

高等学校教材

# 构造地质学

(第二版附本)

成都地质学院 徐开礼

中国地质大学 朱志澄

主编



地质出版社

# 目 录

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| <b>附篇一 极射赤平投影在构造地质学中的应用</b> .....    | (1)  |
| <b>第一节 极射赤平投影的基本原理</b> .....         | (1)  |
| 一、投影要素 .....                         | (1)  |
| 二、平面和直线的投影解析 .....                   | (1)  |
| 三、投影网 .....                          | (4)  |
| <b>第二节 赤平投影网的使用方法</b> .....          | (6)  |
| 一、平面的赤平投影 .....                      | (6)  |
| 二、直线的赤平投影 .....                      | (7)  |
| 三、法线的赤平投影 .....                      | (7)  |
| 四、求相交两直线构成的平面产状 .....                | (7)  |
| 五、求相交两直线的夹角及其平分线 .....               | (8)  |
| 六、求平面上一直线的倾伏和侧伏 .....                | (8)  |
| 七、求两平面的交线产状 .....                    | (9)  |
| 八、求两平面的夹角及其等分面 .....                 | (9)  |
| 九、求一直线与一平面的夹角 .....                  | (10) |
| 十、求一平面(或直线)绕一水平轴旋转后的产状 .....         | (10) |
| 十一、求一平面(或直线)绕一倾斜轴旋转后的产状 .....        | (11) |
| 十二、已知小圆投影圆心及其角距半径,求作小圆 .....         | (13) |
| 十三、已知小圆投影圆心方位及其圆周上两点,求作小圆 .....      | (13) |
| 十四、求小圆圆周上两点之间的弧度 .....               | (14) |
| 十五、求两小圆在同一大圆上同步旋转后的产状 .....          | (14) |
| 十六、通过三点A、B、C作一小圆及投影圆心(R) .....       | (15) |
| <b>第三节 用赤平投影网求解地质构造问题</b> .....      | (15) |
| 一、面状构造和线状构造的标绘法 .....                | (15) |
| 二、面状构造的真倾斜和视倾斜及线状构造的倾伏和侧伏的测算 .....   | (15) |
| 三、褶皱枢纽、轴迹和轴面产状的测算 .....              | (16) |
| 四、断裂构造的赤平投影和分析 .....                 | (20) |
| 五、流面和流线的测定 .....                     | (24) |
| 六、面理、线理的旋转及小圆应用问题 .....              | (26) |
| <b>附篇二 构造地质学实习教材</b> .....           | (33) |
| <b>实习一 地质图的基本知识及读水平岩层地质图</b> .....   | (33) |
| <b>实习二 用间接方法确定岩层产状要素</b> .....       | (36) |
| <b>实习三 用赤平投影方法换算真倾斜和视倾斜</b> .....    | (38) |
| <b>实习四 读倾斜岩层和不整合接触地质图并作剖面图</b> ..... | (38) |
| <b>实习五 根据已知岩层产状编绘岩层露头界线</b> .....    | (40) |
| <b>实习六 构造模拟实验</b> .....              | (42) |
| <b>实习七 读褶皱区地质图</b> .....             | (44) |
| <b>实习八 绘制褶皱地区剖面图</b> .....           | (47) |

|              |                         |       |
|--------------|-------------------------|-------|
| 实习九          | 编绘和分析构造等高线图             | (50)  |
| 实习十          | 用赤平投影方法确定褶皱枢纽和轴面产状      | (53)  |
| 实习十一         | 编制和分析节理玫瑰花图             | (54)  |
| 实习十二         | 编制节理极点图和等密图             | (56)  |
| 实习十三         | 根据共轭剪节理求主应力轴方位并绘制主应力网络图 | (60)  |
| 实习十四         | 读断层地区地质图并求断层产状及断距       | (61)  |
| 实习十五         | 分析褶皱断层地区地质图并作剖面图        | (64)  |
| 实习十六         | 用赤平投影方法解析断层、节理构造        | (64)  |
| 实习十七         | 分析岩浆岩地区地质图并作剖面图         | (65)  |
| 实习十八         | 构造标本及薄片观察               | (66)  |
| 实习十九         | 分析变质岩区地质图并作地质构造图        | (67)  |
| 实习二十         | 地质构造立体图解的编制             | (69)  |
| 实习二十一—二十四    | 构造地质综合作业                | (72)  |
| <b>附录和附图</b> |                         | (76)  |
| 附录 I         | 各种常见岩石花纹图例              | (76)  |
| 附录 II        | 各种地质符号                  | (79)  |
| 附录 III       | 地层代号和色谱                 | (80)  |
| 附录 IV        | 真、视倾角换算图                | (82)  |
| 附录 V         | 岩层厚度的计算公式及其在袖珍电子计算器上的运算 | (83)  |
| 附图 1         | 凌河地形地质图                 | (87)  |
| 附图 2         | 南河镇地形地质图                | (89)  |
| 附图 3         | 松溪地形地质图                 | (91)  |
| 附图 4         | 嘉阳坡地形地质图                | (93)  |
| 附图 5         | 鹰岩地形图                   | (95)  |
| 附图 6         | 暮云岭地形地质图                | (97)  |
| 附图 7         | 武华镇地质图                  | (99)  |
| 附图 8         | 凉风垭地区地形图                | (101) |
| 附图 9         | 双塘润地质图                  | (103) |
| 附图 10        | 望洋岗地形地质图                | (105) |
| 附图 11        | 金牛镇地质图                  | (107) |
| 附图 12        | 飞云山地质图                  | (109) |
| 附图 13        | 彩云岭地质图                  | (111) |
| 附图 14        | 迁钢市地质图                  | (113) |
| 附图 15        | 清源县地质图                  | (115) |
| 附图 16        | 松岭峪地质图                  | (117) |
| 附图 17        | 景陵峪地质图                  | (119) |
| 附图 18        | 库尔什地质图                  | (121) |
| 附图 19        | 吴氏网 ( $d=10\text{cm}$ ) | (123) |
| 附图 20        | 吴氏网 ( $d=20\text{cm}$ ) |       |

附图21 施密特网

附图22 赖特网

附图23 普洛宁网

## 附篇一

# 极射赤平投影在构造地质学中的应用

极射赤平投影 (Stereographic projection) 简称赤平投影, 它主要用来表示线和面的方向、相互间的角距关系及其运动轨迹, 把物体三维空间的几何要素(线、面)反映在投影平面上进行研究处理。它是一种简便、直观的计算方法, 又是一种形象、综合的定量图解, 所以, 广泛应用于天文、航海、测量、地理及地质科学中。运用赤平投影方法, 能够解决地质构造的几何形态和应力分析等方面的许多实际问题, 因此, 它是研究地质构造的一种有效手段。

赤平投影本身不涉及面的大小、线的长短和它们之间的距离, 但它配合正投影图解, 互相补充, 则有利于解决包括角距关系在内的计量问题。

## 第一节 极射赤平投影的基本原理

### 一、投影要素

极射赤平投影 是以圆球体作为投影工具, 其进行投影的各个组成部分称为投影要素(图 I—1), 包括:

投影球(投射球)——以任意长为半径作成的球, 投影球表面称为球面;

赤平面——过投影球球心的水平面, 即赤平投影面;

基圆——赤平面与投影球面相交的大圆(NESW), 或称赤平大圆, 圆内标有东西和南北直径线;

极射点——球上、下两极的发射点, 由上极射点(P)把下半球的几何要素投影到赤平面上的投影称下半球投影, 反之以下极射点(F)把上半球的几何要素投影到赤平面上的投影称为上半球投影。

