

冰洲石矿床的 普查与勘探

Е.Я.基耶夫連科 著
Н.И.安德魯先科

中国工业出版社

原序	3
第一章 冰洲石概述	4
冰洲石的矿物学和结晶学特征	4
冰洲石在光学工业上的应用	8
冰洲石晶体的缺陷	12
第二章 矿床的工业类型	22
第一成因类型 暗色岩建造中的矿床	23
第二成因类型 碳酸盐类岩石中的矿床	39
第三章 布置普查工作的地质前提和含冰洲石的标志	46
第四章 普查工作	54
1:200000~1:50000比例尺的概略地质-普查工作	55
1:10000~1:5000比例尺的详细地质普查工作	57
对地质普查工作报告书的要求	60
第五章 勘探工作	62
暗色岩中的矿床(第一类成因)的勘探	63
石灰岩中的矿床(第二类成因)的勘探	65
勘探工作中的地质编录	67
第六章 矿床的取样	69
取样的方法	70
样品的采取(采取晶体的技术)	71
样品的加工(冰洲石的精选和分级)	73
取样资料的整理	79
第七章 储量计算	80
储量计算的原始数据的确定	81

暗色岩中的矿床(第一类成因)的儲量計算	83
石灰岩中的矿床(第二类成因)的儲量計算	86
儲量的分类和儲量分級的条件	87
儲量計算資料的整理	90
第八章 矿床評價的主要准則	92
根据概略地质普查工作的結果进行矿区远景評價	92
根据詳細普查和普查勘探工作的結果进行矿床初步評價	93
根据勘探-开发工作和儲量計算結果进行矿床工业評價	94
参考文献	95

原 序

本书簡要地总结了苏联冰洲石矿床的普查、勘探和儲量計算的經驗，专供不了解这种特殊矿物原料的特征的地质人員参考。

作者的意图是想說明冰洲石这种矿物和矿产的特征，并且反映出冰洲石矿床的普查和勘探工作的主要特点。本书特別注意到产于暗色岩建造中的冰洲石矿床，因为这种矿床的工业价值最大。

写作本书时，除了参考过已經印刷出版的和手写的有关文献以外，还将作者本人的經驗也总结进去了。

第二、三、四、五、七、八章由 E. Я. 基耶夫連科执笔，第一章由 H. И. 安德魯先科执笔，第六章則是由 E. Я. 基耶夫連科和 H. И. 安德魯先科合写的。

B. И. 彼得罗夫、A. M. 克罗尔、A. И. 苏捷尔金和 A. A. 維什涅夫斯基对本书提供了許多宝貴的意見，在本书发稿以前，作者已經采納了这些意見，在此謹向他們表示深切的謝意。

第一章 冰洲石概述

冰洲石的矿物学和结晶学特征

冰洲石(或称光学方解石,也有人叫做复晶石〔дубльшипат〕)是一种透明的方解石,呈单晶或连晶状产出(图1)。

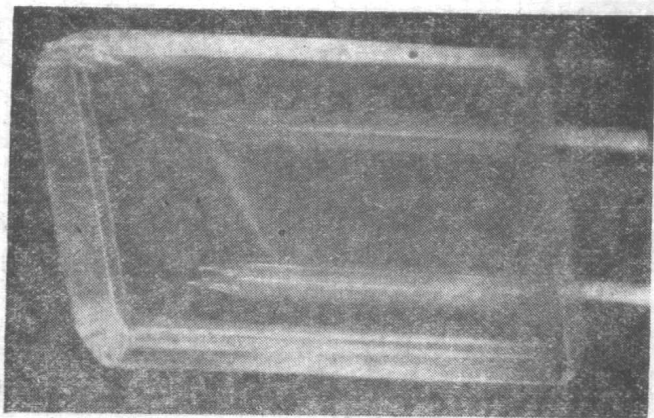


图1 冰洲石

冰洲石的化学成分是碳酸钙 CaCO_3 , 理想的冰洲石含 CaO 56%, 含 CO_2 44%。

在天然冰洲石中,往往含有 Mg 、 Fe 、 Mn 的类质同象混入物,有时也含有 Pb 、 Zn 、 Sr 和 Ba 的类质同象混入物。此外,还常常掺杂着含有 Si 和 Al 的机械杂质。冰洲石主要杂质的含量只有万分之几,这就证明了这种矿物是相当纯洁的。

