

构造岩岩组学

郑伯让 金淑燕 编



43

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书共分四章。第一章按照工作程序阐述了岩组分析的技术与方法；第二章讨论了岩组图的基本特征及优选方位形成机理；第三章较详细地介绍了几种主要造岩矿物的优选方位及针对不同矿物的若干动力学研究方法；第四章收入了一些有启发意义的研究实例。

岩组图常具多解性，对它们的解释也没有固定的程式，因此，既要有一定的灵活性，又不能随意武断与臆测，这是初学者的难点。本书第二、三、四章的安排采取了由一般到较深入，再到具体应用，希望能对初学者在这方面有所帮助。当然由于目前尚没有全面掌握优选方位的形成机理，也由于作者水平所限，这只是一次尝试。

本书适用于与构造地质学及岩石学有关的各专业研究生及高年级本科生使用，也可作为野外地质科技人员及有关领域研究人员的参考书。

构造岩岩组学

郑伯让 金淑燕编

责任编辑：李继英 张光前

责任校对：冯汉英

中国地质大学出版社出版发行

(武汉市喻家山)

中国地质大学出版社印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张12 插页1 字数300千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数1—1500册

ISBN 7-5625-0401-6/p·116

定价：2.55元

前 言

岩组学又称构造岩石学或显微构造分析,它是研究岩石组构的学科。组构一词来自于德文Gefüge,原意是描述编织物的花纹与图案,译作英语为fabrik。作为一个专门术语指的是一种集合体内部的几何形态和物理性质的数据在空间上的分布规律。组构这个术语不仅使用于岩组学中,也使用于金相学及材料科学中,不过在那些领域里通常译作织构。针对天然岩石来说它大致包含有三个方面内容:结构,构造和优选方位。

人们早就发现了地质体的组成部分常常是呈有规律的分布,例如河床沉积中砾石的定向排列;岩浆岩侵入体的流线与流面;变质岩的片理与劈理等等。这种空间分布的规律性便是优选方位。它是物质在运动中定位的产物。

1930年B. Sander在奥地利学派实践工作的基础上发表了专著:《Gefügekunde der Gesteine》(岩石的组构学),阐述了变形岩石的组构及其几何分析方法和运动学解释的原则。这是一次最早阶段的总结,它标志了岩组学以一门独立的分枝学科出现在人们的面前。以后一些研究者使用Sander拟定的方法去研究天然岩石,累积了大量的实际资料,发现受构造变形的岩石常具有某种特殊的组构。人们便企图从这些组构去了解岩石受变形的历史,但遗憾的是对于这些组构的形成机理却了解甚微,因而结论带有极大的臆测性。

为了解决变形机理问题50—60年代其间首先在美国,然后在欧洲和澳大利亚开展了一系列的矿物及岩石的人工变形实验。通过这些工作,对矿物及岩石的塑性变形性质,优选方位型式的演变以及应力、应变与岩石组构之间的关系,增添了大量的资料。

1963年F. J. Turner和L. E. Weiss发表了《变质构造岩的构造分析》,对构造分析的有关概念和方法以及组构分析的程序进行了充实和修改,还系统地分析了构造分析方法的成败得失,是又一次阶段性总结。

70年代以来,许多构造地质学家大力强调显微构造分析在构造地质研究中的作用,吸引了更多的学者从事这方面的工作,引入了物理冶金学及材料科学中的位错及流变学理论,使用了新的技术手段(透射电子显微镜,电子计算机等),改进了X-射线岩组的技术方法,开始应用中子衍射,岩组分析显微构造研究无论在深度和广度上都得到蓬勃地发展。1976年A. Nicolas和J. P. Poirier出版了《变质岩的晶质塑性和固态流变》一书,积极倡导将物理冶金学的原理与方法引进到岩石的显微构造分析。该书还较全面地搜集了丰富的变形实验资料,并对地幔橄榄岩的塑性流变作了较系统全面的研究。可以认为是第三次的阶段性总结。此处还必须提到H. R. Wenk 1985年主编的专集《变形的金属和岩石的优选方位》一书,该书可以认为是一次最新的有关组构优选方位的阶段总结。

除单篇论文外,有关岩组学方面综合性的著作尚应提到W. Schmidt(1932), H. W. Fairbairn, E. B. Knopf和E. Ingerson(1949), F. J. Turner(1948)以及H. A. Елисеєв(俄文, 1953)等的有关岩组学(构造岩石学)方面的著作。这些书在岩组学的历史发展中都起过一定的作用。

岩石组构和显微构造是构造地质研究中一项重要的基础工作。它是通过构造岩组构的微观定向规律,来揭示一些宏观构造应变规律、应力状态、运动方式、动力学分析等构造信息。因此,自从岩组学问世以来,变形岩石和矿物晶体优选方位规律的形成机制一直是岩组

学研究的中心课题。现在,岩石的优选方位是变形岩石中普遍存在的特征,已经没有任何异议了。但是对优选方位的分布规律,及其运动学、动力学涵义,形成机制,仍有不同认识。

近十多年来,变形岩石组构和显微构造研究进展很快,研究领域不断拓宽和深化,应用范围逐渐扩大,研究技术手段日趋完善。1976年以来,围绕组构与显微构造等有关问题已连续开过6次国际性会议,即,1976年在荷兰召开的组构与显微构造讨论会,1977年在英国召开的地球材料蠕变讨论会,1978年在法国召开的矿物、岩石变形机制讨论会,1979年在澳大利亚召开的变形和变质作用、组构、显微构造讨论会,1980年在西班牙召开的剪切带讨论会,1981年在美国召开的糜棱岩讨论会。最近美国地球物理学会为纪念澳大利亚著名构造变形实验学家Paterson教授而出版的《矿物和岩石的变形实验研究》(B.E. Hobbs 等主编),是当前组构的实验研究的高水平总结。

在我国,早在30年代何作霖教授受李四光教授委托曾就学于Sander,并将旋转台技术及岩组分析方法介绍于我国,何先生首先设计了X-射线岩组照相法。早期从事岩组学方面工作的还有王嘉荫教授、池际尚教授等。但是,总的来说从事这方面工作的学者为数不多。直到70年代才有了一定的发展。1982年在中国地质学会构造地质学分会下设立了显微构造专题组,以利于推进及交流这方面的研究。目前我国组构与显微构造研究工作方兴未艾,它在实验应用方面已有了新的起点。先后在1982,1984年召开了全国性组构与显微构造讨论会。然而由于岩组分析尚存在多解性,一些运动学和动力学的解释还带有推论性质,因此,目前国内仍然在加强以下几方面课题的研究。

