



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（2023 年第 1 期）



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，内容涵盖了基于 GIS 的地热资源勘探、超临界地热系统概念模型、地热系统动力学建模、地热田的综合地质评估和数值模拟等。



目 录

使用基于 GIS 的创新方法在南美洲进行地热资源勘探：位于厄瓜多尔的案例研究	1
化学地温计和混合模型，以了解阿尔及利亚西北部 BOUHANIFIA 和 SAIDA 地热资源管理中的热禀赋	2
沿 CALAMA-OLACAPATO-TORO 断层系统（阿根廷西北部 PUNA 中部）重力和航空磁力数据的联合解释：构造和地热意义	3
不同地质环境地热钻井过程中井漏的背景和缓解措施	4
日本北海道 SHIRIBESHI 地区超临界地热系统概念模型	5
地热系统的动力学建模，以预测温泉行为	6
从综合储层特征的试点知识到深层地热储层的利用前景：GROßSCHÖNEBECK（北德意志盆地）的 3D 模型	7
印度比哈尔 MUNGER-SAHARSA 山脊断层沿线 MUNGER 群温泉的地质构造和物理化学特征：概念水文地球化学模型	8
安蒂阿特拉斯山和摩洛哥撒哈拉 SOUSS MASSA 地区地热储层的地理空间勘探	9
OLKARIA 东部和东南部地热田的综合地质评估和数值模拟	10



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“地球科学文献知识服务与决策支撑工程”项目支持

专辑主编：贾凌霄
审 校：陈 晶
审 核：王学评

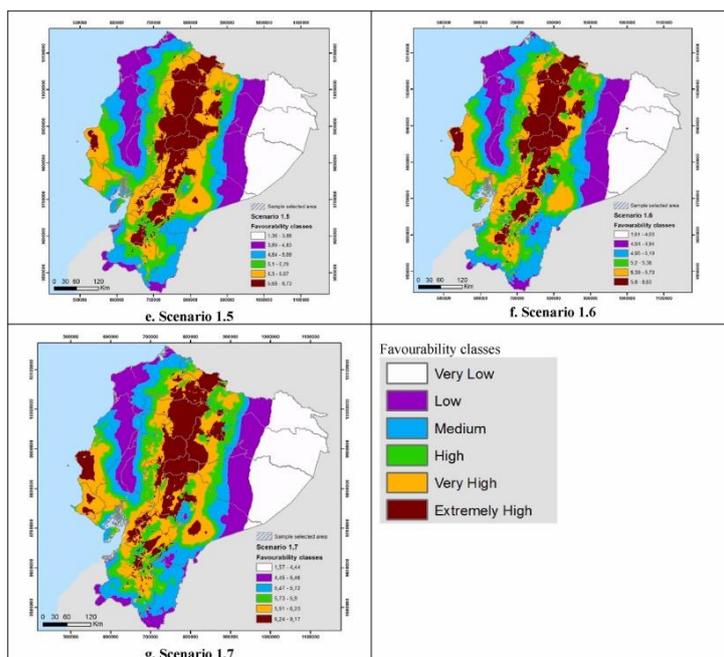
联系电话：(010)66554986
联 系 人：贾凌霄
电子信箱：869922819@qq.com

使用基于 GIS 的创新方法在南美洲进行地热资源勘探：位于厄瓜多尔的案例研究

Geothermal resource exploration in South America using an innovative GIS-based approach: A case study in Ecuador

