

金属矿床地质与勘查译丛

第10辑 图册部分

——克龙井中PEM系统模型
实验响应曲线和分析



中国有色金属工业总公司
矿产地质研究院编

桂林·1986

目 录

c.1	概述.....	(1)
c.2	导电率、厚度和电导.....	(7)
c.3	尺寸和形状.....	(26)
c.4	状态.....	(47)
c.5	钻孔—导体位置.....	(71)
	c.5.1 状态的变化.....	(72)
	c.5.2 电导和尺寸的变化.....	(73)
c.6	导体—发射回线位置.....	(136)
c.7	发射回线—接收线圈变化.....	(145)
	c.7.1 发射回线位置.....	(145)
	c.7.2 接收线圈灵敏度.....	(145)

C.1 概述

接收线圈中由二次磁场引起的感应电压与线圈的深度位置的关系曲线被绘在如图C.1.1所示的对数图纸上。小于10微伏的响应（无论是正还是负）均以线性比例绘出，大幅值的响应则用对数比例绘出。这样既可绘出极高数值，也可辨别出较小的响应。井中PEM系统采用的比例尺与地面PEM装置（克龙，1975）相同。

全部实验的响应曲线示于图c.1—c.142（本附录的最后部分）。根据曲线的形式，可划分成二组：接收线圈在导体边缘外通过的为一组；接收线圈通过导体内部的为另一组。接收线圈通过导体的边缘区域所得到的曲线，兼有上述二者的特征。每一组的典型响应曲线，示于图c.1.2和c.1.3。这些曲线上保留了数据点，以做为图中实验误差程度的示例。其余的响应曲线，没有再保留数据点，这是此类理论和模型研究的通常做法。

第一组的响应曲线中心是一个大的负响应，两侧各有一个正凸起。这种形状与地面电磁系统（水平回线）在导体上方通过时所得到的响应相似。第二组响应是单一的宽阔的正响应，极大值位于穿过导体的部位。这些响应曲线可通过对导体中感应涡流及其相应的二次磁场的几何状态研究来分析。

一次磁场在导体中感生的涡流分布，大致与其总体尺寸和形状吻合。例如，矩形板中涡流将围绕矩形路径流动（如图c.1.4所示）。涡流的分布模式直接与导体的导电率、厚度、大小和形状以及时变电流的频率有关。

整个板上的电流密度随深度与横向位置变化。由于趋肤深度效应（见附录A.1），板的表面或表面附近的电流最大，对于厚的、良导体而言，板状体内部的电流很小或几乎没有。板的表面，各处都有电流，但大部分电流集中在板的边缘（Koefoed和Struyk，1968）。为便于分析，导电板中某一确定频率的涡流可认为是一条集中的电流线。

这种环行电流周围所建立的二次磁场，其形态近似于一个大的磁偶极子的磁场，可用载流回线周围的场直接模拟（见图c.1.5）。接收线圈在某种固定状态下通过这种随时间变化的二次磁场。磁场平行绕组（即与线圈轴垂直）切割线圈，线圈不存在感应电压，响应为零。磁场垂直切割线圈绕组（即与线圈轴平行），将得到最大的正响应或负响应。

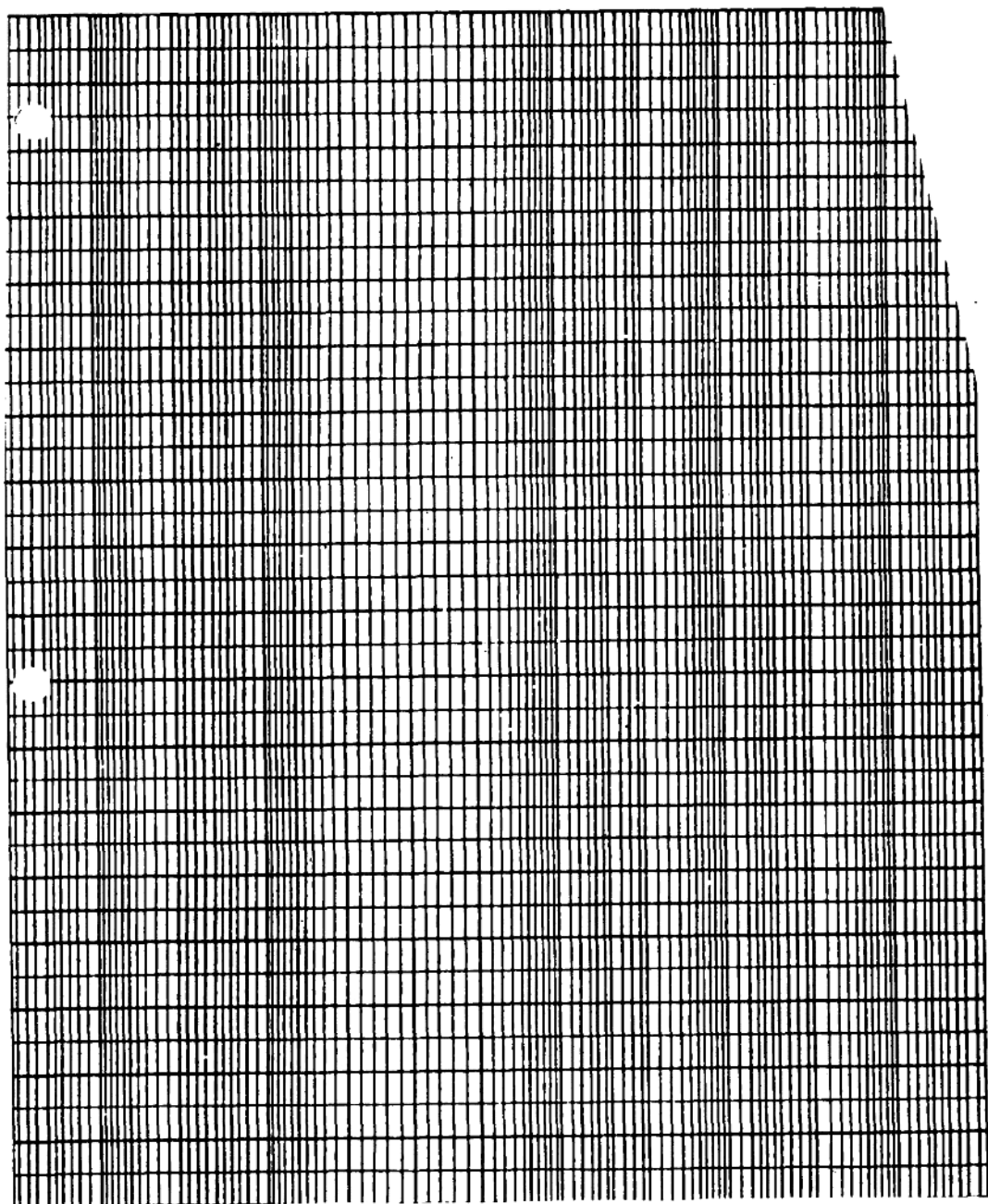
导体内感应涡流产生的二次磁场将与一次场反向。一次磁场方向从上向下时利用右手定则，则感应涡流将按顺时针方向流动。涡流产生的二次磁场在导体外部的方向向上，在导体的中心则向下。这样，钻孔在板状体边缘外侧得到负异常，在板状体中心通过则得到正异常的现象，即可得到解释。

