

盆地地热场模拟在地热资源勘探中的应用

吴春发

(中国地质大学研究生院 湖北 武汉 430074)

摘 要 :地热资源是一种新型无污染能源,具有极高的开采价值,已经受到世界各国的关注。盆地因其特殊的地质条件,内部往往蕴涵着丰富的地热资源,且具有易开采、利用的特点。但目前地热资源勘探的手段和研究方法单一,制约着地热资源的开采与开发。而盆地地热场模拟技术已经较为成熟,并在油气成藏模拟中广泛应用。我们可以在已有的技术手段下结合盆地地热模拟技术来提高勘探的精度。本文还探讨了以地温控制方程与地下热水水流程相结合来建立模型,模拟盆地地热资源。

关键词 :地热场模拟 地热资源 地热资源勘探 地热资源模拟

中图分类号 :P641.2 ;P628

文献标识码 :A

1 地热资源研究开发现状

地热资源是一种无污染的能源,具有开发成本低、开发效益高、维护费用少、可直接利用、用途广泛等特征。我国是世界上地热资源比较丰富的国家之一。据估算,我国地热井、泉的天然放热量总计约合 356 万吨标煤/年。已探明的地热资源相当于 31.58 亿吨标煤/年,远景地热资源约合 1353.46 亿吨标煤/年。仅在“九五”期间,就初步查明我国地热资源可采储量相当于 4.6265×10^{11} t 标准煤,其中新生代盆地可采地热面积 6.02×10^5 km²,相当于 1.8716×10^{11} t 标准煤。裂隙型地热资源中高温水热系统 187 个(热储温度大于 150℃)初估发电潜力 6744×10^6 kW^[1]。中国地热资源按地理位置可划分为 6 个区带^[2]:即①藏滇地热带,②川滇地热带,③郯庐断裂地热带,④祁吕弧形地热带,⑤东南沿海地热带,⑥台湾地热带。全国各省几乎都有地热点和热异常发现,据统计已超过 3000 处以上。其中西藏 600 多处,云南 700 多处,四川 300 处左右,闽东南 100 多处,华北平原北部近百处,台湾 80 处左右,江苏中部 20 余处等。

盆地因其独特的地质特征,往往蕴涵着丰富的地热资源,尤其是沉积盆地,如洛阳盆地、松辽盆地、渭河盆地、辽河盆地等已经发现了丰富的地热资源。据粗略计算,我国主要沉积盆地小于 2000 m 深度中储存的地热资源总量就约 4.018×10^{19} J 相当于 1.3711×10^{12} t 标准煤的发热量^[3]。因此,进行盆地地热资源勘探十分必要且极具前景价值。

中国对地热能进行大规模开发和研究始于 20 世

纪 70 年代^[4]。经过 30 多年的研究与勘探,目前已发现地热异常 3200 处,已打地热井 2000 多眼,评价的地热田有 50 多处。中国的地热主要应用于取暖(面积近 800 万 m²)、水产养殖(面积近 300 万 m²)、浴疗(1600 多处)、农业和医药等。1977 年以来,几个中高温地热资源被开发应用于发电。在过去 10 年,地热资源发展大约增长了 12%。而在国外,特别是发达国家地热资源已得到广泛应用。据报道欧洲 28 个国家和地区(包括土耳其和俄罗斯的西伯利亚)的直接利用装机容量为 6281 MW,占世界装机容量的 41.5%;年用能量 2152 GW,占世界的 40.5%,负荷系数 0.39^[5]。总之,我国地热资源勘探开发是极具前景的,特别是盆地地热资源,但地热资源勘探开发还较落后,急需提高。

2 地热场模拟与盆地地热资源模拟

目前,地热学的研究大体上包括两个方面的内容^[6]:理论上,研究区域乃至全球地热场的特点,地壳的热状况,岩石圈的热结构,地球的热历史,以及由它们所反映的地质和地球物理过程。应用上,研究地热资源的赋存状态和形成机制,地热系统的分布特点和资源评价,研究矿区地温状况,矿井致热因素和矿山热害的防治对策,研究各种矿产特别是油气资源形成的地热和古地温条件,沉积盆地的构造热演化特征,为油气资源评价和远景预测提供地热依据。我国对地热学的研究工作取一定成果,如地热场模拟技术、地热资源信息系统等,但这些技术没有得到推广应用。