■ 摘要译文

整合地热能有助于南美洲国家的可持续能源转型。地热能是一种不可变的可再生资源，可用于基载发电，以减少对化石燃料和水力发电厂的过度依赖。南美洲有巨大的未开发地热潜力。然而，多种障碍，包括缺乏地质、水文地球化学和地球物理背景，以及过时的区域研究，阻碍了该项目的发展。因此，本研究旨在通过在厄瓜多尔基于 GIS 的模型中实施有利填图作为案例研究，更新并确定有潜力的地区，以进行进一步的地热勘探。结果表明，厄瓜多尔全国在安第斯和西南海岸约有一半（49.2%）的国土有潜力勘探和开发地热系统。确定了新的区域，这有助于增加国家地热能储量。此外，北亚马逊地区的成熟油田和油藏接近其生产年限。因此，地热能系统可能有助于将石油行业转变为清洁能源供应商。这项研究有助于现有地热资源清单的必要改善。已经测试了所提出的基于 GIS 的模型的稳健性。因此，它允许以有效、低成本的方法分析和组合可用的开放地质数据，甚至在数据可用性不足的情况下，支持决策者、研究人员或利益相关者，并指导国家一级的地热勘探计划。



通过一次省略两个标准进行刀切法试验得出的地热有利情景图

■ 作者信息

Jose Jara-Alvear, et al.

Universidad del Azuay (UDA) - CIENER Research Group, Av. 24 de Mayo 7-77, Cuenca, Ecuador

本文发表于: Journal of South American Earth Sciences

2023 第 122 卷 104156

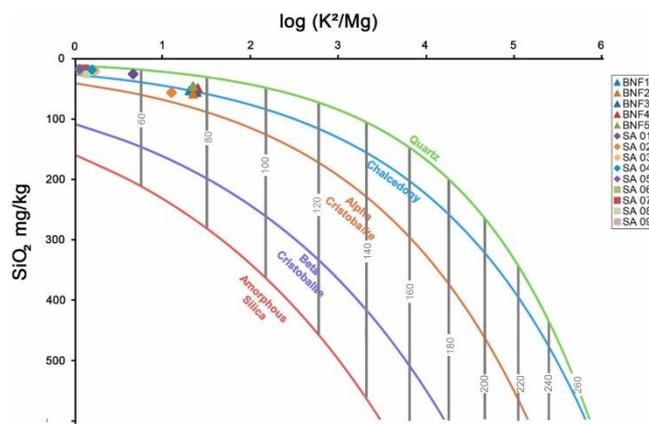
全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104156>

化学地温计和混合模型，以了解阿尔及利亚西北部 Bouhanifia 和 Saida 地热资源管理中的热禀赋

Chemical geothermometers and mixing models to understand the thermal aptitudes in the management of Bouhanifia and Saida geothermal resources, northwest of Algeria

■ 摘要译文

本文旨在通过使用地热测量和地球化学方法，确定 Bouhanifia 和 Saida 地热资源的地热特征和混合可能性，因为它们在旅游活动和能源调查中具有重要意义。我们的工作方法以物理化学分析为基础，因此通过绘制图和图表来确认与冷水的混合，并定义地热行为。地热水的特征是天然 pH 值在 5.86~7.03 之间。此外，通过 Bouhanifia 的阳离子 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^+ 支配的水类型和 Saida 的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} ，二氧化硅地温计的温度变化在 12~106 °C 之间。另一方面，阳离子地温计的估计温度范围在 51~236 °C 之间。地热与来自盐水和碳酸地层的冷水混合。结果表明，所研究的地热水化学和地热测量受局地质和构造的影响大于区域视角。因此，水受到受污染浅层相互作用的影响，被归类为低焓类别。



Bouhanifia 和 Saida 样本在 $\text{SiO}_2/\log \text{K}^2/\text{Mg}$ 图中的位置

■ 作者信息

Mohammed Abdelillah Benamar^{a, b}, et al.

