

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

影响矿化岩石和矿石极化率(η)值的因素及其作用规律

张赛珍 王式铭执笔

中华人民共和国成立后,在社会主义制度下,我国地质物探事业也和其他各项工作一样,获得了迅速的发展。地质物探队伍在毛主席革命路线指引下,在各级党委领导下,为我国矿产普查勘探工作作出了应有的贡献。随着大规模地质物探工作的发展,在大量生产实践的基础上,使我们对激发极化法的若干问题取得了新的认识,获得了新的经验。本文主要是就影响矿化岩石及矿石极化率(η)值的因素及其作用规律,根据生产实践的经验,结合实验研究,提出一些看法。

在生产实践中,激发极化法的应用经常遇到石墨化和稀疏黄铁矿化岩层引起的非矿干扰问题。特别是出现了大量由贫矿化引起的强大异常,其中有些异常还常与富矿体引起的异常相似。如图 1 中一铜矿区两个异常即是这种情况。激发极化测深测定两异常体的埋深皆为 15—16 米,异常的规模,强度都接近,但异常 a 是由总金属体积含量(ξ_v)较高的富矿体(含铜矽卡岩和含铜磁铁矿组成的矿体)引起,异常地段矿体的总金属体积含量(ξ_v)达 34%。而异常 b 却由极贫的黄铜矿、黄铁矿化的花岗闪长岩所引起,其中总金属体积含量(ξ_v)仅为 0.7%。这两个相仿的异常所反映的 ξ_v 竟相差达 48 倍,这样的实际现象,如用一般所认为的岩、矿(矿化岩石和矿石的简称,以下同此) η 值大小和其中金属导体(或其它电子导体)总体积含量的贫富有密切关系的观点,则是无法解释的。

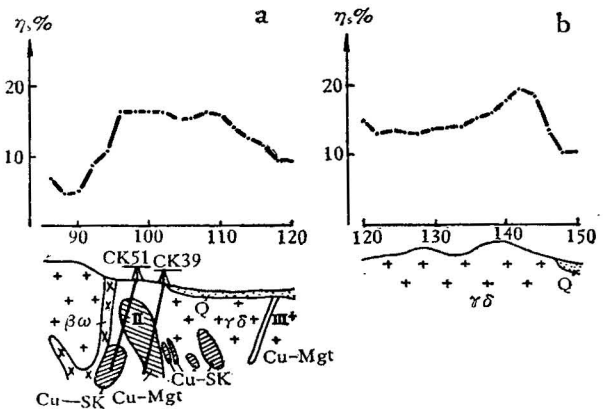


图 1

那么究竟是什么原因造成上述两个相仿异常所反映的 ξ_v 如此悬殊呢?

可以提出以下两个问题:

1. 自然界中是否存在不含导体矿物(包括金属导体矿物和石墨、炭质等)的高极化率(η)地质体?
2. 岩、矿的 η 和 ξ_v 的关系究竟如何? 有哪些因素在影响着 η 和 ξ_v 的关系? 其作用规律如何?

对第一个问题,我们曾经对做过激发极化法工作的许多有色金属矿区做过一般调查,

凡经过山地工程或钻探验证的非矿的强大异常,都为不同程度的金属矿化地质体或石墨化(炭化)岩体所引起。此外,我们还对出现强大非矿异常的个别典型地区作了深入的剖析。如浙江 102 区,在其高背景高异常地段的地表和地下采集了 1147 块标本,其中肉眼见不到导体矿物而 η 偏高的标本只有三块,但这三块经过镜下鉴定,也都多少见到了一些金属矿物。而且,这类标本只是分布在各别点上,在空间上没有相应的层位,也就不能造成剖面异常。因此,经过由面到点的调查,到目前为止,我们还没有遇见不含导体矿物的高 η 地质体或具有足够体积的高 η 地质体。一般不含导体矿物的地质体的极化率值只在百分之零点几一百分之二之间。看来,在有色金属矿区,无导体矿物的高 η 岩层即使存在,将来遇到的机率也是小的。因此产生强极化作用的主要原因还是导体矿物和其周围液体所组成的极化单元本身。为此,我们和有关单位合作,着重研究了第二个问题。在研究过程中,相对导体矿物的强大极化作用而言,我们把脉石都相对地当做不极化的,在讨论 η 和 ξ_v 关系时,其中 η 都已经减去了无导体矿物时的 η_0 值。

分析影响岩、矿极化作用或者 η 和 ξ_v 间关系的因素不外乎以下两个方面:

1. 极化单元本身极化作用的强弱。

极化单元乃由导体矿物和其周围孔隙液构成,决定其极化作用强弱的应是导体和孔隙液的成分,液体的浓度及其相对体积含量。

2. 标本或岩体内部微观电场的分布。

这决定于导体矿物的形态及其在标本中的空间分布,纯离子通道(孔隙等)以及为导体矿物所堵塞的通道的分布,即岩矿的结构构造,以及孔隙液和导体的电性差异等。

大量实践结果说明,上述第二方面的因素的作用占更主要地位。例如常常在同一地区,矿化水状况和导体成分都相同的情况下,表现了很不相同的 η 和 ξ_v 关系。因此,我们着重研究了岩、矿结构构造这方面的因素及其大致规律。此外,为了更好地进行这方面研究,也对导体成分、孔隙液成分、浓度等因素的作用进行了少量实验工作。

除了疏松人工标本外,主要对大量天然标本进行了测定分析工作。 η 值中的二次电位是在供电两分钟断电后 0.5 秒测得的, ξ_v 用化学分析方法或磁选法测定。我们把岩矿组分和结构构造基本一致仅 ξ_v 不同的岩、矿标本划为一类,然后研究各类的 η 随 ξ_v 变化规律。天然标本共有 59 类(包括不同地区的同名岩、矿),每类中由低 ξ_v 到高 ξ_v 量的标本一般有十余块到二十余块。采集地点涉及许多地区的矿床和矿点。岩性主要为中酸性、侵入岩、火山岩、变质岩、沉积岩以及接触带、蚀变带的岩、矿等。导体矿物种类有:黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、石墨、磁铁矿、辉铜矿、斑铜矿、磁黄铁矿、软锰矿等。

导体矿物的结构构造有星点状、团块状、细脉状、网脉状、片状等。脉石矿物的结构构造有隐晶质、细晶质、粒状、块状和片状等。

人工标本则由粒径为 0.2—1 毫米的石英砂,其中均匀混合导体矿物而成,只加一般压力,是疏松的,孔隙度约为 40%。

下面将以天然标本为主,着重报导矿化岩石的 η 随 ξ_v 的一般变化规律,以及岩、矿结构构造对矿化岩石的 η 随 ξ_v 的关系的影响作用的初步研究结果。与此同时,也简单报导导体性质和孔隙液性质、状况等因素的影响。

一、岩矿 η 随 ξ_v 变化的一般规律

根据 59 类天然标本实测的 η 随 ξ_v 变化图线,其一般规律如下(参见图 5a、6、9 等):

(一) 不同类岩、矿的 η 和 ξ_v 关系很乱,看不出规律。同类岩、矿的 η 随 ξ_v 作有规律的变化。一般致密状天然岩、矿标本,在低 ξ_v 时, η 随 ξ_v 上升较快,图线斜率变化很小。即在低于 ξ_v' 的一定范围内, η 和 ξ_v 接近线性关系,随 ξ_v 继续增加,则 η 缓慢上升,逐渐向饱和值趋近。

(二) 各类岩、矿的 η 和 ξ_v 关系图线中的起始接近线性段的平均斜率 (α),其大小变化范围很大,从零点几到 20 左右。

(三) 起始接近线性段的 ξ_v' 值的大致范围,也即 η 和 ξ_v 关系图线上斜率变化最大处的大致 ξ_v' 值与 α 值有关 α 愈大, ξ_v' 愈小。统计了 38 类岩、矿的 α 和 ξ_v' ,有趣的是 ξ_v' 随 α 作有规律的变化(图 2)。

