

苏州阳山高岭土矿床中玻屑、 低温热液和蚀变矿物的发现以及对 矿床成因的新认识*

袁 又 申

(北京大学地质学系)

对苏州市阳东和阳西矿的高岭土成因问题的认识,存在着很大的分歧,主要有风化淋滤、次生淋滤、次生充填溶洞等成矿观点。作者在对该矿床的研究中,观察了大量的薄片及应用其它手段,获得了有关矿体的原岩和成矿作用的一些新证据。作者认为,成矿的原岩是火山碎屑岩、火山岩及少量中性(偏酸性)脉岩,阳西矿及阳东白善岭矿是低温热液蚀变形成的矿床。由于成矿期后的各种表生作用对矿体的改造,引起矿体边缘在矿物组成、矿石类型等方面发生了一些新的变化。

一、地质背景

阳东矿和阳西矿位于苏州市阳山的东、西两侧,矿体底板均为二叠系栖霞组大理岩化石灰岩。顶板略有差别,阳西矿为泥盆系砂岩,阳东矿为二叠系孤峰组砂页岩及中生代凝灰岩。阳西矿位于逆掩断层带内,而阳东矿的各矿体则孤立的赋存在某些喀斯特溶洞中,白善岭矿属于其中之一。受溶洞控制的矿体还包括阳西矿的5号、6号矿体。本文主要阐述阳西矿5号、6号矿体及阳东白善岭矿体(传统称为苏州土)的成因问题。

二、与苏州土的原岩有关的矿物和结构

1. 岩浆型磷灰石

苏州土中的磷灰石有二种形态:其一呈针状(图版 I, 1)、中正突起、一级深灰干涉色、平行消光、负延性、钼酸铵反应显示磷元素,见于阳西矿6号矿体;其二呈长柱状(图版 I, 2)。作者从薄片和淘洗的非粘土矿物中发现阳东矿普遍含有极少量的磷灰石。据白善岭矿负50米的501反井、505穿脉、508立井和井下507钻孔,共25个样

* 参加野外工作的还有冯墨林、钟洪祥工程师,以及邵益生、常勇和徐华同志。

品的研究表明：不论是角砾条纹状矿石，还是致密状矿石，都含有柱、锥、顶面均完好的六方长柱状磷灰石。以上两种形态均属岩浆型磷灰石的标型特征。

2. 高温石英和长石假像

白善岭矿区的北侧 507 钻孔样品内，含有大量长石假像及少量高温石英。扫描电镜能谱分析图象中，长石假像只显示出硅、铝元素，表明长石已完全转变成高岭石了。

3. 典型的火山碎屑——玻屑

苏州土中的玻屑具有特征的弧形内凹面、尖角状外形（图版 I，3），主要见于阳西矿 6 号、11 号矿体的含砂致密状矿石中。它的存在有力地证明了该矿体的原岩是细粒火山碎屑岩——凝灰岩。

4. 其他火山碎屑——各种岩屑

在角砾条纹状矿石内，发现了沉积岩岩屑和火山岩岩屑，前者由微粒石英砂岩组成，岩屑大小为 $3 \times 10\text{mm}$ ，边缘呈熔蚀结构（图版 I，4）；后者包括玄武结构假像和玻粒结构。玄武结构的细长斜长石微晶呈三角架状（图版 I，5），其矿物组成已发生了改变。玻粒结构由非晶质玻璃组成，裂纹围绕着微小气孔呈放射状散开（图版 I，6），使玻璃质被切割成多角形或其它不规则形状。典型的玻粒结构见于酸性熔岩表层的玻璃壳，说明该角砾来自酸性熔岩表层。

5. 奇特的角砾外形

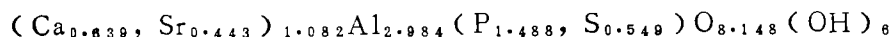
角砾条纹状矿石的角砾大小不等，大的直径约 6 公分，小的只有几毫米。角砾外形有撕裂状、细条状、内凹弧形等。大角砾的周围往往分布着许多小角砾。更值得注意的是，某些角砾角尖、细长（图版 I，7），其长宽比大于 40—50：1。假如该角砾从一定高度坠落，块体互相碰撞，对于硬度小、性脆易断的高岭土不可能保持如此细长的外形。显然，该角砾不是次生堆积的产物。