响应曲线是二次磁场强度和方向以及检测灵敏度的函数。远离板状导体，二次场强度减弱，以致响应曲线降低并一直到零。

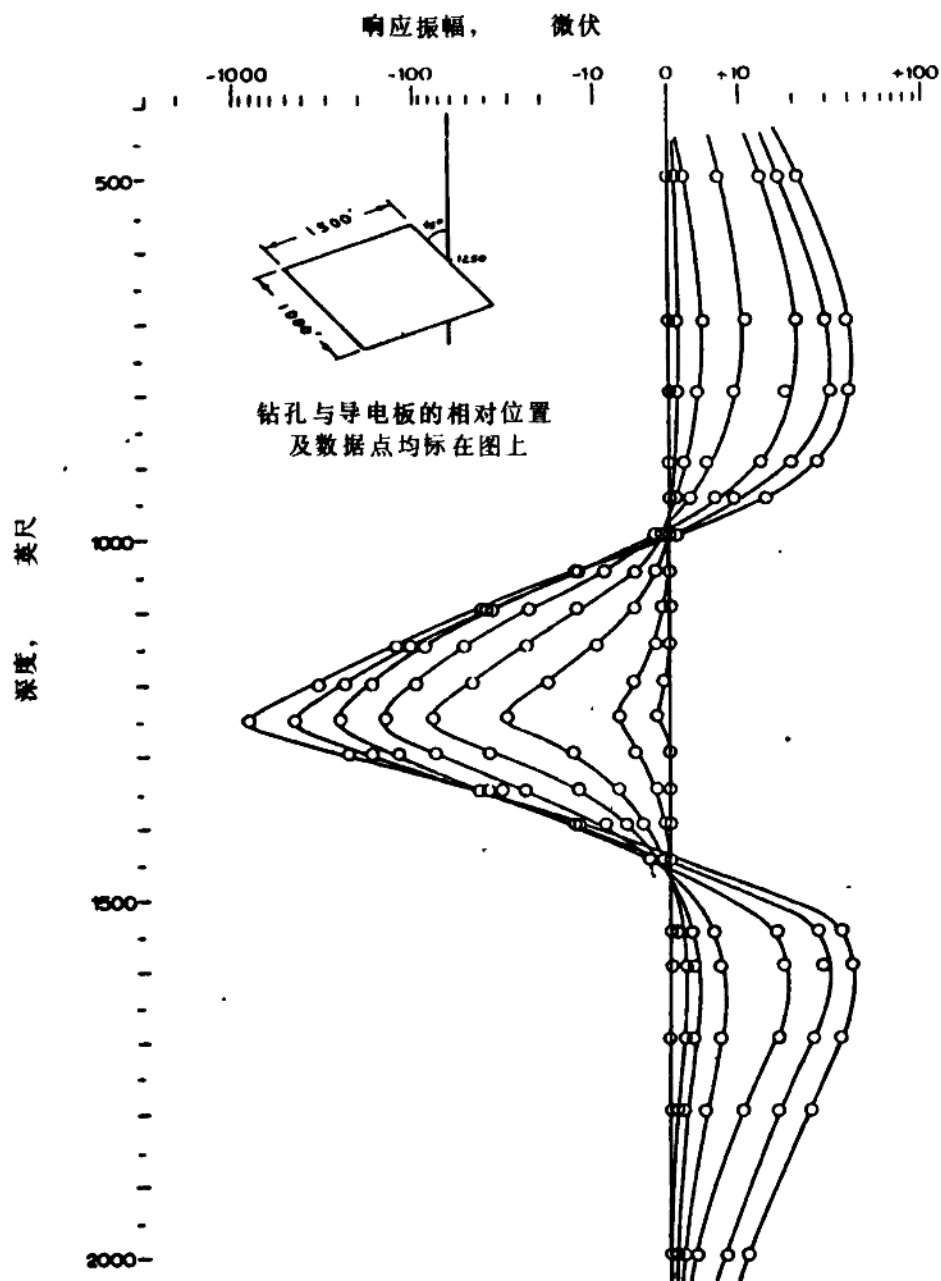
对于同一板状导体，不同频率的涡流流动路径也不同。通常，高频时电流将更多地向导体边缘集中（Lamontagne和West，1971）。如果将一个频率的涡流视为沿着一条单一路径流动的电流，则频谱涡流的流动模式将是一组同心的电流回线，高频部分将靠近边缘分布，低频成分则位于中心。这与时域瞬变系统类似。在时域系统中最靠近边缘的涡流衰减得最快，越靠近中心部位的电流衰减得越慢。时域系统中最早期取样时间（第一道）与频域系统中的最高频道相对应。

