

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

一个铁矿床的围岩蚀变和成因探讨

张荣华 执笔*

“人的认识,主要地依赖于物质的生产活动,逐渐地了解自然的现象、自然的性质、自然的规律性、人和自然的关系;而且经过生产活动,也在各种不同程度上逐渐地认识了人和人的一定的相互关系。”随着我国社会主义地质事业的迅速发展,人们对许多自然地质规律的认识也日益深化。本文就是在一个铁矿区普查勘探的基础上,由专业科研队伍与地质生产队伍紧密配合,经过“实践、认识、再实践、再认识”的研究过程,对围岩蚀变与铁矿成因的关系,取得了一定的规律性的认识。文内着重从矿物平衡组合的分带现象和它们之间的转变关系,提出对蚀变作用阶段和蚀变相的认识,对找矿有一定的意义。

一、矿区地质概况

矿区除地表有少量第四纪冲积、坡积物和第三纪的红色砂砾岩外,主要为上侏罗统火山岩。火山岩自下而上划分为三组:(1)底部,下段为粗安岩,新鲜岩石呈紫褐色、深绿色,块状,具斑状结构。斑晶为具环带构造的中长石($An_{34\pm}$)和普通辉石以及具暗化边的黑云母。基质为玻晶交织结构(图版 II-1)。粗安岩顶界平缓,原岩多被蚀变。上段为凝灰岩夹薄层熔岩,成分亦为粗安岩质的,多为晶屑凝灰岩,也可看到层凝灰岩。矿化蚀变产于火山岩内,在本组顶部有新鲜的紫色凝灰岩。(2)中部,下段为三次喷发的粗安岩流,下为杏仁状粗安岩,中为黑云母粗安岩,上为粗安岩。三次喷发之间均有紫红色凝灰岩。上段为凝灰岩和含陆缘碎屑的凝灰岩。(3)上部,以粗面岩为主,夹凝灰岩、凝灰角砾岩。

矿区除火山岩外,还有许多岩脉,如二长岩脉、粗面岩脉等。该区未发现深成侵入岩体。火山岩地层平缓,大致为一单斜地层,仅矿区中部为一东西向的向西倾伏的背斜。主要矿体均产于背斜内。区内有一北东东向断裂构造带,为控制火山岩活动和成矿作用的区域性构造。蚀变岩所具有的垂直分带和侧向分带,特别是由西、西北向东、东南方面延伸的侧向分带,是由成矿蚀变作用前在背斜范围内存在广泛的裂隙破碎带所控制的。在分带系统内,磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、磷灰石和硬石膏等矿石矿物与以辉石、碱性长石为主的暗色蚀变矿物和以石英、粘土矿物为主的淡色蚀变矿物的分布有一定的规律性。

二、蚀 变 分 带

矿区围岩蚀变极其发育。蚀变岩出露的深度,在矿区西北部深达数百米,向东、东南部逐渐变浅,远离矿区才有零星地表露头。蚀变岩具明显的分带性。蚀变岩类型十分完整,由高温阶段产物到低温阶段产物都有。蚀变带之上有百余米厚的新鲜岩石。

* 本文是笔者和陈毓川、王殿惠同志以及有关地质队综合组刘湘培、李国龙、程先武、胡邦屏等同志共同工作的部分成果,由笔者整理而成。另外,李荫清、马秀娟、王俊连、周星汉等同志参加了矿物的测温工作。

(一) 垂 直 分 带

在垂直方向上, 蚀变岩或蚀变矿物组合具明显的分带性。蚀变岩带的界限不受原岩种类的影响。

首先从矿物平衡组合认识蚀变分带的特征。在一定的物理化学条件下, 原岩形成适应于这种条件的稳定的共生矿物组合, 即平衡组合。平衡组合内矿物之间没有交代关系。蚀变分带(即各种蚀变岩的带状分布)也是平衡组合的带状分布。

其次, 带状分布表明每一蚀变岩带都有固定的平衡组合。它们在有限的物理化学条件下, 几乎同时形成, 彼此间无反应关系。蚀变发育最完全的情况下, 原岩全为新矿物交代, 新矿物间具花岗变晶结构, 或者重新形成均一的岩石。平衡组合较明确地代表了蚀变岩带的主要特征。

为了叙述简便, 考虑到蚀变的顺序, 由下而上分带如下(见图 1、2 及表 1)。

(1) 辉石更长石岩带: 由辉石-更长石-榍石-硬石膏平衡组合构成了辉石更长石岩。常保留有原粗安岩的斑晶中长石(有时为拉长石), 很完整, 是一个稳定的残余斑晶。变晶辉石中三氧化二铝含量较高, 榍石和白色的更长石是本带的标志矿物。这些说明蚀变组合是在高温高压下形成的。该带蚀变岩——辉石更长石岩呈不均匀的斑杂状构造, 细至中粗粒结构, 辉石与更长石几乎同时形成; 然后榍石和硬石膏顺序生成。且具有与蚀变矿物平衡组合成分一致的交代充填脉状构造(图版 II-5、I-2)。

(2) 辉石碱性长石岩带: 由辉石-钠长石-硬石膏-磷灰石平衡组合和钾长石-金云母-硬石膏-辉石平衡组合组成, 亦发育在粗安岩背景上(图版 I-1、2、3、4、II-2)。

蚀变岩石具块状、斑杂状、变斑状构造和网脉状构造, 细一中粗粒不等粒的变晶结构。

蚀变岩内有较多的裂隙脉, 其矿物组合与蚀变岩的矿物成分一致。

矿物生成顺序一般是: 辉石-钠长石-磷灰石-硬石膏。辉石与钠长石几乎是同期的。磁铁矿多在磷灰石晶出后出现, 多产在辉石碱性长石脉内, 构成网脉状矿石。

根据矿物成分, 辉石碱性长石岩带又可划分成上下两部分:

1) 下部——辉石钠长石岩: 钠长石含量大于钾长石含量, 向上磷灰石增多, 而向下榍石增多。

2) 上部——硬石膏金云母钾长石(辉石)岩: 辉石含量不定, 钾长石含量大于钠长石含量。这种岩石多在辉石碱性长石岩带顶部普遍出现。钾长石半自形晶, 与金云母板状晶体嵌嵌, 硬石膏产于它们的晶间, 呈现填间结构。同时可见到辉石、榍石呈很小的自形晶(0.02—0.05 毫米)产于中细粒(2 毫米)的自形钾长石、金云母和硬石膏中, 呈筛状变晶结构。钾长石中可以找到中长石、更长石的交代残晶。由钾长石、金云母、硬石膏和辉石组成的矿物组合也有呈团块状集合体产于辉石钠长石岩内或辉石硬石膏脉的中心。矿物生成顺序: 辉石-钾长石-金云母-硬石膏。钾长石有交代辉石的现象, 钾长石、金云母和硬石膏是同一阶段的产物。

3) 硬石膏辉石岩带: 由辉石-硬石膏-磷灰石-磁铁矿平衡组合构成。一般呈块状、斑杂状构造, 典型的构造是在硬石膏背景上分布着自形的辉石、磷灰石和磁铁矿, 外表象“筛状”构造, 实则硬石膏与辉石等自形晶体的包含结构(图版 II-4)。细至中粒变晶结

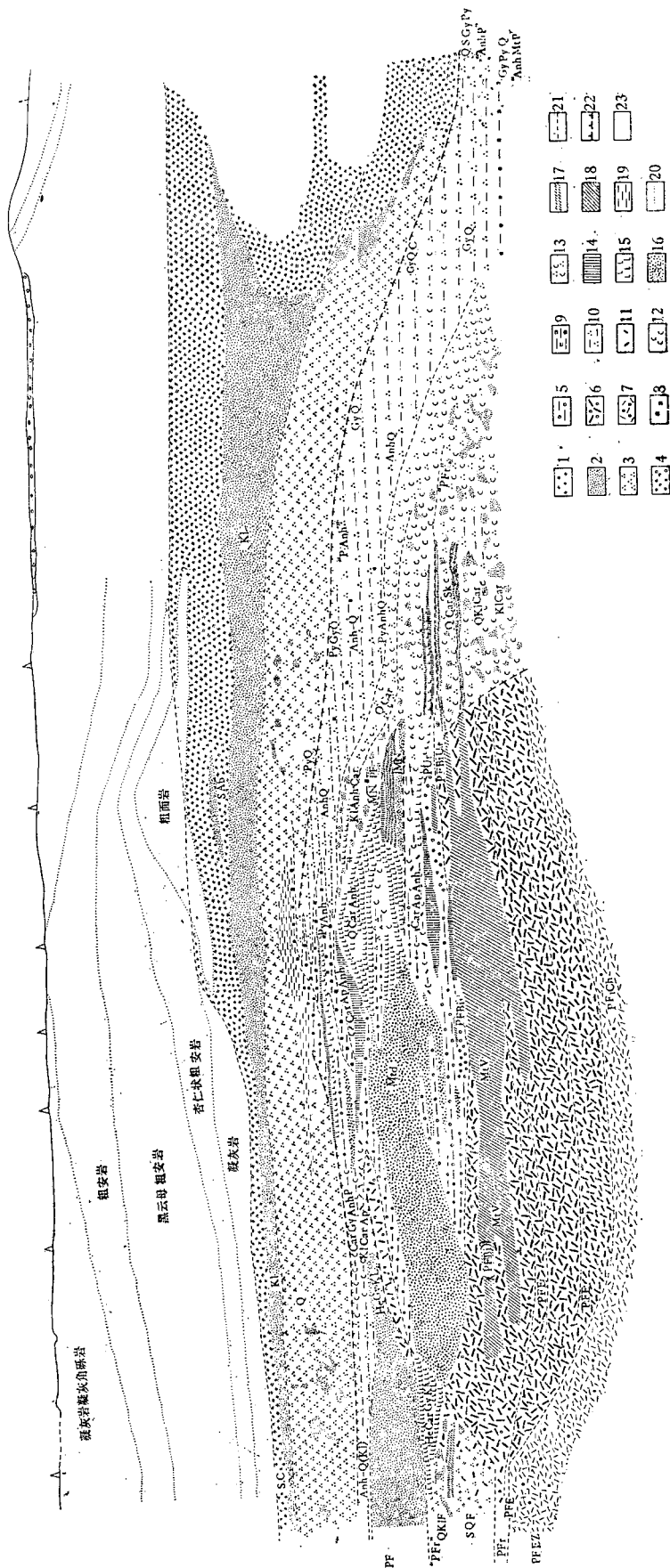


图 2 矿床蚀变分带剖面图 (DE)

构,偶见角砾状构造。

硬石膏辉石岩带和辉石碱性长石岩带呈渐变关系。这个带内常见少量钾长石变斑晶,常显示粗安岩交代假象。带内主要矿物含量随深度变化,据此由浅而深(450—680—750 米)可以进一步划分为:

辉石硬石膏岩:硬石膏含量>辉石含量,硬石膏>45%,辉石<40%,磷灰石 10—20%;

硬石膏辉石岩:硬石膏含量<辉石含量,硬石膏<40%,辉石>45%,磷灰石 10%以下;

辉石岩:硬石膏含量<<辉石含量。辉石含量可达到 85%,硬石膏 5—10%,磷灰石 5—7%,有少量钾长石和金云母等。

在矿区东部,这个岩带变为矽灰石-钙铁榴石-辉石岩带。由矽灰石-钙铁榴石-辉石-硬石膏平衡组合构成。这个组合的主要矿物是:矽灰石、钙铁榴石、辉石、硬石膏及石英等,少量矿物为碱性长石、磁铁矿、榍石等。

图 1 说 明

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1—S.C—绢云母水云母碳酸盐组合 | 2—Kl—粘土组合(或平衡组合内的高岭石) |
| 3—Q—硅化岩(或为石英) | 4—P—辉石岩或辉石组合(或为辉石) |
| 5—AnhP—硬石膏辉石组合 | 6—PFr—辉石碱性长石组合 |
| 7—PF ₁ —辉石更长石组合 | 8—Py—黄铁矿 |
| 9—PyAnh—黄铁矿硬石膏组合 | 10—QAnh—石英硬石膏组合 |
| 11—Ap—磷灰石 | 12—Car—碳酸盐类矿物 |
| 13—黄铁矿化地段 | 14—Mgt.He—d 磁铁矿赤铁矿化,浸染状 |
| 15—Mgt.d 在 Anh.P 带内的浸染状磁铁矿化 | 16—Mgt.V—在 PFr 带内的脉状磁铁矿化 |
| 17—Anh—硬石膏岩或以硬石膏为主的组合(或为硬石膏) | |
| 18—岩层界线 | 19—蚀变组合界线 |
| 20—迭加蚀变界线 | 21—新鲜岩石(粗安岩或凝灰岩) |

另外图内 PFrBi—金云母钾长石岩;PUr—辉石纤闪石岩;PFrE—辉石碱性长石绿帘石岩;PFrCh—辉石碱性长石绿帘石岩;PFESph—辉石长石榍石绿帘石岩;PF₁S—辉石更长石水云母岩;PF₁Z—辉石更长石方沸石岩;S—水云母、绢云母;M.N—绿高岭石;Gy—石膏;F—碱性长石。

图 2 说 明

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1—S.C—绢云母水云母碳酸盐组合 | 2—Kl—粘土组合(或为平衡组合内高岭石的矿物代号) |
| 3—Q—硅化岩(或石英) | 4—P—辉石岩或辉石组合(或辉石) |
| 5—AnhP—硬石膏辉石组合 | 6—PFr—辉石碱性长石组合 |
| 7—PF ₁ —辉石更长石组合 | 8—Py—黄铁矿 |
| 9—PyAnh—黄铁矿硬石膏组合 | 10—QAnh—石英硬石膏组合 |
| 11—Ap—磷灰石 | 12—Car—碳酸盐类矿物 |
| 13—QCar—石英碳酸盐组合 | 14—黄铁矿化地段 |
| 15—Mgt.He—d—磁铁矿赤铁矿化,浸染状 | 16—Mgt—d—在 AnhP 带内的磁铁矿化,浸染状 |
| 17—Mgt.He—V—磁铁矿赤铁矿化,脉状 | 18—MgtV—在 PFr 带内的磁铁矿化,脉状 |
| 19—Anh—硬石膏岩或以硬石膏为主的组合(或硬石膏) | |
| 20—岩层界线 | 21—蚀变组合界线 |
| 22—迭加蚀变界线 | 23—新鲜岩石(粗安岩或凝灰岩) |

另外,图内 PFrBi—金云母钾长石岩;PUr—辉石纤闪石岩;PFrCh—辉石碱性长石绿帘石岩;PFrE—辉石碱性长石绿帘石岩;PFESph—辉石长石榍石绿帘石岩;PF₁S—辉石更长石水云母岩;PF₁Z—辉石更长石方沸石岩;“AnhP”—硬石膏辉石岩的交代假象;S—水云母、绢云母;M.N—绿高岭石;Gy—石膏;F—碱性长石。

表 1 矿床主要蚀变带矿物组合特征

蚀变前原岩	蚀变带名称	颜色	厚度	深度(剖面中由东到西)	ACKF 图式	化学成分	矿物成分
					A Al_2O_3 C CaO K Na_2O K_2O F FeO	加入元素 + 带出元素 -	主要矿物 次要矿物
凝灰岩 凝灰岩砾岩	绢云母、水云母、碳酸盐带 S·C	灰绿、白绿及绿色	10—80米 一般 40—50米 东南很厚	100—380米		+ Si H ₂ O S CO ₂ - Al Fe Mg Mn Ca (K Na)	绢云母 石英 水云母 碳酸盐 黄铁矿 赤铁矿、高岭石
凝灰岩或粗面安山岩	高岭石岩带	灰、灰白及灰黄	50—80米	220—400米		+ Al H ₂ O CO ₂ S (K) - Si Fe Ca Mg (Na)	高岭石 地开石 碳酸盐, 赤铁矿 水云母 石英 明矾石, 蒙脱石, 硬石膏
	石英岩带 Q	灰白及灰黑	20—200米	250(东部) 400(西部) 或 450米		+ Si - Al K Fe Na Mn Ca Mg	高岭石、地开石 黄铁矿、硬石膏 明矾石 氢氧铝石
凝灰岩或粗面安山岩	硬石膏岩带 Anh 黄铁矿带(选蚀变X) Py·Anh	灰色及灰色 黄褐至灰褐	100米 60米	<420米 450—540米		+ Ca SO ₃ - Si Mn Al Mg Fe K Na + Fe H ₂ O Ca CO ₃ SO ₃ B ₂ O ₃	硬石膏 黄铁矿 石英 黄铁矿、硬石膏、菱铁矿、磁铁矿、绢云母、碳酸盐、磷灰石
粗面安山岩	碳酸盐、磷灰石、硬石膏岩带(选蚀变X) Car·Ap·Anh	黄褐至灰绿、暗绿	40—100米	500—600米(?)		+ Fe SO ₃ Mn Ca Mg CO ₂ H ₂ O - Si Al Mg K Na	纤维闪石、石英、绿帘石、重晶石、磷灰石、硬石膏、黄铁矿、高岭石、绿帘石、水云母大量产出
	硬石膏、硬石膏岩带(包括黄铁矿带) Anh·P	绿、照绿	300米(最厚) 一般厚 200米	450—750米		+ Fe P ₂ O ₅ Mn SO ₃ Mg S Ca - Si Al K Na	辉石、硬石膏、磷灰石、磁铁矿、黄铁矿 钠、钾长石、金云母、碳酸盐、石英 有时硅灰石、榍石成为主要矿物
	硬石膏、长石岩带(包括下部硬石膏) Pfr	暗红至暗绿相间杂色	200米	700—900米(边缘 500—700米)		+ Fe SO ₃ Mg S Ca Na(K) (H ₂ CO ₃) - Si Al	辉石、钠长石、钾长石、金云母、硬石膏、磷灰石、磁铁矿 更长石、中长石(原岩)、榍石、重晶石、黄铁矿、黄铜矿
粗面安山岩	辉石、长石岩带 P·F ₁	浅绿—深绿	>200米	780—1000米		+ Mg Ca Na(K) (H ₂ CO ₃) - Si Al Fe Mn K	辉石、更长石、中长石、榍石(原岩)、硬石膏、钾长石 磷灰石、黄铁矿、石榴石、金红石

