

地热资源勘探开发技术与发展方向

王小余

拓科石油化工有限公司 四川成都

摘要：地热作为一种绿色清洁能源，开发利用其能够有效地降低常规燃料需求和二氧化碳及氮氧化物等的排放量，从而减少大气污染，符合环保工艺要求。加强地热资源的开发利用，提升地热钻探技术与装备，对构建资源节约型、环境友好型社会，保障国家能源安全，改善我国现有能源结构，促进国家节能减排战略目标的实现具有重要意义。文章根据近些年来我国地热资源勘探开发的现状，分析了目前我国地热资源利用现状和存在的诸多问题，指出在地热资源开发利用领域可能发展的方向。

关键词：地热资源；勘探；开发利用

目前，地热资源在全球很多地区的应用相当广泛，开发技术也在日益完善，应进一步改进地热资源的勘探和提取技术，不断提高地热资源的应用潜力，使地热资源真正成为新能源利用的主角。

1. 中国地热资源及开发利用现状

1.1 地热资源分布

全球地热资源分布受大地构造环境控制而具有明显的规律性，高温地热资源集中分布在构造活动强烈的板块边缘区域，与全球主要的火山—地震活动带存在高度对应关系，形成了环太平洋地热带、大西洋中脊地热带、红海—亚丁湾—东非裂谷地热带、地中海—喜马拉雅地热带等4个高温地热带。我国仅青藏高原及周边地区处于地中海—喜马拉雅高温地热带，台湾地区处于环太平洋高温地热带，高温地热系统主要分布于这两个地区；其余地区均位于欧亚板块内部，总体属于非岩浆型，少见火山或岩浆热源，在地壳浅部观测到接近或稍高于地壳平均热流值，地温梯度正常或略偏高，为区域地热正常区，以规模相对较小的局部热异常为主，广泛发育中—低温水热系统，高温地热资源多呈点状分布。受构造背景、岩浆活动、水文地质条件、地层发育等因素的综合影响，中国地热资源分布广泛，但分布具有明显的规律性和地带性。按类型划分，浅层地热资源广泛分布，336个地级以上城市浅层地热能资源年可采量折合7亿吨标准煤，其中31个省座城市80%的土地面积适宜利用浅层地热能；水热型地热资源总量约折合1.25万亿吨标准煤，年可采资源量约折合19亿吨标准煤，其中沉积盆地地热资源约折合1.06亿吨标准煤，主要分布在我国中东部地区的渤海湾盆地、松辽盆地、南华北盆地、关中盆地等中生代断陷型沉积盆地中，是我国地热资源开发的重点领域；陆域3~10km埋深的干热岩地热资源潜力超过856万亿吨标准煤，西藏南部、云南西部、东南沿海、华北（渤海湾盆地）、汾渭地堑、东北（松辽盆地）

等地区为有利靶区。

从我国地热资源分布与用能需求的匹配来看，在高温水热型地热资源集中分布在青藏高原及周边地区，水能、太阳能、风能等其他可再生能源丰富，同时人口和工业规模较小，对地热能开发的需求不旺盛，在一定程度上限制了我国地热发电的发展。中低温水热型地热资源广泛分布于中东部地区，该区域集中了我国超过90%的人口，用能需求旺盛。目前，中东部地区发现的规模优质地热资源以适宜供暖的中低温水热型地热资源为主，随着近年来我国大力推进北方冬季清洁取暖，地热能供暖产业发展迅猛。

2. 地热资源勘探开发技术

2.1 技术现状

近年来，我国地热产业快速发展，地热勘探开发技术不断成熟，在地热地质、选区评价、可持续开发、工程配套等理论和技术方面取得很大进步，初步形成了中深层水热型地热资源勘探开发技术系列。

2.1.1 地热勘探理论

与常规油气的圈闭成藏不同，地热资源广泛分布、不受圈闭控制，但具有局部富集的特征。其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，还要具备水源和地热水运移通道。地热系统以热源为中心，包含热生成—运移聚集—保持所需要的地质要素和地质作用，寻找热量聚集的“甜点”是地热资源勘探的重点。

(1) 热源是优质地热资源形成的核心要素，热源和热聚敛模式控制区域温度场分布。地壳减薄及软流圈上涌、熔融体或岩浆的侵入作用、构造活动的差异性对岩浆活动的影响、区域性深大断裂的导热作用等是主要影响因素。

(2) 热储要具有良好的导水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，地热水优先向高渗透率部位流动。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，更好将深部储层的热量带至浅部。

(3) 有效盖层是减少热散失和热量保存的必要条件。低热导率岩层作为有效盖层，砂岩热导率明显低于碳酸盐岩，储盖热导率差别越大，隆起顶部聚热效果越明显，因此具有一定厚度盖层的“注中隆”部位，更有利于地热资源富集。良好的保存条件与热储条件相配合，确保了优质地热资源形成。