与频域类似，时域系统中每一道或每一取样时间的相应的涡流亦可视为沿某一单一路径流动的电流。各道电流路径的几何形态略有不同，因此各通道的二次磁场也将不同。这将导致各道响应与深度间的关系曲线略有不同。因此，各道的过零点位置将会不完全一致，响应的正极值和负极值的位置也将有所变化。

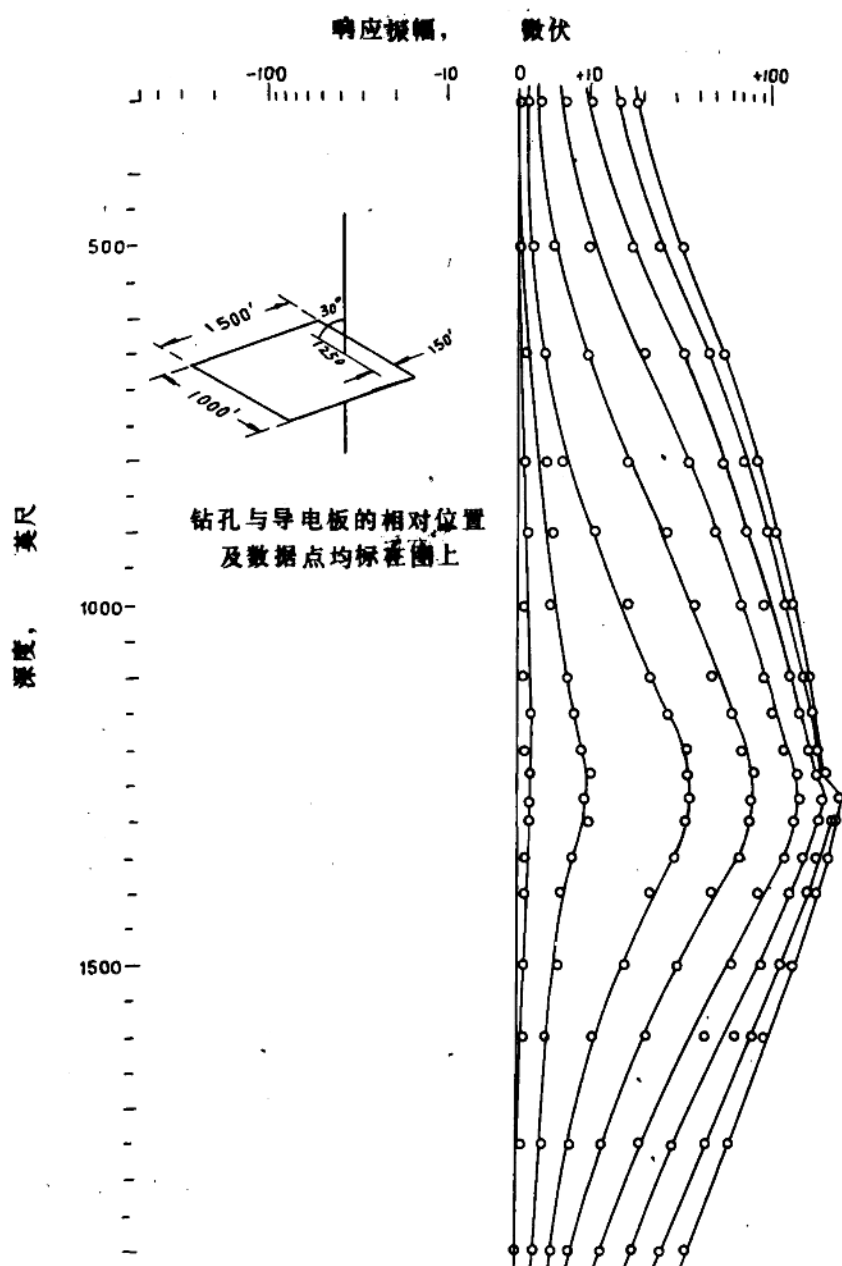
图c.1.1 绘制响应曲线的图纸



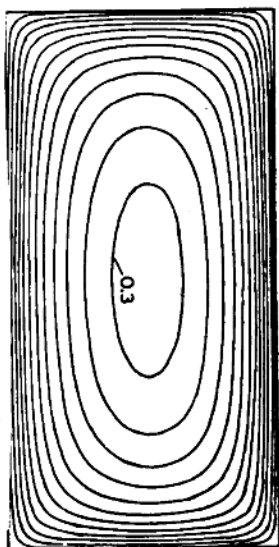
图c 1.2 钻孔从导电板边缘通过时的典型响应曲线



图C. 1.3 钻孔从中心穿过导电板时的典型响应曲线

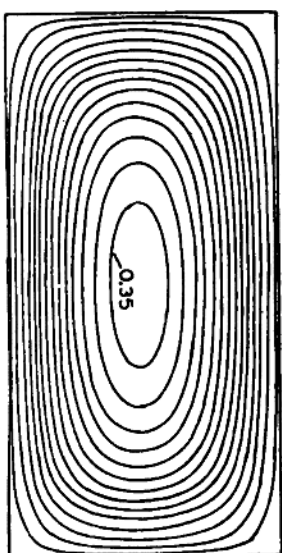


(a)