注: 表内 Ser—绢云母; Car—铁镁碳酸盐; Py—黄铁矿; Alu—明矾石; Kl—高岭石; He—赤铁矿; Anh—硬石膏; Ap—磷灰石; Sd—菱铁矿; Mt 或 Mgt—磁铁矿; Ab—钠长石; or—钾长石; Bi—金云母; Ol—更长石; Sph—榍石。

岩石为深绿褐色夹灰白色,呈斑杂状或脉状构造,不等粒变晶结构。钙铁榴石、辉石等集簇为斑点状或脉状。矽灰石交织生成的梳状和放射状集合体往往以钙铁榴石为核心,或在钙铁榴石辉石集合体周围生成。辉石、钙铁榴石间隙为硬石膏、矽灰石集合体,在该集合体中普遍出现石英团块或斑点。该带矿物生成顺序大致是:辉石→钙铁榴石→矽灰石→硬石膏(石英)。石英很少与矽灰石同时晶出,多数为矽灰石分解产物(图版 III-1)。

硬石膏辉石岩带内广泛分布着磁铁矿,其晶体大小不一,大者达 2 厘米以上,小者不足 1 毫米,并呈自形晶体分布于硬石膏辉石岩内,在硬石膏粗晶背景上分布有自形磁铁矿的“嵌晶”,形成磁铁矿硬石膏岩和磁铁矿辉石硬石膏岩,具筛状变晶结构(图版 II-6)。

矿物的生成顺序是辉石→磷灰石→磁铁矿→硬石膏。

磁铁矿硬石膏辉石岩构成矿区上部矿体。它的深部辉石多,而浅部辉石少,常变为磁铁矿硬石膏岩,即磁铁矿-硬石膏平衡组合。

硬石膏辉石岩的上界逐渐过渡为硬石膏岩。

(4) 碳酸盐磷灰石硬石膏岩带:

由黄铁矿、赤铁矿、菱铁矿(铁镁碳酸盐矿物)、磷灰石和硬石膏五种主要矿物构成成分多变的蚀变岩。它们多数是在磁铁矿-辉石-硬石膏-磷灰石组合的背景上再次蚀变而成的。结构构造多种多样,斑杂状,浸染状和网脉状均有。常具硬石膏辉石岩的筛状变晶结构的交代假象。这个蚀变岩带位于整个蚀变带的转变位置,其上部是淡色矿物蚀变带,下部是暗色矿物蚀变带。

通常在这个蚀变带内,根据某些矿物数量的多少,由下而上分为以碳酸盐和磷灰石为主的蚀变组合、以黄铁矿为主的组合及以硬石膏为主的组合。本带专指以碳酸盐矿物和磷灰石为主的蚀变岩石。

在这个带的下部,当纤闪石的含量较多时,常构成硬石膏石英碳酸盐纤闪石岩;磷灰石含量很高时,亦可构成以磷灰石为主的组合,如菱铁矿磷灰石硬石膏岩、菱铁矿磷灰石岩或磷灰石硬石膏岩。

(5) 硬石膏黄铁矿带:

以黄铁矿为主的蚀变组合,构成了蚀变带内的黄铁矿体和含黄铁矿的蚀变岩。按矿物组合可划为硬石膏-黄铁矿,黄铁矿-赤铁矿-磁铁矿,磷灰石-赤铁矿-黄铁矿和石英-黄铁矿(绢云母)等组合的岩石(或矿石类型)。

硬石膏-黄铁矿组合是本带的主要平衡组合。常见由粗粒硬石膏的间隙、裂隙内充填的不等粒黄铁矿构成。也看到磁铁矿硬石膏岩为细脉状硬石膏所穿插,脉的两侧发育着细粒黄铁矿。原有的磁铁矿,则发生赤铁矿化,形成黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿矿石。磷灰石-赤铁矿-黄铁矿组合,是在后期磷灰石大量出现时形成的,磷灰石和细粒硬石膏脉及大量的磷灰石集合体产于硬石膏辉石岩和磁铁矿硬石膏岩内,出现黄铁矿化,也使磁铁矿发生赤铁矿化。这些组合或矿石中的黄铁矿一部分是交代硬石膏形成的,一部分是由磁铁矿赤铁矿化后变来。这从所见到的具磁铁矿假象的黄铁矿就可以说明这一点(图版 IV-6、7、8)。

构造多为块状,结构粗细不均。常见到硬石膏黄铁矿脉。

(6) 硬石膏岩带:

是以硬石膏为主的蚀变组合。蚀变带内,常形成纯的硬石膏岩。该带上部为纯硬石膏岩,糖粒状变晶结构,花岗变晶结构,块状构造;下部为粗晶、块状紫色硬石膏。糖粒状硬石膏岩中也有细粒黄铁矿、磁铁矿。硬石膏岩带内的石英,越向上越多。明矾石在硬石膏岩带的顶部,即硬石膏化的粗安岩内出现。通常粗粒、块状的硬石膏生成早,被细粒的石英和硬石膏交代(图版 IV-3)。在硬石膏岩中也可以找到粘土矿物,如产于硬石膏间隙的高岭石。

按矿物组合(或岩石)硬石膏岩带自下而上可分为: I、黄铁矿-硬石膏组合; II、纯硬石

符岩; III、石英-硬石膏组合; IV、明矾石-高岭石-硬石膏组合。III 产于硅化岩带和硬石膏岩带之间, IV 产在高岭石化岩带底部。

在硬石膏岩带内, 发现原岩——粗安岩或凝灰岩的构造残余。对由交代作用生成硬石膏而言, 这是一个很好的证据。

(7) 硅化岩带:

是一种分布较广的以石英为主的矿物组合, 构成交代石英岩或硅化岩。岩石呈块状, 具细小鳞片状变晶结构, 或不等粒变晶结构。

按矿物组合(或岩石)和它的深度不一, 硅化岩带自下而上大致分为: I、硬石膏-石英组合; II、纯硅化岩; III、高岭石-石英组合; IV、黄铁矿-石英组合; V、明矾石-石英组合。在硅化岩带下部有较多的硬石膏, 它呈团块状分布于硅化岩内, 或呈晶体状产于石英晶体之间。同样, 在石英硬石膏岩内也有团块状石英分布于硬石膏的间隙。应该说明的是, 硅化岩带和硬石膏岩带的关系, 在全部剖面内所看到的情况不甚一致, 最简单情况是在二者之间有一个过渡性质岩石——硬石膏石英岩。以此为界, 向上硬石膏减少, 变为纯硅化岩; 向下硬石膏增多, 变为硬石膏岩(图版 II-7)。

另外, 硬石膏石英岩还可以由硬石膏辉石岩硅化后变来和由矽灰石钙铁榴石辉石岩经过 CO_2 、 SO_2 作用后变来。这样的硅化岩有时含少量碳酸盐矿物。

在许多地段可以见到原岩残留结构。硅化前原岩为粗安岩时, 硅化后作为原岩斑状结构残余, 表现在斑晶为粗粒石英等代替, 基质被细粒石英代替, 那些“斑晶”(石英组成)还有定向排列之势, 反映出原岩构造特征。若原岩为层状凝灰岩, 全部硅化后, 其层状构造依然如故。

(8) 高岭石岩带(外部泥化带):

由粘土矿物组合构成。

岩石一般呈灰色、灰白色。鳞片变晶结构, 块状构造。生成顺序是: 石英→粘土矿物→黄铁矿→明矾石等。

在一个较厚的粘土化带内, 由上而下粘土矿物形成顺序为水云母→高岭石→地开石, 深度大的地方可能有叶腊石, 浅的地方有蒙脱石。这一蚀变岩带的上界渐变为绢云母-水云母-碳酸盐组合。

有时泥化后的岩石, 还反应原岩成分不同, 原岩的斑晶变为浅绿色水云母, 原岩的基质变为灰白色高岭石和水云母。

按各类矿物之多少, 粘土矿物组合可进一步分为: 石英-高岭石组合; 水云母-高岭石组合; 硬石膏-明矾石-高岭石组合(图版 II-3、8)。

高岭石岩带通常位于蚀变带的上部, 矿体的前上方, 或者矿体的外部, 故又称外部泥化带。

(9) 绢云母水云母碳酸盐岩带:

主要由绢云母-水云母-碳酸盐平衡组合构成, 是蚀变带的最外带。该带岩石一般为浅绿、灰绿色, 鳞片变晶结构, 块状构造, 有浸染状黄铁矿。但有时岩石变为浅红色, 主要蚀变矿物是钠长石、水云母等, 构成水云母-钠长石-石英-碳酸盐矿物平衡组合。其上界是未蚀变的紫红色粗安岩和紫红色凝灰岩。

按主要蚀变矿物多少,这一个蚀变带可以详细划分为:

1. 水云母碳酸盐岩。
2. 绢云母岩。可以大量形成鳞片状绢云母。黄铁矿比较多。
3. 水云母钠长石岩。

(二) 后退蚀变

早期形成的高温蚀变组合,后期由于温度降低,使矿物本身发生了变化,称后退蚀变作用。例如:早期辉石变成角闪石、绿泥石,长石变成水云母、沸石。

在垂直分带内,后退蚀变作用通常发育于蚀变带的下部,即硬石膏辉石岩带、辉石碱性长石岩带和辉石更长石岩带内(表 2)。

在硬石膏辉石岩带内,常见到辉石被纤闪石、绿泥石、碳酸盐和少量石英所代替,但其结构、构造并无变化。

仅根据石英-碳酸盐-硬石膏-纤闪石的平衡组合划分的硬石膏、碳酸盐、纤闪石岩亚带,简称纤闪石亚带(图版 IV-1)。

辉石碱性长石岩带和辉石更长石岩带内后退蚀变普遍发育,还可以分成如下几个亚带:

1. 辉石碱性长石绿帘石岩亚带:

这个带由于辉石碱性长石岩已绿帘石化,构成了含辉石碱性长石绿帘石岩,或含绿帘石的岩石,发育于辉石碱性长石岩带的下部。岩石一般呈交代变晶结构,斑杂状、脉状构造。

强烈发育绿帘石(斜黝帘石)-葡萄石-碳酸盐平衡组合的地段。自形的斜黝帘石集合体具变晶交织结构,束状结构。葡萄石产于斜黝帘石的间隙,与碳酸盐矿物共生。蚀变岩的辉石部分地葡萄石化,保留残余较多,而长石多被绿帘石交代(图版 IV-4)。

具变斑状构造的辉石钠长石岩内,绿帘石交代长石仍保留了变斑状构造。

2. 辉石碱性长石绿泥石岩亚带:

由辉石碱性长石岩经绿泥石化形成的辉石碱性长石绿泥石岩和含绿泥石的岩石组成。它发育于绿帘石亚带的下部,呈交代变晶结构,常见原岩构造假象。

该带常迭加在绿帘石亚带之上,共生矿物有阳起石、绿高岭石、水云母等。

3. 辉石更长石绿帘石岩亚带:

是辉石更长石岩绿帘石化的结果。主要特征是绿帘石类矿物代替了更长石。多呈交代变晶结构,仍保留原辉石更长石岩的假象。该亚带位于蚀变带的最下部。

4. 辉石更长石水云母岩亚带:

由在辉石更长石岩的背景上(有时为辉石钠长石岩上)水云母化所形成的辉石更长石水云母岩和含水云母的辉石更长石岩组成。前蚀变岩长石多已水云母化,而辉石、硬石膏等常留下来,参加到平衡中去。强烈后退蚀变时,辉石等被石英、碳酸盐、水云母(及绢云母)代替,硬石膏也碳酸盐化,榍石变为白钛石,出现水云母-碳酸盐-石英平衡组合。

5. 辉石更长石方沸石岩亚带:

由在辉石更长石岩背景上经沸石化形成的辉石更长石方沸石岩或方沸石化的辉石长石岩形成(图版 IV-2)。

表 2 矿床主要迭加蚀变和后退蚀变矿物组合特征

迭加蚀变前岩石	蚀变组合	颜色	厚度 (估计)	深度	ACKF 图式 A Al_2O_3 C CaO K Na_2O K_2O F FeO	化学成分		矿物成分	
						加入元素	带出元素	主要矿物	次要矿物
硬石膏辉石岩带	菱铁矿、石英、磷灰石、硬石膏、赤铁矿、纤闪石(即碳酸盐、磷灰石、硬石膏带)	黄褐-灰黄	50—100米	500—600米		+FeSO ₃ MnCO ₃ CaH ₂ O Mg	-Si Al (Mg) K Na	碳酸盐(菱铁矿等)、赤铁矿、磷灰石、硬石膏、黄铁矿	纤闪石、石英、重晶石、绿泥石
	石膏、石英、碳酸盐	灰黄、灰白	10—50米	450—700米		+Al Mn FeCO ₃ CaH ₂ O Mg (估计)	-Si Ti Na K	石英、碳酸盐、石膏	高岭石、赤铁矿、硬石膏、磷灰石
	绢云母、石英、黄铁矿	黄褐带 浅绿、灰白	10—50米	450—700米		+Al CO ₂ FeH ₂ O K S (估计)	-SiCaTi Mn Na Mg	绢云母、石英、黄铁矿	碳酸盐、磷灰石、赤铁矿、明矾石
辉石碱性长石岩带	碳酸盐、水云母、高岭石	灰黄、褐	10—50米	550—650米		+Al H ₂ O Fe CO ₃ K S Al MnCO ₃ FeMgS Ca	-Si Ca Ti MnNa Mg Si Ti Na K	碳酸盐、水云母、高岭石、石膏	(硬石膏)赤铁矿、黄铁矿
	石英、碳酸盐、粘土矿物	灰黄、褐	10—50米	550—650米		+Al Mn Ca CO ₃ S SO ₃	-Si Ti Al Ms Na K	石英、碳酸盐、粘土矿物	赤铁矿、水云母
	绿高岭石、高岭石、绿泥石	绿黄褐色	10—30米	600—800米		+H ₂ O CO ₂	-一弱	绿帘石、黝帘石、葡萄石、碳酸盐、黄铁矿、绿泥石	纤闪石、金云母及辉石、红长石、硬石膏
辉石碱性长石岩带	绿帘石、葡萄石	黄绿、暗绿	50米	650—800米		+H ₂ O CO ₂	-一弱	绿帘石、黝帘石、葡萄石、碳酸盐、黄铁矿、绿泥石	纤闪石、金云母及辉石、红长石、硬石膏
	绿帘石、碳酸盐	暗绿	50米	700—900米		+H ₂ O CO ₂	-一弱	绿帘石、碳酸盐、黄铁矿、绿高岭石	纤闪石、金云母、葡萄石、绿帘石、及辉石、红长石、硬石膏
辉石碱性长石岩带	水云母、沸石	浅绿、白绿色	>50米	800—1000米		+H ₂ O CO ₂	-一弱	水云母、沸石、碳酸盐	粘土矿物、葡萄石、绿帘石及辉石、硬石膏

注：表内 Ch—绿泥石；Ur—纤闪石；Anh—硬石膏或硬石膏岩；Ap—磷灰石；Gy—石膏；He—赤铁矿；Sd—菱铁矿；Ser—绢云母；Py—黄铁矿；K1—高岭石；Mont—蒙脱石；Or—钾长石；Ab—钠长石；Pr—蒙脱石；Ep—绿帘石；P—辉石；Bi—金云母；Mgt—磁铁矿；Ol—更长石；Ze—方沸石。

水云母化常与沸石化共生，并均在绿帘石、葡萄石组合形成后出现。因此常见辉石被葡萄石、碳酸盐矿物等交代，而长石变为斜黝帘石(绿帘石)和方沸石，或绢云母(水云母)、葡萄石和沸石集合体。所以常常见水云母-方沸石-碳酸盐(葡萄石)平衡组合。

根据后退蚀变作用，暗色蚀变带可进一步划分成如下几个亚带：纤闪石亚带，绿帘石亚带，绿泥石亚带，水云母亚带，方沸石亚带。

这在正常的分带系内发育于蚀变带的下部,越向下越发育,大致也呈垂直分布,但是逆向的。

(三) 迭 加 蚀 变

早期蚀变作用形成稳定的蚀变矿物组合后,后期再次受强烈的气液交代作用形成新的蚀变组合(或岩石),叫做迭加蚀变。迭加蚀变作用与早期蚀变作用之间在本区有成因上的联系。

迭加蚀变和后退蚀变的区别在于:后退蚀变仅仅是在降温和水以及少量二氧化碳作用下,高温稳定矿物蚀变为低温稳定矿物。因此,后退蚀变也可理解为一种特殊的迭加蚀变作用。

迭加蚀变有以下特点:

(1) 是一种强烈交代作用。主要表现为早期暗色矿物组合——暗色蚀变岩被碳酸盐、石英、高岭石、绢云母、水云母、石膏等淡色矿物代替。本区曾见的泥化作用即是一例。迭加蚀变时,岩石的化学成分有明显加入带出,主要造岩元素——铁、钙、镁大量带出。因此,迭加蚀变的第一个特点就是岩石的退色现象。

(2) 迭加蚀变过程中,各种早期蚀变岩可形成同一种迭加蚀变岩,但各种早期蚀变岩也可在不同条件下形成不同的迭加蚀变岩。

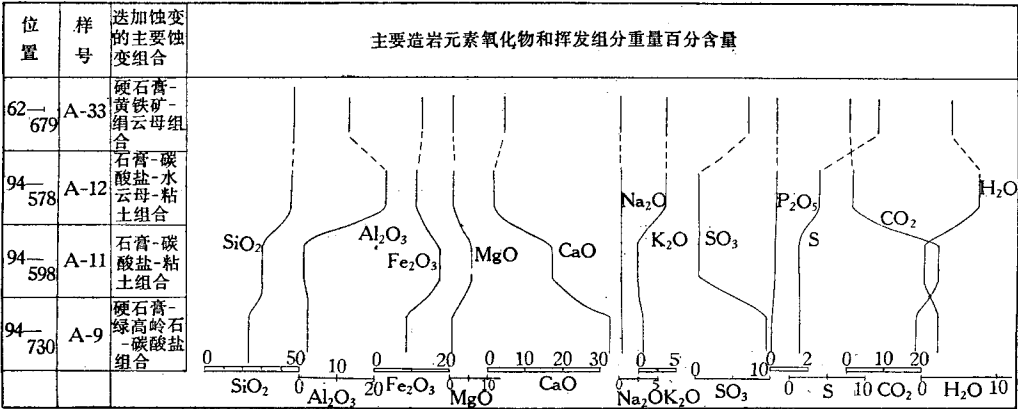
(3) 迭加蚀变岩石在早期蚀变岩带内分布较普遍,其中以早期主要蚀变岩带的周围、气液前进的主要方向和裂隙发育处最为剧烈。

