

光性矿物学

上册

〔美国〕A·N·文契尔 H·文契尔著

南京大学岩矿教研室译

本书包括自然元素、卤化物、硫化物、氧化物、碳酸盐、硝酸盐、碘酸盐、硼酸盐、硫酸盐和磷酸盐等十类矿物。各类矿物均按成分、构造、物理性质、光学性质、同质多象和产出等方面作了较详细的描述。可供岩矿工作人员参考。

本书由南京大学岩矿教研室部分教师翻译，并由李文祥同志校对。正文中间的外国国名，除个别按目前情况改正的已加注外，其他均按原文(1953年俄文版)照译。

А. Н. Винчелл и Г. Винчелл
ОПТИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ
Издательство
Иностранной литературы
Москва 1953

(本书俄文版系根据英文翻译)

* * *

光 性 矿 物 学

上 册

南京大学岩矿教研室 译

*

地质部地质书刊编辑部编辑(北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第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·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $14^{1/8}$ ·字数297,000

1966年2月北京第一版·1966年2月北京第一次印刷

印数0001—3,710·定价(科五)1.60元

*

统一书号: 15165·4199(地质-361)

俄譯本編者的話

在 A. N. 文契尔所著《光性矿物学》第一版俄譯本序言中，我們曾經写道：

“文契尔的著作分三册。其中第一册阐述晶体光学和显微镜的操作方法；第二册是矿物描述；第三册为显微镜下矿物鉴定表。

在俄文文献中已有晶体光学研究方法的原著（尼基亭、別良金和洛多奇尼科夫等），同样也有显微镜下鉴定矿物的手册（列文生-列星格、洛多奇尼科夫、拉尔森和別尔曼等），所以我們对上述文契尔著作的三本中最感兴趣的是第二册，因为它是透明矿物光性的汇集。因此我們仅譯出第二册。在外国文献中，我們知道有两本有关矿物光性的重要的手册：罗森布什著的德文本手册，1927年出版第五版，有摩格的补充；文契尔著的英文本手册，其第三版出版于1933年。文契尔著的《光性矿物学》比較晚，包括所有的透明矿物，然而罗森布什著的手册仅包括最重要的造岩矿物。由于文契尔手册的完备性，故对那些沒有机会利用文献材料的讀者尤为重要”。

文契尔著作第一版俄譯本，出版于1949年，由英文本1933年第三版譯出，后来多次由原版重印增加印数。不过在1949年第一版俄譯本出版之前，無論是在新描述的矿物还是老的矿物族方面，都出現了許多新的光性資料，这些資料是文契尔手册中沒有注意到的。所以譯者和編者做了不少附注。书很快地銷售一空，現在就很需要我們譯本的新版本。

1951年，美国又出版了經過大量修訂的第四版，这次 A. N. 文契尔曾得 H. 文契尔的合作，因此在新版中包含有近代伦琴射线結構的資料，同时引用了1951年以前的外国文献，所以照最后一版譯出是合理的。不过其中还免不了編者的注解，因为在原著中仍然还有许多未能述及，特别是苏联的著作。

与第三版相比，第四版虽有所扩充，但从我們的观点看来，仍然有一些缺点。首先，作者在保持原有的篇幅基础上，进行了一些縮減，而且遺憾的是，縮減的主要是最重要的造岩矿物——长石、輝石等的描述。其次，显然該书的編纂相当草率。許多的实际材料未能指明来源，即或在援引美国文献时也只是适当的提了一下。这种对資料来源特别是对俄文著作的不够重視在第三版就有过；第四版仍然是这样，不仅对俄文著作是这样，对印度、法国、日本等国的著作亦复相同，对英国人的著作，程度上略微好些。文契尔从第四版中去掉許多同义詞、老的名称以及研究很差的矿物变种的名称，等等。上述的文契尔著作第四版中的缺点，使这本譯本有必要附有一定数量的編者注，这些附注来自1952年以前出版的各种文献資料。

为了应用方便，同时又使編者注在书中醒目起見，将文中編者注单独成行縮短排印。原著中有的地方，需加注解时，則标以星号。有的段落是原著中未曾提到的矿物則标以三角形。附注中文献来源的参考索引，直接置放在正文中該附注的后面，这样可与原著之参考索引分开，这些索引均列在每頁的下方。有关附注方面的全部图件，則采用羅馬字、独

