

【简讯与热点】

# 全球干热岩勘探开发和综合利用专利技术发展趋势与启示

王晓丽, 宋韦剑, 王鑫, 陈杨, 张敬

(中国地质调查局地质文献中心, 北京 100083)

**The development trends and implications of global patent technologies for exploration, development and comprehensive utilization of hot dry rock**

WANG Xiaoli, SONG Weijian, WANG Xin, CHEN Yang, ZHANG Jing

(Geoscience Documentation Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

## 1 引言

干热岩是指埋深在 3~10 km、温度高于 150℃、致密不渗透的高温热岩体。其资源量巨大、分布广泛,是一种清洁、环保、可循环利用的再生能源。因此,从干热岩中高效提取热能已经成为全球研究热点。20 世纪 70 年代,美国率先进行了干热岩勘探开发研究,随后英国、法国、日本、德国、澳大利亚、中国和加拿大等国家相继开展相关探采试验工作,在干热岩勘探、开采和综合利用等多个关键技术领域中取得了众多创新性成果,申请了大量的技术专利。

本文依托智慧芽(PatSnap)全球专利数据库,检索出 2014—2023 年全球干热岩勘探开发及综合利用技术领域专利数据 2734 件,旨在通过分析系统揭示近 10 年来干热岩专利技术的研发现状与态势、技术分布与主要申请机构的专利战略布局等,以期为中国干热岩产业战略发展、技术研发和国际化专利布局提供参考。

## 2 专利申请趋势分析

2014—2023 年,全球干热岩相关技术专利申请数量总体呈稳定增长态势,从 2014 年不足 100 件,到 2020 年突破 400 件,翻了 2 番,2022 年达到峰值 414 件(图 1)。由于 2022 年和 2023 年的专利申请数据尚未全部公开,2023 年的申请量呈现下降趋势,综合考虑往年的增长情况可以预见,干热岩相

关技术仍然具有较高的研究热度,并处于稳步发展中。

## 3 各国技术实力及趋势

2014—2023 年,全球干热岩相关技术专利申请主要集中于中国、美国和加拿大,3 国专利申请总量占全部申请专利的 93.0%。除此之外,专利申请量前 10 位的国家(地区)还包括沙特阿拉伯、法国、瑞士、奥地利、日本、比利时和英国,其中中国专利占到全部申请专利的 67.6%(表 1)。

2012 年开始,中国相继启动了“干热岩热能与综合利用关键技术研究”863 计划项目、“全国地热资源调查评价与勘查示范工程”等一系列干热岩研发项目计划,加之国内科技政策的指导与扶持,中国专利申请保持强势上升态势,年均增长率达 31.9%。2016 年,中国专利申请量超过美国,成为干热岩领域第一申请大国,领跑全球。2015 年之后,美国专利申请呈持续下降趋势,2018 年美国 FORGE 计划进入研究实施阶段,加之美国政府对清洁能源的重视,2019 年以来,美国干热岩专利申请量呈直线上升趋势。2017 年以来,加拿大专利申请量增速显著,主要是由于埃沃尔技术股份有限公司进入干热岩领域,该公司是 2017 年成立的一家加拿大初创公司,2018 年开始在全球范围内大量布局钻完井和闭环地热系统方面的专利。沙特阿拉伯和法国在干热岩领域专利产出不连续,仅 2018 年的专利申请量超过了 10 件(图 2)。

### 4 专利技术领域分布

按干热岩技术分支分布看,开发技术专利申请数量最多,有 2382 件,占比 87%,受到申请人的最大关注,尤其以热能提取技术的申请量居首。其次是综合利用技术,以 314 件位居第二,占比 11%,更

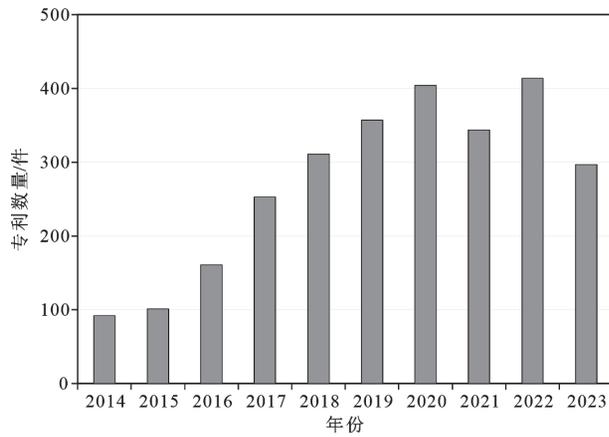


图 1 干热岩全球专利申请趋势

表 1 干热岩相关技术专利申请国分布

| 申请国   | 专利申请量/件 |
|-------|---------|
| 中国    | 1866    |
| 美国    | 426     |
| 加拿大   | 275     |
| 沙特阿拉伯 | 29      |
| 法国    | 22      |
| 瑞士    | 18      |
| 奥地利   | 15      |
| 日本    | 14      |
| 比利时   | 13      |
| 英国    | 12      |
| 其他    | 71      |

