

苏联地质保矿部全苏矿物原料研究所

光学螢石矿床的 普查和勘探

(方法指南)

А. И. 苏杰尔金著

张怀素译

中国工业出版社

本书系譯自苏联地质出版社1959年在莫斯科出版的“光学螢石矿床的普查和勘探”一书，作者А. И. 苏杰尔金。

本书內容共包括四个部分：光学螢石的性質和工业用途；矿床工业类型及其形成条件；地質普查和远景评价；工业评价和勘探方法。本书可供地質人員和地質院校师生参考。



А. И. СУДСРКИН
ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ОПТИЧЕСКОГО ФЛЮОРИТА
(методические указания)

ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР
МОСКВА—1959

* * *

光学螢石矿床的普查和勘探
(方法指南)

张怀素 譯

*

地質部地質书刊編輯部編輯 (北京西四羊市大街地質部院內)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙10号)

(北京市書刊出版事業許可證出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $1^{1/4}$ ·字数25,000

1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷

印数0001—706·定价(10-6)0.19元

*

統一书号: 15165·1801(地質-182)



目 录

序言	2
一、光学螢石、它的性質和工业用途	3
二、光学螢石矿床的工业类型及其形成条件	8
三、光学螢石矿床的地質普查工作和远景評价	22
四、光学螢石矿床的工业評价和勘探方法	28
参考文献	38

序 言

目前，虽然对压电光学矿物原料矿床已投入了大量普查和勘探工作，但还没有一本方法指南，以便向广大地质工作者介绍光学萤石矿床的地质勘探工作的特点。本书是作为普查和勘探这种稀有矿物矿床的方法指南而编写的。在编写过程中既参考了档案资料，也参阅了已经公开发表的资料。

作者欢迎从事光学萤石普查勘探的地质工作者对本书提出批评性的意见。作者向负责本书编辑的 A. C. 古达科夫和对本书提出指正和建議的 Д. B. 索洛維耶夫表示深摯的謝意。

一、光学螢石、它的性質 和工业用途

光学螢石 (CaF_2) 是自然界很少見的无色、完全透明的螢石晶体，其中含氟48.9%，含鈣51.1%。

在很少的情况下，螢石中含有呈固溶体状态存在的 IF_3 ，50%（釔螢石）或 CeF_3 ，55%（鈰螢石）；釔螢石和鈰螢石的类質同象混合物称为鈰釔矿（文契尔，1953）。