IV

立編號。

凡文契尔引用苏联学者的著作或引用苏联学者在国际刊物上发表的論文时，編者均指出有关論文在祖国出版的参考索引。

第四版中， Z ， Y ， X 光线振动方向的折光率采用 N_z ， N_y ， N_x 为标记。也正如第一版俄譯本一样在俄文文献中固定用 N_g ， N_m ， N_p 符号，既代表折光率，又代表光线振动方向。 $c \wedge Z$ 等符号也采用俄文文献中慣于采用的 cN_g 等符号。

翻譯时矿物名称語音上較难者和以前一样，一律根据德納手册（1937年）的俄譯本拼音。

Д. С. 別良金

作者序^①

自本书第三版問世以后的18年中，在矿物学发展中最重要可能要算晶体的伦琴射线研究了。这就使我们增长了有关矿物晶体构造方面的知识，更好地了解矿物化学成分的变化并对矿物分类加以改进。

由于布拉格和許多其他学者对硅酸盐伦琴射线照片的研究，提出了不同于以前在本书第三版中所引用的分类。該分类包括史特仑茨和弗萊希尔建議划分的名称在內，作了不很大的变动，它已被广泛运用于本书所有的硅酸盐矿物。尽管如此，許多罕見的硅酸盐，甚至某些常見的硅酸盐，其伦琴射线照片研究还没有得出它們结构的完整概念。所以在这种情况下，这里所引用的分类，应当认为只是初步的。

由于矿物的伦琴射线研究很重要，所以在描述中常在构造栏（簡化成“构造”）下，对这种研究成果，作簡要記述。

編写本版时，始終遵循着这一概念，即矿物是一个自然（晶体）相，因此，矿物不一定是固定不变的或是简单的化合物。事实上，研究的矿物愈多，就愈清楚知道大多数矿物的成分均不可能用一些简单的化学式确切表达，因为成分有变异性。的确，有些矿物类如金刚石和石英，确有固定的和简单的化学式，但是这都是一些例外。就如金紅石和閃鋅矿这样的矿物，实际上总含有为量极少而又不能在其化学式中表达出来的元素。所以，在自然界里没有象純人造 TiO_2 那样白的金紅石；而天然閃鋅矿通常总含有鉄，有时鉄竟高达20%以上。不过成分上的变化通常不限于此，例如同一种矿物，象斜长石，在成分上可以表现出連續的变化，从一式 $(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8)$ 变到与其完全相异的另一式 $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ 。在另外情况下，同一种矿物在成分上可連續由一式向几个其他的式子变化。如角閃石的端員式子可达18种。

一种矿物在成分上可以变化的概念是一个新概念；誠然，在本世紀初叶，大多数矿物学家还认为每一种矿物都有一个固定成分，因而当时认为斜长石是一族矿物，其中每种矿物都有一定成分；例如鈉长石是 Ab_1An_0 ，更长石是 Ab_3An_1 ，中长石是 Ab_2An_1 ，拉长石是 Ab_1An_1 等。同时，矿物名称也只給了端員矿物，有时給了各变种的中間产物，而整个矿物族或作为完整系統反而未得命名。这种情况可用頑輝石和紫苏輝石的名称說明，这两个名称属于斜方輝石系列中由 MgSiO_3 到 FeSiO_3 的一部分；斜方輝石（Enstenite）一名已建議用于整个系列。因此斜方輝石是一个矿物种名，頑輝石和紫苏輝石則为一定的变种或亚种名称。一个矿物的种名，对于一定的相來說，有时可能所有成分变种都能应用，它是一个自然单位的名称。变种名称应用于該单位的某一部分，其界限是假定的，同时是人为的。虽然如此这些名称的多样性是有益而完全正当的，斜长石族矿物在某些情况下就說明

① 原序按俄譯本翻譯，在英文本原序中，最后尚有原作者对許多協作者、助手和有关单位的感謝，未曾譯出。——譯者注

了这一点。

这些天然单位的存在好象已被矿物学者忽视了。例如冶金学家知道金和银可以形成一个混合晶体的连续系列；而矿物学家显然忽视了在自然界中也证明有连续系列的事实，例如北内华达的纳星那尔矿 (National Mine) 就产出这种金属，可以作为极好的例证，该金属中所含金和银近于相等。