(表1)。由于类质同象混入物的阳离子与鈣的阳离子在离子半径上有很大的差别，所以类质同象的现象就表现为形成一种成分稳定的 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 这种中间状态的混合晶体，而后来，这种晶体中的镁又被等价的上述元素所代替。光谱分析的结果表明，在冰洲石中还含有微量的Cu、Ni、CO以及各种稀土元素。

表1 冰洲石的化学成分

氧化物	1	2	3	4
SiO_2	0.08	0.11	0.12	—
Al_2O_3	—	0.06	0.09	—
Fe_2O_3	—	0.06	0.11	—
FeO	0.33	0.02	0.03	0.016
MnO	微量	0.03	0.06	—
MgO	0.20	0.04	0.05	0.063
CaO	55.44	55.72	55.53	未测定
CO_2	44.15	43.62	43.77	未测定
总 計	100.20	99.66	99.76	—

1——无色冰洲石。塞拉夫森山脉(根据И.А.列文, 1939年);

2——无色冰洲石。下通古斯卡河(根据А.В.斯克罗培舍夫);

3——茶黄色冰洲石。下通古斯卡河(根据А.В.斯克罗培舍夫);

4——无色冰洲石。冰岛的赫尔古斯塔的(根据А.П.泽米亚特钦斯基, 1901年)。

冰洲石呈三方晶系结晶，属复三方偏三角面体对称型式 $L_3^3 3L_2 3PC$ 。晶轴 $a:c$ 的比值为1:0.8543。

在单形当中，最常见的有：菱面体(0112)、(0221)、(4041)，偏三角体(2131)，六方柱体(1010)，轴面体(0001)。

冰洲石晶体的外形非常复杂，目前已经知道的就有1000多种，这是由于晶体不仅是由各种不同的单形结合起来的，

而且就連其中同名单形的相应两晶面夹角也是大小不等的。最常見的冰洲石晶体是三方偏三角面体和菱面体(图2)。在菱面体中，銳角的晶形比鈍角的晶形要多，而主菱面体往往沒有晶面。

比較少見的为双錐晶体、板状晶体和柱状晶体。沿 (0001) 、 $(01\bar{1}2)$ 晶面形成的双晶經常遇見，而沿 $(02\bar{2}1)$ 、 $(10\bar{1}1)$ 和 $(10\bar{1}0)$ 晶面形成的双晶以及复式双晶的連晶很少遇見。

冰洲石結晶结构的特征，是具有阳离子 Ca^{2+} 与絡阴离子

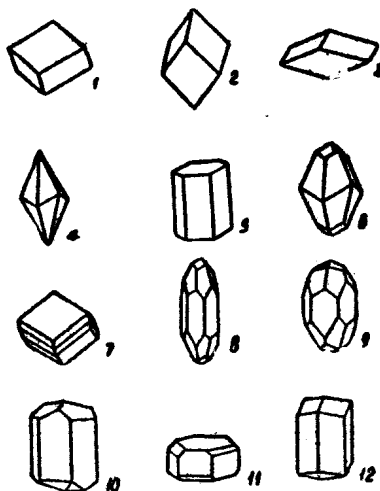


图2 冰洲石晶体的形状

单形：1—主菱面体 $(10\bar{1}1)$ ；2—銳角菱面体 $(02\bar{2}1)$ ；3—扁平菱面体 $(01\bar{1}2)$ ；4—偏三角面体 $(21\bar{3}1)$ ；5—一級六方柱体 $(01\bar{1}0)$ 。

