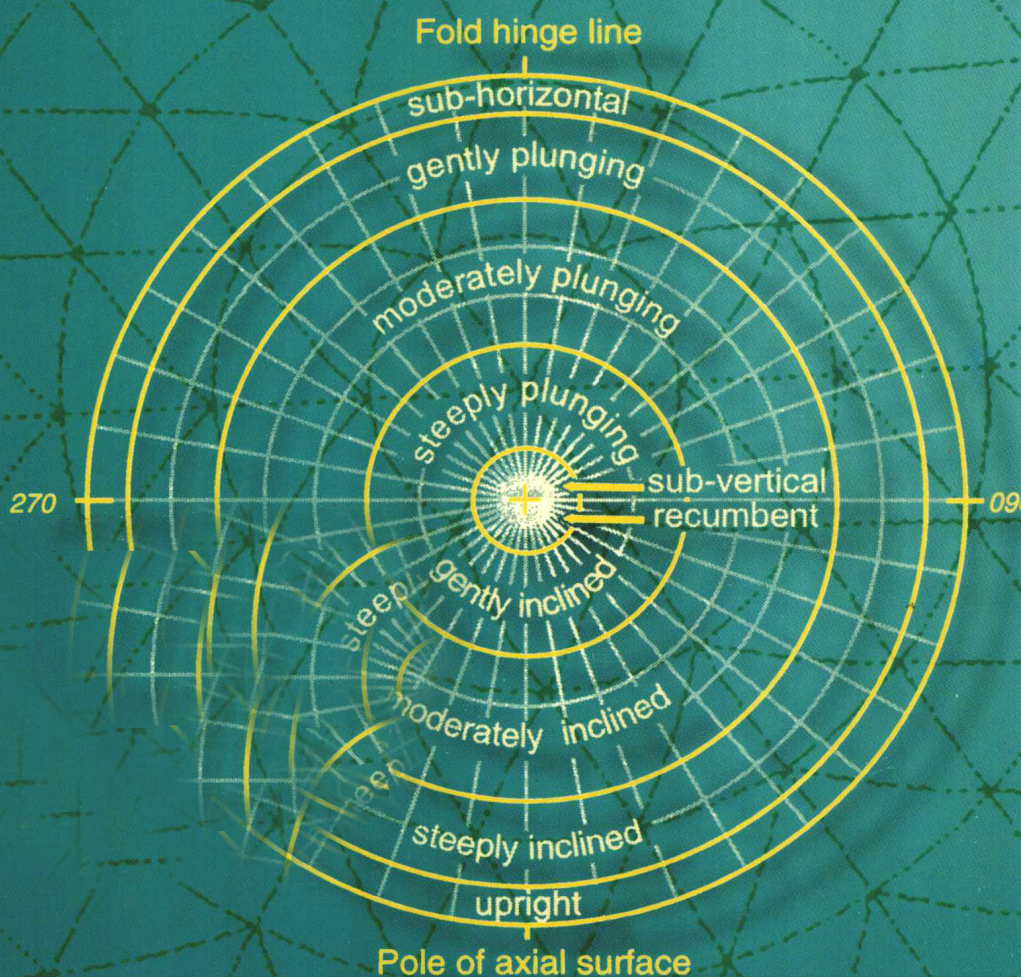


地质构造研究之 极射赤平投影技术

——地质工作者和土木工程师必备工具手册

理查德 J. 莱尔 著
彼得 R. 莱森
张大昌 译



CAMBRIDGE



海洋出版社

地质构造研究之极射赤平投影技术

——地质工作者和土木工程师必备工具手册

理查德 J. 莱尔 著
彼得 R. 莱森

张大昌 译

海洋出版社

2010 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

地质构造研究之极射赤平投影技术/(英)莱尔(Lisle, R. J.), (英)莱森(Leyshon, P. R.)著; 张大昌译. —北京: 海洋出版社, 2010. 11

(地质工作者和土木工程师必备工具手册)

书名原文: Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers
ISBN 978-7-5027-7898-9

I. ①地… II. ①莱… ②莱… ③张… III. ①极射赤平投影-应用-地质构造-研究 IV. ①P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 216258 号

图字:01-2010-5751

[*Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers*], [第一版]
(ISBN-978-0-521-53582-3 paperback) by [Richard J. Lisle and Peter R. Leyshon] first published by Cambridge University Press [1996]

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & China Ocean Press 2010

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and China Ocean Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)销售。

责任编辑: 杨传霞 江 波

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2010年11月第1版 2010年11月北京第1次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:7.75

