核磁共振在鄂北缺水丘陵地区的找水应用

陈常庆，黄守贵，黄远华，李国圣，苏成林
(湖北楚鹏工程勘察设计院，武汉 430034)

摘要：鄂北部为丘陵地貌，主要地层有下元古界桐柏群、中元古界红安群、上元古界随县群及震旦系片岩、片麻岩等变质岩，白垩系—第三系的"红层"及第四系冲洪积、残坡积松散岩类，属于贫水区，找水困难。在对孝感500KV变电站的供水水文地质勘察中，运用核磁共振直接找水，并在场区布置合理的电法勘探工作，根据勘探成果解释，确定合理井位，再钻探成井，解决了变电站的用水难题。

关键词：核磁共振；电法；找水
中图分类号：P631.3　　**文献标识码**：A

Abstract: The north part of Hubei province is in hill relief which consists of schist and Quaternary deposits. The area is the water-deficient area and it is difficult to the research of groundwater. The nuclear magnetic resonance is used to the water research in the hydro-geological surveying for the Xiaogan 500KV transformer station, and the electrical prospecting is also used for the surveying. Based on the interpretation from the prospecting results the reasonable wall position is determined which settles the water supply for the station.

Key words: nuclear magnetic resonance; electrical prospecting; water research

1 地质概况

工作区 500KV 孝感变电站位于湖北省北部，云应盆地外缘，属孝南区所辖，距肖港镇约 5km。为丘陵岗地地貌，上部均为第四系黏性土类，现为荒山和农田，地面起伏较大，相对高差约 30m，绝对标高为 47~60.20m，当地缺水严重，主要以地表水为生活用水和农田溉灌水。

地质构造上本区位于淮阳山字型构造西翼，各类构造形迹发育，且较为复杂，主要构造线方向为 NW、NWW 向，对区内有较大影响的断裂构造有：①环水河断裂，N25° E；②襄广大断裂（云—孝带）NWW 方向；③井头湖—金鼓堤断裂，N60° W，延伸可能进入测区；④陆家岗—雷家档断裂，N30° E，可能被覆盖于测区之下（见图 1）。主要地层有：下元古界桐柏群、中元古界红安群、上元古界随县群及震旦系片岩、片麻岩等变质岩，白垩系—第三系的"红层"及第四系冲洪积、残坡积松散岩类。

区内地下水包括松散岩类孔隙承压水、基岩裂隙水和岩溶裂隙水。松散岩类孔隙承压水在平原区水量很丰富，但在丘陵岗地赋存量很少，与大气降水没有直接联系，其补给来源主要为水平迳流补给、大气降水的间接渗入补给，还可接受相邻含水层的补给，其排泄主要为迳流排泄和人工开采排泄，也可以向相邻含水层排泄；白垩系及其它变质岩中的基岩裂隙水水量极少，且极不均匀，多以风化带和构造带为贮藏空间，主要以大气降水为补给来源，在低洼的露头处呈散流状排泄，此外还可向下游及相邻含水层中排泄；岩溶裂隙水主要贮存于震旦系碳酸盐岩类中，由于该类岩石中岩溶不发育，富水性很不均匀，水量也不大，补给源为大气降水，向下游迳流排泄到地势低洼处（包括断层带及接触带），也以泉的形式点状排泄，蒸发排泄量较小。

2 核磁共振找水勘探成果解释

2.1 核磁共振成果解释

地面 NMR 找水方法，利用了不同物质原子核弛豫性质差异产生的 NMR 效应，在地面上利用核磁共振找水仪，观测、研究地层中水质子产生的核磁共振信号的变化规律，通过由小到大地改变激发脉冲矩 q（$q=I_0 \cdot t_p$，式中 I_0、t_p 分别为激发电流脉冲的幅值和持续时间）由浅到深地测试含水层中水的赋存状态，进而达到寻找地下水的目的。

地面 NMR 找水方法通常向铺在地面上的线圈(发射/接收线圈)中供入频率为拉摩尔频率的交变电流脉冲，交变电流脉冲的包络线为矩形。在地中交变电流形成的交变磁场激发下，使地下水中氢

收稿日期：2007-08-06；修订日期：2008-03-06
作者简介：陈常庆（1962－），男（汉族），湖北天门人，高级工程师.

