

型计算机在

 $R = 93.47\% \quad (P=4)$

THE PETROFABRIC DIAGRAM OF LEVEL



中国地质大学出版社

微 型 计 算 机 在 地质构造解析中的应用

汤经武 杨学敏 编著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地阐述了中小尺度构造和显微构造解析的微型计算机方法。在结合地质图、明设计并论述基本原理的基础上,列举了节理、裂隙、褶皱、断裂构造的识别与类型,较详细介绍了手工和计算机的四种构造方法,对每一种方法的基本原理、作法、应用实例作了详细介绍,列出了全部源程序。全书自成体系,图文并茂,深入浅出,简明扼要。

本书可作为高等院校地质类专业本科生、硕士生和地质工作者的教材,也可作为地质生产科研人员的参考书。

微型计算机在地质构造解析中的应用

汤朝武、杨学永 编著

王任斌编 李敏生、苏明斌

*

地质出版社地质研究所

地质部地质研究所地质研究所

*

书号:15-11111-1/15-11111-1 字数:11.5万字

1989年12月第1版

1989年12月第1次印刷

印数:1-2000册

ISBN 7-116-0213-7/P·62 定价:3.50元

前 言

近十年来，构造地质学正处在一个重要的变革时期：研究内容发展为对宏观与微观、浅部与深部、海洋与大陆等方面的构造，进行多层次、多尺度和多类型的全方位的综合分析；研究手段正由定性向定量分析方面转化。构造解析正愈来愈受到地质工作者们的青睐。为了摆脱繁琐枯燥的数据整理，耗时伤神的手工绘图和似是而非的定性分析，地质工作者已开始把计算机技术运用到构造解析中来。但迄今国内还缺乏比较系统的介绍计算机在构造解析中应用的著作。

为了切合我国实际，推广微型计算机在地质构造解析中的应用，作者总结了几年来结合中小尺度构造和显微构造科研及教学的实践经验，曾编写了《地质构造解析中的微型计算机方法》一书，由成都地质学院于1986年6月内部出版发行，作为地质类有关专业高年级本科生、研究生、函授生和短训班的教材。原有教材已教学试用多次。此次新编，作者对原书内容作了较大的增删，不仅补充了应变测量和常用图件绘制等9种新方法，还将全部源程序编入书中。全书的体系和内容更便于自学，并且由于程序配套，解决了实际应用的困难。

在本书编写过程中，江富华副教授热情提供了显微构造方面的内容和资料；方明泽、蔡学林副教授热心提供了部分野外资料；徐开礼教授和刘肇昌副教授对本书进行了认真的审核，提出不少宝贵的修改意见。对于他们的支持和帮助，作者在此表示衷心的感谢！书中难免有疏漏、欠妥之处，热望读者批评指正。

汤经武 杨学敏

1988年3月于成都地质学院

目 录

绪 论

- 一、构造解析与微型计算机的应用…………… (1)
- 二、本书的基本内容…………… (2)
- 三、计算机在构造地质学中应用的简史…………… (3)

第一章 计算与绘图的基本原理

- 一、线状构造与面状构造…………… (5)
- 二、构造分析中的统计方法…………… (15)
- 三、构造分析中的极射赤平投影…………… (21)
- 四、地质构造的应变与应力分析…………… (27)

第二章 求解面状或线状构造的优势方位

- 一、基本原理…………… (40)
- 二、使用方法…………… (41)
- 三、应用实例…………… (43)
- 四、程序说明…………… (46)
- 五、练习题…………… (46)

第三章 节理统计与应力分析

- 一、资料收集…………… (49)
- 二、节理玫瑰花图…………… (50)
- 三、利用擦痕对节理配套…………… (54)
- 四、根据共轭剪节理计算并绘制主应力轴方位图…………… (57)
- 五、练习题…………… (60)

第四章 根据断层派生小构造恢复断层应力状态

- 一、基本原理..... (63)
- 二、使用方法..... (67)
- 三、应用实例..... (69)
- 四、程序说明..... (71)
- 五、练习题..... (72)

第五章 褶皱构造的几何学研究

- 一、求解枢纽和轴面..... (73)
- 二、褶皱的 π 组构..... (78)
- 三、褶皱位态分类..... (83)

