规油气产量在当年油气总产量中的占比已从20多年前的10%左右提升至现在的约30%。

2002年,美国率先开启了以页岩油为代表的非常规油气资源开发。截至2024年底,美国页岩油产量约为880万桶/日,约占美国原油总产量的三分之二。

我们国家对非常规油气资源的开发非常重视,将其作为油气产量的重要增长点。2024年,我国页岩油产量快速提升至600万吨,同比增长超过30%,不过这一产量不及我国当年原油产量的零头(2024年我国原油产量为2.13亿吨)。

要想富,先修路,非常规油气储层致密,需要通过储层压裂改造,形成油气渗流通道,才能实现有效开发,压裂相当于在地层中修起“高速公路”。有了提高采收率方面的技术储备,我们在设计非常规油气开发方案时考虑得更长远、更全面,不仅要完成压裂,把“路”修好,还要让工作液尽可能把更多的油带出来。

这就是我们研发的“压裂—增能—排驱”一体化非常规油气资源开发技术。不同于广泛使用的胍胶聚合物压裂液方法,它首次阐明了原油界面强粘附机制,突破了非常规油气储层改造方法成本高、效率低、产能差等应用瓶颈,使油井平均日产油量较对比井提高一倍以上,稳产期提高1.5倍以上。相关技术在胜利、长庆、新疆等油气田规模化推广应用,推动了低渗、页岩油藏提高采收率技术革新。

### 向超深特深油气田进发

记者:油田化学的实践性很强,需要长期驻扎在现场,您认为坚持一线科研的价值在哪里?

戴彩丽:油田化学是一门实践性非常强的学科,实验室的数据再理想、再精准,也不如到现场看一看。咱们国家的各大油田我几乎都去过,有的在沙漠,有的在戈壁滩,还有的在茫茫大海,各个油田的生产环境、地层环境千差万别,必须在一一线才能找到真问题,以更好解决真问题。这也是坚持一线科研的价值所在。

外出讲课时,授课对象经常说我实战经验丰富,实际上这些都是我在一线现场干出来的。2017年,我和团队参与了在哈萨克斯坦的国际项目。通常,国内油田温度多在40℃到100℃之间,这里的地层温度只有20℃到30℃,矿化度高达20万ppm(常用来表示气体浓度或溶液浓度,即百万分率)。原本在国内好用的化学剂在这里遇到了低温、高盐环境,就“睡过去了”,难以正常发挥作用,需要加入引发剂加快反应。加多少?什么时候加?这些都没有规律可循,只能摸着石头过河。我主导方向,小组成员分工执行,日夜攻关,一步步完善方案,最终啃下了这块硬骨头。

老师的一言一行都会影响到学生。我也想通过身体力行、一线实践这种方式,引导学生将科研与现实问题紧密结合,真正做出实用的成果,服务于国家能源事业。从事管理工作后,到一线的时间少了,但我们的团队一直驻扎在塔里木、西北、长庆、渤海等油田一线。遇到问题,我们随时线上沟通、解决。

记者:您是怎样践行科学家精神的?

戴彩丽:科学家精神是科技工作者在长期科学实践中积累的宝贵精神财富,包括胸怀祖国、服务人民的爱国精神,勇攀高峰、敢为人先的创新精神,追求真理、严谨治学的求实精神,淡泊名利、潜心研究的奉献精神,集智攻关、团结协作的协同精神,甘为人梯、奖掖后学的育人精神。

科学家精神不是抽象的,而是具体的,践行科学家精神要求真求实。老一辈科学家特别擅长把复杂问题简单化,简单问题重复做,重复做到极致。我在努力向他们学习,也在努力传承这种“简单思维”。我经常跟学生说,科研小而精,聚焦方向,要做就做到精品至极品。

在科研过程中,我始终坚信大道至简,将复杂问题简单化,做有用的科研,解决真问题,将技术成果转化落地。

记者:能源的饭碗应该怎样端牢端好?您有何打算和规划?

