



在全球能源转型与锂资源需求激增的背景下,油气田富锂采出水成为“隐藏宝藏”。尽管当前油气田采出水提锂技术仍需解决提锂效率、杂质处理、规模化应用等问题,但随着技术进步,油气田采出水提锂或将成为锂供应的重要补充路径。

“点水成锂”——油气田的新跨界

AI制图

新闻会客厅

油气田采出水提锂技术 具有资源战略价值和环保效益



华东理工大学原副校长、
博士生导师
于建国

问:开展油气田采出水提锂技术研究对资源回收及环保有何意义?

答:油气田采出水提锂技术具有资源战略价值和环保效益,将推动石油行业向绿色低碳转型,主要意义如下:

一是拓宽锂资源供应渠道,油气田采出水锂资源分布广泛、储量可观,可成为锂资源的重要补充来源。

二是提高资源综合利用效率,油气田采出水伴生资源转化为有价值产品,可提高油气田整体经济效益和资源价值。

三是减少污染和降低环境风险,在提取锂资源的同时能去除部分有害物质,减轻对环境污染的压力。

四是促进绿色可持续发展,助推油气田行业向资源节约型和环境友好型协调发展,符合绿色发展和循环经济理念。

问:目前国内外油气田采出水中锂资源潜力如何?主要富集区域有哪些?

答:从已报道的资料来看,富锂的油气田采出水在美国、加拿大、德国、法国、意大利、伊朗、印度等国均有分布,油气田卤水提锂项目主要集中于美国 Smackover 地层与加拿大 Leduc 地层。

我国富锂的油气田采出水主要集中在海相(四川盆地三叠系、渤海湾盆地等)、海陆混合相(北部湾盆地三叠系、珠江口西部文昌油气田)、陆相(江汉盆地、渤海湾盆地南端、柴达木盆地、塔里木盆地等)沉积盆地。

问:与传统锂矿(盐湖、锂辉石)开采相比,油气田采出水提锂的优势和挑战有哪些?

答:优势:一是资源潜力大且分布广泛,采出水中含锂、钾、溴等多种矿产,可实现多种资源综合利用;二是基础设施与技术相通,油气开采基础设施、勘探开发技术、数据等可应用于提锂过程;三是环保低碳,采用绿色提锂新工艺,与现有油气系统协同,兼具资源循环与环境保护双重效益。

挑战:一是水质成分复杂且锂含量相对低,兼有点多、单点规模小的特点,需进行工艺优化;二是技术成熟度不足,规模化经济性低于传统方法,需进一步改进技术、降低成本;三是缺乏标准规范,尚无完整的油气田采出水提锂资源评价、勘探开发、环境保护方面的标准规范。

问:油气田采出水提锂的主流技术路线有哪些?

答:油气田采出水提锂主要借鉴了盐湖提锂技术,主要有吸附、膜分离、萃取、化学沉淀及其组合工艺等,采用耦合工艺法,如“预处理+富集浓缩(吸附-膜分离)”,是目前各油气田提锂提取试验的主流技术路线,适用于成分复杂、有机物含量高、锂离子浓度相对较低的油气田采出水。技术瓶颈主要是受吸附剂的高吸附量、选择性、操作稳定性及离子强度影响,分离工艺流程复杂、成本较高,整体规模经济性较低。

目前油气田采出水提锂技术仍处于试验或初步工业化阶段,不同技术路线的回收率和纯度差异较大,整体技术水平较低,规模化经济性低、成熟度低。采用耦合工艺技术的整体回收率大于70%,碳酸锂成品纯度在工业级碳酸锂标准(纯度≥99%)以上,通过进一步纯化处理,可以达到电池级标准(纯度≥99.6%)。

问:在推动油气田采出水提锂产业化方面有哪些建议?