根据光譜和发光現象确定，在螢石晶体中存在有稀土鈣、釔、釷、鈰和鈾。

光学螢石晶体的一般形状是立方体或八面体，有时是菱形十二面体（图1）。双晶个体通常是彼此插生的。八面体

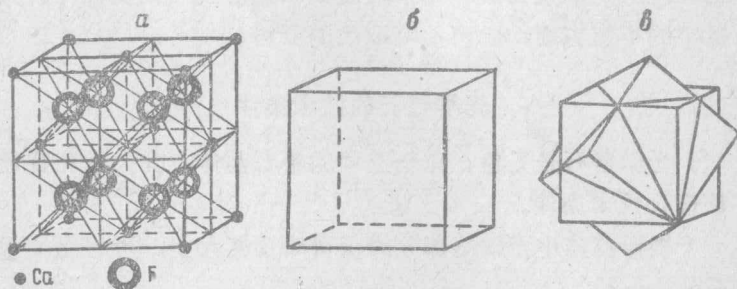


图1 光学螢石晶体的形状

a—晶体結構；b——般形状；c—插生双晶

的解理完全；釔螢石的解理不完全。貝壳状断口，玻璃光泽。硬度4（釔螢石达4.5）。比重3.18（釔螢石为3.55）。

溫度 1270° 時熔融，火焰呈紅色，氟逸出後可形成不熔的石灰（ CaO ）。溶于硫酸，逸出 HF 。螢石是一種光學上各向同性的礦物，由于折光率低而具有明顯的負突起；經常具有反常的双折射。普通螢石的 $N=1.43385$ ； $N_p-N_c=0.00454$ ，溫度每升高 1° 即降低 0.00001 。螢石賦有發螢光和磷光的性能，它可能是無色、白色，或是染有鮮艷的黃色、藍色、紫色、綠色、紅色或是色調不均勻的褐色。釷螢石為黃色至褐色或為綠色，在日光下顏色稍淺。鈾螢石染有不均勻的紫色或藍色。已經確定，銻的存在可使螢石晶體帶藍色，而鈰的存在可使它帶淡綠色。螢石的顏色還與少量鐵和錳的氧化物或是鈣、氟或碳氫化合物的分散包裹體有關。

光學螢石的貴重性質是它的不大的色散現象，在此條件下紅光的折光率小，可與黃色折光率相區別。

由于光學螢石沒有双折射現象、折光率低和透射紅外線及紫外線的能力特強，因此光學螢石在制造沒有球面象差和色象差的顯微鏡物鏡、光譜儀稜鏡和輻射紫外線及紅外線儀器中的小窗方面，成為不可取代的原料。

光學螢石的技术条件

光學螢石是無色、完全透明的螢石晶體，其大小和質量都符合技術條件。

根據晶體中無缺陷部分的獲得率及其大小，可將光學螢石分為三級。

列為特級品的是規格不小於 $20 \times 20 \times 10$ 毫米的無缺陷晶體或其部分。

列為一級品的是無色晶體或其部分，其中見有稀少的裂紋，液態和固態包體占整個晶體體積 10% 以下。

列为二級品的是无色晶体或其部分，其中見有稀少的裂紋、液态和固态包体，也允許有帶較大裂紋和外来物包体的部分存在，但不得超过整个晶体体积的20%。

列为三級品的是无色晶体或其部分，其中允許有占整个晶体体积20—95%的缺陷。

对于所有这三級来說，适用以制造光学用品的晶体及其部分的最小規格不能小于 $6 \times 6 \times 5$ 毫米或 $10 \times 10 \times 3$ 毫米。

在波长达 $1250 \text{ \AA}$ 的光譜的紫外綫部分中，厚 1 毫米的螢石薄片所透过的光綫应不少于80%^①。

作为制取人工光学螢石的原始材料，可以采用質量較低、規格較小的螢石晶体或其晶体的某部分，但是要无色、沒有乳光，也可以采用三向規格都不小于 5 毫米的連生晶体。在此情况下，允許有的缺陷是个別的裂紋，以及石英、方解石、方鉛矿、黃鉄矿和其他矿物的个别显微包裹体，后者可以通过选矿的方法使之脫离晶体原料。染色的晶体或其部分，允許不超过无色晶体原料重量的5%。

