责任编辑：魏佳琪 秦紫函 联系电话：59964339 E-mail:qinzih@sinopec.com 审 校：张春燕 版式设计：赵 博 王 强

聚焦效益开发 激活难动储量

一直以来，中国石化上游企业大力推进科学开发、精细开发、效益开发，扩大效益建产规模，持续夯实稳产基础，确保油气产量效益增长。自本期起，本版推出油气稳产增产系列报道，分别聚焦中国石化上游企业效益开发难动用储量、控制和降低自然递减率、提高采收率等三个方面的经验。

加大难动用储量开发力度，实现效益开发升转化为油气产量，是油气田企业的重要任务之一，对保障我国能源安全和国民经济的长期稳定发展具有重要意义。据统计，目前我国累计探明未开发难动用石油与天然气地质储量分别达到60亿吨、5.1万亿立方米，是油气田现实、可依托的接替资源。

近年来，中国石化持续推进难动用储量开发实践，探索难动用储量开发新技术、新理念、新机制，难动用储量开发效益明显改善，逐渐成为油气田新的效益增长点。本期介绍相关企业在效益开发难动用储量方面的经验和成绩，敬请关注。

专家视点

探索新技术新理念新机制 进一步解放难动用储量

□蒲 军

难动用储量是指地质条件复杂、资源品质差、常规技术难以经济有效开采的探明未开发储量。随着油气勘探开发工作的深入，寻找优质储量的难度不断增加，资源品质劣质化趋势愈加明显。

据统计，目前我国累计探明未开发难动用石油与天然气地质储量分别达到60亿吨、5.1万亿立方米，是油气田现实、可依托的接替资源。在当前易开采油气资源逐渐开始枯竭，而国内石油需求日益增长的背景下，加大难动用油气储量开发力度，实现效益开发开转化为油气产量，成为油气田的重要任务之一，对保障我国能源安全和国民经济的长期稳定发展具有重要意义。

近年来，中国石化持续推进难动用储量开发实践，探索难动用储量开发新技术、新理念、新机制，难动用储量开发效益明显提升，逐渐成为新的效益增长点。

储层精细表征与"甜点"评价是关键。研发了基于数字岩芯的高精度微纳尺度孔喉定量分析技术、砂泥岩薄互层地震预测技术、小尺度缝洞体地震描述技术和储层质量差异表征方法，实现了基质储层非均质性刻画；形成了测井—地震—地应力等多信息融合的多尺度裂缝描述与预测方法，实现了从"千米级"到"米级"裂缝定量表征；构建了基于岩电相（孔隙结构）分类的含油饱和度计算新模型，实现了含油非均质性刻画；形成难动用储量高精度三维地质建模技术，构建储量评价参数体系及概率模型，建立了难动用储量分类及"甜点"评价标准。

加强研究针对性开发对策是效益开发的前提。形成了基于动态资料约束的复杂储层试井解释方法，降低了储层及裂缝解释参数多解性；攻关复杂缝网定量表征技术、高性能网格剖分方法和高效模拟技术，实现了基岩—多尺度裂缝耦合流动模拟；搭建"油藏—压裂"交互优化平台，为难动用储量一体化模拟和整体优化提供了手段；针对不同类型难动用储量分别提出了高效开发对策，包括致密油水平井"压+注+采"一体化开采、多轮次井组整体压吐开发、特低渗压驱一体化开发等。

工程工艺技术攻关是提质提速增效的重点。形成了优快钻完井技术系列，包括高威岩能力PDC钻头、适配性井眼轨道设计及控制技术等，配套推广"井工厂"模式，钻完井周期可缩短30%以上；形成了与储层特征相适应的体积压裂技术系列，大幅增加了储控储量，提高了储量动用程度。

随着技术进步及体制创新，过去被视为"鸡肋"的难动用储量焕发了新的生机。但难动用储量是个相对概念，未来向"深水区"进军仍需紧紧抓住提高单井产能、降低稀油成本这两个关键点。

第一，做好科技攻关项层设计。以问题为导向，深化关键技术研究，统筹多学科、多专业协同攻关，建立基础理论、技术攻关与开发先导试验"三位一体"的科研模式，推动难动用储量开发关键技术持续突破。

第二，继续推进国内外技术合作。以国际化视野把握技术前沿，与国际、国内高水平研究机构强强联合攻关，进一步突破低成本提产能和提高采收率技术瓶颈，为难动用储量开发提供技术支撑。

