第46卷 第2期
1966年5月

地 质 学 报
ACTA GEOLOGICA SINICA

Vol. 46, No. 2
May., 1966

一种含金紅石“石榴子石角閃石岩”的初步研究

刘 源 駿

金红石矿床一般与区域变质形成的榴辉岩体有关。以往作为一种因接触变质作用形成的含金红石石榴子石角闪石岩作为矿床论述，尚未见过报导。作者对此类岩石作了初步研究和探讨，现介绍于后，供读者参考。

本文是在夏湘蓉总工程师指导下完成的。贝志达、愈惠隆、王作金等同志提出了不少宝贵意见。有些原始资料为当地地质队供给，在此致谢。

一、区域地质概况

该金红石矿区位于一地盾的边缘。区内分布有太古界结晶片岩、元古界片岩及大理岩，其北部出露有大片、时代较新的黑云母花岗岩；区内发育着呈北西西向，延长达数十公里的近乎平行的深大断裂，断裂附近断续发育着大小不一、形状各异的辉长辉绿岩岩体，构成一个长120公里、宽70公里的基性-超基性岩带［图1］。

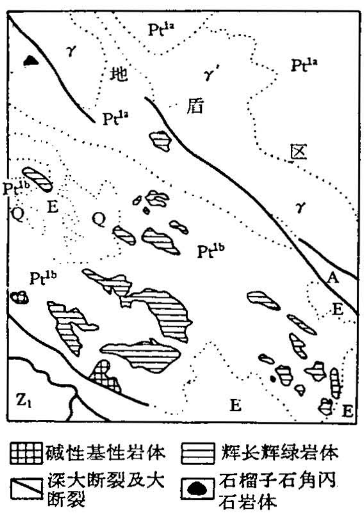


图1 区域地质示意图

Q: 第四系; Pg 第三系; Pt^{1b}. 石英片岩，绢云母片岩; Pt^{1a} 白云母石英片岩夹大理岩; A 白云母斜长片麻岩，石英片岩; r 黑云母花岗岩; z 震旦系。

根据岩石种类的不同，该岩带由北向南大致可分三个亚带：

1. 超基性-基性岩亚带　分布在岩带的北缘，辉长辉绿岩成岩株状产出，并有晚期橄长岩、纯橄岩的侵入。含金红石“石榴子石角闪石岩”即赋于此带中。

2. 中浅成基性岩亚带　分布于岩带的中部，由一系列呈北西西向的辉长辉绿岩岩群构成。

3. 碱性-基性岩亚带　分布于岩带的南部，此带基性岩体由于受碱性交代而形成霞石正长岩、霓霞正长岩及英碱正长岩等。

二、含金紅石“石榴子石角閃石岩”岩体的主要地质特征

含金红石“石榴子石角闪石岩”岩体（以下简称岩体），呈岩株状产于北西西向深大断裂与次一级北北西向断裂的交叉处，并侵入于元古界下部石英绢云母片岩中，出露面积达14平方公里。在岩体的隆起部位有橄长岩及纯橄岩岩体的侵入［图2］。

