

突破地下高温极限 激活深地万亿热能潜力

西班牙 Hephæe 能源技术公司宣布,新一代随钻测量系统(MWD)额定循环温度达到210摄氏度,成功突破定向钻井长期以来的200摄氏度温度屏障,标志着超高温地热资源开发取得重要技术进展

●赵华

近日,西班牙 Hephæe 能源技术公司宣布,新一代随钻测量系统(MWD)额定循环温度达到210摄氏度,成功突破定向钻井长期以来的200摄氏度温度屏障,标志着超高温地热资源开发取得重要技术进展。业内人士指出,这一突破不仅提升了高温钻井设备的可靠性,也为进入更深、更高温地层提供了可行路径。

深层地热的潜力与技术瓶颈

地球内部蕴藏的巨大热能足以满足全球数倍的电力需求,但大部分资源因技术限制难以开发。美国清洁能源任务组(CATF)测算显示,仅开发全球1%的超高温岩石资源,清洁发电能力即可达到63太瓦,是目前其他发电来源总和的8倍。然而,传统地热项目集中在火山活跃地带或地壳板块交界处的浅层高温区域,如冰岛的火山地带或美国加利福尼亚州的间歇泉地热田,这类具备天然蒸汽或热水储层的区域条件特殊,仅占资源总量的极小部分。

要释放深层超高温岩石的巨大潜力,必须突破现有钻井工具的温度耐受极限。当温度超过水的临界温度(374摄氏度)时,流体进入超临界状态,每口井的发电潜力可达常规地热井的5~10倍。但开发这类资源需要钻井工具在极端高温、硬岩地层和高压环境下持续可靠运行,对电子器件、密封材料和机械系统的要求远超现有工业能力。

过去25年,虽然全球最大的油服公司斯伦贝谢投入巨额研发资金,定向钻井技术的耐温性能仍停滞在200摄氏度左右。目前,多数商业定向钻井工具的额定温度在150~175摄氏度,少数专用工具勉强能达到200摄氏度,但在超高温地热所需的极端高温环境中,这些工具的电子元件和机械系统退化速度明显加快。行业普遍依赖隔热钻杆、热涂层和钻井液循环等被动冷却策略应对高温挑战,但这些方法不仅会增加大量非生产时间,而且随着井深和温度上升,冷却效率急剧下降。如何突破钻井工具的本体耐温极限,成为制约超高温地



图为地热钻井现场。视觉中国 供图

热资源开发的技术瓶颈。

重新定义高温环境下的电子可靠性

面对长达25年的技术平台期,Hephæe 能源技术公司将航天领域的超高温电子技术引入地下勘探,成功研发出 Pandora210™ 随钻测量系统,额定循环温度达到210摄氏度。虽然升温仅10摄氏度,但根据阿伦尼乌斯方程,化学反应速率随温度升高呈指数增长,每提升10摄氏度额定温度,系统可靠性可提升约50%。这一进展打破了行业长期存在的技术天花板。

技术团队从热管理的基本物理原理出发,重新设计电子封装架构,传统随钻测量工具使用长条形电路板,散热路径长且效率低,热量容易在局部聚集形成热点。Hephæe 能源技术公司创新采用环形堆叠电路架构,每块环形电路板外围包裹高导热系数金属环,堆叠后形成一条沿工具轴向的“热力高速公路”,能将敏感元件产生的热量快速传递至压力外壳并密封技术入手,实现钻井工具在极端高温环境下的自主可靠运行,才能真正释放超高温地热的资源潜力。

进行了远超行业标准的高加速寿命测试(HALT),条件包括超过230摄氏度的持续高温、高达30倍重力加速度的三轴振动、超过1000倍重力加速度的气动冲击(以压缩空气为动力产生的瞬时冲击),以及模拟结晶基底钻井环境的动态载荷(钻井过程中因振动、冲击产生的持续变化的内部作用力)。

温度如何重塑地热投资逻辑

地热项目的经济性直接与温度挂钩。温度越高,每口井的能量产出越高,平准化度电成本(LCOE)越低。数据显示,将储层温度从170摄氏度提升至210摄氏度,平准化度电成本可降低25%。当温度超过临界点时,开发相同规模发电站所需钻井数量大幅减少。清洁能源任务组预测,超高温地热规模化后的度电成本可降至20~35美元/兆瓦时,可达到与天然气联合循环发电相当的成本水平。

