

我国深层地热资源的认识与勘探方法建议

孙 冰

(河北省煤田地质局二队, 河北 邢台 054000)

摘 要: 我国丰富的深层地热资源储量为加快深层勘探提供了基础, 尽管目前深层地热勘探与开发还存在着很多难度, 但深层地热分布规律认识和回灌技术的日见成熟使加快深层地热勘探步伐成为可能。根据上述认识, 提出了加强地热地质基础理论与勘探开发技术研究的目的与方法, 以及进行地热资源勘查的地质调查、地球物理勘探、地热钻井工程及井试等技术方法。

关键词: 地热资源; 深层地热; 理论研究; 勘探技术方法; 中国

中图分类号: P968; P314.1 文献标识码: A

地热是我国上世纪 70 年代以来逐渐兴起的一种新型能源, 近 30a 来, 我国的地热勘探开发与利用已取得长足进展, 在某些领域已达到世界发达国家的水平。但是, 以往地热勘探一般在 1 000m 以浅, 因浅部地热开采在一些地区造成了地下水位大幅度下降、地面沉降等结果, 且温度、水量、水化学特征等因素又难以满足高附加值的相关领域, 诸如发电、工业加工、农副业加工等。因此使得加快深层地热资源的勘探开发和研究成为当今我国地热工作的重中之重。

1 我国深层地热资源的基本认识

1. 1 地热资源储量丰富为加快勘探步伐提供了有利条件

“十五”期间, 利用遥感技术、地热地质、地球物理、地球化学、同位素地质、钻探工程以及诸多试验分析, 初步查明我国地热资源可采储量相当于 4 626.5 亿 t 标准煤, 其中新生代盆地可采地热面积 60.2 万 km², 相当于 1 871.6 亿 t 标准煤(表 1)。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 674.4 万 kW^[1]。

随着石油、天然气资源深层开采技术队和相关理论的日臻完善, 对地热资源深层的认识亦不断深化, 具体表现在: 地热储藏类型更加复杂, 已发现构造、地层超覆、火山岩体等多种成因的地热田; 热储层类型多样化, 除了较为常见的新生界第三系砂砾岩和火山岩可作为有效热储层(表 2), 而且奥陶系灰岩和基岩风化壳亦可作为有效热储层。

作者简介: 孙冰(1974—), 男, 山西省长治市人, 工程师, 1998 年毕业于河南理工大学水文地质和工程地质专业, 一直从事地质专业。

责任编辑: 葛晓云

表 1 中国主要盆地地热资源量估算表
Table 1 Geothermal resources estimation of main basins in China

盆地	面积 /km ²	单位储热量	总储热量	可开采热相当标准	
		1012kJ·km ⁻²	/10 ⁴ kJ	量 /10 ⁴ kJ	煤量 /10 ⁴ t
华北平原(北部)	90 000	896854	8071686	80717	27.54
华北平原(南部)	68 000	(54.6)	3712800	37128	12.67
松辽盆地	90 000	18.8406	1695654	16957	5.78
苏北	32 000	(54.6)	1747200	17472	5.96
鄂尔多斯	160 000	27.1556	4344896	43349	14.83
汾渭盆地	20 000	(54.6)	1092000	10920	3.73
江汉	45 000	54.6	2457000	24570	8.38
雷琼	5 100	(54.6)	278460	27846	0.95
四川	136 000	45.93	6246480	62465	21.31
楚雄	35 000	(27.16)	950600	95060	3.24
河西走廊	9 000	40.73	366570	3666	1.25
柴达木	30 000	49.4	1482000	14820	5.05
准葛而	40 000	40.73	1629200	16292	5.56
塔里木	120 000	40.73	4887600	48876	16.68
吐哈	30 000	(40.73)	1221900	12219	0.17
合计	910 000	平均 44.15	40184046	40184	137.11

注: 本表依据中国能源学会地热专业委员会《中国地热资源分布图》及陈墨香等著《中国地热资源》第 37 页综合编制而成, 有()者, 取自相邻盆地的数据。

表 2 中国主要大、中型地热田基本情况表
Table 2 Basic data sheet of main large and medium sized geothermal fields in China