^a Mustapha Stambouli University, Biological Systems and Geomatics Laboratory (LRSBG), Faculty of nature and life Sciences, 29000, Mascara, Algeria

^b Mustapha Stambouli University, Laboratory of Water Science and Technology (LSTE), Faculty of Science and Technology, 29000, Mascara, Algeria

本文发表于: Groundwater for Sustainable Development

2023 第 20 卷 100863

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100863>

沿 Calama-Olacapato-Toro 断层系统(阿根廷西北部 Puna 中部)

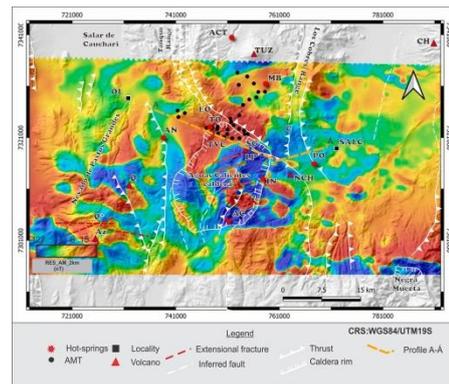
重力和航空磁力数据的联合解释：构造和地热意义

Joint interpretation of gravity and airborne magnetic data along the Calama-Olacapato-Toro fault system (Central Puna, NW Argentina): Structural and geothermal significance

■ 摘要译文

在这里，我们展示了从沿北西走向 Calama-Olacapato-Toro 断层系统西段的初步勘探获得的新的重力和航磁地球物理数据。该地区位于安第斯山脉中部（阿根廷西北部）的弧后地区，被认为是普纳（Puna）中部能源枢纽内的高潜力地热区。

进行重力和磁力建模的目的是描绘控制地热表现，并估计地热场范围的地质结构。重力数据分为区域分量和剩余分量。通过二维 GM-SYS-Oasis Montaj 软件进行了二维重力和磁力建模，以建立一个反演模型，校正地表观测到的剩余重力和磁力异常。考虑到先前的电阻率研究及地表、地质和地质构造的情况，还对所得模型进行了拟合。布格异常在-411~-304 mGal 范围内为负值，而磁异常位于研究区域中部，在 -127~15 nT 范围内。温泉与位于 Calama-Olacapato-Toro 线性构造上的低剩余布格和磁异常相关，并与蚀变带和主要破坏带相关。重力和磁力反演显示，与火山沉积岩相关的岩石密度和磁化率差异较低，这些岩石填充了火山构造洼地，受 Antuco 和 Pompeya 南北向逆冲断层的限制，分别向西和向东。低密度和磁化率差异可能与高温和蒸汽与液体填充孔隙以及裂缝的组合有关。因此，该地质概念模型基于地球物理数据的二维正演建模，可以更好地了解和理解阿根廷西北部普纳中部的热液循环。



剩余磁力填图（总振幅-127~15 nT）

■ 作者信息

M.F. Ahumada^{a, b}, et al.

^a Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

^b Instituto Geofísico Sismológico Volponi (IGSV), FCEFYN, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Ruta 12, km 17, Marquesado, San Juan, PC 5407, Argentina

本文发表于：Geothermics

2023 年第 107 卷 102597

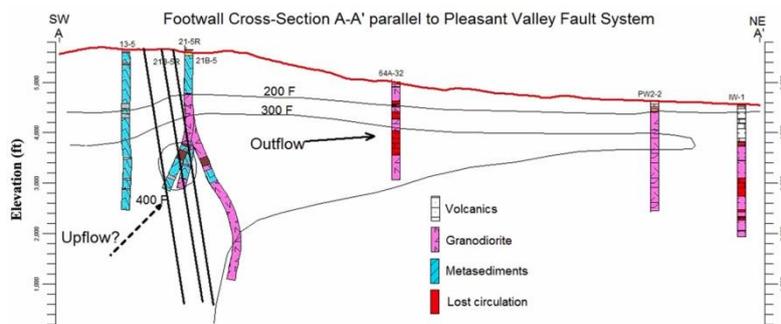
全文链接：<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102597>

不同地质环境地热钻井过程中井漏的背景和缓解措施

Context and mitigation of lost circulation during geothermal drilling in diverse geologic settings

