



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 (2021 年第 3 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，内容涵盖了部分国家地热能现状及潜力、地热能直接利用、地热能系统对环境、经济和社会的影响等。



目 录

地热能直接利用 2020 全球综述	1
乌拉圭陆上沉积盆地地热能潜力	2
中东国家地热能现状及潜力综述	3
土耳其 KIZILDERE 地热田地热流体地球化学特征与比较:功率容量扩展研究	4
美国内华达州布雷迪地热田水热流体的三维地质控制	5
新西兰科拉火山杂岩的强制褶皱:与油气和地热能生产相关的案例研究	6
哥伦比亚地热潜力的探讨	7
中国四川西部典型地热田地热流体成因	8
上莱茵地堑中部裂缝性地热储层结构表征	9
地热能系统对环境、经济和社会的影响	10



获取更多地学文献信息, 请关注“移动图书馆”

本刊由“地学文献信息更新与服务”项目支持

专辑主编: 孙君一

审 校: 王学评

审 核: 陈晶

联系电话: (010)66554986

联 系 人: 孙君一

电子信箱: 476015552@qq.com

地热能直接利用 2020 全球综述

Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review

■ 摘要译文

本文综述了地热能在全球范围内的直接利用情况，并更新了 2015 年的调查结果。本文还比较了 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年在意大利、日本、土耳其、印度尼西亚和澳大利亚举行的世界地热大会上提供的数据。与之前的报告一样，努力量化了地热（地源）热泵数据。本报告数据基于 62 个国家和地区收到的地热能直接利用情况最新文件编制。根据其他信息来源，名单上又增加了 26 个国家。因此，地热能直接利用国家由 1995 年 28 个，2000 年 58 个、2005 年 72 个、2010 年 78 个、2015 年 82 个增加到现在的 88 个。本文采用了 2019 年底可直接利用的装机热电估算，相当于 107,727 MWt，比 2015 年数据增长 52.0%，年复合增长率为 8.73%。本文使用的直接利用的热电装机容量是 2019 年底估算结果，相当于 107,727 MWt，比 2015 年的数据增加了 52.0%，年复合增长率为 8.73%。使用的热能为 1020,887 TJ/年（283,580 GW h/年），比 2015 年增长 72.3%，复合增长率为每年 11.5%。按类别划分的热能分布约 58.8% 用于地热（地源）热泵，18.0% 用于洗浴和游泳（包括疗浴），16.0% 用于空间采暖（其中 91.0% 用于区域采暖），3.5% 用于温室采暖，1.6% 用于工业应用，1.3% 用于养殖池塘和跑道加热，0.4% 用于农业干燥，0.2% 用于融雪和冷却，0.2% 用于其他应用。每年节省的能源相当于 5.96 亿桶（8100 万吨）石油，防止了 7810 万吨碳和 2.526 亿吨二氧化碳排放到大气中。这包括与使用燃油发电相比，在冷却模式下的地热热泵节省的费用。由于几乎不可能将直接利用与发电分开，因此将它们合并起来：在 42 个国家中大约钻探了 2647 口井，在 59 个国家中分配了 34500 人年，在 53 个国家中投资了 222.62 亿美元的项目。

■ 作者信息

John W. Lund^a, Aniko N. Toth^b

^a Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR, USA

^b Ana-Geo Ltd., Miskolc, Hungary

本文发表于：Geothermics

2021 年第 90 卷 101915

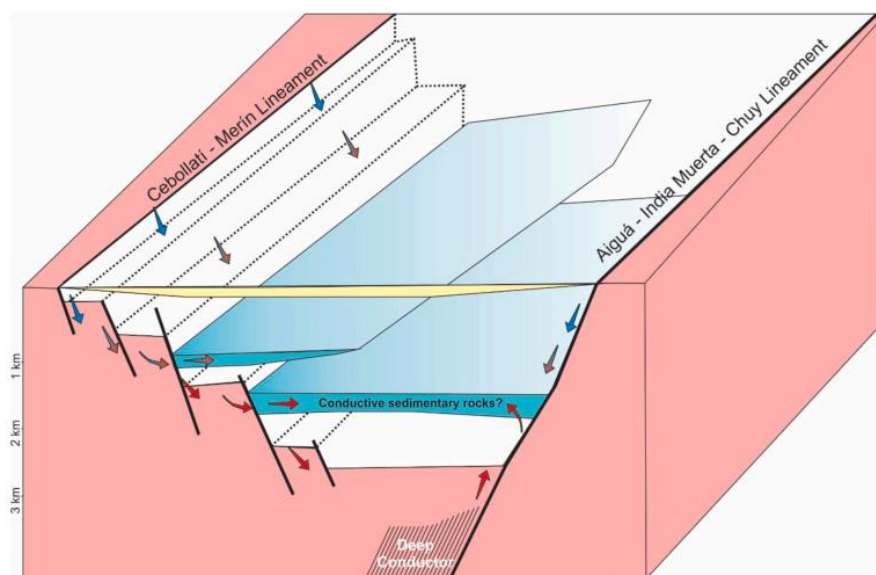
全文链接：<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>