字数:133千字 定价:38.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

作者简介

理查德 J. 莱尔 (Richard Lisle), 1974 年获伦敦大学帝国理工学院 (Imperial College, University of London) 博士学位, 随后先后在伦敦理工学院 (City of London Polytechnic)、莱顿大学 (University of Leiden)、乌得勒支大学 (University of Utrecht) 和斯旺西大学 (University College, Swansea) 任讲师。1989 年受聘于卡的夫大学 (Cardiff University), 现任该校构造地质学教授。莱尔教授在构造地质学、地质图解释、大地构造与工程地质等学科具有 30 多年的教学经验, 先后还出版了《地质应变分析》(1985 年)、《地质结构和地图》(1995 年)、《现代构造地质学技术: 连续介质力学在构造地质学中的应用》(2000 年) 等著作。

彼得 R. 莱森 (Peter R. Leyshon) 1969 年获伦敦大学 (University of London) 博士学位, 随后的 13 年里先后在津巴布韦地质调查局 (Zimbabwe Geological Survey) 和力拓锌公司 (Rio Tinto Zinc) 任野外地质人员。1973 年起, 任北爱尔兰阿尔斯特理工学院 (Ulster Polytechnic) 环境系构造地质学首席讲师, 并担任系主任。1978 年起, 任威尔士格拉摩根大学 (the University of Glamorgan) 地质系主任, 直到 2002 年退休。

第二版说明

一代又一代的地球科学工作者们都在为恰当地想象地质地层、组构、裂隙和褶皱的三度空间位态而苦恼。极射赤平投影正是以其图形化描绘并巧妙地使用三维方位数据的特殊功能,化解这一苦恼,成为地质和岩土工程工作中的一个必备工具。很多现有的教科书中均附有对极射赤平投影方法的简单介绍,但是都没有对其基本原理予以解说。这使得读者可能不能正确地使用该方法技术,并导致严重错误。

《地质构造研究之极射赤平投影技术——地质学和土木工程师必备工具手册》在编写中力求简单明了,通过实例、图示和练习等,简明扼要地解说这一技术方法,帮助读者将三维空间的问题形象化。本书在编排上采用每两页一章的方式,其中一页为文字叙述,而对页则为相应的图解,从而使得学习更加容易。各级水平的读者都可以通读本书,并从中清晰地懂得如何运用这些重要的技术。

该新版增加了极射赤平投影技术在岩土工程中的应用,改进了图解,并提供了有用的网络资源和软件的链接。它将提供地质学、岩石力学、岩土工程学和土木工程学的学生们进行野外方位数据分析和解释中一个不可缺少的指南。

译者简介

张大昌,1985 年在中国科学技术大学和中国科学院地质研究所完成硕士学位学习后,就职中国科学院地质研究所,任中国地质学会青年工作委员会副秘书长,1996 年获维也纳大学博士学位,入选加拿大“国际科学家百人计划”,1997 年起为加拿大滑铁卢大学博士后,继而任研究员,2000 年起先后在加拿大和美国的数个地质、环境公司工作及为美国联邦土地管理局和美国国家洞穴与岩溶研究所服务,至 2007 年成为美国加利福尼亚州注册专业地质学家和派尼尔地质与环境安全公司总裁。自 2008 年始,抽部分时间回国兼职工作,获外籍专家证书,受聘为贵州毕节学院教授及该院毕节试验区研究院副院长,进行生态脆弱区人和自然和谐发展的研究,同时为中国科学技术大学地球与空间科学系天然气和地质资源研究中心研究员、东华理工大学兼职教授及研究生导师、贵州师范大学客座教授。

电子邮箱:pgneg@yahoo.com

译者序

作为一种将三维空间(或四维)信息表示在二维空间上简便、直观、形象、综合的定量图解工具,极射赤平投影是研究、解决地质构造的几何形态、几何形变和应力分析等多方面问题的重要方法。与其他教科书相比,莱尔和莱森两位教授撰写的该方法指导书有以下三大优越之处。

(一)该书章节编排独特简练,配图清楚,叙述活泼,易于掌握。

(二)古云:授人以鱼不如授人以渔。该书通过实例、图示和练习等,帮助读者知其然,并知其所以然,更深刻全面地了解该方法的基础原理,提高和增进读者的创新思维以及根据需求灵活、准确地深入运用该方法的能力。