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



图1 区域水文地质图

核形成宏观磁矩。这一宏观磁矩在地磁场中产生旋进运动，其旋进频率为氢核所特有。在切断激发电流脉冲后，用同一线圈拾取由不同激发脉冲矩激发产生的 NMR 信号，该信号的包络线呈指数规律衰减。NMR 信号强弱或衰减快慢直接与水中质子的数量有关，即 NMR 信号的幅值与所探测空间内自由水含量成正比，通过 NMR 信号反演将观测到的地球物理数据，转换成地下各含水层的深度、厚度、含水量和平均孔隙度等水文地质参数，就构成了一种直接找水技术。在 NMR 测深资料反演解释中，利用了目前比较广泛使用的吉洪诺夫正则化法。地球物理反演问题的不适定性包括解的存在性、唯一性和稳定性。正则化方法是用来解决解的稳定性问题。IRIS 公司随 NUMIS 设备提供了最平滑一维反演 Windows 软件，该软件对于一组实测的 NMR 信号数据自动确定了一个解。在 NMR 信号的反演中也存在地球物理反演的不适定问题。例如，NMR 信号相对激发电流而言是非线性的，而 NMR 信号相对含水量 $n(z)$来说是呈线性的。若不考虑上述问题，当反演有噪声的数据时，通常的反演算法可能不稳定，导致解的偏差或出现振荡。

中国地质大学（武汉）核磁共振组进行了核磁共振勘探工作，并进行了联合剖面测量及电测深等辅助工作。野外工作时期，天气为阴间多云，风力较大。当地地磁场强度约为 493000nT，地磁倾角 42°。工区内地表覆盖很厚，地表干燥。

工区范围约 300m×200m，共进行了 3 个核磁共振测探点的测量工作。1 号测点（XG·bsI）位于工区东北部；2 号测点（XG·bsJ）位于工区西南部；3 号测点（XG·bsK）位于工区中部。3 个测点布置见图 2。

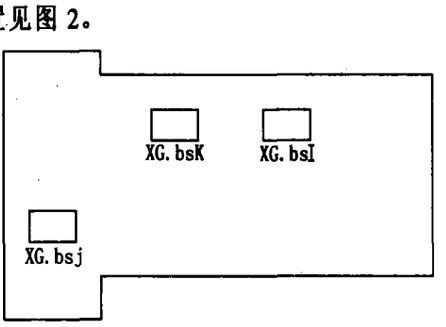


图2 工区核磁共振测点布置

核磁共振找水勘探采用的技术参数为：大方型线圈，75m×75m，记录长度为 250ms，采集迭加次数取为 128 次，第 1、2、3 个测点的脉冲矩个数分

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

别为 21、18、16。

从数据采集的情况看，尽管在工区周围采取了停电降噪的措施，但在数据采集期间仍受到强大不明干扰源的影响，噪声从 2000~12000nV 不等，给观测带来一些影响，也给资料的解释带来一定困难，但测量结果对找水工作仍有较大的参考价值。

测量结果见图 3~图 5。

深度(m) 从	到	含水量 (%)	衰减时间 (MS)
0.0	1.0	0.00	100.0
1.0	2.0	0.00	100.0
2.0	3.0	10.16	524.7
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	0.00	100.0
27.0	33.7	0.00	100.0
33.7	41.9	0.00	100.0
41.9	52.2	0.00	100.0
52.2	65.1	2.78	466.4
65.1	81.1	6.03	180.1
81.1	100	0.04	300.0

