第 28 卷 第 6 期
1 9 9 2 年 6 月

地质与勘探
GEOLOGY AND PROSPECTING

Vol. 28, No. 6
June, 1 9 9 2

激电变脉冲衰减法

吴孝国　丁倪洪　徐　宁　陈颂平

（冶金部地球物理勘查院·河北保定市）

在模型实验的基础上，首次提出在同一测点，采用不同供电时间的条件下，分别测量激电二次场衰减曲线的变脉冲衰减法；并选择半衰时、衰减斜率、不同供电时间衰减曲线的面积比作为基本参数来阐明方法的特点。在大水槽中，研究了埋藏极化体上变脉冲衰减特性的变化规律。通过对某地区氧化锰矿与非矿的评价，说明方法是有效的并有良好的应用前景。

关键词：激电异常评价；变脉冲衰减测量；氧化锰矿



某些岩（矿）石激电谱的差异性，在时间域中主要表现在激电二次场的衰减特性上，利用这种差异性评价激电异常应该是可能的，其实际效果主要取决于客观地质—物理条件的复杂性和投入的工作方法、技术水平，以及对具体矿区地电情况的了解程度。在勘探的早、中期，详细了解地电情况是困难的。这就要求充分发挥主观能动性。

以往在研究激电二次场衰减特性时，通常只进行一种供电时间的衰减测量，且供电时间较短（仅几秒钟），而把因供电时间改变引起的衰减特性变化视作一种影响因素。在实际应用中，往往把从标本上测得的规律，简单地推广到野外的三维条件，故效果不佳。事实上，衰减特性随供电时间的变化是有规律的，可以加以利用。此外，埋藏极化体上，影响衰减特性的因素较多，有的变化规律还相当复杂，完全不同于标本测定结果。对此应引起足够的重视。

方法的提出和基本特点

1．测量仪器

由于正反向的重复脉冲序列相当于多个阶跃响应的叠加，这会降低激电时间谱对岩（矿）石极化特性的反应能力，使测得的衰减曲线发生畸变。此外，如所供电流脉冲宽度较大，观测时间也将拖大。所以，测量激电二次场衰减特性，宜采用正向单脉冲方案。

对我院研制的SWJ-1微机激电仪进行了改进，重新设计和编制了测量软件。改进后的仪器，其供电时间从几秒到几千秒，可任意选择；极化率衰减的采样延时为：150ms，250ms；350ms，500ms，700ms，950ms，1300ms，2s，3s，4s，6s，8s，10s，15s，20s，30s，40s，60s，80s，100s，150s，200s，300s，400s，600s，800s，1000s。其中晚延时（即测量截止时间）可以从10～1000s，通过拨盘控制。

2．方法的提出

首先选择相对半衰时T_f和早期衰减斜

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率K_D表征衰减曲线的特性。如图1所示，T_f是指二次场衰减到初值一半时的衰减延时，即