我们对一个矿物中可能的成分变异及其相应的物理性质变化方面知识的发展，可用这样的事实清楚地说明，即本书第一版 (1909年) 中仅有两个表示化学成分和物理性质 (斜长石和正长石-银长石) 变化间的关系图解，而第二版 (1927年) 就有39个这样的图解了，第三版 (1933年) 有56个，而现在的这一版 (1951年) 却超过了120个。

编写本书时利用了我們所能获得的一切资料，首先我們利用了主要的矿物学参考书，其中包括：

E. S. Dana, W. E. Ford, *System of Mineralogy*, 第6版，有三个附录 (1892—1915)。

C. Doelter, *Handbuch der Mineralchemie*, 1—4 (1912—1931)。

P. Groth, *Chemische Krystallographie*, 1—2 (1906—1908)。

C. Hintze, *Handbuch der Mineralogie*, 1—2 (1897—1938)。

A. Lacroix, *Minéralogie de la France*, 1—5 (1893—1913)。

C. Palache, H. Berman, C. Frondel, *Dana's System of Mineralogy*, 第7版，1 (1944)。

新文献的总结其中最重要来源是 *Mineralogical Abstracts*, 1—10 (1920—1949)。

至于光性方面的资料特别重要的有：

T. Barth 和 H. Berman, *Chem. Erde*, 5, 22 (1930)。

H. R. Landolt, R. Bornstein, *Physikalisch-chemische Tabellen*, 第5版 (1923—1936)。

E. S. Larsen, *Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals*, *U. S. Geol. Surv. Bull.*, 679 (1921)。

E. S. Larsen, H. Berman, *Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals*, *U. S. Geol. Surv. Bull.*, 848 (1934)^①。

晶体构造的伦琴射线研究资料主要取自 *Strukturbericht*, 1—7 (1931—1943) 和 R. W. G. Wyckoff, *Crystal Structures*, 1948。

亚历山大·文契尔

赫若斯·文契尔

康内提克特，1951年1月

① E. 拉尔森和 H. 别尔曼所著透明矿物之显微镜鉴定, M.—П. (1937) 一书已有俄译本。由 Б. Б. 伊凡诺夫和 В. П. 彼得罗夫译, Л. С. 别良金教授编辑。——俄译本编者注

本书采用符号及缩写

(不包括化学符号和期刊文献名称的缩写)

A, B——二轴晶光轴。

A (在化学式中)——金属元素原子。

a ——第一结晶轴 (前后轴)。

α ——结晶轴 b 和 c 之间夹角。

B (在化学式中)——在氧化物、卤化物、硫化物和其他化合物的酸性元素中通常代表一种金属元素的原子。

b ——第二结晶轴 (左右轴)。

β ——结晶轴 a 和 c 之间夹角。

B/D——双折射率值与双折射色散值比率关系。

C (在折光率之后)——红光 (656 m μ)。

c ——第三结晶轴 (直立轴)。

γ ——结晶轴 a 和 b 之间夹角。

D (在折光率之后)——单色黄光 (Na光—589.3 m μ)。

2E——视光轴角, 于空气中测得者。

F (在折光率之后)——蓝光 (486 m μ)。

2H——于油中测得之视光轴角。

Li (在折光率之后)——锂(红)光 (671.0 m μ)。

λ ——单色光波长。

N——折光率。

Na (在折光率之后)——钠(黄)光 (589.3 m μ)。

Ne——一轴晶非常光之折光率。

No——常光折光率。

Ng——最大折光率, 亦为光率体最长轴。

Nm——中等折光率, 亦为光率体之中长轴。

Np——最小折光率, 亦为光率体最短轴。

r ——红(色), $r > v$ 和 $r < v$ (在光轴角之后) 表示在红光下光轴角大于或小于在紫光中的光轴角。

Tl (在折光率之后)——铊(绿)光 (535.0 m μ)。

v ——紫(光)。

$\wedge$ ——角; 例如: $\sigma \wedge Ng$ —— σ 和 Ng 之间夹角 (常简化以 σNg 表之)。

$>$ ——大于。

$<$ ——小于。

2V——光轴角 (于晶体中之真角)。

矿物光符表示在光轴角之前以 (+) 或 (-) 表之; 例如 (+) 2V = 50°, 表示矿物光符为正及真光轴角 (2V) = 50°。

在单斜系晶体中消光角是在直立轴 σ 和 Ng , Nm 或 Np 之间测量; 若 Ng , Nm 或 Np 位于 β 的钝角中则为正, 位于其锐角中为负。

Ng 与延长方向重合或与其夹角小于 45° 时，晶体延长符号为正；若延长方向为 **Np** 则晶体为负延性，若延长方向为 **Nm** 则延长符号为正或负（±）。如延长方向平行于面（即当晶体呈片状时），若 **Np** 垂直于面或与该面所夹之角小于 45° 时延长符号为正；如果该方向为 **Ng** 轴则延长符号为负，该方向为 **Nm** 时其延长符号为（±）。