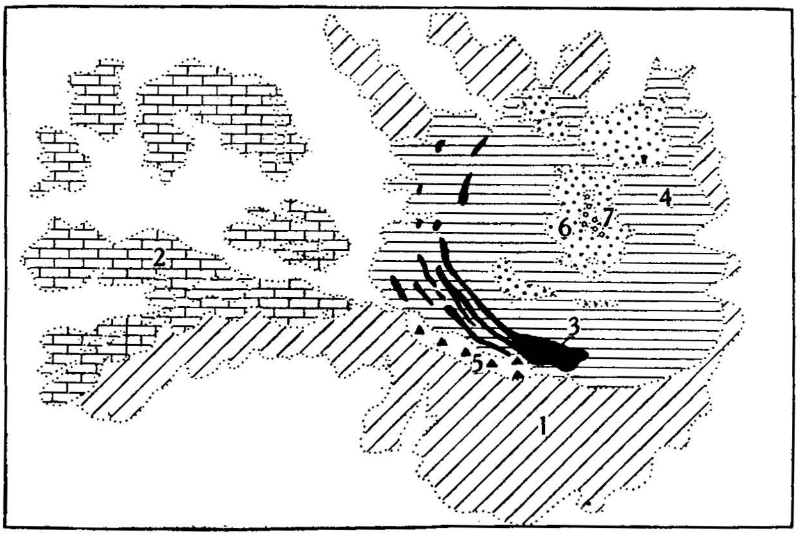


图 2　岩体地质略图

1.石英绢云母片岩；2.大理岩；3.角闪石岩及石榴子石角闪石岩；4.角闪石钠黝帘石岩；5.钠黝帘石岩；6.橄榄岩；7.纯橄榄岩。

岩体是辉长辉绿岩经角闪石化、钠黝帘石化、石榴子石化等交代而成。岩体主要为角闪石钠黝帘石岩，次为钠黝帘石岩、角闪石岩以及石榴子石角闪石岩。含钛较高的角闪石岩及石榴子石角闪岩沿着环状裂隙单独分布于岩体的边部。其中常见有直径由数厘米到数十厘米之间大小不等的角闪石岩团块。这种团块可能是岩浆物质在冷凝过程中铁镁矿物局部聚集形成的[图 3 (a)，(b)][3]。

岩石的颜色随角闪石含量增加而变深，钠黝帘石岩常呈黄灰色，角闪石钠黝帘石岩为灰绿色，角闪石岩往往为深绿色或黑色，而石榴子石含量大时则形成红色团块。

岩体除边部具片麻状构造外，其余均为明显的变余嵌晶含长结构和辉长辉绿结构[图版 I-1]。

组成岩体的主要造岩矿物为普通角闪石、钠黝帘石和石榴子石，三者之和往往占岩体中矿物总数的 90% 以上。此外，还有少量金红石、钛铁矿、黄铁矿、黄铜矿、孔雀石、褐铁矿以及微量的磷灰石、尖晶石、锆石、榍石等矿物。

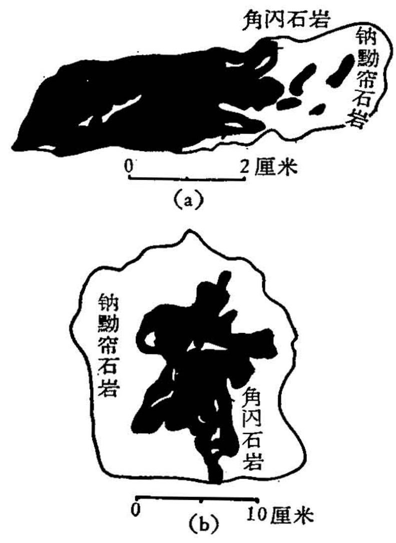


图 3　角闪石岩小团块

岩体中主要造岩矿物含量及其化学成分见表 1、2。

现将主要造岩矿物及与岩体的矿化关系密切的矿物概述如下：

角闪石有两种：一是早期形成的角闪石，粗粒，直径约 5 毫米，晶形一般较完整，柱

表 1　各类岩石主要造岩矿物含量表(%)

岩石名称＼矿物名称	角闪石	石榴子石	钠黝帘石	金红石	钛铁矿	榍　石
钠黝帘石岩	6.5	2	21	—	—	—
角闪石钠黝帘石	48.21	6	29.8	1	1.5	1
角闪石岩	82	3.4	1	0—1	1	<1
石榴子石角闪石岩	71.21	10.61	3.14	2.78	2.3	—

表 2　各类岩石化学成分含量表(%)

岩石名称＼化学成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	MnO	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	H_2O	合计
钠黝帘石岩	50.93	24.17	4.36	12.45	0.75	0.04	10.21	0.75	0.071	0.26	2.94	3.10	98.43
角闪石钠黝帘石岩	46.03	18.03	2.87	0.85	2.33	0.081	9.69	5.21	0.104	0.37	3.10	1.80	99.64
角闪石岩	48.41	13.89	3.72	6.58	2.75	0.049	7.91	9.63	0.137	2.06	2.20	3.15	100.41
石榴子石角闪石岩	41.92	13.53	6.05	10.04	3.88	0.049	10.58	6.94	0.02	0.17	2.12	2.09	99.84