位置	工作程度	储层岩性	最高水温 /	热能 /MW	水矿化度 /mg·L
河北怀来后郝窑	普查	第四系火山岩	88.6	12.0	0.99
北京昌平小汤山	详查	县硅质灰岩	64.0	14.4	
吉林安图白头山	普查	玄武岩、粗面岩	78.0	10.96	
西藏噶朗朗久	调查	沙砾岩	79.0	28.7	4.65
西藏那曲	勘探	板岩、砂岩	116.0	109.4	3.02
西藏羊八井	勘探	第四系花岗岩	172.0	780.0	6.73
西藏羊易	勘探	火山碎屑岩	207.0	235.8	1.59
陕西西安市	普查	第三系砂岩	101.0	34.2	1.78
陕西长安沣裕	普查	第四系沙砾石	70.0	17.8	0.52
四川大邑花水乡	普查	灰岩	68.0	18.4	
北京东南城区	勘探	蓟县系硅质灰岩	69.0	40.4	0.68
河北雄县牛驼镇	详查	灰岩、第三系砂岩	81.5	277.7	0.5~4.0
天津王兰庄	勘探	灰岩、第三系砂岩	96.0	76.2	0.8~4.5
天津滨海	普查	第三系砂岩、砾岩	78.0	85.5	1.4~3.9
山西新绛阳王乡	普查	寒武纪灰岩等	81.0	19.2	1.4
湖北应城汤池	普查	硅质白云岩	65.0	18.4	1.3

深层地热分布富集规律认识的深化为优选目标提供了理论依据,为加快深层地热勘探提供了有利条件。

1.2 深层地热勘探与开发的难度和有利因素

1.2.1 地质条件复杂

我国地质情况复杂,断裂构造极为发育,而我国地热田有大都与断裂有关,即使是浅部的第三系地热开采也受到各种断裂构造的困扰。由于许多地热田所处的断陷区相对埋深较大,地震资料的可靠程度低,许多断裂主要依据重力、磁力资料确定。由于总体勘探程度较低,资料的可靠程度差,断陷的分布及其范围、断陷中的岩性组合尚存在诸多不确定性,因而深层勘探难度较大。

1.2.2 资金、技术力量及装备缺乏

由于我国现阶段的地热利用层次普遍较低,且基本上属于就地消费,加之国家经济实力所限,地热勘探在很大程度上受到地域经济的制约。在少数发达地区,如京、津、西安等地,地热已逐渐发展成为一种产业,并呈现良性循环,而在绝大多数地区,由于经济相对落后,相关的资金、技术力量和钻探装备缺乏,在地热开发上缓慢发展甚至停滞,许多地热蕴藏丰富的地区由于诸多原因至今未能开发利用,由此也影响了我国地热研究的进展。

1.2.3 回灌技术的日见成熟使加快深层地热勘探步伐成为可能

国外许多大型地热田,尤其是用于发电的深层地热田都已成功采用了回灌技术。如巴黎盆地含盐度达 30g/L 的热水开采,通过回灌解决了盐分污染的问题。美国的盖塞尔斯、菲律宾的马克班和日本的大岳、鬼首、八丁原等地热田的回灌都已具有相当的规模。回灌技术虽然在我国起步较晚,但经过广大地热科技人员的刻苦攻关,以取得突破性的进展。这对加快我国地热资源尤其是华北和东南沿海地区深层地热资源的勘探开发和利用有着十分重要的意义。

2 加快深层地热理论开发技术研究

2.1 地热地质基础理论研究

我国地质情况复杂多变,目前面对的地热勘探区域多有埋深大、构造复杂、物性差、勘探开发技术难度大等缺点,加之深层地热勘探的重点地区主要是三北地区,即东北、华北、西北,而三北地区主要为盆地型(传导型)地热田,尽管我国的地热勘查已取得了一些成果(图 1),但系统的地热地质基础理论研究还有待进一步的深入。

