

核磁共振法寻找岩溶裂隙水的地质效果

袁照令, 万 乐, 潘玉玲, 董浩斌, 许顺芳, 李振宇

(中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘要:核磁共振找水方法是目前唯一可用来直接找水的地球物理方法。在武汉地区岩溶裂隙水的勘查中,以核磁共振方法为主,配合使用电阻率法,进行资料的综合解释,取得了令人满意的地质效果。核磁共振工作结果显示,在勘探范围内地下水存在四个含水层,其中深部的两个含水层为承压含水层,自旋—自旋弛豫时间反映出含水层孔隙度较大,地下水连通情况较好;电阻率资料反映,承压含水层对应着高阻基岩赋存的部位,推断是碳酸盐岩类岩溶裂隙水含水层。钻探验证了两种物探方法的推断结果,打出了优质地下水,单井日出水量超过1000t。

关键词:核磁共振;电阻率法;岩溶裂隙水

中图分类号:TV211.1;TN753.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-7647(2001)02-0041-02

在武汉地区岩溶裂隙水勘查中,以核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance,缩写为NMR)方法为主,配合使用电阻率法,进行资料的综合解释,取得了令人满意的效果。

核磁共振找水方法是NMR技术应用的新领域^[1],是目前唯一可用来直接找水的物探新方法,有水(自由水)就会有NMR信号反映,测量结果不受地质因素的影响。近年来,前苏联的地球物理工作者对NMR方法进行了潜心的研究,并研制了相应的仪器,做了大量的试验工作,取得了令世人瞩目的成果。目前,法国也研制出核磁共振找水仪器。90年代以来,我国以潘玉玲教授为首的中国地质大学核磁共振科研组的专家们对NMR方法做了大量调查研究工作^[2],1997年底,中国地质大学引进了法国IRIS公司生产的地面核磁共振感应系统(NUMIS),该系统在验收试验^[3]和实际应用中均获得成功。我国已成为亚洲首家掌握NMR找水技术并拥有仪器的国家。

1 工区地质概况

1998年6月,在武汉鼎力公司农牧开发区进行优质地下水勘探。工区位于武汉市以西龙霓山与蓼山之间的丘陵区内,大部分为耕植农田,被第四系粘土所覆盖。

从大区域看,工区及邻区发育的主要地层及岩性

为:古生界志留系中上统砂页岩、泥盆系五通组中细石英砂岩,古生界石炭系、二叠系及中生界三叠系的灰岩、白云质灰岩,地表仅见零星露头,大部分出露在沟谷低洼处,呈近东西向线性分布,上覆新生界第四系中更新统粘土。构造复杂,向斜、背斜轴向东西,其中有白矾复式向斜、小蓼湖复式背斜和其相派生的断裂带,后者多被第三系、第四系地层所掩盖。

从水文地质资料看,工区位于小蓼湖复式背斜之上,区内已见志留系砂页岩地层出露,南北两侧为复式向斜,其间分布有碳酸盐岩类岩溶裂隙水,但单井涌水量均不大,小蓼湖复背斜区地表为粘土、亚粘土及志留系砂页岩露头,含水极为贫乏,被认为是贫水区。可见,要在农牧开发区内勘探出优质地下水源难度较大。

2 工作方法

核磁共振测点大致沿山间洼地以200m的间距布设,并尽量避开高压电和民用电,目的是探明勘探范围内是否赋存地下水,若有地下水存在则了解含水层的深度及含水量的大小,了解含水层孔隙度大小,进而确定是否布置钻探工作及选择钻孔位置。

由于工区缺少必要的物探资料,在开展核磁共振找水工作的同时,还配合采用了电阻率联合剖面法、电阻率对称四极测深法,其目的是调查断裂的分布和了解岩层电性的垂向变化,建立起电性层分布

基金项目:国土资源部重点科研资助项目(9505111)

作者简介:袁照令(1945—),男,河南太康人,副教授,主要从事地下水勘查方法技术研究。

及变化的概念,这对提高 NMR 测量结果反演解释精度很有帮助。

采用电阻率联合剖面法,取 $AO = 75\text{ m}$, $MN = 10\text{ m}$,点距 10 m ,剖面长度 230 m ,得出的 ρ_s 剖面曲线见图 1。电阻率对称四极测深法取 $(AB/2)_{\min} = 3\text{ m}$, $(AB/2)_{\max} = 200\text{ m}$,点距 20 m ,剖面长度约 120 m 。电测深资料的解释结果见图 2。