聚形：6、7—偏三角面体 $(21\bar{3}1)$ 和主菱面体 $(01\bar{1}1)$ ；8—偏三角面体 $(21\bar{3}1)$ 、主菱面体 $(01\bar{1}1)$ 和柱体 $(10\bar{1}0)$ ；9—偏三角面体 $(21\bar{3}1)$ 、扁平菱面体 $(01\bar{1}2)$ 和柱体 $(10\bar{1}0)$ ；10—扁平菱面体 $(01\bar{1}2)$ 和柱体 $(10\bar{1}0)$ ；11—柱体 $(10\bar{1}0)$ 、扁平菱面体 $(01\bar{1}2)$ 和軸面体 (0001) ；12—扁平菱面体 $(01\bar{1}2)$ 和柱体 $(11\bar{2}0)$ 。

CO_3^{2-} 的离子键，络阴离子 CO_3^{2-} 里面的阳离子 C^{4+} 被三个氧离子对称地围绕著。

冰洲石的空間格架是按照立方堆积的原理构成的，差别只在于它的基础是夹角为 $46^\circ 07'$ 的菱面体基本晶胞。在晶胞的每个角頂和中心均分布著鈣离子，鈣离子对称地围绕著络阴离子，而络阴离子位于中心三次对称軸上(图3)。

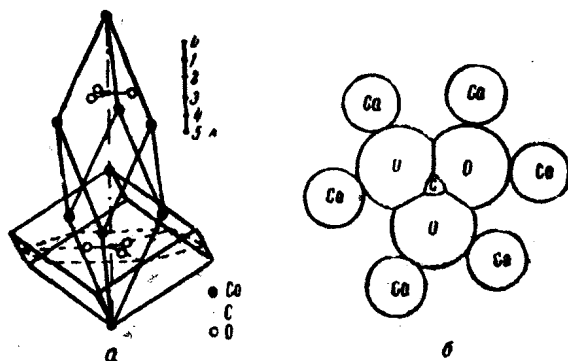


图 3 冰洲石的結晶結構

a—結晶格架的基本晶胞与解理菱面体的对比；b—络阴离子 (CO_3^{2-}) 在結晶結構中的位置

冰洲石結晶結構的特点是平行地排列在格架中的络阴离子 CO_3^{2-} 形状平坦，冰洲石的光学非均质性高这一基本特性就是这样造成的。

冰洲石为一軸晶 ($2v=0$)，負光性。在鈉光下的重屈折率 $N_m - N_p = 0.1720$ ， $N_m = 1.6584$ ， $N_p = 1.4864$ 。冰洲石其他比較重要的光学性质有：在光譜的可見部分中有高度的透明性， $2100 \sim 3700 \text{Å}$ 範圍內的紫外綫可以从其中透过。

冰洲石常呈黃色、茶色、檸檬色、玫瑰色，有时也呈天兰色、淡紫色以及其他一些顏色。当冰洲石受到紫外綫、阴极

射線或倫琴射線的照射時，許多晶体会發出黃色、橙色、紫色、玫瑰色以及紫紅色等色調的光。

冰洲石的比重為2.7。在摩氏硬度表中的相對硬度為3，沿不同的晶面進行試驗，硬度多少有些差異。冰洲石的絕對硬度比石英小，僅為石英的二十三分之一。冰洲石的解理極完全，所以很容易沿主菱面體或解理菱面體(10 $\bar{1}1$)的平面裂開。晶體的斷口面平坦而光滑，並且帶有玻璃光澤或珍珠光澤；但在某些情況下，也可以看到粗糙的或貝殼狀的斷口。

雖然冰洲石的脆性很大，但是它具有相當大的可塑性，正是由於這個緣故，在冰洲石內部方能產生滑動和位移現象，从而使機械雙晶得以沿(01 $\bar{1}2$)面形成。

冰洲石最重要的物理化學性質是不易熔化以及在水和某些酸中(尤其在鹽酸中)容易溶解。

CaCO_3 在純水中的溶解度較小，在普通條件下只有13毫克/升。但是當有 CO_2 存在時，由於會形成易溶性的碳酸氫鈣 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，溶解度便急劇地增大到1,100毫克/升(當溫度為16°和二氧化碳的分壓力為1大氣壓時)。隨着壓力的升高， $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的溶解度也不斷增大；但是當溫度升高時，溶解度卻會下降。冰洲石能溶解於稀釋的酸類溶液中，特別在 HCl 中溶解得很快，即使在冷酸溶液中也會吱吱作響。