乌拉圭陆上沉积盆地地热能潜力

Potential of geothermal energy in the onshore sedimentary basins of Uruguay

■ 摘要译文

在乌拉圭，目前的地热能应用仅限于低温瓜拉尼含水层系统（北盆地）的娱乐和浴疗用途。综合地质和地球物理资料，我们描述了三个潜在的地热系统，每个陆上沉积盆地一个。在北盆地，中温地热系统（ $> 95^{\circ}\text{C}$ ）与未钻透的构造低洼处深层含水层（ $\sim 3500\text{ m}$ ）有关。热水可用于各种间接和直接应用。在 Santa Lucía 和 Laguna Merín 盆地，深度超过 1,000 m 储层低温地热系统（ $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ）是建议被使用的。



Laguna Merín 盆地低温地热系统的理论模型，箭头指示主要流体循环方向

■ 作者信息

Ethel Morales^{a,b}, Gerardo Veroslavsky^{a,b}, Alberto Manganelli^c 等

^a UDELAR (Universidad de la República). Igua 4225, 11400, Montevideo, Uruguay

^b PEDECIBA (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas). Isidoro de Mar 1614, 11800, Montevideo, Uruguay

^c CeReGAS (Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe). Av. Rondeau 1665 piso 1, 11100, Montevideo, Uruguay

本文发表于: Geothermics

2021 第 95 卷 102165

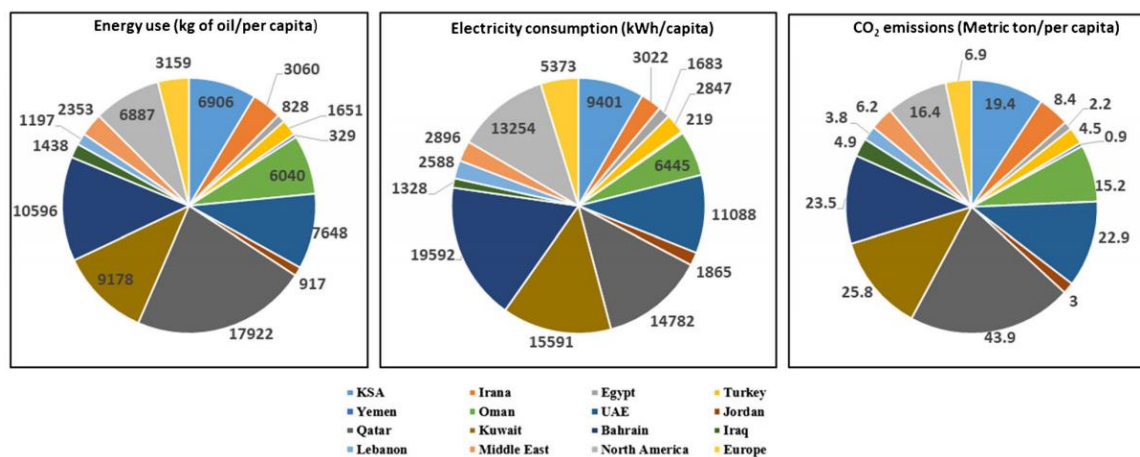
全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102165>

