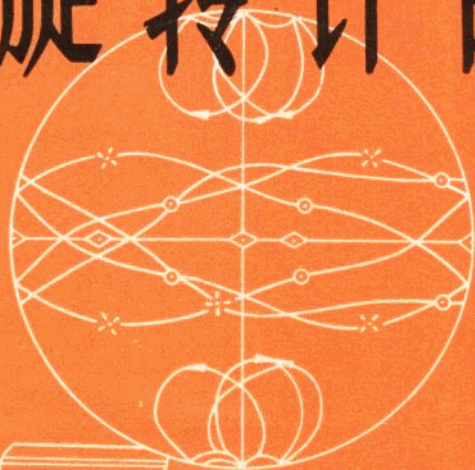


旋转针台法



梁建廉 编著

中国地质大学出版社

前 言

旋转针台法作为一门独立课程，在成都地质学院有关专业，包括本科生、研究生、进修生中进行过讲授并油印了教材。不过，旋转针台本身已由一轴发展到现在的四轴，方法也取得了很大进展。以现在的眼光来看，原印教材不仅显得有些陈旧，而且也比较粗糙，因此，深感有必要编写出内容较系统而全面的教材来。

基于上述考虑，编写本书时，决定以笔者多年教学、科研成果为基础，同时尽可能吸收国内外研究的主要成果。鉴于许多从事矿物、岩石和材料的工作者对仪器不够熟悉，或对旋转针台法比较生疏，因此，书中详细地介绍了旋转针台原理、台型及其有关使用方法并配有必要的插图，力求做到图文并茂，在第五章第五节中还专门介绍了最重要的造岩矿物——斜长石的鉴定方法，借以展示旋转针台法的研究前景，至于其它矿物的鉴定，相信读者能触类旁通。

本书是在刘明斌副研究员的鼓励和支持下编写的，大纲经成都地质学院岩石教研室全体教师讨论同意，书稿草成后，富公勤教授对全书进行了详细审阅，他提出的宝贵意见对提高本书质量起到了良好作用。卢奇勋和袁顺生同志为本书润色付出了大量的心血。书中的插图是成都地质学院绘图室绘制的，在此，一并致深切的谢意。

旋转针台法尚处于发展阶段，加以笔者水平有限，错误难免，敬请读者不吝赐教。

编 著 者

1988年2月

目 录

概 述	1
第一章 旋转针台的原理、台型及安装	5
第一节 原理	5
第二节 台型	6
一、一轴旋转针台	6
二、二轴旋转针台	10
三、三轴旋转针台	11
四、晶体光性测试仪	12
第三节 旋转针台的安装	14
一、偏光显微镜的校正	14
二、粘矿物	14
三、装台、物台零位和消光角	16
第二章 赤平投影及其在旋转针台法中的应用	19
第一节 极射赤平投影与球面投影的关系	19
第二节 吴氏网最基本的作图及度量方法	22
第三节 赤平投影在旋转针台法中的应用	26
一、投影面与偏光显微镜 YZ 坐标轴平行	
(直立投影)	26

二、投影面与偏光显微镜 XY 坐标轴平行 (水平投影).....	29
第三章 消光曲线	33
第一节 波前与光波法线.....	33
第二节 消光曲线.....	36
一、物台零位和消光角的测定.....	36
二、消光曲线理论.....	42
第四章 一轴旋转针角法	54
第一节 消光曲线法.....	54
一、正交偏光下求消光曲线.....	55
二、干涉图法求消光曲线.....	63
第二节 一轴晶定向.....	68
一、正交偏光下对 N_x 、 N_y 的水平定向.....	68
二、干涉图法对 N_x 、 N_y 的水平定向.....	70
三、消光曲线法对 N_x 、 N_y 的水平定向.....	71
第三节 正交偏光下二轴晶光率体主轴方位和 光轴角的测定.....	75
一、消光曲线定主轴方位和光轴角的计算.....	76
二、 n_0 等振动曲线法测定光率体主轴方位及 光轴角.....	83
三、少数几个消光位求光率体主轴方位及 光轴角的作图法.....	100
第四节 二轴晶干涉图法测定光率体主轴方位 及光轴角.....	105
一、消光影对光率体主轴定位.....	106

