核磁共振找水方法的现状和发展趋势

潘玉玲 万 乐 袁照令 李振宇

(中国地质大学地球物理系, 湖北 武汉, 430074)

摘 要: 简要介绍了利用核磁共振(nuclear magnetic resonance, 缩写为NMR)技术找水方法的发展状况、原理和方法特点, 重点介绍了中国地质大学(武汉)NMR科研组, 利用NMR找水方法在中国一些地区找水取得的成效, 最后指出了NMR找水方法的发展趋势。

关键词: 核磁共振技术; 地下水探查; 趋势

中图分类号: P318.6 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-7849(2000)01-0105-04

自1946年E M Purecell和F Bloch同时发现在物质中的核磁共振现象以来, 到现在仅有几十年的历史。但随着科学技术的发展, 核磁共振现象已由理论研究、试验进入了应用与开发阶段, 广泛应用于物理学、化学、生物学、医学等领域, 在地学方面(质子磁力仪、NMR波谱仪、岩芯测试仪以及NMR测井工作)也得到了广泛的应用。用该技术探查地下水是核磁共振技术在地学中应用的新领域, 开创了应用地球物理方法直接找水的先河。

1 地面核磁共振找水方法的发展状况

地面核磁共振找水方法的形成与发展仅有20多年的历史。这种方法的创意, 是在大约30年前提出的[1], 但从那时起直到70年代末, 没有任何有关核磁共振找水的报道。1965年夏我国一些科技人员也利用核磁共振技术进行过找水试验。由于当时技术条件的限制, 未能收到核磁共振信号, 但当时采用的技术方案是正确的。

从1978年起, 前苏联科学院西伯利亚分院化学动力学和燃烧研究所(ICKC)以A G Semenov为首的一批科学家开始了利用核磁共振技术进行找水的全面研究[2, 3]。他们仅用3年时间就研制成功了世界上第一台核磁共振层析找水仪(hydroscope)。在其后的10年间, 进行了仪器改进和解释方法的研究。他们的试验研究遍及前苏联的大部分国土, 北到极地附近的新地岛, 南到中亚的哈萨克斯坦、吉尔吉斯、乌兹别克斯坦、土库曼、乌克兰及西部的波罗的海沿岸的维尔纽斯、立陶宛和白俄罗斯。根据在中亚地区等已知400多个水文钻的试验结果, 总结和研制出了一套正反演数学模型、计算机处理解释程序和水文地质解释方法。与此同时, 先后在澳大利亚、以色列、美国、法国、中国等国家和地区, 进行了大量试验, 试验结果表明核磁共振方法是目前世界上唯一的直接找水的地球物理新方法[4]。1991年俄罗斯创建了"水文地质层析成像公司", 利用他们研制的第二代找水仪开展水文、工程地质和环境方面的商务活动。在不同水文地质条件下进行了现场作业, 不仅检验了核磁共振找水仪的性能, 完善了解释方法, 而且取得了世界领先水平的研究成果。1992年, 在法国成功地演示了核磁共振找水方法。1994年法国购买了俄罗斯找水仪专利并开始研制地面核磁感应系统(nuclear magnetic induction system, 缩写为NUMIS)。

法国地调局(BRGM)与俄罗斯科学院新西伯利亚分院化学动力学和燃烧研究所(ICKC)合作, 由法国IRIS公司制造, 于1997年生产出6台NUMIS系统。法国IRIS公司研制的NUMIS系统是俄罗斯hydroscope的改进型, 仪器原理没有改变, 但在制造工艺、重量和抗干扰能力方面有许多改进[5]。到目前为止, 拥有核磁共振找水仪的国家有俄罗斯、法国、中国和德国。

我国有从事核磁共振找水技术研究的基础和实力。1992~1993年中国地质大学(武汉)核磁共振找水科研组对该方法进行了国内外调研, 1994年与莫斯科国立大学建立了校际科研合作联系。1995年底, 由原地矿部科技司与勘技院出资, 中国地质大学、航空物探和遥感中心组团专访新西伯利亚化学

收稿日期: 1999-03-11 **编辑**: 曲梅兰

第一作者简介: 潘玉玲, 女, 1938年10月生, 教授, 主要从事应用地球物理的教学和科研工作

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

动力学和燃烧研究所、莫斯科水文层析成像公司,确认了核磁共振找水方法的效果。1995～1996 年航空物探和遥感中心、中国地质大学完成了核磁共振找水方法效果的预研究项目。1997 年底中国地质大学(武汉)以"211 工程建设"经费引进了法国 IRIS 公司研制的、我国第一台NUMIS 系统,经过一年多的实践,用该系统在缺水地区找到了地下水。1999 年初国土资源部水文地质工程地质技术方法研究所又引进了一台NUMIS。