(4) 在不同迭加蚀变条件下,同一种早期蚀变矿物,有时可以稳定状态加入到新的迭加蚀变岩中去,有时则为新矿物所代替。而且随迭加蚀变条件而异,还可以形成各种各样的蚀变矿物(图版 III-4)。

迭加蚀变可形成以下几个主要蚀变矿物组合(表 3, 并见表 2):

- (1) 黄铁矿-赤铁矿-菱铁矿-磷灰石-硬石膏-纤闪石组合。
- (2) 石膏-石英-碳酸盐组合。
- (3) 石英-碳酸盐-粘土矿物组合。

表 3 矿床主要迭加蚀变带的化学成分



(4) 绿高岭石-高岭石-绿泥石组合。

(5) 绢云母-水云母-石英组合。

在迭加蚀变地段,由矿化蚀变中心向外,顺次大致为(1)至(5)蚀变组合。

(四) 金属矿物分带

在垂直方向上,金属矿物在蚀变带中亦有明显的分带性。由上而下分为:

黄铁矿: 硬石膏黄铁矿和含铜黄铁矿块状矿石(位于迭加蚀变带内)。

赤铁矿: 含黄铁矿、磁铁矿的赤铁矿石(位于迭加蚀变带内)。

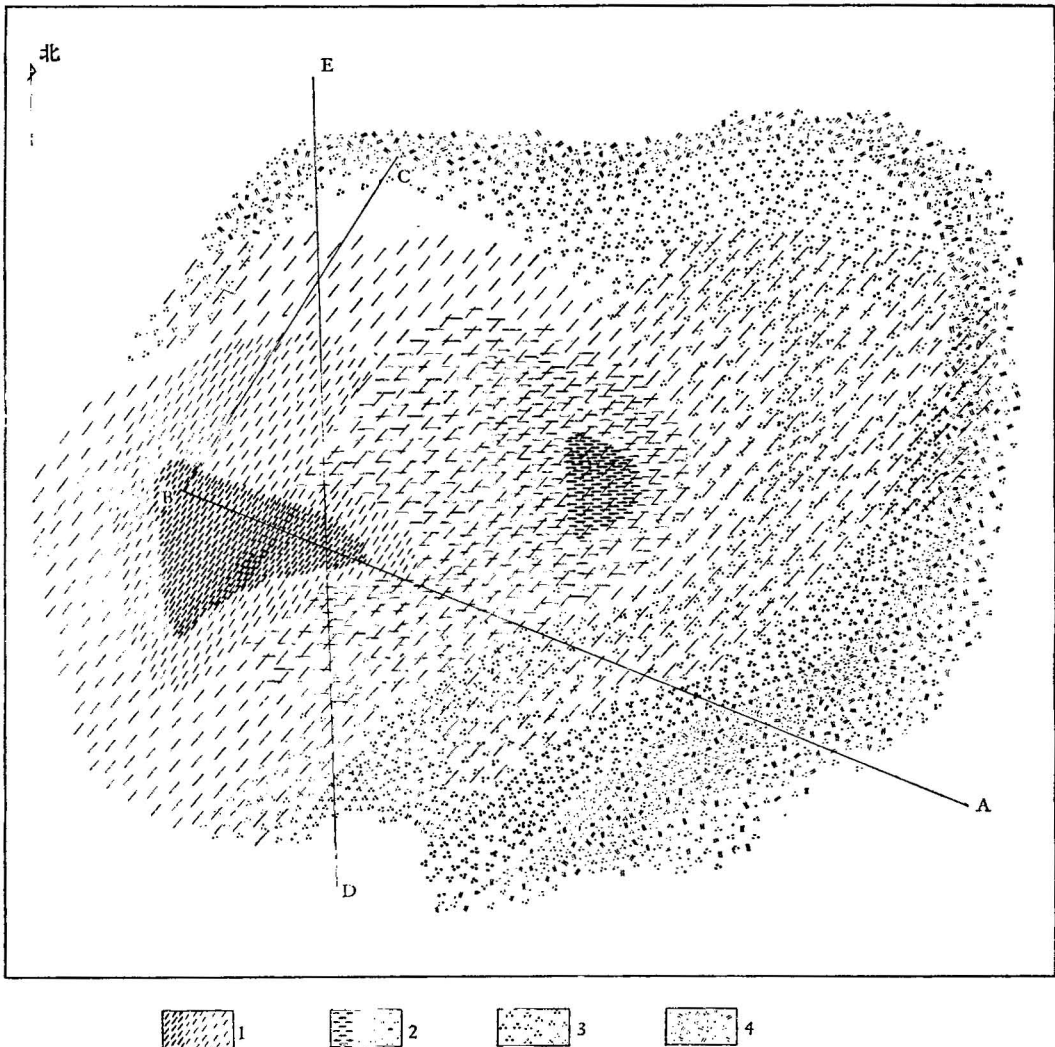


图3 矿床主要蚀变岩和矿化等厚图

1. 铁矿化范围(线之粗细,分别表示厚度大于150米、100米和30米);
2. 硬石膏矿化范围(线之粗细,分别表示大于100米、50米和30米);
3. 硅化岩范围(点之粗细,分别表示厚度大于150米、100米和50米);
4. 外部泥化范围(厚度大于150米)。

磁铁矿：上部以浸染状分布为主，少数为脉状。下部网脉状（局部似角砾状）。

在矿化范围延长方向上也有相应的顺序，前方是黄铁矿，后方是磁铁矿。

金属矿物分带实际是蚀变分带的一个方面，每种金属矿物的集聚是作为蚀变带中的一个特定矿物相赋存于一定的蚀变矿物组合内。以金属矿物分带性作为蚀变分带的一个特征，对蚀变分带的形成条件就会认识清楚。

（五）蚀变岩的空间分布和侧向分带

如果金属蚀变垂直分带，表现了蚀变和成矿作用发展的过程，那么它的侧向分带表现更为明显，这从蚀变分带剖面图（图 1、2），就可以看出。

侧向蚀变分带，除后退蚀变组合外，由深部暗色蚀变带到浅部的淡色蚀变带，大致由西向东延伸。而且，上部蚀变岩带和下部蚀变岩带相比，越向东、东南越发育，厚度变大，蚀变岩结晶越好。

铁矿体中心位于矿区西北部（图 3），硬石膏岩分布于铁矿体东部，硅化岩分布于外围，东部、东南部最厚，近于环状分布。最上面的高岭石岩带和绢云母水云母碳酸盐岩带在平面图上位于最外围。

硬石膏辉石岩带在矿区东边渐变为矽灰石钙铁榴石辉石岩。

中深的（或称中间的）迭加蚀变带，其厚度由矿化中心向周围迅速变厚，和外部的浅色蚀变带空间分布特征相似。

相反的情况是后退蚀变带，在比矿化发育地段还深的地段出现，在矿区西北、西部最为发育。

三、蚀变带的矿物和化学成分演化

（一）主要蚀变矿物的若干地球化学特征

1. 蚀变带内蚀变矿物含量变化曲线（表 4）表明：从下而上顺次形成更长石和楣石的峰值（辉石更长石岩），继之形成钠长石的峰值（辉石钠长石岩）；最后形成钾长石和金云母的峰值。

由下而上，辉石含量递增，并大量集中，以致形成辉石岩。在硬石膏-辉石组合范围内，又逐渐降低。

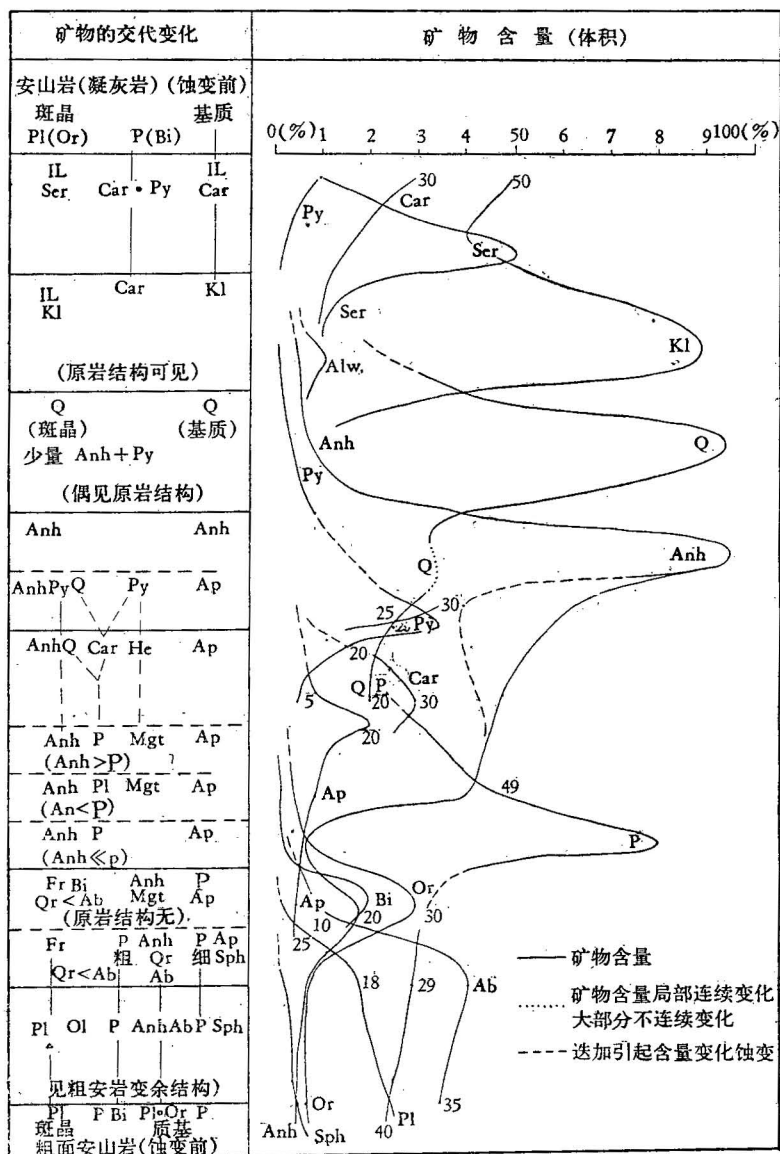
辉石钠长石岩中磷灰石含量 5% 左右，在硬石膏-辉石-磷灰石平衡组合内形成峰值，最高峰值为 20% 左右。硬石膏辉石岩迭加蚀变后，在石英-菱铁矿组合范围内，磷灰石含量仍然很高，再次出现磷灰石峰值。

在下部硬石膏仅 5% 左右，向上在硬石膏-辉石组合内高达 40%、50% 以上，最后出现纯硬石膏岩，硬石膏含量在 99% 以上；但在较上部，即石英-高岭石组合内，其含量小于 5%。常常在一些地方形成了硬石膏石英岩。

如表 4 所示，迭加蚀变范围，在石英-菱铁矿组合和硬石膏-石英-黄铁矿组合内，硬石膏含量曲线出现一次“缓坡”——含量下降。这是由于迭加蚀变使部分硬石膏分解所致。

迭加蚀变作用使得中下部出现碳酸盐矿物和石英含量的一次高峰，多数由辉石、硬石

表 4 矿床主要蚀变带矿物组合特征



注: Il—水云母; Ser—绢云母; Car—铁镁碳酸盐; Py—黄铁矿; Or—钾长石; Bi—金云母; Kl—高岭石; Anh—硬石膏; Q—石英; Ap—磷灰石; He—赤铁矿; Mgt 或 Mt—磁铁矿; P—辉石; Ab—钠长石; Fr—碱性长石; Sph—榍石; Ol—更长石; Alu—明矾石。

膏、矽灰石的分解形成。

石英含量高峰处于硬石膏岩之上。粘土矿物含量在较浅位置出现峰值。同时有明矾石出现。

绢云母、水云母在蚀变带的外圈(侧向分带)和上部(垂直分带)出现峰值。

浅处再次出现碳酸盐矿物峰值,它多由绢云母、水云母和粘土化岩石中的辉石等暗色

矿物分解形成。

2. 在蚀变带内, 蚀变矿物不仅数量有一定变化规律, 而且同一个蚀变矿物随其产状和矿物组合不同, 它的化学成分和物理性质也在变化。下面举几个实例, 说明这个问题。

(1) 辉石: 辉石为深绿色, 扁平柱体。在含辉石的各蚀变岩带内, 依空间地段不一, 系统取样, 经物性测定和化学分析结果, 辉石定为含霓石的辉石。但在辉石碱性长石岩带, 则接近霓辉石。辉石除含霓石分子外, 由下而上化学成分逐渐变化, 下部多为深绿辉石和普通辉石, 上部——硬石膏辉石岩带内为次透辉石。本文内以下简称辉石。

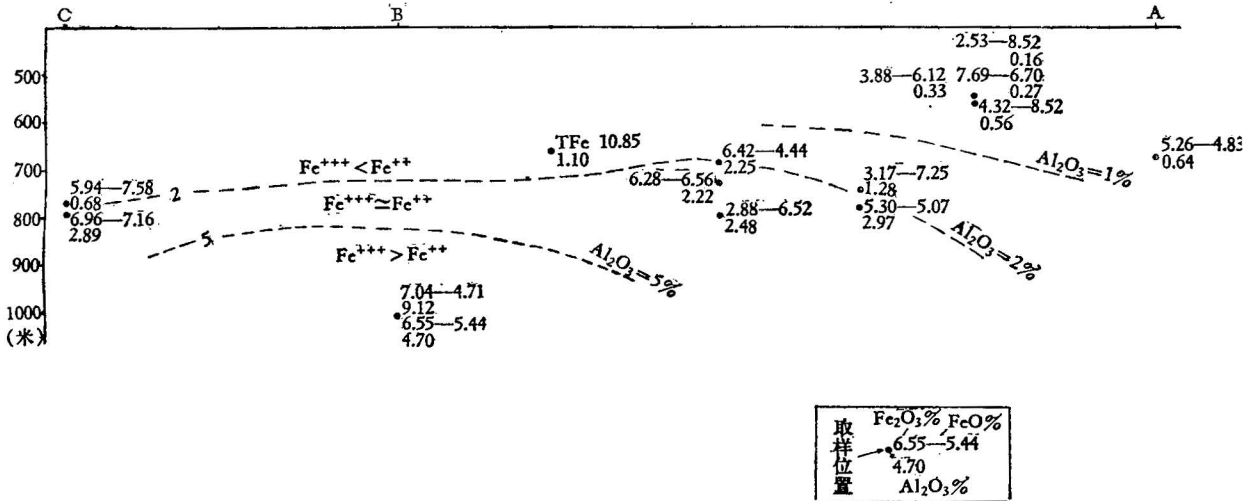


图 4 辉石中 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 及 FeO 含量的空间分布

图 4 列出了辉石的主要化学成分及在空间分带中的特征。该图表明: 在深 800—1000 米蚀变岩带内, 辉石的 Al_2O_3 含量高, 高价铁氧化物含量大于低价铁氧化物含量。辉石定名为含霓石的普通辉石。这是辉石-更长石组合的特征。在深 700—900 米蚀变岩带内, 辉石的 Al_2O_3 含量减少到 2—3%, 但 Fe_2O_3 和 FeO 含量近于相等。因此, 辉石中钙铁辉石的分子明显增加, 这是辉石碱性长石岩带中辉石的特征。中下部蚀变岩带的辉石中, 三氧化二铝含量小于 2%, 最低 0.16%。FeO 含量普遍大于 Fe_2O_3 含量, 辉石中钙铁辉石分子继续增加, 定名为含霓石的次透辉石。这是硬石膏-辉石组合和矽灰石-钙铁榴石-辉石组合中辉石的特点。后者的 Al_2O_3 含量最低, Fe_2O_3 的含量也远远低于 FeO 的含量。

表 5 表明不同蚀变组合内, 辉石化学成分是有差异的, 与图 4 说明的问题一致。

表 5 将蚀变组合分成三大类, 它们反应出三种特定的物理化学条件。

I 类, 辉石-更长石组合, Al_2O_3 高达 9%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{FeO}$, 为含铝的普通辉石; II 类, 辉石-钠长石组合, 铝含量减低, Fe_2O_3 、 FeO 含量大致相等。I 类铝高, 相当更高的蚀变相; III 类辉石内 Al_2O_3 含量很低, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{FeO}$ 。透辉石-钙铁辉石系列的辉石占主导地位, 反映了硬石膏-辉石平衡组合的蚀变相特点。辉石含铝很低, 当与矽灰石共生时, 铝含量更低。

在变质岩中, 通常认为辉石含铝高是变质程度高的特点。

在一个钻孔剖面中看到在不同组合及不同深度内, 辉石的化学成分和物理性质也有

一定的规律性的变化。据 16 孔资料,在辉石更钠长石岩带内,由下而上,辉石的折光率逐渐升高(图 5-1),在硬石膏辉石岩带中,由下而上,辉石的折光率亦逐步升高。图 5-1 表示由下向上出现二次峰值,它们与二个铁矿化的位置一致。这种现象,是和近矿体的辉石,由普通辉石分子变为钙铁辉石分子,钙铁分子增加有关。表 5 也表明,同一类辉石与磁铁矿共生形成平衡的组合时,则 FeO 含量增加,钙铁辉石分子也增加。根据辉石化学成分的变化,可以辨别铁矿化的程度。