答:通过政策激励、技术创新和商业模式优化等多方合力,助推采出水提锂产业化。

政府要提供政策支持与引导,制定相应优惠政策(给予税收减免、绿色信贷支持、专项补贴等),引导企业合理布局提锂项目,在开采许可证中增加伴生资源回收等内容。

企业要优化技术路线与商业模式,探索“油气开发+伴生资源多元联产”模式,加强上下游企业战略合作,形成锂提取、加工、销售完整产业链,通过低碳工艺参与碳交易,增加收益。

科研机构要加强技术研发及产学研合作,突破关键技术瓶颈,如高效吸附材料、抗污染膜材料等新技术研发,加强与企业对接合作,积极推动实验室成果向产业化应用转化。

(苏三宝 王峰 整理)

□本报记者 杨静丽

每天早上,当你拿起手机查看时间,或是打开笔记本电脑开始一天的工作时,可能没意识到——这些设备里都藏着一个“能源小精灵”:锂。它不仅能让手机待机一整天,还能让电动汽车一口气跑几百公里。

国际能源署(IEA)在2024年5月发布的《世界能源展望》特别报告中指出,到2040年,全球对锂等关键矿产的需求将增加6倍。

锂:新时代的“白色石油”

近十年,锂从传统的冶金合金“配料”摇身一变成为最热门的矿种之一

作为已知质量最轻的金属,锂的化学性质相当活泼,在等质量的情况下释放的电子最多,适用于科技、储能及军工等领域。

锂作为新能源和战略新兴产业的关键金属,被世界主要经济体列为关键矿产资源之一,享有“白色石油”和“21世纪最有应用潜力的金属”等美誉。特别是近10年,随着新能源汽车产业快速发展和可控核聚变技术研发不断突破,锂从传统的冶金合金“配料”摇身一变成为最热门的矿种之一,在全球发展中的战略意义愈加凸显,战略地位不断提升,直接且深度关系国家经济安全、国防安全和国际竞争等,具有重大战略价值,对国家关键技术的突破和重大发展需求的满足起到不可替代的作用。

我国作为全球第一大锂资源消费国,国内锂资源供给不足,对外依存度长期保持较高水平,锂资源安全形势严峻。2023年8月25日,工业和信息化部、国家发展改革委等七部门联合发布《有色金属行业稳增长工作方案》,重点强调要针对锂等紧缺战略性矿产加大国内勘查开发力度,制定锂等重点资源开发和产业发展总体方案,设立绿色通道,推动相关项目建设投产,稳定关键产品供应,培育有色金属产业链“链主”企业,提升供给能力。鼓励上下游企业建立协作关系,促进锂资源有效开发和利用,保障国家能源安全和经济发展。

锂从哪里来?

液态锂矿以游离态方式存在于卤水中,固态锂矿是指锂盐以矿石形式存在于固体矿中

在自然界中,锂矿主要分为液态锂矿和固态锂矿。

液态锂矿以游离态方式存在于卤水中,包括盐湖卤水型锂矿和地下卤水型锂矿。锂在水体中的含量与水体温度、蒸发

程度、储存条件及经历的演化过程密切相关,一般来说,随着温度升高,流体溶解岩石中锂的能力增强,故自然界中温泉与常温地下水相比,锂含量通常更高,可在1毫克/升以上;盐湖卤水由于受到地表强蒸发作用及周边丰富的物源补给,锂含量通常较高,多数高于10毫克/升,锂含量极高者可在1000毫克/升以上。

固态锂矿是指锂盐以矿石形式存在于固体矿中,主要包括花岗伟晶型锂矿和花岗岩型锂矿。根据氧化锂含量及晶体形状等特征,锂矿石可进一步细分为锂辉石、锂云母、磷锂铝石、透锂长石及铁锂云母,其中,锂辉石和锂云母是重要的工业用矿。

目前,国内外锂资源主要来自盐湖卤水、锂辉石/锂云母矿石、黏土型锂矿。全球锂矿分布呈现高度集中的特点,南美洲的“锂三角”地区——玻利维亚、智利和阿根廷,坐拥超过全球一半的锂资源。北美洲的美国、加拿大,大洋洲的澳大利亚,也是锂资源大国。

我国锂资源丰富,在全球锂矿版图中占据重要位置,锂矿分布呈现多元化的特点,涵盖盐湖型、伟晶岩型、地下卤水型和黏土型等类型。盐湖型锂矿主要集中在青海柴达木盆地和西藏地区;伟晶岩型锂矿主要发育在阿尔泰、阿尔金、西昆仑、川西、喜马拉雅、东秦岭、武夷、南岭、江南和兴蒙等造山带。