冰洲石的晶體在燒灼時就會碎裂，接着馬上分解，並且析出 CO_2 。在空氣的壓力下，分解溫度大約等於800°C；但是在1大氣壓的二氧化碳的分壓力下，分解溫度即上升到900°C。

冰洲石在光學工業上的應用

冰洲石在光學工業上得到廣泛的應用，是因為冰洲石晶

体的重屈折和透明度很高。

用冰洲石制造的偏振光装置，即所谓偏光棱镜，是偏振光仪器的光学系统中不可缺少的部件。

据目前所知，大约有 200 种不同的偏光仪器，应用范围极其广泛。这些仪器都是用来进行结晶光学研究的：例如研究矿物的光学性质（偏光显微镜），研究偏振面的旋转（偏振计），确定物质的偏光性质（偏振光镜），对晶体的吸收光谱进行光度测量（光度计和分光光度计），用于录音和进行球面投影，用于光学电报机和军用光学仪器（测距仪等等）之中，在食品工业上用来测定食品中的含糖率（旋光测糖计），用以测定颜料的浊度和某些溶液的浓度（比色计和浊度计）等等。

冰洲石在制造偏光显微镜的棱镜以及某些专门仪器的棱镜方面用量最大，而且都需要优质晶体原料。

大多数偏振光仪器的主要光学装置是由依次位于一个轴上的两种偏振光系统（偏振光棱镜）组成的，它们分别称为上偏光镜和下偏光镜。

偏振光棱镜作用的实质，在于它能够将自然光透过冰洲石晶体时产生的两道偏振光线中的一道消除掉。要做到这一点，就必须将冰洲石晶体沿对角平面切开，然后再将它们粘合在一起，同时为了使一道偏振光受到全内反射，必须选择适当折射率的胶粘物质和适当角度的锯齿角。

根据英国物理学家尼科尔于 1829 年第一次提出的这种原理（图 4），设计了多种结构的偏振光棱镜，如弗兰卡-里特尔（Франка-Риттер）棱镜、汤姆生（Томсон）棱镜、格兰（Глан）棱镜、富科（Фуко）棱镜、加尔特纳卡-普拉兹莫夫斯基（Гальтнака-Празмовский）棱镜、格拉泽布鲁克（Глазбрук）棱镜以及其他种种结构的棱镜。所有这些棱镜都是长方形的，它

們之間的差別主要是光軸的方位不同。富科棱鏡和格蘭棱鏡的两个部分并不粘在一起，而是以空气层間隔开的，这就便于在光譜的超紫外綫部分中应用。

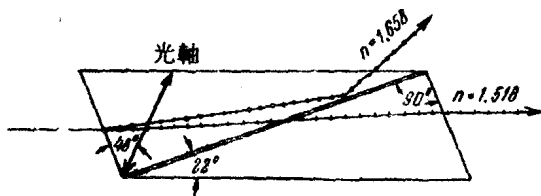


图 4 光綫在尼科尔棱鏡中的行程

現在使用得最广泛的是福兰卡-里特尔双棱鏡，其光軸与端面（торцовая грань）的对角綫平行；这种結構利用了首先在阿連斯棱鏡中应用的把晶体鋸切成两块的原理。图 5 指示了弗兰卡-里特尔双棱鏡与解理菱面体的相对方位，这使我們在制造棱鏡时可以更有效地利用晶体。E.C. 費多罗夫設計的透鏡可以更多地節約这种貴重的材料，不过，由于制造起来很麻煩，这种透鏡还没有被广泛应用。

