

地球物理勘查技术在地热勘查中的应用研究

彭凯峰

河南省地质局矿产资源勘查中心 河南 郑州 450000

摘 要：随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的增强，地热能作为一种清洁、可再生的能源，其开发利用日益受到重视。地热勘查作为地热资源开发的前提和基础，其准确性和效率直接关系到后续开发工作的成败。地球物理勘查技术以其独特的优势，在地热勘查中发挥着不可替代的作用。本文旨在探讨地球物理勘查技术在地热勘查中的应用，分析其原理、方法及应用效果，为地热资源的合理开发提供科学依据。

关键词：地球物理勘查技术；地热勘查；应用

引言

地热资源是一种蕴藏在地球内部的热能，具有分布广泛、储量丰富、清洁无污染等优点。然而，地热资源的勘查与开发却面临着诸多挑战，如地质条件复杂、勘查难度大、成本高等。地球物理勘查技术作为一种非侵入性的探测手段，通过观测和研究地球物理场的变化规律，可以间接推断地下地质结构和地热资源分布，为地热勘查提供了有力支持。

1 地球物理勘查技术概述

地球物理勘探是一种利用地球物理原理，通过精确观测和研究地表及地下各种物理场（包括重力场、磁场、电场以及地震波场等）的细微变化，来探寻和解决地质问题的高新技术手段。这些物理场的变化特性，往往与地下岩石、矿物的物理性质紧密相关，如密度差异、磁性强弱、电性导通性以及弹性波速等。专业技术人员通过高精度的测量仪器对这些物理场进行数据采集，并运用先进的数学物理方法进行综合分析，从而能够准确地推断出地下的地质构造特征、岩层分布情况以及矿产资源的潜在富集区，为矿产勘查和地质研究提供有力支持。

2 地球物理勘查技术在地热勘查中的应用

2.1 微震动技术在地热勘查中的应用

微动，作为一种无时不在、无处不在的天然微弱震动，其振幅位移约在 10^{-4} 至 10^{-2} 毫米之间，人类无法直接感知。这种震动的来源主要包括自然现象（如河流水流、风、雨、气压变化以及海浪、潮汐等）和人类活动（如车辆行驶、机器运转及日常生活、生产活动等）。微动是一种复杂的振动，由体波（P波和S波）和面波（主要是瑞雷波和勒夫波）组成，其中面波的能量占据信号总能量的70%以上。微动勘查技术，主要是利用瑞雷面波的频散特性来进行数据处理和反演解释^[1]。

2.1.1 瑞雷波的基本性质

地震波，作为震源在地球中产生的波动影响，根据传播特性可分为体波和面波。面波主要在介质分界面附近的薄层中产生，其主要组成部分包括瑞雷波和勒夫波。

传播特性：在均匀介质中，地震波以弹性波的形式传播，包括纵波（P波）和横波（S波）。瑞雷波是当SV波以超过临界角入射到自由界面时，由P波和SV波相互干涉形成的。在均匀半空间中，瑞雷波是波动方程的唯一解，沿着自由界面传播。

频散特性：瑞雷波在不均匀介质中传播时会发生频散现象，这是提取瑞雷波信号的重要前提。20世纪50年代后，随着Haskell提出的传递矩阵算法及其后续改进，如Schwab-Knopoff快速计算方法等，为面波问题的计算提供了有效手段。

2.1.2 微动勘查技术特点

微动勘查技术，即利用天然源面波进行地球物理探测的方法，具有以下显著特点：一是天然振源：微动作为天然振源，无需人工激振设备，不会产生噪音，适用于城市居民区、马路等复杂环境。二是低频成分：微动信号含有低频成分，理论上可以进行较深的探测，探测深度可达30米至3公里甚至更深。三是操作简便：只需检波器即可进行观测，即测即走，大大提高了工作效率^[2]。四是水平分辨率：相比于其他地球物理勘探方法，瑞雷波勘探得到的是近似均质的地下结构信息，其水平分辨率较低。五是瑞雷波特性：瑞雷波相速度与横波速度相近，可以利用瑞雷波的波速求取横波波速，进而计算岩土层的各种力学参数。此外，微动还具有空间分布随机、传播方向方位平均、振幅随深度指数衰减等特性。