表 5 各蚀变矿物组合内辉石的主要化学成分

分类	矿物组合(岩石)	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	FeO %	NaO %	MgO %	CaO %	化学成分特点	物 性 特 点
III	硬石膏-矽灰石-钙铁榴石-辉石	0.16	2.53	8.52	0.60	12.37	23.41	Al ₂ O ₃ <0.6%	中 等 色 调
		0.27	7.69	6.70	0.87				深绿电磁性强
		0.33	3.88	6.12	0.43				茶绿电磁性弱
	硬石膏-矽灰石-钙铁榴石-辉石(磁铁矿)	0.56	4.32	8.52	0.53	11.62	22.89	FeO>Fe ₂ O ₃ (%)	深 绿
	硬石膏-辉石组合,细晶辉石岩	0.64	5.26	4.83	1.84	13.55	20.37		翠 绿
	硬石膏-辉石组合	1.10	15.51*		1.17	10.88	19.92		深 绿
	硬石膏-辉石组合(磁铁矿)	0.68	5.94	7.58	0.65	12.43	19.83		深 绿
	粗辉石岩(磁铁矿)	1.28	3.17	7.25	0.68	12.49	23.69	Al ₂ O ₃ <2%	翠 绿
II	粗辉石岩脉状	2.97	5.30	5.07	1.22	11.78	23.22	Al ₂ O ₃ 2—5% FeO≈Fe ₂ O ₃ (%)	翠 绿
	辉石矽灰石硬石膏组合脉状	2.25	6.42	4.44	1.29	12.68	22.13		深 绿
	辉石-碱性长石组合脉状	2.22	6.28	6.56	1.46	11.49	22.72		深 绿
	中、粗粒辉石-碱性长石组合	2.48	2.88	6.56	0.72	12.12	24.72		深 绿
I	辉石-更长石组合脉状	2.89	6.96	7.16	1.46	10.15	22.13	Al ₂ O ₃ >5% Fe ₂ O ₃ >FeO(%)	深 绿
	辉石-更长石组合	4.70	6.55	5.44			0.74		深 绿
		9.12	7.04	4.71			1.11		

* 低价铁用高价铁表示。

在薄片下也看到有具环带构造的辉石,当内环为浅色而外环是深色时,辉石间隙的硬石膏内往往有许多磁铁矿,这表明辉石形成时,在气液中铁的含量逐渐增加,所以辉石的颜色逐渐加深,辉石的含铁量也逐渐升高。相反,假如辉石的内核是深色的,外环是浅色的,则磁铁矿很少,这往往是无矿地段辉石的特点。辉石本身的物性特征也可用于辨别铁矿化的强弱和趋势。

此外,在薄片下看到的“补钉状”构造是交代作用的一个特点。在颗粒较大的同一个辉石晶体,各部分颜色不一,有深色,有浅色,它们的光性特征也不同(图版 III-2, III-3)。

图 5-2 表明区内 32 个取样点辉石的折光率及辉石的 Al₂O₃ 含量随深度的分布情况。该图表明在辉石-更长石组合和辉石-碱性长石组合中,辉石的 Al₂O₃ 含量较高,同时随深度变化——由下而上辉石的折光率随着增大。在硬石膏-辉石组合和矽灰石-钙铁榴石-

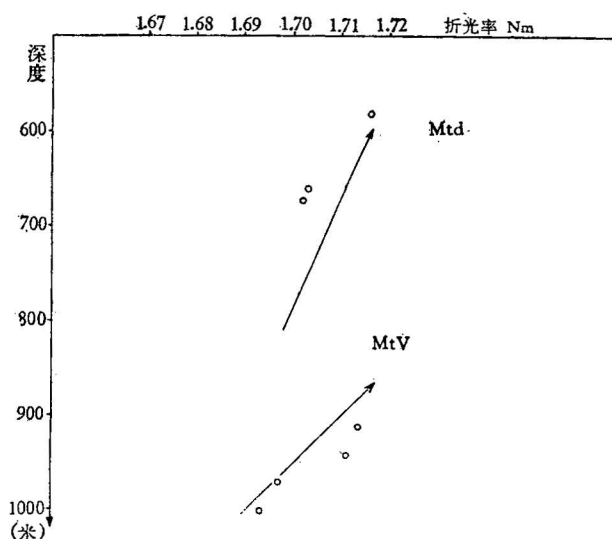
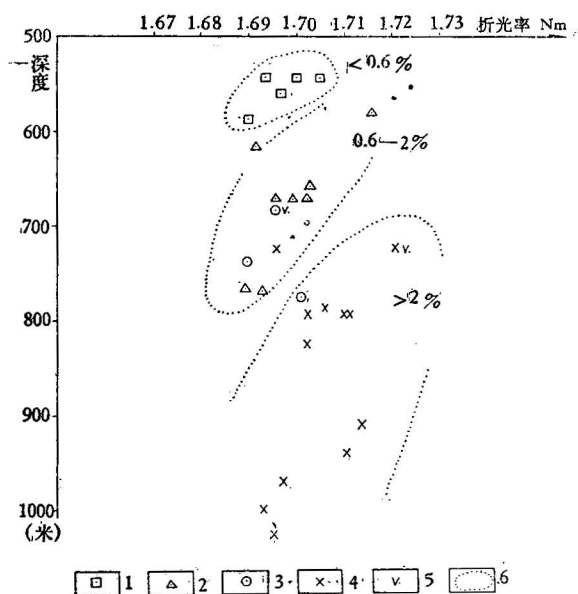


图 5-1 16 孔辉石折光率与深度的关系

Mtv—脉状磁铁矿(产于碱性长石岩带); Mtd—浸染状磁铁矿(产于硬石膏辉石岩带)。

图 5-2 各蚀变岩带内辉石的折光率与 Al_2O_3 含量的空间分布

1—矽灰石钙铁榴石辉石岩; 2—硬石膏辉石岩; 3—辉石岩; 4—辉石钠长石岩和辉石更长石岩; 5—脉中产物; 6— Al_2O_3 含量分布区。

辉石组合中, 辉石内 Al_2O_3 含量很低, 但随深度的变化, 由下而上辉石的折光率也变大。它们均表明钙铁辉石分子增加。

总之, 辉石的化学成分和物性特征, 可以作为蚀变相的矿物标志, 也可以作为铁矿化发育趋势的标志。

(2) 长石: 一般在辉石-更长石岩带内, 在辉石-更长石组合中的斜长石'号码'较高

($An_{17}-An_{23}$)。

在辉石碱性长石岩带内,斜长石变为钠长石,一般为 An_4-An_7 , 但在该带下部,斜长石号码较大(达 An_{10}), 上部较小(小于 An_3)。

在暗色蚀变带内,长石化学成分的变化有一定规律。更长石数量,由下而上逐渐减少,钠长石数量升高,钾长石和斜长石含量相比由下而上亦逐渐升高。

(3) 磁铁矿:磁铁矿主要产在辉石-钠长石岩和硬石膏-辉石岩内。图 10(图 10 在后面)用磁铁矿内二氧化钛的含量等值线表示等温线,实质上表明深度越大,磁铁矿内 TiO_2 的含量亦高,是整个蚀变带的特征;在矿区西北部深处有最高值,东部的磁铁矿含钛量略低。总的来看,磁铁矿的 TiO_2 等值线与蚀变带界限基本一致。图 6 表明两个钻孔内不同深度下磁铁矿中 TiO_2 的含量,随深度加大迅速增加,其对数值与深度成线性关系。

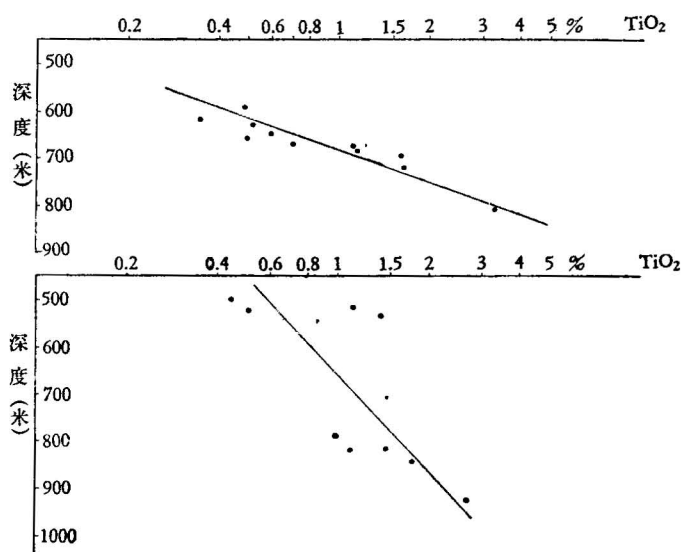


图 6 两个钻孔内磁铁矿的 TiO_2 含量与深度的关系

磁铁矿的 TiO_2 含量随着它产出的不同蚀变分带位置不同、深度不同而改变,也可看出它们有明显的规律性(图 7)。对区内近八十个磁铁矿样品的分析结果表明:在辉石碱性长石岩带,磁铁矿 TiO_2 的含量普遍大于 1.5%;在辉石岩内, TiO_2 含量 0.5—1.5%;在硬石膏辉石岩带内, TiO_2 含量 1—0.5%;在矽灰石钙铁榴石辉石岩内, TiO_2 含量 0.7—1.1%。产于辉石碱性长石岩带下部矿体中的磁铁矿 TiO_2 含量比产于硬石膏辉石岩带上部矿体的磁铁矿的 TiO_2 含量高得多。磁铁矿内 TiO_2 含量在空间上的分布规律,如图 6 所示,同深度的分带性质一致,是由磁铁矿产出的蚀变组合、蚀变带决定的。

(4) 黄铁矿:按其结晶顺序,分布在石英-菱铁矿-磷灰石-硬石膏组合、硬石膏-石英-黄铁矿组合和绢云母-石英组合中。在较早的组合内,黄铁矿中钴、硒的含量较高;较晚的组合内,黄铁矿中钴、硒的含量相应减低。

(5) 在各蚀变带内,磷灰石中氟的含量不同,由下而上其含量逐渐降低。

(6) 在暗色蚀变组合内,硬石膏呈紫色,具聚片双晶;在迭加蚀变带内,黄铁矿硬石

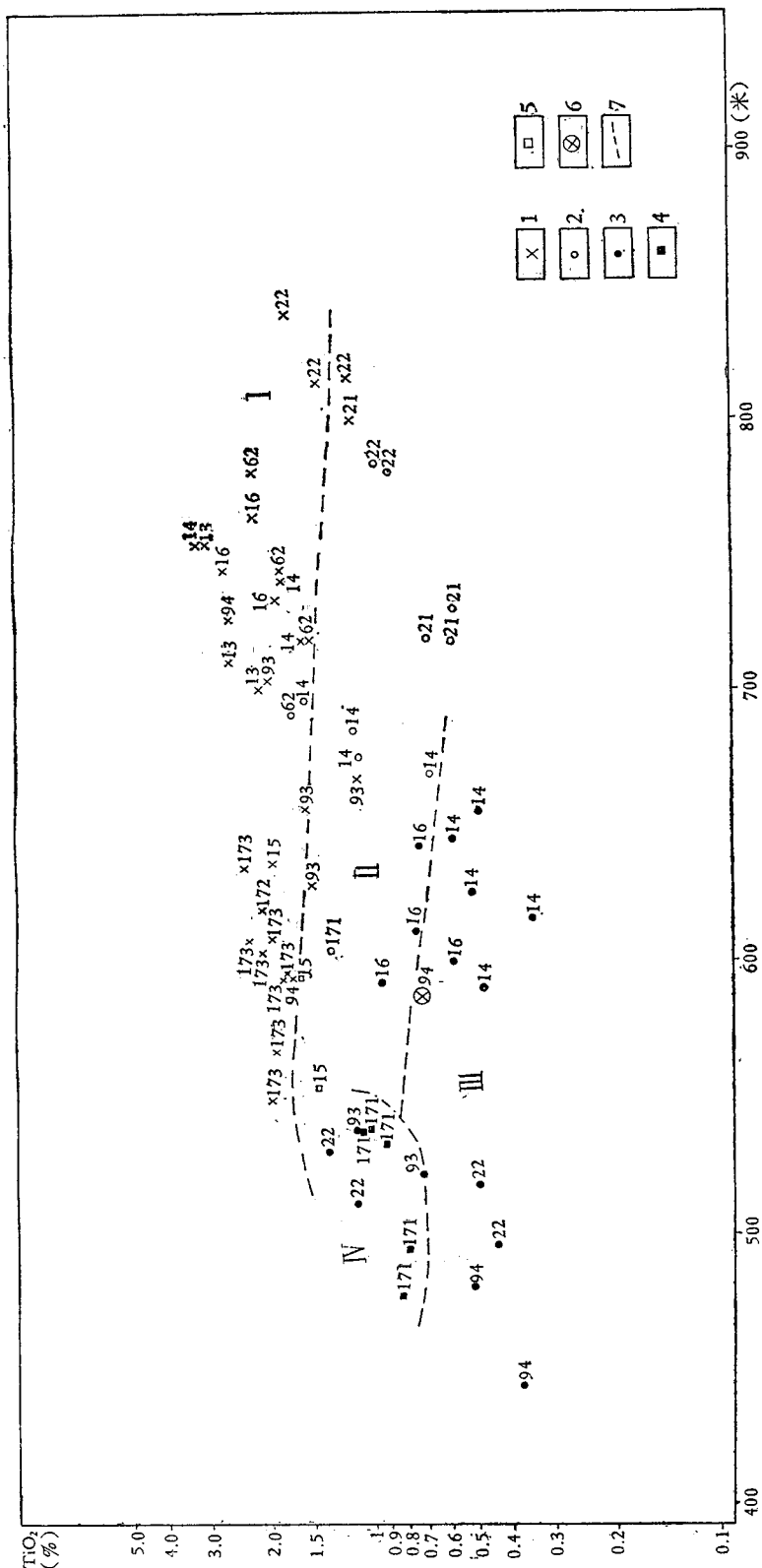


图 7 各蚀变岩带内磁铁矿的 TiO_2 含量及空间分布

- I——辉石更长石岩带内磁铁矿含量普遍在 1.5% 以上。
 II——辉石岩带内磁铁矿含量普遍在 1—0.8% 以下。
 III——硬石膏辉石岩带内磁铁矿含量普遍在 1—0.5% 以下。
 IV——硬石膏辉石岩带内磁铁矿含量普遍在 1.1—0.7% (位于中深处)
- 1——辉石碱性长石岩带； 2——辉石岩； 3——硬石膏辉石岩带；
 4——硬石膏辉石岩带； 5——产于弱蚀变粗安岩中的磁铁矿脉；
 6——受蚀变的岩石； 7——矿物产状分区。

膏岩和硬石膏岩中的硬石膏多数呈白色糖粒状,无双晶。

(7) 碳酸盐矿物,在各蚀变带内分布较广。在迭加蚀变矿物组合的菱铁矿-菱镁矿系列内,有菱铁矿、菱铁矿、菱铁矿、菱铁矿及菱镁矿等碳酸盐矿物,同他们共生的有含铁白云石和方解石等。在一个碳酸盐矿物极发育的地段,由下而上百余米范围内,这些矿物的折光率由低到高、碳酸盐矿物中的 FeCO_3 的分子数也增加。

2. 蚀变带岩石化学成分:

在垂直分带系统内,选取比较典型的蚀变岩石化学成分列于表 6,由下而上由暗色蚀变组合—淡色蚀变组合,主要造岩元素、氧化物和挥发组分的变化如下:

(1) 二氧化硅:在深部与粗安岩背景相比变化很小,自金云母-钾长石岩、辉石岩开始至硬石膏辉石岩 SiO_2 迅速降低,在磁铁矿化地段及黄铁矿硬石膏岩和硬石膏岩带内, SiO_2 逐渐减少到 1—2%。到硅化岩地段, SiO_2 迅速增加到 95%,然后又逐渐减少。

(2) 三氧化二铝:与 SiO_2 的变化规律相似,深部略比背景低,以后迅速减少,到泥化岩带出现迅速增高的峰值。

(3) 氧化铁: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 的含量,在深部低于背景值,到了辉石碱性长石岩带出现第一次峰值,在硬石膏辉石岩带和黄铁矿硬石膏岩带出现第二次峰值。上部的淡色蚀变组合均比背景值低。

(4) 氧化镁:深部与背景值一致,在金云母钾长石岩和辉石岩内形成高峰,以后随位置变浅逐渐减低。

(5) 氧化钙:自深部开始就比背景值高,在硬石膏辉石岩和硬石膏岩带内高出背景值 5—6 倍。到了浅带普遍低于背景值,但局部稍高,近于背景值。

(6) 氧化钠和氧化钾:除深部辉石更、钠长石岩带内氧化钠高于背景值和最浅部局部较高外,在其它各蚀变岩带内均远远低于背景值。氧化钾在深部的金云母钾长石岩内出现一次峰值,在最浅部的绢云母水云母岩内出现另一次峰值,而在其它各带内均低于背景值。

(7) 挥发组分: P_2O_5 、 SO_3 、 H_2S 、 CO_2 和 H_2O 的性状:挥发组分绝大部分是外来的。 P_2O_5 在硬石膏-辉石岩带内形成峰值; SO_3 从很大深度即开始参加形成硬石膏的反应,到硬石膏辉石岩带和硬石膏岩带形成高峰; H_2S 或 S 形成黄铁矿硬石膏岩和黄铁矿石,在中深处出现峰值, CO_2 在辉石、矽灰石等分解时参加形成碳酸盐类矿物,于中部出现 CO_2 峰值,另一方面,在浅处,原岩暗色矿物分解和深部后退蚀变也可有 CO_2 的峰值; H_2O 在正常分带系统内浅部有 H_2O 的峰值,由于后退蚀变在深部也可出现 H_2O 的峰值。

总之,按元素地球化学特征来看:① SiO_2 、 Al_2O_3 从下向上迁移,而 Al_2O_3 则迁移的更远一点。② 从下而上,首先是钠的交代作用,继之为钾的交代作用。然后出现深部的脉状磁铁矿化。③ 钠、钾交代作用时,有镁、钙参加,但强烈的镁、钙的交代作用稍晚,其中镁比钙略早。大量镁、钙交代作用后出现浸染状的磁铁矿。④ 挥发组分的活动顺序为:



