

利用核磁共振方法探查基岩裂隙水*

潘玉玲 李振宇 万 乐 袁照令

(中国地质大学地球物理系, 武汉, 430074, E-mail: fltang@cug.edu.cn)

摘 要: 基岩裂隙水是我国分布最为广泛的地下水类型之一。本文阐述了基岩裂隙水的特点: 含水层产状不规则、其赋存空间介质不均匀、同一含水层埋深不同、地下水运动状态复杂等。这些特殊的地质、地球物理特征, 给常用的物探找水方法带来许多困难。本文通过对直接找水的新方法—核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance, 缩写为 NMR)测深与间接找水的电阻率测深的对比分析, 论述了 NMR 测深直接找水的实质。并以实例说明了 NMR 测深在探查基岩裂隙水中的应用效果。

关键词: 核磁共振方法 探查 基岩裂隙水

Detecting Bedrock Fissure Water With Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Method

PAN Yuling LI Zhenyu WAN Le YUAN Zhaoling

(China University of Geosciences, Department of Geophysics, Wuhan, 430074, E-mail: fltang@cug.edu.cn)

ABSTRACT: Bedrock fissure water is one the groundwater types, distributed widely in China. In this paper such features of bedrock fissure water as abnormality of aquifers in occurrence, nonhomogeneity of space environment in which they occurred, difference of the same aquifer in occurrence depths, and complexity of groundwater motion conditions are described. These special geological and geophysical features bring difficulties to conventional geophysical methods of detecting groundwater. By contrast of the new NMR directly detecting water method with resistivity method of indirectly detecting water, the nature of NMR detecting water method is elucidated, and effect resulted from using NMR sounding to detect bedrock fissure water shown with some examples.

Key words: Nuclear Magnetic Resonance, Detecting Method, Bedrock fissure water

基岩裂隙水是我国分布最为普遍的地下水类型之一。我国地域广阔, 裸露和半裸露的基岩山区面积很大, 约占全国面积的三分之二。山区广泛发育的泉, 溪沟和河网常年地排泄地下水, 形成稳定的河川基流, 大部分补给平原第四系含水层。基岩本身也储存着相当丰富的地下水资源, 仅四川省统计的基岩裂隙大泉、暗河就有 2500 多个^[1], 年径流量约 100 多亿方。但是, 过去对基岩裂隙水的研究很少, 我国老、少、边、穷地区缺水状况一直没有明显改善, 制约了地区建设和人民生活改善。因此, 在探查其它类型的地下水同时, 应当重视基岩裂隙水的探查工作。

1 基岩裂隙水的地质、地球物理特点

基岩裂隙水的特点是: ①基岩裂隙含水层产状往往是不规则的, 因该含水层(带)完全受各种裂隙发育带产状控制, 除风化裂隙水一般属层状含水层外, 构造裂隙带水和接触裂隙带水的产状是很不规则的; ②基岩裂隙含水层(带)的空间介质的非均质性, 在物理性质上往往表现为非各向同性; ③由于受地质构造和地形、地貌条件控制, 基岩裂隙水含水层的埋深不一, 其中基岩断裂带脉状含水层埋深大, 但其储量往往不大, 仅做为中小型供水水源。由于埋藏深度大并有断裂与深部沟通, 往往伴生着地热资源; ④基岩裂隙地下水的动力学性质不同于第四系均质孔隙水, 有

*1999-11-18 收到本文稿。

它特殊性。一般埋藏在同一岩层中的地下水,不一定都具有一个统一的地下水位,运动状态较复杂。

基于基岩裂隙水产出的特殊地质、地球物理特征,往往用常规的地球物理找水方法难以奏效,找水效果欠佳。

随着科学技术飞跃发展,近二十年来,核磁共振(NMR)技术应用于探查地下水,形成了一种直接探查地下水的地球物理新方法,并在找水实践中取得了明显的地质效果。中国地质大学(武汉)用核磁共振找水方法在我国缺水地区找到了孔隙水^[2]、岩溶水^[4]和基岩裂隙水。本文将通过直接、间接找水方法的对比分析,论述了直接找水的 NMR 方法的实质,并以实例说明核磁共振方法探查基岩裂隙水的效果。