■ 摘要译文

井漏是地热能开发面临的最常见和最昂贵的问题之一，占钻井成本的 30%。我们检查了四个地热田——内华达州中部的 McGinness Hills、内华达州西部的 Don A.Campbell 和 Steamboat Hills 以及夏威夷大岛的 Puna geothermal Venture 的钻井记录，以确定最容易发生井漏的地质情况以及常见的缓解策略。井漏事件的深度各不相同，但其频率在生产间隙内经常增加。井漏通常发生在断层交叉点附近，像 McGinness Hills 和 Don A.Campbell 这样断层严重的油田在井漏约 100 m(328 英尺)或更短的范围显示二次矿化。减少井漏的策略包括使用当地可用的材料（如棉籽壳）以及更昂贵的专有井漏材料、储层上方的水泥塞以及在生产区使用充气聚合物基泥浆进行盲钻。使用经过深思熟虑的决策方法和储层上方的材料解决井漏问题将节省时间和成本，并提供所需的井完整性。缓解措施通常需要一系列步骤，通常从认为最便宜的步骤到最昂贵的步骤，这取决于井漏的严重程度、井内的位置以及材料的可用性。放置水泥塞可以解决井漏事件，但这些水泥塞通常昂贵、耗时，而且可能不成功。



西北方向 Steamboat 系统的概念模型。沿断层和裂缝向西南方向（Steamboat Hills 地区）发生上升流，从东北方向（Steamboat Springs 地区）向外流出

■ 作者信息

Carmen Winn^a, Patrick Dobson^b, Craig Ulrich^b, et al.

^a Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, United States

^b Energy Geosciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, MS 74-316C, Berkeley, CA 94720, United States

本文发表于: Geothermics

2023 年第 108 卷 102630

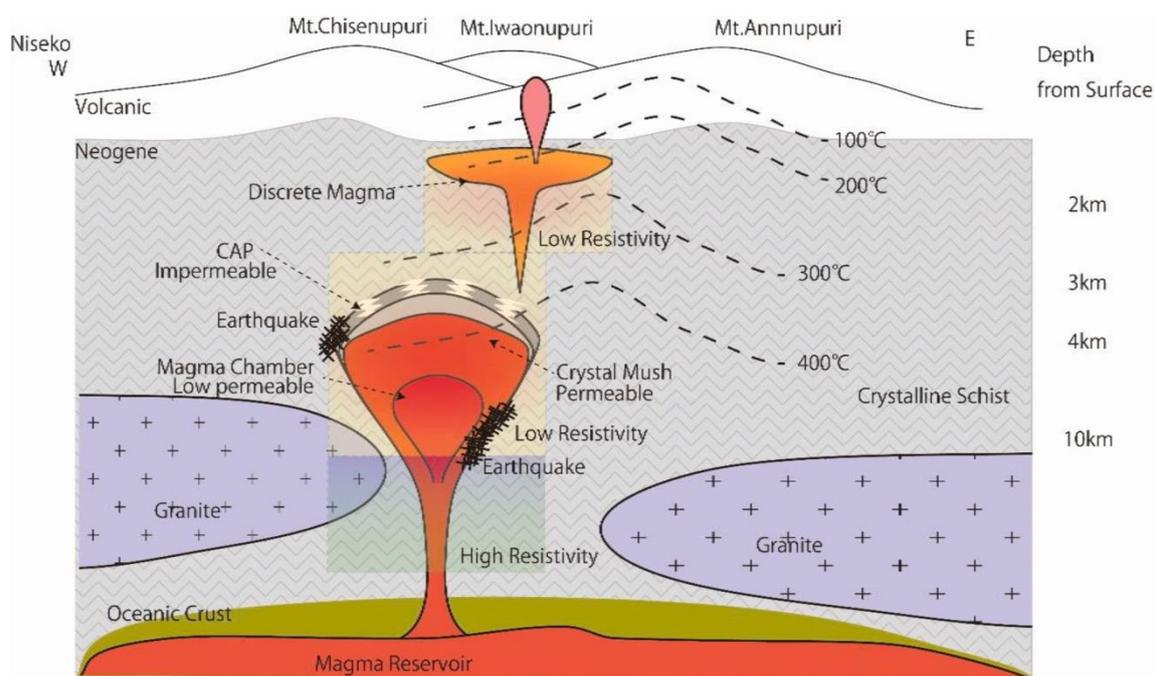
全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102630>