$$\eta(T_f)=\frac{1}{2}\eta(t_1) \qquad (1)$$

$$K_D=(\lg\eta_1-\lg\eta_2)/(\lg t_2-\lg t_1) \qquad (2)$$

这里$t_1=150$ms，$t_2=250$ms，η_1、η_2分别是对应t_1和t_2延时的极化率。

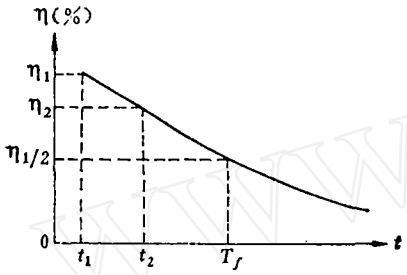
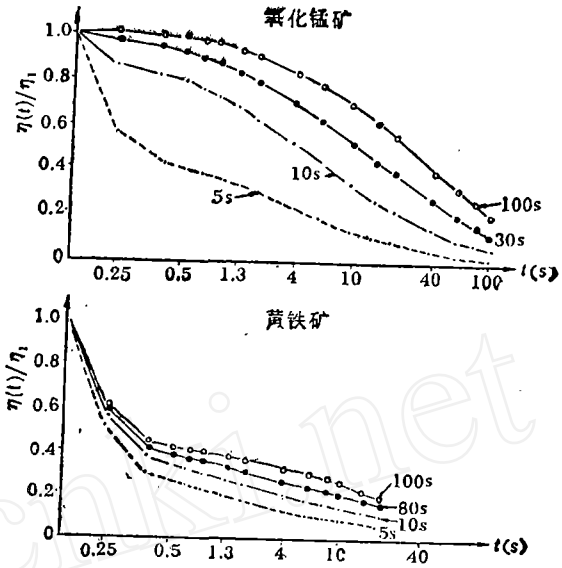


图 1 激电二次场衰减曲线

显然，T_f表征了衰减特性早、中期的衰减快慢，K_D表征了早期的衰减速率。由于衰减晚期的二次场已很小，测量精度难以保证，因此本文没有选择表征晚期衰减特征的参数。一般而言，T_f越大或K_D越小，二次场衰减越慢，激电谱呈低频特性；反之亦然。

图2是用标本泥团法测定的氧化锰矿和黄铁矿在不同供电时间条件下归一化的衰减曲线。可见，供电时间越长，衰减越缓慢，氧化锰矿尤甚。图中所示的T_f和K_D值表明，供电时间为5s时，氧化锰矿和黄铁矿差异较小；供电10s时，两者差异明显；供电30s和100s时，差异几乎达到两个数量级。说明供电时间越长，不同岩（矿）石衰减曲线特征的差异越大。

图3是大水槽模型实验的剖面测量结果，左边的铅锌—黄铁矿埋藏浅而体积大；右边的氧化锰矿埋藏深而体积小。η_s曲线反映了两个极化体的存在，却无法判定它们的



供电时间	氧化锰矿		黄铁矿	
(s)	T_f(ms)	K_D	T_f(ms)	K_D
5	280	1.107	260	1.280
10	4500	0.273	280	1.135
30	12000	0.059	290	1.049
100	26000	0.019	300	1.016

图 2 不同供电时间的归一化衰减曲线

性质。就标本而言，虽然氧化锰矿衰减较慢，但在三维条件下，衰减特性不但与标本的真谱有关，还与极化体的埋深和规模等因素有关。由图可见，供电2s时，—3#号点衰减比17#点要慢，据此进行判别会得出错误结论。供电4s和10s时，两者差异较小，不易判断；供电30s时，17#点的衰减较—3#点慢，且差异明显，供电100s时差异更大，据此能够正确判断极化体的性质。

文中介绍的激电变脉冲衰减法，是以不同岩（矿）石间存在激电二次场衰减特性差异为基本前提，在同一测点，分别测量不同供电时间的衰减曲线，并通过分析这些衰减曲线的特征及其随供电时间的变化规律，进行异常评价的一种方法。

3．方法的基本特点

现在再引入一个参数，即在脉冲和短脉

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

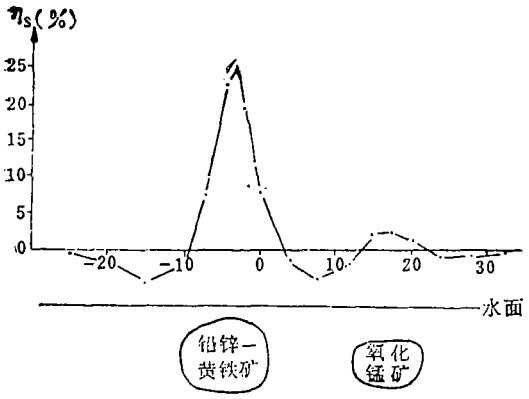


图 3　大水槽模型实验的剖面测量结果

供电时间	−3*点（铅锌-黄铁矿）			17*点（氧化锰矿）		
（s）	η_s（%）	T_f(ms)	K_D	η_s（%）	T_f(%)	K_D
2	22.0	540	0.448	1.9	500	0.598
4	24.8	650	0.382	2.4	700	0.457
10	28.0	880	0.318	3.9	1300	0.327
30	28.5	1000	0.304	4.8	2700	0.215
100	29.4	1160	0.271	6.1	5500	0.167

