

“复兴”，复兴！

——四川盆地首个页岩层系油田复兴油田发现纪实

四川盆地诞生了首个页岩层系油田——复兴油田，打破了四川盆地“富气少油”的魔咒，在中国能源版图上点亮了一个新的坐标。



▲ 大场面闹出了大动静，名复兴实现了真复兴。

摄影/李占军

推进中国式现代化的石油石化行动





▲ 这瓶油的含金量堪比液体黄金。

供图/姜智利

漫漫找油路

历经漫长的探索攻坚，四川盆地实现了页岩油“从无到有”的突破。

文 || 本刊记者 陆晓如 / 夏 梅

四川盆地，中国四大盆地之一。这里得天独厚，矿产资源丰富，但长期以来油气勘探开发以天然气为主，而石油相对匮乏，因此被地质学界烙上了“富气少油”的印记。

如今，一场颠覆性的能源版图重构正在这里上演。由中国石化勘探分公司、江汉油田提交的复兴油田首期 2010.06 万吨石油、123.52 亿立方米天然

气探明地质储量，通过了自然资源部的评审。由此宣告，四川盆地诞生了首个页岩层系油田，打破了萦绕数十年的“贫油”魔咒。

从振奋到落寞

在世界油气史上，四川盆地曾铭刻下“最早开采利用天然气”的闪光印记。

远在宋代，先民便在自贡境内利用天然气进行盐卤生产。1835年，自贡燊海井成为世界上第一口超千米深井，标志着中国古代钻井工艺成熟。

中华人民共和国成立初期，各行各业迅速发展，石油需求暴增。

国家领导人将目光投向了物产丰富的四川盆地，期待这片土地能为国家带来大量石油。邓小平给予厚望：“在四川，哪怕拿到了1吨石油，也算有了石油工业。”

中国历史上的第一次石油大会战——川中石油大会战，便在这样的背景下拉开了帷幕。

1958年3月10日，南充武胜县金光乡石坪2组的山顶上，一声高呼划破天际：“女2井出油了！”据初步测算，这口井间歇放喷3天，共喷出原油55.81吨，日产量最高可达58.1吨。

紧接着3月14日，南充3号井成功喷油，每日流量高达300多吨。

短短两天后的3月16日，《人民日报》在头版显著位置刊登了题为《第二个克拉玛依》的报道，向全国宣告四川发现石油的喜讯。就在同一天，位于遂宁的蓬莱1号井传出好消息，原油日流量达到100多吨。

四川发现石油的消息令全国人民欢腾振奋。在上海视察工作的朱德喜出望外，挥毫写了一封热情洋溢的贺信。一个月后，全国石油工业现场会在南充召开。会议吹响了夺油大会战的号角，决定在南充、龙女寺、蓬莱3个构造上确定20口关键井，力争拿下3个油田。但是，由于当时地质理念和工艺技术限制，到1959年3月，川中石油大会战在10个构造共钻探87口井，完钻76口，仅获得南充、龙女、营山、广安等7个小油田，以遭受挫折而告结束。

“四川很有希望。”1958年毛主席视察隆昌气矿时留下的题词，成为激励一代代川渝石油人矢志不渝“为祖国找油、为民族争气”的精神符号。

1960年代，川中威远气田成为当时中国最大气田；1977年四川相国寺气田发现高产气井；2002年之后，发现了普光、涪陵等世界级大气田……四川盆地的天然气勘探，可谓风光无限好。

与天然气蓬勃发展形成鲜明对比的是，四川盆

地石油勘探开发的成果寥寥无几。

“四川盆地总体‘富气少油’，原油勘探集中于侏罗系。在早期碳酸岩裂缝性油藏探索阶段，勘探开发以侏罗系裂缝—孔隙主控的介壳石灰岩、致密砂岩储层为主，数十年勘探仅发现并建成了桂花、金华镇等7个小型油田。”勘探分公司副总经理、总地质师魏志红介绍说。

2005年后，由于勘探方向不明朗，四川盆地的石油勘探一度停滞。

找不到油，巧妇也难为无米之炊。1997年，四川盆地原油产量达到历史最高峰，也只有23万吨，之后产量逐渐递减。至2009年，这里的原油产量陷入几乎可以忽略不计的境地。

不放弃一丝可能

蜀道难，难于上青天。

深陷“富气少油”的魔咒，在四川盆地找油，就像是在走一条艰难的蜀道。

尽管如此，2009年，中国石化的勘探者们把目光投向四川盆地时，仍不愿放弃任何一丝可能。

江汉油田专家刘乔平至今仍清晰地记得2009年团队初次进驻川东复兴地区时的情景。“那时候，我们的目标是侏罗系大安寨段层位。各种地质资料都显示，那里应该有丰富的石油和天然气。我们都憋着一股子劲，想破局。”

