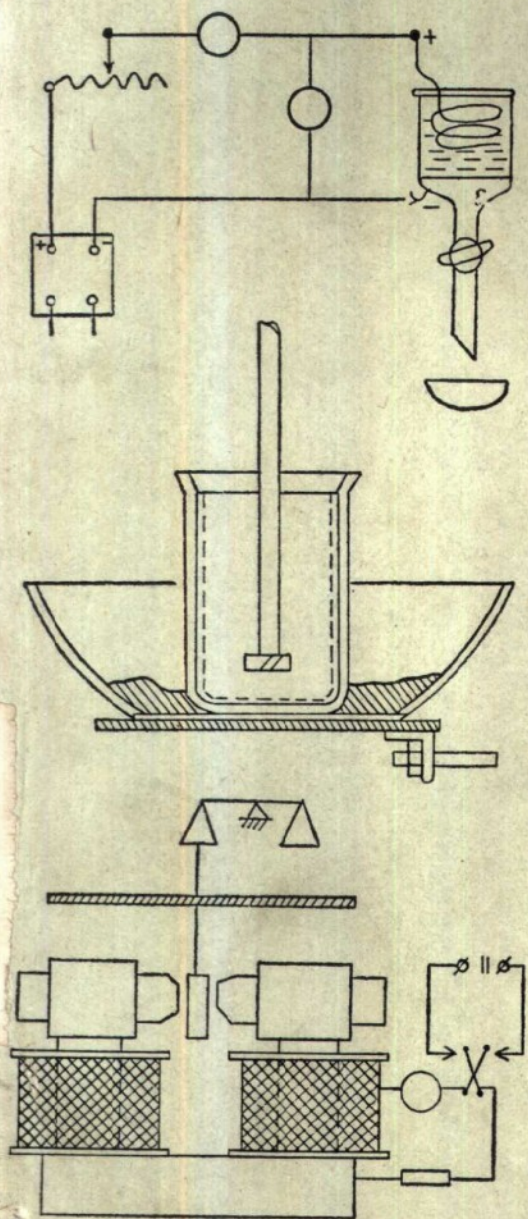




单矿物分选

中国科学院地球化学研究所
单矿物分选实验室 编著



地质出版社

装帧设计：松 庐

统一书号：15038·新611

定 价：1.50 元

科技新书目：1—181

单 矿 物 分 选

中国科学院地球化学研究所

单矿物分选实验室 编著

地 质 出 版 社

内 容 简 介

单矿物分选是地质科学的一个重要组成部分,它担负着为岩石、矿物、矿床、地球化学研究课题提供各种纯矿物的任务,这些纯矿物是进行各项物理、化学测试分析的样品。本书是根据长期单矿物分选实验经验,并参考国内外有关资料整理而成,比较系统而又简明地介绍了350种常见矿物组合、不同类型的铂族矿物、人造金刚石、陨硫铁等的提纯条件,并介绍了212种矿物的可选性质及其测定方法。本书的特点是便于实际使用。

本书可供矿物,岩石专业工作者,选矿工作者,冶金、建材工作者,地质大专院校师生参考。

单 矿 物 分 选

中国科学院地球化学研究所

单矿物分选实验室 编著

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑:王 曙

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: $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张: $8^{13/16}$ · 字数: 232,000

1981年4月北京第一版·1981年4月北京第一次印刷

印数 1—2,380册·定价 1.50元

统一书号: 15038·新611

前 言

为了解决岩石、矿物、矿床、地球化学研究中的问题，地质人员经常从野外地质体采回许多岩石样品及标本，要求把其中的组份分选成各种单矿物，以供矿物的化学全分析、单项分析、同位素年龄测定、裂变径迹年龄测定、包裹体研究、差热分析、矿物结构分析以及穆斯鲍尔谱等分析的需要。所有这些物理化学测试分析数据连同地质观察资料是地质人员解决研究课题的基础。