目 录

俄譯本編者的話

作者序

本书采用符号及縮写

緒論 (繪圖、投影和圖解) 1

矿物描述 (着重在光性和鏡下特征方面)

I. 元素	12
1. 具有金属鍵的元素	12
2. 具有共价鍵的元素	15
3. 具有剩余鍵的元素	16
II. 卤化物	18
A. 简单卤化物	18
1. 典型式为 AX 的简单卤化物	18
2. 典型式为 AX_2 的简单卤化物	21
3. 典型式为 AX_3 的简单卤化物	24
4. 简单含氧卤化物	25
B. 复杂卤化物	26
1. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 及 $(m+n):p > 1:2$ 的复杂卤化物	26
2. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 及 $(m+n):p = 1:2$ 的复杂卤化物	28
3. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 及 $(m+n):p < 1:2$ 的复杂卤化物	29
4. 复杂含氧卤化物	30
III. 硫化物	32
A. 简单硫化物	32
1. 典型式为 A_2X 的简单硫化物	32
2. 典型式为 A_3X_2 的简单硫化物	33
3. 典型式为 AX 的简单硫化物	33
4. 典型式为 A_2X_3 的简单硫化物	38
5. 典型式为 AX_2 的简单硫化物	39
B. 复杂硫化物 (或“含硫盐”)	42
1. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 和 $(m+n):p > 1:1$ 的复杂硫化物	42
2. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 和 $(m+n):p = 1:1$ 的复杂硫化物	44
3. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 和 $(m+n):p < 1:1$ 的复杂硫化物	45
IV. 氧化物	47
A. 简单氧化物	47
1. 典型式为 A_2X 的简单氧化物	47
2. 典型式为 AX 的简单氧化物	48
3. 典型式为 A_2X_3 的简单氧化物	50

V

4. 典型式为 AX_2 的简单氧化物	55
5. 典型式为 AX_3 的简单氧化物	62
B. 氢氧化物	64
1. 典型式为 AX_2 的氢氧化物	64
2. 典型式为 AX_3 的氢氧化物	67
B. 复杂氧化物	68
1. 典型式为 ABX_2 的复杂氧化物	68
2. 典型式为 AB_2X_4 的复杂氧化物	71
3. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 和 $(m+n):p \approx 2:3$ 的复杂氧化物	78
4. 典型式为 $A_mB_nX_p$ 和 $(m+n):p \approx 1:2$ 的复杂氧化物	82
V. 碳酸盐、硝酸盐、碘酸盐	90
1. 典型式 $\approx A_2(BX_3)_3$ 的碳酸盐	90
2. 典型式 $\approx ABX_3$ 的碳酸盐	91
(1) 无附加阴离子	91
(2) 有附加阴离子——无水	106
有附加阴离子——有水	107
3. 典型式 $\approx A_3(BX_3)_2$ 的碳酸盐	107
(1) 无附加阴离子	107
(2) 有附加阴离子	108
4. 典型式 $\approx A_2BX_3$ 的碳酸盐	109
(1) 无附加阴离子	109
(2) 有附加阴离子	111
5. 典型式 $\approx A_3BX_3$ 的碳酸盐	113
6. 硝酸盐	113
7. 碘酸盐	114
VI. 其他含碳化合物矿物	115
VI. 硼酸盐	119
1. 典型式 $\approx A_m(BX_3)_n$ 的硼酸盐	119
2. 典型式 $\approx A_m(BX_2)_n$ 的硼酸盐	122
3. 典型式 $\approx A_mB_6X_{11}$ 的硼酸盐	124
4. 典型式 $\approx A_mB_4X_7$ 的硼酸盐	126
VII. 硫酸盐等	127
1. 典型式 $\approx A_m(BX_4)_n$ 的硫酸盐而其中 $m < n$ 者	127
(1) 无附加阴离子	127
(2) 有附加阴离子	130
2. 典型式 $\approx ABX_4$ 的硫酸盐	131
(1) 无附加阴离子——不含水	131
无附加阴离子——含水	136
(2) 有附加阴离子——不含水	144
有附加阴离子——含水	144
3. 典型式 $\approx A_3B_2X_8$ 的硫酸盐	147
(1) 无附加阴离子——不含水	147

