

构造岩石学

下 册

〔苏联〕H·A·叶利塞耶夫著

方 雄 明 译

中 国 工 业 出 版 社

本书系根据 Н. А. 叶利塞耶夫教授所著《构造岩石学》一书译出，原书共九章，中译本分上下两册出版。

中译本的下册用很大的篇幅叙述了显微构造分析，列举了用这个方法来解决实际问题的许多例子，最后一章并介绍了地质构造的表示方法。

本书可作为研究构造岩石学和构造地质学问题的地质人员的参考书，也可以作为地质系学生的教学用书。

本书地名根据原书译印。

Н. А. Елисеев
СТРУКТУРНАЯ ПЕТРОЛОГИЯ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Ленинградского Государственного
Ордена Ленина Университета
ИМ. А. А. Жданова
Ленинград · 1953

* * *
构造岩石学
下 册
方 维 明 译
(根据原地质出版社译印)

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 (北京性神版社西10号)
北京市书刊出版业登记证出字第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 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $5^{13/16}$ · 插页1 · 字数150,000
1959年4月北京第一版
1966年4月北京新一版 · 1966年4月北京第一次印刷
印数0001—2,160 · 定价(科五)0.85元

统一书号：15165 · 4257(地质-367)

目 录

第七章 显微构造分析	191
显微构造分析的基本概念及其發生和發展的歷史	191
显微构造分析技術	193
結構方位的規律性的統計確定	206
顆粒形态方位和內部結構方位	207
同性和異性結構及同性和異性變形	209
變形橢球體	210
變形的分析	217
塑性變形	219
晶體的塑性變形	220
多晶集合體的塑性變形	225
在高溫高壓下岩石的力學屬性	228
變形與結晶作用之間的關係	234
運動的對稱和結構的對稱	238
坐標的選定	240
結構的類型	246
構造岩的結構	246
與構造岩結構相似的非構造岩結構	251
包體的結構	252
各種礦物的方位	255
石英的方位	256
根據石英所圖制的方位圖解的類型	262
方解石的方位	270
雲母的方位	272
長石的方位	272
角閃石的方位	273
輝石的方位	273

綠簾石的方位	273
石膏的方位	273
螢石的方位	273

第八章 顯微構造分析实例..... 275

滑动鏡面、似滑动鏡面和滑动糜稜岩.....	275
粒变岩的顯微構造分析.....	277
笔狀片麻岩的顯微構造分析.....	281
礫岩中雪茄烟狀礫石形狀的起源.....	283
片理.....	283
用顯微構造分析解决地層学問題.....	288
研究沉积岩时顯微構造分析的应用.....	291
礫岩和松散礫岩的顯微構造分析.....	294
区别波痕和假波痕的准則.....	298
深成岩体的構造分析和顯微構造分析.....	301
侵入岩原生流动構造中流綫不同排列的原因的解釋.....	310
用顯微構造分析确定深成岩体的原生構造要素.....	311
深成岩体的原生节理与顯微構造分析时研究的节理的对比.....	311
包体構造的分析.....	313
弯曲褶曲的展开.....	318
褶曲的类型.....	321
褶皱作用的实验研究.....	331
顯微構造分析实际应用的例子.....	334
角閃石-磁鉄矿片岩的構造	334
含矿角礫岩.....	349
結論.....	358

第九章 地質構造的表現方法..... 359

噴出岩、侵入岩和变質岩的地層研究原則.....	359
構造圖的專門符号.....	360
不同杂岩的構造特征在地質圖上的表示.....	365
編制深成岩体和具有矿化現象的地段的構造圖的規範.....	367

第七章 顯微構造分析

顯微構造分析的基本概念 及其發生和發展的歷史

假使岩石是在运动过程中形成的話，那末組成岩石的矿物就具有規律的空間排列。而且，运动的影响愈強烈，則这种規律的排列就愈明显。在具有帶狀和綫狀構造的原生層狀侵入体中，矿物的規律方位^①就是由于这种运动的影响而产生的。在后来的定向运动的影响下，也能够硬的岩石中产生矿物的規律方位（次生方位）。最后，在水盆地中，在冰川沉积中等等，在定向运动的影响下能在沉积物顆粒中产生規律方位。

