

第7章 多晶体织构的测定

本章主要内容

- ▶ 第一节 极射赤面投影法
- ▶ 第二节 织构的种类和表示方法
- ▶ 第三节 丝织构指数的测定
- ▶ 第四节 极图的测定
- ▶ 第五节 反极图的测定

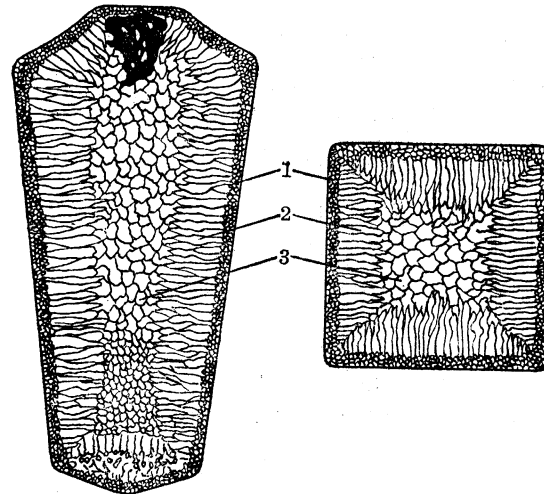
前言

- 理想多晶体中各晶粒的取向呈无规分布，宏观上表现为各向同性
- 实际的多晶体材料的晶粒存在择优取向，称这种组织状态为织构
- 多晶体材料织构的形成往往与其制备和加工过程有关，如铸造、镀膜、塑性变形、退火等
- 织构使多晶体材料的物理、化学、力学等性能发生各向异性。这种性质有时是有害的，有时又是有益的
- X射线衍射是织构测定的主要方法，近年来电子背散射衍射(EBSD)技术在织构分析方面亦得到广泛应用

多晶体织构的测定

铸造织构

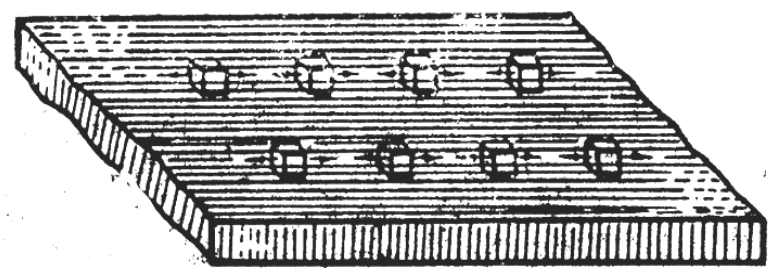
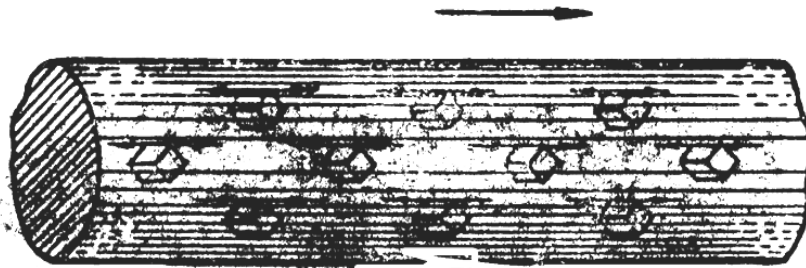
晶体结晶时生长速度的各向异性造成选择生长, 使得只有快速生长方向平行于散热方向(柱状晶轴方向)的晶核能够长大, 使得整个(柱状)晶区各晶粒的某一晶向互相平行



多晶体织构的测定

形变织构

金属材料由于塑性变形（轧制、挤压、锻造、拉伸等），使得晶体取向不断变化，热变形织构比较复杂。但金属冷变形后的织构比较确定。

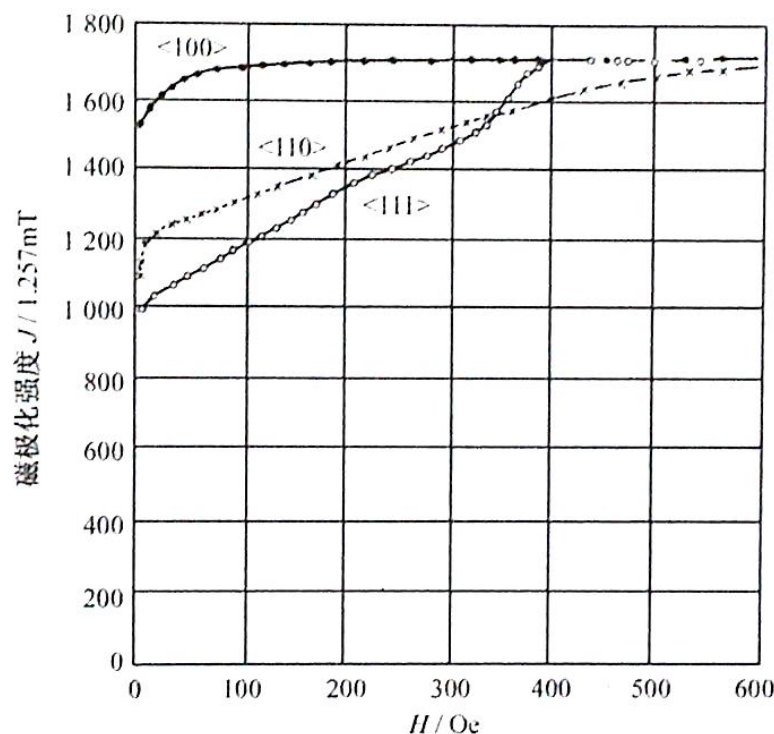


多晶体织构的测定

织构的存在——有利有弊

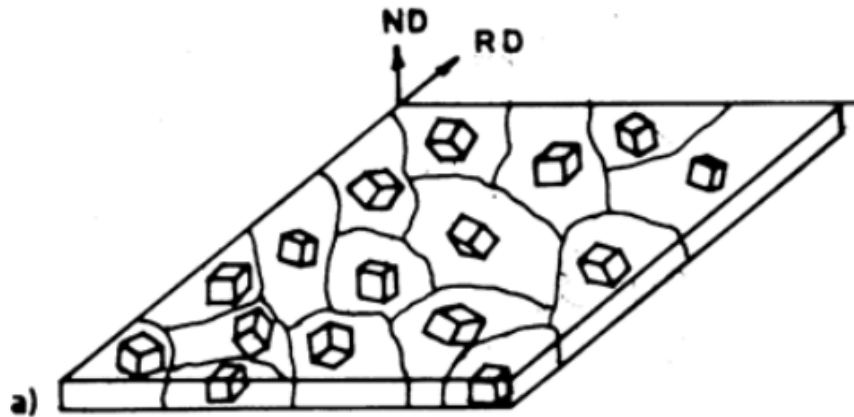
优点：某些材料如硅钢片达到立方织构状态（又称高斯织构 $(100)\langle 001 \rangle$ ），可以提高导磁率，减小变压器磁损失。

缺点：核反应堆中的U棒和石墨块中的织构。择优取向不利于原子反应堆中使用；冷轧钢板冲压件出现“制耳”和厚度不均、折皱等。

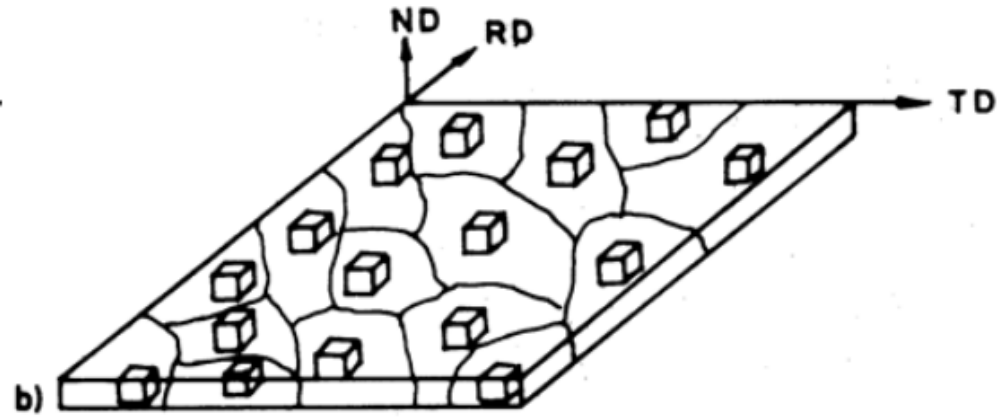


所以在材料的研究中有必要进行织构的测定

INTRODUCTION

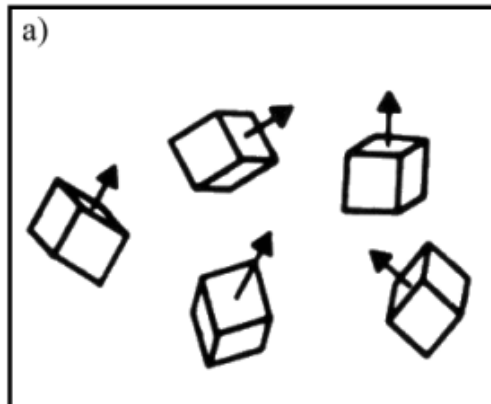


**A texture-less sheet
(Random)**

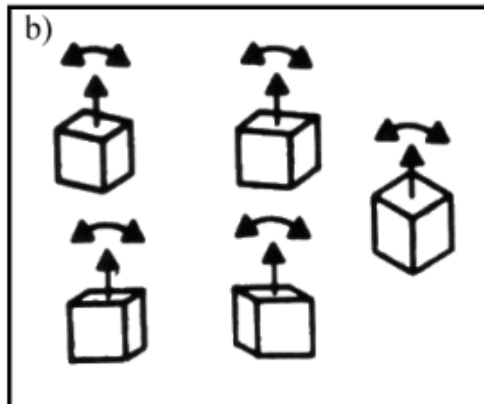


**A fully textured sheet
(Strong texture)**

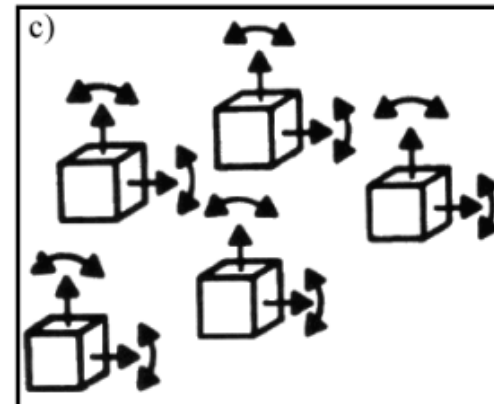
Random



Uni-axial or fibre



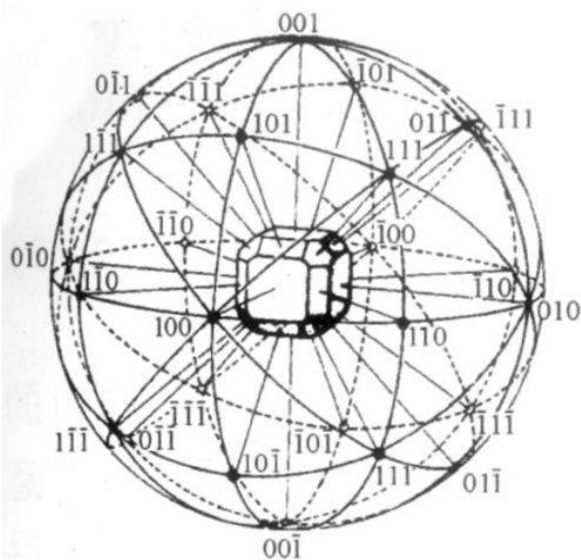
Bi-axial



Pole Figures

第一节 极射赤面投影法

- 实际晶体（空间点阵）均三维空间结构，表达其晶面和晶向方位及其夹角较为困难，不如在二维平面上容易。
- “晶体投影”：
- 把三维晶体结构中晶向和晶面位向及其夹角关系投影到二维平面上来，建立三维图形与二维图形间一定对应关系。
- 极射赤面投影：在各种晶体投影方法中用得最多的一种。



球面投影

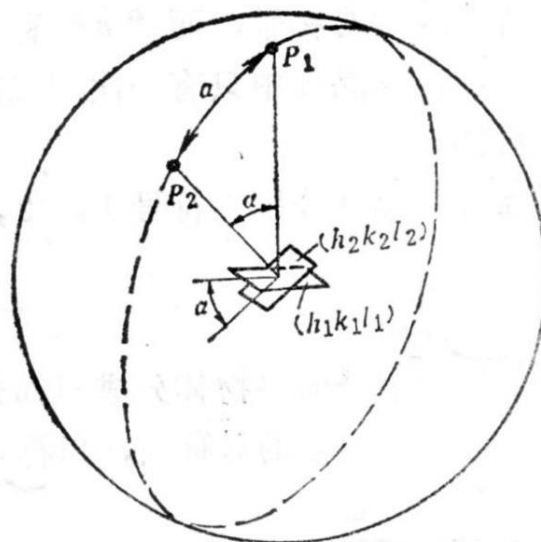
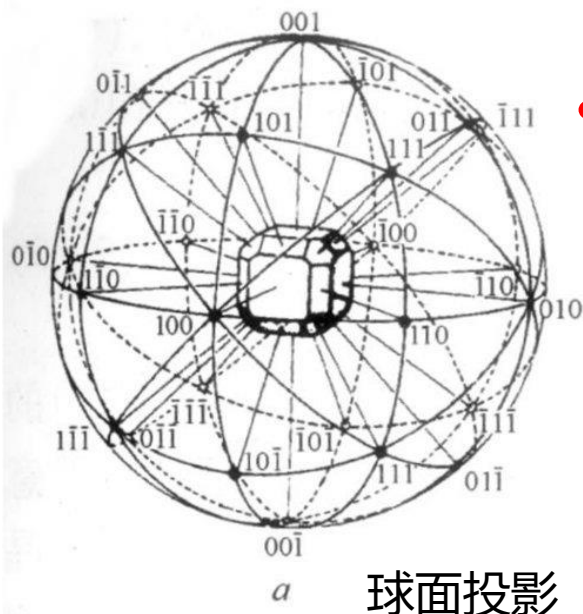


图9-13 晶面间角的测量

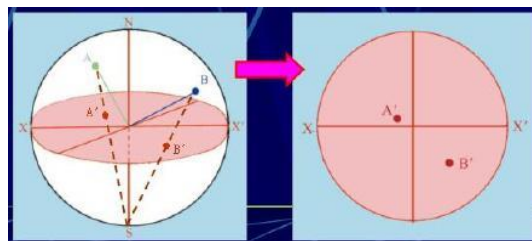
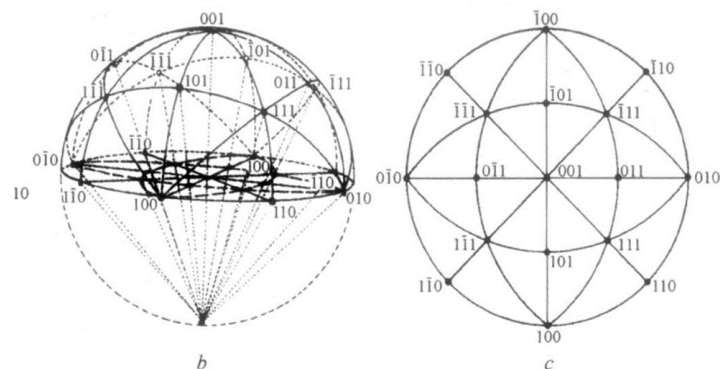
第一节 极射赤面投影法

■ 球面投影



- **球面投影**：将结晶多面体或空间点阵中的晶向和晶面投影到球面上的一种投影方法

■ 极射赤面投影



- **极射赤面投影：**
将球面投影再投影到赤道面上的一种投影方法

图 2-12 立方系标准(001)投影

b—极射赤面投影;*c*—投影图

极射赤面投影

第一节 极射赤面投影法

一、极射赤面投影法的特点

极射赤面投影法用以表达晶向、晶面的方位，见图7-1

- 1、将晶体置于一参考球心 O' ，并设其所有晶向、晶面都通过球心。
- 2、取球面上一投影点 B ，以垂直于通过 B 点的参考球直径的任一平面为**投影面**，（取与参考球相切平面）。