戴彩丽:“能源的饭碗必须端在自己手里”是对我们每一名能源领域科研工作者提出的要求。能源是一个国家经济社会发展的根基,任何时候都不能缺。对我来说,就是坚持真做科研,做有用的科研,做解决问题的科研。油田化学研究好了、做好了,就可以直接“见着油”。

每次看到新技术应用,开采出更多石油,我都特别有自豪感和成就感,因为这是用实际行动为祖国献石油。

超深、特深油气资源正在成为行业新方向,这是保障国家能源安全的重要途径。我和团队将紧跟国家战略需求和行业发展需求,围绕提升超深特深油气资源采收率等问题开展科研攻关,将科研做深、做实,为端牢端好能源饭碗贡献力量。

●油气安全是国家能源安全的核心,想要保障好“底线”,就要创新技术、手段,不断增强油气自给能力

●油田化学是研究油田钻井、采油和原油集输过程中化学问题的科学,其利用化学剂和化学方法解决石油开采的难题,是石油行业的“隐形功臣”

●研发高含水油田堵、调、驱多层次控水提高采收率技术,使常规水驱油采收率最多提高5%,废水处理费用下降40%以上,封窜有效率由80%提高到95%。这一技术在大庆、胜利、塔里木等全国20余个油田广泛应用

●发明了多参数智能响应在线生产及注入一体化工艺与撬装装备,实现了“控水—有限度升压—注水联动”的平衡,将现场控水有效率由不足70%提升至85%。这项技术成果推广应用至长庆、胜利、渤海、阿布扎比等25个国内外油田

●研发“压裂—增能—排驱”一体化非常规油气资源开发技术,突破了非常规油气储层改造方法成本高、效率低、产能差等应用瓶颈,使油井平均日产油量较对比井提高一倍以上,稳产期提高1.5倍以上,推动了低渗、页岩油藏提高采收率技术革新

●“能源的饭碗必须端在自己手里”是对我们每一名能源领域科研工作者提出的要求。能源是一个国家经济社会发展的根基,任何时候都不能缺。对我来说,就是坚持真做科研,做有用的科研,做解决问题的科研。油田化学研究好了、做好了,就可以直接“见着油”

●超深、特深油气资源正在成为行业新方向,这是保障国家能源安全的重要途径。我和团队将紧跟国家战略需求和行业发展需求,围绕提升超深特深油气资源采收率等问题开展科研攻关,将科研做深、做实,为端牢端好能源饭碗贡献力量

来。我带领团队研发的高含水油田堵、调、驱多层次控水提高采收率技术,能够使常规水驱油采收率最多提高5%,废水处理费用下降40%以上,封窜有效率由80%提高到95%。这一技术在大庆、胜利、塔里木等全国20余个油田广泛应用。

不过,我国深层、超深层油气资源超过油气资源总量的三分之一,是重要战略接替资源,这些油气开采面临环境高温、高盐、储层非均质等突出问题,油井同样会进入高含水阶段,让控水增油工作面临更大挑战,化学剂容易失效,无法正常发挥作用。

怎么办呢?需要开好处方,研发“特效药”。经过10余年攻关,我们研发出多种化学剂,形成了一套既能把水

控制好,又能确保油井有压力的技术工艺和装备,达到了控水增油的效果。

具体来说,就是我们在行业内首次提出冻胶分散体机械法制备理念,发明了新一代控水增油冻胶分散体的工业化生产技术。这项成果解决了传统调控剂化学生产工艺复杂的弊端,相关技术指标显著优于国内外同类产品,生产成本仅为同类产品的十分之一。在此基础上,我带领团队发明了多参数智能响应在线生产及注入一体化工艺与撬装装备,实现了“控水—有限度升压—注水联动”的平衡,将现场控水有效率由不足70%提升至85%。这项技术成果推广应用至长庆、胜利、渤海、阿布扎比等25个国内外油田。