状,在[001]面常见有夹角为 87°—124° 的二组节理,黑绿色,镜下为绿—深绿色,具明显的多色性,Ng = 绿—蓝色,Nm = 黄绿—绿色,偶尔可见辉石之残余;另一种是为次闪石,细粒,纤维状,绿色,镜下为浅绿—草绿色,其特征与阳起石及透闪石相似,且常交代了早期角闪石或钠黝帘石[图版 I-2],可见其形成时间较晚。

角闪石化学成分列于表 3

表 3　角闪石化学成分表(%)

化学成分	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	H_2O	合　计
含　量	0.76	14.45	5.37	11.80	8.57	7.88	3.52	1.76	98.41

石榴子石　为本岩体之特征造岩矿物,一般呈淡红色,少量为黄色,晶形不完整,粒径约 0.5 毫米,比重 4.014,维克绝对硬度值[1]为 1233.21 千克/平方毫米,相当摩氏硬度 7.24,折光率为 1.785。

该矿物以两种状态产出:最常见者是围绕角闪石并组成直径 2—20 毫米左右的链圈[图版 I-7],有趣的是背角闪石一方它的晶形很好,而与角闪石接触处却排列成一条平整的直线[图版 I-3]。其次也可见到石榴子石与金红石共生。

从石榴子石产出的特点就可看出其形成与角闪石密切相关。

石榴子石化学成分见表 4

表 4　石榴子石化学成分表(%)

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	合　计
37.82	0.18	20.87	2.09	27.27	0.01	2.52	7.98	99.64

1) 由王璧珍在 ПМТ-3 型显微压入硬度仪上测定。

钠黝帘石，是由岩体中的斜长石经分解而成的，其形成的化学反应式为：

$$\underset{\text{钙长石}}{12CaAl_2Si_2O_8} + 2Na_2O + 6SiO_2 + 3H_2O = \underset{\text{黝帘石}}{6Ca_2Al_3(SiO_4)_3(OH)} + \underset{\text{钠长石}}{4NaAlSi_3O_8} + Al_2O_3$$

钠黝帘石是分布最广的次生矿物，常保存着完整的斜长石假相［图版I-1］，有时偶见有被次闪石交代的现象，此时往往含少量榍石，而榍石显然系少量钛与钙作用的产物。

钛铁矿，是主要钛矿物之一，黑色，粒状和骸板状，粒径一般为 1—2 毫米，主要分布于角闪石岩中。在一般情况下，当角闪石岩不含或少含石榴子石时则其含有大量的钛铁矿，当角闪石岩含有大量石榴子石时，金红石含量增加而钛铁矿含量减少。其产出形态以粒状、网格状、骸板状最常见，且与金红石共生。在金红石与钛铁矿之间偶有赤铁矿的出现，有人认为赤铁矿是金红石交代钛铁矿的产物，也有人认为是由钛铁矿分解而成的，其分解反应式为：

$$\underset{\text{鈦铁矿}}{4FeTiO_3} + O_2 = \underset{\text{金红石}}{4TiO_2} + 2Fe_2O_3$$

三、金紅石矿物特征

本区所产的金红石有桔红、鲜红、黑红以及黑色四种，贝壳状断口，強金刚光泽，镜下呈深红色，透明度随颜色由浅变深，由透明到半透明；晶体中偶见有橙红—深褐色条纹以及钛铁矿、石英等包体；比重 4.215；其粒度大小不一，粒径由 0.5—1 毫米者占金红石总含量的 7.6%，0.1—0.5 毫米者占 56.8%，<0.1 毫米者占 35.6%；产出形态复杂多样或成细粒侵染于角闪石中［图版I-4］，或受角闪石解理控制呈定向排列［图版I-5］。当角闪石被次闪石交代时，金红石颗粒变粗且晶形一般比较完整［图版 I-6］，显然这是重熔再结晶的结果。金红石化学成分列于表 5。

表 5　金紅石化学成分表(%)

TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	Cr_2O_3	P_2O_5	S	Zr	V	总　计
97.8	0.45	1.365	0.87	0.043	0.005	0.041	微	微	100.57

为了解不同颜色金红石的化学成分的变化情况，分别对黑色、黑红色、红色及不均匀条带的金红石作了 TiO_2 和 Fe_2O_3 的单项分析（见表 6），其结果表明金红石的颜色随着含铁量的增高而变深。

表 6　不同顏色金紅石 TiO_2 及 Fe_2O_3 含量表(%)