中梯AB=80cm，A极−35*；MN=2cm，
B极45*供电4 s。

冲分别供电时衰减曲线面积的比值SB，它表征衰减曲线特征随供电时间的变化规律。一般来说，低频特征的岩（矿）石SB值较大，反之亦然。

本文衰减曲线面积的计算公式是：

$$S=\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{N}(\eta_i+\eta_{i+1})(\lg t_i-\lg t_{i-1}) \qquad (3)$$

式中，t_i和η_i分别是第i个衰减采样延时和对应的极化率，且t_N=4s（N=10），即衰减曲线面积S是9个小梯形面积之和。并规定SB_1是供电30s的衰减曲线面积与供电10s的比值，$SB_1=S_{30}/S_{12}$；同样，令$SB_2=S_{100}/S_{30}$，$SB_3=S_{100}/S_{10}$。

图4是大水槽模型实验的测深结果，上部是黄铁矿，顶部埋深1cm；下部是氧化锰矿，两者相距1～2cm。由于相距较近，η_s曲线只表明存在极化体，但难以分辨是单个还是两个极化体。从T_f和K_D曲线看，供电4s和10s时，几乎不随极距改变而变化；供电30s时，K_D随极距增大而有所下降，T_f则有所上升；供电100s时，“下降”和“上升”的曲线形态较明显；供电300s时，这种特征更一目了然。其中，T_f曲线当$AB/2$=30cm时达到极大，后又下降，与η_s形态相似，这可能与勘探深度有关。再看SB曲线，它们都随极距增大而上升，且SB_3表现更为突出。把η_s、K_D、K_f、SB四个参数综合起来分析，不难推测有两个不同性质的极化体，且深部极化体衰减较慢，相对地呈低频特性。

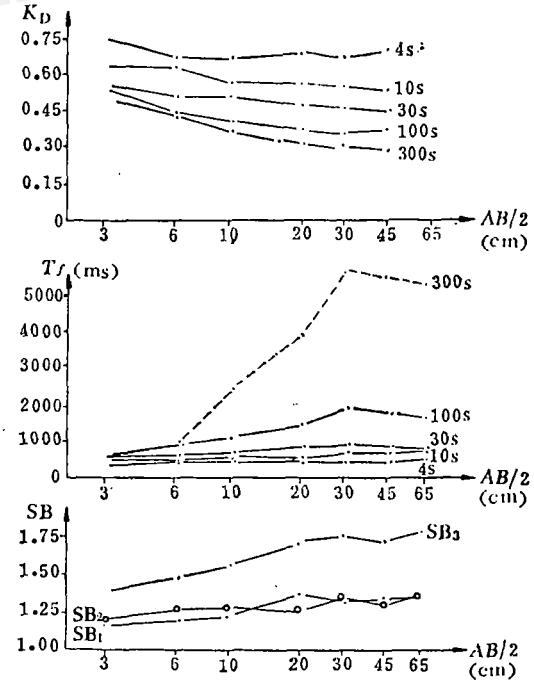


图 4　大水槽模型实验测深曲线

以上实验结果揭示了如下规律：改变供电时间会引起衰减曲线形态特征的改变；激电谱不同的岩（矿）石之间，供电时间不同，其衰减曲线的差异程度也不同，供电时间越长，差异也越大。对于埋藏极化体的情况，实测的衰减谱是视谱，不仅与极化体真谱的性质有关，还与其埋深、大小及围岩电