2.1.3 微动勘查工作

在微动勘查工作中，通常采用高灵敏度的地震测量系统和检波器进行数据采集。以Mole地震测量系统为

例,其具有高精度同步、大数据存储空间、高动态范围等优点,适用于长时间、高精度的微动观测。

2.1.4 微动数据处理与解释

微动勘查数据的处理与解释主要包括以下步骤:一是提取面波:从测点的微动资料中有效地提取面波信息。二是获取频散曲线:通过计算获得实测的相速度频散曲线。三是反演拟合:通过构造模型反演拟合得到地下随深度变化的S波速度分布。在提取面波频散曲线时,常用的方法有频率-波数域法(F-K法)和空间自相关法(SPAC法)。其中,SPAC法通过计算空间自相关系数求得相速度和频率的关系,进而获得地下介质结构。

2.1.5 微动勘查技术处理反演方法

针对微动信号中面波的复杂性和干扰波的存在,常用的处理反演方法包括:①频率-波数法(F-K法):在频率-波数域中提取功率占优势的波,适用于面波能量相对其他波占优势的情况。②空间自相关法(SPAC法):利用微动的平稳随机过程特性,通过空间自相关系数来定义并求得地下介质结构。③单点与剖面探测数据处理方法:对于单点探测,通过F-K法或SPAC法提取瑞雷波并获得其相速度频散曲线;对于剖面探测,则采用台阵布置方式进行微动信号采集,并绘制相速度等值线图以直观反映地层变化。

2.2 电法勘探在地热勘查中的应用

电法勘探是地热勘查中另一种重要的地球物理方法。它主要利用地下岩石和流体的电性差异来探测地热储层的电阻率分布,进而推断储层的含水性、孔隙度、渗透率等关键参数。电法勘探具有分辨率高、准确性好、探测深度大等优点,能够直接反映地热储层的电性特征,为地热资源的勘查和开发提供有力支持。

在电法勘探中,常用的方法包括电阻率测深、激发极化法等。电阻率测深是通过在不同深度上布置电极,测量地下岩石的电阻率变化,进而推断出地下岩层的电性结构和物性特征。这种方法在地热资源勘查中广泛应用,能够有效地识别出地热储层的位置和范围。在某地热资源勘查项目中,科研人员采用了电阻率测深技术。他们根据地质勘查资料和前期研究成果,合理布置了测深点,确保了数据采集的代表性和准确性。然后,利用电阻率仪进行数据采集,获取了不同深度上的电阻率值。最后,通过电阻率反演和解释技术,成功揭示了地下地热储层的电性结构和物性特征,为地热井的选址和设计提供了重要依据^[3]。

激发极化法则是利用地下岩石和流体在电流作用下的极化现象来探测地热储层的含水性、孔隙度等参数。

当电流通过地下岩石和流体时,它们会发生极化现象,即正负离子在电场作用下发生位移,形成极化电场。通过测量极化电场的参数,如极化率、弛豫时间等,可以推断出地下岩石和流体的电性特征和物性参数。在某地热勘查项目中,科研人员采用了激发极化法技术。他们通过布置激发极化测点,施加电流并测量极化电场的参数,成功揭示了地下地热流体的运移通道和储层分布规律。这些信息为地热井的布设和开发提供了有力支持。

3 地球物理勘查技术在地热勘查中的优势与挑战

3.1 优势

3.1.1 非破坏性

地球物理勘探技术的一大显著优势在于其非破坏性。与传统的钻探方法相比,地球物理勘探不需要对地下岩石和地质构造进行直接取样或破坏,因此可以多次重复进行。这一特点对于地热能源的开发尤为重要,因为地热资源的勘探往往需要在多个地点进行,以确定最佳的开发位置。地球物理勘探技术的非破坏性使得科研人员可以在不破坏地下环境的前提下,持续获取地质信息,为地热能源的开发提供长期、稳定的地质支持。具体来说,在地热勘查过程中,科研人员可以利用地震勘探技术多次测量地下岩层的反射波和折射波,以精确绘制出地下岩层的结构图像。同时,电法勘探、重力勘探和磁法勘探等技术也可以在不破坏地下环境的情况下,多次测量地下的电性、重力和磁性特征,为地热资源的定位提供多维度的信息支持。

3.1.2 高效性

地球物理勘探技术的另一大优势是其高效性。与传统的地质勘查方法相比,地球物理勘探技术可以在较短的时间内覆盖较大的勘查区域,快速获取地下地质信息。这一特点对于地热资源的勘探尤为重要,因为地热资源的分布往往具有区域性,需要在大面积范围内进行勘查。例如,通过航空磁测或重力测量,科研人员可以在短时间内对大片区域进行快速勘查,初步确定地热资源的可能分布区域。然后,结合地面地球物理勘探技术,如地震勘探和电法勘探,对重点区域进行详细勘查,进一步确定地热资源的准确位置和规模。这种高效性的勘查方式大大提高了地热能源勘查的效率,缩短了勘查周期,降低了勘查成本。

