第十卷 第四期 物 探 与 化 探 Vol. 10, No. 4
1986年8月 GEOPHYSICAL & GEOCHEMICAL EXPLORATION Aug., 1986

利用井中激电预报钻孔涌水量

辛宝骐 黄智辉
（内蒙古物探队） （武汉地质学院）

对于离子导电岩石来说，虽然它的激发极化机理较为复杂，但有一点却是完全可以肯定的，那就是离开了作为导电媒质的水，岩石是不可能产生激发极化效应的。这就是说，岩石的极化率K与岩石的含水量Q有关。我们所进行的模型实验研究证明了K与Q之间存在着较好的相关关系。

室内模型实验研究

模型实验装置如图1所示。岩样为河床天然砂砾石，其中砾石占30%，中粗砂占70%，孔隙度约为35%。岩样两侧填以体积相等的红色粘土。实验用水为天然水，其矿化度为308.mg/L。

实验仪器由JBC—2型测井记录仪和一个自制的双稳态换向开关组成。观测时分别在照相记录纸上读取断电后延迟时间为0s、2s、4s、8s、16s及32s的二次电位值及一个一次电位值。这样选取延迟时间是为了保证后一个延迟时间是前一个延迟时间的两倍，即$t_2=2t_1$。整理资料时选择使用参数F，它是极化率K的倒数，即$F=1/K$。

在实验过程中，每次加水1900cm³，稳定2小时后进行观测，共加水四次。表1为观测结果，图2为根据表1所列数据绘成的水量Q与F值之间的关系曲线。

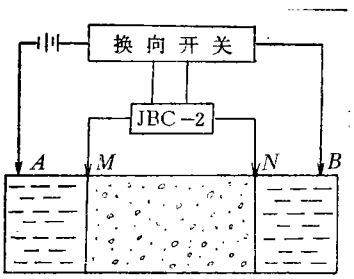


图 1

由图2可以看出，在F_1和F_2的情况下，F值与Q值之间呈现出较好的线性相关关系。因此，利用较小的F参数（延迟时间为0s到4s）来估计Q值是有利的。

表 1

F值		第1次观测	第2次观测	第3次观测	第4次观测	第5次观测
		潮 湿	加 水 1900cm³	加 水 1900cm³	加 水 1900cm³	加 水 1900cm³
F_1	0～2 s	15.37	27.12	41.28	53.30	68.03
F_2	2～4 s	32.31	56.80	78.32	106.29	132.00
F_3	4～8 s	37.04	66.67	106.38	121.95	153.85
F_4	8～16 s	43.48	97.09	109.27	151.52	178.57
F_5	16～32 s	50.51	117.65	153.85	158.73	251.84

表2中列出了比值F_1/F_2的变化情况。第一次观测和第二次观测的F_1/F_2的平均值是0.4765，而第三、四、五次观测的F_1/F_2的平均值是0.5143。这两个平均值的不同，反映了砂砾石贫水和富水的差异。

由上述实验结果可以得出，岩石的极化率K与岩石的富水性有关。参数F_2（或F_1）及比值F_1/F_2与岩石水量的大小及贫、富水情况有密切的关系。利用这两个参数有可能估计野外钻孔中含水层的富水性。

野外试验结果

野外试验采用的电极系为B2.5M0.2A。将电极系上的M电极置于砂砾岩含水层的底板处。观测

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

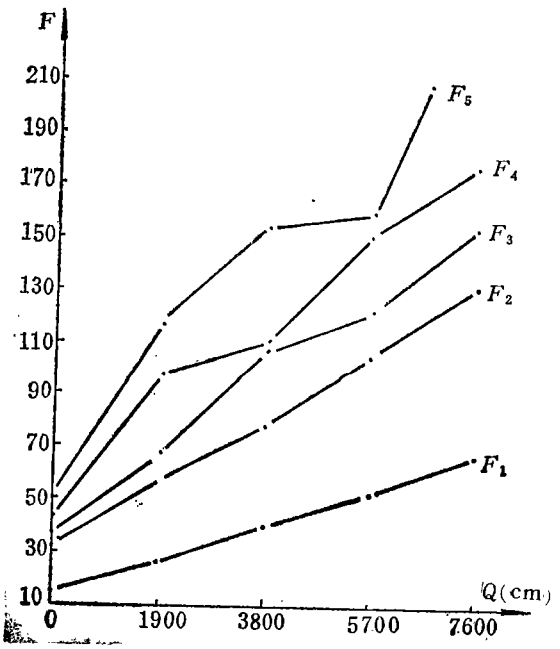


图 2

方法与室内模型实验相同。

在内蒙古四子王旗泉掌子盆地和东湖盆地共测了七个钻孔，十个砂砾岩含水层。该含水层属第三系、第四系沉积。地层沉积韵律清楚，砂砾岩中泥质含量少。水质为重碳酸一镁型水，矿化度一般为400～650 mg/L。在表3中列出了这十个含水层的厚度(H)、F_1/F_2、F_2及抽水试验所得单位涌水量Q的数据。