下面介绍平面和直线的赤平投影(本书采用下半球投影)。

### 二、平面和直线的投影解析

#### (一) 平面的投影

1. 过球心的平面的投影 通过球心的平面对无限伸展, 必与球面相交成一个直径与投影球直径相等的大圆。直立平面为一直立大圆(图 I—1A 中 SPNF); 水平平面为水平大圆(图 I—1A 中 WNES, 即基圆); 倾斜平面为一倾斜大圆(图 I—1A 中 SANB)。上述球面大圆上的各点与极射点(P)的连线必然穿过赤平面, 在赤平面上这些穿透点的连线, 即为相应大圆的极射赤平投影, 简称大圆弧。直立大圆的赤平投影为基圆的一条直径(图

I—1A中PSFN投影成NS直径)；水平大圆的赤平投影就是基圆(图 I—1A 中的WNES)；倾斜大圆的赤平投影是以基圆直径为弦的大圆弧(图 I—1A中SBN投影成SB'N，SAN半圆的投影是在基圆之外的赤平面上，此处未画)。

极射赤平投影的一个重要性质是，球面大圆投影在赤平面上仍为一个圆。如图 I—2 中，球面大圆ASBN赤平投影后的A'SB'N为一个圆。

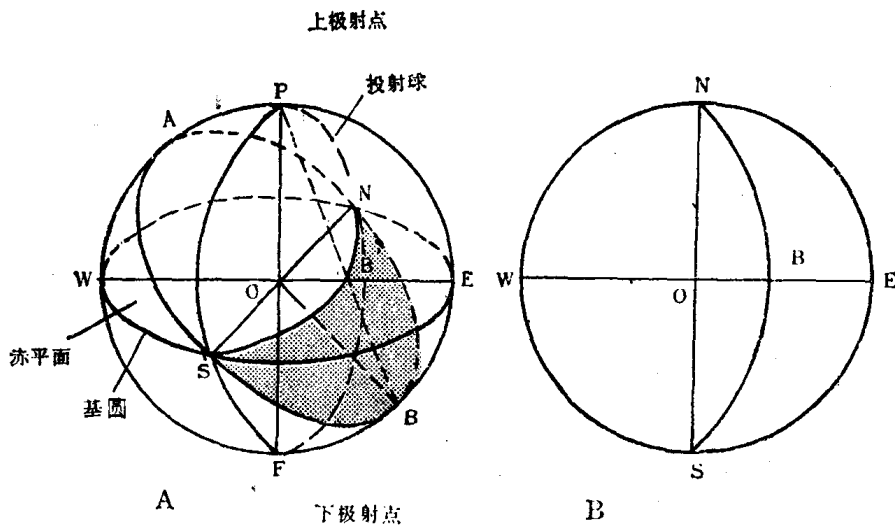


图 I—1 投影要素  
A—透视图；B—赤平图

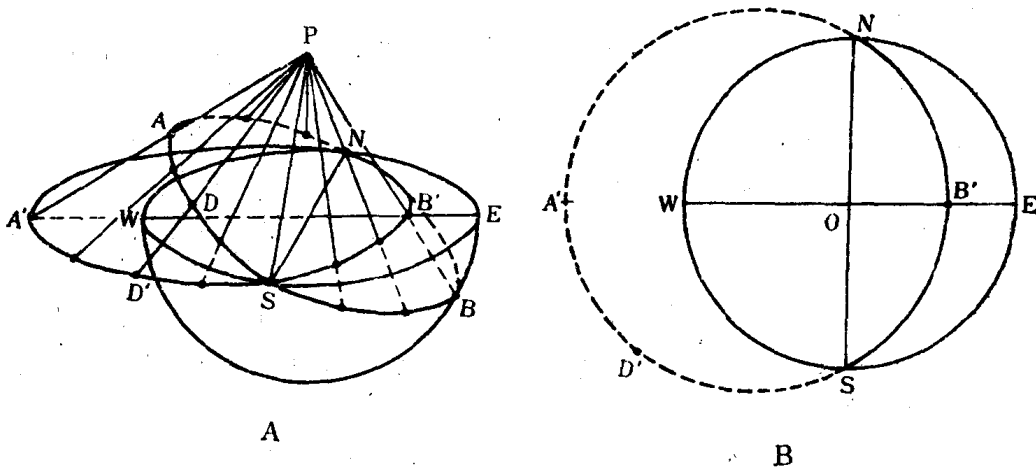


图 I—2 倾斜平面的赤平投影  
A—透视图；B—赤平图

2. 不过球心的平面的投影 不过球心的平面无限伸展，则与球面相交成一个直径小于投影球直径的小圆。直立平面为直立小圆(图 I—3A 中AB)；水平平面为水平小圆(图 I—4)；倾斜平面为倾斜小圆(图 I—3A中FG)。球面小圆投影在赤平面上仍为一个圆。如图 I—3，球面小圆FG投影后为F'G'小圆；AB投影后成A'B'小圆。球面小圆水平，

投影后是基圆的同心圆（图 I—4）。直立小圆，投影后下半球部分是基圆内的一条圆弧，上半球部分位于基圆外。小圆倾斜，投影后可以是出现以下几种情况：（1）全部位于基圆内（球面小圆全部位于下半球）；（2）部分在基圆内，部分在基圆外（球面小圆切过上、下两个半球）；（3）全部位于基圆外（球面小圆位于上半球）。

