

云母矿床 地球物理普查法

〔苏联〕М.И. 戈洛德 等著

82

7312

地质出版社

云母矿床地球物理普查法

〔苏联〕 M.И.戈洛德 A.C.格里申

T.C.伊格纳季耶娃 Г.И.德米特里耶夫

Л.К.德米特里耶娃 著

刘昌寅 田 楨 译

地质出版社

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Карельский Филиал Институт Геологии
Труды Выпуск 17
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПРИ ПОИСКАХ
СЛЮДЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Изд. «НАУКА» Ленинградское отделение
Ленинград 1973

云母矿床地球物理普查法

〔苏联〕М. И. 戈洛德 А. С. 格里申
Т. С. 伊格纳季耶娃 Г. И. 德米特里耶夫
Л. К. 德米特里耶娃 著
刘昌寅 田桢 译

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

（北京西四）

地质印刷厂印刷

（北京安德路47号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：850 × 1168¹/₃₂ · 印张：4.5 · 字数：120,000
1980年4月北京第一版·1980年4月北京第一次印刷

印数1—1,640册·定价0.70元

统一书号：15038 · 新481

前 言

《云母矿床地球物理普查法》为苏联科学院卡累利阿分院地质研究所论文集第17分册，《科学》出版社列宁格勒分社出版。列宁格勒。1973。111页。

本书阐述了卡累利阿-科拉地区云母矿床在前寒武纪变质岩类地质填图、普查云母矿床和部分隐伏甚深的伟晶岩脉时应用各种电法(中间梯度法、自然电场法和激发极化法)、磁法、地震法和其它地球物理方法的成果。书中描述了构成云母矿床的岩石的物理性质(电阻率、介电常数、极化率、磁化率、密度和弹性波的传播速度等)的野外和实验室测定法;列举了与岩石矿物组分有关的物理参数之间的相互关系;指出在云母矿床中于伟晶岩附近存在着近脉晕,其中岩石具有一定的物理参数、矿物和化学组分,与伟晶岩体一道均可作为应用地球物理法普查的对象。

本书由刘昌寅、田桢两同志翻译,全书由刘昌寅同志校对。在译校过程中,张梦麟、顾倚鳌两同志曾给予帮助,顾倚鳌同志校阅第一、四两章。译校时对书中某些章节和文字曾作了必要的删节,对原文中的某些错误,凡已发现者已予更正。

本书可供从事云母地质工作的地质和物探工作人员、科研和设计部门的工程技术人员以及大专地质院校师生参考。

序

在卡累利阿和科拉半岛上正开采着高质量的云母-白云母。在这个地区进行着云母伟晶岩的地质测量、普查和勘探。但是由于该区大部已沼泽化，并为厚达 3—10 米或更厚的第四纪沉积层所覆盖，许多地质研究工作难于开展，因而除地质测量、钻探和其他地质勘探工作外，近 35 年来在卡累利阿-科拉地区还采用了地球物理研究法。

在卡累利阿的云母矿床上首批试验的地球物理方法有采用 AMNB、AMONB、AB 装置的电测剖面、射气测量以及磁法勘探，目的在于普查第四纪沉积层下的伟晶岩脉。根据战前许多工作的成果曾经认为，普查伟晶岩脉的唯一的地球物理方法可能是直流电法勘探，而其余的各种试验方法由于伟晶岩和围岩在相应的物理性质上没有差异而未能获得满意的效果。

1948 年，有人指出，在普查伟晶岩脉时，应用中间梯度法可以获得良好的效果。后来，低频电流的中间梯度法由于其生产率高而得以推广。1950 年，首次将电法勘探用于断裂构造填图。1952 年将磁法勘探试用于普查伟晶岩脉。为着同一目的，1958 年和 1962 年开始了自然电场法和激发极化法的试验工作。1962—1964 年研究出根据中间梯度法的资料近似评定伟晶岩脉的走向长度、倾向延伸、厚度以及倾角的方法。不论是在地面上的还是井内的压电法的试验工作都已进行。

卡累利阿和科拉半岛的云母矿床产于太古代白海片麻岩类杂岩体中，K. A. 舒尔金将它划分为八层。E. П. 丘伊基娜将丘皮诺-洛乌赫含云母区内白海杂岩体的片麻岩类划分为五层（从西向东）：西部、科托泽尔、丘平、赫托拉姆比纳和克列茨克。而

