

TEM 在内蒙古正镶白旗地区水文地质勘察中的应用

林 君¹, 王 艳¹, 易树平², 李海生³, 嵇艳鞠¹, 周国华¹

(1. 吉林大学智能仪器与测控技术研究所, 吉林 长春 130061; 2. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130061; 3. 内蒙古牧区水利研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要 利用 TEM 法, 对比分析不同测线视电阻率-深度断面图, 得出地下岩层含水层的埋藏条件及富水性, 初步确定取水井位, 再结合区域水文地质条件, 对比分析不同测线中单井涌水量的相对大小, 最终确定理想井位. 以 TEM 在内蒙古正镶白旗地区地下水勘察中的应用为例, 证明了 TEM 在确定含水层及井位上的有效性.

关键词 TEM 地下水 视电阻率 单井涌水量

中图分类号: TH763 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2005)06-0672-05

钻孔法和 NMR 法是目前水文地质勘察中最直接的方法. 但是, 钻孔需要知道准确的含水带位置及其涌水量, 并且无法提供测区内连续的地下结构信息, 费用昂贵, 有破坏性, 另外在污染严重的地区钻孔危险性高. NMR 法勘探的有效深度浅(小于 120 m)^[1], 而一些干旱地区, 含水层普遍偏深. 经济、简单且无破坏性的间接地球物理方法(如电阻率法), 其勘探深度深且可以提供地层结构剖面信息, 因此, 该方法已成为水文地质勘察中一种较好的方法, 其中瞬变电磁法(Transient Electromagnetic Method, 以下简称 TEM)的应用已比较广泛^[2~7]. 近年来国内也有 TEM 法应用于地下水勘察的报道^[8], 但应用不广.

本文运用自行研制的 TEM 仪器——ATEM-II 接收机和发射机, 在内蒙古接近沙漠、水资源非常缺乏的正镶白旗地区进行水文地质勘察活动 (a) 判断含水层的埋藏条件, 定性评估含水层的富水性 (b) 确定取水层位及井位 (c) 结合区域水文地质条件定性对比评价含水层打井处单井涌水量 (d) 为内蒙古正镶白旗地区引水工程的水资源论证提供依据.

1 TEM 法确定含水层原理

TEM 法主要是根据地下岩层的赋水性及离子含量不同所导致的电阻率的差异来评价地下水的. TEM 寻找地下水的方法主要有两种 (a) 首先在测区已知含水层的范围进行勘察, 把所绘视电阻率-深度断面图与实际异常进行对照, 确定 TEM 方法的有效性并得出勘察区内含水层视电阻率的变化范围, 然后在未知异常处进行普查, 寻找断面图上视电阻率相近的异常. (b) 岩石或松散沉积物的电阻率值是在一个很大的范围内变化的, 即使是同一种岩石或松散沉积物, 由于其含盐量、含铁量、含水量以及结构的不同, 电阻率值的变化也很大. 干的砂砾石电阻率值高达几百至几千 $\Omega \cdot m$, 而饱和的砂砾石含水层则显著降低. 在同样的饱和水情况下, 粗颗粒的砂砾石比细颗粒的粉砂电阻率要高, 饱和的黏性土地区由于渗透条件较差, 多出现低阻值(表 1). 表 1 反映了电阻率与松散沉积物岩性、孔隙度、矿化度诸因素的相互关系. 由表 1 可知, 岩性、矿化度不同, 其电阻率值也不同, 可利用勘察所绘视电阻率-深度断

表 1 电阻率与松散沉积物岩性、孔隙度(k)及矿化度的关系^[9]

Table 1 Relation between resistivity porosity and degree of mineralization for different kinds of loose depositions

矿化度/ ($g \cdot L^{-1}$)	电阻率/($\Omega \cdot m$)			
	$k = 15\% \sim 25\%$	$k = 25\% \sim 35\%$	$k = 35\% \sim 40\%$	$k = 40\% \sim 50\%$
	砂砾石	粗中砂	细粉砂	黏土、亚黏土
1	150 ~ 75	75 ~ 30	40 ~ 25	25 ~ 20
2	90 ~ 45	45 ~ 18	24 ~ 15	15 ~ 12
3	60 ~ 30	30 ~ 12	16 ~ 10	10 ~ 8
4	30 ~ 15	15 ~ 6	8 ~ 5	5 ~ 4
5	18 ~ 9	9 ~ 3.6	4.8 ~ 3	3 ~ 3.2

面图测定含水层与隔水层、咸水含水层与淡水含水层的空间分布并把它们区分开来.上述方法均为定性勘察,只是在准确性上有差异,可为井位的确定提供指导依据.本文综合应用了这两种方法.