半径角距相等的球面小圆，由于所在位置不同，投影后在赤平面上，大小变化很大，愈近基圆圆心面积愈小，愈远离基圆圆心面积愈大（图 I—5）。

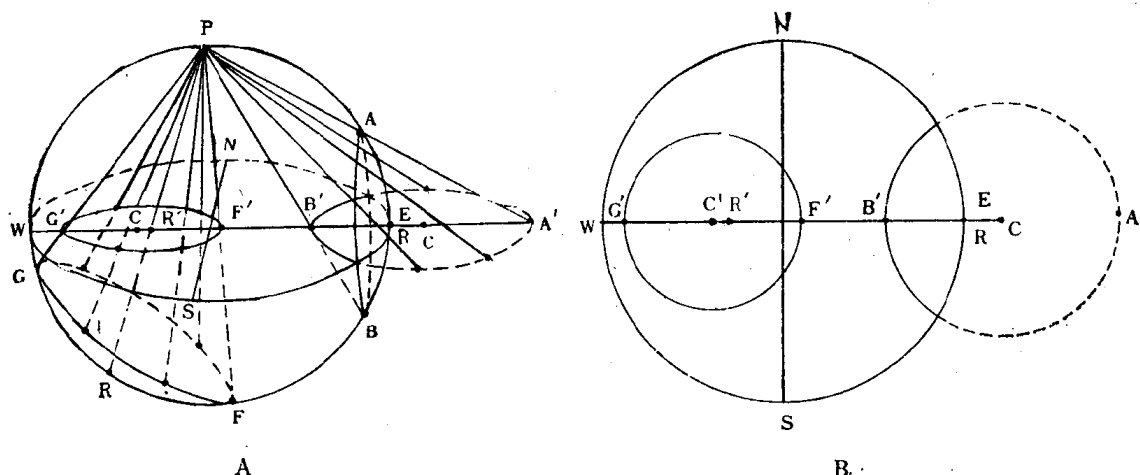


图 I—3 倾斜球面小圆和直立球面小圆的赤平投影  
A—球体透视图；B—赤平图

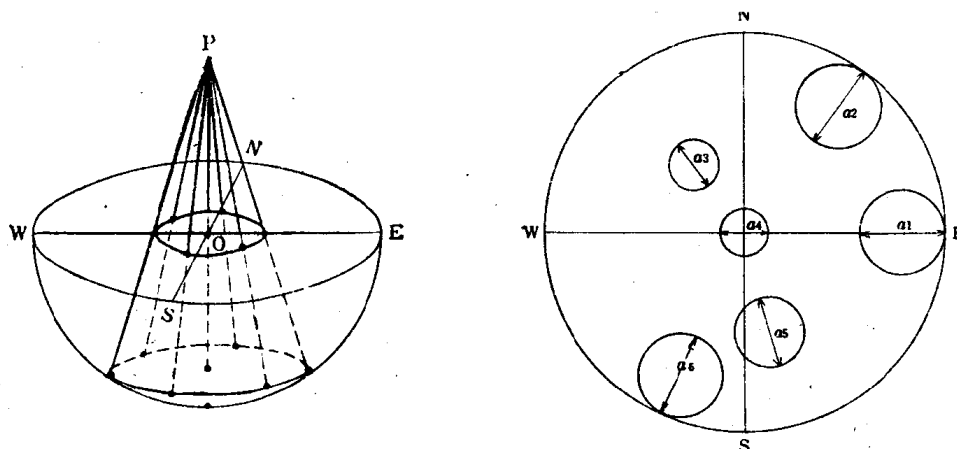


图 I—4 水平球面小圆的赤平投影透视图

图 I—5 大小相等的球面小圆用吴氏网投影在赤平面上大小不等，而小圆半径角距相等，即  
 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = 30^\circ$

任何通过极射点（P）的球面大圆或小圆的赤平投影为一条直线（图 I—6）。

必须注意：球面上的大圆或小圆投影到赤平面上的圆的投影圆心（R）与作图圆心（C）是互相分离的（图 I—3）；只有水平的球面小圆投影后，R与作图圆心（C）才重合在基圆的圆心O点上（图 I—4）。并且赤平面上投影圆的投影圆心（R）与基圆圆心O愈远，则R与C分离愈大。

## （二）直线的投影

通过球心的直线无限伸长必相交于球面两点，称极点。铅直线交于球面上、下两点；

水平直线交于基圆上两点；倾斜直线交于球面相应两点。这些交点与极射点（P）的连线穿过赤平面的穿透点称直线的赤平投影点。铅直线投影点位于基圆中心，水平直线的投影点就是基圆上两个极点，两点距离等于基圆直径，倾斜直线的赤平投影点有一点在基圆内，另一点在基圆外，两点呈对蹠点，在赤平投影图上角距相差 $180^\circ$ （图 I—7）。

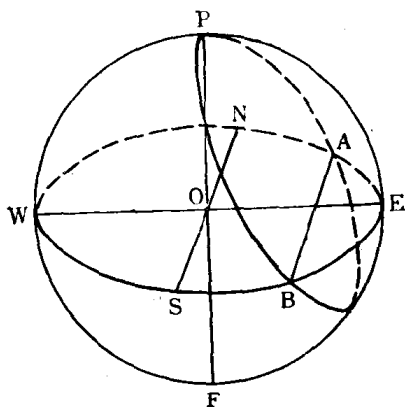


图 I—6 球面小圆周上一点位于极射点的赤平投影

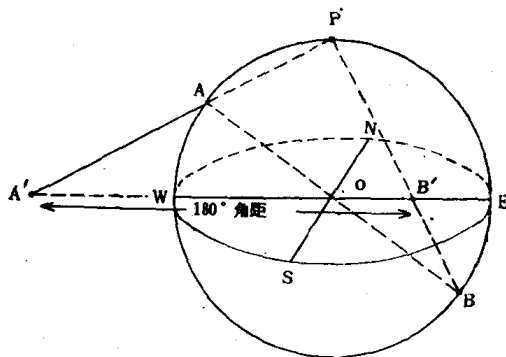


图 I—7 过球心的倾斜直线(AB)的赤平投影为两个对蹠点(A'和B')

### 三、投影网

目前广泛使用的投影网有 吴尔福网（简称吴氏网），又称等角距投影网；施密特网（简称施氏网），又称等面积投影网。这两种网各有特点，但用法基本相同。

#### （一）吴氏网及成图原理

吴氏网（图 I—8）由基圆（赤平大圆）、经向大圆弧（如 $\widehat{NGS}$ ）、纬向小圆弧（如 $\widehat{ACB}$ ）等经纬线组成。标准吴氏网的基圆直径为 20cm，经、纬度间距为 $2^\circ$ ，使用标准投影网误差可以不超过半度。

1. 基圆 标有 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的位角，其指北方向（N）为 $0^\circ$ ，用来量度被测量方位的方位角。

2. 经向大圆弧 经向大圆弧是通过球心、走向南北、分别向西或东倾斜的平面与球面交线的投影，投影图上标有倾角由 $0^\circ$ 到 $90^\circ$ 的许多平面投影大圆弧。这些大圆弧与东西直径线的各交点到直径端点（E点和W点）的距离分别代表各平面的倾角值。如图 I—8A中GW表示了 $\widehat{NGS}$ 所代表的平面向西倾斜，倾角是 $30^\circ$ 。

3. 纬向小圆弧 纬向小圆弧是不通过球心、走向东西的直立平面与球面交线的投影。这些小圆弧离基圆圆心愈远，表示球面小圆的半径角距就愈小，反之离圆心愈近，则半径角距就愈大，即直立小圆与球心相连而成的圆锥顶角随直立小圆愈近球心而增大（图 I—8）。纬向小圆弧分割南北直径线的距离与经向大圆弧分割东西直径线的距离相等，即在图 I—8A中 $ED = Sh = WG = NF$ ，都代表 $30^\circ$ 角距。

#### （二）吴氏网与施氏网的主要区别

球面上大小相等的小圆，投影在吴氏网上呈圆或圆的一部分。半径角距相等的投影小圆，其面积由基圆圆心至圆周方向逐渐变大（见图 I—5）；而投影在施氏网上呈四级曲线，除特例情况成同心小圆外，基本上貌似椭圆，但四级曲线构成的图形面积相同（图 I—9），



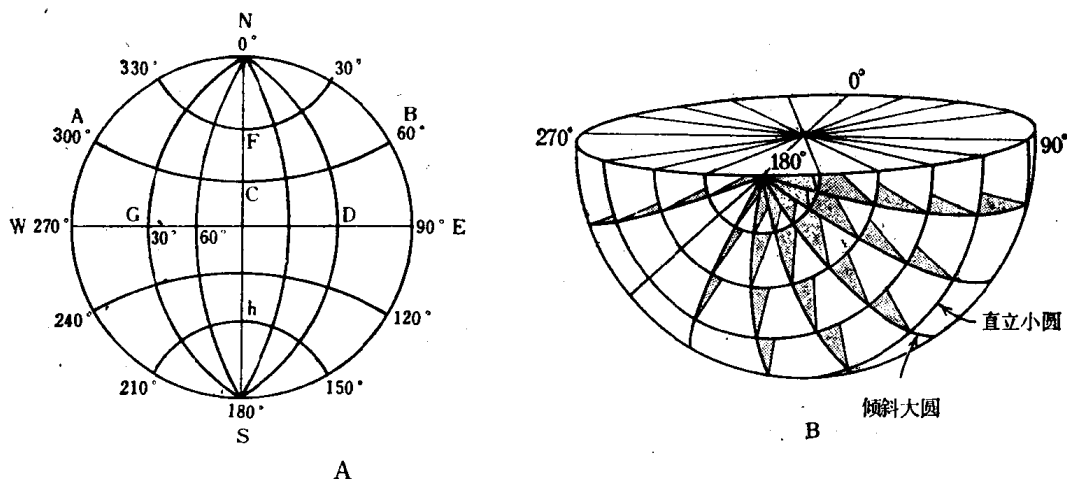


图 I—8 赤平网及其透视图  
(据 E. W. Spencer)  
A—吴氏网；B—球面大圆、小圆透视图

而且是近于球面小圆面积的二分之一。

通常，在求解面、线间的角距关系方面，侧重于用吴氏网，因为吴氏网上反映各种角距比较精确，而且作图方便，尤其在图上直接作小圆轨迹表示旋转操作方面更显示其优越性；缺点是相同角距的投影面积变化很大。在研究面线群统计分析（作极点图和等密图）进而探讨组构问题时，多用施氏网，因为施氏网上比较真实地反映了球面上极点分布的疏密，从基圆圆心至圆周，具有等面积特征；其缺点是球面上大圆和小圆的赤平投影都不是圆，作图麻烦，尤其是绕倾斜轴作直接旋转的投影一般难以实现。