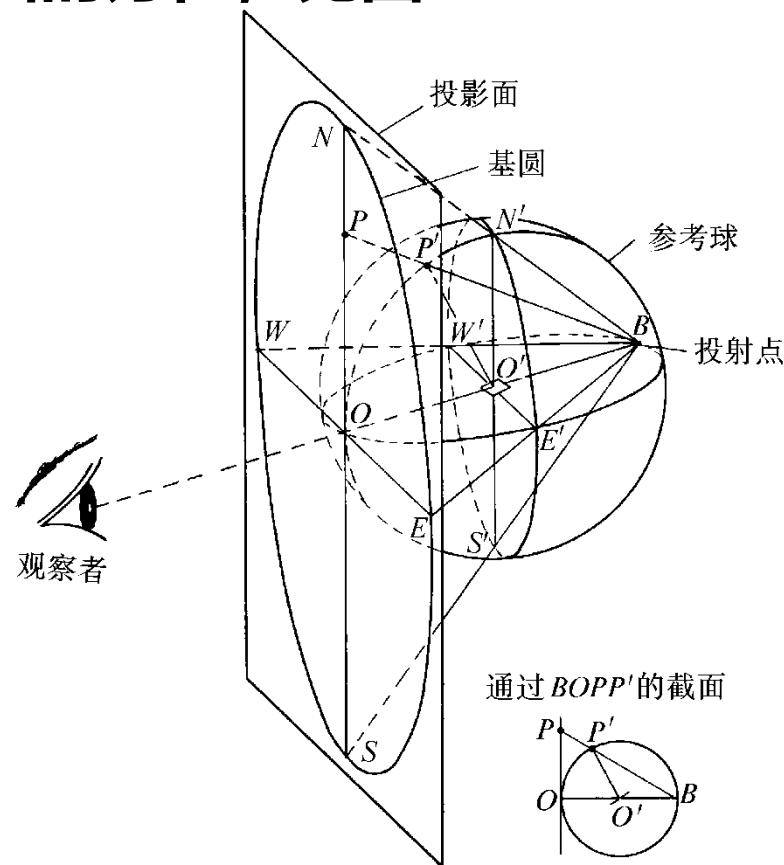


图7-1 极射赤面投影法

第一节 极射赤面投影法

一、极射赤面投影法的特点

- 3、过参考球心 O' 且平行于投影面与球 O' 相交成一大圆($N'E'S'W'$)。
- 4、连接B点与大圆上各点的直径与投影面交点所构成的圆称**基圆** (圆O, 即大圆的投影)。
- 晶体的所有投影点都在此投影基圆内。

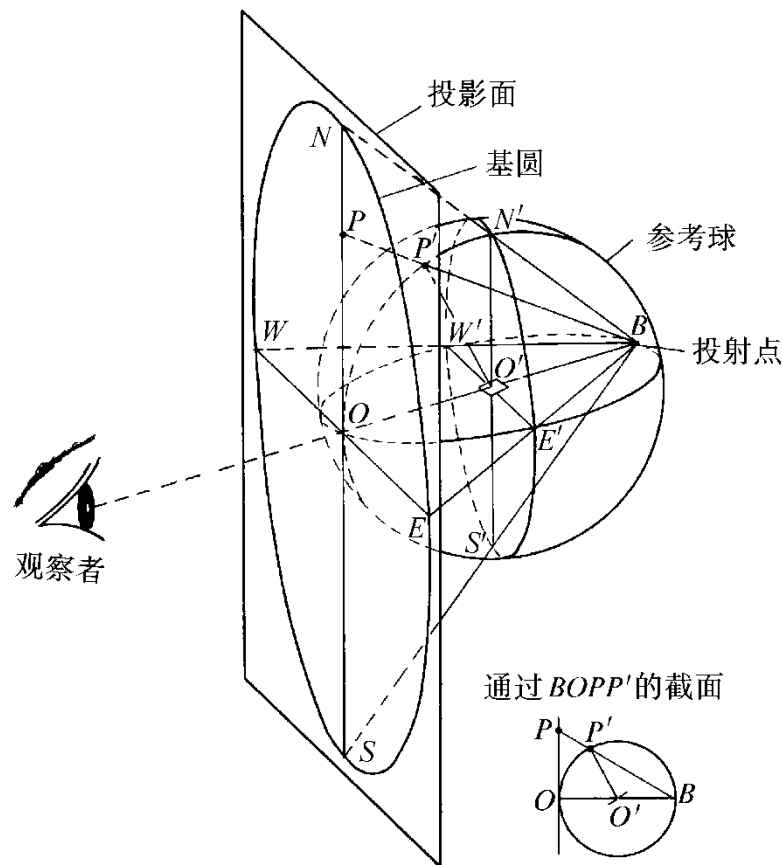


图7-1 极射赤面投影法

第一节 极射赤面投影法

一、极射赤面投影法的特点

- 5、**晶面与晶向投影方法：**
- 取晶向延长与参考球相交，交点称**露出点** (P')，
- 从投影点B出发到 P' 点作投影射线，
- 此射线与投影面交点即**晶向或晶面投影点** (**极点P**)。

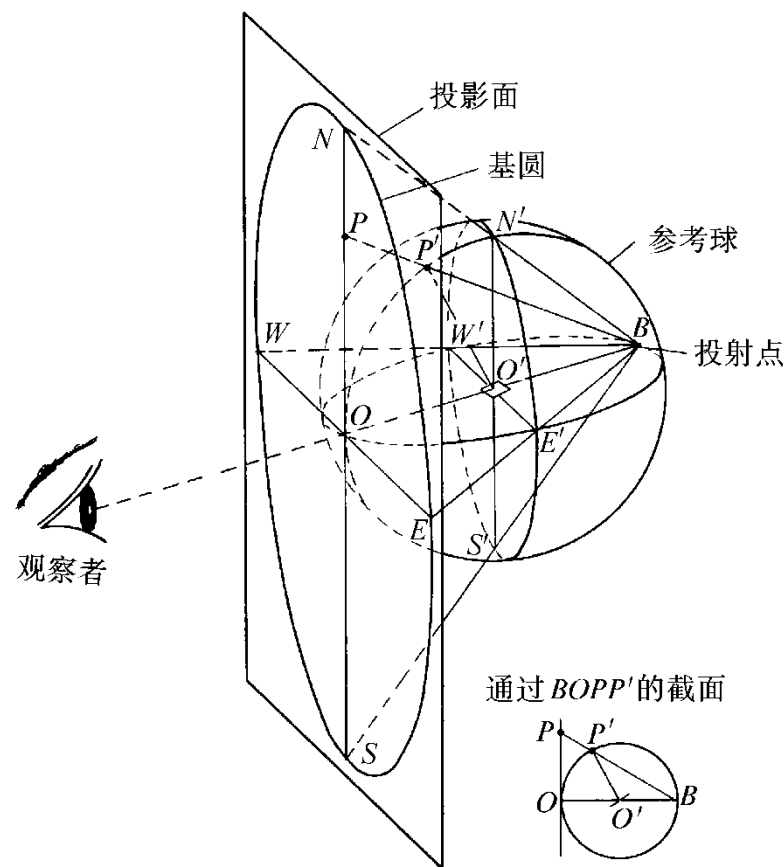


图7-1 极射赤面投影法

第一节 极射赤面投影法

一、极射赤面投影法的特点

- 若露出点在右半球面上，则其极点将投射到基圆之外，
- 此时，可将投射点移到左半球BO直径另一端，投影面也相应易位，再行投影。
- 所得极点用与前者不同的符号标注。

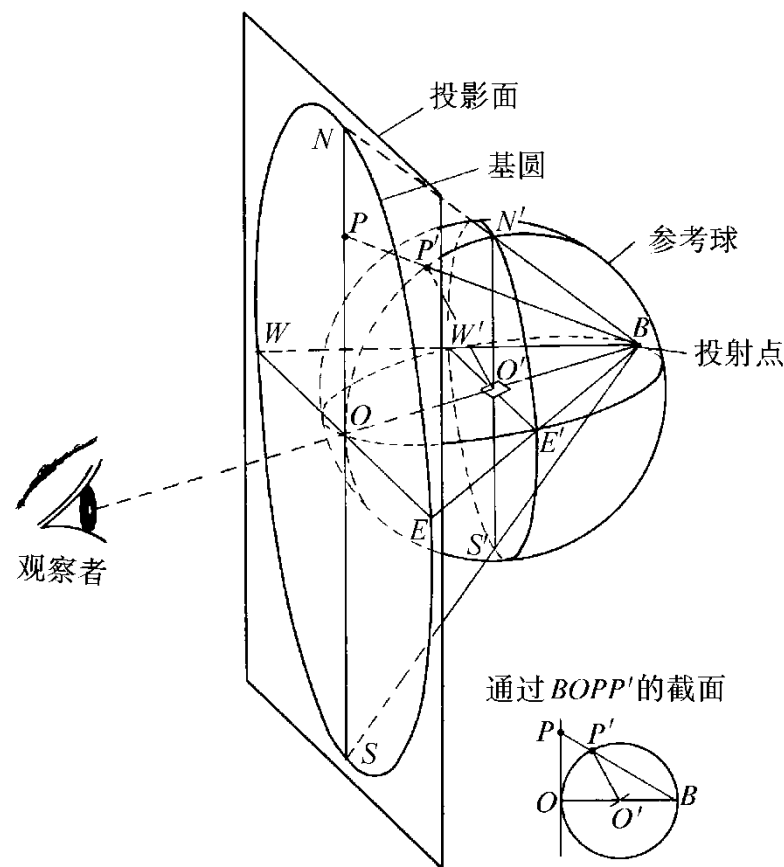
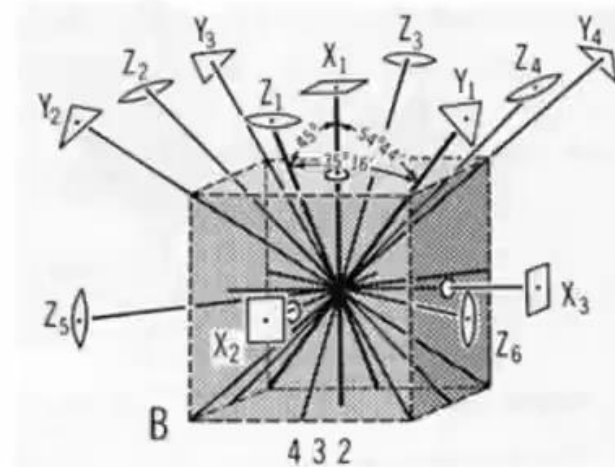
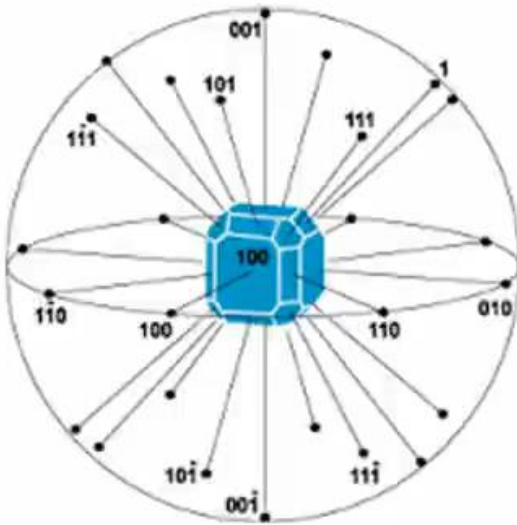


图7-1 极射赤面投影法

Stereographic Projections

Stereographic Projections

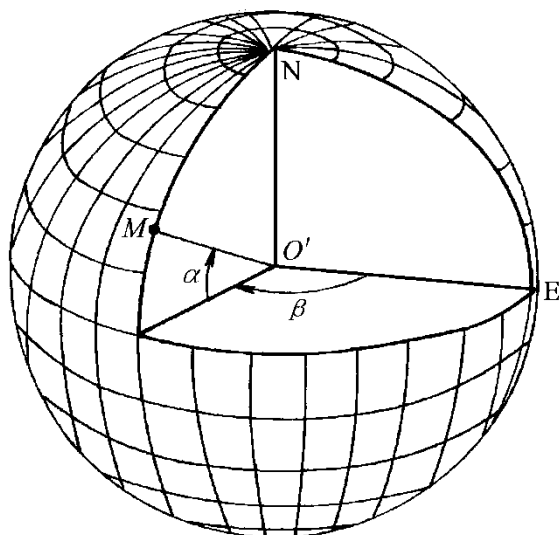


第一节 极射赤面投影法

二、乌氏网

如图7-2a，为确定极点在极射赤面投影面上的位置，以及测量各极点间的夹角，需在参考球上建立坐标网

取参考球的一直径 NS 作为南北极，过球心 O' 且垂直于 NS 的大圆称为赤道，平行于赤道大圆的一系列等角距离平面与参考球交成纬线，通过 NS 轴的等角距离平面与球面交成经线



a)

球面上某极点 M 的位置可用经度(β)和纬度(α)表示

图7-2a 参考球上的坐标网

第一节 极射赤面投影法

二、乌氏网

在图7-2a中，若以赤道平面上一点(如E点)为投射点，投影面平行于NS轴，此投影为**乌氏网**，见图7-2b

若以N或S为投影点，投影面平行于赤道平面，可得到**极网**，见图7-2c

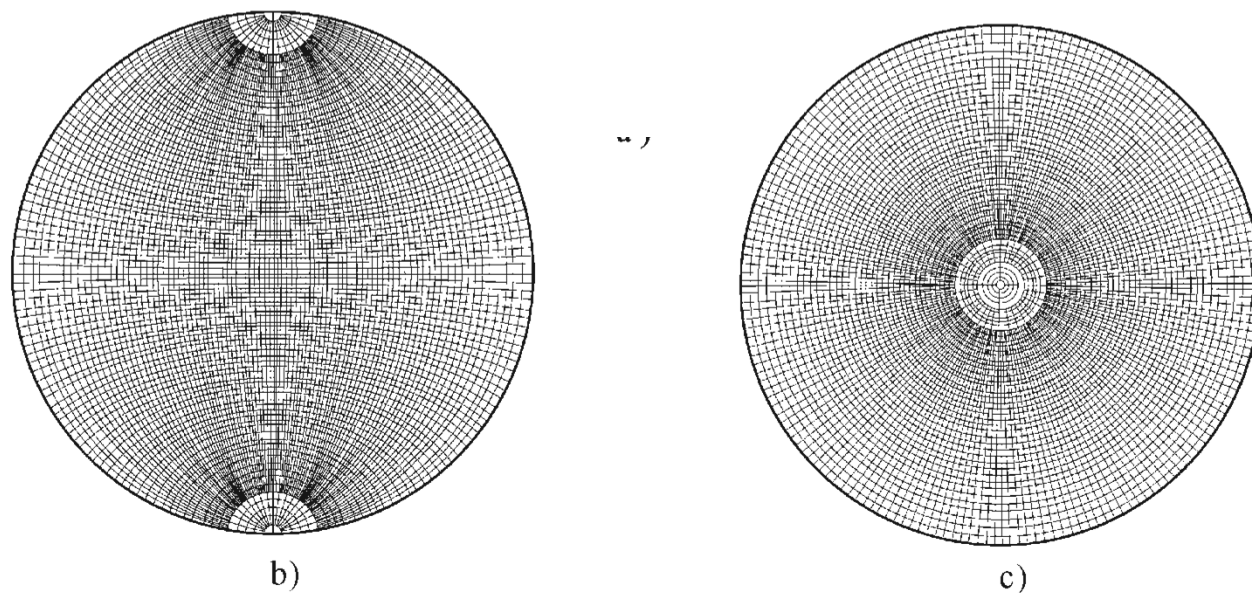


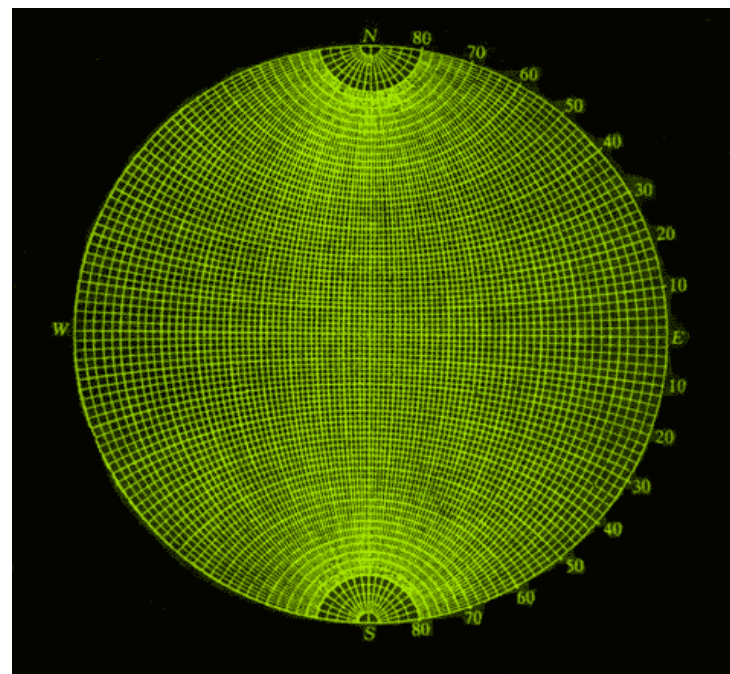
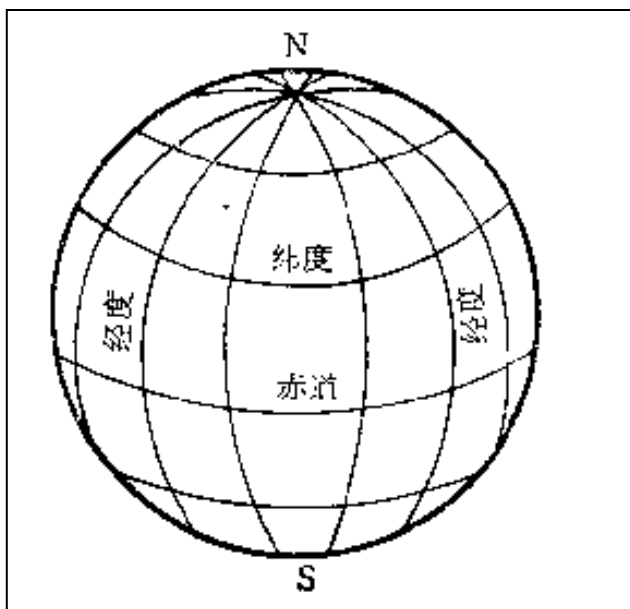
图7-2 b) 乌氏网 c) 极网

