中国地质调查局地学文献中心·中国地质图书馆

国外地学文献速递

Express Delivery of Foreign Geological Literature

地热能专辑 （2022 年第 1 期）

编者按

地热能是一种绿色低碳、可循环利用的可再生能源，具有储量大、分布广、清洁环保、稳定可靠等特点，是一种现实可行且具有竞争力的清洁能源。我国地热资源丰富，市场潜力巨大，发展前景广阔。加快开发利用地热能对调整我国能源结构、节能减排、改善环境具有十分重要的意义。

国外地学文献速递（地热能专辑）是中国地质调查局地学文献中心为切实服务地质调查中心工作而推出的《国外地学文献速递》系列专辑之一。通过对国外主要文献数据库中涉及地热能勘查开发的最新文献进行筛选、摘要编译形成专辑。

本期专辑收录了来自于 Elsevier、SpringerLink 等期刊文献 10 篇，内容涵盖了地热能源提取技术、地热能利用建模、地热储层开发现状潜力和发展方向、增强型地热系统的激活机制与设计等。

目 录

获取更多地学文献信息，请关注“中国地质图书馆公众号”

本刊由“地学文献信息采集与智能化服务”项目支持

专辑主编：孙君一　　联系电话：(010)66554986

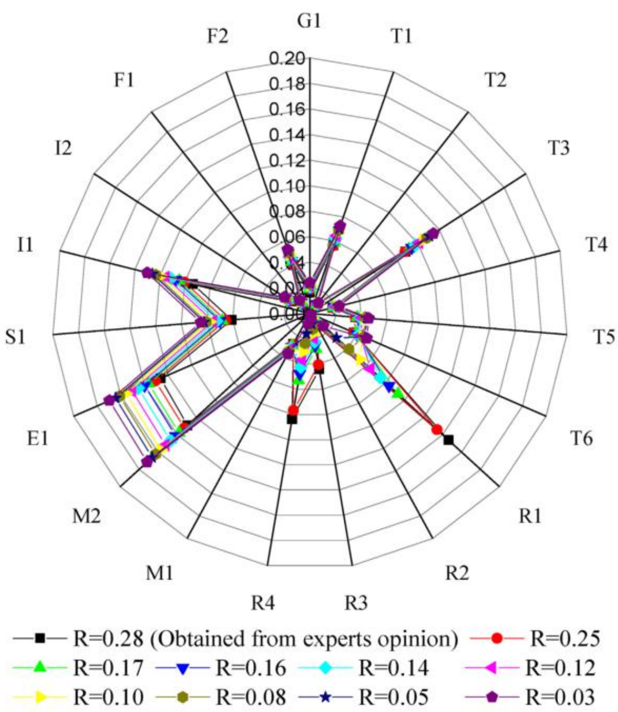
审　　核：陈　晶　　电子信箱：476015552@qq.com

识别和分析印度利用地热能的障碍

Identification and analysis of barriers for harnessing geothermal energy in India

■ 摘要译文

印度政府计划到 2030 年利用地热能发电 1000 万千瓦。要达到这一里程碑，需要面对许多挑战，因为印度的地热开发还处于初级阶段。本文，在文献综述和问卷调查的基础上，确定了在印度利用地热能可能的障碍类型和障碍。采用模糊德尔菲法找出已列出所有障碍中的重要障碍。然后，利用模糊层次分析法（Fuzzy AHP）确定各障碍类型以及每个类型内障碍的相对重要性。研究结果表明，资源类型的障碍获得了最高优先级。这种类型包括各种障碍，如（i）地热储层的概念化，（ii）理论热能的估算，（iii）可提取能量的确定，（iv）合适提取方案的选择。研究结果表明，一个反映地热田地热水文地质参数随深度变化的综合概念模型，可以提供可利用和可提取热势的准确描述。已经获得的层次结构稳定性可通过灵敏度分析进行检验。这项研究结果有助于确定地热能利用中可能会遇到的合理障碍，并提出了促进地热能利用的开发项目。



障碍元素权重对障碍类别权重变化的敏感性

■ 作者信息

Harish Puppala[a], Shibani K Jha[b], Ajit Pratap Singh[b], Rajvikram Madurai Elavarasan[c], Pietro Elia Campana[d]

