

某些小构造问题的研究

黄 华 彬 编 著

中南地勘局三〇六大队

某些小构造问题的研究

黄 华 彬 编 著

中南地勘局三〇六大队

一九八〇年七月

前 言

近些年来,笔者在小构造研究方面,总结出一些初浅的认识和体会,在全国第二届构造地质学术会议和某些省的地质学会和学术年会上宣读了几篇论文,随后又先后在刊物上发表。由于这些文章涉及到对小构造的研究从两度空间发展到三度空间,从定性走向定量的问题,因此,引起许多地质同行的兴趣和重视。直到现在,还陆续收到全国各地不少读者来信,信的主要内容是:①进一步商讨某些问题;②要求把总结出来的规律,特别要求把具体的工作方法,阐述得更详尽一些,以便推广运用;③要求帮助解决某些具体问题;④请去讲学。由于工作忙、时间紧,加上其它原因,未能充分满足读者的要求,在此特表示歉意。现在,受湖南省地质学会和某些矿山、地质队等单位的委托,把有关问题编写成讲义形式的专辑,一方面可作讲学用,另一方面也可供从事这方面工作的同志参考。

本书的主要内容,是以《研究小构造的新方法》、《构造应力强度的研究》和《古构造应力强度的研究对于内生矿床成矿预测的意义》等三篇文章为基础,增加了赤平极射投影知识和变形椭球体理论,力求使之比较系统和完整,方便读者参考。

本书材料,除笔者历年来积累之外,有些是来自贵州工学院的师生在教学和科研中的成果,有些是参考国内外已发表的和未刊的资料,除在各章中注明而外,在此特致谢意!

本书是在贵州工学院各级组织的领导和关怀下完成的,贵州和湖南省地质学会以及二机部中南地质勘探局三〇六大队给予极大的鼓励、支持和帮助,有些插图和表格是三〇六大队赵开运和黄仲月清绘的。如果本书能起到抛砖引玉的作用,或者对读者有点滴的参考价值,这应该说主要是集体的劳动成果。缺点、错误和不足之处,则应由著者负责,是因为水平有限和努力不够造成的,敬希批评指正!

黄华斌

1980年3月于贵阳

目 录

前言		二、分构造层进行研究	33
第一章 绪论	1	三、错开关系和限制关系的观察	34
参考文献	4	四、研究节理所属的大地构造发展 阶段	34
第二章 赤平极射投影方法在小构造 研究中的某些应用	5	五、成矿作用多阶段性的研究	35
第一节 赤平极射投影简介	5	六、对节理同火成岩的交接关系的 研究	35
1. 投影的基本原理	5	七、节理所属的构造系的研究	36
2. 点的投影及斯氏网	6	八、对上覆地层的物质成分的研究	36
3. 线的投影	8	九、断层结构面的研究	36
4. 面的投影	8	十、对沉积建造的岩相变化的研究	40
(1) 经过球体中心的各面的投影	8	十一、古地理和古构造发展史的 研究	41
a 经过球体中心的直立平面	8	十二、构造形迹显性和隐性特征的 分析	41
b 经过球体中心的倾斜平面	8	十三、边界条件分析	42
(2) 不经球体中心的各面的投影	9	十四、剪节理和地层交角的分析	42
a 不经球体中心而垂直于赤 平面的平面	9	十五、应力轨迹图象的分析	42
b 不经过球心的倾斜平面的 投影和普罗宁网	9	十六、构造线、地貌、水文等方面 的研究	42
5. 吴氏网的编制方面	10	构造应力场分期的研究实例	43
第二节 节理裂隙测量统计工作中 几种原始图件的绘制	14	参考文献	45
1. 极点图的绘制	14	第五章 从三度空间定量研究构造形 迹的某些尝试	46
2. 极点等密图的绘制	18	一、前 言	46
3. 应力轴分解图的绘制	19	二、工作方法	46
参考文献	23	1. 对待前人成果	46
第三章 变形椭球体理论的回顾	24	2. 布点问题	46
一、应力轴和应变轴的概念	24	3. 共轭配套	47
二、几种变形情况的分析	25	4. 野外定轴	47
三、二轴变形的研究	26	5. 排除局部干扰	49
四、平面共轭剪切节理的研究	27	6. 应力场的分期	50
五、对剪裂角的研究	28	7. 原始图表的编绘	50
参考文献	31	8. 平面应力轨迹图的编绘	51
第四章 构造应力场的分期	32		
一、分不同时代的地层进行研究	32		

9. 构造应力曲面图的编制	53	四、结 论	80
10. 似压应力强度图的编制	54	五、结束语	80
三、目的和效果	54	参考文献	80
四、结束语	56	第八章 作图法的数学公式化	81
参考文献	57	前 言	81
第六章 构造应力强度的研究	58	一、计算方法与步骤	81
前 言	58	(一) 求节理点组的极密点	81
第一节 安徽省繁昌地区构造应力		(二) 岩层层面复平后, 极密点A	
场和构造应力曲面的研究	58	与B的产状相应变化的计算	
一、工作区地质简介	58	公式	83
二、构造应力场图的分析	64	(三) 应力轴 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 的产状计	
三、构造应力曲面图的研究	64	算公式及剪裂角的计算公式	84
第二节 安徽省繁昌地区古构造应		二、计算实例	86
力强度的研究	65	1. 极密点的计算	87
一、构造应力强弱的表现形式	65	2. 将地层层面复平, 求极密点	
二、修正系数K值的确定	66	A与B的产状变化值	87
三、构造应力强度图的编制	69	3. 应力轴产状值与剪裂角的	
参考文献	74	计算	88
第七章 小构造成矿预测尝试	75	三、结束语	90
一、地质构造与成矿的关系	75	参考文献	90
二、C·Д巴喀尔吉也夫方法的介绍	75	野外照相图片	91
三、小构造成矿预测的研究实例	76		