如何获得高纯度的单矿物呢？古老而原始的方法，是耗用大量人工在显微镜下逐粒挑选，其速度之慢是可以想象的。比如一个 20 克重的黑云母样品，作同位素年龄测定，需要三人连续挑选 10 天才能完成；人工挑选一个 2 克重的锆石样品，要两个人挑选一周。可是，许多微粒微量矿物样品（粘土、陨石等）如果仍用手工挑选的方法，事实证明是不可能的，因为无法找到这些目的矿物，要想迅速获得高纯度单矿物，必需广泛采用单矿物分选。

单矿物分选是利用样品中各种矿物组合之间可选性质的差异，在仪器上实现相互分选的科学方法。它可使矿物粒度仅为 15—20 微米，含量为百万分之一、千万分之一的矿物提取出来。利用单矿物分选技术分离一个 20 克纯黑云母只需 8 小时，分选出 2 克纯锆石只需 12 小时（一人）。由于单矿物分选技术对地学研究的重要性，国外非常重视这项工作，他们在高度发展微粒微量自动测试技术的同时，越来越深入的进行着单矿物分选方法的研究，1963 年和 1975 年分别出版了两本单矿物分选专著，73 年西德阿亨技术大学举行了第一届矿物提纯会议。英国、美国、日本、法国、澳大利亚等国的地质学或矿物学研究系统都有完整的单矿物分选实验室，实验人员由几人到十几人；苏联设在结晶矿

物所、黄金研究所以及矿山勘探科研所的分选实验室，专门负责提取纯矿物的工作。

中国科学院地球化学研究所单矿物分选实验室近 20 年来，总共分选采自全国各地的样品约 4000 个，分选的矿种近 100 种，现将这些资料整理成册，以便交流，并作为这项工作深入发展的基础。

本书承涂光炽教授、郭承基教授、王联魁副教授审阅，提出了宝贵意见，特致感谢。

全书共分六章：第一章由温华洽编写；第二、三、四章由周正编写；第五章由陈建隆编写；第六章由陈康传编写；附录由梅启晟编写。参加单矿物分选实验人员有：林国政、谢修品、吴树清、冯俊明、张德明、张立志、方曼英。

本书由曾饶明同志进行了技术编辑加工，书中插图由陆宝林同志清绘，照片由程应良同志摄制。



目 录

第一章 矿物可选性质测定	1
第一节 矿物可浮性测定	1
第二节 矿物导电性及介电常数的测定	5
第三节 矿物比磁化系数的测定	9
第四节 矿物比重的测定	11
第五节 矿物可溶性测定	15
第二章 矿物的可选性质	17
第一节 自然元素类	18
石墨、自然金、金刚石、自然硫、自然铂、自然银、自然铋、自然铜、自然锑、自然砷	
第二节 硫化物类及其类似化合物	21
方铅矿、方黄铜矿、白铁矿、闪锌矿、辰砂、车轮矿、毒砂、针硫镍矿、砷铂矿、砷铜矿、砷黝铜矿、雄黄、黑辰砂、脆银矿、硒铅矿、红镍矿、纤锌矿、黄铁矿、斑铜矿、黄铜矿、硫锰矿、硫锑铅矿、硫砷银矿、硫砷铜矿、硫镉矿、硫锑银矿、雌黄、微晶砷铜矿、铜蓝、磁黄铁矿、碲银矿、碲金矿、碲汞矿、辉锑矿、辉银矿、辉铋矿、辉钼矿、辉铜矿、辉砷镍矿、辉铅铋矿、锑银矿、镍黄铁矿、辉钴矿	
第三节 卤化物类	33
石盐、冰晶石、光卤石、钇萤石、钾盐、萤石	
第四节 氧化物类	35
三水铝矿、水锰矿、石英、尖晶石、钽铌易解石、赤铁矿、赤铜矿、沥青铀矿、金红石、板钛矿、易解石、金绿宝石、钇易解石、复希金矿、刚玉、针铁矿、软锰矿、黑锰矿、黑希金矿、蛋白石、斜锆石、钛铁矿	