转变勘探思路，引入页岩油气地质理论，开展源内找油，利用海相专探井进行侏罗系陆相兼探测试，立足全盆地开展侏罗系选区、选层整体评价……

最初的钻井结果令人鼓舞，但后来尽管打了10多口井，因粘土含量高、介壳夹层发育、富集规律认识不清、工程工艺技术适应性不强，产出的油气始终不多，无法形成有经济效益的工业化开采。

面对拦路虎，勇当震虎人。

“中国石化勘探技术团队对着复杂的测井曲线和地质模型反复推敲，重点依托重大专项、重大导向等项目，强化老井复查，兼探井取全取准各项资料，立足全盆地进行系统的基础地质条件和勘探潜力的再认识和再评价。”勘探分公司页岩气项目部经理魏祥峰介绍说。

当时间的指针来到 2012 年，一个巨大的喜讯从川东的重庆涪陵焦石坝传来。

中国首个大型页岩气田——涪陵页岩气田横空出世，开启了中国的“页岩气革命”。刘乔平所在的团队被紧急抽调，和众多兄弟单位一起，投入到页岩气大会战中。

涪陵页岩气田勘探开发的 10 年，是中国页岩气技术突飞猛进的 10 年。打赢一场场硬仗，江汉油田技术团队淬炼成钢。

“涪陵的经验太宝贵了。”江汉油田页岩气管理部副经理葛兰说，“它不仅为国家贡献了清洁能源，而且锻造了一支能征善战的队伍，沉淀下了一整套适用于复杂山区的非常规油气勘探开发理论和技术体系。”这套凝聚 10 年心血的体系，为日后重返川东复兴，破解页岩油难题，埋下了重要伏笔。

2018 年，中国石化的勘探者们开展“回头看”，将由“气”向“油”的目光再次投向了复兴地区。

“我们重新审视复兴地区侏罗系页岩油气资源潜力，联合高校、科研院所和国家重点实验室平台，深入开展基础地质条件研究工作，系统开展页岩油气地质理论研究和关键技术攻关，针对多套陆相页岩层系开展了地质、工程综合评价。”魏祥峰介绍说。

挑战难啃的硬骨头

重返复兴，这次中国石化的目标是要用在涪陵页岩气田淬炼出的绝技，挑战页岩油这块更难啃的硬骨头。

挑战可以说是空前的。

首先，选层要变。

曾经，因为四川盆地多口常规过路井在复兴地区侏罗系大安寨段钻遇了良好的油气显示，所以复兴地区页岩油气勘探初期将大安寨段确定为勘探主要目的层。

但是，历经多年的勘探实践，科研人员发现，大安寨段页岩灰质含量高，灰岩夹层多，工程压裂改造难度大，难以实现该层系的大突破，无法形成高产、稳产的大场面。

2019 年，在对区域钻井资料充分对比分析的基础上，勘探分公司科研团队发现复兴地区侏罗系凉

高山组同样具有良好的页岩油气地质条件。

“因为沉积环境的差异，凉高山组泥页岩中的夹层与大安寨段不同，以间夹粉砂岩薄层及条带为主。这种岩性组合有利于压裂，能够形成复杂缝网。因此，我们大胆提出新思路，果断将勘探主要目的层由大安寨段转到凉高山组。”勘探分公司涪陵项目部支部书记、副经理杨云龙介绍说。

其次，选区要变。

早期分析认为，复兴北部兴隆场地区凉高山组泥页岩发育，是凉高山组生烃中心。但是，通过对老井的详细解剖，发现兴隆场地区虽然泥页岩厚度大，沉积水体相对较浅，砂质含量高，页岩品质及油气显示一般。复兴南部泰来地区，虽然泥页岩厚度相对较薄，沉积水体相对较深，粘土含量高，但页岩品质及油气显示均优于北部。

针对这一现象，科研人员结合分析化验资料，建立沉积相带划分标准，进一步明确了泰来地区位于半深湖有利相带，是凉高山组生烃中心。因此，复兴地区凉高山组的页岩油气勘探主战场由复兴北部转到了南部。

确定了目的层、目标区，还要确定“甜点”。

相比海相，陆相地层岩性更加复杂，非均质性更强。复兴地区陆相页岩油气“甜点”在哪里？这成为科研人员面前的拦路虎。

“为了解决这一难题，我们的科研人员重新认识最宝贵的地质实物资料——岩心，发扬石油人‘严细实’的光荣传统，克服时间紧、任务重等困难。”勘探分公司物探研究院总工程师陈超回忆说。

历时半个多月，他们针对复兴地区凉高山组泥页岩段 73.9 米岩心，开展精细观察和描述，共划分出数百层岩性小层，并针对每一层岩性小层，包括毫米至厘米级厚的薄夹层，都进行了详细的取样和描述，共识别出不同岩相 11 种。结合样品的分析化验数据，进一步明确了最有利的岩相，即“甜点”层段。

