

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.02.08

引用格式: 杨武,张应文,王亮. 贵州遵义北郊某地热测井解释方法[J]. 中国地质调查,2022,9(2): 83-90. (Yang W,Zhang Y W,Wang L. Summary of the interpretation method of geothermal logging in the northern suburb of Zunyi in Guizhou Province[J]. Geological Survey of China,2022,9(2): 83-90.)

贵州遵义北郊某地热测井解释方法

杨武¹, 张应文², 王亮³

(1. 贵州省地矿局地球物理地球化学勘查院, 贵州 贵阳 550018; 2. 贵州省地质矿产勘查
开发局 102 地质大队, 贵州 遵义 563003; 3. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 近年来地热资源市场需求与日俱增, 贵州遵义—金沙地热富集区的资源勘探和开发迎来了大好发展机遇。以往贵州的地热成井率总体不高, 改变这种状况是地热地质工作的一项重要任务, 其中地热井地球物理测井是一项重要措施。测井资料的解译存在不确定性, 需要把测井理论和实践经验结合起来, 以提高解译结果的准确度。通过遵义北郊某地热测井的勘探实例, 综合分析了自然伽马、电阻率、自然电位、声波等物理参数在不同岩石上的测井响应特征, 采用典型标志层测井特征法、地层序列测井特征法、断层的测井解译特征法、含水层的测井解译特征法和井温突变的测井解译特征法等 5 种方法, 通过 4 个步骤, 对井中的实测曲线进行了综合地质解释, 确定了典型标志层, 划分了地层层序, 解译了断裂构造和含水层等, 为研究区地热的钻孔定位、地热井的设计和成井工艺的选择提供了地质依据。

关键词: 地热资源; 解释参数; 断层破碎带; 标志地层; 含水层; 贵州遵义

中图分类号: P631.8; P314.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2022)02-0083-08

0 引言

地热资源在城乡供暖、洗浴桑拿、医疗康养、生态旅游、农业观光等领域应用广泛, 特别是温泉旅游对我国经济发展具有重要作用。造成地热探井成功率不高的因素较多, 有钻探工艺、样品采集、测井方法、资料解释不足等。我国地热测井技术应用已经比较普及, 但贵州尚处于起步阶段, 工作基础薄弱, 研究程度不深, 应用实践较少。如: 在钻探上采用无心钻进技术, 在采样分析上取砂样进行钻孔地质编录(砂样取样为每 5 m 取一个样品)及岩性判定、地层层序, 这种方法对岩石分层精度不高, 又无法划分含水层; 在测井方法应用上地球物理参数观测不多, 对测井异常曲线分布特征的认识局限, 测井勘查成果应用程度低(通常仅满足于取得的测温数据分析研究); 野外作业在出水量不大和水温不够时, 忽视

了对测井观测异常的深入研究; 在测井解释上, 对复杂异常曲线特征无法辨识及定性, 忽视了重要的微弱信息; 对多种不同性质测井的异常曲线解释意义体会不深; 物性资料零散、研究不足, 造成资料解释研究程度不高, 对地层及含水层的判定不准; 存在遗漏含水层和脱离实测测井曲线, 直接进行地质解释等现象^[1-7]。总体来说, 对观测的大量测井异常曲线特征解释质量不高, 综上所述, 野外地热勘查质量和测井资料解释水平的提高, 是地热成井率的重要技术方法和重要技术路线。

本文针对遵义北郊某地热测井的测井曲线特征, 对实测测井异常进行了解释。具体方法为结合地质、地面物探资料, 提解分析、分辨、厘定测井异常曲线特征, 通过研究区内与地热相关的储层和盖层分布的普遍规律, 利用测井曲线对井中地层岩性进行最大化分层解释, 从而提高井中目标地质体的地层分层精度, 在相应地层分层对象确定后, 再对