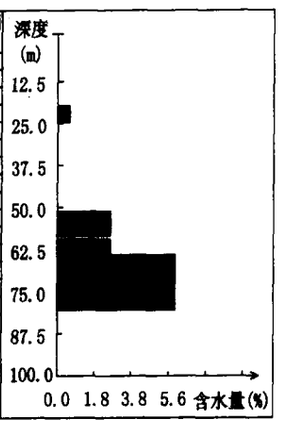


图 3　把山一号测点解释结果

1 号测点的测量结果反映在 65~81m 左右的深度上，孔隙度较大，含水率达到了 6.03%。推测为一个较好的含水层，应该能满足电站的用水要求。（见图 3）

2 号测点的测量结果反映在 46~60m 左右的深度上，有一含水段，但含水情况不理想，且由于此测点受干扰的影响最为严重，不宜作为取水点。（见图 4）

深度(m) 从	到	含水量 (%)	衰减时间 (MS)
0.0	1.0	0.11	1000.0
1.0	2.0	11.83	845.3
2.0	3.0	0.00	83.3
3.0	4.0	0.90	1000.0
4.0	5.0	24.95	431.5
5.0	6.0	1.01	1000.0
6.0	7.0	0.00	164.8
7.0	8.0	0.00	81.7
8.0	10.0	0.00	1000.0
10.0	13.0	0.00	1000.0
13.0	16.8	0.00	30.0
16.8	21.7	0.00	30.0
21.7	28.0	7.04	58.7
28.0	36.2	2.35	1000.0
36.2	46.8	1.93	1000.0
46.8	60.5	5.11	71.1
60.5	78.2	0.00	1000.0
78.2	100	0.00	1000.0

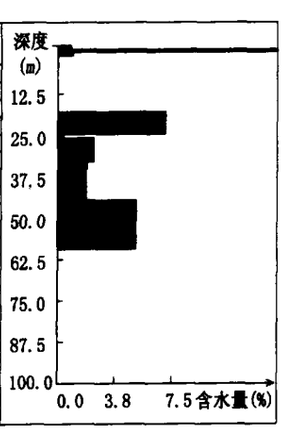


图 4　把山二号测点解释结果

3 号测点的测量结果反映在 23.9~32m 和 42~56m 之间的深度范围含水量较大，推测含水情况较好，但其与 1 号测点相比，渗透性和含水量 s 相对差一些。（见图 5）

深度(m) 从	到	含水量 (%)	衰减时间 (MS)
0.0	1.0	0.00	1000.0
1.0	2.0	12.07	160.9
2.0	3.0	3.71	197.7
3.0	4.0	0.00	1000.0
4.0	5.0	0.00	1000.0
5.0	6.0	0.00	1000.0
6.0	7.5	0.00	1000.0
7.5	10.0	0.00	90.4
10.0	13.4	0.00	100.0
13.4	17.9	0.00	100.0
17.9	23.9	0.00	100.0
23.9	31.9	4.47	104.9
31.9	42.5	2.79	396.2
42.5	56.7	3.91	254.3
56.7	75.7	0.02	1000.0
75.7	100	0.00	1000.0

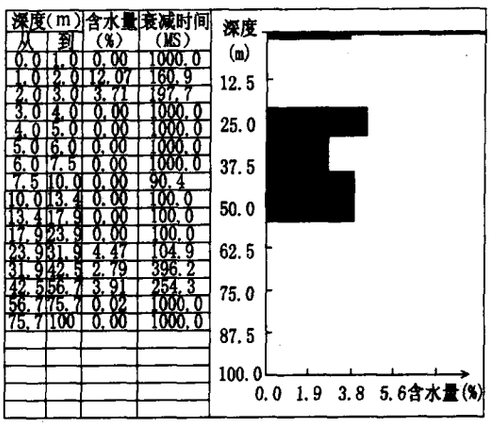


图 5　把山三号测点解释结果

从以上核磁共振结果综合分析，较好的钻井井位应在工区的东部或中部，且以 1 号测点附近条件更好一些，钻井深度为 80m 左右。

2.2 电法勘探成果解释

在 1 号测点所控制的区域内进行了电阻率法勘探，共布置电阻率联合剖面 3 条，电阻率对称四极测深点 6 个。其中，电阻率联合剖面法用于探查地下某一深度以上岩层电性沿水平方向变化情况，电阻率对称四极测深用于探查岩层电性沿铅垂方向变化情况。电阻率法工作布置见图 6。