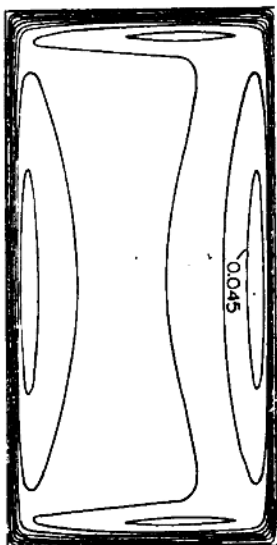


实分量 间距 = .025 安培

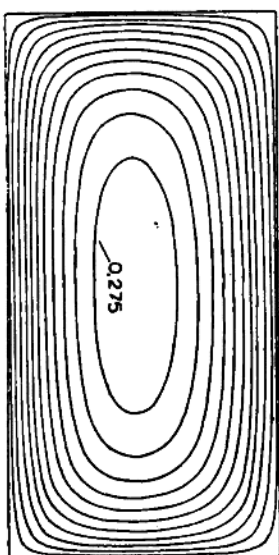
(b)



实分量 间距 = .025 安培



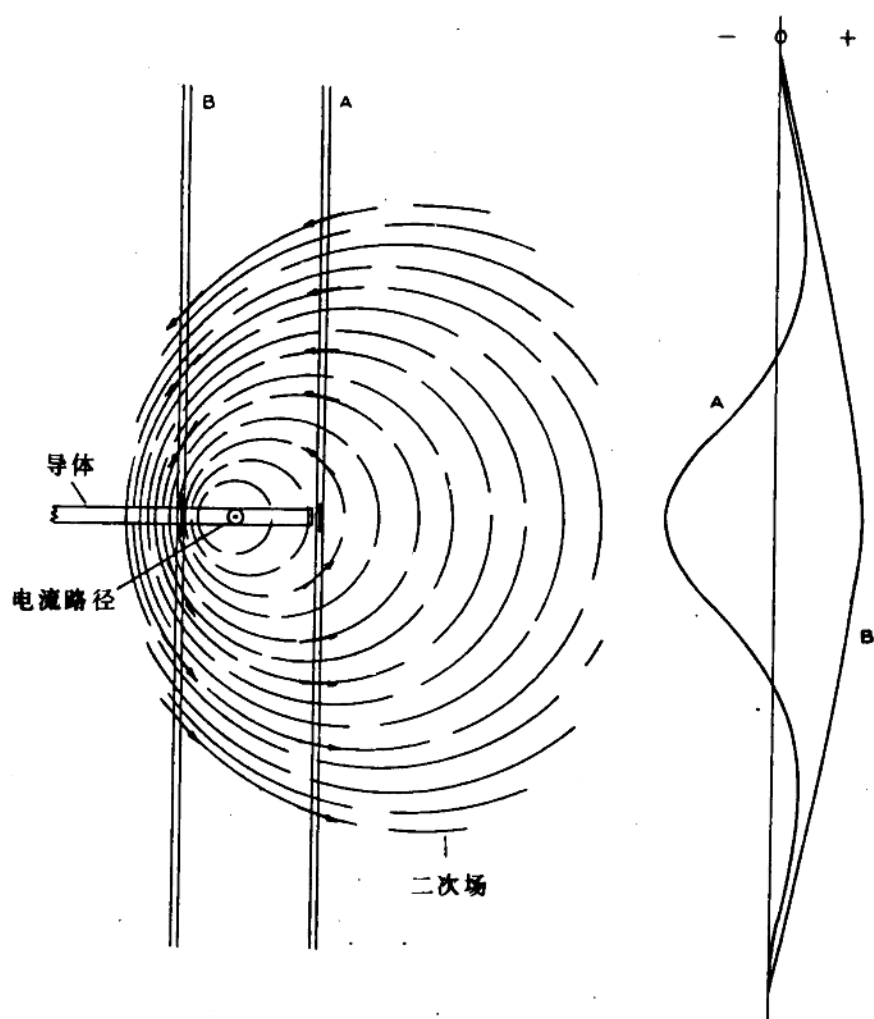
虚分量 间距 = .005 安培



虚分量 间距 = .025 安培

图c.1.4 矩形板内的涡流 长度 300 米 $\delta_s = 50$ 姆欧

(a) $\omega = 12.7 \text{ Hz}$ (2 道) (b) $\omega = 1.86 \text{ Hz}$ (6 道) (据 Lamontagne 和 West, 1971)



图c. 1. 5 二次磁场和由不同位置钻孔上所得到的响应曲线示意图

C.2 导电率、厚度和电导

为了探讨板状导体电导率和厚度变化时的井中PEM响应，我们做了十七个独立的模型实验。实验过程中钻孔的状态以及导体的状态、位置、大小和形状都保持不变。实验中模型的配置见图c.2.1。

采用了四种不同的金属，以获得四种不同的导电率值。对每一种金属都选择了若干块厚度不同的模型，以观察导电率保持常数时厚度变化的影响，相应的实验列于表c.2.1。保持厚度不变时，导电率变化的影响可由表c.2.2中列出的五个实验系列看出。表c.2.3列出的几个实验中，导体的电导率与厚度的乘积（即电导）近似为常量。上述所有实验得到的响应曲线示于图c.1—c.17。

所有响应曲线的大致形状相同。中间是大的“V”字形负值，两侧为两个对称的正凸起。用很厚的板做实验所得到的响应曲线稍有些不对称，而实验63、64和65所得响应（图c.17、c.16和c.15）比其它的响应要宽，因为这几个实验中导体的尺寸有所变化（见c.3节）。