收稿日期: 2020-07-06; 修订日期: 2021-03-15。

基金项目: 贵州省地质矿产勘查开发局“地热田地质模型研究(编号: 黔地矿地热(2018)第6号)”项目资助。

第一作者简介: 杨武(1978—), 男, 工程师, 主要从事地球物理勘探工作。Email: 353501887@qq.com。

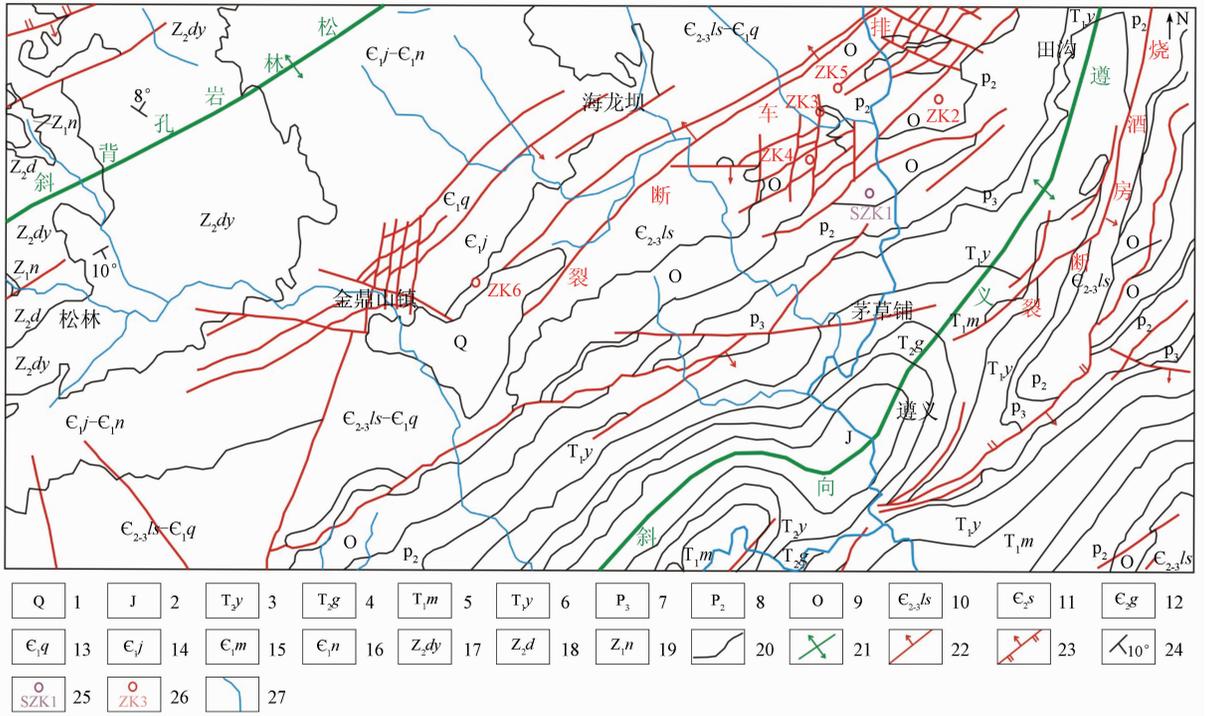
通信作者简介: 张应文(1963—), 男, 高级工程师, 主要从事地球物理勘探工作。Email: 824897207@qq.com。

可能的含水层(或目标热储地层)进行细化定性解释,高精度划分含水层^[8-9]。本文希望通过这一地热测井勘探实例,总结地热测井解释的一般方法,建立一套适宜研究区的有效的地热测井多种参数测量方法及多种勘探方法组合,更好地应用于今后全省地热勘探井中,顺利开展井中地温测量、安检热水水质、地热综合勘探等工作,推动地热测井有效方法的深入应用。

1 研究区概况

1.1 测井概况

研究区位于 NE—SW 向的遵义—金沙地热资源富集区北东部,出露二叠系、寒武系等地层,断层密布(图 1),位于 NE 向的遵义向斜和松林岩背斜之间^[10]。区内地形多为山间小平地,有多条河



1. 第四系; 2. 侏罗系; 3. 三叠系中统杨柳井组; 4. 三叠系中统关岭组; 5. 三叠系下统茅草铺组; 6. 三叠系下统夜郎组; 7. 二叠系下统; 8. 二叠系中统; 9. 奥陶系; 10. 寒武系中一上统娄山关组; 11. 寒武系中统石冷水组; 12. 寒武系中统高台组; 13. 寒武系下统清虚洞组; 14. 寒武系下统金顶山组; 15. 寒武系下统明心寺组; 16. 寒武系下统牛蹄塘组; 17. 震旦系上统灯影组; 18. 震旦系上统陡山沱组; 19. 震旦系下统南沱组; 20. 地层线; 21. 背斜轴; 22. 断层; 23. 逆断层; 24. 地层产状; 25. 本次勘查地热井及编号; 26. 已有地热井及编号; 27. 河流。

图 1 贵州遵义北郊一带区域地质及地热分布

Fig. 1 Regional geological and geothermal distribution of the northern suburb of Zunyi area in Guizhou Province

流通过。地理上位于黔北遵义的北部,是人口聚集区之一,交通路网发达。已勘探开发地热井 6 口,本次地热测井勘探钻孔编号为 SZK1(图 1)。前期除地质工作外,还布置了可控源音频大地电磁测深法勘探,成井后又布置了广域电磁法勘探试验,勘探线方位大致垂直于地层走向,其中有勘探线经过 SZK1 钻孔。勘探过程中测井按设计要求分 4 次测井,每次提供阶段测井成果,最后统一整合后提供全孔测井成果。

1.2 断裂构造

研究区位于遵义向斜的西北翼(图 1),属一

单斜构造,SZK1 钻孔附近 NS 方向的断层为与本次勘探密切的断层,走向为 NE—SW 向,倾向为北西向,倾角为 65°左右^[10],该断层为地热勘探拟揭穿的断层。

1.3 地层

研究区地层从上至下为第四系(Q),奥陶系十字铺组(O_{2s})、牯牛潭组(O_{2g})、湄潭组(O_{1m})、红花园组(O_{1h})、桐梓组(O_{1t}),寒武系娄山关组(C_{2-3ls})、石冷水组(C_{2s})、高台组(C_{2g})、清虚洞组(C_{1q})、金顶山组(C_{1j})、明心寺组(C_{1m})、牛蹄塘组(C_{1n}),震旦系灯影组(Z_{2dy})、陡山沱组