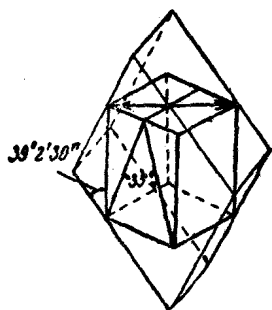


图 5 弗兰卡-里特尔双棱鏡及其在冰洲石解理菱面体中的位置（箭头表示光軸位置）

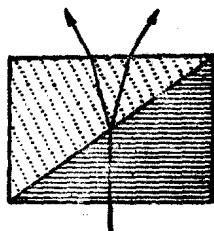


图 6 光綫在伏拉斯頓双折射棱鏡中的行程（細綫条和虛綫表示光軸位置）

在偏振光学上同样也要使用双折射棱鏡，当光线透过时，能够把光线分成两道彼此正交的偏振光。

罗尚棱鏡、森納尔蒙棱鏡和伏拉斯頓棱鏡(图6)都是双折射棱鏡，它們由两块楔形晶体所組成；此外，阿貝三棱鏡也是双折射棱鏡。双折射棱鏡的使用很广，例如用来研究晶体的多色性，以及获取和分析圆偏振光与椭圆偏振光。

为了减少这种貴重的天然原料的消費量，有人正在努力寻找冰洲石的各种代用品。大家已經知道的有制造組合棱鏡的試驗，在这种合成棱鏡中，玻璃部分地代替了冰洲石。

反射偏光鏡系由一迭平行的玻璃板构成的，因而玻璃完全代替了冰洲石。在高温下进行研究工作，以及在不必进行精确测量的仪器(例如偏光放大鏡)中，都可以利用偏光鏡。

偏光滤光器(或称为人造偏振片)的发明，进一步扩大了代替偏振光棱鏡的可能性。人造偏振片按照二向色性晶体的原理分解光线，当晶体的厚度适宜时，能够完全吸收互相垂直地振动着的一条偏振光束，而另一条光束則相当充分地以直线偏光的形式从其中通过偏振片。

人造偏振片是醋酐纖維軟片，薄片上有結晶的多碘硫酸奎宁。蔡斯公司出产的人造偏振片的两块纖維軟片之間，夹有单晶的薄层多碘硫酸奎宁。近来出現了几种新式人造偏振片，这种偏振片是将聚乙烯醇軟片在单向拉力下进行碘处理而制成的。由于 I_2 分子是有規律地沿着一定方向排列的，所以这种軟片就有二色性。

人造偏振片的偏振度比冰洲石棱鏡的較高，因此它常常有效地代替了冰洲石(据H.M.麦兰霍林,1954年)。不过这种人造偏振片也有它的缺陷，例如呈黄色，在高温下不稳定(当温度只有70~80°C时就会损坏)，在可見光线范围内的偏

振度不一致。多碘硫酸奎宁偏振片对光谱上的红色部分的偏光性不良，而聚乙烯醇偏振片对紫色部分的偏光性不良，因此，在聚敛光下出现的就不是全暗的视野，而是深红色或暗紫色的视野。

最后还应该提一下用人工培养出来的硝酸钠(NaNO_3)晶体代替冰洲石的问题。这种晶体的重屈折率极高($N_m - N_p = 0.251$)，但由于溶解度很大，因此严重地限制了它在光学仪器中应用的可能性。人工培育冰洲石可以根本解决这种原料的代用品问题，因此用合成的方法培育光学方解石，应当是一项首要的任务。