无附加阴离子——含水·····	148
(2) 有附加阴离子——不含水·····	149
有附加阴离子——含水·····	150
4. 典型式 $\approx A_2BX_4$ 的硫酸盐·····	150
(1) 无附加阴离子——不含水·····	150
无附加阴离子——含水·····	152
(2) 有附加阴离子——不含水·····	152
有附加阴离子——含水·····	155
5. 典型式 $\approx A_3BX_4$ 的硫酸盐·····	156
有附加阴离子——不含水·····	156
有附加阴离子——含水·····	156
6. 典型式 $\approx A_mB_X4$ 而 $m=4$ 或大于 4 的硫酸盐·····	157
7. 典型式 $\approx A_2B_2X_7$ 的硫酸盐·····	159
8. 典型式 $\approx A_m(BX_3)_n$ 的硫酸盐·····	159
9. 含有其他酸盐的硫酸盐·····	160
(1) 不含水·····	160
(2) 含水·····	161
Ⅸ. 磷酸盐 ·····	164
1. 典型式 $\approx ABX_4$ 的磷酸盐·····	164
(1) 不含水·····	164
(2) 含水·····	166
2. 典型式 $\approx A_3B_2X_8$ 的磷酸盐·····	170
(1) 无附加阴离子——不含水·····	170
无附加阴离子——含水·····	171
蓝铁矿族·····	173
(2) 有附加阴离子——不含水·····	177
磷灰石族·····	177
有附加阴离子——含水·····	182
晶质铀矿族·····	183
3. 典型式 $\approx A_2BX_4$ 的磷酸盐·····	190
(1) 无附加阴离子——不含水·····	190
无附加阴离子——含水·····	192
(2) 有附加阴离子——不含水·····	194
有附加阴离子——含水·····	202
4. 典型式 $\approx A_3B_2X_8$ 的磷酸盐·····	206
(1) 无附加阴离子·····	206
(2) 有附加阴离子——不含水·····	207
有附加阴离子——含水·····	208
5. 典型式 $\approx A_mB_X4$ 的磷酸盐, $m=3$ 或 >3 ·····	209
(1) 无附加阴离子·····	209
(2) 有附加阴离子——不含水·····	209
有附加阴离子——含水·····	212
6. 典型式为 $A_2B_2X_7$ 的磷酸盐·····	213
7. 典型式为 $A_m(BX_3)_n$ 的磷酸盐·····	214

緒 論

(绘图、投影和图解)

透视图的绘制或正投影、斜投影图的作图，由于其方法较简单，并且几乎在每一本矿物学教科书中都有充分的解释。因此，本书读者应该都有充分地了解。

投影的其他类型需要做某些说明。因为这些投影不能表示出实际晶体的图形，但同时这些投影又很方便，因为这些投影是晶体对称性的图示，并且比利用简单的图形更能清楚而准确地表示晶体的角度关系。

球面投影 在球面投影中，假设晶体被包围于一圆球以内，晶体的中心即为圆球的中心。如图 1 所示。由此共同中心，垂直于晶体的每一晶面作一直线，延长直线使与球面相交于一点，则此交点称为此晶面的极点。在同一晶带（平行于晶体某一棱）上的所有晶面的极点位于圆球的一个大圆之上；相反地，凡在一个大圆上的所有晶面，它的晶面极点一定是同属于一个晶体的同一晶带。但一个晶面的极点是同时可属于晶体的两个或两个以上的晶带，所以此时极点落在两个或两个以上的大圆交点之上。晶面间的角度关系，则非常正确地保持于球面之上，在球面上的夹角是两个晶面法线的夹角，也就是实际晶体上两个晶面夹角的补角。这些晶面法线的夹角，就是这类文献中通常所记录的“法线面交角”。