由表1可知,当岩石的岩性一定时,岩层的电阻率随矿化度的增加而降低;当矿化度一定时,岩层的电阻率与其岩性也有一一对应关系.那么只要3个参数中的2个已知,即可确定第3个因素.这里TEM法可以根据接收线圈中感应电动势与不同时刻地下视电阻率的关系公式算出视电阻率,虽然不是真的岩层电阻率,存在一定的偏差,依据解释算法的不同,逼近真实值的程度不同,但可以作为依据参数.勘察区的水文地质条件已知,含水层的矿化度的范围可以初步确定.因此岩石的岩性是讨论的重点.而地下水沉积物的岩性与给水度之间有一经验关系(表2).给水度表示在常压下从饱和含水岩石中流出来的水体积与饱和岩石总体积之比,而在相同厚度和性质的岩层中,当有好的补给条件时,给水度与排出水的水量成正比.据此,一定岩性的岩层给水度是一定的,从而涌水量也是一定的,所以可由岩性定性估计涌水量的大小,从而判断是否适合打井供水.

表2 各种岩石与给水度经验值^[10]

Table 2 Empirical values of storativity for different kinds of depositions

岩性	给水度	岩性	给水度
砂砾石	0.26	粉砂	0.14~0.16
粗砂	0.24	亚砂土	0.12~0.14
中粗砂	0.22	亚砂土-亚黏土	0.11~0.12
中砂	0.21	半胶结砂	0.10
中细砂	0.20	淤泥	0.10
细砂	0.18~0.19	黏土	0.03
粉细砂	0.16~0.18		

2 实例研究

2.1 测区水文地质概况

测区位于内蒙古正镶白旗明安图镇供水新水源地阿拉腾嘎达斯苏木境内,图1为测区水文地质示意图.测区距正镶白旗45.75 km,地理位置为E114°43'~E114°53'和N42°36'~N42°44'之间,共200 km².水源地位于浑善达克沙漠南缘,地势南高北低,向浑善达克沙漠倾斜,接近浑善达克东西向拗近槽地南缘.上部为第四系全新统风积砂,分布有风积砂层孔隙潜水,其底部为分布广、厚度大的第三系上新统红色泥岩,红色泥岩构成良好的区域性隔水层.风积砂层孔隙潜水的涌水量大小随沙丘底部红色泥岩顶板的起伏不平而变化:在低洼处风积砂厚度大,有利于地下水的汇集与赋存,涌水量就较大;而在高处风积砂厚度薄,不利于存水,涌水量也较小.下部为第三系上新统和下白垩统巴彦花组地层,在砂岩、砂砾岩层中埋藏有较丰富的承压自流水,但普遍自流量小于2400 m³/d,在局部构造控制区单井涌水量大于1500 m³/d.如1号井单井涌水量大于3000 m³/d.主要勘察区位于潜水涌水量小于10 m³/d,承压水涌水量为100~200 m³/d区(V区).由于构造影响,确定井位较为困难.

图1 测区水文地质示意图

Fig.1 Sketch of hydrogeology for studied area

2.2 TEM勘察与分析

2003年7月,采用吉林大学智能仪器与测控技术研究所研制的ATEM-II型仪器,重叠回线装置,100 m×100 m边长的正方形发射和接收框,点距50 m,发射电流13.2 A,发射双极性矩形波,频率25 Hz,采样率5 μs,叠加1024次.采集数据重复性好,异常处数据幅值和衰减速度变化明显(图2).经自行编制的反演软件计算视电阻率和视深度后,用sufer专业绘图软件绘制视电阻率-深度断面图,如图3所示.

首先,在穿过已知异常井1和井3处设置测线L1和L4,见图1,其中L1线长400 m,井1位于测线250 m处;L4线长700 m,井3位于测线300 m处.L1和L4断面图见图3和图4,可以看到钻井处有明显异常,说明TEM法的有效性.L1剖面异常带范围广,横向400 m左右,纵向280 m,呈漏斗状,视电阻率范围为110~140 Ω·m.根据表1,在矿化

图2 衰减曲线

Fig.2 Attenuation curves



图3 L1线视电阻率-深度断面

Fig.3 Apparent resistivity-depth profile of L1

度小于或等于 1 g/L 时,岩石的岩性为含水砂砾石,异常体中间无相对高阻出现,整个含水层的渗透性能好,补给条件好,涌水量大. L4剖面异常体横向范围广($200\sim 750\text{ m}$),视电阻率范围为 $110\sim 140\Omega\cdot\text{m}$,岩石的岩性为含水砂砾石,但是异常带中间出现高阻透镜体,连续性差,由于打井范围内整体视电阻率偏高,渗透性能相对较差,350 m处尤为突出,补给条件差,富水性差.