考虑到砂砾岩含水层的单位涌水量与H、F_1/F_2、F_2这三个变量之间都有近似线性的关系，我们应用判别分析法，由这三个变量确定一个判别函数Z_{ij}，以期确定判别函数Z_{ij}与单位涌水量Q之间的关系。

我们把十个抽水试验资料作为一个总体，并按照涌水量的数量级将总体分成两个样本：

第一样本：由单位涌水量为0.009、0.026、0.063及0.102(L/s)的五个样品组成。

第二样本：由单位涌水量为0.50、0.956、4.00、4.239及4.912 (L/s)的五个样品组成。

三元线性判别函数Z_{ij}的一般形式为

表 2

		第1次观测	第2次观测	第3次观测	第4次观测	第5次观测
		潮 湿	加 水 1900cm³	加 水 1900cm³	加 水 1900cm³	加 水 1900cm³
F_1	0～2 s	15.37	27.12	41.28	53.30	68.03
F_2	2～4 s	32.31	56.80	78.32	106.29	132.00
F_1/F_2		0.476	0.477	0.527	0.501	0.515
F_1/F_2平均值		0.4765		0.5143		

$$z_{ij}=\lambda_1 x_{1ij}+\lambda_2 x_{2ij}+\lambda_3 x_{3ij}$$

式中下标i表示样本序号（在我们的实例中$i=1,2$）；下标j表示样品序号（在我们的实例中$j=1,2,3,4,5$）；x_1、x_2、x_3分别为三个自变量H、F_1/F_2及F_2；系数λ由解下面的线性方程组来确定：

$$\left.\begin{aligned}\lambda_1 s_{11}+\lambda_2 s_{12}+\lambda_3 s_{13}&=d_1\\ \lambda_1 s_{21}+\lambda_2 s_{22}+\lambda_3 s_{23}&=d_2\\ \lambda_1 s_{31}+\lambda_2 s_{32}+\lambda_3 s_{33}&=d_3\end{aligned}\right\}$$

其中 $$s_{pq}=\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{pij}-\bar{x}_{pi})(x_{qij}-\bar{x}_{qi})$$

$$s_{pq}=s_{qp};\quad d_p=\bar{x}_{p1}-\bar{x}_{p2};\quad \bar{x}_{pi}=\frac{5}{n_i}\sum_{j=1}^{n_i}x_{pij}$$

$$(i=1,2;\ p=1,2,3;\ q=1,2,3)$$

临界判别函数值则为

$$Z_0=\frac{\lambda_1}{n_1+n_2}\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{n_i}x_{1ij}+\frac{\lambda_2}{n_1+n_2}\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{n_i}x_{2ij}+\frac{\lambda_3}{n_1+n_2}\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{n_i}x_{3ij}$$

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

表 3

孔 号	H (m)	F_1/F_2	F_2	Q (L/S)
XK_{15}	15.30	0.6577	22.2205	0.035
	30.00	0.5387	49.6999	0.026
XK_{17}	28.40	0.6733	19.1900	0.50
	24.00	0.6120	17.4992	0.102
XK_{21}	29.20	0.7140	22.7612	4.00
XK_{32}	13.40	0.6687	49.6924	4.91
XK_{34}	22.20	0.5746	28.2474	0.063
XK_{44}	26.30	0.5428	27.6383	0.009
XK_{45}	15.10	0.6590	73.3630	4.239
	9.00	0.5339	45.1758	0.956

经计算得到，$Z_0 = 112.2367$；$\lambda_1 = -1.00$；$\lambda_2 = 208.1287$；$\lambda_3 = 0.18400$。两个样本中各样品各(层)的Z_{ij}值见表4。图3为Q—Z_{ij}关系图。

由图 3 可以看出：当单位涌水量在0.009—3.0 L/S范围内变动时，Z_{ij}对Q的变化反映较灵敏；当单位涌水量在3.0—5.0L/S范围内变动时，Z_{ij}对Q变化的反映越来越不灵敏。因此，当Q值较高（大于3.0L/S）时，利用Z_{ij}来预报Q值将会有较大的误差。