第一章 绪 论

“小构造”一词虽常见于地质文献中，但它还没有成为一个明确的术语，事实上只是一般的地质工作者的描述性用语。“构造地质学”多半以小构造为主要内容，而区域构造或大构造也往往包括于其中，故它与小构造并不是同义语。到目前为止，没有人给小构造做过严密的定义，仅就通常的实际工作来看，小构造的主要研究对象是一些规模较小的构造形迹。有人认为这些构造形迹包括褶皱、断裂、节理、劈理、片理、线理以及显微构造等许多地质构造现象。陈国达在《成矿构造研究法》一书中所指的小型构造是节理和劈理，而把褶皱和断裂列为中型构造，并指明它们常常是紧密相随，存在着共生组合的力学联系。

总的来说，小构造是相对于区域构造及大构造而言的，前者却不象后者，特别是大构造那样有着明显的学派分歧，最多只是各家对某些个别问题持有不同看法而已。这种差别的形成，可能是由于后者所涉及的问题大而广泛，人们对它缺乏感性认识，讨论起来不免偏重于推理；前者的研究对象小而具体，多数是摸得着、看得见的现象。因此，小构造便成为区域构造和大构造的研究基础。另外，小构造研究还有许多实用价值，例如：

1. 它能帮助我们确定岩层的层序；
2. 阐明大型构造的几何形态；
3. 帮助分析和判断局部构造运动和区域性构造运动的方向和性质以及岩石变形的应力分布状况；
4. 查明不同变形阶段的时间顺序，恢复区域构造史；
5. 判断矿体的赋存条件、形态特征和分布规律，从而指导矿产的勘探和开采。
6. 其它等等。

此外，小构造的研究与水文地质、工程地质、矿山地质以及地震地质等也有密切关系。

小构造的研究途径很多，主要侧重于三个方面：其一是野外调查，属于所谓的野外地质学范畴，这是最重要的研究基础；其二是室内实验，属于实践地质学范畴；其三是统计学的方法。这些基本方法虽较古老，但至今仍在使用，并未过时。近几年随着新技术的出现，各种方法均有改进，不过就小构造研究总的情况来看，尚无突飞猛进的发展，更谈不上革命性的变化。形成这种现状的全部原因还不明了，而强调室内实验的同时忽略野外调查可能是原因之一，另外也可能与各国地质界的不重视有关。

大、中、小构造是紧密联系的，研究时必须相互配合。比如大型构造，以构造区（大地构造）的研究内容来说，包括沉积作用、岩浆作用、变质作用及构造变动等方面的成矿条件，为进一步探究成矿的物质来源、历史背景、区域（包括古地质、古地理）环境、产出状态，以至矿产在时间上的出现规律和在大范围内的空间分布规律等等提供依据。这些都是找矿工作中所需要了解的。然而，它的构造型相特点，必须在中、小型构造研究的基础上来进行分析。但另一方面，在研究中、小型构造时，也要联系所在地区的大地构造发展史和特点，才能了解它们在区域构造中所处的部位，与相邻的其它中、小构造的关系等，据以推测边部和深部的远景地段，寻找和预测新的成矿构造及其所控制的矿产。有时，有些中、小构造的问

题,还要同大地构造联系起来考虑,才能获得更加完满的解决,因为不同的中、小构造特点,是由于不同性质不同类型的大地构造所决定的。

就它们同研究成矿构造的关系来说,大地构造好比战略,中、小构造好比战术。在找矿的应用上,虽然大地构造的研究可使我们明确方向,但需要中小构造研究的配合才能解决具体问题。反过来,研究中、小构造,又要结合大地构造的研究,才能认明方向,更有效地进行战斗。大、中、小构造的研究,都有它自己的任务,各自所要解决的问题不同,所以,只有大中小构造结合起来研究,才更利于找矿。

陈国达教授说,小型构造指的是节理和劈理。并指出:节理同劈理是具对立性的两种岩石,或同一岩石在不同环境和条件下性质发生了变化,对应力发生不同反应所形成的两种对立的小型构造。前者基本上是脆硬性变形,主要见于脆性岩石中;后者基本上是亲软性变形,主要见于塑性岩石中。它们二者之间存在着既有区别又有联系,并在一定条件下互相过渡和转化的辩证关系。

笔者下面关于小构造研究某些问题的讨论,主要是对节理裂隙的研究,是在节理裂隙系统测量统计和分析研究的基础上,力图从三度空间定量地来研究构造形迹的力学性质及其控矿规律。因此,这里把节理的成因分类以及我们将要研究的构造节理(即各类次生节理)的主要特征简介如下:

节理是地壳中分布最广的切割岩石的一种小型构造。就其成因及与成岩时间关系来说,可分为原生节理和次生节理两大类。所谓原生节理,是指沉积物成岩过程中因收缩而成的节理(如砂岩中的球状节理、柱状节理等),或者是熔岩、岩浆成岩过程中因冷凝而成的节理(如玄武岩层中的柱状节理、花岗岩体中的立方节理等);所谓次生节理,是由于地壳运动过程中应力作用于各种先成岩石(包括沉积岩、火成岩和变质岩)而产生的节理。笔者要研究的,就是后一类节理,即次生节理,而且主要是研究沉积岩中的次生节理。

这种次生节理按其性质可分为两个基本类型,即剪节理和张节理。此外,由于两者的复合,还可出现张剪或剪张节理,统称复合型节理。现将它们的特征分别叙述如下:

一、剪节理的特征

1. 裂缝形态:面较平直。一般闭合或为较窄的裂缝,沿走向及倾向延展较远较深。

2. 壁面特征:两壁岩石的裂面大都光滑,有时还可见到磨光面、擦痕,有时见磨擦泥当其被矿脉、岩脉充填后,这些特征可从脉壁的特征反映出来。(如照片 43、44)节理裂隙遇到砾石时,可以切过。

