

供应保障

责任编辑:秦紫函
电 话:59964339
邮 箱:
qinzh@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:王强



专家视点

以智能化驱动天然气高质量勘探开发

□西南油气副总经理 林永茂

随着我国天然气勘探开发向着“更深层、更致密、非常规”方向迈进，以技术创新和绿色低碳“双轮”驱动提产提效成为时代课题。

如今，我国地震勘探、测井、钻井等技术装备数字化、自动化程度大幅提升，自动化采气设备、智能管道等开发装备也逐渐登上“舞台”，天然气勘探开发信息化平台建设成果显著，地质数据库、生产管理系统等逐步完善，人工智能技术在地质模型预测领域深入应用。与此同时，国外在人工智能、大数据、云计算等核心技术领域拥有成熟技术体系和丰富实践经验，赋能天然气勘探开发产业链上下游企业协同发展。

作为中国石化最大的天然气生产企业，西南油气以“推动传统油气产业向数据驱动、智能决策新模式转型”为己任，加快落实智能化“田厂站院”建设部署。2010年起，西南油气勇于探索实践数字化气田规模化建设，先后建成元坝、什邡、川西等数字化气田，牵头建设统一服务国内上游的勘探开发业务协同平台（EPBP）、气田生产信息化平台（PCS）、石油工程业务管控平台（IPPE）等，实现了勘探开发业务全流程数字化管控，重塑了组织管理模式和生产运行方式，为油气企业提高生产效率和经营效益、打造竞争优势提供发展动力。

2015年，西南油气启动采气设备智能化研究工作，从应用最为广泛的泡沫排水采气工艺入手，自主研发了多分支智能泡排装置，在8年内完成了4次产品迭代升级，规模化应用成效显著，开启了西南油气采气工艺从传统向智慧转型发展之路。

随后，西南油气以点扩面，创新攻关系列技术，通过数字化、智能化技术赋能勘探开发全链条。目前，智能泡排、智能柱塞、智能气举、排采智能决策系统等智慧采气技术已进入现场；压窜智能预警、磁法套变测量、井下可视化检测、微差井温产出剖面测量等数字化井筒技术已推广应用；钻井智慧决策及预警系统、压裂参数智能优化系统、完井测试智能诊断系统同步开发，工程工艺更智慧、更高效。

展望未来，“AI赋能+”场景应用将加快油气勘探开发技术创新进程，自动化技术将朝着高度集成化发展，实现系统自主学习、自主决策，智能化发展将更注重绿色低碳、5G和边缘计算等通信技术将在气田得到更广泛应用。

接下来，西南油气将以打造智慧气田建设综合示范为目标，重点研究井下感知与物联通信技术，构建井筒全时空信息数字孪生体，攻关作业参数协同调控智能决策体，形成具备导航钻进、生产智能调控等能力的技术示范；攻关“气藏—井筒—地面”一体化协同技术，集成“空—地”机器人集群协作体系，打造“无人值守、智能运维、安全绿色”的智慧采气新范式。同时，西南油气将更加注重相关专业人才培养与引进，朝着“气藏透明化感知、井筒智能化调控、地面智慧化运行、运营生态化协同”的方向努力。



西南油气员工在四厂永页32平台查看生产运行情况 管圆圆 摄

新一代采气技术引领智慧气田转型

西南油气研发井群智能泡排、系列化智能柱塞、采气智能决策系统等技术，在1000多口气井推广应用，单井平均增产10%



西南油气中江气田305脱水站。宋军 摄

□姚麟星 黄万书 朱洪宇 聂岚

当前全球能源行业正经历以数字化、智能化为核心的第四次工业革命浪潮，油气行业数字化转型已从战略选择演变为生存发展的必然路径。西南油气致力于打造新一代智能采气技术，突破传统人工诊断、决策、排采模式，形成了自动诊断、自主决策、智能作业的智能采气新模式，加快推动智慧气田转型。

川西致密气、威荣页岩气等属于边际气田，具有“低渗透、低品位、快递减”特征，单井产量低，平台井数多，开采强度大，措施类型多，精细管理难度大。传统的“人找异常、人工作业”模式已难以满足生产需要，亟须发展新一代智能采气技术。