中东国家地热能现状及潜力综述

A review of geothermal energy status and potentials in Middle-East countries

■ 摘要译文

地热能源的生产和消费是世界最优先事项之一，因为通过稳定的可再生能源产量才能确保可持续发展，并有助于减少大气二氧化碳排放和空气污染水平。这项研究的目的是根据 13 个中东国家（MECs）已探明的地热储层数量、热能容量和潜在利用领域，批判性地评估地热能前景。研究结果表明，大多数富油中东国家的地热资源没有进行充分的勘探和开发，缺乏研究和勘探活动。研究发现，目前所有中东国家地区的地热储层/资源主要为中（100~150℃）和低（150℃）焓值地热田。对于油气储量低/枯竭的国家，充分开发地热能是满足其能源需求的选择之一。为了充分优化地热能生产，这些国家必须采用先进的地热能生产技术（GEPTs）。中东国家可以学习欧洲和美国的经验，开发自己的地热能生产技术，包括国家和区域战略和政策框架，以确保充分利用这些宝贵的地热资源。通过研究、培训和国际合作，这些目标是可能实现的。



年均能源状况和 CO₂ 排放水平统计图

■ 作者信息

Patrick Amoatey^a, Mingjie Chen^b, Ali Al-Maktoumi^{b,c} 等

^a Department of Civil and Architectural Engineering, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman

^b Water Research Center, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman

^c Department of Soils, Water and Agricultural Engineering, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman

本文发表于：Arabian Journal of Geosciences 2021 年第 14 卷 245

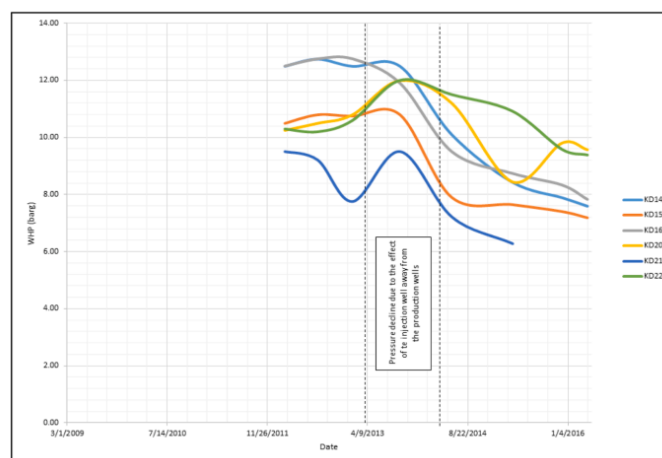
全文链接：<https://doi.org/10.1007/s12517-021-06648-9>

土耳其 Kızıldere 地热田地热流体地球化学特征与比较:功率容量扩展研究

Characterization and Comparison of geothermal fluids geochemistry within the Kızıldere Geothermal Field in Turkey: New findings with power capacity expanding studies

■ 摘要译文

Kızıldere 地热田是土耳其第一个已知的高温地热田。该地热田位于土耳其 Anatolia 西部的 Büyük Menderes Graben (BMG)。生产区内有 4 个生产段(储层 I、储层 II、储层 III、储层 IV)，其岩石组成和地球化学特征各不相同。识别和描述这些生产单元会对油田可持续生产的开发计划提供很好的借鉴。这项研究旨在利用地质、水文地球化学特征(如化学、稳定同位素和不凝气成分)对 Kızıldere 地热田的生产剖面进行表征。气水分析结果表明，地热流体在所有生产区段均为大气成因。分析还发现，随着储层温度的变化，水-岩相互作用会更加强烈。根据各储层不同的地球化学特征，我们认为储层单元之间的云母片岩和绿泥岩片岩等不透水沉积物起到了密封作用。根据这项研究，可以得出结论，Kızıldere 地热储层是非常不均匀的，因为垂直划分的储层段需要独特的注采配置，以实现可持续的生产寿命。



由于注射位置的不同导致水流方向的变化示意图

■ 作者信息

Füsun S. Tut Hakkıdır^a, Raziye Şengün^b, Hakkı Aydın^b 等

^a Istanbul Bilgi University, Department of Energy Systems Engineering, Eyüp Istanbul-Turkey