综上所述，苏州土的原岩以火山碎屑岩为主，其次为火山岩，及少量中（偏酸）性脉岩。火山碎屑岩及火山岩在堆积过程中，有时出现水平的韵律性“层理”。例如阳西矿 6 号矿体的局部地段存在着极薄的韵律层，在一公分的厚度内可以有十多层韵律层。玻屑和针状磷灰石在韵律层内略呈定向排列。

三、与苏州土的成矿作用有关的矿物及现象

1. 纤维状铈磷钙铝矾的发现

铈磷钙铝矾呈纤维状球粒集合体，浅黄色，少量为浅褐色，双目镜下呈球粒状及不规则粒状（图版 I，8），偏光显微镜下呈十字球粒消光（图版 II，1，2）， $N_o = 1.604$ ，一级灰干涉色，负延性，扫描电镜下球粒边缘具有纤维状结构（图版 II，3）。其晶体化学结构式如下：



不同颜色的球粒，同一球粒不同的部位， $\text{Sr} : \text{Ca}$ 及 $\text{P} : \text{S}$ 的比值都有差异。铈元素的含量浅褐色球粒比浅黄色球粒高。 Sr^{+2} 和 Ca^{+2} 的平均比值为 2：3，而球粒中心的比值显著减小，球粒最边缘的比值比中心略有增加，球粒的整个中间部位，其比值明显的

提高,接近1:1。至于 P^{+5} 和 S^{+6} ,其平均比值约为3:1,球粒中心磷含量成倍的增加,其比值为7:1,球粒的整个中间部位,硫含量增加,其比值减小为2:1。

纤维状锶磷钙铝矾采自白善岭矿区北侧负50米坑道507钻孔中,孔深24米,矿石为含黄铁矿高岭土。该样品除了高岭土化长石外,并有极少量六方双锥高温石英,表明该矿石的原岩为中(偏酸)性脉岩。

锶的地球化学行为表明,热液阶段锶的含量增加,可形成一些稀有的复杂磷酸盐矿物。从锶磷钙铝矾的元素组成、纤维状结构、以及细脉状和囊状等特征,也说明锶磷钙铝矾的形成与热液活动有关。

等离子发射光谱测定的结果表明,白善岭矿区中部和南部的角砾条纹状矿石内,锶元素的含量异常高。由于锶的迁移能力很差,这就进一步说明,与锶元素活动有关的热液遍及整个白善岭矿区。

2.长板状白铁矿的发现

白铁矿的颜色类似黄铁矿,然而其形态与黄铁矿完全不同,即晶粒细小,晶形完好,呈长板状(图版I,4),由斜方双锥和斜方柱组成。白铁矿见于各种热液矿床中,它往往是低温成矿阶段的产物。

3.炉渣状黄铁矿及自形晶黄铁矿

白善岭矿体内存在着两种形态的新鲜黄铁矿:其一,晶粒内镶嵌着高岭石矿物,淘洗后呈现炉渣状外貌(图版I,5),多数不具晶形;其二,晶形完整,以粒状聚形晶为主,由五角十二面体,立方体和八面体组成,少数为单晶。显然,晶形的有或无,晶粒是否镶嵌高岭石,分别代表着二个形成阶段。炉渣状黄铁矿是原岩中含有的黄铁矿,而自形晶黄铁矿是原岩向高岭石转变的过程中新生的,在角砾边缘和黑色条纹中黄铁矿自形晶数量较多,这也表明与热液活动有关。风化淋滤观点的基础是“黄铁矿被氧化”,显然与白善岭矿的新鲜黄铁矿存在是有矛盾的。

4.玻屑的脱玻化程度不同

阳西矿内所发现的玻屑,只有矿区南部负25米的玻屑仍然保持着非晶质结构。位于其北侧的玻屑,包括浅部和深部(负58米)的玻屑,均已完全脱玻化为纤维状和粒状的石英集合体。能谱分析表明,除了主要元素硅以外,还含有少量钾和钙。这三种元素的组合反映了硅来源于同岩浆有关的火山玻璃,而不是淋滤的硅质胶体。

同在一个矿区内的玻屑,其结晶程度的高低意味着什么呢?

