文章编号:1004-8227(2000)03-0327-05

核磁共振方法在湖北某地找水的效果*

袁照令,万　乐,李振宇,潘玉玲
(中国地质大学,武汉 430074)

摘　要:应用核磁共振技术找水是核磁共振技术应用的新领域,核磁共振找水是一种直接探测地下水的地球物理方法。介绍了是在贫水地区一个指定范围内探测地下水的例子。比较所做的三个核磁共振测点的工作结果,确定出含水情况较好部位;配合做了电阻率对称四极测深,其工作结果指示出一低阻区域,是地下水富集带。在设计的钻井位置钻探打出了优质地下水,验证了核磁共振找水方法的推断结果。在对核磁共振找水方法研究和实践的基础上,指出:核磁共振找水方法和其它的找水方法相比,具有分辨率高、效率高、投资小、见效快等优点,在工作中配合使用电阻率法勘探可以提高钻探成功率,这一点在探测和构造、破碎带、风化带有关的地下水时显得更为重要。

关键词:
文献标识码:A 核磁共振找水方法;地下水;效果

核磁共振(NMR)技术是当前世界上的尖端技术,用该技术探测地下水是核磁共振技术应用的新领域。目前,世界上利用 NMR 技术找水研究水平较高并能生产仪器的国家是俄罗斯和法国;1965 年,我国的张昌达、崔岫峰等曾进行过这方面的试验;近些年来,中国地质大学(武汉)以潘玉玲教授为首的核磁共振找水科研组做了大量的调研和预研工作[1]。1997 年底,中国地质大学(武汉)引进了法国 IRIS 公司生产的地面核磁共振找水仪(NUMIS),经过一年多的实践,先后在广西、湖南、湖北、河南、河北、内蒙古等地的缺水地区找到了地下水,(本文的例子就是其中之一),其中包括有孔隙水、裂隙水和岩溶水,证明了 NMR 找水方法的效果,也为我国的地下水资源勘探提供了一种很有发展前景的直接找水新方法。

1　核磁共振找水方法的原理[2]

地下水中的氢核具有核子顺磁性,并且又是地层中具有核子顺磁性的物质中丰度最高的粒子。在地球磁场的作用下,氢核表现出沿地球磁场方向的磁矩;如果在与地球磁场垂直的方向上加一个交变磁场(其频率等于拉莫尔频率)去激发地下的氢质子,氢核的磁矩就会偏离地球磁场的方向形成宏观磁矩。当激发场停止后,宏观磁矩又会恢复到沿着地球磁场的方向,在这个短暂的恢复过程中,氢核的磁矩将围绕地球磁场进动,产生一个按指数规律随时间衰减的电磁信号(NMR 信号),可以用线圈(天线)来接收电磁信号。这个电磁信号用下式表示:

$$E(t) = E_0(q)\sin(\omega_0 t + \varphi_0)\exp(-t/T_2^*)$$

式中 $E_0(q)$ 为 NMR 信号的初始振幅;q 为激发脉冲参数(也称脉冲矩),$q = I_0\tau$, I_0、τ 分别为

* **收稿日期**:1999 - 11 - 18;**修回日期**:2000 - 04 - 02
基金项目:国土资源部重点科研项目"用核磁共振方法区分岩溶充填物性质(9505111)"资助.
作者简介:袁照令(1945～　),男,副教授

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

激发电流脉冲的幅值和持续时间;φ_0 为 NMR 信号的初始相位,是天线中激发电流与测量到的衰减电压之间的相位移; T_2^* 为自旋 —自旋弛豫时间(也称衰减时间)。NMR 信号的初始振幅(E_0)的强弱与氢核的数量及分布有关,表征信号衰减快慢的特征时间(T_2^*)与含水层的平均孔隙大小有关。氢核又主要存在于地下水中,所以测得 NMR 信号并进行相应的处理、解释,就可以确定地下水(自由水)的分布,从而构成了一种直接找水的方法。

2 核磁共振找水仪器

法国生产的 NUMIS 系统的工作原理框图见图 1。工作过程是:由 DC/DC 变换器将 24 V 的电瓶电压变换成 380V 的电压供给发送机,在 PC 机控制下,发送机以拉莫尔频率向铺在地面上的线圈(天线)供入脉冲电流,形成激发磁场(瞬间最大输出电压可达 2 500 V、最大输出电流可达 300 A,脉冲持续时间 40 ms);在脉冲电流间歇(40 ms)期间,通过转换开关的切换使用同一线圈用接收机测量 NMR 信号,它可灵敏地测出纳伏(1 nV = 10^{-9}V)级的电磁信号。