第六章 显微构造分析

- 一、定向薄片的坐标系统..... (91)
- 二、岩组图的绘制及其分析..... (97)
- 三、利用方解石、白云石双晶纹和石英变形纹
进行动力学分析..... (104)

第七章 岩石有限应变测量

- 一、Fry法..... (117)
- 二、 R_f/φ 法..... (122)
- 三、Panozzo法..... (134)
- 四、三维应变测量法..... (139)
- 五、有限应变的图解分析..... (147)

第八章 多功能等值线图及其立体图

- 一、基本原理..... (150)
- 二、使用方法..... (152)

三、应用实例·····	(154)
四、程序说明·····	(156)
五、练习题·····	(156)

第九章 某些构造基础资料的处理

一、组合式柱状剖面图·····	(158)
二、实测剖面地层厚度计算·····	(171)
三、多功能点列曲线对比图·····	(172)

附录 I 上机要点

一、PC-1500、1500A、1501简介·····	(177)
二、上机主要步骤·····	(178)
三、计算机的扩展·····	(182)
四、机器的保养与维修·····	(187)

附录 II 源程序

P-1·····	(191)
P-2·····	(198)
P-3·····	(202)
P-4·····	(204)
P-5·····	(210)
P-6·····	(216)
P-7·····	(219)
P-8·····	(227)
P-9·····	(230)
P-10·····	(241)
P-11·····	(253)
P-12·····	(257)

P-13	(262)
P-14	(266)
P-15	(274)
P-16	(276)
P-17	(285)
P-18	(294)
P-19	(295)

主要参考文献

绪 论

一、构造解析与微型计算机的应用

构造解析(Structural analysis)一词与桑德(Sander, 1930)的Gefügekunde der Gesteine同义。马杏垣^[2]认为构造解析是一种“分析和解释地质体内部结构构造规律及其演化的方法”。这种方法包括三个方面的研究内容：①对变形岩体的几何特征和物理性质进行观察、描述和构造要素的测量，这种几何学的研究是构造解析的基础；②根据几何数据再现岩体在变形过程中的运动特征和演变历史，即运动学研究；③研究构造（应变）和造成它们的外力和应力条件之间的关系，即动力学研究。这种研究方法适用于不同层次（时间和空间）、不同尺度（超微观构造到大地构造）和不同类型的地质构造。

进行全面的地质构造解析，必须做到：采集大量的构造要素数据（室内和野外）；对数据加工和整理；绘制反映构造几何学和运动学特征的各种构造图件；进行点、面和立体的应力和应变分析，得出构造在时间、空间、力学上演化的规律；进而解决构造与变质作用、岩浆作用和成矿作用的关系，用以指导找矿勘探。为了摆脱传统的繁琐枯燥的数据整理、耗时伤神的手工绘图和似是而非的定性分析，本书试图将构造地质学和数学地质结合，探索一套用微型计算机进行构造解析的快捷方法，使构造解析更加定量化和更富科学

性。学习这些方法的实际好处不仅仅是可以大大提高工作效率，更重要的是学会用数学语言深化并提高构造地质的研究水平，更好地为生产和科研服务，加快地质工作现代化的步伐。

二、本书的基本内容

本书研究对象主要为区域地质和矿田构造研究中常见的节理、断层、褶皱、各种面理和线理以及显微构造。它们大至几平方公里，小至手标本或薄片，即以中小尺度和显微构造为主。这些构造可以属于不同的岩石类型，在空间和时间上既可与大地构造及全球构造相联系，又可与更小的超微尺度（电子显微镜下观察到的）构造相结合。

本书的第一部分为计算和绘图的基本原理。这是根据空间解析几何、数理统计、有限变形几何和赤平极射投影的有关原理，密切结合构造地质，归纳并推导出一套计算机计算和绘图的基本公式，它们是编制本书各种应用程序的数学模型。本书的第二部分为微型计算机在构造解析的具体应用。书中介绍了优势方位分析、节理、断层、褶皱、显微构造和岩石有限应变测量等19种应用方法。对每一种方法，从基本原理、功能和效率、资料收集、程序操作、应用实例、程序框图、程序说明和源程序等方面进行了具体而系统的阐述。