(Z_2d)、南沱组(Z_1n)、澄江组(Z_1c),新元古代板溪群(Pt)^[10]。涉及本文中心的重要地层(“典型

标志层”)为寒武系娄山关组和震旦系灯影组(表1)。

表1 贵州遵义北郊一带综合地质情况

Tab.1 Comprehensive summary of geological conditions in the northern suburb of Zunyi in Guizhou Province

地层	代号	岩性	厚度/m	备注
第四系	Q	黏土、粉质黏土,含碎石和角砾	0~4.0	
奥陶系桐梓组	O_1t	黏土岩,中厚层粉砂质、泥质白云岩和白云岩	97.4	该层底界为测井解释1号标志层的顶层界面,为一较厚层
寒武系娄山关组	ϵ_{2-3ls}	中至厚层状白云岩及含燧石结核白云岩,泥质白云岩	800.4	测井解释1号标志层,为一厚层
寒武系石冷水组	ϵ_2s	薄至中厚层状白云岩	248.0	该层顶界为测井解释1号标志层的底层界面,为一较厚层
寒武系牛蹄塘组	ϵ_1n	薄层状碳质页岩、含碳质泥岩及钙质泥岩	29.5	该层底界为测井解释2号标志层的顶层界面,为一薄层
震旦系灯影组	Z_2dy	厚层状隐晶白云岩	518.3	测井解释2号标志层,为一厚层
震旦系陡山沱组	Z_2d	中层状碳质泥岩、砂质泥岩、含泥质粉砂岩	145~148	该层顶界为测井解释2号标志层的底层界面,为一较厚层
新元古代板溪群	Pt	上部板岩和砂质板岩、变质凝灰岩、变质砂岩和板岩互层,下部变质砂砾岩	78~312	—

1.4 热储及盖层

研究区分布有2个热储。第一热储层为震旦系灯影组,厚518.30 m,埋藏深,为本区最好的热储单元,其盖层为寒武系下统牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组,厚520~600 m^[10]。第二热储层为寒武系(娄山关组、石冷水组、高台组、清虚洞组)、奥陶系(红花园组、桐梓组),厚1374.00 m,埋藏浅,盖层为奥陶系下统湄潭组和奥陶系中统十字铺组、牯牛潭组等,厚0~240 m,盖层较薄,埋藏较浅。

2 地热测井解释方法及原则

2.1 测井解释一般方法

根据以往总结的黔北煤田测井资料解释技术^[11-12]和多地长期测井工作经验及地热测井解释的特殊性,提出地热测井解释的5种方法、4个步骤。5种方法分别为:典型标志层测井特征法、地层序列测井特征法、断层的测井解释特征法、含水层的测井解释特征法和井温突变的测井解释特征法。4个步骤分别为:一是掌握区域地层及矿区地层序列关系、构造属性、相关断层的大致情况,充分应用钻探成果、录井成果、地面勘探解释成果,建立以解释钻孔为中心的垂向空间地质结构;二是总结区内各种物性参数在各地层、各岩石的测井响应变化特征,分析单种(支)测井曲线特征(形态、幅度高低、曲线变化情况等)伸缩状态,综合分析多种(支)测井曲线的组合变化特征,将具有明显测井曲

线特征相对应的地层或组合地层确定为典型标志层;三是以空间地质结构为基础,以测井曲线分布特征为依据,应用5种方法,依次综合分析解释地层序列、目的层(含水层、断层(破碎带))和其他因素(井温、水位、套管、扩径、缩径、其他有益矿产等);四是从地质、钻探、物探多角度分析测井解释的合理性、一致性,合理修正解释结果,确定最佳解释结果。

2.2 测井解释一般原则

根据以往总结的黔北煤田测井资料解释技术^[11-12]和多地长期测井工作经验,以及地热测井解释的特殊性,提出以空间地质结构为基础,以各时代地层及岩石的测井曲线特征为依据的综合解释。遵循从已知点、标志层为起点向外推断,反复研究、逐步推进原则,抓住测井曲线特征明显的变化参数及多个参数的组合特征,全面应用测井取得的所有参数综合研究,体现先解释确定标志层,再解释地层,后解释含水层、断层(破碎带)和其他因素的影响。

3 测井解释实例

3.1 典型标志层测井特征法

本文明确的典型标志层有2层。关于视电阻率数据主要来源于前期物探成果及以往物探成果的总结^[10-15]。标志层测井解释选择反映特征突出的深侧向视电阻率曲线、自然伽马曲线,将