第三，加强政策研究，完善促进合作开发的政策机制。改善合作开发模式，分散项目投资风险，在体制上真正形成利益共同体，建立起管理更规范、运行更高效的公司体制和机制。

（作者单位：石油勘探开发研究院）

合作模式迭代升级 沉寂资源活力迸发

□集团公司石油工程领域高级专家 万绪新

2017年起，胜利石油工程与胜利油田共同开展难动用储量合作开发。6年多来，两家企业携手克服重重困难，累计动用储量1.77亿吨，特别是通过一体化深度融合，将合作模板迭代升级到3.0版本，仅2023年就开发动用储量4500万吨、新建年产能65.6万吨、累计产油86.5万吨。

难动用储量合作承载着胜利油田效益动用搁置储量的希望，承载着胜利石油工程适向技术高场企业的转型需求。这项合作从最初的胜利石油工程不直接投资的1.0版本到开始小额投资的2.0版本，再到胜利石油工程可对未动用储量区块独立承包，自主设计、自主决策、自主施工、自主运营的3.0版本，实现了油田和工程双方效益最大化，打造出石化上游板块合作开发的典范。

合作开发的迭代升级，深入推动了上游企业共享共赢，也预示了将来沉寂资源活力磅礴迸发的"大场面"。总结来说，有3个一体化的经验：一体化路线久久为功，即双方共同推进合作模式的拓展、合作市场的拓宽；一体化技术轮轮迭代，即双方共同推动思维认知的迭代、工程技术的迭代、施工装备的迭代；一体化团队技术合进，即双方共同开展一线技术骨干的培养、科研专家的培育。

2024年，胜利石油工程面对钻井能力增强与工作量被缩的矛盾，要从助力油田高效建产和提产能出发，发挥工程优势，以快制胜、以寄致效。

第一，以高效建产弥补工作量"饭放在厨房里"，目前胜利油田还有近10亿吨未动用储量，要继续细分合作区块，将每个难动用区块根据效益指标分类定级，优选规模大、效益好的区块进行施工。同时，要从钻机优选、设备适配到装备升级配套全方位考虑技术潜能，要定一体化快装快打基础，逐步形成集约化生产管理模式。

第二，以提高产能争取计划外工作量。通过对博兴、牛庄、民丰、渤南、利津等次级油陪的51口探井及112口开发井进行总结，胜利石油工程将直面勘探开发"卡脖子"难题，主动转变观念，先找准油泥岩发育、无机孔隙多、近源充满度高的小层，有效识别和基于利用微裂缝，巧妙设计"层、带、段"三者合一，实现避开涌漏风险、有效沟通裂缝和用料减量。

第三，以简能团队迎接新形势新挑战。2023年8月以来，胜利油田与胜利石油工程开展双向挂职，10名胜利油田核心部门骨干纳入胜利石油工程难动用项目，胜利油田地质院、采油院分别成立了以副院长为核心的难动用及页岩油骨干团队，并纳入胜利石油工程难动用项目技术管理体系，搭建起"人才随载挂、技术随真用"的一体化人才成长平台。

（孙金鑫 彭大为 采访整理）

缝洞型碳酸盐岩油藏 塔河油田

深化认识转变模式 解开难动用"封印"

□本报记者 王福全 通讯员 耿 甜

"塔河油田碳酸盐岩油藏未动用储量达到4.22亿吨，占已探明储量的29%，实现这些储量的效益开发，是保障老区产量硬稳定的一道必答题。"西北油田勘探开发研究院副院长蒋林说。

2023年，西北油田塔河油田攻坚不同区域、不同类型的难动用储量，新建年产能76万吨，新增动用储量2580万吨，均创历史新高。

转思路 "啃"下超稠油硬骨头

西北油田勘探开发研究院塔河开发研究所副所长张晓已研究稠油开发16年，即便如此，当他和同事面对于奋井区的原油开发时，也犯了愁。

于奇井区属于超稠油区，原油流动性极差，且高含蜡、高含硫，是西北油田十多年都没"啃"下来的硬骨头。

"以前研究的目标层系是浅层缝洞体。"张晓说，"如果在更深的地层储藏有油气，那它们受浅层构造运动的破坏会不会更小？储层发育应该更好，空间会更大。"