(1) 电阻率联合剖面异常解释

①从测得的 3 条电阻率联合剖面 ps 曲线（图 7、图 8、图 9）可见，每条剖面上反映两个不同勘探深度的 ps 曲线虽有个别的正交点，但交点两侧曲线的分异性差，不能视为地下陡倾低阻带引起的异常。可以认为，在勘探范围内无明显的断裂破碎带存在。

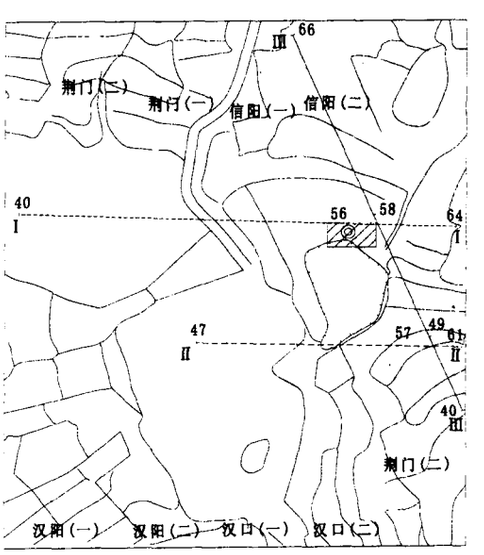


图 6　电法勘探工作布置及钻井位置布置

0　50　100m

图例　电阻率联合剖面及编号　钻井位置　找水最有利的钻井布设区

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

②从 3 条电阻率联合剖面 ρs 曲线看，沿剖面横向电性变化较大，ρs 曲线表现为同步跳跃变化。在剖面上低阻区段的位置分别为：Ⅰ线的 55.5 号点~58 号点、Ⅱ线的 58 号点~60 号点、Ⅲ线的 50 号点~53 号点，这些地段上反映出的电阻率低值区可能和地下水的赋存有关。

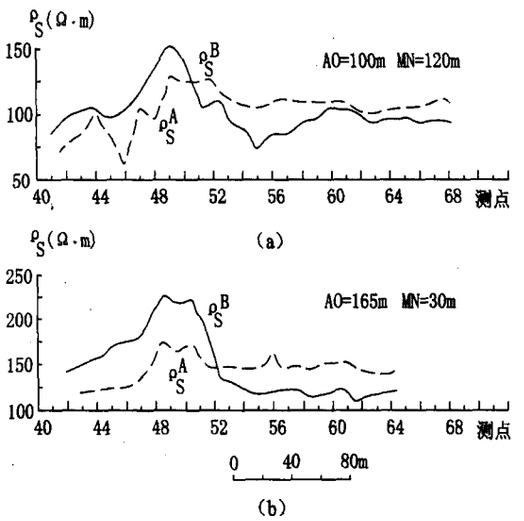


图 7　孝感变电站Ⅰ号电阻率联合剖面 ρs 曲线

(2) 电阻率对称四极测深异常解释

从电阻率对称四极测深看，曲线类型均为 H 型，曲线尾反映出基岩风化相对较强烈。从图 10 可见，在Ⅰ线上，浅层 55 号点~58 号点附近为一低电阻区域，中深部在 55 号点~58 号点附近为相对的低阻区。可以认为，55.5 点~58 号点区域可能地下含水情况较好。