日本北海道 Shiribeshi 地区超临界地热系统概念模型

Conceptual model of supercritical geothermal system in Shiribeshi Region, Hokkaido, Japan

■ 摘要译文

超临界地热系统 (SGS) 具有显著增加地热发电的潜力。有关 SGS 的研究正在全球范围内开展。在日本, 新能源和工业技术开发组织 (NEDO) 最近开始在 SGS 上研究和开发超临界地热发电。围绕日本北海道 Shiribeshi 地区的新雪谷 (Niseko) 山脉及其周围进行了多种研究, 以探测新雪谷地区的超临界地热系统, 包括地质、电磁、地震和温度分析。基于从上述研究中获得的三维结构, 我们构建了新雪谷山脉及其周围超临界地热系统的概念模型。新雪谷地区超临界地热系统的最浅部分在 Iwao-nupuri 山和 Chise-nupuri 山下方约 3 km 处被探测到。



新雪谷火山群 SGS 地质和热结构概念模型

■ 作者信息

Daisuke Oka^a, Makoto Tamura^a, Toru Mogi^b, et al.

^a Research Institute of Energy, Environment and Geology, Hokkaido Research Organization, Sapporo, Japan

^b Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

本文发表于: Geothermics

2023 年第 108 卷 102617

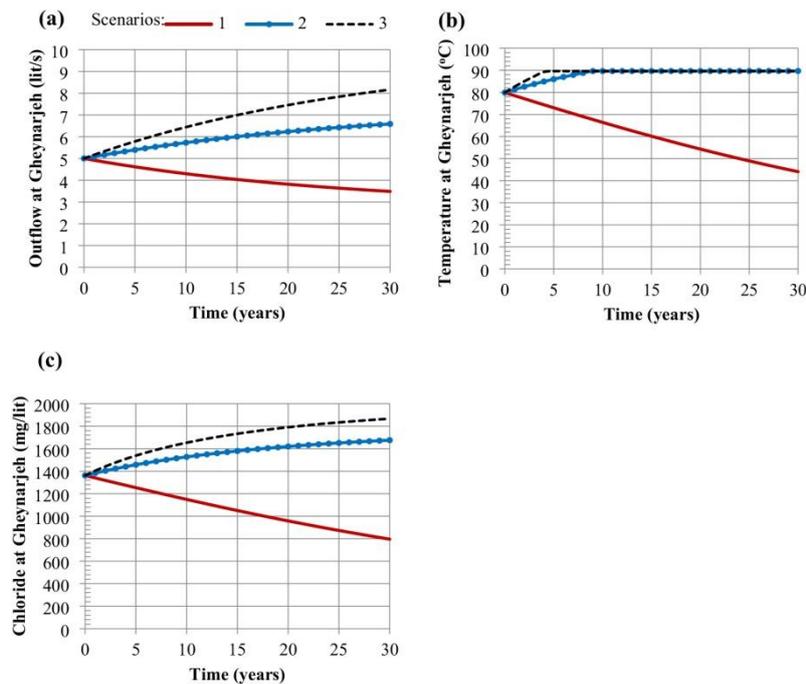
全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102617>

地热系统的动力学建模，以预测温泉行为

Dynamical modeling of a geothermal system to predict hot spring behavior

■ 摘要译文

本文提出了一种集中参数建模方法，用于预测地热储层开采引起的泉水流量、温度和化学变化。基于地热储层可以粗略离散为几个均质区块的假设，该模型将液体主导地热储层的非等温储罐模型与温泉的质量和热平衡方程相结合。一个状态增强集成卡尔曼滤波器被用于参数估计。将所提出的模型用于模拟地热储层开发对伊朗西北 Sabalan 地热系统中一个重要温泉的影响。当数据缺乏时，这种低保真度模型可以初步了解储层早期地热系统的潜在过程。此外，模型的微小模拟时间使其成为不确定性分析和模拟优化程序的低保真度选项，通常需要大量的模型模拟。