金　红　石　色　种	透　明　度	TiO_2	Fe_2O_3
红色金红石	完全透明	97.46	0.55
黑红色金红石	中等透明	97.11	1.79
不均匀条带状、斑点状黑色金红石	不 均 匀	96.92	0.87
黑色金红石	半 透 明	96.57	2.11

注：本分析结果由队实验室完成

本矿区所产金红石与世界上已知矿区的金红石的对比（表 7），得知本地金红石含铁量偏高，为了了解铁偏高的原因，分别对金红石及其外壳薄膜作了光谱分析［表 8］。

表 7 不同地区的金紅石化学成分对比表

产 地	化学成分 (%)										
	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	Al_2O_3	Cr_2O_3	SiO_2	CaO	K_2O	MgO	P_2O_5	S
昆士兰	98.77	—	0.55	0.14	0.16	0.23	—	—	—	—	—
新南威尔士	95.75	0.40	—	1.25	0.06	0.69	0.04	0.20	0.04	0.12	0.03
喀麦隆	97.51	0.64	—	—	0.10	0.25	0.16	0.30	0.29	0.08	—
印度唾凡可	96.42	1.14	—	—	0.30	0.43	—	0.60	—	0.04	0.80
本地	97.80	1.36	—	0.45	0.04	0.87	—	—	—	0.005	0.041

表 8 金紅石及其外壳薄膜光譜半定量分析表(%)

品种 \ 化学成分	Fe	Al	Si	Ti	P
纯金红石	0.01	0.003	0.01	>1	<0.1
具有黑色包体和角闪石连生体的金红石	0.1—1	0.1—1	>10	0.1—1	<0.1
具有灰白、黄色薄膜的金红石	0.1—0.01	0.1—1	0.1	>1	<0.1
金红石的灰白、黄色薄膜	1—10	>10	>10	1—3	<0.1

表 8 数值表明，引起含铁量偏高的主要原因是金红石表面有一层由氧化铁组成的薄膜以及由角闪石、长石、石榴子石等矿物组成的外壳，同时在少量金红石晶体中也有钛铁矿等包体，从而引起铁量的增加。

此外，将本地金红石与 Dana 氏金红石分类作了对比（见表 9），证明其应属普通金红石（Rutile）。

为进一步确定其品种，又将本地金红石作了 x 光粉晶照相[1)]，并分别与美国 A.S.T.M-

表 9 不同品种金紅石化学成分[1]

化学成分 \ 品种	金红石 (Rutile)	金红石 (Rutile)	金 红 石	铁金红石 Ferrian Rutile	钽金红石 Tantalian Rutile	铌金红石 Columbian Rutile
FeO	0.78	—	—	—	8.27	10.56
Fe_2O_3	—	2.62	1.365	11.03	—	—
TiO_2	98.96	97.46	97.8	89.49	45.74	53.04
Nb_2O_3	—	—	—	—	6.90	21.73
Ta_2O_5	—	—	—	—	35.96	14.70
Al_2O_3	—	—	0.45	—	—	—
Cr_2O_3	0.03	—	0.04	—	—	—
V_2O_3	0.13	—	微量	—	—	—
产 地	Prilepec Serbia	Graves Mt Georgia	本 地	Bernau Bavaria	Perak Malaya	Ilmen.Mts Russia

1) 本数据为张荣英同志所作。

0051 卡片及苏联 В. И. Михеев 数据作了对比，其结果完全相同，但有 2—3 条弱线条出现，这显然是由于金红石晶体内部含有钛铁矿等杂质所引起的。

四、含金紅石"石榴子石角閃石岩"的形成、演变以及金紅石的富集

本岩体的成因一直有所争论，有人认为其形成主要与区域变质作用有关，但不否认接触变质作用的影响，因此和区域变质形成的榴辉岩有所不同。也有人认为形成本岩体的基本面貌和成矿的主要因素是接触变质作用。

作者认为后一种意见比较正确，其论据如下：

1. 本岩体和本区同一构造单元內其它基性岩体一样（图 1）都普遍存在着钠黝帘石化，除含金红石"石榴子石角闪石岩"岩体外，其它岩体內的石榴子石和金红石的含量很少。旣然处于同一大地构造单元內，为什么矿物组合相差这样悬殊呢？可见其成因幷不完全相同，这主要因本岩体有晚期橄长岩、纯橄岩的侵入，而在其它岩体內未见有这一现象。