科研人员开展了地震高精度资料采集解释、油藏地质再认识等研究，创新形成了强洞蚀区储层有效性描述技术、应用新技术，他们发现中深部断控缝洞油气储集体较浅层缝洞体油气更为发育。

经过不断论证，3条断裂带和1个夹持区被确定为有利目标区。2022年5月起，科研人员先后部署于奇5-7X、于奇3-2CH等井，均取得油气突破。沉睡多年的超稠油终于"动起来了"。2023年，该井区投产油井15口，区块日产量由65吨提升至520吨，新增动用储量920万吨。

拓认识 次级断裂中深层获"丰收"

塔河油田西部包括塔河10区、12区、托甫台等区块，次级断裂带探明地质储量高达5400万吨。由于区块整体表现为断裂下切深度较浅、平面连续性较差，开发人员只能将油井靶点控制在进入产层百米左右的深度。

科研人员研究大量的实钻测井、取芯资料，逐渐证实纵向上表层、中深层储层的类型存在差异。

为了查清差异产生的原因，他们抽丝剥茧，发现由于岩溶作用差异，次级断裂纵向上储层发育就像一块立体的"三明治"。表层发育下渗型裂缝-溶孔类储层，中深层发育承压向上型溶孔类储层。开发层系内还发育两套相对稳定的泥晶灰岩致密层，增强了表层、中深层储层的分层分隔性。

在新认识指导下，科研人员重点开展了次级断裂分类分级评价，在西部托甫台区块优选出12条断裂带，将中深部区域的有效储层厚度拓展到280米。

2023年，塔河油田西部落实储量1920万吨，投产新井14口，并均日产油能力25吨，显现出次级断裂带中深层良好的效益开发前景。

变方式 "先天不足"区块单井产能翻番

与西部次级断裂带中深层的优质储量相比，塔河油田碳酸盐岩油藏储层欠发育区的难动用储量"先天不足"。

主要分布在塔河中西部的这部分储量，储层普遍具有断裂带间岩溶作用弱、储层类型以小缝洞为主、油井普遍产能较低等特征。

近年来，西北油田深入开展地质工程一体化研究，形成了基于缝洞核带结构的"近核心""进核心"钻井轨迹优化技术。

他们利用地震属性将缝洞一一雕刻出来，创新应用空间定位井轨迹技术，多个缝洞体就这样被穿到了一起。

"我们还制定了一井一模型、一洞一模拟的储层改造方案，完善升级钻完井一体化开提动用技术，形成并优化一井多控技术。"西北油田勘探开发研究院工程师张振哲说。

2023年，西北油田针对储层欠发育区块部署油井33口，成井率高达88%，并均日产油能力26.2吨。其中，TH121184H井通过一井多控技术，同时动用断裂破碎带和暗河管道两种不同类型的缝洞体，产能较单一动用方式翻番，日产油能力达50吨。

低渗致密油藏 胜利油田

升级合作更新技术 唤醒"沉睡"多年储量

□徐海峰

胜利油田桩西采油厂桩80、桩85两个高成本区块，日前由胜利石油工程公司独立承包。这两个区块以深层低渗透油藏为主，因产能建设成本高，一直"沉睡"在地下。胜利油田通过与工程公司合作，尝试推动低渗未动用储量效益开发，希望在拿到产量的同时见到效益。

针对剩余资源动用难度越来越大的现状，2023年，胜利油田制定《难动用储量合作开发管理办法补充规定》，区块由胜利石油工程公司独立承包，自主决策、自主运营，双方通过大幅度提高单井产能实现效益最大化。

低渗致密油藏具有"深、薄、贫、散"等特点。"低渗致密油藏开发难度非常大。"胜利油田开发地质高级专家杜玉山说，据测算，90%以上的低渗致密油藏储量盈亏平衡油价超过80美元/桶，这意味着动用这些储量需要高额的费用。

胜利油田与胜利石油工程公司通过全力推动机制、管理和技术创新，实现了未动用储量在40-50美元/桶油价下效益开发。通过合作，东部陆上新区单井产能大幅提升，百万吨产能投资大幅降低，胜利石油工程公司钻机动用率明显提升，实现双赢。

在合作机制创新的背景下，技术创新依旧是推动增产、降本的关键。围绕"大幅度提高单井产能，降低开发成本"的理念，胜利油田做实地质工程一体化，形成了提高单控、超前压驱、优快钻井、高效压裂技术系列。