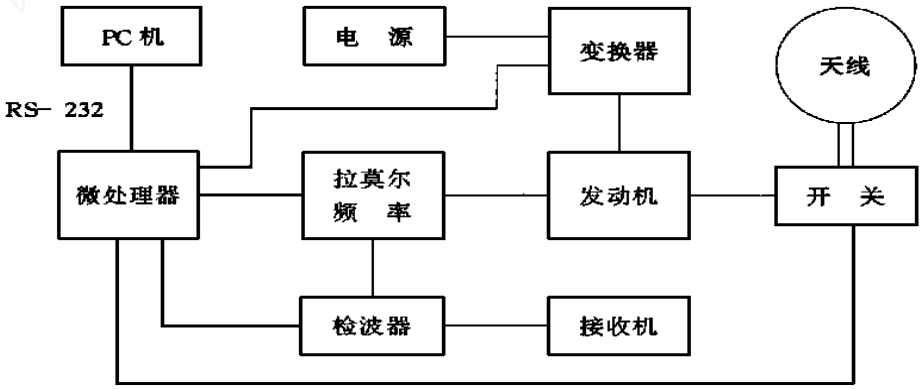


图 1 NUMIS 系统工作原理框图

Fig. 1 Working elements of NUMIS system

NUMIS 系统的天线由截面积为 25 mm^2 的绝缘铜线做成,长 300 m;根据工作地区水文地质条件及环境噪声水平可以将天线在地面上铺设成不同的形状,常用的有边长为 75 m 的方形和直径近 100 m 的圆形,对应的勘探深度为 100 m;当环境噪声较大(大于 1 500 nV)测量困难时,可铺设成“8”字方形(边长 37.5 m)和“8”字圆形,与边长为 75 m 的方形天线相比,“8”字形天线能够有效地压制环境噪声(使其减小到原来的 1/10),提高观测结果的信噪比,但相应的勘探深度也减少到 50 m。

3 核磁共振找水方法的应用效果

利用 NUMIS 系统先后探查到各种类型的地下水,现仅以在湖北某地大型变电站站址内探查到的基岩裂隙水为例,说明 NUMIS 系统探查地下水的应用效果。

3.1 工区区域水文地质概况

工作地区位于云(梦)应(山)盆地的外缘,处在淮阳山字型构造西翼,各类构造形迹发育且较为复杂,主要构造线方向为北西、北西西向,对区内有较大影响的断裂构造有:井头湖 —金鼓堤断裂和陆家岗 —雷家档断裂。测区为丘陵岗地,地面起伏较大。区内地表为第四系中更新

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

统(Q_z)冲洪积物及残坡积物所覆盖,下伏地层为震旦系上统白兆山组(Z_{zb})变质岩类;区内主要地层有下元古界桐柏群、中元古界红安群、上元古界随县群及震旦系变质岩。

湖北省地矿局水文地质大队、鄂东北地质大队在本区多次作过不同比例尺的水文地质调查。区内水文地质工作研究程度较高,认为测区为贫水区。

3.2　工作方法技术和资料解释

本次核磁共振找水工作,是在水文地质工作研究程度较高的贫水区的规定范围(变电站征地范围,面积 300 m ×200 m)内进行,要求出水量满足生产、生活需求,这无疑加大了找水工作的难度。

3.2.1　核磁共振找水方法实测结果解释　工作中采用了以核磁共振方法为主,配合使用电阻率勘探的找水方法。在测区内布设核磁共振测点 3 个(见图 2)。从工作结果看,XG—B_sJ、XG—BSK 两测点的噪声水平较高,所反映的地下含水情况也较差;XG—BSI 测点处的噪声水平较低,反映出在 2.0～3.0 m、21.7～27.0 m、52.2～65.1 m 和 65.1～81.1 m 存在有四个含水层(见图 3(a)),其中第一个含水层为地表潜水层,第二个含水层的含水量(含水体积百分比)较小,上述两个含水层对地下水勘查意义不大,第三、四两个含水层的含水量较大,分别为 2.78 %和 6.03 %,这两个含水层所对应的衰