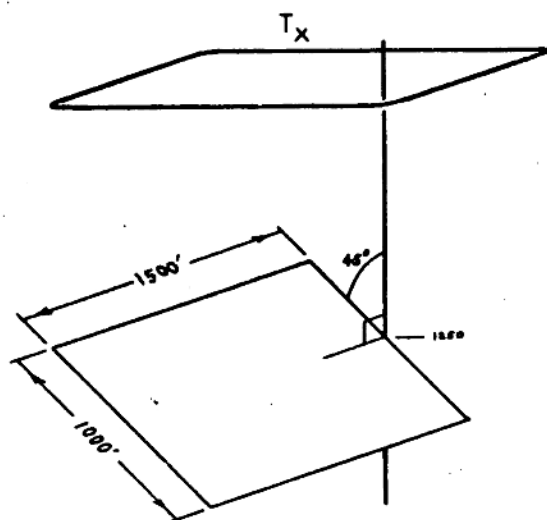
厚度不变、导电率增加与导电率保持常量、厚度增加对响应的影响是同样的。负峰值和正峰值的增加与采样道成正比；晚期通道响应增加得最多而早期通道响应增加得最少。简而言之，导体的导电率越高、厚度越大，二次磁场的衰减率越小。

电导大致相同的金属板所得到的响应曲线实际上是一致的，证明了导电率与厚度的乘积是板状体的显参数。实验采用很厚的板时，这些响应曲线间的唯一变化是不对称。金属板的厚度大于0.125英寸时，沿板边缘流动的涡流使二次场有明显的增加。当接收线圈通过该边缘时，响应增大，以致使响应曲线下半部的正峰值增大。

表c. 2. 1 导电率为常数时厚度变化的实验

实验号	图号	材料	厚度 (英寸)	σS (姆欧)
72	C. 1	铜	.064	185.0
71	C. 2	"	.032	92.2
48	C. 3	"	.021	59.3
62	C. 4	铝	.313	405
51	C. 5	"	.103	132
52	C. 6	"	.066	88.4
32	C. 7	"	.040	51.8
61	C. 8	"	.033	44.8
53	C. 9	"	.025	32.0
54	C.10	"	.019	22.4
55	C.11	"	.004	1.3
73	C.12	黄铜	.125	94.6
50	C.13	"	.064	49.9
49	C.14	"	.024	18.2
65	C.15	不锈钢	.122	7.8
64	C.16	"	.064	4.1
63	C.17	"	.019	1.2