作为岩石中产生矿物規律排列的原因的作用是复杂的，多样性的，于是就产生复杂的、各种各样的、所謂岩石的組織（узоры）。在定向运动的影响下，在岩石和沉积物中产生直接影响到各种顆粒在空間上規律排列的差异运动。同时能够产生矿物的再生方位（реориентировка），在空間上无论怎样分布的顆粒都能获得規律的方位，而旧有的規律地定方位的組織，按照新的运动方向和运动强度逐漸地被新的組織所代替。由此可見，在新的定向运动的影响下可以形成新的組織，新的非均質性構造。

①在上册里譯成了“定向”，“方位”与“定向”兩詞在俄文里是一个詞，都是 ориентировка。

显微构造分析是研究各种岩石——变质岩、岩浆岩和沉积岩以及现代的和石化的沉积物的显微构造的非均质性。必须牢记，显微构造分析和侵入体构造分析一样，不是单纯的实验室方法；首先，这是一种地质方法，在野外深入观察时将提供良好的结果，有时候将有助于解决非常复杂的和现实的地质问题。诚然，显微构造分析的实验室的技术是较复杂的，但是在野外很好地收集的資料，仔细的地质观察能使我們节省許多时间，而主要是防止不必要的時間耗費。

显微构造分析的基本概念，是貝克尔(G.F.Becker)在1893年拟定和发表的，但在同时代的地质学家中未被重視，后来就被暂时地遗忘了。过了二十多年，在地质学新的发展阶段中显微构造分析思想重新引起地质学家的注意，又过了二十年，它就变成不特别广泛的岩石学界的财富了。

与貝克尔发表著作的同时，也是在1893年，曾以俄文和德文出版了俄国学者 E. C. 費多罗夫的优秀著作“矿物学和岩石学中經緯仪法 (теодолиитный метод)”，这本书对显微构造分析的发展起了极大的作用。问题在于，無論是为了确定各个矿物的規律方位，或是为了确定方位組构的完善程度，都必须采用某种矿物的各个顆粒的方位的統計研究。这种統計研究只有在費多罗夫法——矿物光性研究的經緯仪法的基础上才有可能。

因此，显微构造分析过去和現在的发展，都是建立在貝克尔和費多罗夫的著作的基础上。

作为显微构造分析奠基人的桑德尔 (B. Sander) 和施密特 (W. Schmidt) (显微构造分析常常叫做桑德尔夫法)，利用了貝克尔和費多罗夫的主要观念，并制定了显微构造分析的方法，使它接近于能解决地质学中的实际问题。

显微构造分析有各种不同的名称：“岩組学”，“岩石构造学 (петроктоника)”，“岩組分析”，“构造岩石学”。“显微构造分析”最精确地表达了这一地质学新部門所包含的意义和思想及概

念的内容。

顯微構造分析技術

在某些情況下，石英岩中可以發現下列現象：儘管石英顆粒具等軸的形態，但在顯微鏡下作薄片研究時，看到有規律的內部結構。石英顆粒差不多同時消光，在轉動載物台時以及應用石膏試片時，石英變成藍色或黃色，而且石英顆粒的光軸的位置垂直於片理。

雖然在某些情況下這種簡單方法可以用來觀察石英岩中的非均質構造，但並不是在任何岩石中都能用這種方法覺察到結構（組構）的非均質性。

企圖對岩石中某些礦物方位的完善程度作定量研究時，會發現這些方法更不完善。這就無怪乎在顯微構造分析發展之最初，由於整理和解釋事實資料時有很大困難，曾特別注意到顯微構造分析技術的改進。