Л. В. 卡拉法季则将延斯克含云母区的片麻岩类（科拉半岛）划分为七层（米沙列夫等，1960；舒尔金等，1962）。白海北西部的总体构造被看作是卡累利阿-科拉大型背斜的东翼（Е. П. 丘伊基娜，Н. В. 戈尔洛夫），另一些研究者认为白海片麻岩类杂岩体应纳入北西向的复向斜内（米沙列夫等，1960；舒尔金等，1962）。

参与该区地质构造的变质岩类有三种基本类型：淡灰色黑云母片麻岩类（花岗一片麻岩型）；角闪石—黑云母片麻岩类和角闪岩类；黑云母、石榴石—黑云母、蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类。此外，喷出岩类和侵入岩类广泛发育，其中最年轻者即为伟晶岩类。该区伟晶岩类中板状体和透镜状体最为常见。在北卡累利阿的矿床中多为急倾斜的交错伟晶岩脉，在科拉半岛的矿床中整合体和交错体均有分布。

正如许多地质学家（舒尔金等，1962）的著作指出的那样，含云母伟晶岩的基本控制因素为岩石学因素、变质因素和构造因素。含云母伟晶岩与铝质片麻岩类之间的关系已由Т. Н. 布恩京查明，后来在Л. Т. 米沙列夫等的著作中，这一因素具有了最重要的普查准则的意义。В. Л. 尼基京着重指出伟晶岩脉下伏岩石组分对云母形成的重要性：云母仅在下伏岩石具有斜长石组分时形成；在下伏岩石含微斜长石的情况下，仅可形成陶瓷脉。В. В. 扎鲁宾在高铝质斜长片麻岩类中分出两个亚类：蓝晶石—石榴石—黑云母粗粒和中粒显带状片麻岩类和石榴石—黑云母中粒隐带状片麻岩类。其中前者对含云母伟晶岩的蕴藏较为有利。

伟晶岩类的数量对围岩混合岩化作用程度的依存关系表现在：当混合岩化作用程度由一般升至强烈或降至微弱时，脉的富集程度均会下降（舒尔金等，1962）。

在云母伟晶岩类构造控制的问题上存在着两种观点：一些地质学家认为主要控制因素是断裂构造，另一些则认为是褶皱构造。Э. А. 库普费尔提出了区域裂隙带的存在为成矿控制构造的看法，后来并为许多研究者所赞同。Е. П. 丘伊基娜等在自己研

究的基础上作出了太古界断块构造的结论，而含伟晶岩裂隙与断块的运移有关。Л. Л. 格罗德尼茨基认为将含伟晶岩带作为主要成矿控制构造来研究具有巨大意义。另一方面，Н. В. 戈尔洛夫的结论认为，若干云母矿床与两相互垂直的大型背斜褶皱有关，而Л. Я. 西多连柯等则认为伟晶岩脉与小褶皱有关。

