

地热资源勘查中水文地质调查的运用分析

聂龙龙

河北省煤田地质局环境地质调查院, 河北 石家庄 050085

[摘要] 地热资源属于清洁可再生资源范畴, 凭借其稳定供应能源这一特性, 已然收获了相当多的关注目光。水文地质调查在地热资源的勘查活动当中, 占据着极为关键的地位。其较为系统化的调查内容以及颇具科学性的方法手段, 给地热资源的识别工作、相关评价事宜以及后续开发事宜都提供了基础层面的有力保障。本文会阐述水文地质调查所涉及的基本理论内容以及相应的方法, 接着依据地热资源勘查的实际具体需求情况, 对水文地质调查在多个方面的应用实践展开分析, 这些方面包括地热异常区的识别、含热水层空间分布状况的了解、地热水补给以及流动路径的分析、水温场还有水化学特征的识别以及动力学模型的构建等等。同时, 针对当下阶段水文地质调查工作里存在的技术方面的一些瓶颈问题, 还会提出像引入数字化以及智能化技术这类的优化策略。通过针对水文地质调查展开较为全面细致的分析, 以此来推动地热资源勘查技术不断向前发展进步, 达成地热资源能够得到科学合理的开发并且实现可持续利用的良好目标。

[关键词] 地热资源; 水文调查; 地质调查; 运用

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17529

中图分类号: P314

文献标识码: A

Application Analysis of Hydrogeological Survey in Geothermal Resource Exploration

NIE Longlong

Environmental Geological Survey Institute of Hebei Coalfield Geological Bureau, Shijiazhuang, Hebei, 050085, China

Abstract: Geothermal resources belong to the category of clean and renewable resources, and have gained considerable attention due to their stable supply of energy. Hydrogeological survey plays a crucial role in the exploration of geothermal resources. Its systematic investigation content and scientific methods provide a strong foundation for the identification, evaluation, and subsequent development of geothermal resources. This article will elaborate on the basic theoretical content and corresponding methods involved in hydrogeological surveys. Then, based on the specific needs of geothermal resource exploration, it will analyze the practical application of hydrogeological surveys in multiple aspects, including the identification of geothermal anomaly areas, understanding of the spatial distribution of hot water layers, analysis of geothermal water supply and flow paths, identification of water temperature fields and hydrochemical characteristics, and construction of dynamic models. At the same time, in response to some technical bottlenecks in the current stage of hydrogeological survey work, optimization strategies such as introducing digital and intelligent technologies will also be proposed. By conducting a comprehensive and detailed analysis of hydrogeological surveys, so as to promote the continuous development and progress of geothermal resource exploration technology, and achieve the good goal of scientific and rational development and sustainable utilization of geothermal resources.

Keywords: geothermal resources; hydrological survey; geological survey; application

引言

随着全球能源结构逐步转型升级, 地热能作为一种具备低碳环保优势的清洁能源, 正逐渐变成能源开发的关键方向。地热资源要实现高效利用, 应精准掌握其资源特征才行, 而水文地质调查是地热勘查工作的基础, 肩负着识别地下热水系统以及其动力特征的重任。它既要地下水赋存环境展开综合性解析, 又要揭示地下水和地热能之间的动态关联, 构建热储系统的整体框架。当下, 地热资源勘查所面临的复杂地质环境以及多样化的水文条件, 使得水文地质调查对精度的要求更高, 并且需要多学科协同配合。所以深入剖析水文地质调查的内容、方法以及其在地热资源勘查中的具体运用情况, 对于提高勘查质量、优化资源开发方案有着极为重要的意义。本文围绕水文地质调查的理论基础以及实际应用, 全面分析其在地热勘查中的

作用以及存在的问题, 目的是给未来地热资源的科学勘查与合理开发提供理论方面的支撑以及实践层面的指导。

1 地热资源勘查概述的概念

从概念上来看, 地热资源的勘查具体指的是, 针对某一地理区域内地下分布地热资源的情况, 进行全面、科学地排查。这种综合性的地质工作, 要求涵盖地球化学、地球物理和地质等多个学科的交叉操作, 勘查的过程也要依据不同的工作程度, 分为前期调查、预可行勘查、可行性勘查和开采等诸多阶段。具体来说, 勘查的主要内容包括: 查明地下热储层的岩石特征、岩层性质以及空间分布规律, 结合常温含水层之间的水力联系, 深入探测地热流体的温度状态和物理化学性质等, 进而对利用地热资源的可行性进行科学的分析与评价, 明确温泉地热资源的具体形成条件, 界定资源可开发利用区域的合理范围和开发深度, 并结合这些科学的