1. 加强天然变形岩石组构的研究,选择变形历史清楚的典型地区,进行天然变形组构和区域构造历史,各阶段变形特点及变化规律的研究。

2. 积极开展岩石及矿物实验变形和形成机制的研究,并加强实验成果与野外资料的分析与对比。

3. 进一步应用金属物理位错理论和连续介质力学理论及有关学科成果,不断改进、提高测试手段,应用电子计算机模拟天然组构图象,建立由位错滑移而产生优选方位的理论模型等。

可以预见,组构和显微构造分析的理论、方法以及在实际中的应用,必将有很大发展。

本教材是为地质力学专业高年级学生及有关构造地质方向的研究生所开设的课程而编写的。1975年池际尚教授曾对我院地质力学高年级学生第一次开了专题讲座,并相应地编写了一份教材《构造岩岩组学》。自1978年起我们在大约20余次教学活动的基础上,1980年及1986年两次编写印刷了《构造岩岩组学》试用教材,这次出版的是第三次修改稿。岩组学作为构造地质学和岩石学的一门边缘学科,尚在不断地发展之中,正不断地引入新的技术手段和兄弟学科的理论与方法,还没有一份统一的教学大纲。即使时至今日,在组构现象的解释方面,仍然存在着一定程度的臆测与推断。另一方面从事岩组分析要求工作者必须具备某些多样的分属于不同专业方向的基础知识,而这些基础又不是初学者通常都具备的。所以尽管有一些优秀的专著及有价值的论文,但仍然未有一份理想适用的教材。我们希望能编出一本深入浅出、阐述简明细致、并能指导自学的教学参考书。本书虽然三易其稿,但从上述角度来说,仍然不够理想,而且错误之处仍在所难免,希望同行及读者提出宝贵意见。

本教材连同它的实习课大约可讲授70—80学时,四章内容大致涉及三方面:岩组分析的技术与方法;矿物优选方位形成的基本原理及几个主要造岩矿物的优选方位;若干岩组工作的实例。第三方面内容我们认为必要,因为在初学者中不少人除了能按操作步骤完成组构

图外，很难根据组构分析得到什么结论，尤其是很难与其工作地区的地质情况相结合。我们对实例的选择原则是：多用国内的和注意在工作方法及思路上有一定启发性的实例。

值得提出的是编者曾先后收到吴香尧教授及何永年研究员等惠赠的新作，这两本书也属于教材性质，可惜收到得较晚，本书稿已交出版社，来不及吸收这两本著作的优点，十分遗憾。

邓士安副教授参加了本书前二稿岩组分析的技术与方法部分的编写。池际尚、游振东、钱祥麟教授对讲义的第二稿进行了审阅，提出过宝贵意见。在本次出版中，马长玲负责全部稿件的誉抄及图件整理工作。在此深表谢意。

编 者

1988年12月

目 录

第一章 岩组分析的技术与方法	(1)
§1.1 岩组分析样品的制备.....	(1)
§1.2 组构要素测量的旋转台法.....	(5)
§1.3 岩组图的绘制.....	(26)
§1.4 岩组分析的 X-射线法.....	(44)
第二章 岩组图的基本特征及优选方位的形成	(52)
§2.1 优选方位在投影图中的表现形式.....	(52)
§2.2 岩组图的对称.....	(53)
§2.3 <i>S</i> 构造岩和 <i>B</i> 构造岩.....	(57)
§2.4 岩石变形中晶体的滑移与旋转.....	(60)
§2.5 位错的基本概念.....	(64)
§2.6 重结晶作用.....	(74)
第三章 一些最主要造岩矿物的优选方位	(77)
§3.1 石英的定向.....	(77)
§3.2 方解石的定向.....	(98)
§3.3 橄榄石的定向.....	(123)
§3.4 其它矿物的定向.....	(138)
第四章 实 例	(144)
一、江西某地云母石英片岩岩组	(144)
二、美国蒙坦纳州干溪岭背斜岩组动力学分析	(145)
三、湖南某矿山某断层岩组	(147)
四、浮来山一白芬子断裂的岩组动力学分析	(148)
五、陕西某地一些断裂中石英变形纹动力学分析	(150)
六、二辉橄榄岩残块中矿物的显微构造与应力估算	(154)
七、北京北石城断层带与河防口断层带断层岩石的显微构造研究	(157)
八、花岗岩中非连续剪切带的显微特征	(162)
九、湖北大冶铁山矿区构造的岩组分析	(166)
附 构造岩岩组学实习指导书	(173)
实习一 旋转台上安装薄片及旋转台各轴的校正	(173)
实习二 云母解理方位的测量	(173)
实习三 一轴晶光轴方位的测定(石英)	(174)
实习四 方解石光轴方位的测量	(174)
实习五 绘制岩组图	(175)
实习六 组构图的旋转	(176)
实习七 转换理想岩组图形的投影面及对称判断	(178)
实习八 石英变形纹、消光带方位的观测	(179)
实习九 方解石 e 双晶面和光轴方位的测量.....	(180)
实习十 二轴晶光率体位置的测定——四轴法(斜长石)	(180)
参考文献	(182)

第一章 岩组分析的技术与方法

§1.1 岩组分析样品的制备

岩组分析是利用统计的方法（通常是微观的）研究天然岩石及其组成单元在空间的向量性质，以阐明或探讨岩石形成时的条件及其在构造运动中的变形历史，所以其成果需要与野外的构造形迹在空间方位上联系起来。因此从标本采集开始，一直到作出岩组图，每一步骤都存在着“定向”的问题。

下面将大体上按照实际的工作程序，对岩组分析的技术与方法分步予以介绍。

1.1.1 采集标本

作岩组分析用的标本，除个别特殊情况外，都应是定向标本。标本定向的目的是当将其带回室内以后，仍能恢复其在野外的天然产状。这种标本的作用除供切制定向薄片外，有时尚可用于进一步观察和测量在野外条件下难以获得的构造要素，如线理、劈理、擦痕等。

1. 采集定向标本的方法，因各研究者的习惯不同而大同小异。下面介绍一种常用的方法：

(1) 选择定向面。在准备打下的那块标本上，选定一个较平整的面，作为定向面，以便在其上进行测量和标记。定向面最好选择层面，片理面，断面等与矿物定向排列关系较大的面。不得已时可选择其它的较平整的面，如节理面。