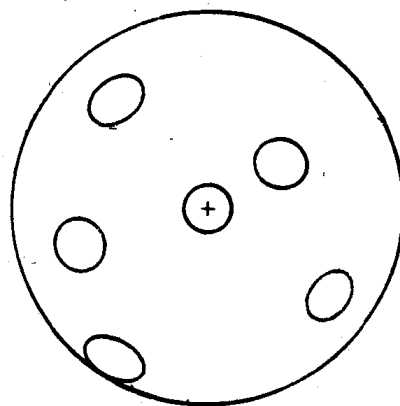


图 I—9 大小相等的球面小圆用施氏网投影在赤平面上面积相等，但形状不同  
(据 B. E. Hobbs等, 1976)

为了便于投影大量极点（直线或平面法线），上述两种网又可改换成为同心圆

（水平小圆）和放射线（直立大圆）相组合的图形，即极等角度网和极等面积网（赖特网）（图 I—10）。利用这种网，可以把一个产状数据——倾向和倾角，一次投成（放射线量方位角，同心圆量倾角），但这种网只宜作投点统计用，不能分析几何要素间的角距关系。

由于施氏网是等面积网，可用基圆直径的十分之一——相当于大圆面积的百分之一的圆孔顺次进行统计；而吴氏网不是等面积网，要配合普洛宁网（见附图22）进行统计，以避免角距和密度的误差太悬殊。

应当指出，本篇虽是着重介绍吴氏网的应用，但除了在投影网上涉及直接作小圆的问题外，其他方面施氏网都是适用的。

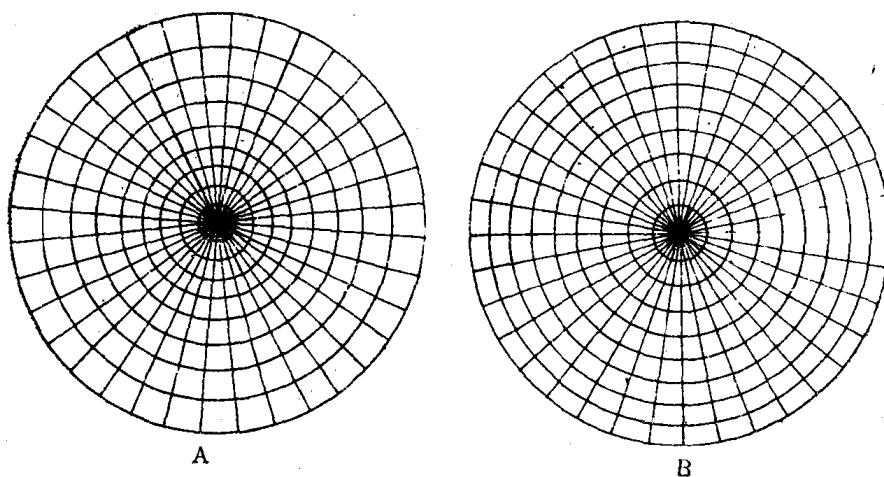


图 I—10 极等角度网(A)和极等面积网(赖特网)(B)

## 第二节 赤平投影网的使用方法

首先把透明纸(或透明胶片等)蒙在吴氏网上,画出基圆及“十”字中心,并用针固定于网心上,使透明纸能旋转。然后在透明纸上标出E、S、W、N,以正北(N)为 $0^\circ$ ,顺时针数至 $360^\circ$ 。东西直径定倾角,由圆周的 $0^\circ$ 至圆心的 $90^\circ$ 。另外,尚有其它的操作习惯,如使投影网转动而透明盖纸不动,或投影网上指北标记不在正上方或东西标记与地理方位相反的标法,所以在看参考书时需要注意。

### 一、平面的赤平投影

例:一平面产状 $120^\circ \angle 30^\circ$ 。

(1) 将透明纸上指北标记与网上N重合,以N为 $0^\circ$ ,顺时针数至 $120^\circ$ 得一点为倾向,与倾向垂直过圆心的直径AB为平面的走向(图 I—11A);

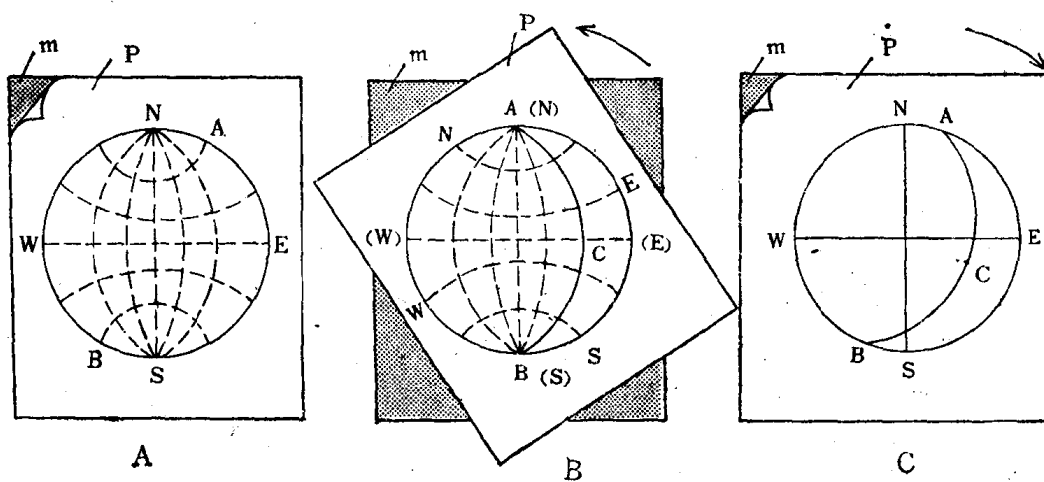


图 I—11 平面的赤平投影步骤

P—透明纸, m—吴氏网。A、B、C见正文说明

(2) 转动透明纸使 $120^\circ$ 倾向的该点移至东西直径上, 由圆周向圆心数 $30^\circ$ , 得C点, 通过C点描绘经向大圆弧 (图 I—11 B 中 $\widehat{ACB}$ );

(3) 把透明纸的指北标记转回到原来的指北方向, 此时弧凸所指方向及凸度大小即为平面 $120^\circ \angle 30^\circ$ 的产状 (图 I—11C)。

## 二、直线的赤平投影

例: 一直线产状 $330^\circ \angle 40^\circ$ 。

(1) 将透明纸上指北标记与网上N重合, 以N为 $0^\circ$ 顺时针数至 $330^\circ$  (北西象限), 为该直线倾向向 (如图 I—12A中A点);