钻井效率同样至关重要。高可靠性的随钻测量系统能大幅减少因工具高温失效导致的起钻、维修和更

换时间,同时减少为冷却井筒投入的非生产时间。据估算,每口井可节省超过100万美元的钻井成本。

这种成本优势正吸引资本加速涌入。国际能源署(IEA)数据证明,2025年全球地热技术相关的融资已接近22亿美元,比2024年增长80%。技术突破从根本上改变了地热项目的风险收益特征——从依赖特定地质条件的资源导向型投资,转变为依靠可控技术能力的工程导向型投资。

迈向300摄氏度的下一代钻井系统

Pandora210™ 系统已成功完成现场验证,包括与美国 Mazama 能源公司等地热运营商的合作测试,证明了其在真实高温环境下的稳定性和可靠性。下一阶段的技术开发将聚焦于实现300摄氏度循环温度的目标,这将是释放超高温地热资源潜力的关键。

为此,Hephæe 能源技术公司正同步推进超高温旋转导向系统(RSS)的研发,目标是2027年前推出首款商业化产品。旋转导向系统与随钻测量系统集成后,将在硬岩结晶基底中实现更精准的井眼轨迹控制和更高的钻井效率。一旦实现300摄氏度循环温度的突破,工程师可灵活设计更长的水平段,更复杂的分支井结构,从而最大化单井与储层的热交换面积。

在全球范围内,超高温地热项目正在加速落地。清洁能源任务组表示,全球已钻探逾20多口井,其中大部分位于现有地热项目。从美国俄勒冈州 Mazama 能源公司开发的增强型地热系统,到世界各地涌现的几十口超高温探井,都预示着这一领域的蓬勃发展。包括美国能源部近期投入的1.715亿美元资金在内,各国政府、研究机构和私营企业正深化合作,推动从材料科学到钻井工艺的全方位创新。超高温定向钻井技术的突破,已使地热能从一个特定区域的资源,转变为可全球部署、成本可控、潜力巨大的清洁能源未来支柱。

启航“十五五” 全球观零碳

中国石化深部地热开发取得多项突破

●贺宇慧

地热能作为稳定可靠、绿色低碳的可再生能源,正成为全球能源转型的重要方向。当前,我国地热资源开发利用仍以浅层和中深层水热型为主,埋深3000米以上的深层地热,特别是干热岩资源的开发尚处于探索阶段。中国石化目前正聚焦深部地热开发利用,加快前瞻布局,推进关键技术攻关。

2024年1月,在国务院国资委指导下,中国石化牵头,联合中国石油、中国华能、中国电建等23家中央企业及高校、科研院所,组建深部地热领域创新联合体,致力于深部地热勘探评价、高效开发、综合利用等,开展产学研用协同攻关。随后,我国地

热领域唯一的全国重点实验室——“深部地热富集机理与高效开发全国重点实验室”获批建设,由中石化(北京)新能源技术研究院有限公司(新星公司)、中国地质大学(武汉)、中国石油大学(北京)共同组建。依托创新联合体和全国重点实验室,中国石化推进深部地热全链条技术攻关,加快科研成果工程化落地。

在勘探评价方面,深部地热资源埋藏深、温度高、地质条件复杂,是国际公认的技术难题。2024年4月,中国石化在海南部署的福深热1井顺利完钻,井深达5200米,钻获超188摄氏度高温地热资源,成为我国首口井深超过5000米的地热科学探井。目前,该井已具备进一步开发利用条件,将在海南深部地

热试验示范工程中发挥更大作用。

在综合利用方面,中国石化新星公司在陕西咸阳建成深部地热 ORC 发电一供暖梯级利用示范项目。项目依托一口井深3000米、井口水温约102摄氏度的地热井,实现了“热电联产”,供暖能力达17万平方米,年发电量约70万千瓦时。该项目集低温发电、水溶氮气提取与居民供热于一体,通过膜分离与变压吸附耦合工艺,成功提取纯度99%以上的氮气,实现供暖季发电供热协同运行、非供暖季全时段满负荷发电。