研究某一岩石的規律結構的時候，都採用以下的方法。在非均質性的岩石中，各種礦物的方位在空間上是有規律的。例如在石英岩或結晶片岩中，儘管礦物具等軸的形態，但在方位上，石英顆粒中大多數光軸都呈同一方向排列。對於某些礦物來說，比方雲母和某些長形及片狀礦物，空間上的規律排列以前大家早已知道了。為了檢查各別礦物在空間上方位排列的完善程度如何，要在一個薄片中或是在幾個同樣定方位的薄片下來測定任何一個最便於和最易於測量的光性要素或結晶要素（光軸出露點、解理、晶面、結晶軸）的排列。測定的結果標在投影網上，用平面的極點來代替平面。此時，非均質結構將表現為：相當於同一礦物的不同顆粒中相同要素的測定的極點，都彼此緊挨著落下，形成極點的大量聚集。方位愈完善，測極點的分布愈密集。

對於很熟悉費多羅夫旋轉法的俄羅斯地質學家來說，這一非常復

雜的度量 and 觀察整理的技術是不太困難的。施密特迅速地評定了費多羅夫礦物晶体光學和結晶分析方法有不可反駁的優點，在他1925年付印的著作（*組構統計*）之後，費氏旋轉台便成為處理顯微構造分析資料的必要工具了。

我國生產作顯微構造分析用的顯微鏡的工廠，在費氏旋轉台上配有專用的滑板，藉助於這種滑板可以很方便地在空間上轉動薄片。因而使得逐一測定各個顆粒的過程容易一些和迅速一些。必須指出，沒有費氏台顯微構造分析是完全不可能得到發展的。最近開始應用倫琴射綫分析，藉助於倫琴射綫分析能發現岩石內部結構的規律性。

研究礦物是在方位薄片中的進行的，為此，就要在野外收集方位標本。不僅要在對東南西北方向的关系上定方位，並且要在對構造的坐標 a 、 b 、 c 的关系上定方位，下面將詳細說明這一點。在採方位標本的時候，在標本上貼的紙片上或是直接在標本上用直綫表示構造的走向，而片理、層理或其他任何構造要素的傾斜則用箭頭來表示。為了全面地研究各種不同礦物的晶体光學要素或結晶要素的空間位置，通常預備三塊薄片，同時為了簡單起見，選定垂直於坐標軸 a 、 b 或 c 的斷面（圖113），不過應該指出，環繞任一軸作轉動是很容易的，因而把投影網上偶然定方位的圖解轉成任何位置也是不困難的。

描繪顯微構造分析觀測結果所用的投影網，與吳爾弗氏赤平投影網是不同的。當保持各種不同結晶要素和晶体光學要素之間的角距（*угловые расстояния*）是很重要的時候，便要利用吳爾弗氏網。構造分析時抱有另一任務，在統計整理觀察結果時，重要的是要在圖上獲得與空間上一定的向量之方向相當的極點聚集的極密（*максимумы*）和極稀（*минимумы*），因此必須有可能來對比單位面積比較點的數量。如果取面積為投影網面積0.01的一個小圓，即當網的直徑為20公分時，該小圓的直徑為2公分，並把這個小圓放到吳爾弗氏網的不同部分上，那末在網的不同地點，小圓將復蓋着投影在網上的半球面的不相等的部分。在施密特用於顯微構造分析的实际中的等積投影網

特投影)上, 小圓在投影網的不同地点將复盖着半球的相等的部分, 但是, 在这个投影網上半徑之間的角距被歪曲了。在吳尔弗氏網上, 从網中心沿赤道直到与某条子午綫交点的綫段的长度(r)按公式 $r = 2a \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ 計算, 式中 a 为系数, α 为角距。在等积投影網上, $r = 2a \sin \frac{\alpha}{2}$ 。就直徑为20公分的普遍的投影網来說, $a = 7.07$ 公分。圖81是縮小了的等积投影網, 而单独的一幅圖(圖82)是自然大小画出的等积投影網, 該網在整理显微構造分析的观察結果时可以利用。使用这种網

