

# 地热地质特征及地热资源的开发利用分析

辛玉齐 罗 丽 邱京卫

天津地热勘查开发设计院 天津 300250

**摘要:** 围绕地热地质特征及地热资源开发利用展开研究, 剖析热源、储层、盖层与热流体四大核心要素的作用及区域差异, 阐述地热地质勘察、中低温与高温地热开发及生态保护等技术的应用现状, 提出提升勘察精度、推动技术创新、优化资源循环、建立动态监测及加强协同合作的优化策略, 旨在为实现地热资源高效开发与可持续利用提供清晰方向, 助力能源结构转型与生态保护协同推进, 为相关领域实践提供专业且实用的参考。

**关键词:** 地热地质特征; 地热资源; 开发利用; 储层特征; 可持续利用

## 引言

地热资源作为清洁且可再生的重要能源, 其合理开发利用对推动能源结构转型具有关键意义。地热资源的形成与分布受地质环境影响显著, 深入掌握地热地质特征是开展有效开发的重要前提, 而当前开发过程中仍存在勘察精度不足、技术适配性差等亟待解决的问题。基于此, 需先系统分析地热地质特征核心要素与区域差异, 再详细探讨开发利用现状与各类技术应用情况, 最后提出针对性优化策略, 通过全面系统的研究解决实际难题, 为地热资源高效可持续开发提供完整指引。

## 一、地热地质特征核心要素与区域差异

地热地质特征的形成依托特定地质环境, 核心要素包含热源、储层、盖层与热流体, 四者的组合形态及交互关系, 直接决定地热资源的分布范围、储量规模与开发潜力。热源是地热资源的能量基础, 主要源于地球内部放射性元素衰变释放的热能, 这类热能在地球内部持续积累并缓慢向地表传导。在板块交界带、火山活动带等地质活跃区域, 岩浆上升过程中会携带大量深部热能, 形成局部高温热源, 其能量密度高且补给稳定, 能为高温地热资源的富集提供充足动力, 显著提升区域地热资源的开发价值。

储层作为地热资源的储存载体, 其岩性、孔隙度与渗透率对热流体的储存量及运移效率起决定性作用。岩性影响储层结构的稳定性, 孔隙度决定热流体可储存的空间大小, 渗透率则直接关系热流体在储层内的流动能力。当前主流的储层类型包括碳酸盐岩储层、碎屑岩储层与裂隙型储层, 其中裂隙发育完善的储层因内部连通

性优异, 可有效降低热流体运移阻力, 更利于热流体聚集, 大幅提升资源开发的可行性。盖层承担关键的保温功能, 多由致密性强、导热性低的泥岩、页岩构成, 能阻隔储层内热流体与地表低温环境的热量交换, 减少热能散失, 维持储层温度稳定, 为地热资源的长期开发创造有利条件。

热流体是热能传递的核心介质, 其化学成分、温度水平与流量特征, 受地层岩性与水文循环共同影响, 进而形成显著的区域差异。在板块交界带等地质活跃区域, 因热源供给充足且地层裂隙发育, 热流体多呈现高温特征, 且流体中溶解的矿物质含量较高; 而在沉积盆地区域, 地质环境相对稳定, 热源补给强度较弱, 热流体以中低温特征为主, 化学成分更接近常规地下水。这种区域差异性直接导致不同地区地热开发方向与技术选择的明显不同: 高温流体区域更适合开展地热发电项目, 需采用适配的高温发电技术; 中低温流体区域则更适配地热供暖、农业种植等直接利用场景, 需重点优化换热效率与资源循环利用技术。因此, 需结合区域具体地质特征制定针对性开发方案, 才能实现地热资源的高效与可持续利用<sup>[1]</sup>。

## 二、地热资源开发利用现状与技术应用

### (一) 地热地质勘察技术与应用

地热地质勘察是开发的基础环节, 核心目标是精准识别地热资源分布、确定储层参数与热流体特征。常用勘察技术包括地质填图、地球物理勘探与地球化学勘探。地质填图通过实地调研地层岩性、构造形态, 初步判断地热资源赋存区域, 为后续勘察提供基础框架; 地球物理勘探借助地震勘探、电法勘探等手段, 探测地下

岩层密度、电阻率等参数，间接推断储层分布与裂隙发育情况，其中地震勘探可精准定位深部储层，适用于大型地热田勘察；地球化学勘探则通过分析地表水体、气体的化学成分与同位素特征，反演地下热流体的来源与运移路径，辅助判断地热资源潜力。不同勘察技术需组合应用，才能全面掌握地热地质条件，避免单一技术导致的勘察偏差，为后续开发方案制定提供准确的地质数据支撑。