从福深热1井实现勘探突破,到咸阳地热发电项目推进综合利用,中国石化加快完善深部地热技术体系。当前,由新星公司牵头申报的

国家科技重大专项已获批准立项,中国石化石油勘探开发研究院承担的国家重点研发计划项目通过验收,一批关键核心技术取得阶段性进展。今年3月,深部地热全国重点实验室发布《中国地热产业发展报告2025》。报告显示,我国地热产业规模长期位居世界第一,截至2025年底,全国地热供暖制冷面积达16.5亿平方米。作为国内最大的地热能开发利用企业,中国石化已建成地热供暖制冷能力1.37亿平方米,在持续巩固现有成果的同时,将持续深化深部地热基础研究与前沿探索,坚持需求导向与产业牵引,加快推动关键技术攻关与成果转化,一场向深向新的探索正在加速。(作者单位:新星公司)



巴西两大行业组织对化工市场影响判断迥异

化学工业协会表示,虽然中东地区局势紧张,但该国化工市场不存在供应中断风险。这与此前塑料工业协会的警告相悖。此外,两大行业组织在实施或削减贸易保护措施的问题上再次产生对立

●庞晓华

全球能源化工行业市场信息服务商安迅思称,巴西化学工业协会表示,虽然中东地区局势紧张,但巴西化工市场不存在供应中断风险。这与此前巴西塑料工业协会的警告相悖。此外,巴西塑料工业协会与巴西化学工业协会在实施或削减贸易保护措施的问题上再次产生对立。

巴西化学工业协会称,巴西化工行业目前约40%的装置产能处于闲置状态。这意味着,一旦国际供应链中断,巴西可立即动用这部分战略储备,对进口货源进行补充甚至完全替代。巴西化学工业协会主席安德烈·帕索斯表示:“中东冲突正显著推高全球生产成本,尤其是能源和化肥领域。但在化工产品方面,巴西拥有充足的工业产能以保障市场供应。”

这一声明直接反驳了巴西塑料



图为巴西化工厂。视觉中国 供图

工业协会此前的警告。巴西塑料工业协会曾指出,巴西树脂供应链存在严重脆弱性,并特别提及针对北美供

应商的反倾销税、进口关税等贸易救济措施。巴西塑料工业协会主席何塞·里卡多·罗里兹表示:“我们需要

战略性评估当前已实施及待审议的贸易救济工具带来的影响,因为这是我们具备规模化树脂生产能力的地区(美国和加拿大)获取外部货源的唯一可行渠道,而这些地区目前限制最严格。”

巴西化学工业协会则持相反观点,认为贸易救济措施对保护本土产能与供应稳定至关重要。双方最大的分歧在应用广泛的聚氯乙烯(PVC)上,两家行业组织对PVC市场给出了截然不同的判断。

巴西塑料工业协会将PVC列为供应紧张的关键,并警告本土供应已无法满足行业需求,而物流中断进一步加剧了进口货源的不确定性。巴西化学工业协会则指出,哥伦比亚和阿根廷这两个不受中东物流影响的国家,合计供应巴西约60%的PVC进口量,对纠正聚合物实施反倾销措施只是为了纠正海外供应商的不公平贸易行

为。虽然否认化工产品供应紧缺,但巴西化学工业协会也承认,中东冲突给能源和化工成本带来了十分明显的影响。

伊朗原油日产量约350万桶,霍尔木兹海峡承担全球约20%的石油供应和25%的海运原油贸易。巴西虽是原油净出口国,但仍是石脑油、柴油、液化石油气(LPG)的净进口国。这意味着,即便本土产油,布伦特油价持续走高仍将拉高该国工业成本与运费。

巴西化学工业协会认为,在中东冲突导致的最直接经济影响中,化肥市场的风险最大。巴西农业发达,约85%的化肥依赖进口,而伊朗是尿素、氨等氮肥的重要出口国。近期巴西尿素价格已上涨逾33%。巴西化学工业协会警告称,如果霍尔木兹海峡通航限制持续,氮肥供应风险将进一步显现,价格或将继续上涨。



森维塔与雷迪克斯推进巴西粗甘油制 SAF 项目

美国工业生物技术公司森维塔与工业创新技术解决方案服务商雷迪克斯联合宣布,双方在巴西落地的全球首个循环生物油项目前端工程设计取得关键进展。该项目可将生物柴油副产物粗甘油转化为超低碳强度生物油,用于生产可持续航空燃料(SAF)及其他生物燃料。