SZK1 钻孔的 2 种测井曲线纵向深度比例尺压缩至 1:5 000,物性参数比例尺调整至曲线界面清楚,使 SZK1 钻孔测井特征清晰可见(图 2)。通过对空

间地质结构、各种物性参数、在各地层及各岩石的测井响应和全孔测井特征的综合研究,第一标志层 335.67~1 114.03 m 井段深侧向视电阻率值最高、自然伽马值很低,两参数曲线的高、低值区对应组合特征特别明显,厚度 778.36 m,为全孔最厚地层,故解释为 1 号标志层(WB1),主要岩性为白云岩,对应地层为寒武系娄山关组($\epsilon_{2-3}ls$)。第二标志层 2 237.16~2 690.00 m(未完)井段上部的深侧向视电阻率值极低、自然伽马值极高,两参数曲线的低、高值区对应组合特征特别明显,厚度 19.01 m,地层较薄;下部的深侧向视电阻率值次高、自然伽马值很低,两参数曲线的高、低值区对应组合特征特别明显,厚度大于 433.83 m,为全孔第二厚的地层,上、下地层总厚度大于 452.84 m,地层有厚薄组合关系,上、下部物性有突变特征,故解释为 2 号标志层(WB2),上部主要岩性为碳质页岩、含碳质泥岩及钙质泥岩,对应地层为寒武系牛蹄塘组(ϵ_1n),下部主要岩性为白云岩,对应地层为震旦系灯影组(Z_2dy)。

3.2 地层序列测井特征法

标志层确定后,进一步解译了地层序列。在图 2 中可看出,明确了 SZK1 钻孔内划分的寒武系娄山关组($\epsilon_{2-3}ls$)为 1 号标志层(WB1),寒武系牛蹄塘组(ϵ_1n)与震旦系灯影组(Z_2dy)的组合地段为 2 号标志层(WB2)。在此基础上进一步划分了奥陶系(十字铺组、牯牛潭组、涓潭组、红花园组、桐梓组)、寒武系(娄山关组、石冷水组、高台组、清虚洞组、金顶山组、明心寺组、牛蹄塘组)和震旦系灯影组。

除图 2 已确定的 2 个典型标志层外,其余地层序列分布反映的地球物理场特征为:首先,寒武系牛蹄塘组(ϵ_1n)之上的深侧向视电阻率值较低、自然伽马值较高,推断为粉砂岩、粉砂质泥岩、钙质泥岩等,对应地层为寒武系明心寺组(ϵ_1m);其次,寒武系明心寺组(ϵ_1m)之上的深侧向视电阻率值略有升高、自然伽马值很高,推断为粉砂岩、泥质粉砂岩、砂岩等,对应地层为寒武系金顶山组(ϵ_1j);第三,寒武系金顶山组(ϵ_1j)之上至寒武系娄山关组($\epsilon_{2-3}ls$)之间的深侧向视电阻率值为次高、自然伽马值低且有局部跳跃,推断为白云岩、泥质白云岩夹粉砂质黏土岩、粉砂岩、白云质灰岩等,对应地层为寒武系清虚洞组(ϵ_1q)、高台组(ϵ_2g)、石冷水组(ϵ_2s),图 2 的测井曲线上对各组的界线反映不