[a] School of Engineering and Technology, BML Munjal University, Gurgaon, 122413, India

[b] Birla Institute of Technology and Science, Pilani, 333031, Rajasthan, India

[c] Department of Electrical and Electronics Engineering, Thiagarajar College of Engineering, Madurai, 625015, India

[d] Department of Sustainable Energy Systems, Malalardalen University, SE-72123, Vasterås, Sweden

本文发表于：Renewable Energy　　2022 年第 186 卷 327-340 页

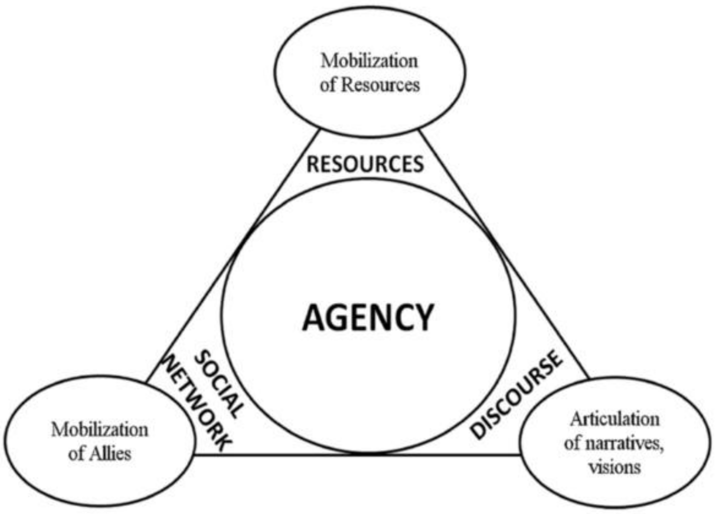
全文链接：https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.002

将油井转化为地热资源:能源转化的路线图和障碍

Converting oil wells to geothermal resources: Roadmaps and roadblocks for energy transformation

■ 摘要译文

地热能源系统可以通过地热直接利用来获得资源可持续的、零碳排放的热量。拥有成熟的石油工业和特征良好油藏的地区通常有最大的可能向地热能转型，但这些地区也最有可能反对利用地热能。研究表明，不考虑技术能力，公众的看法和政策可能是地热开发的重要限制因素。我们研究了利益相关者的话语、网络和资源如何随着时间的推移而相互作用，进而影响法国和阿尔伯塔省地热开发的成败。研究发现，这三个要素（话语、资源和网络）在法国趋同，而在艾伯塔省则不同，趋同是由它们随着时间的推移彼此之间的积极互动形成的。基于对法国和艾伯塔省地热案例的分析，我们为有意促进能源转型的决策者总结了重要的经验教训。提出了三个政策建议：在整个利益相关者网络中调动第三方资源以支持创新的政策；在能源部门以外的网络中调整有关能源使用的政策；以及促进讨论新能源的政策，即认识到新能源与其他资源的独特性。



变革的关键要素:资源、话语和社会网络

■ 作者信息

Kabir Nadkarni[a] , Lianne M. Lefsrud[a] , Daniel Schiffner[b] , Jonathan Banks[c]

[a] David and Joan Lynch School of Engineering Safety and Risk Management, 12th Floor, Donadeo Innovation Centre for Engineering, University of Alberta, 9211 116 Street NW, Edmonton, Alberta, Canada, T6G 1H9

[b] Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Alberta, 1-26 Earth Sciences Building, Edmonton, Alberta, Canada, T6G 2E3

[c] Faculty of Science, University of Alberta, 1-001 CCIS, Edmonton, Alberta, Canada, T6G 2E9