图4 L4线视电阻率-深度断面

Fig.4 Apparent resistivity-depth profile of L4

由水文地质条件和图3、图4中异常位置,可推断出在L1和L4测线之间应有含水层存在,考虑地形和方便钻井因素,在L4线向北平移220 m处设置测线L3,长850 m,在L3线上800 m处为一片盐碱地,因此在剖面图上会有一定范围的低阻异常出现. L3剖面(图5)有两处明显的异常带,在50~350 m范围内,深度为80~280 m,视电阻率 $110\sim 140\Omega\cdot\text{m}$;在450~900 m范围内,深度40~180 m,视电阻率在 $60\sim 140\Omega\cdot\text{m}$ 之间变化,根据L1和L4剖面及已打井情况,证明视电阻率在 $110\sim 140\Omega\cdot\text{m}$ 范围内的异常可能为含水层.左边200 m范围深度异常体由于上部为高阻覆盖层,此异常为深层承压水,岩性为含水砂砾石,左边高阻、不含水,右边为含水层可以作为补给源,补给条件较好,富水性较好.800 m处受地面影响视电阻率极低,岩性及富水性不确定;650 m范围岩性为含水粗中砂或含水砂砾石,含水层向左向右延伸,虽然左边有一视电阻率偏高带,但是右边含水层为承压水,可以作为补给源,因此补给条件较好,涌水量较大.由上述分析可初步确定200 m和650 m附近均可作为钻孔位.

由上述分析及表2可知,L1剖面中井1的给水度为 $0.24\sim 0.26$,在井1所处水文地质条件下单井涌水量最大;L3剖面中含水层处给水度为 $0.24\sim 0.26$,在其所处的水文地质条件下,如果钻井,那么其单井涌水量次之;L4剖面中井3的给水度为 $0.24\sim 0.26$,在井3所处水文地质条件下单井涌水量最小.由此,确定L3剖面上的井位有其实用性.



图5 L3线视电阻率-深度断面

Fig.5 Apparent resistivity-depth profile of L3

2.3 钻井验证

井1为1978年所打,没有钻孔资料,只知孔深136m,自流井,单井涌水量 $3489.7\text{ m}^3/\text{d}$ 。井3岩性与TEM在井3处勘察结果见表3。由表3可知:视电阻率在 $130\sim 140\ \Omega\cdot\text{m}$ 时主要为泥质砂砾岩含卵石,富水性和透水性均较好;在 $140\sim 150\ \Omega\cdot\text{m}$ 时主要为透水性好与透水性差的岩石的混合,因而富水性较差,透水性较弱,可以作为隔水层;大于 $150\ \Omega\cdot\text{m}$ 时主要为泥岩,几乎不含水,井3单井涌水量 $732\text{ m}^3/\text{d}$ (降深121m)。在L3剖面670m处钻的孔称为井5,井5岩性与TEM法在此处的勘察结果见表4。由表4可知:视电阻率小于 $110\ \Omega\cdot\text{m}$ 时主要含黏土,渗透性能差,含水少,但由于盐碱地的影响呈现低阻;在 $120\sim 130\ \Omega\cdot\text{m}$ 时主要以砂砾等为主,富水性好,透水性最好;在 $110\sim 120\ \Omega\cdot\text{m}$ 和 $130\sim 140\ \Omega\cdot\text{m}$ 时主要含细砂等,富水性和透水性均次之,井5单井涌水量 $1392\text{ m}^3/\text{d}$ (降深42.24m)。

表3 井3钻井资料与TEM法勘察结果对比

Table 3 Comparison of drilling and TEM results at well 3

井3钻井资料		TEM法	
深度/m	岩性	深度/m	视电阻率/ ($\Omega\cdot\text{m}$)
0~42	黏土质粉砂、砂黏土、泥岩,隔水性好,致密,硬	0~40	探测盲区
42~89	泥岩、泥质砂岩,致密,硬	40~90	150~190
89~116	泥岩,致密,硬		
116~126	中粗砂夹泥岩,砂岩松散,透水性好	90~140	140~150
126~132	泥岩,致密,硬		
132~144	砂砾夹卵石,透水明显;泥岩,致密,硬	140~160	130~140
144~160	泥质砂砾岩含卵石,透水性较好	160~240	140~170
160~240	泥岩、砂砾岩、砂岩	240~280	180~200