2. 本岩体与区域变质所形成的榴辉岩区别很大，前者具块状构造，沒有蓝闪石，呈岩株状存在于辉长辉绿岩中，而榴辉岩却为栅状构造，多呈互相平行的条带分布在太古界地层中。此外，榴辉岩中的石榴子石、金红石往往均匀分布于辉石和斜长石之间，且辉石被蓝闪石所包围。

3. 本岩体中的石榴子石（图版 I-3）晶体表面大多平整光滑无"S"形包体[1]，从而说明石榴子石形成后受外力作用比较小。

根据上面的对比资料，结合"局部动热变质作用"[1]的特点，作者认为本岩体主要与接触变质作用有关。而钠黝帘石化则是区域变质作用的产物。

蚀变作用旣影响着目前本岩体的面貌、岩石类型，又与成矿关系密切。由上述各种矿物组合，镶嵌特征及化学成分可看出，本岩体有二个大的、在一定时间內旣是平行演化又是相互联系的蚀变系列：

→少量绿泥石，
1. 辉石（角闪石）→次闪石→石榴子石→金红石
2. 斜长石→钠黝帘石→次闪石→少量石榴子石→榍石
→少量绿泥石。

次闪石交代角闪石或辉石时，旣改变了角闪石的晶形，同时又析出了大量的铁，为形成石榴子石提供了充足的铁。同时次闪石也交代了钠黝帘石，但因后者含铁低，形成的石榴子石极少。因此，蚀变作用不仅改变了原岩石面貌，而且产生了新的矿物组合。

至于引起岩石蚀变的原因，有人认为与北部的花岗岩基有关，也有人认为与侵入本岩体中的橄长岩纯橄岩有关，作者认为后一种看法是正确的，其证据如下：

1. 在橄长岩体与本岩体接触处有一宽为 10—20 米的透闪石阳起石带，其化学成分和岩体內部次闪石相同。当"石榴子石角闪石岩"岩体接近橄长岩岩体时，其石榴子石含 MgO 方达 2.88%，而远离橄长岩岩体逐渐下降为 1.78%。可见本岩体两种主要次生矿物

的形成均与晚期侵入的橄长岩有关。

2. 在该区区域内也有接近北部花岗岩岩基的基性岩体，但在那些岩体中却找不到本岩体所具有的蚀变特征，可见将本岩体的蚀变作用归功于北部之花岗岩岩基显然是不正确的。

3. 近十几年来国外实验岩石学研究的结果表明，有一种“榴辉岩”其形成与超基性岩有关。

如果以上论据充足，作者认为在寻找这种类型的金红石矿床时，侵入到基性岩中的超基性岩岩体是良好的找矿标志。

从目前掌握的资料看来，金红石的形成及富集受以下三个因素的影响：

1. 岩浆岩中的钛含量，它的含量应达到一定的浓度，本岩体 TiO_2 含量(以角闪石钠黝帘石为例，含 TiO_2 2.3—3%)比其它地区的基性岩体(含 TiO_2 1—1.2%) 偏高[5]。

2. 适合于钛析出的条件，在一系列蚀变作用的演变过程中，能否有钛的析出机会，是十分重要的。根据本地几种主要元素变化规律图 5 可以看出，钛与铁镁的含量成正比，如果将这一情况结合角闪石的化学成分，不难看出，钛主要赋存于角闪石中(表 1、2、3)。既然钛主要赋存于角闪石中，那么当角闪石变成次闪石时，角闪石中的钛就会游离出来成为金红石形成的物质来源。