虽然有了新的地质认识，但四川盆地凉高山组首口页岩油气探井放在哪里钻探，仍是摆在科研人员面前的一个巨大难题。

“凉高山组陆相页岩相比海相五峰—龙马溪组

页岩，储层厚度薄、岩性复杂、薄夹层发育、横向非均质性强，常规的地球物理技术在陆相页岩甜点描述中显得捉襟见肘。”陈超说。

中国石化物探人员走出舒适圈，接受挑战，迅速组建了“地质+物探+测井”联合攻关突击队，攻关频谱延拓的高分辨率处理与反演技术，进一步开展目标精细刻画，落实了优质页岩展布及保存条件，实现了陆相页岩油气“甜点”关键参数高精度预测。

多方准备，水到渠成，终于到了“亮剑”时刻。

2019年，中国石化勘探分公司针对凉高山组页岩，优选在复兴南部泰来地区拔山寺南向斜南部部署了四川盆地首口页岩油风险探井——泰页1井。

2021年底，承载着无数人希望的泰页1井放喷测试，获得了日产油58.9立方米、日产气7.35万立方米的高产油气流。这一刻，四川盆地陆相页岩“无油”这一长期以来如魔咒般的论断，被彻底打破。

首个页岩层系油田诞生

乘胜而进！

中国石化按照“整体部署、立体评价、分步实施、滚动建产”的思路，加强涪陵北部湖相页岩油气整体评价和部署，加强湖相页岩油气关键技术总结分析，持续攻关，进一步提高勘探能力，扩大勘探成果。

江汉油田成立复兴区块工作组，秉承“整体部署、试验先行、滚动评价、加快推进”的工作思路，积极推进复兴区块勘探开发工作，进一步扩大勘探发现，夯实资源基础。

“针对该区块地层复杂、施工风险高、工艺难度大等情况，我们联合施工单位，不断升级改造设备，改善泥浆性能，不断迭代优化开发技术，实现机械钻速不断提升，钻井周期有效缩短，测试产量不断提高，为探明储量提交提供支撑。”江汉油田页岩气管理部油田专家刘宇琦说。

勘探开发团队将复兴油田视作共同的战场，紧密配合、一体化推进，相继在复兴地区部署了多口评价井和试验井组，新的突破不断涌现。

江汉油田在拔山寺南向斜中部部署实施的4口勘探评价井均取得较好效果，实现了拔山寺南向斜

的整体控制，进一步甩开评价拔山寺向斜北部，部署实施的4口探井均获高产工业油气流……

其中尤为值得一提的是，兴页L1005HF井试获超百立方米工业油气流，证实了复兴油田拔山寺北向斜同样具备规模增储潜力。兴页9井获得日产油108.15立方米、气1.58万立方米高产页岩油气流，实现了从“高TOC（总有机碳含量）、高有机孔”到“TOC有利、可压性好”的认知跃迁，为我国陆相页岩油气开发提供了一种崭新的范式，大幅扩宽了四川盆地陆相页岩油气勘探战场。

勘探形成突破，开发扑上去部署先导试验井组。

为进一步落实资源规模，明确开发技术政策，为效益开发做好准备，部署了泰页1井试验井组，探索凉二下亚段页岩层系油藏合理的开发技术政策和压裂改造工艺。试验井组全部获工业油流，为复兴地区拔山寺南向斜探明储量提交打下坚实基础。后经整体评价，中国石化复兴地区凉高山组页岩油资源量为油7.12亿吨、气0.57万亿立方米。这是中国石化在四川盆地发现的第一个亿吨级原油资源阵地。

2025年7月31日，一个被载入中国石油工业史册的日子。复兴油田首期2010.06万吨石油、123.52亿立方米天然气探明地质储量，顺利通过自然资源部评审，正式宣告四川盆地第一个页岩油田、重庆第一个油田诞生。

“目前复兴油田所包含的拔山寺南向斜、拔山寺北向斜、梁平向斜三个大型目标均取得了勘探突破，针对凉高山组的勘探工作接近尾声。下一步将加快统筹运行，积极落实亿吨级增储阵地。”魏志红说。预计明年，中国石化将继续提交复兴油田二期储量，进一步壮大复兴油田规模。

责任编辑：石杏茹
znshixingru@163.com

巍巍西南极

侏罗系陆相页岩油气勘探开发理论认识与关键技术实现了重大突破。

文||本刊记者 陆晓如 / 夏梅

四川盆地诞生首个页岩层系油田的消息引发了广泛关注，各大媒体争相报道。

外行看热闹，内行看门道。作为此次探明地质储量提交工作的参与者，江汉油田勘探开发研究院战略规划所副所长潘利生深知其中的艰辛：“复兴地区侏罗系为陆相新类型页岩油气，现有理论、技术无法完全适用。”

面对世界级挑战，中国石化科研团队迎难而上，

研究“富不富、哪里富”的资源潜力问题，破解“怎么采、采得多”的效益开发难题，解决如何“采得快、采得好”的工作效率问题，逐步构建起了一套针对复兴侏罗系页岩油气的勘探开发理论及配套技术体系，挺起了我国页岩油气勘探开发理论、技术和标准体系的西南极。