泉水在三种不同情景下的模型输出：a 流速、b 温度和 c 氯离子浓度

■ 作者信息

Mohammad Mahdi Rajabi^a, Mingjie Chen^b

^a Civil and Environmental Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

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

本文发表于：Modeling Earth Systems and Environment

2023年1月10日

全文链接：<https://doi.org/10.1007/s40808-023-01696-4>

从综合储层特征的试点知识到深层地热储层的利用前景：

GroßSchönebeck（北德意志盆地）的 3D 模型

From pilot knowledge via integrated reservoir characterization to utilization perspectives of deep geothermal reservoirs: the 3D model of Groß Schönebeck (North German Basin)

■ 摘要译文

德国北部盆地 Groß Schönebeck 基地是研究深埋二叠纪储层岩石地热潜力和热提取技术可行性的研究平台。通过新获取的 3D 地震勘测，对场地的构造背景进行了更详细的调查，以改进基于多条旧 2D 地震测线的早期概念模型。新数据可以对地质解释进行修改，从而能够建立新的储层模型，并为二叠系-石炭系目标的进一步现场开发提供基础信息。3D 地震首次实现了对研究充分的地热场地进行一致的地质解释和模型参数化。三维地震首次实现了对经过充分研究的地热地点的一致地质解释和模型参数化。在 8 km×8 km×4 km 大地震体中，绘制了主反射层和相应的地层单元，并呈现出地下构造格局。属性分析揭示了上 Zechstein 和后二叠纪单元中的一些断裂和断层模式，而之前假设的 Rotliegend 储层中不存在大型偏移断层。然而，Zechstein 层序顶部一个公认的地堑状构造很可能与破碎的几米厚的硬石膏脆性盐层有关。盐上方的大多数反射器显示出相当稳定的模式。绘制并表征了 Dethlingen 组（Rotliegend）的主要储层砂岩。下伏二叠系-石炭系火山岩层序的基底及其厚度无法从地球物理资料得到可靠的描述。根据 Groß Schönebeck 研究场地的地震数据和可用的勘探钻井、测井和实验室数据，对沉积 Rotliegend（重点是砂质储层段）和火山岩序列的厚度和分布进行了建模，并根据地震相模式相关性指导的岩石物理性质进行了随机参数化，从而提供了更真实的储层描述。属性包括总孔隙度和有效孔隙度、渗透率、体积密度、热导率、热扩散率和比热容。这些数据和解释构成了更好地理解现场热量和流体力学过程以及未来措施的基础。进一步的现场开发可包括加深一口井，以提供火山岩层序的证据，并将斜井考虑为有利区域，以及设计受控于裂缝的利用方法。

■ 作者信息

Ben Norden^{1a}, et al.

^a GFZ German Research Centre for Geosciences, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany

本文发表于：Geothermal Energy

2023 年第 11 卷

全文链接：<https://doi.org/10.1186/s40517-022-00242-2>

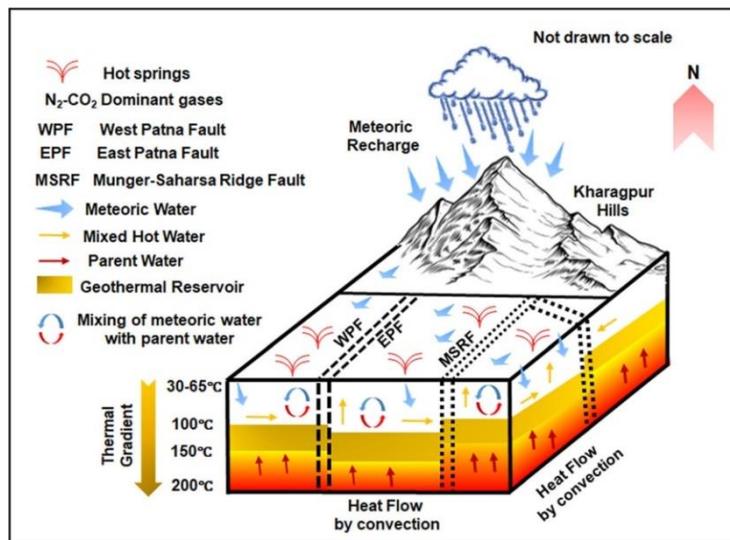
印度比哈尔 Munger-Saharsa 山脊断层沿线 Munger 群温泉的地质构造和物理化学特征：概念水文地球化学模型