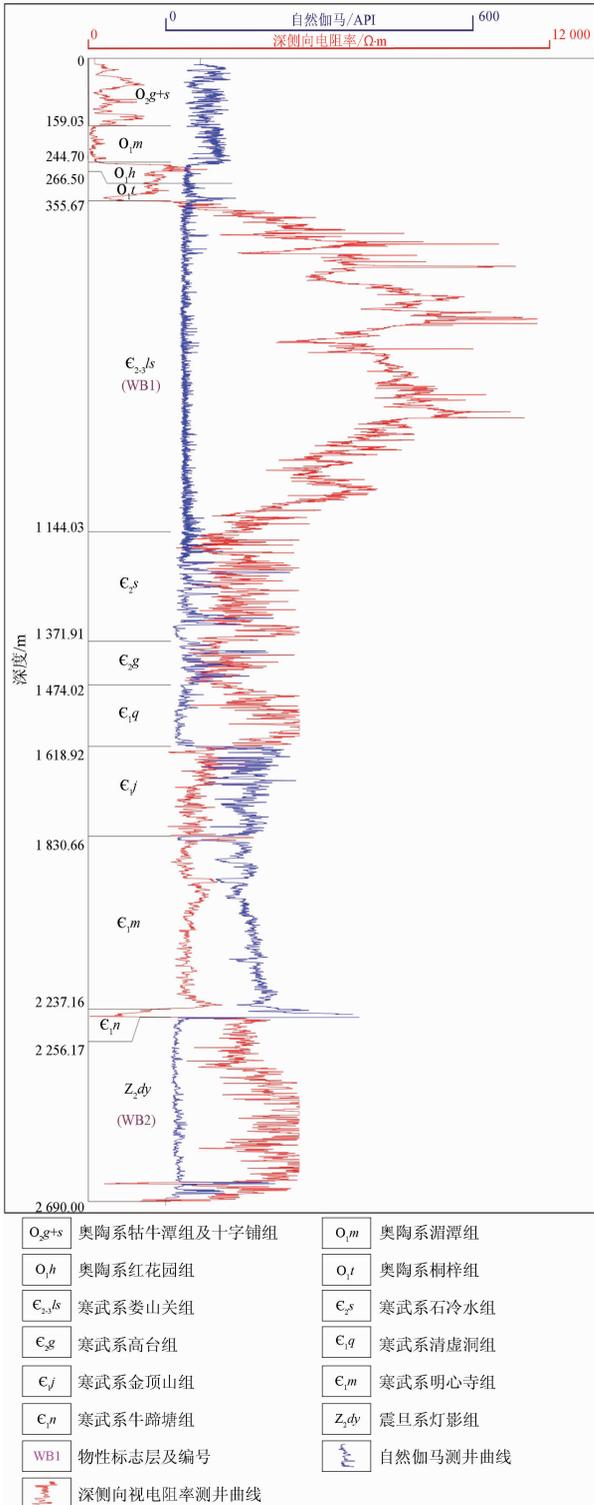


图 2 SZK1 钻孔深侧向视电阻率和自然伽马测井异常曲线特征示意图

Fig. 2 Schematic diagram of apparent resistivity and natural gamma logging of Borehole SZK1

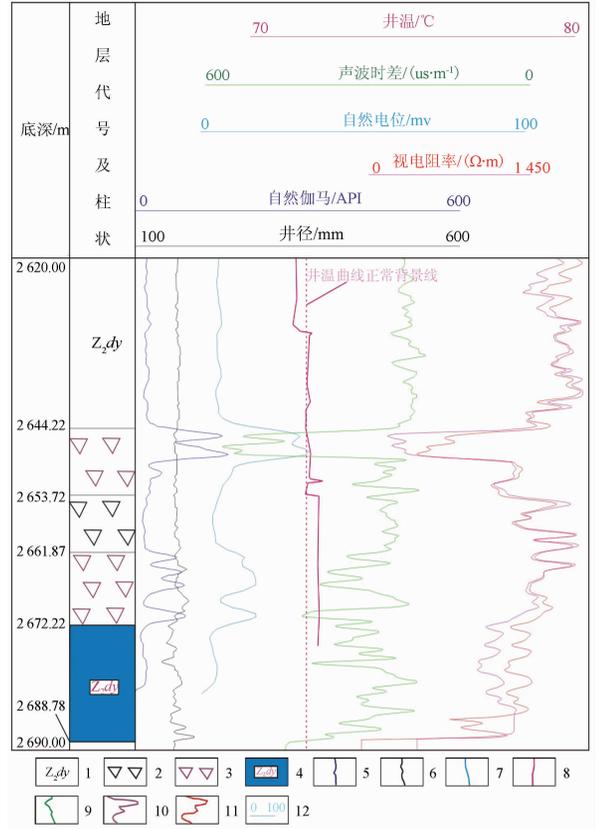
明显;第四,寒武系娄山关组($\text{C}_{2-3}ls$)之上的深侧向视电阻率值急剧下降,推断为黏土岩、粉砂质和泥质白云岩、生物碎屑灰岩,对应地层为奥陶系桐梓组(O_1t)及奥陶系红花园组(O_1h);第五,奥陶系红花园组(O_1h)之上的深侧向视电阻率值很低,推断为页岩夹粉砂岩等,对应地层为奥陶系湄潭组(O_1m);最后,奥陶系湄潭组(O_1m)之上的深侧向视电阻率值升高,推断为灰岩及泥质灰岩等,对应地层为奥陶系十字铺组和牯牛潭组(O_2g+s),该地层在附近有露头及其他工程揭露点。

图 2 中地层的测井解释底板与录井底板存在较大偏差,据统计录井与测井底板深度最小相差 0.83 m,最大相差 109.03 m,平均相差 23.98 m,测井底板偏浅,相对于砂样采集间隔(5 m)及砂粒从钻头铲碎再运动到取样位置存在滞后等因素,测井底板浅具有合理性。另外,根据砂粒岩样判定的底板与根据测井解释的底板相比较,可能测井解释的底板更趋于合理。

3.3 断层的测井解释特征法

此处目的层主要指断层破碎带。图 3 所示的 SZK1 钻孔 2 620 ~ 2 690 m 井段,位于震旦系灯影组(Z_2dy),裂隙发育为主要的出水层段,对应图 2 的 WB2 标志层。从图 3 可以看出,该断层破碎带表现为自然伽马曲线上、下段均由多个单峰正异常组成,上部异常幅值较大,下部异常幅值相对较小,中间异常幅值较低,反映泥质含量升高;井径曲线的上部微弱缩径,下部稍有扩径,异常相对明显,反映该段地层破碎,主要是岩石受地质构造应力作用破坏程度变化相对周边岩层影响较大,表现为上段挤压下段拉张的复杂力学组合,应呈较好的富水性特征;自然伽马曲线上、下部出现正异常,反映地层有变化;测温曲线出现台阶,局部有起伏变化,也反映地层有变化;声波时差曲线在致密岩石中上、下部出现明显正异常,反映孔隙变大;浅侧向和深侧向的视电阻率曲线在高阻地层中上、下部出现明显低阻异常及相对低阻异常,反映地层泥质含量增加或地层破碎,中部曲线正常。根据上述综合特征,异常段解释为断层破碎带,2 个异常段中间侧向视电阻率曲线有相对较弱的低阻异常,显示破碎特征,故将上、下部及中间段合并解释为 1 个断层破碎带,井深为 2 644.22 ~ 2 672.22 m,厚度为 28.00 m,其自然伽马、视电阻率、声波时差是关键的解释参数。