本文发表于：Energy Policy 2022 第161卷 112705

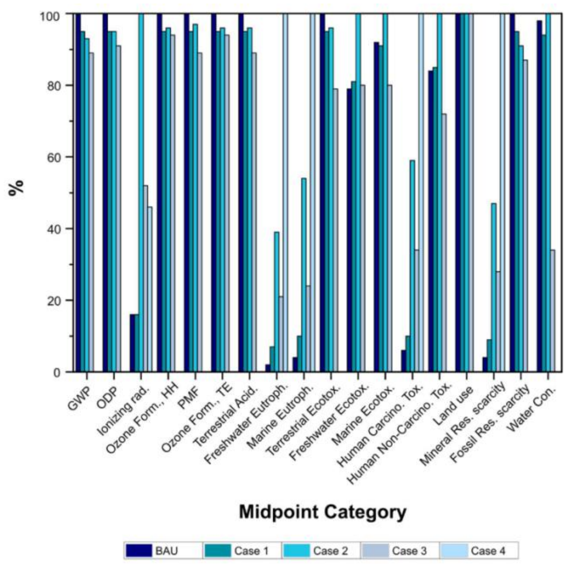
全文链接：https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112705

利用地热能为可持续转型提供动力:多米尼加的一个案例研究

Powering the sustainable transition with geothermal energy: A case study on Dominica

■ 摘要译文

气候变化的影响持续威胁着加勒比地区的岛屿，这些岛屿对实现可持续能源转型的指导是不足的。因此，我们首次利用技术经济和环境评估的多重决策标准，披露了多米尼加丰富地热资源的潜在价值。在确定多米尼加部署地热能能力的最佳持续方案时，利用当前和未来的平准化（LCOE）、产品年化费用（TAC）和生命周期评估（LCA）探讨了几个案例。研究结果表明，到 2030 年，国家生命周期温室气体排放量减少 99.5%，同时 100%利用地热能的电力成本降低 70%。此外，通过生产甲醇和氨的过剩储能平台在 2030 年显示出了更高的经济和环境效益，产品年化费用（TAC）减少 38%，并避免了每年高达 14.9 万的 CO_2 负担。尽管如此，多米尼加最佳持续地热能部署方案是向邻近岛屿输出能源，这样每年可避免高达 250 万吨的 CO_2 排放，同时生产 20%廉价的可调度电力。尽管能源转型伴随着高额的投资，但我们的研究结果证实了其可持续运营性并阐明了地热活动在支持东加勒比地区清洁和可负担能源生产方面的潜力。



生命周期评估比较说明了跨影响类别的模型案例的标准化百分比贡献

■ 作者信息

Keeara Bhagaloo[a] , Rehannah Ali[a] , Anastasia Baboolal[a] , Keeran Ward[a, b]

[a] Department of Chemical Engineering, The University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad and Tobago

[b] School of Chemical and Process Engineering （SCAPE）, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, United Kingdom

本文发表于：Sustainable Energy Technologies and Assessments 2022 年第 51 卷 101910

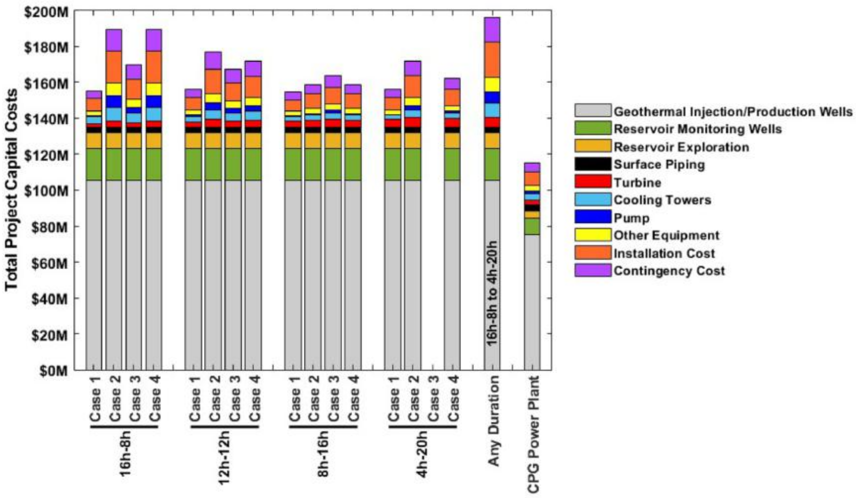
全文链接：https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101910

灵活的 CO_2 羽流地热（CPG-F）设施：利用地质储存的 CO_2 提供可分配的电力和能量储存

Flexible CO_2-plume geothermal （CPG-F）: Using geologically stored CO_2 toprovide dispatchable power and energy storage