(2) 测量定向面的产状。其方法与一般地质产状的测量法相同。

(3) 将所测得的产状按实际情况准确地标绘在定向面上。产状符号采取

“ $\frac{320^\circ}{NE \nearrow 30^\circ}$ ”的形式。矢向的横线为定向面的走向线，它标绘在定向面上一定是实际的水平线；数字和英文字母分别代表走向（方位角），倾向和倾角。与一般的产状符号相比较，此处多了一个“箭头”。它指向测量产状时罗盘刻度“N”字所在半圆的方向。这个箭头之所以必要，是因为走向线有两端，而测量走向时罗盘的执法又有两种情况（即罗盘刻度“N”，既可朝左，也可朝右）。当标本采回室内后，如果忘了在野外定向面是朝上还是朝下，在恢复标本的野外产状时，会出现相互旋转 180° 的两种情况，此时无法判定哪种是野外的实际情况。有了“箭头”，配合以倾向的控制，恢复产状时便只有唯一的一种情况（图1.1）。如果不采用箭头则一定要注明定向面是朝上，还是朝下。

除在标本的定向面上标记产状符号外，还应将定向面产状记录在野外记录本中。

(4) 标记完毕后，再将标本从露头上采下，如果

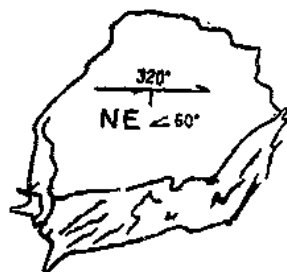


图1.1 标本定向产状的标绘

先打下标本，再进行测量与标记容易产生变位。标本的大小应比一般的手标本略大。

(5) 在野外记录本上作必要的记录。凡是在野外地质观测点所进行的内容，诸如：定点，对地层、岩石、构造的描述，尤其是各种构造要素的产状、方位以及标本采集点在所研究构造形迹中的部位都应加以观测与记录。同时对标本采集点作素描图。

采取定向标本还可以使用“地理定向法”，即在标本的两个面上用罗盘的水准器分别标上两条水平线。这两条水平线就决定了地理水平面。再在标本的第三个稍平的近水平的面上用矢向标记指北方向（图1.2）。



图1.2 标本定向水平线及N向的标绘

2. 岩组标本的采集须注意系统性。孤立的单个标本，即使出现了有规律的岩组图，也常常不能提供有价值的信息。只有对比不同构造部位的标本，对比它们构造的异同，才有可能获得构造发展在空间、时间上的某些信息，据以解释该处的构造变形历史。所谓系统性是指在同一构造形迹范围内在其不同的构造部位，采取若干块标本。例如对断裂构造带进行研究时应该横切断裂带，按其变化情况采取两、三块或若干块标本，沿断裂带走向也应该作若干控制。又如对褶皱进行研究时则应对其翼部、轴部以及转折端分别采取标本。在所有的

情况下都应注意采集不受这期构造影响的岩石作为“背景值”以便对比。

岩组用标本，对岩石的矿物成分及粒度也有一定的要求。颗粒太细，在旋转台上无法测量；只能作X-光岩组。所选测矿物在一块标本上含量不能太少，因为岩组是用统计的方法，颗粒太少，成图后解释时可靠性则小，由此限制了所测矿物的粒度不宜太大，颗粒过大，标本中的颗粒数必少；另一方面限制了岩组分析通常只使用那些主要的造岩矿物，如石英，方解石，白云石，云母以及橄榄石等，只有它们才在岩石中有较高的含量。同时这些主要造岩矿物前人研究资料也多，成图后可资解释时借鉴。

1.1.2 岩组坐标轴的初步确定

为了从运动学的观点解释组构的特征，需要把岩石的组构和组分的运动统一在所研究地区的构造系统内，为此要选一个参考坐标系。岩组学中惯用三轴直角坐标系， a 、 b 、 c 三轴互相垂直，称岩组坐标轴。这种坐标系最早由B. Sander所拟定。Sander并赋予了各轴以运动学的含义（见图1.3）：

a 轴：相当滑移面上物质的运动方向或变形时的最大伸长方向。

b 轴：物质绕之运动旋转的轴或是几组结构面的交线方向，常平行 b 线理。

ab 面：是物质相对运动的面，如劈理面、片理面、断层面等等。 ab 面是具有一定成因意义的面。

c 轴：垂直 ab 面。

岩组坐标轴的确定是根据构造形迹的特征以及面理、线理的显示而判断的。这些构造现象只有在野外才最为丰富，也只有在野外才能将具体的构造形迹纳入工作地区的总的构造格架之中。尽管经过室内工作之后还要根据组构的对称性对岩组坐标轴进行讨论，但还是应该在野外将其初步确定下来并观察记录有关的地质现象，以备今后的分析、解释之用。关于选定岩组坐标轴的具体方法，下面举几种常见的实例：

例1 在褶皱地区岩组坐标轴的选定：**b**轴等于褶皱枢纽的方向；**ab**面平行层面，它在褶皱的不同部位，方向是不同的，见图1.4；**c**轴垂直于层面。

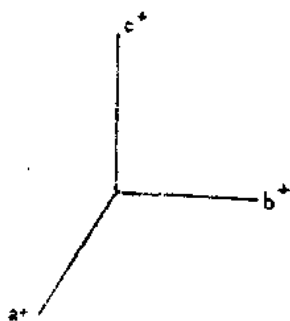


图1.3 三轴直角坐标

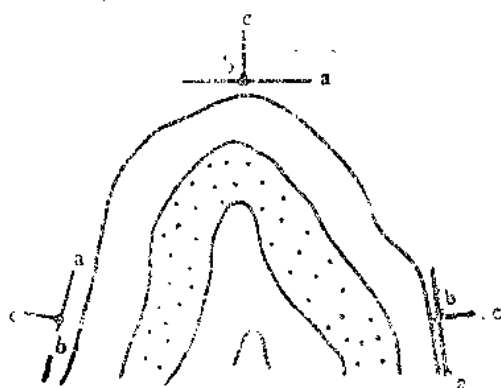


图1.4 褶皱不同部位的岩组坐标轴方位

例2 在断层地区：断层面是滑动面，可定为**ab**面；断层面上如果有擦痕，它代表了相对运动的方向，定为**a**；**b**轴在断层面上垂直**a**如果阶步明显，它即相应于**b**；**c**轴垂直于断层面。