摸清富集规律

“复兴地区侏罗系页岩具有中低有机质丰度、中等孔隙、高热演化的特点，且因沉积体系差异控制，淡水湖盆纹层型页岩呈多隔夹层、多岩性组合特征。”江汉油田勘探管理部副经理刘爱武介绍说。

这种中低丰度、中高热演化的陆相页岩能否大量生烃？中等孔隙度陆相页岩能否高效产出？多隔夹层、复杂岩性组合和中高热演化耦合下页岩有什么样的富集规律？

由勘探分公司、江汉油田、石油勘探开发研究院组

成的科研团队，依托国家重大专

项、中国石化“十条龙”项目，着

力解决侏罗系陆相页岩油“有没有”“富不富”的基础地质问题。

先解决“有没有”的问题。

“相比海相，陆相页岩非均质性强，有机质丰度低。陆相页岩有没有资源潜力，直接决定了这个领域是不是有干的意义。”勘探分公司物探研究院党委书记、院长石文斌说。

▲ 摄影/李占军

为了揭开“中低丰度是否等于低潜力”的成烃机制谜团，科研人员选取了川东地区侏罗系凉高山组的低熟露头页岩样品进行精密的生烃模拟实验。

实验数据清晰揭示，即使是中低有机质丰度的陆相页岩也蕴藏着相当可观的生烃潜力。更为关键的是，它们具有“细水长流”的特点——淡水湖盆高演化页岩生油高峰相对较晚，生油过程持续时间长。即使在演化程度很高的地质阶段，依然保持着相当强的生油能力。可见侏罗系烃源岩具有“高产烃率、大生油窗、高滞留率”的生排烃特征。这就从机理上明确了侏罗系中低 TOC 页岩具有较好的资源潜力。

再攻坚“富不富”的问题。

“要解决这个问题，首先要知道陆相页岩的成储机制是什么。”勘探分公司物探研究院陆相页岩气勘探研究室副主任王道军说。

科研人员持续开展大量基础研究，明确了复兴陆相页岩具有“多孔共生、大孔大喉、孔缝一体”的储集空间特征——这对建立高渗通道，对页岩油气单井高产具有重要意义；揭示了陆相页岩“粘土成岩演化成孔、生烃增压保孔、层偶界面成缝”的耦合成储机制，突破了前期龙马溪组海相页岩气寻找高 TOC、高有机质孔的勘探思路。

更为关键的是富集规律。

通过扎实的基础研究，科研人员明确了纹层型页岩广泛分布、向斜宽缓稳定、地层弱超压—超压，保存条件好，控制了复兴地区页岩油规模原位富集成藏，解决了陆相页岩油富集机理问题。

“基于富集高产关键因素及参数评价，我们建立了4项24参数选区评价技术体系，解决了选层、选区的难题，落实了川东复兴地区拔山寺北向斜、拔山寺南向斜、梁平向斜3个大型勘探目标及其勘探潜力。”勘探分公司页岩气项目部经理魏祥峰说。

精准甜点预测

明确“富不富”的资源潜力后，便要解决“哪里富”的技术难题，从而准确找到页岩油的“家”在何处。

复兴地区，山地起伏，地震资料覆盖次数低、

主频低、原始资料横纵比小。侏罗系陆相页岩单层厚度薄，仅6~15米，且存在隔夹层，沉积相变快，岩相复杂，非均质性强，既含油又含气。裂缝发育规模小，压力系统复杂。

面对这样复杂的条件，薄储层如何精准成像？薄页岩层如何有效识别？岩相、裂缝、压力如何精准表征……种种难题之下，如何才能实现甜点的地球物理准确预测？如何精准评价甜点？

“陆相页岩甜点预测难度非常大。”勘探分公司物探研究院陆相页岩气勘探研究室主任刘晓晶博士坦言。但是，他们越是艰难越向前，取得了一系列技术突破。

——形成了陆相页岩储层测井评价技术，攻克了非均质复杂页岩关键参数计算难题。

针对复兴侏罗系陆相页岩储层“矿物组成和流体性质复杂、孔隙结构多样”的特点，创新形成了岩心约束最优化矿物组分和“变骨架”孔隙度计算新模型，突破了传统模型经验参数取值单一的局限性，矿物成分相对误差由 20.2% 降至 7.5%，孔隙度相对误差由 11.5% 降至 4.8%。

——创建了陆相页岩岩石物理模型，明确了岩相敏感参数。

陆相页岩与海相页岩差异明显。通过针对性引入纹层密度，创新建立了陆相页岩岩石物理模型。正演与岩心测试吻合度大于90%，发现了岩相识别的敏感参数。

——攻关形成了“两步法”VTI各向异性参数反演技术，落实了岩相展布。

科研人员剔除陆相页岩各向同性干扰、突出 VTI 各向异性信息，形成“两步法” VTI 各向异性反演技术，解决了五参数 VTI 反演不稳定难题，落实了复兴地区凉高山组亚段岩相展布，钻井吻合度超过 90%。