成盆理论研究。主要内容是加强研究储热盆地的构造特征、发展演化历史及其与储热性的关系,为评价优选储热盆地提供依据。我国盆地类型众多,对一些盆地的确切分类和每个盆地的属性还有待进一步研究,对各类盆地的储热特点、富热区的构造单元和构造样式还需深入分析,以盆地形成演化与构造发展特点为依据评价、优选盆地的预测理论亟待形成^[2]。这些地质基础理论研究的开展和完成无疑将大大促进我国深层地热资源的勘探开发工作。

热储理论和地热田分布规律的研究。我国地质情况复杂多样,海相、陆相、海陆交互相及过渡相盆地并存,构造发育,与之相对应,热储层也相对较为复杂。从新生界半胶结的砂砾岩到火山岩、基岩乃至风化壳,都可在某一特定地区作为其热储层单独或伴生存在,即使在同一盆地型地热田,其热储层也不尽相同,尤其是各类复杂的断拗裂谷盆地及前陆盆地内的地热田,都有着各自独特之处。其间的热储理论和地热田分布规律需要地热地质工作者在工作中不断的研究总结和建立,从而指导深层领域的地热勘探。

2.2 深层地热勘探开发技术研究

与国外发达国家相比,从地热资源的预测识别到产出,我国的深层地热勘探开发技术还有着很大差距,尤其是与深层地热勘探息息相关的物探技术(三维地震、纵横波联合检测技术、高精度数字测井)、地球物理(大地热流、航磁、重力等)及地球同位素探测等深层地热勘探开发技术手段的深入研究和完善对于加快我国深层地热资源的勘探开发是十分必要的。

2.3 优选目标,提高深层勘探效益

深层地热埋深大、地质构造情况复杂,对设备、人员及技术力量要求高,施工具有相当大的难度和风险。为了有效利用深层地热资源,应以地质综合研究为基础,优选有利勘探区块进行预探,为下部深层勘探提供可借鉴的经验。为提高深层勘探效益,规避风险,在区块优选和储热田评价过程中,对地质优选出的有利区块进行严格的经济评价和风险分析,再从经济效益角度进一步优选,进而确定勘探的有利区块和钻探对象。

2.4 政府合理指导和扶持,带动深层地热勘探经济

在条件允许的情况下,政府应在资金、技术及政策上给予一定的指导和扶持,在一些条件成熟的地区可进行示范性地勘探开发,并尽可能保证其运作成功,从而带动其它相关产业诸如发电、采暖、旅游、养殖、工业加工、温室农业及其配套的钢铁、仪表等