云母伟晶岩类的分类甚为多样，其中最为现代的为Л. Л. 格罗德尼茨基所提出。他根据构造-矿物学原则将丘平层的伟晶岩类分为四类：

I 斜长石的不分带岩体由正结和隐文象结构伟晶岩构成，具有许多细小单一的石英—白云母集合体的矿巢。这类伟晶岩常长达50米，厚达2米，无实际价值。

II 斜长石的，具有石英轴心的明显带状岩体。石英—白云母集合体广泛发育。大块白云母晶体分布于块状斜长石带内。岩体长为30至150米，厚为2至10米。

III 此类伟晶岩脉与II类岩体之区别为：在块状斜长石带内形成块体群集的微斜长石，云母的尺寸和含量亦很大。

IV 带状结构较不明显的微斜长石—斜长石伟晶岩脉。这类矿脉的特点是白云母质量低，云母化较为贫乏。伟晶岩体甚大，长达300—400米，厚15—20米。

III和II类伟晶岩工业价值最大。

本书由苏联科学院卡累利阿分院地质研究所М. И. 戈洛德等人在各方协助下完成。

目 录

前言

序

第一章 云母矿床岩石的岩石物理特征 1

伟晶岩和围岩的物理性质 (M. И. 戈洛德)..... 1

电阻率..... 1

介电常数..... 4

极化率..... 6

压电性..... 8

磁性..... 8

密度..... 11

弹性波的传播速度..... 14

岩石物理参数的相互关系..... 15

近脉蚀变带中岩石的物理性质..... 17

围岩的近脉蚀变..... 19

在与伟晶岩脉的外接触带中矿物的蚀变..... 19

在与伟晶岩脉外接触带中的地球化学晕..... 25

第二章 云母伟晶岩类上的物理场 35

视电阻率场 35

视极化率场 37

自然电场 39

磁场 42

速度场 43

第三章 云母矿床地球物理填图法..... 52

白海片麻岩类杂岩体的磁法填图..... 52

大比例尺的地球物理填图法 61

中间梯度法..... 61

磁法勘探.....	66
自然电场法.....	70
激发极化法.....	74
重力勘探.....	76
综合应用地球物理法举例.....	78
第四章 伟晶岩脉的地球物理普查与勘探法	86
自然电场法	86
中间梯度法	98
激发极化法	104
地震勘探.....	108
结语	117
附录	119
参考文献	131

第一章 云母矿床岩石的岩石物理特征

伟晶岩和围岩的物理性质

在苏联北西部云母矿床的岩石的物理性质中，密度和磁化率研究甚为充分（舒斯托娃，1963；多尔特曼等，1964；伊格纳季耶娃，19686），而电性与弹性则研究得不够（利奥根基，1959a；戈洛德等，1968；德米特里耶夫，戈洛德，1968），只是在最近才将岩石的物理参数与其化学组分和矿物组分进行对照。本章将讨论苏联科学院卡累利阿分院地质研究所作的岩石与矿物物理特征测定的成果。

电阻率

云母矿床岩石的电阻率 ρ 仅可在基岩露头上或据参数测深确定，因为实验室条件下于样品上测定时会给 ρ 值带来很大偏差。在卡累利阿和科拉半岛的云母矿床上，曾采用四极法（ $AB=10$ 米， $MN=0.1$ 米）作过约 2000 次的参数测定。根据这些数据，编制了云母矿床岩石电阻率表（表1）。

表1中除岩石电阻率值变化范围外，还列出了它的某些统计特征：算术平均值 $\bar{x}$ ，众数 Mo ，经验标准离差 m^2 ，变差系数 V ，不对称指数 A 和过量指数 $\mathcal{Q}$ 。根据散布特征值（характеристика рассеивания） m^2 、 V 可以说明被研究岩石电性的均一性。伟晶岩类有些特殊之处，因为该样品中包括有粗粒和细粒的岩石变种。不对称指数和过量指数不大，表明电阻率的分布接近正态。

图1所示为马林诺瓦娅巴拉卡矿床蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类电阻率的经验变化曲线和理论的正态分布曲线。后者按

表 1

岩 石	测定次数	$\rho, 10^3 \text{ 欧姆米}$			Mo	m^2	V	Λ	Ξ
		自	至	$\bar{X}$					
科拉半岛伟晶岩类	18	21.7	86.0	43.5	—	—	—	—	—
卡累利阿伟晶岩类	152	5.0	50.0	22.1	24.0	114	0.48	2.88	-0.3
沙特科沃鲍尔花岗岩	193	5.0	35.0	19.4	20.0	37	0.31	0.25	-0.3
卡累利阿蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类	561	1.0	26.5	13.0	12.0	18.4	0.33	0.30	-0.1
科拉半岛蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类	200	4.2	50.0	18.7	16.0	109	0.48	0.37	-0.2
科拉半岛黑云母片麻岩类	349	4.1	27.0	12.8	10.5	24.4	0.38	0.57	-0.3
卡累利阿石榴石—黑云母片麻岩类	146	4.0	32.0	15.9	12.8	34	0.37	0.43	-0.6
卡累利阿角闪石—黑云母片麻岩类	226	2.0	29.0	13.0	10.0	31.6	0.43	0.39	-0.6
卡累利阿辉长—苏长岩类	132	2.0	22.0	10.0	10.0	14.1	0.37	1.15	0.2

下式求得

$$f(t) = \frac{Nk}{m} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (1)$$

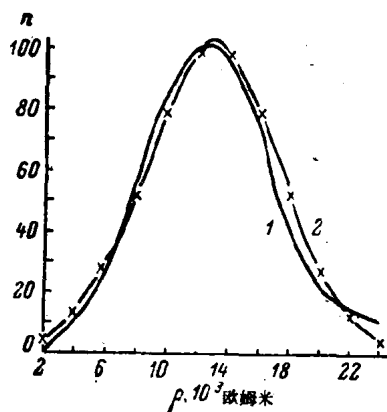


图 1 蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类电阻率的变化曲线

(N = 561)

