

Research on Water Aquifer Prospecting Method in Drilling Hole

Fazhan Zhao¹, Wei Zhao¹, Yueheng Zhang¹, Peng Liu¹, Junjun Guo²

¹Shenhua Geological Exploration Co. Ltd., Shenhua Group, Beijing

²Shenhua Beidian Shengli Energy Co. Ltd., Beijing

Email: zfz198@126.com

Received: Feb. 11th, 2020; accepted: Mar. 13th, 2020; published: Mar. 30th, 2020

Abstract

Geophysical well-logging plays important roles for prospecting the oil saturation and the depth of oil & gas stratification and water aquifer during drilling a hole. Well-logging curves have different characters in oil & gas formation and water aquifer. The well-logging data are used for determination of water aquifer, the study of hydrogeology and the operation of waterproof in coal field to avoid water breakthrough. In this paper, the characteristics of conventional logging curves such as natural gamma, spontaneous potential curve, resistivity curve and compensated neutron curve in different stratifications provide an effective method for determination of formation lithology and the distribution of water aquifer in coal field. Finally, the detection characteristics and mechanism of nuclear magnetic resonance (NMR) instrument used in water layer are provided. The use of conventional logging methods and nuclear magnetic resonance logging plays an important role in the study of hydrogeology in coal fields.

Keywords

Well-logging Curves, Spontaneous Potential, Resistivity Curve, Compensated Neutron, Nuclear Magnetic Resonance

钻孔中水层探测方法研究

赵发展¹, 赵伟¹, 张跃恒¹, 刘鹏¹, 郭军军²

¹神华地质勘查有限责任公司, 北京

²神华北电胜利能源有限公司, 北京

Email: zfz198@126.com

收稿日期: 2020年2月11日; 录用日期: 2020年3月13日; 发布日期: 2020年3月30日

摘要

地球物理测井是在钻孔中对油气层和水层进行探测, 以确定油气层、水层的位置和含油饱和度, 在测井曲线上, 油层和水层具有不同的特征。在水文地质研究和煤田水防治作业中, 利用测井资料确定水层位置以及水层的分布范围, 避免透水事故的发生。本文通过自然伽马、自然电位曲线、电阻率曲线、补偿中子曲线等常规测井曲线在不同地层的特征, 为煤田开采区地层岩性的确定以及水层的分布提供一个极其有效的方法, 最后提供了核磁共振仪器在水层探测中的特征以及探测机理, 利用常规测井方法和核磁共振测井在煤田水文地质研究中具有极其重要的作用。

关键词

测井曲线, 自然电位, 电阻率, 补偿中子, 核磁共振

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在石油勘探、水文地质、煤田矿井防治水都要进行水层探测, 目前探测水层的方法比较多, 但是在钻孔中探测水的方法主要以地球物理测井为主, 它具有易于操作、快速、效率高等特点, 因此在石油勘探和水文地质探测中发挥重要的作用, 通过对测井曲线的综合解释对水层做出判断。

水层探测有钻探法、地球物理物探法和地球物理测井法, 目前应用最广泛的是用物探方法进行地下水勘探。地下水赋存在岩石中, 其电阻率与含水饱和度、矿化度、地层孔隙度等因素有关, 地层含水后, 其密度、声波速度都会发生变化, 水还有一个特性, 它有比较高的介电常数。在物探中电法探测有电阻率法, 激发极化法, 天然电场选频发, 瞬变电磁法, 地震法包括常规地震勘探法和高分辨率浅层地震法。而在井筒中探测水层的方法有进行地球物理综合测井法, 介电测井法, 核磁共振测井法。

2. 常规的地球物理测井曲线在判断水层中的作用

常规的地球物理测井包括自然伽马(GR, 单位 API), 自然电位(SP, 单位 mV), 井径曲线(CALI, 单位 in 或 cm); 深侧向(RT 或 LLD, 单位 $\Omega \cdot m$), 浅侧向(RI 或 LLS, 单位 $\Omega \cdot m$), 微球聚焦(RXO 或 MSFL, 单位 $\Omega \cdot m$); 岩性密度(DEN 或 RHOB, 单位 g/cm^3), 补偿声波(AC 或 DT, 单位 $\mu s/ft$ 或 $\mu s/m$), 补偿中子

(CNL 或 NPHI, 单位%或小数) [1] [2]。核磁共振在钻孔中对水层的判断基于哈里伯顿仪器的差谱法来确定水层[3] [4]。测井曲线在油层和水层具有不同的特征, 在石油地球物理勘探中用来找油, 而在水文地质中用测井曲线的特征找水。