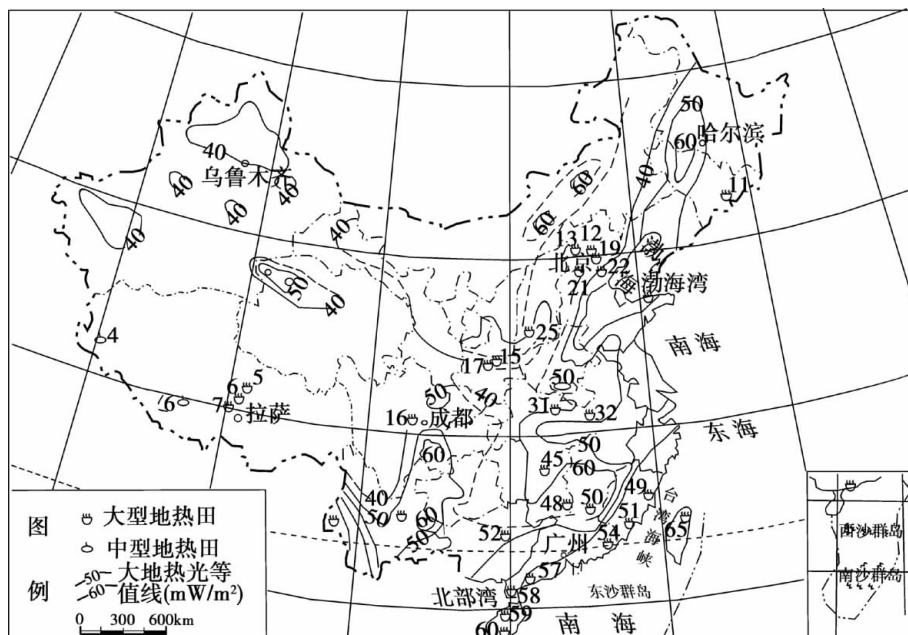


图 1 中国大、中型地热田分布图

Figure 1 Distribution map of large and medium sized geothermal fields in China

工业的发展,进而吸引其他投资,带动本地区及相邻地区的深层地热勘探进一步深入开展。

3 地热资源勘查技术方法建议

3.1 地质调查

应用航空测量及卫星遥感技术,初步了解地热区的地形地貌特征,地层岩性特征,地热区的基本地质构造轮廓及隐伏构造特别是线形构造;地表地热显示及地表水体的位置;地表岩石的水热蚀变的分布及范围。

在充分利用航卫片解释和区域地质调查资料的基础上进行地质实地调查,查明地表热显示类型、分布和规模,解释地热田形成地质条件;绘制一定比例尺的地热田地质图系,阐明地热田形成地质条件;地质测量应包括地热田的水文地质测量,主要进行地表地热显示流量质量测量,采样分析测试,直接测量热储岩石的岩石结构、孔隙、裂隙性,研究地热流体的补给、贮存、运移、排泄条件。

对地热显示区及毗邻地区进行岩石、水系沉积物、土壤、水热活动遗迹等进行地球化学调查,研究其背景和异常分布;圈定热储远景范围;圈定热田边界及控热导热断裂构造;估计深部热储温度;预计热储开发动态发展趋势。

3.2 地球物理勘探

地球物理勘查所要解决的主要问题是:圈定地热异常范围和热储体的空间分布、评价其规模;确定地热田的基底岩石性及基底起伏情况;确定隐伏断裂的空间展布,对切穿热储的断层要查明产状;圈定热田范围内的隐伏火成岩体及岩浆房空间位

置;圈定水热蚀变带。

3.3 地热钻井工程及井试

地热钻井工程和井试在人力、物力和财力投入上较大,一般均在勘查后期进行,为进入热田开发生产提供可靠的资料。主要解决的问题:最终验证地表地质、地球化学和地球物理等工作所作的解释、判断,并进一步提高其精度;定量确定热田边界、热储空间位置,热储温度、压力、物理、化学和渗透性分区分带特征;确定生产井生产特征、热储生产特征;提出可能的生产井布设方案;为建立地热田参数模型和进行热储工程研究提供重

要基础。

4 总结

地热资源的勘探研究要充分发挥航卫片解释、地表地质调查、地球化学、地球物理调查和水文地质调查综合效果。研究地热田的控制因素和范围,以争取用最小的地热地质工程为地热钻井工程获得最佳的勘探效益

钻探工程应布设在能控制地热流体的部位,以较小的钻井工程量达到基本控制热储空间分布的效果,取得代表性的各种计算参数、达到查明地热地质条件的目的。

深部地热钻探工程的探索深度应以其地热资源的埋藏深度、层位为依据。一般在 1000m 以上,如果深部潜能较大,亦可达 2000m 左右。

高温裂隙型热储,一般为陡倾的带状热储,倾角 80°左右或以上,应采用定向钻井工程技术最为有效。

我国地热资源勘探正处于发展初期,要使我们地热勘探开发工作健康、快速、良性的发展,必须认真研究地热产业经济的相关特点,在此基础上,做好协调发展的中长期规划,健全有效地管理系统,制定完善的地热法规,推进我国地热工业健康、稳固、向深层次利用方向发展。

参考文献:

- [1] 天津大学.地热综合利用工程与技术[M].天津:天津大学出版社,1995.
- [2] 钱凯,等.中国天然气工业发展战略概论[J].天然气工业,1997,17(增刊):1-6.