考虑到我国当前地质部门的设备条件，本书主要编制了地矿部推广机型之一的便携式PC-1500袖珍微型计算机的全套源程序。如果需要将有关程序移植到其它微型机（例如IBM微机）上，本书给出了程序框图和变量说明。对未使用过计算机的读者，附录I提供的上机要点可供参考。

三、计算机在构造地质学中应用的简史

从1946年世界上第一台电子计算机研制成功,迄今仅仅40多年的时间,电子计算机本身及其应用已发生了巨大的变化。1958年,Krumboir 和 Sloss 首先在地质杂志上发表了地质计算程序,使地学应用计算机成为现实。最初,主要是在石油、天然气勘探中,用以处理分析数量庞大的地球物理及勘探测试的数据,其次是在岩石学,地层古生物和水文地质方面的应用。在此期间,我国第一代计算机在1965年开始应用于处理物探重磁资料。但是50年代至60年代中期,“很少有人试图开发计算机在构造地质学中应用的潜在能力”(Whitten, 1969)^[47]。

60年代中期以后,尤其70年代开始,由于数学地质学的兴起和计算机的发展,有关专业机构和杂志的创立,学术活动的增多,在国外,已使计算机渗透到构造地质学领域中来。1979年10月,在美国纽约州叙拉古大学召开了以数学地质专家为主的一次学术会议。Whitten^[48]系统总结了1969~1979年计算机在构造地质学中应用的趋势,所列文献281篇,占该会议16个课题论文及所列文献总数的35%。他指出,70年代在以下四个方面取得不少进展:

- (1) 构造观测结果的存贮和整理;
- (2) 根据系统观测结果综合分析构造特征;
- (3) 构造形态特征的描述;
- (4) 构造要素空间变化的制图和分析。

他认为:“计算机应用对构造地质学,不再是一个与众不同的学科分支”。在国外,由于1972~1977年国际地球动

力学计划的实施，海洋扩张及板块学说的巨大成就，强烈刺激着构造地质学研究必须大力使用计算机，以处理获得的大量构造信息，并使之由原来定性为主转向定量为主。在我国，由于十年动乱的影响，这一时期还处于尝试和探索的阶段，只是在节理、断层方位统计和岩组方面有零星报道。

70年代末期以来，计算机在构造中的应用日渐广泛深入，不仅在褶皱、节理、断层、矿田和矿床构造研究方面有大量文献报道，而且涉及到大型构造和构造应力场的模拟；在剪切带和推复构造研究中，线理和面理的研究中，不少人都结合组构和有限应变测量来分析；各种适合于野外的数据库和绘图系统纷纷出现。但是，由于商业上的原因，这些文献中关于具体的应用和相应的程序却很少公布。在国内，随着中小型计算机，特别是微型计算机的崛起，我国主要地质科研单位和高等地质院校已开始较多地在构造地质研究中，用各种计算机处理构造数据、自动绘图、进行应力场分析和建立构造形成的数学模型，在计算机应用方面迈出了可喜的一步。特别是小构造、显微构造和岩石有限应变测量的研究向定量方面发展，更助长了这一势头。

目前，微型计算机已达到了传统的中型计算机的功能，硬件技术的发展使得微型机、小型机以及大型机之间不再有明显的区别。PC-1500袖珍计算机正逐步普及到每个野外分队。国际地科联构造专业委员会五年工作计划(1988~1993)第4项任务中指出：“促进个人计算机在构造地质学方面的应用…鼓励并介绍在野外直接使用手提式计算机”。我们相信，不久的将来，微型机的应用将遍及我国构造地质学的所有方面，和国外的差距将大大缩短。

第一章 计算与绘图的基本原理

为了运用计算机对常见地质构造从几何学、运动学和动力学方面进行快速定量解析，必然涉及如何利用计算机整理加工野外数据，计算有关参数，绘制相应的图形，以及对图形进行必要的分析。因此，在介绍各种具体应用方法之前，必须阐明有关的计算和绘图的原理。本章将根据空间解析几何^{[7][17]}、数理统计、有限变形几何^[15]和赤平极射投影^[1]的有关原理，结合地质，并配合有关插图，有针对性地归纳并推导出一系列最基本的计算与绘图公式。叙述上力求简化数学推导，着重阐明物理概念和处理问题的方法。