数据,准确地计算出地热资源的处理量或热力值,提出开发建议和可持续利用的综合性建议。确保资源有效利用的同时,使生态环境不遭到破坏,切实实现高质量开发的目的。

2 水文地质调查的基本内容与方法

2.1 水文地质调查的理论基础

水文地质调查属于一门交叉学科,把地质学、水文学、地球物理学还有环境科学的关键理论融合到了一起,其根本在于对地下水的形成、赋存、流动以及它和地质环境之间相互作用能够有完整的理解。地下水是地热系统的一个重要构成部分,它的流动规律以及物理化学特性可直接体现出热能的分布状况以及迁移的路径。水文地质调查借助对含水层的岩性特点、渗透性以及连通性的分析,再结合地下水水位、水温还有水化学方面的数据,来揭示地下水系统的空间结构以及动态演变的情况。从理论层面来讲,水文地质调查着重于构建地下水流动的闭合系统模型,精准地模拟水-岩相互作用以及热质运输的过程,以此给地热系统的识别与评价给予科学方面的依据。随着数值模拟以及遥感技术不断向前发展,水文地质调查理论也逐渐朝着动态、多尺度以及多参数集成的方向去演进,这使得对复杂地热系统的解析能力得到了大幅度的提升。

2.2 地下水系统与含水层特征研究

地下水系统划分以及含水层特征解析,在地热资源勘查中属于水文地质调查的关键环节。含水层的空间分布状况、储水性能情况以及水力联系状态,对热储的补给能力以及排泄能力起到决定作用。借助钻探操作、抽水试验开展以及水位观测实施,并且结合水文地质参数测定工作,便可以识别出不同含水层彼此间存在的水力连通性以及流动模式。与此水化学分析能给出水体来源判定依据以及流动路径判断依据,助力区分热水和常温地下水系统。针对含热水层的温度剖面以及动态变化展开监测,可进一步将地热水体的热力特征以及稳定性揭示出来。上述这些研究成果,为地热系统开发方案的制定以及资源可持续管理打下了稳固的基础。

3 水文地质调查在地热资源勘查中的应用实践

3.1 地热异常区的识别与初步圈定

地热异常区的识别在地热资源勘查工作里属于极为关键的首个环节,要想后续开展详尽勘探以及制定开发规划,那么准确地将异常区圈定出来便有着不容小觑的指导价值。借助水文地质调查这一手段,经由系统性地去测量地下水的温度、矿化度还有水化学特性,如此一来便能够把地下水跟地热流体二者之间存在的联系以及它们在分布上呈现出来的差异给揭示出来。把地表热泉、蒸汽喷口等这类地热现象的空间分布情况综合起来考量,这样便可以大体上描绘出潜在地热异常区大概处于怎样的范围之内。水文地质测绘能够对地下含水层的空间构造以及水流的方向予以揭示,这对于我们去判断地热流体具体的活动路径以及热能释放的具体位置是很有帮助的。同时,凭借钻孔测温以及地球物理勘查所获取到相关数据,还能够

进一步地让异常区的边界变得更加清晰明确,进而确定热储所处的深度区间以及其热力强度到底是怎样的状况。这样一种依托水文地质综合参数来对异常区加以识别的方法,切实有效地提升了地热资源勘查工作的科学程度以及准确程度,从而避免了资源出现盲目开发的不利情形。