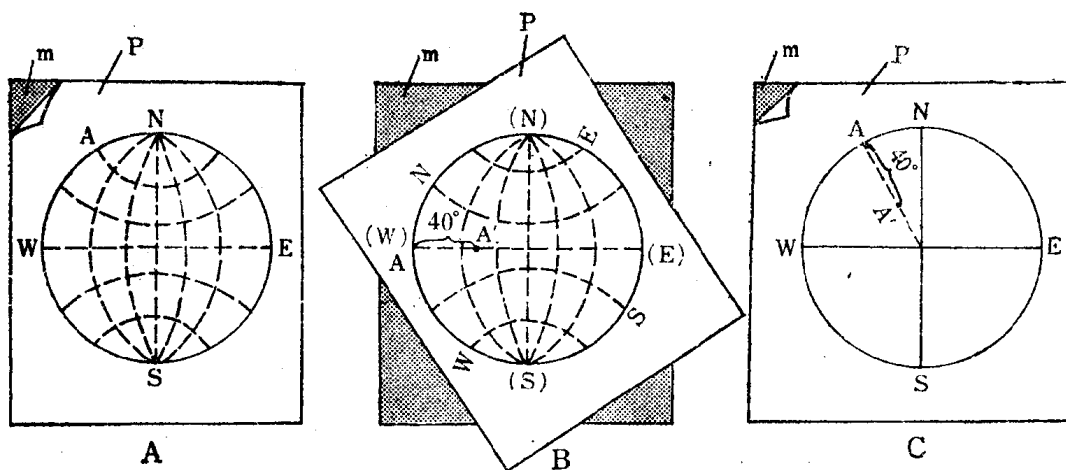


图 I—12 直线的赤平投影步骤

P—透明图; m—吴氏网。A、B、C见正文说明

(2) 把该点转动至东西直径上 (转至南北直径上也可) 对直线投影, 由圆周向圆心数 $40^\circ$ , 并投点 (图 I—12B、C中A'点);

(3) 把透明纸的指北标记转回到原来指北方向, 该点即为该直线的赤平投影 (图 I—12C)。

## 三、法线的赤平投影

是指平面法线的产状。平面及其法线的投影常常互为使用, 只要注意到二者互相垂直, 夹角相差 $90^\circ$ , 这样, 投影操作就比较容易。由于法线投影是极点, 平面投影是圆弧, 所以往往用法线投影代表与其相对应的平面投影, 就较为简单。

例: 求一平面产状 $90^\circ \angle 40^\circ$ 的法线投影 (图 I—13)。

(1) 透明纸上指北标记与网上N重合, 以N为 $0^\circ$ 顺时针数至 $90^\circ$ , 正好在东西直径的E点, 过该点由圆周向圆内数 $40^\circ$ , 得D'点, 为平面倾斜线产状的投影。若继续数 $90^\circ$ , 显然已越过圆心进入相反倾向, 得F'点, 该点即为该平面法线产状;

(2) 也可沿 $90^\circ$ 的反方向即以圆心向反倾向数至 $40^\circ$ 即得该法线产状。因为从圆周数起和从圆心反向数起正好差 $90^\circ$ 。

上述单一面、线的投影方法是利用赤平投影研究线与线、线与面、面与面相互关系的基础方法。

## 四、求相交两直线构成的平面产状

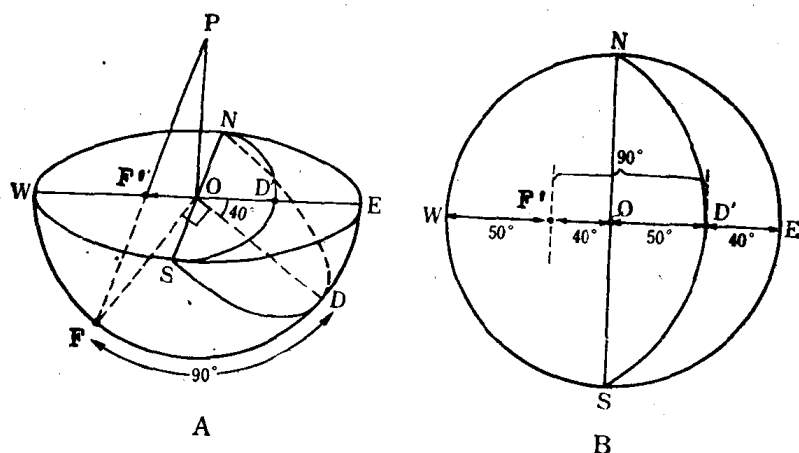


图 I-13 法线的赤平投影

A—透视图；B—赤平图

例：两直线产状为 $180^\circ \angle 20^\circ$ 和 $120^\circ \angle 36^\circ$ ，求所构成的平面产状（图 I-14）。

（1）据作法二，透明纸上分别画出两直线产状，得 $F'$ 、 $D'$ 两点；

（2）因为两相交直线可构成一个平面，转动透明纸，使 $F'$ 、 $D'$ 两点位于同一大圆弧上，并将此大圆弧（即经度线）（图 I-14B）绘于透明纸上，它代表该平面产状，在弧凸中心 $D'$ 点示该平面倾角 $\alpha$ （ $36^\circ$ ），即该平面与水平面的最大夹角；

（3）把透明纸的指北标记转回到与网北重合的位置，此时由圆心过 $D'$ 连至圆周上 $D''$ 点，并从北开始，顺时针方向数至 $D''$ 点，即为该平面的倾向方位角（ $120^\circ$ ）。

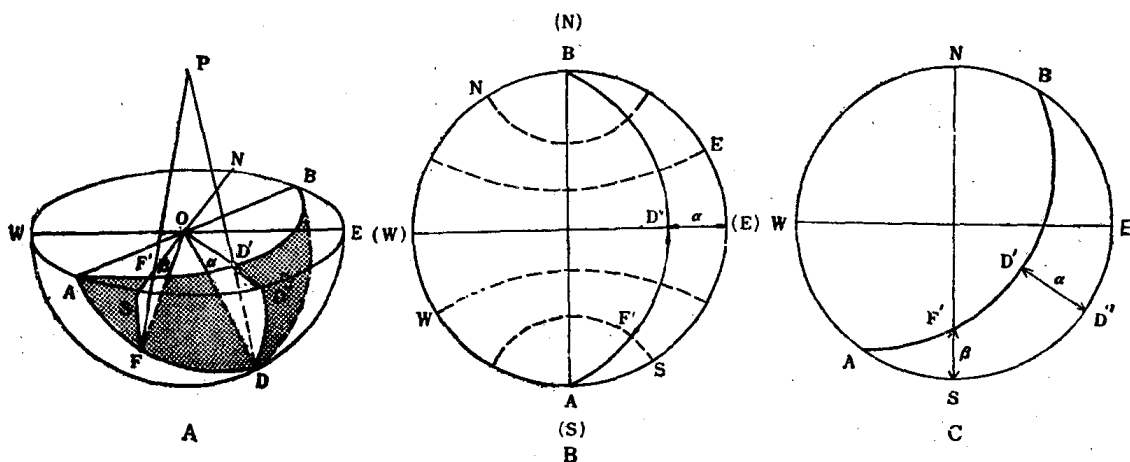


图 I-14 相交两直线的赤平投影

A—透视图；B—求两直线夹角及其所成平面的倾角；C—为A中ADB平面的赤平投影

## 五、求相交两直线的夹角及其平分线

例：同作法四（图 I-14）。

（1）据作法四中（1）、（2），得 $D'$ 、 $F'$ 构成的大圆弧（产状正好 $120^\circ \angle 36^\circ$ ）；

（2）量大圆弧上 $D'$ 与 $F'$ 间的角距（ $54^\circ$ ），即为相交两直线的夹角（图 I-14 B）。该夹角的平分角距点（ $27^\circ$ ）即为夹角平分线（图 I-14中未画出）。