## （二）中低温地热资源开发技术

中低温地热资源（温度低于150℃）广泛分布于沉积盆地，开发技术以直接利用为主，核心应用领域包括供暖、农业种植与医疗康养。（1）地热供暖技术通过钻井抽取地下热水，经换热系统将热量传递至供暖管网，相比传统燃煤供暖，可大幅减少污染物排放，当前主流技术为埋管换热与地下水换热，其中埋管换热适用于水资源匮乏区域，通过土壤热交换实现热量利用，而地下水换热则需配套回灌系统，减少水资源消耗。（2）在农业领域，中低温地热资源可用于温室大棚供暖与水产养殖，通过维持稳定的温度环境，提升农作物产量与水产品品质；医疗康养领域则利用地热流体中的矿物质成分，开展温泉疗养，缓解皮肤病、关节病等病症，这类开发模式技术门槛较低，但需注重热流体的循环利用，避免资源浪费。

## （三）高温地热资源开发技术

高温地热资源（温度高于150℃）多集中于板块交界带与火山活动区域，开发以发电为主，核心技术包括干蒸汽发电、闪蒸汽发电与双循环发电。干蒸汽发电直接利用地下喷出的干蒸汽驱动汽轮机发电，技术成熟度高，发电效率稳定，但依赖高纯度干蒸汽资源，适用范围有限；闪蒸汽发电则将高温热水引入低压容器，使其闪蒸为蒸汽驱动机组发电，适用于热水型高温地热资源，是当前应用最广泛的高温发电技术；双循环发电通过热流体加热低沸点工质（如异丁烷），产生蒸汽驱动汽轮机发电，适用于中高温地热资源，尤其在热流体温度较低或杂质较多的场景中，具有更强的适配性。高温地热发电虽清洁高效，但受资源分布限制，且开发过程中需关注储层压力变化，避免过度开采导致资源枯竭<sup>[2]</sup>。

## （四）地热资源开发中的生态保护技术

地热资源开发需兼顾资源利用与生态保护，避免因开发活动引发地质灾害与环境问题，核心保护技术包括回灌技术、污染物控制与地质监测。回灌技术通过将

热后的尾水重新注入地下储层，补充地下水资源，维持储层压力稳定，减少地面沉降风险，回灌过程中需对尾水进行过滤处理，避免杂质堵塞储层裂隙；污染物控制则针对开发过程中可能产生的地热流体泄漏、钻井废水排放等问题，通过密封钻井、建设废水处理系统，防止对土壤与地下水造成污染；地质监测技术通过安装压力传感器、水位监测仪等设备，实时跟踪储层压力、温度与地面沉降情况，及时预警潜在风险，确保开发活动安全可控。生态保护技术的应用是地热资源可持续发展的关键，需与开发技术同步设计、同步实施，实现资源利用与生态保护的协同推进。

## 三、地热资源开发利用优化策略与可持续发展路径

### （一）提升地热地质勘察精度与效率

勘察精度直接决定开发方案的合理性，需从技术升级与数据整合两方面提升勘察水平。（1）技术层面，推动地球物理勘探技术的迭代，引入高精度地震勘探设备与三维电法勘探技术，提升对深部储层与裂隙分布的探测能力，同时结合无人机航测、遥感技术，扩大勘察范围，提高勘察效率；数据整合方面，建立地热地质数据库，整合不同区域的勘察数据、地质资料与开发记录，通过数据分析挖掘地质要素与地热资源特征的关联规律，为勘察方案优化提供数据支持。（2）加强多学科协同勘察，联合地质、水文、地球物理等领域专家，形成综合勘察团队，针对复杂地质条件（如断裂带、多储层叠加区域）制定专项勘察方案，减少勘察盲区，提升勘察结果的准确性与可靠性<sup>[3]</sup>。

### （二）推动地热开发技术的创新与适配

技术创新是提升开发效率的核心，需结合不同地热资源类型，开展针对性技术研发与改造。（1）针对中低温地热资源开发，重点优化埋管换热技术，研发高效换热管材与智能化温控系统，提升热量交换效率，同时探索地热与太阳能、风能的联合供暖模式，解决单一地热供暖在极端天气下的稳定性问题；对于高温地热发电，加强双循环发电技术中低沸点工质的研发，提升工质热效率，同时开发模块化发电设备，降低小型地热田的开发成本，扩大高温发电技术的应用范围。（2）技术适配性方面，建立地热资源类型与开发技术的匹配体系，针对不同储层特征、热流体参数，制定技术选择指南，避免盲目套用成熟技术导致开发效率低下。例如，在裂隙型储层开发中，优先采用水平钻井技术，增加与储层的接触面积，提升热流体开采量；在高盐度热流体开发中，