■ 摘要译文

CO_2 羽流地热（CPG）发电厂可以使用地质储存的 CO_2 来发电。本研究中，我们介绍了一种灵活的 CO_2 羽流地热设施（CPG-F），它可以利用地质储存的二氧化碳提供可调度的电力、能源储存，或在调度电力和能源储存的同时提供基本负荷电力和可调度存储，以满足响应需求。研究发现，CPG-F 设施可以提供比 CPG 发电厂更多的电力，但日产能较少。例如，CPG-F 设施可持续 8 小时（8-16 小时工作周期）产生 7.2 MWe，比 CPG 发电厂提供的电力高出 190%，但每日能源从 60 MWe-h 降低到 23MWe-h，减少了 61%。一个用于不同持续时间需求储能的 CPG-F 设施，其投资成本比 CPG 发电厂高出 70%，比大多数针对某一特定持续时间而设计 CPG-F 设施高出 4%至 27%，然而其产生的电力比 CPG 发电厂高出 90%至 310%。能从提供 100%可调度的电力切换到 100%的储能的 CPG-F 设施，比只能用于储能的 CPG-F 设施投资仅高出 3%。



研究中考虑每一种 CPG-F 设施的储能设计成本分解

■ 作者信息

Mark R. Fleming 等

Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, 111 Church St SE, Minneapolis, MN 55455, USA

本文发表于：Energy Conversion and Management 2022 年第 253 卷 115082

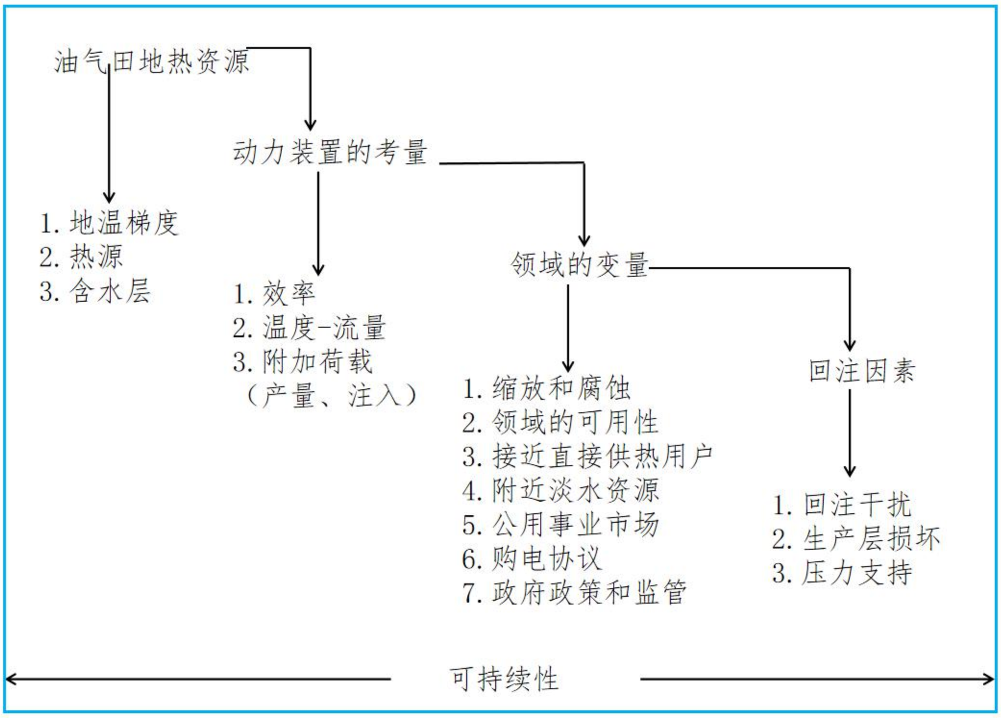
全文链接：https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115082

低温地热资源的能源提取技术综述

A comprehensive review of energy extraction from low-temperature geothermal resources in hydrocarbon fields