据Mizutani(1970)研究表明,非晶质氧化硅→方英石(玉髓)→石英,处在0℃条件下,这个转变需要 10^9 年;如处在温度100℃和压力100巴的条件下,只需要 10^6 年。这表明,在相同的时间内,结晶程度高的,反映其形成环境的温度亦高。阳西矿内,脱玻化的玻屑位于非晶质玻屑的北侧及深处,反映由南向北,由浅向深处存在着温度增加的趋势,在原岩向高岭土转变的过程中,曾出现过异常的热源,该热源位于阳西矿的北侧深部。

5.蠕虫状高岭石呈脉状和浸染状

对于同一种矿物,温度、压力、介质成分及其它因素都影响着它的结晶程度。蠕虫状高岭石的产状表明,热液是沿裂隙活动成矿的。

综上所述的事实证明,无论是白善岭矿体,还是阳西矿5号、6号矿体,都是热液作用下形成的,更可能与低温热液活动有关。以白善岭矿体为例,其形成过程是:当富含硫及少量磷等元素的低温热液进入到白善岭矿区的火山碎屑岩和脉岩裂隙中,由于近地表游离氧充分,低温热液中所含有的硫被氧化为 S^{+6} ,出现 SO_4^{-2} ,热液因变为酸性而对高岭土矿的原岩及其围岩发生强烈的酸蚀作用,致使原岩和其围岩中的锶、钙、钾、铝等析出。由于锶元素是迁移能力很差的元素,不能远离原岩,就近形成纤维状锶磷铝钙矾。与此同时,硫、铝和钾结合形成了明矾石。原岩由于二氧化硅部分带出,三氧化二铝和二氧化硅的比值提高了,使其发生强烈的高岭土化,并且在热液活动的通道上,形成结晶程度高的蠕虫状高岭石。在还原条件下,低温热液中的硫形成了白铁矿和黄铁矿自形晶。

据上述事实的分析,作者认为,充填溶洞的白善岭矿及阳西矿5号、6号矿体的原岩是火山碎屑岩、火山岩及少量脉岩,它们在富含硫(磷)等成分的低温热液作用下,蚀变形成高岭土矿。

四、成矿期后的变化

苏州土自中生代成矿至今,矿体叠加了复杂的地质作用,主要有次生崩塌、高岭石类矿物的溶解和水化、蒙脱石的交代等作用。由于对这些现象的不同认识,导致了对高岭土成矿作用的不同观点。

1. 崩塌作用

火山碎屑岩和火山岩充填喀斯特溶洞并蚀变成矿后,其围岩——石灰岩的溶解作用并未停止,它使高岭土矿体的边缘和底部与围岩之间发生了裂隙,并不断扩大,致使该处出现局部的崩塌,形成次生的碎屑角砾状矿石。该矿石主要分布在矿体的边缘及下部,这就是其成因的依据。

2. 蒙脱石交代高岭石类矿物

这种作用主要出现在阳西矿5号、6号矿体的边缘及深部。同一矿体,浅部负25米由7埃埃洛石和高岭石组成,深部负58米则转变为以蒙脱石为主。蒙脱石往往出现在同围岩——石灰岩的接触带中,远离接触带则保留更多的高岭石类透镜体残余。偏光显微镜下,可见蒙脱石呈脉状或蚕食状,高岭石呈孤岛状,显示蒙脱石是交代的新生矿物,而高岭石则是交代残余物。对蒙脱石粘土所含的交代残余物——白斑进行电镜观察,可见白斑仍由埃洛石和高岭石组成,但其个体变小了,更重要的现象是埃洛石的套管减少了,并出现了弯曲(图版II, 6)现象。高岭石在73000倍透射电镜下出现边缘缺口或中空状态(图版II, 7)。电子衍射表明,多数边缘缺口或中空的高岭石已非晶质化而不显示图象。上述现象说明高岭石和埃洛石都具有明显的溶蚀现象。

化学成份表明蒙脱石的阳离子与围岩成份的一致性。5、6号矿体内9个样品的粉晶X射线衍射分析结果,蒙脱石的衍射角 $2\theta = 5.7^\circ - 5.8^\circ$,换算成C轴的面网间距, $d_{001} = 15.5 \text{ \AA} - 15.3 \text{ \AA}$,表现出钙蒙脱石的特征峰。蒙脱石基质与交代残余物——白斑的化学分析(见表1)表明,基质中钙离子明显地多于白斑,而钠离子略有减少。显然,围岩对成矿期后新出现的钙蒙脱石具有控制作用。由于粘土属于不透水层,地下水只能

在其边缘与围岩接触地带流动,因此,钙蒙脱石的分布具有局限性。

表1 化学分析结果(重量%)

Table.1 The result of chemical analysis (Weight %)

样品编号	分析部位	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
583-10	白色斑块	42.50	33.50	0.48	0.14	0.51	0.63	0.03	0.06
583-10	粉色基质	46.20	29.23	0.27	0.18	1.21	1.28	<0.01	0.06

