



今年9月4日至6日,第七届世界地热大会将在北京举办。这是中国首次承办世界地热大会。地热能是重要的非碳基可再生能源,具有本土资源、稳定可靠、绿色低碳等优势。我国地热资源量约占全球的1/6,是统筹做好保障能源安全与绿色低碳转型发展的独特资源。在近日中国石化举办的科技创新未来发展论坛上,中国工程院院士孙焕泉全面分析了国内外地热资源及开发现状,深入剖析了地热勘探开发面临的挑战,展望了地热资源未来发展方向。本版整理刊发相关内容,敬请关注。

本版文字由 本报记者 马玲 整理

地热能是重要的非碳基可再生能源,具有本土资源、稳定可靠、绿色低碳等优势。我国地热资源量约占全球的1/6,是统筹做好保障能源安全与绿色低碳转型发展的独特资源。

2022年6月,国家九部门联合发布《可再生能源发展“十四五”规划》,提出积极推进中深层地热能供暖/制冷、全面推进浅层地热能开发、有序推动地热能发电发展,地热能规

模化开发呈现蓬勃发展态势。近日,国务院国资委又着眼前瞻性、颠覆性技术领域,启动中央企业未来产业相关工作,将深层地热能开发与利用纳入未来空间产业总体布局。

产业快速发展,地热供暖为主

地热资源按温度分,90~150摄氏度属于中温地热,150摄氏度以上属于高温地热;按深度分,200米以浅是浅层地热,200~3000米是中深层地热,3000米以深是深层地热;按类型分,主要有水热型地热和干热岩型地热。

全球地热能资源量是煤炭资源量的数万倍,目前年直接利用量为28.4万吉瓦时,折合1亿多吨标准煤。浅层地热、中深层水热型地热供暖/制冷是目前地热能直接利用的主要方式。

我国高温地热资源多呈点状分布,中低温地热资源分布广泛。中深层水热型地热资源总量相当于1.25万亿吨标准煤,3~10千米埋深的地热资源超过856万亿吨标准煤。高温水热型地热资源集中分布于青藏高原及周边地区,用能需求相对较少,东部地区尚无规模勘探发现;中低温水热型地热资源广泛分布于中东部,区域人口密

集、用能需求旺盛,更适宜规模发展地热能直接利用。

我国大力发展地热能直接利用,产业规模快速发展。截至2020年底,地热能直接利用折合装机容量超过4万兆瓦。其中,浅层地热占比65%、中深层地热占比35%。地热供暖成为中深层地热能直接利用的最主要方式。

我国浅层地热供暖/制冷面积约8.1亿平方米,年减排二氧化碳超过2000万吨,已基本形成完善的技术体系,进入规模化应用阶段;主要利用区域分布于中东部平原地区,其中,环渤海地区发展最好,其次为长江中下游平原地区。中深层地热供暖面积累计达到5.82亿平方米,年减排二氧化碳超过2000万吨,在北方清洁供暖和大气污染防治中发挥了重要作用。河北、河南、山东、天津、陕西、山西等地,是水热型地热供暖的主要区域。

我国不同地热资源类型特征对比表

资源类型		埋藏深度	热储温度	热储类型	主要用途
浅层地热资源		200米以浅	一般25摄氏度以下	一般为土壤、地下水 and 岩土体	建筑供暖/制冷
中深层水热型地热资源		200~3000米	一般25~90摄氏度	在沉积盆地内一般为碎屑岩、碳酸盐岩,在隆起山区沿断裂分布	建筑供暖、农业种植养殖、洗浴
深层地热资源	水热型	3000米以深	一般90~150摄氏度	在沉积盆地内一般为碎屑岩、碳酸盐岩,在隆起山区沿断裂分布	工业供热-建筑供暖/制冷为主,也可用于发电
	干热岩型		部分150摄氏度以上		发电-工业供热-建筑供暖/制冷等形式的梯级利用
			180摄氏度以上	以花岗岩为主,也可碳酸盐岩、碎屑岩、变质岩等	

深化基础研究,创新工程技术

我国地热资源勘探开发面临严峻挑战。首先是地质条件复杂。我国大地构造背景复杂,多阶段的地球动力体系叠加、复合,复杂的地质演化造成盆地类型多样、结构复杂。其次是富集机理不清。我国地热系统类型多、成因复杂,不同类型的地热系统构成要素不清,干热岩高品质资源分布规律不明,资源预测缺乏相关的理论指导。再次是工程技术不适应。我国以板块内地热资源为主,大地热流值较低,新生代岩浆活动较弱,优质资源埋藏深度大,对工程技术提出更高要求。

直接取热是世界性难题。我国发挥在油气领域的技术优势,开展地热关键技术系统攻关。在基础研究方面,揭示了地热系统形成机制。地热资源总体分布广泛,但富集需要有利的热源、热储和盖层配置。对于水热型地热资源来说,还要具备水源和地热水运移通道。相较于常规油气局部圈闭成藏的特点,寻找热量聚集的“甜点”是地热资源勘探的重点。