■ 摘要译文

世界各地的油气田可能都具有适合低温地热能提取的特征（低于 190° C）。很少有示范工程证明这些油气田发电技术的可行性。本文回顾并讨论了一些案例研究，以确定经济型地热系统的决定性参数。对油气田电力项目的特点进行了深入的探讨。在枯竭油藏中未使用的油井上建立低温地热系统必须证明具有可观的经济效益，才有可能被投资。并且把经济、技术和地质参数联系起来，形成高效的开发。因为这类油田的长期发展是不确定的，所以很少有人讨论这类油田的可持续资源管理。储层和井筒模拟可能有助于更好地理解资源动态。这种模拟也有助于储层能力的评价，促使估计的容量维持更长时间。



影响油气田地热利用的因素

■ 作者信息

R. Duggal, R. Rayudu[a], J. Hinkley 等

[a]Victoria University of Wellington, New Zealand,

本文发表于：Renewable and Sustainable Energy Reviews 2022 年第 154 卷 111865

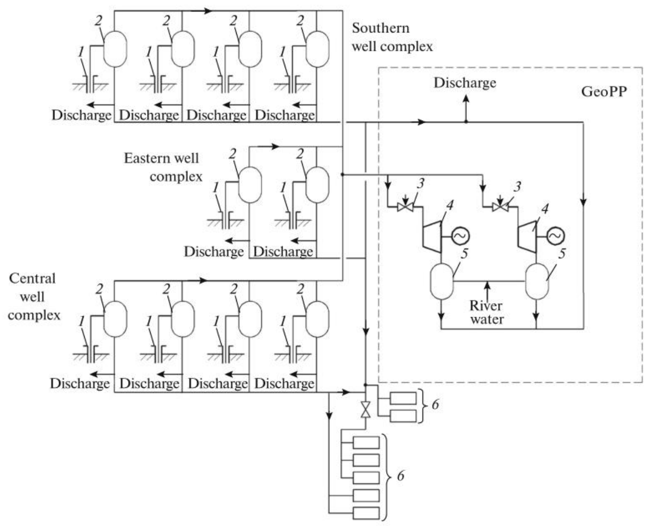
全文链接：https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111865

俄罗斯地热能:资源、发电与供热（综述）

Geothermal Energy of Russia: Resources, Electric Power Generation, and Heat Supply （a Review）

■ 摘要译文

俄罗斯地热资源研究始于 1956 年。该国已编制了三个版本的地热图和地热田储量估算，总设计产量为 218 m^3/s。最大的储量在堪察加半岛、千岛群岛、达吉斯坦共和国、克拉斯诺达尔半岛、斯塔夫罗波尔半岛和阿迪格共和国。蒸汽-热液场主要位于堪察加半岛和库纳希尔岛（千岛群岛）。在俄罗斯，2019 年共有 26 个地热田在运营，包括堪察加半岛 11 个，达吉斯坦 4 个，克拉斯诺达尔、斯塔夫罗波尔和阿迪格共和国 11 个。2019 年，共开采地热蒸汽 743 500 吨（不含 Mutnovsky 和 Verkhne-Mutnovsky 地热田）、地热水 2020 万 m^3，其中堪察加半岛 1390 万 m^3，达吉斯坦 430 万 m^3，克拉斯诺达尔河、斯塔夫罗堡河和阿迪格共和国 200 万 m^3。2019 年，俄罗斯有 161 口地热井在运行，其中包括堪察加半岛的 84 口井，达吉斯坦的 42 口井，克拉斯诺达尔边疆区，斯塔夫罗波尔边疆区和阿迪格共和国的 35 口井。对俄罗斯地热发电设施进行了审查，总容量相当于 83.9 兆瓦，2019 年发电量为 4.28 亿千瓦时。分析了包热特卡地热发电厂和穆特诺夫斯基地热发电厂的主要技术特点和基本热循环回路，指出了其运行中存在的问题和未来的发展前景。2019 年，23 个热分配站（HDS）和中央供热站（CHSS）为俄罗斯地区地热供热，总热电容量 82.5 MW，热能输出 28.2 万兆瓦/年。双管当量的地热热网总长度等于 172 公里。本文指出了热分配站（HDS）和中央供热站（CHSS）运行的具体特点，并对地热供暖的发展前景进行了展望。