五、结 论

关于苏州阳东白善岭矿及阳西矿5号、6号矿体的成因的结论:

1.原岩以中—细粒火山碎屑岩为主,火山岩及中性脉岩其次。

2.原岩经过低温热液蚀变转变成高岭土矿,其最初的矿物组成主要是七埃埃洛石和高岭石。

3.成矿期后,苏州土经历了多种复杂的地质作用,部分地改变了矿物组成和矿石结构,其中最主要的是局部崩塌以及蒙脱石交代高岭石和埃洛石;其次是高岭石溶解,七埃埃洛石水化为十埃埃洛石等现象。这些变化主要与矿体边缘和下部的地下水循环有关。因为当地下水偏碱性($\text{pH}=7-8.5$)时,仍然含有一定浓度的侵蚀性 CO_2 ,在地质历史时期,这种浓度的侵蚀性 CO_2 既可以溶解石灰岩,使围岩的岩溶作用继续进行到现在,又可以使高岭石等逐渐溶解到消失。这种偏碱性的环境对钙蒙脱石的形成则是有利的介质。

作者在研究工作中承蒙崔文元、任磊夫、邵宏翔、王凤珍、刘如曦、贾克华、薛佳、李芳桂等同志的帮助,初稿经冯钟燕同志审阅并提出宝贵的意见,在此一并致以谢意!

(收稿日期 1982年8月7日)

参 考 文 献

- [1] 陶维屏, 1966, 华东高岭土矿床地质特征及成因, 地质论译, 第24卷, 第3期188—196
- [2] 夏铮1981, 苏州阳西风化型高岭土矿物的形成与演化, 地质科学第4期368—375
- [3] 北戴河冶金地质学院1981, 现代成矿理论及勘查地球化学汇编, 冶金出版社
- [4] Velde, B. 1977, Clays and Clay Minerals in Natural and Synthetic Systems, Developments in Sedimentology, 21, Amsterdam-Oxford-New York, 28—29

DISCOVERY OF VITROCLASTIC ASH AND MINERALS OF LOW-TEMPERATURE HYDROTHERMAL ALTERATION OF YANGSHAN KAOLIN DEPOSIT, SUZHOU, AND NEW UNDERSTANDING OF ITS GENESIS

Yuan Youshen

(Department of Geology, Peking University)