Geological setup and physicochemical characteristics of Munger Groups of thermal springs along Munger–Saharsa Ridge Fault, Bihar, India: A conceptual hydrogeochemical model

■ 摘要译文

研究了印度半岛东部 Rajgir-Munger 变质沉积带中 Munger-Saharsa 山脊断层 (MSR) 大范围沿线温泉的水文地球化学。泉水的温度介于 25~65°C 之间, Bhimband 的表面温度最高。温泉是由前寒武纪石英岩和千分岩沿 MSR、东/西巴特那断层的节理和裂缝喷出的。主要离子组成表明, 大多数水为 Ca-Mg-HCO₃ 型。控制热水中阳离子的岩石优势来源以及阴离子的沉淀和岩石优势来源的机制是硅酸盐岩石风化和含水层岩石与水之间的离子交换过程。混合模型表明, 冷水在排放前会导致地热流体的强烈稀释, Bhaduria Bhar 的贡献最高 (76.6%), Bhimband 的贡献最低 (55.4%)。根据石英地热测量法估算的储层温度范围约为 100°C, 将泉水分级为低焓地热资源。

近地表稀释干扰了 Na/K-地球化学平衡, 因此多组分地热温度测量提供了不准确的结果。矿物相饱和度研究表明石英和玉髓与热水接近平衡。根据水文地球化学建模的所有证据, 在研究中提出了温泉补给-混合-排放的概念模型。



当前地热研究区的概念水文地球化学演化模型

■ 作者信息

Archisman Dutta^a, et al.

^a Geological Survey of India, Northern Region, Lucknow 226 024, India

本文发表于: Journal of Earth System Science

2023年第132卷

全文链接: <https://doi.org/10.1007/s12040-022-02023-8>

安蒂阿特拉斯山和摩洛哥撒哈拉 Souss Massa 地区地热储层的地理空间勘探

Geospatial exploration of geothermal reservoirs in the Souss Massa regions of the anti-atlas and Moroccan Sahara

■ 摘要译文

地热储层是指地壳中自然储存的任何热量；根据地质、地球物理和区域地球化学，它被认为是来自自然综合体的资源。尽管这一自然资源因其特性而著称，被视为可再生、生态、普遍和可持续的矿业能源，但它仍然没有在全世界范围内得到充分开发。摩洛哥就存在这样的情况，尽管存在一些热资源和可利用的科学研究来开发这一潜力。地下地热资源勘探是一项昂贵的项目，需要调动科学和技术方法来克服这一有风险的僵局。因此，利用地理信息和遥感进行地理空间勘探，以便通过绘制摩洛哥领土上极低和中等深度的地热矿床潜力图来指导勘探。

此外，我们探索智能工具，以支持在清洁能源组合和补充采矿能源以及能源勘探运营投资方面的短期和长期决策。作为一项实验，我们选择了主要分布在摩洛哥撒哈拉和 Souss Massa 地区的地域进行研究，这些地区可能具有较高的地热梯度，因此构成了地热储层。至于所采用的勘探方法，它包括处理图像：LANDSAT8、MODIS 和 ASTER，以提取开采指数，如地表温度、特征层和裂缝密度，以及可能表明地热活动的热液蚀变证据。这三个因素之间的相关性将使我们得出结论，摩洛哥撒哈拉地区被认为是摩洛哥最具潜力的地热储集区之一。

简而言之，遥感和地理信息系统的应用使我们能够计算地表温度以及热液蚀变指数和特征，以确定有潜力的低能地热区域。诚然，使用电磁波，特别是红外线，将有可能在摩洛哥撒哈拉的 Lagouera、Guergarat 和 Al Mahbes 三个试点区确定潜在的地热点。

■ 作者信息

Abderrahim El Bouazouli, et al.