——形成了岩相约束的“甜点”关键参数联合



▲ 摄影/李占军

反演技术，明确了分布规律。

针对陆相页岩“甜点”参数预测模型构建难题，建立不同岩相的“甜点”参数的概率分布，构建“甜点”参数的联合反演目标泛函，实现同时预测，预测相对误差小于10%。

——形成了地质力学与地震属性联合约束的裂缝建模技术。

常规地震属性主要针对断裂及其伴生缝，对褶皱检测能力弱。科研人员结合陆相岩石力学实验，求取褶皱成因缝。联合地震属性实现多类型裂缝建模，与成像测井吻合率超过85%。

“通过精准的陆相页岩甜点预测，为我们勘探部署提供了有利支撑，复兴地区已经完试的17口钻井均获工业油流，成功率100%。”勘探分公司总工程师陈超说道。

通过自主攻关，中国石化科研团队建立了复兴侏罗系复杂岩相、薄层页岩甜点预测及评价技术，为指导后期井位部署提供了关键支撑。

科学开发评价

解决了四川盆地陆相页岩油“富不富、哪里富”的关键科学问题，紧接着，一个更现实的问题摆在技术人员面前。

复兴地区凉高山组的页岩油平均埋深2400米。深埋地下的宝藏，怎样才能安全高效地采上来？其中牵涉多尺度微纳米级孔喉结构、复杂相态耦合流动机理，多相渗流页岩水平井产能评价与动态分析方法，复杂相态、多隔夹层页岩系统有效开发技术政策等多方面制约高效采出的技术难题。

“压力就是动力，催着我们不敢停，不能停。”江汉油田页岩气管理部油田专家刘宇琦坦言。

有山便有路，有多少困难就有多少办法。

针对复兴页岩油气藏油汽水分布复杂、放喷返排压力下降快、气油比变化大，难以获取原始状态流体的技术难题，技术人员攻关井下流体取样技术，并综合生产气油比等多种方法，判断凉高山组主体为挥发性油藏，东岳庙段为凝析气藏。

考虑微纳多孔介质中界面现象和毛管力对相态临界参数影响，建立了“近壁效应”PVT相态计算

模型，明确了复兴侏罗系在储层条件下，页岩挥发油藏泡点压力下降7.5兆帕左右，页岩凝析气藏露点压力下降10兆帕左右。

通过物模、数模相结合，揭示了复兴陆相页岩油气多相态渗流机理，掌握了凉高山组可流动性好，东岳庙页岩气流态复杂、储层渗流以线性流为主，复兴侏罗系页岩储层应力敏感性强，东岳庙段应力敏感性更强的规律。

针对复兴侏罗系油气两相渗流以及应力敏感性较强的特点，耦合移动边界内拟稳态产能方程及物质平衡方程，建立了页岩凝析气与挥发性油井产能评价方法，预测油气非稳态产能随时间变化。以产能预测结果对生产时间较长的4口井进行历史拟合，符合率达到86%。

揭示了复兴陆相页岩油气高产主控因素。其中，水平井穿行“甜点”段是基础，可压性是凉高山组与东岳庙段两套页岩油气单井产能差异的关键控制因素，小油嘴控压生产是侏罗系页岩油气井高产稳产的重要手段。

建立了考虑油气相变的页岩油一气一水三相井底压力计算方法，流压计算误差由12%~15%降低到4%；建立了复兴陆相页岩油气压裂水平井储层参数解释方法，对侏罗系多相油气页岩储层基质物性与改造缝长、导流能力实现准确评价；揭示了复兴侏罗系陆相页岩油气试采井生产动态特征，凉高山组页岩具有弹性产率高、产量递减缓、气油比稳定、含水率稳定的生产特征。

“油气勘探开发要算好效益账。我们通过系列研究，创建了复兴侏罗系复杂相态陆相页岩油气开发评价关键技术，奠定了复兴页岩油形成效益开发场面的基础。”江汉油田页岩气管理部油田专家刘宇琦指出。

正基于此，江汉油田部署了泰页1和兴页10两个试验井组，系统开展不同穿层压裂模拟、井组试验方案优化设计、矿场动态监测评价，优选适应性开发技术政策，为复兴油田后续的效益开发提供了示范。

配套工程工艺

在复兴油田勘探评价之初，科研人员就发现，该区域上部地层沙溪庙组砂岩层渗透性好，目的层凉高山组粘土含量高，导致钻井过程中井下摩阻大、水平段定向施工效率低、水平段延伸能力受限、钻井周期长，钻井成本居高不下。

作为国内首个陆相页岩油藏，安全优快钻井尚没有成功模板。“只能从基础工作做起，不停摸索，不断尝试。”江汉油田石油工程技术研究院钻井工程所主任师胡象辉的话语里透着坚韧。