图c. 2. 1 导电率—厚度实验的模型配置



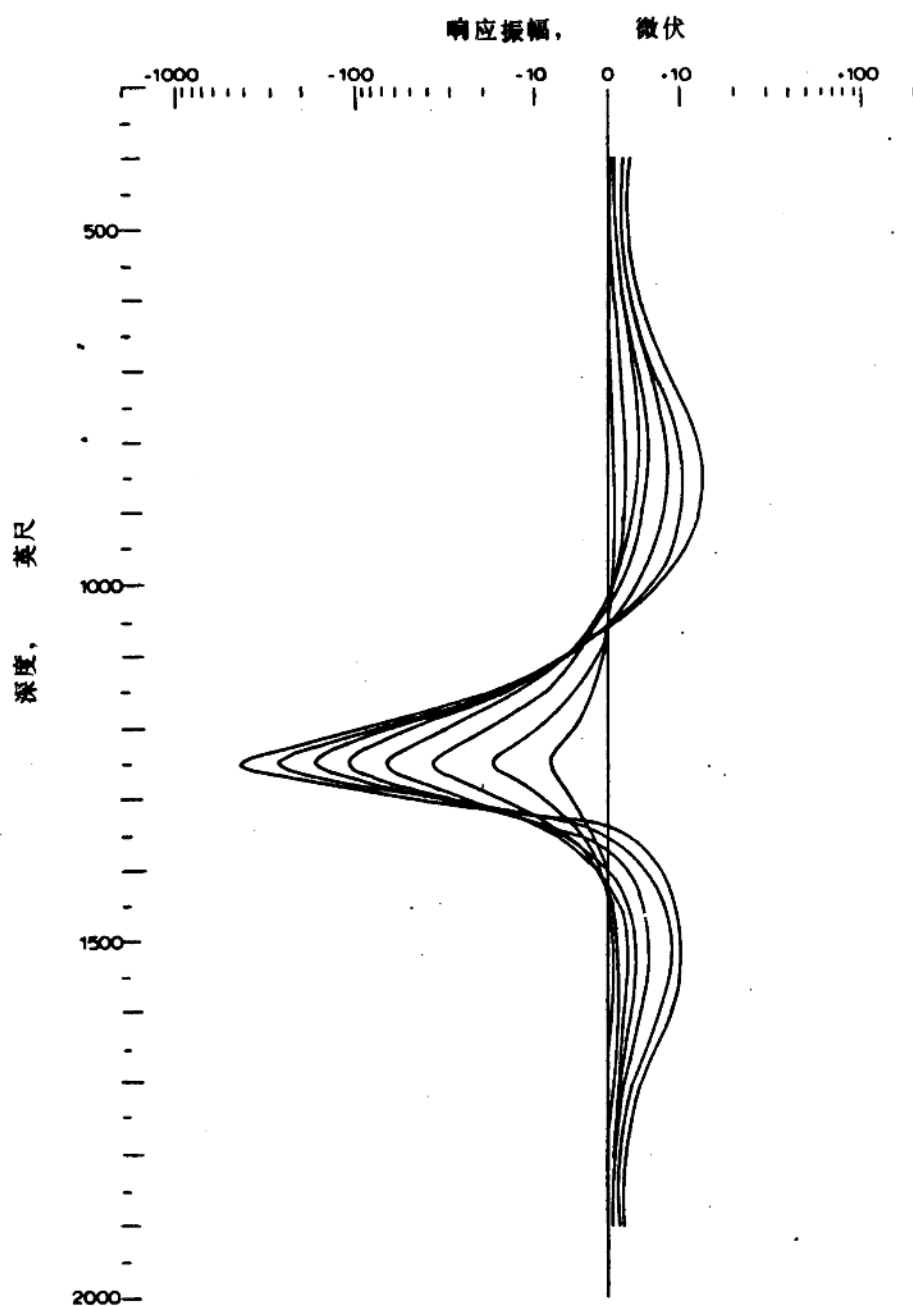
表c. 2. 2 厚度不变时导电率变化的实验

实验号	图号	厚度 (英寸)	材料	σS (姆欧)
73	C.12	.125	黄铜	94.6
65	C.15	.122	不锈钢	7.8
72	C.1	.064	铜	185.0
52	C.6	.067	铝	88.4
50	C.13	.064	黄铜	48.9
64	C.16	.066	不锈钢	4.1
71	C.2	.032	铜	92.2
61	C.8	.033	铝	44.8
53	C.9	.025	铝	32.0
49	C.14	.024	黄铜	18.2
48	C.3	.021	铜	59.3
54	C.10	.020	铝	22.4
63	C.17	.019	不锈钢	1.2

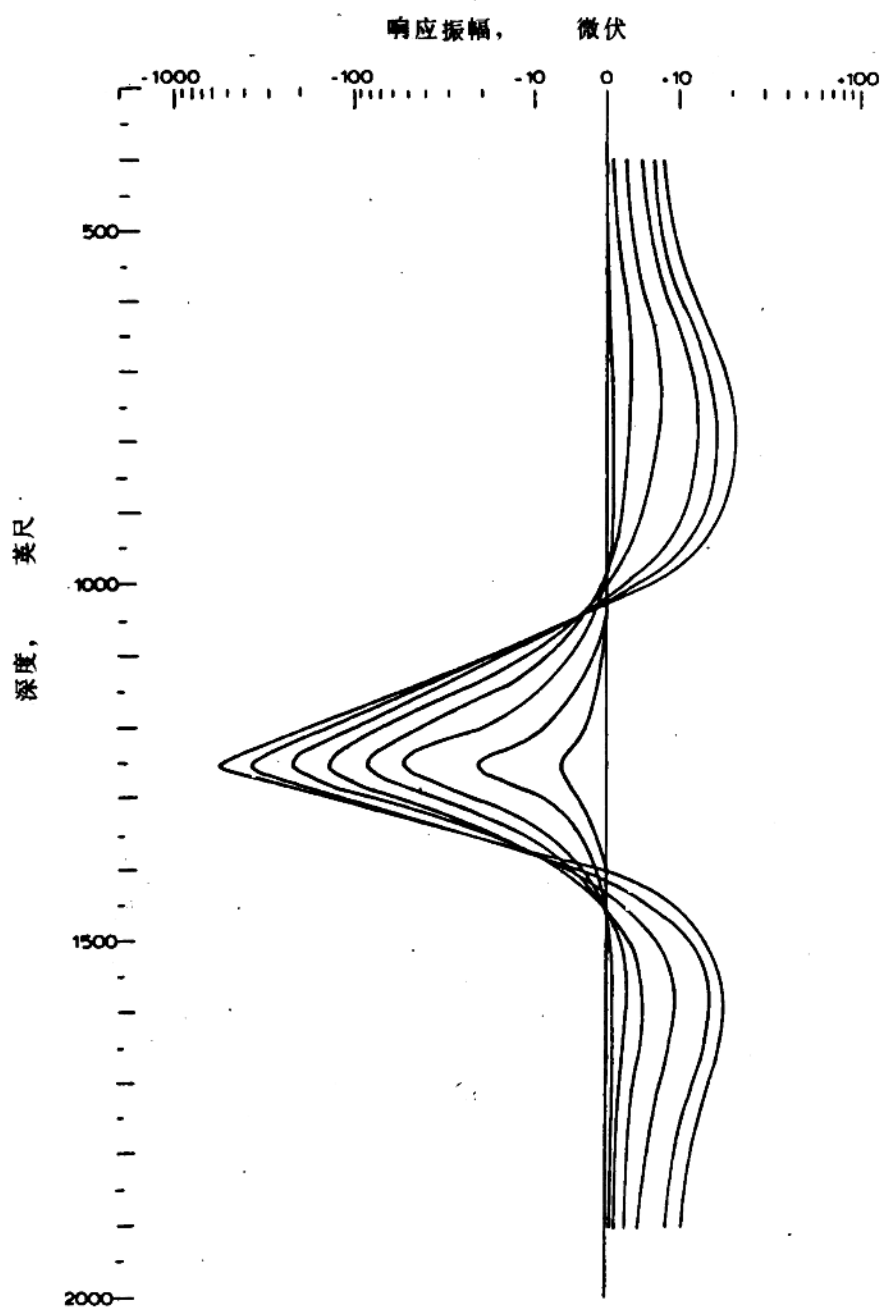
表c. 2. 3 电导为常量时电导率—厚度的实验

实验号	图号	材料	厚度 (英寸)	σS (姆欧)
71	C.2	铜	.032	92.2
52	C.6	铝	.067	88.4
73	C.12	黄铜	.125	94.6
48	C.3	铜	.021	59.3
32	C.7	铝	.040	51.8
50	C.13	黄铜	.064	48.9
55	C.11	铝	.001	1.3
63	C.17	不锈钢	.019	1.2