(四) 导体矿物呈脉状但脉不连续贯通到标本两端的标本,当矿脉形态、粗细、连断及其在空间分布的状况相仿时,则 η 仍随 ξ_v 作有规律的变化。如图 3a 等。

当矿脉连断情况不一致,但脉厚薄相差不大时,对脉呈定向排列的岩、矿,沿脉走向测得的 $\eta^{\parallel}$ 无规律,垂直脉向测的 $\eta^{\perp}$ 则仍和 ξ_v 作有规律的变化(图 3b)。

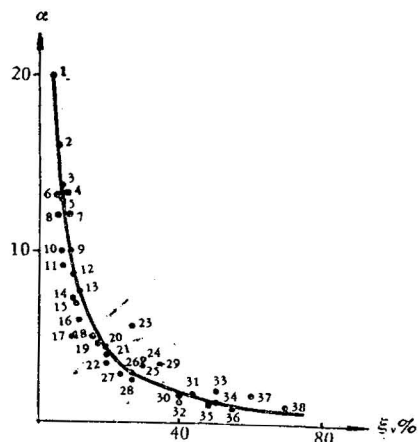


图 2 38 类岩矿的 α 和 ξ_v' 关系

(图中每一个号代表一类标本)

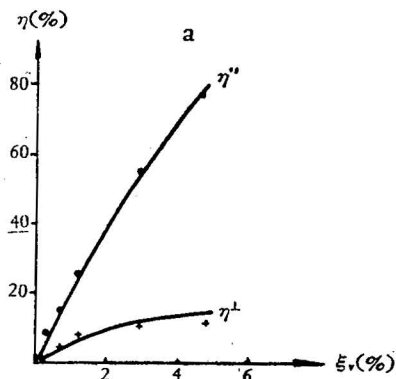


图 3a 脉状黄铁矿化花岗闪长岩的 η 和 ξ_v 关系
(脉的构造基本一致)

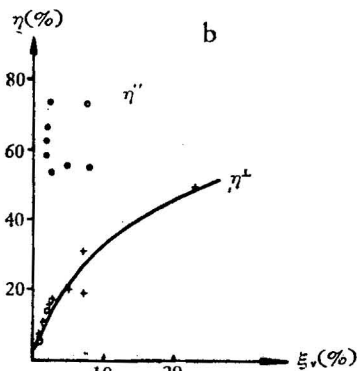


图 3b 单脉状黄铁矿化蚀变花岗闪长岩的 η 和 ξ_v 关系(脉连通不同)

二、影响岩、矿 η 和 ξ_v 关系的因素

(一) 极化单元本身的性质

1. 孔隙液状况

疏松人工标本实验结果说明,含有 1 到 3 价离子的由强酸性 $\rightarrow$ 中性 $\rightarrow$ 强碱性的各种

不同孔隙液成分,除个别外,对含矿岩体的 η 值没有明显影响。

采用不同地区、不同成分和不同 pH 值 (pH 值差异程度比上述人工液小)的天然矿化水分别充填天然标本,仍看不出对 η 值的影响;只是当不同成分的矿化水的电阻率 ($\rho_{\text{水}}$) 差异较大时,对 η 值才有较明显的影响。

湿度影响的实验结果表明,一般在标本湿度 (ω) 较低时,不同湿度对 η 值有较明显的影响。但当湿度升高到某一定值后,则湿度的变化对 η 值的影响就很不明显了。

孔隙液浓度不同,对 η 值则是有影响的。对疏松人工标本,这种影响更明显些。对天然标本,则在浓度 $< 0.1N$ 时,基本上无影响或影响很小;浓度 $> 0.1N$ 后才有较明显的影响,如图 4 所示。但应该指出,随着浓度的改变,溶液电阻率也相应改变。按照上述孔隙液成分影响的实验结果来看,当浓度 $> 0.1N$ 以后,对 η 值的较显著的影响,可能主要还是 $\rho_{\text{水}}$ 的变化在起作用。

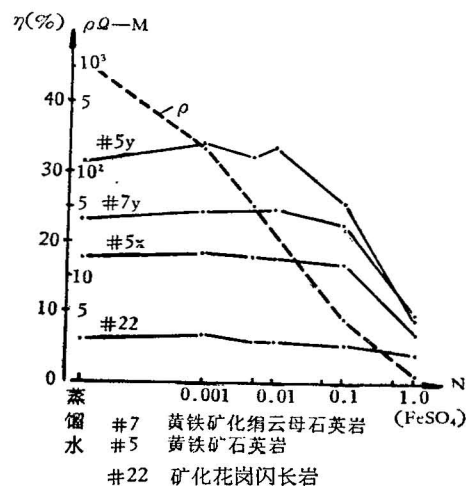


图 4 不同孔隙液浓度对 η 的影响

考虑到天然条件下,各地矿化水乃由多种成分组成,各地水的酸碱性差异程度又远小于上述人工液,实验中对 η 影响较大的个别溶液在天然矿化水中含量也极稀少。至于矿化水的浓度则很少有高达 $0.1N$ 以上的。此外,在地下水比较丰富地区,一般岩、矿都具有使 η 值达到稳定的足够湿度。因此在大多数天然情况下,孔隙液状况不是影响 α 值的主要因素。图 1a、b 的例子也可从另一角度来说明。1a 和 b 是同一地区两地段相隔较近的两个异常,地下水状况相似,但 η 和 ξ_v 关系却相差如此悬殊。因此一定还有比孔隙液作用大得多的影响因素存在。

实验研究中,为了使不同地区的工作结果便于对比,又使实验条件尽量接近当地自然环境以便分析当地强异常,因此,都用当地矿化水浸泡标本,并测定了矿化水的 $\rho_{\text{水}}$ 值作为参量。再则由于实验地区的地下水丰富,水面又浅,因此我们都使标本浸泡到足够使其湿度 (ω) 达到上述的稳定状态。

2. 导体矿物的成分

由于 α 和 ξ_v 有密切关系(图 2),而 α 这个值又能比较直观地联系低 ξ_v 段的 η 和 ξ_v ,并且低 ξ_v 段的 η 和 ξ_v 关系对解释贫矿化的干扰更有直接意义,因此在下面讨论各种因素对 η 和 ξ_v 间关系的影响时,为简化问题,我们将主要讨论各种因素对 α 的影响。

人工疏松标本和比较大量的天然致密标本的实验结果都表明,脉石组分结构构造和导体矿物的结构构造相同仅导体成分不同的岩、矿,其 α 值是有不同程度差异的。其典型例子如图 5a 中含黄铜矿、黄铁矿、黄铁矿-闪锌矿三种导体成分的矽卡岩标本的实验结果。

当岩、矿中的导体矿物由二种成分组合时,则 α 值介于只含一种导体矿物时两者的 α 值之间,且偏向于相对含量较高的一种矿物的 α 值。如 109 区的方铅矿闪锌矿矽卡岩,当

闪锌矿和方铅矿的含量比为 1:1 时, $\alpha=4.4$; 当其含量比为 3:1 时, $\alpha=3.6$ 。以后随着它们间比例的变化, α 也随着变化 (图 5b)。102 区的闪锌矿黄铜矿矽卡岩和闪锌矿黄铁矿矽卡岩等岩、矿类也有类似规律。

