

doi: 10.11720/wtyht.2015.2.12

龙作元,何胜.核磁共振测深方法在多年冻土区找水中的应用[J].物探与化探,2015,39(2):288-291.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.12>
Long Z Y, He S. The application of nuclear magnetic resonance (MRS) to the water exploration in permafrost region[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 288-291. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.12>

核磁共振测深方法在多年冻土区找水中的应用

龙作元,何胜

(青海省环境地质勘查局,青海 西宁 810007)

摘 要:通过核磁共振测深(MRS)方法在多年冻土区找水实例的分析、解释,并结合钻孔资料的综合研究,对在多年冻土区利用 MRS 方法探测地下含水层埋深、厚度及地下水涌水量的计算进行了详细的解析,并取得了良好的应用效果。阐明了该方法在多年冻土区找水具有含水信号反映明显、信噪比高和具唯一性解析结果等的独特技术优势,也指出了该方法在判断含水层岩性、涌水量计算等方面存在的不足,揭示了 MRS 方法在多年冻土区寻找地下水的良好应用前景,为在多年冻土区寻找地下水提供了一定的借鉴经验。

关键词:核磁共振测深;多年冻土;地下水;渗透系数;涌水量

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)02-0288-04

我国是世界上第三大多年冻土分布区,多年冻土区约占我国国土面积的 22.4%^[1]。随着多年冻土区社会经济的发展,科学、合理寻找开发利用多年冻土区地下水资源尤显重要。由于多年冻土区高阻屏蔽及接地困难等因素影响,一般常规物探方法(如电阻率法、激电测深法、电磁法等)很难获得较好的找水效果,且上述方法都是间接找水,在水量分析计算方面更难满足打井工程之要求。核磁共振测深(magnetic resonance sounding, MRS)方法在多年冻土区找水可克服上述不利因素,且在水文地质参数,如渗透系数率(K)、水量(Q)的计算上更是独显特效,令人刮目相看^[2-8]。笔者就 MRS 方法在青海高寒冻土区找水实例进行分析、总结。

1 原理及野外工作方法

MRS 找水方法的原理是基于研究地下水中氢核弛豫特性的差异形成的核磁共振效应。MRS 找水方法就是通过观测外加交变磁场去掉后,氢核在向激发状态恢复的过程中,旋进产生的交变磁场在接收线圈中引起电动势的变化来研究地下岩层的含水性,其中接收到的自由感应衰减信号,即为核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)信号。NMR 信号初始振幅值的大小与水中质子的数量有关。通常在 MRS 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,含水量越大响应越强,这就构成了直接找水的新技术方法^[4]。

野外工作使用法国 IRIS 公司核磁共振系统(NUMIS Poly),该系统输出功率高、接收灵敏度高并由 PC 机控制。具体工作参数:输入电源 24(±4) V, 20 A;最大输出电流 600 A,最大输出电压 4 000 V,输出频率 800~300 Hz,脉冲时间 20~80 ms,使用温度范围-30~+50 ℃。野外激发线圈为方形,边长 150 m×150 m;激发频率 $f_0 = 0.042\ 58 \times B_0$ (B_0 为测区地磁场磁感应强度);脉冲矩个数为 16 个;供电电压 429 V,叠加次数 64,记录长度 240 ms,脉冲持续时间 40 ms。

2 实例分析

共布设了 3 个 MRS 测点。1 号、2 号测点分别布设在青南高寒地区的花石峡六道班兴海 1 号钻孔(海拔 4 135 m)和苦海北岸兴海 2 号钻孔(海拔 4 179 m)处,2 个测点均位于小型盆地中,第四系松散物主要为含泥砂砾石及泥砾等,冻土层下限深度分别为 91.5 m、42 m,含水层岩性主要为含泥砂砾石,地下水主要接受河水及冰雪融水的渗入补给。3 号测点位于祁连山地区,布设在湟滨公路 256 km 处的大沙陇山前冲洪积扇中,即祁连山一号钻孔(海