(三)基于莱尔和莱森两位教授丰富的实际工作经验,该书通过实例、图示和练习等,阐述地质构造在三维空间的伸展、形变模式及其三维空间(或四维)信息的变化特征。因此,该书甚至可以帮助读者们温习和加深理解有关的地质构造和岩土工程等问题,融会贯通,清晰地懂得如何创造性地运用极射赤平投影技术解决更复杂的问题。

经得莱尔教授和剑桥大学出版社的首肯,我特别地将该书推荐给我国的地质工作者们、土木工程师们、地质构造和岩土工程课程的教师和学生。

张大昌博士
2010年3月于美国硅谷

前言

极射赤平投影是地质学家和土木工程师用于表述和应用三维方位数据的必备工具。它用几何作图的方式展示收集到的数据,这对于优选方位模式的识别和阐释是至关重要的。它又可以借助于许多标准的几何作图对数据进行处理、旋转和分析。虽然计算机软件可以快速地完成数据处理等工作,但极射赤平投影方法具有其直观和形象化的独特优势。

很多现有的教科书都附有对极射赤平投影方法的简单介绍。然而,我们的教学经验表明,许多学生虽然在大多数情况下能够进行必要方法的作图,但并不明白使用该方法的基本原理。他们学习赤平投影方法就像照本宣科地学习烹饪一样,有时可以工作得还好,但往往会严重地出错。本书深入浅出地解说了极射赤平投影的方法,并通过实例、图示和练习等,帮助读者将三维空间的问题形象化。一旦明白了问题的本质,使用投影形式的解释便既符合逻辑,又简明易懂。

本书是为大学构造地质学课程而编著的,对土木工程专业学生学习岩土工程课程也将大有益处。

致谢

我们衷心感谢英国曼彻斯特大学的恩尼·路达教授对修编本书第二版的勉励。感谢格拉摩根大学的托尼·埃文斯帮助绘制了书中一些插图。感谢剑桥大学出版社的苏珊·弗朗西斯博士的大力帮助。最后,我们要感谢我们的妻子安和苏珊在本书撰写中一直给予的支持和鼓励。

目次

1	面状地质构造	2
2	测量和记录面状构造的产状	4
3	线状地质构造	6
4	测量和记录线状构造的产状	8
5	为什么我们需要使用投影法?	10
6	极射赤平投影的原理	12
7	线和面的近似投影法	14
8	练习 1	16
9	极射赤平投影网	18
10	投影平面的精准方法:大圆弧法和极点法	20
11	投影直线的精准方法 1:直线倾伏角已知	22
12	投影直线的精准方法 2:直线侧伏角已知	24
13	两个平面相交	26
14	含有两条直线的平面	28
15	视倾角	30
16	两条直线的夹角	32
17	两个平面的夹角	34
18	两个平面夹角的平分面	36
19	投影直线到平面上	38
20	吴氏网投影和等面积网投影	40
21	极式网	42
22	褶皱分析 1. 圆柱状褶皱和褶轴的倾伏角	44
23	褶皱分析 2. 翼间角和轴面	46
24	褶皱分析 3. 褶皱形态	48
25	褶皱分析 4. 褶皱位态	50
26	褶皱和劈理	52
27	依据劈理分析褶皱	54
28	断层 1. 计算总滑距	56
29	断层 2. 测定应力方向	58
30	圆锥/小圆	60
31	投影圆锥	62
32	绕水平轴旋转	64
33	绕水平轴旋转的应用实例:恢复倾斜地层的原始产状	66
34	旋转的应用实例:恢复古水流	68
35	绕斜轴旋转	70

36	绕斜轴旋转的应用实例:钻孔数据	72
37	等密度赤平图	74
38	叠加褶皱 1	76
39	叠加褶皱 2:子区概念	78
40	褶皱分析实例:布里斯托尔地区	80
41	褶皱的几何分析:取自英国西南地区的实例	82
42	节理分析的实例:英国格拉摩根海岸	84
43	岩土工程中的应用:岩质边坡稳定性	86
44	评估平面破坏:摩擦阻力	88
45	评估平面破坏:不连续面顺坡出露	90
46	评估楔形破坏	92
47	练习 2	94
48	练习解答	97
	附录 1 极射赤平投影网(吴氏网)	99
	附录 2 等面积(兰勃特/施密特)赤平投影网	100
	附录 3 极等面积投影网	101
	附录 4 卡尔斯毕克计数网	102
	附录 5 褶皱位态分类图	103
	附录 6 一些有用的公式	104
	附录 7 投影平面和直线的其他方法	106
	赤平投影计算机程序源参考	108
	其他阅读材料	109
	索引	110