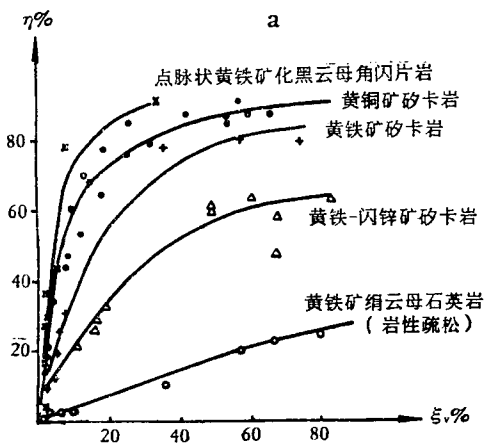


图 5a 同结构构造, 不同导体成分的三种矽卡岩和同黄铁矿化不同结构构造的岩矿类的 η 和 ξ_v 结果

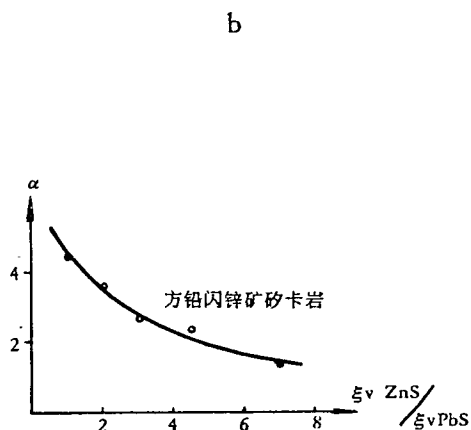


图 5b α 随组合矿物相对含量的变化 (方铅闪锌矿矽卡岩)

附表中 102 区的石墨石英片岩一类 (I-2), 每块标本的石墨含量占标本中总导体矿物的含量都在 90% 以上, 但其中 842、428、843、429 号四块标本的石墨相对含量较低 (见 I-2 类图旁表格), 其 η 值也相对偏低。这也说明了上述成分的影响规律, 而且这里石墨的极化作用大于黄铁矿。

在其它各类中, 也有大量个别标本都反映了上述导体成分的影响规律, 不再一一列举。

综合上述, 人工疏松标本和天然致密标本的实验结果, 在岩、矿结构构造及其它条件相同时, 不同导体成分的岩、矿, 其 α 值是有区别的。 α 值的次序依次为: 石墨 $\rightarrow$ 黄铜矿 $\rightarrow$ 方铅矿 $\rightarrow$ 黄铁矿 $\rightarrow$ 闪锌矿。

值得注意的是, 含不同导体矿物的岩、矿 (结构构造同) 的 α 值次序大致和导体矿物本身的导电率值次序相对应。

此外, 还做过含有斑铜矿、辉铜矿、磁铁矿、软锰矿、赤铁矿等矿物的岩石标本。含前三者的 α 相对较大, 含后二者的 α 相对较小。

在不同类岩、矿中, 即在结构构造不同的岩、矿中, 则上述次序就不存在了。除了以闪锌矿为主的各类岩、矿的 α 都偏低以外, 含其它导体成分 (一般为导电性较好的) 的岩、矿, 当结构构造不同时, 其 α 值可以相差十分悬殊。如图 5a 中星点、脉状黄铁矿化黑云母角闪片岩, 团块状黄铁矿矽卡岩和疏松团块状黄铁矿绢云母石英岩三类, 它们的黄铁矿相对含量都在 80% 以上, 孔隙液状况也一样或接近, 但三者的 α 却相差很悬殊, 角闪片岩的 α 值为疏松绢云母石英岩的 27 倍, 三者的变化范围远远超过了三种不同导体成分的矽卡岩的 α 值变化范围。三者中 α 值最大的含黄铁矿的黑云母角闪片岩的 η 和 ξ_v 关系图线超覆在含黄铜矿的矽卡岩的图线之上, 而 α 值最小的含黄铁矿的疏松状绢云母石英岩的

η 和 ξ_v 关系图线则又完全为含闪锌矿为主的黄铁矿闪锌矿矽卡岩所超越, 这样的例子还很多, 不再一一列举。

因此, 不同岩、矿结构构造可以左右导体成分或极化单元本身的极化作用被显示的程度, 成为极化单元的极化作用能否被激励, 能否在标本(或地质体)外部被充分显示或被淹没的主要外因条件。下面将分别探讨几种岩、矿结构构造的作用情况。

(二) 岩、矿的结构构造

1. 导体矿物的结构构造*

(1) 导体矿物呈脉状分布

当导体矿物呈薄层脉状或薄膜状或细脉状并作定向排列时, 则标本的极化率呈明显的各向异性, AMNB 极方向平行脉向测得的 $\eta^{\parallel}$ 要比 AMNB 极垂直脉向测得 $\eta^{\perp}$ 要大。导体矿物呈不定向脉状分布或呈其它形态分布时, 则 η 的各向异性不明显, 其 η 值常介于同脉作定向分布时的 $\eta^{\parallel}$ 和 $\eta^{\perp}$ 之间, 如图 6a、6b 的结果。

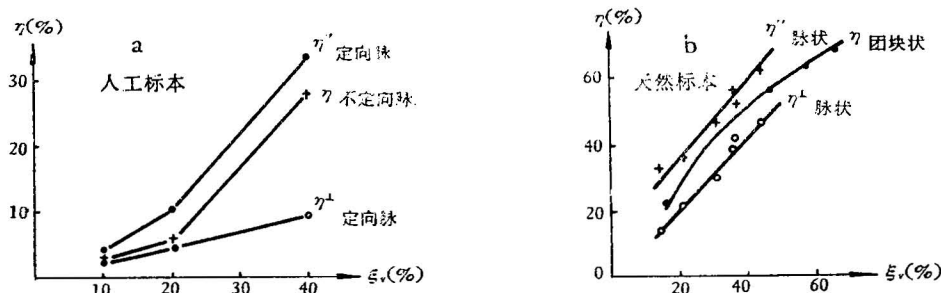


图 6 两种导体构造的结果及脉状岩、矿的各向异性

一般脉(膜)较薄的, 相对 $\eta^{\parallel}$ 值要比脉(膜)较厚的大。如均匀混合三种不同直径的铜丝的人工标本的测定结果(图 7)。天然标本中也有很多这样的例子, 如安徽 104 区的薄膜状黄铁矿角岩类, 其一般黄铁矿膜厚度皆在 0.5—1 毫米间, 但 1506、1504 号两块标本的薄膜为 0.2—0.3 毫米厚, 它们的 η 值也明显的相对偏高。

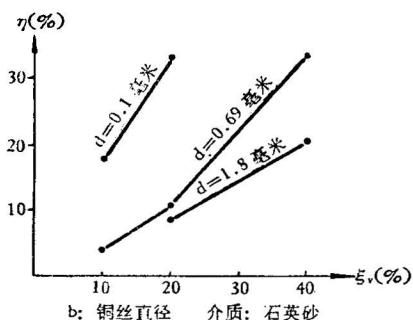


图 7 石英砂分别均匀混合三种直径的铜丝的人工标本结果

脉连续程度不同时, 连通好的比不连的, 其 $\alpha^{\parallel}$ 和 $\eta^{\parallel}/\eta^{\perp}$ 常常要大得很多。

因此又细(薄)又连通得好的定向脉状岩、矿的相对 $\eta^{\parallel}$ 值或 $\alpha^{\parallel}$ 值常可以非常大, 如图 3b 的安徽一个单脉状黄铁矿化蚀变花岗闪长岩即为一例。其脉只有 1—2 毫米厚, 大多连续程度较好, $\eta^{\parallel}/\xi_v$ 和 $\eta^{\parallel}/\eta^{\perp}$ 都很大。特别是其中连通得好的, $\eta^{\parallel}/\eta^{\perp}$ 达

6.6 倍, $\eta^{\parallel}/\xi_v$ 可达 47, 即当 ξ_v 只有 1% 时, $\eta^{\parallel}$ 就可达到 47%。