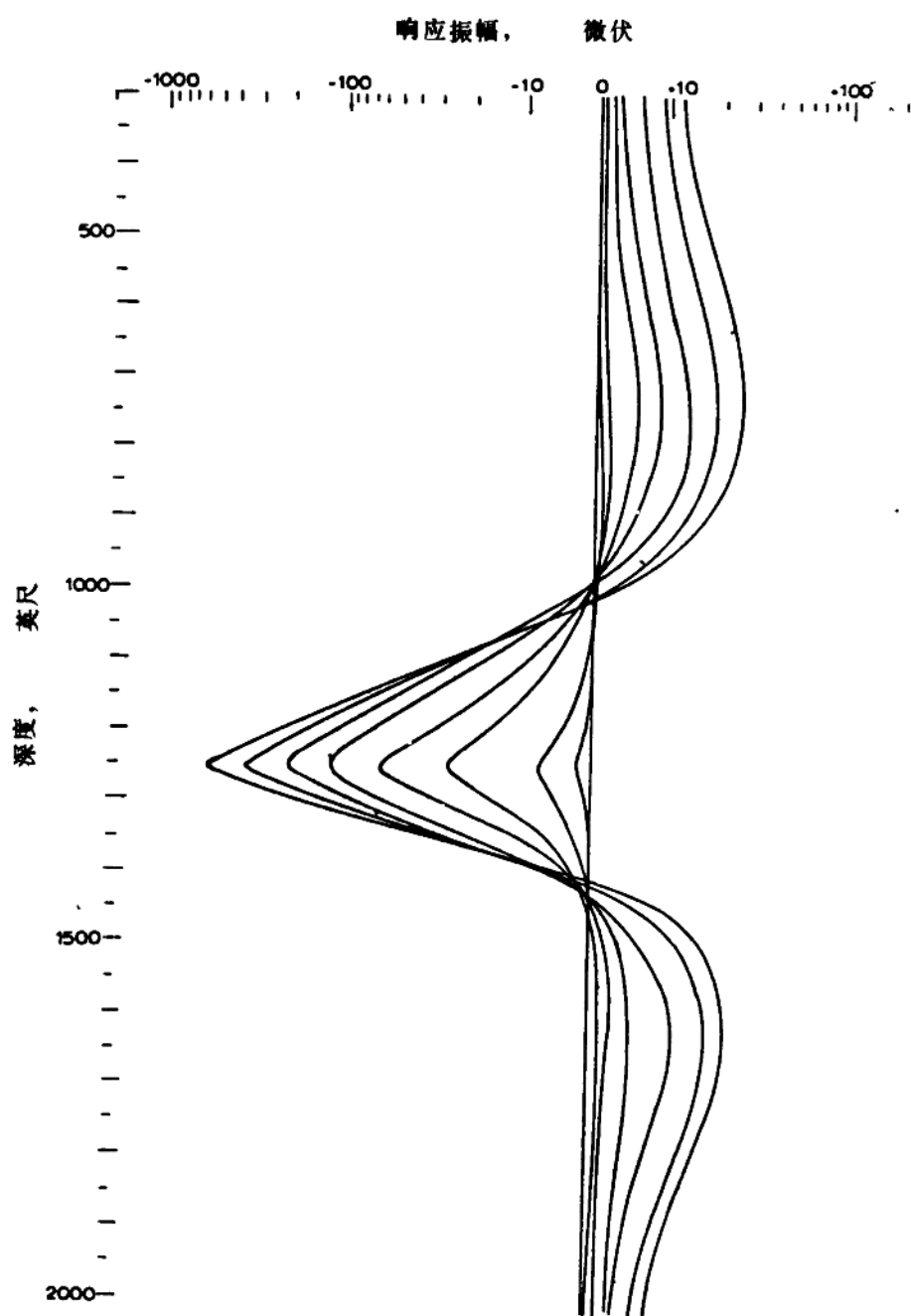
图c. 1 实验72的响应曲线



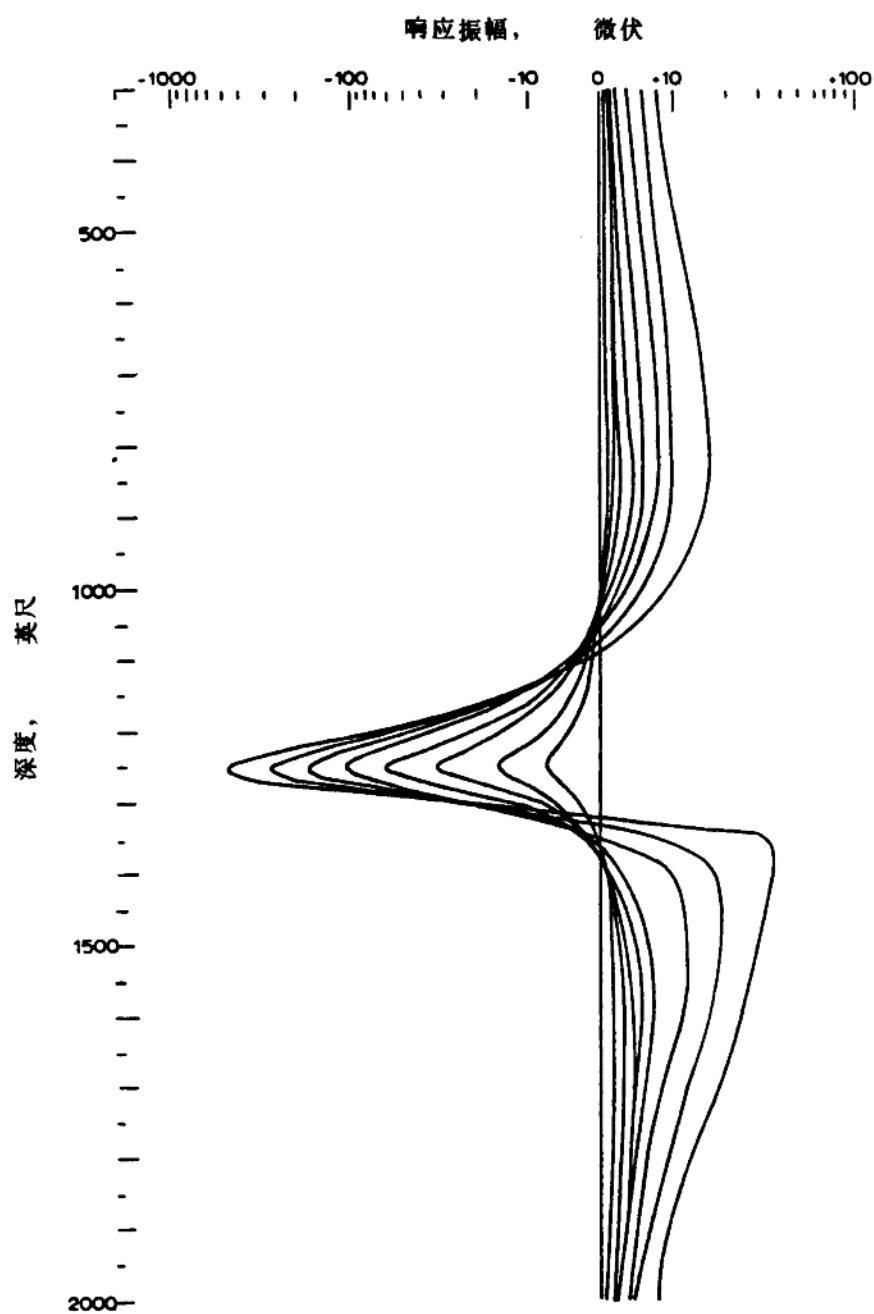
图c. 2 实验71的响应曲线