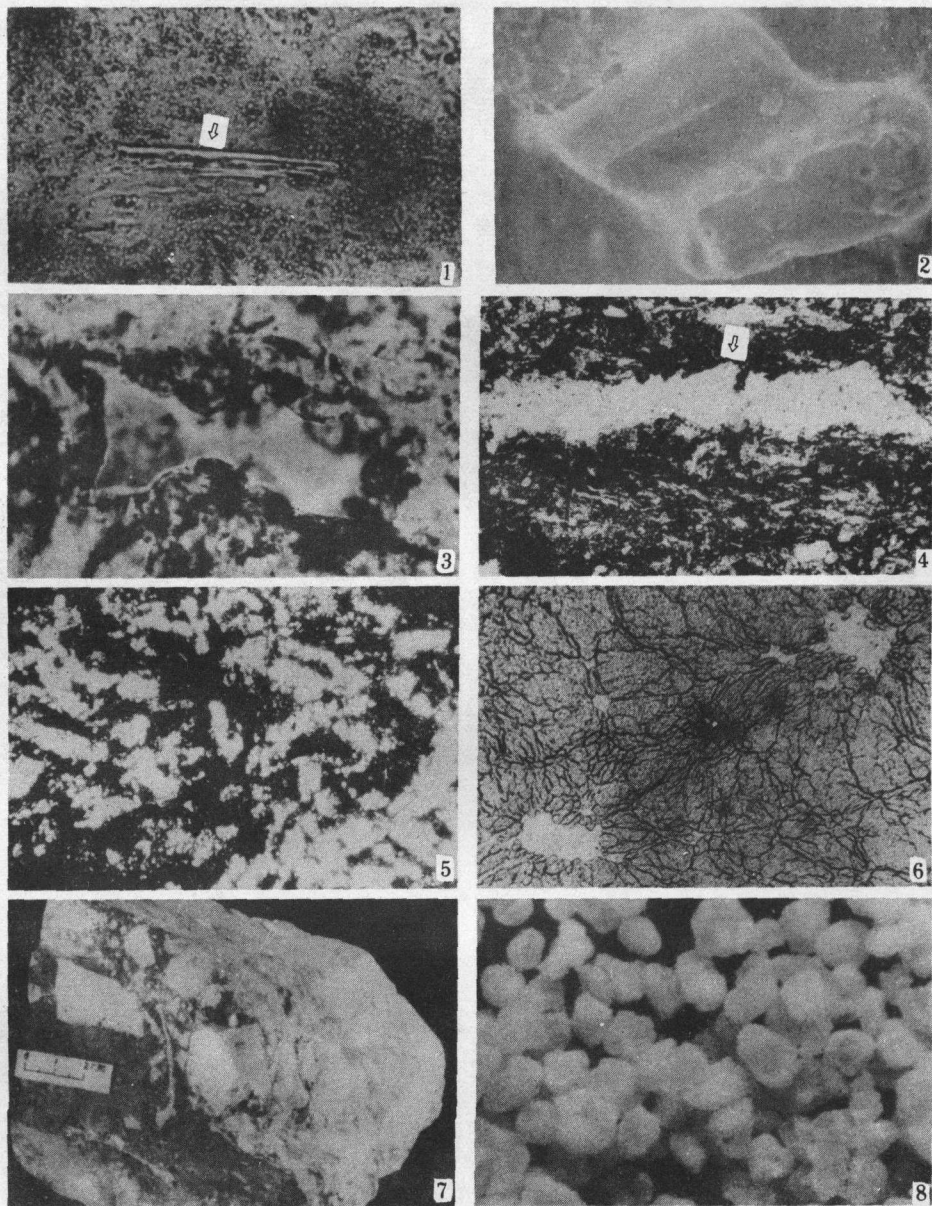
Abstract

In the study of the so-called "Suzhou clay" of the filling karst cavern in Yangshan kaolin deposit, some new evidences have been found.

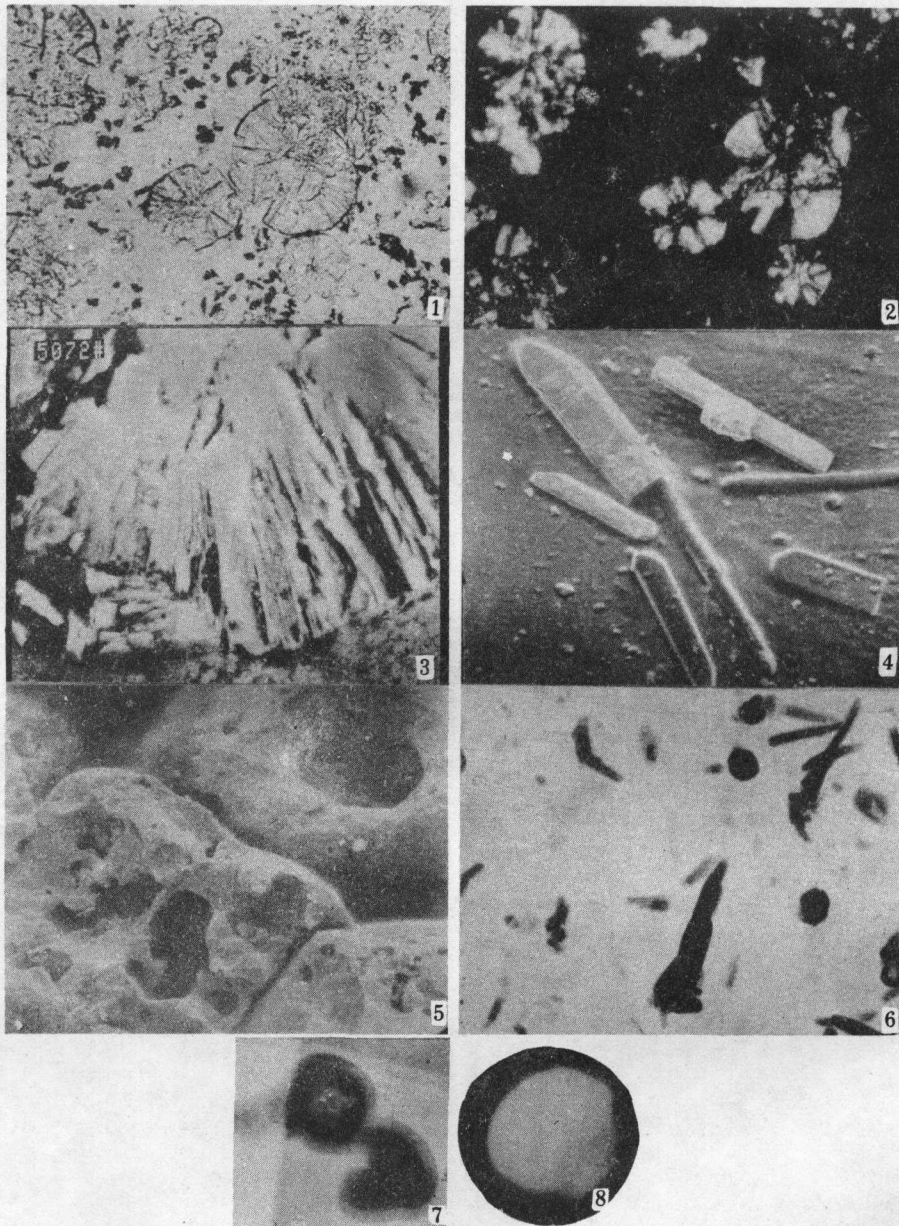
1. The minerals and texture related to the recovery of the primary rocks include apatite of magmatic type, pseudomorphic feldspar, high-temperature quartz, vitroclastic ash, varieties of litharenites and strange shape of breccia. The Baishanling kaolin deposit contains few apatites which are long prisms with well-developed prismatic, pyramidal and top surfaces. There are needle-apatites in the No. 6 ore body in the west of Yangshan, which are associated with amorphous vitroclastic ash, and both of them show orientation arrangement in the kaolin ore with very thin cyclothem. The gravels consist of varieties of litharenites, such as very fine sandstone litharenite with corrosion margin and volcanic litharenites with glassy granular texture or pseudomorphic basaltic texture, etc.