表 7 说明蚀变岩内各种主要平衡组合和原岩相比,化学成分的加入量和带出量。

表 6 矿床主要蚀变带的化学成分

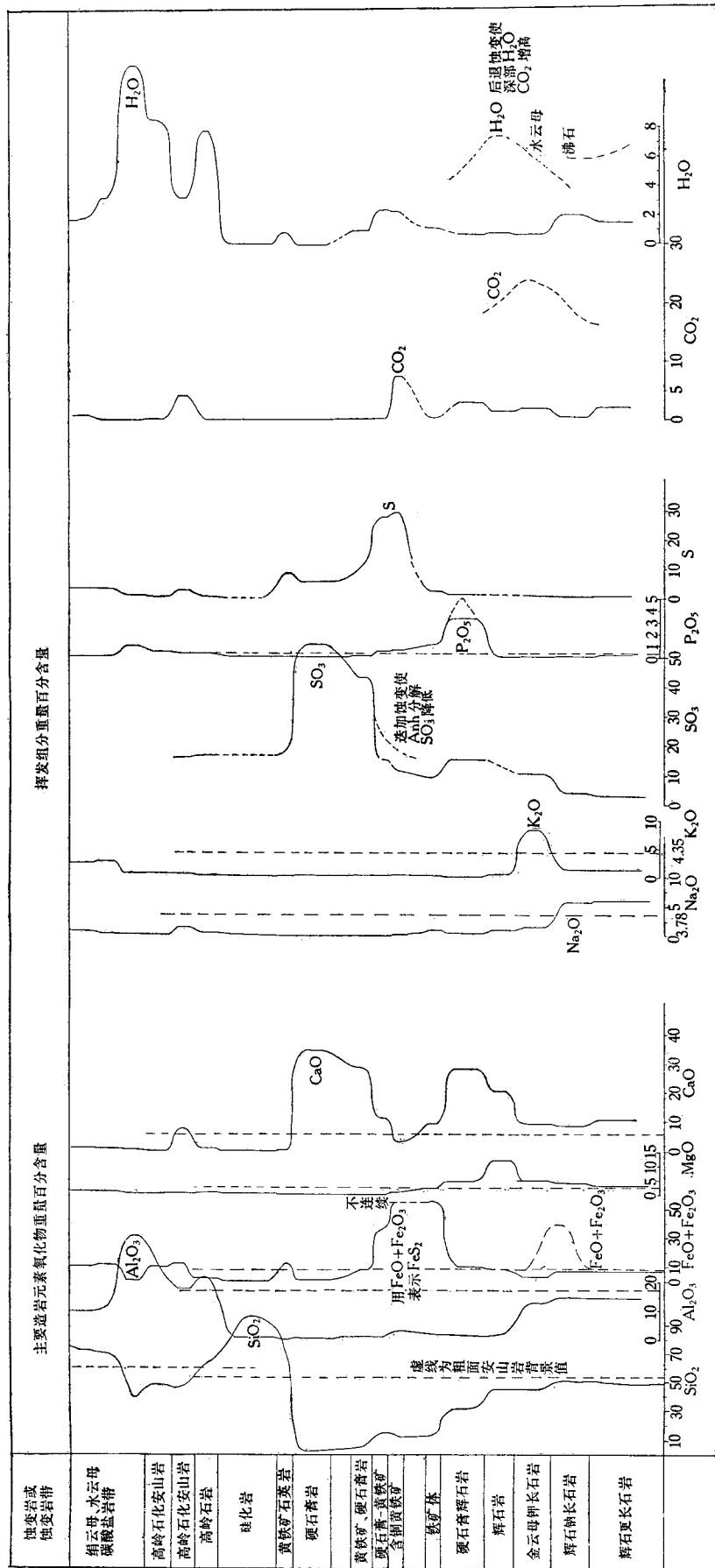


表 7 各蚀变岩带、蚀变阶段内主要造岩元素和挥发组分若干地球化学特征

表示岩石标准几何体积 10000Å³ 内元素带出(或带人)的原子量为 1	
硅铝加入	Si Al
硅铝带出	
钙镁加入	Ca Mg
钙镁带出	
钠钾加入	Na K
钠钾带出	
蚀变带	细晶辉石 化粗面 安山岩 辉石更 长石岩 辉石钠 长石岩 金云母 石石膏 钾长石岩 硬石膏 辉石岩 磁铁 矿体 含铜黄 铁矿体 硬石膏 黄铁矿 岩(θ) 黄铁矿 硬石膏岩 硬石膏 岩 硅化岩 高岭 石岩 高岭石 化安山岩 绢云母化 凝灰岩
气液性质	碱性上升阶段 弱碱性阶段(碱性下降) 酸性(上升)阶段 弱酸性阶段 弱碱性阶段
金属沉淀顺序	Na ——— K ——— (CaMg) ——— Mg ——— Ca Fe(Mgt) ——— Fe(Mgt) ——— Fe-(Py) ——— Si ——— Al Ca K
挥发分顺序	SO ₃ P ₂ O ₅ HF SO ₃ P ₂ O ₅ SO ₃ H ₂ S(或S) CO ₂ (SO ₃) CO ₂ H ₂ O H ₂ O CO ₂ (H ₂ S)
温度(°C)	700? 600(Ap) 572(Anh) 500 (Anh) 430 (Anh) 350 (Anh) 300? 300 <200
深度(米)	900 750 600 550 430 300

注:表内 Mt 或 Mgt—磁铁矿; Py—黄铁矿; Ap—磷灰石; Anh—硬石膏。

四、蚀变岩带的形成过程

1. 矿物平衡组合的空间分布和交代反应的划分。

矿物之间的平衡状态,由于温度、压力改变和外来物质的加入,使其平衡状态遭到了破坏,形成新的矿物组合。新矿物组合代替旧矿物组合,就是交代反应。因此,从某种意义上来说,交代反应就是矿物平衡组合的转变关系,即蚀变岩中建立平衡组合的过程。图 8 列出全蚀变岩带内平衡组合的分类,空间分布及其转换关系。一般划分为四类: I 类,暗

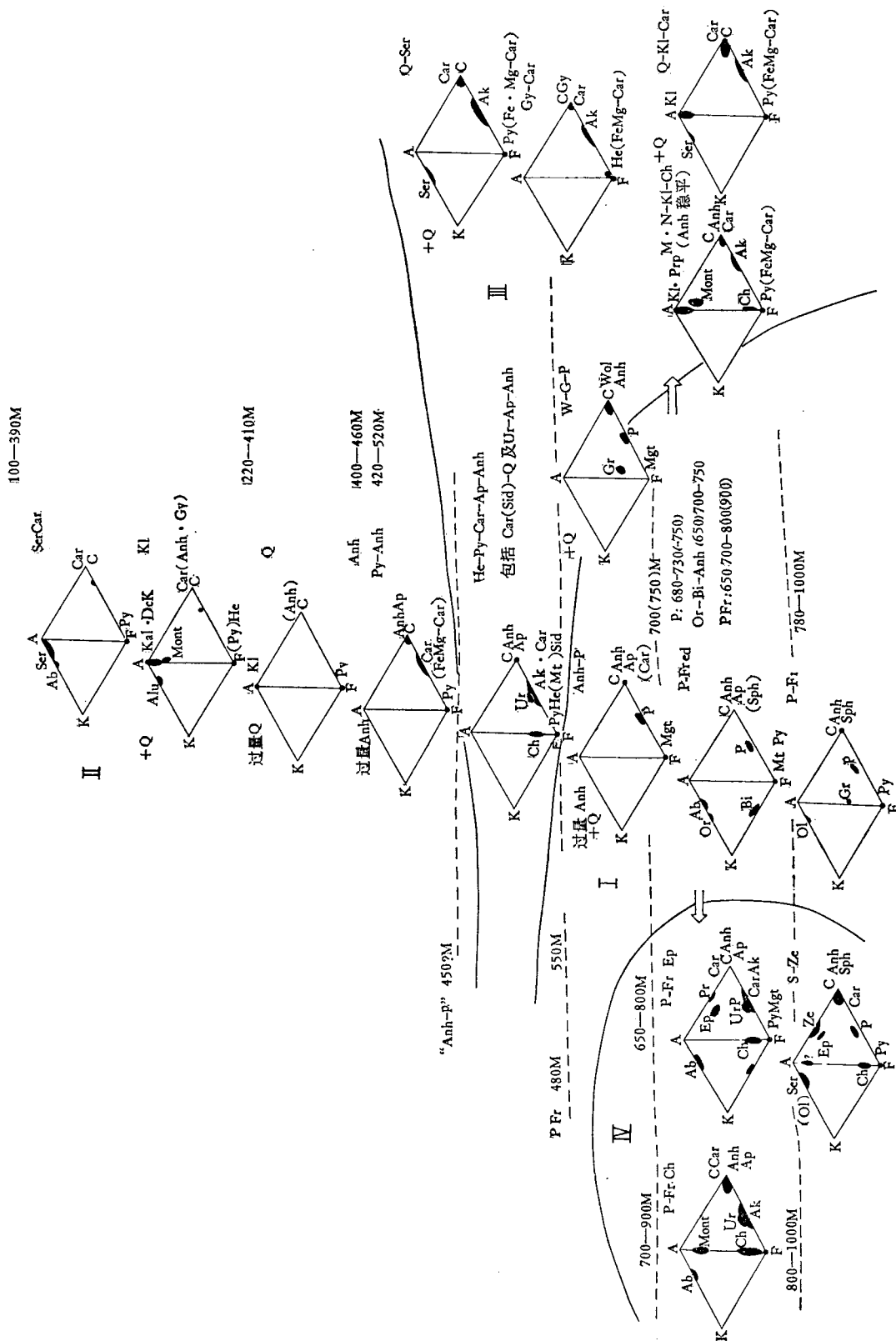


图 8 蚀变矿物平衡组合的空间分布

I——暗色蚀变平衡组合 II——淡色蚀变平衡组合 III——透闪蚀变平衡组合 IV——后透闪蚀变平衡组合 < 表示各类平衡组合之间转化关系
 Ab—钠长石; Ak—铁白云石; Ur—纤闪石; Ch—绿帘石; C或Car—硬石膏; An—磷灰石; P—辉石; Fr—碱性长石; Ep—绿帘石; Pr—葡萄石; Mt或Mgt—磁铁矿; Ol—更长石; Ze—方沸石; Sph—磷石; Py—黄铁矿; Alu—明矾石; Dck—地开石; Kl—高岭石; Gy—石膏; He—赤铁矿; Ser—绢云母; Q—石英; Sid—菱铁矿; Or—钾长石; Bi—金云母; F₁—更长石; Gr或钙铁榴石; Wo或钙铁榴石; M, N—绿帘角闪石。

色蚀变平衡组合; II类, 淡色蚀变平衡组合; III类, 迭加蚀变平衡组合; IV类, 后退蚀变平衡组合。上述平衡组合形成的过程彼此不同, I、II类是在粗安岩背景上形成的; III、IV类是在早期暗色蚀变平衡组合之背景上形成的。

2. 蚀变作用的阶段

正常的垂直分带(I、II类组合), 大致反应了蚀变作用的顺序, 通过平衡组合的划分及对交代反应的研究, 可以进一步推导蚀变作用阶段。通常认为, 早期阶段形成了辉石-更长石(碱性长石)平衡组合; 继之, 形成了硬石膏-辉石平衡组合和矽灰石-钙铁榴石-辉石平衡组合。随后, 蚀变作用如何进行, 这里要弄清二个问题, 一是III类和IV类组合的关系, 二是II类与III类组合的关系。

III类迭加蚀变的平衡组合与IV类后退蚀变的平衡组合均属晚期阶段, 发育于暗色蚀变岩带之上。但它们分布的区域不同, 迭加蚀变发育于暗色蚀变岩带的上部和周围, 而后退蚀变发育于暗色蚀变岩带的内部。一般情况下, 很难找到它们之间的相互关系, 在这里有二种情况。(1)暗色蚀变岩带矿物后退蚀变后, 再次迭加蚀变。例如, 辉石绿泥石化后又遭到绿高岭石和绢云母(水云母)化, 常常析出赤铁矿。又如碱性长石葡萄石化后又被水云母交代。这些现象说明, 后退蚀变过程是较长的, 而且开始的时间较早。高温暗色蚀变矿物形成后, 由于温度下降, 向含水的硅酸盐矿物转化。故后退蚀变的最初产物: 纤闪石、绿泥石、绿帘石、葡萄石等易受到迭加蚀变, 形成粘土矿物、石英和碳酸盐类矿物。这反应了暗色矿物再改造的程度, 最后使铁、镁等离子完全迁移。(2)后退蚀变也是迭加蚀变的一部分, 在迭加蚀变带, 常发现早期的迭加蚀变岩内, 往往同时或稍早出现矿物的后退蚀变, 如硬石膏辉石岩被石英-碳酸盐组合代替时, 常伴有辉石的纤闪石、绿泥石化。

再看II类淡色蚀变和III类迭加蚀变的关系: 它们都构成由大量高岭石、石英和水云母组成的岩石。淡色蚀变形成外部泥化带, 迭加蚀变形成中间的泥化岩石。其次, 两类蚀变岩有连续过渡现象: 如图1、2所示, 在矿区东南部, 由粗安岩变成的硅化岩和硬石膏辉石岩变的硅化岩连续过渡; 又如在矿区西部, 看到淡色蚀变带的高岭石岩和暗色蚀变带迭加蚀变形成的绿高岭石绿泥石岩连续过渡。还有浅色蚀变带由内而外——由硅化岩—高岭石岩—水云母岩具分带现象, 与迭加蚀变带(由中心向外)顺次出现, 以石英为主的组合, 以高岭石为主的组合和水云母为主的组合的分带现象是一致的。上述事实说明: II、III类蚀变组合, 可能是同一阶段的产物, 仅由于蚀变前背景岩石不同, 因而所形成的蚀变带类型也有所差异。例如, 前蚀变岩石为暗色蚀变带, 在蚀变后为迭加蚀变; 前蚀变岩石为新鲜岩石——粗安岩, 则蚀变后为淡色蚀变带。

综上所述, 初步把蚀变阶段划分如下: I, 形成暗色蚀变带的阶段, 先形成以辉石更长石岩和辉石碱性长石岩为主的蚀变岩, 然后形成以硬石膏辉石岩和矽灰石钙铁榴石辉石岩为主的蚀变岩。

II-1, 形成黄铁矿石和细晶硬石膏岩的阶段, 包括迭加蚀变的初期, 碳酸盐磷灰石硬石膏岩带和后退蚀变纤闪石化的形成期。

II-2, 形成淡色蚀变的硅化岩和高岭石岩的阶段, 包括迭加蚀变形成以石英、高岭石为主的阶段, 以及蚀变带内部的绿帘石、绿泥石化发育阶段。

III-3, 最晚期形成以水云母、绢云母为主的蚀变组合和暗色蚀变带深处的方沸石化。

下面进一步分析各阶段的交代反应,并在主要造岩元素加入、带出的基础上,推断气液性质(表 7)。

I-1 早期硷性阶段:深部(推测比目前钻探深度还深的地方)在 SO_3 、 P_2O_5 、 HF 参与下硷金属迁出,溶液中硷金属 Na^+ 、 K^+ 离子逐步浓集。到达辉石更长石岩带之后, Na^+ 及 Ca^{++} 、 Mg^{++} 离子开始析出,发生更长石化、辉石化。原岩粗安岩以中长石、普通辉石为主,交代反应是中长石的去钙作用,形成更长石乃至钠长石和含钠的普通辉石。外面加入的 SO_3 和多余的钙结合形成硬石膏。 Na^+ 在溶液内开始减少,这时 K^+ 仍然很高,处于活动状态。到了辉石碱性长石带,大量的钠长石产生后, Na^+ 减少, K^+ 浓集。以后在辉石碱性长石岩带上部形成钾的交代作用,发育了金云母-钾长石的组合。在这个阶段内与碱性长石同时产出了辉石,说明 Mg^{++} 、 Ca^{++} 也不断析出。但从溶液中金属离子浓度及溶液的硷性看,在溶液中 Na^+ 、 K^+ 的减少起决定性的作用。这样,在这个阶段,原岩部分 Fe 、 Si 、 Al 是在溶液中迁移的。

此外,在大量挥发组分作用下,在岩石物质成分变化的同时,深部岩石也发生了蚀变分异现象。

蚀变岩的化学分析说明,深部的辉石更长石岩带和辉石碱性长石岩带和背景岩石——粗安岩的主要造岩元素化学成分相比,只有少量的加入和带出。在蚀变作用下除保留了原岩的结构,构造——蚀变假象之特点外,同时,发生了深刻的变化。最初,在粗安岩背景上,形成细粒变晶结构的蚀变岩,辉石和更、钠长石分别聚集,红、绿相间,形成斑杂状构造(图版 I-1),在大片绿色背景上出现红色斑块。再进一步作用,在大片细晶辉石的背景上出现钠长石的聚变斑;反之,在大片钠长石细小变晶背景上,出现辉石聚变斑。再进一步蚀变,出现中粒—粗粒的不均匀变晶结构,斑杂构造(图版 I-3, 4)。这些现象说明,在气液作用下,在物质进行交代的同时,引起暗色矿物与淡色矿物分别聚集现象,引起矿物重结晶作用。此外,在辉石更长石岩内有辉石更长石榍石硬石膏脉;辉石碱性长石岩内有辉石碱性长石磷灰石硬石膏脉。有时,看到隐约可见的脉状构造(通常称为影子脉),它几乎全部由辉石组成,而脉外侧为长石。也可看到在脉内有硬石膏、榍石、磷灰石及金云母等矿物,硬石膏产于脉的中心,脉和相邻岩石界线较清晰;脉壁上为辉石,外侧仍为长石。而且在脉中由内向外,重复出现辉石、长石分带现象(图版 I-2)。辉石更长石(碱性长石)脉间岩石亦出现红绿相间斑杂构造。

这样,均匀岩石蚀变为不均匀的辉石更长石岩和辉石碱性长石岩,呈现出蚀变分异作用;脉和相邻岩石同时是蚀变分异产物,脉是在大量 SO_3 、 P_2O_5 等作用下,岩石经气液交代出来的组分(如溶解出来的 CaSO_4) 重结晶形成的。

深部的辉石更长石岩和辉石碱性长石岩带的蚀变分异中,富含长石的岩石和富含辉石岩石的形成,实质上也是大范围内在气液作用下交代分异的缩影。暗色蚀变带分带性和蚀变岩石内裂隙两侧的矿物分带性的一致,就是一个证明,这个问题可用下表说明:

暗色蚀变带:		裂隙脉:	
浅	硬石膏岩	脉中心	硬石膏
	↓		↓
	磁铁矿硬石膏岩	脉边缘	辉石
	↓		↓
深	辉石碱性长石岩	脉外	辉石碱性长石

I-2 早期弱硷性阶段,在较深部先形成辉石岩带(约在深 700 米以下),继之形成很厚的硬石膏辉石岩带。这个阶段 Mg^{++} , Ca^{++} 迅速析出。先是 Mg^{++} 的析出,后是 Ca^{++} 的大量析出,乃至形成硬石膏岩。