2.1. 自然电位曲线在水层的特征

自然电位测井曲线在水井中、油气井中作为渗透层判断的一个非常重要的曲线, 它的功能主要用于砂泥岩剖面。由于自然电位测井在渗透层处有明显的异常显示, 因此, 它是划分和评价储集层的重要方法之一, 也是指示水层的重要曲线之一。自然电位产生有三个方面的原因, 当地层水矿化度和钻井液矿化度不同时, 引起离子的扩散作用; 泥质颗粒对离子的吸附作用; 当地层压力与钻井液压力不同时, 在地层空隙中产生过滤作用。这些在井壁附近产生的电化学过程会产生自然电动势, 在测井曲线上表现为一定的偏移。自然电位测井曲线受岩性, 地层水和泥浆滤液矿化度的比值, 温度, 地层水和泥浆滤液含盐性质, 地层厚度, 井径直径的影响。在图 1 中, 1267~1273 m, 1276.5~1284 m, 1293~1297 m, 1304~1309 m, 自然电位出现比较大的异常, 与自然伽马曲线有很好的对应关系, 因此是很好的渗透层。对于渗透层的分析, 当地层水和泥浆滤液电阻率接近时, 自然电位曲线异常幅度很小, 接合自然伽马和自然电位曲线综合分析。

2.2. 电阻率曲线在水层上的特征

目前地球物理测井的电阻率采用深、浅双侧向和微球聚焦, 深侧向的电流以园饼状进入地层, 因此它反映的是随深度变化的地层深处原始地层的电阻率, 微球聚焦测量的是冲洗带的电阻率, 由于水层赋存在岩石的孔隙当中, 由大的孔隙吼道连同, 如果地层水比较淡, 则有比较高的电阻率, 如果地层水含盐度比较高, 则电阻率比较低, 甚至低于围岩的电阻率, 围岩一般为泥岩, 比表面比较大, 含有大量的束缚水, 其束缚水孔隙度为沉积时的地层水, 因此在测井曲线上的水层, 有时是高电阻率, 有时是低电阻率。电阻率与水层或油气层的关系要建立在试水、试油资料的基础上来判断储层的性质。

2.3. 中子孔隙度曲线在水层上的特征

补偿中子反映的是地层中的含氢指数, 地层中的含氢指数越高, 中子孔隙度值越大。水层有一定的中子孔隙度值, 在泥岩中, 包含大量的束缚水, 中子孔隙度也比较大, 有的水层中子孔隙度高出泥岩层中子孔隙度值, 有时泥岩的中子孔隙度甚至高出纯水层的中子孔隙度值, 通过中子孔隙度或密度确定孔隙度的大小, 结合自然电位、电阻率曲线, 通过综合分析, 中子孔隙度能很好的指示水层的位置。

在图 1 中, 该地层为砂泥岩互层, 1267~1273 m, 1276.5~1284 m, 1293~1297 m, 1304~1309 m 为渗透层, 通过密度曲线计算, 地层孔隙度在 25%~28%之间, 而渗透层的地层电阻率稍微高出围岩的电阻率, 渗透层的中子孔隙度比泥岩层高出大约 5 个孔隙度单位, 通过综合分析, 自然伽马与自然电位显示渗透性非常好, 补偿中子和岩性密度显示孔隙度非常大, 而电阻率绝对值只有 7~9 欧姆米, 根据邻井的水分析资料建立的模板分析, 对应的这三个储层是水层。

在图 1 的测井综合图中, 自然伽马, 自然电位, 补偿密度的特征比较明显。

在图 2 所示测井综合曲线图中, 该地层为砂泥岩互层, 根据自然伽马和自然电位曲线分析, 1392~1400 m, 1417.5~1424 m, 1425~1431 m 为渗透层, 在图 2 所示的井段内, 自然电位曲线不明显, 有微弱的负异常, 说明泥浆滤液电阻率与地层水电阻率接近, 自然伽马划分地层非常明显; 而岩性密度和补偿中子曲线显示地层有很大的孔隙度, 从密度计算的地层的孔隙度大约为 25%左右, 中子孔隙度为 18%~21%孔隙度单位; 在泥岩层, 1400~1417.5 m, 补偿中子显示的中子孔隙度平均为 42%孔隙度单位, 说明在泥岩

