核磁共振技术在煤矿突水监测中应用的设想

王应吉[1],孙淑琴[1],李 伟[1],王泽恒[2]
(1.吉林大学 地球信息探测仪器教育部重点实验室,吉林 长春 130061;2.吉林大学 物理学院,吉林 长春 130061)

摘 要:核磁共振找水是目前世界上唯一的直接找水新方法。在该方法的探测深度范围内,有一定规模的自由水存在,就有核磁共振信号响应。反之,就没有响应。目前探测深度已可靠达到150 m,完全可以满足煤矿坑道富水构造探测的需要。概括了目前用于煤矿突水预测的几种主要方法。介绍了核磁共振找水技术的发展历程、现状、工作原理、工作方法及仪器设备现状。对将核磁共振找水技术用于煤矿突水预测中的一些关键技术难题提出了解决方案。

关键词:突水预测;核磁共振;探测深度;找水仪
中图分类号:TD745+.2 **文献标识码**:B **文章编号**:1003-496X(2007)09-0066-04

近年来,核磁共振(NuclearMagnetic Resonance,缩写为NMR)技术在探测地下水工作中获得了广泛的应用,是目前唯一直接找水的新方法,具有分辨力高、找水效率高、信息量丰富和唯一解的特点[1]。研究将核磁共振技术应用于煤矿突水预测,具有非常重要的意义。

1 煤矿突水预测方法现状

目前,用于煤矿突水预测的主要有直流电法、瞬变电磁法、地震探测、地质雷达等方法。直流电法:以煤、岩层及其富水带的导电性差异为基础,通过人工向地质体供入稳定电流,观察大地电流场的分布状况,从而确定岩、矿体物性及其赋水性的分布规律或地质构造特征[2]。直流电法的缺点是体积效应,影响资料解释中对异常区(体)具体方位的准确判断。

瞬变电磁法:属于感应类电法。利用不接地回线发射一次磁场,在一次磁场的间歇期间利用不同回线接收二次感应磁场。该二次电磁场是由被测范围内良导体受激励引起的涡流所产生的非稳恒磁场。瞬变电磁法对低阻反映敏感,探测深度大,适宜于区域性富水区域的初步探测。缺点是大深度探测时纵向分层能力较差[3]。

地质雷达:在已破坏和未破坏的岩层分界面处,形成了两种介质。已破坏的岩层对电磁波吸收较大,电磁波速小。未破坏的岩层对电磁波吸收较小,电磁波速较大。在雷达剖面上,已破坏的岩层和未破坏的岩层会产生明显的界面[4]。但雷达方法有多解性,特别是被探测岩体的相对介电常数的取值将直接引响到探测结果的精度[5]。

地震探测:在岩体结构松动破碎区,地震波波速较小而振幅衰减较快,反之,在岩体结构较完整区,地震波波速较大、振幅衰减较慢。破坏范围的岩体与其周围未破坏的岩体结构不同,它们之间形成一个明显的波阻抗界面。可以利用地震波频率波速的变化曲线来划分不同的工程地质区[4]。

此外还有放射性测量、红外探测、遥感技术等方法,但探测深度都比较小,无法达到突水预测的安全深度。以上诸方法均无法区分电性相同的异类物质,如泥和水。而核磁共振找水技术是目前世界上唯一的直接找水技术。在该方法的探测深度范围内,有一定规模的自由水存在,就有NMR信号响应。反之,就没有响应。目前探测深度已可靠达到150 m,完全可以满足煤矿坑道富水构造探测的需要。

2 核磁共振找水方法的应用回顾

利用核磁共振技术寻找地下水首创于前苏联[6]。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研究。他们利用3 a时间研制出了世界上第一台在地磁场中测定核磁共振信号的仪器,称为核磁共振层析找水仪(Hydroscope)。此后,他们根据在中亚地区等400多个已知水文站的对比实验,总结和

基金项目:国家自然科学基金科学仪器专项基金资助项目(40127003)

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

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,取得了世界领先水平的研究成果。1994年法国地调局 (BRGM) IRIS公司购买了俄罗斯找水仪专利,并与 ICKC合作,研究新型的核磁感应系统 (NuclearMagnetic Induction System,缩写为 NUMIS)。1996年春生产出 6套 NUMIS系统。1999年 IRIS公司将勘探深度为 100 m的 NUMIS系统升级为勘探深度为 150 m的 NUMIS^{Plus}。2003年 IRIS公司又推出了轻便型勘探浅层深度的 NUMIS^{Lite}。