pazhetka 地热发电厂的基本热循环电路

■ 作者信息

V. A. Butuzov 等
Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044 Russia

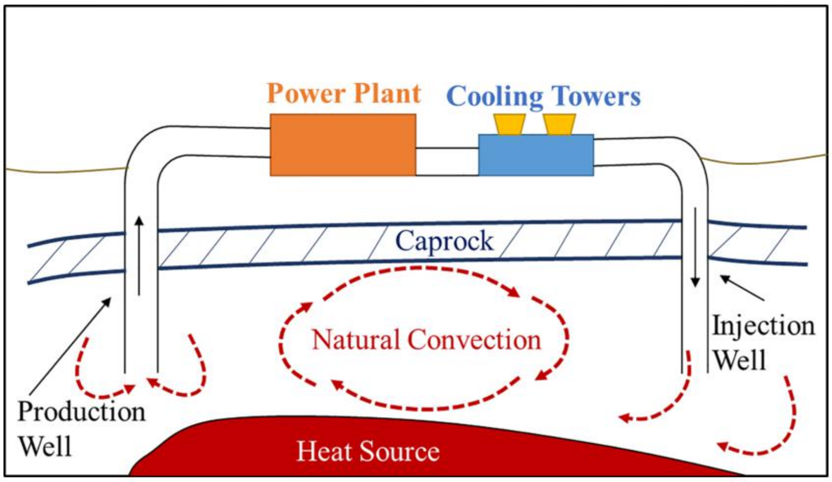
本文发表于：Thermal Engineering 2022 年第 69 卷 1-13 页
全文链接：https://doi.org/10.1134/S0040601521120028

地热 4.0:人工智能驱动的地热储层开发——现状、潜力、局限性和发展方向

Geothermal 4.0: AI-enabled geothermal reservoir development-current status, potentials, limitations, and ways forward

■ 摘要译文

由于地热资源地理位置偏远、储层压力和温度条件极端，开发和运营地热资源被认为是资本密集型的。技术整合已成为油气行业这十年的焦点，它被视为激励企业进行进一步勘探和开发地热资源解决方案的一部分。技术整合在以最低成本创造最佳运行条件方面发挥着关键作用，并引导向石油以外的其他能源进行更加可持续的能源转型。与化石燃料相比，地热资源被认为是碳排放量更低的可再生能源。考虑到这些重要方面，本文重点介绍了地热储层性能优化的先进技术整合。首先简要介绍了地热储层的基本概念和分类。概述了人工智能技术与地热储层表征和管理的整合现状，探讨了其潜力、局限性和发展方向。此外，本研究将数据分析和人工智能相结合回顾了包括地热储层的生产性能，维护评估和储层存储优化在内的大量文献资源，探讨了数字化和AI/ML 技术带来的第四次工业革命——数字 4.0。



地热蓄水池电站的示意图

■ 作者信息

Temoor Muther , Fahad Iqbal Syed, Austin T. Lancaster 等

Department of Chemical and Petroleum Engineering, University of Kansas, Lawrence, Kansas, United States

本文发表于： Geothermics 2022 年 100 卷 102348

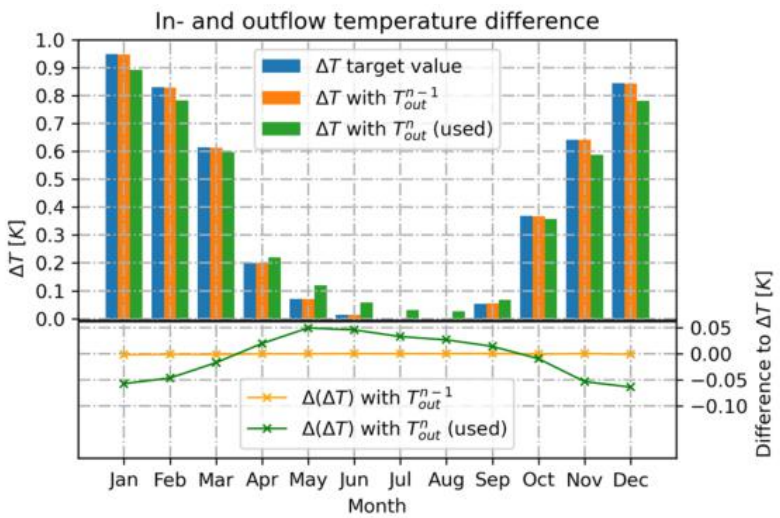
全文链接：https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102348