三、干涉图法测定光轴角及光率体主轴方位	108
第五节 其它光学常数的测量	131
一、常角光性常数的测定	131
二、光率体主轴及光轴角色散的测定	134
三、主折射率测定的计算法	135
四、计算法的数学基础	135
五、一轴晶主折射率测定的计算法	137
六、二轴晶主折射率测定的计算法	138
第五章 晶体光性测试仪器法	141
第一节 一轴晶测定	143
一、一轴旋转针台法	143
二、晶体光性测试仪器法(即四轴旋转针台法)	143
第二节 二轴晶光率体主轴方位及光轴角的直接测定	146
一、正交偏光下主轴方位及光轴角的测定	146
二、锥光下的光率体主轴定向及光轴角测定	150
第三节 直接测量与投影结合求各项光性常数	155
一、解理夹角、消光角及光性方位的测定	155
二、其它光性常数的测定	156
第四节 消光曲线法对光率体主轴定向及2V的测定	157
一、消光曲线法的优点	157
二、可变轴消光曲线法	158
三、其它光性常数的测定	162
第五节 斜长石鉴定	163

一、晶体光性测试仪鉴定斜长石的优缺点·····	163
二、斜长石的一般特征·····	164
三、斜长石 $\perp$ (010) 晶带的消光曲线理论·····	169
四、斜长石鉴定·····	186
第六章 消光数据的数据处理方法简介·····	228
一、EXCALIBR程序的数学基础·····	228
二、EXCALIBR程序输入及输出格式与参数·····	234
主要参考文献·····	240

概 述

旋转针台 (Spindle stage) 是一种把晶体碎屑粘在针轴上, 然后通过针轴的旋转, 在偏光显微镜下测定晶体光学性质的仪器, 一些文献又将其简称为旋转针。

旋转针台的雏形, 在费氏台初创阶段作为费氏台结构的一种, 由伊宾 (V. Eben, 1874)、约翰森 (A. Johansson, 1918) 等人提出。稍后, 别捷涅娃和科罗杜西金 (Н. Е. Веденеева, И. А. Г. Колотушкин, 1934) 设计了称为微晶折光仪 (Прибор для микропреломления) 的旋转针台, 并将它作为油浸法测定主折射率的定向工具, 这样, 旋转针台才开始被单独使用。但由于当时理论研究未跟上, 方法也不成熟, 以致折射率主轴的定向及主折射率的测定只能通过逐渐趋近法结合吴氏网进行, 方法繁琐、费时, 精度也不够高, 加之测定项目单一, 因此, 仪器未能得到推广、应用。

本世纪50年代后, 由于地质工作的需要, 要求大量测定单矿物主折射率值, 因此, 旋转针台这一简单而精巧的仪器才重新被认识。在此期间, 由于数学的渗透, 晶体光学理论的发展, 使旋转针台的理论得以深入, 方法也取得很大的进展。如对晶体在偏振光中的性质, 由过去孤立的、静止的对整个光波波前平面上消光现象的研究, 深入到根据晶体旋转时连续的光波波前平面上消光现象整体的、动态的研究, 在

此基础上,出现了消光曲线 (Extinction curve)、 n_0 等振动曲线 (n_0 Equivibration curve) 的理论;通过数学运算确立了光轴角与光波振动方向及与光波等振动方向间的关系;对拜-弗定律 (Biot-Fresnel's Law) 的深入理解,确认了正交偏光和锥光下消光现象间的密切联系,以及晶体内光率体主轴 (光波振动方向) 存在的区间,并成功地解决了用赤平投影来研究拜-弗定律的方法;消光理论的数学研究,成功地使电算技术与旋转针台结合,大幅度提高了消光数据处理精度等,从而解决了折射率主轴的精确定向及光轴角测定,引起了矿物、岩石和材料工作者的瞩目。通过竞相参与探索,结果新仪器不断出现,方法也不断创新。特别是,维拉罗伊尔和乔尔 (H. Villarroel and N. Joel, 1967) 在一轴旋转针台上加设可变轴 (Variable axis),为更复杂的旋转针台的问世铺平了道路。