3.1.3 准确性

地球物理勘探技术的准确性也是其一大优势。通过测量和分析地下岩石和地质构造的物理性质,地球物理勘探技术能够准确探测地下岩浆房、断裂带和热储层的分布特征。这些特征对于地热资源的开发至关重要,

因为它们直接决定了地热井的布设位置和开发效率。例如,地震勘探技术可以通过分析地震波的传播路径和反射特征,精确绘制出地下岩层的结构图像,包括岩浆房的位置、断裂带的走向和热储层的厚度等。电法勘探技术则可以通过测量地下的电阻率分布,推断出热储层的含水性、孔隙度和渗透率等关键参数。这些准确的地质信息为地热能源的开发提供了精确的地质模型,有助于提高开发效率和降低开发风险。

3.2 挑战

3.2.1 数据解释复杂性

尽管地球物理勘探技术具有诸多优势,但其数据解释复杂性也是一大挑战。地球物理勘探数据的解释需要具备一定的专业知识和经验,且不同方法的数据之间存在相互干扰和制约。例如,地震勘探数据可能受到地表条件、地下岩性变化和波速变化等多种因素的影响,导致数据解释存在多解性。电法勘探数据则可能受到地下电性异常体的干扰,使得数据解释变得复杂^[4]。为了准确解释地球物理勘探数据,科研人员需要具备扎实的地球物理学基础和丰富的实践经验。同时,还需要结合地质、钻探等多种信息进行综合分析和判断,以降低数据解释的多解性和不确定性^[4]。

3.2.2 地质条件影响

地下地质条件的复杂性对地球物理勘探技术的效果产生较大影响。地层厚度、岩性变化、断裂发育等地质条件都可能影响地球物理勘探数据的准确性和可靠性。例如,在地层厚度变化较大的地区,地震波的传播路径和反射特征可能发生变化,导致地震勘探数据的解释变得困难。在岩性变化复杂的地区,电法勘探数据可能受到多种电性异常体的干扰,使得数据解释变得复杂且不准确。为了应对地质条件对地球物理勘探技术的影响,科研人员需要充分了解勘查区域的地质特征和地质历史,选择合适的勘探方法和参数设置。同时,还需要结合地质、钻探等多种信息进行综合分析和判断,以提高地球物理勘探数据的准确性和可靠性。

3.2.3 仪器精度限制

目前地球物理勘探仪器的精度和分辨率还存在一定限制,难以满足所有勘探需求。随着地热资源勘探的深入和发展,对地球物理勘探仪器的精度和分辨率提出了更高的要求。然而,现有仪器的精度和分辨率可能无法完全满足这些需求,导致勘探结果的准确性和可靠性受到一定影响。为了克服仪器精度限制对地球物理勘探技术的影响,科研人员需要不断研发和改进勘探仪器,提高其精度和分辨率。同时,还需要结合多种勘探方法和技术进行综合勘探,以提高勘探结果的准确性和可靠性。此外,还可以通过加强国际合作和交流,引进国外先进的勘探仪器和技术,提升我国地热资源勘探的整体水平。

结语

地球物理勘查技术在地热勘查中发挥着重要作用,其应用效果显著且不可替代。通过综合运用多种勘探技术 and 方法,可以更加准确、全面地了解地热资源的分布和赋存情况,为地热资源的开发和利用提供科学依据和技术支持。然而,地球物理勘查技术也面临着一些挑战和限制,如数据解释复杂性、地质条件影响、仪器精度限制等。未来,随着科技的不断发展,地球物理勘查技术将更加注重技术创新和研发,提高勘探的精度和效率,为地热资源的可持续开发利用做出更大贡献。

参考文献

- [1]杨松.地球物理勘查技术在地热勘查中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2019,(19):29.
- [2]满晓兵.探究综合地球物理勘查技术在地热勘查中的应用[J].内江科技,2021,42(01):14-15.
- [3]李富强.地热勘查工作中地球物理勘查技术的综合应用[J].科技创新与应用,2018,(32):168-169.
- [4]提云生,王义利.综合地球物理勘查技术在地热勘查中的应用[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2019,(05):167-168.