表4 井5钻井资料与TEM法勘察结果对比

Table 4 Comparison of drilling and TEM results at well 5

井5钻井资料		TEM法	
深度/m	岩性	深度/m	视电阻率/ ($\Omega\cdot\text{m}$)
0~40	粉细砂、中细砂、砂质黏土互层	0~40	探测盲区
40~50	细砂、黏土	40~50	90~110
50~140	细砂、黏土、粉细砂、细砂互层、上部中粗砂、下部中细砂、中细砂夹泥岩互层	50~140	110~120
140~168	粗砂、中粗砂底部含砾、灰色泥岩、细砂岩	140~170	120~130
		170~180	130~140
		180~280	140~200

3 结 论

采用钻井资料与TEM法对含水层、富水性的确定及对钻孔处单井涌水量的定性对比分析结果基本相符,各个井位单井涌水量实测值与理论分析结果一致。同时,钻井资料显示采用TEM法计算的视电阻率偏高,导致整体分析存在偏差,但是不影响整体的定性分析。由此得出:利用TEM法可以方便、快捷地确定含水层及埋藏条件,最终准确确定井位,为实施钻井提供理论依据。TEM在内蒙古正镶白旗地区的地下水勘察中效果明显,并对内蒙古正镶白旗地区引水工程的水资源评价提供了依据。

参考文献:

- [1] MAX A M ,PAUL D ,PETER F. Surface NMR sounding and inversion to detect groundwater in key aquifers in England :comparisons with VES—TEM methods[J]. Journal of Applied Geophysics ,2002 ,50 :95—111.
- [2] FITTEMAN D V ,STEWART M T. Transient electromagnetic sounding for groundwater[J]. Geophysics ,1986 ,51 :995—1005.
- [3] GOLDMAN M ,GILAD D ,RONEN A ,et al. Mapping of seawater intrusion into the coastal aquifer of Israel by the transient electromagnetic method[J]. Geoploation ,1991 ,28 :153—174.
- [4] TAYLOR K ,WIDMER M ,CHESLEY M. Use of time-domain electromagnetics to define local hydrogeology in an arid alluvial environment [J]. Geophysics ,1992 ,57 :343—352.
- [5] YOUNG M E ,de BRUIJN R G M ,bin SALIM AL-ISMAILY A. Exploration of an alluvial aquifer in Oman by time-domain electromagnetic sounding[J]. Hydrogeology Journal ,1998 ,6 :383—393.
- [6] SHIVELMAN V ,GOLDMAN M. Integration of shallow reflection seismics and time domain electromagnetics for detailed study of the coastal aquifer in the Nitzanim area of Israel[J]. Journal of Applied Geophysics ,2000 ,44 :197—215.
- [7] DANJENSEN J E ,ESBEN A ,FLEMMING J ,et al. The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys [J]. Journal of Applied Geophysics ,2003 ,3 :81—198.
- [8] 张保祥 ,刘春华 ,汪家权. 瞬变电磁法在地下水勘察中的应用[J]. 水利水电科技进展 ,2002 ,22(4) :22—23.
- [9] 史长春. 水文地质勘察(上册)[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1983. 271—274.
- [10] 史长春. 水文地质勘察(下册)[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1983. 12—361.

Application of TEM to hydrogeologic survey in Baiqi area of Inner Mongolia

LIN Jun¹ , WANG Yan¹ , YI Shu-ping² , LI Hai-sheng³ , JI Yan-ju¹ , ZHOU Guo-hua¹

(1. Institute of Intelligent Instrument and Measurement Technology , Jilin University , Changchun 130061 , China ;

2. College of Environment and Resources , Jilin University , Changchun 130061 , China ;

3. Water Conservancy Institute in Pasturing Area , Hohhot 010020 , China)

Abstract :By a comparative analysis of the apparent resistivity-depth relationship on different measurement lines with the transient electromagnetic method(TEM) , the embedding condition of underground aquifers and their capacities of water storage were obtained , and the well positions for water intake were primarily determined. Then , in combination with the regional hydrogeological condition , the rational well positions were finally determined by comparison of the relative water outflow from single wells on different measurement lines. The application of TEM to groundwater exploration in Baiqi area of Inner Mongolia verifies the effectiveness of TEM in determination of aquifers and well positions.

Key words :TEM ; groundwater ; apparent resistivity ; water outflow from single well