光学螢石晶体的缺陷

因为光学螢石的主要用途是制造各种透鏡和稜鏡，因此裂紋、混浊部分、气-液态和固态包体是降低光学螢石質量的最大缺陷。

研究上述与螢石生成时介質对螢石作用有关的缺陷，可以直接或間接地判断出形成晶体和矿床本身的成因条件（叶尔馬科夫，1945，1948）。

① 埃($\text{\AA}$)——測量光波的長度單位，等於億分之一厘米。

光学螢石晶体的缺陷可分两类：晶体生长时的原生缺陷和因外界因素对晶体的作用造成的次生缺陷（图2）。

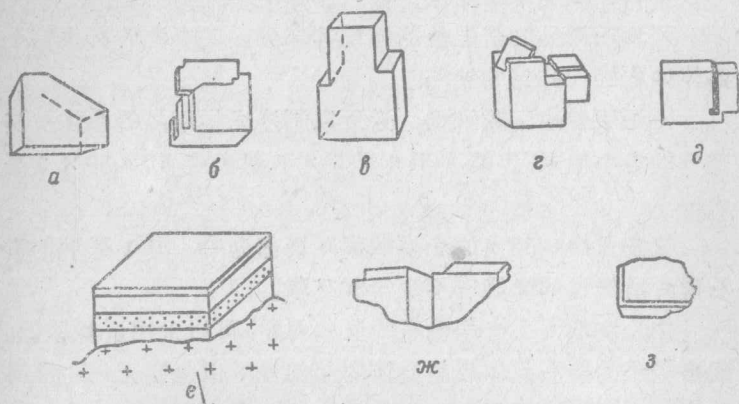


图2 螢石晶体的缺陷

a—稜面发育不均匀的板状晶体；b—晶体的生长象；c—晶体的阶状、阶地状构造；c, d—鋸槽（板状晶体的溶蝕痕迹、例如重晶石）；e—板状晶体中的条带（自上而下：瓷釉状螢石层、无色螢石、半透明的混浊螢石、紫色螢石、正长石角砾岩）；ж, з—被溶蝕了的晶体

作者把晶体的反常形状、染色、带状构造、气-液态和固态包裹体均列为第一类缺陷。

第二类缺陷是各种各样的裂紋、晶体的各种腐蝕和溶蝕形状，以及有时遇到的液态和固态次生包裹体。

所有上述缺陷都会使晶体質量有某种程度的降低，而在很多情况下使得晶体不能在工业上利用。

晶体的反常形状 光学螢石晶体的一般形状是立方体或八面体，有时还发现这些晶形和菱形十二面体或四角三八面体組合在一起。在正常生长的条件下，形成的是等軸晶癖的

晶体，这种形状适合制造各种光学稜鏡或透鏡。当供給螢石晶体的溶液不均匀地进入或是发生机械变形阻碍其正常生长时，形成的則是压扁了的板状晶体，稜面間的比例关系遭到严重破坏。这类晶体在質量要求高的条件下有时不能在工业上利用，因为它在一个結晶方向上的尺寸小。

晶体的生长象、晶面的阶状和阶地状构造也是螢石晶体的缺陷，这是由于在結晶作用的过程中溶液供給不足或者整个生长环境太狹窄而造成的。在某些矿床上常見到光学螢石晶体有很深的“鋸痕”，即先被方解石或重晶石的板状晶状穿插，以后这些晶体又完全被溶解而留下的痕迹。这些缺陷会使合格原料的获得率降低。

接触下凹和感应面是常見的使晶体变形的一般現象，这是由于在生长过程中晶体紧密接触而产生的。在这种条件下生长的晶体很小，有时稜面弯曲，这也使晶体質量降低。

晶体染色是光学螢石的极普遍的缺陷。染色厉害的晶体完全不适于制造工业产品。最常見的是蓝紫色、綠色或天蓝色的螢石。染色可能不匀或呈条带状，并且在深色晶体中往往有完全无色的部分，这在富选时可以剔出，列入相应等級。

目前还没有能使光学螢石脫色的方法。

条带构造是一种常見的缺陷，它是由于在晶体生长时有較長時間的間断或是結晶作用的物理-化学条件发生变化而引起的。这在外觀上表現为明显的分带性，其方向严格平行于晶面，并且受分布在晶面上的各种包裹体的控制。

气-液态和固态包裹体在光学螢石晶体中表現为被母液和气泡充填的細小空洞，气泡是在整个系統进一步冷却和液体体积縮小时产生的。在有的空洞中見有很小的硫化物晶体

(黃鉄矿、黃銅矿等)。根据气-液态和固态包裹体的数量、大小和分布位置可以区分晶体缺陷的程度。当有大量肉眼可見的气-液态包裹体时，螢石晶体通常就不可能在光学工业上利用。