在精细"甜点"刻画的基础上，通过大斜度井多窄油层提高单井控制储量，平均单井控制储量由6万吨提至10万吨；所有新区方案先开展压驱注水增能，提升地层压力后再投产油井；协同优化井身轨迹、提速工具、钻进参数等，钻井周期降幅超50%；应用组合缝网压裂工艺，施工排量和加砂强度实现大幅增长。

在3500米地下识别10米薄油层，曾经是被探的"禁区"。义176-渤深4示范区目的层最薄处仅5米，使用常规开发方式难以效益建产。科研人员开展基于多域体数据驱动的构造精细解释和储层预测攻关，实现了3500米以下5米薄储层精准识别，压裂成本降低35%。

低渗致密油藏效益开发是一项庞大的系统工作，涉及地震、地质、油藏、钻井、压裂、地面等多专业学科。科研人员通过多专业融合，创新形成了高精度"甜点"地球物理预测、井型井网适配优化、优快钻井、组合缝网压裂全过程优化等技术，实现了钻前预测、钻中监测、钻后评价。

"我们不断整合最优方案、最优技术，共同为效益开发出谋划策，沉寂多年的储量终于'动起来了'。"胜利油田低渗透改造高级专家李爱山说。

常压页岩气藏 涪陵常压页岩气田

钻试采一体化技术 效益开发复杂气藏

□谢 江 刘 超 姜建琼 黎 琴

截至1月底，涪陵页岩气田白马区块焦页107-2HF井和焦页147-1HF井累计生产时间均突破1000天，累计产气量分别超4100万立方米和4800万立方米，在国内常压页岩气井中处于较高水平。

白马区块位于涪陵页岩气田南部，具有"构造复杂形态多样，既常压又深层"的特点，压裂改造难度大，储量整体动用率不高。江汉油田以"高效成井、高效改造、高效试采"为核心，形成白马区块分区分类差异化钻试采一体化工艺技术系列，助推白马复杂构造区常压页岩气藏实现规模增储上产和效益开发。

钻得快更要钻得准

目前，焦页149-2HF井创白马区块三开水平段机械钻速最快、钻井周期最短等多项纪录。

白马区块溶洞、裂缝、断裂相对发育，钻进过程中井漏风险高。对此，科研人员形成差异化井身结构设计方案，建立不同尺度裂缝性地层堵漏材料的类型、粒径及浓度优选图版，提出提高地层承压复合堵漏方法。

他们加强钻井施工过程管理，落实井下技术风险及保障措施，强化入井工具管理和钻具组合优化，做好钻井液性能维护与复杂故障预防。

"集成的技术和经验应用效果显著，白马区块平均机械钻速提升32%，优质层穿行率达98%以上。"江汉油田工程院油田钻井工艺专家秦文斌介绍。

压得开更要见产量

2023年12月19日，白马区块焦页159-3HF井压后试获日产气21.6万立方米，刷新白马区块常压页岩气单井测试产量最高纪录。

为解决深层页岩气精准压裂技术难题，江汉油田攻关研发"压裂逆向设计"技术。该技术能在"数值模拟软件"中建立精细的可视化地质模型，开展不同参数的水力压裂模拟，为压裂设计的修改和优化提供重要参考，并形成最优压裂设计参数。

此外，针对常压页岩气返排困难及深层页岩改造体积受限的难题，他们在限压范围内追求极致化压裂参数改造，扩大有效改造体积。

2023年，采用上述压裂工艺，白马区块焦页159-2HF、焦页159-3HF两口探测超过3500米的深井，试气产量整体提高两倍以上，单井测试页岩气日产量提升为9万-22万立方米。

采得出更要稳得住

焦石坝页岩气开发大获成功后，科研人员认为在白马区块照搬焦石坝区域产能评价技术就可以。实践后发现，这条路根本行不通。白马区块属于常压页岩气，地下构造破碎、断层异常发育，白马区块气井生产特征具有压力低、产水低、初期生产能力低、弹性产率高的特点。

▶江汉油田工对焦页107号采气平台的新投产井进行生产压力调整。

通过持续调研，科研人员综合考虑白马区块的地质特征和气井的生产动态特征，形成常压页岩气产能评价技术，为常压页岩气藏开发提供有效技术支持。

科研人员应用该技术预测焦页148-1HF井可采储量超8000万立方米，并据此制定该井产建方案并合理配产。该井投产初期日产气近5万立方米，目前已投产超700天，累计产气超3000万立方米。

