

661163

构造地质学 自学指导与练习

段嘉瑞 何绍勋 主编



地质出版社

ISBN 7-116-00398-3/P·34

定 价： 1.55 元

构造地质学自学指导与练习

段嘉瑞 何绍勋 主编

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书的章节安排与徐开礼、朱志澄主编的教材《构造地质学》基本一致。共分十章，前九章是构造地质学内容；第十章是赤平投影，其中补充介绍了反时针刻度网的投影方法。书中各章节除简要介绍学生应掌握的基本内容外，还简要评述和介绍了有关的参考书，标明了主要参考内容的页码；此外，还列有丰富的思考练习题与练习图，这对学生深入学习主教材是颇有裨益的。参照本书学习主教材，不仅能加深和巩固学习内容，而且还可起到自检学习成绩的目的。

本书适用于各类地质专业学生自学，对函授生尤为适宜；对教师备课和指导学生自学也有一定帮助；也可供野外地质工作者和某些科研工作者学习参考。

※ ※ ※

本书由徐开礼、朱志澄主审，在1986年12月的构造地质学课程教学指导委员会会议上推荐作为构造地质学系列教材出版。

构造地质学自学指导与练习

段嘉瑞 何绍勋 主编

责任编辑：张荣昌

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆印张：7.375字数：170,000

1989年3月北京第一版·1989年3月北京第一次印刷

印数：1—4,370册 定价：1.55元

ISBN 7-116-00398-3/P·345

前 言

本书是构造地质学系列教材之一，是按构造地质学教学大纲及构造地质学课程教学基本要求编写的辅助教材。全书的章节顺序和基本内容与高等学校教材《构造地质学》（徐开礼、朱志澄主编，地质出版社，1989）一致。本书中每个章节内容的基本安排是：

1. 内容提要 摘要介绍本章节的主要概念，基本理论和研究方法。这些提要性内容，学习时都应当掌握。

2. 主要参考书 除高等学校教材《构造地质学》外，本书还简要介绍国内已出版的主要教材及教学参考书，在各章节中标注有主要参考书的编号与页码。学员在学好主教材的基础上可以有选择、有目的地参阅其它参考书，但并不是要求对所列参考书都进行阅读。当然多读参考书可以加深对内容的理解和掌握程度，并提高自学能力与文献查阅能力。

3. 思考与练习 针对基本内容的思考题、练习题、综合分析题及简单的模拟实验等，其中尤侧重于图的分析，以培养学生对三维空间构造形体特征的认识，锻炼制图能力。完成这些思考练习题，将加深和巩固本课程的学习内容，培养分析能力，也可以检查自己的学习成绩。

参阅本书学习构造地质学，可以达到帮助自学，启发思考，巩固和加深对教学内容的理解。本书适用于函授教学也可供本科学生开展自学使用。学生参阅本书，不仅可以更好地进行自学，而且还可达到自检学习成绩的目的。

本书由中南工业大学地质系段嘉瑞、何绍勋主编，主审为徐开礼和朱志澄。该书编写过程中参阅了各院校编写的构造地质学复习、练习材料，并得到广大同仁的热诚帮助，地质矿产部构造地质学课程教学指导委员会对本书的编写给予了具体的指导和支持，特予致谢。

由于编者水平有限，又是初次尝试，书中难免错误之处，敬请读者指正！

编 者 1988. 1

目 录

第一章 绪论	1
一、中心内容.....	1
二、内容提要.....	1
三、构造地质学主要参考书及编号.....	2
第二章 沉积岩的原生构造及其产状	3
§ 1. 原生构造的类型及其地质构造意义	3
§ 2. 岩层的产状、厚度和出露特征	5
§ 3. 地层接触关系	9
第三章 构造地质分析的力学基础	12
§ 1. 应力分析	12
§ 2. 变形分析	15
§ 3. 影响岩石力学性质与岩石变形的的主要因素	21
第四章 褶皱	24
§ 1. 褶皱和褶皱要素	24
§ 2. 褶皱的几何形态、褶皱的描述、褶皱的类型及其组合形式	26
§ 3. 褶皱的形成机制	32
§ 4. 褶皱的观察与研究	38
第五章 节理	43
第六章 断层	49
§ 1. 断层要素、位移和断层分类.....	50
§ 2. 正断层、逆断层、推覆构造、平移断层、顺层断层、区域性大断裂及 韧性剪切带的基本特点.....	52
§ 3. 断层的形成机制	57
§ 4. 断层的观察与研究	58
第七章 劈理与线理	65
§ 1. 劈理	66
§ 2. 线理	69
第八章 岩浆岩体的构造研究	72
§ 1. 岩浆岩体的产状及其构造控制	72
§ 2. 岩浆岩体的原生构造和次生构造	74
§ 3. 岩浆岩体构造的观测和研究	77
第九章 变质岩区的构造研究	80
§ 1. 变质岩区构造特征	81

§ 2. 变质岩区的构造解析	84
第十章 极射赤平投影在构造地质学中的应用	89
§ 1. 极射赤平投影的基本原理	89
§ 2. 基本作图方法	92
§ 3. 赤平投影在地质构造分析中的应用	98

第一章 绪 论

一、中心内容

本章主要是介绍构造地质学的研究对象、内容、研究意义和研究方法，同时还介绍构造地质学的主要参考书及在本书中的编号。

二、内容提要

1. 什么是地质构造 地质构造是地壳的岩层或岩体受力作用后发生变形的产物(如褶皱、断层、节理、各种面状与线状构造，以及晶体的结晶方位、内部结构与成分的变化等等)。

2. 地质构造学研究的范围是地壳或岩石圈。

3. 地质构造的基本类型 这些内容包括褶皱、断层、节理、面理(劈理、片理等)、线理、侵入体及微观构造。

4. 各类地质构造的主要研究内容

(1) 构造几何学研究 包括形态、方位、产状、规模、级次、分布及组合规律等。

(2) 形成条件和形成机制研究 主要是研究构造的形成环境与形成过程，如形成时的物理化学条件及时间因素；运动学与动力学研究等。

5. 构造尺度问题(I. 1; XII. 13; XII. 2) 地质构造研究对象的尺度很广，大至地壳结构，小到晶格变形，但是，不同规模的构造无论是构造特征，还是研究方法都有一定差别，因此按构造的尺度(即构造的规模)一般划分为下列几种类型：

(1) 大型构造 涉及较大区域的构造。这类构造不能对它直接观察研究，而只能由组成它的较小构造的综合分析才能查明其特征。

(2) 中型构造 从许多露头能综合成完整形态的构造。

(3) 小型构造 从手标本到单个露头能观察到完整形态的构造。

(4) 显微构造 在光学显微镜下能识别研究的构造。

(5) 亚显微构造(超微观构造) 用电子显微镜、X光法等非光学方法认识、研究的构造。

本课程的重点是中型和小型构造。

6. 构造地质学是地质学的重要分科，是进行各种地质工作的基础。无论何种地质工作，几乎都离不开构造研究。构造地质研究在理论上可以揭示地壳构造的演化和地壳运动、岩石变形规律及其动力来源等问题。实践上可指导和解决矿产地质、水文地质、工程地质及地震地质等多方面的有关问题。

7. 构造地质学的研究方法：

(1) 野外观测法 这是一切地质构造研究的基础，经常采用的方法有地质制图法、剖面观测法和典型露头观测法。

(2) 测试鉴定法 对构造标本和样品用显微镜、电子显微镜、x射线测角仪等进行微观构造观测,并用化学分析、光谱分析及电子探针等进行物质成分分析。

(3) 遥感地质法 常用方法有航空目测、航空像片解译及卫星等遥感图像解译。

(4) 物探、钻探及坑探等勘探工程法。

(5) 综合分析法 将孤立、分散的地质现象,观测与测试成果及数据进行综合对比研究,以查清总的构造特征。

(6) 构造模拟试验 用实验方法对地质构造或构造的某些要素进行模拟再造,以探索其形成过程和形成环境及条件。如光弹模拟试验;泥巴、石蜡等材料的简易变形实验;高温、高压变形实验;电子计算机数学模拟试验等等。

8. 构造地质学的学习方法是在理解的基础上记忆(对基本概念一定要记住);建立构造形体、要素的三维空间概念,并作各种必要的图示练习。对每一种构造现象都应当做到在野外能识别及测量,并能用有关的地质图表示出来,还要对其作理论解释。

9. 本课程实际包括构造地质与地质制图两部分,主教材的“附本”(参考书Ⅱ)主要是构造制图学。本书的思考练习题也有大量作图练习,制图是构造研究的一种重要手段和基本技能,通过制图能加深理论认识。因此,应当在理论学习的同时,重视并学好地质制图课。

三、构造地质学主要参考书及编号

在本书中,参考书标注为“I.46—48”,其中“I、Ⅱ、Ⅲ……”为参考书编号,“46—48”为页码。例如“I.46—48”为徐开礼等主编的“构造地质学”第46—48页。

I. 构造地质学 徐开礼、朱志澄主编,地质出版社,1989

Ⅱ. 构造地质学(附本) 徐开礼、朱志澄主编,地质出版社,1989

Ⅲ. 构造地质学原理 俞鸿年、卢华复主编,地质出版社,1986

Ⅳ. 地壳变形 马托埃著(1980),孙坦、张道安译,地质出版社,1984

V. 构造地质学(几何方法导论) 拉根著(1973),邓海泉、徐开礼等译,地质出版社,1984

Ⅵ. 构造地质学纲要 霍布斯、明斯、威廉斯著(1976),刘和甫等译,石油工业出版社,1982

Ⅶ. 地球构造导论 斯宾塞著(1977),朱志澄等译,地质出版社,1981

Ⅷ. 构造地质学原理 希尔斯著(1972),李叔达等译,地质出版社,1981

Ⅸ. 应力与应变 米恩斯著(1976),淮南煤炭学院译,煤炭工业出版社,1980

X. 固体力学基础 王仁等著,地质出版社,1979

Ⅺ. 构造地质学中的赤平极射投影 何绍勋著,地质出版社,1979

Ⅻ. 变质构造岩的构造分析 特纳、韦斯著(1963),刘和甫等译,石油工业出版社,1978

XⅢ. 构造地质学 阿日吉列著(1956),秦其玉等译,中国工业出版社,1966

XⅣ. 构造地质学 狄塞特尔著(1956),张文佑译,科学出版社,1964

XV. 构造地质学 毕令斯著(1954),张炳熹等译,地质出版社,1959

XⅥ. 岩石有限应变测量及韧性剪切带 郑亚东、常志忠主编,地质出版社,1985

XⅦ. 岩石的褶皱作用和断裂作用 兰姆赛著(1967),单文琅等译,地质出版社,

1985

第二章 沉积岩的原生构造及其产状

一、中心内容

1. 沉积岩的分布面积占地表面积的75%，是三大岩类中地表分布最广的一类。各种地质构造如褶皱和断层，以在沉积岩中发育得最好，最明显。这是由于沉积岩（包括火山岩）是层状岩石，发育成层构造所致。许多构造就是由岩层的产出状态及相互关系表现出来的，因此，研究沉积岩的成层构造是地质构造研究的基础。

2. 本章的主要内容分三部分：

- (1) 沉积岩层的原生构造；
- (2) 岩层的产状、厚度和露头形态；
- (3) 地层的接触关系。

二、主要参考书

I. 5—24 基本阅读内容

II. 33—38 介绍地质图的基本概念、作图方法、岩层产状、露头形态及地层接触关系在地质图及地质剖面图上的表现及作图方法。

III. 4—31 在沉积结构和沉积构造一章中介绍各种原生构造的类型和特征，以及地层的接触关系。内容丰富，讲解详细。

XII. 54—84 在岩石的层理、不整合及间断一章中讲层理类型及各种地层接触关系。内容很丰富。

§ 1. 原生构造的类型及其地质构造意义

一、内容提要

1. 沉积岩层的原生构造是沉积岩在沉积时及成岩作用过程中形成的构造；由构造作用形成的构造称为次生构造；在地表由重力、冰川及风化作用等非构造运动作用形成的构造叫表生构造。原生构造、次生构造和表生构造，不仅形成时间不一致，更主要的是其成因不同。它们可以同时并存于同一岩层中。一般所说的地质构造主要是指次生构造，因为其发育最广泛，意义也最大，所以一般都将“次生”二字省略。但当讨论原生或表生构造时一般均不能省略原生或表生二字。

2. 原生构造有沉积岩原生构造和岩浆岩原生构造。沉积岩的原生构造主要有层理、层面构造、生物遗迹、结核、缝合线及叠锥等等。层理构造在构造研究中意义最大。

3. 层理是在物质沉积及成岩作用中形成的将岩石分割成层的原生构造。层理符合“层序律”，即在正常产状时，老的在下，新的在上。

岩层 是指由同一种岩性的岩石组成的由顶、底界面所限定的成层岩体。

地层 是指同一个地质时代的岩层组合。

4. 层理的基本类型有平行层理、波状层理和斜层理。

5. 层理是构造变形的起始面。因此，正确的观察和识别层理是一项极为重要的工作。层理的主要识别标志是岩石成分的变化、结构的变化和颜色的变化，存在于层面上的原生构造——波痕、泥裂、雨痕、象形印模等也帮助识别层理。

6. 层理观察的另一构造意义是解决岩层的面向问题，即正确确定岩层的顶面和底面。这对确定地层的新老顺序是很重要的。在野外，若岩层顶面向上，底面朝下，说明地层为正常层序；若顶面朝下、底面朝上则说明地层是倒转层序。倒转层序是岩层经历了强烈构造变动的结果。原生构造是识别岩层顶、底面的主要标志。几种常见的用来判别岩层面向的主要原生构造是：

(1) 斜层理 顶割底切，斜分层向底收敛；

(2) 粒级层 底粗、顶细；

(3) 泥裂 “V”尖指底，瓦片状泥裂片的凹面指顶，凸面指底；

(4) 对称波痕 波峰指顶，波谷指底，顶尖底圆；

(5) 雨痕、冰雹痕及其铸模 凹形印痕为顶面，凸形铸模为底面；

(6) 冲刷面 指顶面，它保留有冲刷痕迹；

(7) 古生物化石 叠层石凸面指顶，并向上分枝，介壳的凸瓣指顶，古植物根系向底面分叉。

二、主要参考书

I. 5—10 基本阅读内容。

VII. 4—25 详细介绍各种原生构造的特征、成因及应用。

XIII. 54—74 详细地讲层理的类型、特征及成因。

三、思考与练习

1. 什么是沉积岩的原生构造？它有哪些主要类型？

2. 层理有哪些基本类型？怎样识别层理？

3. 层理、岩层、地层是同义词吗？它们有什么区别？

4. 观察标本，认识各种层理类型，掌握层理的识别标志。

5. 何谓正常层序？何谓倒转层序？

6. 在图2—1的示意地质剖面图上指出岩层层序是正常还是倒转，并指出岩层的倾向及面向（顶、底面）。

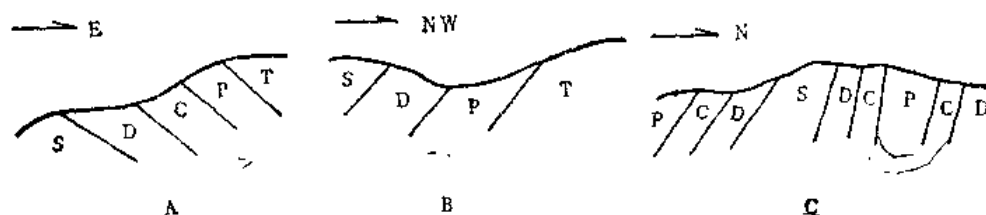


图 2—1 地质剖面图

S—志留系；D—泥盆系；C—石炭系；T—三叠系

7. 你能理解下列规律吗？

(1) 在野外顺岩层倾向观测，若层序正常，岩层时代将越来越新，如果层序倒转则

越来越老。请绘出相应的示意剖面图。

(2) 当岩层倾向与地面坡向一致, 但岩层倾角小于地面坡角度时, 顺岩层倾向观察, 若层序正常, 所观察到的地层时代会越来越老。

8. 请观察沉积岩原生构造的标本及模型, 描述其特征, 指出其面向, 并作素描图(I. 5—6)。

9. 掌握利用原生构造确定岩层面向(判别顶、底面)的方法。

10. 图2—2为某地的一个实测地质剖面。该剖面无化石, 但原生构造发育, 请在图上判别:

- ① 原生构造的类型;
- ② 岩层的顶面及底面(面向);
- ③ 各段岩层的层序是正常还是倒转。

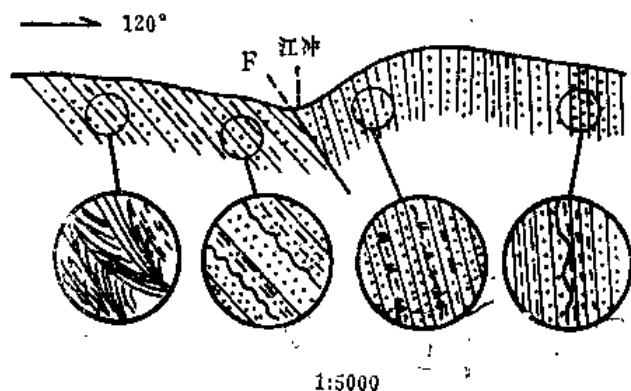


图 2—2 江冲地质剖面图
F—断层

§ 2. 岩层的产状、厚度和出露特征

一、内容提要

1. 岩层产状指岩层在三维空间中的产出状态。岩层产状用岩层面与水平面的关系来确定, 用走向、倾向、倾角三个产状要素来定量表示。走向是岩层面与水平面的交线(走向线)的方向; 倾向是岩层面上与走向线垂直的倾向线在水平面上的投影线所指的岩层下倾的方向, 与走向线不垂直的倾向线叫视倾向线, 它的水平指向叫视倾向; 倾角(真倾角)是倾向线与其水平投影线之间的夹角; 视倾向线与其水平投影线之夹角叫视倾角。

2. 岩层的产状是最基本最重要的构造要素, 不仅岩层面, 其它各种面状构造如节理面、断层面、劈理面等等都用产状要素来表示其空间位态。野外工作中应当准确地测量岩层及其它面状构造的产状。

3. 岩层产状一般用罗盘测量, 必要时可以用经纬仪等测量仪器精确测量。

4. 产状的表示方法

(1) 走向倾向记录法 $NE25^\circ/\angle 40^\circ SE$, 表示走向为 $NE25^\circ$, 倾向南东倾角 40° 。

(2) 倾斜记录法 $SE115^\circ < 40^\circ$ (或 $115^\circ < 40^\circ$), 表示倾向 115° , 倾角 40° 。这

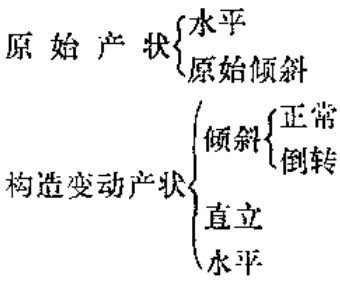
是最常用的记录方法。

(3) 象限角记录法 $S20^{\circ}W \angle 60^{\circ}$ ，表示倾向南偏西 20° （即方位角 200° ），倾角 60° 。此法不常用。

(4) 平面地质图上的表示方法 用产状符号“ \neg ” 30° 表示正常的岩层产状，长线表示走向线，短线表示倾向，都按其方位角标绘，数字表示倾角；“ ∇ ” 70° 表示倒转岩层产状；“ \perp ”表示直立岩层产状，箭头指向新地层；“ \pm ”（横竖等长）表示水平岩层产状。

(5) 剖面图上可用分数式标注岩层产状，分子表示倾向，分母表示倾角。

5. 岩层的产状类型



6. 水平岩层 水平岩层是指岩层面近于水平，即倾角近于 0° 的岩层。原始水平岩层是未经历褶皱等强烈构造变动的水平岩层。在有构造变动的地区，亦可局部出现经构造变动的水平产状，例如平卧褶皱发育地区，它反映构造十分强烈。水平岩层的特点表现在以下几方面：

- (1) 原始水平地层的时代愈新的出露位置越高，时代越老出露位置越低；
- (2) 露头形态完全受地形控制；
- (3) 在地形地质图上地质界线与等高线平行；
- (4) 岩层厚度是岩层顶底面的高差；
- (5) 岩层厚或地形缓者其露头宽，反之，岩层薄或地形陡者其露头窄。

7. 倾斜岩层 除由于沉积盆地边缘的倾斜等因素可以使岩层的原始产状造成小角度原始倾斜外，绝大部分倾斜岩层都是构造变动造成的。如果在较大范围内岩层的倾斜都相同，可称为单斜岩层或单斜构造。不过大多数倾斜岩层都是褶皱的一翼或断层的一盘。倾斜岩层可分为正常倾斜和倒转倾斜。而倾角为 90° 的直立岩层则是一种特征的产状，它是倾角近于 90° 的倾斜岩层。

8. 岩层面上除真倾斜外的其它方向的倾斜线，是视倾斜线，通过两个视倾斜产状可以用赤平投影法、图解法或数学计算法等方法求出真倾斜产状。

9. 岩层顶、底面之间的垂直距离为岩层的真厚度；顶底面之间的铅直距离为岩层的铅直厚度；不垂直岩层走向的任意剖面上的岩层顶底面距离为岩层的视厚度。

10. 岩层露头的水平宽度主要反映在平面地质图上，该宽度与岩层厚度、产状及地形坡度有关。

11. 地质界线是地质体的界面（如岩层的层面等）与地面的交线，它控制着地质体在地面上的出露形态和范围。

12. 水平岩层的地质界线是一条与地形等高线平行或一致的曲线。

13. 直立岩层的地层界线在地质图上是一条直线。

14. 倾斜岩层地质界线的形态比较复杂，一般呈弯曲的曲线，它弯曲的原因有两方

- 而：（1）当岩层面是平面时，受地形起伏的影响而弯曲；
 （2）当岩层面本身就是一曲面（即发生了褶皱）时，其地质界线兼受层面和地形影响而形成复杂的曲线。

15. 岩层面平直的倾斜岩层（包括褶皱岩层的局部平直层面），它的地质界线的弯曲形态受岩层倾向、倾角和地形坡向、坡角相互关系的控制。两者之间关系的规律称为“V”字形法则。“V”字形法则简表如下（表2—1）：

“V”字形法则简表				表 2—1
岩层倾向与 地形坡向	岩层倾向与 地形坡度角	野外地质界线“V”尖指向		在地形地质图上地质界线 与地形等高线的弯曲方向
		沟谷中	山脊上	
相反	倾角>或<坡角	V尖指上游	V尖指山下游	相同
相同	倾角>坡角	V尖指下游	V尖指山上游	相反
相同	倾角<坡角	V尖指上游	V尖指山下游	相同，界线曲度大

在地质填图工作中，特别是在大比例尺地质制图工作中应用“V”字形法则对于勾绘局部地质界线来说具有明显的指导意义。

16. 一个岩层或矿层在某点的埋藏深度除与该点的地形标高有关外，主要取决于岩层的倾角，倾角越大，埋深也大。埋藏深度的正确计算，在钻孔等勘探工程设计时很重要。

二、主要参考书

- I. 10—18 基本阅读内容。
- II. 35—38 水平岩层和倾斜岩层在地质图上的特点，在地形地质图上求岩层产状和切割剖面图。

V. 1—28 讲岩层产状及其测量表示方法，岩层厚度、埋藏深度及“V”字形法则，附有详细图解，并有思考练习题。

三、思考与练习

1. 什么叫岩层产状？产状要素有哪些？怎样测量岩层产状？产状的记录方法有哪些种？怎样在各种图上表示产状？
2. 请用罗盘在野外岩层露头上或室内不同方向的倾斜板上测量10个产状，并作记录和表示在平面图上。
3. 岩层产状有哪些基本类型？
4. 为什么各地岩层的产状会不同？为什么有些地方以水平产状为主？不同的产状所反映的构造变动强度怎样？
5. 何谓真倾斜和视倾斜？真、视倾斜各有几个？真、视倾斜的关系怎样？
6. 野外露头上测得同一层面的二视倾斜产状为 $10^{\circ}\angle 45^{\circ}$ 和 $172^{\circ}\angle 30^{\circ}$ ，请用赤平投影法（II.15—16；XI.59）、数学计算法（I.12—13）和图解法（V.5）求该层面的真倾斜产状。
7. 实测地层剖面上某分层测量的导线方位角是SE 116° ；坡度角为一 16° ；导线长（即

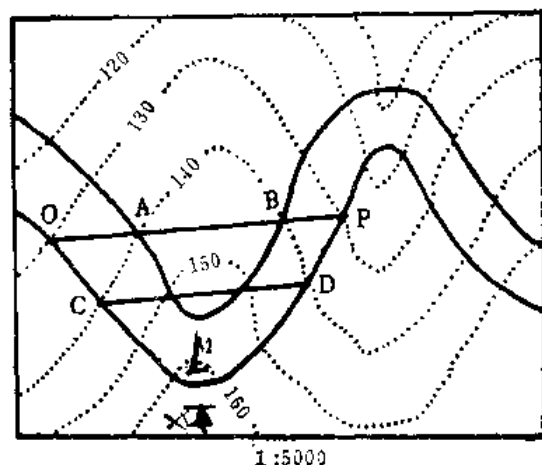


图 2—3 在地形地质图上求岩层产状和厚度

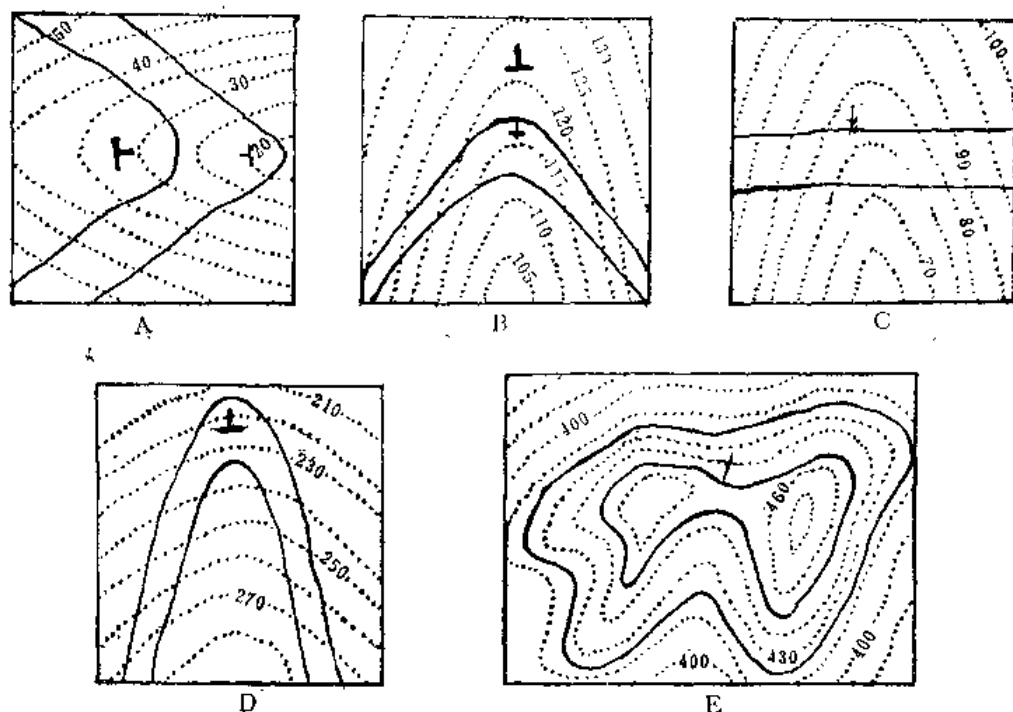


图 2—4 各种岩层产状的地形地质图

分层斜距)为28m;岩层产状为SW260 \angle 42°。试用计算法(Ⅱ. 83)和赤平投影法(Ⅺ. 94)求出该分层的厚度。

8. 图2—3是一幅大比例尺地形地质图。试从图上分析下列关系:

(1) 求出岩层M的真倾向和真倾角 α 。

(2) AB、CD分别为岩层M顶面和底面上500m标高的走向线。请在图上量出两条走向线的水平距离EF; 求出该层真倾角 α ; M层的厚度 ($h = EF \cdot \sin \alpha$); 铅直厚度 ($H = EF \cdot \tan \alpha$)。

(3) AB为岩层M顶面上500m标高走向线, OP为M层底面上475m标高的走向线, 这两条走向线重合了, 请分析为什么会重合? 并计算M层的铅直厚度和真厚度。

9. 图2—4A、B、C、D、E都是地形地质图。虚线为等高线; 实线是地质界线。试用“V”形法则判断岩层的走向和倾向, 并用产状符号标出。

10. 图2—5是一张地形图。103、104、105三点是野外地质填图中实测的石炭系 (C) 与二叠系 (P) 二地层的界线点。岩层产状如图所示, 请用“V”形法则勾绘出C与P的地质界线 (勾绘出界线的弯曲方向)。

11. 分析图2—6上a、b、c、d各点地形与岩层产状和地质界线的关系 (注意: b、c两点所处的微地形, 当加密该两点处的等高线, 表示出地形细节时, 便可知道b、c处地质界线弯曲的原因)。

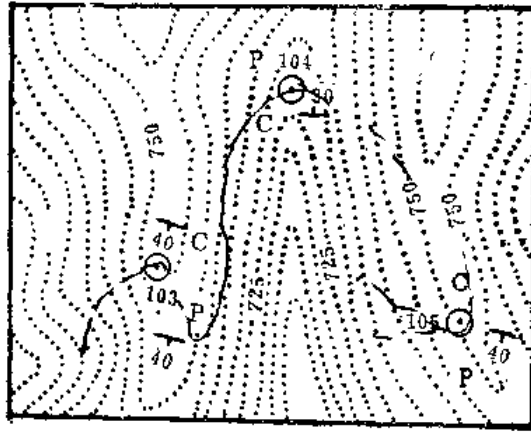


图 2—5 在地形图上应用“V”形法则勾绘地质界线
C—石炭系; P—二叠系

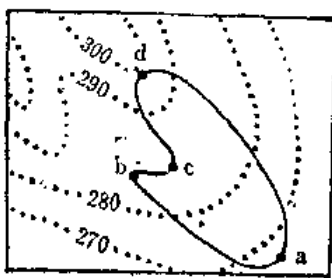


图 2—6 分析地质界线弯曲的原因

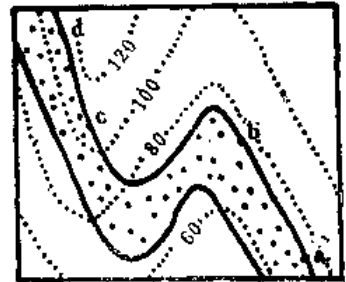


图 2—7 分析岩层产状

12. 倾岩岩层地质界线的局部地段会与等高线平行吗 (即在野外看似水平)? 为什么? 试分析图2—7上的岩层倾向何方? ab与cd两段地质界线为什么会与等高线平行?