3.2 含热水层的空间分布与水文地质特征

含热水层在地热资源当中充当着主要的储存体角色,所以对其空间分布以及水文地质特征展开精准的解析工作,是保障地热资源得以合理开发利用的重要基础所在。水文地质调查会借助地层剖面分析这一手段,同时开展抽水试验,并运用水文地球化学相关的方法,如此一来便能够获取到含热水层的关键参数,像它的厚度、渗透性还有封闭性等等这些都涵盖其中。热水层往往存在于那些断裂裂隙发育情况较好或者孔隙结构比较优良的岩层里面,在这种情况下,它和周围冷水层之间所形成的水力联系以及二者维持的动态平衡状况,将会对地热资源能否实现稳定的供应产生极为直接的影响。水文地质调查还会着重留意含热水层的补给来源情况以及更新速度方面的信息,只有这样才能确保在对资源进行开发的时候不会出现水温降低或者水量枯竭这类不利的局面。把地下水流程和温度场结合起来进行叠加分析的操作,是能够清楚明确地弄明白含热水层的流体循环具体路径以及热储类型到底是怎样的,进而为科学且客观地去评估热储所具有的潜力以及开发能够持续的寿命给予十分坚实的依据支撑。

3.3 地热水补给、径流与排泄条件分析

地热水的补给、径流以及排泄,这些过程对于维持地热系统的动态平衡而言极为关键,它们直接对热储层的能量持续性以及开发潜力产生决定性影响。借助水文地质调查,也就是通过针对区域降雨情况、地表水的渗透状况以及侧向水流状态展开监测的方式,可将地热水的主要补给形式及其强度充分揭示出来。补给区域是否稳定,这与热储层水量能否得到补充以及地热流体循环效率的高低有着密切关联。要确定径流路径,就得依靠含水层的渗透性能以及地下水的具体流向,凭借水力坡度的测量以及水位的监测,便能较为精准地描绘出热水在地下的具体流动轨迹。排泄条件包含了地热水的自然出露情况、因蒸发而发生的散失情形以及向邻近含水层出现的流失状况,其呈现的形式多种多样,并且变化起来也颇为复杂。综合运用水位动态方面的监测数据、水温梯度的相关信息以及水化学示踪所获取的资料展开分析,就能够构建起地热水完整的水文循环系统,进而对地热资源的合理开发利用以及环境保护规划起到辅助作用。

3.4 地下水温度场、水化学特性与热储类型识别

地下水温度场以及其水化学特性的细致分析,属于判断地热系统性质和热储类型极为关键的环节。不同种类的地热系统,像导热型、对流型又或者混合型,在温度分布情况以及水化学成分方面会呈现出明显的差异。借助钻孔测温数据展开空间插值操作并绘制出地下水温度等值线,可

直观地呈现出热能在地下具体的分布状况。水样所具有的离子组成情况、同位素比值状况以及微量元素方面的特征,可反映出水体的来源情况、循环路径走向以及其与岩石相互作用的程度。把温度数据和水化学数据综合起来考虑,便能够较为科学地划分热储类型,识别热能的主要供给机制以及流动模式,进而给地热开发给予科学且合理的指导依据。这样一种多参数综合判别的方式,使得地热资源评估的准确性得以提升,同时也让开发具备了更强的可持续性。

3.5 地热系统水文地质动力学模型构建

借助前面所提及的调查结果,去构建水文地质动力学模型,这一做法对于达成地热系统定量分析以及预测而言,是极为关键的一个步骤。该模型把地下水补给边界、含水层的各项参数、流动的具体路径、温度呈现出的变化情况以及排泄的相关机制等诸多因素都综合起来予以考量,并且借助数值模拟的相关手段来将地热系统的动态演变过程清晰地揭示出来。像 MODFLOW 还有 FEFLOW 这类常用的模拟软件,在不同的开发情形之下,是能够对水位所发生的变动情况、温度出现的衰减状况以及水化学演变的具体趋势做出预测的^[1]。动力学模型一方面为评估地热系统具备的可持续开采能力给予了科学层面的依据,另一方面也给优化井位的布局安排、设计热能回灌的方案以及制定分阶段开展开发工作的计划提供了决策方面的有力支持。凭借动态模拟的方式,研究人员可以预估在开发进程当中有可能会出现的各种风险以及所带来的环境方面的影响,进而切实保障地热资源得以高效地加以利用,同时也能够对生态环境起到保护的作用。