3. 侧羽现象:微细的侧羽裂隙比较发育。一条明显的剪节理,往往是由许多小剪切面呈规律的羽状排列所构成的,这些小剪切面的长度比较相近,它们的走向与整条节理的走向有一个很小的交角(一般 $<20^\circ$),小剪切面彼此接近,几乎是首尾衔接的,在节理延长线上,特别是尾端显著(如照片 1、2、3、4)同组剪节理它们的羽列形式总是一致的(同是左型或同是右型),且与X剪节理的另一种羽列形式总相反。

在节理面上,侧羽列形成的“小台阶”和断层面上因滑动形成的“阶步”容易混淆,必须加以区别,因为它们指示的运动方向刚好相反。区别的主要标志是是否能延长和剥开,如能延长和剥开,就是节理的侧羽列,否则便是断层的阶步。

4. 组合关系及分布情况:它们常由两组共轭节理交叉成对出现,作X形,构成节理系,将岩石切成菱格状,故也称X节理或交叉节理(如照片 13、14、15、16)。同组的节理,通

常具有比较严格的平行关系，方向稳定，排列密度比较规则，呈较明显的等距性。疏密有韵律性，即同组节理束排列，有的地段密集，有的地段稀疏，疏密相间，并保持一定等距离。疏密间距可自几公分到几米及一公里至十几公里不等。

这种节理通常是在较大范围内成群广布，形成区域性节理。往往是其中一组特别发育，而另一组不发育。

5. 成因及活动特点：由剪力作用所成，代表应变椭球体中的一对剪切面，与主压应力方向斜交。两壁沿裂面作微小的相对滑动。

6. 尾部变化特征：通常节理尾端保持平直，尖灭形式简单，逐渐消失。但有时因与另一组节理交接而形成尾折、菱形结环和节理叉。

①尾折：一条剪节理顺走向沿一定方向延长，到尾端常突然折转成另一方向，折转后延长不远即尖灭。而折转后的那一段总是沿同一方向延伸，平行于共轭的另一组剪切节理（如照片 17、25、26）。

②菱形结环：在一条剪节理的尾端，或在两条靠近的剪节理的首尾衔接处，常为另一方向的两条平行的短节理相连，构成菱形环状，经常一个方向短，一个方向长，常表现于尾端，与尾折相伴出现，两个方向总平行于两组剪节理的方向（如照片 17、18、26）。

③节理叉：节理尾端，许多节理从两个方向叉开，保持一定角度，表示两组共轭剪切节理的方向（如照片 11、12）。

二、张节理的特征

1. 裂缝形态：裂面呈波状弯曲，少见有平直的。两壁张开较宽，但张开的宽窄各部分不一。有的地方宽，有的地方窄。大都延伸较短较浅，尖灭较快。常呈锯齿状，楔状。（见照片 19、20）

2. 壁面特征：裂面粗糙不平；如未经后期改造，无磨光面和擦痕。当它被矿脉、岩脉充填后，这些特征可根据脉壁特点鉴别出来。节理裂隙遇到砾石时，不能将后者切断，而是沿其旁边绕过。

3. 侧羽现象：罕见羽列，见侧列。（如照片 20）

4. 组合关系和分布情况：这种节理，通常只在某些地带成一组出现。同组的节理，其平行关系不如剪节理之严格，排列密度也较不规则，常集中在一些较易发育的构造部位（例如褶皱的背斜轴部和倾伏端，断层的两侧等）。方位不若剪节理之稳定（如照片 19、20）。

5. 成因及活动特点：由张力作用所成，代表应变椭球体中的张性破裂面，与主压应力方向平行。两壁无显著的沿裂面滑动。

6. 尾部变化特征：尖灭形式复杂，有时呈树枝状一次或多次分叉，有时呈杏仁状或蝌蚪状突然变细消失。

三、复合型节理的特征

这种节理同时具有张性和剪性两种节理的复合特征，一般地是某种性质的节理被后期改造成另一种性质的结果。其中，又可分两种情况：

1. 剪张节理：是先剪后张，即早期原为剪节理，当其转化为张节理后，先成的剪节理特点，可以保存较多，少受破坏。

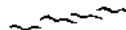
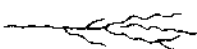
2. 张剪节理：是先张后剪，即早期原为张节理，当其转化为剪节理后，剪力作用所产生的特征有时可以几乎完全掩盖了原有的张节理的性质，仅保留波状弯曲（但已被磨滑）的

张节理形态。我国南部各省钨矿区的主要类型含矿裂隙都属此类型

复合节理，一般具有延伸较长，深度较大，以及张开较宽的特点，对成矿最为有利。

现将剪节理和张节理的主要特征列入（表1）。

（表1）剪节理与张节理的主要区别

主要区别	剪节理	张节理
裂缝形态	平直、稳定、闭合、窄长	弯曲、张开、宽窄不一、锯齿状、楔状
壁面特征	通常光滑，时出现磨光面、擦痕，有时可见磨擦泥，遇砾石时可穿过	通常粗糙，无或少见磨光面、擦痕及磨擦泥，遇砾石时则绕过
侧列现象	比较发育 	罕见羽列，无侧列 
延伸长度及深度	较远，较深	较短较浅，尖灭较快
组合关系及分布情况	方位稳定，密度较均匀，疏密有韵律，呈等间距性，常为共轭的两组，经常只有其中的一组较发育，交叉呈X形，构成节理系，常把岩石切成菱格式小块体和角状斜块及悬壁	单组出现，密度不均，疏密无韵律性，其密度受构造部位控制，如槽状轴部及倾没端等处较密
活动特征	两壁沿裂面作微小的相对滑动	两壁无显著的沿裂面滑动
成因及其与区域应力的关系	由剪力作用所成，代表应变椭球体中的对剪切面，与主压应力方向斜交	由张力作用所成，代表应变椭球体中的张性破裂面，与主压应力方向平行
尾部变化特征	尾折  菱形结环  节理叉 	舌状粘环  树枝状分叉 