裂紋照例是次生形成物，主要出現在晶体形成之后。裂紋产生的原因，正象它的特性一样，是多种多样的。溫度的剧烈变化、构造运动、晶体本身的內压力是产生裂紋的最重要原因。在所有的場合下，裂紋都是光学螢石晶体的严重缺陷，并可降低晶体合格部分的获得率。貫穿整个晶体的裂紋可使晶体根本不能利用。

螢石晶体的腐蝕和溶蝕是由于晶体被在矿床范围內循环的原生水、渗流水溶解的結果。在个别情况下，晶体在形成骸晶之前就被溶蝕，通常表现为晶稜的被削平。晶体的腐蝕和溶蝕是比較少見的次生缺陷，晶体溶蝕程度是不一样的，决定于溶解的强度。

二、光学螢石矿床的工业类型 及其形成条件

目前已知道的光学螢石工业矿床有以下几种类型：

(1) 純光学螢石矿床，这种矿床是含有被螢石晶体充填的矿巢和孔穴的角砾岩化石灰岩；

(2) 与分异的囊状伟晶岩有关的矿床，在伟晶岩体中部含有水晶和螢石的晶洞或“晶囊”；

(3) 以透鏡状和脉状螢石矿体为代表的矿床，含有被光学螢石晶簇或单个晶体充填的矿巢和孔穴（苏杰尔金，1957₁）。

純光学螢石矿床

在第一类矿床中举一个作为例子（索波列夫斯基等，1934，1935；索波列夫斯基，1936，1952）。

矿区由上志留紀和下泥盆紀的石灰岩-頁岩組成，其中可分为：（1）石灰岩-頁岩层系 S_2^{2a} ；（2）綠色綠泥石和綠泥石-絹云母片岩层系 S_2^{2b} ，夹有石灰岩薄层，石英岩和砂岩夹层較少；（3）黑色瀝青質石灰岩层系 S_2^{2c} （图3）。

在石灰岩-頁岩层系（ S_2^{2a} ）中分为：黑色块状、板状石灰岩，夹有深灰色頁岩薄层，綠泥石-絹云母和千枚状片岩，薄板状灰色石灰岩，夹有石英岩和千枚岩的綠泥石-絹云母片岩，块状和板状的浅灰色礁成石灰岩；层系总厚度为3300米。

片岩层系（ S_2^{2b} ）为夹有石英岩的綠泥石-絹云母片岩系，层状含矿石灰岩，綠泥石-絹云母和灰質片岩，夹有石灰岩薄层的石英岩和片岩。层系总厚度为2700米。

黑色瀝青質石灰岩层系（ S_2^{2c} ）是深色的，有些地方是黑色的块状和层状石灰岩。层系总厚度为650米。

矿床地层剖面中的最下部一个层系（ S_2^{2+D} ）是块状均質的，有时表面呈浅紅色的石灰岩，經鉴定其中有志留紀和泥盆紀的动物化石。这些沉积組成了奇姆塔尔金向斜的中央部分。层系总厚度为1000米。