热源是优质地热资源形成的核心要素。热储要具备良好的导热能力和储水空间,盆地尺度的地下水循环通过热对流控制热量聚集,岩层的导热能力通过热传导控制热量聚集,热量优先向高热导率的热储聚集。深大断裂、区域断裂及热储内部储集空间的发育,能够形成良好的水热对流能力,更好地将深部储层的热量带至浅部。

有效盖层是减少热散失和热量保存的必要条件。低热导率岩层构成了有效盖层,良好的保存条件与热储条件相配合,能够确保优质地热资源形成。储盖热导率差别越大,隆起顶部聚热效果越明显,具有一定厚度盖层的“注中隆”顶面,更有利于地热资源富集。找到埋藏浅、裂缝发育程度高的优质碳酸盐岩热储是重点。在聚焦隆起、凸起区寻找优质地热资源“上山”找水勘探思路的指导下,我国在渤海湾盆地牛驼镇凸起上的雄县、沧县隆起上的献县等优质碳酸盐岩中找到了高品质的地热资源。

热量在地层中的传递主要有热传导和热对流,在基岩中,主要是通过热传导方式进行传热,是从固到固的传热路径;在裂缝中,主要是以热对流的方式进行传热,是从固到液、从液到液、从液到固的传热路径。科研人员针对碳酸盐岩热储缝洞的发育和渗流特征,提出对应的渗流和热传导表达式,建立缝洞渗透率与方向、密度的关系,形成了地热资源选区评价技术,落实了优质资源靶

区。

科研人员基于地热系统成因及资源富集机理的认识,形成了从盆地级到区带级再到靶区级的不同尺度目标优选原则。盆地优选,瞄准我国东部地区渤海湾盆地、南华北盆地、汾渭地堑等断陷盆地;区带优选,聚焦盆地内的隆起和盆地凹陷间的褶皱、凸起;靶区优选,从埋深、断裂条件、储层发育、富水性、非均质性等方面作出评价。在此基础上,中国石化建立了地热勘探开发数据库及应用平台,为资源与选区选址评价、数据资源集成等提供应用支持。

地热资源的形成和富集不受圈闭控制,热储描述范围大,井段长。中国石化发展热储描述技术,实现热储精细刻画。基于雄安新区热储描述成果,先后实施探井3口,均取得成功,落实了重点区域地热资源潜力,明确了不同地区单井供暖能力,为后期地热开发方案编制提供了技术支撑。

地热能开发具有周期性、大流量、以灌定采和高效传热的特点,中国石化创建地热能可持续开发技术,形成具有自主知识产权的地热系统数值模拟软件,制定地热能可持续开发技术参数,实现稳定高效开发。咸阳地热田已稳定开发25年,雄县地热田已稳定开发14年。

中国石化创新“取热不耗水”等一系列工程技术,实现安全低成本开发。“取热不耗水”是指热源侧和用户侧两套独立循环系统,热源侧地热水与用户侧循环水不直接接触,间接换热利用。用户侧循环水获取热能后泵送至用户端,热交换后的地热水至回灌井同层回灌,整个系统闭式循环,保障可持续开发。

从应用成效看,中国石化累计建成中深层地热供暖能力超过8500万平方米,预计2023年底突破1亿平方米,助推我国中深层地热供暖产业实现高质量发展,供暖面积累计达到5.82亿平方米。

基于自主技术,中国石化创建了地热开发利用“雄县模式”,建成我国第一座地热清洁供暖无烟示范城,在雄安新区建成供暖能力超1000万平方米,年减排二氧化碳超30万吨,相当于植树17.5万棵。2021年7月,雄安新区热项目列入国际可再生能源机构全球推广项目名录。通过示范推广,中国石化先后建成了河北容城、陕西武功、河南清丰等10座地热供暖无烟城,带动了京津冀及周边地区地热产业协同发展。