钻孔涌水量预报的效果

表 5 列出了在内蒙古四子王旗泉掌子、东湖盆地用前述方法和图 3 对11个钻孔预报涌水量及相应抽水试验的结果。在分析表 5 所列数据时，应当考虑到以下三点水文地质情况：

1．各孔所下滤水管有127、146及168mm 三 种直径。管径不同，钻孔的出水量便不同，且管径越

表 4

i	Zij (L/S)				
$i=1$	$Z_{11}=91.57$	$Z_{12}=91.6053$	$Z_{13}=102.5882$	$Z_{14}=106.5945$	$Z_{15}=125.6748$
$i=2$	$Z_{21}=113.4257$	$Z_{22}=110.4322$	$Z_{23}=123.6544$	$Z_{24}=135.5556$	$Z_{25}=134.9200$

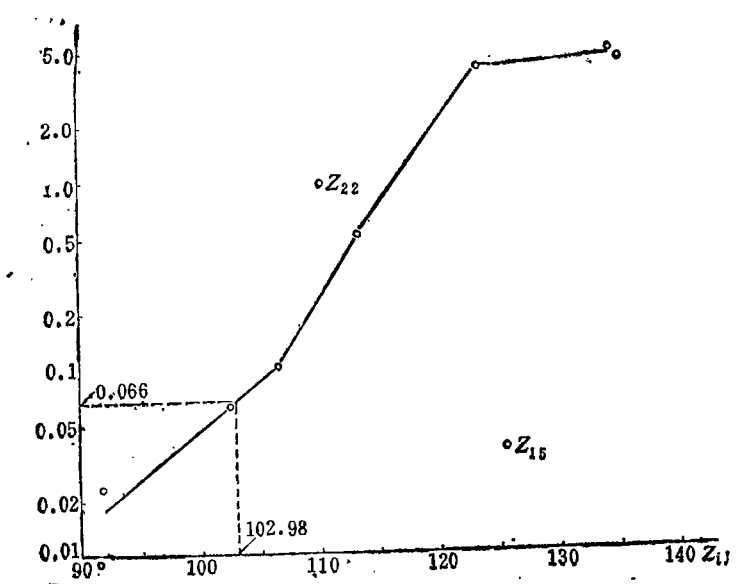


图 3

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

表 5

编 号	孔 号	试验井段（m）	抽水试验 Q_1(L/S·m)	激电预报 Q_2(L/S·m)	$\Delta Q = Q_1 - Q_2$
	XK₄	25.85～33.85	0.038	0.066	-0.028
		38.77～74.41 80.55～101.43 124.45～142.61	0.00068	微含水	
2	XK₅	37.01～40.55	0.094	3.0	-2.906
		64.28～65.58	0.063	0.5	-0.437
3	XK₁₁	52.47～63.21	0.83	0.11	0.72
4	XK₁₆	54.44～58.04 61.70～64.62 66.52～69.19	0.333	1.6	-1.267
		79.38～85.94 90.51～99.91	0.062	0.08	-0.018
5	XK₂₂	3.37～13.10	0.72	0.8	-0.08
		13.90～22.03	0.0336	0.025	0.0086
6	XK₃₃	1.90～8.82	2.7	2.9	-0.2
7	XK₃₈	2.18～15.06	2.57	2.0	0.57
8	XK₃₉	52.25～69.57	0.595	0.70	-0.105
		81.53～89.21	0.607	0.50	0.107
9	XK₄₇	15.89～20.42 25.95～27.52	0.03	0.08	-0.05
10	QK₅	9.50～14.10	0.025	0.021	0.004
11	QK₇	2.51～14.94	1.27	1.30	-0.03

大，出水量随之相应增加。因此，所计算出的单位涌水量会受到滤水管管径的影响。

2．由于各孔投砾料不同，使各孔成井工艺不同，所以抽水试验时各孔的水跃值也不相同。所计算出的单位涌水量会受到水跃值的影响。

3．进行抽水试验时，水文地质所控制的含水层的厚度有时不准确。

由于以上三种因素的影响，使抽水试验结果没有一个标准的归一化的数量值，这就给评定激电涌水量预报的准确性带来极大的困难。根据这种情况，我们把钻孔单位涌水量分成五个等级：第一级小于0.0001L/S·m，为微含水级；第二级0.001—0.01L/S·m；第三级0.01—0.1L/S·m第四级0.1—1.0L/S·m；第五级大于1.0L/S·m。只要所预报的单位涌水量是在抽水试验涌水量的数量级范围内，便认为预报是成功的。