^b Zorlu Energy, Denizli-Turkey

本文发表于: Geothermics

2021 年第 94 卷 102110

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102110>

美国内华达州布雷迪地热田水热流体的三维地质控制

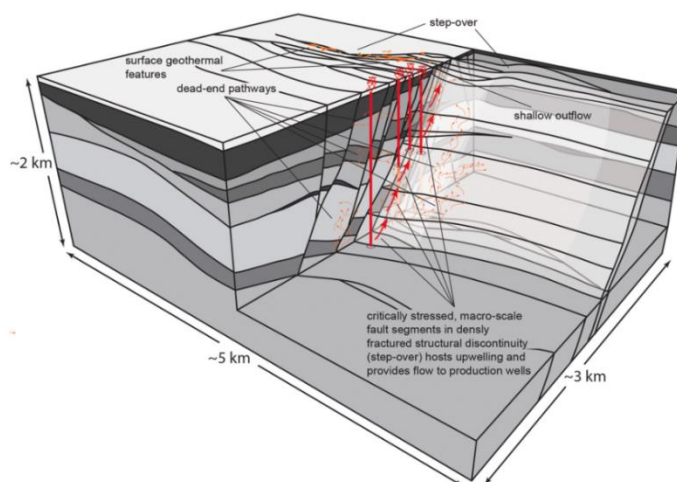
3-D Geologic Controls of Hydrothermal Fluid Flow at Brady geothermal field, Nevada, USA

■ 摘要译文

在许多水热系统中,沿断层的裂缝渗透性为地下水从深部输送热量提供了通道。断层引发了一系列的变形,这些变形横切非均质地层,导致渗透性、孔隙度和水力传导率的复杂模式。垂直连通性(可渗透区域的贯穿网络,允许热量从深度平流到浅层地下)很少见,并且仅限于空间分布高度可变的相对较小的体积。这种局部的连通性划分对了解热液循环以及勘探、开发和管理热液资源提出了重大挑战。本文通过对内华达州西部布雷迪地热田的三维分析,评价了控制水热系统分区的地质特征。布雷迪地区发布的三维地质图被用作开发构造和地质变量的基础,这些变量被假设控制或影响渗透率和连通性。通过主成分分析(PCA),将这些变量的三维分布与生产井和非生产井沿线的生产和非生产流体流动区间的分布进行比较。这种比较说明哪些地质和

构造变量与生产流体流动层段最密切相关。结果表明,布雷迪的生产层段位于以下区域:

(1) 位于已知的应力场下大型断层内或附近,(2) 位于高断层和裂缝密度区域。



地质控制地热循环的理论模型

■ 作者信息

Drew L. Siler^a, Jeff D. Pepin^b

^a Geology, Minerals, Energy, and Geophysics Science Center, U.S. Geological Survey, Moffett Field, California, USA

^b U.S. Geological Survey, Albuquerque, New Mexico, USA

本文发表于: Geothermics

2021 年第 94 卷 102112

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102112>

新西兰科拉火山杂岩的强制褶皱:与油气和地热能生产相关的 案例研究

Forced folding in the Kora Volcanic Complex, New Zealand: A case study with relevance to the production of hydrocarbons and geothermal energy

■ 摘要译文

岩浆侵入到相对较浅的地层往往导致构造变形。强制褶皱通常在侵入体上方形成,以便容纳沉积层中新增的岩浆体。本文使用来自新西兰塔拉纳基近海盆地的高分辨率三维地震数据来研究上白垩纪-古新世地层中由于岩脉和岩床侵入而形成的大型强制褶皱。这些岩浆侵入体与 Kora 火山的通道系统有关。我们采用一种新的滤波技术来增强地震反射面的地层倾角方位与任意叠加噪声的倾角-方位角之间的对比度,从而保持地震事件的横向连续性。强制褶皱是由扁平的碟形基岩侵入浅地层形成的。这些褶皱(褶皱 A 和褶皱 B)具有圆顶几何形状和 250-350 m 的构造起伏,总面积分别为 45 km² 和 35 km²。在解译的 18 个岩床中,其中两个岩床(S1 和 S4)对研究区强制褶皱的形成贡献最大。本研究中观察到的岩床-褶皱关系表明,侵入长度比越大的基岩可以越有效地使岩石地层变形。然而,在研究区域的部分地区,强制褶皱明显比下面的侵入岩床更大。这表明存在比地震数据中显示的更大体积的侵入岩浆,其中强制褶皱的体积明显大于下面基岩的体积。这种特征使得褶皱-岩床关系的建立对于识别强制褶皱下方的岩浆体至关重要——如果在地震剖面上识别出一个较大的强制褶皱,但仅探测到几个小岩床成像,那么褶皱下方的火成岩质量可能比地震数据上的成像质量大。更重要的是,塔拉纳基盆地的强制褶皱导致了四向圈闭,为油气和地热资源形成提供了有利条件。