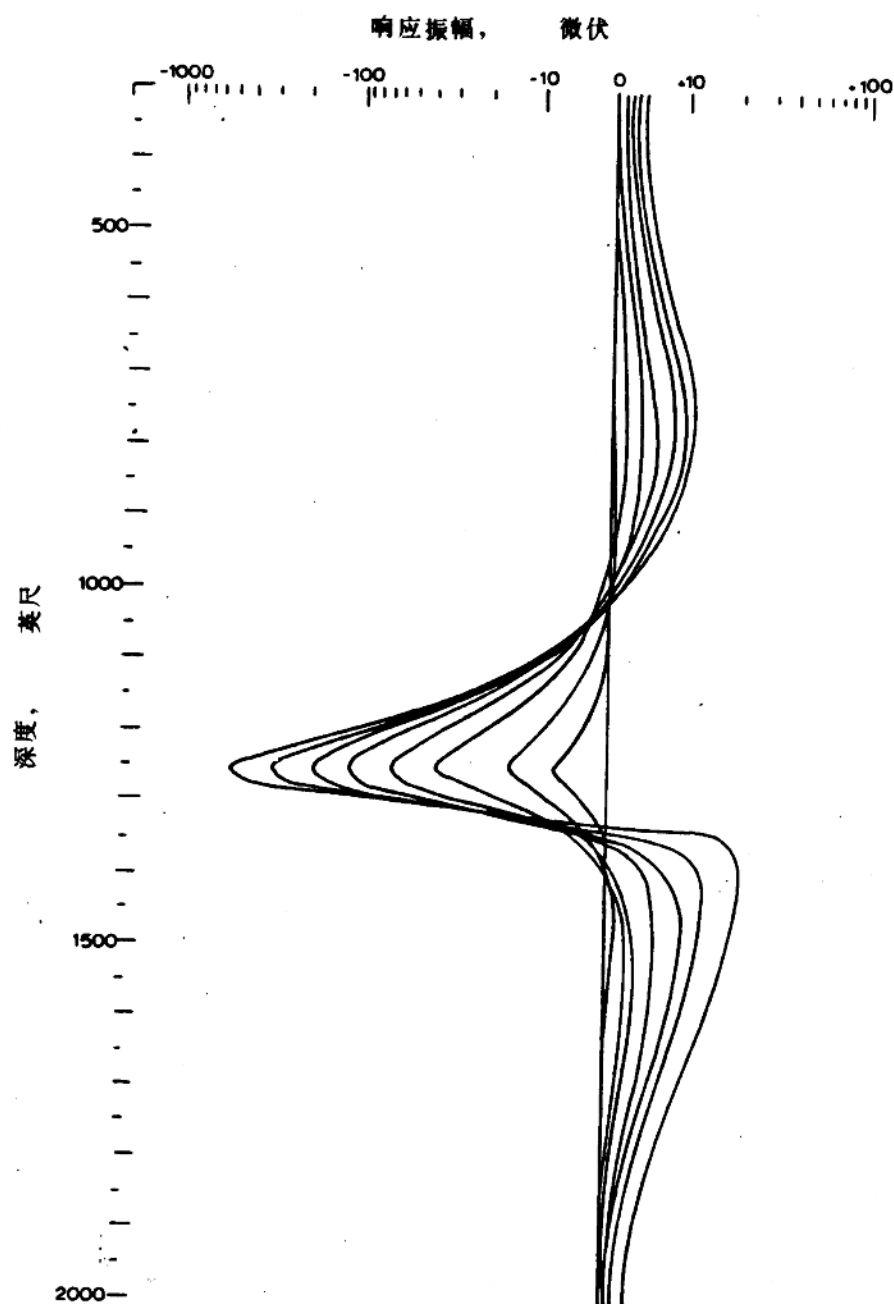
图c 3 实验48的响应曲线



图c 4 实验62的响应曲线



图c. 5 实验51的响应曲线



图c. 6 实验52的响应曲线