2 核磁共振方法直接找水的实质

在自然界元素的同位素中将近一半能够产生核磁共振^[5],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。在地层所含元素中,氢核的旋磁比最大,且具有较高的丰度,因此,人们能够探测到氢核的核磁共振信号。核磁共振信号的强弱取决于氢核的数量、核角动量和磁矩以及它所处的环境等因素。

地面核磁共振找水方法又称为地面 NMR 测深,我们通过与垂向电测深(VES)的简单对比(见表1),说明核磁共振技术直接找水的实质。

表1 NMR 测深与 VES 测深比较 Tab.1 Contrast table of NMR sounding with VES

比较内容 Contrast Item	NMR 测深	VES
原理 (物性前提)	原子核弛豫性质差异	导电性差异
场的激发方式	线圈中通入脉冲电流: $I(t) = I_0 \cos(\omega_0 t)$	通过电极接地供入稳定或交变电流
加大深度的可变参数	改变激发脉冲矩: $q = I_0 t$ I_0 为脉冲电流幅值 t 为脉冲电流持续时间	改变供电电极距(AB/2)
测量方式与测量参数	脉冲间歇期间用线圈接收 NMR 信号: E_0 , Φ_0 , T_2^*	在供电期间测量电位差、电流,得到视电阻率
反演后可提供的参数	各含水层的体积含水量、深度和厚度以及平均孔隙度信息	地下岩层的电阻率,即电性结构

2.1 由表1可知:NMR 测深找水的原理在于利用了原子核弛豫性质的差异产生的核磁共振响应。通过专用的核磁共振找水仪,在地面上直接测量由地下水中氢核(质子)产生的 NMR 信号,分析 NMR 信号变化规律,进而直接查明是否有地下水存在。也就是说,在 NMR 测深的探测深度范围内,在信噪比适宜的情况下,地层中有自由水存在,就有 NMR 信号响应,地层中含水(氢核)越多, NMR 信号就越强,反之,没有反映。这样,就构成了一种直接找水的地球物理新方法。而电阻率法则基于研究由岩、矿石导电性差异形成的视电阻率异常的变化规律,往往含水地层与低阻岩层均可以产生低阻异常,这样就造成电测深资料反演解释结果的多解性。而 NMR 方法受地质因素影响小,可以用来区分视电阻率的非水假异常。

2.2 NMR 测深通过加大激发脉冲矩($q = I_0 t$)来加大勘探深度:供电瞬间(几十 ms 内)输出电流可达 300~450A、电压可达 3000~4500V,天线(线圈)直径为 100~150m 时,探测深度可达 100~150m。

2.3 NMR 测深测量方式:是在电流脉冲间歇期间用线圈(发射、接收为同一线圈,通过转换开关切换)接收 NMR 信号,其属纯异常观测,受地形和地质因素干扰小。VES 测深在供电期间观测,地形和电性不均匀体可产生假异常。

NMR 测深测量的是与含水层特征有关的参数：①自由感应衰减信号的初始振幅 $E_0(mV)$ ， E_0 值大小与含水量成正比；②质子的自旋—自旋弛豫时间（又叫衰减时间） T_2^* (ms)， T_2^* 值变化可以反映含水层平均孔隙度的变化；③NMR 信号的初始相位 ϕ_0 ， ϕ_0 反映岩石导电性变化，导电性好， ϕ_0 值大。而 VES 测深测量的是视电阻率，它是地下电性不均匀体的综合反映，是水还是其它地质因素所为，有待分辨异常，这就是电阻率法找水的间接性所在。