随着计算机科学的发展和数值方法的改进,人们

完全可以利用计算机处理大量的地质数据并进行数值模拟和仿真。地热场模拟是伴随着盆地模拟而发展起来的一项新兴技术。地热场模拟技术已经从最先的一维技术向二维、三维技术发展。目前,地热场模拟主要还是石油勘探部门运用于油气成藏模拟中。现行的地热场模拟软件主要都是面向沉积盆地的古地热场模拟。地热资源勘探和石油勘探具有许多相似相容性^①,所以我们在进行以地热资源勘查为目的盆地地热场模拟时可以借鉴现存的地热模拟技术中的某些方面技术和处理方法。

盆地地热场是一个复杂的系统,影响盆地地热场分布的因素较多,但主要控制因素有地下水的储量、底部热流、放射性元素生热、岩浆活动、岩石的热率、比热、密度、地层流体对流、地表温度等^[7]。热储结构包括热储、盖层、控热断裂及其相互关系,因此热储结构决定着地热资源的性质和形成。而其中的构造为地热形成的主导因素,因此表现出在盆地不同构造带有不同的热流值。实践证明,在模拟过程中考虑到这一点对于提高地热场模拟结果的可靠性是非常重要的,所以我们在盆地地热模拟时应在地层构造格架的基础上进行。一般的地热场模拟都是基于地层构造格架之上的,在地热资源模拟时可以借鉴这一方面的成熟经验和技巧。

以地热资源勘探为目的的地热资源模拟最主要的目的是查明热储和计算出盆地内的地热储量,所以我们应建立模型,模拟盆地的热储。热储是指地热流体相对富集、具有一定渗透性并含有载热流体的岩层或岩层破碎带。在地热场模拟中一般将中低温热储根据地质、水文地质和热在地壳中的传递方式划分为以热对流为主的地热储和以热传导为主的地热储,建立不同模型进行模拟。按照规范要求在地热资源勘查的不同阶段应建立不同的热储模型,其中包括概念模型、理论参数模型、参数模型和开发管理模型。我们现在完全可以通过计算机实现这些模型的模拟,并可以建立一个模型实现以前所有模型的功能。

盆地地热场中不仅有水的运移,还有热量的运移。因此在盆地地热模拟时不仅要模拟盆地内地下热水的运移过程和运移数量,还要模拟热量的运移过程和数量。在地下热水系统中,地下水流动对热量运移的影响是显而易见的,而温度场的变化对水动力场也有明显的影响^[8]。因此,在盆地地热场模拟时,应耦合地描

述地下热水的流动和热量的运移。周训等^[9]就提出过通过扩散项将地下水流方程和温度场方程耦合起来的思想。我国水文地质工作者对地下热水的运动模型做过较为深入的研究,提出了适应不同条件下的模型和方程,但目前还没有一种模型能很好地解决它们之间的关系和较好地模拟各种盆地的地热资源,所以在建立新的模型时可以尝试借鉴盆地模拟与油气成藏模拟中的基于动力学原理的地热场模拟的成功技术来提高模拟效果。

地下水是流动的,冷热水间存在复杂的热对流,所以在模拟时应建立地下水水流方程。另外沉积盆地型地热场一般属大地热流供热模式,大地热流是储层的供热源,地球内的热能通过传导方式向地表传递,地表一般无地热显示,自恒温带以下,温度随深度的增加而升高。因此可以利用地热场模拟的单一热源稳态温度场的温度控制方程。我们在这里给出三维温度场的温度控制方程,即