■ 作者信息

Priyadarshi Chinmoy Kumar^a, Tiago M. Alves^b, Kalachand Sain^a

^a Wadia Institute of Himalayan Geology, Dehradun, Uttarakhand, India

^b 3D Seismic Lab, Cardiff University, Cardiff, UK

本文发表于: Geothermics

2021 年第 89 卷 101965

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101965>

哥伦比亚地热潜力的探讨

Approach to the geothermal potential of Colombia

■ 摘要译文

哥伦比亚的地热潜力是通过体积法计算得到的,考虑到在国家领土内登记的温泉的大小,将单个或组合温泉(群)假定为可能的储层。根据分配的变量,计算了两种情况。一种为乐观的情况,预测面积为 2 km^2 ,厚度为 1.5 km ,参考温度为根据海拔计算的平均地表温度,最大恢复系数为 0.25 。一种保守情况,预期面积、厚度、参考温度分别为 0.785 km^2 、 1 km 、 40°C (冷凝器温度),最大恢复系数为 0.2 。在这两种情况下,储层温度都是根据含水地温计推断出来的。在第一种情况下,国家领土内记录的 324 个温泉被分为 165 个温泉群,在第二种情况下,有 176 个温泉群,分布在与火山系统相关的 21 个初步划定的地热区和位于初步划定地热区之外的 16 个地区。乐观情况下,计算出分布在 80 个集群中的 21 个地热区的总电功率为 $1170.20 \pm 31.39 \text{ MWe}$,储存热量为 $138.60 \pm 1.84 \text{ EJ}$ 。最丰富的资源是在圣地亚哥、圣罗莎、塞罗·马钦和尼雷达斯·博特罗·隆多尼奥的地热区,电功率分别为 141.85、137.24、129.94 和 100.72 MWe 。这些地区都位于科迪勒拉中段的北部。南部是 Caldera del Paletar á 和 Azufral 地区,电力分别为 117.96 MWe 和 81.9 MWe 。另一方面,在保守情况下计算了 94 个温泉群,平均电功率为 263.6 MWe ,平均蓄热为 35.56 EJ 。在乐观情况下,拥有 85 个温泉群的 16 个地区,计算的总电能和热量分别为 $24.95 \pm 2.15 \text{ MWe}$ 和 $49.56 \pm 0.75 \text{ EJ}$ 。最具潜力的是 11 个地热集群中的 Huila 地区,其电能为 12.09 MWe ,储热为 7.08 EJ 。Cundinamarca 地区拥有数量最多的温泉(50 个),分为 24 个温泉群,拥有最大的热量(15.75 EJ),功率为 1.99 MWe 。在保守情况下,总平均电功率和平均蓄热量分别为 5.73 MWe 和 8.76 EJ 。

■ 作者信息

C Alfaro, J.B. Rueda-Gutiérrez, Y Casallas, G. Rodríguez, J. Malo

Colombian Geological Survey, Colombia

本文发表于: Geothermics

2021 年 96 卷 102169

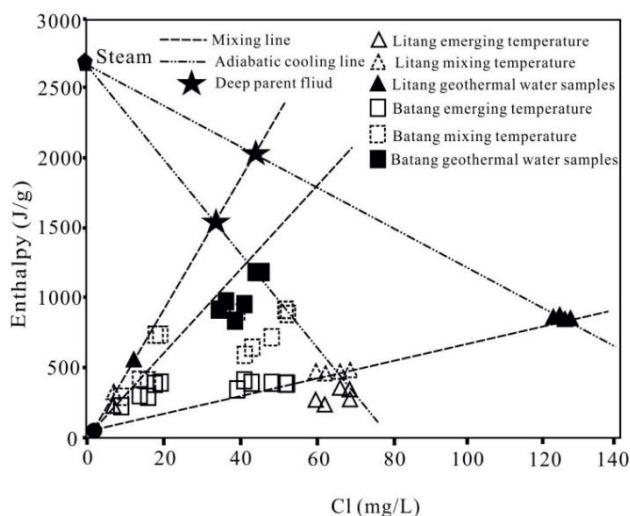
全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102169>

中国四川西部典型地热田地热流体成因

Genesis of Geothermal Fluid in Typical Geothermal Fields in Western Sichuan, China