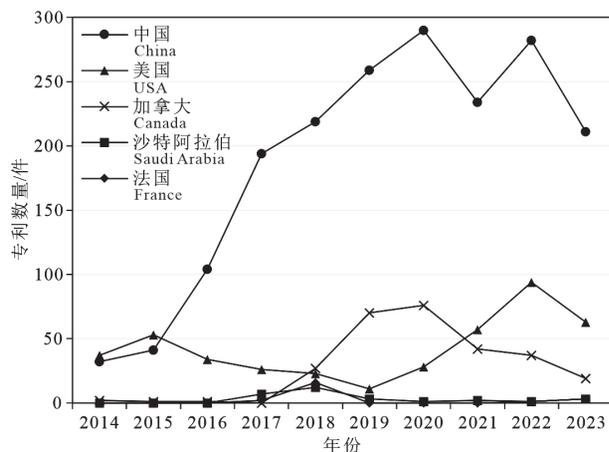


图 2 干热岩相关技术前 5 国家(地区)专利申请趋势

侧重发电技术。勘探技术申请量较少,占比 3% (图 3)。

### 5 机构专利权人分析及其研发布局

全球干热岩专利申请量排名前 3 的机构分别是:加拿大的埃沃尔技术股份有限公司、中国地质调查局和中国石油化工集团有限公司。在专利申请排名前 20 的机构中,中国有 16 家,美国有 2 家、加拿大和沙特阿拉伯各 1 家,国外机构全部为企业,中国机构以大学为主(图 4)。

埃沃尔技术股份有限公司在钻完井、热能提取和发电技术上都具有明显优势,其拥有的 Eavor-Loop™技术是一种封闭循环地热系统,不需要水力

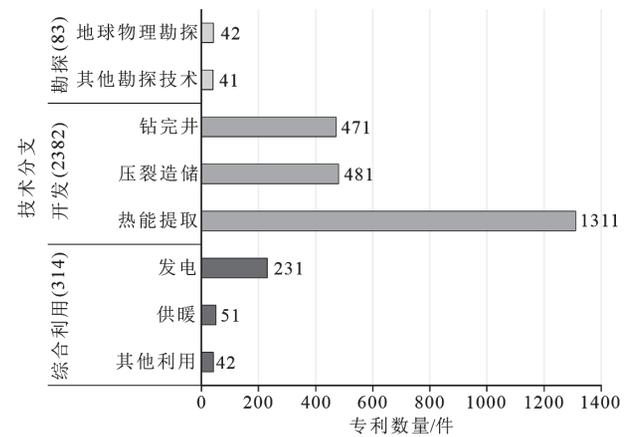


图 3 干热岩技术重点技术方向

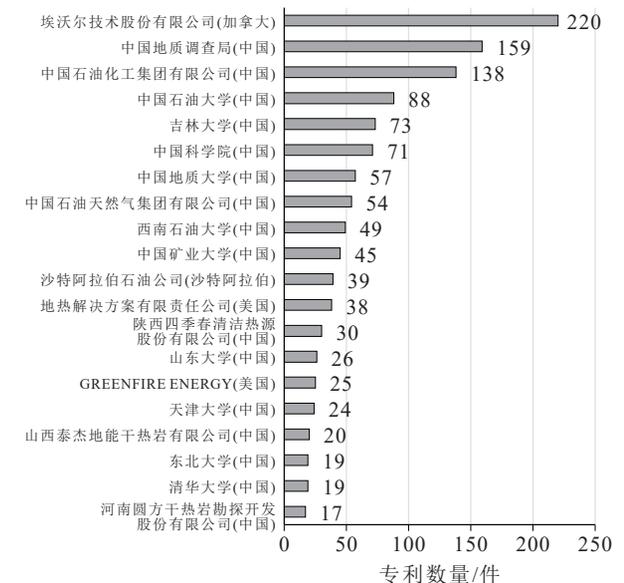


图 4 干热岩全球专利申请主要机构

压裂。该公司迅速在全球范围内对此项技术进行专利布局,目前正在世界 20 多个国家推进发电量相当于 10 座核电站的地热发电项目。中国地质调查局的技术研发覆盖了干热岩勘探、开发和综合利用各技术领域,在压裂造储技术上优势显著。中国石油化工集团有限公司重点集中在钻完井技术,中国科学院更侧重于热能提取技术方面的研发。在干热岩发电技术方面,中国石油大学、中国石油化工集团有限公司和中国科学院等机构研发活跃(图 5)。