硬锰矿、硬水铝矿、铈钽铁矿、铈铁矿、钽铁矿、钙钛矿、铈钼矿、钛铁金红石、钽锡矿、钽铋矿、钽铋矿、钽铝石、钽锰石、铈钙钛矿、铈铈钙钛矿、铈钙矿、细晶石、褐锰矿、磁铁矿、褐铁矿、铬铁矿、铬尖晶石、褐钒铈矿、褐钒钽矿、锐钛矿、震旦矿、锡石、白钛石

第五节 硅酸盐类48

十字石、天河石、日光榴石、贝塔石、白云母、叶蜡石、正长石、直闪石、硅铍石、角闪石、硅镁石、矽线石、硅灰石、金云母、硅孔雀石、斧石、珍珠云母、电气石、星叶石、方沸石、高岭石、海绿石、透闪石、钼石、符山石、异极矿、黑云母、透辉石、蛇纹石、异性石、石榴石、红柱石、黄玉、阳起石、蛭石、蓝晶石、蓝柱石、普通辉石、滑石、钠长石、顽火辉石、铁铝榴石、钙铁榴石、钙铝榴石、钙铁辉石、微斜长石、铯榴石、榍石、褐帘石、紫苏辉石、橄欖石、锂云母、锆石、绿帘石、绿柱石、锂辉石、绿泥石、锰铝榴石、霓石、镁铝榴石、蔷薇辉石、霞石

第六节 硼酸盐类65

硼钠钙石、硼砂、硼镁铁矿

第七节 磷酸盐、砷酸盐和钒酸盐类65

独居石、磷灰石、磷钒矿、磷锂铝石、钒铅矿、钙钼云母

第八节 钼酸盐、钨酸盐、铬酸盐类67

白钨矿、黑钨矿、钼铅矿、钼钙矿、铬铅矿

第九节 硫酸盐类69

天青石、石膏、芒硝、明矾石、重晶石、硬石膏、黄钾铁矾—磷铁矾、铅矾、泻利盐

第十节 碳酸盐、硝酸盐类71

方解石、孔雀石、霞石（文石）、白云石、白铅矿、泡铋矿、氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、毒重石、蓝铜矿、菱镁矿、菱锰矿、菱铁矿、菱锌矿、钠硝石、钾硝石、黄河矿

第三章 分选方法	77
一、介电分选法	77
二、粘附面法	81
三、电化学法	82
四、重液分选法	84
五、调配重液离心法	85
六、重熔融体分选法	87
七、电磁分选法	88
八、焙烧磁选法	91
九、粒浮法	92
十、静电分离法	92
十一、精淘分选法	95
十二、选择性化学溶解法	97
十三、顺磁液体法	99
十四、其他分选法	101
第四章 分选各论	106
第一节 比重为 2.09—2.95 的矿物	108
石墨、微斜长石、钠长石、蛇纹石、石英、方解石、滑 石、绿柱石、白云母、锂云母、白云石、铯榴石、绿 泥石、金云母、硅铍石、电气石	
第二节 比重为 3.02—3.3 的矿物	128
黑云母、红柱石、锂辉石、磷灰石、角闪石、萤石、矽 线石、透辉石、橄榄石、符山石、绿帘石、辉石、榍石	
第三节 比重为 3.5—3.9 的矿物	140
尖晶石、黄玉、金绿宝石、蓝晶石、褐帘石、石榴石、十 字石、闪锌矿、孔雀石、刚玉	
第四节 比重为 4.1—4.9 的矿物	150
黄铜矿、金红石、铬铁矿、重晶石、磷钼矿、辉钼矿、 磁黄铁矿、锆石、辉钨矿、磁铁矿、钛铁矿、独居石、 黄铁矿	
第五节 比重为 5.0—15.5 的矿物	170