Laboratory of Geosciences, Faculty of Sciences A ñ Chock, University Hassan II of Casablanca, Morocco

本文发表于：Materials Today: Proceedings

2023 年第 72 卷 3911-3926 页

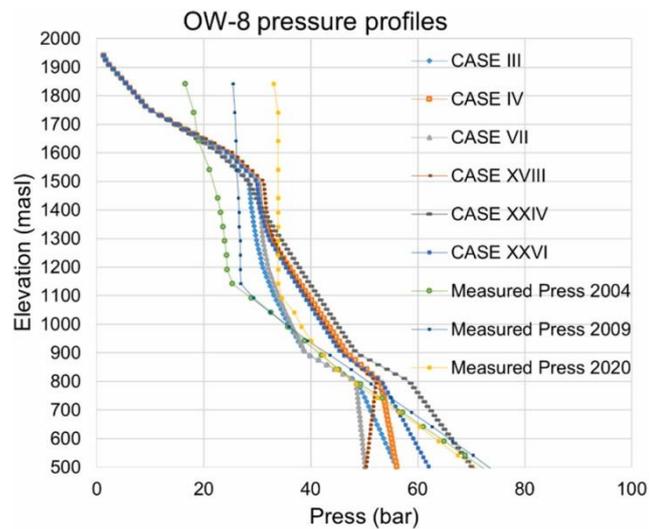
全文链接：<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.236>

Olkaria 东部和东南部地热田的综合地质评估和数值模拟

Integrated geological assessment and numerical simulation for Olkaria's East and Southeast geothermal fields

■ 摘要译文

Olkaria 东部和东南部地热田位于东非裂谷系统, 距离肯尼亚内罗毕约 120 km。这是 1981 年以来该国第一个开始发电的地热田 I 号机组 (15 MWe)。它已将其容量从 Olkaria I-VI 机组稳步增加至 278.3 MWe (2022 年)。尽管发电量稳步增加, 但压力下降了 10~15 巴。为了确保资源的最佳利用, 需要经常进行评估, 以跟踪生产力和管理实践, 从而指导未来的投资。使用 TOUGH 2 计算代码进行储层模拟, 以评估自然地质控制构造的最佳生产力, 并预测地热领域的未来发展。通过对地质和地球化学特征的总结, 确定了数值模型的输入参数, 并使用温度相关的流体运动方程计算了指定的断层和储层岩石性质, 从而减少了用于构建概念模型的试错方法中的模糊性。使用来自 16 口井的测量温度和压力剖面来校准初始状态模型。随后, 建立了生产和回注模型, 以研究回注前后的储层动态。通过改变井位 (内场和外场)、井深和补给率, 测试了不同的注水方案。据发现, 当以 1656 吨/小时的速度抽取, 42% 的水回注时, 29 年后, 压力下降趋势达到 19 巴。从新井中以 717 吨/小时抽取, 将导致生产寿命进一步下降至 13 年。最佳回注方案取决于补给速率、井位和深度间隔, 以缓解储层压力下降和热突破。本研究建议在 Olkaria 东部地热田南部以 1530 吨/小时 (提取流体的 74%) 的速度回注热水和冷凝水。



OW-8 井压力曲线

■ 作者信息

Gilbert Bett, et al.

Graduate School of Eng., Department of Earth Resources Eng., Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

本文发表于: Geothermics

2023 年第 109 卷 102652

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102652>