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性等因素有关。若把前者对视谱的贡献视作有用信息，后者的贡献视作干扰噪声，则长脉冲供电时，虽然不能消除干扰，但能增加真谱对视谱的贡献，突出有用信息，从而提高信噪比。在利用激电二次场衰减特性进行异常评价时，短脉冲测量往往难以奏效，而长脉冲测量则是可行的，但单一的长脉冲测量，其结果缺乏对比和衬托，不能全面反映衰减特性及其随供电时间的变化规律。因此，激电变脉冲衰减法具有参数多、信息丰富、资料便于对比等特点，使激电异常评价的成功率更高。

埋藏极化体上变脉冲衰减特性

1．极化体的埋深 图5是同一石墨球，改变其顶部埋深，在中心上方测得的变脉冲衰减特性。可以看出，K_D随埋深增大而上升，T_f却减小，表明极化体埋深越大，衰减越快；但SB_1、SB_2和SB_3几乎不随埋深而变化，因此SB参数能有效地克服极化体埋深的影响。

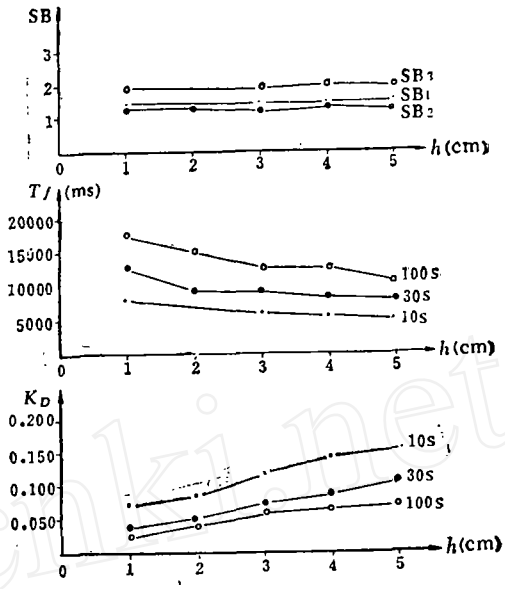


图 5 不同埋深石墨球的K_D、T_f和SB曲线

30%石墨球，直径D = 13cm，中梯装置：AB = 60cm，MN = 4cm

2．围岩的电阻率

通过向大水槽内加入不同量的食盐来改变围岩介质的电阻率，并保持其他条件不变。

图6中的测点在中心上方时，K_D随围岩电阻率的增大而减小，T_f则增大，表明围岩电阻率越高，衰减越慢。SB值也随围岩电阻率增大而稍有增大。

3．变化规律

（1）极化体埋深、大小和围岩电阻率的变化会引起T_f、K_D值较大的变化，且埋深越小或体积越大或围岩电阻率越高，使T_f增大，K_D越小，即衰减越慢，反之亦然。

（2）介质温度的变化（20～60℃）和异常中心附近测点位置的改变，对变脉冲衰减特性影响较小，一般可不考虑。

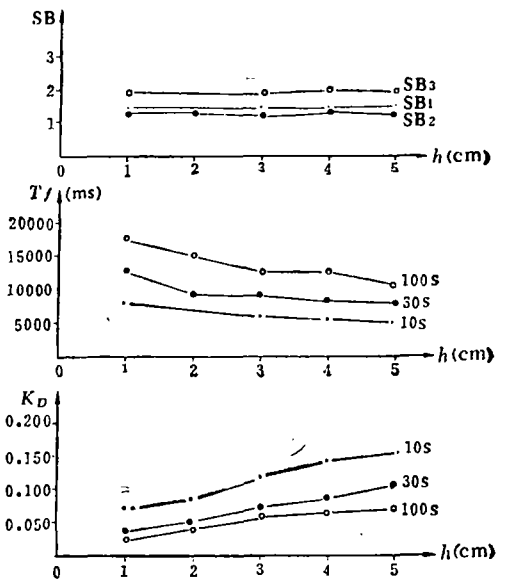


图 6 不同围岩电阻率锰矿的K_D、T_f和SB曲线

中梯装置：AB = 50cm，MN = 20cm；锰矿体积：6×5.5×5cm³，h = 1.5cm

（3）激电变脉冲衰减法对极距的选择

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

无特殊要求，与常规激电法大致相同。

（4）对于等轴状极化体，不同装置类型，只要其探测深度相近，则变脉冲衰减特性也基本相同。当极化体是板状体或呈不规则状时，装置不同，衰减特性将有一定的变化。其相对差异性又因板状体的产状不同而有所变化，规律比较复杂。因此，在评价激电异常时，最好分别采用两种以上的装置测量，再综合考虑不同装置的变脉冲衰减特征。