选用耐腐蚀管材与设备，减少设备损耗。

### （三）优化地热资源开发中的资源循环利用

资源循环利用是减少浪费、提升开发效益的关键，需从热流体、余热两方面构建循环利用体系。（1）热流体循环方面，完善回灌技术工艺，根据储层特征优化回灌压力、流量与温度参数，提升回灌效率，同时推广“采灌均衡”模式，根据开采量动态调整回灌量，确保储层水量与压力稳定。（2）余热利用方面，针对地热供暖、发电产生的尾水（温度通常在30-50℃），开展梯级利用，将尾水用于农业灌溉、水产养殖或城市景观用水，最大限度挖掘余热潜力，减少能源浪费。（3）探索地热资源与其他产业的融合发展，例如在工业园区推广“地热+工业用热”模式，利用地热为工业生产提供低温热源，替代传统化石能源，同时将工业余热与地热资源综合利用，形成能源循环系统，提升整体能源利用效率<sup>[4]</sup>。

### （四）建立地热资源开发动态监测与管理体系

动态监测是保障开发安全、避免资源过度开采的重要手段，需构建覆盖勘察、开发、运营全流程的监测体系。勘察阶段，重点监测储层温度、压力与热流体流量，为开发方案设计提供实时数据；开发阶段，通过安装井口监测设备、地下水位监测站，实时跟踪开采过程中的储层变化，及时调整开采参数，避免因过度开采导致储层压力骤降；运营阶段，建立长期监测网络，监测地面沉降、土壤与地下水质量，评估开发活动对生态环境的影响，确保开发活动符合可持续发展要求。管理体系方面，制定地热资源开发的技术标准与规范，明确勘察、开发、回灌等环节的技术要求与操作流程，同时建立资源开发评估机制，定期对开发项目的资源利用率、生态影响进行评估，对不符合要求的项目及时整改，推动开发管理向规范化、精细化方向发展。

### （五）加强地热资源开发的多领域协同合作

地热资源开发涉及地质勘察、技术研发、工程建设、生态保护等多个领域，需加强跨领域协同合作，形成开发合力。科研机构与企业应建立合作机制，针对开发中的技术难题开展联合攻关，将科研成果快速转化为实际应用技术，例如联合研发高效换热设备、智能监测系统，提升开发技术的实用性与经济性；高校与企业则可开展

人才合作，根据企业需求培养具备地热地质勘察、开发技术应用能力的专业人才，解决行业人才短缺问题。此外，推动地热开发与区域能源规划的协同，将地热资源开发纳入地方能源发展规划，结合区域能源需求与地质条件，合理布局开发项目，避免盲目开发导致资源浪费或产能过剩。同时，加强行业内的技术交流与经验分享，通过举办技术研讨会、建立行业协会，促进不同地区、不同企业之间的合作，共同推动地热资源开发利用水平的提升<sup>[5]</sup>。

### 结语

系统梳理地热地质特征的核心要素与区域差异，明确各要素对地热资源分布及开发潜力的关键影响，详细阐述不同类型地热资源开发技术与生态保护技术的应用要点，提出涵盖勘察、技术、资源利用、监测、合作多维度的优化策略，形成对地热资源开发利用的全面且深入的探讨。这些内容为解决开发中的技术与管理难题提供切实可行的方案，能有效提升开发效率与可持续性，未来有望推动地热资源在能源转型中发挥更大作用，为实现清洁低碳发展目标提供有力支撑。

### 参考文献

- [1]葛晓静, 王鹏, 李欢. 地热地质特征及地热资源的开发利用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(11): 110-113.
- [2]李应宗, 韩兴勇, 赵龙. 地热地质特征及地热资源的开发利用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(10): 93-96.
- [3]段凯芳. 浅谈地热地质特征及地热资源的开发利用分析[J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2020(3): 034-035.
- [4]赵后明. 地热地质特征及地热资源的开发利用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2020(6): 00168-00169.
- [5]刘永俊, 邹治亮, 毕立坤. 大连市地热资源地质特征及开发利用前景浅析[J]. 矿产勘查, 2025, 16(S1): 140-145.