第一节 极射赤面投影法

二、乌氏网

吴里夫网：俄国晶体学家**吴里夫**提出的，以赤道平面上一点为投影点，投影面平行于NS轴，将经纬线网作**极射赤面投影**，即得**吴里夫网或乌氏网**。

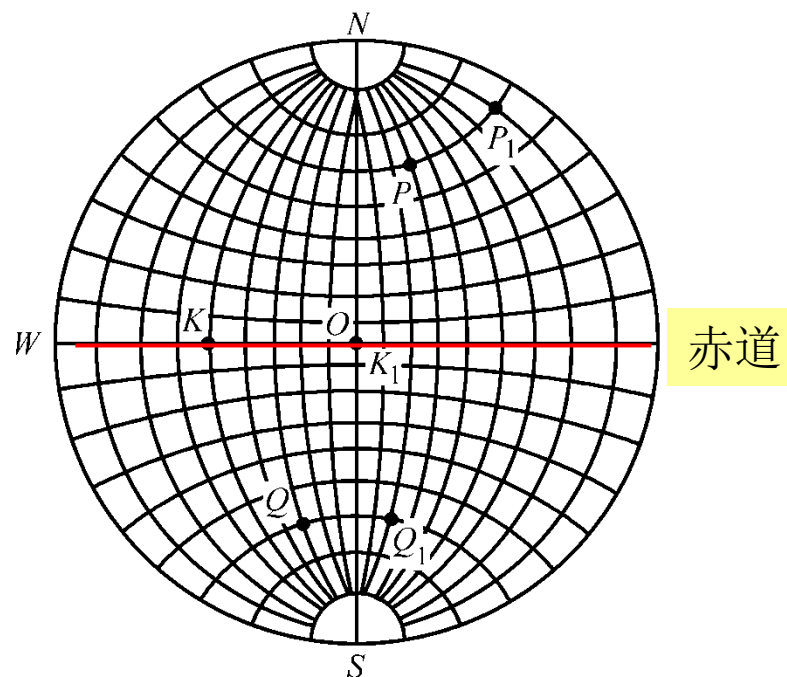
吴氏网是**极射赤面投影的度量工具**。



第一节 极射赤面投影法

二、乌氏网

- 在吴氏网中，
 - **经线大圆** - - 投影成一族以N、S为端点的大圆弧；
 - **纬线小圆** - - 投影成一族圆心位于 SN 延长线上的**小圆弧**。
-
- 吴氏网的应用：应用广泛，
 - 1) 测量晶面和晶向间夹角。
 - 2) 确定晶体方位及转动后的转动角和新方位。



第一节 极射赤面投影法

三、乌氏网的应用

(1) 测量晶面和晶向间夹角：

乌氏网是确定晶体方位及测量夹角的工具

① 将被测晶体投影图绘在一张基圆与吴氏网相同的透明纸上；
并与吴氏网叠放、中心重合。

② 转动投影图，使被测两极点位于同一经线大圆弧（含基圆）或大圆直径（赤道）上，**两极点纬度差或赤道上经度差**即为极点间夹角。

■ 如：晶面极点：A、B夹角 120° ；
C、D夹角 20° 。

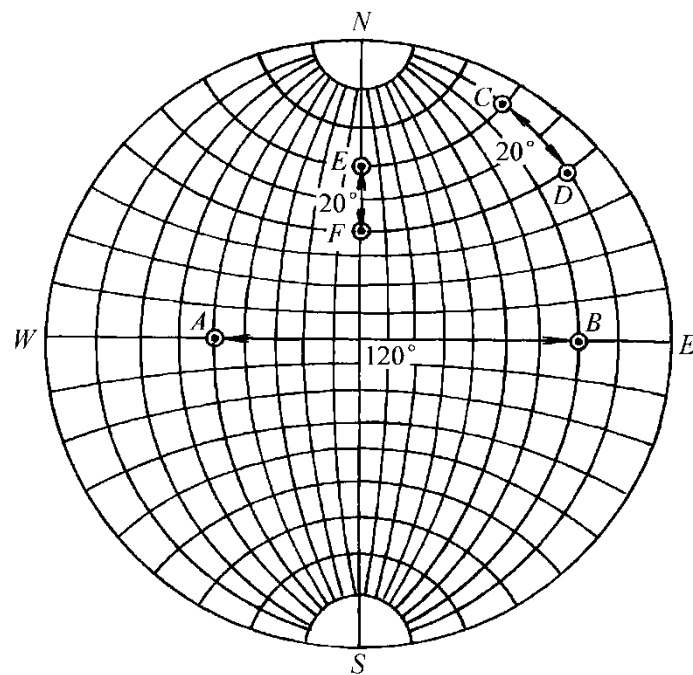


图7-3 极点间夹角的测量

第一节 极射赤面投影法

二、吴氏网

(3) 求与已知极点成等夹角点的轨迹：如图7-4所示。首先转动投影图中已知极点 P 位于乌氏网的赤道线上

在 P 点两侧定出 2 个等角距离点(如 Q 、 R)，以 Q 、 R 连线中点 P' 为圆心作圆，此小圆即为与 P 点成等角点的轨迹；

在过 P 的经线大圆上及赤道线上定出等角的点 M 、 T 及 Q' ，此3点所在的圆为欲求的轨迹；

与 P 点成 90° 点的轨迹为过赤道线上 F 点的经线大圆 NFS ， NFS 可视为一平面的投影，其法线的投影点为 P

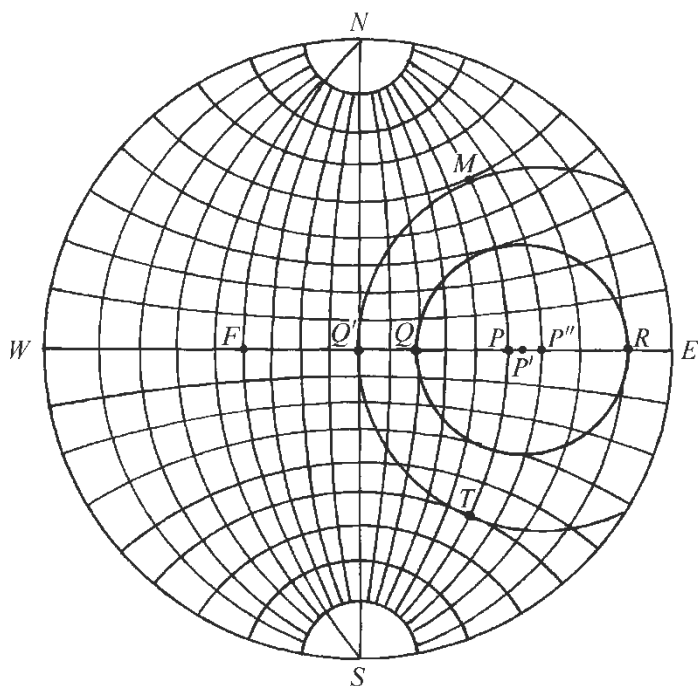


图7-4 与极点成等夹角点的轨迹

第一节 极射赤面投影法

二、吴氏网

4)晶体（极点）的转动 在乌氏网上可将极点绕确定轴转动到新位置

当晶体绕已知位向轴转动时，要测出转动一定角度后晶体的新位向，即**测量转动角**。

① **转动轴垂直于投影面**：轴的投影即为基元圆心。

方法：如图7-5，将 P 点绕基圆圆心（轴的投影）转动 ψ 角到达 P' 点

P' ：即为 P 转动后新位置

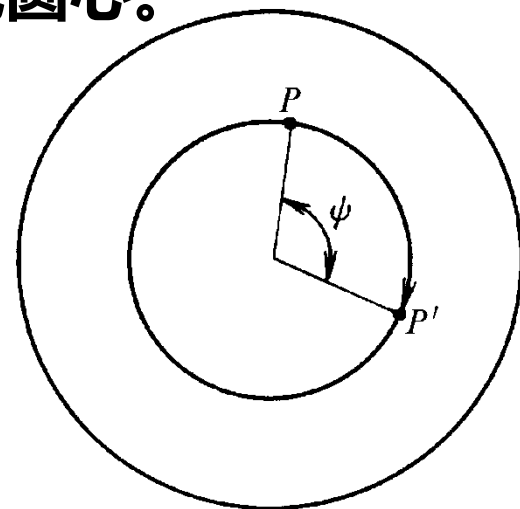


图7-5 极点绕垂直于投影面的轴转动

第一节 极射赤面投影法

二、吴氏网

5)晶体（极点）的转动 在乌氏网上可将极点绕确定轴转动到新位置

② 转动轴**平行于**投影面：轴的投影为基圆直径

则转动角：**沿纬线小圆弧度量。**

方法：转动投影图，使转动轴与吴氏网NS轴重合，**将极点沿所在纬线向指定方向转动预定角度**，即转动后极点新位置。（如：A1 → A2）

若转到投影图背面，则用不同符号标明（如：B1 → B1'）；

或反向延长到基圆圆心另一侧的等半径处（如：B1 → B2）

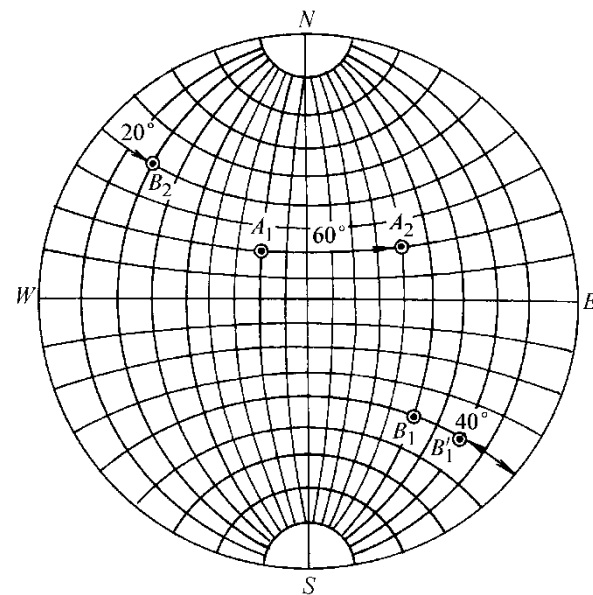


图7-6 极点绕平行于投影面的轴转动

第一节 极射赤面投影法

二、吴氏网

6) 极点的转动 在乌氏网上可将极点绕确定轴转动到新位置

转轴与投影面成任意夹角：如图7-7，转轴的投影为 B_1 点，使 A_1 点绕 B_1 轴顺时针转动 40° 的步骤为，① 将 B_1 置于赤道线上；

② 将 A_1 和 B_1 同时绕NS轴转动至 B_1 到达基圆圆心，称为 B_2 ， A_1 点在其纬线上到达 A_2 ；③ A_2 绕 B_2 按预定方向转 40° 到达 A_3 ；④ B_2 绕NS轴转至原位 B_1 ， A_3 沿其纬线相应转至 A_4 ， A_4 即为 A_1 点绕 B_1 轴顺时针转动 40° 后的新位置

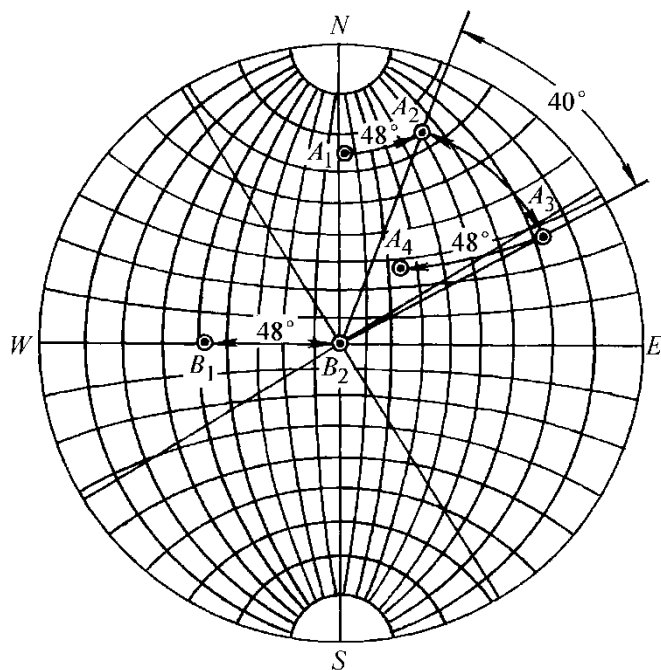


图7-7 极点绕倾斜轴转动

第一节 极射赤面投影法

二、吴氏网

6) 投影面的转换 在乌氏网上将极点绕确定轴转动到新位置

■转换投影面：将原投影面上的极射赤面投影转换到另一个新的投影面上去。

■其步骤：

1) 将新投影面的极点转移到投影基圆中心；

2) 再将投影面上所有极射赤面投影转动同样角度移到相应新位置。

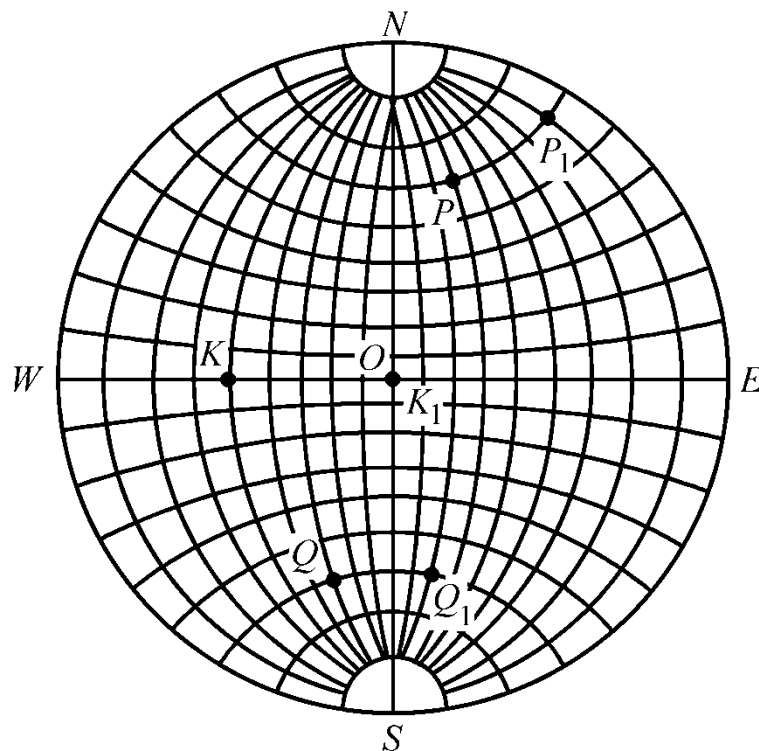


图7-8 投影面的转换

第一节 极射赤面投影法

二、吴氏网

6) 投影面的转换

如：要将原投影面O上的极射赤面投影P、Q转换到另一个新投影面K上去。

■具体步骤：

- 1) 如图7-8，先转动新投影图，使新投影图极点K落在吴氏网赤道直径上，然后沿赤道将K移到投影基圆中心O；
- 2) 同时将原投影面O上投影P、Q点各沿其所在纬线移动同样角度到相应新位置P₁、Q₁，这就是P、Q点以K为新投影面的位置