例3 在区域变质岩地区：将片理或片麻理定为**ab**面；将线理定为**b**轴，当在片麻理面上见有波浪状小揉皱时，其枢纽方向也可定为**b**轴。如果露头上的面理和线理都不止一组时，则将最显著的面理和线理分别定为**ab**面及**b**轴。此时应注意，凡是能观察到的面理和线理，都应将它们测量、记录下来，以备以后分析、解释之用。因为它们很可能是不同期、次构造运动的产物。

野外初步确定的岩组轴，当岩组图完成以后，还要根据组构的对称性加以分析，对其肯定或进行修正，以求符合各轴的运动学概念。

值得注意的是：Sander所规定的岩组坐标轴**a**、**b**、**c**，与应变椭球体的三个主轴（ $X \geq Y \geq Z$ ）有时一致，有时不一致。如图1.5所示，当变形作用为纯剪切时，两者是完全一致的

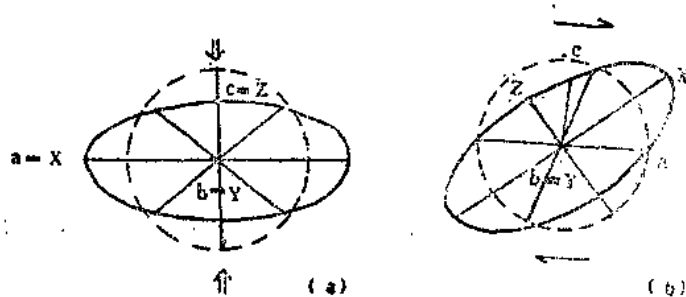


图1.5 岩组坐标轴与变形椭球体主轴之间的关系

（图1.5(a）），而当为简单剪切时，由于旋转，两者之间便不完全一致了。（图1.5(b））。

在岩组工作中常见到以“**S**”标示的参考面。它代表岩石中任何一组宏观或微观的，显见或潜在的、标志性或分划性的平面，用来作组构分析时的参考与对比。**S**面只表示空间上存在着某一定方位的一个（或一组）面状构造，没有固定的成因意义。它可以是片理面、劈理面、页理面等，也可以是滑动面、共轭扭动面、破裂面等，甚至也可以是由压扁作用产生的扁平面、由矿物颗粒的优选方位所揭示的统计面等等。当这样的参考面不止一个时可以分别标以“**S**₁”、“**S**₂”……。

1.1.3 切制定向薄片

对于一块标本可以切制1—3块薄片。只切一块薄片，可以节省工作量。但由于受到旋转台仪器性能的限制，测量时当水平旋转轴转角过大时数据有较大的误差，甚至会在岩组图上出现空白带或“盲区”而失真。切2块或3块薄片可以弥补上述缺点，但工作量成倍增加，在某些特殊情况下也会失真。例如一块条带状的片麻岩，平行于片理切片时，若切到云母条带部分时云母数量较多。切到长石石英条带时云母很少，此时云母的定向要受到周围长石石英颗粒的影响。所以在上述两种情况下云母的定向图是有差别的。反而不如垂直叶理切一个方向薄片更能代表云母的定向特点。

只切一块薄片时，一般垂直于岩组坐标轴**b**（因该切面平行于**ac**变形面，最能反映变形特征）；如果线理不明显，**b**轴不能确定，则薄片可以垂直于片理或断层面的走向。如果切制两块薄片，可一块垂直**b**轴，另一块垂直**a**轴，若标本无线理，可垂直片理切两个彼此正交片子。如果切制三块薄片则垂直**a**、**b**、**c**轴各切一块。

薄片的切制方向，还可以完全从另一角度来考虑，即不根据岩组坐标轴的方向。当在某一具体构造形迹（如一个小褶皱）范围内采集了多块标本，为了便于对各标本组构作对比，可以使用统一的薄片切制方向（统一的组构图的投影面）。将各块标本的切片都切制成地理水平方向的薄片。这种作法可以免去将来对比组构图时旋转投影面的麻烦。总之选择何种方向切片，要看结构面和构造要素的位置及研究的问题来解决。

薄片的厚度一般都采取岩石薄片的标准厚度（0.03mm），但在研究显微裂隙，变形页理及双晶页理时，用较厚的薄片，测量更容易且准确。

供岩组分析用薄片是定向切片。建议切制时采取如下程序：

（1）将选定的切片方向在标本上准确地圈绘出来，至少要在标本的两个相交面上圈绘以控制薄片切面的空间方位。

（2）按照标本上圈出的方位切制岩片。

（3）将切好的岩片连同标本用定向设备再定向。记录岩片的产状，并用矢号（→）标在岩片上。矢号的直线代表岩片与地理水平面的交线，矢端指向标本的定向面。

如想度量已采下标本的某个面的产状，必须依据定向标志先恢复标本在野外的实际产状。定向设备即为此目的而设计。在国外有Ingerson设计的手标本定向仪。我国西北大学也设计制造了标本定向仪，主要由载物盘、定向装置、移动装置及读数装置等四部分组成。

在无定向设备时可以直接用罗盘定向，方法简单但不十分准确。具体作法是将标本放在胶泥上，借助于罗盘按照标本上的定向标志将标本逐步恢复其野外的实际产状。然后再测定岩片的产状。

（4）将岩片“正”粘在载玻片上。此处所谓正粘是指顺岩片倾角锐角的方向躺平在载玻片上。以便于能正确判断岩片粘制时的顶、底面。因为据此作出的组构投影圈正好互差180°。岩片粘好后，在载玻片上刻划出与岩片中相应平行的矢号。一般都使该矢号平行载玻片的一个边。

（5）最后磨制薄片。

标本与薄片的定向有多种不同的具体方法。每个工作者常有自己习惯的作法。但不论采取哪种作法都应该注意各步骤之间的衔接与协调，否则就容易造成紊乱，无法恢复其野外的实际产状。

§1.2 组构要素测量的旋转台法

测量组构要素的方位数据,最常用的是费氏旋转台法。本世纪60年代以来,由于设备及技术方法的改善,利用X射线衍射测量组构数据,也得到了推广。此外,近年来尚出现了中子衍射法(Wenk, 1985),只是需要较高级的设备以获得中子源。本节将介绍旋转台法, X射线法将在§1.4作简要的介绍。