## 六、求平面上一直线的倾伏和侧伏

例：一平面产状 $180^{\circ}\angle\alpha$  ( $\alpha=37^{\circ}$ )，平面上一直线AC的侧伏向E、侧伏角 $\beta$  ( $44^{\circ}$ ) (指该平面走向线与一直线间的锐夹角)，求该直线的倾伏向、倾伏角。

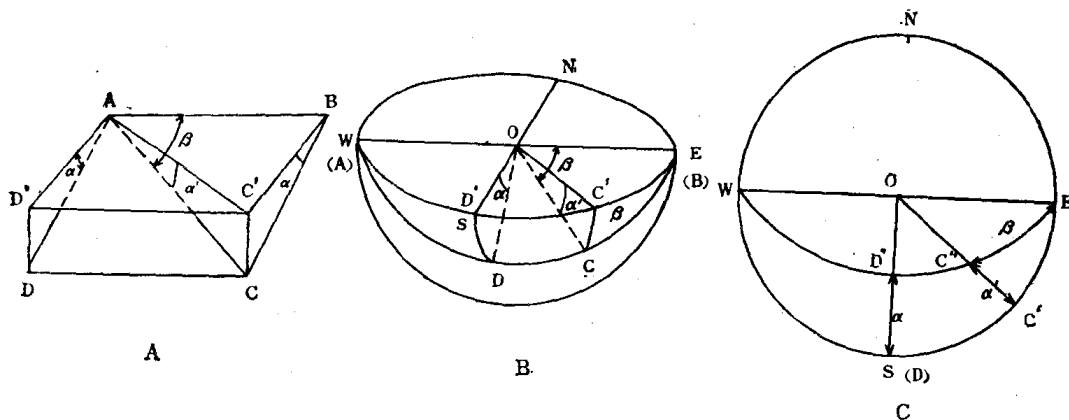


图 I—15 平面上一直线的赤平投影

$\alpha$ —平面倾角； $\alpha'$ —直线倾伏角； $\beta$ —ABCD平面上AC线的侧伏角； $\beta'$ —AC线的倾伏角  
A—立体图；B—球体透视图；C—赤平图

- (1) 据作法一，在透明纸上作出平面赤平投影的大圆弧 (图 I—15)；
- (2) 将大圆弧走向对准网上 S—N，从透明纸上 E 端开始，沿大圆弧数到  $44^{\circ}$  纬向小圆弧的交点 ( $C''$  点)，则  $C''$  点为平面上直线所在的位置；
- (3) 在东西直径上，量  $C'C''$  角距  $\alpha'$  为该直线倾伏角 (得  $25^{\circ}$ )，而在基圆上由 N 顺时针数至  $C'$  点，为该直线的倾伏向 (图 I—15C 约  $128^{\circ}$ )；
- (4) 平面上一直线的倾伏或侧伏，可以互相求得。若知一平面及平面上一直线的倾伏向  $C'$ ，则连  $OC'$  必交于大圆弧上，得  $C''$  点，因而在大圆弧上数  $EC''$  段弧度，得侧伏角  $\beta$ 。

#### 七、求两平面的交线产状

例：两平面产状  $70^{\circ}\angle 40^{\circ}$  和  $290^{\circ}\angle 30^{\circ}$ ，求其交线产状 (图 I—16)。

- (1) 据作法一，在透明纸上分别画出两平面赤平投影的大圆弧  $\widehat{AHB}$  和  $\widehat{CID}$ ；
- (2) 两大圆弧相交于一点  $\beta$ ，即为两平面交线的产状 (即倾伏向和倾伏角为  $356^{\circ}\angle 13^{\circ}$ )。

#### 八、求两平面的夹角及其等分面

例：两平面产状及其作图同作法七 (图 I—16)。

- (1) 在作法七基础上，把  $\beta$  点转动至 EW 直径上，沿  $\beta$  点朝着圆心方向数  $90^{\circ}$  得辅助点 (K)，过辅助点作经向大圆弧 FG，相当于与两平面交线成垂直的辅助平面——两平面的公垂面，在 FG 大圆弧上两交线间的夹角为真二面角，其中一对为锐角，另一对为钝角，图 I—16 中 IH 间夹角为  $114^{\circ}$ ，那么在同一大圆上  $FI+HE=180^{\circ}-114^{\circ}=66^{\circ}$ ，两者互为补角；

- (2) 在辅助面 FG 大圆弧上数二面角的平分角距 (注意不是平分弧线段的长短)，如 IH 间平分  $57^{\circ}$ ，得 K 点，在 FI+HG 间平分  $33^{\circ}$ ，平分点与 K 相差正好  $90^{\circ}$  (图 I—16 中未画出)；

- (3) 转动透明纸，使  $\beta$  点与 K 点位于同一大圆弧上，即为二平面  $114^{\circ}$  夹角中的平分

面（产状 $267^{\circ}\angle 85^{\circ}$ ）。

用极点法求更简便：首先据作法三作二平面的法线点，转动透明纸使二法线点位于同一大圆弧上，该大圆弧也必然相当于上述所作的垂直于二平面交线的公垂面。二点间的角距也是互为补角，只是二法线间的锐夹角，恰恰代表二平面间的钝夹角，反之，前者的钝夹角代表后者的锐夹角。得出平分角距点后，再使之与公垂面的法线——即两平面的交线（ $\beta$ ）位于同一大圆弧，即为两平面的平分面。

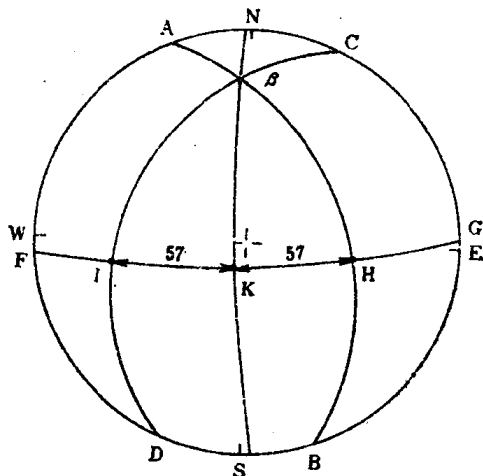


图 I-16 相交两平面的赤平投影

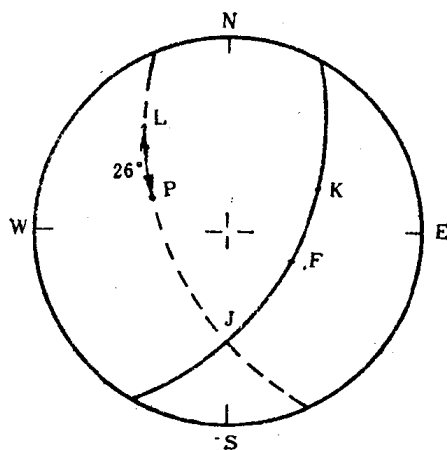


图 I-17 直线与平面间夹角关系的赤平投影

### 九、求一直线与一平面的夹角

例：一平面产状 $120^{\circ}\angle 50^{\circ}$ ，一直线产状 $320^{\circ}\angle 20^{\circ}$ ，求其夹角（图 I-17）。