基于地热系统成因机制的认识，形成了适应于我国东部沉积盆地地热资源禀赋的“上山（潜山）”找水的勘探思路，聚焦隆起、凸起区寻找优质碳酸盐岩地热资源，在渤海湾盆地、南华北盆地、鲁西隆起、太原盆地等地区，以蓟县系雾迷山组和寒武-奥陶系碳酸盐岩热储为最主要勘探目标。这类碳酸盐岩热储埋藏较浅、裂缝发育程度高，通常有深大断裂沟通深部热源，储水导水条件好、易于回灌。

2.1.2 地热资源选区评价技术

针对评价区的资源规模、热储埋深、热储温度、资源开采条件等方面的综合评价，形成了盆地级→区带级→靶区级不同尺度的目标优选原则。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，优先聚焦盆内坳陷、凹陷间的隆起和褶皱、凸起区碳酸盐岩地热资源，兼顾坳陷、凹陷内砂岩地热资源，从埋深、断裂条件、储层发育、富水性、非均质性等方面评价优选。建立了包含储层类型、深度、温度、流量、压力等多参数的评价标准，在我国大华北地区的渤海湾盆地、南华北盆地、汾渭地堑等地热富集盆地开展全面评价，优选出了容城、太原、开封、兰考等资源潜力区，为地热资源有效勘探和高效开发指明了方向。

2.1.3 热储描述技术

重点针对碳酸盐岩非均质性热储，综合应用地质、钻井、地震、重磁电等资料开展点、线、面三维热储精细描述和地质评价。一方面采取“地震+非震”的手段，优选大地电磁法等地球物理方法，结合临近油田区域局部三维地震资料综合分析，以达到探测地下地质结构、描述热储特征、发现低阻水层等勘探目的。另一方面应用野外露头观测、成像测井解释、岩心裂缝观察、动态模拟分析等手段，明确岩溶热储发育规律。通过岩石力学、有限元计算、随机模拟等方法，建立基质属性模型、裂缝强度模型、热储温度模型等耦合的岩溶热储模型，明晰不同区域资源禀赋差异，在此基础上进行采灌均衡条件下的地热资源评价，指导地热项目产能建设。

2.1.4 地热可持续发展技术

地热开发具有周期性（供暖季、非供暖季）、大流量（单井注采量通常大于 $2000\text{m}^3/\text{d}$ ）、以灌定采的特点，特别是地热资源开发过程中存在持续的流体和热量补给，

与油气资源开发差异巨大。要保证开采量与补给量的精准匹配、动态平衡，实现可持续的稳定高效开发，需要考虑地热田边界、水的渗流规律及水-岩、岩-岩等多种传热过程之间的关系。

基于热储传热机理研究，特别针对碳酸盐岩热储缝洞的发育特征和渗流特征，建立了碳酸盐岩热储基质+缝洞系统的传热机理分析模型；充分考虑温度场多种热量边界、渗流场不同补径排条件等相互作用过程，建立了温度场与渗流场、应力场等多物理场耦合的传热描述方法，定量表征岩溶热储内部的复杂流动传热过程。基于裂缝渗透率和换热系数的动态变化模型，可以实现岩溶热储长期回灌能力和采热潜力的预测。通过数值模拟方法论证开放边界有无热补偿情况下的热储地温场变化规律，要求满足生产需要的同时在预测周期（50年）内不会发生热突破的现象，指导优化确定合理的采灌井井网、井距、回灌能力及回灌温度等开发技术参数。以雄安新区容东安置区为例，研究确定在垂直裂缝主方位方向上布井，采灌井距不小于 500m ，采灌量不大于 $110\text{m}^3/\text{h}$ ，回灌温度不低于 20°C ，生产过程中不考虑采灌井别互换，以此保障地热资源长期可持续开发利用。

三、地热勘探开发技术发展方向

2022年，国家发改委等九部门发布《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达到6000万吨标准煤以上。地热产业规模将持续快速扩大，向资源品质更高、应用范围更广的深层地热资源领域进军是必然趋势。深层地热资源理论研究、开发利用技术等属国际学术技术前沿，我国研究起步较晚，但近五年设立的地热领域国家重点研发计划项目中大部分瞄准深层地热或干热岩领域，已经奠定了一定研究基础。但与国际上代表性的深层地热前沿技术相比，我国在地热地质、地球物理和地球化学领域处于并跑阶段；在干热岩压裂及开采等方面处于跟跑阶段，仅在青海共和等地初步开展了干热岩勘查试采，资源利用尚无规模开发实践。

地热能作为一种无污染可再生的新能源，其开发和利用引起了人们的广泛关注，实现节能减排、绿色发展目标，合理开发利用地热资源意义重大。成井的钻探技术装备水平和工艺方法需要进一步研究和提升，提高地热井的出水量和出水温度，满足不同地层条件下地热资源的有效开发利用。

参考文献：

- [1]周总瑛，刘世良，刘金侠.中国地热资源特点与发展对策[J].自然资源学报，2015，30（7）：1210-1221.
- [2]徐世光，郭远生.地热学基础[M].北京：科学出版社，2009.
- [3]陈墨香，汪集喏.中国地热资源——形成特点和潜力评估[M].北京：科学出版社，1994：1-39.