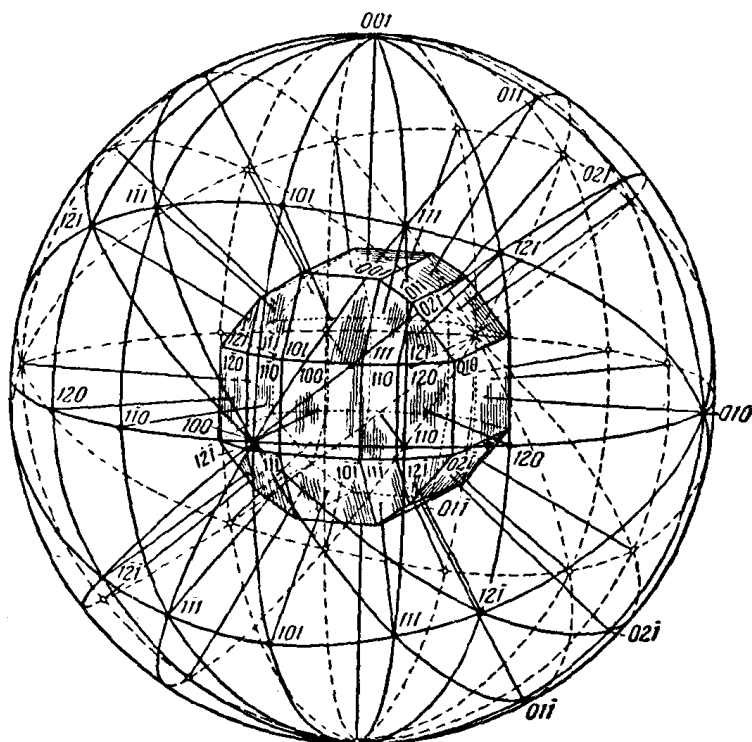


图 1 球面投影的推演

通常将晶体的直立轴安置在垂直于球体的赤道平面的方向，而斜方晶系晶体的 b 轴则在左右方向上，因此， (001) 的极点在球体北极， (010) 的极点在球体的右面，而 (100)

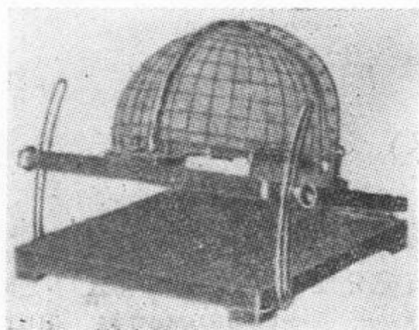


图 2 尼氏半球仪

的极点在球体的前面，后两极点则正如垂直晶带上所有晶面 (100) 、 (110) 、 (120) 、 (010) 等的极点一样，全在赤道圆上。通常晶体纵轴两端的形状都是相同的，故不需要用两个半球来表示，只用上（或北）半球即可。

球面投影的主要不便处，在于它的投影面是弯曲的，所以在平面图上只能以绘图方式或其他投影图来表示。采用球面投影必须将投影建立在球面上，如尼基亭¹半球仪这样的半球（图 2）就被利用了。尼基亭半球仪上具有可以移动的刻度圆圈，用以记录度数。此外，通常有两种方法用来将球面投影变为平面图，一为极射赤平投影法，另一为心射极平投影法。

极射赤平投影 极射赤平投影系由球面投影推演而来，系由南极向球面的上半球上的每个极点作出直线，以通过赤道平面，上半球上每个极点投影位于直线与赤道平面交点的位置上，如图 3。此图中的投影线与赤道平面（即投影面）的交点即为极射赤平投影上每个晶面的极点。如图 1 晶体的投影，从球面投影推演而为图 3，可用图 4 表示其全部意义。