赤铁矿、细晶石、铌钽铁矿、白钨矿、毒砂、黑钨矿、
锡石、方铅矿、辰砂、自然金

第五章 人造金刚石及其他矿物的分离	184
第一节 人造金刚石的分选与提纯	184
第二节 几种地幔矿物的分选方法	193
第三节 陨硫铁、硫同位素测定用黄铁矿的分选	195
第六章 铂族矿物的分选	197
第一节 概 述	197
一、金银及铂族元素的物理化学性质	197
二、含铂矿床的几种类型	197
第二节 铂族矿物特征及富集流程	201
一、常见铂族矿物的物理特性	201
二、铂族矿物分选原则流程的制定	201
第三节 铂钯富集体中铂钯矿物的分选	217
第四节 含铂细粒贫矿石中钯钴的富集与提纯	222
第五节 氧化矿中含铂矿物的提纯	232
第六节 铬矿床中铂族矿物的分选	239
第七节 砂矿中贵金属的分离	245
第八节 浸出渣内铂族金属的富集与提纯	250
第九节 氯化渣的分选处理	257
第十节 含铂浮选厂尾矿中铂、钯的分选	262
第十一节 结语	268
附录 1 单矿物分选实验室设备一览	270
主要参考文献	273

矿 学 研 究
PDG

第一章 矿物可选性质测定

矿物的富集、分离、提纯是一种物理及化学选矿过程，选矿的方法虽多，但却同样是以矿物的固有特性的差异为依据的。因此，为了有效地达到分选目的，必须充分熟悉矿物的若干重要性质。矿物的各种性质中，与分选有密切关系的称之为矿物可选性质。

实践已为人们积累了大量矿物可选性数据。但在应用上这种资料往往会有一定的变动范围。所以，就某一种矿物而言，能否掌握其具体数据，对于指导一系列分离工作将有实际意义。以下叙述几种常用矿物可选性质的测定方法。

第一节 矿物可浮性测定

矿物的浮游性能首先取决于矿物的成分、结构及其一系列表面性质，因之，不同地区矿床，其矿物的可浮性往往有差异。基于浮选是一个多相反应的物理化学、动力学过程，情况相当复杂，在研究矿物可浮性时，常常从设想比较简单方面着手是必要的。

纯矿物实验中，一般包括样品的准备和样品的试验两个步骤。准备样品阶段十分重要，如果试样制备不完善，必将引起混乱现象而毫无结果。在准备试样中，最重要的是选择具有代表性的并有足够数量的矿样，仔细加工成一定粒度，除去杂质，分离纯净，再视需要进行矿物的表面处理，然后妥善贮存备用。整个过程注意避免污染和氧化，以保证试验的重复性和连贯性。

影响矿物可浮性的因素是多方面的，除上述矿物本身的决定性因素外，人们可以利用各种方法改变其表面状态，以提高矿物

的浮选速度和选择性。使用各种浮选药剂就是为了达到这一目的而采取的重要手段之一。

纯矿物浮选性能测定，是偏重于静止状态的简单浮选形式，因而考虑的因素大为简略了。通常很大的一部分工作，就是从观察矿物与药剂的作用上进行，以便确定浮选合适条件。例如，依次加入相应的药剂，分别试验矿物的上浮、抑制和活化等情况，借以展开综合性的条件试验。必须强调，试验过程中浮选介质应始终维持在一定的 pH 值上，这是很重要的。

单项试验取得初步结果以后，便可进行人工配料的试验，为分离两种以上矿物提供依据。

下面叙述几种试验方法。

一、量筒法

用带刻度的容积为 100—150 毫升的有塞量筒作工具。试验时，称 1.0 克矿样，取调整好 pH 值的蒸馏水 50 毫升，再加入试验药剂，盖好塞子，均匀摇晃量筒一定时间（例如 3、5 或 10 分钟等），静置片刻后，仔细观察矿物在量筒内浮沉状态。通过观察分析，可以概略地确定矿物可浮与否及所需浮选药剂的种类和数量。量筒法缺乏量的观念，但却能迅速提供定性方面的结果。