地质构造研究之极射 赤平投影技术

——地质工作者和土木工程师
必备工具手册

1 面状地质构造

在绝大多数露头,岩石都呈现出某种面状构造(planar structure)。大多数沉积岩中可见被称为层理(bedding)的面状构造(图 1a)。层理是沉积岩形成时所生成的原生构造,具有成分、结构或粒度的层状变化特征。一些火成岩也具有类似构造,称为火成岩原生似层理(primary igneous layering),起因于晶体从岩浆沉析出来时,成层状积聚。原生面状构造的定向位态,即所谓产状,能够反映出沉积过程的力学特征。人们测量它们的产状,就可以获得有关古水平线和流体的流动方向等信息。

面理(foliation)是一个通称,泛指岩石中形成的面状构造,包括沉积岩中的层理和由变形作用以及变质作用所形成的面状构造*。由变形作用以及变质作用所形成的面状构造属于次生面理,例如变质岩中的劈理(cleavage)和片理(schistosity)。一些面理可由成分变化所确定;而一些其他类型的面理,如板劈理(slaty cleavage),则是因颗粒或矿物的平行排列所形成的。

劈理面的方向测定经常用于推算岩石地质应变的方向。图 1b 显示岩石中发育了两种面理:原生面理(层理)和次生面理(劈理)。

片麻状条带(gneissic banding)(图 1c)是粗粒变质岩如片麻岩中常见的一种构造。这种次生面理定义为特定矿物聚集形成的似层理构造。

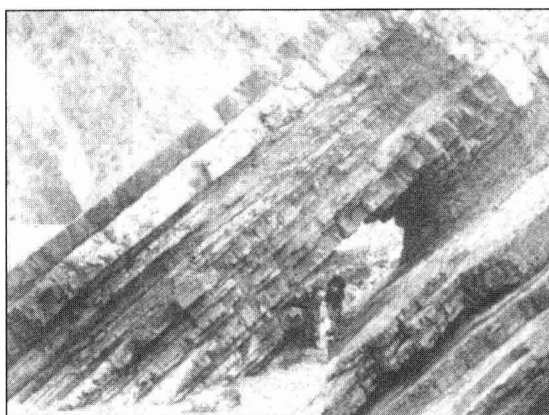
岩石中其他具不连续特征的面状构造则不包括在面理的范畴。例如,节理(joint)(图 1d)是岩石中的裂隙,沿破裂面,两侧的岩块没有发生相对位移或位移不明显。虽然它们的产生只有轻微的构造应变,但它们表征了岩体的不连续性,因而对于岩体的力学性能研究甚为重要。研究节理的产状是进行任何地面斜坡或地下开挖的稳定性分析的一个必要组成部分(见第 86 页)。

断层(fault)(图 1e)是岩石中的破裂面,沿破裂面,两侧的岩体发生相对位移。在一个区域里,测量统计大量的断层面产状可以判断断裂时期的主应力轴方向。

至少在局部范围里,地质体之间的接触面通常可以被视为面状的。接触面两侧的岩体往往平行于层理。但接触面也可以是侵入火成岩的边界面或岩体侵蚀面,例如不整合面。

还有一些面是相对于其他要素的几何学定义。例如,轴面(axial surface 或 axial plane)(见图 1f)可以定义为一个平分褶皱两翼间角度的面。褶皱的正交剖面(profile plane of a fold)是指垂直于褶轴的面。在岩石露头上,这些类型的面并不一定能够展现为可测面。

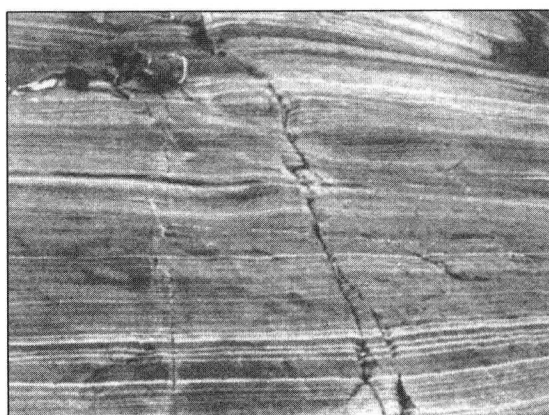
* 译者注:我国一些学者限定面理和线理仅指次生的透入性的面状和线状构造(如,俞鸿年和卢华复,1998. 构造地质学原理. 南京:南京大学出版社,第 153 页. 朱志澄,2004. 构造地质学. 北京:中国地质大学出版社,第 60 页)。