超深层生物礁群气藏 元坝气田

十年磨剑创新 解世界级难题

□薛 婧 柯光明

"我们解决了超深层低丰度复杂生物礁群气藏开发评价及部署的世界级难题，奠定了元坝气田高效开发的基础。"西南油气开发专家吴亚军说。

2007年，超深层复杂生物礁群大气田——元坝气田发现。但要实现高效开发，摆在西南油气田科研团队面前的是一条条技术"鸿沟"：埋藏超深、礁体小而散、气水关系复杂，国内外尚无成功开发的先例。

"2.5亿-3亿年前活跃在古海洋中的古生物，经历冷热巨变，逐渐沉积演化，形成小而分散的生物礁。"吴亚军介绍，"90个多期形成的、储层构型多样的单礁体就这样成串分布在地下，75%以上礁盖都小于1平方千米，高效动用难度很大。"

西南油气经过10余年攻关实践，取得了一系列关键技术重大突破，形成了多项创新成果。

首先要摸清目标在哪、长什么样。科研团队创新分析方法，精细刻画礁体的空间展布、连通关系，发明了超深层复杂构型生物礁群小礁体精细雕刻技术，使单礁体识别精度由0.5平方千米精确到0.12平方千米，立体描绘出7000米地下的4条礁带、21个礁群、90个单礁体，让独特的生物礁群"地形图"跃然纸上。为了搞清礁群哪里聚气、哪里有水，他们还创新含气性人工智能预测方法，融合生物礁储层构型，实现了气水分布预测和气水起伏界面定量预测，预测符合率达95%以上。

目标有了，轮到布井"设计师"上场。科研人员建立了"储层-流体-工程-经济"一体化储量及投资回报评价指数，形成了以水平井为主的多井型开发模式，提高储量动用程度和单井产能，确保井网最优化、风险最小化、效益最大化。

一切准备就绪，实钻是"临门一脚"。山丘一样的礁体高低起伏，优质储层有上有下，要确保钻头能穿越优质储层达到地质目的，必须突破轨迹控制、轨迹调整技术"瓶颈"。

超深水平井定向轨迹控制难度极大，国外垂断的旋转导向定向技术费用非常高，因此必须发明新的轨迹控制技术和工具，引导钻头穿越多个目标。科研团队克服重重困难，研发了基于抗高温高压的井眼轨迹随钻测量技术，实现了钻头位置的实时三维精准定位，满足了多靶点动态调整需求；发明了肩部强化定向钻头、随钻动力扩眼器等关键工具，构建了钻具组合技术，解决了优质薄储层的精准穿越难题。

以轨迹精准控制技术为核心的"一井多礁"钻井模式，实现了超8000米井深、15米储层厚度条件下多个礁体的"蛇形"连续精准穿越。最多穿越礁体4个，礁间最大跨距530米、高差135米，施工成功率100%，储层钻遇率达98.8%。

提高单井产能的关键一步就是储层改造工艺。工程技术人员建立了立体酸压多礁精准布缝模式，创新交替注入改造和定点多级暂堵酸压工艺，酸蚀裂缝高度提升90%，导流能力提升30%，单礁体内裂缝控制体积增大40%，井周礁群覆盖能力提升65%，平均单井日无阻流量达308万立方米，增产2.9倍。

截至目前，元坝气田已稳产8年，累计产气320亿立方米，还将实现更久持续稳产。

"元坝气田是目前世界上埋藏最深的高含硫生物礁气田，也是业内公认的开发风险、建设难度极高的气田。"西南油气总经理刘言说，"我们填补了超深海相天然气开发空白，相关技术在磨溪-安岳、塔中-顺北、普光、大牛地等油气田勘探开发中应用。"

石油工程 经纬公司

研发形成特色技术 高效动用难动用储量

□田宏远 扈秀杰 李永川 缪祥禧

川西坳陷难动用储量多存在于低渗透致密气藏，既有"低、小、散、差（储量品位低、单砂体控制储量规模小、储量空间分布零散、砂体连片性差）"的地质特点，又有"低、快、短、大（单井产量低、产量及压力递减快、气藏稳产期短、投资风险大）"的开发特征。"川西难动用储量开采就像从顽石里挤油液，比鸡蛋里挑骨头还难。"经纬公司测井解释评价专家何贵说。