如果使用量筒法时，在瓶塞上连接抽气装置控制气流的速度和数量，以及设计机械震动装置，使容器内矿物与药剂的反应更加充分均匀，则浮选试验的完善程度便可大为提高。

二、气升法

气升法是通过增压产生上升气泡使矿物浮游，其设备及装置见图 1.1。利用水压造成上升气流，通过一只容量 100 毫升的 1 号玻砂漏斗，使在其中的矿物发生浮选作用。上浮的矿物收集、干燥、称重，试验结果经计算处理后作出评定。

图中恒压水流经容量瓶 1 及容量瓶 2，把气体压缩至过滤瓶 4，再从漏斗 5 下端通向漏斗上部，形成均匀气泡与矿物相作用，

达到浮选目的。空气压力可从水银压力计 3 上读出。

试验时，将预先制备的样品称取 1.0 克放烧杯内，加蒸馏水 50 毫升，调整 pH 值，依次加入所试验药剂，再置于搅拌器内分别搅拌数分钟，收集泡沫浮出物，即可借以研究分析。

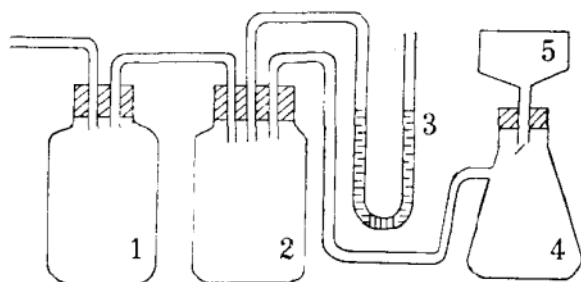


图 1.1 气升式浮选装置简图

三、摘 泡 法

利用一根玻璃滴管直接产生气泡，使与矿物接触，根据矿物附着于气泡上的数量，作出试验估价。试验装置见图 1.2。

操作方法：1. 称取 0.5 克矿样放烧杯内，注入 150 毫升蒸馏水；2. 调整 pH 值；3. 依次添加试验药剂，置搅拌器下分别搅拌数分钟；4. 使气泡接触矿物；5. 提出矿物，镜下观察并计数。

试验过程比较简单，每项试验进行若干次后取平均值，可大大提高其可靠程度。

计量的方法，可以计算被气泡携出的矿物颗粒数，用相对比较的数值表示：

$$F = \frac{n}{F_m} \cdot 100$$

式中 F —— 矿物提出率%；

n —— 附着于气泡被提出矿物颗粒数；

F_m —— 矿物最大提出率，此处设为 100。

另一种计量方法，将提出产物干燥、称重，与试样重量相比求出百分数。

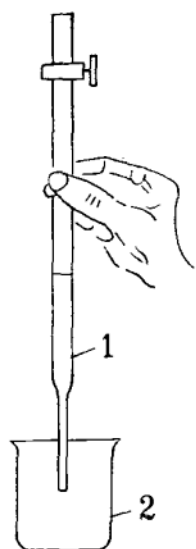


图 1.2 摘泡法试验

1—接有橡皮管的玻璃吸管；2—烧杯

方法容易进行，但要样品和器皿必须十分清洁。首先样品纯净，过筛，取100—150目或150—200目粒级，分别用酸或碱溶液，再用蒸馏水洗涤若干次，以空白试验时，矿物完全不附着于气泡上为符合要求，所用器皿亦应同样检查，以保证试验的准确性。

摘泡法的缺点，是接触气泡时，人为的影响因素较大，但一经掌握熟练之后，是完全可以弥补的。

四、单 泡 管 法

单泡管法即通常指的单泡浮选法，所用单泡管形式多种多样，图1.3 a 为一般单泡管形状，有效容积 50—200 毫升，管身弯度 115° — 125° ，下端毛细管直径100微米左右。