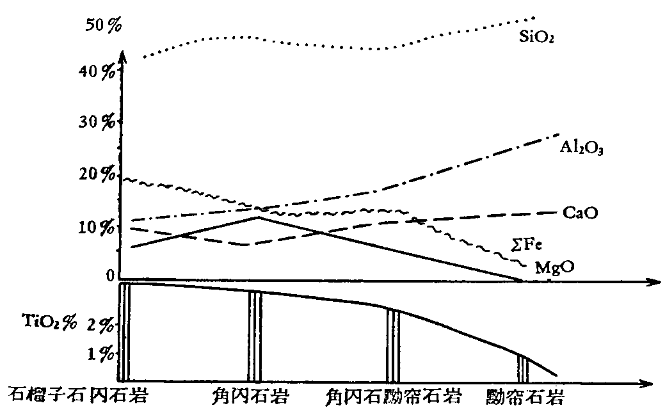


图 4 几种主要元素变化曲线图

3. 游离钛的存在和钛含量高不等于金红石含量多，要使钛形成金红石必须是岩浆岩中的钛与铁结合形成钛铁矿后，还有大量游离钛存在，或者是某一地质作用引起岩浆岩中的游离铁减少，使大量的钛有机会与氧结合形成金红石。石榴子石形成时夺取了岩浆岩中一部分铁，这样游离钛相对增多使钛有机会与氧结合形成金红石。这一论点可用石榴子石围绕角闪石，以及金红石与石榴子石含量成正比(表 1)加以证实。

此外在本岩体中可以见到，次闪石化作用不仅使钛析出，而且使金红石粒度变粗 (图版 I-6)。但应注意的是当次闪石交代了钠黝帘石以后，虽也形成了角闪石岩，或者是石榴子石角闪岩，但金红石的含量极少(含 TiO_2 只达 0.5—1.86%)。 由此可见：虽然都是角闪石岩，但成因不同，金红石含量相差悬殊。故在普查金红石矿床时，也须注意角闪石岩的成因。

五、几点結論

1. 在古老地盾的边缘，如果有深大断裂，并伴随有大量浅成辉长辉绿岩体侵入时，应注意寻找接触变质型的金红石矿床。

2. 基性岩体中的晚期超基性岩侵入，是寻找金红石的良好标志。

3. 本岩体金红石的成因与角闪石、石榴子石关系密切：角闪石是形成金红石的物质基础，而石榴子石是形成金红石富集的主要条件，二者缺一不可。

参　考　文　献

[1] H. A. 叶利谢夫　1965　变质作用。科学出版社。

[2] Palache, Berman and Frondel 1946 Danis system of mineralogy, seventh edition, vol 1.

[3] Kemp J. F. Handbook of rocks, sixth edition.

[4] Чесноков Б. В. 1959 Рутилсодержаще эклотиты шубинского месторождения на Южном Урал. Геология и Разведка, №4.

[5] Малыщев И. И. 1957 Закономерности образования и размещения месторождении титановых руд.

A STUDY ON A RUTILE-BEARING "GARNET-AMPHIBOLITE"

Liu Yüan-jiun

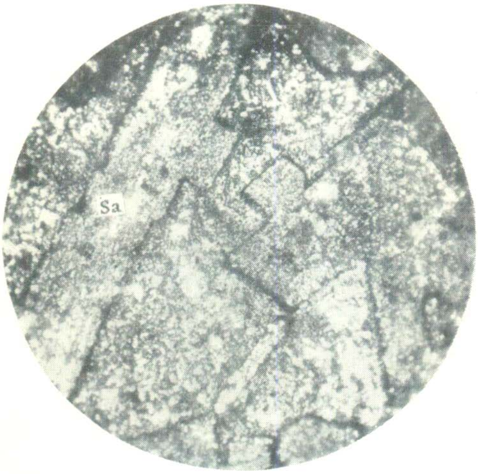
(**Abstract**)

The rutile-bearing Garnet-amphibolites occur in the vicinity of the deep fault between the old Shield and Platform.

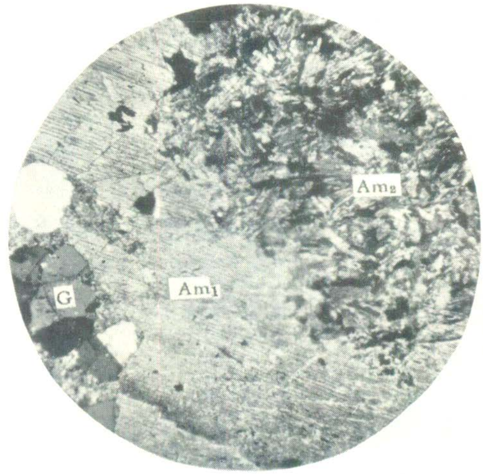
It is verified through our investigation that it is a new type of rutile deposit, promising a good prospect.