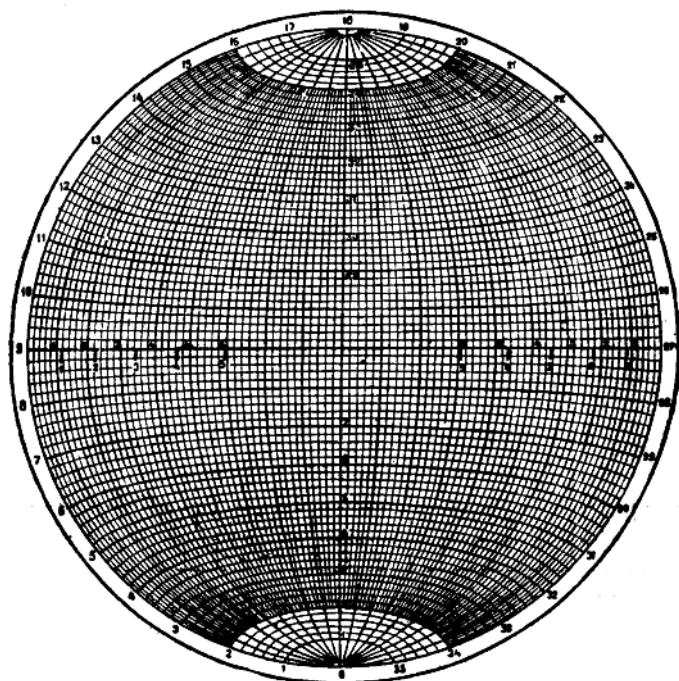


圖 81. 等积網

和使用吳尔弗氏網的做法是一样的。把網貼在木板上或是厚紙板上。在網上放一張透明描圖紙，在透明描圖紙上描繪晶体光学要素和結晶要素与在吳尔弗氏網上同样地进行。

現在我們来研究一下如何編制方位圖解。圖解（圖83—85）上面

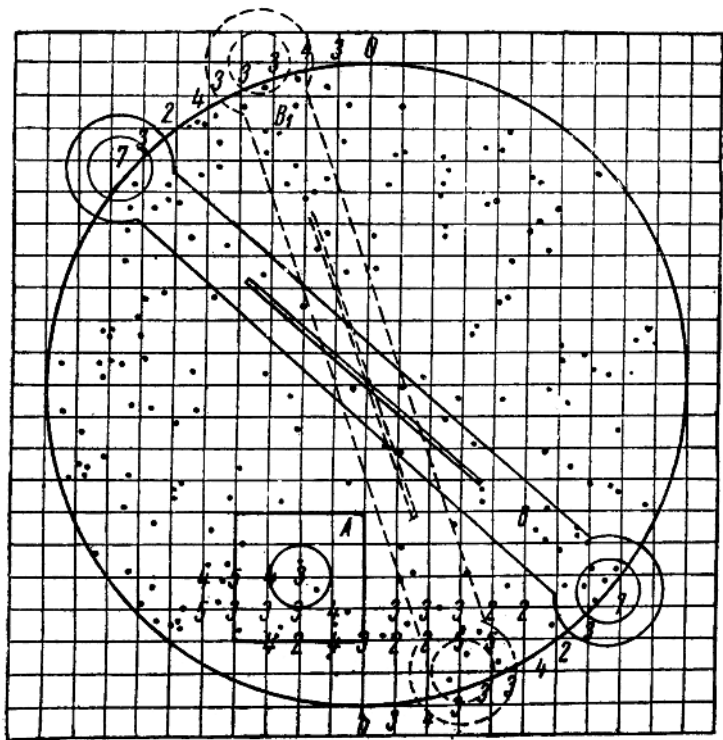


圖 83. 顯微構造分析时所获得的觀察結果的整理。极点表示
石英岩中石英顆粒的光軸

划着極点的透明描圖紙放到透明公分方格紙上。用量板A和B來確定小圓範圍內（直徑2公分）的極点数目。量板A的中心与垂直綫和水平綫的交点相合，在圓心寫上小圓範圍內的極点数目