1.2.1 旋转台的构造

旋转台主要由一套金属环和一对玻璃半球组成，上下玻璃半球夹持岩石薄片，并置于内环的中心部分（图 1.6）。这一套金属环固定在一个底座上，底座系一个圆形金属框，

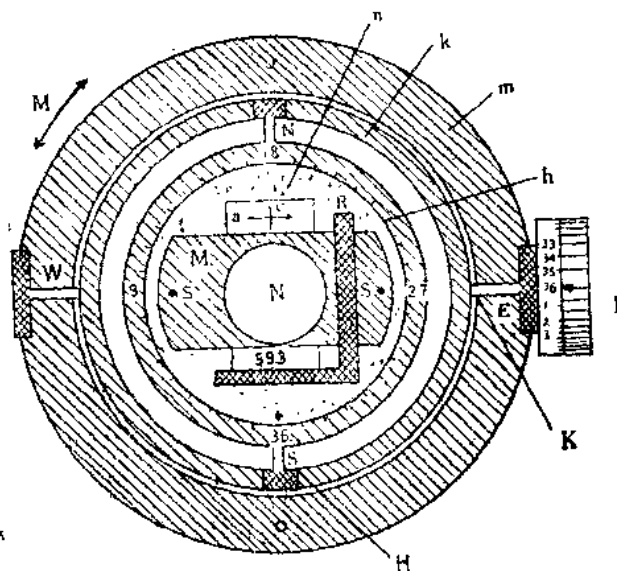


图 1.6 費氏旋轉台簡化俯視圖

其两侧各具一直立的金属支架向上与最外的金属环相连接,底座上有两个螺旋孔,旋入螺旋可将台安装在偏光显微镜的物台上,安装旋转台的偏光显微镜的镜筒提升幅度应比一般显微镜大,其要求为装台后仍能焦准薄片。

旋转台分四轴台和五轴台，这两种都具有自内向外一个套一个的一套圆环，每个环可围绕一个水平轴或一个直立轴旋转。各轴交于一点，称之为旋转台的中心。将台安装在偏光显微镜上进行校正后，各直立轴理想上应与显微镜轴（通过物台中心和目镜十字丝交点）重合，各水平轴与目镜纵丝或横丝平行，并位于薄片平面内，显微镜轴应通过旋转台的中心。

各个厂家所生产的旋转台其构造基本相同，但如刻度方式，各轴固定螺旋的位置等常有细微差别。现以我校实习室所备湟江广生产的旋转台为例介绍旋转台的构造及部件。

1. 旋转台的旋转轴及相应的环(见图1.6)。

旋转台有四个轴（四轴台）或五个轴（五轴台）。由内向外依次为：

N轴（内直立轴）：N轴为一直立轴，为n环（内环）的旋转轴。由n环外缘上的小黑线，配合以n环外侧的刻度圈，可以读出N轴旋转的角度，黑线指0°时为原始位置。n环上有两个

小圆孔，备安装上玻璃半球用。 n 环内侧镶有另一金属环，其上载一圆玻璃片，为装薄片及玻璃半球用。此金属环背面安有一螺旋圈，为升降薄片高度用。

H轴（南北轴）：H轴为一南北轴，装台后平行于显微镜目镜的纵丝方向，并位于薄片平面内，转动H轴使 h 环（并携带 n 环）向东或向西倾斜（N轴亦随之倾斜）。H轴旋转的角度由 h 环东西两侧小标尺上的黑线（两条中的上面一条），配合外侧的刻度弧可以读出。H轴的南端（或北端）有一螺旋为锁H轴用。

K轴（内东西轴）：K轴为一东西轴，装台后平行于目镜的横丝，并位于薄片平面内。转动K轴使 k 环（并携带 h 环和 n 环）向南或向北倾斜（并影响N轴和H轴的位置）。四轴台无此轴。K轴转动的角度由 k 环南北两侧小标尺上面的一条黑线配合，从其外侧的刻度弧可以读出。K轴左（西）端有一锁K轴的螺旋。在五轴台上使用四轴台方法工作时，将K轴固定在其 0° 位置。

M轴（外直立轴）：当 m 环处于水平位置时，此轴与显微镜轴一致，故M轴为 m 环的直立旋转轴。M轴转动时影响N、H和K轴的位置。 m 环左（西）侧有一游标尺，配合以 m 环上的刻度盘可以读出M轴转动的角度。注意标尺指 90° 为原始位置。 m 环右侧有一直立的旋转轮，在轮的外侧有一锁 m 环用的螺旋。

I轴（外东西轴）：I轴为一东西轴，装台后平行于目镜的横丝方向，并位于薄片平面内。转动 m 环右侧的旋转轮即转动I轴使 m 环（携带 n 、 h 、 k 环）向南或向北倾斜（并影响相应各轴的位置）。I轴转动度数由旋转轮上的刻度和游标尺读出。锁I轴的螺旋位于旋转轮的前（北）方。

值得强调的是，操作旋转台时，任何一个环的旋转轴的转动，必然影响此环以内各环的旋转轴的位置，而对其外各环的旋转轴的位置则无影响。

中、外出版的有关旋转台（费氏台）的教科书和专门文献中，旋转轴的命名法极不一致。本书采用B.C.Соболев的命名法。因为在旋转台上工作既可用四轴法也可用五轴法。为了避免引起混乱，最好四轴台和五轴台的轴名尽量取得一致。Соболев的命名法中，两种台的N、H、M、I轴的位置完全一致，只是五轴台多一K轴。但要记住如果使用的台是五轴型的， m 环应转到 90° 才是其原始位置，岩组测量一般不用M轴。

2. 玻璃半球和专用物镜。

旋转台专用的玻璃半球通常配备有3对，每一对由一个上半球和一个下半球组成，3对半球各具一定的折光率，分别为 $N=1.647$ ， 1.552 ， 1.516 （不同厂生产的旋转台，折光率有所差异）。上半球镶嵌在一棱形或长方形的金属板上，其两端分别具有一小孔和缺口，装台时将其对准 n 环上的两个小圆孔和 n 环之内的金属环上的两个缺口，用螺旋固定。下半球镶嵌在一个圆形的略具弹性的金属架上，因此装台时只需将其推入 n 环即可固定。金属板或金属架上刻着半球的折光率值。

上、下半球不是真正的半球形，要加上夹在其间的玻璃片和放在该玻璃片上的岩石薄片的总厚度，才合成为一完整的球形（见图1.7），其球心应该恰落在岩石薄片上。更确切地说，被研究的矿物的中心点应与球心重合，而球心又应与旋转台的各轴的交点重合。这时，当转动各旋转轴时，矿物只有方位角的变化而不离开旋转台的中心。