The present deposit differs from other garnet-pyroxenite deposits in that it was not subjected to any sharp regional metamorphism and, therefore, the ore-formation is mainly related to the intrusion of the troctolite.

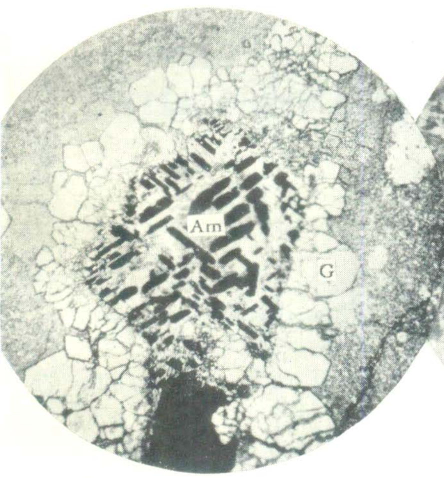
Hence a good deal of free iron is to be absorbed in the process of formation of the garnets, which occured just at that time, the favourable conditions therefor, will be created for Ti and O to form rutile, so the content of garnet can be regarded as an indirect ore hunting evidence.



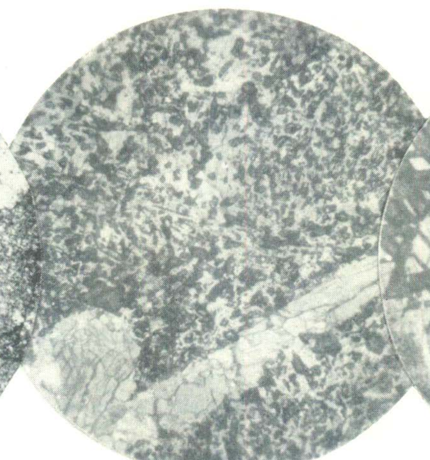
1.变余嵌晶含长结构。平行偏光 × 68
Sa 钠黝帘石(可看到斜长石假象)



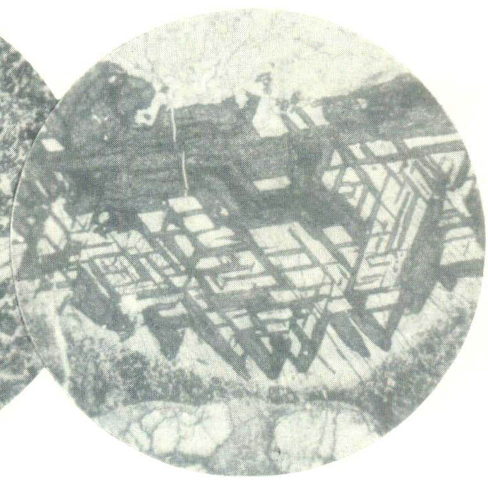
2.次闪石交代角闪石。平行偏光 × 68
Am_1 角闪石； Am_2 次闪石； G 石榴子石



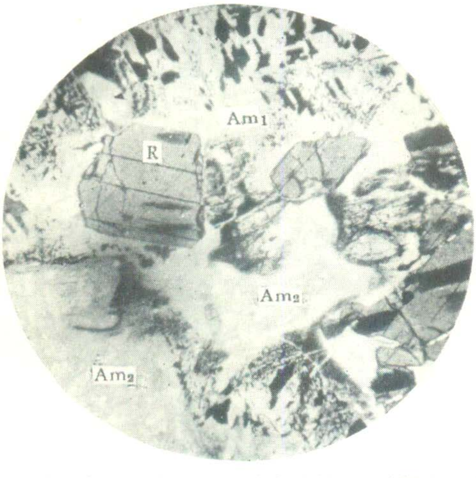
3.石榴子石和角闪石的平整接触面。
单偏光 × 20　G 石榴子石； Am 角闪石



4.金红石呈小粒状浸染于角闪石中。
单偏光 × 50



5.生于角闪石解理中的网格状金红石。
偏光 × 60



6.次闪石交代角闪石后金红石形成粗大柱状。单偏光 × 20
R 金红石； Am_1 角闪石； Am_2 次闪石

7.石榴子石围绕着角闪石成链圈状
G 石榴子石； Am 角闪石(暗色)