中生代沉积超复在古生代沉积之上，以侏罗紀砾岩为代表。

在矿区內可以划分出以下几个和华力西运动有关的地質构造：（1）阿赫巴賽-阿尔恰馬依丹背斜；（2）奇姆塔

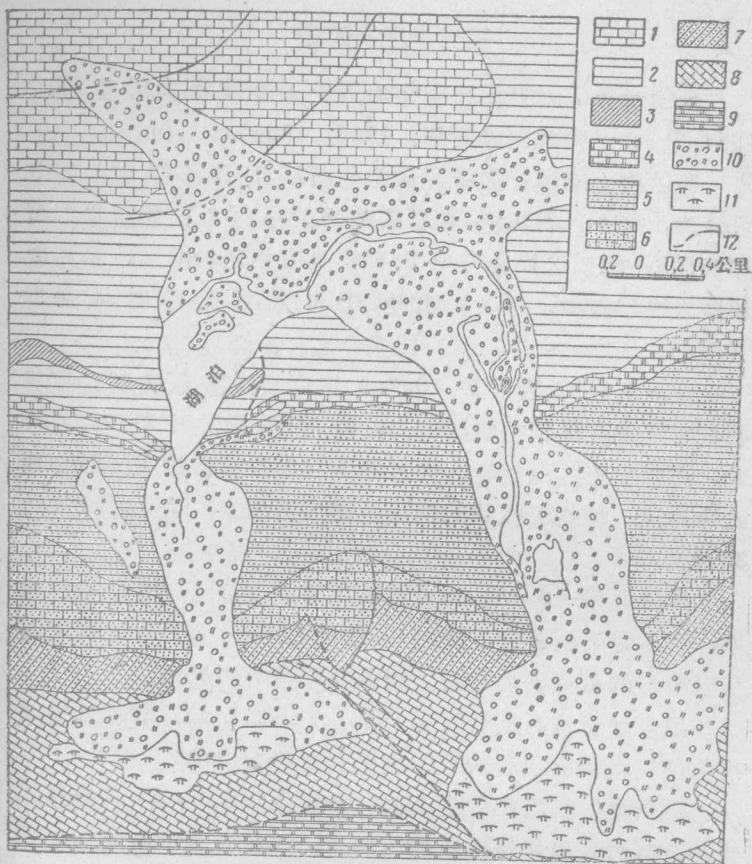


图 3 某一光学萤石矿床地区的地质构造略图

1—礁成石灰岩系 (S_2^{2a}); 2—下部綠泥石-絹云母片岩系, 夹有灰岩薄层 (S_2^{2b}); 3—含矿石灰岩 (S_2^{2b}); 4—浅灰色厚层石灰岩; 5—上部綠泥石-絹云母片岩系, 硅化的和灰質的頁岩中夹有白色石灰岩薄层; 6—薄板状深灰色石灰岩和厚板状浅灰色石灰岩 (依斯法林层— S_2^{2b}); 7—石英岩和硅質片岩系和海百合石灰岩夹层 (依斯法林层— S_2^{2c}); 8—黑色石灰岩系 (馬尔吉納利层— S_2^{2c}); 9—志留-泥盆紀石灰岩 (S_2^{2d}); 10—残积-坡积层和冰磧层; 11—冰川和积雪区; 12—构造破坏

尔金向斜。

这些构造在后来的构造活动中已被次一级褶皱复杂化。因而在矿床地段产生了正断-平移断层性质的破坏和层间位移。

和阿尔卑斯运动有关的构造现象集中地表现为正断-平移断层性质的垂直断裂破坏。

在第三纪末期，该区显然遭受了隆起，这可以用大量粗碎屑物质的堆积来证明。

矿床位于奇姆塔尔金向斜的南侧。组成这一侧的岩石成 $35\sim 75^\circ$ 角度向南倾斜，并以互相交替的石灰岩和頁岩分层为代表。层系中部的含矿石灰岩系为矿床的围岩。

含矿石灰岩呈东西向的山脊状挤在頁岩中。向东被厚层疏松形成物所复盖。矿床在地形上表现为石灰岩悬崖，称之为“螢石悬崖”。

石灰岩和上复頁岩之间为构造接触，含有破碎带和角砾岩带。

“螢石悬崖”的含矿石灰岩已白云岩化。这在靠近頁岩和石灰岩接触带的地方表现得特别清楚。石灰岩中 MgO 的含量介于 19.7 到 26.8% 之间，这显然与热液循环有关。东部地段的含矿石灰岩走向为南西 235° ，而在西部则为北西西 275° ，倾角 $54\sim 88^\circ$ 。

矿床产在石灰岩的下部层位中，这种石灰岩厚有 $80\sim 100$ 米。石灰岩和整个上志留纪岩层一起，参与了华力西期奇姆塔尔金向斜北侧的形成作用。极为重要的是，在形成矿床时，含矿石灰岩层在褶皱作用时遭到了变形，岩石倾斜的方位角在 $170\sim 200^\circ$ 的范围内发生了变化。结果便产生了沿走向不稳定的断裂裂隙，同时伴随有垂直和水平方向的错动。