(英文下转第 41 页)

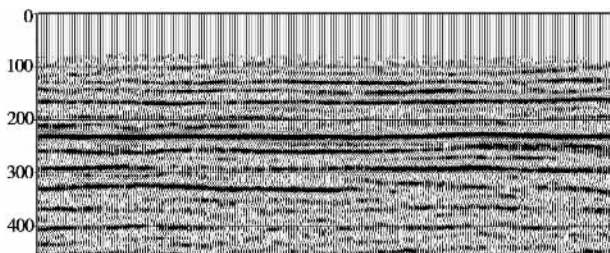


图6 偏移剖面

Figure 6 Migrated profiles

度标定得到。图5为叠加剖面,图6为偏移剖面。

3.6 修饰性处理

为兼顾分辨率和信噪比,我们对偏移纯波数据进行提高分辨率处理,经滤波测试后选用(20, 25, 140, 160)进行滤波处理。图7为偏移后提高频率的剖面对比。

4 处理成果

本区处理运用静校正技术,较好地解决了地表高差问题。去噪技术处理后,浅、中、深层有效信号明显增强,剖面的信噪比明显提高。处理后的剖面偏移归位合理,构造形态清晰可靠;层位接触关系清楚,

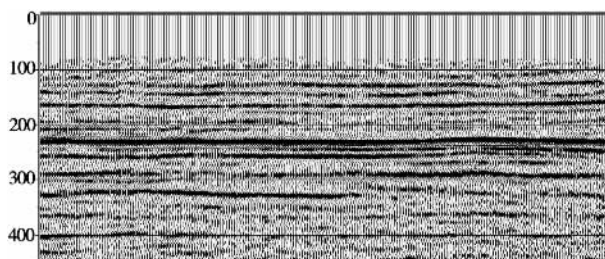


图7 偏移后提高频率的剖面

Figure 7 Frequency pilling profile after migration

波组特征明显。

利用本次处理的三维数据体,解释后提交的地质报告成果,经矿方井下巷道验证,与地下地质情况基本吻合,达到了预期目的。

参考文献:

- [1] 赵峰, 郑鸿明. 叠加法静校正[J]. 新疆石油地质, 2001.
- [2] Mike Cox, 李培明, 等. 反射地震勘探静校正技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [3] 何樵登, 等. 地震勘探原理和方法[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [4] 张建军, 等. 晋城赵庄矿大巷区三维地震勘探报告[R]. 邢台: 河北煤田物测队, 2003.

Processing of Data from Surface Complicated Region

Bao Wutang, Qiu Zhaotai, Zhang Aiyin and Zhang Dengliang

(Geophysical Prospecting and Surveying Team, Hebei Bureau of Coal Geological Exploration, Xingtai, Hebei 054000)

Abstract: The main roadway district of Zhaozhuang coalmine, Shanxi Jincheng Coal Group is located in medium to low mountainous area of west piedmont of the Taihang Mts. The area is largely covered by loess, bedrock outcropped locally, and surface is mainly farmland, woods and constructions, made the shallow seismic geological condition complicated. Processing techniques of statics, interference wave removal, deconvolution testing, fine velocity analysis, migration imaging and modification processing were used on the original data, and thus surface elevation difference problem is solved, effective signal enhanced, profile s/n ratio obviously improved. Structural form on the processed profile is clear and reliable, strata contact is clear, characteristics of wave group are obvious, problems of coalmine panel geological structure preferably solved.

Keywords: statics; interference wave removal; deconvolution testing; fine velocity analysis; migration imaging; modification processing

(上接第22页)

An Opinion on Cognition and Exploration Method of Deep Geothermal Resources in China

Sun Bing

(No. 2 Exploration Team, Hebei Bureau of Coal Geological Exploration, Xingtai, Hebei 054000)

Abstract: Abundant deep geothermal resources in China are the basis to speeding up deep geothermal exploration. Although there are many difficulties in deep geothermal exploration and exploitation at present, but the knowledge on deep geothermal distribution pattern and the reinjection technique grown up with each passing day make the speeding up possible. Thus the author suggested strengthening researches on basic geothermal geological theory and exploration, exploitation, as well as geological investigation, geophysical prospecting, drilling engineering and well testing techniques.

Keywords: geothermal resource; deep geotherm; theoretical studies; exploration technical methodology; China