地层中含有非常高的泥质束缚水，泥岩的中子孔隙度值大于渗透层的中子孔隙度值；在图 2 所示的井段内，电阻率曲线特征为渗透层的电阻率低于泥岩电阻率曲线。根据试水资料分析，这三层均为水层。

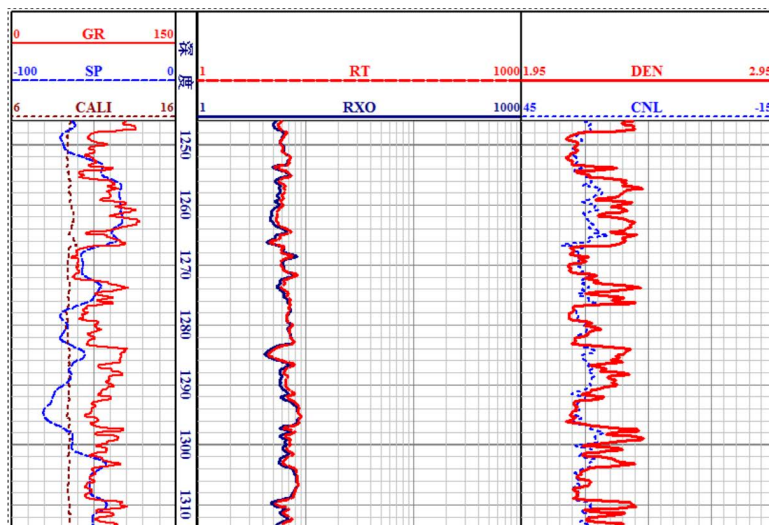


Figure 1. Composite well-logging graph
图 1. 测井曲线综合图

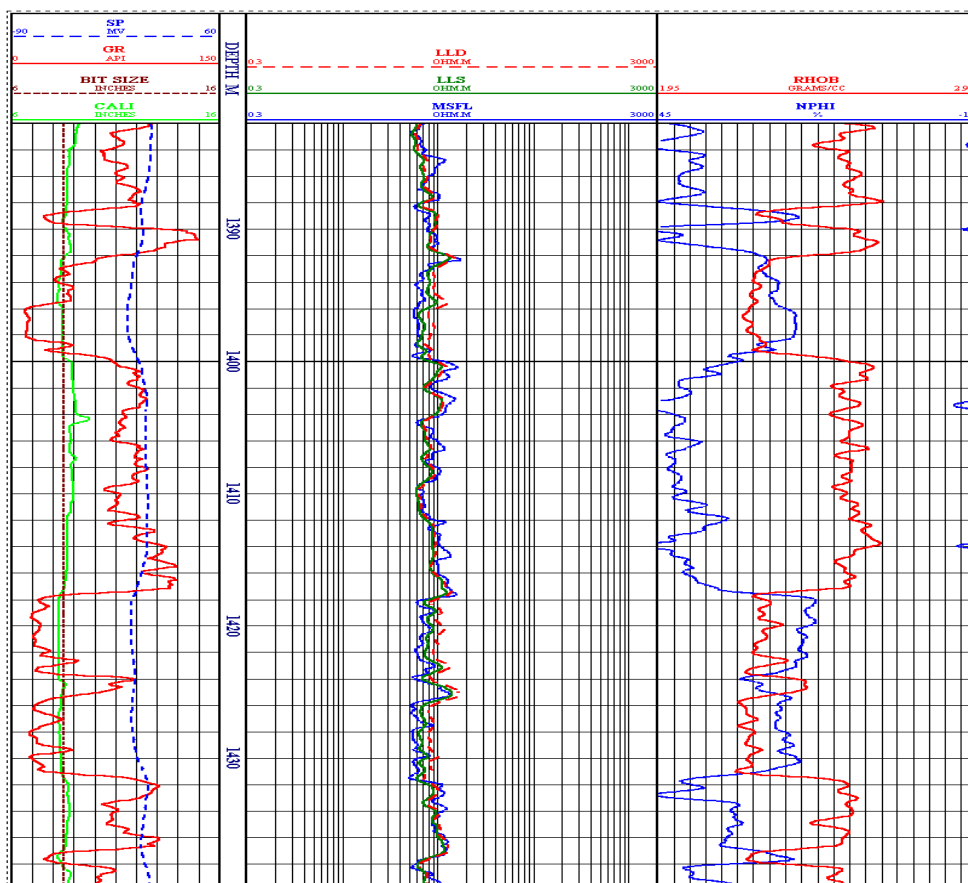


Figure 2. Composite well-logging graph
图 2. 测井曲线综合图

3. 致密砂岩地层测井曲线特征

比较致密的砂岩地层，有效孔隙度很小，渗透率也很小，钙质含量相对较高，在常规测井资料中，自然伽马曲线值比较低，变化也比较小，自然电位曲线几乎是直线，电阻率曲线最高可达几百欧姆米，岩性对电阻率的贡献大于孔隙中流体的贡献，补偿中子很小，地层密度高达 2.69~2.70 g/cm³左右，因此常规的测井曲线在致密砂岩地层特征不明显。有些致密砂岩裂缝发育，由于裂缝的存在使渗透率很高，地下水流通非常活跃，但是自然伽马、自然电位、岩性密度、补偿中子曲线没有任何特征显示，因此用常规的测井曲线在致密砂岩地层找水相对困难。