2. The minerals and phenomena related to mineralization are characterized by (1) the fibrous strontium woodhouseite, whose structural formula is $(Ca_{0.639}, Sr_{0.443})_{1.082}Al_{2.984}(P_{1.485}, S_{0.549})O_{8.148}(OH)_6$, occurring as fine veined spherulite aggregates; (2) marcasite, with fine crystal and long plate consisting of rhombic dipyramidal and rhombic macroprisms, is usually recognized as low-temperature hydrothermal mineral; (3) there are two types of fresh pyrites, one of which is fine crystal with well-developed crystal face, and showing combination form, and the crystal of another one contains kaolin and pyrite which shows madisonite shape after being washed; (4) kaolinite with myrmekitic structure occurs as fine veinlike or impregnation shape. The above-mentioned minerals and textures indicate undoubtedly that the primary rocks of "Suzhou clay" are volcanoclastic rocks, volcanic rocks, and a few of intermediate (weak ac-

- idic) vein rocks. "Suzhou clay" belongs not to leached type, nor to leaching-depositional type, nor to secondary filling type, it is mineralized by the low-temperature hydrothermal alteration of the primary rocks. Other phenomena, such as the occurrence of Ca-montmorillonite, the kaolinite being solubilized, the hydration of 7 Å halloysite, are all secondary alterations of the post-mineralization period, and are related to the circulation of weak alkaline underground water on the edge of the ore body.



1. 针状磷灰石, 阳西 6 号矿体, 251-1, 单光, D 短边=0.12mm。2. 长柱状磷灰石, 白善岭矿, 508-2—扫描电镜。
3. 非晶质玻屑, 阳西 6 号矿体, 251-1, 单光, D 短边=0.12mm。 4. 熔蚀状微粒砂岩屑, 白善岭矿, 501-2, 单光, D 短边=1.77mm。 5. 火山岩屑 (具玄武结构), 白善岭矿, 501-2, 单光, D 短边=1.77mm。 6. 带气孔的玻粒结构, 白善岭矿, 501-7, 单光; D 短边=0.54mm。 7. 含棒状高岭土角砾的矿石, 白善岭矿, 501-2。 8. 纤维状锶磷铝钙矾的实体像, 双目镜下, $\times 140$, 角上颗粒为 $\times 525$ 。



1. 单偏光下纤维状磷铝钙矾, $D_{短边}=0.54\text{mm}$ 。 2. 正交偏光下纤维状磷铝钙矾, $D_{短边}=0.54\text{mm}$ 。 3. 扫描电镜下纤维状磷铝钙矾, $\times 1000$ 。 4. 白铁矿, 扫描电镜, 白善岭矿 505—13。 5. 炉渣状黄铁矿, 扫描电镜, 白善岭矿。 6. 交代残余的白斑中的高岭石和埃洛石, 阳西 6 号矿体, 583—10, 透射电镜, $\times 26000$ 。 7—8 图 6 中溶蚀高岭石放大, $\times 73000$ 。