西南油气工程院在2015年成立了智能采气新技术孵化团队，依托气田生产信息化平台（PCS），围绕“数据孤岛、数据挖掘深度不够、采气业务流分散、智能装备不成熟”等技术瓶颈，通过多维数据整合，全业务流顶层设计、智能决策模型开发、智能装备制造等，历经8年成功研制出以井群智能泡排、系列化智能柱塞、采气智能决策系统等为代表的一批智能采气技术，形成了实时诊断、自主决策、智能作业的智能采气工程示范模式，决策响应达分钟级，推广应用1000多口井，单井平均增产10%。

智能泡排助力气田高效稳产

泡沫排水采气是气井生产中后期应用最广泛的采气工艺，在川西致密气、川南页岩气中的覆盖率超过了90%。此前的泡排工艺采用人工加药，效率低、响应慢、工作强度大，无法满足新形势下排采需要。

科研人员通过将传统泡排与快速发展的信息化、自控化技术相结合，优化流程设计，开发自控

程序，创建智能模型，集成橇装设备，如今已建成了单井式、多井式、便携式等系列化智能泡排装置，具有一键式智能加药、起泡机一体作业、井群泡排、设备轻量化等优势。

“初代样机是改了试、试了改，反反复复折腾了一年，总算运行稳定了。”西南油气工程院采输所副所长刘通说。初代样机的研发历经波折，反复遭遇单流阀失效、泵阀寿命短、加注精度低，自控程序也屡屡出错，攻关团队一度产生了放弃的想法。但通过无数次的推演试错，总算找到了症结，他们优化自动加注流程、优化泵阀选型、优化加注量计算程序等，逐一攻克难题，大幅提升了设备稳定性，最长免修期达3年，加药量误差控制在1%以内，工艺流程也得以简化，焊接管道数仅为最初的1/3。

平台井开发模式的推广对井群自动泡排提出了新要求。由于平台井数多、加注频率高、占地要求小、成本控制严，科研人员提出了一机多井自动泡排理念，通过自控阀组设计、轻量模块化设计、配注一体与起泡机一体设计，研发了平台井整体自动泡排装置，最多实现一机12井整体泡排，占地面积只有冰箱那么大，最轻仅0.2吨，在平台井中获得推广应用。“过去泡排车每天要跑几十公里轮流换药，现在足不出户就能实现每口井每天加注，方便多了。”井站技术员感叹。

为了实现自动化向智能化的跨越，研发团队迎难而上，通过实验研究、模型建立、程序开发，形成了泡排自适应加注系统。系统可以根据泡沫流型、积液量，自主提示加药时机与加药量，自主运行加药，在保障泡排效果的同时，药剂用量节约了20%。

智能泡排工艺在川西致密气、川南页岩气300多口井推广应用，全程无须人工干预，平均单井增产10%，显著增强了泡排效果。智能泡排技术授权发明专利6件、实用新型专利5件。

智能柱塞实现低压低产井排液提效

随着气藏压力降低，低压井日益增多，此时泡排效率降低，需要辅助柱塞工艺。柱塞工艺是通过向井内投入柱塞工具，在间歇开关井生产时，利用其机械密封界面排液。但此前柱塞产品多来自国外公司。为打破国外技术垄断、降低成本、提升工艺适应性，西南油气工程院通过系列化工具设计、自控软件开发，自主研发了智能气举技术，措施效率达90%，生产成本降低了80%。

“国外的柱塞都是固定的几种型号，但是我们川西致密气的气井类型多、生产阶段差异大。”西南油气工程院采气室主任许剑说。通过工具设计、试验优化，科研人员自主研发了满足不同井况的系列化柱塞工具，包括适用于生产前中期的旁通式、棒式柱塞，适用于生产后期的射流膨胀柱塞，适用于高含凝析油气井的刮蜡式柱塞，以及适用于组合油管的接力式柱塞。