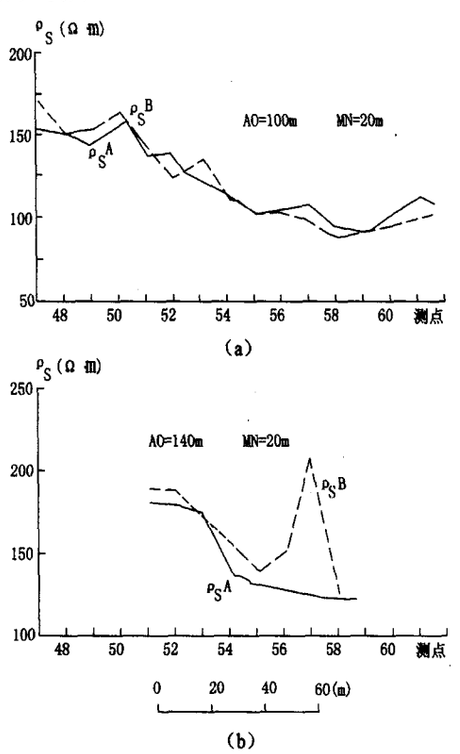


图 8　孝感变电站Ⅱ号电阻率联合剖面 ρs 曲线

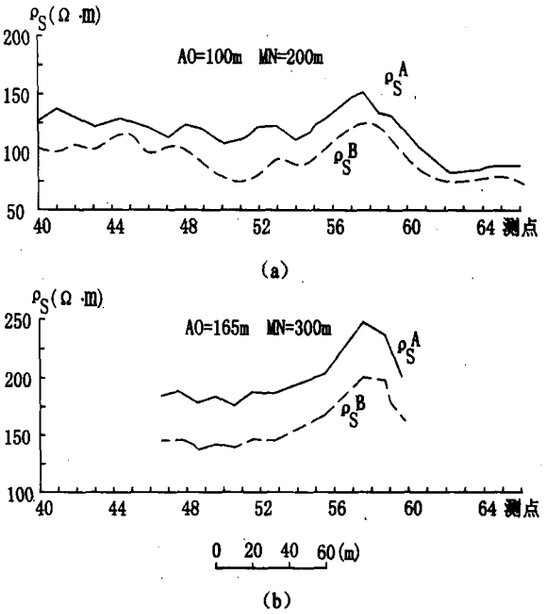


图 9　孝感变电站Ⅲ号电阻率联合剖面 ρs 曲线

综合考虑核磁共振方法和电阻率方法的工作结果，可以认为Ⅰ线的 55.5 号点~58 号点往南至水塘边，找水是最有利的，深度大约为 90m 左右。

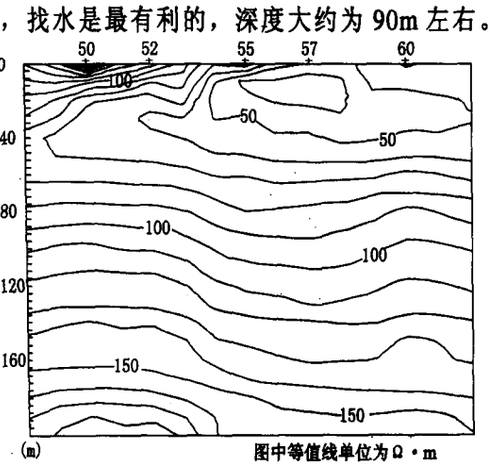


图 10　孝感变电站线电测深断面等值线

3　钻孔水文地质

根据物探找水成果，钻井位置在Ⅰ线的 55.5 号点~58 号点往南的水塘边，设计孔深 100m。井位处为第四系中更新统（Q_2）残坡积和冲洪积物覆盖，下伏地层为震旦系上统白兆山组（Z_2b）变质岩类，所选井位在 N60° E 的井头湖一金鼓堤断裂带内，该断裂带长 6km，宽度不详。该钻孔揭露岩性从上至下有(图 11)：

(1) 新生界第四系中更新统(Q_2)

① 0~4.70m 为粉质黏土，褐黄－棕黄色，硬－可塑状，成分以黏土矿物为主，含铁锰质结核及少量岩屑，核径 2~5mm，上部根植土层厚 1.5m 左右。

② 4.7~14.05m 为含砾粉质黏土夹粉土，黄褐色，砾石含量约占 20%~25%，砾石成份为石英等，

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

其粒径一般≥30mm，磨圆中等。该层分选性很差，成份不均一，大小混杂。

③ 14.05~25.1m 为泥砾层，黄褐色，细颗粒主要为黏土及粉质黏土，约占 20%，砾石占 50%，中粗砂占 20%，其余为粉细砂，分选性中等偏下，磨圆中等，砾石成份主要为石英及燧石结核，砂类主要为长石、石英及云母。