随着溶液中硷金属、硷土金属大量减少,形成铁矿体。有资料提到¹⁾,磁铁矿和铜、钼矿物是在 $pH = 8$ 的条件下与钾的硅酸盐、硬石膏同时析出的。这和我们推断的情况是相似的。

II-1 硷金属、硷土金属离子析出后²⁾气液逐渐转入酸性阶段(称酸性上升阶段)。这时大量的 CO_2 、 P_2O_5 、 H_2S 参加活动。由于³⁾气液的作用,出现迭加蚀变和淡色蚀变岩石,并形成黄铁矿体。

黄铁矿矿体、磷灰石碳酸盐硬石膏岩和黄铁矿硬石膏岩是在酸性阶段形成的。推断⁴⁾气、液进入酸性阶段的根据是, Si、Al 强烈淋失;在 P_2O_5 、 H_2S 、 CO_2 之活动中, P_2O_5 是强酸酐磷灰石常常交代硬石膏的;气液中硷金属,硷土金属析出使 H^+ 与硷金属离子比值升高;由磁铁矿-赤铁矿-黄铁矿的矿物平衡组合来看,前面已叙在 P_2O_5 、 H_2S 、 SO_3 作用下,磁

表 8 迭加蚀变组合的详细划分

迭加蚀变组合	主要矿物的变化 (交代反应)					迭加蚀变后的矿物平衡组合	平衡组合的划分
	辉石 P	硬石膏 Anh	磁铁矿 Mgt	磷灰石 Ap	长石 F		
1	Ur(P)	(Anh)	He, Py	Ap		磷灰石-黄铁矿(赤铁矿)-纤闪石	II 组
	Car, (P)	Q (Anh)	He	Ap		铁碳酸盐-石英	
	He, Py, Car, ▲	Anh ●		Ap ●		碳酸盐-硬石膏 磷灰石 (仅辉石变为碳酸盐)	
2	Q ▲	Anh ●		Ap ●		硬石膏-石英 (仅辉石变为石英,硬石膏基本不变)	II 组
3	Py, Q ▲	Anh ●	Py	Ap ●		黄铁矿-硬石膏 (辉石、磁铁矿被黄铁矿交代,共生少量石英)	II 组
4	Q	Py ▲	Py	(Ap)		黄铁矿-石英	II 组
5	Py, Ser ▲	Q(Anh)?	Py	(Ap)	Ser(F)	黄铁矿-绢云母-石英 (辉石被绢云母、黄铁矿交代)	III 组
6	He, Q	Gy	He, Car	(Ap)	Kl	石膏 碳酸盐-石英 (硬石膏水化为石膏)	III 组
7	Car ▲	Q(Anh)	He	Ap ●	Kl(F) ▲	高岭石-石英-碳酸盐 (以高岭石为标志)	III 组
					Il, Kl	碳酸盐-水云母-高岭石	
8	M, N, Ch, Car ▲	Q(Anh)	He	Ap ●	Kl, Prp	绿高岭石-绿泥石-高岭石-叶腊石	III 组
9	Car, Il	Q(Anh)	Car		Il, F ●	碳酸盐-水云母 (长石)	III 组 IV 组

注: (Anh) 表示 矿物稳定残余, 参加到平衡中去, ● 表示稳定不变, ▲ 主要的标志的蚀变矿物。

Ur 纤闪石 Car 碳酸盐 Q 石英 He 赤铁矿 Py 黄铁矿 Ser 绢云母 Il 水云母 Kl 高岭石

Prp 叶腊石 M, N 绿高岭石 Ch 绿泥石 Gy 石膏

1) Meyer, C. & Hemley, J. J. (1967): Wall rock alteration. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, ed. H. L. Barnes.

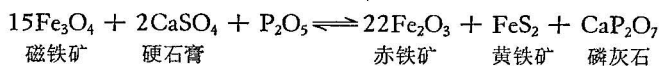
铁矿变成赤铁矿时形成黄铁矿,使部分硬石膏分解,大部留下来与黄铁矿等平衡。曾有资料证实,在 SO_4^{2-} 离子存在情况下, pH 为 5—6 时赤铁矿与黄铁矿是共存的。

这个阶段迭加蚀变前后矿物平衡组合的转变表现最清楚:表 8 列出迭加蚀变前后典型矿物交代反应的特征。

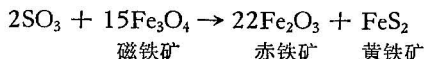
由表 8 可看出:硬石膏是迭加蚀变前最普遍的蚀变矿物,在后期气液作用下,它是否变化反应了迭加蚀变的物理化学条件,在表 8 中 1—碳酸盐-石英;2—硬石膏-石英;3—黄铁矿-硬石膏;7—粘土矿物;8—绿高岭石;9—水云母等组合中所找到的硬石膏可以作为稳定组分参加到迭加蚀变后新的平衡组合中去。在 3—黄铁矿-硬石膏组合中,硬石膏与黄铁矿处于平衡状态。在 4—黄铁矿-石英组合中硬石膏转变为黄铁矿。在 5—黄铁矿-绢云母-石英组合内,迭加蚀变前辉石等矿物转变为黄铁矿绢云母时,原有的硬石膏仍保留有部分残余,且较稳定(图版 IV-4)。在 6—石膏-碳酸盐-石英组合内,硬石膏水化为石膏,即使有硬石膏残余,也是不稳定的。

由表 8 可以判断前蚀变矿物的稳定条件,例如,在迭加蚀变时,硬石膏稳定的条件相当于产生石英、碳酸盐、赤铁矿和粘土矿物的条件,当它大量转化为黄铁矿,或水化时就变成不稳定的组分。

前蚀变岩中的硬石膏与辉石、碱性长石,可能在碱性介质中处于平衡状态,而在晚期气液作用的酸性介质中变得不稳定,经常看到辉石-硬石膏平衡组合。在辉石被碳酸盐交代后,又出现磷灰石-赤铁矿-黄铁矿集合体,其反应可能是:

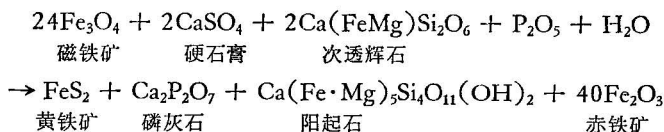


上述反应也表示了磁铁矿被赤铁矿和黄铁矿代替的反应情况,还可看到下式:

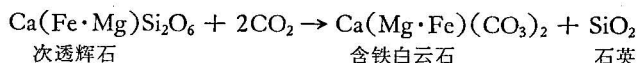


上式表明,晚期生成的黄铁矿常伴随着磁铁矿的赤铁矿化;作为过剩的 SO_3 也会导致这种情况出现。磁铁矿被后期的硬石膏脉穿插时,脉之近侧为黄铁矿,远侧为赤铁矿,它们都具磁铁矿之假象(图版 IV-6、7、8)。

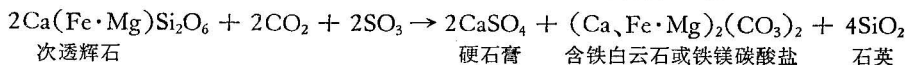
磁铁矿硬石膏辉石岩受到迭加蚀变,可全部被黄铁矿磷灰石纤闪石集合体所交代,它的交代反应式可能是:



实际参加反应的是含钠的次透辉石,而生成物多是纤闪石(图版 III-5)。还有辉石变为石英、碳酸盐的反应:



当反应在 P_2O_5 、 SO_3 和 CO_2 作用下可能有晚世代的硬石膏产生。

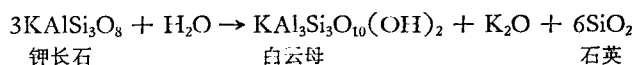


此外,含有碱性长石的岩石在迭加蚀变的酸性介质作用下,多数形成粘土矿物。

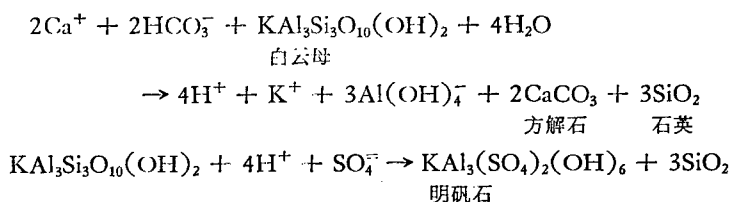
总之,在这种条件下,碱金属、碱土金属都不稳定,而且 Si、Al 大量迁出。于是在气液前进方向上形成了厚层热液硅化岩晕圈,原先溶液中迁出的 Si、Al 在这种情况下交代围岩而固定下来,而该地段的碱金属、碱土金属迁移到溶液中去。因此,在迭加蚀变带内,富 Mg、Ca 的矿物, Mg、Ca 溶解了,同时磁铁矿也氧化了。当酸性加强,进一步可看到黄铁矿以磁铁矿的假象出现,磁铁矿中的 TiO_2 析出,变成白钛石。这个过程中,黄铁矿大量沉淀,在蚀变带外部形成的硅化岩圈内,可找到黄铁矿石英岩。 S^{2-} 、 H^+ 参加蚀变矿物是酸性阶段的特点。

II-2 晚期弱酸性阶段(酸性下降阶段),实际上,当大量硅化岩形成时, $^{\text{e}}$ 气液酸性已开始下降,当大量碱土金属进入溶液, S^{2-} 、 H^+ 含量在溶液内含量降低,溶液酸度改变才大量沉淀了 SiO_2 ,随后在硅化圈外形成泥化圈。 Al_2O_3 沉淀要晚于 SiO_2 。在迭加蚀变带,可以看到绿高岭石,这也说明溶液酸度降低,Fe、Ca、Mg 离子没有完全迁移(图版 III-6)。

III-3 晚期碱性阶段,主要在水的作用下,其次有 CO_2 ,极少量 H_2S ,在溶液前进的方向上,最外圈形成含碳酸盐的高岭石化的岩石和绢云母水云母碳酸盐岩(凝灰岩背景)。迭加蚀变带也出现大量绢云母、水云母化。这时溶液是趋于碱性的。如碱性长石在迭加蚀变作用下,辉石被 CO_2 分解,碱性长石亦变化不大,即使在形成绿高岭石、水云母的条件下,仍见有很多长石稳定着。当强烈绢云母、水云母化时,全部钾、钠长石变为绢云母、水云母和石英(图版 III-7)。它们的反应如下:



其次,在有 CO_2 存在的情况下,并且硬石膏溶解后,反应会按下式进行:



这些反应表明:硬石膏在水云母、绿高岭石等生成时的弱碱性条件下是稳定的;当硬石膏不稳定时,水云母也会被再次改造了。因此,常在外部泥化带的深处和暗色蚀变带迭加水云母、绢云母化的地段内可能找到明矾石。

后退蚀变作用,到了最晚期,在最深处可看到水云母-碳酸盐-方沸石平衡组合出现,这说明溶液趋于弱碱性阶段。

3. 蚀变作用过程的交代作用和蚀变物质成分的来源:

从蚀变作用的阶段和元素迁移情况看: I 阶段,以变质分异作用为主; II-1、2 阶段,具强烈的交代作用,元素在大范围内迁移和富集; III-3 阶段交代作用减弱。

由各蚀变岩带主要元素迁移的数量,也可看到交代作用的强度。以粗面安山岩为蚀变前背景岩石计算出单位体积内元素迁移量,按蚀变岩体积、体重即可求出每一蚀变岩带主要元素迁移总量。

这一计算有助于判断蚀变岩内物质成分的来源。

例如, SiO_2 迁移量的计算和硅化岩来源:先分别计算目前硬石膏岩、黄铁矿-硬石膏岩、硬石膏-辉石岩、辉石-碱性长石岩和辉石-更长石岩等岩带内 SiO_2 含量;然后,计算相

应体积的岩石背景的 SiO_2 含量,最后求两者之差,即为 SiO_2 迁移的量。经计算 SiO_2 迁移总量为 10.24 亿吨,可形成 4.13 亿立方米的纯硅化岩,但整个蚀变带内实际上只有体积为 3 亿立方米的纯硅化岩,所以, SiO_2 迁移量比所形成的纯硅化岩体积需要的 SiO_2 要多。这是因暗色蚀变带 SiO_2 的淋失,既可能形成纯硅化岩或以石英为主的岩石,也可以形成轻微硅化的岩石。如在高岭石岩、高岭石化岩石内形成 SiO_2 含量是高于背景值的。总之, SiO_2 迁移量的计算表明,主要蚀变带的上部及其周围的硅化岩来源于蚀变作用。

同样,计算铁在蚀变带的迁移、带人量表明,从矿区附近及其以下几百米或更深部蚀变带内带出的铁可能是铁的主要来源之一,即原岩经气液作用形成辉石-更长石岩为主的蚀变带带出铁,被气、液运移到成矿部位,形成矿体。同时硬石膏岩、硅化岩、高岭石岩和绢云母水云母碳酸盐岩等形成时也有大量铁的迁移,也可能是铁元素的富集因素之一。

当然不排斥另一种可能性:随着大量挥发组分进入蚀变带的同时,也携带火山岩浆源内的铁元素。

其它主要造岩元素,包括钙、镁、钾、钠的迁移量,也可用相似方法求出。钙、镁在暗色蚀变带广泛带人,钾钠在辉石更长石(碱性长石)岩带内明显带人。从整个蚀变带范围来看,它们的总量和原岩相比,有一部分钙可能是从比目前蚀变带还要深的地方带来的,另一可能,是挥发组分从火山岩浆源内带出钙等元素。

蚀变作用造成主要造岩元素的迁移,并成为成矿物质来源,是由于巨大的气液作用的结果,巨大的挥发组分参加到蚀变作用中来,为元素的迁移提供了有利条件。根据蚀变带出露规模进行计算,假如气液参与了蚀变作用而基本上未逸散到蚀变带之外去,那末,全部构成蚀变岩石的组成部分,最后算出:

SO_3 在全部蚀变带内加入量为 8.09 亿吨

P_2O_5 在全部蚀变带内加入量为 0.85 亿吨

S 在全部蚀变带内加入量为 1.35 亿吨

CO_2 在全部蚀变带内加入量为 1.413 亿吨

H_2O 在全部蚀变带内加入量为 1.2 亿吨

五、对蚀变相的分析

蚀变带的平衡组合的带状分布及其转化表明:建立一个平衡组合需有相应地确定的物理化学条件,如果物理化学条件改变将促进平衡组合的转化。这样,根据平衡组合所代表的物理化学条件的特征,我们引入蚀变相的概念。换句话说,要从温度、压力等方面阐述蚀变带的成因问题,一定要进行蚀变相的分析。先谈谈蚀变带的形成温度。

对蚀变带主要矿物:磷灰石、硬石膏和石英的测温(图 9)表明:在暗色蚀变带内,产于下部蚀变岩带的矿物比上部蚀变岩带的形成温度高;产于蚀变岩的交代充填脉(如辉石碱性长石脉)比岩石内的形成温度高;同一平衡组合内的矿物,按矿物生成顺序,形成温度逐步降低,如 94-726 样品内磷灰石—磁铁矿—硬石膏结晶顺序,他们形成的温度分别为 600°C , 487°C 和 468°C 。晚期的后退蚀变,迭加蚀变矿物生成温度逐步降低。早期蚀变矿物磷灰石和硬石膏,因后退蚀变出现的次生包体和晚期硬石膏的测温结果表明,它们形成的温度普遍降低。大致是 350° 至 150° (或更低),反应了后退蚀变和迭加蚀变的温度。

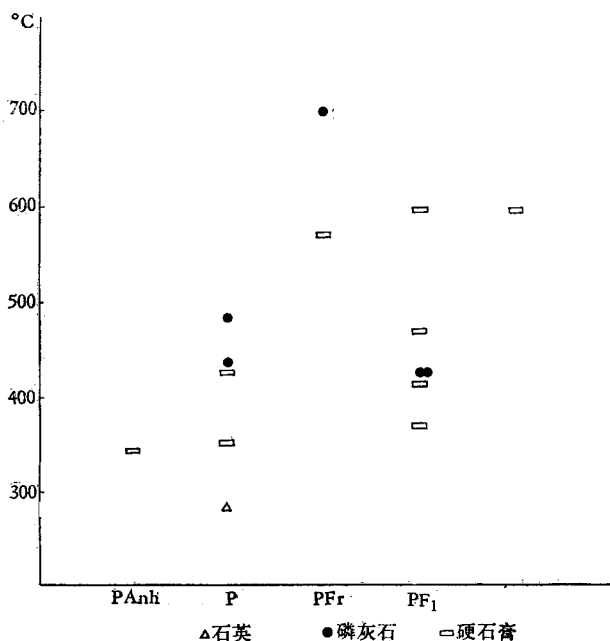


图9 各蚀变岩的矿物测温结果

P、Anh—辉石硬石膏岩；P—辉石岩；PFr—辉石碱性长石岩（除低于400°C一个为细晶岩外，其余脉状产出）；PF₁—辉石更长石岩。

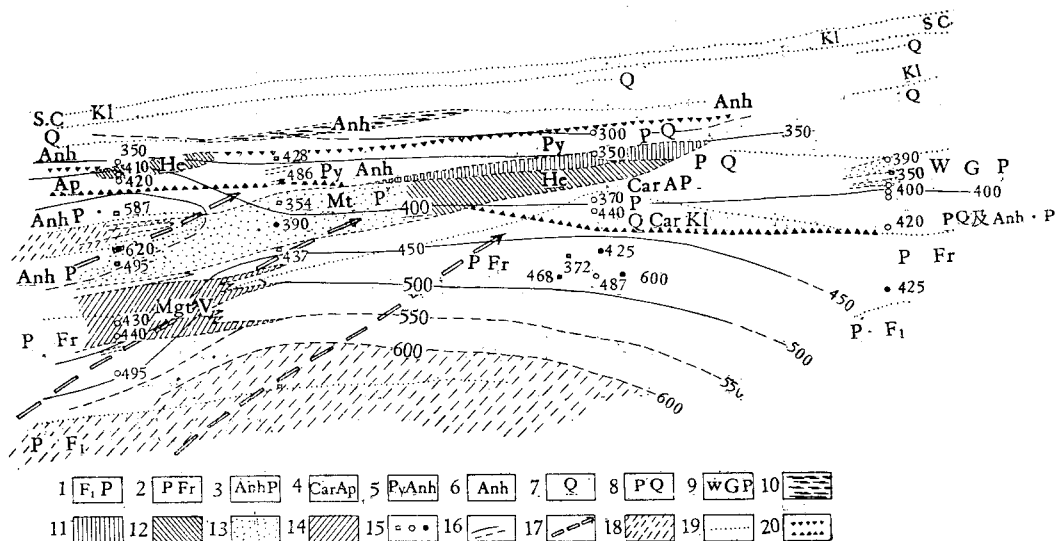


图10 磁铁矿形成时的等温线

1—PF₁—辉石更长石岩带；2—PFr—辉石碱性长石岩带；3—AnhP—硬石膏辉石岩带；4—CarAp—碳酸盐-磷灰石组合；5—PyAnh—黄铁矿-硬石膏组合；6—Anh—硬石膏岩带；7—Q—硅化岩带；8—PQ—硬石膏辉石岩带迭加硅化；9—WGP—矽灰石钙铁榴石辉石岩；10—硬石膏岩(矿)；11—黄铁矿化和含铜黄铁矿化；12—赤铁矿化；13—浸染状磁铁矿化；14—脉状磁铁矿化；15—分别为硬石膏测温结果，根据磁铁矿分析结果推导的温度和磷灰石测温结果；16—等温线(0°C)；17—推动气液移动方向；18—根据硬石膏、磷灰石测温获得的高温区；19—蚀变带界线；20—迭加蚀变带界线。