(2) 导体颗粒的大小

* 即导体矿物的形态及其空间的分布等。

疏松人工标本的实验结果表明,当导体在标本中呈粒状或星点状均匀分布时,随着标本中所含导体的粒径的减小, η 有上升趋势(图 8a、b)。

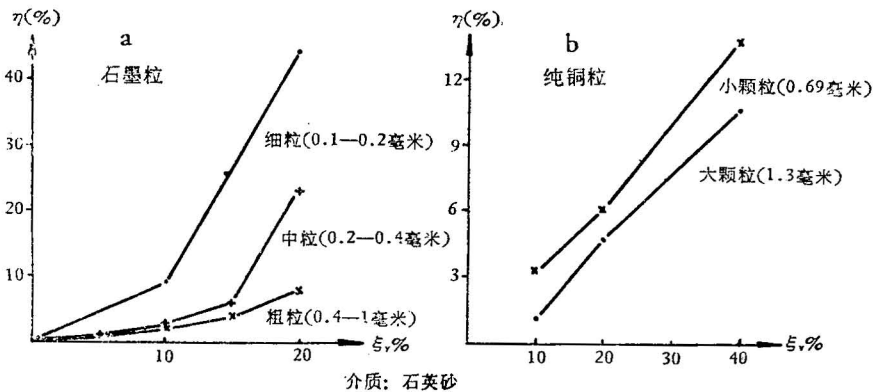


图 8 含导体颗粒大小不同的人工标本的测定结果

天然标本中则很少遇到组分和其它结构构造一致,仅导体粒径不同的标本,但也有类似的值得注意的现象,如:

i. 在某些同类岩、矿中,对比个别标本时,可以发现: 其中导体颗粒明显较小的要比导体颗粒明显较大的 α 值来得大。

ii. 在实测中曾遇到一些致密块状的标本,肉眼见不到或仅见到极微量金属颗粒,但其 η 值比同类岩、矿中相当 ϵ 的一般标本的 η 值要高得多。这样的标本,经镜下鉴定,都有一个共同特点,是其中导体粒特细 (<0.02 毫米),比同类岩、矿的其它标本中的金属粒 (一般 >0.2 毫米) 要细得多,其中有的成云雾状分布。

综上所述,在其它条件相同的疏松人工标本及某些致密的天然标本中都有 η 值随导体颗粒变小而相对增大现象。这可能由于导体的总有效面积随粒径减小而增大,且随着粒径减小,导体粒数增加,被堵塞通道数也增加,其极化效应也因而增大之故。但应该估计到,上述情况不是绝对的,应是有条件的。例如,如果导体粒径细到比充填导体的孔隙或脉石矿物晶隙还细,以致不能充分阻断孔隙或晶隙,使小极化单元所形成的小电池漏电大或甚至短路,则此时,随着导体粒径变细,很可能 η 值反而降低。

2. 脉石矿物的结构构造

(1) 不同致密程度

除片状构造的岩矿外,大量实验结果都表明,在其它条件相同的块状构造的岩、矿中,常随岩、矿致密程度降低,或者因某种矿物,如绢云母的含量增多使构造变得松软, α 值也降低。典型例子如浙江 106 区的五种不同致密程度的团块状黄铁矿绢云母石英岩 (图 9)。其中不含绢云母的团块状黄铁矿石英岩最致密坚硬, α 最大;随着绢云母量增多,标本致密程度逐渐降低,孔隙度由 1.5 增至 8.8, α 也随之降低。

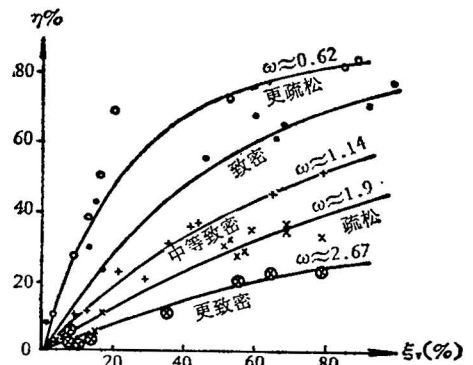


图 9 不同致密程度的团块状黄铁矿绢云母石英岩的 η 和 ϵ 关系

此外,还有大量实验结果都反映了这一规律。如 107 区斑点浸染状含黄铁矿粘土岩,不含粘土的坚硬, η 值也相对较高;含粘土较多的,较疏松, η 值也相对降低;含粘土量少的,致密程度居中, η 值也居中。还有些岩、矿,它们组分完全一致,仅构造变松软, η 值就明显降低。如不同致密程度的 102 区团块状黄铁矿砂卡岩, 101JA 区棉朵状黄铁矿化花岗闪长岩, 107 区星点状黄铁矿化花岗斑岩类等等都有这样例子。

一般,凡是高 α 的岩、矿类,其共同点之一是岩性都十分致密坚硬,即使片理构造的岩、矿类,其中 α 高的,也是很致密的。因此,致密坚硬,看来是 α 高的重要条件之一。

(2) 脉石矿物颗粒的大小

也和金属颗粒一样,没有进行专门试验,但有些值得注意的现象;

i. 有些岩、矿类,在其他条件相同时,随脉石颗粒变小, η 值也相应增高,如三种粒径的 102 区黄铁矿砂卡岩(图 10a)和二种粒径的安徽 110 甲区的含铜石英脉的结果(图 10b)。

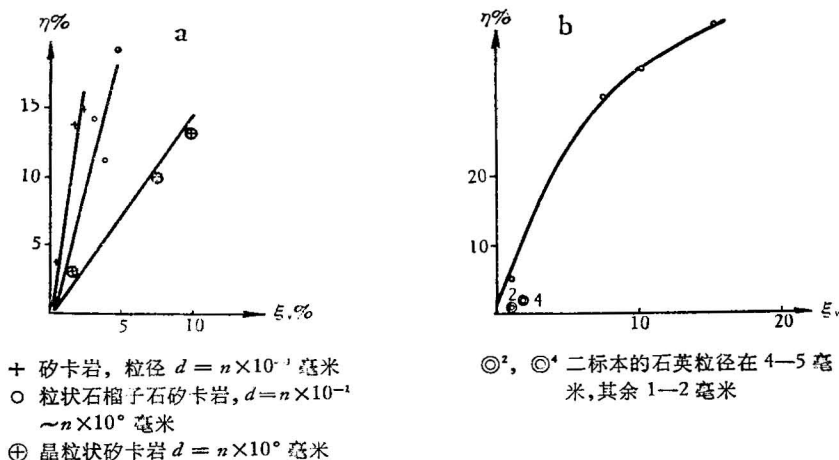


图 10 不同脉石粒度的影响

ii. 从我们做过的全部岩、矿类分析,凡脉石矿物粒径特细又胶结或镶嵌十分紧密的岩、矿,其大部 α 皆高达 10—20,如下表及后面附表中 I-1 类所示。当然,从上面讨论过的导体构造的影响作用看来,表中角岩的导体呈薄膜状,脉状熔灰岩的导体呈脉状,也是严重影响 α 高的因素,但其余三类的导体构造却是一般的, α 值这样高,似与脉石矿物极为细致有关。

岩 矿 类	主要脉石矿物粒径 (毫米)	α	产 地
团块状黄铁黄铜矿熔灰岩	0.02—0.4	10	浙江 103 区
角块状黄铁黄铜矿硅化凝灰岩	0.005—0.3	10.5	”
脉状黄铁黄铜矿熔灰岩	0.0025—0.3	13	”
薄膜状黄铁角岩	极微细(无镜下资料)	21	安徽 104 区
团块状磁铁矿硅化灰岩	0.01—0.1	11	浙江 105 区

因此,一般致密的岩、矿类, α 值皆较高。但也应指出,脉石粒径并不是 α 值高低的唯

一因素,不能由此去推论相反的情况,即粒径大, α 值一定就低。粒径大的,晶体紧密镶嵌的岩、矿类, α 值同样也可以很大,如 102 区的团块状黄铜矿正长岩以及某些含铜矽卡岩,它们主要脉石矿物的粒径皆达 1—2 毫米,而 α 值皆在 10 左右。

而且上述致细岩、矿 α 高的特征也是有一定条件的,如有些石英脉标本,脉石矿物粒也较细,但石英晶体互相熔融其晶体边缘,晶隙几乎不见,成似玻璃质状,以致堵绝了通向导体矿物的通道, α 值常较低。