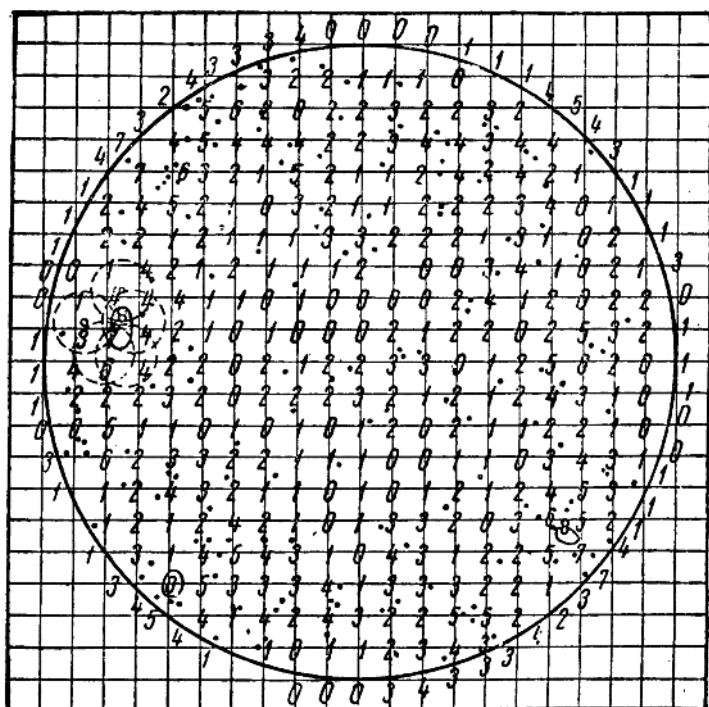


圖 84. 顯微構造分析時所獲得的觀察結果的整理。极点表示石英顆粒的光軸

極點用第二種方法獲得極點。移動量板，直到圓內出現所需的點數為止。

出石英岩薄片中石英光軸 200 次測定結果。從極點之不均勻分布可以猜度到存在有極密和極稀，但是為了精確地確定極密和極稀，必須進行以下的觀察結果的統計整理。把划着測定點的透明描圖紙蓋在透明方格紙上——按一公分划出方格子的一張紙上。然後拿一個膠質或紙板所做的正方形的量板（шаблон）A，量板內剪一個直徑為 2 公分的小圓，把小圓放成這樣，以使圓心與透明方格紙上 4 平方公分的正

方形之中心相合。然后算出小圓內极点的数目，并在圓心写上数字来表示小圓內的极点数目。然后把量板向左或向右移 1 公分，使圓心与下一个垂直綫与水平綫之交点相合，算出小圓內的点数，也把点数写在圓心上。这样把網內的极点整理好之后，再拿另一个量板 B（見圖 83），把这个量板放成这样，以使兩個圓窟窿的中心与網边相合，而量板的中点則与網的中心相合。这时算出落在兩個小圓內的极点的数目，加起来，总数写在兩個小圓之內。

圓內和圓边的极点都加以整理以后，就在透明描圖紙上划等密綫（изолинии），与在地形圖上划等高綫的做法相同。預先定出等密綫的間距，等密綫間距的选定决定于极点的密度，在圖上大致这样表示：（8—5）—4—3—2—1—0。此种符号应这样了解：点数自 5 至 8 的部分意味着极密，完全塗上黑色或任何綫条，而隔一定的、預先选定的間隔画其次的等密綫，这就是說，圖解的單位面积內极点数目为 5 到 8 的部分分布在极密部分內。极点数目最多的部分塗上黑色，然后划出單位面积內有 4 点的地帶，其次再划出單位面积內有 3 点的地帶等等。因此，等密綫划分出极点集中程度的面积。圖 85, a 是用这种方式所获得的圖解。在画等密綫和极密之前，每一小圓內的极点数目通常計算成百分数。假定我們有 200 个极点。在这种情况下，等于整个網面积 1% 的小圓面积上有 8 点，这將相当于全部极点的 4%，而 12 点則相当于 6% 等。