拔 3 841 m)处,第四系堆积物主要为泥砾、含砂泥砾,冻土层下限深度为 45.43 m,地下水主要接受河流、冰雪融水的入渗补给。

对 3 个测点的 MRS 反演综合成果(图 1~图 3),将从地层含水性及岩性、含水层埋深及厚度、渗透系数(K)及涌水量计算这 3 方面加以分析。

MRS 方法的工作原理决定了其找水的直接性,当有地下水(自由水)存在时,MRS 方法就能接收到核磁共振信号,磁共振信号初始振幅信号(E_0)表现为高值异常,且实测初始振幅曲线与理论计算曲线拟合较好(图 1a、图 2a、图 3a)。该方法测量数据的反演解释结果与钻孔资料对比表明,其含水性解释可信无疑。

根据 MRS 方法得到的 NMR 信号平均衰减时间常数 T_1^* 值及单位体积含水量大小,对含水层岩性进行分析、判断:1 号点含水岩性为砂砾石,2 号点含水岩性为砂砾石、含泥砂砾石,3 号点含水岩性为含泥砂砾石。这一解释结果与钻孔揭露的水文地质资料(图 1d、图 2d、图 3d)有些出入。

通过对 3 个多年冻土区 MRS 方法的测点资料分析,将其含水层埋深、厚度直接反映在成果图上。图 1b、图 2b 中反映的 1、2 号测点的蓝色区域埋深

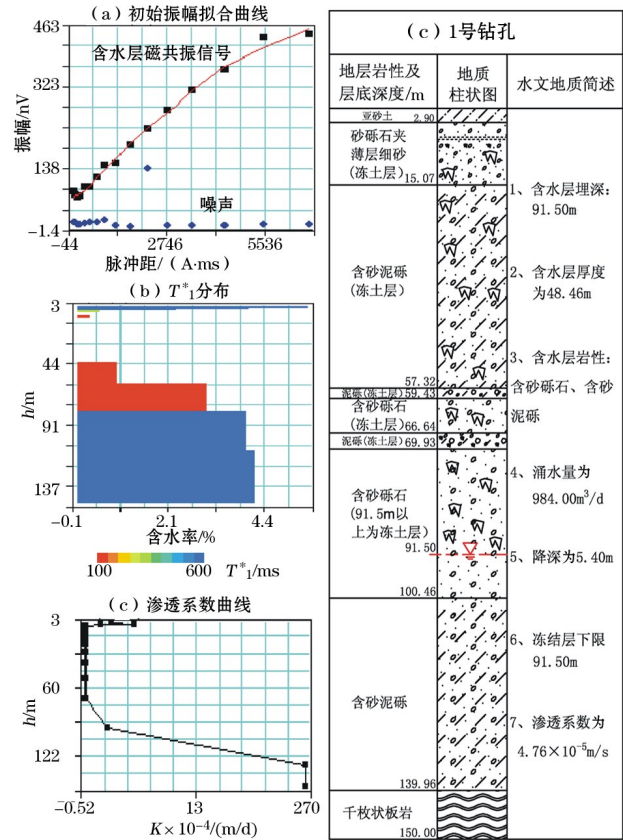


图 1 MRS 方法 1 号点综合成果

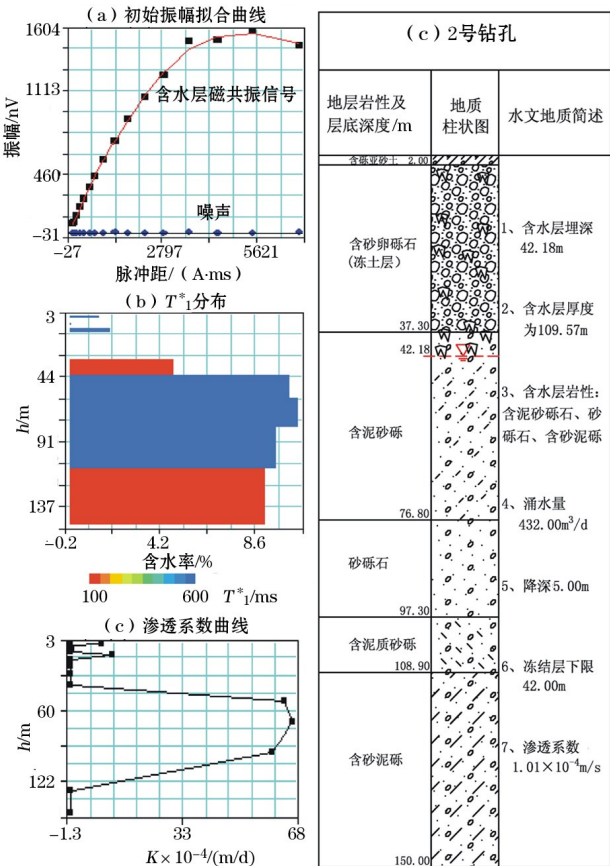


图 2 MRS 方法 2 号点综合成果

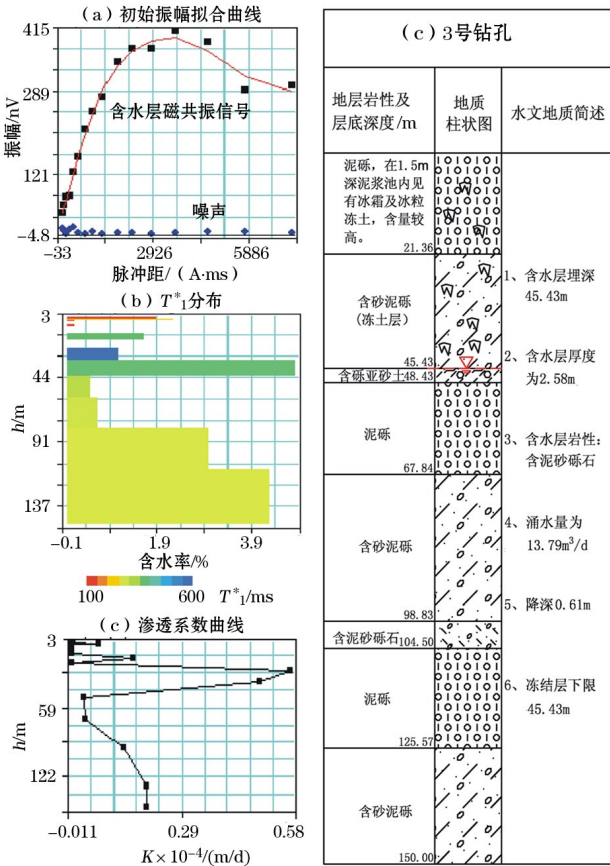


图 3 MRS 方法 3 号点综合成果