(3) 片理化构造

除片理不明显的石英片岩外,一些片理清楚又较致密的片状构造的岩、矿类,如各种片岩、片麻岩、千枚岩、页岩等,其 $\alpha^{\parallel}$ 皆高达 9 以上,其实例见附表中 I-2 类。

这种片理发育的岩、矿, η 的各向异性也常常很大,都是 $\eta^{\parallel}/\eta^{\perp} > 1$ 。 $\eta^{\parallel}$ 指电极 AMNB 方向平行矿脉向或平行片理向(当金属沿片理浸染时)测得的值。

以上初步讨论了几种主要因素的影响作用。其中,有些因素的影响作用是很大的。如不同致密程度等。但应注意,为了便于分析,我们把各种因素分开来讨论。但某种因素的某种作用规律都是有条件的,不是绝对的,岩、矿的 α 的高低是各种因素的综合效应。如导体矿物呈细脉状时,一般 α 皆偏大,但如在疏松构造中则就不尽然了。类似的现象在前面各小节的讨论中也都提到一些,不再多举。总之,事物总是互相联系着的,各种因素作用常是互相制约或互相促进的。不能孤立地看单一因素,必须在了解各别因素的基本作用的基础上,更好地分析综合效应。

至此,也可进一步看出,结构构造这一外因条件对极化单元这个内因的反映确有极其重要的促进或制约作用,其作用程度定会大大影响极化单元能否得到激励条件或其极化作用能否被显示等。

(三) 高低 α 值的岩、矿类特点

已如上述,岩、矿的 α 值是各种因素的综合效应。因此有必要进一步归纳各种不同 α 值的岩、矿类的综合特征。下面按 α 值大小并结合实际把 59 类岩、矿分成以下四大组:

第 I 组: $\alpha \geq 7$, 为高 α 组;

第 II 组: $4 < \alpha < 7$, 为中上 α 组;

第 III 组: $2 < \alpha < 4$, 为中下 α 组;

第 IV 组: $\alpha < 2$, 为低 α 组。

兹分别叙述其岩矿特征(附表)。

1. 第 I 组,占所测总类数 37.3%。

本组的特征,也常常是造成非矿强大异常的主要特征。

除个别外,包括片状构造的岩矿在内,本组共有的特征是岩性都非常致密坚硬,晶体间紧密胶结或紧密镶嵌。

本组所独有的特征岩、矿则有:

(1) 一些极致密坚硬的隐晶质—极细微晶质—细晶质的块状构造的岩石,如含矿的角岩、熔灰岩、硅化灰岩等,典型例子见附表中 I-1 类。

(2) 一些片理清晰的致密坚硬的岩、矿,如各种含矿片岩、页岩、千枚岩,典型例子见附表中 I-2 类。

(3) 一些导体矿物呈连通性较好的细脉状或薄膜状分布的致密坚硬岩、矿。

上述三类特征,有时(1)(3)或(2)(3)同时存在。

此外,也有些晶粒较粗的粒状结构,块状构造的致密岩、矿,如含矿的矽卡岩、正长岩、花岗闪长岩,闪长岩、中粒石英砂岩等,但它们的晶体都紧密镶嵌。

本组的导电矿物都为良导性的,有石墨、斑铜矿、辉铜矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿等。导体构造除了细脉状和薄膜状外,也有团块状、星点状、细脉状、网脉状或极致细的星点集合体状等。金属粒多填充于晶隙或片理间,或与脉石晶体镶嵌。

2. 第 II 组,占总类数 20.3%,其代表性实例见附表中 II-1 类。

本组有矽卡岩、石英斑岩、石英脉、大理岩、花岗斑岩等。岩性也较为致密坚硬。

多为斑状或粒状结构,块状或角砾状构造。脉石晶隙和裂纹比 I 组稍发育,并有不同程度的蚀变作用(绿泥石化、碳酸盐化等)。

导体的导电性也好,有黄铜矿、黄铁矿、方铅矿。呈星点状、团块状或不连续的脉状。多分布于脉石晶粒间或裂隙间,由胶结物与脉石紧密胶结,有的局部有轻微氧化现象。

3. 第 III 组,占总数 20.2%,参见附表中 III 组实例。

本组中也有各种致密块状的矽卡岩,但导电性差的闪锌矿相对比例都较高。也有石英岩,但石英成不等粒变晶镶嵌结构,石英相互熔蚀其晶体边缘,紧密包围金属矿物,使金属矿物与外界的沟通很差。也有石英片岩,但片理不清晰,成似片状构造,岩性也不如 I 组的片岩致密。

此外,还有些受一定蚀变作用的花岗斑岩和绢云母石英岩等。

导体成分主要为黄铁矿及与闪锌矿组合的黄铜矿、方铅矿等。呈星点状、团块状或星点脉状分布。

4. 第 IV 组,占总数 22%,参见附表中-IV 组例子。

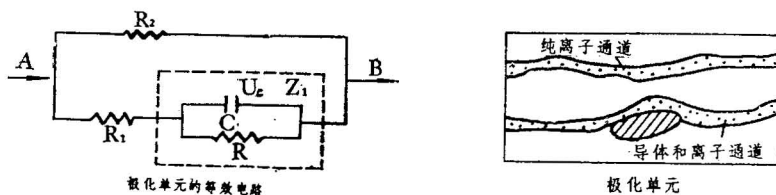
本组除以含闪锌矿为主的各地矽卡岩和脉石、金属晶粒都较粗的晶粒状黄铁矿矽卡岩(附表中的 IV-1, IV-2 类)外,岩性都不太致密,呈半致密或较松软或很疏松状。金属矿物有黄铁矿、闪锌矿等,呈团块状、星点浸染状或松散砂状集合体。

三、初步分析

对比分析很多实际现象说明,在低 ξ_r 区,对 α 起更直接作用的是标本中孔隙通道的构造和分布状况。当沟通导体矿物的微细通道较发育,脉石部分的纯离子通道很不发育,而导体矿物又处在被激起极化的最有利的形态与大小时,则 α 值可以很大。反之,如纯离子通道过分发育,到处畅通,而通向导体的离子通道不发育或与外界不沟通,则 α 就低。如导体颗粒周围的通道也很发育,但通道粗,易造成二次电流漏电大,则 α 也低。

为了进一步进行分析,我们把岩、矿中极化源(暂以电容 C 来代替)和离子通道简化成以下单元和等效电路。这里着重分析极化源的外电路(包括导体本身的导电性能)的作用,不讨论极化源本身的极化作用。

如图 11 所示,当从 AB 两端供入电压 E_1 ,断电瞬间($\delta_t=0$),AB 两端的二次电压为:



R_2 —与极化源并联的脉石中纯离子通道的电阻。
 R_1 —导体, 导体界面以及它们串联的离子通道的电阻和。
 R —电子导体周围的离子通道的电阻。

图 11

$$E_2 = \frac{Z_1}{R_1 + Z_1} \frac{R_2}{R_2 + R_1} E_1, \text{ 其中 } Z_1 \text{ 为 } R \text{ 和 } C \text{ 组成的阻抗。}$$

$$\eta_0 = \frac{E_2}{E_1} = \frac{Z_1}{R_1 + Z_1} \frac{R_2}{R_2 + R_1} \propto \frac{R}{R_1 + R} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{1}{\frac{R_1}{R} + 1} \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \quad (1)$$

于是 η_0 与 R_1/R , R_1/R_2 成反比, 也即与 R_1 成反比, 与 R 、 R_2 成正比。实际工作中 $\delta t \approx 0$, 但 $\delta t \approx 0$ 的 η 和 η_0 成正比。为简化讨论, 我们暂不考虑不同 RC 时放电速度的影响。仍按(1)式举几个具体问题分别进行定性分析讨论。讨论某种因素作用时, 其它条件都保持不变。