13. 作实习四。读凌河地质图 (Ⅱ.38—40)

14. 作实习五。根据岩层产状要素编制倾斜岩层地质图 (Ⅱ.40—42)。

15. 作实习二。在松溪地形地质图上求铁矿层的埋藏深度 (Ⅱ.36—38)。

§ 3. 地层接触关系

一、内容提要

1. 地层接触关系是指不同时代新老地层之间接触面的性质和特点, 它反映了地壳运动的性质和演化历史。

2. 地层接触关系的基本类型分为两类, 即整合接触与不整合接触。不整合接触又分为平行不整合 (假整合) 和角度不整合。本文献和参考书上还经常见到其它一些不整合类型及术语。如隐蔽不整合、海侵不整合、海入不整合、岩层嵌入、地理不整合、局部不整

合 (XIV.75—79) 及小间断、大不整合、超覆和退覆 (Ⅷ.28—30) 等等。

3. 整合接触与不整合接触的直接标志是接触面上、下地层之间的沉积层序有无间断及二者的岩层产状是否一致。整合接触的上、下地层间无沉积间断 (连续沉积), 岩层产状一致。平行不整合的上、下地层之间有明间的沉积间断 (缺失某一个或某些地层), 但岩层产状一致, 故又叫假整合。角度不整合的上、下地层之间有明显的沉积间断, 且岩层产状不同。

4. 沉积间断是由于地壳上升成陆地, 从而造成沉积间断并遭受风化剥蚀。它的识别标志是:

(1) 上、下地层间缺失某些地层或化石带;

(2) 地层厚度, 特别是接触面相邻层的厚度在一定范围内有明显的横向变化, 反映接触面起伏不平;

(3) 在上、下地层的接触面——不整合面上保存有风化剥蚀的痕迹——古剥蚀面, 或存在底砾岩、古风化壳及古土壤层等。

5. 角度不整合的构造标志

(1) 上、下地层产状有明显差异, 若走向相近则倾角不同;

(2) 上、下地层的褶皱、断裂、劈理等构造的类型、方位、期次、强度等等不同;

(3) 上、下地层经受的变质作用及岩浆作用的期次、强度、类型及特征等不同。

6. 各类接触关系的成因及意义 接触关系的性质反映当时的地壳运动性质不同。

(1) 整合接触反映沉积盆地处于持续的下降运动, 或者虽然上升, 但沉积作用并未间断;

(2) 平行不整合接触反映沉积盆地下降接受沉积, 然后上升成陆地并遭受剥蚀, 但未发生褶皱, 以后再下降重新沉积;

(3) 角度不整合接触反映下降接受沉积, 然后褶皱上升并遭受剥蚀, 还可能伴有岩浆作用及变质作用, 以后再下降接受沉积 (一个角度不整合, 常常反映了一次区域性的造山运动);

7. 不整合接触的研究要点

(1) 研究上、下两套地层时代, 确定不整合的存在及时代;

(2) 研究上、下两套岩系的构造特征, 如岩层产状, 褶皱与断层的方位、类型及特征, 劈理、线理等构造的发育情况等等;

(3) 上、下两套岩系的岩石性质, 如变质程度的差别等等;

(4) 不整合面的形态, 古风化壳及底砾岩的特点等 (需要注意: 有些地区由于后期顺不整合面发生断层, 从而使不整合面难以识别);

(5) 研究不整合面的空间展布与变化;

(6) 研究不整合面的含矿性, 特别是古风化壳矿床的找寻。

8. 地质图上各种接触关系的表现特征

(1) 整合接触的各地层的地质界线互相平行, 产状一致;

(2) 平行不整合接触的上、下地层的地质界线也互相平行, 产状相近;

(3) 角度不整合接触的下伏地层的地质界线被不整合界线交切, 如果未被交切, 则倾角与上覆岩层有明显差异。

二、主要参考书

I.18—24 基本阅读内容。

VIII.25—31 介绍沟渠沉积、沙丘、礁等沉积层的接触关系，还讲述超覆和退覆等接触关系。

XIV.74—89 介绍多种接触关系类型及研究方法。

三、思考与练习

1. 图2—8为四幅地质图，请分析各图地层之间的接触关系的类型，作出AB剖面示意图，并解释其成因。

2. 图2—9为一地质图及其图切剖面，你能理解不整合面之下的地层分布与构造吗？

3. 图2—10为某地区地质图，试分析该图上各地层之间的接触关系；恢复该地区的地壳运动史；并作出AB示意剖面（地形由自己设计）。

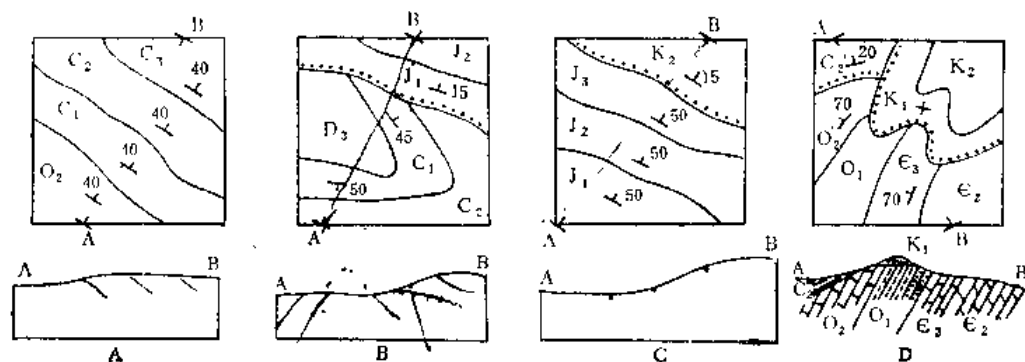


图 2—8 分析地层的接触关系
(各图AB剖面由学员完成)

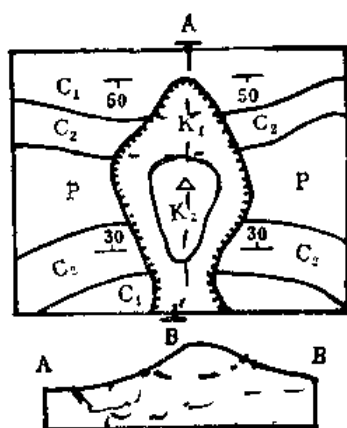


图 2—9 分析被不整合面覆盖的地层与构造
(下面剖面图由学员完成)

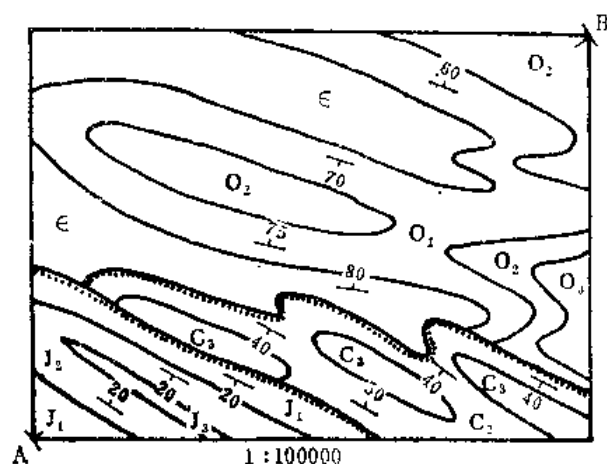


图 2—10 某区地质图

第三章 构造地质分析的力学基础

一、中心内容

1. 地质构造是岩石受力产生变形的结果。力与构造存在密切的因果关系, 在分析构造时除了认识其几何形态外, 还必然涉及它的形成过程和影响因素, 特别是构造的力学性质和特征。也就是所谓构造的形成机制问题。本章的中心是介绍应力分析和应变分析的基本概念以及影响岩石变形的主要因素。

2. 有关构造地质分析的力学基础涉及到力学方面的许多领域, 如理论力学、材料力学、弹性力学、断裂力学以及流变学等等。学习和掌握这些力学基础对构造地质的深入分析研究当然是必要的。但对初学者来说很难作到这一点, 因此在本章仅作简要介绍。

二、主要参考书

I. 25—61 基本阅读内容。

III. 108—115 介绍几种在地质学中较常应用的破裂理论, 包括最大张应力理论、最大线应变理论、库伦-莫尔理论、格里菲斯理论和奥德理论。

VI. 4—18 除介绍基本力学概念外, 还着重介绍了应力、应变分析理论和方法。

XI. 全书 该书作者是著名构造地质学家和教师。书的内容着重于基本力学知识, 内容简明, 并附有练习题, 是最适于学生学习的参考书。

X. 全书 该书是地质专业开设力学基础课的主要参考书, 内容系统、全面, 适于初学者使用。

§ 1. 应 力 分 析

一、内容提要

1. 主要名词 (I. 25—26、IV. 32—48)

(1) 力是物体间相互作用的一种矢量, 它有大、小和方向, 是改变物体的机械运动状态或内部结构的动力。

(2) 外力是一物体施于另一物体的力。通过接触面传递的外力叫面力, 物体内部每个质点都受到的外力叫体力。构造地质中主要是讲面力。

(3) 内力是物体内部各质点间相互作用力, 无外力作用时的内力叫固有内力, 它使物体保持一定形状。当外力作用时, 物体内部各质点间的内力要改变, 这个改变量叫附加内力, 附加内力会使物体变形或破坏。本课将附加内力简称为内力。内力与外力大小相等。

(4) 应力是单位面积上的附加内力, 一般用符号“ σ ”表示。

(5) 与外力垂直的面上的应力称主应力, 当面与外力不垂直时, 作用于该面上的应力要发生分解, 按平行四边形法则, 分解为垂直于面的正应力 (直应力) σ 和平行于面的剪应力 (切应力) τ 。正应力可以是压应力, 使物体压缩; 也可以是张应力, 使物体拉伸。

剪应力 τ 使物体内部质点沿一定的面剪切滑动。关于应力符号，不同学科采用不同的符号，一般在工程地质及岩石力学中压应力为正（ $\sigma > 0$ ），张应力为负（ $\sigma < 0$ ）（I.62、Ⅱ.34）本书也这样采用，但在材料力学中则恰好相反，采用压应力为负，张应力为正。同样，本书与一般工程地质一样，规定使物体有顺时针滑动趋势的剪应力为负值（ $\tau < 0$ ），使物体有逆时针滑动的剪应力为正值（ $\tau > 0$ ）。但也有人采用相反规则。

2. 应力状态与应力椭球（I.26—28、Ⅱ.49—56）；

（1）受力物体内部任一点可有三个互相垂直的面上的剪应力为零，这三个面叫主平面（应力主平面、主应力面）。作用于三个主平面上的正应力叫主应力，分别用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示。主应力作用的轴线叫主应力轴。当三对主应力相等时，物体体积改变而形状不变；当其不等时，则 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ，最大主应力 σ_1 与最小主应力 σ_3 之差称为应力差。

（2）应力椭球体是用三个大小不等，符号相同的主应力矢量 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 为半径的椭球体，它代表作用于一点的全应力状态。椭球体的三个轴是应力轴，过二个主应力轴的椭球体切面叫应力椭圆。在构造分析中很少用应力椭圆。

（3）受力物体内任一点的空间应力状态有三种：

- ① 三轴应力状态，是三个主应力都不等于零；
- ② 双轴应力状态，是两个主应力不等于零，一个等于零；
- ③ 单轴应力状态，是一个主应力不等于零，二个等于零。

3. 二维应力分析与莫尔圆（I.28—33、Ⅱ.66—79）。

（1）应力分析是探讨受力物体内任意点上的应力状态及过该点的任意切面上所受的正应力与剪应力的大小及相互关系。只考虑两个应力的叫二维应力分析。

（2）在单轴应力状态下，在切面法线与主应力轴成 α 角的任意切面上，主应力 σ_1 与正应力 σ 及剪应力 τ 的关系式为

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{2}(1 + \cos 2\alpha) \quad (3-1)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1}{2}\sin 2\alpha \quad (3-2)$$

（3）莫尔应力圆是表示受力物体中一点的二维应力状态的图解，圆周上的任一点，代表一个法线与主应力轴成 α 角的切面，在莫尔圆上可以求出该切面上的正应力与剪应力值。单轴应力状态的二维应力莫尔圆在以 τ 、 σ 为纵、横座标的直角坐标系中，圆心在 $(0, \frac{\sigma_1}{2})$ ，半径为 $\frac{\pi}{2}$ 。

（4）从莫尔圆及式（3—1）、（3—2）计算均得如下结论：

- ① 任意切面上所受的正应力 σ 及剪应力 τ 的大小与该切面与主应力轴 σ_1 的夹角有关；
- ② 垂直于主应力轴的切面上正应力最大，而剪应力为零；
- ③ 与主应力轴成 45° 交角的切面上剪应力最大，该切面称为最大剪应力作用面；
- ④ 与主应力平行的切面上既无正应力，也无剪应力；
- ⑤ 两个相互垂直的切面上正应力之和不变，且等于主应力值；
- ⑥ 两个互相垂直的切面上，剪应力值相等，方向相反，称为剪应力互等定律。

（5）双轴应力状态下，在法线与最大主应力轴 σ_1 的夹角为 α 的任意切面上，正应力

σ 和剪应力 τ 与主应力 σ_1 、 σ_2 的关系式为

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha \quad (3-3)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha \quad (3-4)$$

(6) 双轴应力状态的应力莫尔圆圆心坐标是 $\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}, 0\right)$ ，半径为 $\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)$ 。

(7) 双轴应力状态下任意切面的主应力状态

① 截面上的正应力和剪应力值取决于二主应力的大小和性质，以及截面与主应力轴的交角；

② 当切面垂直 σ_1 平行 σ_2 时切面上正应力为 σ_1 ，剪应力为零，当切面平行 σ_1 并垂直 σ_2 时，切面上正应力为 σ_2 ，剪应力为零；

③ 与主应力轴 σ_1 呈 45° 及 135° 的切面上剪应力最大；

④ 物体内一点上的二维应力状态有八个类型，即静水拉伸、一般拉伸、单轴拉伸、拉伸压缩、纯剪应力、单轴压缩、一般压缩、静水压缩 (IX 76)；

4. 三维应力分析

在三维应力分析中，对与某一个主应力平行的切面上可分别作二维应力分析，并作出应力莫尔圆，当 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 或 $\sigma_1 > \sigma_2$ 、 $\sigma_3 = 0$ 时均可作出三个互切的莫尔圆，圆周上各点分别代表与某一主应力平行的各切面上的应力状态，圆之间的各点代表与三应力都不平行的各切面上的应力状态。

5. 应力场、构造应力场、应力轨迹和应力集中 (I. 35—38, IX. 105—114)

(1) 岩体内一系列瞬时的点应力状态组成的空间叫应力场。应力场可分为均匀应力场与非均匀应力场两类。

(2) 构造应力场是指地壳中一定范围内某一瞬时的应力状态。按其研究范围分为全球性、区域性及局部性构造应力场等类型。按其相互关系则可分为主应力场，次级应力场及派生应力场等。应力场的时效很重要，有地质历史期间，某构造变形期的应力场（古构造应力场）及现代构造应力场等等。

(3) 应力轨迹（应力迹线、应力网络）是应力的作用线，将各点的同应力作用线相联便得一个应力场的应力轨迹图。可编出各主应力（主压应力或主张应力）轨迹图和最大剪应力迹线图。

(4) 岩体中有先存裂隙、孔洞等部位会出现应力集中现象。在地质构造中先存断裂的末端、拐点、分枝交叉点最易出现应力集中。应力集中还与应力方位、性质及岩石的脆性等有关。

二、思考与练习

1. 一个应力矢量 $\vec{\sigma}$ 作用于平面P上， $\vec{\sigma}$ 与P之法线夹角为 60° ，绘出该平面上之正应力与剪应力图解。

2. 绘出下列二维应力状态的应力椭圆。

(1) $\sigma_1 = 300 \text{ MPa}$, $\sigma_2 = 150 \text{ MPa}$

(2) $\sigma_1 = \sigma_2 = 80 \text{ MPa}$

(3) $\sigma_1=200\text{MPa}$, $\sigma_2=0$

3. 在单轴应力状态下, 最大正应力切面和最大剪应力切面与主应力轴 σ_1 的夹角是多少? 并请用莫尔圆说明之。

4. 分别绘出同一应力状态的椭圆和莫尔圆, 其 $\sigma_1=1\text{GPa}$, $\sigma_2=0.7\text{MPa}$, 对比二种图解法哪一种更能完整地表示二维应力状态。

5. 已知 $\sigma_1=9\text{MPa}$, $\sigma_2=3\text{MPa}$, 用莫尔圆求出与 σ_1 方向夹角为 45° 和 30° 的平面上的正应力 σ 和剪应力 τ , 并用公式 (3—1, 3—2) 验证之

6. 已知两个正交平面 P、M 上的 σ 和 τ , 用莫尔圆求 σ_1 、 σ_2 的方向和数值。

已知 P、M 上的应力为:

平 面	σ	τ
P	220MPa	110MPa
M	-220MPa	-110MPa

7. 用莫尔圆证明

(1) 任意二互相垂直的平面上的剪应力总是数值相等, 方向相反;

(2) 在已知的应力状态下, 任意二正交平面上正应力之和是一个常数。

8. 分析在图3—1内, 断裂构造的集中部位。

9. 作光弹模拟实验, 了解应力分布及应力轨迹。

10. 复习下列术语概念: ①外力、内力和应力; ②正应力和剪应力; ③主应力; ④单轴、双轴和三轴应力状态; ⑤应力场、构造应力场及应力轨迹; ⑥应力莫尔圆; ⑦局部构造应力场和区域构造应力场、主应力场和派生应力场。

11. 请写出单轴应力状态下, 作用于法线与 σ_1 呈 α 角的任意截面上的正应力和剪应力的计算关系式, 并指出正应力最大和剪应力最大面与主应力轴 σ_1 的夹角。

12. 什么叫应力集中现象, 你能用应力集中现象解释一些断层长期地多期活动的原因吗?

13. 构造应力场可以用哪些方法表现出来?

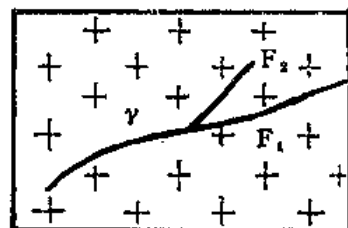


图 3—1 分析断裂构造^γ的应力集中部位
γ—花岗岩; F—断层

§2. 变 形 分 析

一、内容提要

1. 变形分析 (应变分析) 是当代构造地质学研究进展最快的领域, 它能解释各种地质构造的形成过程和影响因素, 并探讨变形与应力的关系, 从而解决构造的形成机制问题。应变的测量和分析, 使构造研究从定性的几何描述发展为定量的研究。本书介绍变形分析的基本概念某些简易的分析方法。

2. 本节要求掌握变形的基本概念、变形阶段、应变椭球体及其应用。递进变形过程

等基本理论。

3. 变形和应变

(1) 变形是物体受力后, 其内部各质点相对位置的变化, 包括形状改变、体积改变、或形状、体积同时改变。有的学者将物体位置及方位的变化也属变形范围 (VI.16、V.29), 并把变形分为平移 (直移)、旋转 (转动)、畸变 (形状改变) 和体变 (体积改变)。

(2) 应变是物体的变形程度, 是指物体在某一时刻的形态与其初始未变形时的形态差别。可分为线应变与剪应力两种。

(3) 线应变指物体变形前后的相对伸长和缩短。

① 在简单拉伸变形时, 纵向线应变 (拉伸) ϵ 与横向线应变 (缩短 ϵ_0 的绝对值之比是一个常数 ν , 即 $\nu = \frac{|\epsilon_0|}{|\epsilon|}$, ν 称为泊松比。 $\left(\epsilon = \frac{L - L_0}{L} = \frac{\Delta b}{b} \right) \frac{\Delta L}{L}, \epsilon_0 = \frac{b - b_0}{b}$ 。线应变又称为伸长度, 或用 “ e ” 表示。

② 直线的长度比是变形后的长度 (L) 与变形前的长度 (L_0) 之比, 即

$$S = \frac{L}{L_0} = \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} = (1 + \epsilon)$$

③ 直线的平方长度比 $\lambda = \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 = (1 + \epsilon)^2$, ϵ 、 S 、 λ 都是表示直线相对变化的符号。

(4) 剪应变是测量直线的角度变化, 若原来互相垂直的二直线, 经简单剪切变形后, 这二直线夹角变成 $(90^\circ - \phi)$, ϕ 叫做剪切角。剪应变 $\gamma = \tan \phi$ (IX.126—127)。

(5) 主应变面是只有线应变而无剪应变的面, 在三维变形中有三个互相垂直的主应变面, 相应的有三个主应变方向称主应变轴。它们是最大伸长的方向为最大应变轴 A ; 最大缩短方向为最小应变轴 C ; 介于二者之间的是中间应变轴 B 。

(6) 岩石变形的基本方式有拉伸、挤压、剪切、弯曲和扭转第五种。前三种叫均匀变形, 即岩石各部分的变形性质、方向和大小都相同。非均匀变形是岩石中各点变形的性质、方向、大小均不同的变形, 如弯曲与扭转。在研究中常将不均匀变形的整体划分为若干均匀或近似均匀变形的单元来研究。

4. 岩石变形阶段

(1) 岩石受力变形, 经历弹性变形、塑性变形和断裂变形三个阶段。

(2) 岩石受力发生变形, 力取消后又恢复到变形前的状态, 这种变形称为弹性变形。弹性变形的应力与应变成正比。

(3) 岩石受力发生变形, 当应力超过岩石的弹性极限时, 去掉外力也不能恢复到变形前的状况, 这种变形称为塑性变形。塑性变形是永久变形, 可形成各种地质构造。

塑性变形是岩石在固态下的流变。它是一系列变形作用的表现, 主要的有晶格位错、重结晶作用、压溶作用和粒间滑动 (如晶体旋转) 等等。

(4) 根据岩石塑性变形阶段的应变大小, 岩石变形可分为韧性、中等韧性和脆性等类型。

(5) 岩石受力变形, 当应力达到或超过其强度极限时, 岩石的结合力被破坏, 产生破裂面, 称为断裂变形。岩石断裂变形的方式有张裂和剪裂两种。

5. 剪裂角分析 岩石受力破裂时会产生一对共轭的剪切破裂面。莫尔-库仑准则讲剪裂面上的应力状况, 及其与最大主应力轴 σ_1 的关系; 格列菲斯准则讲岩石裂面发生的过程及其应力状况 (Ⅲ.108—115)。

(1) 岩石剪切破裂时, 包含最大主应力 σ_1 的两共轭剪切破裂面之间的夹角称为共轭剪切破裂角。 σ_1 与剪裂面间的夹角称为剪裂角。理论上, 最大剪应力作用面与 σ_1 夹角是 45° , 沿其发育的剪裂面与 σ_1 夹角也应是 45° , 因而共轭剪裂角理论上应是 90° 。但实验及野外观察的剪裂角均小于 45° , 共轭剪裂角小于 90° , 通常均为 60° 左右。

(2) 岩石剪裂面不沿最大剪应力作用面发育, 因而共轭剪裂角常小于 90° , 其原因是剪裂面的发育不仅与剪应力有关, 而且与作用于该面上的正应力大小有关; 同时还与岩石的抗压和抗张强度、围压大小、岩石中的先存微裂隙、以及流体、温度等因素有关。考虑这些不同的影响因素, 就出现对剪裂角分析的不同理论。

(3) 库仑剪切破裂准则 该准则认为岩石剪切破裂不仅与截面上的剪应力有关, 而且与该面上的正应力有关。正应力大, 内摩擦力也大, 岩石不易破裂。因此, 剪裂在剪应力稍小且与正应力适当组合的截面上发生, 导致共轭剪裂角小于 90° , 其大小取决于内摩擦角 φ , 即 $2\theta = 90^\circ - \varphi$ 。其关系式为 $\tau = \tau_0 + \sigma_n \tan \varphi$ 。

(4) 莫尔剪切破裂准则 此准则认为一种岩石的内摩擦角 φ 不是一个常数, 据莫尔理论, 一种岩石所能承受的最大极限剪应力(剪切破裂面上的剪应力)是剪切面上正应力(σ_n)的函数; 即 $\tau_n = f(\sigma_n)$ 。

(5) 格里菲斯准则 解释脆性材料的破裂过程, 认为脆性材料的断裂是由微小的无定向的先存微裂隙扩张而成, 微裂在岩石受力时产生应力集中而扩张。

6. 应变椭球体 (I.47—49、IX.131—136)

(1) 一个球体在均匀变形时变成椭球体, 叫应变椭球体。椭球体的三个主直径的方向称为主应变方向, 取 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 分别平行于A、B、C三个主直径, $\sqrt{\lambda_1}$ 、 $\sqrt{\lambda_2}$ 、 $\sqrt{\lambda_3}$ 分别为球体在三个主方向上的半径。 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的值, 称为主应变。椭球体中包含任意两个主方向的平面叫主应变面, 它是一个椭圆切面。

(2) 应变椭球体有一对共轭的圆切面, 二圆切面的交线是中间主应变方向, 它们与 λ_1 的夹角相等, 二圆切面是等变形面。

(3) 单剪变形是一簇平行于剪切方向的相互平行的质点平面在应变过程中不变形, 且与变形前平行; 而其它方向上质点线的方位却是不断变化的。单剪属旋转变形。纯剪变形应变椭球体主轴的质点线在变形前后方位相同, 纯剪是非旋转变形。

7. 递进变形 (VI.29—35)

(1) 在同一动力的持续作用下, 应变状态会发生连续不断的变化, 这种变形过程称为递进变形(或称渐进变形)。它包括增量应变和有限应变两部分。

(2) 增量应变(又称瞬时应变或无限小应变)是变形过程中某一瞬间正在发生的一个无限小应变。有限应变又称总应变或全量应变, 它是变形过程中某一时刻已经发生的应变总和。

(3) 图3—2表示单剪变形的递进变形过程, 示意性地表示了单剪变形的增量应变与有限应变。 t_0-t_1 为递进变形过程, 第一排 t_0-t_1 、 t_1-t_2 、 t_2-t_3 各期间的增量应变, 包括线应变与剪应变。第二排①、②、③、分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 时期的有限应变。例如②之有限应