针对川南深层页岩气井产水多、水平井井斜大的特点，他们自主研发了井口套简+井下撞针+分体柱塞高频排液工具，以及能够下至水平段的柱塞限位器，将周期内柱塞举升频率由传统的1次提高至3次，排液深度由传统的井斜60度拓展至90度，周期排液量提高37%。后期该技术与气举工艺复合，还实现了不关井连续高频排液，日均排液频次高达10次，开辟了柱塞辅助气举复合排采新模式。

“柱塞除了工具本身，另一个关键是运行制度优化，如果开关井制度控制不好，柱塞可能根本上不来，或者空载到达井口，排不出液。”西南油气工程院科研人员卢波说。于是，他们通过引入载荷因子、柱塞速度，结合柱塞举升临界气量计算，构建了“四线五区”柱塞运行工况图版，形成了柱塞制

度自适应优化模型，开发了柱塞地面智能控制系统，实现了柱塞制度的自动调参，确保高效运行。

智能柱塞工艺在川西致密气、川南页岩气推广应用50余口井，实现了自动排液、自动调参，性能稳定，操作简便，平均单井增产20%。智能柱塞技术实现全自主化，授权发明专利3件、实用新型专利7件。

智能决策系统为采气植人“智慧大脑”

智能决策系统犹如为采气过程植人“智慧大脑”，为采气管理提效开辟了新路径。

采气工艺是一项集工况诊断、异常提示、工艺决策、现场作业、效果反馈于一体的系统工程。此前PCS平台已经实现了采集气数据的实时监测，数字化率接近100%，但在实际运行过程中，仍然存在一些问题，如海量数据利用程度和挖掘深度不够，采气业务流分散，工艺决策与评价困难重重等。为了解决上述问题，西南油气工程院通过对数据的二次处理，将杂乱无章的数据进行梳理，并对各项业务进行深度整合，最终成功建立了一个全新的数据分析平台，为后续智能决策系统的搭建奠定了坚实基础。

“要实现采气工艺的科学决策，首先需要攻克工况异常诊断这一难题，因为它直接关系采气工艺的选择及最终效果的评价。”西南油气采气专家张国东说。攻关团队致力于打造井下流型可视化‘透明井筒’的理念，通过对水平井沿程流型、持率分段规律研究，创建了积液动态仿真模型，首次实现了流型尺度下的积液浓度量化表征，以及持率、流型、积液量等多参数同步在线计算。此外，他们还建立了递减加速、井下堵塞、油管穿孔等异常工况提示方法，并给出了风险概率，实现了从“人找异常”到“异常找人”的转变。

企业实践

涪陵页岩气田

智慧提产“一键到位”

□刘冬娅 李牧 王彦

7月14日，江汉油田涪陵页岩气公司工艺研究所主任陈小刚打开电脑进入“一体化泡排管控平台”，进行日常网上巡视，发现异常监测栏警示焦页107-5HF井日产气量较前一天下降2000立方米。

他一键进入“制度排查”“异常图版”模块，系统告知该井的油套压差4天前开始有细微变化，油管可能存有积液，目前可以实施泡排加药措施。系统根据日产水量和油套压差，计算出起泡剂配液浓度，根据药品指标计算出用药后的效果值，并明确显示出加药后气井的携液、流态、适应性等情况。

之后，陈小刚根据平台给出的本次异常处置方案，将指令下达到一体化技术保障中心，整个过程不过5分钟。保障中心第一时间安排集气站运维人员为该井精准加药，第二天就恢复了正常生产。

6月底，泡排管控平台上线运行，拥有“总览-设计-指标-药剂-台账-资料”六大核心模块，构建起“动态监测-智能诊断-精准施策”的管理范式，对重点指标、泡排井生产情况、建设投运情况、药剂用量情况进行动态跟踪和日常监督，对产量下降、压差增大、药量超标等异常指标进行预警提示，预警后根据复杂程度由系统进行现场排查任务派发与专家诊断推送。

涪陵页岩气田于2022年在数智化气藏管理平台上开发并完善智慧采气系统，该系统集基础数据管理、生产跟踪分析、措施自动统计、采输指标评价、方案自动编制于一体。对于生产异常的气井，技术人员对系统中的海量数据进行综合分析和深度挖掘，得到最佳解决方案。