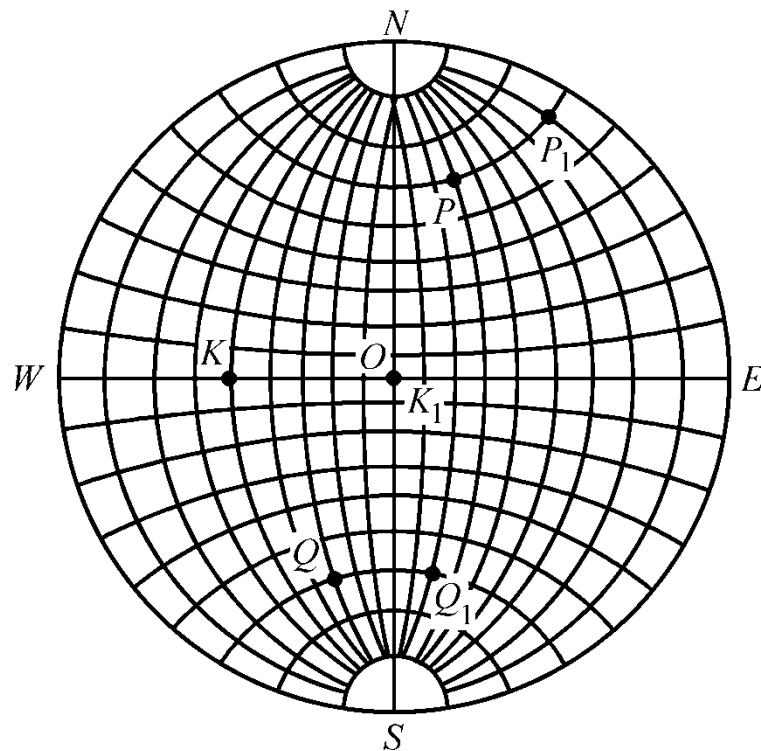
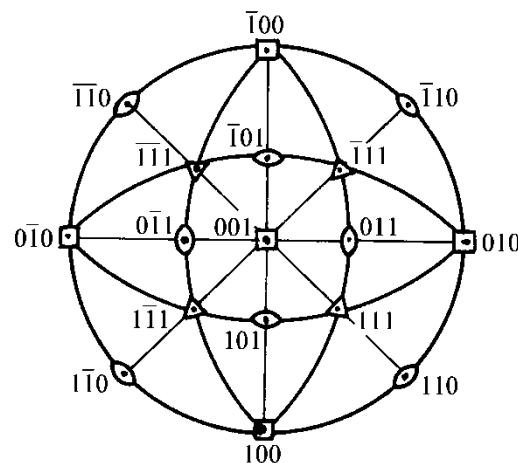


图7-8 投影面的转换

第一节 极射赤面投影法

三、单晶体的标准投影图

- 极射赤面投影可以用一个点简明方便地表示晶体中一组晶向和晶面
- 对于某种点阵结构的单晶体，选择某一低指数的重要晶面作为投影面，将各晶面向其投影，即可得到单晶体的标准衍射图
- 立方晶系的晶面间夹角 $\cos \phi = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)}}$ 与点阵常数无关，标准投影图对于不同点阵常数的立方晶体普遍适用；因立方晶系同名的晶面和晶向垂直，其标准投影图同时可用于晶面和晶向
- 非立方晶系的晶面间夹角与点阵常数有关，故无法制作普遍适用的标准衍射图



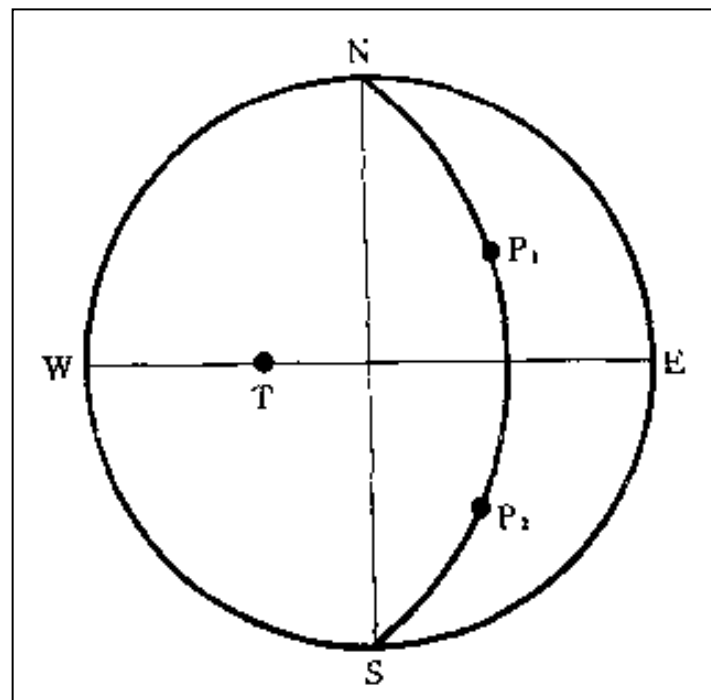
第一节 极射赤面投影法

三、单晶体的标准投影图

晶带的极射赤面投影

- 举例说明：晶带极射赤面投影的作图法：
- 1) 已知两晶面 $(h_1k_1l_1)$ 和 $(h_2k_2l_2)$ 同属晶带 $[uvw]$ ，则由其两极点 P_1 、 P_2 绘出晶带大圆弧和晶带轴的极射赤面投影。

- ① 转动极射赤面投影图，使 P_1 、 P_2 落到吴氏网的某个大圆弧上；
- ② 画出此大圆弧，即为 P_1 、 P_2 所在晶带大圆弧；
- ③ 沿吴氏网赤道直径向晶带大圆弧的内侧数 90° 角；
- ④ 则 T 点即为此晶带轴的极射赤面投影。



第一节 极射赤面投影法

三、单晶体的标准投影图

对一定点阵结构的单晶体，选择某一个低指数的重要晶面作为投影面，将各晶面向此面投影，即得单晶体标准投影图。分别以 (001) 、 (011) 、 (111) 为投影面。

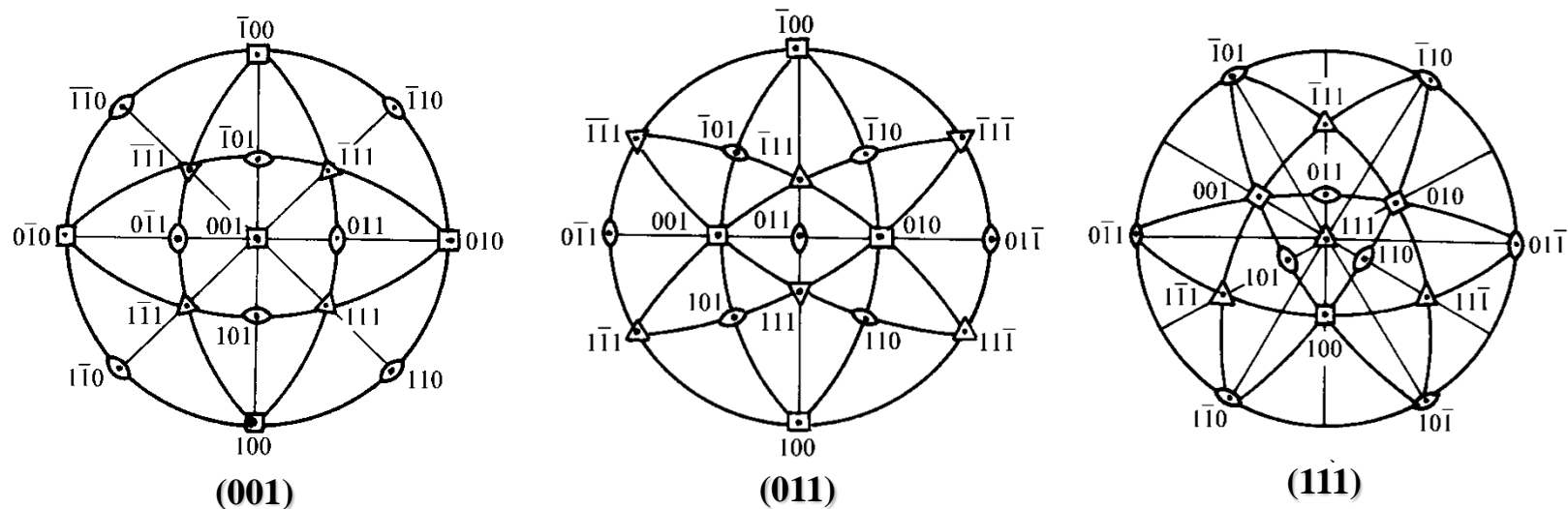


图7-9 立方晶系标准投影图

第一节 极射赤面投影法

三、单晶体的标准投影图

图中一些大圆弧和直线联系了一系列晶面的极点，表明这些晶面法线在同一平面上，此平面法线则是这些晶面的交线，这些相交于一直线的晶面属于同一晶带，称晶带面或共带面，其交线即为晶带轴（用 $[uvw]$ 表示）。

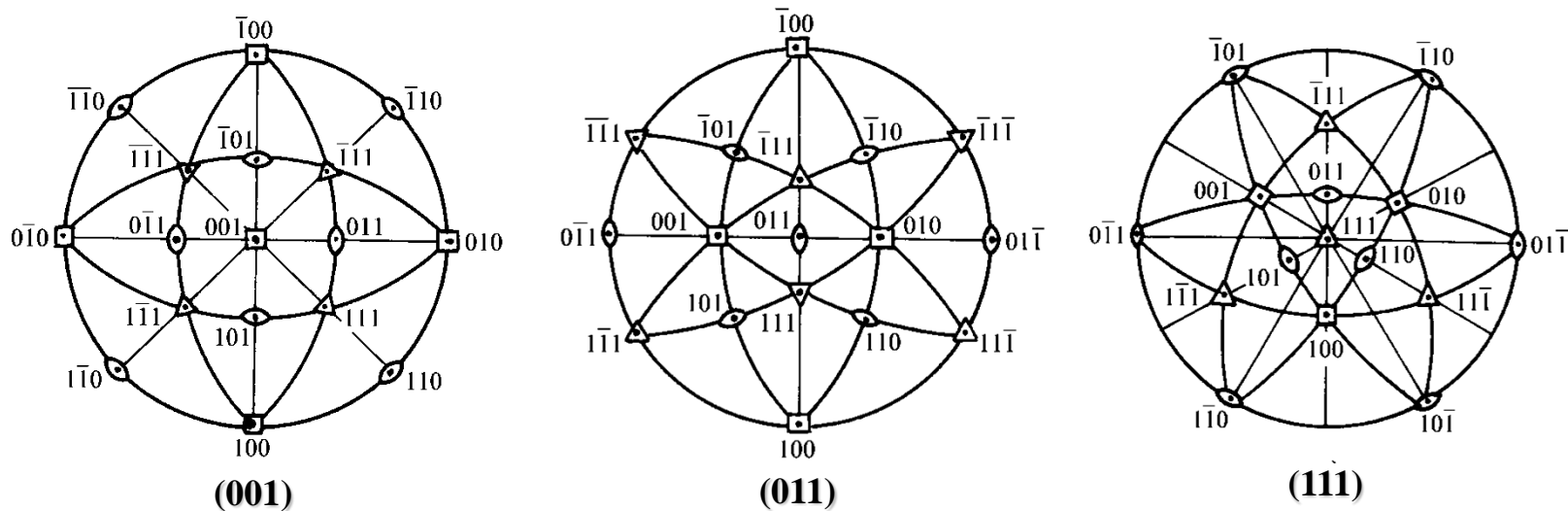


图7-9 立方晶系标准投影图

第一节 极射赤面投影法

三、单晶体的标准投影图

晶面指数(hkl)和 $[uvw]$ 满足晶带定律

$$hu + kv + lw = 0 \quad (7-1)$$

晶体学原理：立方晶体中的晶面与和它同指数的晶向垂直。
如： $(111) \perp [111]$ ，故其标准投影图也是晶向标准投影图。

图中给出了主要结晶学方向的极点位置，表明：重要晶面的相对取向和对称性。

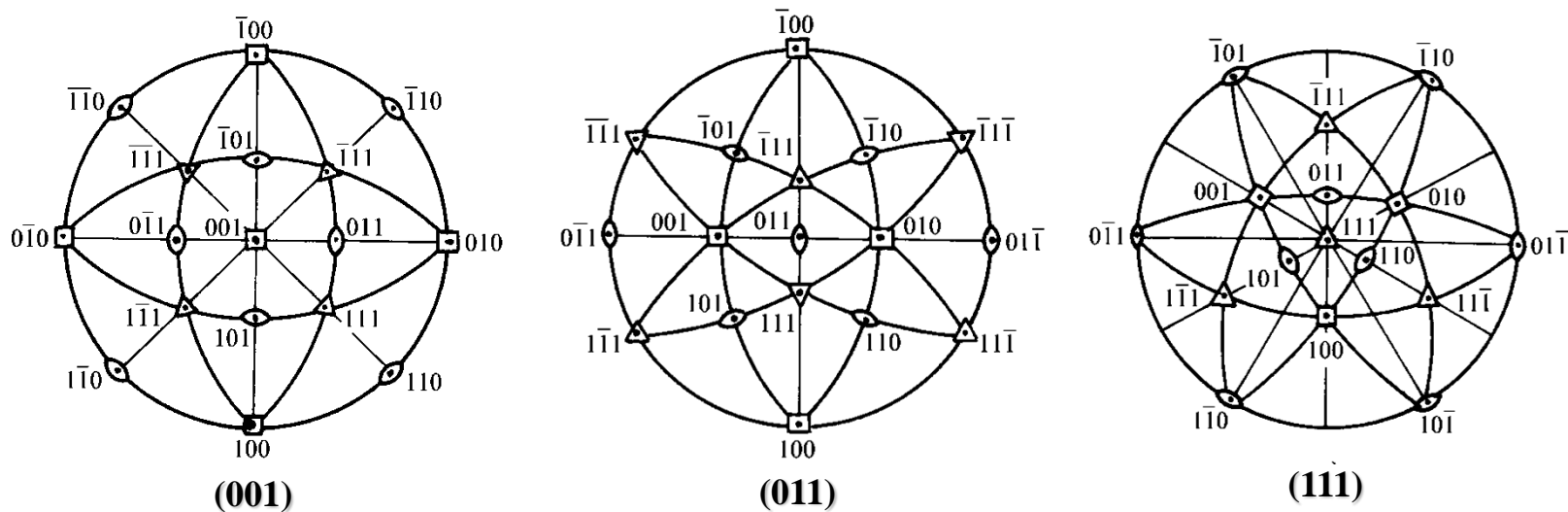


图7-9 立方晶系标准投影图

第二节 组织的种类和表示方法

组织按择优取向分布特点分类

1) 丝织构 是一种晶粒取向为轴对称分布的组织

存在于拉、轧或挤压成形的丝、棒材和表面镀层中。特点是各晶粒某取向 $\langle uvw \rangle$ 与丝轴或镀层表面法线平行，用 $\langle uvw \rangle$ 表示丝织构指数；也可采用极射赤面投影表示晶粒取向的分布，称为晶向或晶面的极图，以说明某一晶向或晶面在宏观坐标面的投影，见图7-10

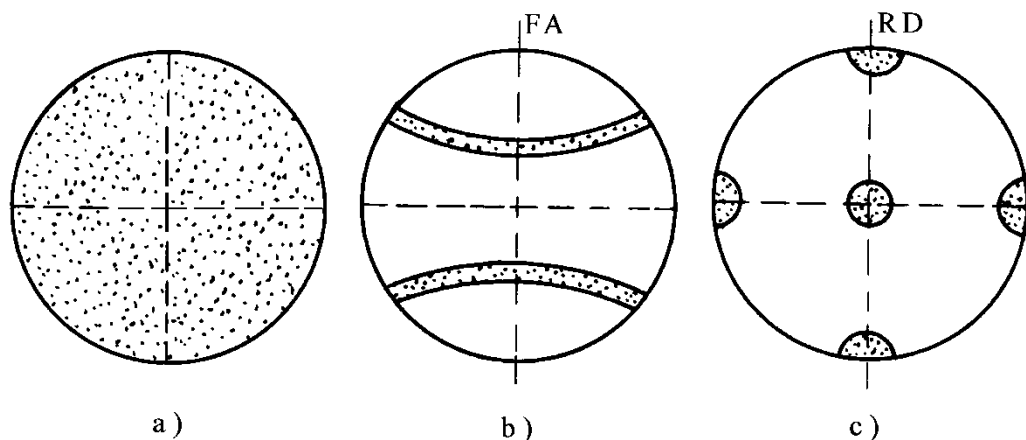
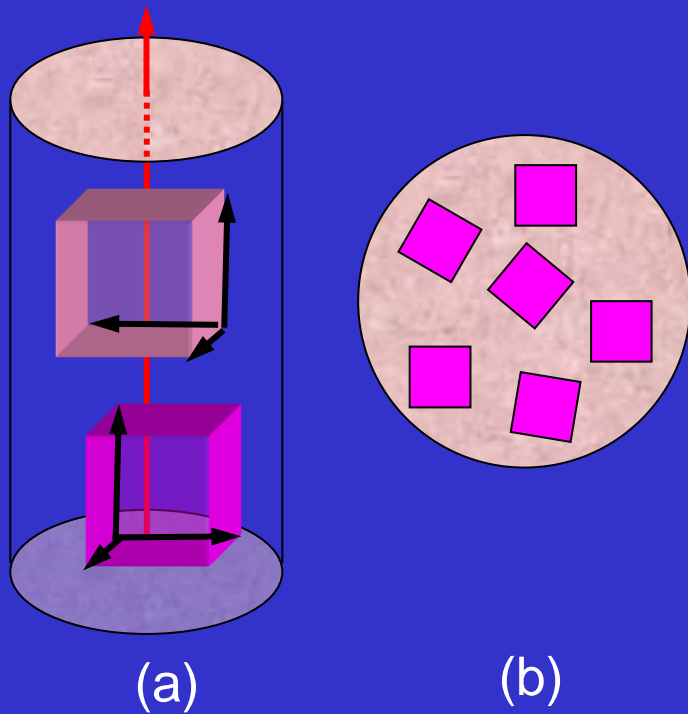