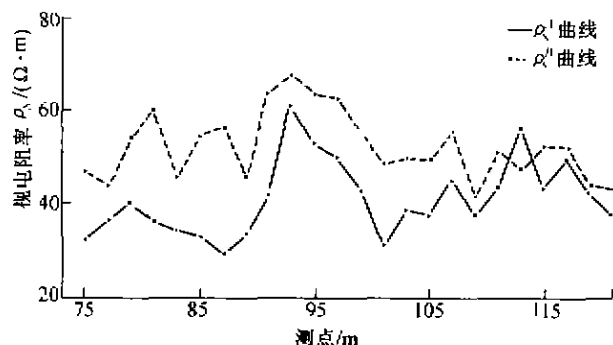


图 1 联合剖面法 ρ_s 剖面曲线

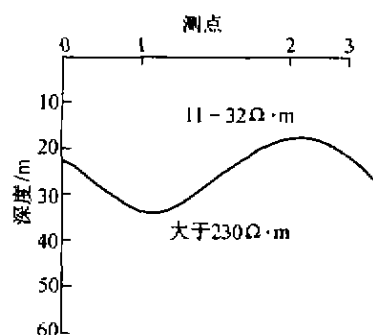


图 2 电测深资料解释结果

核磁共振测点的技术参数及测量结果为:线圈类型为圆形,直径 100 m ;脉冲矩数为 18 个;发射频率为 $2\,100.9\text{ Hz}$;叠加次数为 126 次;测量范围为 5000 nV ;噪声水平为 $570 \sim 1\,120\text{ nV}$;信号记录长度为 250 ms ;干扰较稳定,NMR 信号较好。

3 资料综合解释

由图 1 可见, ρ_s^A , ρ_s^B 曲线呈同步锯齿跳跃状,这是地表局部电性不均匀所致;两条曲线没有明显正交点,表明在探测深度范围内的岩层中不存在具有一定规模的断裂。由图 2 可见,地电断面主要由两个电性层构成,电阻率为 $11 \sim 32\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ 的低阻层覆盖在高阻基岩层(电阻率大于 $230\text{ }\Omega\cdot\text{m}$)之上,基岩的起伏形态如图 2 所示。

从 NMR 测点的技术参数和测量结果可见,测点处噪声水平较高,但还在仪器的容忍度范围(小于 1500 nV)以内;使用 5000 nV 的测量范围可以正常工作,反映出干扰相对较稳定。

NMR 资料的反演解释结果见图 3。由图 3 可见,

在 NMR 测点勘探范围内,地下有四个含水层,它们分别处在 $2.0 \sim 3.0\text{ m}$, $9.0 \sim 14.5\text{ m}$, $23.5 \sim 38.2\text{ m}$, $79.2 \sim 100.0\text{ m}$ 深度。其中上部的两层为地表潜水,易受污染,水质可能较差;深部的两个含水层为承压含水层,它们对应着高电阻率的基岩赋存位置,可能是碳酸盐岩类岩溶裂隙水含水层,从自旋—自旋弛豫时间看,属大孔隙中含水,因此认为深部的两个含水层连通性好,水质也可能较好,具有可供利用的开采价值。

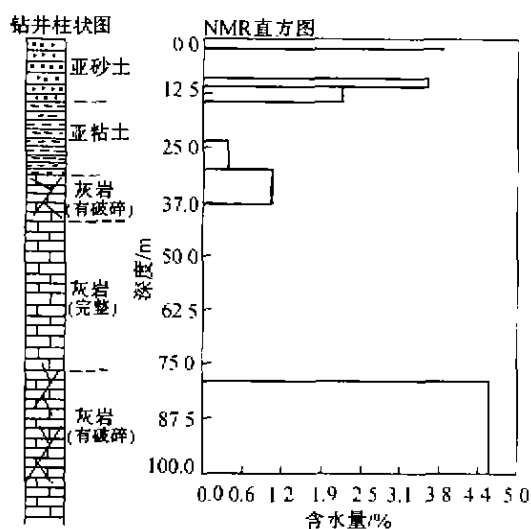


图 3 NMR 测量解释结果与钻探结果对比

4 钻探验证结果

依据核磁共振方法及电法资料综合解释结果,建议布钻验证。设计钻孔深度 120 m 左右,钻探目的层为 30 m 左右的含水层和 100 m 左右的含水层,考虑到含水量和水质的可能情况,主要是下部的含水层。经过钻探(于 130 m 终孔),验证了以上的推断,即在 30 m 深度以下见到了二叠系、石炭系灰岩、白云质灰岩,于 $33 \sim 42\text{ m}$ 和 $77 \sim 130\text{ m}$ 见含水层(见图 3 钻井柱状图),岩芯中溶洞和裂隙发育,岩石破碎严重,属碳酸盐岩类岩溶裂隙水,单井日出水量超过 1000 t ,证实以 NMR 方法为主并配合使用其它物探方法的找水效果好^[4]。

5 结 语

通过对核磁共振找水方法的理论研究及实际应用,得到以下几点初步认识:

a. 在使用 NMR 方法找水工作中,合理布置一些电法工作相配合,有助于判定地下水的类型和提高 NMR 测量结果反演的精度;可以了解含水层中水的富集部位,指导钻探井位布置工作,提高钻井成功率,这对于寻找赋存在呈带状分布的含水构造中的地下水来说尤为重要。