(2) 上元古界震旦系白兆山组（Z_2b）

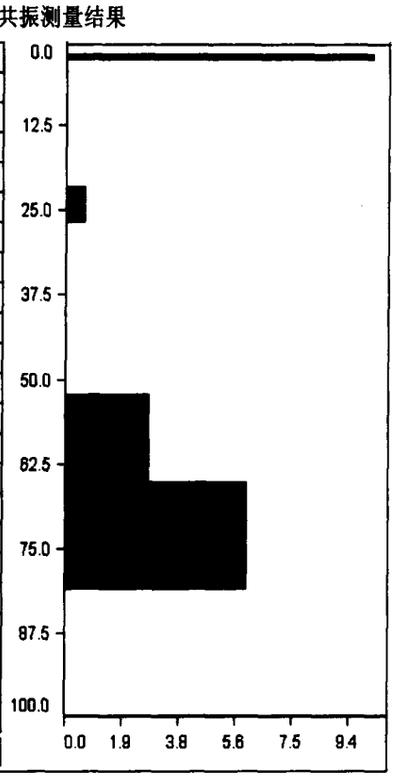
④ 25.10~29.57m 为灰质白云质板岩，千枚状板岩，褐黄色褐灰色，变晶结构，板状，千枚状构造，岩芯较破碎，裂隙发育以纵向为主，且多为张性全部被方解石脉充填，极少数为剪裂隙，方向与岩芯轴斜交，有错动现象；

⑤29.57~33.83m 为白云石大理岩,深灰色褐黄色，变晶结构，块状构造，层理不发育，物质组分主要为白云石及石灰石，岩芯较完整，有较弱的溶蚀现象，可见小溶孔及小溶隙；

⑥33.83~100.00m 为灰质白云质千糜岩，褐红色碎裂结构，千糜状，角砾状构造，岩芯不完整，局部破劈理发育，破碎严重，甚至可见断层泥（如 89.81m 处），冲洗液中含大量褐红色泥质成分。该层中偶见透镜状出现的白云石大理岩，有溶蚀现象，59.80~60.50m 溶蚀发育，有蜂窝状溶孔。66.60~69.93m、74.03~76.73m 溶蚀发育，见小溶孔等，该层中冲洗液有漏失现象，尤其在 60.0~89.81m，断续出现不返水，如在 80.44~89.81m 处，有时几分钟不返水，说明这些部位透水性较好。

核磁共振测量结果

深度（m）		含水量	衰减时间
从	到	(%)	(ms)
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