在我们的研究工作中，比较多地应用了赤平极射投影的方法和变形椭球体理论，因此在第二章和第三章中，分别予以简单介绍。

参考文献

- (1) 陈国达，1978，成矿构造研究法，地质出版社。
- (2) 北京大学地质系，1978，地质力学教程，地质出版社。
- (3) 张国铎，1979小构造实验技术概况，全国第二届构造地质学术会议论文。
- (4) 杨国桢执笔，1978，节理研究的工作方法，未刊稿。

第二章

赤平极射投影方法在小构造研究中的某些应用

第一节 赤平极射投影简介

赤平极射投影是由球面投影演变来的一种平面投影,用来表示物体上点、线、面在三度空间的方位和测算它们相互间的角距,并不涉及面的大小、线段的绝对长度或点与点之间的绝对距离。用此方法,可以化立体问题为平面问题,用图解法代替公式化的演算,即直观又简便,精确度往往不超过十余分的误差。

赤平极射投影最初应用于天文学,以后又应用于地图学、航海学、结晶学、岩石学1920年布赫尔(Bucher)首次用于地质构造学上,并在1944年发表了专著。1954年菲利普斯(Phillips)著有赤平极射投影在地质构造学上的应用,理论与实际都相当完备。关于赤平极射投影在地质科学(特别是构造地质学)上的应用问题,我国学者何作霖(1958 1965)和何绍勳教授(1980)都先后发表过专著,对有关理论和实际问题作了较全面和深入的论述是本章的主要参考文献。针对小构造研究所需要的内容,下面对赤平极射投影方法作简单介绍。

1. 投影的基本原理

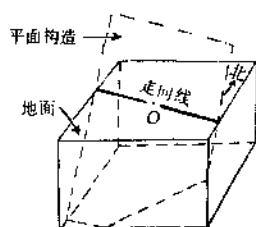
赤平极射投影是利用一个球体作为投影工具(称为投影球),将欲研究的物体的几何要素(如点、线、面)从投影球中心投影到球面上去,得到一些点和线(即向球面延伸时与球面的交点或交线),这就是相应点、线、面的球面投影。但这种球面投影即不直观,又不易表示,所以必须以球体的极点为发射点,将球面投影的点和线再次投影到赤道平面上,也就是将球面上的点和线与极点相连,连线与赤道平面相交,得到相应的点和线,这就是空间内对应的点、线、面的赤平极射投影。

对此问题何绍勳教授作了以下阐述:

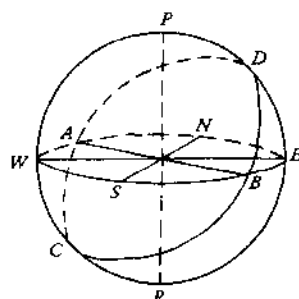
假定我们在地面上的‘O’点看到一个平面(例如一个岩层面或断层面),它的走向是NW 300°,倾向SW 210°,倾角50°,如(图1)所示。如果有一个圆球面,它的球心也正好与地面上的‘O’点重合,那么这平面必然与圆球面相交,而它们的交线一定是一个圆,圆的半径等于圆球面的半径,见(图2)。凡是通过圆球面中心的平面一定与圆球面相交为一个圆,圆的半径与圆球面的半径相等,我们称这种圆为大圆,如(图2)中的ADBC圆。

在(图2)中,‘O’点相当于地面上的‘O’点,平面NEBSWA是圆球的‘赤道平面’(不要把它和地球的赤道平面混淆起来),并且代表经过‘O’点的水平面。图中的P点是地面上‘O’点的天顶点,为了便于描述起见,我们称P点为圆球面的‘北极’(不是我们地球的北极),R点是圆球面的‘南极’。ADBC是通过‘O’点的倾斜平面,并与圆球面相交成一个大圆。AB线相当于这平面的走向线。NEBSWA平面上,N点相当于地理方位的正北方向,S相当于正南,W相当于正西,E相当于正东,因此走向线AB的方位是NW 300°。

如果以圆球面的‘南极’为发射点(也可以北极为发射点),作许多发射线联接球面上的

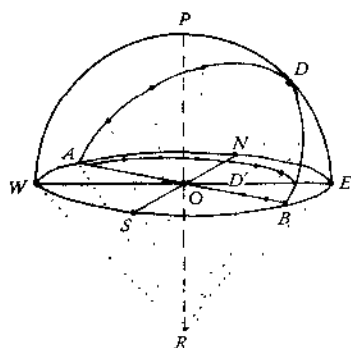


(图1) 立体图表示在地面“O”点所见到的一个平面，平面的产状是 $SW210^{\circ}/50^{\circ}$ 。(虚点线代表该平面在空中的延伸部分)

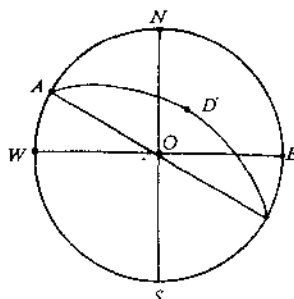


(图2) 立体图表示一个通过露头点“O”的倾斜平面 $ABCD$ 与圆面的关系。 $NEBSWA$ 代表水平面； $NSEW$ 为北南东西方向； P 代表圆球面的“北极”； R 代表圆球面的“南极”。