編制方位圖解也可以用另一种方式来进行。为了求出位于等密綫上的极点，如 8 点，或是 4%，就要移动量板，直到量板內出現 8 点为止，并在圓心上做个記号，这个記号將位于等密綫 8 或 4% 之上。为了在等密綫上划出 6 或 3%，要移动量板直到圓內出現 6 点为止，等等。把所得到的記号用平滑的曲綫联起来，这些曲綫便相当于 3%、2%、1% 的等密綫了。圖 85, b 是用后一种方法所求出的方位圖解，把这个圖解和用第一种方法所編制的同一情况的方位圖解作对比时，可以看出兩者是有一些区别的。第二种方法也許精确和方便一些。

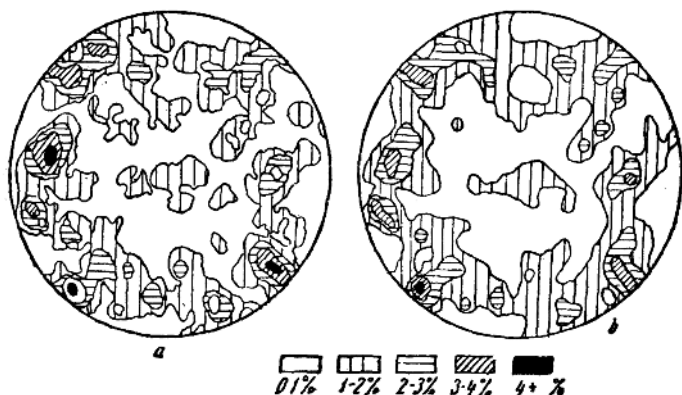


圖 85. a—網 (圖83) 上划的觀察結果按第一種方法整理后所得出之方位圖解。b—按第二種方法所得出的方位圖解。

(根據英格生 [E. Ingerson])

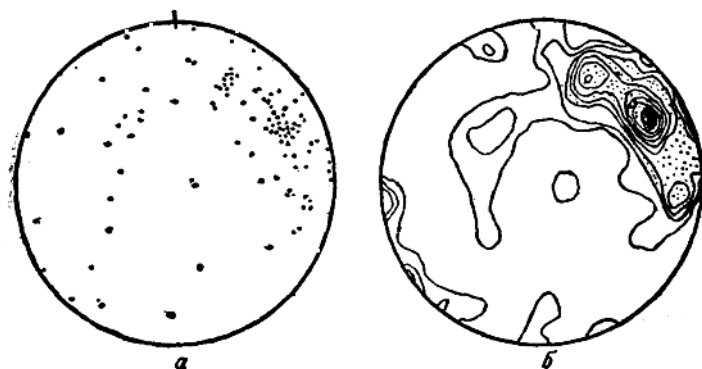


圖 86. 薩克松尼亞 (Саксония) 弗萊堡 (Фрейбург) 郊外的石英片岩

圖a划出石英顆粒的光軸出露點 (93 個光軸)。圖b划出圖a的材料經過整理后的等密錢。等密錢的間距為 0、1、2、3、4、5、6—7、8—9、10—11、12—13—14 %

(根據芬契爾 [Winchell])