技术人员定了“导管+二开”安全成井井身结构，一开延长表层套管下深封固上部地层沙溪庙组砂岩地层；二开优选强抑制性钻井液体系，减少粘土在钻井液里的分散，水平段应用旋转导向工具，提高水平段定向钻进速度；研发适合陆相页岩的高效先锋PDC钻头，破岩效率提高30%以上；开发了超高硬度橡胶，研制了微应力大扭矩等壁厚螺杆钻具，水平段一趟钻比例持续提升……

持续攻关，复兴油田形成了“‘导管+二开’井身结构+定向段LWD+水平段旋转导向”提速工艺和“岩性适配—润滑增强—循环优化”的降摩减阻技术，钻井提速降本效果显著，平均钻井周期缩短52%，创造最短钻井周期18.9天，最长水平段达3035米，为复兴油田实现效益开发提供了技术保障。

在储层改造时，高粘土含量成了最大的拦路虎。

“岩石像是泥巴，很难压开，压开后又很快闭合。”石油工程技术研究院专家李保林把复兴油

田的人工缝网改造比喻成把岩石镶嵌进海绵里。而在海绵一样的地层里，打造出既宽又长还能持久的复杂缝网，对技术人员是非常大的挑战。

“我们通过探索，采用快提排量、高排量等压裂参数，增加打开地层的力量。同时，迭代形成差异化限流+绳结暂堵促均衡开启+小粒径支撑，形成复杂缝网，最大限度地沟通油气藏。”李保林说。

运用复兴页岩增产改造工艺及配套技术后，压裂试气产能、参数水平大幅提高，施工排量、加砂强度等关键指标持续提升，多口井获高产测试油流。例如，泰页1井组试气均获工业油气流，其中泰页1-5HF井测试获日产气1.96万立方米、日产油31.6吨。

在生产阶段，高含蜡的原油特质是又一道坎。

复兴原油高含蜡，极易析出沉积，严重影响了油气井正常稳定生产。为此，技术人员揭示了陆相页岩油气井结蜡的主要影响因素，自主研发了高效、环保的蜡晶分散剂新产品，形成了复兴侏罗系页岩油气井清防蜡的制度规范。

此外，为了给高效采油蹚出一条明路，技术人员基于采油气工艺优化设计方法，根据页岩油气不同生产阶段排采需要，形成了含蜡页岩油气井全生命周期排采技术系列，并配套相应的管柱及差异化清防蜡方式，实现了复兴陆相页岩油气井长时间稳产。

每一次资源的发现，都是一次与地质的博弈。理论突破、技术创新，每一个环节都不容小觑。以创新之力，形成更适合侏罗系页岩油体质的一系列理论和技术，最终成功托举起了复兴油田。

虽然相比探明地质储量11.54亿吨的庆城油田、预测储量12.68亿吨的大庆油田古龙页岩油等，复兴油田首期2010万吨页岩油探明储量是后起之秀，但因为从无到有的区域开创性，因为在我国页岩油气领域形成的技术引领性，复兴油田的战略价值不仅在于现在的数字，更在于未来的无限可能。



责任编辑：石杏茹
znsixingru@163.com



煌煌变革风

复兴油田在多个维度产生了深远的影响。

文 || 本刊记者 陆晓如

历经十余年的探索，历经起起伏伏的攻坚，在曾被宣判“贫油”的土地上，科技利刃刺穿了认知的壁垒，唤醒了沉睡的侏罗系页岩油。重庆山峦间，钻机轰鸣。钻探的不仅是岩层，更是人类突破资源边界的勇气。

“泰页1井组每天可稳定产出10吨原油，生产压力稳定在4.7兆帕左右。”

复兴油田的诞生，为我国页岩油气勘探开发体系注入了新鲜血液。它将在江汉油田、重庆乃至整个西南地区、世界页岩油气行业，将在能源安全、区域经济结构、核心技术创新等多个维度，激起变革的涟漪。

形成增储上产新阵地

重庆丰都县仁沙镇，群山连绵。

田垄与林木间，一座雄壮的采气平台——泰页1试采站巍然矗立，灰顶的控制室、银色的储罐、

黄色的采气树，布局井然，展开了一幅现代工业与千年农耕文明交织的画卷。在肉眼不可见的两千余米地下，侏罗纪页岩层中的石油正汩汩而出。

“普通原油一般是黑色，有的还是固体。而这里产出的油是棕色的，流动性很好，机械及其他杂质很少。其中，石蜡和轻烃等高价值组分占比超过25%，具有很好的开发价值。”江汉油田涪陵页岩气公司技术管理中心地质研究所主任师朱凯介绍说。在中国石化勘探分公司部署的风险探井泰页1井获得突破后，江汉油田接过了后续的勘探评价工作。江汉油田高度重视，迅速组织开展了勘探评价工作，部署了泰页1井组4口开发井，并建设配套设施。