变是有限应变①叠加 t_1-t_2 间的增量应变的产物，而有限应变③则为 t_3 之前全部增量应变的总和。需要强调指出，图3—2只示意性地表示增量应变与有限应变的关系，因为增量应变是无限小应变，而本图表示的应变是很大的。而且增量应变是瞬时的，这里的 t_0-t_1 、 t_1-t_2 等显然要长些，但该图主要说明某时的有限应变是它之前无数增量应变的总和。

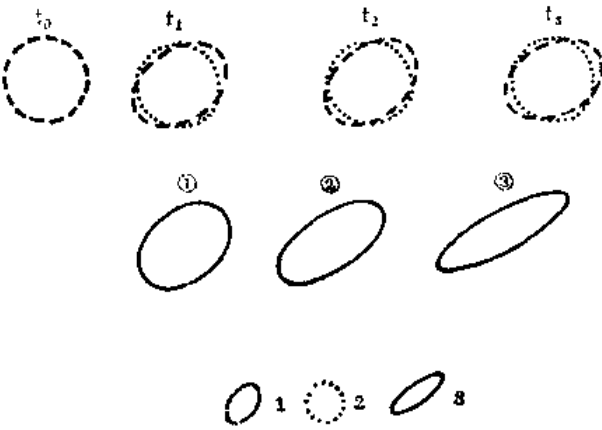


图 3—2 单剪变形中有限应变与增量应变的关系示意图解
1—增量应变椭圆；2—单位圆；3—有限应变椭圆； t_1 、 t_2 、 t_3 —时间；①、②、③— t_1 、 t_2 、 t_3 时刻的有限应变椭圆

(4) 共轴递进变形是增量应变的主应变轴与有限应变主应变轴保持一致，纯剪递进变形就是典型(I.51、图3—38)。

(5) 非共轴递进变形是增量应变的主应变轴与有限应变主应变轴在各变形瞬间都相不平行，单剪变形就是一例(I.51—53、V.36)。

8. 变形岩石的应变测量

应变测量就是通过岩石某些变形标志物的测量统计分析，来确定岩石中有限应变的状态及其分布规律。应变测量可以解决的问题包括：

- (1) 恢复应变场，确定主应变轴及主应变面的产状；
- (2) 确定应变量；
- (3) 分析岩石中各部分的应变状态及其变化规律。

应变测量分析是构造地质定量分析的重要内容。测量对象统称为应变标志物。这些标志物可分为两类：

- (1) 原始为圆球或椭球状的标志物，如鲕粒、砾石、变质斑晶、岩屑或粒状矿物及其集合体、结核、气孔等等；
- (2) 原始非球状任意形体的标志物，包括原始线、角成明显对称关系的矿物、变形化石、晶体等，以及小型构造，如压力影、矿物生长线理、石香肠、面理、线理、节理以及小褶皱等等。

二、主要参考书

- I. 38—51 为简明的基本教材，是本节基本要求。
- III. 108—115 介绍常用的破裂理论。
- V. 29—51 分为应变概念和应变分析两章，前者对递进变形(叠加应变)阐述尤为简明，后者介绍应变分析的一些方法和实例，并附有练习题。
- VI. 16—47 是应变分析的现今最权威的著作，除阐述基本概念外，还列有各种计算或表达式，对有限应变理论、均匀应变图解——弗林图解、递进变形和增量应变概念及应变测量方法等等阐述简明全面。
- IX. 121—256 较全面地介绍变形分析的基本理论和某些分析方法，并附有练习题，书中某些较难掌握的章节，初学者可按该书提示(IX.1)暂时略去。

XVI. 全书：简明地阐述有限应变测量的基本原理，介绍应变测量方法及成果分析。

三、思考、练习与实验

1. 求图3—3中每一组格栅线的 ϵ 、 S 、 λ 、 ϕ 和 γ (X126—127)。

2. 表3—1是红色砂岩立方体做压缩实验的实验数据。

请作出应力-应变曲线 (I.41—42)。

砂岩立方体的破裂形态呈一顶角约50度的锥体，请分析其成因。

3. 低碳钢圆柱体做拉伸实验，实验数据如表3—2。当应力达5100kg时，力不增加应变增加；应力达7000kg时钢件中部出现颈缩。其应力减小，应变仍继续进行，至6001kg时，断开。断口呈截顶锥形，断面粗糙。请绘制该应力-应变曲线，并分析应变过程 (I.41图3—20, VII.61)。

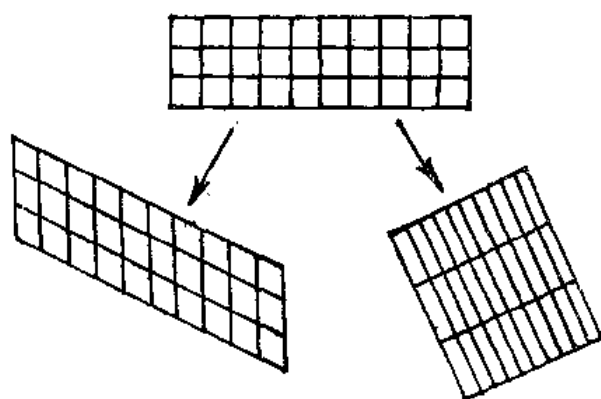


图 3—3 求应变量

砂岩压缩实验数据

表 3—1

$\sigma(\text{kg/cm}^2)$	1000	2000	3000	4000	4300	4301
$\Sigma(\%)$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.044	破裂

低碳钢拉伸实验数据

表 3—2

$\sigma(\text{kg/cm}^2)$	0	2500	3700	5000	5100	5100	7000	6000	6001
$\Sigma(\%)$	0	0.01	0.016	0.025	0.03	0.04	0.07	0.11	断

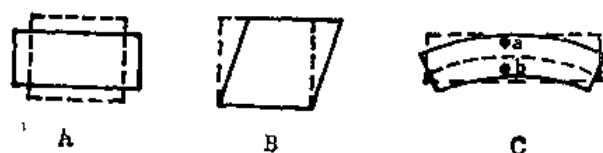


图 3—4 岩石的基本变形方式
虚线—变形前；实线—变形后

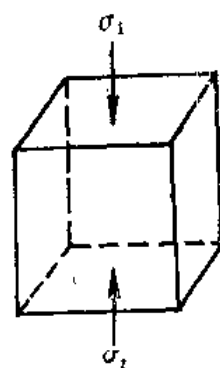


图 3—5 分析砂岩块受力作用后可能的剪破裂面

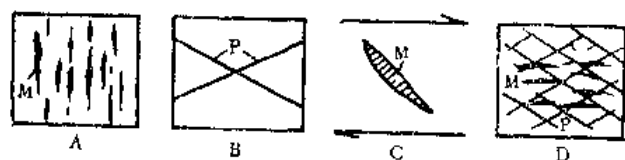


图 3—6 根据破裂面绘变形椭圆
M—张性破裂面；P—剪切破裂面

4. 说明图3—4的岩石变形方式, 分析C图a、b两点的变形方式及拉伸方向。
5. 为什么在野外露头上观察到的大多数共轭剪节理的夹角小于 90° 。
6. 图3—5是一块砂岩立方体, 当它受力 σ_1 作用时, 请画出其可能的剪切破裂面及张破裂面。
7. 野外节理测量结果发现, 泥质岩石中的共轭剪节理的夹角常常比砂岩中的共轭剪节理夹角大, 这是为什么?
8. 请根据图3—6上的张性破裂面M及剪切破裂面P绘出各图的变形椭圆、主应变轴及 σ_1 的方向。
9. 图3—7的ab、cd为质点线, A图为未变形的原始正方形及其内切圆, 请分析图B、C属单剪变形还是纯剪变形, 为什么?

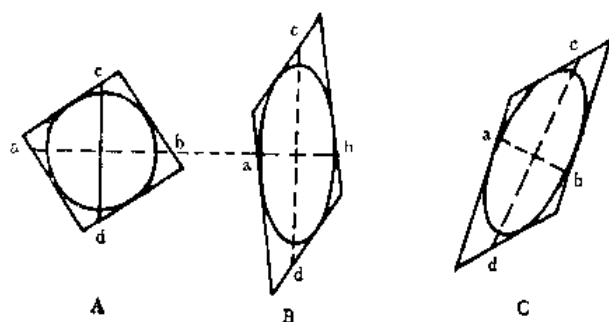


图 3—7 分析单剪变形和纯剪变形



图 3—8 卡片垛单剪变形实验
(据 D. M. Ragan, 1973)

10. 卡片垛模型实验 (V.30—32; IX.133、217—223) 请你用一垛卡片或扑克牌作单剪变形实验 (图3—9)。

(1) 在卡片垛一侧绘一圆, 使卡片各面作均匀剪切滑动, 观察应变椭圆的形成及发展。

(2) 应变主轴及其变化 (线应变与剪应变)。

11. 泥巴模拟实验 取 10cm^3 的细粘土软泥 (不能含沙), 再用两块 $20 \times 20\text{cm}^2$ 的薄木板便可做泥巴模拟实验。

(1) 压缩实验 将软泥做成厚约 3cm , 边长 10cm 的泥饼 (图3—9A), 表面抹光滑, 在中部用直径约 5cm 的圆瓶盖压出一个圆形, 然后用两块木板挤压泥饼边缘, 这时, 饼面的圆印将逐渐变成椭圆, 并在平行椭圆长轴方向出现小褶皱, 然后出现垂直长轴的张裂隙, 以及与挤压轴成小于 45° 角的一对共轭剪裂隙。

(2) 拉伸实验 将厚约 1.5cm 的泥饼置于两块拼合的木板上 (图3—9B), 泥饼表面抹光滑, 将两块木板沿垂直拼合线方向缓缓拉开。注意观察拼合线附近的泥饼表面将首先出现一对共轭剪裂隙, 其锐角对着拼合线; 接着会出现与拼合线平行的张裂纹 (可能追踪剪裂隙形成锯齿状)。请将实验结果绘下来, 再绘出应变椭圆, 分析和解释应变过程。

(3) 单剪实验 将厚约 1.5cm 的泥饼置于两块拼合的木块上 (图3—9C), 泥饼表面抹光滑。将两块木板顺拼合线作剪切滑动。观察泥饼表面, 在拼合线两侧首先将出现一对共轭剪裂隙, 其中一组剪裂隙与拼合线夹角约小于 15° , 另一组则约为 75° ; 然后可能出现张裂隙。请将实验结果绘下来, 再绘出应变椭圆, 分析解释单剪变形。

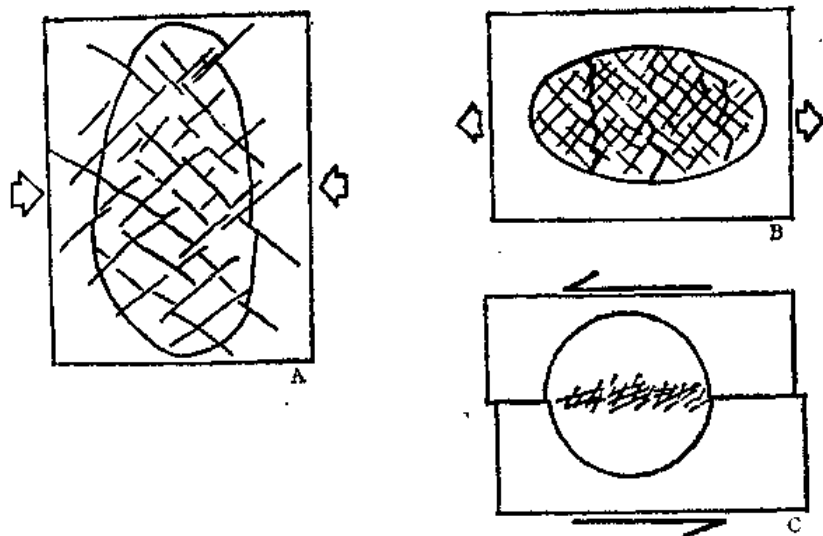


图 3—9 泥巴实验结果素描

A—压缩；B—拉伸；C—剪切

12. 岩石与软钢的压缩、拉伸试验 使用万能材料试验机，试件选用砂岩和软钢。砂岩应采用质软、均匀的细砂岩，将其切成边长4cm的立方体；软钢应加工成长20cm，直径0.7cm的圆柱体。

(1) 砂岩试件的压缩实验 将试件置于试验台上缓缓施压力。连续记录力与试件缩短的数值；观察试件破裂过程。首先出现平行施力方向的裂隙；然后全部破裂，试件将破碎成锥状体。测量锥顶角（即共轭剪裂角）。

(2) 软钢试件的拉伸实验 将试件夹在试验机上，缓缓施力拉伸。连续记录力及其对应的拉伸数值，观察试件变形（拉伸—颈缩—断开）的过程，注意断口的切顶锥状形态，测量锥顶角（即共轭剪裂角）。锥顶断口的粗糙断面属张裂面。

(3) 根据实验数据作应力-应变曲线（I.41—42），并分析解释变形过程及结果。

13. 复习下列术语、概念

① 变形和应变；② 线应变和剪应变；③ 均匀变形和非均匀变形；④ 剪裂角与 共轭剪裂角；⑤ 应变椭球体、主应变轴及主应变面；⑥ 单剪与纯剪，旋转变形与非旋转变形；⑦ 递进变形；⑧ 增量应变与有限应变；⑨ 共轴递进变形与非共轴递进变形。

14. 线应变 ϵ 、直线的长度比 δ 和平方长度比 λ 三个应变值的涵义是什么？

15. 岩石变形方式的主要类型是哪些？

16. 岩石受力变形一般经历哪几个阶段，你能画出脆性材料和韧性材料的应力-应变示意曲线吗？

17. 岩石的破裂方式有那几种？

18. 为什么剪裂角常小于 45° ，请用莫尔-库伦剪切破裂准则解释之。

19. 什么叫应变测量？

§ 3. 影响岩石力学性质与岩石变形的主要因素

一、内容提要

1. 影响岩石变形的因素

- (1) 力的大小、方向和性质;
- (2) 岩石的力学性质;
- (3) 变形的环境条件, 包括围压、温度、溶液和孔隙压力;
- (4) 时间。

2. 岩石的力学性质除决定于岩石性质(如成分、结构、构造)外, 还取决于变形环境条件(即围压、温度、溶液、孔隙压力)以及岩石的变形速率和作用力的大小、方向和性质。这些都是影响岩石力学性质的主要因素。

3. 围压大小决定于岩石的埋藏深度。围压增大, 可以增强岩石的韧性, 表现出较强的塑性变形, 同时又提高岩石的强度, 使岩石不易破裂。

4. 温度升高, 可增强岩石的韧性而易于塑性变形。

5. 溶液是指岩石中的水汽及水溶液, 溶液增加可加强岩石的韧性, 使岩石软化, 同时利于重结晶作用, 从而使岩石易于塑性变形。

6. 孔隙压力指岩石孔隙内的流体压力。孔隙压力增大可降低岩石的屈服强度, 从而使其易于变形和破裂。

7. 时间因素是指施力时间的长短及施力的快慢。

(1) 快速施力, 岩石表现为脆性; 缓慢施力则会使同样岩石表现为韧性。

(2) 重复施力可使岩石强度降低, 易于破裂。

(3) 蠕变是指在应力不增加的情况下变形随时间缓慢增加的现象。松弛是指应变保持不变而应力却随时间逐渐减小的现象。

(4) 应力长期持续作用, 会使固体物质表现出流变特征, 蠕变与松弛现象就是在持续长期应力作用下, 物体弹性不断降低, 弹性变形逐渐减小, 而永久性变形不断缓慢增加, 表现为塑性流动变形的特征。地质构造往往是在漫长的地质历史中, 经历蠕变与松弛的反复发生使岩石中的微小塑性变形逐渐积累而成的。

二、主要参考书

I. 56—61 为基本阅读内容。

VII. 69—75 较详细地阐述变形与变形时的环境、时间及岩石性质的关系, 并有实例。

VI. 38—46 对岩石受力作用后的反应及影响因素阐述较深。

三、思考与练习

1. 岩石变形主要取决于哪些因素?

2. 按力学性质可以将岩石的变形习性分成哪些类型? 影响岩石力学性质的主要因素是哪些?

3. 褶皱构造是典型的塑性变形, 请分析褶皱应当在什么条件和环境下形成? 如果在地表条件下形成褶皱, 需要什么条件?

4. 填表3—3的空格。

表 3—3

环境	岩石力学性质	变形类型	时 间	岩石力学性质	变形类型
地表条件			长期持续力		
			瞬 时 力		
地下深处			长期持续力		
			瞬 时 力		

2014/10/16

第四章 褶皱

一、中心内容

1. 褶皱构造是岩石受力发生的弯曲变形,是地壳上分布最广、最重要的构造类型之一。因此,必须学好本章。

2. 本章主要包括三部分内容:

- (1) 褶皱的几何特征 包括褶皱要素、形态及分类;
- (2) 褶皱的形成机制 介绍褶皱的成因及影响因素,不同成因褶皱的特征;
- (3) 褶皱的研究方法 介绍怎样观察认识褶皱,怎样用图件表示褶皱和怎样分析褶皱等。

3. 学习本章首先要认清不同类型褶皱在三度空间的形态及说明这些形态的几何要素;然后掌握各种褶皱在野外及在地质图、剖面图、立体图上的识别分析方法;进而掌握褶皱的形成机制及综合分析和研究方法。

值得注意的是褶皱名词繁多,仅教材(I.62—98)中的褶皱名词就有60多个,因此,不能只死背定义,而应该结合形态与几何要素来掌握,因为同一个褶皱,根据不同的要素,不同的特征和不同的观察角度等等会有不同的命名。

二、主要参考书

- I. 62—98 主要阅读内容。
- II. 44—53 学习褶皱的制图方法和分析方法,作业内容必须完成。
- V. 52—92 对褶皱几何形态及制图方法论述得详细深入。
- VI. 100—127 简要阐述了褶皱的几何特征;并简要介绍了褶皱研究中的应变分布、主波长理论等最新成果。内容较新,理论性较强,是深入学习提高的较好参考书。
- VII. 144—186 本书的褶皱部分,着重论述影响褶皱的因素,特别是岩性对褶皱形成的影响及褶皱形成机制的分析。
- XI. 104—105 介绍用赤平投影研究褶皱的方法。
- XIII. 90—138 内容全面,是50—60年代很有影响的构造地质学参考书,许多内容至今仍有参考价值,阅读该书可以全面了解过去的教学和研究状况与水平。
- XVII. 234—380 该书第七章至第十章讲褶皱的分类,应变分析及形成机制,以及褶皱作用有关的面、线构造的变形效应和叠加褶皱等。

§ 1. 褶皱和褶皱要素

一、内容提要

1. 褶皱的基本形式有背斜(背形)和向斜(向形)两种。

2. 褶皱要素 褶皱要素即褶皱的各个组成部分,包括核、翼、转折端、枢纽、褶皱轴、轴面、脊、脊线、槽、槽线等。此外拐点、波长和波幅、翼间角等也是褶皱的重要几

何特征，但一般未列为褶皱要素。褶皱要素是用其产状和形态来定量测定和描述的。

二、主要参考书

I. 62—65,; V. 52—55。

三、思考与练习

- 1. 用书本或纸片弯一个褶皱，并说明褶皱要素。
- 2. 在图4—1上标出褶皱要素。

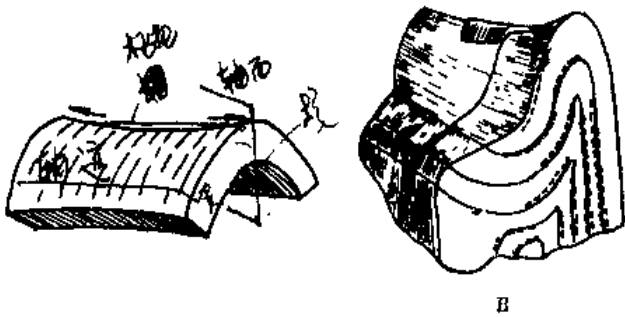


图 4—1 褶皱素描图
(据希尔斯)

- 3. 褶皱的枢纽、褶轴和轴迹以及脊线和槽线有什么区别？
- 4. 你能理解下列规律吗：褶皱翼部的岩层产状比较稳定，而转折端是褶皱岩层产状变化比较大的部分。
- 5. 怎样测定褶皱的波幅和波长，幅波比（波幅与波长的比值）有什么构造意义？
- 6. 请分析图4—2和图4—3上存在褶皱构造吗，是几个什么样的褶皱？并请绘出AB示意剖面图。

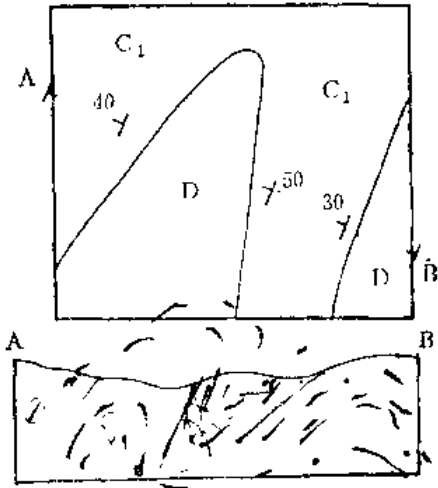


图 4—2 分析褶皱用图（一）
上图—地质图，下图—剖面图（由学员完成）；
AB—剖面线位置

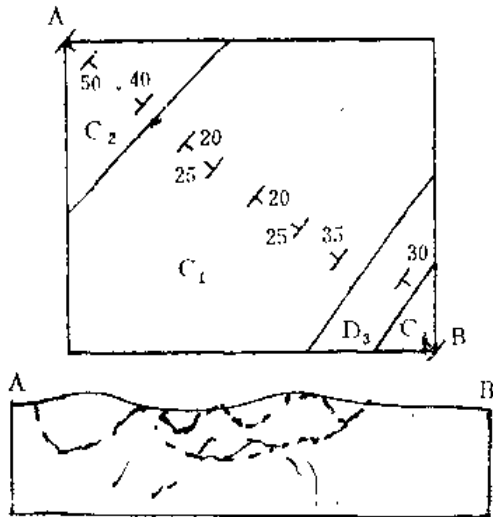


图 4—3 分析褶皱用图（二）
上图—地质图，下图—剖面图（由学员完成）；
AB—剖面线位置

- 7. 怎样确定圆弧褶皱和箱状褶皱的枢纽和轴面？
- 8. 什么叫线状构造的倾伏产状和测伏产状？褶皱枢纽在轴面上的侧伏产状是怎样定

义的？

9. 用哪些方法可以求出褶皱枢纽的产状？

提示：①野外直接测量；②用赤平投影作褶皱面的 π 图解、 β 图解或 s 大圆；③测 b 线理；④用 a 线理求（在褶皱面上枢纽与 a 线理垂直）。

10. 在野外或在平面地质图上应从哪些方面去分析识别褶皱？

11. 甲、乙两个背斜，它们的半波长 L 与波幅 A 之比分别为 $\frac{L}{A} = \frac{1}{2}$ 和 $\frac{L}{A} = \frac{2}{1}$ ，试问哪个褶皱强烈一些？设轴面直立，请绘出两个背斜的横剖面示意图。

§ 2. 褶皱的几何形态、褶皱的描述、 褶皱的类型及其组合形式

一、内容提要

1. 褶皱形态是多种多样的，而且在自然界形态绝对相同的褶皱几乎是不存在的，为了描述如此繁多的褶皱形态，只有根据褶皱要素的特征、褶皱面的产状和形态，以及褶皱层的厚度变化等特征将褶皱分类。此外，同一褶皱在不同的方向上的形态是不一样的，我们要通过在平面上、横剖面上及纵剖面上观察到的形态综合起来建立起该褶皱在三度空间的完整形态。

2. 褶皱的主要形态类型

(1) 褶皱的几何类型 ①圆柱状褶皱；②非圆柱状褶皱，圆锥状褶皱。

(2) 褶皱横剖面上的褶皱形态

- ① 根据轴面产状分为直立褶皱、斜歪褶皱、倒转褶皱、平卧褶皱、翻卷褶皱；
- ② 根据翼间角的大小分为平缓褶皱、开阔褶皱、闭合褶皱、紧闭褶皱、等斜褶皱；
- ③ 根据转折端的弯曲形态分为圆弧形褶皱、尖棱褶皱、箱状褶皱、扇状褶皱、挠曲；
- ④ 根据两翼的对称性分为对称褶皱、不对等褶皱；
- ⑤ 根据同一褶皱中各褶皱层的褶皱特征分为协调褶皱、不协调褶皱。

(3) 根据横截面（与枢纽垂直的正交剖面）上褶皱层厚度变化和等倾斜线型式所反映的褶皱面曲率变化特征。划分出褶皱横截面的几何类型（Ramsay的几何分类）： I_A 型—顶薄褶皱； I_B —平行褶皱； I_C 型—平行褶皱与相似褶皱之间的过渡型，或称压扁型平行褶皱。 II 型—相似褶皱。 III 型—顶厚褶皱。

(4) 在地面上（或平面地质图上）出露的褶皱形态有线状褶皱、短轴褶皱、穹窿和构造盆地。

3. 褶皱的产状类型

褶皱的产状，主要决定于枢纽和轴面两个要素。因此，可以根据枢纽和轴面产状，将褶皱分为七种基本类型。Rickard 还根据轴面倾角、枢纽倾伏角及其在轴面上的侧伏角编制成三角投影网图，根据这种图可定量地确定七种类型，即：①直立水平褶皱；②直立倾伏褶皱；③倾竖（直立直立）褶皱；④斜歪水平褶皱；⑤平卧（水平水平）褶皱；⑥斜歪倾伏褶皱；⑦斜卧（重斜）褶皱。

4. 同沉积褶皱 同沉积褶皱是沉积过程中由于地壳的不均匀隆起或下陷使沉积层

形成的原始“弯曲”，这种褶皱一般规模较大，从褶皱两翼到转折端，同一褶皱岩层的厚度、岩性甚至岩相等特征是有规律性的变化。

5. 底辟构造和盐丘 底辟构造是高塑性岩层或岩体，向上拱起并刺入上覆岩层形成的一种构造。盐丘是底辟构造的一种。

6. 褶皱的组合与分布 自然界褶皱都是成群出现的，按其平面上的分布可分为：平行式褶皱组合、雁行式褶皱组合、隔挡式及隔槽式褶皱组合、穹窿与构造盆地组合、复背斜或复向斜等。此外，按褶皱之间的大、小与依附关系，还可以分为主褶皱和次级褶皱。

二、主要参考书

I. 65—78 为基本阅读内容。

V. 86—89 褶皱横截面（正交剖面）的作法。

三、思考与练习

1. 用书本或纸片弯成各种褶皱形态。

2. 在实验室观察各种形态褶皱的标本和模型。

3. 图4—4、图4—5、图4—6为平面地质图。请判读各图上褶皱的剖面形态、轴面倾向、枢纽大致倾向，并分析褶皱的产状类型（轴面+枢纽），同时在图下的剖面线上作出AB剖面示意图。

4. 图4—7为一剖面图，请恢复并确定是什么褶皱，试想这种褶皱的平面地质图与水平岩层地质图有什么相同与不同？

5. 图4—8是平面地质图，请分析二图所反映的褶皱形态有何区别？各是什么形态？并作出AB剖面示意图。

（提示：注意转折端形态及其在地质图上的反映）

6. 请将图4—9的剖面图上被剥蚀了的构造恢复出来，确定褶皱形态。

7. 请在图4—10、11上，根据AB剖面图绘出平面地质图上D₃与C₁二地层的地质界线，并标上产状；指出图上褶皱的产状类型。

8. 什么叫圆柱状褶皱、非圆柱状褶皱及圆锥状褶皱，怎样用赤平投影图解区分它们（参看第十章）。穹窿构造属哪类几何形态。

9. 褶皱横剖面上的形态有哪些？根据哪些标志和要素来对褶皱的剖面形态进行描述和命名。

10. 在某地区地面近水平的地质图上，一个褶皱的东翼岩石露头很宽，而西翼较窄，请分析该褶皱的剖面形态。

11. 什么是翼间角？它在确定褶皱形态上有什么意义？翼间角能反映褶皱强度吗？

12. 怎样根据转折端的形态分析褶皱横剖面形态？

13. 图4—12示一背斜构造，各测点的岩层产状为A— $320^{\circ}\angle 40^{\circ}$ ；B— $350^{\circ}\angle 24^{\circ}$ ；C— $28^{\circ}\angle 26^{\circ}$ ；D— $70^{\circ}\angle 29^{\circ}$ ；E— $100^{\circ}\angle 60^{\circ}$ ；F— $24^{\circ}\angle 22^{\circ}$ 。试问：