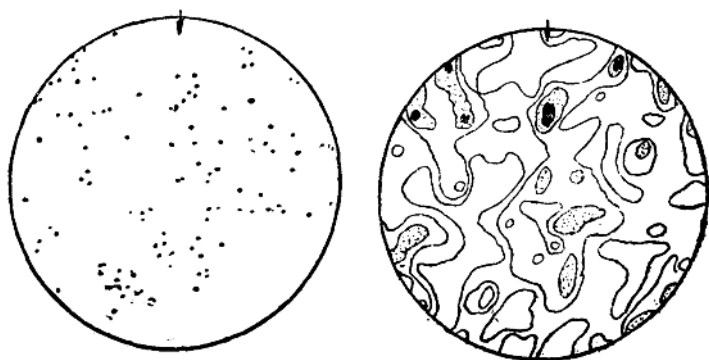


图 87. 帶有劈理裂隙的石英岩。方位圖解是根据石英顆粒中110个光軸測定所作的。就外形看石英岩可以算是構造岩，显微构造分析証明石英岩不是这样。在岩石中没有看到有規律地定方位的組織（根据芬契尔）

圖86上描繪了兩個圖解，一个圖（左圖）上划着許多极点，每个极点都相当于石英片岩中一个石英顆粒光軸的出露点。极点的不均匀分布，明显地表明岩石中石英顆粒的光軸有規律的方位排列。划出直接观察結果的圖解（左圖）经过整理后便得出右圖，它清楚地說明了石英顆粒方位的規律性。圖87和88上描繪了石英岩的方位圖解，与剛才所描写的片岩中石英顆粒的方位情况相似。左边的圖上划着显微鏡下直接观察的結果，右圖是直接观察結果经过統計整理后所得到的方位圖解。

除了所描述的两种編制方位圖解的方法之外，还有芬契尔提出的第三种方法（1937），它比前两种方法要簡單一些。直径20公分（等积網的直径）的一个圓应划上平行的水平綫和垂直綫的格子綫。如果平行綫之間的距离等于圓的直径的 $\frac{1}{14}$ ，那末，圓内完整的正方形的数目將等于148。圓边上不完整的正方形，面积最大的只剩下两个，其余的都划上綫条，在統計整理时可不予考虑（圖89）。

假定說，为了根据岩石中某种矿物顆粒的观察結果来編制方位圖

解，我們對礦物顆粒中某種結晶要素或晶体光学要素（石英顆粒中之光軸、云母的解理、長石的解理、角閃石或輝石的第三結晶軸等）的位置作了300次測定。所有300個觀察結果都用等積網劃到透明描圖紙上。然後把透明描圖紙從網上取下，放到劃着正方形的圖上。對着每一正方形的中心打一個點子或小十字，在每個點子之下記上每一正方形內的點數（百分數）。假定說，正方形內有6個極點，在這種情況下正方形內占有所有極點的3%，因為，如果把一個正方形之面積當作單位面積，則每2個極點相當於1%。如果極點不是落在正方形之內，而是落在正方形的邊上，那麼就要這樣來做：位於垂直線上的極點歸入右邊的正方形，位於水平線上的極點應歸入上面的正方形。

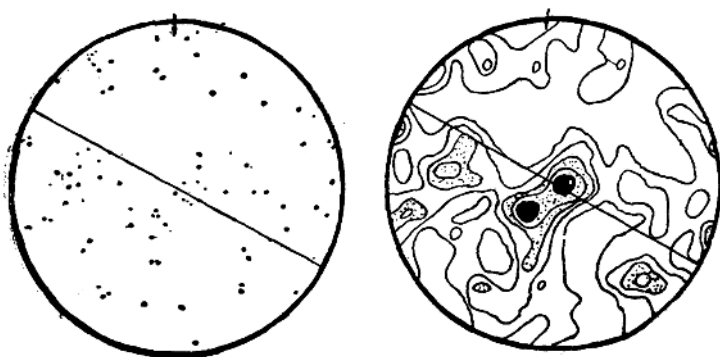


圖 88. 位於褶曲了的石英岩之下的流紋斑岩。褶曲軸在圖上用直線表示。方位圖解是根據石英顆粒中的光軸編制的。褶皺作用乃是石英顆粒再定方位和岩石中產生規律組構的原因（根據芬契爾）