这种錯动带有层間性質，并且主要是在石灰岩和上复的屏蔽頁岩間的接触带处，这里形成的破碎带和角砾岩带和围岩一起向南傾斜，傾角由20到55~85°。

据推测，这个矿床在成因上和未被侵蝕作用揭露的硷性和霞石正长岩有关，可能是和它們的脉相——岩脉有关。

看来，在早期华力西运动中曾有硷性侵入体侵入，而后在晚期华力西和后来的构造成因阶段中形成了霞石和硷性正长岩岩体，以及与之有关的硷性火成岩脉相。

在矿床的中生代岩石中沒有遇到过霞石和硷性正长岩。

光学螢石矿床的形成深度，根据該区一般地質构造来看，大概不超过2500~3000米。

大的螢石晶体是在被硅-氟-鋇的水热过飽和真溶液充填的矿巢或孔穴（空洞）中生成的。

溶液是从深部层位沿着当时矿床地段中的区域性和局部性断裂进入矿巢或孔穴的。破碎带和角砾岩带显然已弱化，成了热液从深处貫入时的通道。

从深部层位上升到矿床形成带中的溶液含有氟、鋇、鈣、硅、二氧化碳、硫和少量的重金属和非金属化合物，以及鉛、鋅、銅、銻、汞和砷。

对于这一类型矿床可以大致划分出以下的构造运动和成矿作用阶段。

在第一阶段产生了石英-重晶石角砾岩，并有金属和非金属矿物沉淀。这个过程进行得相当迅速，因为石英-重晶石角砾岩中的石灰岩和頁岩碎片反映了蝕变甚浅的交代現象。

最明显的螢石化作用集中在含矿石灰岩与頁岩的接触带內，接触带为蝕变了的白云石化石灰岩和角砾岩，厚6~

10~15米，由乳白色的角石英、第一世代的水晶、块状重晶石、紫色細粒螢石、白云石、方鉛矿、閃鋅矿、黃銅矿和黃鐵矿組成。

在第二阶段发生了成矿时的构造錯动，而后热液便沿着当时的弱化帶貫入。热液在破碎地段內作用的结果，使石灰岩发生强烈白云化作用。由于石灰岩体积縮小（对上述情况而言），形成了显微裂隙，以后便作为热液从遮挡石灰岩的頁岩向石灰岩层系滲入10—15米的补充通道。

这个阶段的特点是在含矿石灰岩中形成了糖粒状石英、玉髓、淡綠-淡藍和白色螢石、脉状重晶石和光学重晶石、无色的光学螢石、白色方解石和冰洲石、文石、黝銅矿、雄黃、雌黃和辰砂。与之同时，在矿巢和孔穴中发生了溶滤作用和析出了第二世代的水晶、光学重晶石和透明的結晶螢石。

在第三阶段，成矿时的构造錯动繼續进行；低溫溶液循环；溶蝕和形成了二室和三室的孔穴、单个的矿巢，其中析出了光学螢石晶体，以后又析出了廸凱石、第三世代的水晶和石棉。应该指出，含有大的螢石晶体的孔穴多半是在不同方向的裂隙相交的地方，有时与石灰岩和其屏蔽頁岩的接触面斜交；单个的矿巢也产在断裂裂隙中，孔穴或矿巢的軸沿着石灰岩和頁岩的接触帶延伸。