（1）该背斜属哪种产状类型？

（2）图上A、B、C、D、E各测点的产状代表什么褶皱要素？

（3）C、F二点的产状可代表什么褶皱要素的产状？

（4）试用赤平投影作各测点产状的大圆投影，大圆交点为该背斜枢纽的产状。将求

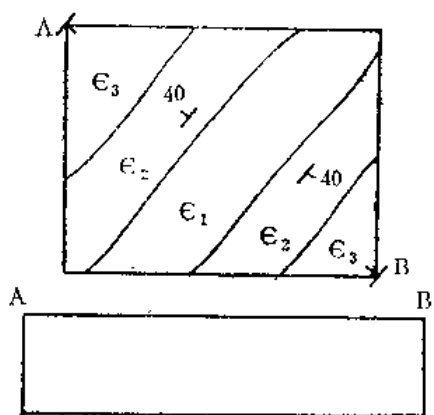


图 4—4 分析褶皱用图 (三)
上图—地质图; 下图—剖面图 (由学员完成)
AB—剖面线位置

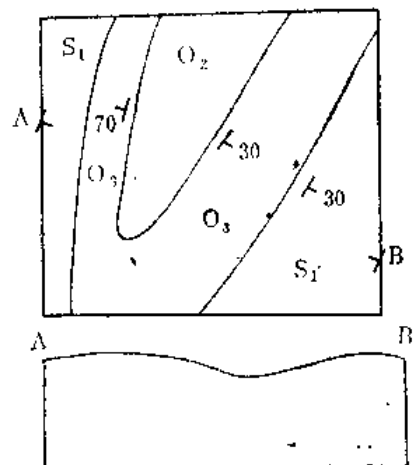


图 4—5 分析褶皱用图 (四)
上图—地质图; 下图—剖面图 (由学员完成)
AB—剖面线位置

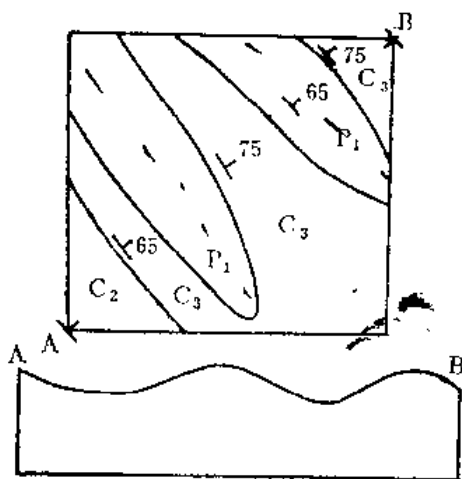


图 4—6 分析褶皱用图 (五)
上图—地质图; 下图—剖面图 (由学员完成)
AB—剖面位置

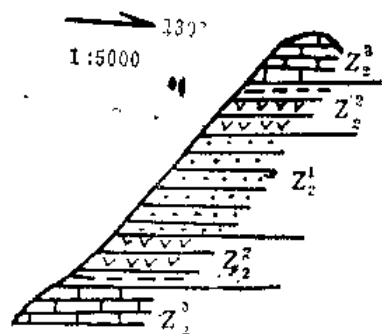


图 4—7 分析剖面图上褶皱形态

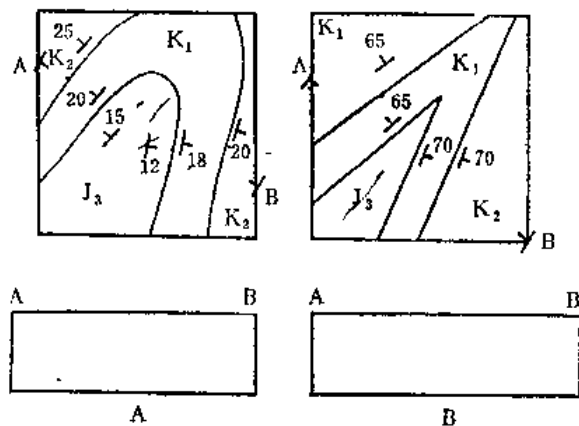


图 4—8 分析并对比二图之褶皱形态, 并作出AB剖面图

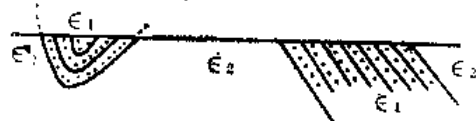


图 4—9 恢复并分析褶皱

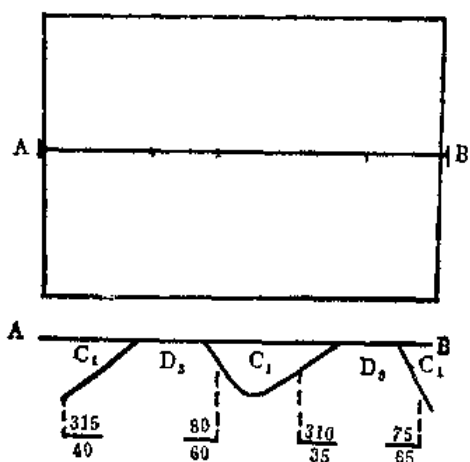


图 4—10 分析褶皱用图 (六)

上图—平面图 (由学员完成); 下图—AB剖面图;
图上的分数式为虚线所指的岩层产状, 分子为倾向, 分母为倾角

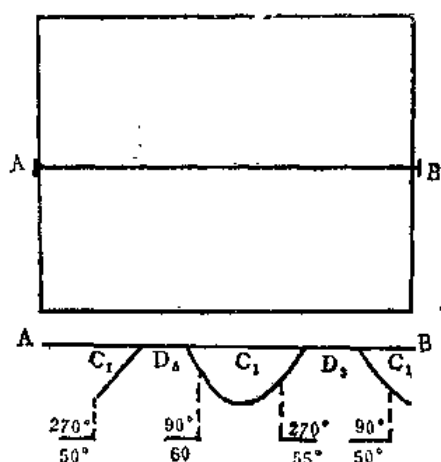


图 4—11 分析褶皱用图 (七)

图注同图 4—10

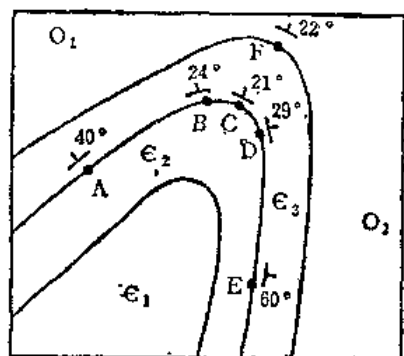


图 4—12 某区地质图

(A、B、C……为观测点)

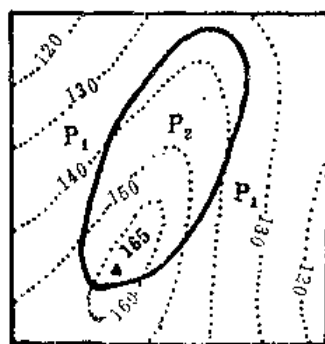


图 4—13 地形地质图

P₁—下二叠统; P₂—上二叠统

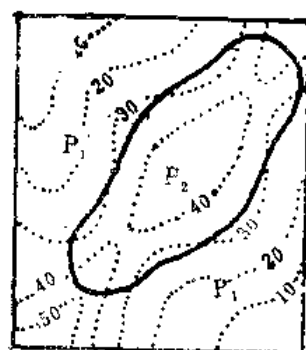


图 4—14 地形地质图

P₁—下二叠统; P₂—上二叠统

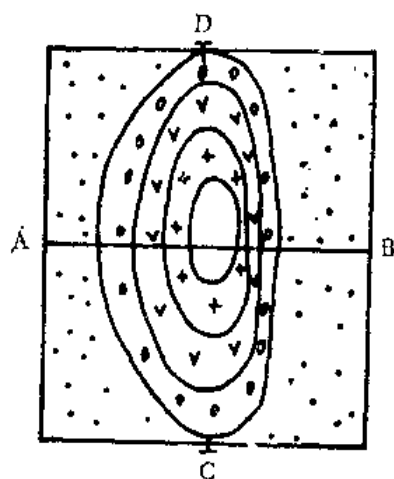


图 4—15 分析哪些地质条件可以
造成本地质图
(据 Billings)

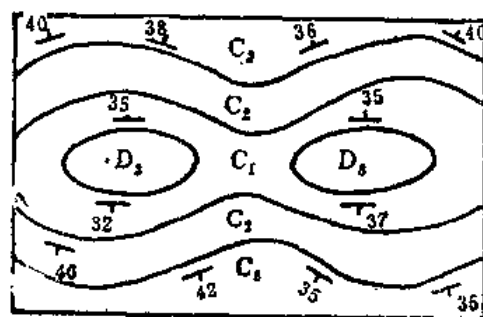


图 4—16 分析地质图上的褶皱形态和枢纽产状

得的枢纽产状与C、E点的实测产状对比，看是否一致（Ⅱ.16—19、Ⅴ.104—105）。

14. 判别图4—13和图4—14各是什么构造？

（提示：先用“V”形法则判断地层产状）

15. 图4—15为一平面地质图。哪些地形地质构造条件可以出现这种地质图形态，并作出相应的AB、CD剖面示意图。

（提示：不同的地形、岩层产状及岩层时代，至少有九种以上的答案）

16. 图4—16为平面地质图，试分析该图的褶皱平面形态，指出枢纽的产状特点。

17. 褶皱的产状类型（轴面加枢纽）可以分为哪几种？哪一种在自然界分布最广？

18. 在图4—17上绘出纵剖面图，指出枢纽产状特点，并与图4—16进行对比，推测可能的平面形态。

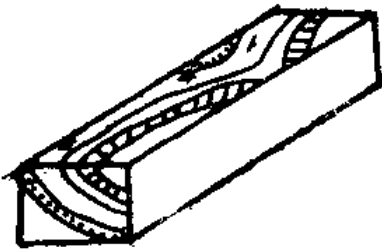


图 4—17 绘出立体地质图的纵剖面，分析枢纽产状

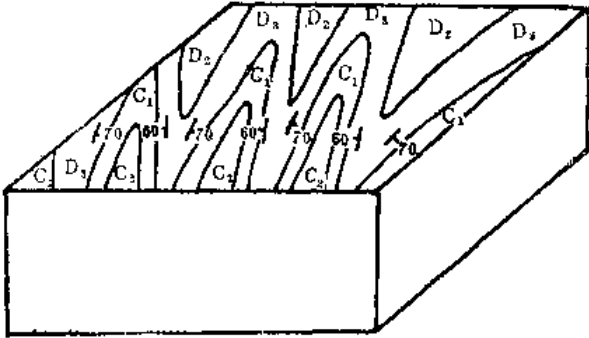


图 4—18 绘出立体地质图的横剖面 and 纵剖面

19. 根据图4—18平面图作出横剖面图和纵剖面图，编成立体图，指出褶皱组合形态。

20. 兰姆赛的褶皱几何分类将褶皱分为哪些基本类型？各类型的基本特征是什么？请绘出各类褶皱的图型。

21. 什么叫褶皱层的等倾斜线？怎样作等倾斜线？

22. 图4—19是长沙岳麓山一个小褶皱的横截面图（正交剖面图）。请你在图上分别作②、③两层的等倾斜线，确定该背斜属Ramsay几何分类的哪一类？

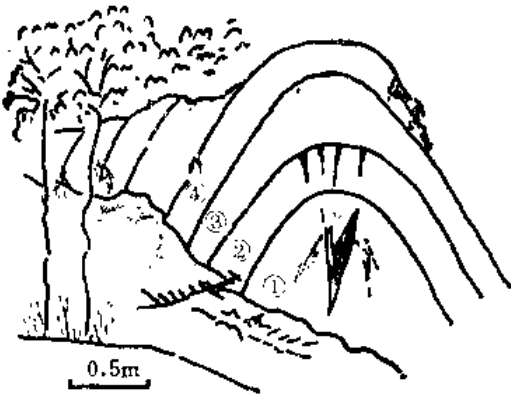


图 4—19 一个背斜素描图
（长沙岳麓山）
正南为垂直褶皱的正交剖面

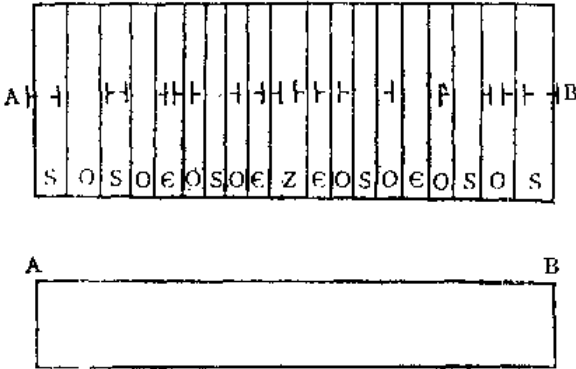


图 4—20 分析褶皱用图（八）
上图一背斜的理想地质图；下图一剖面图（由学员完成）

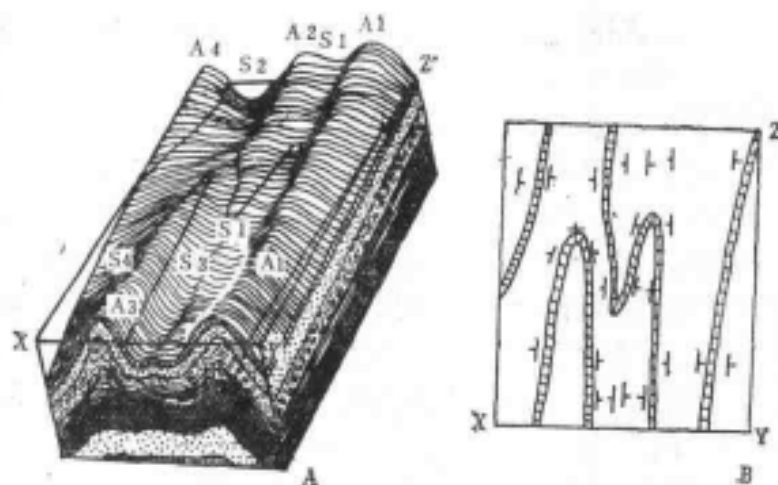


图 4-21 褶皱的立体形态及其水平切面图
A—分叉褶皱的立体形态 (据Eachus); B—A图XYZ 水平切面的地质图

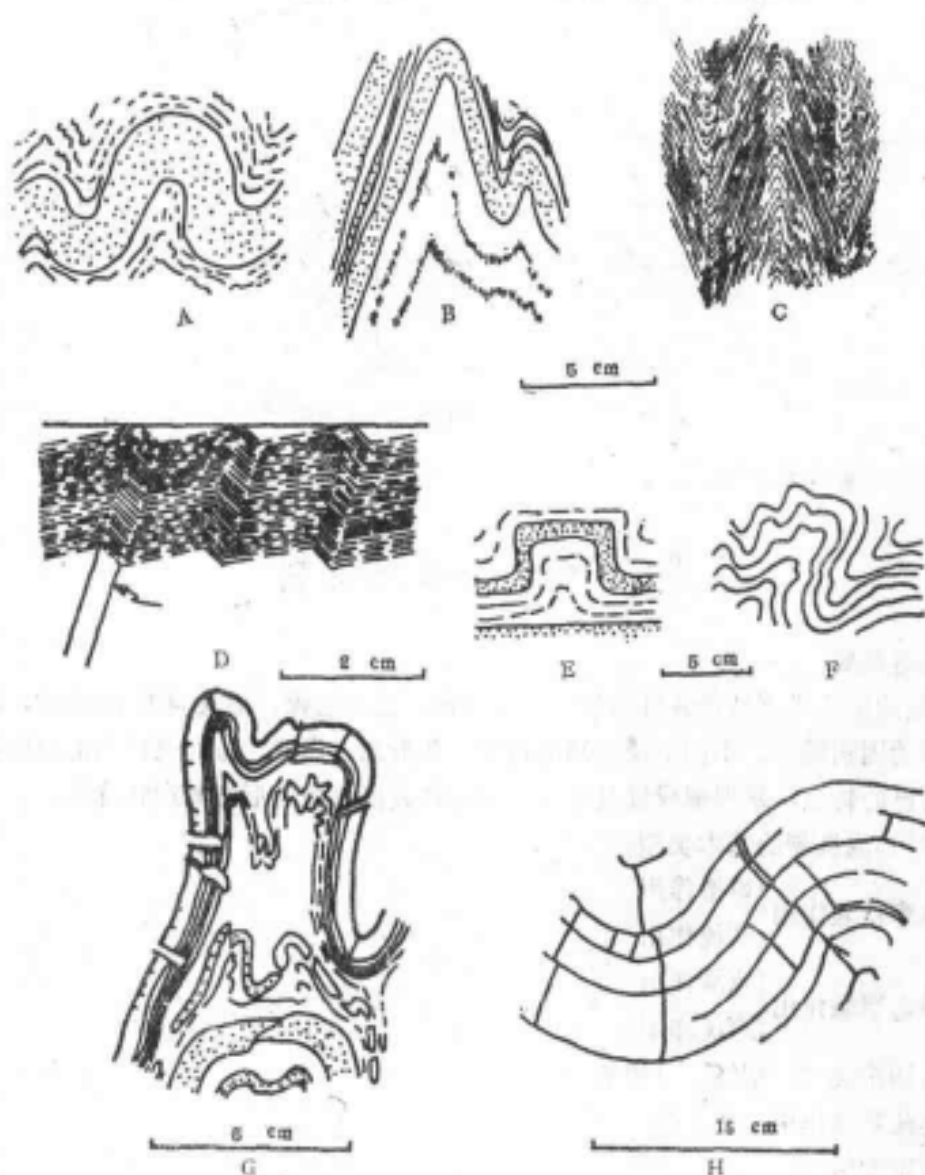


图 4-22 各种褶皱形态素描图

23. 图 4—20 是一个复背斜的理想平面地质图, 请你分析其地层和产状规律; 划分褶皱主次级别; 作出 AB 剖面示意图 (岩层倾角可绘 45° 左右)。

24. 图 4—21 A 图是褶皱构造的立体图, B 图是 A 图的 XYZ 切面的平面地质图, 将二图结合起来分析褶皱的主次级别以及褶皱的倾伏、分枝、消失, 并分析它们在平面地质图上的表现。请你将 A 图上背斜 (A_1 、 A_2 ……) 向斜 (S_1 、 S_2 ……) 标在 B 图上。

25. 褶皱的形态是十分复杂多样的, 特别是变质岩区的小型褶皱形态尤其复杂。此, 外应注意同一褶皱内的不同褶皱层的褶皱形态可以是不同的。描述一个褶皱的整体形态, 一般应以控制性“强硬层”的形态为主。影响褶皱形态的因素很多, 如岩石性质、受力状况、变形环境 (温度、压力、流体等等)。研究褶皱形态有助于探讨其形成机制。图 4—22 是一些复杂的褶皱形态素描, 请你分析它们的特点 (VI. 106—109)。

26. 在图 4—23 立体图上绘出平面图, 分析褶皱的平面形态。

(提示: 为短轴褶皱)

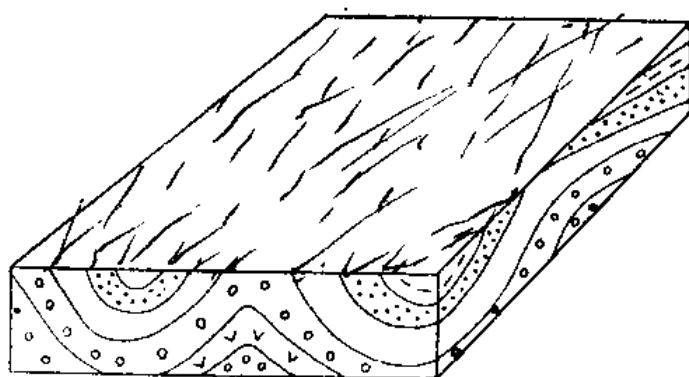


图 4—23 绘出立体地图上的平面图

27. 试述底辟构造的特点。

§ 3. 褶皱的形成机制

一、内容提要

1. 褶皱的形成机制是指各种褶皱的形成方式、变形过程、形成环境和条件, 以及影响褶皱形成的因素等等。不同形成机制的褶皱, 在形态、产状、分布及产出的地质背景等方面都有自己的特点, 掌握形成机制可以更深入地分析褶皱的形态与产状特点。

2. 褶皱形成机制的基本类型

I 纵弯褶皱作用 { 弯滑作用
弯流作用

II 横弯褶皱作用 { 弯滑作用
弯流作用

III 剪切褶皱 (剪褶皱、滑褶皱) 作用

IV 柔流褶皱作用

V 膝折作用

3. 纵弯褶皱作用是岩层受顺层挤压力的作用而发生的褶皱。单层纵弯曲的应变分布

是外弧一侧受平行于弧的引张而拉伸，内弧受平行弧的挤压而缩短，二者间是无拉伸也无压缩的无应变中和面。中和面随褶皱弯曲的加强和曲率的增大而逐渐向内弧（核部方向）迁移。

4. 纵弯滑褶皱通过层间滑动而弯曲，其特点如下：

- （1）各褶皱单层都有中和面，整个褶皱无统一中和面；
- （2）褶皱不发生物质流动，形成平行（等厚）褶皱，即 I_B 型褶皱；
- （3）层间滑动均相对地滑向外弧转折端；
- （4）层间滑动引起层间剪切作用，形成旋转节理、同心节理、层间破碎带、层间破裂理及与枢纽直交的层面滑痕线理等伴生构造；
- （5）两个相邻强硬层的弯滑作用，在转折端两层之间，形成虚脱空间；
- （6）当强硬层夹有薄而软弱的岩层时，可能形成层间小褶皱，小褶皱轴面与层面锐夹角指向邻层滑动方向，并滑向外弧转折端，据此可判断岩层的顶底面，及背斜向斜的位置。

5. 纵弯弯流褶皱 当岩层纵弯褶皱变形时，不仅发生层间滑动，而且某些软弱层会出现物质流动。其特征如下：

- （1）物质流动方向是从翼部流向转折端，使转折端加厚成 II 型相似褶皱和 III 型顶厚褶皱；
- （2）流动受层面控制在层内；
- （3）产生线理、流劈理、构造透镜体等伴生小型构造。

6. 横弯褶皱作用是岩层受到垂直于层面的外力作用而弯曲成的褶皱，如地壳差异升降，岩浆顶托、底辟作用及同沉积褶皱等都可形成横弯褶皱。其特征如下：

- （1）岩层整个都处于拉伸应力状态，无中和面；
- （2）发生层间的弯滑作用及层内的弯流作用；
- （3）弯流作用物质流动方向，是从转折端流向两翼、形成 I_A 型顶薄褶皱；
- （4）伴生层间小褶皱的轴面与层面锐夹角尖指向褶皱的内弧方向；
- （5）形成穹窿等构造，并形成放射状及环状伴生断裂。

7. 剪切褶皱（滑褶皱）作用是岩层（或其它变形面）沿着一系列与其不平行的密集剪切面（劈理面）发生差异性滑动而形成的“褶皱”，但岩层并未弯曲。而是因差异性滑动而显现出弯曲的外貌，又称为被动褶皱，它形成 II 型相似褶皱，多发生在变质岩区。

8. 柔流褶皱作用是高韧性的岩石受力作用，发生类似粘稠流体那样的流动变形，可形成复杂多变的褶皱。其特点是形态复杂，在岩层中会突破层理的限制，并使韧性层的厚度增厚和变薄。

9. 膝折作用是岩性均一的薄岩层受到与层理平行或稍稍斜交的力的作用时，由于层间滑动受到某种限制而使滑动面发生急剧转折，即绕一个相当于轴面的膝折面发生转折而发生的褶皱作用。其特点如下：

- （1）常形成具长翼和短翼规则的单列膝折，短翼构成膝折带（或称扭折条带），轴面为膝折面，有时也形成共轭膝折；
- （2）形态为尖棱褶皱，当形成共轭膝折时出现共轭褶皱；
- （3）几何形态既为相似褶皱，又是平行褶皱；

(4) 形成机制上兼具沿层面的弯滑褶皱作用和沿膝折面的剪切褶皱作用；

(5) 膝折带是一个剪切带，同一列膝折有相同的剪切指向。

10. 压扁作用是岩层在褶皱过程中发生的平行于主压应力方向的压缩和垂直于主压应力方向的伸长。其作用和特点如下：

(1) 压扁作用随褶皱的增强而加强，褶皱层内各点应变状态也随之发生有规律的变化，各点应变椭球体的长轴(λ_1)逐渐旋转到与轴面平行的方向，椭球越来越扁。

(2) 岩层厚度随压扁作用使两翼变薄，转折端变厚，脆性薄岩层被拉断形成石香肠及构造透镜体，强烈压扁可以形成轴面劈理，并沿劈理不均匀滑动而形成剪切褶皱。早期褶皱会被拉断成无根褶皱。

(3) 压扁作用使鲕粒、砾石、化石及矿物晶体发生变形，测量它们的轴比及畸变角度，再和原始形状对比，就可计算其应变强度。

(4) 当褶皱成为两翼叠合的等斜褶皱后，层面的弯褶皱作用就停止了。继续施力就完全是压扁作用。

(5) 压扁作用是纵弯褶皱内层间小褶皱的形成机制之一，当强弱岩层相间时，受力挤压，强硬层形成小褶皱，软弱层缩短变厚，然后整个层系一起褶皱，就形成软弱层之间的强硬层小褶皱。

11. 影响褶皱形成的主要因素是层理的发育程度、岩层厚度、岩石的力学性质、动力状态、埋藏条件及基底构造等。

12. 层理或成层构造是形成褶皱的必要条件，均一的（不成层的）块状岩体，不会形成褶皱。

13. 岩层的厚度和力学性质对褶皱的形态大小、曲率都有影响，厚岩层形成曲率小，波长（弧长）大的褶皱；薄岩层则相反。韧性小、粘度大的强岩层发生弯滑作用，形成较平缓开阔的平行（等厚）褶皱；并在转折端产生扇状楔形张节理；在翼部形成旋转节理和环形节理。韧性大的弱岩层发生弯流作用，形成较紧闭的相似褶皱或顶厚褶皱，并可能形成流劈理。

14. 褶皱主波长（主弧长）理论

(1) 强弱岩层相间时，强岩层褶皱起主导作用，并控制着早期的褶皱波长；

(2) 岩层受力因局部失稳而引起不同波长的微小起伏，其中只有某些波长的小起伏能在褶皱过程中迅速增长，并最终控制褶皱形成的波长，它就是主波长；

(3) 主波长(W_s)的大小取决于主导层的厚度(T)及主导层与邻层的粘度比($\frac{\eta_1}{\eta_2}$)，

$W_s = 2\pi T \sqrt[3]{\frac{\eta_1}{6\eta_2}}$ 。主导层厚度越大及其与邻层的粘度比越大，则主波长越大。主波长与压力无关（VI.118—123）。

15. 岩层埋藏浅，温度、围压就低，韧性弱，以弯滑作用为主；埋藏深，温度、围压高，韧性强，则可形成弯流、剪切或柔流褶皱。

16. 应变速率大，即使埋藏较深，也会发生弹性弯曲或断裂。而缓慢变形，则可以强烈褶皱。如作用力持续时间长，虽作用力很小，岩层也可以由蠕变而发生褶皱。

17. 基底或深层构造对盖层褶皱的形态及展布与组合规律有影响，例如基底平移断层

的活动可造成盖层的雁列褶皱。

二、主要参考书

I. 78—92 基本阅读内容。

VI. 112—127 对褶皱层内的应变分布, 褶皱形成模式, 褶皱发育过程及影响因素, 以及主波长理论等论述较深。

VII. 144—173 将褶皱几何形态与成因联系起来。

XII. 188—222 褶皱的形成, 划分成因类型。

XIV. 123—137、146—155 阐述褶皱原理, 特别是剪切褶皱作用。

三、思考与练习

1. 褶皱形成机制的基本类型有哪些?