1992 - 1996年中国地质大学 (武汉)核磁共振找水科研组、航空物探和遥感中心对核磁共振找水方法进行了国内外调研,1997年引进了第一台 NUMIS系统,经过 1 a的实践,用 NUMIS在缺水地区找到了地下水[7]。从此,国内几家单位引进了数台 NUMIS系列找水仪,获得了很好的找水效果。

2001年科技部在国家"十五"《科学仪器研制与开发》项目中首次设立了"核磁共振找水仪的研制与开发"项目。由于一些原因,国家十五期间没有启动该课题。但吉林大学成立了以林君教授为首的核磁共振找水仪研制小组,从 2002年开始自筹资金开展核磁共振找水仪原理样机的研制及野外实验研究。2004年 10月 23日,项目组利用自行研制的核磁共振找水仪样机,在长春市新立城腰高家窝堡西 500 m处进行野外找水实验。成功测到了 NMR信号,其解释结果与当地水文资料相吻合[8]。2006年科技部在"十一五"国家科技支撑计划重大项目《科学仪器设备研制与开发》项目中再次设立了"核磁共振找水仪的研制与开发"项目。2007年 1月,吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室正式开始了此项目的研究[9]。

3　核磁共振找水方法的原理、特点及工作方法

3.1　方法原理

核磁共振是指当射频磁场的频率满足一定条件时,原子核系统中的核子在稳定磁场和射频磁场的共同作用下,吸收射频磁场的能量产生共振跃迁[10]。理论上,应用 NMR技术的唯一条件是所研究物质的原子核磁矩不为零[11]。水中氢核具有核子顺磁性,其磁矩不为零。氢核是地层中具有核子顺磁性物质中丰度最高、旋磁比 B_0最大的核子。在稳定的地磁场 B_0作用下,氢核象陀螺一样绕地磁场方向旋进,其旋进频率 (称为拉莫尔频率) f_0与地磁场强度 B_0、旋磁比 γ关系为 (γ为一常数)[10]

$$f_0 = \frac{\gamma B_0}{2\pi} \tag{1}$$

如果以具有拉莫尔频率 f_0的交变磁场 $B_1(\omega_0)$对地下水中的质子进行激发,即可产生核磁共振现象。如图 1所示。

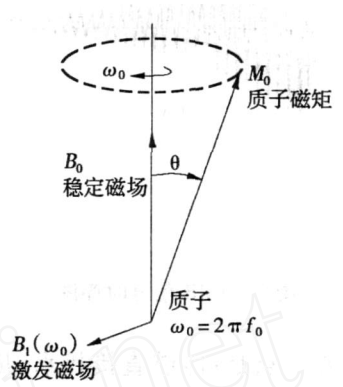


图 1　质子磁矩在磁场作用下的旋进运动

在 NMR方法中,通常向铺在地面上的线圈 (作为发射并接收线圈,如图 2所示)中供入频率为拉

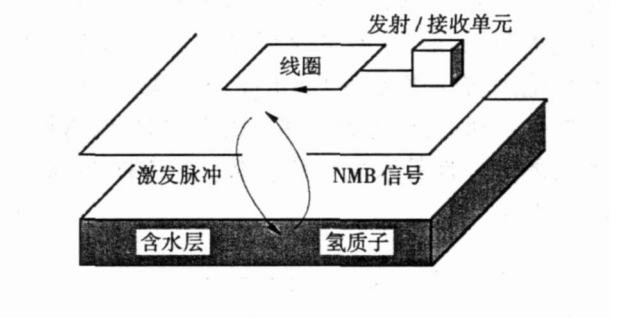


图 2　地面 NMR找水方法原理示意图

莫尔频率、包络为矩形的交变电流脉冲 (如图 3a所示),在周围形成交变磁场,激发周围水中的氢核形成宏观磁矩,该磁矩在在地磁场中产生拉莫尔频率旋进运动。如图 1所示。在切断激发电流脉冲后,用同一线圈拾取由激发电流脉冲激发的 NMR信号 (如图 3b所示)。用 $q = I_0\tau$表示电流脉冲矩,其中 τ为矩形电流脉冲持续时间。q由小到大可使探测深度由浅变深;E_0为 NMR信号的初始振幅,它的大小反映所对应深度的含水层的含水量;E_0为 NMR信号衰减时间,其大小反映含水岩层的平均孔隙度的大小;Φ_0为 NMR信号与激发电流之间的相位差,它反映地下岩层的导电性情况[12]。