（1）据作法一、二，在透明纸上分别画出一平面与一直线的赤平投影大圆弧（F）和点（L）；

（2）据作法三、四，作平面的法线投影点（P），再与已知直线投影点（L）画出直线——法线辅助面，即转动透明纸，使这两点位于同一大圆弧上；

（3）在辅助大圆弧上数得法线P点与直线L点间夹角为 $26^{\circ}$ ，因而直线与平面的夹角，其锐角部分为 $90^{\circ}-26^{\circ}=64^{\circ}$ ，其钝角部分为 $90^{\circ}+26^{\circ}=116^{\circ}$ ；实际上包含直线L的辅助面也与已知平面垂直，得交线投影J点，因而在辅助大圆弧上直线L点与J点间的弧度，即为直线与平面间的夹角（为 $116^{\circ}$ 和 $180^{\circ}-116^{\circ}=64^{\circ}$ ）。

### 十、求一平面（或直线）绕一水平轴旋转后的产状

使水平轴与投影网的南北直径一致，把要旋转的点（直线或法线的投影点）沿所在的某一纬向弧运移，其运移的始点与终点间的角距，即为旋转角；其运移的方向，以水平轴的北端（正东西时以正东）为准，作向东（逆时针）旋转或向西（顺时针）旋转。一平面产状经过绕轴旋转以后，其产状随着发生变化，只有平面走向正好是水平轴时，旋转后平面倾向一致或成反向。

投影网南、北两半圆上的纬向弧是对称的，反映了过球心的倾斜直线绕南北直径为轴旋转一圈的双圆锥底面的轨迹（参见图1-18 B）。以一个圆锥体为例，当下部半圆锥面总的向北倾斜时，纬向弧在北半圆，此时上部半圆锥面总的向南倾斜，纬向弧就在南半圆。

所以当旋转角由下半圆锥进入上半圆锥时,就必然由这个纬向弧进入到对应的纬向弧(沿直径的对蹠点),再继续旋转。

例:一平面AB产状为 $130^{\circ}\angle 50^{\circ}$ ,绕走向 $60^{\circ}$ 的CD水平轴逆时针方向(或向ES方向)旋转 $30^{\circ}$ (图 I—18)。

(1) 据作法一、二,在透明纸上画出平面AB大圆弧和旋转轴CD线(正好为基圆直径);

(2) 转动透明纸,使旋转轴CD线转到投影网南北直径上(或者透明纸不动,使投影网南北直径转到CD线上,如图 I—18A所示);

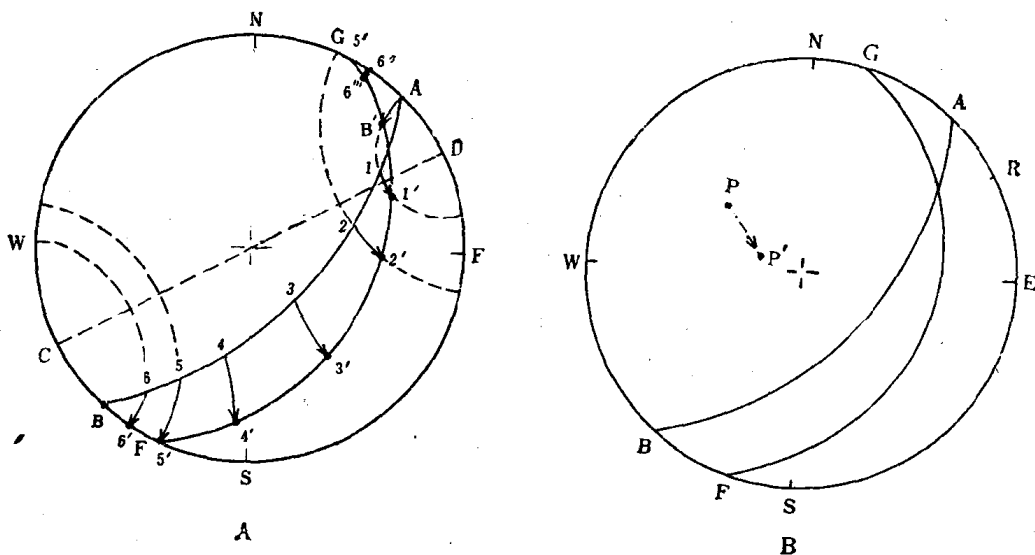


图 I—18 绕水平轴旋转  
A—大圆弧旋转法; B—用平面法线旋转法

(3) 将AB大圆上任意所取的各点如1、2、3……绕轴逆时针方向(指向SE方向)旋转 $30^{\circ}$ ,即各点沿所在纬向弧向SE方向数 $30^{\circ}$ ,分别得1'、2'、3'……新的各点,并勾绘成新的大圆弧GF(其产状为 $111^{\circ}\angle 25^{\circ}$ )。

(4) 有些情况要注意,AB弧上有些点,如点6,旋转了 $20^{\circ}$ 就到达了基圆为6',继续旋转 $10^{\circ}$ 时,必须以6'过基圆圆心的对蹠点6''开始,沿对应的同一纬向弧再数 $10^{\circ}$ 至6''';B点的旋转亦同此理。

用面的法线求法更简便。因为旋转一大圆弧,至少要在该大圆弧上任选两个以上的点作为标志,然后再把旋转后的各新点转动至某一大圆弧上得新的大圆。而面的法线是以线代面,只要旋转一个点,如图 I—18B中,P为上述平面AB的极点,绕 $R=CD$ 线(水平轴)逆时针方向旋转 $30^{\circ}$ ,相当于把透明纸上R转到网上正北(N),以平行SN向的R为旋转轴,使P沿所在纬向弧向东运移 $30^{\circ}$ 至P',P'法线的对应平面GF(等于图 I—18A中的GF)即为旋转后平面AB的新产状( $111^{\circ}\angle 25^{\circ}$ )。

### 十一、求一平面(或直线)绕一倾斜轴旋转后的产状

绕倾斜轴旋转是旋转操作中的普遍情况,绕水平轴或绕直立轴旋转,都是绕倾斜轴旋转的特例。绕倾斜轴旋转有间接法和直接法,前者是以绕水平轴旋转操作为基础,后者是

通过直接作图。

旋转的方向，一般是顺着旋转轴的倾伏向，绕轴顺时针方向或逆时针方向旋转。

例：将一平面（ $160^\circ \angle 40^\circ$ ）绕倾斜轴R（ $30^\circ \angle 30^\circ$ ）顺时针方向旋转  $120^\circ$ 。求该平面旋转后的产状（图 I—19）。