火山岩和碳酸盐地层中的水赋存在裂缝中，由于自然伽马和自然电位不能有效的指示渗透层，电阻率曲线受岩性的影响比较大，水层特征不明显或者没有。

4. 核磁共振在判断水层中的作用

核磁共振测井技术在油田地球物理测井中得到广泛的应用，它是利用氢原子核受磁化后弛豫所产生的核磁共振现象所进行孔隙度和渗透率以及流体性质测井的一门新的测井技术，它不受岩性的岩性[5] [6] [7]。哈里伯顿在核磁共振的模式设计了多个不同的模式，其中双等待模式，即差谱法为判断水层、油层奠定了基础。它是根据不同流体具有不同的极化速率，不同的纵向弛豫时间等性质来判别油气的一种方法。在地层中，轻烃与孔隙水完全极化所需要的时间差异较大，对于孔隙水，在极短的极化时间就足以使其完全极化，而轻质油与天然气则需要较长的极化时间才能完全极化，设置长等待和短等待时间，如果地层孔隙是水，这两个谱完全相同，如果地层有轻烃存在，长、短极化时间得到的 T₂ 分布就会有明显差异，这两个 T₂ 谱相减，水的信号可以相互抵消，而油与气的信号则余留在差谱中，由此识别油气，而 T₂ 谱完全相同时就是水层，如图 3 所示。