空洞和矿巢的形状为橢圓形，有时形状不規則。孔穴間以很薄的螢石細脉相連通。

被螢石矿化的角砾帶，在第一类型矿床中通常长80~100米，平均厚度为0.5~1.5到10米，在膨胀部分更厚。

含有螢石晶体的矿巢和孔穴分布不規律。合格的晶体原料通常大量聚集在大的空洞中，但是大量原料主要还是采自

中等大小的矿巢。

根据 Н. П. 叶尔馬科夫的資料 (1946)，矿床內所有的热液矿物都分布在 $89\sim 152^{\circ}$ 的溫度間隔內，其中重晶石在 $119\sim 195.4^{\circ}$ 之間，螢石在 $101^{\circ}\sim 136^{\circ}$ 之間，方解石在 $89\sim 108^{\circ}$ 之間。矿床平均的和最有代表性的結晶溫度，对于重晶石是 138° ，螢石是 122° ，方解石是 101° 。

与分异的囊状伟晶岩有关的螢石矿床

在第二类矿床中的某一个伟晶岩矿床內，参与地質結構的有太古代、元古代、寒武紀、志留紀的各种变質杂岩，現代的疏松沉积和花崗岩类岩石。中生代形成物在該区沒有发现，因为在中生代时期这里已形成了大陆环境。

太古代岩石为花崗片麻岩、残斑变岩、結晶（强烈变質的）片岩，呈块段状突起于楚-伊利复背斜中部。

元古代的綠灰色頁岩、砂岩、石英岩和砾岩夹层主要发育在該区南部和西南部。

寒武紀沉积发育在該区北部，为厚板状成带的石英岩、块状深灰色大理岩化石灰岩。

該区东北部发现带有砾岩夹岩的志留紀砂岩、与中性和酸性噴出岩交互成层的頁岩，以及凝灰砂岩。在頁岩层系中集中有石灰岩的透鏡体或岩层。玢岩岩脉冲断了志留紀沉积。

該区东部有噴出岩及其凝灰岩，以及泥盆紀砂岩和砾岩发育。

石炭紀沉积呈紅色砂-頁岩形成物出現，在这一层位的上部为石灰岩和砂岩。

火成岩为元古代花崗片麻岩、加里东輝长岩和晚期华力

西花崗岩类，产于所謂布尔留-巴依塔尔复向斜的东北翼，这个复向斜成北西向延伸，分布很广。

花崗岩类岩石中可分为粗粒斑状的、中粒的、淡色的，有时有玫瑰色的細粒花崗岩。

花崗斑岩、霏細斑岩、閃长岩、石英玢岩、輝綠玢岩、超基性岩的岩脉，以及伟晶岩体和石英脉分布都很广泛。

在粗粒和等粒的黑云母花崗岩当中聚集有不大的中粒和細粒淡玫瑰色花崗岩露头，走向北东。伟晶岩体主要就产于这种花崗岩中。

該区的沉积-变質岩石被加里东时期的造山运动强烈錯动。褶皱走向北西，两翼傾角 $15\sim 30^\circ$ 。

晚期华力西褶皱主要表现为北西向的断裂錯动；这个时期的断裂具有逆掩断层性質，結果使志留紀和泥盆紀层系在某些地方从北东向南西逆掩在稍微錯动的石炭紀层系之上。

阿尔卑斯褶皱在造成了新的阶梯状地形之后，基本上和华力西时期的褶皱构造一致。

光学螢石矿床的围岩是华力西花崗岩类，成东西向延伸80公里。岩石为浅灰色、灰紅色，成块状，具斑状結構（图4）；花崗岩类的基質具中粒結構，通常沒有暗色矿物。

在沉积形成物层系仍然保存的地方，在它們和火成岩的接触帶內发现有絹云母化，并聚集有不厚的石英和螢石細脉。

矿区内主要的构造断裂为北东（ $20\sim 30^\circ$ ）和北西（ $300\sim 310^\circ$ ）方向；沿着这些构造断裂发育着各种类型的伟晶岩和石英脉。

在花崗岩体分布范围內发现有大量伟晶岩体。在地形上表现为圓形或北西向綿延的小丘，伴随有伟晶岩石英核中的