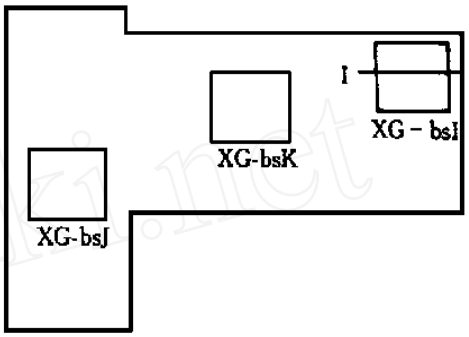
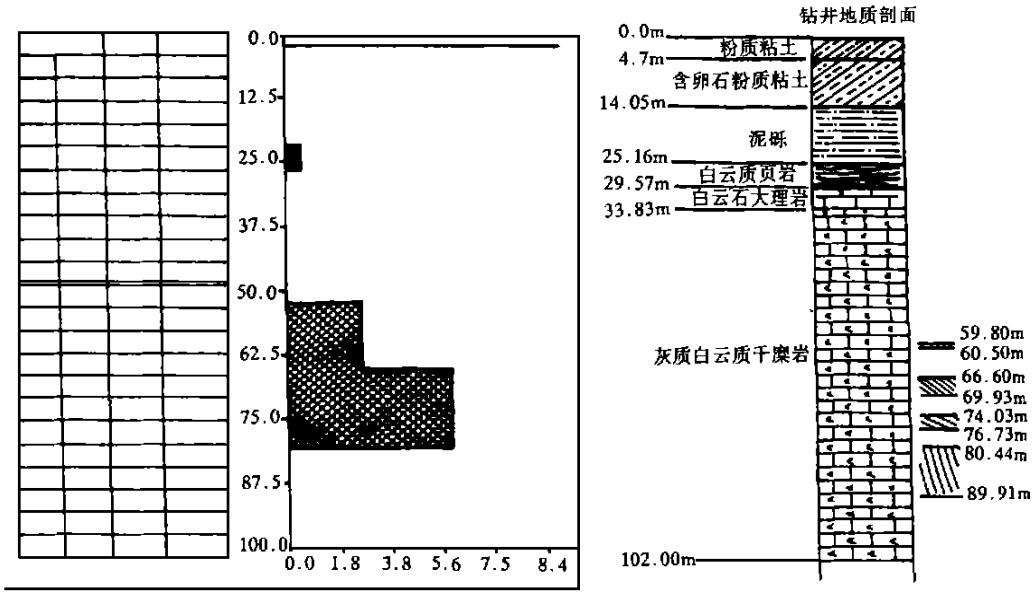


图 2　湖北某大型变电站核磁共振测点及电阻率对称四极测深剖面布置示意图

Fig. 2　Dispose of NMR and Resistivity Schlumberger array sounding section at a large-scale transformer substation in Hubei province



(a)　　(b)

图 3　核磁共振工作结果与钻探结果对比图

Fig. 3　Contrast figure between NMR and drilling result

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

减时间分别为 466.4 ms 和 180.1 ms(见图 3(a)中表),可以认为含水层的平均孔隙(或裂隙)较大,含水情况较好。

3.2.2 电阻率法 在 XG—B_sI 测点勘探范围内,配合做了电阻率对称四极测深,目的在于探查岩层电性沿铅垂方向的变化情况,了解富水带的位置。图 4 中示出的是沿着 I剖面所作的五个对称四极测深点的ρ_s断面等值线图。由图可见,浅层的 55～58 号点附近为一低阻区域,AB/2 > 50 m 后 ρ_s 等值线逐渐呈下凹状,AB/2 > 175 m 后ρ_s 等值线陡立,其下方电性可能发生变化,此地段可能有地下水活动,在 55～58 号点间是地下水的富集带。