2021年5月31日，江汉油田启动了泰页1井组试采站生产，2023年5月8日全面投产。试采初期日产原油最高达52.5吨，推动区块原油日产量上升至73吨。

“持续生产至今，泰页1井组每天可稳定产出10吨原油，生产压力稳定在4.7兆帕左右，就像通过人的脉搏体现出人体非常健康一样，展示了该气田复兴区块页岩油良好的开发前景。”朱凯说。

泰页1井组的持续稳产高产，进一步证实了复兴区块页岩油气具有储量丰度高、开发可持续性强等特点，为涪陵页岩气田落实亿吨级增储阵地、形成“气油并进”的开发新格局打下坚实的基础。

“江汉油田制定了‘万千百’战略目标，即提

交探明储量万亿立方米、建成年产千万吨的大型油气田、年产天然气百亿立方米。复兴油田开辟了新的油气增储阵地，提交的探明储量以及资源的有效动用开发，将成为实现这一目标的重要支撑。”江汉油田页岩气管理部油田专家刘宇琦说。

自1965年9月28日钟11井钻获自喷油流，宣告发现江汉油田，经过持续开采，江汉油田不可避免地遭遇挑战——老区部分注采井组原油开发遇到瓶颈，石油资源自然递减。

开新路，向新生。立足江汉、走出江汉、发展江汉，江汉油田建成了横跨湖北、山东、陕西、重庆等省市的5个油气生产基地。尤其是2012年挺进重庆涪陵页岩气田后，增储上产有了重要接替战场。

如今，复兴油田的发现，为江汉油田再次扩大了增储上产阵地。复兴油田一期已经部署60多口页岩油井，页岩油年产量已突破3万吨，展现出强劲的上产势头。与此同时，在忠县、梁平、垫江、丰都、万州等地，江汉油田也在紧锣密鼓地推进页岩油产能建设。

根据江汉油田的计划，将按照“勘探开发一体化、地质工程一体化、地面地下一体化、技术经济一体化”总要求，实现复兴油田页岩油“十五五”期间上产至50万吨；将加快展开复兴中区和南区提交亿吨级探明储量，推进规模动用和评价试验，加快探索北区和西区，打造3亿吨级页岩油储量阵地。

复兴油田丰盈了江汉油田的资源库，将成为我国油气增储上产的新领域、新阵地。

塑造地方产业新格局

已是开门迎客时，却发现柴米油盐样样缺。

2012年，中国石油四川石化实现中交时，曾因本地原油产量少且外来原油受阻，陷入无油可炼的境地。

这折射出了四川盆地作为我国富含油气盆地的一种尴尬——天然气产量遥遥领先，而原油产量极低。例如，2022年，四川盆地天然气产量超600亿立方米，占全国天然气产量的约30%，而原油产

量仅11.9万吨，占全国原油产量的0.1%。

因为“贫油”，长期以来川渝地区的原油和成品油需求都依赖外输。尤其是重庆，作为中国西部唯一的直辖市和重要的工业基地，却是一个“无油市”，所有的成品油全部依赖外省调运。

复兴油田的诞生，打破了四川盆地“富气少油”的传统认知，将在川渝地区掀起能源结构重构的变革。

位于重庆市境内的复兴油田，横跨忠县、丰都、万州、梁平、垫江5个区县。在“十五五”期间，复兴油田将实现页岩油上产至50万吨，将为改善川渝地区“富气贫油”的能源格局提供历史性机遇。

“这不仅仅是本地有油了这么简单。”重庆大学能源经济系主任汪峰分析道，“更重要的是，它为重庆补齐工业体系拼图上缺失的一块——石油化工，提供了一个绝佳的契机。”



▲ “复兴”开始复兴，未来触手可及。

摄影/李占军

根据《重庆市能源发展“十四五”规划》，重庆正着力打造世界级的千亿立方米级天然气产业集群和高端化工产业。但是，过去重庆只有天然气化工，产业链存在明显短板。

复兴油田的石油资源，恰好补上了重庆石化产业链中“油头”这一关键环节。它意味着依托复兴油田，重庆未来可以规划建设炼化项目，并向下游延伸，发展乙烯、丙烯、高分子材料等高附加值产品，形成完整的“油头化尾”产业链条。重庆的化工厂将拥有稳定且低成本的本地原料供给，降低对外依赖，提升区域制造业竞争力。

“当然，复兴油田的发现并不意味着必须在本地建设炼化厂，在本地消纳。”汪峰同时表示，原油是易于运输的大宗商品，从全国一盘棋的经济性角度考量，将其运往成都等地现有的大型炼化基地或许是更优选择。

但无论如何决策，“家里有油”这个事实，都赋予了重庆在未来区域发展和国家能源战略布局中有更多的话语权和回旋余地，对于提升重庆的工业能级和区域经济竞争力，具有不可估量的战略价值。