2021年起，经纬公司西南测控公司就开始参与川西新场-合兴场须家河组二段难动用储量开发，地质、工程和解释评价井进，研发形成了多种特色技术和工艺，为川西难动用油气藏高效开发提供了科学支撑。

在难动用储量老井挖潜和新钻井跟踪过程中，解释专家团队认识到，川西须二段难动用气藏获产的关键受控于裂缝发育程度及裂缝有效性，准确识别和评价裂缝有效性是测录井解释的重点。他们进一步优化测录井评价技术方案，形成了致密碎屑岩断缝体储层测录井评价技术，解决了致密碎屑岩断缝体储层识别、流体性质判别、有效裂缝识别等技术难题。

在老井挖潜方面，西南测控公司研发形成了井震一体化难动用储层开发潜力评价技术，进一步提升了老井挖潜目标优选依据与目标层的可靠性；在新钻井跟踪方面，开展了钻前评估、钻中实时跟踪、钻后评价及测试选层等工作，优选出岩性、孔隙、裂缝、流体、厚度储层评价五要素，形成了基于岩石薄片多维图像采集的微裂缝分析技术、以随钻裂缝识别和流体判别为核心的裂缝型致密气综合评价技术，破解了川西须二段气藏埋藏深、低孔、致密、地层破裂压力异常高、断缝体及气水关系复杂且二氧化碳含量高等难题。

为高质量开发难动用气藏，西南测控公司积极探索气体钻录井配套技术，研发了旋风式除尘与取样设备，成功实现气体采样中气、液、固的三态分离。该公司还建立起气体钻井工程异常诊断系统，实现气体钻探三级智能预警。该技术在新8-2井成功应用，创中国石化致密砂岩高压储层氮气钻井日产最高纪录。

"下一步，我们将持续提高对川西裂缝型储层识别、流体性质判别的准确性，建立川西致密油气藏裂缝型储层测录井技术，提升测录井的储层综合评价能力。"西南测控公司技术研究中心（信息化管理中心）所长唐斌说。

油气装备 石化机械

攻关核心油气装备 支撑挺进万米深层

□孙海涛

油气难动用储量通常存在于深层、低渗透、稠油、高含水等地质条件复杂、储层性质较差的地区。有效开发利用难动用储量，装备技术创新尤为重要。

在中国石化深地一号超北油气田，数十口井深超过8000米乃至9000米，而今，油气勘探开发更是向着万米深层挺进，在超深井钻井施工中，石化机械自主研制的螺杆钻具及钻头在大排量、高转速、强钻压工况下组合钻进，发挥了重要作用。

在万米地下，想让钻头"啃得动"，锋利的金刚石复合片是关键。复合片既要高强耐磨，又要高韧抗冲，是最核心的切削元件。为实现高端复合片自主可控，石化机械2021年成立了创新团队，攻关超高压复合片技术。

"我们利用复合片重载性能试验机，模拟复合片在井下破岩的过程。充分磨合后，再观察复合片磨损程度，对复合片耐磨性能进行分级和评价。"石化机械江钻公司技术中心副主任兼材料研究所所长徐磊介绍。

经过上百轮试验，2023年7月，创新团队成功研制出第一个8万个大气压的复合片。8万个大气压相当于80吨重量压在指甲盖面积上产生的压强，压力等级非常高。复合片压力等级越高，钻头"啃碎"岩石的能力就越强。

"不同地层对钻头性能的需求有差异，有的需要攻击性强、切削效率高，有的需要抗冲击性好，有的需要耐磨，这就需要我们准确识别需求，针对性优选牙齿，开展钻头设计。"石化机械钻头钻具技术专家涂关富说。

如何因地制宜、按需排序，让钻头牙齿发挥最大优势？石化机械自主研发出数字设计平台，对不同形状、不同性能的牙齿进行最佳匹配和优化布局，以更好地满足不同地层的钻探要求。

当钻头带着螺杆钻具深入地下，井温会持续升高，最高可达200多摄氏度。要保障钻头在高温条件下持续使用，螺杆钻具中使用的橡胶必须具备耐受性和耐热性。为突破瓶颈，橡胶材料及工艺技术专家不断调整原料配方，经过上千次试验，终于研制出耐温达215摄氏度的橡胶材料，满足了螺杆钻具在万米深地的使用要求。

本版图片由 朱克民 李占军 廖祥辉 石立斌 提供