在实际工作中,应用砂粒岩样判定断层破碎带可能存在困难。本文应用了实测多种地球物理参数测井曲线资料反映的组合特征研究,对于发现断层破碎带要容易得多,测井解释的可靠性会更好。



1. 震旦系上统灯影组; 2. 断层破碎带; 3. 断层破碎带含水层; 4. 孔隙含水层; 5. 自然伽马曲线; 6. 井径测量曲线; 7. 自然电位曲线; 8. 井温测量曲线; 9. 声波时差曲线; 10. 浅侧向电阻率曲线; 11. 深侧向电阻率曲线; 12. 参数曲线刻度标识。

图 3 SZK1 钻孔(2 620 ~ 2 690 m 井段)断层破碎带测井异常曲线特征示意图

Fig. 3 Schematic diagram of logging abnormal curve characteristics of fault zone in Borehole SZK1 (2 620 ~ 2 690 m well section)

3.4 含水层的测井解释特征法

此处目的层主要指含水层。在断层破碎带内(SZK1 钻孔的 2 630 ~ 2 690 m 井段),图 3 的上部(2 644.22 ~ 2 653.72 m)及下部(2 664.52 ~ 2 672.22 m)多个参数异常明显,其中的自然伽马曲线呈正异常(岩溶、裂隙含水层呈低负异常或曲线呈平直反应),说明充填的泥质含量较重;井径有缩径、扩径特征,反映该段地层存在破碎现象;自然电位曲线呈正异常,具含水层特征;地温测量曲线局部有台阶异常的起伏变化,总体呈增高趋势,说明与深部

通过的断裂有关,因地温梯度变化为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,是全孔平均梯度的 6.37 倍,为较明显变化的地温梯度异常(局部放大图形),体现出含水层特征^[4,13],符合含水层的一般分布规律,地温突然的变化也是判定含水层分布的重要标志之一,对于研究和确定含水层具有重要意义;声波时差曲线正异常明显,表示该处岩土体分布具孔隙度大和水渗透性强的特点。视电阻率曲线呈低阻异常及相对低阻异常,体现出含水层的特征。断层破碎带的上部及下部,可以解释为破碎带含水层,其自然电位、视电阻率、声波时差是关键的解释参数。侧向视电阻率曲线呈低阻异常及相对低阻异常,体现出含水层的特征。

图 3 中的自然伽马曲线呈正异常,侧向视电阻率异常解释有多解性,但井径、自然电位、声波时差、地温等异常显示的信息,以及深、浅侧向视电阻率有局部的微小负差异出现,将其定为强含水层依据是充分的。图 3 的中间段自然伽马极低,侧向视电阻率相对负异常较高,且深、浅侧向视电阻率也存在负差异,表现为含水层的特征,故解释为弱含水层,而整个断层破碎带解释为含水层。

在断层破碎带 2 672.22 m 之下,声波时差曲线显示孔隙度较大,侧向视电阻率为相对低阻,井径有跳动,上部自然伽马显示为低值,解释推断为孔隙含水层,底板深度 2 688.78 m,厚度 16.56 m。

震旦系灯影组(Z_2dy)为热储层中预期的隐伏断层,是本次勘探的主要目的层之一。总结区内断层破碎带、岩溶、裂隙含水层的基本分布特征,全孔解释划分了多处含水层,本层位划分出含水层 8 层,大部分含水层厚度较薄,断层破碎带中的含水层为主要出水层。

本文探井出水为自溢,井口温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,测温最深点 2 693 m,井温 $72.20\text{ }^{\circ}\text{C}$,全孔平均地温梯度 $1.57\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,表明地温梯度值不大,属正常地温梯度,全孔井温曲线总体呈缓斜型,曲线总体圆滑,符合该区地温变化的一般规律。成井时的抽水最大降深 49.32 m,涌水量 $411.8\text{ m}^3/\text{d}$,水温 $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[10-15]。

3.5 井温突变的测井解译特征法

此处目的层主要指地温突变区。研究区已实施的 SZK1 地热井,钻探深度 2 693 m,平均地温梯度 $1.57\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,地温梯度低,是热对流影响的结果,属正常地温梯度范畴。全孔井温曲线总体圆滑呈缓斜型。在孔深 2 644.22 ~ 2 653.72 m

和 2 664.52 ~ 2 672.22 m 处裂隙发育,为主要的出水层段。孔底温度 $72.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,稳定出水温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,日出水量可达 400 km^3 以上,为迄今为止区内勘查程度较高的一口地热井。

地温变化也是判定含水层分布的重要标志之一。一般含水层,在出现温度的突变时,无论是升高还是降低的变化,均可能和地下深部通过的断裂有关,温度升高,表示有断裂导入深部热水;温度降低,表示有断裂导来浅部冷水,对于研究和确定含水层具有重要意义。在断层破碎带内,发现地温曲线,在正常背景场中,井深 2 644.22 m 后局部有台阶异常显示,局部地段地温梯度可达最大 $10.00\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,是全孔平均梯度的 6.37 倍,为较明显变化的地温梯度异常(图 3),体现出受深部热水贯入的含水层影响特征^[4,13],符合含水层存在的一般分布变化^[16-17]。