不止如此。

在就业方面，复兴油田的勘探、钻井、完井、生产运营以及后续的油气处理、输送等全产业链环节，将直接创造大量的技术和管理岗位，为本地及

周边区域的劳动力提供就业机会。以重庆武隆页岩气开发为例，其累计投资突破62亿元，初步形成了从开采到废弃物处置的完整产业链，直接带动了数以千计的就业岗位。

在相关产业发展方面，重庆市的规划中明确提出，要将复兴区块打造成“国家级页岩油开发示范基地”。这预示着，未来这里将不仅是能源开采地，而且将催生出对上游装备制造、工程服务、技术咨询等配套产业的巨大需求，形成集技术研发、装备制造、专业服务于一体的产业高地，从而促进当地产业结构的优化和升级。

在基础设施建设方面，为满足复兴油田开发和油气运输的需求，当地的道路、电力、供水、通信等基础设施将得到显著改善甚至新建。例如，输油管道网络的完善和智能化升级。这些基础设施的发展，将为区域经济的长期繁荣奠定坚实基础，并大幅提升区域整体的承载能力和对外部投资的吸引力。展望未来，随着复兴油田勘探的持续深入和第二个、第三个页岩油增储阵地的落实，重庆有望逐步缓解能源输入型城市的限制，成为页岩油气技术创新策源地和相关化工产业聚集区。

共绘页岩油气新版图

在北美，页岩革命大幅提高了美国的油气产量，深刻改变了全球油气供需格局。

在我国油气资源劣质化问题加剧、保障国家能源安全的需求愈发迫切的背景下，面对技术和可采储量均居世界前列的页岩油资源，“如何打赢页岩革命”，成为行业内外热议的焦点话题。

中国石化持续加大页岩油勘探开发力度，多个探区不断取得突破。

2021年12月，在苏北盆地溱潼凹陷地区落实有利区面积420平方千米、页岩油资源量3.5亿吨；2022年7月，在苏北盆地再获战略突破，页岩油探井花2侧HF井获日产油超30吨、天然气1500余立方米，标志着苏北盆地高邮、金湖凹陷的11亿吨页岩油资源量被激活；2025年，位于渤海湾



▲摄影/李占军

盆地济阳坳陷的新兴油田，成功提交页岩层系石油地质储量 14024 万吨……

复兴油田的发现也是其中浓墨重彩的一笔。

“在看似资源匮乏的区域，通过理论创新和技术进步，依然能够找到巨大的非常规油气潜力。这不仅为中国原油的稳产增产提供了一个重要的战略接替区，而且极大地提振了在全国类似复杂地质条件下寻找页岩油的信心。”汪峰认为。

全球页岩油革命始于美国。其成功的关键在于优越的地质条件——埋藏浅，成本低。

与北美海相页岩油的成熟模式截然不同，中国陆相页岩油面临着一系列世界级难题——大多埋藏在数千米之下，地质条件复杂，储层非均质性极强，开采难度极大。

而复兴油田的成功，恰恰是在这种“世界级难度”的赛道上取得的。

在复兴油田的勘探开发过程中，科研人员创新性提出无机控储、源储一体、超压封存等理论体系，并辅以高精度三维地震、纳米 CT 扫描、水平井优快钻井、电驱压裂等全链条技术的突破。

这些技术大幅提升了勘探效率，显著降低了开发成本，为整个中国页岩油产业照亮了一片更广阔的星辰大海。更重要的是，它们为全球高粘土含量、塑性强的挥发性陆相页岩油藏的成功开发，提供了一个宝贵的中国样本，充分展现了中国在非常规油气领域的自主创新能力。

“以前我们只能看着他们搞，现在我们不仅能搞，还能在他们认为不具备经济性的地方搞成。这就是核心竞争力。”汪峰说。

这种技术自信，意味着中国页岩油勘探开发的主动权，已经牢牢掌握在了自己手中。

“我们的技术和经验，对于‘一带一路’沿线以及中东、非洲等许多拥有类似复杂油气资源但缺乏开发能力的国家来说，极具吸引力。”江汉油田页岩气管理部副经理葛兰表示。

目前，江汉油田已经与沙特阿美等国际公司开展了深入的技术交流与合作。在业内专家看来，向



▲ 供图/姜智利

海外输出页岩油技术、设备和解决方案，不仅能带来巨大的经济效益，更能进一步助推中国提升国际能源话语权和保障国家长远能源安全。

2025 年不是终点。由复兴油田激起的四川盆地乃至全中国的页岩油希望还远未到极限。谁也不知道下一个突破会出现在何时何地。但是，页岩油的勘探开发，是一场与地质条件、技术难题、产业周期的赛跑。能否跑赢，需要石油人自己的坚持，也需要财政优惠政策、税费扶持政策等的支持。

携手迈向更高水平的“东方页岩革命”，让我们期待更加精彩的页岩油故事。●

责任编辑：石杏茹
znshixingru@163.com