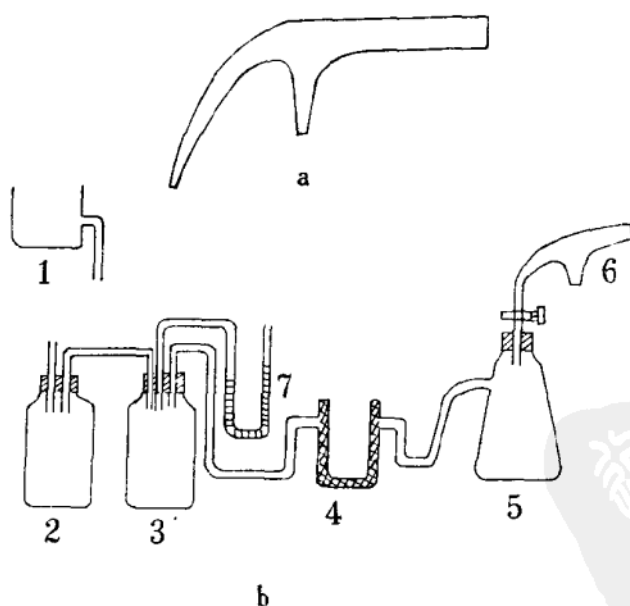


图 1.3 单泡管浮选设备略图

a—单泡管；b—浮选试验装置

设备装置如图1.3b，水源由恒压水箱1，流入刻度容器2，压缩气体经缓冲瓶3，U形管4，再由缓冲容器5进入单泡管6，气流量从刻度容器2反映，剩余压力则表示于压力计7上。

试验样品及工具必须保持清洁，亦应以空白试验检查，确认矿物不为气泡附着上浮为准。试验时，称取样品0.2—0.5克置烧杯内，注蒸馏水润湿后，加入试验药剂，用玻棒或机械搅拌，随即倾入单泡管。浮选时间可由调节进入刻度容器2的水量控制，一般情况下，取上升气泡的数目约每分钟160个左右，气泡数目一定，则气体量和时间亦大体上一致。

综上所述，最简单的测定方法是量筒法，它可简便地作出矿物可浮性定性方面的结果，对于选择药剂及初步观察矿物浮选性质，能够迅速给予评定。摘泡法则可以迅速地提供定量方面的数据，技术纯熟之后，实验的重复性是相当好的。气升法颇类似于小型浮选机，但方法的严密性不如单泡管。单泡管法普遍地应用于纯矿物实验，可以测定矿物最适当的浮选条件，同时，也广泛应用于浮选基础理论的研究，而且依据工作的需要已发展成为一种日趋完善的研究工具。

第二节 矿物导电性及介电常数的测定

矿物的导电性和介电常数，是物质的物理特性之一。任何物质在电场中都有各自的表现状态，并据此区分为导体、半导体、和非导体，这种划分是建立在根据矿物传导电流能力——导电性的差异上面。

导电性常常取电阻系数的倒数来表示，单位是欧姆⁻¹·厘米⁻¹。

对于金属、重金属硫化物等导体的导电性，其范围值在 $14 \cdot 10^6$ — $130 \cdot 10^6$ 欧姆⁻¹·厘米⁻¹。

半导体的导电性在 10 — 10^{-7} 欧姆⁻¹·厘米⁻¹；包括一部分硅酸盐和氧化物。很大一部分硅酸盐、碳酸盐和若干硫化物矿物、

褐煤等，是属于非导体，其导电性为 10^{-7} — 10^{-10} 欧姆 $^{-1}$ ·厘米 $^{-1}$ 。

矿物的导电能力，除了用“导电性”一词表示外，还常采用“比导电性”表示，这是其它矿物与以石墨传导性能为 1 相比较得出的数值，使用比较方便。

测量矿物的传导性能时，往往只须测量矿物的电阻数值。测量电阻的装置如图 1.4 所示，在两个直径为 20 毫米的金属圆筒 1 之间，装入 10—20 颗测试矿物 2，圆筒的间距利用测微螺旋调节，3 为电流表，4 为电压表，5 为电源。电流表是采用灵敏度为 10^{-9} 安的镜测电流计。测量时，固定电压，测量通过矿物的电流量，每转动矿粒之后，重复测量一次，从十次测量中取其平均值。