2. 用一块稍厚的海绵在一边上绘三排小圆, 作单层纵弯褶皱实验(图4—24)。将海绵弯曲成褶皱。请观察以下内容:

(1) 小圆变形成为椭圆的过程;

(2) 分析应变分布、拉伸、压缩及中和面;

(3) 当褶皱继续加强时应变分布的变化, 外弧开始为拉伸, 逐渐变为压缩的过程, 并用递进变形总结这一过程;

(4) 分析压扁作用。

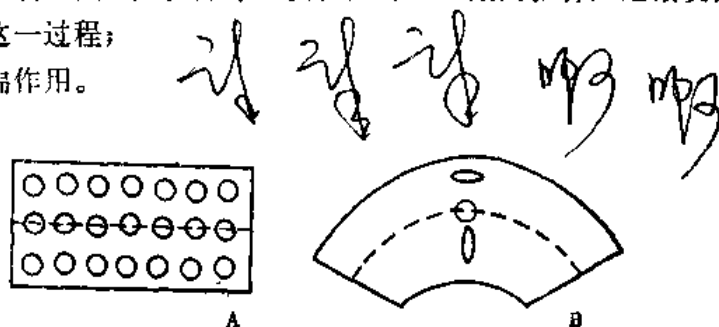


图 4—24 用海绵做纵弯褶皱实验

3. 试述纵弯褶皱的特点。

4. 什么是弯滑褶皱作用?

5. 纵弯褶皱作用层间滑动的规律是什么? 层间滑动能形成哪些派生构造(提示: 层面上的滑痕线理、旋转线理、同心节理、虚脱空间、层间小褶皱)? 你能绘出这些派生构造的示意图吗?

(注意: 派生构造的形态和发育部位)

6. 试述弯流褶皱的形成过程, 它形成哪些几何类型的褶皱?

7. 弯流褶皱作用可以派生哪些构造(提示: 层间劈理、石香肠构造及构造透镜体、层间小褶皱)? 你能绘出这些派生构造的示意图吗?

(注意: 派生构造的形态和发育部位)

8. 用两本书当作两个褶皱岩层, 作纵弯弯滑褶皱模拟实验(I. 79—80图4—31、32、33、34) 观察以下内容:

(1) 当两本书褶皱的内弧与内弧, 外弧与外弧保持相同曲率时, 或两相邻面的曲率不同时, 转折端虚脱空间的形成。

(2) 褶皱过程中层间滑动的方向。如果留下滑痕线理, 它与褶皱枢纽B成怎样的几

何关系？这种滑动造成的层间剪切作用的方向是什么？派生的节理是什么？

(3) 假设二书本之间夹一层塑性层（书本为强硬层），设想该塑性层发生弯流作用的物质流动方向。

- 9. 用你的手掌和手背相贴，然后弯曲手掌，体会层间滑动及滑动方向。
- 10. 试述横弯褶皱的特征。
- 11. 请对比横弯褶皱与纵弯褶皱的特点。
- 12. 用一叠卡片作剪切褶皱实验。在卡片垛的一边画上几条代表层面的标志线（线与卡片垂直或斜交），使卡片面剪切滑动，这时标志线会变成“弯曲褶皱”的形态，请分析以下内容：

(1) 标志层（即层面）经剪切而“弯曲”与弯褶皱形成的弯曲有何区别？剪切褶皱的几何形态有何特点？

(2) 测量各卡片上二标志线的距离，判别剪切褶皱的几何形态（I.73图4—18 II；I.83图4—42）。

(3) 剪切褶皱的轴面是什么面。

13. 用一块厚泡沫塑料作褶皱实验，对它施加不同的作用力时，观察褶皱的形态和类型：

- (1) 顺层挤压力（图4—25A）；
- (2) 与层面斜交的挤压力（图4—25B）；
- (3) 垂直层面施力（图4—25C）。

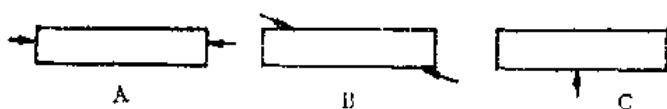


图 4—25 分析不同方向的力对褶皱形态和类型的影响

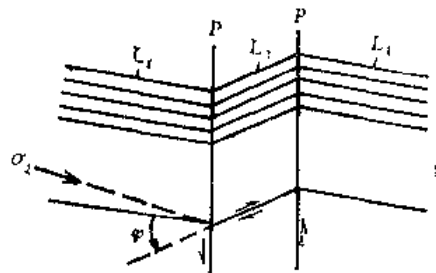


图 4—26 膝折构造的几何要素
 L_1 —长翼； L_2 —短翼（膝折带）；P—膝折面； ϕ —外旋角及旋向（长翼与短翼伸长线的夹角为外旋角；长翼至短翼伸长线的方向为旋向，即膝折带的剪切指向）； σ_1 —作用力的可能方向

- 14. 请在图4—26上认识膝折构造的几何要素：长翼、短翼、膝折面、膝折带、外旋角、旋向（膝折带剪切方向）。
- 15. 什么叫柔流褶皱作用？它和弯流褶皱作用有何区别？
- 16. 什么是压扁作用？试述褶皱形成中压扁作用的过程和表现形式。
- 17. 影响褶皱形成的主要因素有哪些？
- 18. 为什么褶皱构造在沉积岩中很发育，而在侵入岩体中不发育？
- 19. 当强岩层和弱岩层一起褶皱时，它们的褶皱形态和类型可能有什么不同？
- 20. 褶皱形成主波长理论的要点是什么？
- 21. 为什么岩层的埋藏深度和应变速率会影响褶皱的形成？

22. 锻炼您的分析与综合能力

(1) 雁列式褶皱组合一般认为是水平力偶作用的结果, 图4—27和图4—28是两幅雁列褶皱地质简图, 请分析可能的力偶方向 (将其方向标在图上), 并对比二者的区别。在图4—27上, 仅从图面分析, 该图的新生代盆地可以有两种认识, 一种认为是向斜盆地; 另一种可看作是张性断陷盆地。请分别按这两种认识分析该雁列构造的形成机制。

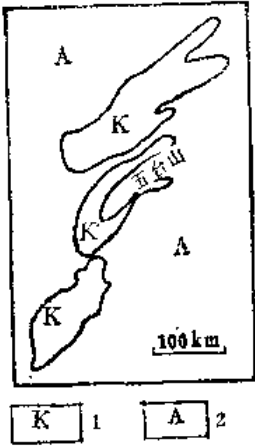


图 4—27 山西中部地质简图
K—新生代构造盆地; A—前震旦系

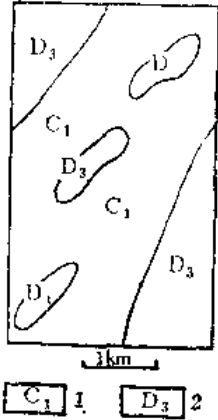


图 4—28 湘南某地地质简图
C₁—下石炭统; D₃—上泥盆统

(2) 层间小褶皱是一种常见的构造现象, 可是它们的成因却颇多争议, 仅在参考书(1)上便可查到数种成因观点, 在其它参考书上也可找到不同成因解释的层间褶皱。因此, 在阅读各本参考书的基础上请写一个题目为“关于层间小褶皱问题”或“层间小褶皱形成机制评述”的读书报告。内容是综合各参考书有关层间小褶皱的不同成因及相应的褶皱特征, 形成条件等等。

提示: 层间小褶皱成因的主要观点有: ①层间剪切拖曳成因 (I.79—85、XII.107、VIII.193—194); ②塑性流动成因 (I.80—81、VIII.193、XII.113、XIV.156—159); ③压扁说认为强、弱岩层相间, 弱岩层压缩, 强岩层褶皱 (I.87—88) 或在转折端压缩而成 (VIII.194); ④主波长理论 不同厚度及粘度的岩层形成不同波长的褶皱 (I.88—90、VI.119—122)。

(3) 图4—20A、B、C、D代表褶皱发展过程的几个阶段, 请用递进变形解释之。

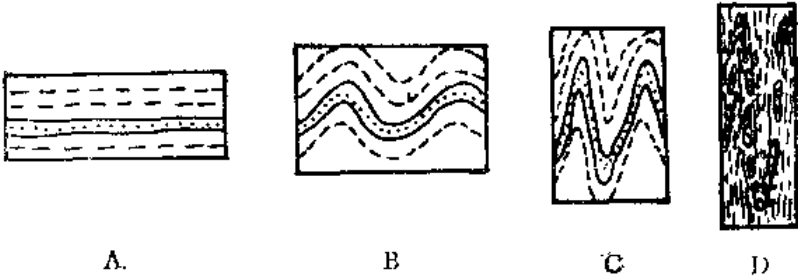


图 4—29 在挤压力的持续作用下, 褶皱发展的递进变形过程

(4) 如果压扁作用从褶皱开始发生就存在, 并贯穿于纵弯褶皱递进变形的全过程, 试想在褶皱中还有中和面吗?

(5) 怎样根据纵弯褶皱要素来分析褶皱变形的主应变轴及最大主压应力轴。

§ 4. 褶皱的观察与研究

一、内容提要

1. 褶皱研究的基本内容


- (1) 确定褶皱的存在及其相对位置与规模大小;
- (2) 褶皱形态、产状;
- (3) 褶皱组合与分布特点;
- (4) 褶皱伴生构造;
- (5) 褶皱形成机制;
- (6) 褶皱与区域地质构造、岩浆活动、变质作用、以及矿产、水文工程等的关系;
- (7) 褶皱的形成时代。

2. 小型褶皱可以在露头或手标本上直接观察研究。

3. 较大型或出露不全的褶皱, 要研究地层或岩石分布的对称性, 岩层产状的规律性变化或地质界线的非地形影响的规律性弯曲与圈闭等才能确定。其研究方法是:

(1) 地质填图与剖面观察, 其中地层研究是褶皱研究的基础;

(2) 用钻探、物探(电法、磁法、重力法、地震法)确定标志面(层)的深度并做构造等高线图, 不仅可确定褶皱的存在, 还可研究其形态、产状及规模(I.92—93、II.50—53、V.161—167);

 (3) 遥感法(航空、卫星像片解译)。

4. 褶皱的形态是通过观测岩层的产状、枢纽和轴面的产状、转折端的形态、褶皱层厚度的变化等来确定的。其研究方法包括:

(1) 露头上直接观察测量;

(2) 赤平投影法 通过作褶皱面的 π 图解或 β 图解, 定量确定褶皱的几何形态、枢纽与轴面产状等特征(II.16—19、IX.111—117、IX.100—116);

(3) 正交剖面(横截面)法(I.92—95、II.48—49、V.86—91);

(4) 横截面上作等倾斜线法(I.72);

(5) 构造等高线法。

5. 褶皱形态往深部会发生变化, 有的会加强, 有的会消失, 但任何褶皱都不会无限地往下延伸。根据褶皱的地表特征可以推测其延深的趋势。例如, 从地表往深部, 顶薄背斜的两翼将变陡; 平行褶皱向下延伸有限, 将在一个滑脱面上消失; 相似褶皱延深可以很大等等。利用物探和钻探方法可确定褶皱的深部变化和特点。

6. 褶皱内部的小构造研究(I.82图4—39) 小构造与主褶皱有一定的关系, 小构造可以反映物质流动方向、层间滑动方向、应力分布状况及褶皱的形态、产状等特点, 进而可分析褶皱的形成机制。主要的小构造有小褶皱(I.80—83)、节理(I.79—80)、小断层(I.79)、劈理(I.190)、线理(I.195—199)。

7. 褶皱时代的研究 褶皱时代一般地说是发生在发生褶皱的最新地层时代之后。多数褶皱是在区域性的构造运动幕中形成的, 同一地区的同一个地层系的褶皱时代一般是一致的, 因此, 确定褶皱形成时代, 主要是与区域构造运动(又称褶皱幕)相联系, 其中角度不整合是主要根据。每个角度不整合标志着发生过一次褶皱运动。对同沉积褶皱则用岩相厚度分析法, 此外还可根据与褶皱有关的岩浆岩或矿产的时代来推测其时代。

8. 褶皱形成机制的研究 一般地可以通过褶皱形态、几何类型及伴生构造等等来推测其形成机制。例如平行褶皱是弯滑作用形成, 顶厚褶皱是弯流作用形成等等。

9. 反映褶皱构造的图件主要有以下几种:

(1) 地质图 通过地层分布、岩层产状符号、地质界线形态等来表示褶皱构造。

(2) 构造纲要图 是用不同的线条、符号或颜色来表示一个地区各种地质构造的图件。在构造纲要图上, 一般是绘出褶皱的轴迹及岩层产状来表示褶皱构造, 并用不同的符号表示褶皱类型。有时还绘出标志层来反映褶皱的特征与分布。存在多期褶皱的地区, 还要用不同的符号和代号表示出褶皱构造的世代关系。在构造纲要图上, 除表示褶皱外, 还应表示出角度不整合界线与构造层、断层、侵入体, 以及面理、线理等构造。

(3) 构造剖面图 构造剖面图包括: ①横剖面图(垂直剖面图)表示褶皱的横剖面形态及相互关系; ②纵剖面图表示褶皱在走向上的倾伏和扬起; ③横截面图(正交剖面图)表示褶皱的真实形态。

(4) 构造等高线图 是用一定高程的等值线来表示某一个褶皱面的起伏形态, 从而反映褶皱在三维空间的完整形态。

(5) 立体图 用于表示褶皱的三维空间形态。

二、主要参考书

I. 92—98 基本阅读内容。

II. 47—53 褶皱制图方法与练习。

V. 64—70、86—90、161—166 较全面地介绍了褶皱的制图与图解方法, 以及各种褶皱的几何研究方法, 并有练习。

XI. 100—116 赤平投影研究褶皱的方法

XII. 122—134 复杂褶皱(叠加褶皱)的解析方法。

三、思考与练习

1. 关于褶皱的存在与识别问题, 常常说“地层是基础, 产状是关键”, 对较大型的褶皱尤其是这样。试述地层与岩层产状在褶皱研究中的意义。

2. 研究和描述褶皱剖面形态的主要根据是哪些?

3. 如何在地质图上研究和判断褶皱形态?

分析与答案: 地质图上研究褶皱形态的主要依据包括:

(1) 两翼岩层产状 据此可判断褶皱的直立、斜歪、倒转、同斜等形态, 还可判断褶皱变形强度是宽缓或紧闭等。

(2) 地层的宽度 可判断褶皱的对称性和褶皱的宽缓与紧闭程度。

(3) 地质界线的收敛或圈闭形态 可判断褶皱是否倾伏及褶皱平面形态是线状的、短轴的、或是穹窿或构造盆地式的形态; 此外, 地质界线收敛端的形态可大致反映褶皱转折端的形态。应当指出, 地质图上只表现褶皱的水平切面形态, 因此, 要结合岩层产

状、露头宽度与形态及地质界线的收敛与围闭特点来建立褶皱的三维空间形态，在分析中还应考虑地形对图上构造形态的影响。

编号	A		B		C	
图式	兀图	立体图	兀图	立体图	兀图	立体图
图形						
枢纽产状	走向南北 水平					
两翼产状	东西倾 倾角相等约30°					
形态	直立水平褶皱 尖棱褶皱					
编号	D		E		F	
图式	兀图	立体图	兀图	立体图	兀图	立体图
图形						
枢纽产状						
两翼产状						
形态						

图 4—30 根据π图解判断褶皱形态与要素

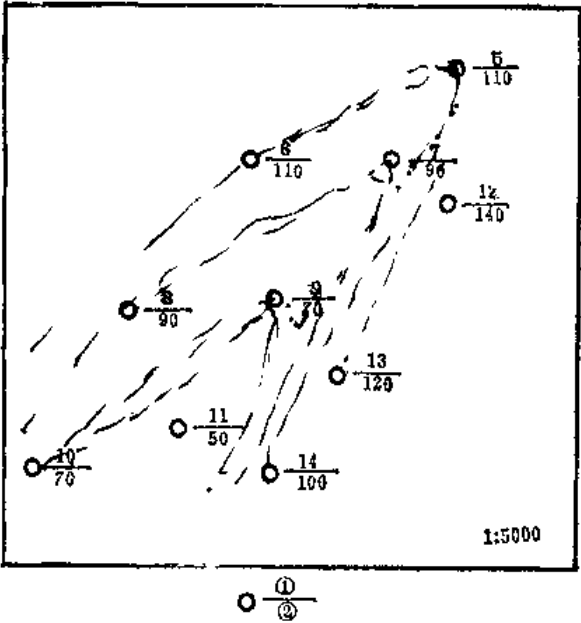


图 4—31 某矿区钻探工程平面图
① 钻孔编号；② 矿层顶板标高

4. 怎样编制π图解与β图解？它们在褶皱研究中的用途是什么（Ⅱ.16—18）？

5. 图4—30是一些不同形态类型褶皱的π图,请你像 图A那样判别并绘出各π图所反映的 褶皱形态与几何类型，读出枢纽与两翼的大致产状。

6. 图4—31是某铁矿石钻探工程平面图，图上标出钻孔编号及铁矿顶板的标高，请作出该铁矿层顶板的构造等高线图，并分析褶皱形态及褶皱要素。

请完成实习九（Ⅱ.50—53）

7. 为什么地质填图是研究较大型褶皱的基本方法？在地质

图与地质剖面上能研究与反映褶皱的哪些特征？

8. 什么是构造纲要图 (II.71—75)? 构造纲要图上绘出什么褶皱要素? 能反映褶皱的哪些特征?

9. 为什么在横截面 (正交剖面上) 才能正确反映褶皱的形态? 试取一圆竹杆, 切制与杆轴成不同角度的切面, 看哪个切面能反映竹杆的柱形。并请联系褶皱, 设想在不同切面上 (铅直剖面、水平切面图、地质图或正交剖面) 褶皱的形态。

10. 图4—32是一张表示褶皱内各种伴生小型构造的综合示意图, 请指出这些小型构造的类型, 并分析其成因, 说明它们在褶皱分析中的作用。

11. 图4—33是一幅地质图, 请你分析图上有几个什么类型的褶皱, 指出褶皱的形成时代, 恢复该地区的构造变形史, 作出AB剖面图。

(注意: 绘出被不整合面覆盖下面的构造)

12. 褶皱的术语繁多, 这些术语都是从不同的方面说明褶皱的形态特征及成因。对每个术语都应做到下列四点:

- (1) 掌握各术语的涵义;
- (2) 树立其三度空间形态的概念;
- (3) 能绘制各种图件 (剖面图、平面图或立体图) 来表示;
- (4) 掌握划分与识别它们的标志。

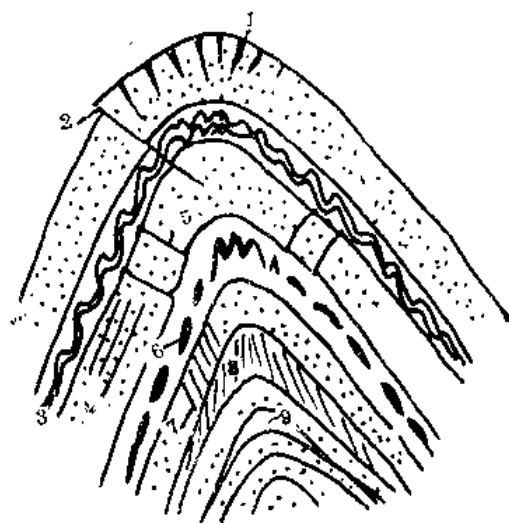


图 4—32 褶皱伴生小型构造综合示意图

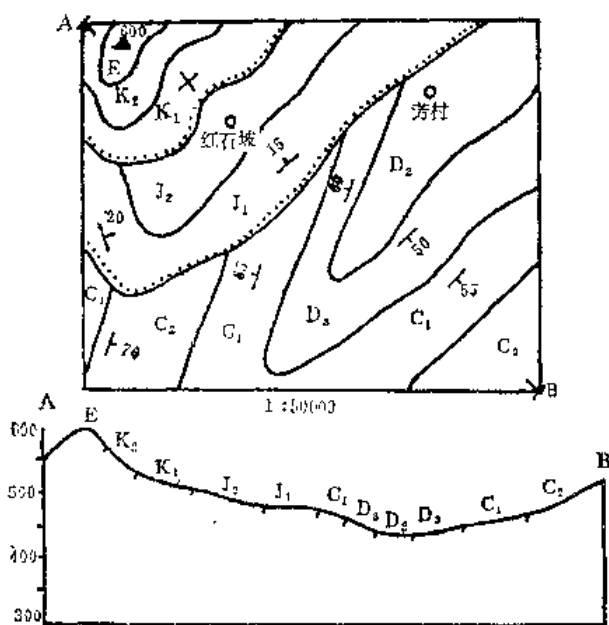


图 4—33 芳村地区地质图

主要的褶皱术语 (以 I.62—98为主):

①背斜、背形; ②向斜、向形; ③圆柱状褶皱与非圆柱状褶皱; ④圆锥状褶皱; ⑤直立褶皱; ⑥斜歪褶皱; ⑦倒转褶皱; ⑧平卧褶皱; ⑨翻卷褶皱; ⑩对称与不对称褶皱; ⑪平缓褶皱; ⑫开阔褶皱; ⑬闭合褶皱; ⑭紧闭褶皱; ⑮等斜褶皱; ⑯圆弧褶皱; ⑰尖棱褶皱; ⑱箱状褶皱; ⑲挠曲; ⑳协调褶皱与不协调褶皱; ㉑穹隆; ㉒构造盆地; ㉓短轴褶皱; ㉔线状褶皱; ㉕直立水平褶皱; ㉖直立倾伏褶皱; ㉗倾竖褶皱 (竖直褶皱); ㉘斜歪水平褶皱; ㉙斜歪倾伏褶皱; ㉚斜卧褶皱 (重斜褶皱); ㉛横弯褶皱; ㉜纵弯褶皱; ㉝弯流褶皱; ㉞弯滑褶皱; ㉟剪切褶皱 (滑褶皱); ㊱膝折、单列膝折 (不对称膝折)、对称膝折

(人字形褶皱、手风琴式褶皱)、共轭膝折；⑳同沉积褶皱；㉑顶薄褶皱；㉒平行褶皱、等厚褶皱；㉓同心褶皱；㉔相似褶皱；㉕顶厚褶皱；㉖底辟构造和盐丘；㉗雁行式褶皱；㉘隔档式和隔槽式褶皱；㉙复背斜和复向斜；㉚平行式褶皱；㉛主动式褶皱与被动式褶皱；㉜无根褶皱；㉝叠加褶皱；㉞主褶皱与次级褶皱；㉟层间小褶皱；㊱奇生褶皱；㊲肠状褶皱。

第五章 节 理

一、中心内容

节理是岩石受力后产生的破裂，是破裂面两侧的岩块未发生明显位移的一种断裂构造。

节理是地壳表层至中层构造层次内广泛发育的构造，它在矿床地质、工程地质及水文地质等方面有重要意义。节理的性质、产状和分布规律与褶皱、断层及区域构造等有密切的成因联系。本课程主要介绍由构造变形形成的构造节理，除构造节理外，还有沉积及成岩作用形成的原生节理，岩浆冷凝阶段形成的原生节理，以及由风化和表生作用形成的节理。

本章内容包括节理分类及其特征，节理观测研究方法。

学习本章要求掌握节理的分类及各类节理的基本特征、鉴定标志及形成机制，学会节理测量方法，节理图的编制与分析方法，以及用节理分析与恢复应力-应变场的方法。

二、主要参考书

I. 100—122 全面系统，是主要阅读内容。

II. 54—61 介绍节理测量，制图方法及节理分析应用。三个实习都应完成。

III. 125—129 讲节理成因分析。

VI. 170—176、185—195 对节理与其它构造的关系、节理的成因等方面作了简要论述，对节理的发生、发展及其影响因素（特别是差异应力及孔隙压力的影响）的论述，反映了较新的研究理论。

VII. 100—107 介绍节理的各种表现形式。

三、内容提要

1. 节理的分类

（1）根据节理产状与岩层产状的关系分为：①走向节理；②倾向节理；③斜向节理；④顺层节理。

（2）根据节理走向与褶皱轴的方位关系（或区域构造线方位）分为：①纵节理；②横节理；③斜节理。

（3）根据节理的力学性质分为：①剪节理；②张节理。

（4）其它分类

①根据节理排列分布样式分为羽列节理、雁列节理、扇形节理、放射状节理、同心环状节理、棋盘格状构造（共轭剪节理）等；

②根据与其它构造关系分为旋转节理、环形节理（同心节理）、纵张节理、侧羽状节理；

③特殊成因节理有缝合线构造、羽饰构造。

（5）剪节理是剪应力作用发生的破裂面，其特征是：产状稳定，延伸远；节理面平滑；擦痕发育；充填脉平直；常切割砾石；多组成X型共轭剪节理系或平行近等距的单组节理。

理带；剪节理有时表现为由斜列小节理组成的羽列带；节理尾端常形成折尾、菱形结环或分叉。

(6) 张节理是由张应力作用发生的破裂面，其特征为：产状不稳定；节理面粗糙弯曲；常无擦痕；多绕砾而过；常发育成裂隙并有脉充填；延伸不远；其组合形态呈侧列状、锯齿状、放射状、同心环状、以及树枝状、网格状等等；尾端多呈树枝状，并可形成杏仁状结环及各种不规则形态。

(7) X型共轭剪节理的交线代表 σ_2 ；一般情况下锐角等分线为 σ_1 ；钝角等分线为 σ_3 ；但由于递进变形，有时 σ_1 为钝角平分线。

(8) 张节理面平行应变椭球体的BC面，其垂线方向代表A轴（破裂时的 σ_1 方向）。

(9) 雁列节理是节理空间展布的重要形式，它由斜列排列的节理构成，常被充填成雁列脉。它的几何要素有：雁列带、雁列面、雁列轴与雁列角。张裂型雁列由张节理组成，其雁列角为 45° 左右；剪切型雁列由剪节理组成，其雁列角为 10° 或 60° 左右。共轭雁列是由两个成共轭关系的雁列带组成的。雁列脉的单脉有平直型和S型两类，S型是递进变形过程中形成的（T, 51—52）。雁列带代表一个剪切带，可以用雁列脉的排列方式来判别其指向。

(10) 缝合线构造是由压溶作用形成的，它表现为一条锯齿形弯曲的线。缝合线内充填较多的铁、泥质物质。缝合线垂直于主压应力 σ_1 ， σ_1 为缝合线锥轴方向。

(11) 羽饰构造是发育于岩性均一的细碎屑岩中的一种具有羽毛状饰纹的破裂面。完整的羽饰构造包括主节理面和边缘带两部分，主节理面上的构造有羽轴、羽脉；边缘带上除羽轴和羽脉外还有陡坎及缘面，它们都是一些小节理。由羽轴向羽脉分散扩张的方向为破裂扩张方向。

(12) 裂开-愈合作用 自然界的一些岩脉常常是在持续反复充填增生的过程中形成的。首先出现一个窄细裂隙，然后被岩脉物质所充填而愈合；以后再裂开，再充填愈合……。一个脉可能经过很多次裂开和充填愈合，这种反复发生的裂开-充填愈合的增生作用，称裂开-愈合作用。

2. 节理的分期与配套

(1) 节理组是由同一次构造作用的统一构造应力场形成的产状与力学性质均相同的一组节理，节理组常常以走向命名，如北东向节理、北西向节理等。同一次构造作用的统一构造应力场形成的两组以上节理构成的节理系。

(2) 节理分期是划分节理组生成的先后次序与相互关系。配套是将同一时期的统一构造应力场形成的各组节理组合成一定系列。

(3) 节理分期的主要依据有：

①交切关系 包括错开（晚期节理错开早期节理）、限制（早期节理限制晚期节理）、互切（同期节理互相切错）；

②后期节理追踪 后期节理利用和改造早期节理；

③根据节理中的岩墙、岩脉及矿脉等的差异及其相互关系来分期；

④对比不整合上、下岩系中的节理。

(4) 节理配套的重要依据有：

①共轭组合关系；

②节理与各种大型构造（褶皱、断层）的关系；

③节理总的发育特征；

④构造应力场。

3. 不同地质背景上发育的节理

（1）与褶皱有关的节理

①纵弯褶皱的不同阶段及不同部位发育不同的节理。

纵弯褶皱发育前岩层在顺层挤压力的作用下可能发育早期平面X节理，其交线为主应变轴B，这种节理与层面近于垂直。

由于纵弯褶皱的发育，在褶皱的不同部位会发育各自的节理系，在背斜外弧转折端常发育纵张节理；在向斜内弧转折端常发育横张节理；在外弧或内弧转折端都可能发育斜向共轭节理；在横剖面上可发育剖面X节理，其交线为主应变轴面，并且与褶皱枢纽平行；由弯滑作用引起的层间剪切，可导至旋转节理及同心节理的形成。纵张节理、剖面X节理、旋转节理及同心节理等在褶皱过程中形成的节理与褶皱层面的交线都与褶皱枢纽平行。

②横弯褶皱如穹窿、构造盆地等可发育放射状节理及同心环状节理。

（2）与断层有关的节理 由于断层两盘的剪切滑动引起的局部派生应力场的作用，能发育一套羽状节理，包括一组张节理和两组剪节理。在断层带内也可发育剪节理和张节理。

（3）与区域构造有关的节理 这是一种在较大区域发育的节理，它可以呈单组，也可呈共轭状态产出，其规模大，产状稳定，在一定区域内属于透入性构造。

4. 节理观测与资料整理

（1）节理的研究方法是观察统计法。

（2）节理的观测内容

①观测点的地质背景，如地层、岩性、岩层产状及构造部位等；

②节理类型；

③节理组、系划分，节理分期和配套；

④节理的发育程度（频度或密度）和规模；

⑤节理产状及节理面特征；

⑥节理的充填物特征。

（3）节理观测和统计按一定的网点系统地进行。从统计规律分析测区内节理的类型、分期、配套，以及各组节理的优势产状、发育程度与特征；进而恢复构造应力场，并为认识其它地质问题提供依据。

（4）节理测量资料一般均应整理并绘制成各种节理图来说明节理的分布特征，基本节理图有节理玫瑰花图（包括走向玫瑰图与倾向玫瑰图）、节理极点图、节理等密图等。上述节理资料也可用电子计算机处理并作出上述图件。

（5）节理等密图是较精确的节理统计图，有两种制图方法：

①用等积网投极点，用密度计统计极点数；

②用吴氏网投极点，用普洛宁网统计极点数，实践证明这后一种方法是比较快捷实用的。

四、思考与练习

1. 节理的类型有哪些?