虽然此时对旋转针台的理论研究及应用取得了很大的进展,但许多论著主要限于对光率体主轴定向及光轴角测定的讨论,忽视了它在测定矿物其它光学常数中的作用,且使用的基本上都是一轴旋转针台,它不能用于测定复杂的具有双晶结构的矿物光学常数,特别是不能对斜长石的光学常数进行系统研究,因此,主要仍被作为油浸法中测定晶体主折射率的定向工具。

80年代后,多轴旋转针台的出现,尤其是晶体光性测试仪 (四轴旋转针台) 的问世,使研究方法发生了突破性进展。这时,旋转针台已可全面测定矿物光学常数,如在偏光显微镜中,可直接或间接准确地对光率体主轴进行定向及测定光轴角;还可测定光率体主轴色散、重折率、多色性、吸

解理夹角、消光类型及消光角、延性、双晶律及双晶、晶项角、角色散、光轴色散、光性方位等光学常数；对单矿物标本体各主轴定向后，就可运用单、双变油浸法测定其光学常数，提高了光学方法测定矿物成分的精度。测定的样品可直接从标本中有针对性地提取，仅需一颗单矿物碎屑即可。试样在作完光性测试后，还可直接移作X光分析及探针分析等。这样，单矿物的光学常数、晶体结构及化学成分都是在同一颗粒上做出来的，得到的各种数据系统、完整而精确可靠。对于重要的造岩矿物——斜长石，不需选择切面即可测其成分、双晶律、双晶类型、结构状态和有序度等。由于旋转针台使用的油槽其上下表面均与入射光垂直，使用的浸油折射率可与矿物的 N_m 相同，因此，直接测得的光轴角不需校正，测定精度有所提高。凡此种种，都是现有其它光学测定矿物常数的方法所难以兼备的。

从以后的章节中可以看出，旋转针台发展至今，既融合了费德洛夫法和油浸法的特长，又与二者有所区别。在测定晶体光学常数方面，已形成自己一套独特的工作方法，其测定精度也符合要求，某些方面甚至优于目前其它方法，因此，有必要把使用旋转针台来测定晶体光学常数的系统工作方法叫做旋转针台法。

如果把单矿物碎屑粘在一个可以旋转的针轴尖上对矿物进行定向的仪器都归为旋转针台的话，那么，旋转针台可分为两大类，以费氏台若干转轴为基础再加上针轴的仪器，如费氏台加装针轴、多用双变仪，甚至装备有渥德曼空心玻璃罩的费氏台等均属此类，可统称为费氏旋转针台（或旋转针万能旋转台）；另一类是完全与费氏台构造无关的旋转针

合，本书介绍的即属此类。

掌握好本课程，必需具备一定的光学、结晶学和晶体光学、油浸法的基础。由于是技术方法课，因此，在学习中，除通过理论学习加深理解外，特别应多实践，才能掌握好方法。

第一章 旋转针台的原理、 台型及安装

第一节 原 理

晶体光学性质最本质的特点可用光率体来表示。光率体是一种有规律的立体几何图形，它可以被抽象地看成是线和面（椭圆和圆）的集合体。最特征的面是各主切面及圆切面，而最特征的线则是特征切面的法线，即光率体的主轴及光轴。同样，晶体的晶面、晶棱、结晶轴、解理面、双晶结合面、双晶轴等结晶要素也可以抽象地看成是些面和线。

在旋转针台的结构中，最关键的部件是水平轴。旋转水平轴，可以看成是线（或面）绕水平轴旋转，无需证明可以看到，空间任一方位的直线绕轴旋转呈水平，平面绕轴旋转呈直立（见图 I-1）。