由于岩石薄片之上的上半球占去了一定空间，准焦时物镜的镜头至薄片的距离必须大于球的半径，所以偏光显微镜的附件中大于 $10\times$ 的物镜都不能用。为此旋转台配备了一种长工作距离的专用物镜，其镜头的开角较小（开角越小，进入镜头的光线越少）。通常用的

长工作距离物镜有8/0.16, 20/0.32, 63/0.85。

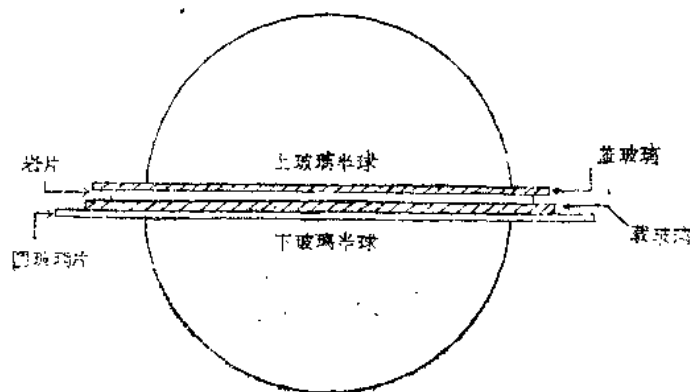


图1-7 旋转台的玻璃半球

1.2.2 旋转台的安装和校正

旋转台的安装和校正需要一定的时间，如果须经常使用，最好在安装和校正后不轻易拆卸，但是玻璃半球及薄片部分，工作完毕应即时撤除。

1. 旋转台的安装

(1) 偏光显微镜的检查：在装台以前先要检查和校正偏光显微镜，诸如上下偏光镜是否正交，目镜十字丝是否在南北和东西方向以及物镜中心校正等。这些属于一般偏光显微镜工作前的准备工作，此处不赘述。

(2) 安装下半球：先将n环内的金属框取出，把下半球嵌入其中，注意放平整，滴一至二滴甘油在下半球上，将圆玻璃片倾斜使玻片的一点先接触到甘油，再逐渐放平到下半球上，使玻片与甘油的接触面积逐渐扩大，这种放置玻片的方法称斜放法，其目的是避免空气混入甘油滴内而产生气泡。再将已装好下半球的金属框放回到旋转台n环内。整个操作过程，左手必须拿住金属框，托在玻璃半球的下方，以防玻璃半球掉落。

(3) 安装薄片和上半球：将旋转台的I轴、K轴和H轴固定在0°位置，而将M轴固定在90°位置。为叙述方便，下面将称这种位置为“零位”。旋转n环，使其边缘的两个缺口对准n环上的两个小孔。在圆玻璃片的中央部分用滴管滴上一滴甘油，其量在放上岩石薄片后，以甘油恰浸满薄片面而不外溢为适合。用上述的斜放法将薄片放上，在薄片上再滴上一滴甘油，同样以斜放法装上上半球，并检查气泡情况，将上半球金属板两端的小孔和缺口对准其下n环上的小孔，用专用弹簧螺旋固定，但不要太紧。

安装拟研究的岩石薄片时，须检查薄片是否洁净，如有尘埃、污垢和树胶，一定要用苯或清水擦洗干净。注意使盖玻璃向上，在检查有无气泡时，如果气泡太多则需要重装，如仅有少数几个气泡可用手指轻压薄片，进行移动，将气泡从薄片边缘赶出去。因为当甘油中混入了气泡，空气的折光率很低，当转动各轴时，会引起全反射现象而使观测不准。

(4) 装台：显微镜处于直立位置，即物台处于水平位置；取下物台中央部分的空心圆板和薄片夹。下降物台和提升镜筒到最大限度，先把物台锁在0°位置，再将旋转台安装在物台上。旋转台的正确位置是将I轴顶端的旋转轮放在右（东）面，并使旋转台底座上的两个圆孔对准物台上此时位于正南北方向的两个圆孔。旋入专备的两个螺旋但不要拧得过紧，松紧程度以在旋转台上转动各轴时，整个台座不移动为宜，放松H轴和I轴并在镜下转动之，再

检查一次甘油中有否气泡，有少数一、二个设法挤出即可。

不同国家不同工厂的产品，安装上下半球的方法有所不同，但大同小异，一般按教科书都是介绍先装上半球，在此不另叙述。

2. 旋转台的校正

旋转台安装完毕以后，在进行数据测量前，尚需进行多种校正。

(1) 旋转台中心校正：旋转台的中心理论上应校正到为显微镜轴(A)所穿过，且直立轴(M、N)与显微镜轴重合。中心校正的原理与偏光显微镜物镜中心校正原理相同，方法如下：除N轴外将其它各轴锁在零位(H、K、I=0°，M=90°)。装上旋转台专用物镜，移动薄片使一微小矿物颗粒位于十字丝交点上。转动N轴观察，如果旋转台中心已为显微镜轴A所穿过则该小颗粒应不离开十字丝中心，只原地旋转。否则该颗粒将离开十字丝中心作一圆周运动。此时可轻转旋转台底座上所附的校正螺旋将该颗粒运动轨迹圆的圆心移至十字丝交点上，以便旋转台中心与显微镜轴重合。再转动N轴检查，如仍不在中心，重复上述步骤，直到旋转台完全中心为止。上述旋转台的中心校正，理论上应使其N轴完全重合于显微镜轴，事实上显微镜轴与物台平面垂直或N轴与显微镜轴重合常常有微小的误差，所以旋转台的中心校正实质上是要求矿物影像在准焦平面上不离开视域中心。

(2) 薄片高度的校正：旋转台的水平轴(H、K和I轴)位于同一水平面上，被研究的矿物切面应与之重合。如果岩石薄片(主要是载玻璃)厚于或薄于标准厚度时，矿物切面就会高于或低于上述水平轴平面。薄片过厚或过薄将影响上下半球合成后呈真正球形，从而影响测量数据的精确度。如果薄片厚度略大或略小于标准厚度可用调节薄片高度的方法，使矿物切面位于旋转台水平轴平面内。方法如下：

H、K、M、I及显微镜轴均位于零位。聚焦一个小颗粒，并移动薄片使该颗粒位于十字丝交点，转H轴，如该颗粒位置不变，说明薄片高度适中；如该颗粒离开十字丝交点，说明矿物颗粒高于或低于水平轴平面，如图1.8所示。如果矿物低于水平轴平面(图1.8(a)，X代表矿物位置，AB代表水平轴平面，h环水平)，当H轴(或h环)向左倾斜，矿物向右移动(由X到