即为含水层埋深,蓝色区域中单位体积含水率大于3%部分即为含水层厚度,这一解释结果与其钻孔资料对比误差较小。从图 3b 来看,埋深 32~42 m 之间有一含水层(冻结层下水)分布,含水率 4.8%。从 3 个测点的解析结果统计(表 1)来看,MRS 法探测的水位埋深比钻探揭露的要浅,而划分的含水层相对要厚,初析是钻探划分的冻土层下界面以上岩层存在一个冻融渐变层段(此层段具含水渐变性),这个冻融渐变层的含水性对具有高分辨率的 MRS 方法是能探测发现的,而钻探是难以肉眼鉴别出来的,故而造成两者的水位埋深不同的结果。

通过 MRS 方法反演结果与水文钻孔资料对比分析,MRS 法在高寒永久冻土区找水有良好而突出的地质效果。初析主要因素是测区电磁噪声干扰相对更小,上覆介质电阻率高($\rho>1\,000\,\Omega\cdot\text{m}$),导电性弱,使其振幅信号在向地面传递过程中被上覆介

质吸收衰减少,记录的共振信号振幅强,信噪比高,探测效果显著。

MRS 方法开创了物探找水计算涌水量(Q)的先例,公式为 $Q=\frac{K\times M\times S}{D}$,式中: K 为渗透系数(m/d); M 为含水层厚度(m); S 为降深(m); D 由裘布依公式计算获得, $D=0.366(\ln R-\ln r_0)$,其中 R 为影响半径, r_0 为钻孔半径。计算公式及计算过程由法国制造核磁共振系统的 IRIS 公司提供。

由图 1~图 3 中的 b、c 图可以直观地读出 1、2、3 号测点的含水层厚度和渗透系数,由钻孔资料可知: $r_0=136.5\,\text{mm}$, $R=400\,\text{m}$,由裘布依公式求得 $D=2.92$,已知 1、2 号测点降深(S)都为 5 m,3 号测点降深 1 m,求得各测点涌水量(表 1)。需要强调的是,涌水量计算的应用前提是含水层岩性要比较均一,并在一定的平面范围内含水层厚度较稳定。