由表5可见，11个钻孔的16个含水层组中，井中激电预报的单位涌水量满足等级划分的有12个层组，占总层组数的75%；不满足要求的有4个层组，占总层组数的25%。

野外试验结果说明，，本文所介绍的利用井中激电预报钻孔单位涌水量的方法是有效的。我们的试验结果，是在地层沉积韵律清楚、层次分明、泥质含量少的第三系、第四系地层条件下得到的。地层水矿化度一般小于1.0g/L。

在其他地质条件下，特别是地层的泥质含量较高的条件下，Q与Z_{ti}之间是否仍存在较密切的关系，这是值得进一步深入研究的问题。

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

在试验过程中，曾得到内蒙古大学数学系肖常纪、内蒙古电子仪器厂王辛工程师等同志的帮助和支持，在此特向他们表示感谢。

PREDICTION OF THE QUANTITY OF GUSHING WATER IN DRILL HOLE BY MEANS OF BOREHOLE INDUCED POLARIZATION

Xin Baoqi

(*Geophysical and Geochemical Prospecting Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongol Autonomous Region*)

Huang Zhihui

(*Wuhan College of Geology*)

倾斜地质接触带磁异常的分析

刘庆生　　（武汉地质学院）

倾斜地质接触带在磁法勘探的磁异常推断解释中是比较经常遇到的地质形体。对于这种形状的地质体，由于假设向下延深无限，则导致它的绝对磁场强度的数学表达式发散，或者说这种规则形体的绝对磁场是不存在的。但是在实际工作中，所谓的无限则是相对的，正如磁法勘探中二度体与三度体、有限延深与无限延深的概念一样，它们总是相对于地质体的上顶埋深而言的。本文推导了无限台阶的一个相对磁场表达式，并对它的磁场特征进行了分析。

为了便于讨论，我们这儿先来看绝对磁场表达式的形式。对于无限台阶的磁场可以看成是由无数个薄板的磁场沿ox方向迭加的结果，即：

$$Z_{a台}=\int_0^{\infty} dZ_{a薄}d\xi$$

因为
$$dZ_{a薄}=d\xi\cdot 2J_z\frac{h\cos\gamma-(x-\xi)\sin\gamma}{(x-\xi)^2+h^2} \quad (1)$$

所以
$$Z_{a台}=2J_z\cdot\int_0^{\infty}\frac{h\cos\gamma-(x-\xi)\sin\gamma}{(x-\xi)^2+h^2}d\xi$$

$$=2J_z\int_0^{\infty}\frac{h\cos\gamma}{(x-\xi)^2+h^2}d\xi$$

$$-2J_z\int_0^{\infty}\frac{(x-\xi)\sin\gamma}{(x-\xi)^2+h^2}d\xi$$

$$=2J_z\left\{\cos\gamma\left(\mathrm{tg}^{-1}\frac{x}{h}+\frac{\pi}{2}\right)\right.$$

$$\left.-\frac{1}{2}\sin\gamma\ln(x^2+h^2)\right\}+2J_z\sin\gamma\ln\infty \quad (2)$$

从（2）式很容易看出，第一项虽然收敛，但由于第二项中$\ln\infty$的存在，故导致（2）式达散。这表明无限台阶的绝对磁场是不存在的。

下面讨论无限台阶的相对磁场的表达式。我们从薄板磁场出发经过厚板磁场过渡到物理意义条件下的无限台阶的磁场。假设厚板的上顶宽度为b，上顶埋深为h，倾角为α，剖面内有效磁化强度为$\vec{J_s}$（见图1）。

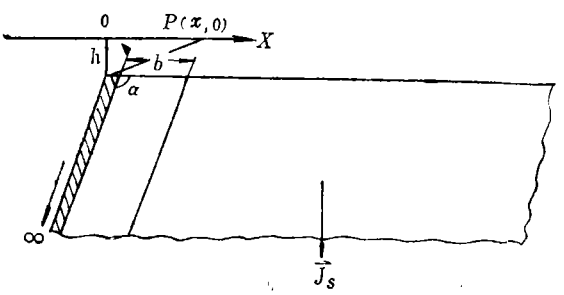


图 1　薄板-厚板-无限台阶的横截面图

因为
$$Z_{a厚}=\int_0^{b} dZ_{a薄}d\xi \quad (3)$$

将（1）式代入（3）式得到

$$Z_{a厚}=2J_z\int_0^{b}\frac{h\cos\gamma-(x-\xi)\sin\gamma}{(x-\xi)^2+h^2}d\xi \quad (4)$$

$$=2J_z\int_0^{b}\frac{h\cos\gamma}{(x-\xi)^2+h^2}d\xi$$

$$-2J_z\int_0^{b}\frac{(x-\xi)\sin}{(x-\xi)^2+h^2}d\xi$$

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