大圆（在图3中只绘七条发射线）。发射线与赤道平面的交点构成一条弧线。这条位于赤道平面上的弧线就是上述倾斜平面 $ADBC$ （产状 $SW210^{\circ}/50^{\circ}$ ）的赤平极射投影。因此赤平极射投影也是一种球面投影。（图3）中的 R 点叫做赤平极射投影的发射点（或称极射点），赤道平面 $NEBSWA$ 就是赤平极射投影面，又称筒赤平面。赤平面上的圆圈叫做基圆（如图4的 $NESW$ ）。



(图3) 立体图表示通过球面中心的倾斜平面的赤平极射投影



(图4) 倾斜平面 $ADBC$ 的赤平极射投影图

以上就是赤平极射投影的基本定义和原理

2. 点的投影及斯氏网

投影图一般以南极为发射点，若欲求上半球上各点在赤平面上的位置，只需作南极 S 与这些点的连线，它们与赤平面的交点就是投影点，如（图5） P 是球面上的任意一点，与北极 N 点相距为 $\angle NOP = \theta$ ，连接 SP 与赤平面相交于 A ， A 点便是 P 的投影点。 OA 为投影点

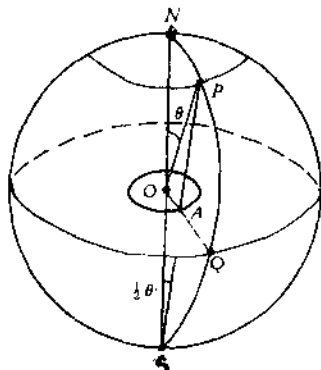
与中心的距离，其绝对长度可以下式求出。

$\therefore \angle NSP = \frac{1}{2} \angle NOP = \frac{1}{2} \theta$ (圆周角等于同弧所对圆心角的二分之一)，

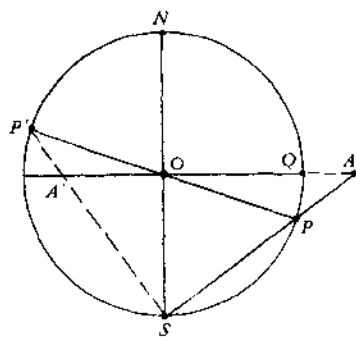
又 $\because \triangle AOS$ 为直角三角形，

$\therefore OA = OS \tan \frac{1}{2} \theta$ ，其中 OS 为圆球的半径，设等于1，于是 $OA = \tan \frac{1}{2} \theta \dots\dots (1-1)$

下半球的情况不一样，其上各点投影在赤平大圆之外。(如图6)，因 $\angle NOP > 90^\circ$ ，所以 $\angle NSP > 45^\circ$ ，由公式(1-1)可知 OA 大于 OS ， A 点必然落于大圆之外。但 PO 的延长线交上半球于 P' ， P' 称为 P 的对跖点，投影为 A' ， A' 与 A 所表示的位置具相同意义。为作图方便，不致使下半球各点投影于大圆以外，常用它们的对跖点投影来表示，因为每逢上半球有一点，就可连想下半球也有一个对跖点存在。

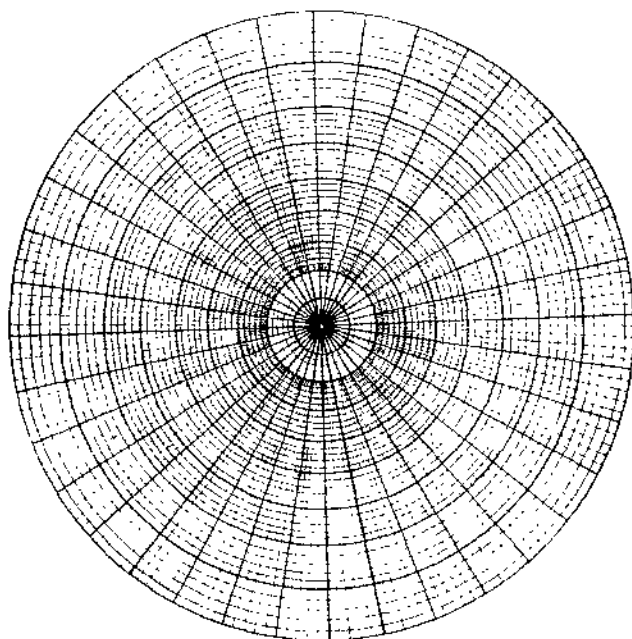


(图5) 点的投影(上半球)

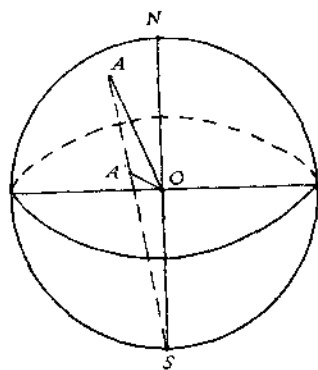


(图6) 点的投影(下半球)

在(图5)中，如 P 围绕 N 点旋转一周，它的投影点 A 以 OA 为半径也围绕 O 点旋转一周。将 NQ 分为 90° ，各分度点都投影在 OQ 直线上，当球体以 NS 为轴旋转一周时，各投影



(图7) 斯氏网



(图8) 通过球心的直线的投影

点画成同心圆。再将赤平面上的基圆分为 360° ，连接所有直径，这就构成一个能表示球面上任何点的方位和角距的赤平投影网，即斯氏网（图7）。此网的用途我们将放在后面讲述。