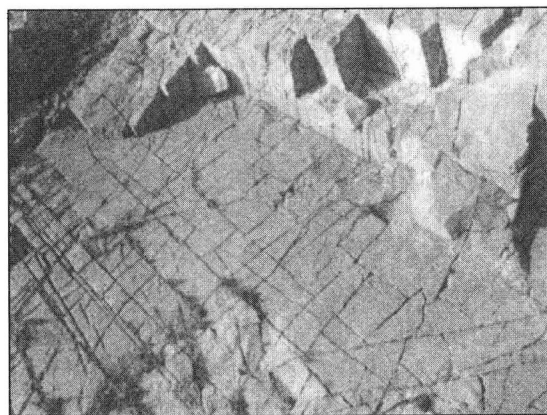
a. 层理



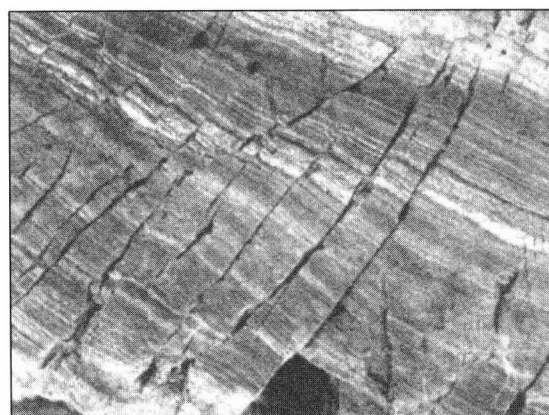
b. 被劈理切割的钙质板岩



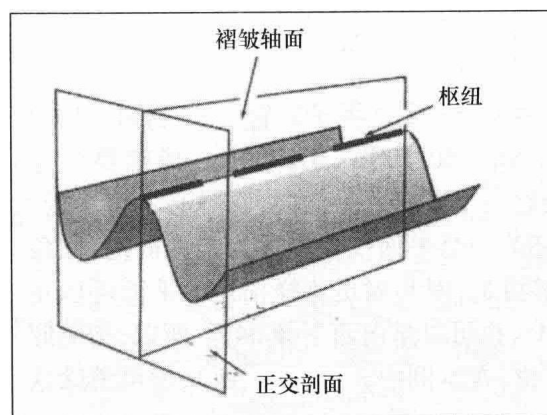
c. 片麻状条带



d. 节理



e. 断层



f. 褶皱

图 1

2 测量和记录面状构造的产状

人们通常测量和记录以下要素来描述面状构造的产状：

- (1) 面状构造的走向 (strike) (图 2a)。面状构造的走向是在该面上水平直线的罗盘指示方向 (或方位)。该水平直线由气泡水准仪或由用于测量倾斜角度的测斜仪所确定, 其方位则由罗盘指读 (图 2c)。
- (2) 面状构造的倾角 (dip) (图 2a)。倾角是一个平面的倾斜角度。水平面的倾角为 0° ; 垂直面的倾角为 90° 。倾角也是用测斜仪来测量, 但是测量方向必须垂直于走向 (图 2d)。
- (3) 倾向 (direction of dip) 可用 8 个罗经点 (北、北东、东、南东、南、南西、西、北西、分别对应于 N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) 中的一个来近似表示, 也可以用方位角 (例如 220°) 来表示。倾向是倾斜最大的方向, 与走向垂直。

书面记录产状的方法是将上述三个产状要素合并并在同一个表述中*：

走向/倾角倾向

这里举 4 个平面的例子。它们分别是：183/54W, 126/33NE, 140/10SW, 072/80N。特别要注意不可遗漏最后一个要素——倾向, 它是必不可少的。例如, 将上述第一个平面仅仅描述为走向向南, 倾角 54° 显然不够清楚, 因为满足这样描述的平面可以是向东下倾 54° , 也可以是向西下倾 54° 。所以, 指明倾向的大致方位 (在本例中, 平面倾向西), 便可消除这种歧义。