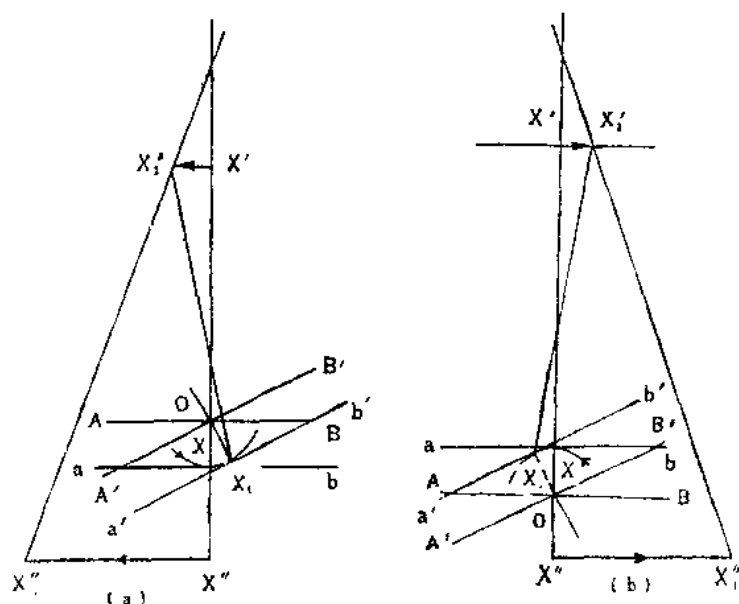


图1.8 当H轴倾斜，矿物切面高度与矿物质点移动方向的关系简化示意图

X_1)。须知显微镜下看见的是倒像,故看到矿物影像在视域中沿横丝向左移动(由 X' 到 X_1')。即当矿物低于水平轴平面时,视域中矿物移动方向与H轴(h环)倾斜方向一致。反之,如果视域中矿物移动方向与H轴(h环)倾斜方向相反,则说明矿物(或矿物切面,或薄片平面)高于水平轴平面(图1.8(b))。

调节矿物高度(薄片高度):转动镶嵌网玻璃片的金属环(利用其伸出的4个齿片),若矿物过高,逆时针方向移动可降低薄片;若矿物过低,顺时针方向转动可升高薄片(从正面看调节环)。注意在调节时要使n环不动,如果调节环带着n环一起转,则起不了升降薄片的作用。另外注意放松控制上半球的螺旋,给薄片升高留有余地。旋转一、二周后,进行一次前述的薄片高度检查。如此反复调节几次,直到转动H轴,矿物不离开十字丝交点为准。

(3) I轴的校正和显微镜物台零点的确定: I轴应与十字丝横丝平行。检查和校正如下:使各轴处于零位,提升镜筒,聚焦上半球上表面并紧邻十字丝纵丝的一粒灰尘。放松轴并向两个方向最大限度(保持灰尘质点不走出视域)转动。如果灰尘质点移动的轨迹与纵丝相交成一个角度,说明I轴不与横丝平行(图1.9),需要加以校正。方法为稍许转动物台并转I轴观察质点移动轨迹,直到尘点平行于纵丝移动为准。将这时物台的读数确定为物台的零点位置,记录下该零点位置的读数(如物台零点 $=359.5^\circ$)。以后物台转动的角度,均以此零点位置为 0° 折算。如果第一次检验,灰尘质点就平行于纵丝移动,说明I轴本来平行于横丝,不需校正,物台零点为 0° 。如果拆过台又重新装台, I轴需另行检验校正,物台零点也需重新确定。

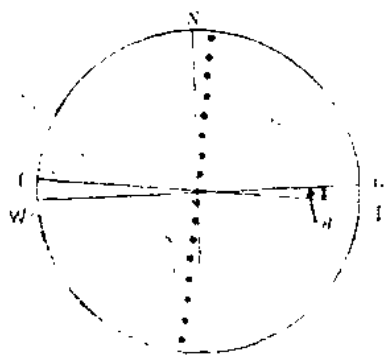


图1.9 I轴的校正

(4) H轴的校正和M轴零点的确定:同理, H轴应与十字丝纵丝平行。检验与校正方法与(3)相似,即转H轴看灰尘质点是否沿横丝移动,如有偏离转M轴加以校正。此时M轴(m环)的刻度读数确定为M轴(m环)的零点(如 89.5°)。以后M轴的读数以此零点为 0° 折算。

(5) 玻璃半球的作用及折光率的校正:当旋转台各水平轴(H, K, I)转动后,薄片处于倾斜位置,如果没有玻璃半球的装备,则光线由空气斜射进入薄片,由于空气的折光率大大小于薄片(矿物和玻璃)的,这时在界面发生较大的折射,其结果降低了上述薄片倾斜度,并导致测量所得的角度(假角)颇大于晶体中的真实角度,如图1.10所示, α = 薄片倾角 = 入射角 = 假角, β = 折射角 = 真角。当薄片被夹在上下玻璃半球之间,而且在界面涂以甘油驱逐了空气层的条件下,虽然薄片处于倾斜位置,光线由空气进入玻璃半球(真球面)却是直射的,因而不发生折射。如果矿物的折光率等于玻璃半球的折光率,显然薄片倾斜,光线通过空气、玻璃半球和薄片中的矿物3个介质并不发生折射(图1.11)。

折光率的校正:不同矿物折光率不同,而旋转台通常只配备3种折光率的玻璃半球,故完全如图1.11的情况是罕见的。这说明玻璃半球的设置不能消除光通过半球和矿物两种介质所引起的折射现象。如果矿物的折光率大于玻璃半球,折射角 β 将小于入射角 α ,或测量的假角大于真角(图1.12(a)),反之如果矿物的折光率小于玻璃半球,折射角 β 将大于入射角 α ,或假角小于真角(图1.12(b))。在这两种情况下都需要进行折光率的校正(即将假角校