（5）SB参数受各种因素的影响程度较K_D和T_f小，且基本不随埋深而变化。由于该参数是一个比值，既能压制干扰，也可能“比掉”一些有用信息。所以SB参数必须和T_f、K_D互相配合，综合运用。

应用效果

氧化锰矿具有较强的激发极化效应，应用激电方法是有效的。但在某地区，岩层中的黄铁矿化较普遍，炭质和风化辉绿岩及局部硫化物富集地段也时有出现。这些非矿极化地质体引起的激电异常，用常规方法难以区分与氧化锰矿有关的激电异常，严重影响了该地区激电找锰的地质效果。

参数测定结果表明，氧化锰矿的激电二次场衰减比黄铁矿化、铅锌矿和风化辉绿岩（以下统称非矿）慢。所以，激电变脉冲衰减法具备区分氧化锰矿和非矿的物理前提。

1．已知矿点上的方法试验结果

先后在7个已知锰矿，4个已知铅锌矿、黄铁矿化岩层，2个风化辉绿岩上，进行了激电变脉冲衰减法的方法试验。测量装置都用近场源三极（$AM=10$m，$MN=40$m）装置和对称四极测深装置。

表1列出了最终计算统计结果。由表可见，氧化锰矿的衰减速度比铅锌矿、黄铁矿化岩层和风化辉绿岩慢。这种差异随供电时间的延长而变大。当供电时间从10s、30s延长到100s时，氧化锰矿与非矿上T_f和K_D的变化范围，彼此从重合、部分重合到分离，其平均值的差异也越来越大。这说明长脉冲的效果比短脉冲好，这与模型实验所揭示的规律相一致。氧化锰矿上的SB平均值比非矿的大，因此，作为区分参数仍是可取的。

总之，已知矿点的方法试验结果，肯定了激电变脉冲衰减法的有效性。

2．异常评价实例

图7所示的激电异常位置在水稻田中，为低阻覆盖。异常东部2km处有一个氧化锰矿，西边1.5km处是一个正在开采的铅锌

锰矿与非矿的变脉冲衰减特征统计结果　　表1

矿种	项目	T_f (ms)			K_D			SB_1	SB_2	SB_3
		10s	30s	100s	10s	30s	100s			
已知氧化锰矿	统计点数	15	16	16	15	16	16	16	16	16
	最小值	950	1650	2600	0.254	0.201	0.102	1.18	1.10	1.52
	最大值	1500	2800	4000	0.343	0.272	0.233	1.67	1.36	1.97
	平均	1240	2010	3200	0.295	0.230	0.179	1.36	1.25	1.70
已知风化辉绿岩	统计点数	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	最小值	930	1200	1500	0.33	0.283	0.247	1.14	1.12	1.33
	最大值	1200	1750	2400	0.385	0.322	0.302	1.36	1.29	1.65
	平均	1060	1610	2040	0.350	0.295	0.265	1.25	1.20	1.50
已知铅锌矿和黄铁矿化	统计点数	7	6	7	7	6	7	5	5	6
	最小值	700	1200	1800	0.261	0.257	0.214	1.19	1.16	1.45
	最大值	1400	2300	2800	0.416	0.309	0.255	1.50	1.30	1.85
	平均	1120	1730	2390	0.329	0.285	0.238	1.29	1.23	1.56