2 NMR 找水方法的原理及特点

2.1 原理概述

核磁共振是一种量子效应,是指具有核子顺磁性的物质选择性地吸收电磁能量。布洛赫方程是核磁共振的理论基础[6]。

从理论上讲,应用NMR 技术的唯一条件是所讨论物质的原子核具有非零磁矩,即在 H_2O 和 CH_4 等分子中电子磁矩成对相互抵消,电子的总磁矩为零,而在这些分子中只有原子核的磁矩。水中氢核(质子)具有足够大的磁矩,其核磁共振性质明显,在比较重要的 16 种物质原子核的NMR 效应中,氢核的NMR 效应实际应用处于首位[7]。

在稳定磁场作用下,原子核处于一定的能级。如果用适当频率的交变磁场激发它,可以使原子核在能级间产生共振跃迁,称为核磁共振。

在地面上用专用仪器设备拾取核磁共振信号,就可以探测到是否有地下水存在。因为核磁共振信号的初始振幅与所研究空间内自由水中质子的数量(含水量)呈正比,即在该方法探测深度范围内,在信噪比适宜的情况下,地层中有自由水存在,就有核磁共振信号响应,地层中含水愈多,核磁共振响应愈强。这样,就构成了有水就有反映,无水则无反映的直接找水新方法。

2.2 方法特点

与其它物探找水方法相比,核磁共振找水方法主要具有如下优点。一是能够直接找水,特别是找淡水,这是由方法原理决定的。在探测深度范围内,有水就有核磁共振信号显示,反之,没有反映。可以利用这一优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。如一些岩溶发育区,特别是西南岩溶石山缺水地区,当溶洞被泥质充填或含水时,电阻率法测量结果均显示为低阻异常,是泥是水难以区分。核磁共振方法不受泥质充填物干扰,是水就有核磁共振信号。淡水电阻率往往与其赋存空间介质的电阻率无明显差异,在这种情况下用电阻率法找水是无能为力的,而核磁共振方法却可直接探测出淡水。二是信息量丰富,具有量化的特点。核磁共振方法可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,可以给出定量解释结果,不打钻就可以确定出含水层的深度、厚度、含水量,并可提供含水层平均孔隙度的信息。三是经济、快速。完成一个核磁共振测深点的费用仅为一个水文地质勘探钻孔费用的十分之一,可以快速地提供井位及划定找水远景区。

但是,由于核磁共振找水仪的接收灵敏度高,可以接收纳伏级的信号,所以易受电磁噪声干扰,这是该方法的一大缺点。目前,主要通过改变天线形状和增加信号叠加次数来提高信噪比。

3 应用效果和发展趋势

目前世界上有两种类型的核磁共振找水仪:俄式 hydroscope 和法制NUMIS。核磁共振找水方法应成为开展水文地质调查的首选新方法。在俄罗斯NMR 方法已成为常规找水方法,在我国则为新的找水方法。中国地质大学(武汉)核磁共振科研组在一年多的时间内,将其成功地用于找水实践并初见成效。

3.1 在缺水区找到地下水

一年多来,中国地质大学(武汉)核磁共振科研组,利用NUMIS 系统先后在河南、湖北、广西、北方缺水地区找到了地下水。

(1)在沉积地层中探查到孔隙水　1998 年 3 月,在河南西平县老王坡使用NUMIS 系统测量的结果,与钻孔资料探明的含水层一致,仅是解释结果与实际含水层顶板深度相比偏浅一点,这是由于含水层上覆层为低阻亚粘土所致。1999 年 6 月,在广西壮族自治区南丹县八圩乡严重缺水区探查出了地下 60 m 深处的孔隙水,已被钻探所证实。

(2)NMR 方法找到岩溶水　湖北永安地区向集镇被前人认为是非含水区,1998 年 6 月在此使用NMR 方法探查到了优质的岩溶水[5]。经过实际钻探打出两层水质很好的承压水,每口井日出水量均在1 000 t以上,从此结束了当地居民祖祖辈辈吃浑水的日子,同时为农牧业发展提供了用水。实际钻探结果与核磁共振测深解释结果符合甚好,表明了核磁共振方法找水的有效性。