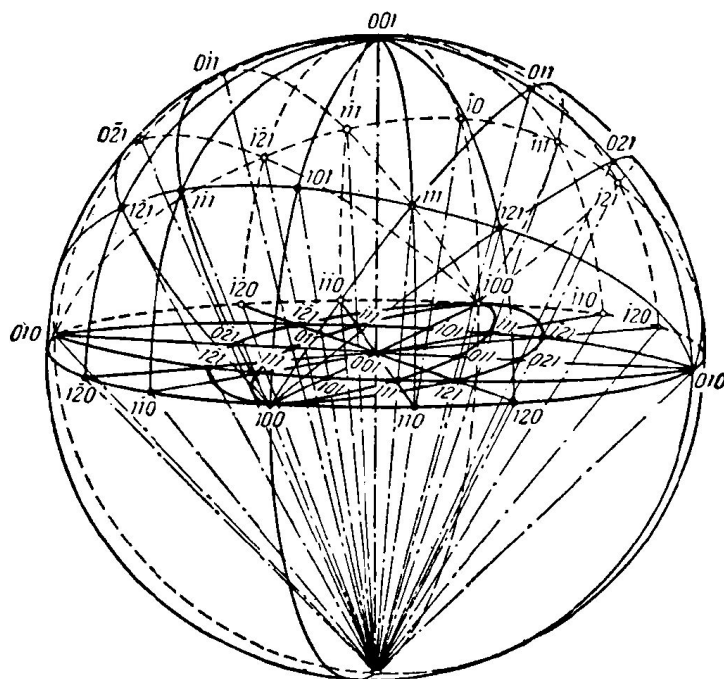


图 3 极射赤平投影的推演

必须指出：球面投影中的所有大圆，在极射赤平投影中表现为圆弧，但其中通过南北两极的大圆，则在极射赤平投影中例外地表现为直线（此种直线可视为无限大半径圆的圆

¹ В. Никитин, W. Nikitin, Zeit. Krist., 47, 379 (1910).

极平投影中，設投影面至球面中心的距离为一单位，已知晶面的极点与投影图中心的距离等于已知晶面与基准面的两法线夹角的正切。通常用 5 厘米为投影距离，故等轴晶系晶体 (011) 晶面的极点与心射极平投影中心的距离为 5 厘米。

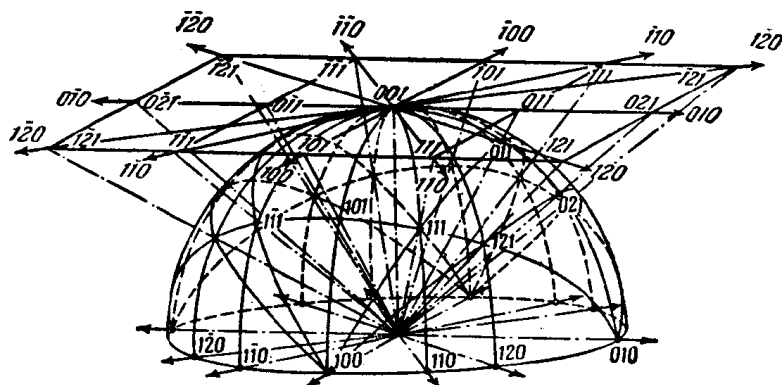


图 5 心射极平投影的推演

球面投影、极射赤平投影与心射极平投影的主要作用在于对个别晶体研究之用，其他各式图解的用处，则在表示一个类质同像系列中的性质的变化。

图解通常是两向坐标的图解，用以表示类质同像的两组成分在性质上的变化，如斜长石这种矿物即包含两种分子，通常水平坐标用以表示成分上的变化。一端表一种单纯的分子，而另一端代表另一种单纯的分子。将坐标线分为十等份，每个分点代表两种组成的十分比例数。另一坐标则用以表示物质的任何性质，如折光率、光轴角、消光角、比重、熔点等。在此坐标上注出一种或一种以上的比例尺数字，则此系列中任何成分的折光率数值或其他性质的数值，都能直接从图解上读出。若因成分变化而产生的性质变化，则可以用适当的线段表示出来，图 6 即为此种图解。

有时在一个类质同像系列中，具有两个完全独立的成分变化的种类，这种最简单的例子之一可见于尖晶石类， MgAl_2O_4 一方面可以被 FeAl_2O_4 置换，另一方面 FeAl_2O_4 与 MgAl_2O_4 完全是独立的。在此情况下，每一种成分的变化必须分别绘在普通坐标上，如图 7。在此图中，将 MgAl_2O_4 置于 A，将 FeAl_2O_4 置于 B，将 MgCr_2O_4 置于 C，很明显，若两组置换均能发生，则其结果生成 FeCr_2O_4 ，置此分子于 D 点完全的四方图形图解告成。现在将四方形的每边分为十格，而将相对的分格联以直线，则四方形内的全域即被分开，其中任意一点的组成百分数就很容易读出。例如 P_1 点，代表 90% 的铁分子 (B 及 D) 和 10% 的镁分子 (A 及 C)，同时也代表 80% 的铝分子 (A 及 B) 和 20% 的铬分子 (C 及 D)。所以它是表示 B 为 80% 的 90% 或 72%，A 为 80% 的 10% 或 8%，D 为 20% 的 90% 或 18%，及 C 为 20% 的 10% 或 2%。同样地， P_2 点表示 A 为 42%，B 为 18%，C 为 28%，D 为 12%。