图7-10 不同取向状态的多晶体极图示意图

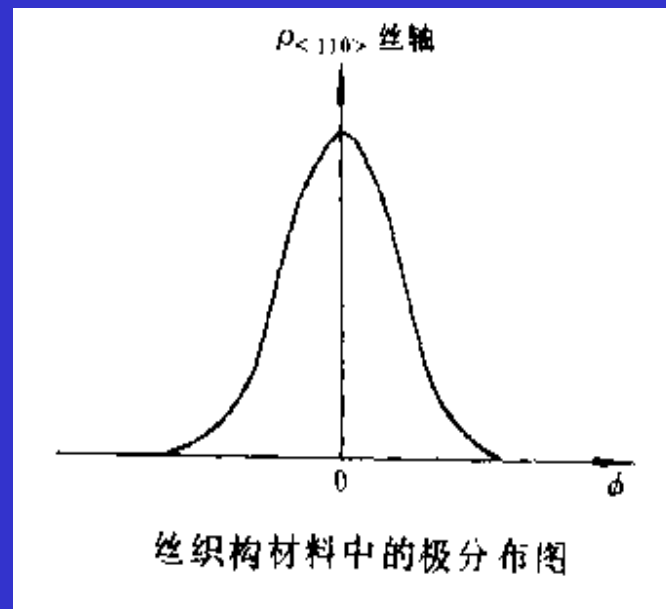
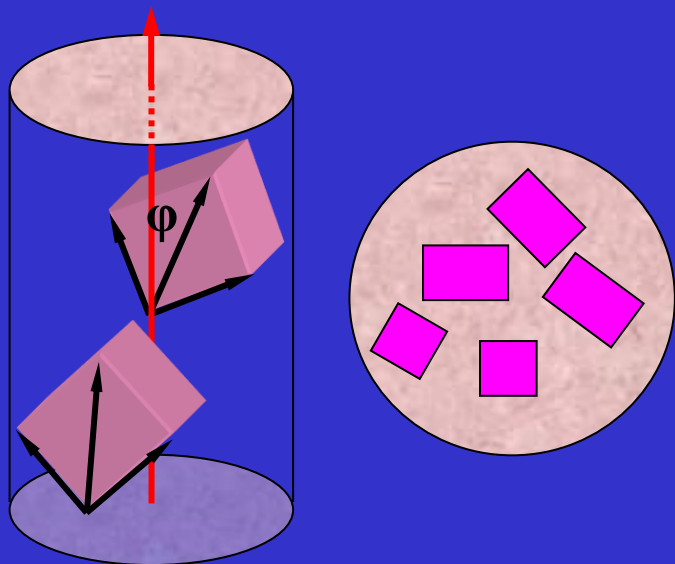
a) 无序取向 b) 丝织构 c) 板织构

若多晶体中的晶粒取向混乱分布，极点分布是均匀的；当有丝织构存在时，极点相对于丝轴 FA 呈旋转对称分布

丝织构及其特点



例：图(a)为具有丝织构的棒材（或丝材），棒材中大部分晶粒的 $\langle 100 \rangle$ 方向平行于丝轴(拉丝)方向。图(b)为横断面放大图，理想丝织构的情况是材料中所有晶粒的 $\langle 100 \rangle$ 方向均平行于丝轴(拉丝)方向。



例：冷拉铁丝（体心立方金属）具有<110>丝织构，即铁丝中大多数晶粒的<110>方向倾向于平行丝轴方向。

但在实际的冷拉铁丝材料中并不是所有晶粒的<110>方向都严格平行丝轴方向。左图为<110>方向与丝轴之间夹角为 ϕ 的晶粒的百分数，亦即<110>极点分布在方向上的百分比（极密度） $\rho_{<110>}$ 随夹角 ϕ 的分布。

冷拉铝丝中100%晶粒的<111>方向与拉丝轴方向平行，即具有<111>丝织构。冷拉铜丝中60%晶粒的<111>方向与拉丝轴方向平行，而另外40%晶粒的<100>方向与拉丝轴方向平行，即冷拉铜丝具有<111>+<100>双重丝织构。



第二节 组织的种类和表示方法

组织按择优取向分布特点分类

- 2) 板织构 存在于轧制或旋压成形的板材、片状构件。特点是各晶粒某晶向 $\langle uvw \rangle$ 与轧向(RD)平行, 各晶粒某晶面 $\{hkl\}$ 与轧面平行, 用 $\langle uvw \rangle \{hkl\}$ 表示板织构指数。如: 冷轧铝板: $\langle 112 \rangle \{110\}$ 织构, 铁合金中会出现: $[001] (100)$ 立方织构。图7-10c 是轧面为投影面, 立方织构材料的 $\{001\}$ 极图示意图。

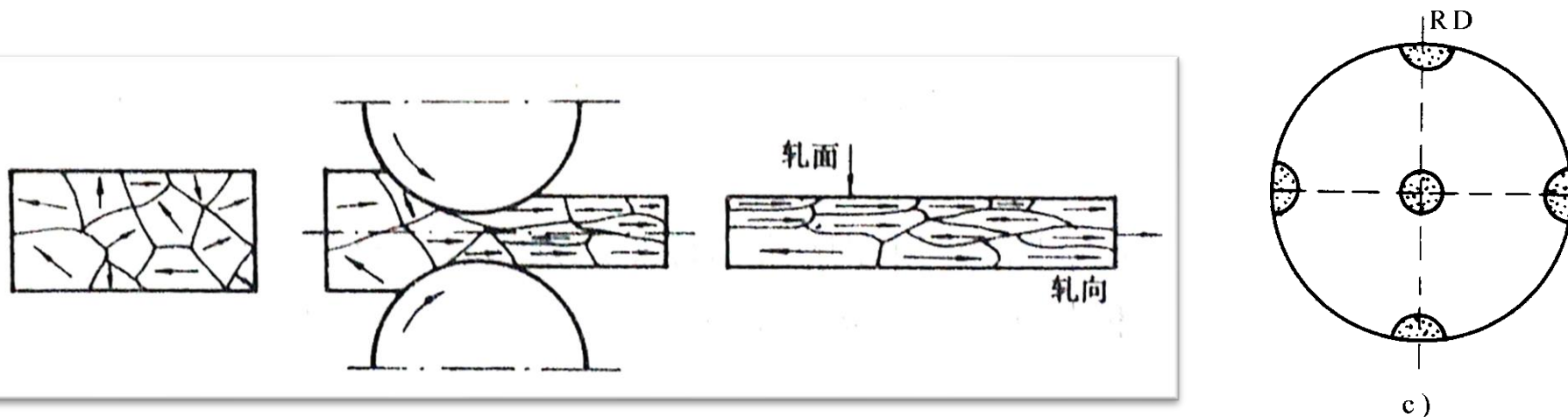
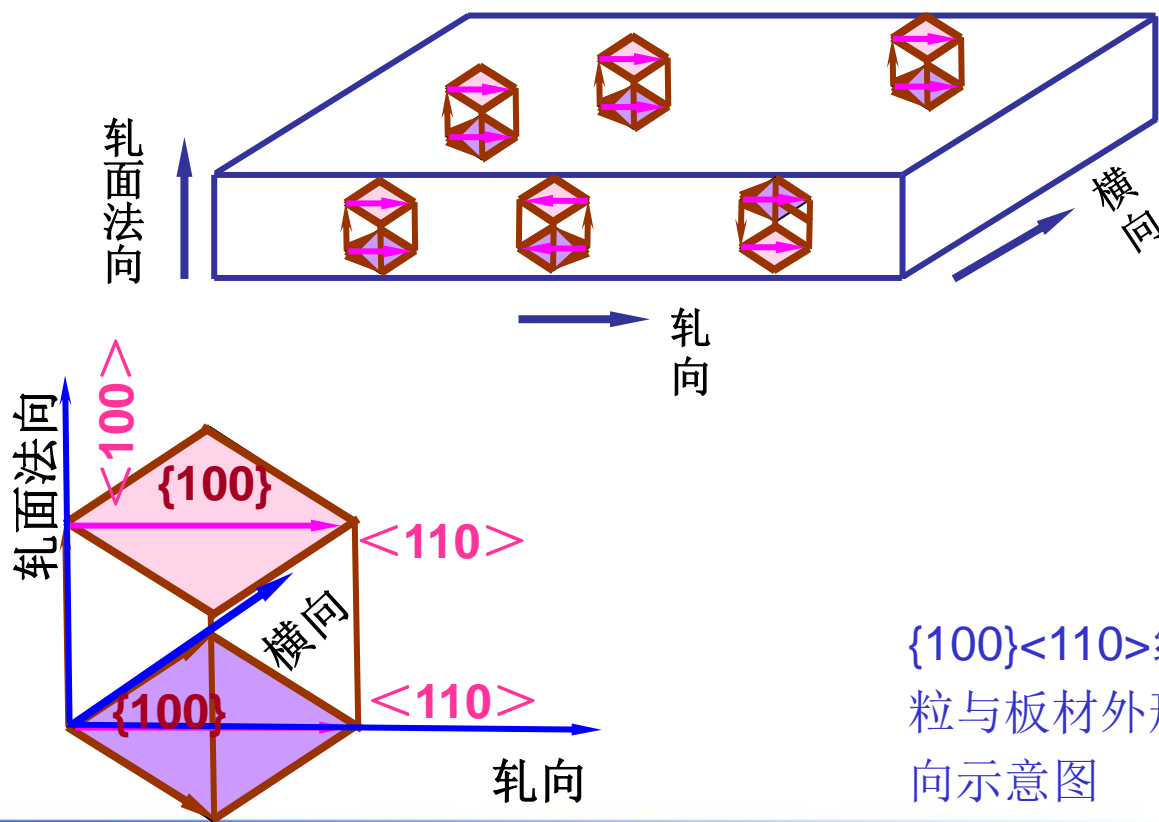


图7-10 不同取向状态的多晶体极图示意图, c) 板织构

在轧制过程中，随着板材的厚度逐步减小，长度不断延伸，多数晶粒不仅倾向于以某一晶向 $\langle uvw \rangle$ 平行于材料的某一特定外观方向，同时还以某一晶面 (hkl) 平行于材料的特定外观平面（板材表面），这种类型的择优取向称为板织构，一般以 $(hkl)[uvw]$ 表示，晶粒取向的漫散程度也按两个特征来描述。



$\{100\}\langle 110 \rangle$ 织构中晶粒与板材外形相对取向示意图

第二节 组织的种类和表示方法

组织按择优取向分布特点分类

材料中存在组织，将明显影响衍射强度。

用衍射仪测量组织样，则衍射谱的相对强度反常。

所以，强度测量是组织测定的基础。

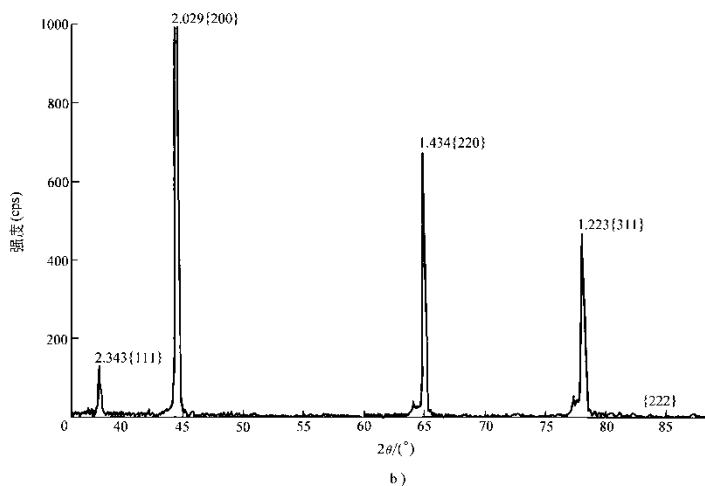
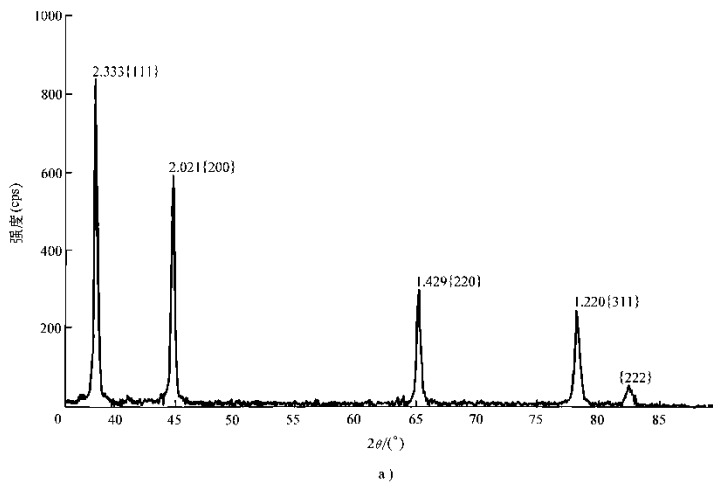


图7-12 多晶铝的衍射 a) 铝粉 b) 冷轧铝板

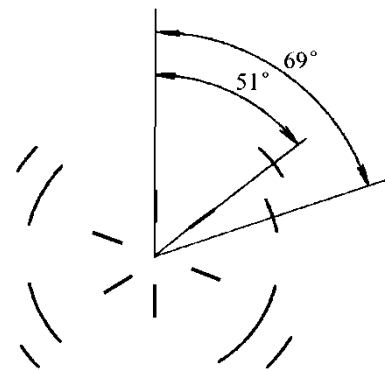


图7-11 冷轧铝丝的
平板针孔相

第二节 组织的种类和表示方法

一、极图

组织可用极图、反极图和取向分布函数3种方法表示，极图常用于描述板织构，是晶粒晶体学面在外形坐标上的投影

多晶体中某晶面 $\{001\}$ 法向，在空间分布的极射赤面投影图称 $\{001\}$ 极图，板织构取轧面为宏观坐标面的投影面，而丝织构取与丝轴平行或垂直的平面

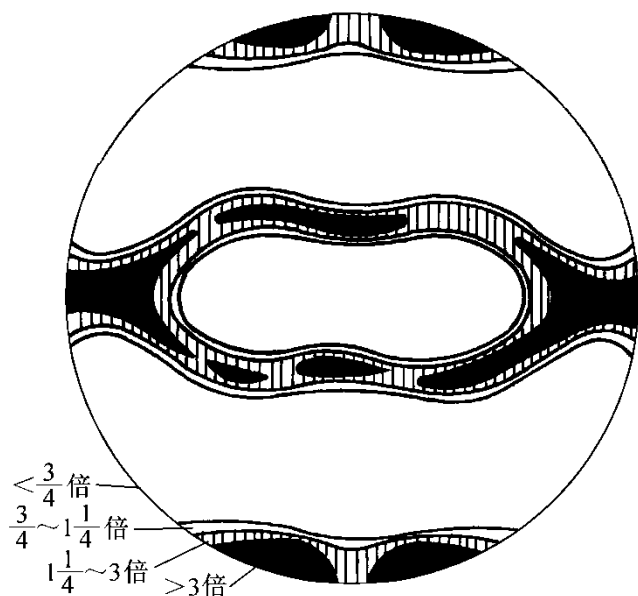
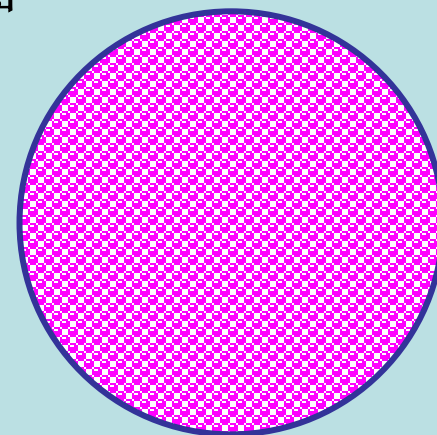
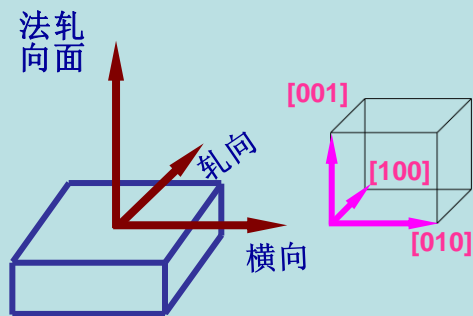
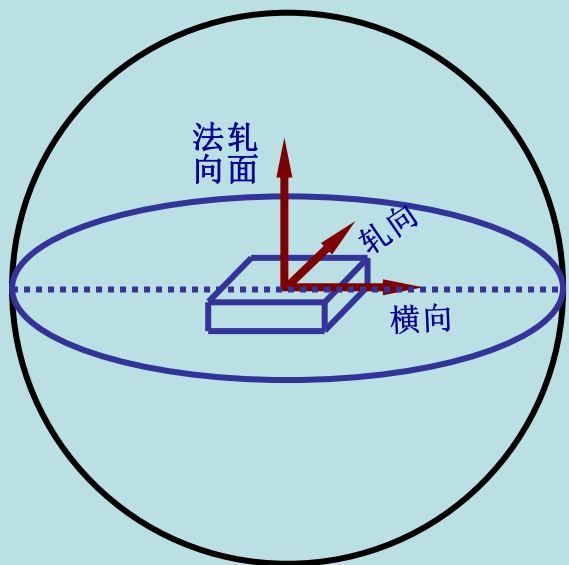