社区尺度浅层地热能利用建模:柏林的一个案例研究

Modeling neighborhood-scale shallow geothermal energy utilization: a case study in Berlin

■ 摘要译文

如今，利用浅层地热能为建筑物供暖和制冷已受到建筑界越来越多的关注。在不同的技术中，大型钻孔换热器阵列被广泛用于向各种类型的建筑供热。最近，创建了一个利用浅层地热能为柏林一座新开发的公共建筑提供热量的 16 个钻孔矩阵模型。为了保证数值模型的质量并揭示其对不同地下条件的敏感性，使用两个有限元模拟器（即开源代码 OpenGeoSys 和广泛应用的商业软件 FEFLOW）进行了 25 年的模型模拟。在适当的数值设置下，OpenGeoSys 和 FEFLOW 的模拟结果是一致的。然而，进一步的分析表明两个软件中对于钻孔地热流入温度计算的差异。研究发现，FEFLOW 本质上使用了上一时间段的流出温度来确定当前的流入温度，这使得它能够通过避免在单个时间段内进行迭代从而能更快地进行模拟。相比之下，OpenGeoSys 总是根据其当前步长值计算流入和流出温度。因为更新是在每次迭代后执行的，所以它需要更长的模拟时间，但其提供的结果更加精确。基于该案例研究，OpenGeoSys 是模拟地源热泵系统的 FEFLOW 的有效替代方案。因此对于在该领域工作的建模人员，建议采用足够小的时间步长，以避免潜在的数值误差。



FEFLOW 中温差比较

■ 作者信息

Jakob Randow 等

Faculty of Engineering, Leipzig University of Applied Sciences - HTWK, Leipzig, Germany.

本文发表于： Geothermal Energy 2022 年第 10 卷 1-26 页

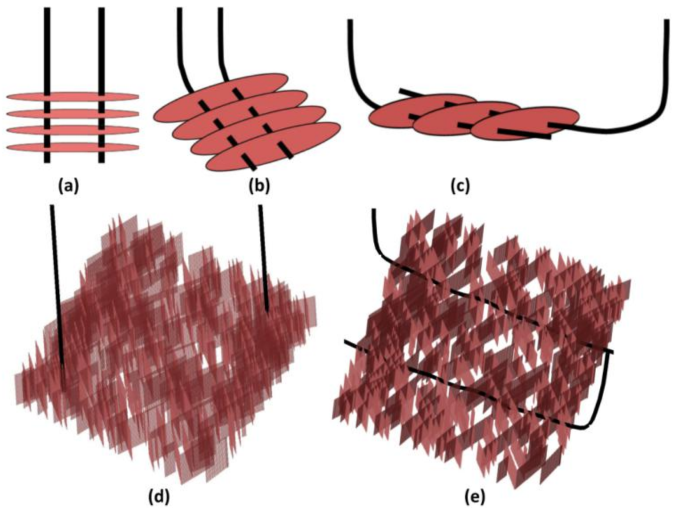
全文链接：https://doi.org/10.1186/s40517-022-00211-9

增强型地热系统的激活机制与设计:综述

Stimulation mechanism and design of enhanced geothermal systems: A comprehensive review

■ 摘要译文

通过利用增产技术,增强型地热系统已成为一种非常有前途的地热能采集技术。在本研究中,我们全面回顾了包括水力压裂机制、设计策略以及增强型地热系统中压裂增产的最新研究和技术。理解水力压裂机制对于成功开发增强型地热系统至关重要。因此,我们总结了四种主要类型的水力增产机制,并比较了它们对增强型地热系统性能的影响。接下来,对全球 19 个具有代表性的增强型地热系统项目进行了全面回顾,深入分析了水力压裂设计策略。在项目对比中,我们主要关注现场地质力学条件和水力压裂处理期间储层响应的影响。根据对比结果,我们提出了一系列可行的水力压裂设计标准。此外,我们还回顾了用于实际水力压裂作业的测量工具和水力压裂设施的最新进展。我们特别阐明了地热储层水力压裂作业与油气田水力增产作业之间的区别。我们的目标是全面回答一个关键问题:石油行业的哪些技术可以应用于地热行业,哪些不能?总的来说,通过这项工作,为增强型地热系统的理论研究和现场操作提供有用的指导。