(一) 导体含量 ξ_v 的作用

对导电性较好的导体, ξ_v 增加, 除了 C 增加外, 相应 R_1 下降, 对致密的微细通道, 这种 R_1 下降更快, 同时并联的纯离子通道也减少。 R_2 , R 增大, 于是 η_0 上升。 ξ_v 增加到一定程度后, R_1/R_2 , R_1/R 下降缓慢, 且对 η_0 的影响也缓慢(可由(1)式看出), 于是 η 也上升缓慢。

(二) 导体成分

当 ξ_v 达一定值后, 所含导体的导电率不同, 显然 R_1 也不同, 当导体间导电率差异大时, R_1 差异也大。因此结构构造相同, 导体成分不同的岩、矿体, 其相对 η 不同, 除了与导体本身的极化作用有关外, 还与所含导体的导电率值有关。因此在实际中出现了 α 值次序大致与所含导体的导电率值次序相对应, 所含导体的导电率差异大, 相对 η 也差异大(如图 5a 中黄铜矿矽卡岩和闪锌矿矽卡岩的结果)的现象。

(三) 孔隙液的浓度(C')

孔隙液的浓度(C')增加时, 除了对极化源有所改变外, R 、 R_2 、 R_1 都将降低, 但降低程度不一样。在 C' 较低时, 液体电阻率较高, R_1 中导体部分的电阻只占很小比例, 故随 C' 增大, R_1/R_2 、 R_1/R 的变化不大, 对 η_0 影响也就不大。但随着 C' 增长到其液体的电阻率与导体可以相比拟时, 则随着 C' 增加, R_1/R_2 、 R_1/R 开始有明显增大变化, 对 η_0 值也就有明显下降的影响了, 特别是在 ξ_v 足够大时。这个规律正好与前面浓度影响的实验结果相吻合。

(四) 导体矿物呈定向脉状分布

如导体为良导性,岩性致密,在其脉连续贯通到标本两端时,当 ξ_v 不大时,平行脉向的 R_1/R , R_1/R_2 就很小,甚至趋近 0。于是 η_0 就很大,甚至 $\eta_0 \rightarrow 1$ 。在垂直脉向测定时, R_1 增大, η_0 就降低。如岩性较为松软, R 、 R_2 值将大大降低,因此 η_0 也将偏低。但由于良导体的 R_1 一般总比 R 和 R_2 小得多(在孔隙液浓度不十分大时),故在一定条件下,脉石矿物岩性较松软的导体呈连通脉状的标本, η_0 仍可比较大。

(五) 致 密 程 度

致密岩矿,一般 R 与 R_2 都很大,如通向导体的微细通道较发育, R_1 就相对较低, η_0 就可较大,特别当岩性十分致密,使 R 、 $R_2 \rightarrow \infty$ 时,即便 R_1 较大,仍可使 $\eta_0 \rightarrow 1$,也即在十分致密的岩矿中,只要沟通导体的微细通道存在,则在很低的 ξ_v 时,就可达到很大的 η_0 值。

如通向导体的微细通道也不发育,如前述某些石英脉标本情况,则 R_1 也极大, η_0 就低。

其它一些结构构造因素,如片状构造,脉石矿物粒度,孔隙度等等对 η_0 的作用规律,都可以用类似的方法去进行分析,不再一一叙述。

由以上所作的定性分析可见,对一般含良导性矿物的岩、矿,在低含量段,结构构造不同, R_1/R , R_1/R_2 的变化范围非常大,可以从趋近于零变到趋近于 ∞ ,于是 η_0 也几乎可以从最大值接近 1 变到最小值接近零。因此,不同的岩、矿结构构造,对 η 值影响非常大,也即对极化源的极化作用能否被激励或被显示的程度具有决定性的作用。当导体矿物含量较高时,一般不同结构构造的致密岩、矿的 R_1/R , R_1/R_2 变化范围小得多。此时,结构构造对 η_0 的相对影响也就小得多。

四、各类岩、矿的 η 和 ξ_v 的关系分析

分析计算各类岩、矿标本的 η 和 ξ_v 关系表明,在同类中, η 和 ξ_v 间存在着相关关系, $\lg \frac{\eta}{1-\eta}$ 和 $\lg \xi_v$ 为线性相关。其经验回归函数为:

$$\frac{\eta}{1-\eta} = \beta \xi_v^m \quad (2)$$

其中 β 、 m 为常数

为使常数 β 的值比较直观的联系 η 和 ξ_v ,我们把上式变为

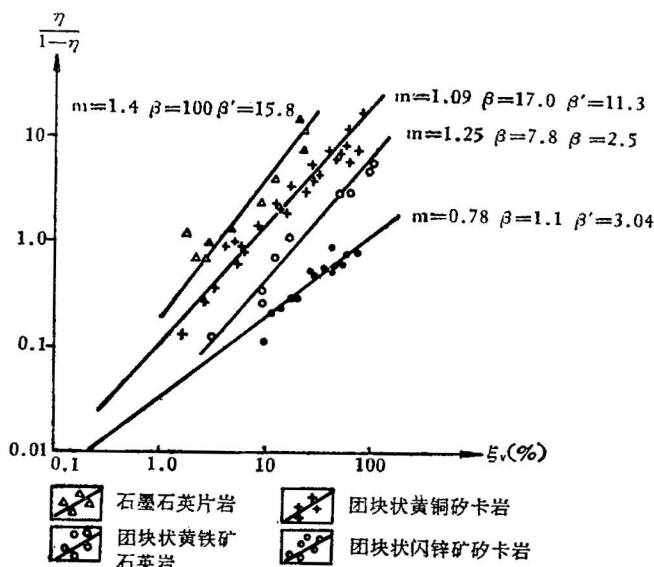
$$\frac{\eta}{1-\eta} \times 100 = \beta' (\xi_v \times 100)^m \quad (3)$$

我们统计计算了 48 类岩、矿的经验相关系数 (r), 其中岩、矿组分结构构造一致性较好的类, r 很大,十分接近 1,只是一致性较差的, r 较低。

48 类中, $r = 0.9 - 0.99$ 的有 31 类; $r = 0.8 - 0.9$ 的有 8 类; $r = 0.7 - 0.8$ 的 5 类; $r = 0.6 - 0.7$ 的 2 类; $r < 0.6$ 的 2 类。 $r > 0.8$ 的占总统计类 81.2%。

因此, $\lg \frac{\eta}{1-\eta}$ 和 $\lg \xi_v$ 线性相关关系十分密切。其有关回归曲线实例见图 12 和附表。

(3) 式中的 m 、 β' 与前述常数 $\alpha \left(\frac{\eta}{\xi_v} \right)$ 成正比,因此,岩矿结构构造对 m 、 β' 的影响规

图 12 各同类岩、矿的 $\lg \eta/1-\eta$ 和 $\lg \xi_v$ 的线性回归图线实例

律,也与对 α 的影响规律相似, m , β' 值的大小也同样严重地受着岩矿结构构造的控制。

讨论到这里,应该提一下近年来国外某些作者对 η 和 ξ_v 间关系的看法,如以苏联柯马洛夫为代表,他们认为所有岩、矿的 η 和 ξ_v 间关系式都可写成下式:

$$\frac{\eta}{1-\eta} = \beta \xi_v \quad (4)$$

且 β 变化范围不大,大多在 1—3 间变化,统计平均值可取 2.6。

从目前我们遇到过的大量实际现象和上述较大的量工作和讨论看来,显然柯氏等的观点是值得商榷的。

第一,在不同类岩、矿中, η 和 ξ_v 间无规律可寻,只是在岩矿组分结构构造一致的同类岩、矿中, η 和 ξ_v 间才有规律可寻。

第二,我们所计算的 48 类岩、矿的 m 值表明, m 的变化范围为 0.3—2.6。因 m 是指数,所以这样的变化范围对 η 和 ξ_v 的关系的影响是很大的,显然, m 不能以 1 替代。此外,48 类中, m 接近 1 的,如 $m = 0.9 - 1.1$ 的类也只占总统计数的 1/3。2.6 $> m > 1.4$ 的也约占 1/3。因此,即使在同类中,岩、矿的 η 和 ξ_v 的关系式也应是(2)式而不是柯氏等人的(4)式。