图7-13 冷轧纯铝板的 $\{111\}$ 极图

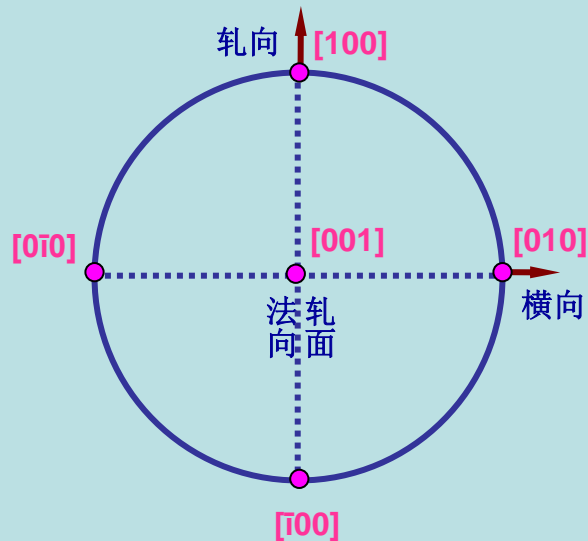
图7-10是轧制纯铝板以轧面为投影面的极图，用不同级别的等密度线表示极点密度的分布

利用极图可确定组织的类型和指数，并判断择优取向的程度

(001)[100]理想板织构的三种极图

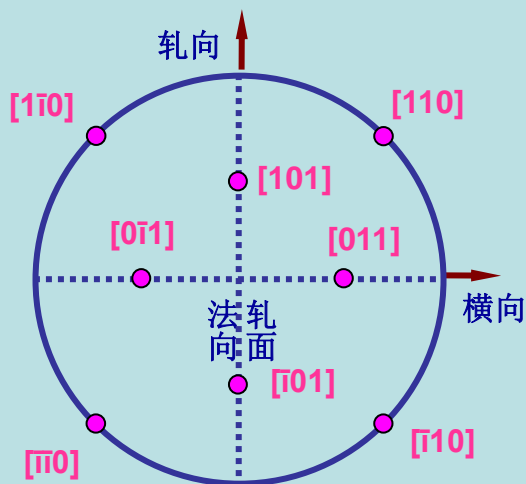


无织构材料的{hkl}极图



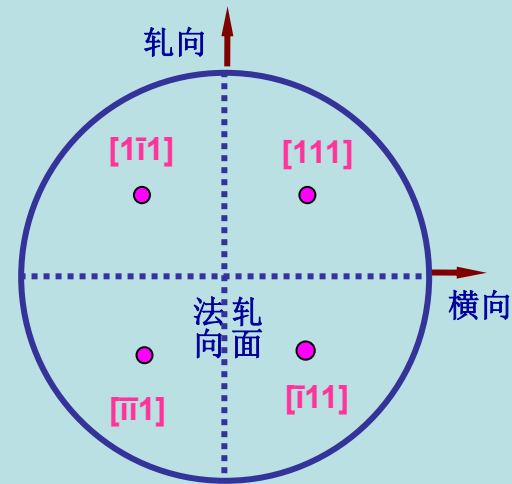
(100) 极图

{100}面族在轧面上的投影



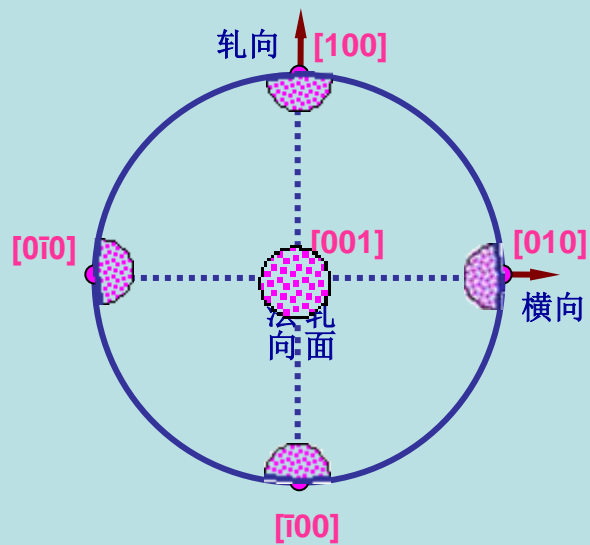
(110) 极图

{110}面族在轧面上的投影

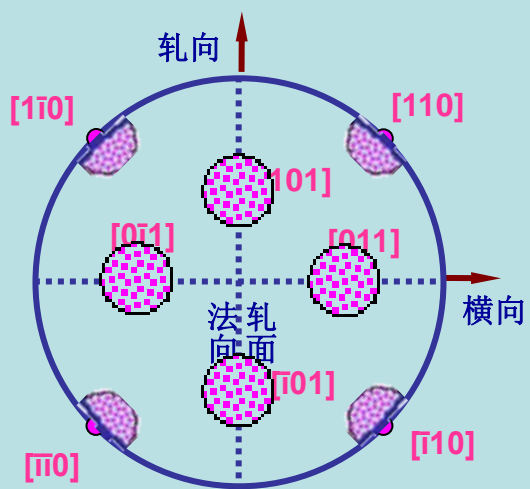


(111) 极图

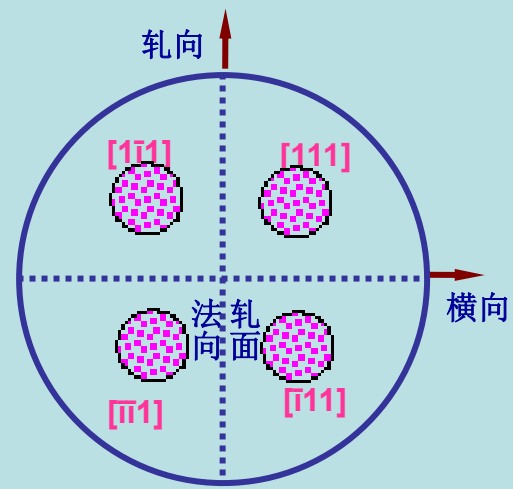
{111}面族在轧面上的投影



(100) 极图
{100}面族在轧面上的投影



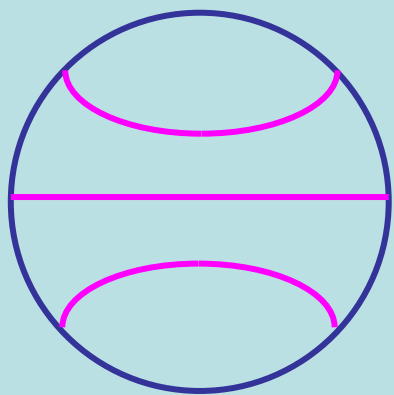
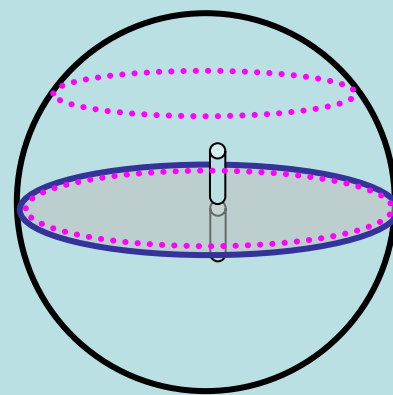
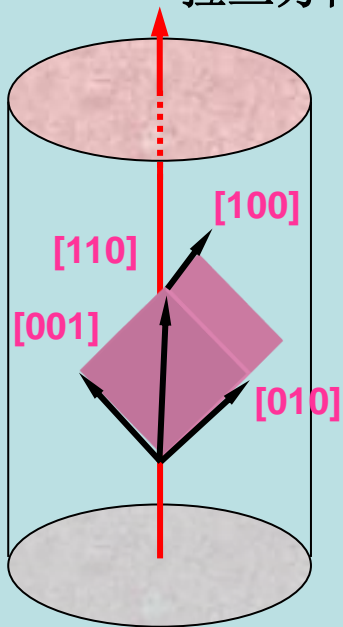
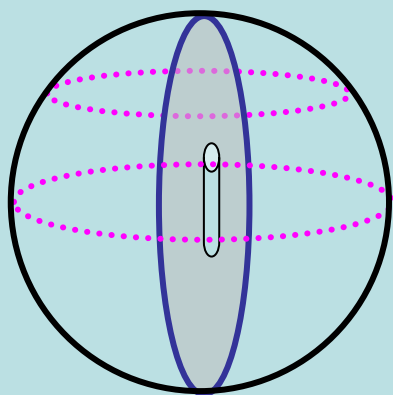
(110) 极图
{110}面族在轧面上的投影



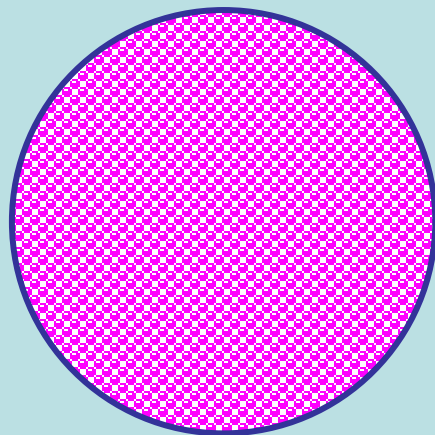
(111) 极图
{111}面族在轧面上的投影

{110} 理想丝织结构的二种极图

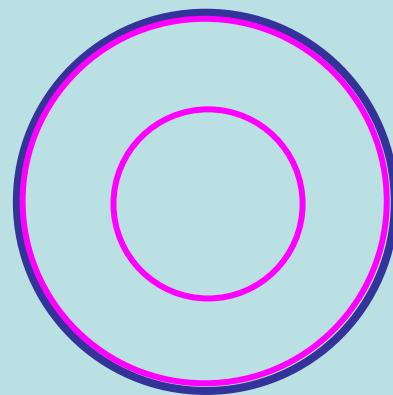
拉丝方向



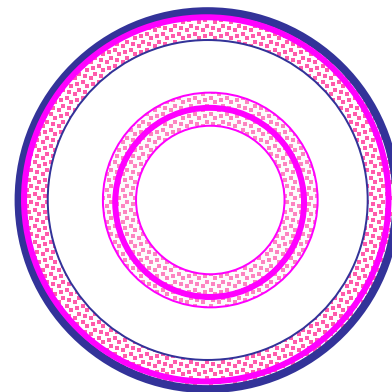
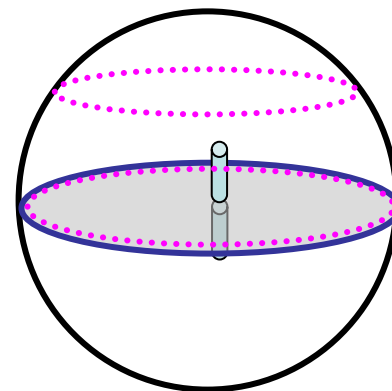
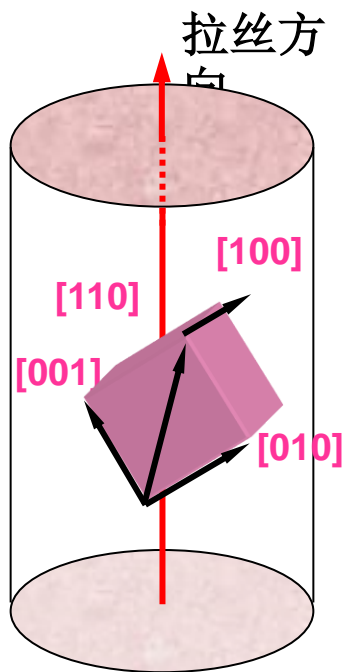
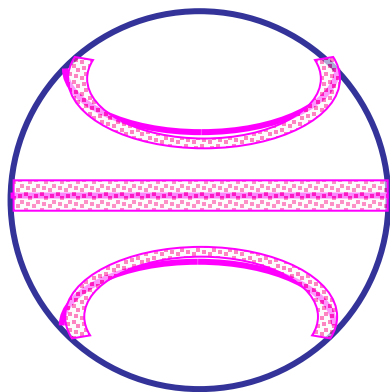
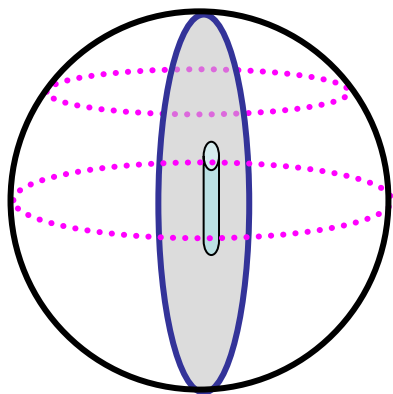
{100}面族在平行于拉丝轴上平面的投影



无织构材料的
{hkl}极图



{100}面族在垂直于拉丝轴上平面的投影



$\{100\}$ 面族在平行于拉丝轴上平面的投影

$\{100\}$ 面族在垂直于拉丝轴上平面的投影

第二节 组织的种类和表示方法

二、反极图

反极图表示某一宏观坐标(如丝轴、轧向、轧面法向等)相对于微观晶轴的取向分布，反极图常取单位投影三角形，如图7-14中的阴影区。

图7-15 是多晶体中各晶粒坐标(实线) 相对某宏观坐标(虚线)的取向。反极图表示某宏观坐标轴密度相对晶体坐标的分布，无序多晶体，轴密度分布均匀；择优取向时，分布不均匀

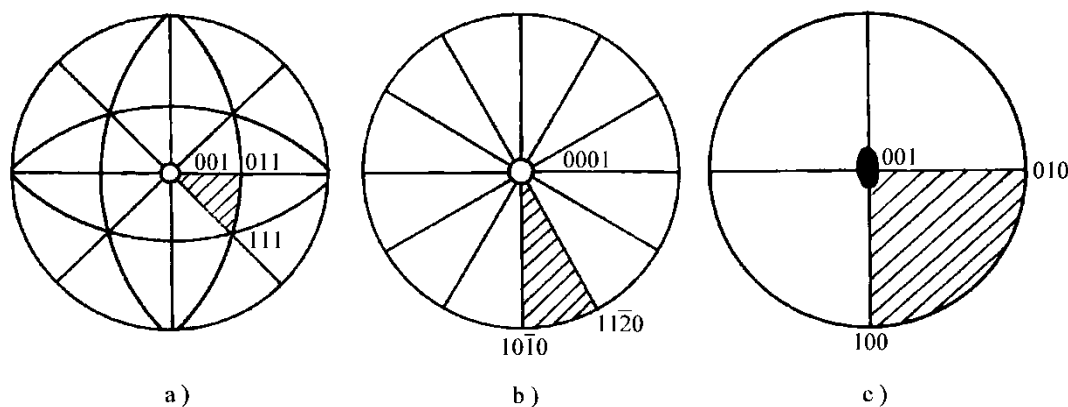


图7-14 反极图所取的单位投影三角形
a) 立方晶系 b) 六方晶系 c) 正交晶系

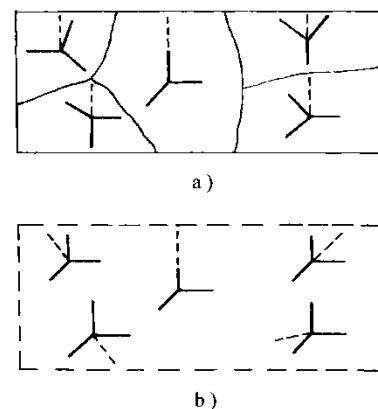


图7-15 反极图投影关系示意图

第二节 组织的种类和表示方法

二、反极图

如图7-16，在001和111极点处有较高的轴密度，说明铝棒各晶粒的 $\langle 111 \rangle$ 或 $\langle 001 \rangle$ 趋向与棒轴平行，存在 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 001 \rangle$ 双织构。确定板织构至少需要2张反极图（如图7-17），冷轧黄铜板的RD和ND反极图各有2个高轴密度区，可确定其织构指数为 $\langle 112 \rangle \{110\}$ 、 $\langle 001 \rangle \{110\}$ 和 $\langle 112 \rangle \{111\}$