(3)NMR 方法找到基岩裂隙水　1998 年 4 月在湖北省孝感北面把山电站工区找到了基岩裂隙水(图 1)。由图 1 可见,NMR 测深解释结果表明,在 52.2～81.1 m 深处,存在含水层。经钻探证实,在此

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

核磁共振测量结果

深度/m	含水量/%	衰减时间/m s
0. 0～1. 0	0. 00	100. 0
1. 0～2. 0	0. 00	100. 0
2. 0～3. 0	10. 16	542. 7
3. 0～4. 0	0. 00	100. 0
4. 0～5. 0	0. 00	100. 0
5. 0～6. 0	0. 00	100. 0
6. 0～7. 0	0. 00	100. 0
7. 0～8. 0	0. 00	100. 0
8. 0～9. 0	0. 00	100. 0
9. 0～10. 0	0. 00	100. 0
10. 0～11. 2	0. 00	100. 0
11. 2～14. 0	0. 00	100. 0
14. 0～17. 4	0. 00	100. 0
17. 4～21. 7	0. 00	100. 0
21. 7～27. 0	0. 68	1000. 0
27. 0～33. 7	0. 00	100. 0
33. 7～41. 9	0. 00	100. 0
41. 9～52. 2	0. 00	1000. 0
52. 2～65. 1	2. 78	466. 4
65. 1～81. 1	6. 03	180. 1
81. 1～100. 0	0. 04	30. 0

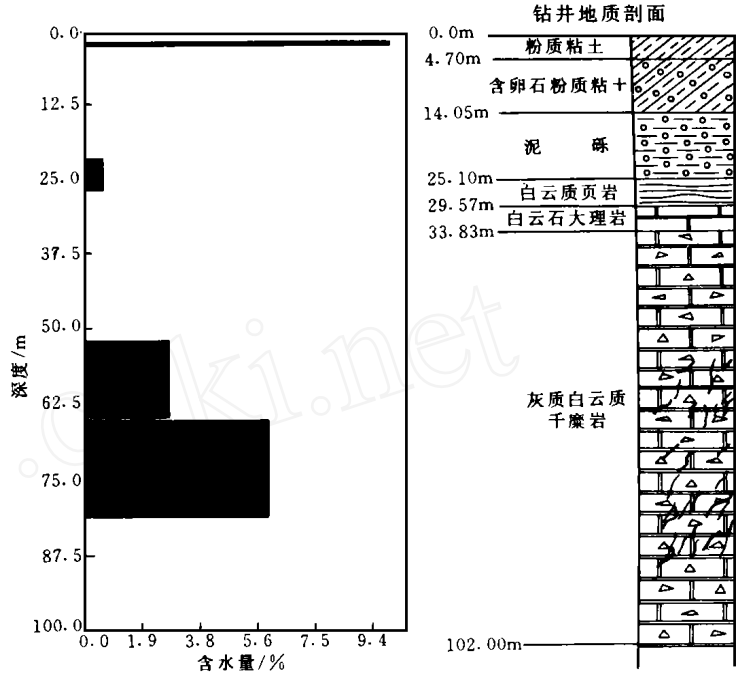


图 1　NMR 测深解释结果与钻孔资料对比图

Fig. 1　Contrast diagram of the NMR and drilling result

深度段内, 基岩(灰质白云质千糜岩)裂隙发育, 透水性好, 与NMR 测深结果符合甚好。为三峡水电站输送电网的把山电站提供了生产、生活、消防用水。

(4) 复杂条件下联合找水　1999 年 7 月, 中国地质大学(武汉)与解放军某部给水工程团合作, 在北方缺水地区开展了联合找水工作。利用NMR 方法并结合电阻率法, 指出了找水远景区, 确定了水井孔位(目前正在打井), 同时探索了在火山岩发育区或存在磁性体的情况下如何开展NMR 方法找水的问题, 对今后在复杂条件下利用NMR 方法找水有参考价值。

3.2　发挥高校人才优势将生产实践与科研相结合

在实践和理论研究中形成了老中青相结合的科研队伍, 促进了教学内容改革和人才培养, 初步建立起核磁共振找水方法的合理工作程序。在科研方面: ①对含水层上方NMR 信号幅值影响因素——地层导电性、天线大小、激发脉冲矩变化进行了正演计算, 这些结果指导了NUMIS 生产实践; ②探讨了压制电磁干扰的方法, 提高了观测质量; ③进行了综合解释, 对各种找水方法进行了找水信息的综合分析, 提高了NMR 资料解释的可靠性。