按图 1.4 装置，当电压从 1 到 400 伏时，可测量的电阻范围值为 10^{12} 到 10^8 欧姆。通常电阻大于 10^{12} 欧姆的矿物就是介电体（非导体），电阻低于 10^6 欧姆即为良导体。测量出的电阻数值与使用的仪表装置方法、测试矿物的形状及粒度等有关。

试验资料指出，相同矿物的电阻有时出现很大差异，可解释为由于物料结构、吸湿性、含水率等不同的缘故，这种情况在非导体矿物中尤为常见。此外，当温度升高时，某些非导电性矿物可转变为半导电性矿物。

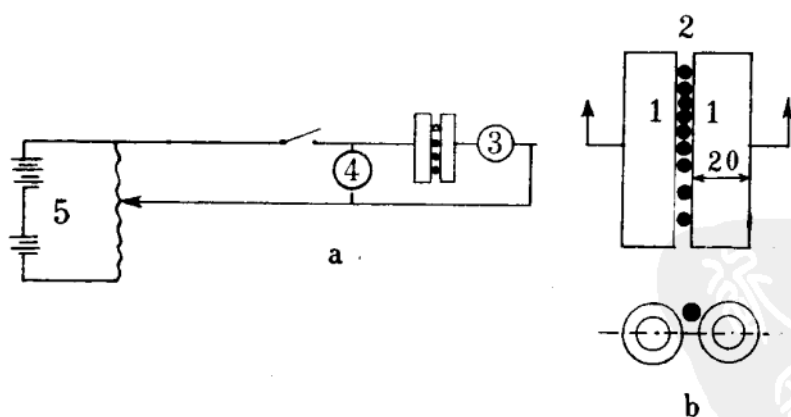


图 1.4 测量矿物导电性装置

a—装置略图；b—金属圆筒

上已述及，所有物体都可划分为导电体和介电体。介电体电阻率很大，在外电场影响下呈极化作用，介电常数是介电体的物理特征，是指介质在电场中由于极化作用所受引力的状态，其物理量是取在条件相同时，介电体电容量与空气的电容量的比值。通常以真空的介电常数为单位，实际上空气的介电常数极接近于1。介电常数反映介质的极化程度，即电容量愈大，介电常数愈高，物质的极化程度就愈大。

固体介电体的电容量取决于物质的成份和结构，结晶的介电体往往就较之无定形的为高，例如晶体石英的介电常数为4.27—5.06，而熔化状的石英则为3.20—3.78。液体状态时，物质的介电常数一般又比在固态时为大，如水的介电常数81.7，而冰则仅为2.85。介电常数还随气体压力升高而增大，随温度升高而降低。除金属、金属硫化物和石墨为导电体或半导电体外，大部分矿物均为介电体，其介电常数一般在3—10之间。

矿物介电常数的测定，普通的方法是比较电容器容电量的方法，或间接从计算介电液体的介电常数求出。

比较电容器在空气中的和充填矿物后的容电量的方法，需要较大的纯矿物晶体以便制成薄片，还需涂制导电层。因要求和制作上的关系，电容法是不方便的。

间接比较介质介电常数的方法，应用广泛。其实质是观察矿物颗粒在介电液电场中受力变化的状况，而由加入已知介电常数的介电液变化确定矿物的介电常数。测定时，用滴管往容器注入5毫升高介电常数的介电液（一般采用四氯化碳），加入矿物，插上电极，同时接通电流，随即在双目镜下观察矿物的移动情况，先是见矿物强烈地被吸向电极，此时，通过滴管再加入少量介电常数高的介电液（常用甲醇），逐步调节提高混合液的介电常数，当矿物在介电液中处于强烈排斥状态时，则混合液的介电常数大体相当于测试矿物的介电常数。测量中为使矿粒运动清晰可见，可适当提高电压，以增强质点的运动。此法即常称的玻毕法。

混合液的介电常数可按下式计算：