2. 请从表5—1所列, 阐述剪节理与张节理各方面的特征与区别。

节理特征表

表 5—1

类型	特征	形态与产状	节理面	裂口与充填脉体的特征	单个节理的微构造	尾端变化	与主应力轴及主应变轴的关系	排列形态	组合规律
剪节理									
张节理									

3. 请识别图5—1所示的各种节理类型, 绘出应变椭圆及主应力轴, 标出剪节理的剪切指向。

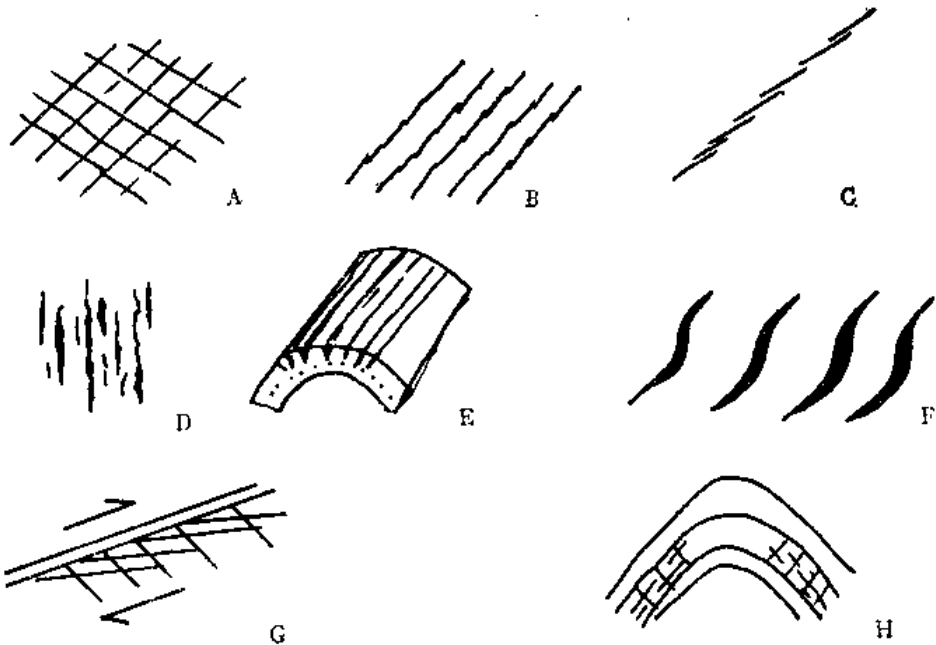


图 5—1 各种节理类型

4. 图5—2是一个露头上节理示意图。节理产状直立。请在该图上划分节理组与节理系。绘出应变椭圆和主应力轴。

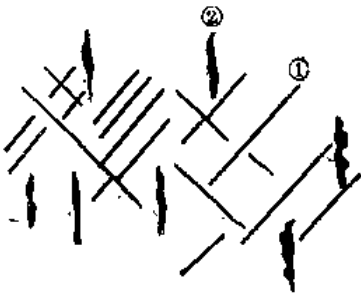


图 5—2 节理平面图

①—剪节理; ②—张节理

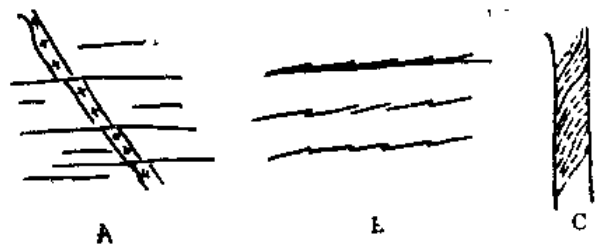


图 5—3 剪节理剪切指向的几种判别标志

5. 共轭剪节理是怎样形成的, 怎样用共轭剪节理恢复主应力轴的方向?

6. 剪节理两盘岩块发生过小量的剪切位移, 图5—3表示几种主要判别剪切指向的标志:

- (1) 标志面(线)错开;
- (2) 羽列(或雁列)微裂隙的排列方式;
- (3) 充填脉体中纤维状晶体的斜向排列。

请判别各图的剪切指向, 如果有与其成共轭的另一组剪节理存在, 请标出这组节理的产状(设节理面直立; 共轭剪裂角 60°)。

7. 为什么共轭剪裂角多小于 90° (I.101—102)? 共轭剪裂角在哪些条件下可能大于 90° ?

8. 在泥巴模拟实验中, 无论是挤压实验或是引张实验, 泥饼上总是先形成剪节理, 然后出现追踪张节理, 这是为什么? 你能用这个实验结果解释为什么褶皱岩层中剪节理比张节理发育吗?

9. 请用递进变形说明雁列构造中单个脉体成S形的形成过程(图5—1F)(I.52)。

10. 图5—4是节理平面图, 请将图上的四组节理分期配套(即确定节理生成的先后次序, 分析是否存在共轭节理系)。

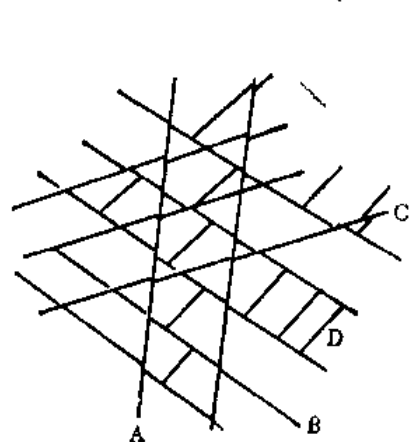


图 5—4 示四组剪节理的相互关系

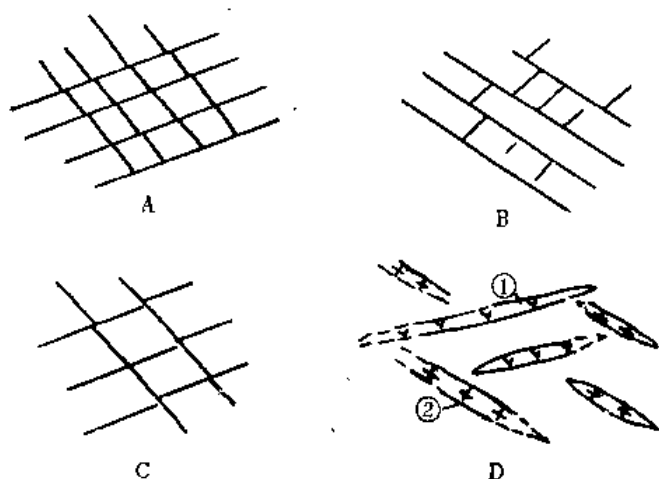


图 5—5 示各种节理分期标志

①—辉绿岩脉; ②—花岗斑岩脉

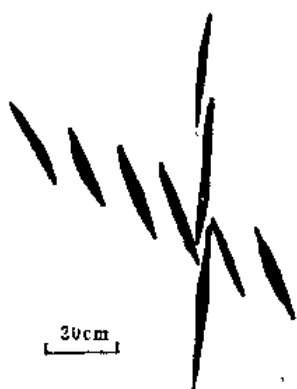


图 5—6 某雁列构造素描图

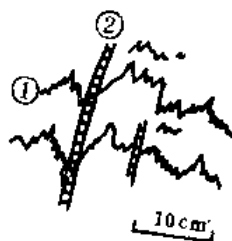


图 5—7 缝合线构造素描图

① 缝合线; ② 方解石脉

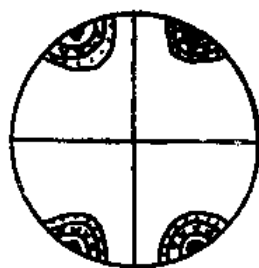


图 5—8 某测点节理等密图

等密线1—3—6—9% (下半球投影)

11. 图 5—5 的四个图, 表示四种节理分期标志, 请指出各图所示的分期标志是什么。

12. 图 5—6 上所示, 两组雁列构造是共轭关系吗? 为什么?

13. 在图 5—7 中①为石灰岩的缝合线构造; ②为方解石脉。请你分析该图所示的应变场, 以及方解石脉与缝合线的关系。

14. 图 5—8 为节理等密图, 请你分析该图上有几组节理? 节理的产状是什么? 若存在共轭节理, 则请你标出 σ_1 、 σ_2 及 σ_3 的产状。(II. 56—60)。

15. 综合分析与研究

(1) 在挤压作用、引张作用及力偶的剪切作用下都能形成剪节理和张节理, 请你综述这三种作用下各自形成的剪节理与张节理的特点。

(2) 请在图 5—9 上分析并绘出纵弯褶皱的褶皱弯曲前 (A), 褶皱时 (B) 及形成同斜褶皱并强烈压扁时 (C) 各阶段可能形成的节理。

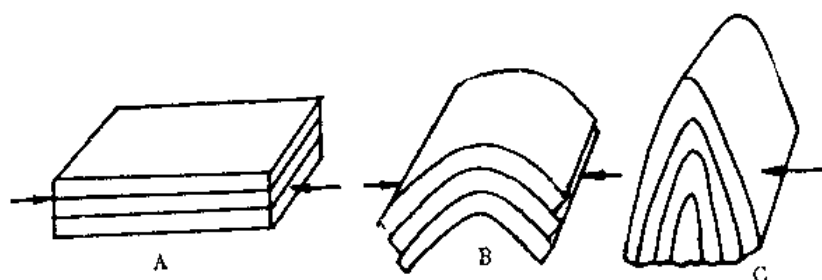


图 5—9 在作用力的持续作用下的递进变形过程

A—褶皱前; B—褶皱时; C—强烈压扁

(3) 在一个紧闭型褶皱上测得一对共轭剪节理的产状为 $338^\circ \angle 30^\circ$ 和 $110^\circ \angle 20^\circ$, 请用赤平投影法求出形成该节理的主应力轴产状。已知该褶皱枢纽产状为 $45^\circ \angle 16^\circ$, 请分析节理与褶皱的关系。

(4) 图 5—10 所示是一种常见的节理样式, 它膨大的部分还常常为矿体充填, 很有实际意义。请分析, 这是雁列构造吗? 它是怎样形成的 (I. 106)?



图 5—10 由节理控制的斜列矿体

16. 完成实习十, 编制和分析节理玫瑰花图 (II. 54—56)。

17. 完成实习十, 编制节理极点图和等密图 (II. 56—60)。

18. 完成实习, 并根据共轭剪节理求主应力轴方位, 绘制主应力网络图 (II. 60—61)。

第六章 断 层

一、中心内容

断层是地壳中的破裂面或破裂带，而且沿该破裂面（带）两盘岩块发生了明显的相对位移。断层是地壳中广泛发育的最重要构造之一，学习时要充分认识其重要性，认真学好。

近20年来，人们对断层构造的认识有了巨大的进展。现在认为岩石在地表和地壳浅部表现为脆性和脆-韧性，而在地壳深处则表现为韧性。因此，岩石的断裂破坏特点也显示为两个不同的构造层次，表层及浅层次为脆性及脆-韧性破裂，形成脆性及脆-韧性断层，或简称为断层，中深及深层次塑性变形占优势，不存在脆性破裂或脆性很弱，形成韧性断层或称韧性剪切带。

本章要求学生掌握以下主要内容：

1. 断层要素及位移（断距）；
2. 断层分类；
3. 断层基本类型（正断层、逆断层、平移断层及顺层断层等）的特征；
4. 断层的形成机制；
5. 断层的野外观测研究内容与方法，包括断层识别标志、断层产状与位移方向的确定，断层效应及断层形成时代的确定；
6. 区域性大断裂简介。

二、主要参考书

- I. 125—176 基本阅读内容。
- II. 61—64 请完成规定的实习。
- V. 132—142、151—160 介绍断层分类及制图、研究方法、断层与应力的关系、断层应力分析方法，附有例题及练习。
- VI. 177—185 讲述断层的一些新认识，特别是对断层末端构造特征论述较深。
- VII. 108—143 对断层命名法，断层伴生构造论述深，列举了一些世界著名的大型断裂。
- XI. 142—163 断层的赤平投影分析及断距的测算、主要有用派生节理确定位移方向；求总断距（滑距）；旋转断层测算及圆锥状断层系分析。
- XII. 222—270 将断层分为地壳收缩情况下形成的断裂变动和地壳拉伸时形成的断裂运动两大类。前者如逆断层、逆掩断层、某些平移断层、深大断裂、推覆体等等；后者有正断层、正-平移断层、沉陷洼地等等，对各类断层论述深广。最后介绍地质调查时断裂变动的辨认和研究。本书在50—60年代的断裂理论上有一定代表性。
- XIV. 81—120、160—172、183—200 本书对断层有许多重要论述。XIV. 81—83，介绍断层的成因，主要是根据E.M. Anderson的模式说明断层与力的关系；XIV. 84—97，介绍节理型式与断层型式，论述节理与断层的组合规律及其与应力的关系；XIV. 98—108，

讲述正断层, 介绍裂谷、阶梯状断块及盆岭地区断裂系的断层; XIV.109—122, 讲述控断层(即平移断层), 介绍了美国圣安德列斯等世界著名的控断层, 最后综合出控断层的13条基本特征; XIV.120—122, 介绍了巨型基底断层, 它们切过地壳并长期活动; XIV.134—145, 讲同心褶皱伴生的断层; XIV.160—171, 讲述冲断层即逆冲断层, 是与褶皱作用密切相关, 分为高角度上冲断层, 不对称褶皱的低角度冲断层等; XIV.183—200, 讲述重力滑动构造, 介绍重力滑动构造的原理和实例, 用重力滑动观点解释许多著名的推掩体(如阿尔卑斯的赫尔维特推掩体群)的成因。

XVI.103—179 简明系统地介绍韧性剪切带。

§ 1. 断层要素、位移和断层分类

一、内容提要

1. 断层的基本要素是断层面和断盘, 断层面的空间位置由走向、倾向、倾角三个产状要素确定。断层面与地面的交线叫断层线。断层面可以是一个简单的平面或曲面, 也可以是由一系列断裂面和次级破裂面组成的带。断盘可以按其与断面的上、下关系分为上盘和下盘; 或按其相对升降关系分为上升盘和下降盘。直立断层可以其方位关系命名断盘(如南盘和北盘, 北东盘和南西盘等)。

2. 断层两盘发生相对运动而位移, 可分为直移运动与旋转运动两种, 断层位移的方向和大小(断距)是断层研究的中心问题, 有很重要的意义。

3. 断层位移的距离分滑距与断距。滑距是两盘实际的位移距离, 分为总滑距、走向滑距、倾斜滑距和水平滑距; 断距是被错断的岩层在两盘上对应层之间的相对距离, 在不同方向的剖面上, 测量的断距是不同的, 可以分为地层断距、铅直地层断距和水平地层断距三种。

断层的滑距一般地说是难以准确测定的, 因此, 通常是用断距来说明断层的位移, 而且以被错断的地层为标志的地层断距用得最多。

4. 断层的分类 断层的分类方案和术语很多, 也很混乱, 比较通用的分类有以下几类:

(1) 根据断层的规模分为一般性断层和区域性大断层两大类。前一类分布广泛, 类型繁多, 规模大小相差很大, 其形成过程常与褶皱作用有密切联系; 后一类断层是地壳上的独立构造单元, 其规模大, 影响范围广。由于它的活动, 可以产生一套派生的褶皱、断层等构造组合, 并常与一定的岩浆活动和成矿作用有关。

(2) 根据形成深度及断层带岩石变形的力学性质可以分为脆性断层、脆-韧性断层和韧性断层(韧性剪切带)。一般认为在长英质岩石发育区, 韧性剪切带的上界大致在10—15km深处; 0—4km深度区间以脆性断层为主; 二者之间的深度区间(约4—10km)为脆-韧性断层。

断层的分类可以根据不同的因素来进行, 并命名, 因此, 同一条断层可以有不同的分类命名。主要的分类因素是:

- ① 断层产状及其与有关构造的几何关系;
- ② 断层运动方式;

③ 断层形成机制；

④ 断层规模。

前两种因素的分类是最基本的。

5. 按断层走向与褶皱轴向或区域构造线之间的关系断层可分为纵断层、横断层、斜断层。

6. 按断层走向与所切岩层走向的方位关系分为走向断层、倾向断层、斜向断层和顺层断层。

7. 按两盘的相对运动分为正断层、逆断层和逆冲断层、平移断层，以及正-平移断层、逆-平移断层、平移-正断层及平移-逆断层，此外还有枢纽断层。上述分类可以根据断层滑动线的侧伏角来定量确定。

二、主要参考书

I. 125—127 基本阅读内容。

V. 132—138 介绍断层分类与位移，有练习题。

三、思考与练习

1. 断层有哪些要素？断层与节理有何区别？

2. 在图6—1的三个图上，标出断层的各种滑距和断距（B、C上的剖面分别垂直地层走向及垂直断层走向），并指出图上所示的是什么类型断层？

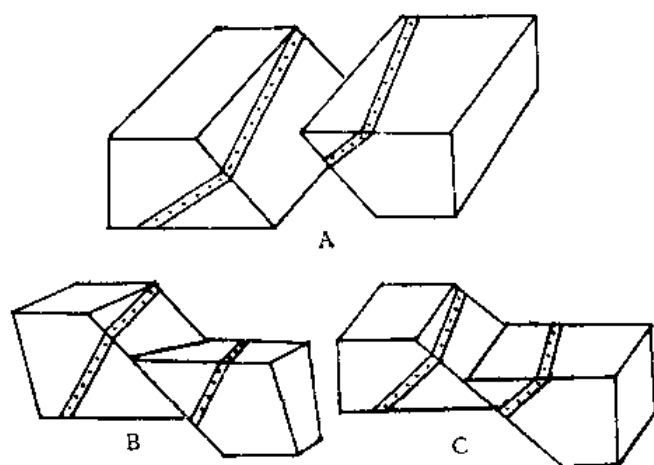


图 6—1 断层位移图

A—总滑距图，B—垂直岩层走向的剖面，C—垂直断层走向的剖面

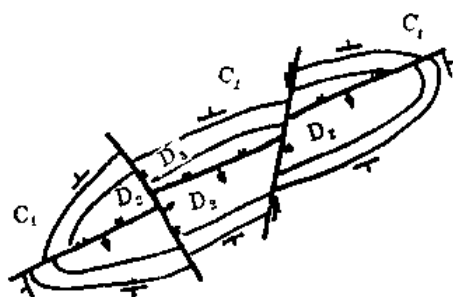


图 6—2 按断层走向与褶皱轴向关系的断层分类

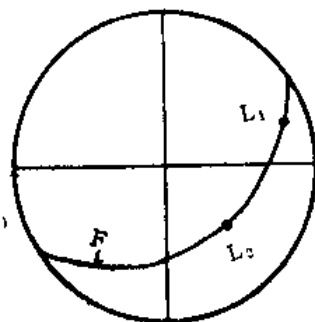


图 6—3 断层（F）及擦痕（L）的赤平投影

3. 指出图6—2上所示的各断层的类型，掌握正断层、逆断层和平移断层的图例符号。
4. 图6—3为一断层的赤平投影图， L_1 、 L_2 为断层面上两组擦痕的投影，请分析该断层两次活动的性质。
5. 断层的产状为 $225^\circ \angle 60^\circ$ ，在断层面上测得一组断层擦痕的侧伏产状是 $225^\circ \angle 60^\circ / \angle 80^\circ S$ （线状构造侧伏产状的记录式是测量面产状/线理侧伏角、侧伏向）。请作该断层及滑痕的赤平投影，并指出断层两盘是以升降为主还是平移为主。
6. 图6—4为一幅地质图，地面呈水平状态，如果该图上的断层F为平移断层，请判别a、b的距离是什么断距？若F为正（或逆）断层ab又是什么断距？
7. 图6—5是断层立体图，断层O点滑移至O'点，OO'是岩层在断层面上的交线，又称在断层面上的交迹。如果错断后地面被侵蚀夷平，请根据被错断的标志层分析在平面上及垂直于断层走向的剖面上表现为什么性质的断层？如果断层顺Oa或Ob滑动，在平面上和剖面上又表现为什么性质的断层？能否由上述三种情况，总结出某种规律性。
8. 在图6—6上求铅直地层断距和水平地层断距。

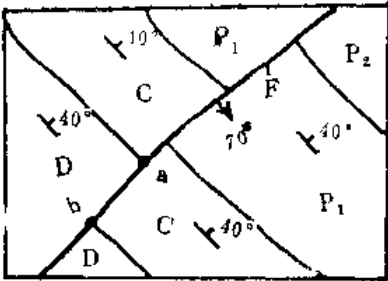


图 6—4 地质图上判断断距

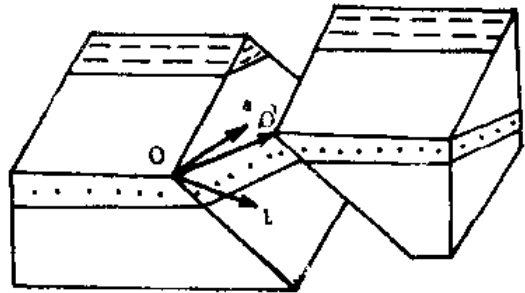
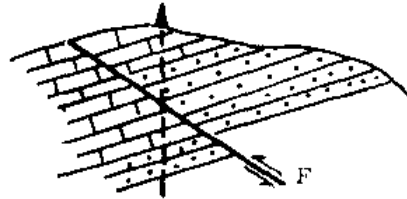


图 6—5 断层立体示意图



比例尺1:2500

图 6—6 垂直地层走向的断层剖面图

§ 2. 正断层、逆断层、推覆构造、平移断层、顺层断层、区域性大断裂及韧性剪切带的基本特点

一、内容提要

1. 正断层的主要特点是上盘相对下降、下盘相对上升；断层面产状一般均较陡，但在重力滑动等构造中也形成缓倾斜的正断层；断层带岩石破碎不太强烈，多含断层角砾或形成断层角砾岩，挤压小褶皱很少。

2. 正断层的组合型式有地堑、地垒、阶梯状断层(包括阶梯状抬斜断块和箕状构造)、盆岭构造、环状断层、放射状断层、斜列型断层和块断型断层等。

3. 在褶皱比较弱地区的断层中,正断层占优势。大规模的正断层组合是区域性引张的结果,反映了构造伸展作用。

4. 逆断层的特点是上盘相对上升,下盘相对下降;其倾角大小不一(倾角大于 45° 的高角度逆断层和倾角小于 45° 的低角度逆断层,位移很大的低角度($<30^{\circ}$)逆断层叫逆冲断层)。断层带内伴生构造强烈,可见有挤压破碎,角砾岩、破裂岩甚至糜棱岩;有时出现劈理(片理)化带或节理化带;并常见有各种复杂的小褶皱。两盘岩层变形也较强烈。

5. 逆断层的组合型式有叠瓦式(叠冲式)逆断层、对冲式与背冲式逆断层、楔冲式逆断层及推复构造等。

6. 推覆构造是产状平缓、推移距离大于5km的巨大逆冲断层(过去曾称辗掩构造)。它包括外来岩块(上盘,又称为推覆体或逆冲岩席)与原地岩块(下盘)两部分组成。由于强烈剥蚀,可以形成飞来峰和构造窗。逆冲推覆构造断层滑动带的构造作用极为强烈,岩石被强烈挤压和研磨形成从角砾岩到超碎裂岩等各种断层岩,并发育有强烈的揉褶、节理化或劈(片)理化等构造现象。有些滑动带是一条韧性剪切带(VI, 245—255)。推覆构造的上盘——推覆体的变形一般都比较强烈,可形成平卧褶皱及叠瓦状逆断层系等。

近年来的研究发现,逆冲断层及推覆构造是一种很普遍的构造,从而受到重视。

大型逆冲断层(推覆构造)的几何形态总是台阶状,由长而缓的断坪与短而陡的断坡组成。断坪沿软弱层发育。逆冲岩席(推覆体)呈叠瓦式排列,其叠瓦式断层的生成顺序和扩展方向有前展式与后展式两种。前展式是新的逆冲岩席在老的逆冲岩席的前下方发生,各逆冲岩席依次向逆冲方向扩展。后展式是每个逆冲岩席在老岩席的后上方发生,各岩席依次向逆冲推覆构造的根部扩展。前展式的一系列逆冲断层可以在高部位逐渐接近并联合成一条断层,叫做顶板逆冲断层;同样各逆冲断层向下、也可以联合成底板逆冲断层。各逆冲断层之间的岩块称为断夹块。各断夹块与顶底板逆冲断层组合成为双重逆冲构造。

7. 逆冲断层在各种地质背景下都可能形成,但在褶皱强烈区占优势,伴随强烈褶皱可发育叠瓦状构造,而高角度逆断层则多与正断层伴生。重力滑动也可形成类似推覆构造的构造形态,这种重力作用下引起的类似构造,可称为滑覆构造。

8. 平移断层的特点是两盘沿断层走向相对移动,可分为左行和右行两种;其产状较陡,且常以密集剪裂带的形式出现;剪切破碎现象强烈,可形成强破碎带、碎裂岩带及糜棱岩带等;可分为与褶皱相伴生的小型平移断层及区域性的大型平移断层。

9. 同沉积断层(生长断层)常发育于盆地边缘,多为走向正断层;其下降盘沉积厚度大,断距随深度(地层时代变老)增大而增大;常在上盘发育逆牵引构造;断层产状随深度而变缓。

10. 顺层断层的断层面是层面或不整合面。它不造成地层重复、缺失等地层错移现象,因而不易发现,也难测定断距。顺层断层的标志有层间挤压、破碎;形成断层构造岩“层”及强烈的复杂褶皱“层”;软弱层可形成肿缩式构造,或形成碎屑岩墙;与其上覆岩层常伴发生隔槽式或隔挡式褶皱及底辟构造等。

11. 区域性大断裂是指巨大的复杂变动带而言,它常构成区域构造单位的边界;这种

断裂多是岩浆活动及成矿作用带，并对沉积、剥蚀、岩相、厚度及构造变动起着明显的控制作用；对火山、地震及近代地陷等也具有明显的控制意义；这种断裂带多表现出明显的地球物理异常现象。按其地质特征可分为裂谷、推覆构造、走向滑动断层及基底析离（或顺层滑动）等类型。

12. 大陆裂谷是由一系列地堑、半地堑组成的巨大地堑系；其间沉积有巨厚的碎屑岩、火山岩等沉积物；并具有火山活动和浅源地震。裂谷下的地幔升高形成裂谷垫，因而地壳变薄。

13. 走向滑动断层的规模巨大，其长度可达数百公里至千余公里，滑移距离达数十至数百公里。这种断层呈直线延伸，产状陡峻，多由复杂的次级断层组合而成；其两盘多发育有斜列的分支断层和褶皱；断层两侧地层岩相呈有规律的错移，时代越老其错移距离越大；沿断裂带常出现拉张性断陷盆地和挤压性冲断造成的褶皱拱起；并常伴有浅源地震伴生。