一、线状构造与面状构造

所有尺度的地质构造要素，都可概括为面状构造和线状构造，从而有利于进行几何形态、空间方位和应力应变分析。这一节将依据空间解析几何的基本原理，讨论空间各种线、面的关系，给出有关的线状构造、面状构造的计算方法和公式。

(一) 矢量与线状构造

1. 直角坐标系中矢量与线状构造的对应关系

在构造地质学中，所有线状构造，例如褶皱的枢纽、节理或断层的擦痕和岩体中的流线；所有的线理，例如矿物生长线理、拉长线理、皱纹线理和交面线理等小型线理，石香肠、窗棂和杆状构造等大型线理，它们都是有一定倾伏方向

的线段。从本质上讲，就是一种矢量。矢量既有方向，又有长短，但在构造地质研究中，只侧重于它的方向。因此，为了便于研究，本书把所有的矢量都视为长度为1的单位矢量，简称么矢。

线状构造通常是以其倾向 ω 和倾角 δ 来确定方位的，若采用右手直角坐标系（图1-1），以 X 指向北，Y 指向东，Z 指向下，则任一线状构造 $\vec{r}$ 在坐标系中的方向数，可表示为

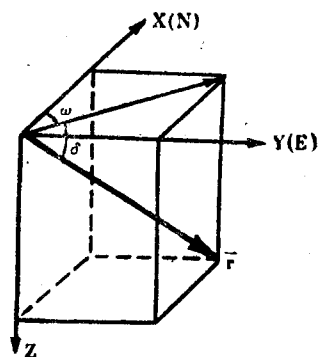


图1-1 直角坐标系中的线状构造 $\vec{r}$

$$\begin{cases} X = \cos\delta \cdot \cos\omega \\ Y = \cos\delta \cdot \sin\omega \\ Z = \sin\delta \end{cases} \quad (1.1)$$

令 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 分别为坐标系的底矢，则线状构造的矢方程为

$$\vec{r} = X\vec{i} + Y\vec{j} + Z\vec{k}$$

反之，当线状构造方向数确定时，也可以求得其产状

$$\begin{cases} \omega = \arctg \frac{Y}{X} \\ \delta = \arcsin (Z / \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}) \end{cases} \quad (1.2)$$

2. 线状构造之间的夹角

当两个线状构造 $\vec{r}_1 (X_1 \vec{i} + Y_1 \vec{j} + Z_1 \vec{k})$ 、 $\vec{r}_2 (X_2 \vec{i} + Y_2 \vec{j} + Z_2 \vec{k})$ 之间的夹角为 α 时，由数量积定义

$$\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2 = |\vec{r}_1| \cdot |\vec{r}_2| \cdot \cos \alpha$$

$$\text{有 } \cos \alpha = \frac{\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2}{|\vec{r}_1| \cdot |\vec{r}_2|}$$

由于单位矢量长度为1，故 $|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2| = 1$ ，所以，在直角坐标系中数量积可表示为

$$\cos \alpha = \vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2 = X_1 X_2 + Y_1 Y_2 + Z_1 Z_2 \quad (1.3')$$

将式 (1.1) 代入上式并化简

$$\cos \alpha = \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos (\omega_2 - \omega_1) + \sin \delta_1 \cdot \sin \delta_2 \quad (1.3)$$

称上式为线角公式。当 $\vec{r}_1 \perp \vec{r}_2$ 时

$$X_1 X_2 + Y_1 Y_2 + Z_1 Z_2 = 0 \quad (1.4)$$

$$\cos (\omega_2 - \omega_1) = -\operatorname{tg} \delta_1 \cdot \operatorname{tg} \delta_2$$

若 $\omega_1 = \omega_2$ 则 $\alpha = |\delta_2 - \delta_1|$

若 $\omega_1 = \omega_2 \pm 180^\circ$ 则 $\alpha = 180^\circ - (\delta_1 + \delta_2)$