1—经验曲线, 2—理论的正态分布曲线

式中 N —— ρ 的测定次数; k ——经验分布的排距; m ——平均方差; $t = \frac{x - \bar{x}}{m}$ ——正常

偏差。

经验分布与理论分布的近似程度, 可据 A. H. 科尔莫戈罗夫的标准来评定。片麻岩类的 ρ 值分布彼此吻合甚佳, 几率 $p(\lambda)$ 甚大 (0.97), 而卡累利

阿伟晶岩类的 ρ 值分布却与正态分布并不吻合（几率为 0.0007），这是因为所测的是此类岩石各变种的电阻率（图2）。

科拉半岛的伟晶岩和蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类的电阻率，均高出与卡累利阿的岩石成分相似的岩石 0.5—1 倍，这是因为科拉半岛云母矿床的潜水面较低（因而其近地表岩石的含水性亦较差）。

根据在泰季诺 (Тэ-дино) 矿床进行的参数

测深的成果制成了表 2，其中除基岩电阻率外，尚列出了为卡累利阿云母矿床特有的各类第四纪沉积层的 ρ 值。

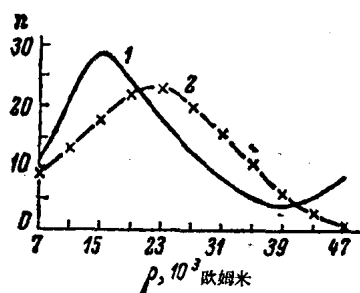


图 2 伟晶岩电阻率的变化曲线
($N = 152$)

1—经验曲线，2—理论的正态分布曲线

表 2

岩 石	垂向电测深 次 数	$\rho, 10^3$ 欧姆米		
		自	至	平 均
泥炭	32	0.15	1.0	0.3
粘土质砂	13	1.1	5.0	2.8
含巨砾和卵石的砂	9	1.0	21.0	10.0
各类片麻岩类杂岩体	54	1.6	18.8	6.3

表 1、2 的数据和 ρ 值变化曲线（图3）表明，云母矿床岩石的电阻率变动范围甚大，但此时可清楚地看出其大小取决于基岩的岩石成分：随着岩石基性的增强，电阻率降低。但变化曲线几乎都互相超复，说明靠电测剖面不可能区分出卡累利阿岩石在岩石学上的差异。同时，科拉半岛淡灰色黑云母片麻岩类与蓝晶

石—石榴石—黑云母片麻岩类的电阻率差异是这样大，以致可以建议采用电法来识别由含蓝晶石片麻岩类组成的“含矿”层位。

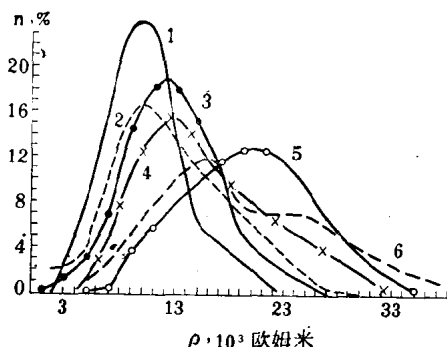


图 3 卡累利阿岩石电阻率的变化曲线

1—辉长—苏长岩 ($N = 131$); 2—角闪石—黑云母片麻岩 ($N = 221$); 3—蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩 ($N = 527$); 4—石榴石—黑云母片麻岩 ($N = 143$); 5—沙特科沃鲍尔花岗闪长岩 ($N = 196$); 6—伟晶岩 ($N = 177$)

伟晶岩电阻率平均比片麻岩类高 0.5—1 倍，因而有可能在有利的条件下采用电法勘探，根据 ρ_K 的极大值识别伟晶岩脉。但也完全可能出现这种情况：伟晶岩体的电阻率并不异于围岩的，因此靠电测剖面就不可能在 ρ_K 曲线上将它们识别出来。

众所周知，伟晶岩与其围岩片麻岩类的造岩矿物（石英、长石、云母）完全相同。这些

矿物的电阻率高，因而决定了由它们所构成的岩石亦为高阻的。但在卡累利阿的条件下，该处潜水面实际上与地面相重合，在任一岩石的成分中都含有低阻的水。虽然岩石中水份含量通常不超过 1%，但它将颗粒浸湿，形成导电通路，足以使岩石的导电性急剧增高(谢苗诺夫, 1948a, 1948b)，上述情况导致云母矿床（尤其是卡累利阿）岩石的 ρ 值在很大程度上取决于其裂隙率。同一岩石成分的岩石中，裂隙较发育的岩石，其电阻率低于致密的。