由此看来,对如何运用各种解释参数解译含水层至关重要,应注意对应含水层的性质变化,通常具有下列变化特点:①若视电阻率低,可能泥质含量高,一般不会是好的含水层,即使是断裂,也可能是挤压性的,富水性一般不好;②可进一步明确,地温梯度低,是热对流影响的结果,一般为含水层;温度的突变,无论是升高还是降低,均可能和断裂有关(温度升高,表示断裂导入深部热水;温度降低,表示断裂导来浅部冷水);若电阻率高,放射性低,一般表示富水性较好。

4 结论与建议

对研究区 SZK1 钻孔地热测井资料的综合地质解释,主要针对全孔异常、目标异常 2 个方面进行,应用了 5 种方法、4 个步骤与自然伽马、自然电位、声波时差、浅侧向电阻率、深侧向电阻率、井温等多个物性参数相结合进行。不同方面的处理结果,具有不同的解决方法及不同的地质意义。

4.1 结论

(1)对全孔的整体异常进行了岩层及解释标志层划分。划分了全孔的岩性段分布,确定了寒武系娄山关组($\epsilon_{2-3}ls$)和震旦系灯影组(Z_2dy)2 个地质标志层。

(2)对全孔的目标异常进行了准确提取。在断层破碎带 2 620 ~ 2 690 m 上,厘定出 2 处(2 644.22 ~ 2 653.72 m、2 664.52 ~ 2 672.22 m)裂隙发育含水

层段(出水层段)。在断层破碎带 2 672.22 m 之下,推测存在一处厚度 16.56 m 的孔隙含水层,底板深度 2 688.78 m。

(3)利用井温曲线突变的特征地区,较好判定了含水层的存在。

本文解释的标志层、地层、断层、含水层等定性可靠,分层精度高(达厘米级)。对地热的钻孔定位、下套管、下筛管、隔离、射孔、爆破,特别对出水量不够或无水勘查井的出水量、地热勘查成井率的提高等具有重要的参考意义。测井解释底板较钻探录井底板偏浅,但不影响解释结果的合理性。

4.2 建议

(1)对于地热井资料现行的解释方法,还需要有进一步的改进。在参数应用上,野外施工应当考虑增加三侧向电阻率测量,以加大探测深度,增加极化率、泥浆电阻率的测量,了解矿化度等变化情况。在电极距的选择上,最好充分考虑三侧向、深侧向、浅侧向的“组合拳”关系。在综合解释上,全方位总结组合参数特征,强化自然电位、地温(其中包括分次测井地温)的参与应用,充分应用声波时差(孔隙度、渗透率)、极化率(半衰时及衰减度等)等二级参数,注重整体信息与局部信息的特征研究,尽量发现微弱信息的变化,注重含水层间的补水与排水关系等。

(2)对于地热井资料解释今后应该怎么深入研究上,要重视理论与实践的高度结合。凡有钻探资料的地热井,可对测井资料进行二次综合解释,找出解释底板偏差的原因。

(3)对于该地热井如何根据测井成果决定成井工艺,有必要进行专题研究。用地热井抽水试验的结果说明测井及其解译的意义,如果能和其他未测井的地热井的出水能力和出水温度相比,进一步说明测井及其正确解译对地热井成井工艺的指导工作更好。

参考文献(References):

- [1] 宋延杰,陈科贵,王向公.地球物理测井[M].北京:石油工业出版社,2011.
Song Y J, Chen K G, Wang X G. Geophysical Logging[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- [2] 慰中良,邹长春.地球物理测井[M].北京:地质出版社,2005.
Wei Z L, Zou C C. Geophysical Logging[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [3] 王惠谦.综合地球物理测井[M].北京:地质出版社,1987.

Wang H L. Comprehensive Geophysical Logging[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.