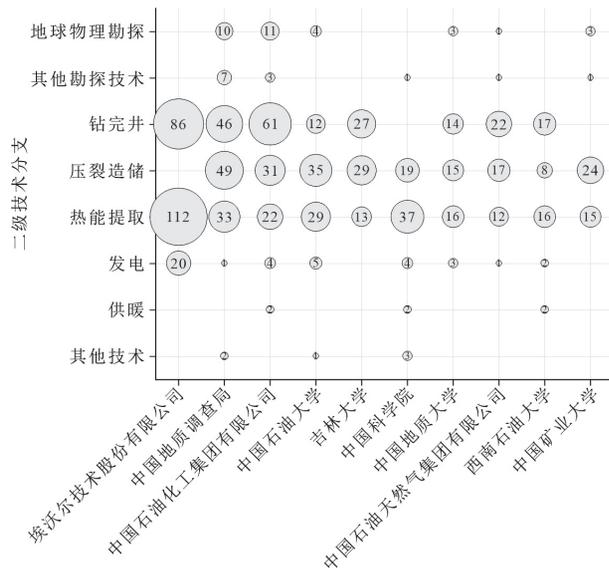


图 5 干热岩全球专利申请主要机构研发布局

### 6 重点专利

从专利被引频次和专利价值两个角度挖掘干热岩领域的重要专利申请。干热岩领域被引频次排名前 10 的专利(表 2)主要来自中国和美国,两国各占一半,表明中国和美国在干热岩领域具有一定的技术引领作用。干热岩领域专利价值前 10 的专利(表 3)主要来自美国、加拿大和沙特阿拉伯等国家,这些专利在全球范围内进行布局,具有很强的市场竞争力。

### 7 中国地质调查局研发机构和发明人

中国地质调查局共有 12 家机构拥有干热岩相关技术专利,其中中国地质调查局水文地质环境地质调查中心专利申请量最多,有 58 件,其次是中国地质科学院勘探技术研究所,有 38 件(图 6)。专利申请量排名前 10 的发明人均来自这两家机构,金显鹏和李宽的专利申请量均超过了 20 件(图 7)。

### 8 启示

(1)由于增强型地热系统(EGS)面临着易诱发地震干扰的挑战,而闭环地热系统无须水力压裂,规避了环境风险,具有良好的应用前景和经济价值,为未来干热岩商业化开采的工艺选择提供了参考和借鉴。

表 2 干热岩领域被引频次前 10 专利

| 序号 | 公开(公告)号         | 专利名称                     | 当前专利权人                          | 所属国家 | 申请年  | 被引频次 |
|----|-----------------|--------------------------|---------------------------------|------|------|------|
| 1  | US20150252661A1 | 水力压裂系统                   | 莱姆仪器有限责任公司                      | 美国   | 2015 | 336  |
| 2  | US20190154020A1 | 移动式水力压裂系统及相关方法           | SUPREME ELECTRICAL SERVICES INC | 美国   | 2019 | 217  |
| 3  | CN104295448A    | 全天候式清洁能源综合发电节能及设施制法      | 熊凌云、熊英、赵静、赵翔、熊捷、熊倩、张梦璐          | 中国   | 2014 | 86   |
| 4  | WO2017136641A1  | 介孔二氧化硅纳米颗粒作为储层表征的荧光示踪剂   | GTRACK TECH INC                 | 美国   | 2017 | 71   |
| 5  | CN105840146A    | 一种分支井体积压裂自循环开采干热岩地热方法    | 中国石油大学(华东)                      | 中国   | 2016 | 63   |
| 6  | US20160003020A1 | 油气地层延时压裂方法               | 得克萨斯大学体系董事会                     | 美国   | 2014 | 62   |
| 7  | CN107893652A    | 干热岩增强型地热系统的水力压裂模拟实验装置及方法 | 中国石油大学(华东)                      | 中国   | 2017 | 62   |
| 8  | US20180224164A1 | 自给式地下地热发电机和热交换器          | LAKIC NIKOLA                    | 美国   | 2018 | 64   |
| 9  | CN105909214A    | 一种利用长水平井自循环开采致密干热岩热能的方法  | 中国石油大学(华东)                      | 中国   | 2016 | 57   |
| 10 | CN105696996A    | 一种干热岩地热人工热储的建造方法         | 太原理工大学                          | 中国   | 2016 | 55   |