完整储层 EGS 增产措施的井眼形态

■ 作者信息

S. Li[a], S. Wang[a,b], H. Tang[c]

[a]School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, PR China

[b] Department of Petroleum Engineering, Colorado School of Mines, Golden, CO, USA

[c] State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, PR China

本文发表于:Renewable and Sustainable Energy Reviews　2022 年第 155 卷 111914

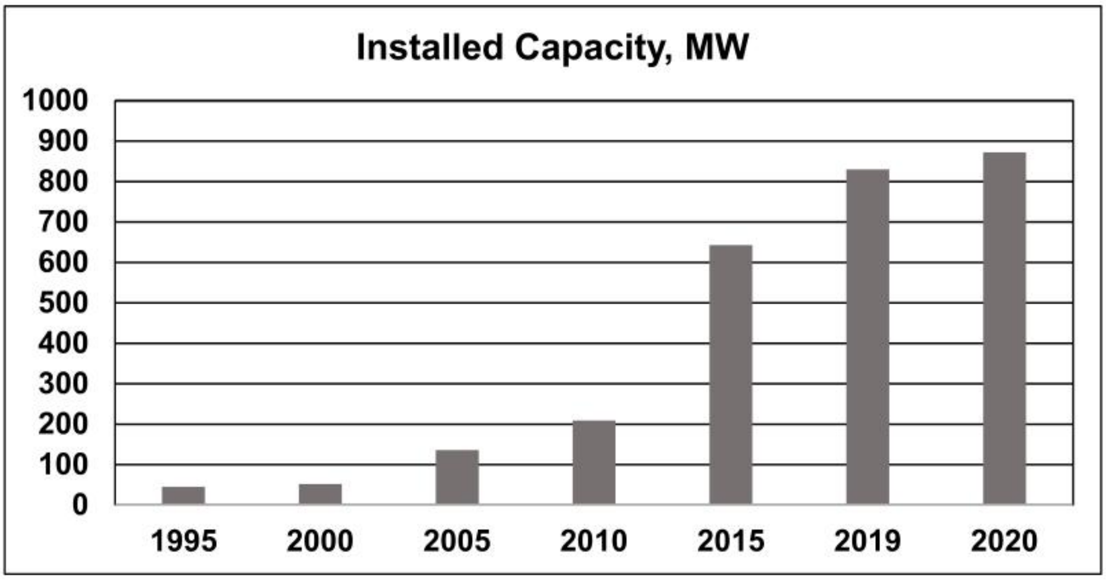
全文链接:https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111914

基于磁数据的非洲大陆热结构:未来非洲可再生地热能源勘探

Thermal structure of the African continent based on magnetic data: Future geothermal renewable energy explorations in Africa

■ 摘要译文

反分型方法可应用于观测磁数据，以及用于估算居里点深度（CPD），即距磁场源深度（DBMS）、近地表地热梯度（GG）、地表产热和非洲的地壳导热系数。使用不同的分形参数（α）值测试了一系列窗口值。在非洲，计算出的磁场源深度范围为19-112 km，而近地表地热梯度范围为15.9-30°C/km（平均25°C/km）。表面产热值在0.2-5.6 μW/m^{2}之间变化，平均值为2.5 μW/m^2。计算出的大块地壳导热系数范围为1.4-3.4 W/mK，平均值为2.6 W/mK。一般而言，浅层磁场源、高近地表地热梯度和高表面产热与非洲已知的地热、火山和地震区域一致。非洲东南部、非洲东北部（埃及和红海）和非洲北部（霍加地区）表现出浅层磁场源、高近地表地热梯度和高表面产热。非洲北部（阿尔及利亚、摩洛哥、利比亚）、非洲东南部和东非裂谷（EAR）地区的地壳导热系数较高。



1995-2020年，非洲肯尼亚和埃塞俄比亚的装机容量

■ 作者信息

Samah Elbarbary 等

National Research Institute of Astronomy and Geophysics （NRIAG）, 11421, Helwan, Cairo, Egypt

本文发表于：Renewable and Sustainable Energy Reviews 2022年第158卷 112088

全文链接：https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112088