新蓝海:油气田采出水提锂

在全球能源转型与锂资源需求激增的背景下,油气田富锂采出水成为“隐藏宝藏”

除了盐湖“咸水”和矿山“锂辉石”这些常规的锂资源获取来源,油气田采出水、地

热水等是锂资源的非常规来源。

油气田采出水是指与油气藏有密切联系的地下水,往往与石油和天然气组成统一的流体系统。油气田采出水在油气成藏阶段与烃类物质共同经历了漫长的演化,发生了复杂的物理化学反应,更大程度上溶解了地层中的锂,导致锂含量远高于自然界地表河流、湖泊等,部分甚至高于盐湖卤水,具有潜在的开采利用价值。

特别是在全球能源转型与锂资源需求激增的背景下,油气田采出水这一“隐藏宝藏”正成为锂资源开发的新蓝海,含有多种无机盐和微量金属元素,包括锂。

随着全球锂需求增长,从油气田采出水中回收锂成为研究热点。美国能源部(DOE)2021年报告显示,部分美国页岩油气田采出水锂浓度为100~500毫克/升,高于传统盐湖卤水锂浓度(20~200毫克/升)。

油气田企业凭借核心竞争优势,跨界布局锂矿开发领域具有天然契合性。一方面,油气田企业在液体资源开采与提炼方面积累了成熟经验,能快速形成技术协同效应和成本管控优势。另一方面,这些企业在矿权获取、土地资源整合等行政审批环节具备成熟的运作体系,加之雄厚的资金实力,快速切入锂电产业链上游具有独特发展优势。

点水成锂,采出水提取技术大比拼

每项单独工艺技术都有局限性,整合各个单项技术的优势,可以提高锂回收的效率

目前主流的油气田采出水提锂技术,主要有沉淀法、吸附法、萃取法、膜分离法等。沉淀法是盐湖卤水提锂中应用最多的

方法之一,也是最早研究并工业化使用的方法,主要通过浓缩使锂离子沉淀得到锂化合物。沉淀法有多种工艺,主要包括碳酸盐沉淀法、铝酸盐沉淀法等。

吸附法是利用对锂离子有选择性的吸附剂来吸附锂离子,洗脱获得富锂溶液,从而使锂离子与其他杂质离子分离。吸附法作为高选择性的新型提锂技术已在盐湖卤水、地热水和油气田采出水提锂领域受到广泛关注。

萃取法是利用溶质分配系数或溶解度的不同,使溶质转相分离的方法。

膜分离法是通过在功能膜两侧施加驱动力,利用膜的孔径筛分作用,将水中不同尺寸的组分选择性截留或透过,从而得以分离的方法。

事实上,从油气田采出水中提取或回收锂,每项单独工艺技术都有局限性。在这种情况下,形成以需求为导向的组合技术,可以整合各个单项技术的优势,提高锂回收效率。

值得注意的是,相比盐湖卤水,油气田采出水来源广泛、成分复杂,其高浓度有机物和共存杂质离子、高含油量、高悬浮物量、高矿化度的特性增加了锂的分离难度,不同的地势、储层结构及注水过程会对油气田采出水水质特征产生影响,因此,需要更全面地对油气田采出水锂资源矿藏分布和开采价值做针对性和综合性的评估。

油气田采出水提锂技术实践多点开花

不仅是资源领域的突破,更是循环经济与碳中和目标下的重要实践

当前,大部分油气田企业都在积极推进采出水提锂技术实践。

2022年7月4日,中国石油西南油气田在实验室制得100克氢氧化锂和萃取出400克碳酸锂,意味着国内油气田行业首次从气田水中提取锂元素,从工业角度验证了提取工艺技术路线的可行性。

2024年初,青海油田首个油气田伴生矿利用项目——尖北地区气田水综合处理试验项目进入试运生产阶段,标志着我国首套利用油气田伴生卤水提锂的工业化试验装置试运成功。

油气田采出水提锂技术的推进不仅是资源领域的突破,更是循环经济与碳中和目标下的重要实践。尽管当前该技术仍需解决提锂效率、杂质处理、规模化应用等问题,但随着技术进步,油气田采出水提锂或将成为锂供应的重要补充路径。该技术的突破将给油气田采出水其他伴生资源的开发及利用提供借鉴,为传统油气田企业注入绿色转型新动能。