间接法（指旋转轴先转成水平，后再复原）：

（1）据作法一、二、三，在透明纸上分别作出有关面、线的投影，面最好用法线极点表示，如图 I—19A 中，平面法线点P，倾斜轴R；

（2）旋转轴R沿所在纬向弧旋转成水平，至基圆上为  $R'$ ，P 也沿所在纬向弧同步运移至  $P_1$ ；

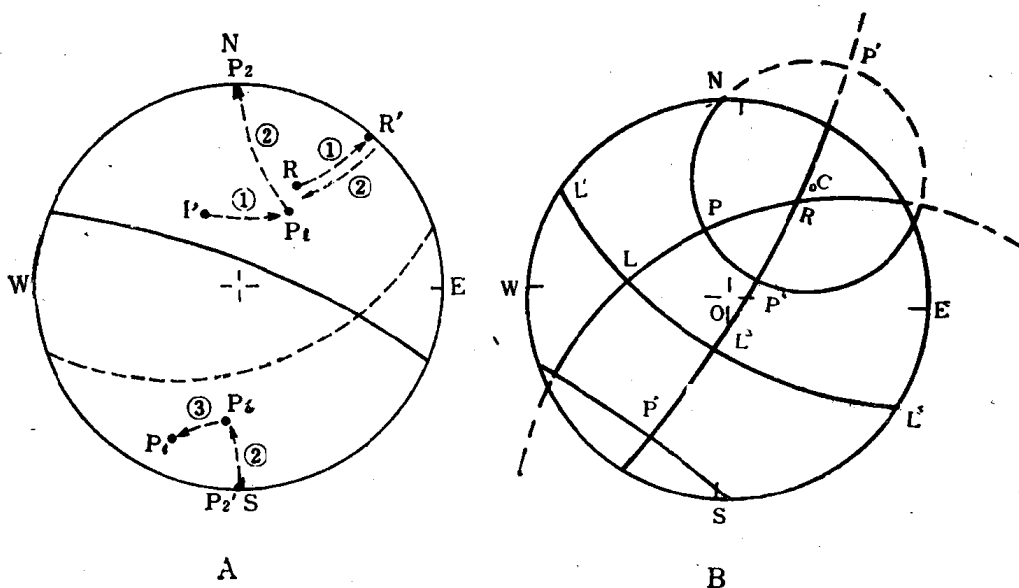


图 I—19 绕倾斜轴旋转

A—间接法；B—直接法

（3）把转成水平的旋转轴  $R'$  再转至投影网南北直径上（或者透明纸不动，使投影网南北直径转到  $R'$  上，如图 I—19A 所示）， $P_1$  绕  $R'$ （等于南北直径为轴）按顺时针方向旋转  $120^\circ$ ，先转至基圆上为  $P_2$ ，再由直径对蹠点  $P_2'$  继续沿对应的纬向弧数至  $P_3$ ；

（4）把  $R'$  恢复到原来的  $R$  产状， $P_3$  也沿所在纬向弧同步（即同角距）运移得  $P_4$ ，P 点即为绕旋转轴R顺时针转动  $120^\circ$  后的平面法线点，其所对应的大圆弧就是该平面旋转后的产状。

直接法（指先后不移动倾斜旋转轴）（图 I—19B）：

（1）据作法一、二、三，在透明纸上分别作出上例中平面法线点P和倾斜轴R；

（2）把倾斜轴R转到东西直径上，作与倾斜轴垂直的辅助大圆弧（ $L/L''$ ）；

（3）过P与R作大圆弧并交辅助大圆弧于L点，又在PR的大圆弧上读出  $\widehat{PR}$  的角距，当P与L绕R轴旋转时，P沿小圆轨迹，L沿大圆轨迹（即辅助大圆弧），同步旋转，因倾斜小圆迹线在投影网上不能直接读出  $120^\circ$  数值，所以旋转角借助辅助大圆弧上来进行判读；

（4）要求P点绕R轴顺时针方向旋转  $120^\circ$ ，可沿辅助大圆弧上L点开始旋转，先转



到基圆上 $L'$ ，经直径对蹠点 $L''$ ，继续数至 $L'''$ （实际上由 $L$ 转到 $L'''$ 已转了 $120^\circ + 180^\circ = 300^\circ$ ，是沿大圆转动 $120^\circ$ （在基圆外）的对蹠点）；

（5）作 $L'''$ 与 $R$ 的大圆弧，并取 $\widehat{RP'''} = \widehat{RP}$ 角距，作 $P$ 、 $P'''$ 的垂直等分线交 $OR$ 的延长线于 $C$ 点，以 $C$ 为作图中心作小圆， $P'''$ 实际上也从 $P$ 转了 $300^\circ$ ，是 $P$ 转动 $120^\circ$ 至 $P'$ 的小圆对蹠点；

（6）从题意是求 $P$ 点旋转 $120^\circ$ 的 $P'$ （不是转 $300^\circ$ 的 $P'''$ ），由于 $P'$ 已在基圆外，但可沿 $L'''$ 与 $R$ 的大圆弧上找到其对蹠点 $P''$ （注意： $P''$ 是 $P'$ 在大圆上的对蹠点， $P'''$ 是 $P'$ 在小圆上的对蹠点）， $P''$ 为旋转后的平面法线，其对应的大圆弧（图上未画）就是所求该平面的新产状。

间接法和直接法旋转所得结果是一样的。若绕旋转轴的点少，用直接法较直观（因自始至终的旋转迹线一目了然），若绕旋转轴的点较多，用间接法为宜。但无论如何，两者都比较麻烦。为了使用方便起见，现在已有人作出一系列不同倾斜度（ $0^\circ - 90^\circ$ 间每隔 $2^\circ$ 或 $5^\circ$ ）的倾斜投影网，这对旋转较多点子，其效率大大提高。实际上常用的吴氏网（又称经向赤平投影网）和极赤平投影网（附图19和附图21）是倾斜轴为 $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 时的特例。

## 十二、已知小圆投影圆心及其角距半径，求作小圆

例：一小圆投影圆心（相当于旋转轴）产状为 $10^\circ \angle 70^\circ$ ，小圆半径角距 $55^\circ$ （相当于旋转轴与一直线夹角），求投影小圆（相当于该直线绕旋转轴旋转一周的圆锥体底面）（图 I—20）。

（1）据作法二，在透明纸上作旋转轴投影点 $R$ ，并转至东西直径或南北直径上，也可以沿过 $R$ 的某一大圆弧上，由 $R$ 点向两侧各取角距半径，如图 I—20 中 $\widehat{DR} = \widehat{RE} = \widehat{AR} = \widehat{BR} = 55^\circ$ ；

（2）使 $R$ 落在投影网直径线上，以小圆直径角距长度的一半为作图半径（图 I—20 中 $\widehat{DC} = \widehat{CE}$ ）及作图中心 $C$ ，即可作得小圆；

（3）若已知小圆投影圆心及其圆周上一点（图 I—20 中 $R$ 点和 $A$ 点），同法也可求作小圆，此时把 $RA$ 转至同一大圆弧上并量取角距 $\widehat{RA}$ ，再使 $R$ 转至投影网直径线上，以 $R$ 两侧各取 $\widehat{RA}$ 角距，得直径角距，即可作得小圆。

## 十三、已知小圆投影圆心方位及其圆周上两点，求作小圆

例：已知小圆投影圆心的方位 $290^\circ$ ，小圆圆周上 $A$ 、 $B$ 两点，求作小圆及其投影圆心产状。

（1）据作法二，在透明纸上作 $A$ 、 $B$ 及 $290^\circ$ 方向线（示小圆投影圆心位于此线上），并转动透明纸，使 $290^\circ$ 方向线位于 $EW$ 直径上（图 I—21B）；

（2）作 $AB$ 两点的垂直等分线与 $290^\circ$ 方向线相交于 $C$ 点， $C$ 点即为投影小圆的作图中

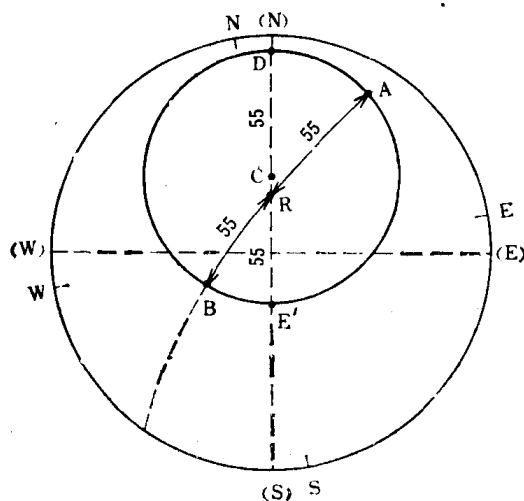


图 I—20 小圆的赤平投影