表 1 MRS 方法解释、计算结果与水文钻孔资料的对比

点号	含水层埋深/m			含水层厚度/m			渗透系数/(10^{-4}m/d)			涌水量/(m^3/d)		
	MRS	钻孔资料	C/%	MRS	钻孔资料	C/%	MRS	钻孔资料	C/%	MRS	钻孔资料	C/%
1 号点(兴海 1 号钻孔)	80.70	91.50	-11.80	69.30	48.46	30.10	6.00	0.476	1160.5	6151.56	984.00	525.2
2 号点(兴海 2 号钻孔)	43.10	42.18	2.18	106.90	109.57	-2.44	1.50	1.01	48.5	2372.30	432.00	449.1
3 号点(祁连山一号钻孔)	32.00	45.43	-29.56	10.00	2.58	+287.60	0.58	-	-	17.16	13.79	24.4

注:C 表示 MRS 结果与钻孔资料的相对误差

通过 MRS 方法计算的数值与钻孔抽水资料相比误差较大,MRS 方法计算的数值均比实际涌水量偏大。由涌水量计算经验公式可看出,计算结果受许多因素的影响,除可能是 MRS 方法测量计算所得的渗透系数值比实际偏大外,还有含水层厚度的差异等影响因素。

3 结论

(1)MRS 方法在多年冻土区找水效果良好,且能给出多年冻土区存在含水层的唯一性解释推断,克服了常规物探找水的多解性等不利因素。该方法是多年冻土区目前物探找水最佳方法技术。

(2)MRS 法在多年冻土区探测地下含水层埋深、厚度的解释误差一般分别在 $\pm(10\%\sim 30\%)$ 。MRS 法探测划分的多年冻土层下界的水位埋深比钻探揭露要浅,这个差异初析是冻融渐变层所致。

(3)MRS 法探测计算地下水涌水量、含水层渗透性方面,通过实践应用该计算模型具较高的科学合理性和应用价值。但 MRS 方法在判断含水层岩

性及计算涌水量方面(尤其是渗透系数 K)与实际情况还存在一定的差距,有待进一步探索完善。

参考文献:

[1] 龙作元,何胜,裴有全,等.地面核磁共振法找水技术在青海地区应用研究报告[R].青海省环境地质勘查局,2012.

[2] 董浩斌,袁照令,李振宇,等.核磁共振找水方法在河南某地区的试验结果[J].物探与化探,1998,22(5):343-347.

[3] 朱庆俊,潘玉玲,李凤哲,等.地面核磁共振法找水技术规程[R].北京:中国地质调查局(送审稿),2012.

[4] Bernard J.Numis poly multi-chanel mrs system magnetic resonance system[M].France,2010.

[5] 潘玉玲,李振宇.地球物理新技术在地下水勘查中的应用[C]//2003 地下水勘察与监测技术方法经验交流会论文集,2003:167-173.

[6] 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,1999,23(5):330-334.

[7] 潘玉玲,贺颖,李振宇.地面核磁共振找水方法在中国的应用效果[J].地质通报,2003,2(2):135-139.

[8] 李振宇,张兵.地面核磁共振方法的效果研究[J].地球科学,2001,26(增刊):34-36.

The application of nuclear magnetic resonance (MRS) to the water exploration in permafrost region

LONG Zuo-Yuan, HE Sheng

(Qinghai Bureau of Environmental Geological Exploration, Xining 810007, China)

Abstract: Based on the analysis and interpretation of the application of MRS method to water exploration in permafrost region in combination with an integrated study of drilling data, the authors made detailed explanation and analysis of buried depth and thickness of underground aquifer as well as calculation of outflow rate of groundwater detected by MRS method and obtained satisfactory application result. This paper expounds the unique technical advantages of MRS method in the water exploration of the permafrost region, such as obvious moisture signal reflection, high signal-to-noise ratio and uniqueness of the analytical result, and also points out its weakness in such aspects as determination of lithologic character of the aquifer and the calculation of outflow rate. The results achieved by the authors demonstrate the good prospect of the application of MRS method to water exploration in the permafrost region, and provide some reference experience for further work in this aspect.

Key words: nuclear magnetic resonance sounding; permafrost region; groundwater; filtration coefficient; outflow rate

作者简介: 龙作元(1956-),男,物探高级工程师,长期从事水、工、环物探技术工作。