3.2　方法特点

NUMIS系统是一种大功率发射,高灵敏度接收,激发、接收、数据处理、方法解释智能化自动运行

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

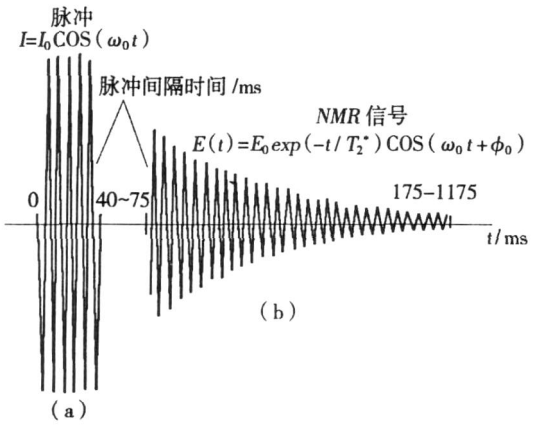


图 3 NMR信号时序图

的装置。主要优点是:能够直接找水;量化反演解释;经济、快速。缺点是:由于在拉莫尔频率范围内高灵敏度接收,易受工业电等形成的电磁谐波噪声干扰。在坑道中应用时会存在体积效应。

3.3 工作方法

根据工作区域,首先确定其地磁场强度 B_0,再根据工作任务、工区的水文地质和电磁干扰情况选择天线类型(圆形,方形,8字形等)和测量参数(测量深度范围、叠加次数等)。由此,NUMIS系统便可以智能化自动运行,得到该测点的含水量、渗透性、含水层的导电性等水文地质参数。NUMIS各部件连接见图 4。

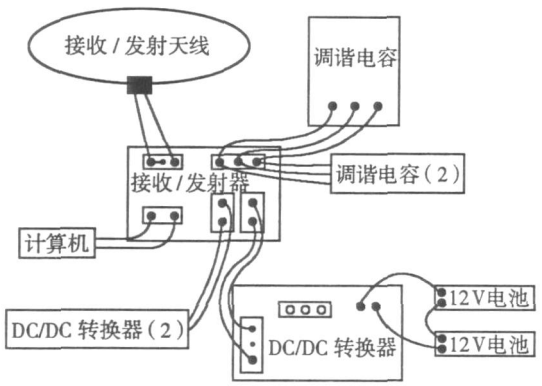


图 4 NUMIS系统各部件连接图

4 核磁共振找水仪器现状

目前在核磁共振找水仪器研制方面,法国 IRIS公司是唯一商品仪器制造厂家,世界各国使用的都是该公司的产品,惟有俄罗斯在使用他们自己研制的核磁共振层析找水仪(HYDROSCOPE^{3B})[13]。目前直接探察地下水的商品仪器是 NUMIS^{Plus}和 NUMIS^{Lite}。NUMIS^{Plus}的特点是发射功率大、探测深度大;NUMIS^{Lite}体积小、重量轻,适用于浅部测水。

进口的仪器在使用中表现出一些无法克服的缺点:一是价格昂贵;二是仪器出现故障时维修不及时(需要返回法国 IRIS公司);三是对于一些特殊用途,无法及时改进。鉴于这些,国内有关专家呼吁尽快加速仪器的国产化进程,形成民族化的找水产业[13]。目前吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室所承担的"十一五"国家科技支撑计划重大项目"核磁共振找水仪的研制与开发"是国内唯一正式立项研制核磁共振找水仪的项目。在前期研究中,研究人员已经成功地测到了核磁共振信号[8]。按照项目计划,将核磁共振找水方法与瞬变电磁法(TEM)相结合,力求突破 150 m测深瓶颈。目前研究人员正在紧张地进行项目研究。该实验室的前身是原长春地质学院仪器系科研室,曾经成功研制出国内第一台核子旋进磁力仪并获国家发明奖。在光泵磁力仪、磁通门磁力仪、超导磁力仪、激电仪、航电仪、大地电磁测深仪、瞬变电磁仪、可控震源等研制与生产方面也有丰硕的成果。

5 核磁共振测水方法用于煤矿突水预测的设想

NMR方法受地质因素影响小。例如,用电阻率法和电磁测深法卡尼亚视电阻率在某一范围内无法区分裂隙中泥质充填物和自由水,而 NMR方法可以清楚地显示出他们的界线。

可能给煤矿坑道造成突水灾害的水,必须有一定的量,必须在坑道附近不远的范围内,必须有一定的破碎带、裂隙、断层、岩溶陷落柱、疏松带、废弃坑道等地质或人为构造。这些都是可以用核磁共振测水方法准确地探测清楚的。按照目前的核磁共振测水技术,需要进一步研究解决的一是天线在坑道中的布设方法;二是所测到的富水构造的方位确定问题。换言之,在地面可以任意大小地铺设的天线,而在空间受到限制的坑道内需要研究如何设计与铺设天线才能测到 NMR信号。但铺设天线的最佳方向是使其法线垂直于地磁场方向。这在上下左右都可以悬挂的坑道内,可能又有地面上无法做到的优势。只要投入一定的研究与实验,方位确定问题也是可以解决的。例如,在确定某点有 NMR信号后,用地质雷达便可准确地确定其方位。实际上,所有地质探测问题都需要地质、物探、水文、钻探等方法配合应用,综合解释。