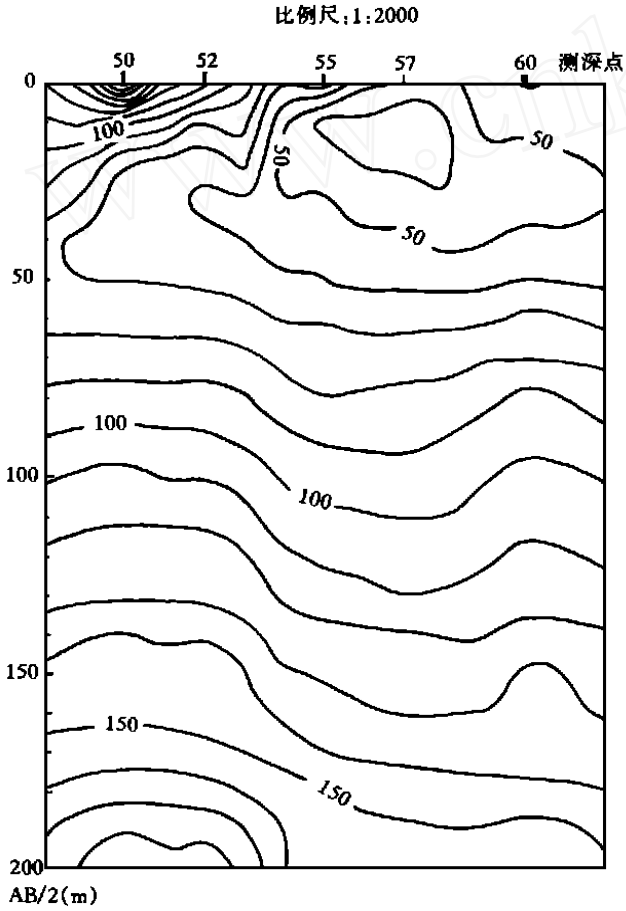


图 4 I号剖面电测深ρ_s断面等值线图

Fig. 4 Contour map of electric sounding ρ_s of the section No. 1

综合上面的分析可以得出以下认识:在 XG—B_sI 测点控制的范围内无明显断裂存在;本区的主要含水层位于基岩之中,为基岩裂隙中含水。区内找水最为有利的钻井位置在 I剖面的 55.5～58 号测点之间。建议布置钻探工作,设计孔深 90 m。

3.3 钻探验证结果

在设计的钻孔位置经实际钻探打出了优质淡水。成井深度 101.35 m,其中在 59.8～60.5 m、66.6～69.93 m、74.03～76.73 m 和 80.44～89.91 m 钻遇四个透水性好的含水层(见图 3(b)),出水量为 347.85 t/d,能够满足业主生产、生活用水要求。钻探结果较好地验证了核磁共振找水方法的推断结果。

4 结束语

经过对 NMR 方法的研究和多次实践,对核磁共振找水方法有以下几点认识:

(1) NMR 方法是目前唯一能够直接探测地下水的地球物理找水方法,在探测深度范围内,有水就有核磁共振信号显示,反之则没有反映。可以利用这一点来识别间接找水的电阻率法找水时遇到的非水低阻异常。

(2) 核磁共振找水方法所获得的信息量丰富,可以将核磁共振信号解释为某些水文参数和含水层的几何参数。在探测深度范围内,可以给出地下含水层的深度、厚度、含水率,可以给出含水层平均孔隙度大小的概念。

(3) 核磁共振找水方法具有分辨力高、效率高等优点,勘探投资少、见效快,可以大量减少

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

价格昂贵的钻探工作量。

(4)核磁共振找水方法可以用来进行区域性水文地质调查,确定找水远景区;圈定各种类型地下水在三维空间的分布,为寻找工农业用水、生活用水提供可靠的信息。

(5)核磁共振找水方法是一种体积勘探方法,配合使用电阻率法勘探可以提高钻探的成功率。这一点特别是在勘察和断裂构造、破碎带、风化带有关的地下水时显得更为重要。

参考文献:

[1] 潘玉玲,张昌达,刘天佑. 一种新的找水方法——核磁共振找水[J]. 物探化探译丛,1995,(5):592～595.

[2] 陈文升编著. 核磁共振地球物理仪器原理[M]. 北京:地质出版社,1992.

EFFICIENCY OF GROUNDWATER DETECTION IN THE LACK WATER AREA BY NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE METHOD

YUAN Zhao-ling, WAN Le, LI Zhen-yu, PAN Yu-ling

(China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: To utilize the Nuclear Magnetic Resonance (NMR) method in detecting groundwater is one of the new application areas of NMR technique. The NMR detecting groundwater is one of the geophysics exploration methods, and can directly detect groundwater. This paper gives an example on detecting groundwater in a lack water area which is designated. To compare the result by NMR sounding on three positions, ascertained the better aquifer position. In addition the Vertical Resistivity Sounding (VES) shows a conductive zone, which is the accumulated water. The drilling successfully found good quality groundwater. The result validate the interpretation of NMR. Based on the research and practice on the NMR method, the paper indicates that this NMR method has the character of high resolving power, high effciency, low cost and good nesuet in comparison with other geophysical methods in the groundwater detection. To assist with the VES one can increase the successiveness nesuet in comparison, especially in detecting the groundwater that is relate to the structure, of ruptured zone and efflorescent zone.

Key words: Nuclear Magnetic Resonance (NMR) method; groundwater; effect

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net