3. 线的投影

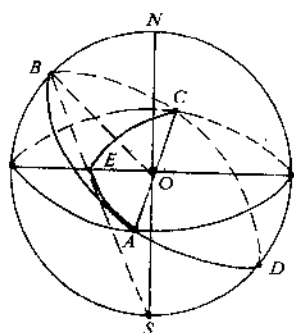
与球面相交其交点为A、B的任意直线，它的赤平极射投影就是ABS平面与赤平面的交线。我们要讨论的是在研究应力轴时经常用到的一种特殊情况，那就是通过球心的直线的投影。下面我们只讨论上半球部分，如（图8），OA为通球心的直线，其赤平极射投影就是OAS面与赤平面的交线OA'。显然，OA的倾角愈陡，OA'就愈短，如果OA倾角 90° ，那么“O”点就是它的赤平投影（即A'与O重合）；OA的倾角愈缓，OA'就愈长，如OA倾角为零度，那么A'点就在赤平圆周上。

4. 面的投影

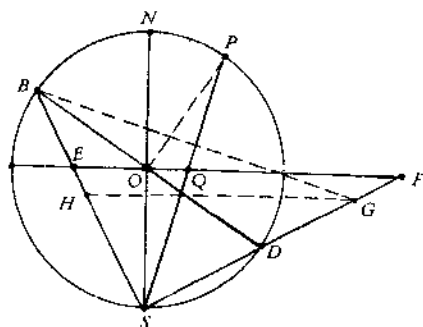
（1）经过球体中心的各面的投影

A. 经过球体中心的直立平面：这类平面都包含NS，它与球面相交是一个大圆。圆的半径等于球体的半径，如（图5）。自S点仰观半球上经过N点的圆，视线也包括在此平面内，所以半圆的投影是OQ直线。因此这类圆的投影是经过圆心所画的直径，直径两端相距 180° ，如（图7）。这些直径称为大圆。

B. 经过球体中心的倾斜平面：这类平面在（图3），（图4）中已表示得很清楚，正如（图9）所示，ABCD为一倾斜平面，它与赤平面相交于A和C两点，与直立大圆相交于B和D两点，B是最高点，D是最低点。ABC投影在赤平面上为AEC，它们是不是恰好在一条弧上，也就是说倾斜大圆的投影是否为圆，这关系以后的作图，现证明如下：



（图9）经过球心的倾斜平面的投影



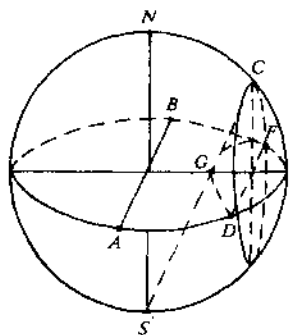
（图10）证明倾斜大圆的投影是一个圆的示意图

（图10）中BD表示一个平面垂直于图面，E为B的投影，F为D的投影，E和F为大圆的直径两端投影于赤平面上的两个点。BDS为一圆锥体的剖面，BD为其底，是一个圆，S为其顶角。OP垂直于BD，P是半圆弧BND的中心，P的投影为Q。SQP平分 $\angle BSD$ （等弧所对的圆周角相等），所以是圆锥体的轴。绘BG垂直于SP，取 $BH = DG$ 。于是 $\triangle BDG = \triangle GHB$ ，因BG是共同边， $BH = GD$ ， $\angle HBG = \angle DGB$ （正圆锥底角相等），所以 $BD = GH$ 。BD是一个圆，所以GH也是一个圆，它们是圆锥体的共轭切面。因为BD为直径，所以 $\angle BSD = 90^\circ$ ，因此 $\triangle BDS$ 、 $\triangle HGS$ 和 $\triangle FOS$ 都是直角三角形，而且它们都是相似三角形，因为： $\angle BDG = \angle GHB$ （ $\triangle BDG = \triangle GHB$ ），所以 $\angle BDS = \angle GHS$ ；

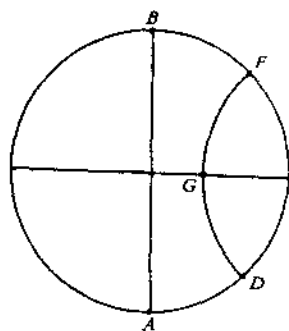
$\angle NSD = \angle BDS$ (等弧所对的圆周角相等) 所以 $\angle DBS = \angle EFS = \angle HGS$ 于是 GH 与 EF 是平行线, 也就是平行面。因为 GH 是一圆, 所以 EF 也是一个圆。 BD 是球面上大圆的直径, EF 是投影图上大圆的直径, EF 的平分点就是作图的中心点。

(2) 不经球体中心的各面的投影

A. 不经过球心而垂直于赤平面的平面: 这些平面与球面相交都是小圆, 其直径都小于球的直径, 如 (图 11), $CDEF$ 为垂直赤平面的平面, 与球体相交为一小圆。小圆与赤平大圆相交于 D 与 F 点, 而 C 点在赤平面上的投影却是 G 点, DGF 是否在一圆弧上, 现在证明。