第三,对 48 类的常数 $\beta(\beta')$ 计算表明,不同类的 $\beta(\beta')$ 变化范围很大, β 从 0.2—460, β' 从 0.2—31,远远超过柯氏所认为的 1—3 的范围。在我们工作中 $\beta > 3$ 的岩、矿占 70% 以上, $m = 0.9 - 1.1, \beta < 3$ 的仅占 8.3%。

所以,柯氏对 η 和 ξ_v 关系的看法与实际出入较大。如用这样的观点去解释实际现象,就会产生错误,使很多现象得不到合理的解释。

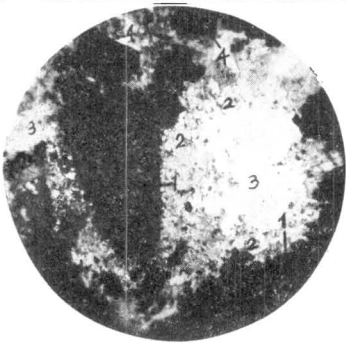
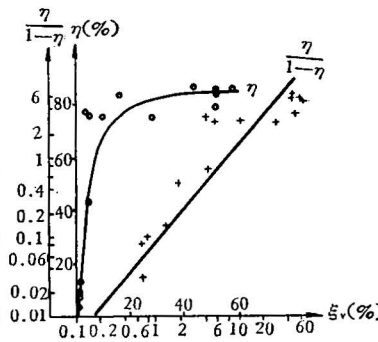
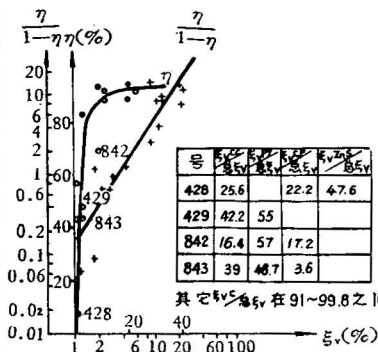
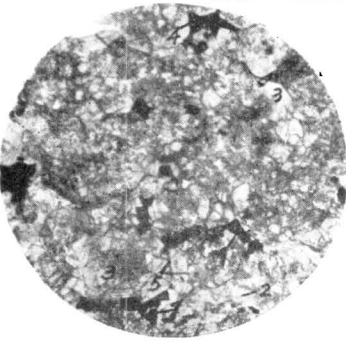
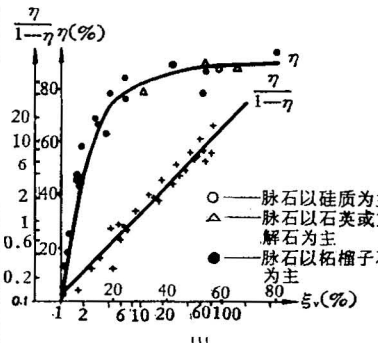
五、结 语

讨论到这里,再回到前言中所提的问题,就逐渐清楚了。如图 1a、b 中两个强度相仿,

附

地 区 及 类 别	主 要 脉 石				金 属 矿 物			
	成 分	单矿 物量 / 总矿 物量	粒 度 (<i>d</i>) 毫 米	结 构 构 造	成 分	单矿 物量 / 总矿 物量	粒 度 (<i>d</i>) 毫 米	结 构 构 造
I-1 103区 团块状 黄铁黄铜 矿熔灰岩	石 英 (斜)长石类 方解石 绿泥石 有强硅 化及碳酸 盐化		隐晶质 斑晶: 0.1—0.4 基质 0.02±	重结晶晶屑火 山灰结构。晶屑 为长石、石英等。 火山灰重结晶后 为霏细石英,长 石。分布不均,非 定向排列。方解 石也分布不均。 绿泥石呈叶片 状,常均匀分布 在金属矿物边 缘。 致密块状,坚 硬。	黄铜矿 黄铁矿 闪锌矿 方铅矿	50—70% 25—45% 0.2—2% 0.06— 0.6%	团块: 0.5—5 星点: 0.02—0.2 似脉:粗 细不一。 脉丝 0.2—1	不规则团块 状为主,其次 似脉状,再次 星点状。脉连 续性差,沿节 理缝常有细脉 丝,脉有时交 错构成网络状。 黄铜黄铁矿 互生。
I-2 102区 石墨石 英片岩	石 英 硅杂质 方解石 云母片	>80% 少 量 少 量 偶 有	0.01—0.4 隐晶质	花岗鳞片变 晶结构,片状构 造。粒状石英, 硅杂质等与片状 石墨相间分布。 片理一般明显。 致密块状。	石 墨 黄铁矿 黄铜矿 闪锌矿	>95% <1% <0.4% <0.5%	0.04—0.2	石墨呈小鳞 片或片状,沿 片理定向分布, 但不太规则。 有时呈集合体 构成条带,时 有粒状黄铁矿 及氧化铁染。
II-1 102区 团块状 黄铜矿砂 卡岩	石榴子石 (钙铝质) 绿帘石 次生石英 方解石 绿泥石	>80% <15%	0.1—1± 隐晶质 0.04—0.2 或不定形 0.02—0.4 或不定形	石榴子石多呈 自形一半自形粒 状。部分破碎, 晶体裂纹发育 (龟裂状),颗粒 间有明显空隙, 为次生物填充, 致密程度高。石 榴子石有的为绿 泥石交代。 半自形变晶结 构,块状构造。 致密块状。	黄铜矿 黄铁矿 方铅矿 闪锌矿	80—90% 6—20%± 0—0.1% 1—2%	大小不等 (0.4—10) 0.1—1.2 0.1—0.2	黄铜矿黄铁 矿都为不规则 他形粒状集合 体构造。细团 块状分布于石 榴石之间。与脉 石胶结紧密。

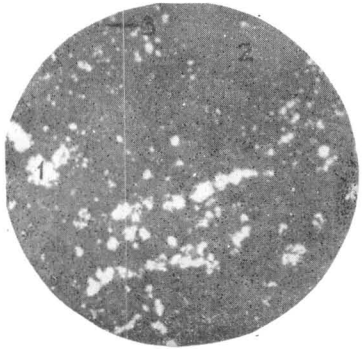
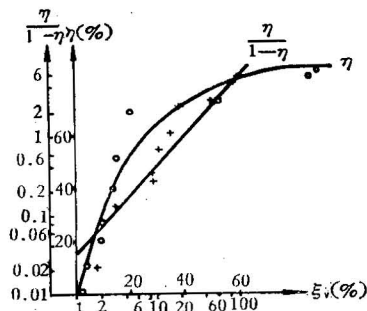
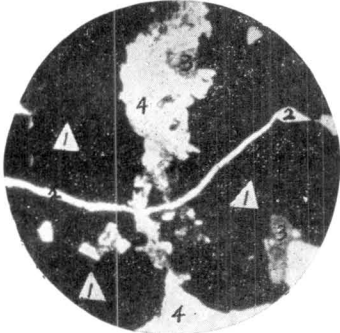
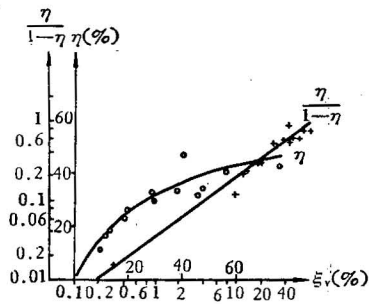
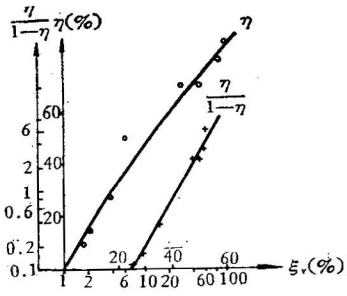
表