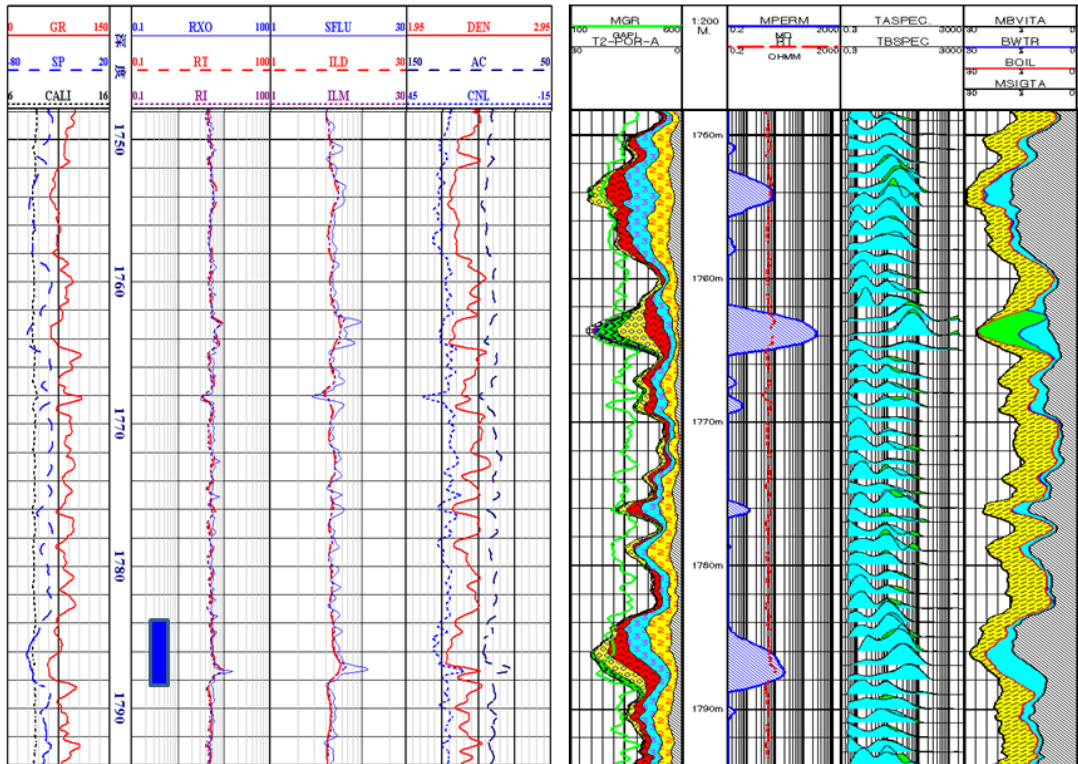


Figure 3. Nuclear magnetic resonance image well-logging graph
图 3. 核磁共振成像测井图

图3是核磁共振测井结果处理后的成果图,最右侧是通过差谱得到的结果,从图看出,1762~1765 m是油层信号,在 T_2 谱上有油的信号,而1784~1788.5 m在 T_2 谱上,长等待和短等待两个谱之差为水的信号,因此,该层为水层,从核磁共振资料看出,该层有效孔隙度为21%左右,渗透率为20毫达西。

核磁共振仪器在石油钻孔中使用,其探测深度很浅,只有几个厘米,在石油地球物理测井中,可以满足大部分井眼直径的要求。从目前的资料看,在水文地质方面找水方面,法国研制的核磁共振仪器在地面对地下水进行探测,也有了一定的应用研究,而且具有较深的探测深度,将核磁共振仪器移至地面探测水层有非常广阔的前景。

5. 不同探测方法的差异性和适用条件对比

地球物理测井是测量精度最高的一种方法,在综合测井中,通过自然电位,自然伽马以及电阻率,密度或声波的变化进行综合分析就可以确定水层,其分辨率非常高,使用性比较广。

核磁共振测井是利用氢原子的弛豫特征,氢原子核受磁化后弛豫所产生的核磁共振现象所进行孔隙度和渗透率以及流体性质测井的一门新的测井技术,水层中的氢核受到极化后, T_2 谱发生变化,氢原子含量越多,受到极化后产生的 T_2 谱特征越明显,通过对接收的核磁信号转换形成不同类型的 T_2 谱,谱的形状与水中质子的数量有关,即核磁共振信号的幅值与所探测空间内水的含量有线性关系,因此构成了一种直接找水技术。在核磁共振的差谱模式中,根据谱特征和差谱后的特征就可确定水层。但是目前核磁共振测井的探测深度比较浅,只有5 cm左右,而且价格非常昂贵,测井速度非常慢,不能被广泛应用。

介电测井采用发射天线发射高频电磁波,在地层传播后被接收探头接收,含水层在测井曲线上衰减特征和相位角与非水层不同,通过综合分析就可确定水层,一般在油田测井用于确定水淹层。

6. 结论

- 1) 测井资料在钻孔中找水有直观高效的特点。
- 2) 在测井曲线上自然电位曲线、电阻率曲线、补偿中子曲线对水层均有一定的指示,在复杂岩性地层,通过综合解释,能得到可靠的解释结论。
- 3) 核磁共振在通过对孔隙中流体的极化,采用长短两个等待时间形成两个不同的 T_2 谱,两个谱之差可以显示油层或水层的信号,在石油钻孔已经大量的使用。
- 4) 由于致密砂岩地层固有的特征,用常规测井曲线在碳酸盐地层找水比较困难。

基金项目

国家重点研发计划项目(2016YFC0501102-04)。

参考文献

- [1] 洪有密. 测井原理与综合解释[M]. 北京: 石油大学出版社, 1988.
- [2] 黄作华. 煤田测井方法与数字处理[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1982.
- [3] 肖立志, 柴细元, 孙宝喜, 等. 核磁共振测井资料解释与应用导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 179-180.
- [4] 肖立志. 核磁共振成像测井与岩石核磁共振及其应用[M]. 北京: 科技出版社, 1998: 109-112.
- [5] 杨正明, 郭和坤, 姜汉桥. 火山岩气藏不同岩性核磁共振实验研究[J]. 石油学报, 2009, 33(3): 400-408.
- [6] 廖广志, 肖立志, 谢然红, 等. 内部磁场梯度对火山岩核磁共振特性的影响及其探测方法[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(5): 55-60.
- [7] 司马立强, 赵辉, 戴诗华. 核磁共振测井在火成岩地层应用的适应性分析[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(1): 145-152.