冰洲石晶体的缺陷

所有的天然冰洲石晶体都有不同程度的缺陷，这就使一部分晶体，甚至整个晶体都不能在光学工业上应用。

冰洲石晶体的缺陷，可根据成因标志分为原生的和天生的两类。

原生缺陷

原生缺陷是冰洲石晶体与生俱来的。其中包括：颜色、双晶、包裹体、条带或环带、混浊性以及所谓节瘤。大多数原生缺陷都会造成冰洲石晶体的结构不均。

颜色 冰洲石常带有不同色调和不同强度的黄色。此外，也常见到玫瑰色、淡红色、浅灰色、褐色、绿色、天兰色以及淡紫色的晶体。

冰洲石颜色的性质现在还没有完全弄清楚。冰洲石属于他色矿物，颜色是由于一定的杂质——色素所引起的。例如玫瑰色是因为掺杂着锰和铅，兰色是因为含有黄铁矿，绿色是

由于有綠泥石包裹体，灰色是由有机杂质引起的，等等。

关于冰洲石带有黄色的原因，存在着两种不同的見解，这是因为对染色物质的性质持有不同的看法。A. II. 阿范納西耶夫、H. Г. 莫罗索娃和 Я. II. 斯諾普科等人认为冰洲石的黄色是无机性质的，并且认为这是由于其中含有鉄的緣故。鉄在冰洲石結晶格架中呈靜电状态的原因現在还不了解。

另外一些研究人員，如 A. M. 庫茲明 (1940年) 和 A. B. 斯科罗培舍夫等人則认为顏色与含瀝青的杂质有关，根据他們的意見，这些含瀝青的杂质就是黄色冰洲石晶体的主要色素。不过这种論点并没有得到 Я. II. 斯諾普科进行的冰洲石脫色試驗結果的証实；試驗証明，在大多数情况下，在染色晶体中并没有瀝青质。

双晶 冰洲石能够形成出色的双晶，系双晶的典范。

双晶产生的原因現在还不很清楚。分子在处于双晶位置中的雛晶上一层一层地沉积(根据 E. E. 弗林特, 1952年)，以及結晶溶液的物理化学状态有剧烈的变化，可能是形成双晶的一种原因。

根据双晶面和双晶軸的方向不同，在有关的文献中将冰洲石的双晶划分为五个类型或五个定律(詳見表 2)。

最普遍的双晶是第 I、II 和 V 三种类型的双晶，它們常常形成聚片双晶；第 III 和第 IV 种类型的双晶在冰洲石晶体中比較少見。

在暗色岩里面的矿床中的冰洲石晶体当中，有許多沿軸面(0001)連生的双晶。它們的特征都是在側部对称軸面上有凹进角。

沿扁平菱面体(01 $\bar{1}$ 2)形成的双晶，常出現在賦存于石灰岩里面的冰洲石矿床中。根据这一定律就产生了机械双晶。

表 2

双晶的类型 (定律)	双 晶 面	双 晶 軸	主 对 称 軸 (光軸)之間的夹角
I (沿軸面)	(0001)	$\perp$ (0001)	普通对称軸
II (沿扁平菱面体)	(0112)	$\perp$ (0112)	127°30' 和 52°30'
III (沿主菱面体)	(1011)	$\perp$ (1011)	89°14' 和 90°46'
IV (沿銳角菱面体)	(0221)	$\perp$ (0221)	126°14' 和 53°46'
V (沿六方柱体)	(1010)	—	—

在双晶沿主菱面体(10 $\bar{1}$ 1)形成的情况下, 如果偏三角面体和菱面体的单晶連生在一起, 則形成所謂心状双晶; 如果柱状单晶連生在一起, 則形成肘状双晶。

图 7 是最典型的冰洲石双晶。有时也会遇到复杂的联合双晶(或者称为高級双晶); 这种双晶是当沿(0001)发育的連生体沿第一六方柱体(10 $\bar{1}$ 0)的晶面形成双晶的时候产生的。

包裹体 冰洲石中的原生包裹体, 根据它們本身的集合状态的不同而分为固态的和液态的两种。

固态包裹体 固态包裹体就是共生矿物的晶体和碎片、呈分散状态的碳质和粘土质混入物以及围岩的碎片等。它們能够分散在整个晶体中, 也能在个别部位上形成大量的聚积, 还可以稀稀落落地以单独的包裹体形态产出。它們是在晶体生长过程中的不同阶段上形成的, 形成方式是将矿物封存在晶面上, 或者同碳酸鈣一起从溶液中成长出来。