- [4] 郭崇光,李振拴,赵莹,等.水文地球物理测井方法与应用[M].北京:煤炭工业出版社,2006.
Guo C G, Li Z S, Zhao Y, et al. Hydrogeophysical Logging Method and Application[M]. Beijing: Coal Industry Press, 2006.
- [5] 王明章,王尚彦,杨秀忠,等.贵州岩溶石山生态地质环境研究[M].北京:地质出版社,2005.
Wang M Z, Wang S Y, Yang X Z, et al. Research on the Eco-geological Environment of Karst Mountains in Guizhou[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [6] 孙尚哲,胡潇.综合地球物理测井在地热井开发中的应用[J].华东科技,2014(1):397.
Sun S Z, Hu X. Application of comprehensive geophysical logging in geothermal well development[J]. East China Sci Technol, 2014(1):397.
- [7] 尹秋岭.开封市某地热井的测井解释[J].学术争鸣,2014(3):347-348.
Yin Q L. Logging interpretation of a geothermal well in Kaifeng City[J]. Acad Content, 2014(3):347-348.
- [8] 杨荣康,罗维,裴永炜,等.贵州省水热型地热资源分布及流体水化学特征[J].中国地质调查,2018,5(2):38-44.
Yang R K, Luo W, Pei Y W, et al. Distribution and fluids hydrochemistry characteristics of hydrothermal geothermal resources in Guizhou Province[J]. Geol Surv China, 2018, 5(2):38-44.
- [9] 汪磊,张海.贵州西部威水背斜地热赋存规律及靶区预测研究[J].中国地质调查,2016,3(6):26-31.
Wang L, Zhang H. Geothermal occurrence regularity and target area prediction in Weishui anticline, western Guizhou Province[J]. Geol Surv China, 2016, 3(6):26-31.
- [10] 贵州省地质矿产勘查开发局.遵义北郊地热田地质模型研究结题报告[R].2014.
Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. The Research Report on the Geological Model of the Geothermal Field in the Northern Suburbs of Zunyi[R]. 2014.
- [11] 张应文,王亮,王班友,等.煤田测井中煤层的定性及定厚解释技术应用[J].物探与化探,2008,32(1):49-52.
Zhang Y W, Wang L, Wang B Y, et al. The application of geophysical logging to qualitative and thickness-determining interpretation technique of coal seams[J]. Geophys Geochem Explor, 2008, 32(1):49-52.
- [12] 张应文,王亮,杨胜发.黔北煤田测井中煤层的沉积序列编号解释对比方法及应用[J].物探与化探,2011,35(3):340-344.
Zhang Y W, Wang L, Yang S F. The numbering interpretation-comparison method for sedimentary sequence of coal seams in logging of the Qianbei (northern Guizhou) coalfield[J]. Geophys Geochem Explor, 2011, 35(3):340-344.
- [13] 贵州省地矿局102地质大队.贵州省汇川区董公寺矿区地热勘查地球物理勘探(测井)报告[R].2014.
No. 102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral

- Resources. Geothermal Exploration and Geophysical Exploration (logging) Report of Donggongsi Mining Area in Huichuan District, Guizhou Province[R]. 2014.
- [14] 贵州省地矿局 102 地质大队. 贵州省遵义市汇川区董公寺地热资源勘查物探 (CSAMT) 工作报告[R]. 2013.
No. 102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. The Work Report of Geothermal Exploration (CSAMT) of Donggong Temple, Huichuan District, Zunyi City, Guizhou Province[R]. 2013.
- [15] 贵州省地矿局 102 地质大队. 广域电磁法 (80KVA) 勘探报告[R]. 2016.
No. 102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. Wide - area Electromagnetic Method (80KVA) Exploration Report[R]. 2016.
- [16] 韩颖, 白雪峰, 张欣. 山西省地热资源及其开发利用模式探讨[J]. 中国地质调查, 2018, 5(5): 13 - 20.
Han Y, Bai X F, Zhang X. Discussion on geothermal resources and its exploitation and utilization model in Shanxi Province[J]. Geol Surv China, 2018, 5(5): 13 - 20.
- [17] 冯超臣, 黄文峰. 山东省菏泽市聊城—兰考断裂带西部地区地热资源评价[J]. 中国地质调查, 2015, 2(8): 55 - 59.
Feng C C, Huang W F. Evaluation of geothermal resources in the western Liaocheng - Lankao fault zone of Heze city, Shandong Province[J]. Geol Surv China, 2015, 2(8): 55 - 59.

Summary of the interpretation method of geothermal logging in the northern suburb of Zunyi in Guizhou Province

YANG Wu¹, ZHANG Yingwen², WANG Liang³

- (1. *Guizhou Institute of Geophysics and Geochemistry, Guizhou Guiyang 550018, China*; 2. *No. 102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral, Guizhou Zunyi 563003, China*;
3. *Guizhou Institute of Geological Survey, Guizhou Guiyang 550081, China*)

Abstract: In recent years, the market demand for geothermal resources has increased intensely, and resource exploration and development in the Zunyi - Jinsha area of Guizhou has meet great development opportunities. It is an important task of geothermal geology work to change the relatively low success rate of geothermal wells in Guizhou, of which the geophysical logging is an important measure. Uncertainty exists in the interpretation of logging data, and it is necessary to combine logging theory and practical experience to improve the accuracy of interpretation results. Based on the geothermal logging exploration example in the northern suburb of Zunyi, the authors in this paper have comprehensively analyzed the logging response characteristics of physical parameters on rocks, such as natural gamma, resistivity, spontaneous potential, and acoustic waves. The comprehensive geological interpretation of actual measured curve in the wells were conducted by the logging character method in typical marker stata, sequence logging feature method, fault logging interpretation feature method, aquifer logging interpretation feature method and well temperature mutation logging interpretation feature method and 4 steps, to determine the typical marker layers and divide stratigraphic sequence. Besides, the fault structure and aquifer were interpreted. This research would provide a geological basis for the geothermal drilling positioning, geothermal well design and well completion technology selection in this area.

Keywords: geothermal resources; interpretation parameters; fault fracture zone; marker layer; aquifer; Zunyi of Guizhou Province

(责任编辑: 常艳)