3.3　发展趋势

3.3.1　扩大NMR 找水方法的应用领域　国内外NMR 找水方法的实践证明, 该方法不仅可以探查各种类型的地下水, 而且可与时间域电磁法(TDEM)或电阻率法配合, 根据地下各含水层电阻率值的变化来评价水质。此外, 还可以用来确定某些含有氢核(烃类)污染物的污染范围和污染程度, 在水环境监测和保护方面发挥应有的作用。

3.3.2　提高NMR 找水仪抗电磁干扰的能力　提高NMR 找水仪的信噪比是研究新一代找水仪的攻关课题。由于NUMIS 系统可以接收纳伏级(nV)的核磁共振信号, 所以对电磁噪声十分敏感。为了提高信噪比, 原则上应从研究场的激发、接收方式入手, 引进弱信号处理和增强技术, 突出有用信号。除电磁噪声干扰外, 当测区及其附近存在局部磁性体时, 将严重干扰NMR 测深的效果。因此, 研究非均匀磁场情况下的NMR 找水测量方法, 也是一个重要课题。

3.3.3　NMR 找水方法的探测深度　在俄罗斯, NMR 找水方法的探测深度可达 200 m。目前, 我国引进的NUMIS 系统天线长度为 300 m, 可以发现深度在 130 m 以内的含水层, 通常能够满足民用水井和农牧业用水的水源问题。但是, 为了探测更深的含水层, 则有待进一步研究。然而, 在解决水文、工程地质方面的问题时, 要求了解几十米、甚至几米以内地下浅表层的含水情况, 则发射天线长度要小, 与之配套的仪器的技术参数也要相应改变, 以满足市场需求。

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

参考文献:

[1] Varian R H. Ground liquid prospecting method and apparatus [P]. US patent 3019383, 1962

[2] Семенов А Г. Устройство для измерения параметров залежей подземных минералов[J]. ВИ, 1988, (13): 270

[3] Хмелевской В К, Чесанов В Л. Поиск подземных вод методом ядерно магнитного резонанса. Вестник Московского государственного университета[J]. сер 4, Геология, 1989, (6): 79- 83

[4] 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): 343- 347

[5] 万乐, 潘玉玲. 利用核磁共振方法探查岩溶水[J]. CT 理论与应用研究, 1999, (3): 15- 19

[6] 陈云升. 核磁共振地球物理仪器原理[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 13- 24

[7] Beauce A, Bernard J, Legchenko A et al. Une nouvelle méthode géophysique pour les études hydrogéologiques: l'application de la résonance magnétique nucléaire[J]. *Hydrogéologie*, 1996, (1): 71 - 77

CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT TREND OF DETECTING UNDERGROUND WATER WITH NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE

Pan Yuling Wan Le Yuan Zhaoling Li Zhenyu

(*Department of Geophysics, China University of Geosciences, Wuhan*, 430074, *China*)

Abstract: Detecting of underground water with nuclear magnetic resonance technology has only a more than 20 years' history. Modern conditions, principles and application of NMR method are briefly introduced in this paper. Several cases in detecting underground water with NMR method, carried out by NMR Group of China University of Geosciences, Wuhan, in some provinces of China are discussed. Finally the perspective of this method for underground water detecting is indicated.

Key words: nuclear magnetic resonance (NMR) technology; underground water detecting; trend

---

(上接第104页)

APPLICATION OF SEISMIC INTERVAL VELOCITY IN BASIN ANALYSIS

Zhang Erhua Fan Tuzhi Ma Lixiang

(*Faculty of Earth Resources, China University of Geoscieces, Wuhan*, 430074, *China*)

Abstract: The application of seismic interval velocity in depositional basin analysis is discussed. The principle about velocity analysis is expounded. The method on lithology analysis with relative residual interval velocity is introduced. With an actual example, the application effect of interval velocity analysis is illustrated. It is pointed out that interval velocity profile may show clearly the structural phenomenon. Interval velocity plane may be applied reliably to basin structural analysis, and relative residual interval velocity plane may forecast effectively lithology variation. This provides a reliable foundation for the sedimentary facies and sedimentary system analysis.

Key words: interval velocity; residual interval velocity; lithology prediction; basin analysis

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