今年以来，该公司通过智能采气平台，深入开展新技术、新工艺研究与试验，将气举、泡排、冲砂、带压检管等多种措施进行科学组合，解决老井面临的生产难题，共实施老井综合治理533井次，措施增气1.53亿立方米。

普光气田

“云端哨兵”护航生产

□杨静丽 王媛

7月15日，在普光气田普光3016中心站前，一架无人机腾空而起，沿预设航线对蜿蜒的集输管道执行巡检任务。在螺旋桨的嗡鸣声中，高清摄像头实时捕捉管线状态，AI算法同步分析影像数据。这正是普光气田以智慧化助力安全采气的缩影。

普光气田所在的川东北工区山高谷深、汛期地质灾害频发，传统人工巡检面临严峻挑战：39段总长超100千米的高含硫管道穿越复杂地貌，滑坡、占压等隐患如同悬顶之剑。为此，普光气田采气厂创新采用“无人机+人工”协同巡检模式，在普光、大湾区块首批建成4座自动无人机场，依托地理信息系统与AI图像识别技术，实现定时定轨精准巡查。

无人机巡检系统全面覆盖1045千米含硫天然气管道、144.9千米净化气管道和62.2千米污水管道，实现含硫天然气管道每日巡检、常规管道每周巡检1次。

该系统具备灵活的航线规划功能，设定巡检范围和巡检时间后，无人机可按时自动巡检，无须进行人为干预。

起飞前，系统会判断天气状况，满足起飞条件时自动升空起飞，执行巡检任务。巡检过程中，无人机沿管道上方120米处飞行，利用AI技术对第三方施工、占压、水淹、塌方、塌陷等隐患进行智能识别，自动计算异常部位与管道之间的距离，精准研判风险。

巡检平台设有风险管理模块，对不同巡检对象的风险进行分类管理。具备巡检记录查询、报告自动生成等功能，真正做到“巡检-分析-管理”全流程、智能化。

“这些‘云端哨兵’仅需10分钟即可完成人工2.5小时的险段巡查。”普光气田采气厂技术管理室高级主管郭召智介绍，“无人机+AI”极大提升了管道巡护作业信息化管理水平、管道巡护质量和效率，提高了风险预测和应急能力，助力气田安全高效采气生产。

东胜气田

及时感知气井工况

□徐强 熊佩

“快看J72P5H井的功图，产液量降低，瞬时压力也在降低。”7月15日，位于鄂尔多斯杭锦旗的华北油气采气二厂开发研究所里，技术人员张旭东看着电脑屏幕上的数据变化，快速与同事们分析情况，“估计是抽油机泵筒里进入气体了，需要把工作制度优化调整。”随后，他们果断在线实施远程操作，优化机抽工作制度，一会儿，气体瞬时、排液量均恢复至正常。

“自打有了这个排水采气远程控制系统，我们处理各种机采气井情况更加便利，工作效率大大提高了。”张旭东说，“再也不用跑个几十甚至上百公里去解决一些小问题了。”

采气二厂开发的东胜气田属于典型的致密气藏，除了低压、低产，还有高产水、井深等特点，随着含水气井特别是高产水气井深入开发，传统排采工艺已无法满足需求，机械排采技术逐渐占据重要地位。

“机械排采技术最大的管理难点就是如何让机械运行不必依靠人力，所以我们和华北油气工程技术研究院一起研发了这套远程操作系统。”采气二厂开发研究所所长张宗辉介绍，“气田点多、面广、人少，如果在机抽排采运行过程中出现了故障，无法及时发现问题，调整参数。但是有了这套远程操作系统，我们节省了大量的时间，效率极大提高。”

该远程控制系统以光纤、4G为传输方式，包含生产监控、故障诊断、故障告警、运行优化4个模块，实现了49个关键参数采集，实现了生产数据与历史曲线查询，实现了功图自主诊断，能对抽油机启停、调参、针阀开度调节等进行远程调控，并能利用高清视频仪对井场异常工况进行实时监控并消除安全隐患。

“这套系统运行后，目前所有机抽井都可以及时感知气井工况，迅速诊断分析问题，针对变化情况进行远程操作。接下来要做的就是更加智能化地精准调整，让气田生产更有智慧。”张宗辉说。