14. 层圈式滑动的顺层断层。这种断层沿着各种原生面（层面或不整合面等）发生层圈式滑动。事实证明这是一种很广泛的断层。

15. 韧性剪切带是一种处于地壳深部变形强烈、但不均匀的单剪构造带，它是深（10—15km以下）层次的断层。它具有以下主要特点：

（1）这种断层两盘岩块发生了明显的剪切位移，但却没有明显的断层面；

（2）常形成一个以糜棱岩为主的高应变岩石组成的线性地带，且与围岩之间无截然界线；

（3）是一个强片理化带；并且有特殊的面理组合，即发育剪切带内面理（ S_s 面理或称 S 面理）及与剪切面平行的糜棱面理（ S_c 面理或称 C 面理），这种特殊的面理组合又称 $S-C$ 组构，此外还可能发育次生劈理；

（4）应变以韧性变形为主，脆性破裂很弱，其强度由带边缘向中央逐渐增强；

（5）伴随构造变形可发生一系列化学反应及变质作用，主要是退变质作用（I.163—167、VI.251—256、XVI.103—179）。

二、主要参考书

I. 127—144、162—176 基本阅读内容。

VII. 123—143 介绍各类断层及断层组合，以及世界著名大断层。

XIII. 224—258 介绍正断层、逆断层，平移断层的特点及形成机制。

XIV. 98—120、160—171、183—200 专题介绍各类断层并介绍有关的著名断层实例。

三、思考与练习

1. 请总结正断层、逆断层与平移断层的特点（从位移、断层产状、断层面特征、断层带岩石破碎情况、伴生构造、组合规律、产出的地质背景等方面总结）。

2. 图6—7是地面水平的地质图，请读出各图的断层性质，并根据断层性质示意绘出各图空白部分的地质界线。

3. 图6—8是一断层发育区地质图，请分析断层性质及断层组合形态，并绘出AB示意剖面图。

4. 请设计一张推覆构造示意地质图并作该图横过推覆构造走向的剖面图，图上表示

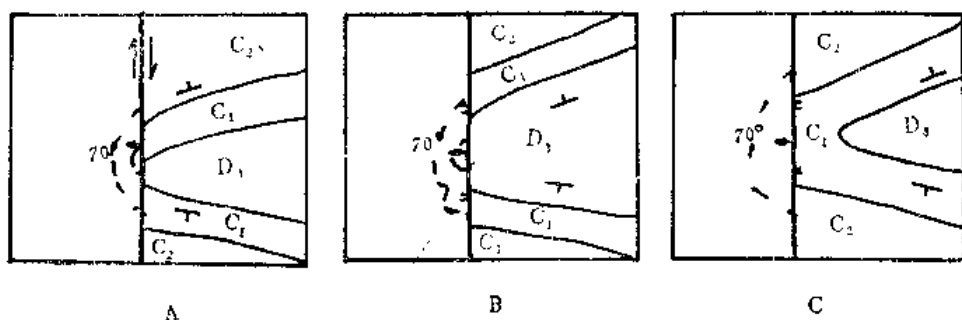


图 6—7 分析断层性质，并示意绘出各图左侧地质界线

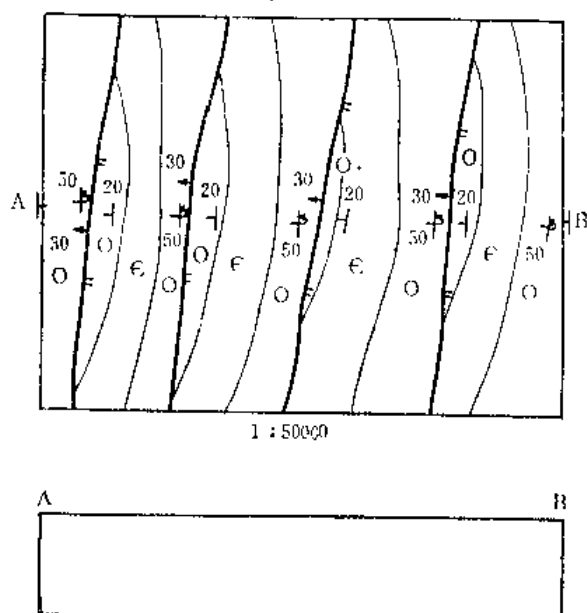


图 6—8 分析断层性质及组合形式，并作AB示意剖面

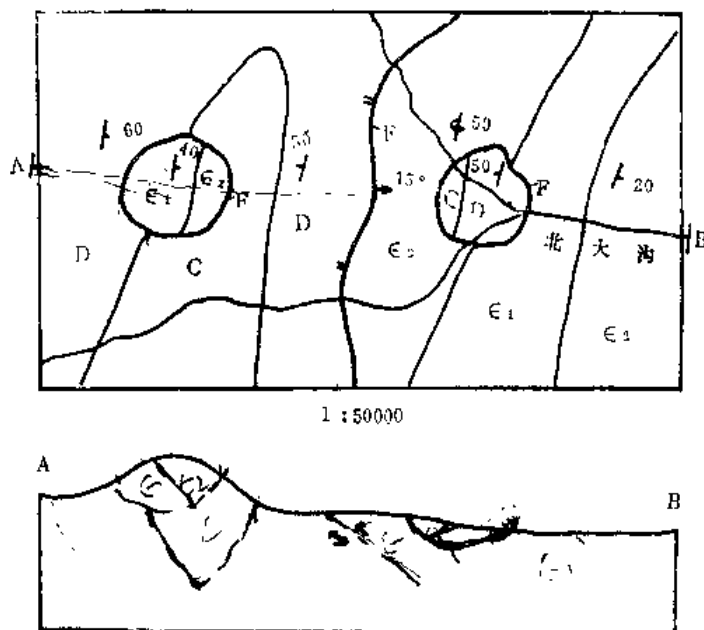


图 6—9 北大沟地区地质图
(下面剖面由学员完成)

出原地岩块、外来岩块、飞来峰和构造窗。

5. 请分析图6—9的断层性质及各种构造类型，并绘AB剖面。
6. 图6—10是两个构造等高线图，请分析断层性质、断距及等高线反映的构造形态。

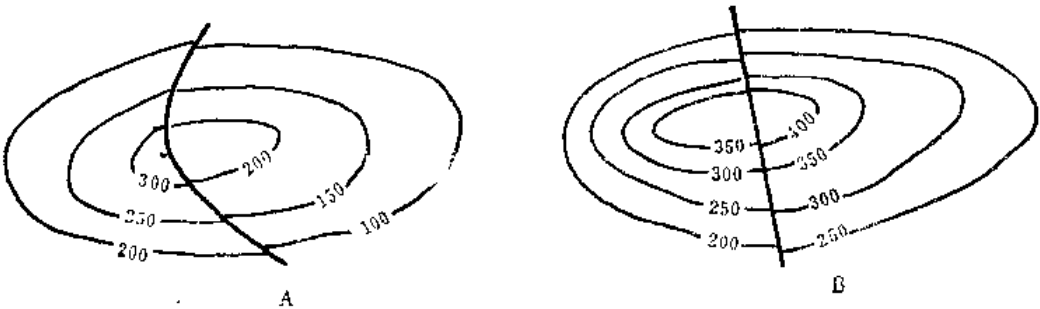


图 6—10 构造等高线图
分析等高线所表示的构造形态和断层性质，并求断距。

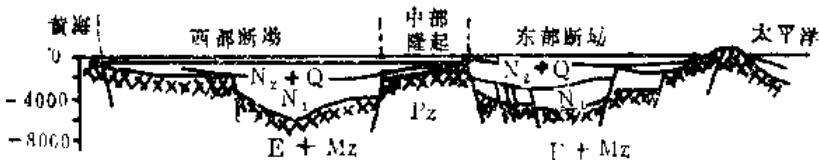


图 6—11 东海裂谷盆地构造剖面图
(据地质矿产部海洋地质局)

7. 图6—11是东海裂谷盆地构造剖面图，请分析其构造组合。
8. 一个穹窿为什么会形成放射状或同心状断层？它的应力状态怎样？形成的断层性质是什么？
9. 用赤平投影加作图法求横断层与斜断层滑距(真断距)的条件是什么？(Ⅱ.22—24、V.138—139、Ⅸ.148)。
10. 同沉积断层的基本特点是什么？
11. 什么是顺层断层？它有什么特点？
12. 什么是区域性大断裂？它有哪些基本类型？

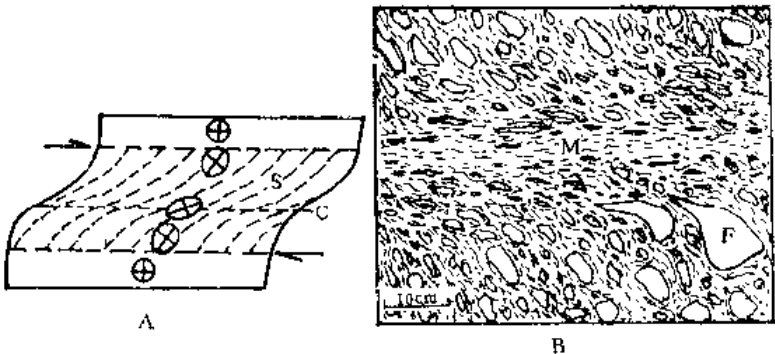


图 6—12 韧性剪切带

A—同性剪切带模式图；B—花岗片麻岩中的小型韧性剪切带素描图（广东阳春）；S—剪切带内面理（或称Ss面理）；C—糜棱面理（或称Sc面理）；F—长石斑晶；M—糜棱岩

13. 裂谷具有哪些基本特点? 世界著名裂谷有哪些?

14. 走向滑动断层具有哪些基本特点? 试说出几条我国及世界著名的走向滑动断层的名称。

15. 韧性剪切带与脆性、脆韧性断层有什么区别?

16. 韧性剪切带的主要标志有哪些?

17. 图6—12A为韧性剪切带的模式图, 图6—12B是一个小型韧性剪切带的素描图, 请对比二图认识韧性剪切带的基本特点。

18. 完成实习十, 读断层地区地质图(Ⅱ.53)。

§ 3. 断层的形成机制

一、内容提要

1. 断层形成机制 这是一个很复杂的问题, 它涉及岩石力学性质; 断层形成时的环境和应力状态; 以及破裂的产生与发展过程等。

2. 断层形成过程 当岩石受力超过其强度时, 岩石发生羽状排列的微裂隙。这些微裂隙逐渐发展、并联合形成破裂面。在差异应力作用下, 破裂面两盘的岩块发生相对滑动, 便形成断层。

3. 安德森模式提出了形成正断层、逆冲断层和平移断层的三种应力状态:

(1) 形成正断层的应力状态是 σ_1 直立、 σ_2 和 σ_3 水平, σ_2 与断层走向一致;

(2) 形成逆冲断层的应力状态是 σ_1 和 σ_2 水平、 σ_3 直立, σ_2 平行断层走向;

(3) 形成平移断层的应力状态是 σ_1 和 σ_3 水平、 σ_2 直立。

4. 哈弗奈考虑了比较复杂的应力条件, 他假设断层形成除了一个标准应力状态(类似安德森模式)外, 还附加一个类似实际构造状况的附加应力状态, 推算出不同的附加应力状态下潜在断层的可能产状与性质。

5. 不同构造层次断层的形成机制和特征是不同的, 浅构造层次断层表现为脆性破裂, 其应变速率快, 有明显的剪切面, 岩石破碎以碎裂作用和研磨作用为主; 深构造层次的断层表现为韧性剪切, 应变速率慢, 无明显断层面, 形成由无数微剪切滑动面组成的剪切带(韧性剪切带), 岩石破坏主要表现为晶格位错及动态重结晶等作用。

二、主要参考书

I. 144—147 基本阅读内容。

Ⅲ. 136—165 断层成因分析。书中收集了各种主要断层成因理论。包括:

(1) 断层的活动机制;

(2) 均质介质中断层与主应力轴位置的关系——安德森和哈弗奈模式;

(3) 非均质介质中断层与主应力轴的关系;

(4) 断层成因分类问题;

(5) 正断层的成因分析;

(6) 逆冲断层的成因分析;

(7) 平移断层的成因分析;

(8) 韧性剪切带。

VI. 198—202, 该书在断层历史一节中介绍断层扩展之前脆性岩石受应力的反应, 断层面一旦形成后的滑动方向, 以及运动开始后初始应力状态的可能变化。

VII. 121—122 断层作用的应力状态。

VIII. 81—83 介绍断层的成因 (安德森模式); 该书98—99, 通过三个正断层作用的试验介绍大断层谷的成因; 正断层作用的试验, 103—104, 介绍正断层的发展; 160—171讨论冲断层的成因; 199—200介绍重力滑动构造的形成机制。

三、思考与练习

1. 断层的形成与岩石破裂理论有关, 请复习有关部分 (I. 43—47, XIV. 59—67, IX. 121—256)。
2. 正断层、逆断层及平移断层形成的应力状态与条件是什么 (安德森模式)。
3. 在纵弯褶皱中可能形成哪些断层? 它们的应力状态怎样 (XIV 135—145)?
4. 横弯褶皱中可能形成哪些断层? 它们的应力状态怎样?

§ 4. 断层的观察与研究

一、内容提要

1. 断层识别的主要标志

- (1) 断层面 (带) 的存在;
- (2) 地层标志, 地层的突然缺失或非对称重复;
- (3) 构造线不连续, 地质体在走向或倾向上突然中断或错开;
- (4) 岩层产状的突变;
- (5) 构造现象的突然强化, 如突然出现狭窄带状分布的密集节理、劈理、片理、以及出现挤压揉褶、破碎带等;
- (6) 构造透镜体带;
- (7) 出现断层岩, 如断层角砾岩、碎裂岩、糜棱岩、断层片岩等;
- (8) 岩脉岩体、矿化带及蚀变带的线形分布;
- (9) 岩相和厚度的急剧变化;
- (10) 地貌标志, 包括断层崖、断层三角面、错断山背、平原与山岭呈直线型接触、串珠状湖泊和洼地、井泉的带状分布、河流急剧转向等;
- (11) 地球物理标志。

2. 断层面产状的测定 断层面多数是一个起伏不平的曲面, 其产状常沿走向或倾向有一定变化, 而且在自然状态下断层面常难以保存, 故其产状的测定是比较困难的。但研究断层时, 又应该尽量测定其产状, 其测定方法随情况而定;

- (1) 遇有自然断层面时可直接测量出露的断层面;
- (2) 在大比例尺地形地质图上可用“V”字形法则求产状;
- (3) 用钻探及物探方法求隐伏断层产状;
- (4) 用伴生构造求产状, 如断层内伴生的劈理、紧闭褶皱轴面、透镜体的扁平面等都与断层面近于平行或以小角度相交, 断层的侧羽状张节理与断层面多呈近 45° 的夹角。

3. 断层两盘相对运动方向的确定

- (1) 用被错断的标志层直接确定;
- (2) 根据两盘地层的新老关系推测;
- (3) 根据牵引构造推测;
- (4) 根据断层面的擦痕和阶步推测, 正阶步指示对盘向下台阶方向运动;
- (5) 利用侧羽状节理推测, 侧羽状张节理(约 45° 左右)及与断层面小角度相交的剪节理, 这两组节理和断层面相交的锐夹角尖指向本盘滑向;

(6) 两盘派生小褶皱轴面与断层面锐夹角尖指向对盘滑向;

(7) 根据断层角砾的成分来追踪角砾的母岩确定滑向。

4. 断层的滑动方向可以用赤平投影方法准确求出(Ⅱ.21—24、V.137—139、Ⅺ.142—146)。

5. 断层效应是断层沿一个方向滑动, 造成在另一方向的视位移现象。它主要表现在横断层和斜向断层中, 其效应的规律是:

(1) 正(逆)断层的上升盘会在平面上造成顺岩层倾向平移的效应;

(2) 平移断层顺岩层倾向的平移盘, 会在与断层直交与斜交的剖面上造成上升的效应。

6. 断层活动的时间

(1) 发生于被切割的最新地层之后, 覆盖断层的不整合面上最老地层时代之前;

(2) 被侵入体充填的断层早于侵入体或与其同期形成;

(3) 与褶皱构造有成因联系的断层发生于褶皱运动期;

(4) 很多断层的活动是长期的, 特别是那些大型断层常是多期活动的产物;

(5) 多期活动断层各活动期的性质、位移及伴生构造等断层现象可以不同, 因而可利用这些现象的交织关系判断断层多期活动的期次。

7. 断层岩是沿断层分布的由断层作用形成的构造岩。断层作用使断层带内的岩石破碎、碾磨、旋转、矿物晶体内部发生由晶格位错等引起的波状消光、双晶扭折及形成亚晶与动态重结晶等粒内变形, 伴随构造变形有矿物成分及化学成分的变化, 形成岩块、碎砾及矿物的定向排列和片理化, 有时甚至能局部重熔形成假熔岩。断层岩的成分随两盘岩石情况而变化, 其结构、构造则随断层性质及变形强度而定。断层岩的分类很复杂, 通常划分为下列类型:

(1) 断层砾、断层泥等是指断层带内未胶结的断层破碎产物;

(2) 断层角砾岩 按角砾大小及形状分为粗角砾岩、角砾岩、细角砾岩和磨砾岩等;

(3) 碎裂岩系列 碎裂岩是机械破碎、研磨形成的细粒化断层岩。按基质(岩粉)和碎斑的比例分为初碎裂岩(基质占10—50%)、碎裂岩(基质占50—90%)、超碎裂岩(基质占90—100%);

(4) 糜棱岩系列 糜棱岩主要产于韧性剪切带。韧性剪切作用使矿物晶粒细粒化而形成的断层岩。根据基质和残斑的比例可分为初糜棱岩(基质占10—50%)、糜棱岩(基质占50—90%)、超糜棱岩(基质占90—100%) (注: 残斑——原岩晶体的残体, 基质——细粒化的新生晶体);

(5) 变余糜棱岩 这是结晶较粗大的具片状和片麻状构造的一种断层岩, 是深层

断裂或韧性剪切带的产物；

(6) 假熔岩(假玄武玻璃、玻化岩) 这是由于局部重熔而含玻璃质的断层岩；

(7) 断层片岩 泛指断层形成的片理化岩石，它可以是由于断层挤压、剪切而使物质塑性流动、旋转、压扁、拉长而定向排列，形成流劈理；或是由于伴随断层作用的热液交代定向结晶形成片理；也可以是在深层矿物随断层作用定向结晶生长形成片理。

8. 过去认为糜棱岩是由于断层碾磨作用而形成的细粒化岩石，糜棱岩的现代概念则认为糜棱岩是塑性变形的产物，糜棱岩主要产于韧性剪切带，对糜棱岩认识的变革是近代构造地质的重大进展之一。

9. 断层观察研究的一般方法是

(1) 地质填图法、构造剖面法，这是野直接观测时常用的方法；

(2) 航空像片和卫星像片解释；

(3) 断层岩的研究；

(4) 物探和钻探法等。

二、主要参考书

I. 141—144、147—162基本阅读内容。

XVI. 103—179介绍韧性剪切带的特点、断层分类、糜棱岩、微观构造及其研究方法

三、思考与练习

1. 断层存在的识别标志有哪些？

2. 图6—13、A、B上是否有断层存在？根据什么判别？

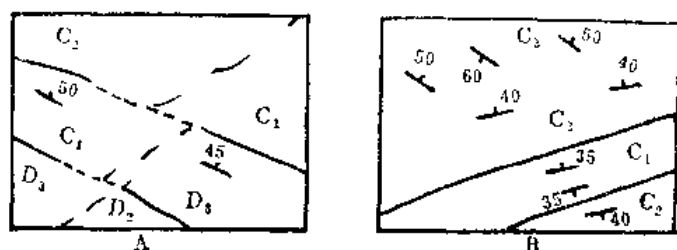


图 6—13 分析图上是否有断层、并绘出断层线位置和指出判别标志

3. 走向断层造成地层的缺失或非对称性重复，请在图6—14、6—15、6—16上判别走向断层的性质(正断层或逆断层)和断层的上升盘和下降盘。总结走向断层地层效应的规律。

4. 请分析图6—17各图所示的断层识别标志，确定断层的上升盘和下降盘以及断层性质。

5. 图6—18是云南东部著名的小江大断裂的一段，请从湖泊的分布上大致判别断层的位置。

6. 断层在地貌上为什么大多数表现为沟谷？

7. 断层伴生构造是指断层带内的各种构造现象，它不仅可确定断层的存在，而且可帮助判别断层性质及其相对位移方向。请总结断层伴生构造有哪些？图6—19是一些断层素描图，请分析各图伴生构造的种类，并判断断相对层位移动方向和性质。

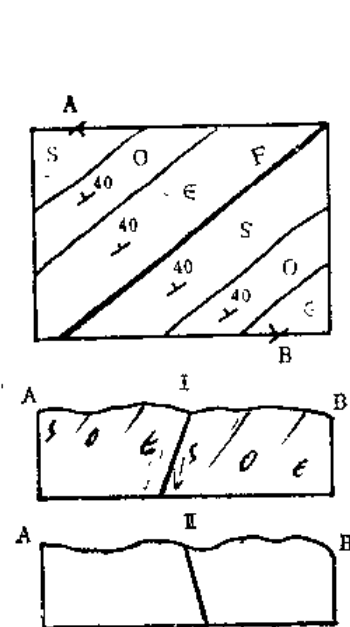


图 6—14 根据地层重复
与缺失分析断层性质 I
(剖面图由学员完成)

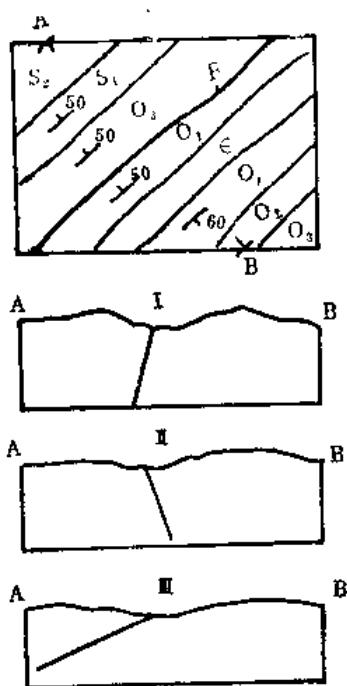


图 6—15 根据地层重复
与缺失分析断层性质 II
(剖面图由学员完成)

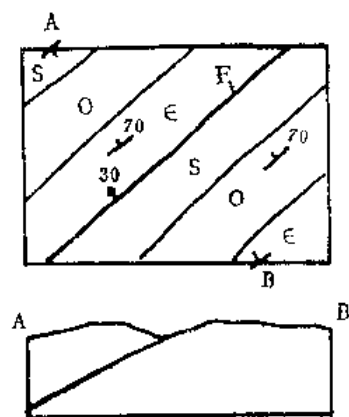


图 6—16 根据地层重复
与缺失分析断层性质 III
(剖面图由学员完成)

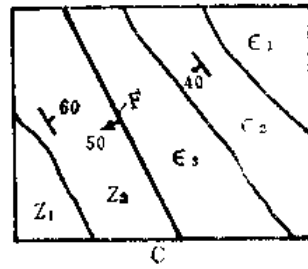
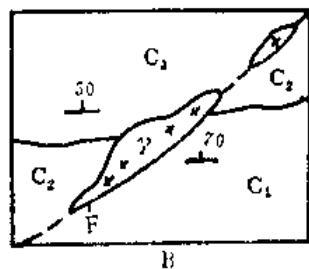
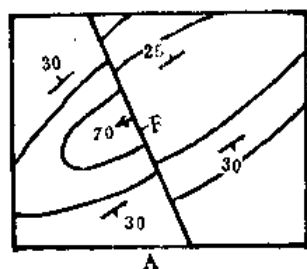


图 6—17 分析断层标志及性质

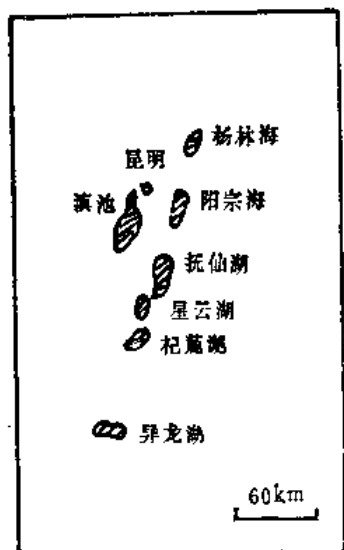


图 6—18 滇东湖泊分布图

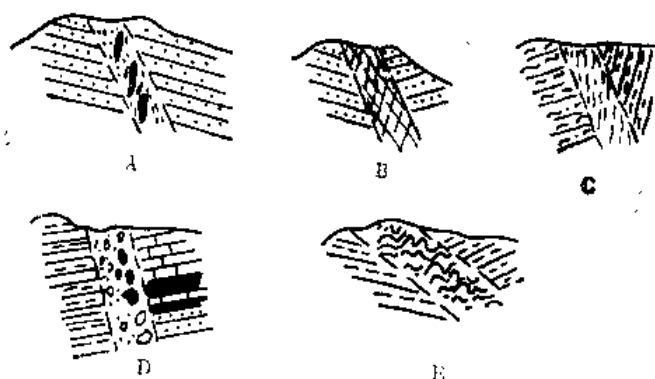


图 6—19 根据断层伴生构造分析断层性质

8. 断层面上构造有哪些？试述它们在断层研究中的意义。
9. 地层缺失是不整合接触关系的重要标志，纵断层也可造成地层缺失，试分析二者的区别。
10. 走向断层造成的地层重复与褶皱构造有什么区别？
11. 在野外一个观测点上看到岩石存在破碎现象，能否据此就确定有断层存在？
12. 断层派生构造是由于断层剪切滑切形成的应力场在两盘岩块中形成的构造，它是识别断层存在，判断断层位移方向及性质的重要标志。请总结，断层的派生构造有哪些？图6—20中各图所示的是什么派生构造？请分析它们指示的断层位移方向和断层性质，并请标出应变椭圆和主应力 σ_1 的方向。

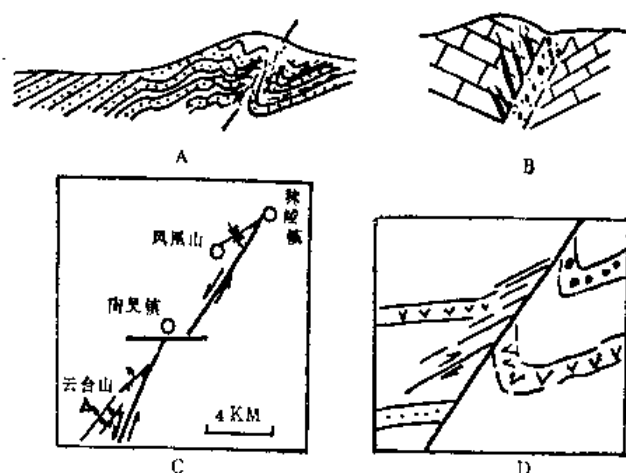


图 6—20 断层的派生构造及其相对位移的关系

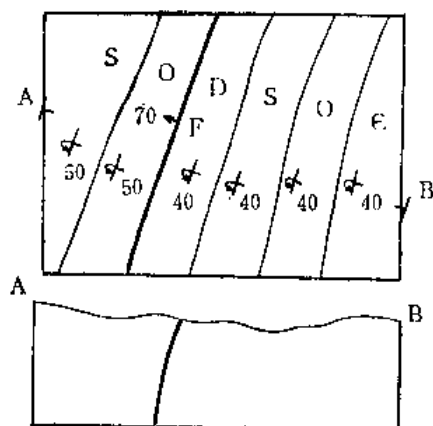


图 6—21 分析断层的上升盘与下降盘

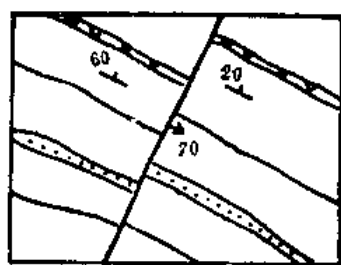


图 6—22 分析断层的位移特点与性质

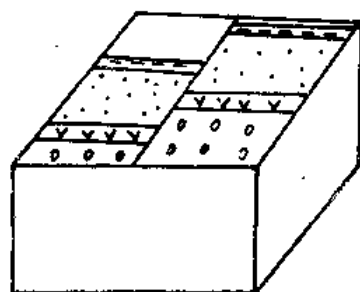


图 6—23 断层效应练习

13. 在野外怎样测量断层擦痕的侧伏角和怎样记录测量结果（记录格式：测量面产状/侧伏角，侧伏向）？
14. 在断层的一盘测得断层派生的一组剪节理产状是 $182^\circ \angle 45^\circ$ ，一组张节理产状是 $218^\circ \angle 24^\circ$ ，请用赤平投影法，求出该断层面的产状，并确定滑动方向和断层类型（设张节理与断层面夹角为 45° ）。
（答案：断层产状 $170^\circ \angle 60^\circ$ ；右行平移-逆断层；滑动方向 $305^\circ \angle 52^\circ$ ；擦痕侧伏角 $170^\circ \angle 60^\circ / \angle 64^\circ \text{N}$ ）
15. 判别断层位移方向的标志有哪些？
16. 请分析图6—21所示断层的上升盘与下降盘，并绘出AB剖面（注意地层倒转）。
17. 请分析图6—22断层的位移与断层性质（设地面水平，注意断距变化）。

(答案: 枢纽断层)

18. 什么是断层岩? 有哪些基本类型? 碎裂岩和糜棱岩有什么本质区别?