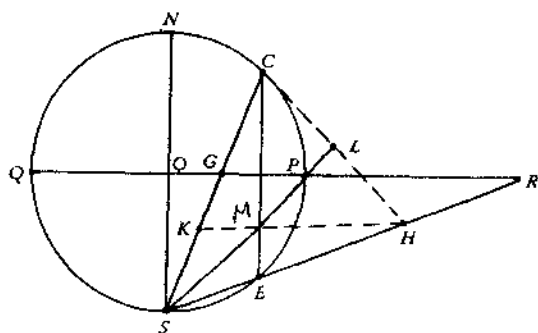
(图 11) 不经过球心而直于赤平面的投影



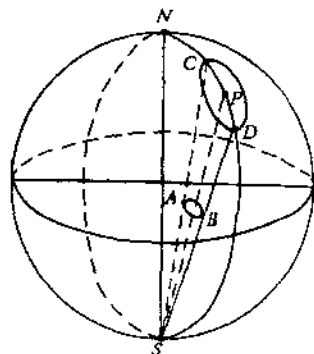
(图 12) 直立平面 $CDEF$ 的赤平投影

在 (图 13) 中, CE 为小圆, C 点投影于 G , E 点投影于 R 。 P 点是小圆在球面上的圆心。绘 SP , 成为圆锥体 CSE 的轴, CE 为其底, 是一个小圆, S 为顶角。绘 CH 垂直于 SP 并交其延长线于 L , 取 $CK = HE$, 绘 HK 。于是 $\triangle CEH = \triangle HKC$, 所以 $HK = CE$ 。 CE 既是一个圆, HK 也是一个圆。因 $OP = OS$ (基圆半径相等), 所以 $\angle OPS = 45^\circ$, 因而 $\angle CML$ 也等于 45° 。 $\triangle CML$ 和 $\triangle HML$ 是全等的 所以 $\angle HML = \angle CML = \angle OPS = 45^\circ$ 。 于是 HK 与赤平面 GR 平行。 HK 既是一个圆, GR 也必然是一个圆, 其直径 GR 的平分点就是作图的中心。因此证明了 DGF 是一个圆弧 (图 12)

b. 不经过球心的倾斜平面的投影和普罗宁网: 如 (图 14), CD 为平面与球面相切之



(图 13) 证明不通过球心的直立小圆的投影是一个圆的示意图



(图 14) 不经过球心的倾斜平面的投影

小圆，中心为P。AB为小圆的投影（图15）是沿NPS所作的剖面图。SP为圆锥轴，垂直于SP作一垂线CL，取CG=LD，绘LG。CD与LG为圆锥的共轭切面，依前证明，所以都是圆。绘DR平行于赤平面EW。

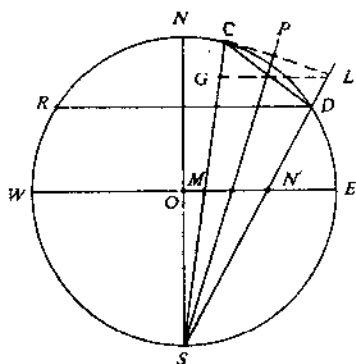
$\therefore \widehat{SD} = \widehat{SR}, \therefore \angle SCD = \angle SDR$

但 $\angle SCD = \angle SLG$ ($\because \triangle LCG = \triangle CLD$)

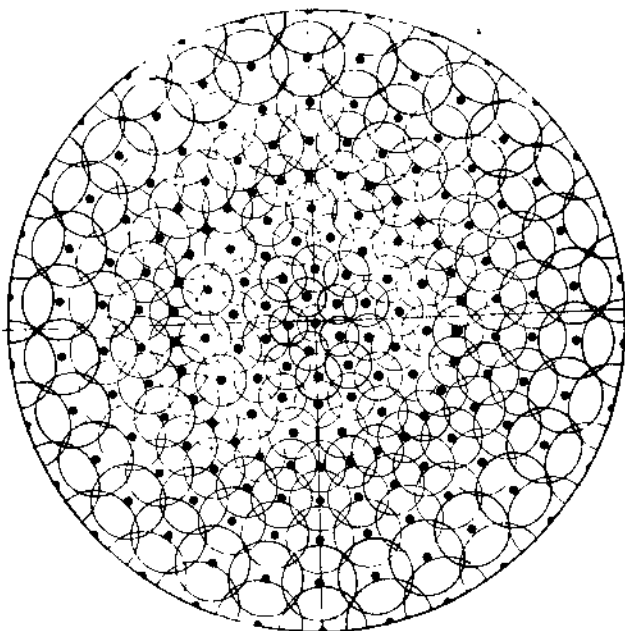
所以 $\angle SLG = \angle SDR$

LG平行于DR，因此也平行于赤平面EW，所以MN'也必然是一个圆的直径，其平分点就是作图的中点。

在小构造研究中经常用到的普罗宁网（图16）就是根据这个原理绘制的。A·B·普罗宁（npohuh）在“苏联地质学”杂志（1949, № 37）中提出这个很方便的对显微构造观察结果进行统计整理的方法，就是把观察结果划在一般的赤平网上。投影图上小圆的面积是不等的，但它们都是球面上等积小圆的投影。



（图15）证明不通过球心的倾斜小圆的段影是一个圆的示意图

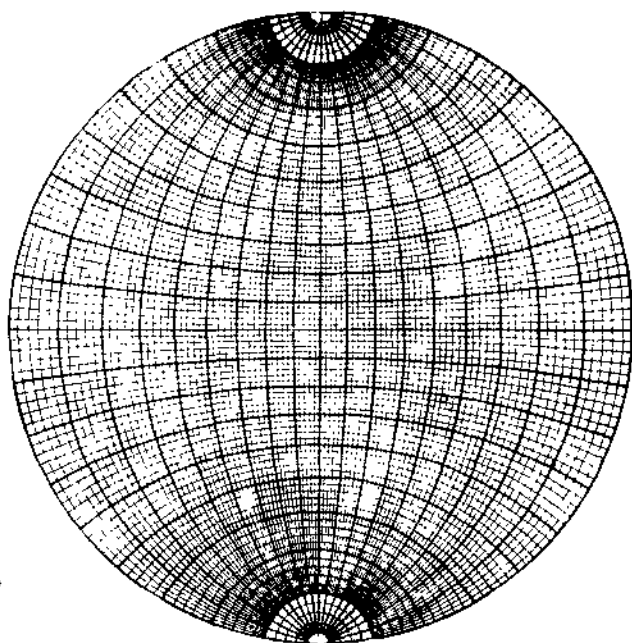


（图16）普罗宁网

5. 吴氏网的编制方法

为了便于绘制赤平极射投影图 and 进行角距与方位的测算，俄国人吴尔福于1902年设计了一种投影网，以后简称吴氏网（图17）。

吴氏网是由一个圆（即基圆）和包含南北直径的弧线（也称经线）与平行左右方向的弧线（也称纬线）所组成。这些经线相当于赤平极射投影图上的大圆弧，纬线相当于小圆弧。在吴氏网上，经线和纬线的间距一般是 2° （图17是简化了的）。