2.4 NMR 测深资料经过反演解释后:不打钻便可提供各含水层的含水量、深度和厚度以及平均孔隙度的信息。这种量化特点是其它物探找水方法不能比拟的。目前，NMR 测深可以分辨出 1m 厚的含水层，这种分辨力由浅到深逐渐降低（见图 1 (a)）。VES 测深反演结果得到地下各电性层的电阻率（电性结构），电阻率值变化与许多因素有关。电阻率异常尚不能直接指示地下水的存在与否，即反演多解性给实际工作带来许多不便和损失。

3 应用实例

我们利用核磁共振找水方法^[4]先后在湖北、北方缺水区找到了基岩裂隙水

图 1 是湖北某地 NMR 测深资料解释结果与钻井地质剖面对比图。

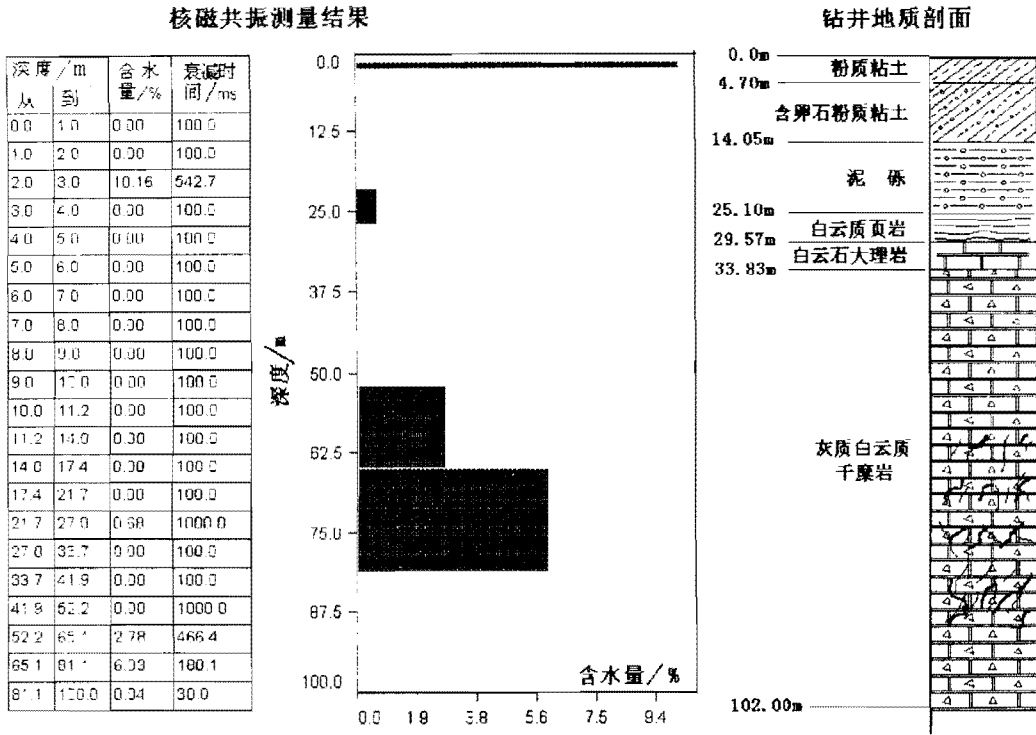


图 1 湖北某地 NMR 测深资料解释结果与钻井地质剖面

Fig.1 Contrast diagram of NMR interpretation results with drilling data

图 1(a)、(b)是核磁共振测深解释结果，图 1(a)是各含水层的起止深度、含水量（%）、NMR 信号衰减时间 T_2^* (ms)。图 2(b)是 NMR 解释结果的柱状图（纵坐标为深度(m)，横坐标为含水量(%)），(a)、(b)结果表明，该测深点反映出地下有 2 个颗粒不同的主要含水层。