在冰洲石生成以前产生的矿物包裹体一般都出現在它們原来所在的地方附近。在另外一些情况下, 矿物包裹体称为

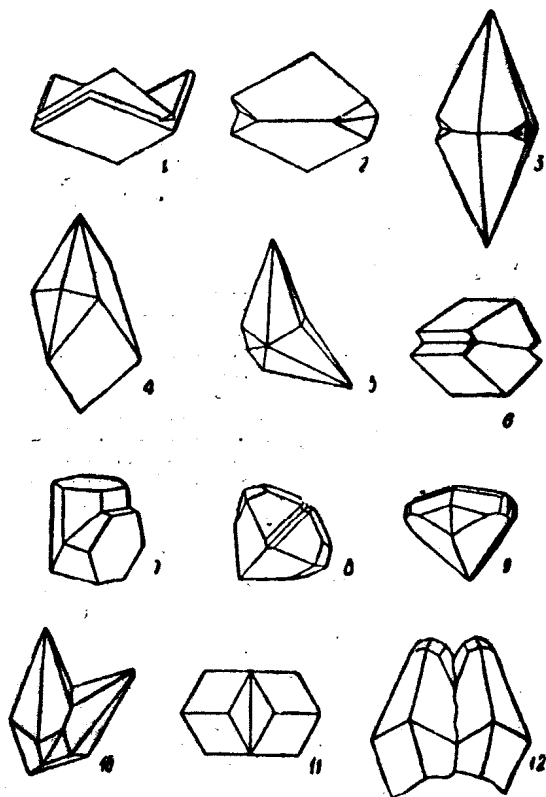


图 7 冰洲石双晶的形状

双晶面: 1, 2, 3—轴面(0001); 4, 5, 6—扁平菱面体晶面(01 $\bar{1}$ 2); 7, 8, 9—主菱面体晶面(10 $\bar{1}$ 1); 10—锐角菱面体晶面(02 $\bar{2}$ 1); 11, 12—第一六方柱晶面(10 $\bar{1}$ 0)

“撒粉”，这是在重力作用下沉落在以前的生长面上形成的。同时生成的包裹体会形成与自然晶面平行的条带，或者表现为带有感应面(индукционные грани)的单个晶体。

对于暗色岩里面的冰洲石矿床的晶体来说，最大特征是



图8 魚眼石包裹体

含有沸石（主要是絲光沸石）、綠泥石、水云母以及硫化物的包裹体，其次还有方沸石、玉髓、石英、魚眼石（图8）和蒙脫石等包裹体。

A.B.斯克罗培舍夫在1955年发现包裹体中有自然銅，而E.Д.列芙特斯卡婭則在1917年发现他生的鈣鋁榴石包裹体。

絲光沸石常以极細的毛髮状、放射綫状、氈毛状集合体的形态出現，或者以白雪針的形态出現，这种白雪針状絲光沸石往往深深地刺入晶体之中。

綠泥石和水云母的包裹体常呈球晶的形状混乱地散布在冰洲石晶体的内部，球晶的直徑可从微不足道到0.5厘米，或呈放射綫状结构的似苔蘚状堆积。然而球状的綠泥石包裹体，有时也能有規則地分布在与晶体生长面相平行的平面上（图9）。

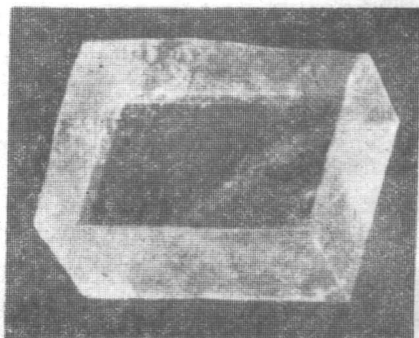


图9 沿生长带分布的綠泥石包裹体

硫化物大部分出現在晶体外层的包裹体中。大小可从显微細粒到1~2毫米。在硫化物包裹体中，常常遇見矛头状和尖角鋸齿状的白鉄矿晶体，立方体和八面体的黄鉄矿，銅