企业实践

中原油田东濮老区采出水提锂技术研究取得突破,首次成功提取高纯度碳酸锂

老油田探索开启新“锂”程

□本报记者 杨静丽 通讯员 王峰 向美强

在中原油田水务分公司技术创新实验室,来自文三采出水处理站的采出水正经历神奇蝶变。近日,科研人员经过两年多的不懈努力,首次从复杂的东濮老区采出水中获得纯度99.4%的工业级碳酸锂。

“在油气成藏的漫长时间内,地层中的锂资源溶解于水,水驱开采让作为油气‘附属品’的锂重见天日。”中原油田水务分公司水务技术专家、提锂工艺技术研究项目负责人苏三宝说。

资源摸排,绘就东濮“锂地图”

中原油田东濮老区产出水具有“一低三高”特征,即低锂含量、高杂质离子、高矿化度、高有机物,提取锂资源面临挑战。2023年,一支由油田地质、工艺、水务技术人员组成的科研团队迅速集结,开启寻“锂”之旅。科研团队采用“区块摸排+井点跟踪”技术,完成600余口井的采出水分

析,首次在东濮凹陷锁定4处锂资源丰富区,并绘制分级资源分布图,为规模化开发奠定了基础。

科研团队整合储层物性、测井数据等资料,建立“砂体-盐岩耦合”评价模型,精准定位富锂卤水层位;通过复用老井数据,勘探成本大幅降低,验证并采出水锂浓度达到工业开采标准。

“该成果标志着油田在伴生资源勘探方面取得突破,为后续推进提锂工艺优化打下了基础。”油田勘探开发研究院实验中心副主任高志飞表示。

“吸附+膜”法,探索东濮特色提锂工艺

寻找合适的吸附剂是锂提取工艺的第一步。在吸附剂筛选环节,科研团队展开了一场吸附剂“选秀”比赛。“就像给锂离子找专属‘捕手’,使其能在东濮高钙、高镁的采出水中准确捕获锂离子。”油田石油工程技术研究院技术员王莲莲说。

铝系、钛系、锰系吸附剂轮流登场。通

过上百次对比实验,铝系吸附剂脱颖而出。在同样条件下,铝系吸附剂锂回收率超过85%。

2023年底,科研团队在文三采出水处理站,利用铝系“捕手”开展锂富集现场小试,采用连续离子交换吸附装置,在不同运行参数下,锂离子平均回收率83.7%,浓缩倍数11.5倍,获得解析合格液约1.5吨,锂离子含量约170毫克/升。

“如果说吸附环节是通过吸附剂捕获锂离子,那么膜法则给含有大量杂质的‘混合液’减肥瘦身。”水务分公司技术员袁伟红说,“每一步都像是一场战斗。”经过多次试验,最终确定了适配的工艺参数,1.5吨合格液通过膜法提纯变成了5.25千克“锂浓缩汁”。

纯化结晶:实验室里诞生碳酸锂小样

为了打通从“锂浓缩汁”到碳酸锂的“最后一公里”,科研团队在实验室搭建沉锂装置进行“化学魔术”,使“锂浓缩汁”缓慢析出雪白的碳酸锂粉末。首批生成约200克碳酸锂样品,经第三方检测,样品纯度为99.4%,达到工业级碳酸锂产品标准。

历经两年,技术团队先后筛选出适用于高钙、高镁、高有机物、低锂品位油田水提取锂的吸附剂,论证了离子除杂技术的可行性,攻克了沉锂技术等问题,实现了油田复杂水质特性条件下低浓度锂的分离、富集和提取,并成功制备出高纯度碳酸锂。

“我们打通从锂资源评价到碳酸锂提取的全套工艺流程,不仅为油田新能源开发拓展了新赛道,也为同类型低品位锂资源高效提取探索出了一条可行路径,接下来将加快形成油田锂资源开发特色工艺技术,为油田采出水伴生资源高效开发利用提供技术支撑。”苏三宝信心满满。