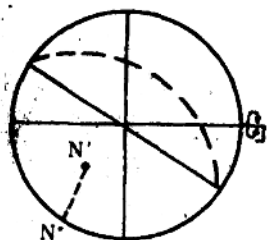


图 I-1 旋转针台
工作原理的吴氏网投影

如果排除晶体的缺陷及成分的不均一，那么，晶体各部的光学性质及结晶要素可以认为是相同的，即晶体的任一晶块都存在相同的光率体及结晶要素（解理面、双晶结合

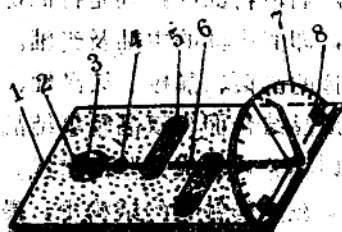
面、结晶轴、双晶轴等），一旦碎屑固着在旋转针台的水平轴上（一轴旋转针台的针轴与水平轴一致，多轴旋转针台则可以不一致），在偏光显微镜中，凭着水平轴的旋转就可使上述要素中的面直立，线水平，并能随载物台直立轴的旋转则可对线、面准确定向。可以看出，旋转针台的水平轴和偏光显微镜载物台的直立轴已构成经纬系统并可对晶体进行定向。

第二节 台 型

据初步统计，国内外已有的旋转针台在15种以上，依仪器具有旋转轴的多少，可有一轴、二轴、三轴和四轴旋转针台之分。现择要简介于下。

一、一轴旋转针台

早期较流行。具代表性的为威尔科克斯（R.E. Wilcox）旋转针台（图1-2），



从图可知，它简单易制。在

不锈钢台板1的一端铆上两个具凹槽的圆柱8，将塑料量角器7固定其中作为针轴

转角读数器，取直径约0.8mm，长约70mm的钢丝作针

轴6，一端磨钝，以便粘矿物，另一端磨尖并作直角弯曲，作为针轴旋转时的扳手及读数用。在台板的另一端开一台阶孔，孔内粘玻璃片（玻璃片加上后不得高于台板面）为玻

2，其上再粘两节较针轴略粗的短钢丝为支撑块3。使用时，其上覆盖玻片则为储油室，称为油槽。沿针轴接近油槽处另开一小孔为截流孔4，用以截断台板与针轴间的毛细作用，防止浸油沿针轴流走。台板上还铆接了两个可以旋转的薄铜片作为固针用的压簧片5。这种旋转针台针轴转角范围为 180° ，仪器用薄片夹固定在显微镜载物台上。

威尔科克斯旋转针台采用固定油槽，不便于换油和清洗，针轴装卸也不方便。其后的一些台型对此作了改进，如把固定式油槽改成可以装卸的活动式油槽；将转轴与针轴改为套叠式的，即转轴采用不锈钢空心套管，另取直径较套管内径为小的缝衣针（或玻璃丝）作针轴，使用时将粘有矿物的针轴插入套管中，沿量角器的周边每隔 10° 刻一凹槽，将转轴与量角器相接触的一端弯曲成弧形，并使之略具弹性，这样，针轴每转 10° 就会“卡嗒”一响，可以迅速而准确地进入 0° 、 10° 、 20° 、…… 180° 的转角方位等。

成都地质学院地质仪器修造厂（1972）根据笔者和王贤惠的设计，制作了CDX-I型旋转针台（图I-3）。仪器有如下特点：针轴转角精度为 0.2° ，转角为 360° ，能对消光数据的测定进行检查校正，使光率体主轴定向更加准确，操作简单并规范化，采用活动油槽，便于换油及清洗，针轴装卸方便，并能作中心校正。测定矿物颗粒粒度范围大（ $0.03-0.8\text{mm}$ ， 0.03mm 意味着薄片中的矿物也可取下粘针测定）。可以直接应用现有锥光装置观察干涉图。是目前国内广泛应用的一轴旋转针台。