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

广东省梅县某异常变脉冲衰减特征　　表 2

测点	供电时间（s）	T_f（ms）	K_D	SB_1	SB_2	SB_3	备　注
	10	1150	0.284				近场源三级
29*	30	1700	0.225	1.35	1.26	1.71	AM = 12m
	100	3200	0.223				MN = 48m
	10	1700	0.265				
30*	30	2700	0.233	1.29	1.17	1.51	同　上
	100	3500	0.211				
	10	950	0.375				测　深
29*	30	1500	0.334	1.41	1.16	1.64	$AB/2$ = 25m
	100	2000	0.308				$MN/2$ = 3m
	10	1150	0.317				测　深
30*	30	1700	0.226	1.26	1.14	1.44	$AB/2$ = 40m
	100	2500	0.206				$MN/2$ = 6m
	10	1150	0.304				测　深
30*	30	1750	0.255	1.17	1.12	1.31	$AB/2$ = 150m
	100	2700	0.223				$MN/2$ = 15m
	10	1700	0.253				联剖（η_S^A）
32*	30	2400	0.206	1.21	1.23	1.49	AO = 90m
	100	3400	0.186				MN = 20m
	10	1300	0.300				
均值	30	1960	0.247	1.28	1.18	1.52	取算术平均
	100	2880	0.226				

矿。这里是一个多金属成矿区，仅根据地质条件、异常形态和分布特征，无法判别该异常是氧化锰矿还是铅锌矿引起的。

由表 2 可见，不同装置的各参数值有一定差异，以它们的平均值作为该异常上的变脉冲衰减特征，并与我们总结出的“氧化锰矿与非矿的变脉冲衰减特征判别准则”（吴孝国等，1990）对比，发现T_f、K_D值大体介于氧化锰矿和铅锌矿之间，但较接近前者；SB值似乎与铅锌矿更接近。然而，考虑到异常的地电环境，由于有低阻覆盖和断裂破碎带，使ρ_s值较小。根据模型实验得出的规律，我们认为，如果本区围岩电阻不是这样低（设$\rho_s > n \times 100\Omega \cdot m$），则其变脉冲衰减特征会更接近于氧化锰矿。最后我们推测该异常系氧化锰矿所致，并设计了验证钻孔。后经有关部门验证见到锰矿化，进一步