设有一适宜的表示成分的曲线底图，则每一组成的百分数即可在图上直接读出，如图 8³ 中的 P_1 点清楚地表示 A 为 8%，B 为 72%，C 为 2%，D 为 18%。但这种图解不能同时划

³ 由 Г. Вичеллу 供给。

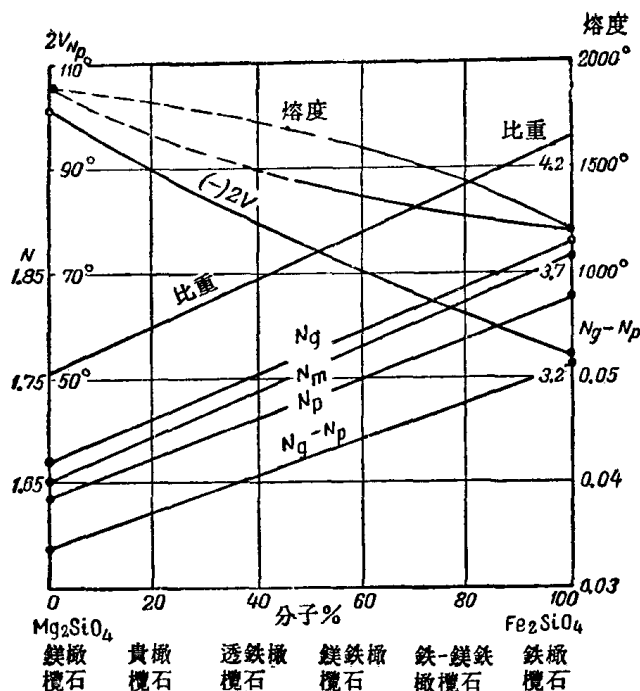


图 6 兩組成分与性质的变化

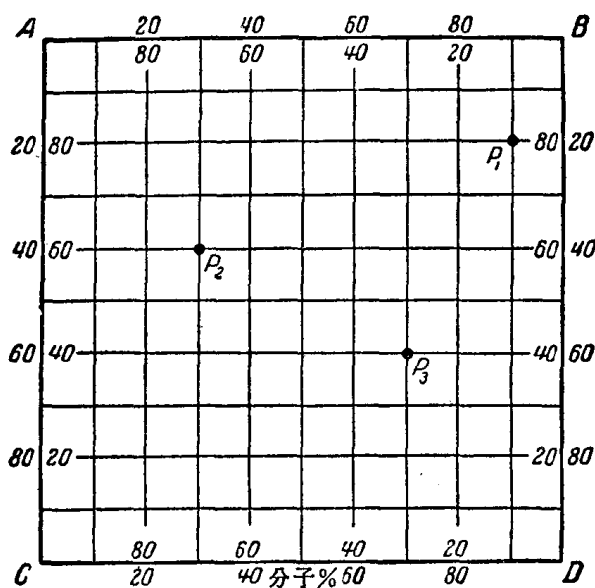


图 7 兩組独立变化形成四种末端組份的图解

分各系內的变种。在此种图上已不能像二元系那样很方便地表示出它的物理性质的变化。至于表示物理性质的方法，可用等高线状的等值线来表示，或在方格面上以立体图来表示。图 9 即系以等高线的方法在平面图上表示。

有时一种矿物的成分中仅有一个組分的变化，但可能有一种以上的其他元素代替了本組分中的某一元素，这种情况最简单的例子如 MgCO_3 ，它可以过渡为 FeCO_3 或 MnCO_3 ，或同时含有三种組成的混合晶体，在此种实例中，每 100 个 CO_3 根中一定是很正确地具有 100 个 $(\text{Mg} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 的原子，在图解各区内， $\text{Mg} + \text{Fe} + \text{Mn}$ 的总和是一个常数，为了便利起见