芬契爾利用統計方法編制了方位圖解上極點在理論上可能的分布密度（分散程度）計算表。表7提出了編制圖86上的方位圖解時所獲得的材料。

為了確定極點在圖解上（畫着極點的圖）規律分布的性質，芬契爾提出如下的方法。直徑20公分的圓劃分成等積的同心環。在另一圓

上划出平行的、也是等积的条带(圖90)。如果把这些圓叠在标出极点的圖解上,那末立刻可以确定极点的分布是否呈規律的同心圓狀或平行于一排条带。藉助于这种透明圓圈紙,可以在划等密綫之前立刻解决圖解上規律方位的性質問題。

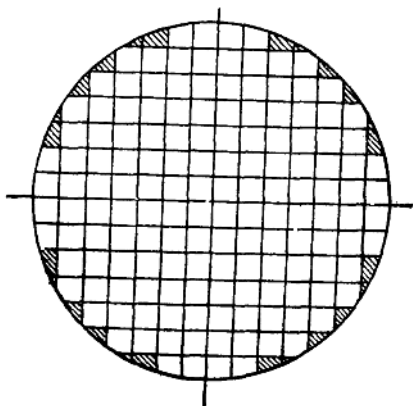


圖 89. 划分成 148 个等积部分的圓

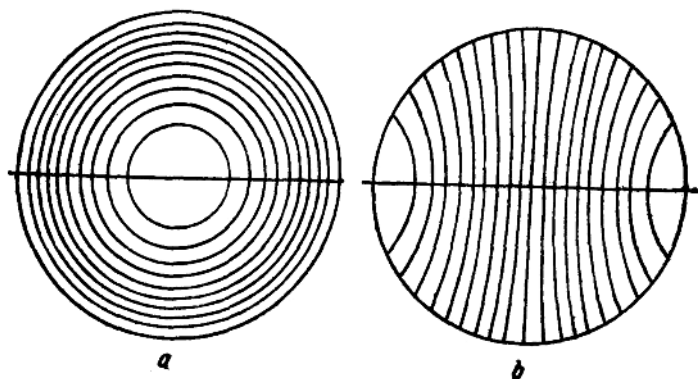


圖 90. 划分成 10 个等积环的圓 (a) 和划分成 20 个等积部分的圓 (b) (把圓球旋轉 90° 时所獲得的)。为了迅速确定岩石組織之規律性可以利用这种量板。

表 7

1	2	3	4	5	6	7
r	$m_{r'}$	$rm_{r'}$	m_r	$m_r - m_{r'}$	$(m_r - m_{r'})^2$	$\frac{(m_r - m_{r'})^2}{m_r}$
0	106	0	81	25	625	7.7
1	25	25	49	24	576	11.6
2	11	22	18	1	1	1
3	2	6	0			
4	0	0	0			
5	0	0	0			
6	0	0	0			
7	1	7	0			
8	1	8	0			
9	1	9	0			
10	0	0	0			
11	0	0	0			
12	1	12	0			
	148	89	148			

附註

1. r ——正方形內的点数。

2. $m_{r'}$ ——有一定点数的正方形的数目。

3. $rm_{r'}$ ——等密线所圈定的点数。

4. m_r ——理論上最可能的正方形(包含有1,2,3,……等个点)之数目,这是理論上的极点的空間分布,与真正看到的极点的空間分布相反,后者列举于表的第二項中。这些材料是作者藉助于根据泊松(Пуассон)函数和皮尔松(Пирсон)公式所制的圖而得的。

泊松函数是:

$$Pn(r) = e^{-m} m_{r'}^r$$

皮尔松公式是:

$$(\chi)^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(m_i - m_{i'})^2}{m_i}$$

为闡明沉积岩中組構的規律性問題而作观察結果的統計整理时,特别是在研究礫石时,可以利用极点網(圖92)。直綫向量划成点子