第一含水层位于 52.2~65.1m 深处，其含水量为 2.78%， $T_2^*=466.4ms$ 。

第二含水层位于 65.1~81.1m 深处，其含水量为 6.03%， $T_2^*=180.1ms$ 。

经我们建议施钻后打到了地下水。该测深点处的钻井地质剖面见图 1(c)。由图 1(c)可见, 该工区基岩为灰质白云质千糜岩, 在 60m~90m 深度段基岩裂隙发育, 透水性好。90~100m 为致密基岩, 终孔 101m (未见底)。抽水试验持续 76 小时, 出水量为 348m³/d, 大于用户要求。

此外, 我们在北方缺水地区某地风化花岗岩基底中也用 NMR 方法找到了基岩裂隙水。

综上所述, 在复杂地电条件下, NMR 找水方法发挥了直接找水作用。我们深信, NMR 找水方法在我国基岩裂隙水地下水的预测、普查、勘探中一定会起到更大的作用。

参考文献

- [1] 卢金凯编著. 基岩裂隙水的野外调查方法. 北京: 地质出版社, 1985, 122~123
- [2] 潘玉玲, 张昌达. 核磁共振技术应用的新领域—探查地下水. CT 理论与应用研究, 1999, 8(4): 5~8
- [3] 李振宇, 潘玉玲. 地面核磁共振找水方法的效果浅析, 中国地球物理学会年刊, 1999, 141
- [4] 万乐, 潘玉玲. 利用核磁共振方法探查岩溶水. CT 理论与应用研究, 1999, 8(3): 15~19
- [5] 石油测井情报协作组编. 测井新技术应用. 北京, 石油工业出版社, 1998, 134

作者简介: 潘玉玲 女, 1938-05 月出生; 教授。曾获国家级优秀教学成果奖; 湖北省优秀教学成果一等奖; 二等奖各一项。先后主讲《普通物探》、《电法勘探》、《环境物探》等课程获得 1997 年湖北省优质课程 (申报人)。近十年来, 先后主持完成地矿部重点科研项目 6 个, 获地矿部科技成果三等奖两项 (均排名第一)。她主编《金刚石物探》文集 1 部; 公开发表文章 30 多篇。1995 年获湖北省高校优秀女职工称号。1993~1996 年主持完成了地矿部“NMR 找水效果预研究”项目。1997 年引进了法国 NUMIS 系统。目前正在主持国土资源部重点科研项目 (9505111) 中的“用核磁共振方法区分岩溶充填物性质”课题研究, NMR 找水方法在中国已见成效。

Brief Introduction for the 1st Author:

PAN Yuling was born in October, 1938. She is a professor and person in charge of nuclear magnetic resonance (NMR) detect groundwater scientific research group in China University of Geosciences (Wuhan). As a director of teaching and research section professor PAN has worked on the first line of teaching and research works for a long time and won an outstanding teaching and research achievement prize of the state level, a first and a second degree teaching and research achievement prizes of Hubei province and given lectures on "General Geophysics", "Prospecting Deposit with Geophysical Methods" and other subjects. For the last 10 years she has taken charge of and finished 6-key scientific projects of Ministry of Geology and Mineral Resources and won two third degree prizes of MGMR in scientific achievement, wrote and edited monograph "Prospecting Diamond Deposit with Geophysical Methods" and published more than 30 scientific articles. In 1992 professor PAN started organize NMR detect groundwater scientific group and began to work.

In 1995~1996 she took charge of and finished the project of MGMR "NMR detect groundwater effect preliminary research". In 1997 professor PAN took charge of and introduced hydroscope equipment worked out and made in France. At present she takes charge of the key project of MGMR "Differentiating character of fills in karst caves with NMR method", and the scientific group led by her gets good results in using NMR technology to detect groundwater in China, and the results fill in the gaps in the field of directly detecting groundwater with geophysical methods in China. The group is determined to make own contributions to the detection groundwater cause in China.