为了将旋转针台与单、双变油浸法结合起来，菲希尔（D. J. Fisher, 1962）首次在油槽下加装水热盒，称为水热

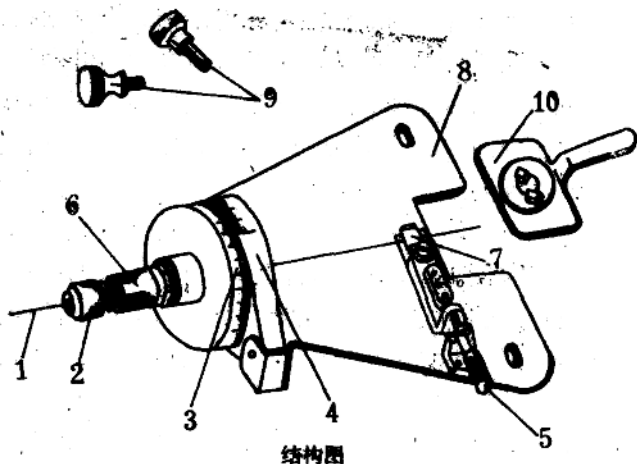


图 I-3 CDX-I 型旋转针台结构图

1. 针轴; 2. 针轴紧固螺丝; 3. 读数鼓轮; 4. 游标刻度盘; 5. 中心校正横向微动螺丝; 6. 中心校正纵向微动螺丝; 7. 针轴压簧片; 8. 针台底板; 9. 旋转针台紧固螺丝; 10. 油槽;

式变温油槽，这样的一轴旋转针台就叫变温旋转针台。

双变旋转针折射率测定仪（图 I-4）是笔者与梁建维（1976）共同设计的。把一轴旋转针台通过电热式变温棱柱油槽（图 I-5）与“折射率测定仪”结合成整体。使用时，把“折射率测定仪”安装在偏光显微镜载物台上，然后再把 CDX-I 型旋转针台置于“折射率测定仪”的载物台上，同时用电热式变温棱柱油槽代替普通油槽，并用导线与无触点恒温控制器（电源用电池或把民用电整流成直流电）联接。这

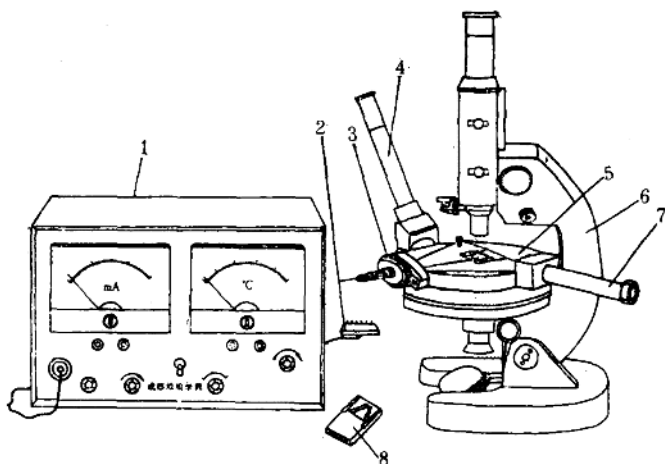


图 I-4 双变旋转针折射率测定仪

1. 恒温控制器；2. 油槽插头；3. CDX-I 型旋转针台；4. 望远镜；
5. “折射率测定仪”载物台；6. 偏光显微镜；7. 平行光管；8. 电热式变温棱柱油槽

是一种既可作旋转针台法操作，又可变温，且同时可以测定浸油折射率的组合式仪器。它充分体现了一轴旋转针台与油浸法的渊源关系。双变旋转针显微折射仪具如下功能：①可对非均质晶体的光率体主轴作定向并求出光轴角；②油浸法测定矿物主折射率时，可用温变法，