对磁铁矿的 TiO_2 含量,前面已做过分析。由磁铁矿中 TiO_2 含量推导的生成温度¹⁾得到磷灰石、硬石膏等测温结果的校正,证明这种推导是可行的,并依此绘了磁铁矿生成时期的等温线图(图 10)。该图表明(1)等温线基本与蚀变岩带界限一致。在此应说明:已有人用磁铁矿内 TiO_2 含量和生成温度来研究变质相²⁾。把麻粒岩相、角闪岩相和绿片岩相中的磁铁矿的 TiO_2 含量和生成温度作一统计,其结果见表 9。我们亦依 TiO_2 含量和生成温度作为划分蚀变相的标志, TiO_2 等值线、等温线与蚀变岩带界限一致,就是一个很好证明。本文所述辉石更钠长石岩带、辉石岩和硬石膏辉石岩带(包括矽灰石-钙铁榴石-辉石组合)。三个蚀变岩带(或蚀变岩)内按磁铁矿的 TiO_2 含量及由此推导的温度和磷灰石、硬石膏的温度结果亦列入表 9。图 10 及表 9 表明一个蚀变岩相应当有一个温度范围,硬石膏的形成温度可作为上述蚀变岩相形成温度下限,而蚀变岩相起始温度(辉石和长石的生成温度)要高得多,对全部蚀变岩相温度范围估计如下:辉石更长石岩为 700?—600℃;辉石碱性长石岩为 760—400(或 450)℃;硬石膏辉石岩为 550—350(或 400)℃。(2)等温线表明温度递增的方向指向了产生蚀变作用的气液来源,而递减方向表示气液移动的趋势或流动方向是由下向上,自西向东的。同时也说明蚀变带,除后退蚀变地区外,是前进的降温分带。(3)等温线表明,磁铁矿化期在辉石更长岩带、辉岩碱性长石岩带形成高温区,铁矿化区域是在降温区内。其原因可能是含铁的气液运移在主要通道上,富集时间较晚,于是在降温的条件下形成铁矿石。

表 9 变质相与蚀变岩带的磁铁矿 TiO_2 含量及生成温度

	磁铁矿的 TiO_2 (%)	磁铁矿生成 温度(℃)		磁铁矿的 TiO_2 (%)	按磁铁矿推导 的温度(℃)	磷灰石、硬石膏 测温结果(℃)
麻粒岩相	1.8—3.1	550—600	辉石更、钠长石岩带	1.5—3.25	430—515	372—600
角闪岩相	1—1.7	400—550	辉 石 岩	0.8—1.5	400—430	<570
绿片岩相	<1	<400	硬石膏辉石岩带	<1	<400	480—350

关于蚀变带形成的压力:静压力 P_1 不是主要的。其原因之一,从后退蚀变和迭加蚀变的较高温的蚀变岩到较低温的蚀变岩的分布状况,与深度(岩层厚度)不一致,蚀变带内 I、II 类平衡组合随深度的变化状况,说明深度反应出部分温度和压力的概念,但是气液流动趋向和侧向分带说明,深度大并不完全说明温度、压力高。其二,原岩是在大量携入 SO_3 、 P_2O_5 、 H_2S 、 CO_2 和 H_2O 等气液(流体)的环境中遭受蚀变的。其三,蚀变矿物形成时没有应力作用现象。虽有很多网脉构造,但多为气成矿物交代充填。脉之两侧有与脉内气成矿物成分一致的矿物分布。特别是沿裂隙的矿物分带现象证明:气液蚀变作用通过裂隙进行。气液活动没有引起围岩的位移现象,流体压力 $P_f < P_1$, 故 P_1 在蚀变过程的变化可不考虑。

以下我们根据挥发组分活动顺序和在各蚀变阶段内参加蚀变作用的数量多少,把蚀变作用形成时的压力 P_f 作一推断:

由参加蚀变作用的挥发组分顺序—— SO_3 、 P_2O_5 为主的活动阶段— H_2S 、 P_2O_5 、 CO_2 — CO_2 、 H_2O 阶段来看,本文假定是一次上升的混合成分的气体,从高温到低温,在不同物理

1) 磁铁矿的测温结果,与由磁铁矿的 TiO_2 含量推导的温度基本一致。

2) Wallace S. Pitcher and. Glenys W. Flinn (1965): Controls of Metamorphism.

化学条件下,不同挥发组分参与蚀变活动。另一方面,气液自下而上。自高压向低压方面运动,经过第1个蚀变岩带(辉石更长石岩带)、第2个蚀变岩带(辉石碱性长石岩带)、第3个蚀变岩带,直到最后蚀变带全部形成,在不同阶段内,挥发组分在和围岩不断反应的过程中逐渐消耗(形成气成矿物失去流体压力),最后流体压力不断降低。当气液前进能力没有了,蚀变带界限就不再扩展。为了具体分析每一阶段的流体压力,我们计算了每个阶段每个蚀变岩带内挥发组分的加入量。

在 I 阶段内,以 SO_3 , P_2O_5 为主,有 HF 参加。在高温情况下挥发组分,参与形成蚀变矿物的数量不多,但进入蚀变地段的气液数量很大。这时 P_f 最大。I-2 阶段内,开始有大量 SO_3 及 P_2O_5 参加到蚀变矿物中,在较高温形成硬石膏辉石岩带。剩余的气液向下一个蚀变岩带流动时, P_f 已明显下降,于是在 II-1 阶段内 P_2O_5 、 CO_2 、 H_2S 大量参加活动,而活动地段因 P_f 下降流动能力减弱,有一部分蚀变作用重迭在硬石膏辉石岩带。(迭加蚀变带)上,发育有硬石膏岩带、黄铁矿硬石膏岩带和碳酸盐磷灰石硬石膏岩带。到了 II-2 阶段,由于挥发组分大大减少,温度下降,进入以 CO_2 和 H_2O 为主的活动阶段。气液向上流动形成了硅化岩带和泥化带,参加蚀变作用的挥发组分较少。这时期气液活动还向蚀变带四周(迭加蚀变带)和深处活动(后退蚀变)。石膏-碳酸盐-高岭石组合的出现表明,温度可能降到 168°C (石膏去水反应温度)以下,多半是 CO_2 和水蒸气在起作用。在 II-2 阶段内深处出现后退蚀变,其原因可能由于降温,特别是深源火山期后热液来源处的岩浆冷却,造成深部低压,使晚期挥发组分活动地段向深部退缩,形成后退蚀变的逆向分带。

在 III-3 阶段,蚀变作用终期的 CO_2 和 H_2O 活动,可能是低温的水溶液。 P_f 很小,最终水溶液在外带停留下来不再前进,蚀变带到了顶界。而同期深部也仅仅是含 CO_2 的水

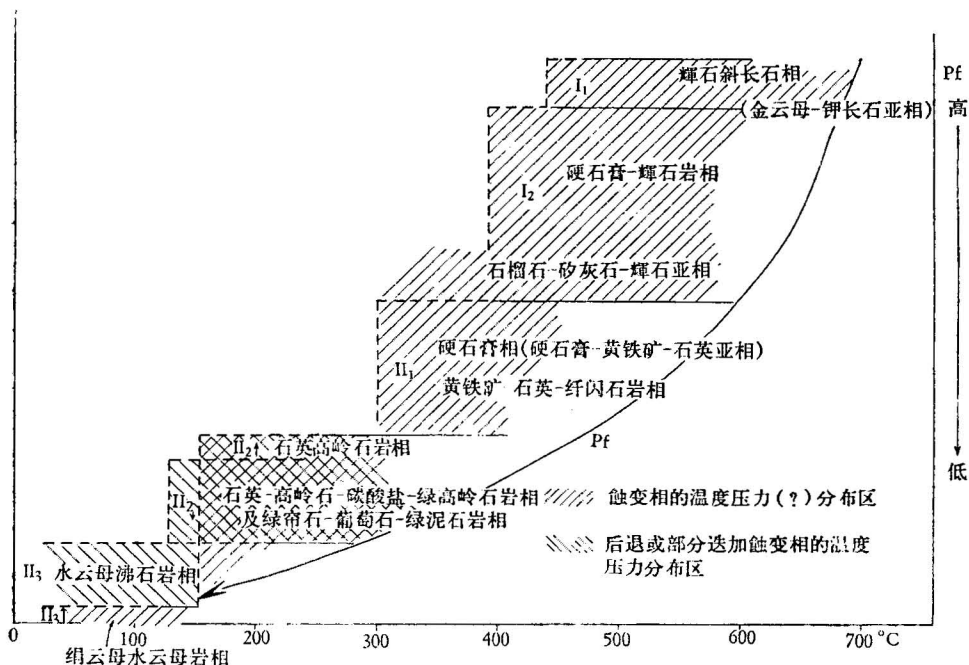


图 11 主要蚀变相的 P_f - T 示意图解

溶液作用,水云母、方沸石为主要蚀变产物。

在分析 Pf 的基础上,对比温度的变化,提出 $Pf-T$ 图解(图 11)。

根据温度和压力,即由高温高压(Pf)—低温低压所划分的蚀变相的顺序如下:

I-1 辉石更、钠长石岩相(包括辉石-更长石亚相,辉石钠长石亚相为主,顶部有金云母-钾长石亚相)。

I-2、硬石膏-辉石岩相(包括纯辉石岩亚相,硬石膏辉石亚相,矽灰石-钙铁榴石-辉石亚相)。

II-1、硬石膏岩相(包括硬石膏-石英亚相)和菱铁矿-石英-纤闪石岩相。

II-2、高岭石-石英岩相(上部)。

石英-高岭石-碳酸盐-绿高岭石岩相和绿帘石-葡萄石-绿泥石岩相(下部)。

II-3、绢云母-水云母岩相(上部)和水云母方沸石岩相(下部)。

应当指出:同一个 $Pf-T$ 条件下,由于挥发组分不同形成了不同的蚀变组合,如暗色蚀变带,既形成迭加蚀变又形成后退蚀变,这说明对蚀变分带系统作蚀变相的分析,应考虑包括温度、压力(流体压力)和挥发组分、气液的酸碱度及围岩成分等因素。

蚀变相命名方法采取大致和变质相命名方法相似的方法,蚀变相以典型的蚀变平衡组合的岩相命名。如辉石-更长石岩相。亚相命名采用平衡组合命名。如辉石-硬石膏亚相,矽灰石-钙铁榴石-辉石亚相等。

六、小 结

1. 通过蚀变分带的研究,可以确认本文所叙述的铁矿床属火山期后气、液交代矿床。磁铁矿、含铜黄铁矿和硬石膏等是火山期后气液蚀变作用的不同阶段的产物。

2. 蚀变岩和矿体内均可发现粗安岩和凝灰岩的交代残留构造或交代假象。特别是蚀变带内经常找到蚀变前岩石——粗安岩。这些事实证明:蚀变岩带主要部分是在粗安岩的背景上发育起来的。

3. 蚀变岩内含有大量火山喷气产物,由 SO_3 、 P_2O_5 、 CO_2 、 H_2S 、 S 和 H_2O 等常见挥发组分构成的矿物。如硬石膏、磷灰石、碳酸盐和黄铁矿等,甚至在硬石膏间隙内充填有自然硫。而且进入蚀变带的挥发组分总量极大。磁铁矿、辉石、碱性长石和硬石膏紧密共生。是火山期后气液活动阶段矿化和蚀变的特征。

4. 蚀变作用可划分为:1) 早期蚀变作用,形成暗色蚀变带。开始表现为蚀变分异作用(气体作用下的变质分异作用),继之在强烈的交代作用下形成了简单矿物的岩石。蚀变分异的典型岩石具斑杂构造,并出现大量交代充填脉。强烈交代作用,由深部经过气液作用带出的钙到了上部,形成硬石膏岩、硬石膏辉石岩。由深部经气液带出的铁,到了上部产生了铁矿化作用。铁矿的主要物质来源之一是取自蚀变围岩的。

2) 晚期蚀变作用,包括文内所叙述的后退蚀变、迭加蚀变和淡色蚀变作用。晚期,由于降温、气液性质的改变,硅、铝继续迁移和背景岩石不同等使蚀变岩复杂化了。例如,由于降温,高温蚀变矿物组合变为低温平衡组合;在暗色蚀变带外,粗安岩和凝灰岩背景上形成淡色蚀变,由深部迁移的硅铝等在这里形成硅化岩和泥化岩。

5. 蚀变岩的垂直分带是前进,降温分带。由下而上,由高温蚀变到低温蚀变,淡色蚀

变矿物代替暗色蚀变矿物是最常见的现象。在各蚀变岩带或平衡组合内,主要蚀变矿物——辉石、长石、磷灰石、碳酸盐、磁铁矿和黄铁矿的物性和伴生元素含量的规律性变化,反应了矿物生成条件的差异。后退蚀变地段,低温矿物平衡组合代换高温矿物平衡组合,属逆向分带。

6. 利用蚀变分带和蚀变矿物的特点,研究矿化与围岩蚀变关系,对于找寻深部隐伏矿体意义较大。还应指出早期暗色蚀变伴随磁铁矿化,晚期迭加蚀变伴随着对含磁铁矿的蚀变岩的改造,出现赤铁矿和黄铁矿化及与其共生的淡色蚀变矿物。

7. 早期蚀变,有没有升温过程的蚀变,低温蚀变矿物被高温蚀变矿物代替的现象? 通常很少发现。仅在个别地段看到硬石膏石英岩内有结晶晚的硬石膏,云母高岭石岩内有结晶晚的高岭石。所以,升温过程的平衡组合的转化现象可能没有稳定矿物保留下来。

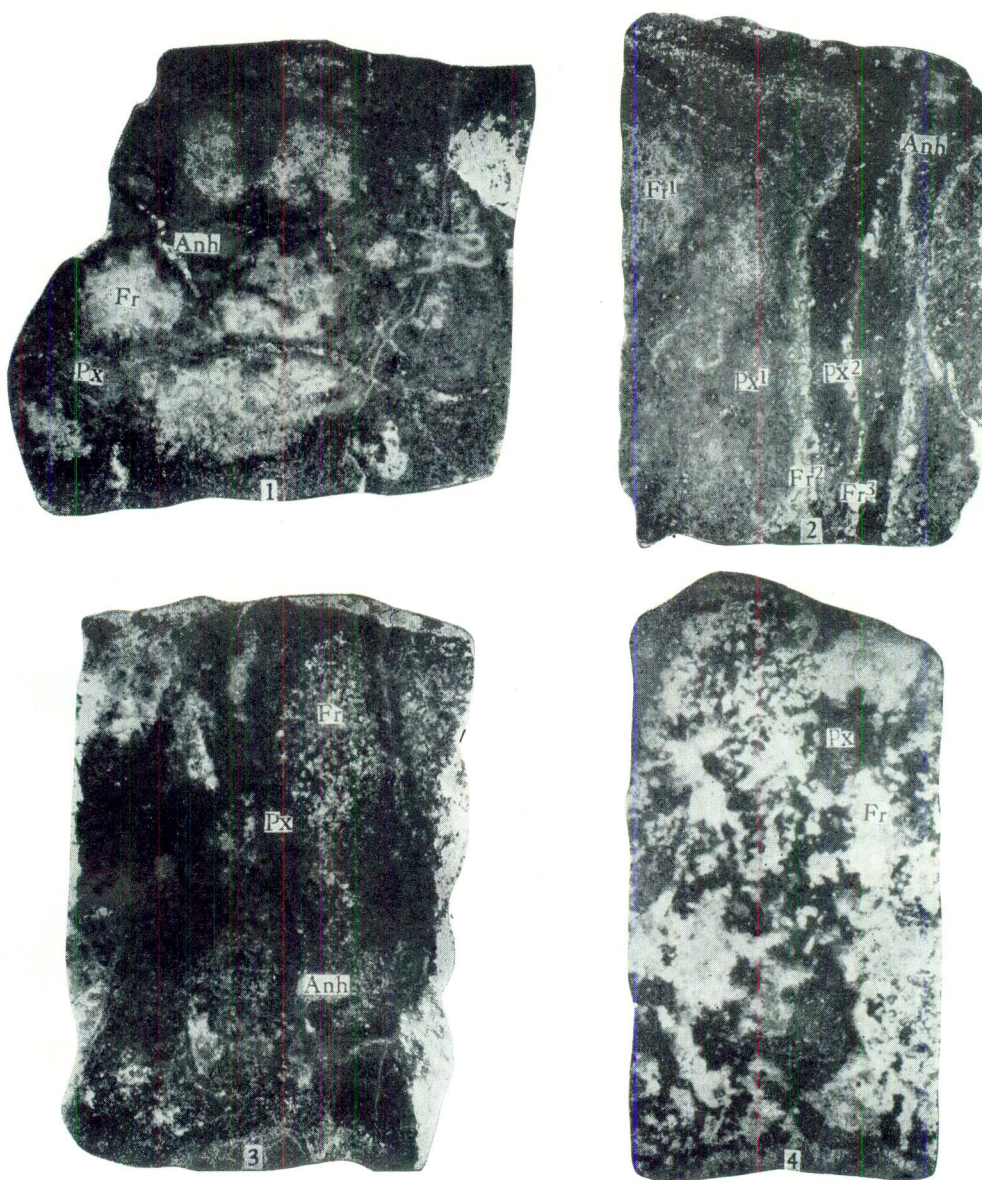
8. 火山期后气液蚀变和矿化作用主要发育于背斜范围内。蚀变带内广泛发育有裂隙脉;自下而上,顺次为无矿网脉,到了辉石碱性长石岩带,就析出磁铁矿,出现网脉状磁铁矿石,再向上过渡为浸染状磁铁矿石,且出现大量硬石膏黄铁矿脉。至于侧向分带是由于背斜构造伴生有裂隙带,它形成时所产生的低压空间,导致火山期后的气液从深处沿着通道,朝低压方向进入裂隙带内,向东、东南移动,形成蚀变侧向分带。