(二) 矢量与面状构造

1. 直角坐标系中矢量与面状构造的对应关系

在构造地质学中，所有面状构造，例如褶皱的轴面、断层面、节理面和岩体中的流面；所有的面理，例如片理、劈理、片麻理和矿物的晶面、解理面等，它们都是以其面的倾向 Φ 和倾角 θ 来确定方位的。

若规定面状构造向下的法线方向为法矢方向 (图1-2)，则可用法矢来表示面状构造，从而对平面的研究转化为对矢

量的研究。

当平面法线的倾向为 ω_n 、倾角为 δ_n 时，则平面与其法线的关系可表示为

$$\begin{cases} \omega_n = \varphi \pm 180^\circ \\ \delta_n = 90^\circ - \theta \end{cases} \quad (1.5)$$

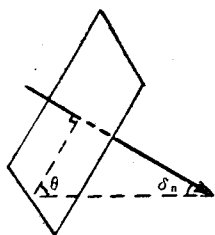


图1-2 平面倾角与其法线的关系

将式(1.5)代入公式(1.1)，得平面的方向数 l, m, n

$$\begin{cases} l = -\sin\theta \cdot \cos\varphi \\ m = -\sin\theta \cdot \sin\varphi \\ n = \cos\theta \end{cases} \quad (1.6)$$

当已知面状构造方向数时，则其产状为

$$\begin{cases} \varphi = \arctg \frac{-m}{-l} \\ \theta = \arccos (n / \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}) \end{cases} \quad (1.7)$$

2. 面状构造之间的夹角

两面状构造 $(\varphi_1 \angle \theta_1, \varphi_2 \angle \theta_2)$ 间的夹角有两个，其一为法矢的夹角 α_1 (图1-3)，其二为法矢夹角的补角 α_2 。将式(1.5)代入式(1.3)，得到两面状构造之夹角

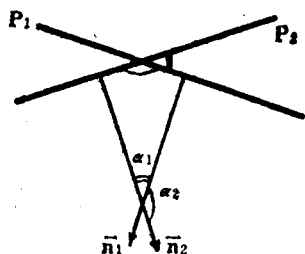


图1-3 面状构造的夹角与其法矢间夹角的关系

$$\begin{cases} \cos \alpha_1 = \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos (\varphi_2 - \varphi_1) + \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \\ \alpha_2 = 180^\circ - \alpha_1 \end{cases} \quad (1.8)$$

称式 (1.8) 为面角公式。

当两面状构造垂直时

$$\cos (\varphi_2 - \varphi_1) = -\operatorname{ctg} \theta_1 \cdot \operatorname{ctg} \theta_2$$

当 $\varphi_2 = \varphi_1$ 时, $\alpha_1 = |\theta_2 - \theta_1|$;

$\varphi_2 = \varphi_1 \pm 180^\circ$ 时, $\alpha_1 = \theta_1 + \theta_2$ 。

3. 面状构造的交线

两面状构造 ($\varphi_1 \angle \theta_1$, $\varphi_2 \angle \theta_2$) 的交线 $\vec{r}$ ($\omega \angle \delta$) 必然同时垂直于两平面的法矢 $\vec{n}_1$ 和 $\vec{n}_2$ 。

根据矢积 $\vec{n}_1 \times \vec{n}_2$ 同时与 $\vec{n}_1$ 和 $\vec{n}_2$ 垂直的原理, 交线 $\vec{r} = \vec{n}_1 \times \vec{n}_2$, 其矩阵形式为

$$\vec{r} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \end{vmatrix}$$

$$\text{即} \begin{cases} X = m_1 n_2 - m_2 n_1 \\ Y = l_2 n_1 - l_1 n_2 \\ Z = l_1 m_2 - l_2 m_1 \end{cases}$$

X 、 Y 、 Z 为两面状构造交线的方向数。将式 (1.6) 代入上式并化简得

$$\begin{cases} X = -\sin \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot \sin \varphi_1 + \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \varphi_2 \\ Y = \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos \varphi_1 - \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos \varphi_2 \\ Z = \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin (\varphi_2 - \varphi_1) \end{cases} \quad (1.9)$$