4 水文地质调查在地热勘查中的问题与对策

4.1 勘查精度与手段的局限性

当前水文地质调查在地热资源勘查方面依旧存在一些问题,比如勘查精度不够高以及技术手段受到限制等。因为地热系统本身的复杂程度较高,并且地下环境是没办法直接去观察到的,所以像钻探、水位观测以及化学分析这些传统的勘查方法,尽管能够获取到基础数据,但是会受到样本数量以及空间分布方面的限制,很难完整地反映出地下水文地质系统的实际情况^[2]。在部分区域,地质条件较为复杂,断裂带比较密集,而且水文环境的变化也比较剧烈,这就进一步加大了对勘查数据进行解释的难度。地球物理探测以及遥感技术虽说已经取得了一定进展,不过它们的分辨率以及精度还是不能够完全满足对深部热储系统进行识别的需求。勘查数据出现误差积累以及信息缺失的情况,这在一定程度上限制了对地热资源规模以及质量做出准确评估的能力,从而也对开发决策的科学性以及合理性产生了影响。

4.2 优化路径:数字化技术与智能化手段引入

当前存在诸多问题,要想提升水文地质调查水平,引入数字化技术以及智能化手段便成了必不可少的途径。数字化技术能够达成数据采集、存储、处理以及分析整个流

程的信息化管理,进而让数据的准确性以及实时性得以提高。借助地理信息系统也就是 GIS、遥感还有三维建模技术,可以将地下水文地质结构以及地热异常分布直观地展示出来,助力决策者做出精准的判断^[3]。并且运用人工智能以及机器学习技术,可以从海量且多维度的数据当中提取出关键特征,实现对地热系统的动态模拟以及预测。像无人机遥感、水文自动监测站以及高精度地下探测设备这类智能化仪器,明显提高了调查的效率以及深度。具体来讲,运用高分辨率地球物理探测技术,比如三维地震成像以及电法等,来对断裂构造展开细致的勘测工作,与此把多时相遥感影像同自动水文监测数据相结合,以此动态地去捕捉水文参数在时空方面的变化情况,这样做对于构建复杂断裂带及其所处水文环境的三维动态模型是很有帮助的。借助机器学习算法针对多源且异构的数据展开融合分析以及模式识别的操作,可以有效地识别出那些隐藏着的水文动力学规律,进而提升我们对于复杂系统予以理解以及做出预测的能力。通过搭建起跨学科并且能够实现多数据融合的数字平台,达成数据的共享以及协同分析的目的,如此一来便能够大幅提高在复杂地质水文环境之下开展勘查解释工作的准确性以及科学性,进而确保地热资源评估具备可靠性以及开发决策有合理性。

5 结语

水文地质调查属于地热资源勘查的关键基础部分,其肩负着呈现地下水系统构造、动态特性以及该特性与地流体相互影响的重要使命。凭借系统的理论指引以及科学的调查途径,水文地质调查切实助力了地热异常区域的辨别、含水层分布状况的剖析以及地热系统水文动力学模型的搭建工作。不过当下阶段的勘查活动依旧存在精度不够、多学科协同受到限制以及技术装备滞后的诸多问题。所以务必要积极引入数字化以及智能化技术,强化跨学科数据融合,提高技术人员的综合能力并且提升装备现代化程度。唯有持续对调查手段以及管理机制加以优化,才能够促使地热资源勘查朝着精细化方向发展,达成地热能的高效运用以及生态环境的可持续保护目标。在未来的日子里,水文地质调查会在地热能源开发方面发挥出更为重要的作用,给绿色低碳能源转型给予稳固的保障。

【参考文献】

- [1]何健.地热资源勘查中水文地质调查的运用分析[J].中国战略新兴产业,2025(11):67-69.
- [2]姚伟.地热资源勘查中水文地质调查的运用[J].内蒙古煤炭经济,2022(10):178-180.
- [3]陆宇,姜星.地热资源勘查中水文地质调查的运用[J].中国资源综合利用,2024,42(5):74-77.

作者简介:聂龙龙(1989.2—),毕业院校:河北地质大学,所学专业:地下水科学与工程,当前就职单位:河北省煤田地质局环境地质调查院,职务:无,职称级别:工程师。