ON THE ZONING OF COUNTRY ROCK ALTERATION AND ITS GENESIS OF AN IRON DEPOSIT

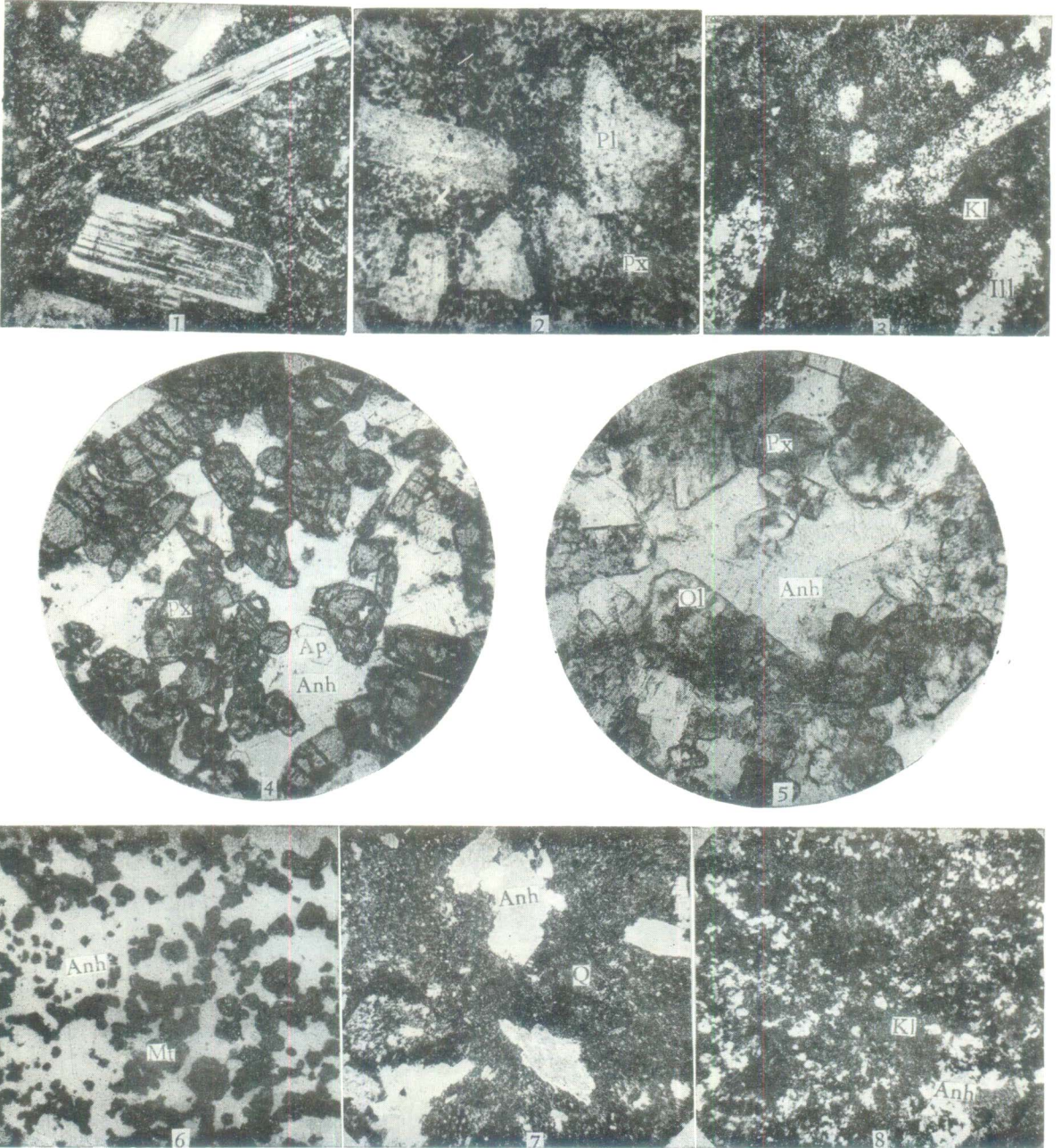
CHANG JUNG-HUA

(Abstract)

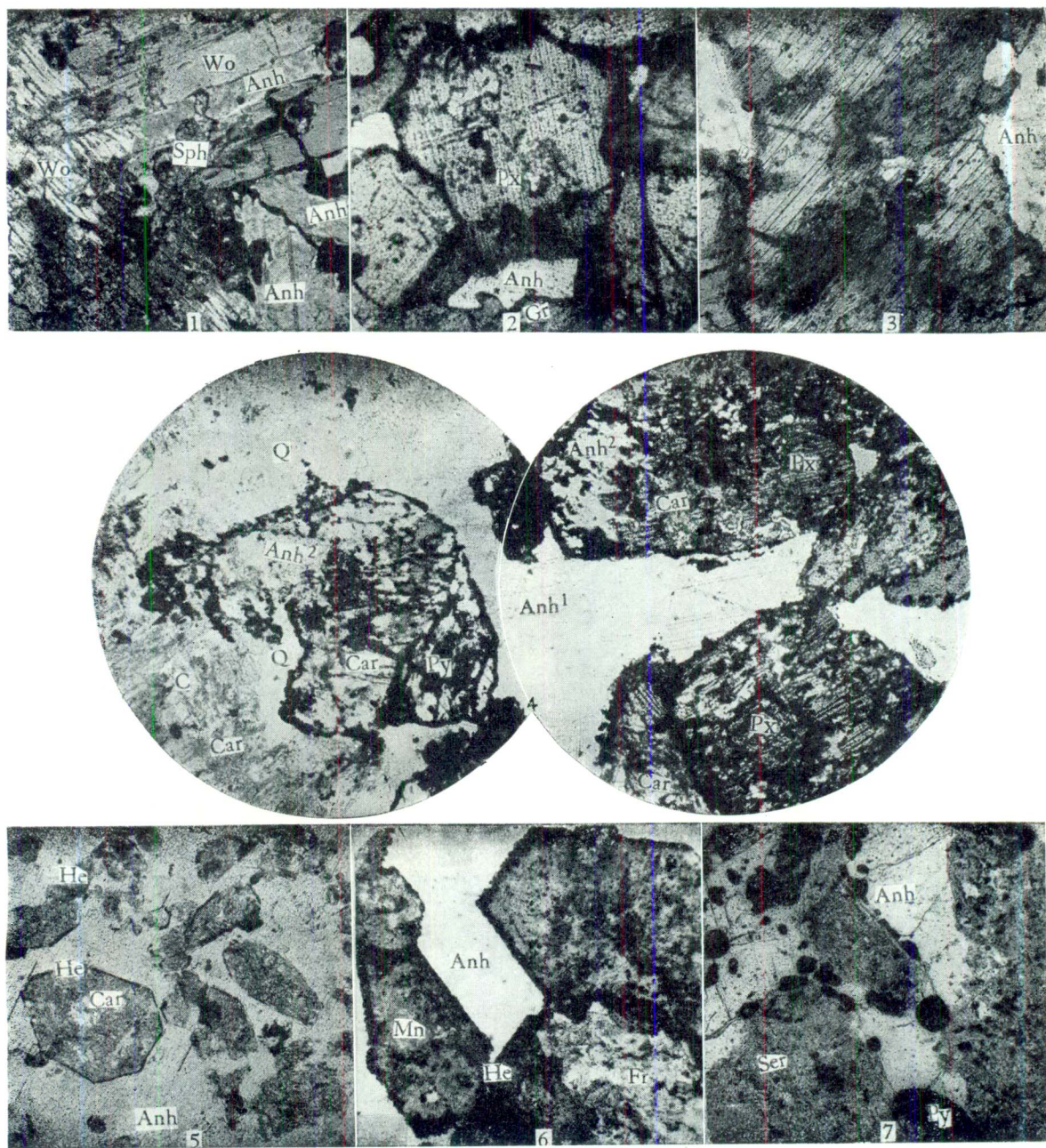
In this paper are given the characteristics of the vertical and lateral zoning formed by the pneumato-hydrothermal metasomatic alteration of the country rocks of an iron ore supposed to be deposited during post-volcanic action. According to the mineral assemblages present in a state of equilibrium and their transformation, there are several different kinds of alteration recognized i.e. melano-, leuco-, retrogressive and superposed alterations. The stages of alteration are accordingly defined. Based upon the evolution of the altered mineral assemblages, their chemical compositions and the data of mineral forming temperature as revealed by homogenizing void inclusions in certain minerals and geothermometer, the alteration phases are discussed and preliminarily established. The alteration zoning is believed to be of significance to mineral prospecting.



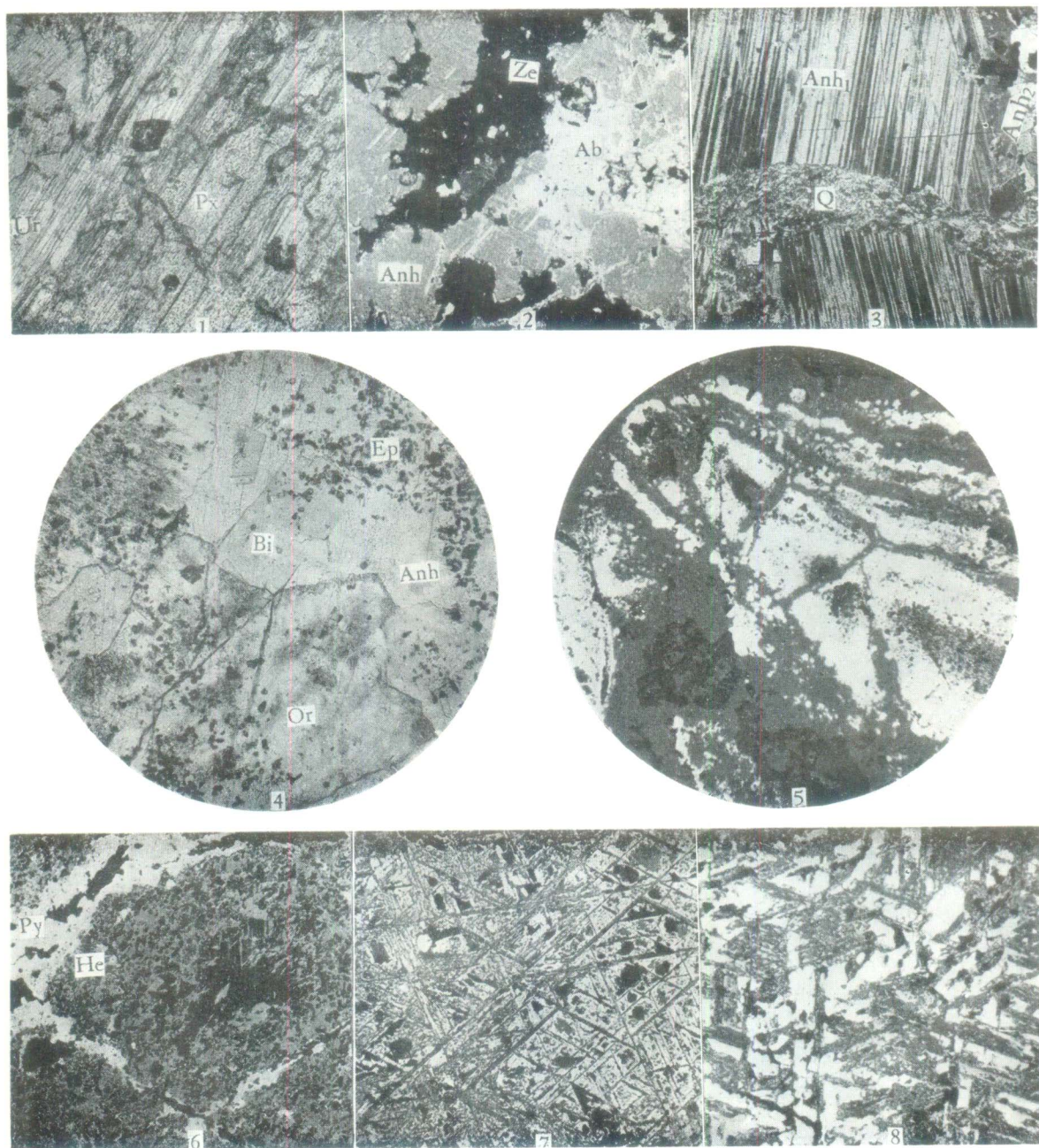
- 1—细晶辉石碱性长石岩。蚀变分异的第一步，在粗安岩背景上，出现绿色（暗色）细小变晶辉石（Px）与红色（淡色）碱性长石（Fr）集合体，分别集聚为斑杂构造。×6/7
- 2—细晶辉石碱性长石岩内沿裂隙两侧的矿物分带现象。脉旁出现斑杂构造；脉侧为碱性长石（Fr₂），脉内为辉石（Px₂）；脉中心是碱性长石（Fr₃）和硬石膏（Anh）。经鉴定：Fr₁ 为 An₂₂；Fr₂ 为 An₆；Fr₃ 为 An₀。×6/7
- 3—辉石碱性长石岩，蚀变分异第二步，沿隐约可见的裂隙内分布中、细粒辉石（Px），在裂隙之间为中、细粒碱性长石（Fr），裂隙中心为少量硬石膏。×2/3
- 4—辉石碱性长石岩。蚀变分异的第三步，中粒至粗粒的辉石和碱性长石组成不均匀斑杂构造。×4/5



- 1—粗安岩。斑状结构及交织结构。+，视野长度 $l = 1.84$ 毫米
2—粗安岩。原岩斑晶中长石已被碱性长石交代，细小辉石 (Px) 代替了基质。||， $l = 1.84$ 毫米
3—高岭岩。原粗安岩之斑晶多被水云母 (Il) 代替，基质多为高岭石 (Kl) 代替。+， $l = 1.84$ 毫米
4—硬石膏辉石岩。筛状变晶结构。||，视野直径 $d = 2.6$ 毫米
5—硬石膏辉石更长石岩。在自形辉石和结晶好的更长石 (Ol) 间隙生长粗晶硬石膏。||， $d = 1.12$ 毫米
6—磁铁矿硬石膏岩。磁铁矿 (Mt) 自形粒状，分布于硬石膏内，筛状变晶结构。||， $l = 1.84$ 毫米
7—硬石膏石英岩。硬石膏变晶较大，分布于细晶石英 (Q) 当中。+， $l = 1.84$ 毫米
8—硬石膏高岭岩。硬石膏结晶较好，高岭石 (Kl) 呈细小鳞片结构。+， $l = 1.84$ 毫米



- 1—榴石-硬石膏-矽灰石组合。自形矽灰石(Wo)晶间有硬石膏和少量榴石(Sph)。||, $l = 0.75$ 毫米
- 2—环带辉石,暗绿色环带长于辉石边缘,与钙铁榴石(Gr)和硬石膏共生。||, $l = 1.84$ 毫米
- 3—辉石的补钉状构造。辉石粗晶内,象“补钉”片状一样,颜色深浅不一。||, $l = 0.75$ 毫米
- 4—迭加蚀变中的辉石,起初被碳酸盐矿物(Car)、细粒硬石膏(Anh₂)和少量石英交代,后全被新矿物代替,其边缘析出黄铁矿。辉石外形依旧保留。与辉石共生的硬石膏(Anh₁)部分被石英(Q)和硬石膏(Anh₂)代替。||, $d = 2.5$ 毫米
- 5—硬石膏-辉石-组合迭加蚀变后辉石变为碳酸盐(Car),边缘析出赤铁矿(He)和少量石英保持辉石假象,硬石膏基本未变。||, $l = 1.84$ 毫米
- 6—硬石膏-辉石-碱性长石组合迭加蚀变后,辉石变为绿高岭石(M, N),析出赤铁矿保持辉石假象。硬石膏和部分碱性长石未变化。||, $l = 1.84$ 毫米
- 7—硬石膏-辉石-碱性长石组合迭加蚀变后,辉石变为绢云母(Ser)析出黄铁矿(Py),碱性长石亦绢云母化,保留辉石假象,而硬石膏未变化。||, $l = 1.84$ 毫米



- 1—辉石的纤闪石化,保留辉石假象。||, $d = 1.06$ 毫米
- 2—硬石膏-更、钠长石(Anb)组合的方沸石化(Ze)。+, $d = 2.6$ 毫米
- 3—粗晶硬石膏(Anh₁)被细晶石英和硬石膏(Anh₂)交代。+, $l = 1.84$ 毫米
- 4—硬石膏-金云母(Bi)-钾长石(Or)组合的绿帘石化(Ep)。||, $d = 2.6$ 毫米
- 5—辉石被黄铁矿交代,但仍留了辉石假象。||, $d = 1.06$ 毫米
- 6—黄铁矿硬石膏脉穿入磁铁矿粒间,使磁铁矿发生赤铁矿化。||, $l = 0.75$ 毫米
- 7—赤铁矿交代磁铁矿,显示了磁铁矿八面体之假象。||, $l = 0.75$ 毫米
- 8—赤铁矿和黄铁矿交代磁铁矿,显示了磁铁矿的八面体解理假象。||, $l = 0.56$ 毫米