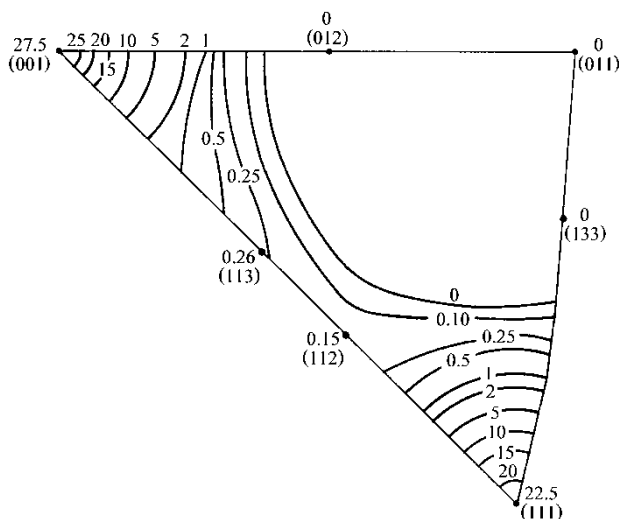


图7-16 挤压铝棒的轴向反极图

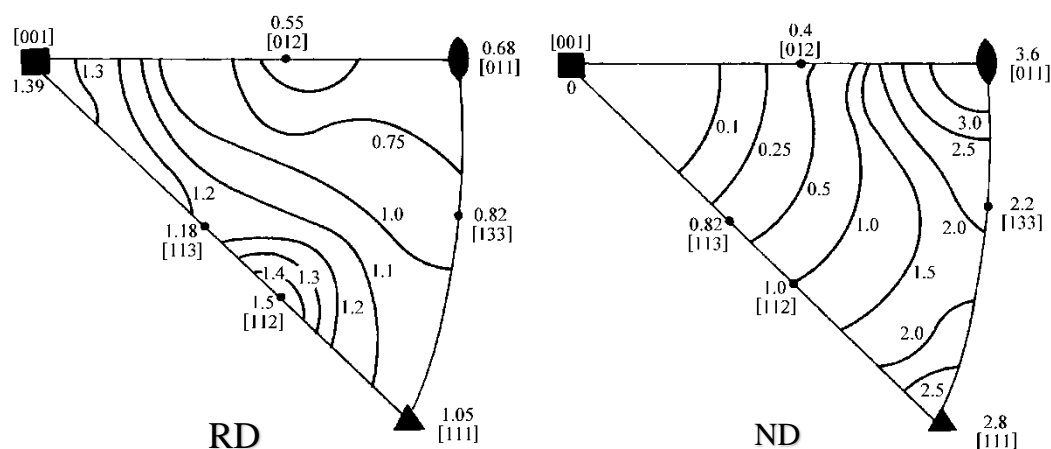
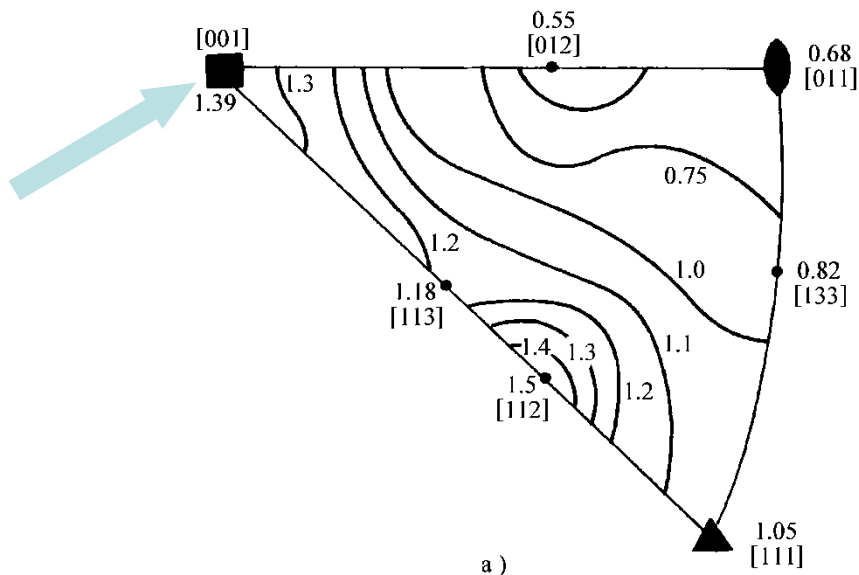


图7-17 冷轧黄铜板的反极图

第二节 组织的种类和表示方法

二、反极图

轧向指数: $[001]$ 和 $[112]$



轧面指数: (011) 和 (111)

晶带定律:

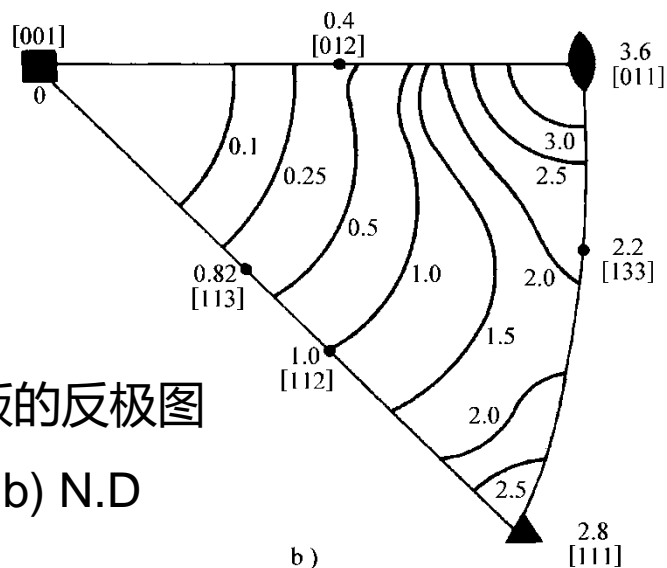
$[1-12](110)$

$[001](110)$

$[11-2](111)$

冷压黄铜板的反极图

a) R.D b) N.D



第二节 组织的种类和表示方法

三、三维取向分布函数(ODF)

ODF用3个参数在三维空间定量表达多晶材料的晶粒取向分布。 设 $OABC$ 为宏观坐标系，通常对于板材，取RD为 OA ，TD为 OB ，ND为 OC ； $OXYZ$ 是晶粒坐标系，对正交等晶系， $[100]$ 为 OX ， $[010]$ 为 OY ， $[001]$ 为 OZ 。多晶体中晶粒相对于宏观坐标的取向用欧拉角(ψ 、 θ 、 ϕ)表示，转动方法见图7-18

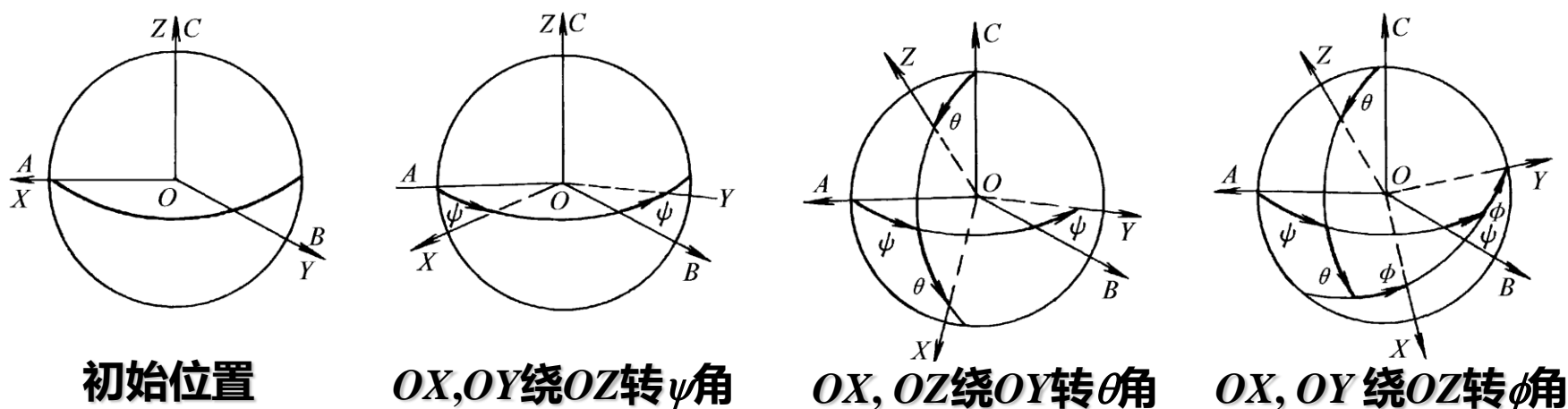


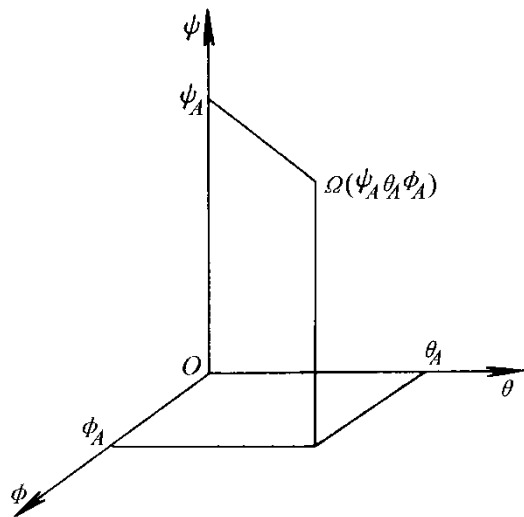
图7-18 用欧拉角(ψ 、 θ 、 ϕ)表示的取向

第二节 组织的种类和表示方法

三、三维取向分布函数(ODF)

多晶体中每个晶粒可用**欧拉角表示其取向** $\Omega(\psi, \theta, \phi)$ 。如图7-19建立直角坐标系 $O\psi\theta\phi$ ，每种取向 $\Omega(\psi, \theta, \phi)$ 将对应于坐标系中一点

晶粒的取向分布情况用取向密度 $w(\psi, \theta, \phi)$ 表示



$$w(\psi, \theta, \phi) = \frac{K\Delta V / V}{\sin \theta \cdot \Delta \psi \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi} \quad (7-3)$$

式中， $\sin \theta \cdot \Delta \psi \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi$ 为 $\Omega(\psi, \theta, \phi)$ 的取向元； K 为常数； V 为试样体积； ΔV 为落在取向元内的晶粒体积

$w(\psi, \theta, \phi)$ 称为取向分布函数ODF

图7-19 欧拉空间的取向分布

第二节 组织的种类和表示方法

三、三维取向分布函数(ODF)

ODF图是三维的，通常给出一组恒 ψ 截面图，如图7-20所示。图中可显示取向密度及对应织构组分的漫散程度

由 $w(\psi, \theta, \phi)$ 可计算相应的织构指数， $\langle uvw \rangle \{hkl\}$ ，如正交晶系

$$u : v : w = (\cos \theta \cos \psi \cos \phi - \sin \psi \sin \phi) / a : (-\cos \theta \cos \psi \sin \phi - \sin \psi \cos \phi) / b : (\sin \theta \cos \psi) / c$$

$$h : k : l = -a \sin \theta \cos \phi : b \sin \theta \sin \phi : c \cos \phi$$

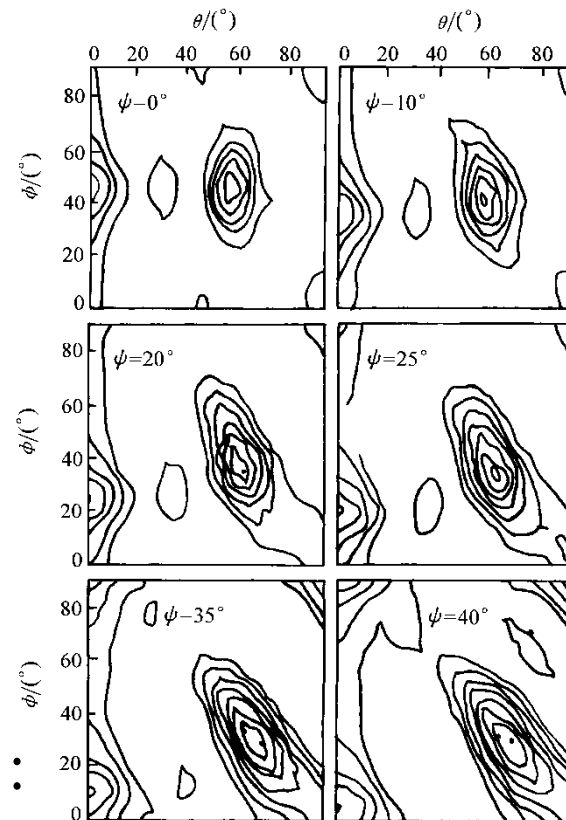


图7-20 冷压磷钢板的ODF截面图

第二节 组织的种类和表示方法

极图和反极图已成为常规的织构表示方法，对丝织构可直接测算织构指数 $\langle uvw \rangle$ 。用轴向反极图可进一步描述其织构的强烈程度，一般不需测定极图；而板织构则需用极图或反极图或ODF才能全面表达。

第三节 丝织构指数的测定

● 平板针孔法

拍摄平板针孔相是最简单的方法，图7-21是其反射球图解。存在丝织构时，某 hkl 倒易阵点以丝轴FA为轴，旋转对称分布在其倒易球面上而构成环带，衍射花样呈点状；实际织构材料晶粒取向存在一定漫散，衍射花样呈圆弧状

由图7-21的几何关系，可求出 hkl 面法线与丝轴的夹角 α ，由此求出与丝轴平行的晶向指数 $\langle uvw \rangle$

$$\cos \alpha = \cos \theta \cos \delta \quad (7-6)$$

在底片上测 θ 和 δ ，并标定衍射指数 hkl ，由上式即可求出 α 角

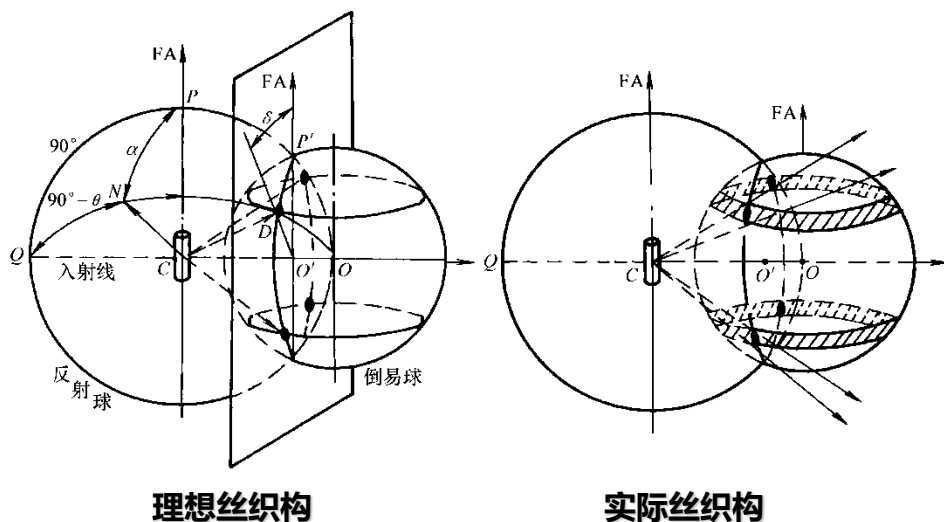


图7-21 丝织构的倒易点阵图解

第三节 丝织构指数的测定

● 衍射仪法

如图7-22，将丝状试样平行于衍射仪轴放置，X射线垂直于丝轴入射，计数管固定于 $2\theta_{hkl}$ 处，**试样以X射线为轴转动过程中连续记录衍射强度的变化**。由衍射峰值求 δ 角而计算 α ，并确定织构指数 $\langle uvw \rangle$ ；用峰半高宽(W_i)总和计算取向度 A