把山一号测点解释结果示意图

钻井地质剖面

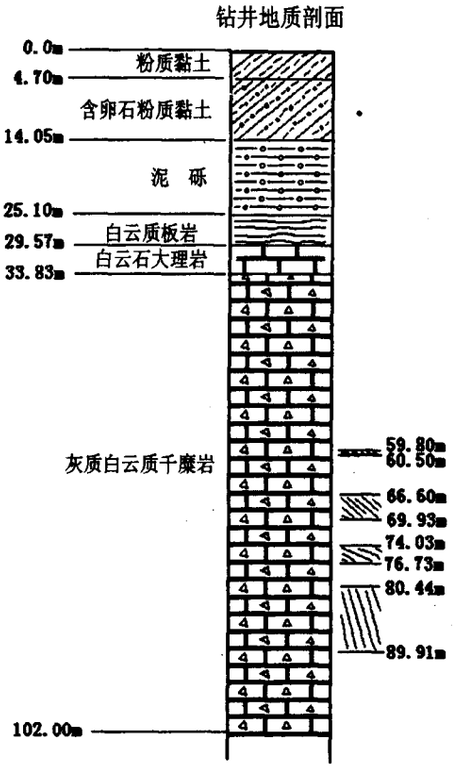


图 11 把山一号测点地质剖面及核磁共振测量结果

上述第①、②、③层为隔水层，第④、⑤、⑥层为震旦系白兆山组碳酸盐（构造岩）岩溶裂隙承压含水层，该层揭露厚度 74.9m（未见底），透水性中等偏差，渗透性不均匀，其中透水性较好地段为 59.80~60.50m、66.60~69.93m、74.03~76.73m 及 80.44~89.01m。该层地下水静止水位标高 35.2m，埋深 16.0m，地下水具承压性，水化学类型为 HCO_3－Ca.Mg 型淡水。地下水主要以大气降水和地表水体（如八汉洼水库等）为补给来源，大气降水主要通过山丘上的露头直接渗入补给，也可以穿过上覆第四系后间接补给地下水。有些地表水体与该层直接接触，通过断裂等，地表水可以直接补给地下水。该层地下水目前基本上还没有被开采利用，因此地下水的排泄主要是蒸发排泄或向水头更低处迳向排泄。地下水矿化度很低，说明其水交替条件较好。

根据抽水试验资料，涌水量为 347.85m^3/d，降深为 10.99m，稳定延续时间为 76h，渗透系数 K=0.64m/d，单位涌水量为 q=0.1149L/s，充分满足建设单位的用水需求，达到了找水目的。

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

4 结语

本次水文地质钻探结果充分验证了核磁共振找水勘探成果的预见性，利用其成果确定井位和井深有很大的成功率，地下水含水带深度位置与水文地质钻孔编录结果吻合(见图 11)，地下水定量分析也比较准确。在本区相似条件地区，如黄陂 288 厂、孝昌、孝南、咸宁等地作过的类似找水工作，都验证了核磁共振成果具有分辨率较高、效率高的特点，对供水勘察成井具有很好的指导作用，其对含水层深度及含水量的预测都比较好、对查明含水断层破碎带的深度及位置比较准确，是一种快捷实用的找水手段，适用于覆盖层较厚的丘陵岗地等缺水地区，可以用来进行确定初步找水范围，配合电阻率法，减少勘探成本，可以提高水井凿井成功率。

(感谢张斌老师等在工作中给予的指导和帮助，以及提供了许多相关资料。)

参 考 资 料

[1] 湖北省地质矿产局. 湖北省孝感市 1/10 万水文地质图及其说明书[R]. 1988 年.

[2] 中国地质大学万乐、张斌、李振宇等核磁共振找水勘察报告[R]. 1999 年.

[3] 陈常庆等 500kV 孝感变电所供水水文地质勘察报告[R]. 1999.

（上接第 32 页）

极易发生岩溶塌陷。在山间小型盆地内，岩溶塌陷灾害具有高频度、高密度和高速度的发展特点，如不加以控制，整个村庄可能不得不搬迁。

(2) 地下岩溶水的超采改变了地下水动力条件，引发大量土洞的形成，是诱发本区岩溶塌陷的根本因素。

(3) 土洞形成后，不同盖层厚度处塌陷机制不同。在第四系厚度较大的中间地段，集中超强度抽取地下岩溶水是塌陷的主要原因。在第四系厚度较薄的盆地两侧以及沟谷等处，降雨是诱发岩溶塌陷的直接因素。降雨形成的反向渗透潜蚀和冲压作用是山区岩溶塌陷特有的动力源。

(4) 抽水集中区不存在稳定的盖层厚度，因此，区内不同盖层厚度处均有塌陷发生。

根据本区岩溶塌陷特点，为防止此类灾害频繁发生，应重点采取以下措施：一是控制深井岩溶水的开采，避免水位在较短时间内快速下降。二是对村内低洼处的沟渠河道、集水坑、露天采场采坑以及已发现的地表水渗漏点采取排水防渗措施，进行防渗封堵处理，避免地表水急剧集中渗漏。

参 考 文 献

[1] 魏风华.唐山市岩溶塌陷机制分析[J].地质与勘探,2006,42(2):86~89.

[2] 河北省地矿局第四水文地质工程地质大队，河北省唐山市岩溶塌陷地质灾害防治前期勘查报告[R] . 1994.