介电常数

岩石与矿物的介电常数 ϵ ，采用 E 12-2 型万能电桥测量，该装置的容量测定范围为 10 微微法—100 微法，工作频率 1000 赫。风干的样块制成厚 0.2—0.5 厘米的片状，用特制夹具固定在测量电容器中。介电常数按下式(埃麦, 1967)求得

$$\epsilon = \frac{kl(C_x - C_n)}{1 + \alpha} \quad (2)$$

式中 $k = \frac{113}{Q}$ ——装置系数 (Q ——电极面积); l ——样块厚度; C_x ——待测电容; C_n ——装置的输入电容; $\alpha = \frac{1}{\pi r} \ln \left(\frac{\pi r}{l} + 3.77 \frac{l}{\pi r} \right)$ ——因电容器边缘电场畸变引起的修正值; r ——电极半径。装置的输入电容根据校准物的测定电容 C_n 算出。校准物采用 $\epsilon = 4.5$ 的水晶片。

$$C_n = C'_n - \frac{4.5(1 + \alpha)}{kl} \quad (3)$$

卡累利阿和科拉半岛三个主要云母矿床 465 件岩石样品的介电常数测定成果如表 3 所示。

表 3

岩 石 (矿物)	测定次数	ϵ				m^2	V	A	Θ
		自	至	$\bar{X}$	Mo				
石英	2	5	7	6	—	—	—	—	—
伟晶岩类	22	2	6	5	—	—	—	—	—
蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类									
科拉半岛	211	3	27	12	10	9.5	0.31	0.6	0.1
卡累利阿	38	3	20	8	—	—	—	—	—
石榴石—黑云母片麻岩类									
科拉半岛	8	6	16	18	—	—	—	—	—
卡累利阿	129	3	17	8	7.5	4.0	0.27	0.03	-0.6
黑云母片麻岩类	44	4	25	10	—	—	—	—	—
角闪岩类	5	8	28	15	—	—	—	—	—
辉长—苏长岩类	6	5	10	7	—	—	—	—	—

伟晶岩及其组成矿物的介电常数不大而且恒定, 而片麻岩类的则高出 0.5—1 倍 (其变动范围亦大)。科拉半岛片麻岩类的 ϵ 高

于卡累利阿的，这与它们遭受热液的强烈作用有关。 ϵ 的变化曲线（图4）近于正态分布。但若卡累利阿片麻岩类的这一曲线无异于正态的话（据A. H. 科尔莫戈罗夫标准，几率为1），那么科拉半岛片麻岩类的这一差异就较为明显（ $p=0.05$ ）。从伟晶岩脉附近采集的少量片麻岩类样品看，其介电常数很高（20左右）。

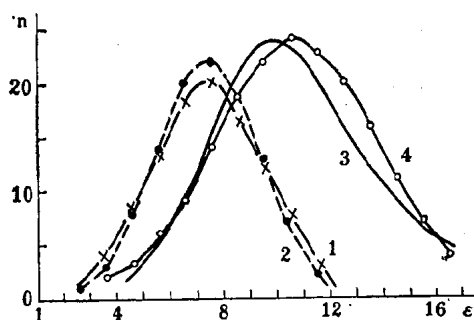


图4 片麻岩类介电常数的变化曲线

1—经验曲线（卡累利阿）， $N=129$ ；2—理论的正态分布曲线（卡累利阿）；3—经验曲线（科拉半岛）， $N=211$ ；4—理论的正态分布曲线（科拉半岛）

极化率

测定岩石样品极化率 η 的装置与ВИТР（全苏方法和勘探技术科学研究所）所设计的区别很小（科马罗夫，1962）。激发电位采用ВПО-62型电测站的测量部分进行记录。充电时间为3分钟， $\Delta U_{\text{激发极化}}$ 在切断电流0.5秒后测定。样品在测定前先在水中浸一昼夜，使其中水份饱和。共测定了从科拉半岛和卡累利阿云母矿床的地下工程和钻孔中采集的734件块状样品的极化率。由表4可知，科拉半岛的蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类的极化率（和介电常数）最大。石榴石—黑云母片麻岩类的极化率小于蓝晶石—石榴石—黑云母的（图5）。伟晶岩的特征是极化率很小，为围岩的1/2—1/4。科拉半岛的蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩

表 4

岩 石	测定次数	$\eta, \%$				m^2	V	A	Θ
		自	至	$\bar{X}$	Mo				
伟晶岩类	40	0	3.4	1.3	1.0	—	—	—	—
蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类									
卡累利阿矿床	123	0.5	7.5	2.9	3.0	1.61	0.44	0.44	1.0
科拉矿床	224	1.3	16.8	4.5	4.5	2.16	0.35	1.1	1.0
石榴石—黑云母片麻岩类									
卡累利阿矿床	267	0.5	8.5	2.5	2.0	2.0	0.56	0.39	2.0
科拉矿床	30	0.3	10.8	3.8	—	—	—	—	—
黑云母片麻岩类									
卡累利阿矿床	7	1.4	5.4	3.1	—	—	—	—	—
科拉矿床	34	0.7	15.6	4.0	—	—	—	—	—
角闪岩类	5	1.2	5.0	2.6	—	—	—	—	—
辉长—苏长岩类	4	1.1	2.8	1.9	—	—	—	—	—

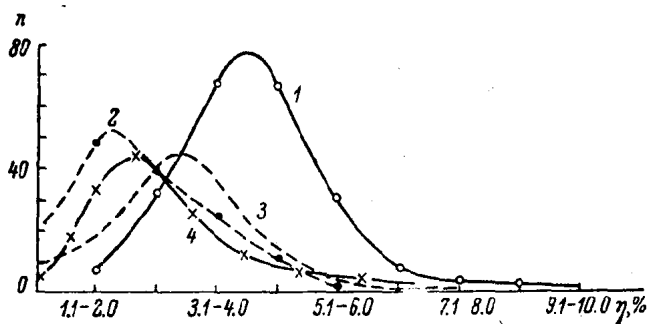


图 5 片麻岩类极化率的变化曲线

- 1—科拉半岛蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类, $N = 217$; 2—马林诺瓦娅瓦拉卡矿床 (卡累利阿) 蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类, $N = 123$;
 3—马林诺瓦娅瓦拉卡矿床石榴石—黑云母片麻岩类, $N = 120$; 4—泰季诺矿床 (卡累利阿) 石榴石—黑云母片麻岩类, $N = 147$

类的极化率最为均一 (变差系数 0.35), 其极化率的分布非常接近于正态—— $p(\lambda) = 0.71$ 。泰季诺矿床的石榴石—黑云母片麻岩类最不均一—— $p(\lambda) = 0.20$; 马林诺瓦娅瓦拉卡矿床的片麻岩类的介于二者之间。

因此，在采用激发极化法研究云母矿床时，伟晶岩脉上 τ_k 值应为极小，在科拉半岛的矿床上可获最佳效果。

需要指出的是，某些从近脉片麻岩类采集的样品，极化率异常高——达15—16%。

压电性

H. M. 涅伊什塔特曾测定了卡累利阿某一云母矿床岩石的压电常数。该项工作的成果如表 5 所示。

表 5

岩 石	测定次数	$d, 10^{-10} \text{CGSE}$		
		自	至	最 常 见
伟晶岩类	6	0	2.5	0.4—2.5
细晶岩	24	0	6.9	1.5—1.2
黑云母、石榴石—黑云母片麻岩类	16	0	3.9	0—0.2
黑云母—角闪石、角闪石片麻岩类	8	0	1.1	0
角闪岩类	10	0	0.8	0
辉长—苏长岩类	4	0	—	0

伟晶岩类与细晶岩类压电常数最大，在采用地震电效应法工作时，它们在多数情况下应据极大值识别。

磁性

应用 ИМБ-2 型磁力仪^① 测定了卡累利阿和科拉半岛云母矿床岩石1600多件样品的磁化率 κ 。表 6 所示为这些测定的成果。磁化率的最大或然值：伟晶岩为 $(0-2) \cdot 10^{-6} \text{CGS}$ ，片麻岩类为 $(20-25) \cdot 10^{-6} \text{CGS}$ 。可以看出，从蓝晶石—石榴石—黑云母片麻岩类至角闪石—黑云母片麻岩类，磁化率随着暗色矿物含量的增加而增高。因而，在一定的地质条件下，可用磁法勘探在蓝晶

① 原文为卡帕仪——译者。