■ 摘要译文

地热流体的水文地球化学特征可以揭示地热系统的成因,为地热资源的开发利用提供重要参考。本文研究了中国四川西部典型地热田的水文地球化学过程和热循环机制。根据川西地区的地质条件,选择巴塘和理塘地区三个地热田的 29 个温泉进行水化学和同位素 (δD 和 $\delta^{18}O$) 分析。此外,还计算了热储层的温度,分析了温泉的上流冷却过程。巴塘和理塘的大部分地下热水属于 HCO_3 -Na 水化学类型。巴塘的离子变化主要受水-岩相互作用的影响。 Na^+ 、 B^- 和 Cl^- 在理塘中呈较强的正相关关系,说明它们具有相同的物质来源。 Na^+ 和偏硼酸含量较高,表明两个地区的地下水径流持续时间较长,流速较低;此外,偏硅酸含量相对较高,也支持了这一结论。大气降水线附近的氢、氧同位素表明,降水对地下水具有功能性补给作用。巴塘和理塘的计算蓄热温度分别为 88–199 °C 和 96–154 °C。巴塘冷水混合比例为 64%–67%,理塘冷水混合比例为 60%–68%。根据计算结果,巴塘地区 (4540–4780 m) 的初始热循环深度大于理塘地区 (3150–3960 m)。巴塘深源地热流体的焓为 1550 J/g,含 Cl^- 浓度为 37 mg/L,而理塘中的浓度为 2100 J/g,含 Cl^- 浓度为 48 mg/L。



四川西部不同样品氯化物含量与热流体的焓的比值图

■ 作者信息

ZHAO Jiayi^{a, b}, WANG Guiling^{a, b}, ZHANG Cuiyun^a, ZHANG Wei^{a, b} 等

^a The Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China

^b Technology Innovation Center of Geothermal & Hot Dry Rock Exploration and Development, Ministry of Natural Resources, Shijiazhuang 050061, China

本文发表于: Acta Geologica Sinica

2021 年第 95 卷 3 期 873-882 页

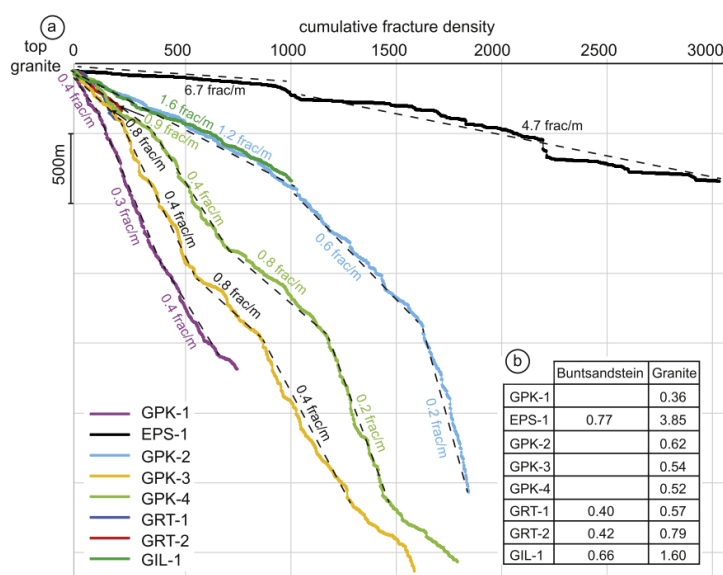
全文链接: <https://10.1111/1755-6724.14715>

上莱茵地堑中部裂缝性地热储层结构表征

Structural characterization of naturally fractured geothermal reservoirs in the central Upper Rhine Graben

■ 摘要译文

利用测井图像和上莱茵河地堑中部 (URG) 8 口地热井的连续取芯对在法国的 Soultz sous forêts、Rittershoffen 和 Illkirch 3 个地热储层进行结构分析。测井的目标是坚硬岩石的天然渗透裂缝带 (FZ)。花岗岩 (继承自华力西晚期造山运动) 中的近垂直天然断裂网络呈 NNW-SSE 至 N-S 走向, 沉积物中呈 N-S/NE-SSW 走向 (主要继承自新生代)。花岗岩中的渗透裂缝与断裂走向近平行。在花岗岩中, 前 500-1000 m 的裂缝密度和厚度最大。裂缝厚度确实反映了古环流的强度。裂缝分布服从幂律和负指数律。然而, 这些裂缝性质与目前的裂缝渗透率之间关系复杂。渗透率与引导流体的多尺度裂缝网络有关。与影响整个花岗岩岩基的分布广泛的小规模裂缝相比, 正常断裂带内的大型裂缝可能是一个更有前景。井眼轨迹和裂缝网络之间的几何结构也会显著影响最终的渗透率。