标 本 图 片	η/ξ_v	β β' m r	$\rho_{矿化水}$ Q-M 标本 湿度 ω	标本密度 σ 孔隙度 F%	实 测 图 线																																			
 照片 1 1—黄铜矿, 2—方解石, 3—石英, 4—黄铁矿。 薄片, 单偏光。(×12.8)	10	$\beta=$ 24.1 $\beta'=$ 9.62 $m=$ 1.2 $r=$ 0.88	44.6 0.1— 0.8	2.5— 3.7 3.2	 I																																			
 照片 2 1—石墨, 2—黑云母, 3—石英。 薄片, 单偏光。(×21.6)	16.5	$\beta=$ 197 $\beta'=$ 11.3 $m=$ 1.62 $r=$ 0.90	22.6 1—5	2.6— 2.8 3.65	 <table><tr><th>号</th><th>ξ_v</th><th>β</th><th>β'</th><th>m</th><th>r</th><th>η/ξ_v</th></tr><tr><td>428</td><td>25.6</td><td></td><td>22.2</td><td>47.6</td><td></td><td></td></tr><tr><td>429</td><td>42.2</td><td>55</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>842</td><td>16.4</td><td>57</td><td>17.2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>843</td><td>39</td><td>48.7</td><td>3.6</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 其它 ξ_v 在 91~99.8 之间 II	号	ξ_v	β	β'	m	r	η/ξ_v	428	25.6		22.2	47.6			429	42.2	55					842	16.4	57	17.2				843	39	48.7	3.6			
号	ξ_v	β	β'	m	r	η/ξ_v																																		
428	25.6		22.2	47.6																																				
429	42.2	55																																						
842	16.4	57	17.2																																					
843	39	48.7	3.6																																					
 照片 3 1—黄铁矿, 2—绿泥石, 3—石榴 子石, 4—黄铜矿, 5—裂隙。 薄片, 单偏光。(×21.6)	6.8	$\beta=15$ $\beta'=$ 11.3 $m=$ 1.06 $r=$ 0.94	22.6— 36.3 0—1	3—4 1.02	 III																																			

附

地 区 及 类 别	主 要 脉 石				金 属 矿 物			
	成 分	单矿 物量 总矿 物量	粒 度 (<i>d</i>) 毫 米	结 构 构 造	成 分	单矿 物量 总矿 物量	粒 度 (<i>d</i>) 毫 米	结 构 构 造
III-1 106区 致密团 块状黄铁 矿石英岩	石 英 绢云母	>90% 极少量	0.5—1.0	不等粒变晶镶 嵌结构, 块状构 造。 由于石英相互 溶蚀其晶体边缘 间隙很密。 致密坚硬块 状。	黄铁矿 黄铜矿 方铅矿 闪锌矿	>99% 极微量	点: 0.5—2 团: 10—20	半自形粒状 结构, 黄铁矿 随含量增加由 点状→团→块 状, 金属周围 为石英与其紧 密相嵌。
IV-1 111区 闪锌矿 砂卡岩	绿帘石 石 英 角闪石 绿泥石 石榴子石	} 为 主 } 少 量		致密块状	闪锌矿 黄铁矿 黄铜矿 方铅矿	85—99.8% 1.8— 12.8% 微 量		多为片状, 与石英紧密互 生, 分布均匀 程度不一。 与脉石胶结 紧密。
IV-2 102区 晶粒状 黄铁矿砂 卡岩	方解石 石 英 绿泥石 石榴子石 绿帘石 硅质等	} 为 主		晶粒状构造。 硅化及碳酸盐 化作用强, 方解 石晶粒大, 不规 则填于金属粒 间。绿泥石与细 小硅质相混组成 不规则团粒。 致密块状。	黄铁矿 黄铜矿 闪锌矿	94—99% 1—2%	3—5	黄铁矿多呈 自形粒状, 杂 乱分布构成细 角砾状。黄铜 矿为他形, 与 黄铁矿互生, 分布于其晶体 之间与脉石胶 结紧。未见孔 隙。

表(续)

标 本 图 片	η/ξ_v	β β' m r	$\rho_{\text{矿化水}}$ $\Omega\text{-M}$ 标本湿度 ω	标本密度 σ 孔隙度 $F\%$	实 测 图 线
 照片 4 1—黄铁矿, 2—石英, 3—夹有黄铜矿点。光片。(×3)	3±	$\beta=8.4$ $\beta'=1.86$ $m=1.32$ $r=0.97$	0.4—1	2.5—4.4 1.5	 IV
 照片 5 1—闪锌矿晶体内有方铅矿残晶, 2—裂隙, 3—绿帘石, 4—石英。薄片, 单偏光。(×14)	1.4±	$\beta=1.04$ $\beta'=3.53$ $m=0.74$ $r=0.98$	0.3—1	3—3.7 2.97	 V
 照片 6 1—黄铁矿, 2—长石, 3—石英。光片。(×3)	1.5±	$\beta=12$ $\beta'=0.21$ $m=1.77$ $r=0.97$	0.4—1.1	2.7—4.0 3.3	 VI

异常规模和异常体埋深又很相近的异常,为什么所反映的 ξ_v 相差如此悬殊,原来是不同类岩、矿的 α (同样 m, β'), 变化范围非常大。异常 b 地段为新鲜致密坚硬的花岗闪长岩,黄铁矿薄脉沿裂隙贯入,有的脉连通很好,致使 $\alpha (\beta')$ 值极大, $m > 1$, 如 $\xi_v < 2\%$ 时, α 几乎高达 50—60! 也即 1% 的 ξ_v , 就可使 η 达到 50—60%, 所以很低的 ξ_v (0.7%), 就能引起如此强大的异常。而异常 α 地段乃为含铜磁铁矿矽卡岩和含铜矽卡岩所组成的富矿体,其 $\alpha (\beta', m)$ 值较小,因此虽很富,异常并不比 b 的大。

由此可见,在评价异常或推断贫富矿时,除应参用(2)或(3)式外,不能不顾当地地质岩、矿特点,单纯根据异常强弱来评价,不能对 $\beta' (\beta)$, m 或 α 都取同一平均数。必须细致地观察异常区的地质岩、矿特征,充分考虑岩、矿结构构造的作用,估计其 $\beta' (\beta)$, m 或 α 值的可能大小(必要和可能时或可作些测定),以减少解释推断中的错误。

在实际工作中,遇到前述高 α 类的岩、矿时,评价异常时必须特别注意。

ON THE FACTORS AFFECTING THE POLARIZABILITY η OF THE MINERALIZED ROCKS AND RELATED ORES

CHANG SAI-CHEN AND WANG SHI-MING

(Abstract)

The effects on the polarizability η of the specimens of mineralized rocks and related ores (metallic conductors or other electronic-conducting minerals) due to their structure and texture, as well as the volumetric concentration of conducting minerals, are discussed in this paper.

A great number of investigations have shown that the structure and texture of the mineralized rocks and ores exert a significant influence upon the value of η , on the one hand, and determine the degree of polarizability of the polarizable object composed of conducting minerals and their environmental solution on the other.

No regular correlation has been found between η and ξ_v in respect to the mineralized rocks and ores with different composition and structure.

In the mineralized rocks and ores of the same type the value of η varies regularly with that of ξ_v . There exists close correlation between η and ξ_v . The experimental regression function can be formulated as follows:

$$\frac{\eta}{1 - \eta} = \beta \xi_v^m$$

For the same type of specimens, β and m are constant, but for those with different structure and texture, β and m vary within some large limits, for example, β changes from $n \times 10^{-1} \rightarrow n \times 10^2$.

It is concluded, therefore, that when an induced polarization anomaly is interpreted, the characteristic features of the structure and texture of the samples occurred in the anomaly area must be fully considered in order to minimize the possible errors in interpretation.