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - c_w \times \rho_w \times \left[\frac{\partial}{\partial x} (V_x \cdot T) + \frac{\partial}{\partial y} (V_y \cdot T) + \frac{\partial}{\partial z} (V_z \cdot T) \right] = 0$$

式中: T 为温度; c_w 、 ρ_w 为地下水的比热和密度; V_x 、 V_y 、 V_z 为地下水在 x 、 y 、 z 方向的速度; k 为介质的热导率,可以由下式近似计算

$$k = k_r (k_w / k_r)^\phi$$

式中: k_r 为岩石的热导率; k_w 为地下水的导热率; ϕ 为岩石的孔隙度。

各盆地中地下水的补给和运移规律差别很大,所以对各种类型的盆地应建立不同的地下水水流方程,在这里就不一一列举。我们可以将地下水水流方程和温度控制方程联立起来建立数学模型模拟盆地地热资源。

3 结论

地热勘探是一项复杂的系统工程,影响因素多,仅靠室内常规手段去处理和分析数据资料不能适应勘查精度的需要。我们可以利用计算机和数值分析的强大功能去模拟盆地地热资源。对盆地地热资源的模拟可

① 吴春发,李星.盆地模拟技术在地热资源勘探开发中应用.待刊。

以帮助地质工作者进行地热资源勘探和开发管理,因此对盆地地热资源进行模拟十分必要。我国水文地质工作者对盆地地热模拟起步较晚,模拟的技术还不成熟,所以在模拟中应借鉴其他类型模拟的成熟技术来提高模拟效果。石油部门常用的盆地地热场模拟技术因起步早、投入大,技术较为成熟,而两者又有许多相似和相容性,所以在模拟盆地地热资源时可以借鉴盆地地热场模拟技术的某些方面技术和经验。

参考文献:

- [1] 天津大学,编. 地热综合利用工程与技术[M]. 天津:天津大学出版社,1995.
- [2] 耿莉萍. 中国地热资源的地理分布与勘探[J]. 地质与勘探,1998, 34(1): 50—54.
- [3] 李安宁,吕金波. 开发利用地热资源[J]. 中国地质,2001,28(10): 41—45.
- [4] 王贵玲,张发旺,刘志明. 国内外热能开发利用现状及前景分析[J]. 地球学报,2000,21(2): 134—135.
- [5] Lund J W. Geothermal use in Europe[J]. GHC Quarterly Bulletin, 2001, 22(2).
- [6] 陈墨香,汪集,邓孝. 中国地热学研究之进展[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1995,20(4): 367—370.
- [7] 邓林,王英民. 盆地古地温场演化动态数值模拟方法及其应用[J]. 成都理工学院学报,1998,25(增刊): 38—46.
- [8] Pizzi G, del Giudice C, Sartori L, et al. Mathematical model of Tianjin hydrothermal field[M]. Italy: Aquater, 1984. 146.
- [9] 周训,陈明佑,梁池生. 地下热水运移数字模型简介[J]. 地质科技情报,2002,21(1): 47—49.

THE TECHNOLOGY OF BASIN GEOTHERMAL FIELD MODELLING USED IN GEOTHERMAL RESOURCES EXPLOITATION

WU Chun-fa

(Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Geothermal resources is a new type of non-pollution energy, with a high value of exploitation. For their special geological conditions, basins always contain abundant geothermal resources, which are easy to exploit and use. However, there is only little and poor means and technology in geothermal exploitation. The technology of geothermal field modelling for oil and gas is almost mature and widely used in reservoir modelling. It can be used to improve the precision of exploitation. In this paper, the author discusses an experimental mathematic model based on temperature control equation and groundwater current equation to simulate the geothermal resources of basin.

Key words: geothermal field modelling; geothermal resources; geothermal resources exploitation; geothermal resources modelling

作者简介:吴春发(1978—),男,安徽池州人,1999年毕业于中国地质大学(武汉),在读硕士生,主要从事盆地模拟研究和三维软件开发,通讯地址:湖北武汉 中国地质大学武汉研究生院 1200206 班,邮政编码 430074, E-mail://wchf1680@sina.com