依托森维塔自主研发的生物制造平台,粗甘油被转化为多用途生物油,可进一步加工为高附加值直接替代型原料,既能在现有炼厂进行联合加工,也可用于生产酯类和脂肪酸类加氢(HEFA)航煤,拓宽了原料来源,并提升了脱碳潜力。该生物油项目单位生产成本可降低近40%,与巴西现有工业资产及本土产能形成协同效应。目前,该项目正在开发阶段稳步推进,计划于今年内作出最终投资决策。

黄丽敏 译自烃加工网

加拿大建成 沥青基碳纤维生产线

碳纤维是高性能复合材料的关键原料,其制备工艺创新对降低成本和拓展应用范围意义重大。作为碳纤维的潜在原料,沥青衍生原丝的碳化加工存在诸多挑战。去年11月,加拿大艾伯特创新公司新研究中心正式启用,其委托美国哈珀国际公司打造的沥青基碳纤维科研用碳化生产线的完成安装调试并投运,为相关研发提供了专业的实验平台。

该碳化生产线由哈珀国际公司依托在沥青基碳纤维领域数十年的技术积累设计,针对性地解决了沥青衍生原丝碳化加工的技术难题。这套系统适配沥青基碳纤维研发,设计产能达3千吨/日,具备高度灵活的加工配置能力,可灵活调节输送、加热及气流等模式,满足多样化实验与工艺研发需求。在纤维传输环节,系统集成氧化炉、低温炉、高温炉与超高温炉等关键设备,可实现纤维低张力甚至零张力输送,保障碳化过程中纤维的形态与性能稳定。

哈珀国际公司销售工程师表示,这套定制化柔性科学级生产线贴合艾伯特创新公司的研发目标,既能实现沥青基碳纤维制备生产,也可开展标准碳化工艺的测试验证与研发。

燕春晖 译自《复合材料世界》

亚洲多国提升煤炭用量 以保障能源安全

受中东局势升级影响,全球约20%的液化天然气(LNG)供应中断,亚洲现货 LNG 价格暴涨70%,至3年高位。面对天然气供应危机,中国、印度、韩国等亚洲国家纷纷启用煤炭以补充能源缺口,通过燃料切换保障供应稳定,凸显了能源结构多元化在应对地缘风险时的关键作用。

此次能源供应冲击的直接诱因是卡塔尔暂停 LNG 生产。作为亚洲核心 LNG 供应国,卡塔尔关闭了全球最大 LNG 综合体拉斯拉凡的生产设施,并向客户发出不可抗力通知。同时,霍尔木兹海峡通航受阻,导致依赖该通道的能源运输陷入停滞。亚洲地区吸纳了卡塔尔85%的LNG出口量,供应中断对其能源体系造成直接冲击,南亚国家受影响最为严重。

数据显示,2025年,卡塔尔和阿拉伯的 LNG 占印度 LNG 进口量的53%、孟加拉国的72%、巴基斯坦的99%。由于现货 LNG 价格飙升至难以承受的水平,巴基斯坦和孟加拉国已基本退出现货市场。

而与 LNG 价格暴涨70%相比,煤炭价格仅上涨约14%,成本优势显著。中国和印度作为全球最大的煤炭消费国和进口国,具备较强的燃料切换能力,其火电系统可通过提升煤炭利用率,部分抵消天然气供应不足的影响。荷兰国际集团(ING)亚太区研究主管迪帕利·巴尔加瓦指出,中国和印度的煤炭储备一定程度上能降低油气价格波动带来的冲击。

不同国家应对危机的能力呈分化态势。中国对卡塔尔 LNG 的依赖度较低,仅为6%,能源安全韧性相对较强;而韩国、新加坡的燃气发电占电力结构比例均不低于1/4,且对现货 LNG 依赖度较高,面临更大供应压力。巴基斯坦正通过需求管控、燃料切换和可再生能源扩容等方式缓解能源困境,而孟加拉国已启动天然气定量供应机制。

业内专家表示,此次能源危机验证了亚洲国家坚持能源结构多元化的战略合理性。煤炭虽无法完全替代天然气,但有效缓解了供应中断带来的冲击,为能源系统调整争取了时间。由于全球地缘局势复杂多变,能源安全与脱碳目标的平衡成为各国面临的重要课题,建立多元、韧性的能源供应体系,将成为未来一段时间亚洲国家能源发展的核心。

张文杰 郭卫玲 译自油价网