花岗岩累积裂缝厚度与地热井深度关系图

■ 作者信息

Carole Glaas^{a,b}, Jeanne Vidal^c, Albert Genter^a

^a 5, rue André Marie Ampère, 67450 Mundolsheim, France

^b UMR 7516 IPGS, University of Strasbourg, CNRS, 5 Rue René Descartes, 67084, Strasbourg, Cedex, France

^c University of Chile, FCFM, Department of Geology, Andean Geothermal Center of Excellence (CEGA), Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile

本文发表于: Geothermics

2021 年第 148 卷 104370

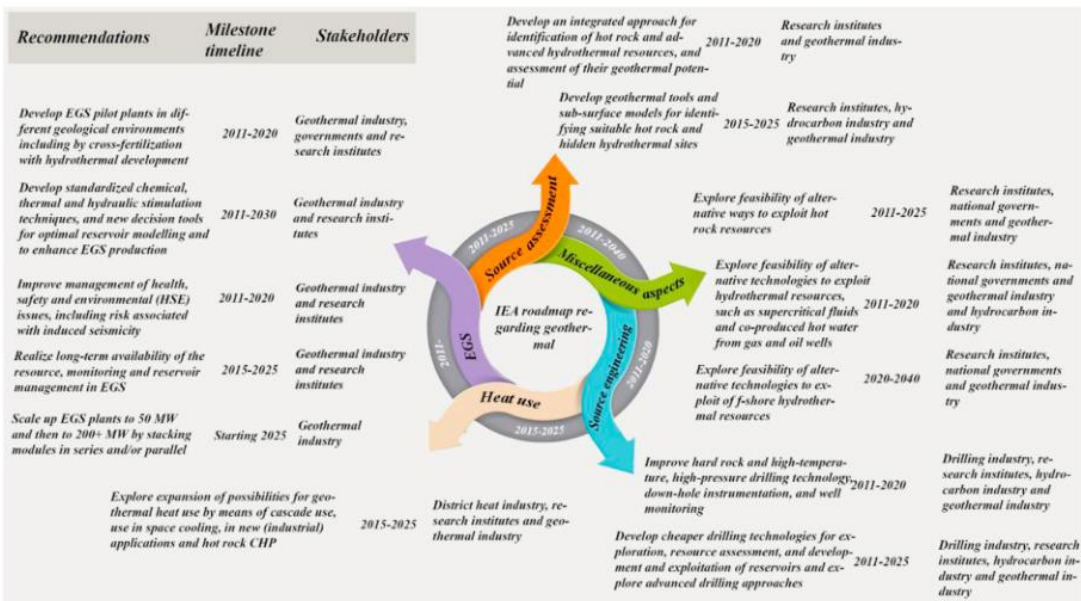
全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104370>

地热能系统对环境、经济和社会的影响

Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems

摘要译文

地热能（GE）是一种非碳可再生可持续能源，在缓解气候变化威胁方面具有尚未开发的潜力。为了实现可持续的发展道路，必须在环境治理、社会和法律挑战的框架内解决地热项目实施过程中出现的技术和经济制约的评估问题。大规模部署地热资源的主要障碍包括高资本成本、不同深度资源的位置和质量以及当地社区人民的反对。在这里，我们提供了对障碍的详细审查，确定了可靠的解决方案，并强调了在全球范围内提高地热容量和能源生产以满足“净零”碳排放目标所需的选项。到 2050 年在全球范围内作为减少温室气体战略的一部分。本研究通过分析影响地热能发展和未来的因素，为下一步的研究和实施提供了有效的参考。



国际能源署关于地热的路线图

作者信息

M. Soltani^{a,b,c,d}, Farshad Moradi Kashkooli^{a,c}, Mohammad Souri^a 等

^a Department of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
^b Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada
^c Waterloo Institute for Sustainable Energy (WISE), University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada
^d Advanced Energy Initiative Center, Multidisciplinary International Complex, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

本文发表于： Geothermics 2021 年第 90 卷 101987
全文链接： <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101987>