请注意在上述的最后一个例子中 (平面 072/

80N) 走向的记录形式是 072, 而不是简写为 72。罗盘定向的三位数记录形式有助于区别走向和倾角, 因为倾角不能超过 90° 。

还有一种流行的平面产状表示方法是：

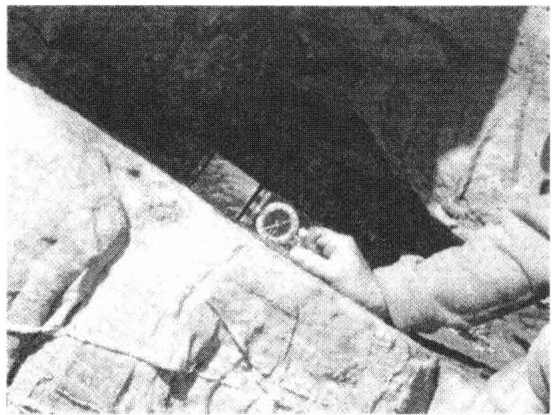
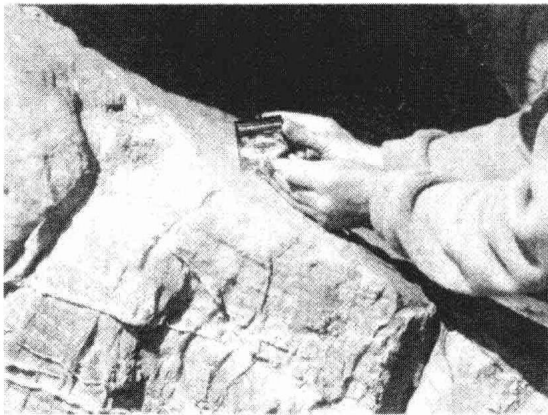
倾向/倾角

根据这一“倾向约定”, 上述的 4 个平面可表示为 273/54, 036/33, 230/10 和 342/80。虽然在实际工作中通常只选用其中一种表示方法, 但了解不同的表示方法仍然很重要。

在地质图上标记面状构造的产状

现代地质图上用来表示面状构造产状的图符的构成是：一条指示面状构造走向的长线, 在面状构造倾斜侧加一个指示倾向的记号到长线上, 在这个记号旁标注倾角。各种类型的面状构造的图符显示在图 2e 中。

* 译者注：我国通用的三种产状要素表示方法是：①走向/倾角倾向, 如 $183^\circ/54^\circ\text{W}$; ②倾向 $\angle$ 倾角, 如 $273^\circ \angle 54^\circ$; ③走向/倾向 $\angle$ 倾角, 如 $183^\circ/\text{W} \angle 54^\circ$ (或 $\text{S}3^\circ\text{W}/\text{W} \angle 54^\circ$)。美国常用的产状要素表示方法是：①走向, 倾角倾向, 如 $183^\circ, 54^\circ\text{W}$ (或 $\text{S}3^\circ\text{W}, 54^\circ\text{W}$); ②倾角, 倾角方向, 如 $54^\circ, 273^\circ$ (或 $54^\circ, \text{N}87^\circ\text{W}$)。考虑到产状要素的数据全部是角度, 角度图符可以省略, 因此本书使用的英国表示方法最为简洁。



3 线状地质构造

对应面状构造,岩石中还有诸多类型的线状构造。

线状沉积构造

线状沉积构造是在沉积过程中形成的原生构造。图 3a 显示一种在砂岩底部陡倾层面上发育的线状构造——波痕尖脊。这些线状构造(大致沿现今层面走向排列)可以给出原始水流方向。当消除沉积后的倾斜变形因素,在恢复岩层原生形态的情况下,这些线状构造的产状可以用来推断古水流方向。

线状构造的构造成因

褶皱枢纽(fold hinge line,图 3b),即同一褶皱面上最大弯曲点的连线,是一个构造成因的线状构造的例子。照片中枢纽向图左侧倾斜或倾伏(plunge)约 10° 。其他构造线类型有矿物生长线理(mineral lineation)(变质构造岩中矿物成线性排列)和拉伸生长线理(stretching lineation)(岩石组分变形拉长成雪茄状并定向排列)。图 3c 显示出变形砾岩中由拉长的卵石构成的线理。

擦痕线理(slickenside lineation)(图 3d)是因断层两侧岩块相对滑动在断层面上形成的痕迹。需在现场测定这些线理,以便提供断层滑动方向的信息。

图 3e 显示变质花岗岩中线状组构。该岩石遭受变形,使长石团块被拉伸成雪茄状。

任何两个非平行平面将彼此相交而产生交线。如此,由两个面状构造交切生成的线称为交面线理(intersection lineation)。

几何线条

还有些其他线条自身可能并不是可视构造,但可以经由几何作图显示出来。例如,物体围绕运动的旋

转轴(rotation axis)(图 3f);平面法线(normal to a plane)(图 3f)、主应力轴(principal stress axis)和褶轴(fold axis)。本书将对它们进一步讨论。