表 3 干热岩领域专利价值前 10 专利

| 序号 | 公开(公告)号         | 专利名称                                 | 当前专利权人           | 所属国家  | 申请年  | 专利价值/美元 |
|----|-----------------|--------------------------------------|------------------|-------|------|---------|
| 1  | US11959356B2    | 高效地热井筒的形成方法                          | 埃沃尔技术股份有限公司      | 加拿大   | 2022 | 5320000 |
| 2  | US20240060685A1 | 地热井热剖面控制和能量回收方法                      | 埃沃尔技术股份有限公司      | 加拿大   | 2023 | 3420000 |
| 3  | US20240052815A1 | 地热能收集器                               | XGS ENERGY INC   | 美国    | 2023 | 2990000 |
| 4  | US10551091B2    | 地热能提取地下系统                            | 韦尔泰克油田解决方案股份公司   | 瑞士    | 2017 | 2730000 |
| 5  | US11884870B2    | 在地热钻孔中使用具有环境相容性生物稳定剂的工艺流程            | 阿果安娜控股公司         | 奥地利   | 2021 | 2630000 |
| 6  | EP3088658B1     | 带有由可降解橡胶材料制成的可径向膨胀的环形橡胶构件的钻孔塞        | 吴羽化学工业公司         | 日本    | 2014 | 2570000 |
| 7  | US10696892B2    | 凝胶化烃类体系的改进                           | 沙特阿拉伯石油公司        | 沙特阿拉伯 | 2017 | 1700000 |
| 8  | US11028043B2    | N-羟烷基化多胺、制备N-羟烷基化多胺的方法和含有N-羟烷基化多胺的流体 | 沙特阿拉伯石油公司        | 沙特阿拉伯 | 2020 | 1670000 |
| 9  | US11519639B2    | 地热能收集系统                              | MCBAY DAVID ALAN | 美国    | 2021 | 1490000 |
| 10 | US11674504B2    | 地热循环能源生产系统                           | GREENFIRE ENERGY | 美国    | 2020 | 1470000 |

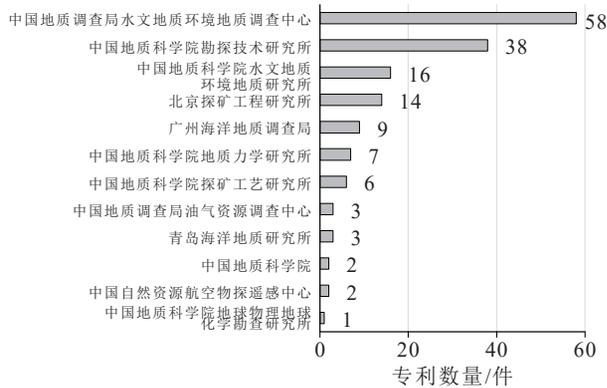


图 6 中国地质调查局干热岩专利申请机构

(2)中国的大量专利是在国内布局,海外布局少,而加拿大、美国等国家非常重视专利的全球布局,考虑到中国在干热岩领域已具备一定的技术水平,国内机构在申请专利时应进行充分评估,对于一些技术水准高、商业价值大的技术,应积极向国外提出申请,提高全球市场竞争力。

(3)中国申请机构中大学占比高,在干热岩技

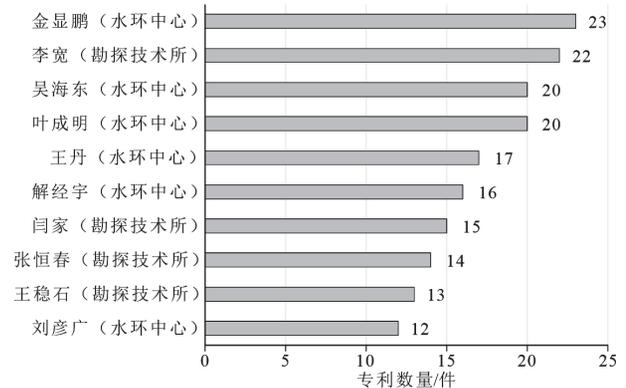


图 7 中国地质调查局干热岩专利申请主要发明人

术研发上具有相当的优势,除中国石油天然气集团有限公司、中国石油化工集团有限公司等几个规模较大的企业,其他企业大都存在自主研发滞后的问题。通过加强产学研的结合,在充分利用大学的研发能力,提高成果转化率的同時有利于帮助企业提高创新能力,从而强化其市场地位。