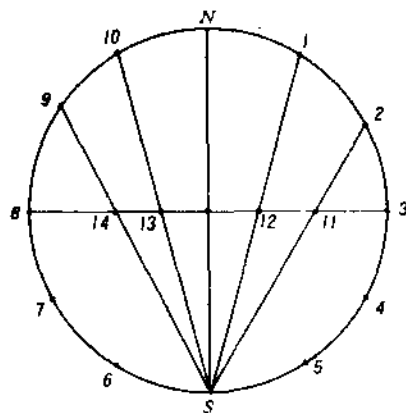


(图17) 吴氏网

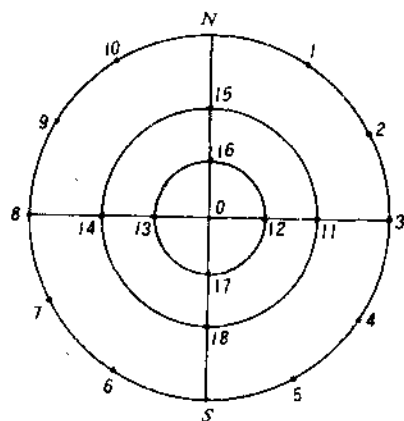
吴氏网的基圆相当于赤平面上的赤平极射投影图。在构造地质学中，赤平面往往代表水平面，因此吴氏网基圆上的刻度就代表地理方位。但为了便于迅速测定投影图中的地理方位，经常将吴氏网基圆的刻度按反时针方向排列（如图17那样），就象罗盘仪刻度盘上的读数一样，即基圆的上方为 0° （正北），左方为 90° （正东），下方为 180° （正南），右方为 270° （正西）。

吴氏网的编制方法有多种，下面介绍何绍勳教授在《构造地质学教材附件》中提出的一种简易绘制方法。

(1) 以一定的长度为半径（一般采用10厘米）作一圆，代表吴氏网的基圆，并得圆心“O”点（见图18）。



(图18) 自S点作直线连接基圆上半圆的各点得11、12、13和14点



(图19) 绘制同心小圆，得15、16、17和18点

(2) 作这基圆的南北直径和东西向直径,并在南北直径的上方标以N字,代表正北方位,在下方标以S字,代表正南方位(见图18)。

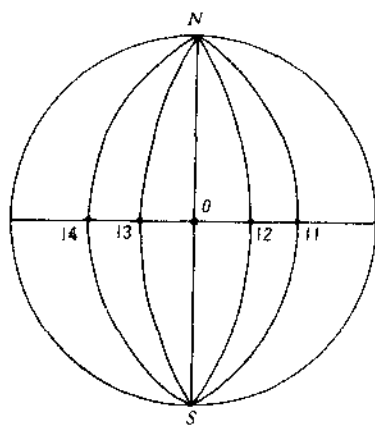
(3) 将基圆按2°度间距划分为180等分(现简化为12等分,间距为30°),并得到1、2、3……和10等点(见图19)。

(4) 自基圆的S点作直线分别连接上半圆(即北半部)圆周上的各点,并分别交东西向直径为11、12、13和14等点(见图18)。

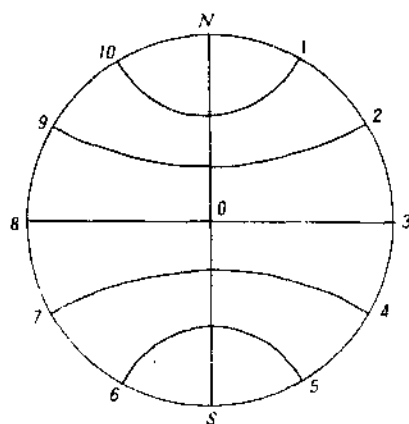
(5) 以投影图中心“O”点为圆心,分别以O—12和O—11线段为半径作同心圆,并分别交南北向直径于15、16、17和18各点(见图19)。

(6) 连接弧线N—11—S、N—12—S、N—13—S和N—14—S^①,得吴氏网的经线(即大圆,见图20)。

(7) 连接弧线6—18—5、7—17—4、9—16—2和10—15—1^①,即得吴氏网的纬线(即小圆,见图21)。



(图20) 连接弧线N—14—S、N—13—S、N—12—S、和N—11—S得大圆弧



(图21) 绘小圆弧N—15—10、2—16—9、4—17—7和5—18—6

[附注]: ① 连接弧线可借助曲线尺进行绘制,也可用圆规直接绘制,如果用圆规绘弧线,必须先求出作图的圆心,这在(图10)和(图13)中已经详细阐明,下面介绍一种简易的方法。

(a) 求大圆的作图圆心: 从(图20)不难看出,所有大圆的作图圆心都落在东西向直径上或它的延伸线上。假设要绘制(图20)的N—13—S大圆弧(即倾角60°的大圆弧),先在基圆上找到距东西直径60°的10点和5点,连接10和5点的直线(通过投影图中心O点),然后自S点作直线10—5的垂线并交东西直径于a点(a点实际上位于东西向直径的延伸线上),见(图22)。a点就是大圆N—13—S的作图圆心。以a点为圆心,a—13线段为半径作一弧线,必然通过N点和S点,即为大圆N—13—S(见图22)。a—N和a—S为什么等于a—13? 现在证明:

在(图22)中,△OS5为直角三角形,∠SO5 = S—5 = 30°,所以∠OS5 = 60°和∠S10、5—15(圆周角等于同弧所对圆心角的一半)。因O—S = O—10 = 半径,所以