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

6 结 语

核磁共振找水技术是目前世界上唯一的直接找水技术,可以清楚地探测到 150 m范围内含水构造的含水量、导水条件(渗透率)。将此技术用于煤矿突水预测,将会极大地提高预测的速度与准确性。目前国内对这项技术的研究,无论是方法解释还是仪器研制及应用都达到了一定的先进水平,为将核磁共振技术应用于煤矿突水预测研究奠定了基础。

参考文献:

[1] 尹成勇,潘玉玲. 核磁共振技术在找水中的应用[J]. 地下水,1996,18(4):158 - 160.

[2] 郭 纯,李文军,刑文平. 直流电法探测技术在煤矿防治水方面应用的研究[J]. 河南理工大学学报,2005,24(6):339 - 442.

[3] 高致宏,林 平,梁 爽. 煤矿水患预测的有效手段[J]. 煤炭技术,2003,22(9).

[4] 王希良,彭苏萍,郑世书. 深部煤层开采高承压水突水预报及控制[J]. 辽宁工程技术大学学报,2004, 23(6):758 - 760.

[5] 白明洲,许兆义,王 勐,等. 长大隧道施工过程中突水突泥灾害预测预报技术研究[J]. 公路交通科技,2005,22(6):123 - 126.

[6] 潘玉玲,Jean BERNARD,李振宇,等. 轻便新型核磁共振找水仪及其在堤坝监测中的应用[J]. 大坝与安全,2004(1):27 - 29.

[7] 潘玉玲,张昌达. 地面核磁共振找水理论和方法[M]. 北京:中国地质大学出版社,2000.

[8] 张小华,林 君,王应吉,等. 地面核磁共振(NMR)找水仪发射机的研制[J]. 仪器仪表学报,2006,27(7):689 - 692.

[9] 公告:"十一五"国家科技支撑计划科技条件领域"科学仪器设备研制与开发"等五个项目课题承担单位遴选情况[EB/OL],2007. 01 - 07.

[10] 孙淑琴,林 君,张庆文,等. 氢质子弛豫过程[J]. 物探与化探,2005,29(2):153 - 156.

[11] 李振宇,潘玉玲,张 兵,等. 利用核磁共振方法研究水文地质问题及应用实例[J]. 水文地质工程地质,2003. 4.

[12] 万 乐,袁照令,潘玉玲. 地面核磁共振感应系统(NUMIS)及其在找水中的应用[J]. 物探与化探,1999(10):330 - 334.

[13] 李振宇,高秀花,潘玉玲. 核磁共振测深方法的新进展[J]。CT理论与应用研究,2004,13(2):6 - 10.

作者简介:王应吉(1956 -),男,山西孝义人,1982年毕业于原长春地质学院仪器系,现任吉林大学仪器科学与电气工程学院副教授,多年从事地质仪器研究,发表多篇论文。

(收稿日期:2007 - 03 - 16;责任编辑:郭瑞年)

·国外煤矿安全信息·

回采工作面与开切眼的距离对瓦斯涌出的影响

增大正在作业和已采工作面采空区宽度使回采工作面与开切眼之间的距离减小,这样,能向钻孔涌入更大的瓦斯量。在岩层整个采动以后(在地面形成移动的平坦地槽),对于同一矿山地质条件这个距离是固定的。当回采工作面离开开切眼时,增大岩层的采动程度使钻孔的最大瓦斯涌入量降低。当井区第一个工作面作业时或者在岩层没有整个采动时,只用开切眼上部的钻孔不能保证抽放瓦斯的最大效果。在这种情况下,在离开切眼的某一距离处必须向受到回采工作面作业影响岩层地带增多抽放瓦斯钻孔。在采区中初始最大瓦斯涌出不是总能超过最大值。其比值取决于矿区回采作业开展的程度:顶板的地质构造和性质,岩体的初始陷落和随后错动情况。当回采工作面从开切眼向前推进时,为了有效的防治瓦斯应当考虑到保护钻孔不被破裂的方法,采区和整个矿井开采作业进展的程度,以及邻近采区回采时初始和第二推进带的分布情况。

摘自 《УГОЛЬ УКРАИНЫ》 2006 No. 10

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