[3] 万志清,秦四清,李志刚等.土洞形成的机理及起始条件[J].岩石力学与工程学报，2003,22(8)：1377~1382.

[4] 刘善军,宋长斌,常允新等.隐伏碳酸盐岩区第四系松散盖层稳定性分析[J].中国地质灾害与防治学报.2003,14(1):18~21.

[5] 刘传正.地质灾害勘查[M].北京:地质出版社,2000.

[6] 谢忠球,万志清,钱海涛.抽水引起岩溶区路基塌陷的机理分析及其控制[J].公路，2006,(7):25~29.

[7] 王滨,贺可强,姜先桥等.岩溶塌陷渗压效应致塌机理研究[J].中国地质灾害与防治学报，2005,16(1): 18~22.

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

CONTTENTS

Roof Sheet-like Peeling for Cave No.35 of Huashan Riddle Grottos in Tunsi, Anhui Province ..... Song Yuhuan et al. (1)

Example of Optimum Design of Precast Pipe Foundation Considering Compaction Effect by Pile Driving in Sand Area ..... Shen Xiaomei et al. (5)

Study on Informative Excavation Monitoring System of Urban Deep Foundation Pit ..... He Zhiyong et al. (8)

Analysis on Causes of Tunnel Collapse Constructed by the Mining Method in Beijing Metro and Prevention Measures ..... Li Shimin et al. (13)

Field Test Study on Collapsible Loess Subgrade Treatment by Impact-rolling Method in Liaoxi Area ..... Xing Yudong (17)

Analysis on Unsteady Groundwater Flow in the Confined Aquifer by Finite Layer Method ..... Zhu Hongbo et al. (21)

Stochastic Method of Risk Analysis for Determining Groundwater Allowable Withdrawal ..... Liu Peigui et al. (26)

Mechanism of Karst Collapse in the Hilly Area of Northwestem Tangshan ..... Zuo Wenzhe et al. (29)

BERNESE Based GPS Ephemeris Precision Effect on Computing Baseline Result ..... Meng Li et al. (33)

Data Quality and Quality Control of Underground Pipelines and Cables Management Information System ..... Si Shaoxian (35)

The Design of Large-scale topographic Map Symbols ..... Liao Zhiping et al. (40)

Analysis of the Effects of GPS Meteorological Network Design and Calculation on Remote Sensing Atmospheric Parametrs ..... Gao Yaping et al. (43)

Determination of Magnetic Declination for the New Airdrome in South China ..... Gong Shaoping et al. (47)

Discussion on the Lay out of Construction Control Network for Yangshan Port ..... Yu Zupei (50)

The Research of Threshold Digital Signature Scheme Based on the ECC ..... Cheng Fengwu et al. (52)

Image Analysis Using GPR to Determine the Tunnel Lining Quality ..... Xiao Hongyue et al. (56)

Seismic Computerized Tomography(CT) in Adit and Its Engineering Practice ..... Zou Jun et al. (60)

The Verification of Pipeline Detection Using Horizontal Directional Drilling (HDD)Technology in Panyu,Guangzhou ..... Zhang Hanchun (65)

Application of Nuclear Magnetic Resonance to the Water Research in the Water-deficient Hill Country of North Hubei ..... Chen Changqing et al. (69)

CEOTECHNICAL INVESTIGATION AND SURVEYING

No.8

(Total No. 229)

August 2008

Edited: Editorial Office of 《Gongcheng Kancha》 (Journal of Geotechnical Investiagtion and Surveying)

Address: 177 Dong Zhi Men Nei Street, Beijing 100007, China

Tel: 64013366-108, 64043313

Fax: (+86 10) 64043313-13

Http: // www.gckc.cn

E-mail: gckczz@cigis.com.cn
newsroom@geot.com.cn
wfsun@geot.com.cn

Distributed Abroad: China National Publishing Industry Corporation, P. O. Box 782, Beijing, China
or
Editorial Office of 《Gongcheng Kancha》

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