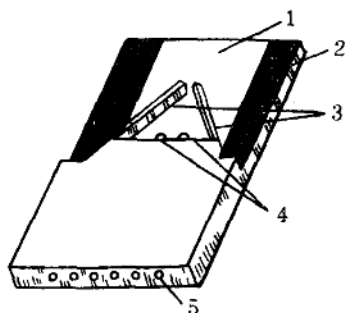


图 I-5 电热式变温棱柱油槽示意图

1. 导电玻璃；2. 导线；3. 光学玻璃板；4. 测油控温零件；5. 插座孔

由于采用电热式变温油槽，故浸油温度升降迅速。如果配合单色光源发生器（如单色仪），则可进行双变法操作；③矿物和浸油折射率的对比与浸油折射率的测定在完全相同的环境中进行，可以减少由于温度梯度产生的误差，从而提高了测定精度；④“折射率测定仪”系根据折射率测定的最小偏折角原理设计，精度为 $\pm 2 \times 10^{-4}$ ，它还可以单独用于测定液体和有相当体积的均质固体的折射率。

二、二轴旋转针台

以维拉罗伊尔和乔尔（1967）设计的可变轴旋转针台（图 I-6）为代表。该针台仍可看到威尔科克斯旋转针台的

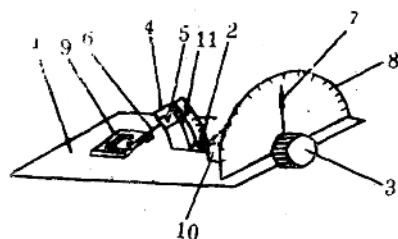


图 I-6 可变轴旋转针台构造示意图

（据维拉罗伊尔和乔尔，1967）

1. 台板；2. 水平轴；3. 水平轴转轮；4. 刻度弧；5. 针轴把手；6. 针轴；7. 可变轴转角指针；8. 量角器；9. 固定式油槽；10. 水平轴套筒；11. 刻度弧转角指针

痕迹。它实际上是在一轴旋转针台的水平轴上，加装了一个在空间随水平轴转动而轴向可变的旋转轴（简称可变轴），可变轴每转动一个角度，也就改变了一次颗粒相对于水平轴

的方位，通过水平轴的旋转就可以测得一条消光曲线，这样粘上一个颗粒就可分别测得若干条消光曲线，故可以提高光率体主轴定向及光轴角测定的精度。此外，它使任意方位粘合的颗粒都变得可以使用。可变轴的出现，促进了新一代旋转针台的问世和旋转针台法的发展。

三、三轴旋转针台

YDSS-Ⅱ型三轴旋转针台由施加辛和江鑫培共同设计，后经施加辛改进(图 I-7)。此系吸收可变轴和罗伊(N. N. Roy, 1965)旋转针台中用于中心校正的垂直滑板的优点

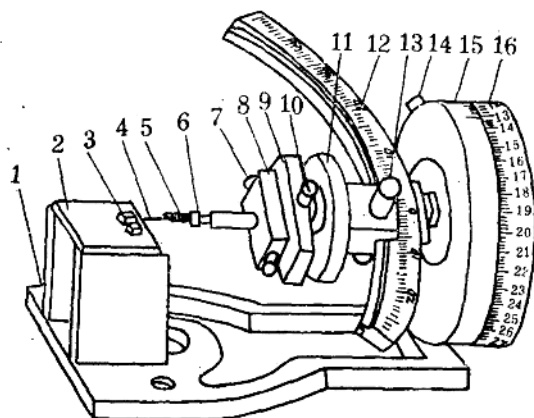


图 I-7 YDSS-Ⅱ型三轴旋转针台

(据施加辛, 1982)

1. 台板; 2. 油槽承台; 3. 油槽; 4. 针轴; 5. 针轴套管;
6. 前后移动校正中心螺丝; 7. 上滑板移动螺丝; 8. 上滑板;
9. 下滑板; 10. 下滑板移动螺丝; 11. 针轴度轮; 12. 可变轴分度弧臂; 13. 带摩擦轮的手动螺丝; 14. 水平轴制动螺丝;
15. 水平轴度轮游标; 16. 水平轴的度轮