地热已热 未来更热

浅层地热资源

在太阳能辐射和地球深部热量形成的大地热流综合作用下,赋存于地球表面恒温带至200米埋深的土壤、岩石和地下水中的资源

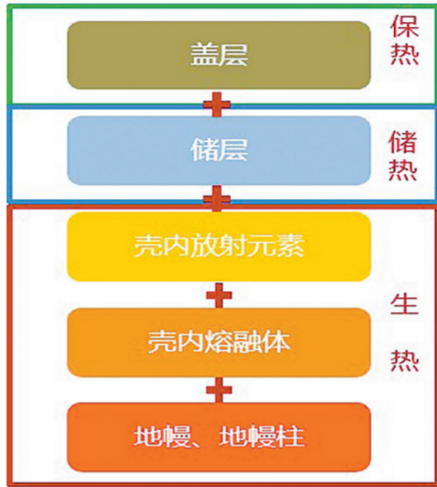
水热型地热资源

一般以热水形式埋深在200~3000米,主要包括高温(一般大于150摄氏度)的岩浆型、中低温(40~150摄氏度)的隆起断裂型及沉降盆地型资源

干热岩地热资源

埋深一般大于3000米,温度超过150摄氏度,成因类型多样

地热系统构成示意图



成长阶段

2004~2016年

地热能的开发利用呈现规模化、专业化的特点,产能逐步释放,出现了一大批代表性企业,我国迅速成长为全球地热能直接利用量最大的国家。

我国地热能行业发展历程

起步阶段

1971~2003年

地热能的开发利用初步得到能源界的重视,出现了个别区域分散开发,对地热能资源的勘探和评价工作也逐步开展。

逐步成熟阶段

2017年至今

地热能行业发展进入了国家战略层面,行业规划、行政监管、技术研发、人才培养开始走向正规,产业规模快速扩大,出现了项目导向、利润导向、技术导向等多种运营模式。

进军深层领域,推进多能协同

低温

90℃ 中温

150℃ 高温

地热资源按温度分类示意图

“十四五”以来,国家、省(区、市)层面地热产业相关规划及政策相继出台,通过规划及政策引领,地热产业规模持续扩大。

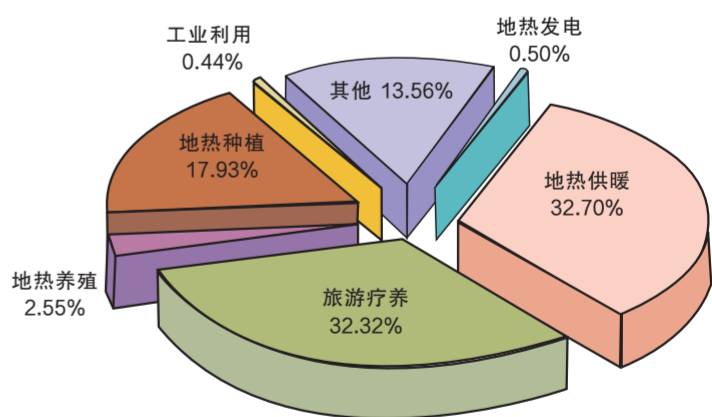
2021年,国家能源局等八部门联合发布《关于促进地热能开发利用的若干意见》,提出到2025年,地热能供暖/制冷面积比2020年增加50%;到2035年,地热能供暖/制冷面积及地热能发电装机容量比2025年翻一番。2022年,国家发展改革委等九部门联合发布《可再生能源发展“十四五”规划》,提出到2025年,地热能供暖等非电利用规模在6000万吨标准煤以上。

中国石化全力支持雄安新区建设,继续加快推进北方地热供暖业务,积极布局南方夏热冬冷地区供暖/制冷业务。规划到“十四五”末,地热供暖能力累计达到1.6亿平方米,在京津冀、黄河流域、长江流域及南方地区,抓紧培育市场、建设示范项目,发挥引领作用,形成规模发展。

深层地热资源开发属于国际学术技术前沿,世界各国普遍将深层地热资源视为重要的接替资源。美国、欧盟均设立了国家计划项目,长期大量投入,通过国家实验室组织攻关干热岩等深层地热能资源选区评价、高效钻井、压裂和监测等前沿技术。

我国需结合资源与用能特点,深化高温地热能成因理论、前瞻布局非水介质传热导热机理等基础理论研究,寻找中东部深层优质地热资源的富集机理与分布规律,探索二氧化碳等介质代替水作为热储改造和取热介质的可能性。

深层高温热储勘探开发是新领域。特别是干热岩,具有资源储量巨大、热储能量密度大、技术门槛高、开发利用难度大等特点,美国麻省理工学院把它视为美国地热能的未来。我国紧跟前沿开展研究,着力开发高温地热和干热岩,向资源品质



地热资源用途示意图

更高、应用范围更广的深层地热领域进军,近年来设立的地热领域国家级重点研发项目全部瞄准深层地热。中国石化正实施国家重点研发计划,配套部署华南5000米深地热探井,有望打开南方地区深层地热发电——制冷新场景。

推进“地热+”多能协同。地热水温度在90摄氏度以上时,可进行发电——工业供热——建筑供暖/制冷——农业利用等多形式的梯级组合利用,实现资源利用的最大化,提高地热能利用率。地热+油田余热综合利用,可为油田热采、原油伴输、油田区清洁用能等方面提供用热需求,加速油田绿色转型;地热+风光+氢能,可加速形成多元驱动的新能源发展格局,打造绿色综合能源发展基地。地热+储能,具有高能量储存容量和高储能效率的优势,如能有效解决地热岩土储能热损失、效率衰减等问题,将大规模消纳非稳定可再生能源,有效解决季节性供需不匹配问题。

美国、土耳其等国家已出台支持地热能相关法案,带动了地热产业快速发展。我国尚无针对地热的专门立法,亟须研究和争取政策支持,形成优势发展环境,推动地热产业高质量快速发展。