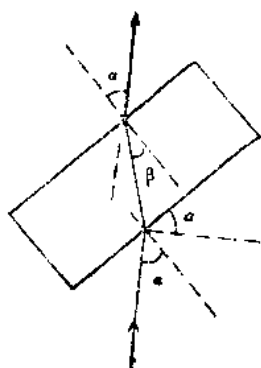


图1.10 光通过空气和倾斜薄片发生折射

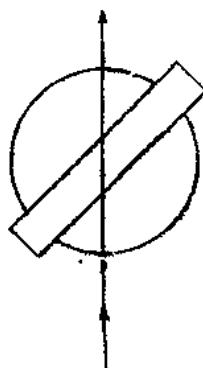


图1.11 光通过空气、玻璃半球和倾斜薄片不发生折射

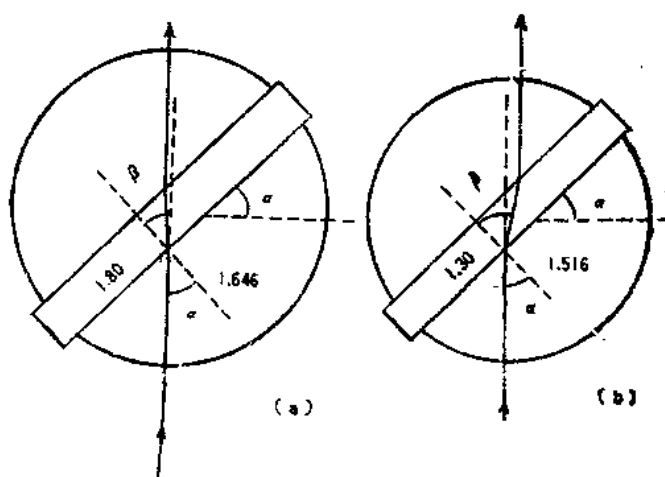


图1.12 旋转台上光通过倾斜薄片的情况

正成真角)。不过在实际工作中，可尽量选择与矿物折光率相近的玻璃半球以避免校正。一般在矿物鉴定中，如果二者折光率差值 >0.05 或 >0.03 ，而倾角 $>40^\circ$ （误差角 $>1^\circ$ ），则应进行这种校正。在岩组分析中，因系对大量数据进行统计，故可放宽。

同一矿物因方位不同，折光率也有差异。对非均质体矿物，在一般性鉴定中，一轴晶取 N_e 和 N_o 的平均值，二轴晶取 N_m 作为矿物的折光率值以进行真假倾角的校正。

上述假倾角即旋转台上水平轴所转动的角度的校正其原理系根据：

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{n_{\text{半球}}}{n_{\text{矿物}}}$$

假倾角的校正可以在专门图表上进行。多数研究者的共同结论是：要求测量数据精确，不能靠校正，而是靠选取与矿物折光率相近的玻璃半球。另外误差主要来自圆玻璃片与玻璃半球的折光率的差值。通常只在研究暗色矿物中的高折光率种属时，才必须进行校正，因此这里从略。

1.2.3 旋转台的维护

旋转台是一种精密仪器，结构复杂又易损伤，因此要特别注意维护。

1. 玻璃半球的维护

玻璃半球是用光学玻璃制成，硬度比普通玻璃小得多，极易磨损或出现擦痕，特别是撞破或磨损了玻璃半球的球面将引起光的强烈折射甚至全反射而失去球面的作用，影响测量。通常引起半球损伤的主要原因有以下几种：

聚焦时下降镜筒，使物镜前端与上半球顶部相撞，同时损坏物镜和半球。因旋转台专用物镜在聚焦时距离上半球很近，特别容易引起事故。因此要求聚焦前，一定要侧过头，眼睛看着物镜和上半球之间的距离，下降镜筒到物镜镜头略高于上半球，然后才通过目镜观察视域并提升镜筒以聚焦矿物。

安装上半球时，固定螺丝拧得过紧，把薄片的盖玻璃压碎或压出了薄片的树脂和挤出接触薄片的甘油，造成在移动薄片时，中间缺少润滑剂，使盖玻璃的边棱同上半球平面发生直接摩擦而损伤和刻划玻璃半球，因此要求上半球固定螺丝不可拧得过紧，只拧到当各水平环在倾斜位置时，薄片不自行滑动，而手指又可不用力地移动薄片为止。并应经常检查甘油流失情况，不能超过一周不换甘油。

应使用特制薄片，盖玻璃盖满载玻璃，且将整个薄片的棱和角加以磨圆。上台前一定要把薄片和玻璃半球擦洗洁净，特别是树脂和灰尘之类的污垢。

2. 旋转台旋转轴的维护

旋转台上各旋转轴不允许在应锁住时仍能自行滑动，各轴锁如果失效，实际上就无法工作。引起磨损的一个原因是在某轴处于锁紧状态下，由于粗心大意，猛力转动引起；另一个原因是不必要的频繁锁紧和松开。H和I轴一般应锁紧到不自行滑动，但可不用力地用手转动。要养成在转动某轴之前必先检查相应的锁轴螺旋是否松开的习惯，这一点很要紧；其次，还要养成动作轻巧的习惯，须知旋转台上应用手指尖工作，丝毫不能用腕力，当然任何情况下（如仪器锈住）更不允许用臂力，这对台的其它部分也是同样应该遵守的良好习惯。

3. 物镜的维护

旋转台物镜造成损坏的原因，除与一般物镜相同外，主要是聚焦不当。当物镜同上半球碰撞时，这不仅损坏了半球，而且还会严重损伤镜头。物镜镜头中心被碰出一个小麻点或象毛玻璃状的小圆点，会使视域模糊不清，而不能用于旋转台工作。此外，旋转台物镜都装有缩光圈，其开关环在物镜筒的外面，不注意时，往往用手指捏紧开关环装卸物镜，这样会无意中把缩光圈缩小，妨碍观察，或者因用力过大，竟把缩光圈损坏。

其它注意事项：清除所有光学部分（镜头、圆玻璃和上、下半球）的甘油最好用苯，清水也可，擦干时忌用丝织品和普通棉花，应用专备的镜头纸，揩拭时取圆形动作。用吹去尘和用软刷拂去尘埃。甘油不能流溢满台。擦台不能用水。装台拆台等全部工作在桌面上进行，以防止零件坠地损坏。所有光学部分不能让玻璃直接接触硬物。工作时镜身要处于直立位置以避免甘油流失。

1.2.4 赤平投影的使用

公元前二百多年，希腊天文学家（Hipparchus）首先将赤平投影用于天文学。后来应用于地质学、航海学。1930年Sander把该方法应用于岩组学。我国何作霖教授（1965）著有《赤平投影在地质科学中应用》一书，这本书较全面系统地介绍了赤平投影的原理和在地质学中的应用。

赤平投影是以二维平面图形，表达地质体的几何要素（点，线，面）的空间方位，角距大小及组合关系，而不涉及这些几何要素的绝对规模，如面的大小、线的长短以及两点之间