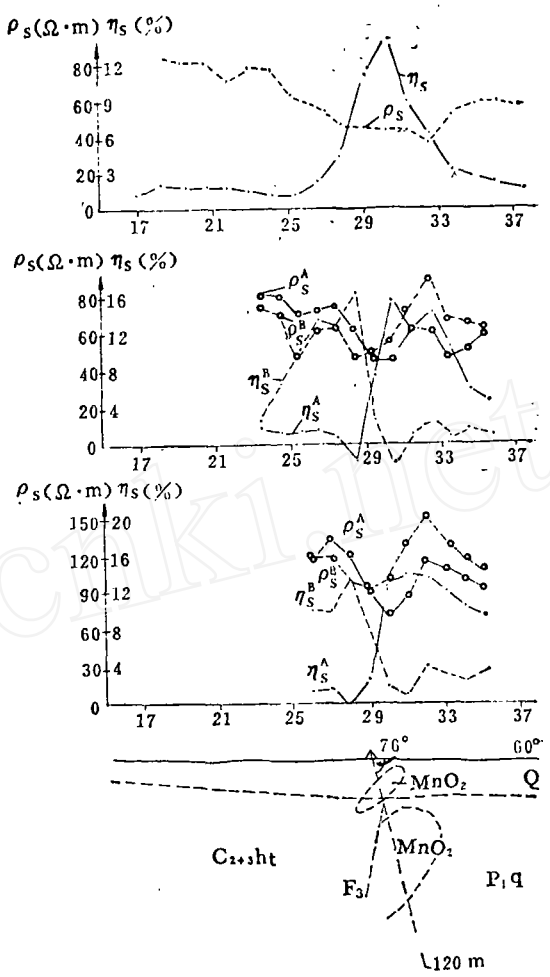


图 7　广东梅县某异常Ⅰ线地质—物探综合剖面图

Q—第四系；P_{1q}—霞组灰岩；$C_{2+3}h$—壶天群灰岩；F_3—物探推测断层；MnO_2—推断锰矿体

核实，发现钻孔只打在异常边上，如钻孔打在异常中心，很可能见到工业锰矿体。即便如此，也已说明对异常的定性判断是正确的，评价工作是成功的。

此外，通过对某锰矿外围的一个激电异常评价，发现小极距测深的变脉冲衰减特征与已知氧化锰矿一致，而大极距时则接近黄铁矿化，因此推测该异常浅部为氧化锰矿（化），深部为黄铁矿化砂岩，后被矿山的钻孔所证实。

激电变脉冲衰减法不仅能应用于氧化锰

（下转第54页）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中心的垂距为240m。据此推测，在物化条件基本相同的同一成矿系统内，已知主矿体1、2、3号矿脉周围的Hg异常中心往下推240m应出现另一个矿体。据此分析，预测在0m中段往下500m处可见到一个盲矿体。经坑道钻探验证见到厚1.07m，品位9.61g/t的金矿体，见矿位置与预测深度基本一致(图1-Ⅵ)，应属第二成矿梯段。

氟的原生分散晕(图1-II)在380m中段以上呈现上宽下窄的漏斗状异常。值得注意的是1、2、3号金矿脉周围没有出现明显的F异常，因此，用F异常推断第二成矿梯段存在证据不充分。

实际上，采准坑道拉开后，第二成矿梯段虽然圈出了2t矿量，但矿体不连续，不够理想。

基于以上情况，又对425m及470m中段继续进行了Hg、F的岩石地球化学测量，经整理得出0至475m中段的异常图（图2-Ⅰ、Ⅱ)。由图2可以看出，Hg的原生分散晕在剖面上出现了个串珠状异常，而F只出现2个明显异常。从0至470m中段Hg、F异常特征对深部进行预测，均预示在800m深处应出现第三成矿梯段，并着手用钻探验证。目前已有1个钻孔见矿，并作进一步追索，有望获得大型金矿体。

主要参考文献

[1] 斯拉文斯基，M. П.，《元素的物理化学性质》中国工业出版社，1963年.

[2] 戈尔德施密特，V. M.，《地球化学》，科学出版社，1959年.

[3] 南京大学地质系，《地球化学》，科学出版社，1984年.

Using F and Hg as a Tool to Predict the Potentiality of a Goid Deposit at Depth

Zhu Taitian

Formation mechanism of F and Hg anomalies over some ore deposits are discussed in this paper based upon their physical-chemical and geochemical properties. By making use of F and Hg anomalous characteristics, the deep-seated ore deposit prognostication in the Jiapigou gold mining area has achieved very good results.

(上接第42页)

矿的激电异常评价，对于其他矿种，只要物性前提具备，预期均能取得效果，建议有关单位推广应用。此外，作为一种新方法，它有待于进一步发展和完善。

阎恕等高级工程师提供了指导和帮助，戴继舒工程师编制了变脉冲衰减测量软件；福建冶地二队的林祥敏、黄风清等同志参加了野外工作，并对方法研究提出了宝贵建议。在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

[1] 傅良魁等，地质与勘探，1980，第8期。

Variable Pulse-width IP Method

Wu Xiaoguo Ding Nihong Xu Ning Chen Songping

On the basis of model experiments, a new technique, called the variable pulse-width method, is put forward for the first time. In this method the secondary field of induced polarization decay curve is measured in different charging intervals. In addition the delay time at half decay, the slope of decay at early period and the ratio of the areas underlying two decay measured curves at two different charging intervals are chosed as the basic parameters for IP data interpretations. The variation regularities of variable pulse-width IP characteristics over a buried polarizable body are investigated by model experiments in a large water tank. The effectiveness of this method was confirmed by evaluation of anomalies over a known Mn-deposit.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net