(下转第 48 页)

国第一,可开发利用的水能资源为全国第二.由于受地形和水文因素的影响,修建中小型电站是必然趋势.西藏河流的水流侵蚀作用较强,如雅鲁藏布江干流上的羊村以上的曲水—泽当宽谷中每年至少有18.3万t以上的泥沙淤积下来,这还不包括推移质和较小支流的悬移质泥沙汇入在内.而西藏水利事业的建设,就必然首当其冲解决淤沙、冲沙问题.设置冲沙漏斗、排沙管道是解决西藏水利工程中淤沙的一项有效的工程措施.其意义主要表现在:①该排沙设施一般只要在已建工程上稍加修改即可,工程量少,投资省,有利于推广应用;②该排沙设施发挥了节水排沙的工程经济效益;③冲沙漏斗的实施延

长了工程的使用寿命,扩大再增值;④不但对引水发电工程适用,而且对于工农业引水、灌溉工程的排沙也有借鉴作用.

参考文献:

- [1] 吴持恭.水力学[M].第二版.北京:高等教育出版社,1989.
- [2] 周著,等.强螺旋流排沙漏斗的模型试验和原型观测[J].水利水电技术,1991,217(11):44~48.
- [3] 谭冬初,周著,侯杰,等.乌斯图河渠首的排沙漏斗设计[J].水利水电科技进展,1998,18(6):50~53.

(收稿日期:1999-11-09 编辑:熊水斌)

(上接第42页)

b. NMR找水方法的工作结果,可以给出探查范围和深度内是否赋存地下水的肯定结论;若有地下水存在,则可给出地下含水层的深度、厚度及含水量的大小(体积百分比),得出各含水层的孔隙度大小的概念.NMR方法所提供的丰富信息是其它物探找水方法难以比拟的.

c. 作为一种直接找水的方法,NMR方法可以用来进行区域水文地质调查,确定找水远景区,圈定各种类型地下水在三维空间的分布,选定水井位置.这种方法投资小、见效快,可以减少钻探工作量,同时也可以降低勘探风险.

d. 实践证明,引进的 NUMIS 系统采用直径为100m的圆回线激发时,其勘探深度可达120~130m.

e. 由于仪器灵敏度高(可测量出几个nV的信号,1nV=10⁻⁹V),测量的NMR信号容易受到电磁干扰的影响,抗干扰能力弱是本方法的缺点,在城市内及火成岩分布区应用往往难以取得好的地质效果.

参考文献:

- [1] 陈文升.核磁共振地球物理仪器原理[M].北京:地质出版社,1992.
- [2] 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,1995,18(5):592~595.
- [3] 董浩斌,袁照令,李振宇等.核磁共振找水方法在河南某地的试验结果[J].物探与化探,1998,22(5):343~347.
- [4] 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[A].地球物理协会勘探专业委员会.全国第三届水文物探学术研讨会论文集[C].北京:地质出版社,1998.49~51.

(收稿日期:1999-09-01 编辑:张志琴)

(上接第40页)

- [9] Bjernum L. Progressive failure in slopes of over consolidated plastic clay soil[J]. J. Mechanics and Found Div., ASCE, 1967, 93(5):3~50.
- [10] Skempton A W. Fourth rankine lecture long term stability of clay slopes[J]. Geotechnique, 1964, 14(2):231~242.
- [11] 廖济川.裂隙粘土现场抗剪强度的确定[J].岩土工程学报,1986,8(3):44~54.
- [12] Bishop A W, Bjernum L. The relevance of the triaxial test to the solution of stability problems[J]. Research Conf on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, 1960, 75(3):437~501.
- [13] 孔官瑞.膨胀土边坡稳定性试验及数值分析[D].武汉:武汉水利电力大学,1993.
- [14] 廖济川.膨胀土抗剪强度的研究概况[A].全国首届膨胀土科学研讨会论文集[C].成都:西南交通大学出版社,1990.273~280.
- [15] Bishop A W, Blight G E. Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils[J]. Geotechnique, 1963, 13(3):177~196.
- [16] Jennings J E B, Burland J B. Limitation to the use of effective stresses in partly saturated soils[J]. Geotechnique, 1962, 12(2):125~144.
- [17] Fredlund D G, Rahadjo H. Soil mechanics for unsaturated soils[M]. New York: John Wiley & Sons, 1993.
- [18] 卢肇钧,吴肖茗,孙玉珍,等.膨胀力在非饱和土强度理论中的作用[J].岩土工程学报,1997,19(5):20~27.
- [19] 缪林昌,殷宗泽.非饱和土的剪切强度[J].岩土力学,1999,21(3):1~6.

(收稿日期:1999-08-31 编辑:张志琴)