$$A = \frac{360^\circ - \sum W_i}{360^\circ} \times 100\% \quad (7-7)$$

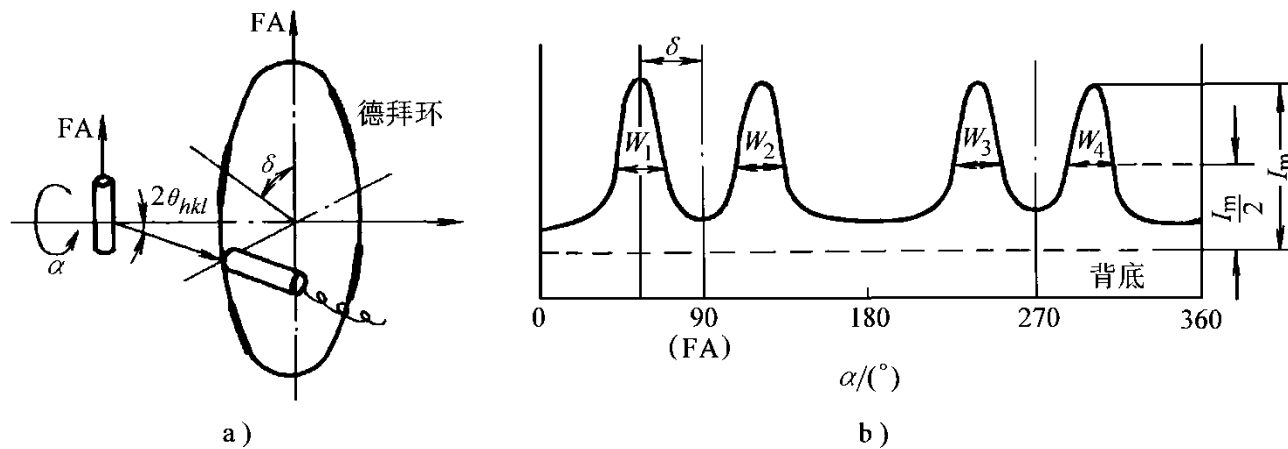


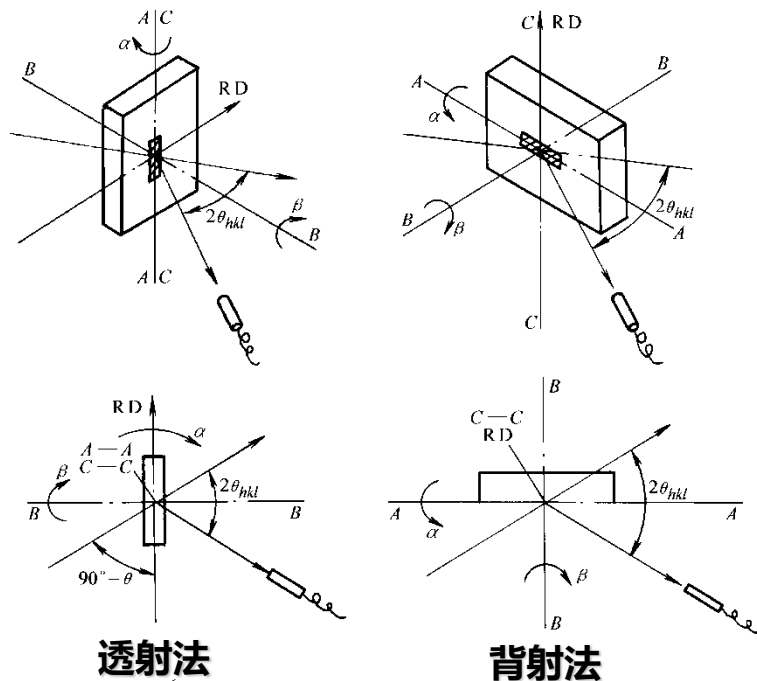
图7-22 衍射仪法测定丝织构

a) 光路图 b) 衍射谱示意图

第四节 极图的测定

● 测试原理及衍射几何布置

如图7-23，将光源和计数管固定于 $2\theta_{hkl}$ 处，令**试样作全方位转动**，记录衍射强度的变化，根据试样转动规律得出极点密度的分布，以反映织构引起的极点密度变化



用专用的极图附件完成试样三轴转动， $A-A$ 轴(α)在试样表面内， $B-B$ 轴(β)试样表面法线， $C-C$ 轴为衍射仪轴

欲绘制完整的极图需透射法和背射法两种方法，透射法 $A-A$ 与 $C-C$ 重合，背射法 $A-A$ 与 $C-C$ 垂直

图7-23 板织构测定的几何布置

第四节 极图的测定

● 衍射强度测量(透射法)

如图7-24a，球 O' 为参考球，试样置于球心，投影面平行轧面且与参考球相切

当试样处于初始位置($\alpha = 0^\circ$)时，衍射面的极点位于基圆上 P_0 点；试样绕 $B-B$ 轴转动一周，记录的衍射强度为基圆上不同

β 处的极点密度；试样绕 $A-A$ 轴转过 α 角，衍射面极点转至 P_1 ，再使试样绕 $B-B$ 轴转动一周，相应的极点则在过 P_1 点的圆周上；逐渐改变 α 角，重复上述测量

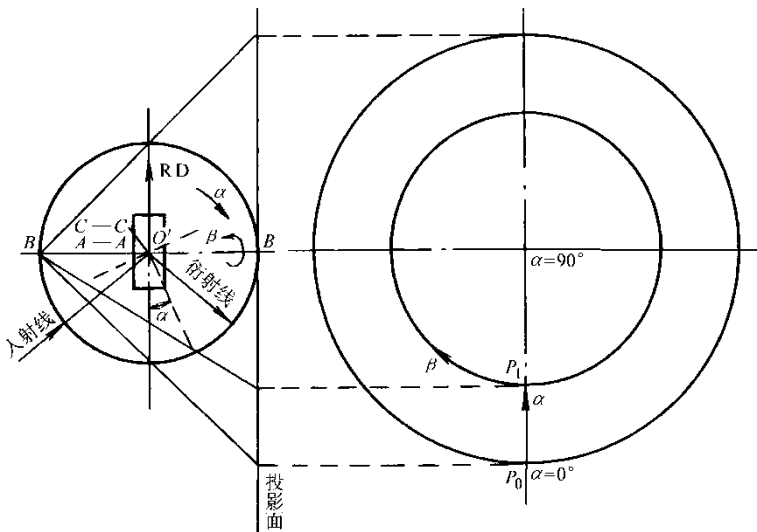


图7-24a 极图测量(透射法)

第四节 极图的测定

● 衍射强度测量(背射法)

透射法的 α 的极限是 $90^\circ - \theta$ ，透射法只能测量极图的外围，欲获得完整极图，需同时用背射法，见图7-24b

当试样处于初始位置时， $\alpha = 90^\circ$ ，衍射面的极点位于基圆中心；试样绕A-A轴转过 α 角，极点转至 P_2 ，使试样绕B-B轴转动一周，相应的极点在过 P_2 点的圆周上；逐渐改变 α 角，重复上述测量

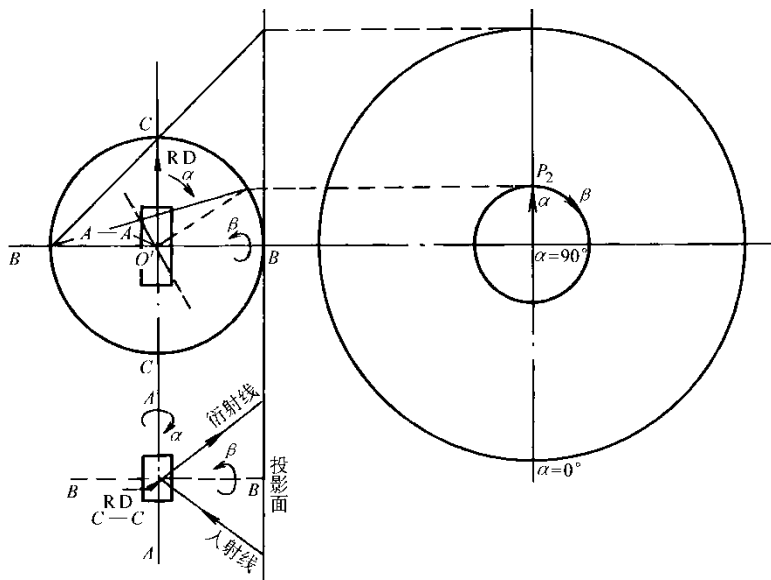


图7-24b 极图测量(背射法)

为使试样中所有方位的 hkl 晶面均能进入衍射位置，而获得完整极图，透射法和背射法的 α 角范围应重叠 10° ，反射法 α 的范围为 $20^\circ \sim 90^\circ$

第四节 极图的测定

● 衍射强度测量

当 α 一定时，连续测量衍射强度随 β 的变化，可得到如图7-25所示的强度曲线

透射法需用厚度适当的试样，获得最大衍射强度的试样厚度为

$$t_m = \frac{\cos \theta}{\mu_l} \quad (7-8)$$

式中， μ_l 为线吸收系数。透射法所测强度需吸收修正，修正系数为

$$W = \frac{I_{D\alpha}}{I_{D0}} = \frac{\cos \theta [e^{-\mu_l t / \cos(\theta - \alpha)} - e^{-\mu_l t / \cos(\theta + \alpha)}]}{\mu_l t e^{-\mu_l t / \cos \theta} \{ [\cos(\theta - \alpha) / \cos(\theta + \alpha)] - 1 \}} \quad (7-9)$$

式中， $I_{D\alpha}$ 和 I_{D0} 分别为 α 和 $\alpha = 0$ 时的强度。背射法不需修正

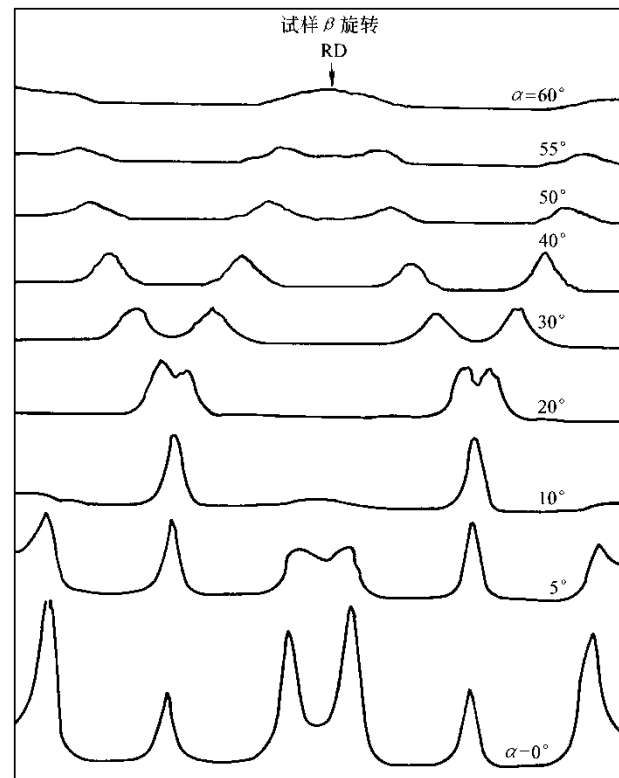
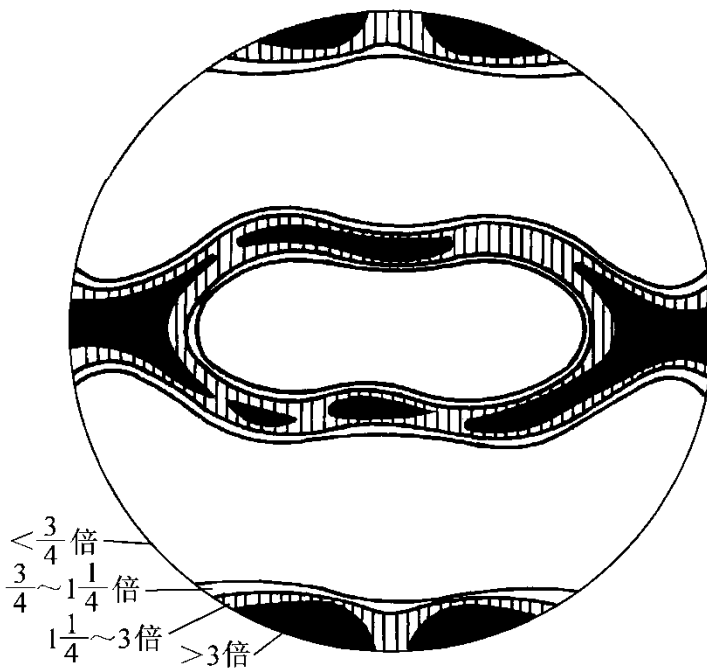


图7-25 纯铝{111}衍射强度曲线

第四节 极图的测定

● 绘制极图

将不同方位上 hkl 衍射强度峰值扣除背底，经修正(透射法)后进行分级，记下各级强度的 β 角，标注在极网坐标的相应位置，将相同级别各点连成光滑曲线(即等密度线)，便可绘制出如下图所示的极图



轧制纯铝板 $\{111\}$ 极图

第四节 极图的测定

● 组合试样及象限法

利用一个试样的背射法可获得完整极图的一个象限，如图7-27所示，此法关键在于制备具有确定方位的组合试样，组合试样的制备过程见图7-26。经粘合、切割的组合试样表面法线与板材的轧向、轧面法向及横向见夹角均为 54.73°

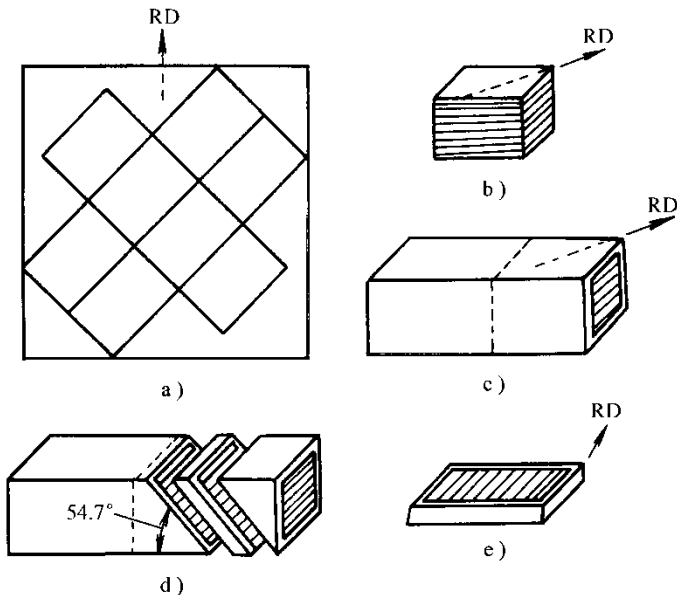


图7-26 组合试样的制备

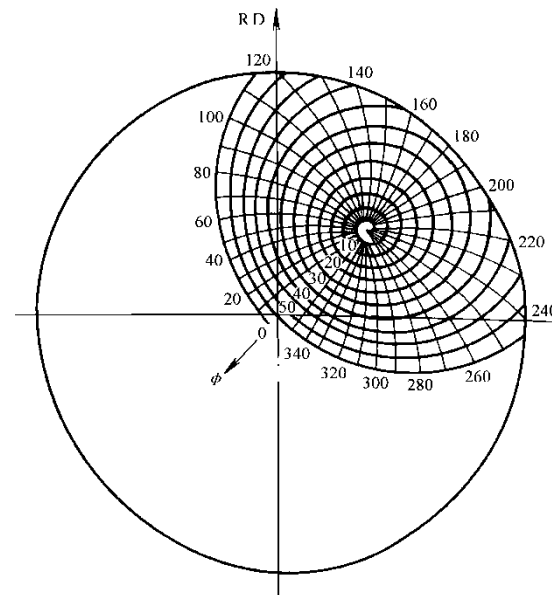


图7-27 组合式样表面投影的螺旋极网

第四节 极图的测定

● 衍射仪法测定极图可能存在的问题

当试样**晶粒粗大**时，因参与衍射的晶粒数不足而失去衍射强度测量的统计意义。在此情况下，利用极图附件使试样在 β 转动的同时沿C-C轴作 γ 振动，以增加参与衍射的晶粒数

若**试样表面和内部的织构有所不同而存在一定梯度**，而 α 不同时 X射线的穿透深度也不同，而造成极图测定误差。可在试样不同的深度部位取样，分别测量其极图，可获得板材织构沿深度方向的变化

第五节 反极图的测定

反极图表示宏观坐标轴相对于晶体坐标系的取向分布密度—轴密度，实际上轴密度是 $\{hkl\}$ 法线与宏观坐标轴平行的晶粒所占的体积分数。轴密度的表达式为

$$W_{hkl}^* = \frac{I_{hkl}}{I_{R(hkl)}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n P_{h_i k_i l_i}}{\sum_{i=1}^n [P_{h_i k_i l_i} \cdot I_{h_i k_i l_i} / I_{R(h_i k_i l_i)}]} \quad (7-19)$$

式中， I_{hkl} 和 $I_{R(hkl)}$ 分别为织构试样和无序取向试样 $\{hkl\}$ 的衍射强度， P_{hkl} 为多重性因数

以待测轴密度的宏观坐标轴的法平面为测试面，采用较慢速度作的 $2\theta/\theta$ 扫描，试样以表面法线为轴旋转，以使更多的晶粒参与衍射，在相同的测试条件下分别测量 I_{hkl} 和 $I_{R(hkl)}$ ，代入式(7-19)计算轴密度 W_{hkl}^* ，标在标准投影三角形相应的位置，画出等密度线，即可绘成反极图