19. 分析底砾岩与断层砾岩的区别。

20. 请用两本书作断层效应试验: 两本书并排作两盘, 使二本书同向倾斜, 书间为横断层, 然后作升降(或水平)运动, 设想地形被剥蚀平坦后, 在地平面上(或横剖面上)二书的错移情况。

21. 有哪些地质构造条件可以造成图6—23所示之平面图, 并请绘出各种情况的立体图。

(提示: 设不同的岩层产状、断层产状及断层性质, 至少有五种情况)。

22. 图6—24所示是正断层还是平移断层? 为什么?

(设断层产状直立。注意岩层产状及断层位移效应)

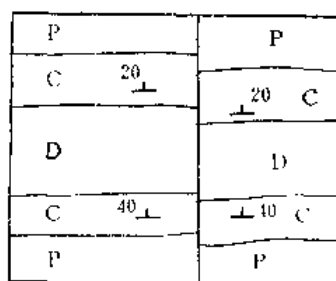


图 6—24 分析断层性质

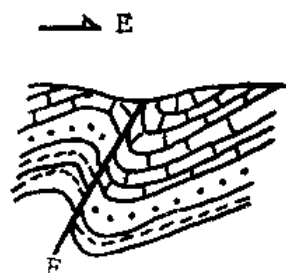


图 6—25 某断层的剖面素描图

23. 图6—25是一个走向近南北断层的東西向剖面图。根据该图所示能否确定该断层是一条逆断层? 若岩层倾向正西、北西(或南西)、正北(或南)是什么断层?

(答案: ①若岩层倾向正西, 则为逆断层; ②若岩层倾向北西或南西, 则逆断层、平移断层或平移—逆断层等都可以形成该剖面之形态; ③若岩层倾向正北(或正南)则为右行平移(或左行平移)断层, 剖面上的升降是断层效应)

24. 请分析图6—26上的构造特征, 包括褶皱、断层、岩浆岩、地层接触关系等, 确定断层性质与时代, 分析该区构造发展史。

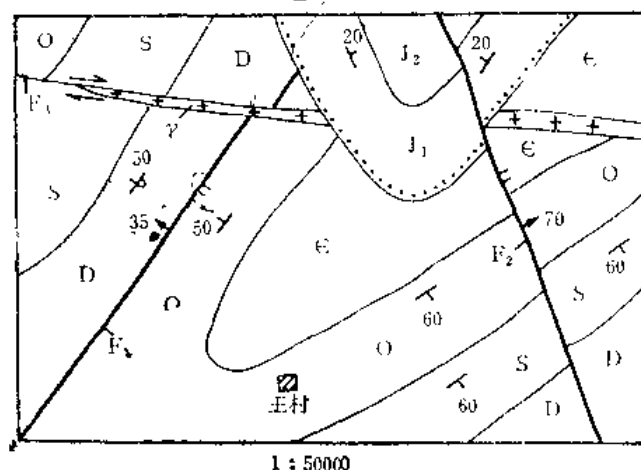


图 6—26 王村地区地质图



25. 请你按下列地质条件绘一张正规格式的地质图。

(1) 图中部有一条成NW—SE走向的不整合界线；

(2) 不整合面上覆地层为白垩系下统和上统，分布于图东北部，岩层走向 330° ，白垩系构成一平缓向斜；

(3) 不整合面下伏地层为寒武系中统、上统及奥陶系，岩层走向E—W，构成一背斜，轴迹过图中部，背斜南翼有一条早于白垩纪的走向逆断层，背斜北翼有一个早于白垩纪的花岗岩小侵入体；

(4) 在图的东部有一条南北向的右行平移断层，其时代晚于晚白垩世；

26. 区域性大断裂和与褶皱有关的断层有何区别？

27. 观察断层模型，建立断层的空间概念。

28. 观察描述断层标本，如断层磨光面及擦痕、阶步、构造透镜体、牵引小褶皱、断层岩（断层角砾岩、断层泥、碎裂岩、糜棱岩等的标本与薄片）。

29. 完成实习十，分析褶皱断层地区地质图并作剖面图（II 61—64）。

第七章 劈理和线理

一、中心内容

1. 劈理和线理是广义的面状构造和线状构造的主要类型。广义的面状构造（或称面理）是指地质体内一切可以构成平面的构造要素，如层理面、节理面、断层面、以及劈理、片理、片麻理及岩浆岩的流面等。也包括那些理想平面如褶皱轴面等。面理中有些是分割性面，如断层面、层理面、节理面等；有些是趋势性面，如片麻理面、褶皱轴面等。广义的线状构造或称线理，是指地质体内一切可以均成直线的构造，如矿物或岩石砾块长轴定向排列成的直线、褶皱枢纽、擦痕、石香肠和窗棂构造、岩浆岩的流线、以及两个面的交线等等。线理中有些是连续的线，如褶皱枢纽、窗棂构造、擦痕等；有的则呈断续状，如矿物长轴定向排列成的线理等。本章的劈理（包括片理、片麻理）是狭义的面理；线理是指构造作用形成的线理。当然有些学者就将劈理作为面理的同义词，或将面理、线理限制在透入性构造的范围内。学习时特别在参阅文献资料时应注意这些认识上的不同观点。

2. 一切地质构造在几何上都是由各种面状构造和线状构造组成的，对平面状的地质体这容易理解，而对曲面状地质体如褶皱等也一样，因为褶皱面的弯曲面在几何上可分解成无数局部的平面，或作为平面变位的结果。这一观点是进行构造几何解析的基础。例如在褶皱研究中用赤平投影作 π 图解就是这一原理的具体应用。

3. 透入性构造和非透入性构造的概念。透入性构造是研究域内均匀连续发育的构造，它反映了研究域内发生了这种构造的均匀连续变形。非透入性构造在研究域内不是均匀连续发育的，而是孤立或无规律分布的构造。它反映了构造变形只集中在非透入性构造本身及其附近。如劈理是透入性构造，断层是非透入性构造。但是构造的透入性是相对的，例如，在较小范围研究域内的单条节理是非透入性的，但在较大研究域内连续发育的平行节理群则可能是透入性的。

4. 本章主要内容是介绍劈理与构造线理的分类、形成机制和观测研究方法。劈理和线理是变质岩区最发育的构造及主要研究对象，学好本章可为第九章变质岩区构造研究及将来在变质岩区工作打下良好基础。当然，有些沉积岩及岩浆岩中也发育劈理和线理。劈理及线理的研究有助于进行有关构造的分析。

5. 掌握本章内容首先要认识各种劈理和线理类型，应注意进行标本观测，有条件时可进行野外观测及显微镜下薄片观测，这样将有助于认识劈理与线理，并掌握其特点。

二、主要参考书

I. 178—204 基本阅读内容。

VII. 93—99 讲述面状与线状构造的概念及其统计研究；196—210，讲述劈理，除介绍劈理的术语外，对劈理形成机制及其与其它构造的关系也有介绍，内容较全面深入。

XII. 188—212 这部分的标题是“岩石的可劈性和节理”。该书将劈理和节理都归为岩石的可劈性，而只有与褶皱作用有关的可劈性和节理才叫劈理。书中介绍了岩石可劈性

和节理的成因与分类。在线状定向一节中讲了沿a轴伸长的线状定向和沿b轴伸长的线状定向。本书的某些观点及线理与面理的术语系统与 I、IV 等参考书存在一些差别，但书中有些内容，如与褶皱有关的劈理等至今仍在应用，许多插图都得到广泛引用。

VI. 128—148 讲述面理及轴面面理分类和成因；155—157页讲其它变质面理；158—169页讲线理，包括线理描述和分类，线理成因等；本中还介绍了劈理和线理的宏观及显微构造特征、分类及存在问题。本书中的劈理和线理分类及术语系统是目前应用最广的一种。关于形成机制的论述也比较深入，特别是讲了许多微观构造特征，宏观和微观结合，是其它参考书中所不多见的。该书可作为了解面理、线理研究中现代观点的主要参考书。

XII. 317—330 解释叶理（片理）和线理。除介绍片理和线理的运动学和动力学解释外，也谈到分类、特征及其形成机制等问题。

§ 1. 劈 理

一、内容提要

1. 劈理是将岩石按一定方位分割成密集而平行的薄片和薄板的构造。劈理构造由劈理面和微劈石两部分组成，劈理面是潜在的劈开面，微劈石是劈理面之间的岩石薄片。在微观尺度上，大多数劈理由两部分交互排列而成，一部分是富层状硅酸盐且矿物定向良好的劈理域，另一部分是石英等粒状矿物较多且定向性稍差的微劈石域。

2. 劈理的分类比较混乱，术语很多，以致同一个劈理会定出不同的名称。常用的分类是根据劈理的构造特点和形成方式划分为流劈理、滑（折）劈理及破劈理三个基本类型。另外还有一种结构分类（或称形态分类），分为连续劈理和不连续劈理两种类型。

3. 流劈理是由片状、板状或扁圆状矿物或其集合体平行排列而使岩石分割成薄片的构造。流劈理表示岩石曾遭受强烈的塑性变形，它是岩石在力的作用下内部颗粒发生旋转、拉长、压扁、压溶及定向重结晶等作用的结果。流劈理面的方位问题争论很大，一种认为劈理面平行XY面即代表最大挤压面；另一种认为平行于剪切面。事实上在复杂的应变作用下它的最终方位是与挤压力垂直的XY面。因此，在力学分析中把劈理看作是“最大挤压应变面”。

流劈理主要发育于变质岩区，对不同类型变质岩中的流劈理也给予不同的名称，如片理、片麻理、千枚理、板理等等。

4. 破劈理是岩石中密集、平行的破裂面。以其密集性与节理相区别，一般地将间隔小于1cm的称为破劈理。破劈理与矿物的定向排列无关。破劈理的成因争论颇多，上述定义，即认为破劈理是密集的剪切破裂面，是一种成因观点；有的认为破劈理是张裂面，有的认为是压溶作用形成的，还有人主张不用“破劈理”这一术语。

5. 滑劈理（折劈理）是切过早期流劈理或片理的密集而平行的滑动面。滑劈理面上可有矿物定向排列成的滑动带。滑动面间的微劈石中的早期面理会发生弯曲褶皱，根据微劈石中早期面理的形态特征，可将滑劈理划分为膝折式、揉褶式和挠曲式等类型。滑劈理的成因一般认为是一组与主压应力斜交的劈切面，但对于微劈石中早期劈理的褶皱与滑劈理的关系则有先剪后褶和先褶后剪两种解释。不过在滑劈理的递进变形过程中，滑劈理面

会发生旋转，最终垂直于最大主应力轴。

6. 连续劈理是劈理密集、劈理域间隔极小肉眼不能分辨劈理域和微型石的一种构造，其矿物全部定向排列。实际上就是在岩石中连续发育的劈理，按重结晶程度分为板劈理、千枚理、片理和片麻理。不连续劈理是劈理间隔大而明显，肉眼能分辨劈理域与微劈石，也就是劈理是间隔发育的。例如破劈理及某些滑劈理。这种分类完全是形态标志，不涉及成因。

7. 劈理与大构造的关系 劈理是一种小型构造。它在几何上及成因上都与大构造有密切关系。研究证明，大多数劈理都与褶皱作用有关，此外还有断层劈理及顺层劈理。

(1) 轴面劈理是大致平行于褶皱轴面的劈理，大多是流劈理，也有滑劈理。轴面劈理常对称于褶皱轴面呈正扇形或反扇形排列。轴面劈理是一种典型的挤压应变面，与最大主压应力轴垂直。轴面劈理形成后，弯褶皱作用就逐渐被剪切褶皱作用所代替。

(2) 层间劈理是发育于某些岩性层内并与层面斜交的劈理。在强硬层里，因弯滑褶皱作用导致层间剪切，从而在翼部形成层间破劈理。而在软弱岩层中可由弯流作用形成流劈理。

(3) 断层劈理可形成于断层带内，也可以发育于断层两盘。越近断层越发育。在浅层脆性断层中多为破劈理，也有流劈理；而在深层韧性剪切带内则主要为流劈理。

(4) 顺层劈理是与层理平行的流劈理。顺层劈理的成因争论很大，一种观点认为是岩石深埋地下由重压负荷变质而成；另一种观点认为在地下深层，虽有温度、压力，但无差异应力，不可能形成顺层劈理。因而认为自然界的顺层劈理只是同斜褶皱翼部发育的轴面劈理，它在翼部与层理平行，而在转折端仍与层理相切。

8. 劈理的野外观测与研究 劈理是变质岩区最重要的构造要素之一，劈理的研究方法首先是在野外进行大量而系统的观察与测量；然后在室内进行微观构造和岩石组构等的研究，并进行数据处理与综合分析。野外观测的主要内容是：

(1) 观察劈理特征，确定劈理性质与类型；

(2) 测量劈理参数，包括劈理产状、劈理间距或密度、劈理域与微劈石的宽度等；

(3) 区别劈理和层理，尽量恢复真正层理，并观察劈理与层理的关系，以确定观测点所处的褶皱部位、并帮助确定地层层序（其规律是：褶皱翼部层间劈理与层理的锐夹角尖指向邻层滑向，并滑向褶皱外弧转折端）；

(4) 仔细观察多组劈理的存在，确定各组劈理的交切关系，并建立劈理发育的先后系列（劈理的代号为“S”； S_1 代表第一期劈理； S_2 代表第二期劈理……）。

9. 劈理室内研究的主要内容

(1) 劈理测量数据处理与制图，主要是赤平投影解析图；

(2) 将经过分析确定的不同期的劈理用不同的符号标在地质图上；

(3) 显微构造特征与组构分析；

(4) 组分分析，特别是矿物成分及重结晶程度，以了解变质作用及形成环境；

(5) 结合其它构造进行综合解析，恢复应力-应变场。

二、主要参考书

I. 178—191 基本阅读内容。各种解释均以本书为准。

VIII. 196—210 认为劈理都是次生成因，与层理无关；分流劈理、破劈理两类。介

绍劈理形成中的力学效应，论述变质作用和劈理、矿物方位和劈理的关系。本书在论述劈理形成机制方面很有参考价值。

XII. 197—207 在与褶皱作用相关的节理和可劈性一节中划分为流劈理、破劈理、劈切劈理三种类型；并按劈理的成因分为轴面劈理、横切褶皱轴面的劈理、层间劈理、层状劈理或层状片理化、断面劈理等五类。

VI. 128—148 分述轴面面理、破劈理、折劈理、板劈理、片理、分异层理（片麻状层理）等六种类型。介绍了这些面理的特点，特别是微观构造特点，并附有照片。在轴面面理的成因部分讲述了面理成因研究的主要问题、面理方位与应变的关系；提出了假定劈理 λ_s 与 λ_3 垂直的模式和假定劈理的发育平行于应变细A的模式；还介绍了层状硅酸盐的优选方位、粒状矿物优选方位及分异作用等劈理形成机制问题。本书在劈理成因方面讲得较深刻，理论也较新。在155—156页讨论了其它变质面理，主要是顺层面理、同心劈理、拱式枢纽劈理，并简单地讲了剪切带中的劈理。

三、思考与练习

1. 什么叫透入性构造和非透入性构造？
2. 什么叫劈理？通常将劈理分为哪些类型？
3. 试述流劈理的特点和形成机制。
4. 什么叫破劈理？它的力学性质是什么？
5. 试述滑劈理的特点，滑劈理微劈石与流劈理微劈石有什么区别？
6. 图7—1为三个劈理素描图，请分析它们的特点，并确定劈理类型。
7. 在某地区测得流劈理的优势产状为 $195^\circ \angle 85^\circ$ ，请推断流劈理形成时该区最大主应力轴 σ_1 的方位。

（答案： $\sigma_1 = 15^\circ \angle 5^\circ$ ）。

8. 图7—2是某浅变质岩区的一个剖面上的2,4两个劈理观测点，其劈理类型属层间劈理

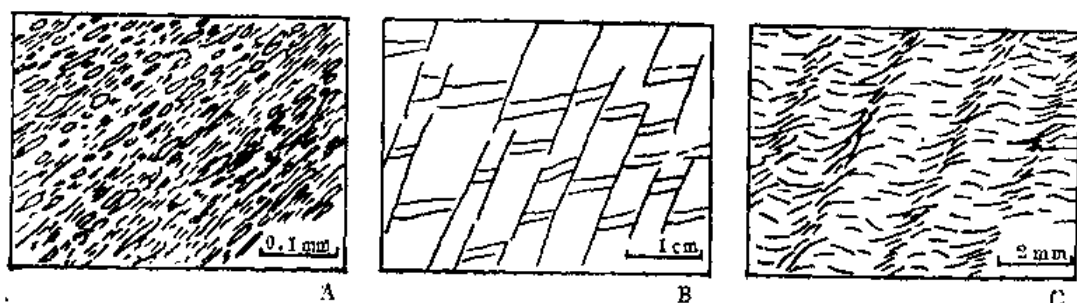


图 7—1 劈理素描图

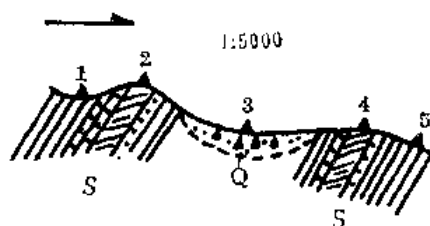


图 7—2 ××剖面图

Q—第四系；S—志留系；
2,4—劈理观测点（斜线示劈理）

理，其关系如图所示，请恢复该剖面的褶皱构造。

9. 按劈理与大构造的关系可以将劈理分为哪些类型？请绘出它们的示意图。

10. 劈理的野外观测内容有哪些？

§ 2. 线 理

一、内容提要

1. 线理是泛指岩石内部和表面的原生和次生的平行线状构造。本节仅讨论构造作用形成的次生线理。线理是一种透入性的小型构造，主要发育于变质岩区，因而是变质岩区构造研究的主要对象之一。

2. 小型线理 按其形态和成因可以分为五类。同时按线理与运动轴 a 、 b 、 c 的关系又可划分为 a 线理和 b 线理。

(1) 拉长线理由拉长的砾石、鲕粒、岩屑及矿物集合体的长轴平行定向排列构成，呈断续状，属 a 线理。

(2) 矿物生长线理由针状、柱状矿物等的长轴平行定向排列构成，也呈断续状，它是在应力作用下矿物定向结晶生长而成，属 a 线理。

(3) 皱纹线理是劈理或片理面上的小褶皱，许多皱纹线理是滑劈理微劈石中微小褶皱的枢纽，属 b 线理。

(4) 滑痕线理是滑动留下的擦痕、刻槽或沿滑向生长的纤维状矿物体，属 a 线理。如断层擦痕、弯滑褶皱面上的滑痕及片理面上的滑痕等，它可以是透入性的，也可以是非透入性的。

(5) 交面线理是两组劈理的交线或劈理与层理的交线等。交面线理与同期褶皱轴平行，属 b 线理。

3. 大型线理的主要类型有石香肠构造、窗棂构造、杆状构造及小褶皱枢纽等等。

(1) 石香肠构造（布丁构造）是在强弱相间的岩层中强岩层被拉断成顺层排列的岩块。一般出现在垂直于褶皱轴的剖面上，在褶轴方向（ B 轴方向）呈长条状，属 b 轴线理（许多构造透镜体也属此类）。如果 B 轴方向也断成岩块就称为“巧克力”块状石香肠构造。根据石香肠的横断面形态可分为矩形、菱形、藕节状、透镜状等形态类型。石香肠岩块之间会被两侧软弱岩层楔入，形成楔入褶皱。楔入物中还可能含有方解石及石英等矿物，它们是岩石变形中分泌出来的。石香肠构造按其成因可分为张裂型、剪裂型、粘滞型和褶皱型。石香肠构造是当岩层受到垂直层面的挤压时，弱岩层会发生塑性流动，并对强岩层产生摩擦牵引，最后导致强岩层被断裂、拉开形成石香肠构造。因此，香肠体延长方向为 σ_2 ，垂直层理方向为 σ_1 ，平行层理与 σ_2 垂直的方向为 σ_3 。

(2) 窗棂构造是岩层面上一系列平行排列的半圆柱状构造，柱面上有时被磨光并蒙上一层应力矿物膜，它多数是由强岩层卷曲而成，在柱面上可发育与大柱平行的次级柱。按其成因和形态分为节理式窗棂构造、肿缩式窗棂构造和褶皱式窗棂构造。窗棂构造一般与褶皱枢纽平行，属 b 轴线理。

(3) 铅笔构造是两组以上的面理将岩石切割成具多边形断面的棒状体。

(4) 杆状构造是由石英或其它单一成分岩石构成的细长圆柱体。它是在变形中产生

的石英等析离物或早期的脉体，由于褶皱或断层的发育而透镜体化，进而辗滚成棒状，其长轴属b线理。

(5) 许多小褶皱枢纽由于规模太小作为褶皱构造研究的意义不大，但其枢纽产状却有重大意义，因此可以做为一种线理来进行研究。显然，它属于b轴线理。

4. 线理研究的意义很大，首先可以解决构造几何学和运动学的问题。线理总是位于运动面ab面上，a线理代表物质运动方向；b线理与应变轴B平行。第二是多组线理的关系及线理在多期变形中的变位轨迹和规律有助于揭示变形史。第三是研究线理有助于分析变质作用及变形环境。

5. 线理观测研究的主要内容

(1) 正确确定线理类型及轴型，主要应在野外观测点上观察其性质与特征，并研究其成因。

(2) 系统测量线理产状，并标定在地质图上。线理的代号为“L_i”，右下方数字代表期次，右上方字母代表轴型。测量线理时必须在同期劈理面上才能测到其真产状，其它露头面上可测出侧伏产状，再用赤平投影求出其真产状。利用这种方法还可确定是否存在线理（方法见第十章§3.）。

(3) 研究线理与其它构造的关系包括形成时间关系、成因关系及几何方位关系等。

(4) 划分线理的期次，观测线理的叠加关系。

6. 线理的室内研究主要是进行赤平投影制图，以确定线理的优势产状及线理在叠加变形中的变位规律，并配合其它构造进行构造解析。

7. 线理是小型构造，必须进行大量测量，统计分析出优势产状才能用于构造解析。用单个线理产状作依据则可能导致错误的结论。

二、主要参考书

I. 194—204 基本阅读内容。

II. 67—69 线理和劈理在地质图上的表示方法，变质岩区地质图上线理和面理分析法。

VIII. 210 介绍窗棂构造、杆状构造及劈理窗棂构造。

XIII. 207—211 在线状定向一节中讲沿a伸长的线状定向、沿b伸长的线状定向、旋转线状定向、相交线状定向等。

VI. 158—169 在线理描述一节中分出擦痕、褶皱线理、交面线理、矿物线理、拉伸线理、杆状构造、窗棂构造和香肠构造；在线理成因一节中讲述各种线理的形成机制；最后在线理指示平行于褶皱轴伸长问题中讨论了褶皱枢纽与均值应变主轴之间的各种可能关系。这是线理讲得最全面深入的一本参考书。

三、思考与练习

1. 什么叫线理？什么是a轴线理和b轴线理？线理的运动轴型分类有什么意义？

2. 小型线理可分为哪几类？它们的特征是什么？是怎样形成的？

3. 试述大型线理的主要类型与特征。

4. 石香肠构造可划分为哪些形态类型和成因类型？石香肠的形态和成因有什么联系？

5. 请绘一个石香肠构造的示意图，在石香肠体上标出形成时的应力主轴。

6. 什么是窗棂构造？它可以分成几类？各有什么特征？
7. 杆状构造是怎样形成的？
8. 窗棂构造和石香肠构造有哪些异同点？
9. 线理观测的主要内容是什么？
10. 观测研究拉长线理与矿物生长线理有什么构造意义？在哪些构造面上才能准确测量这两种线理的产状？
确定物质运动线
11. 在不同的露头面上都可观察到椭圆形鲕粒长轴的定向平行排列而显示的线状构造，试问，怎样判别是否存在鲕粒拉长线理？在露头面上测到的鲕粒长轴线状构造是鲕粒拉长线理的真产状吗？怎样才能求得该线理的真产状？

第八章 岩浆岩体的构造研究

一、中心内容

1. 岩浆岩体是地壳的基本构造要素之一。岩浆岩体构造的研究内容包括岩浆岩体的形态和产状；岩体内的原生构造和次生构造；以及岩浆活动及侵位与构造的关系等问题。此外，本章还包括岩浆岩体构造的观测与研究方法等内容。

2. 岩浆岩（特别是侵入岩）的一个重要构造特征是一般不具成层性，因此褶皱与断层的表现都不如沉积岩清楚。它的另一特征是岩体内常发育各种原生构造，包括原生流动构造、原生破裂构造和塑性变形构造等，这是构造研究的主要内容之一。岩体内的次生构造以断层和节理等破裂构造为主。此外，岩浆岩体构造的研究与岩石成分和类型等岩石学内容密切相关，在学习本章时应当注意这些特点。

二、主要参考书

I. 205—229 基本阅读内容。

II. 65—66 介绍岩浆区地质图，岩浆岩构造要素的表示方法。学习阅读分析岩浆岩地质图及岩浆岩区地质剖面图的制图方法。

VII. 234—262 包括三个部分：液态阶段和塑性阶段构造；由破裂引起的构造；岩床、岩墙和岩盖。对各种构造的特征和形成机制都讲述较深入，并有实例。

XII. 271—331 这是有关岩浆岩构造最详细的一本参考书，详细介绍侵入体的产状、原生构造、次生构造及形成的地质环境，还介绍研究方法和分析实例。

§ 1. 岩浆岩体的产状及其构造控制

一、内容提要

1. 岩浆岩体是一种独立的地质体，它有一定的边界与沉积岩或另一类岩石分开；它占有一定的空间，并具有特殊的形态。岩浆岩的产状就是指岩体的形态、大小及其与围岩的接触关系。这里所指的“产状”与岩层产状的含意有所不同，这是与岩浆岩本身的特点分不开的。

2. 岩浆岩体的产状是复杂多样的，而且许多侵入体深埋地下，使人们无法直接观察和全面认识一个岩体的产状。对产状的观察研究主要是对岩体出露部分及局部揭露部分（如钻探、采矿坑道等）进行研究，对深部产状则只能通过岩体的地面特征（如出露形态、接触关系、原生构造等）及钻探、物探资料等进行推测，但是许多小型侵入体也可以直接观察其产状。

3. 岩浆岩体产状复杂的原因一方面是由岩浆活动的习性所决定；另一方面是受不同构造的控制。后者就是研究构造与岩浆岩分布和产状的关系问题。

4. 岩浆岩体的产状按其形成环境和岩浆活动方式可分为侵入岩体和喷出岩体两种不同的产状类型；按各类岩体的形态、大小及接触关系再划分出各种详细的产状类型。

5. 侵入岩体的产状可以根据侵入体与围岩的接触关系分为协调侵入体和不协调侵入体。

6. 协调侵入体(又称整合侵入体)与围岩的接触面大致平行于围岩的层理或片理,也就是顺层或顺片理侵入。按其形态特征可分为岩床、岩盆、岩盘和岩鞍等四类。

7. 不协调侵入体(又称不整合侵入体)与围岩的接触面切割围岩的层理或片理,其形态是多种多样的,按其规模大小及形态特点可分为岩基、岩株、岩墙,以外还有岩枝、岩瘤、岩脉等等。

应当指出,一般把长度远大于其厚度的板状、似板状的侵入体称为岩墙,对于一些规模较小、形态不甚规则者称为岩脉,实际上二者并无本质区别。

8. 侵入岩体的产状与地质构造的关系密切,不同产状的侵入体往往受不同类型的构造控制,岩体形态也反映了不同控制构造的特征。

(1) 岩床和岩盘都受层理或片理控制;岩盆与构造盆地有关;岩鞍主要是在背斜转折端形成的。

(2) 岩基常沿背斜核部形成,而且常常沿构造变动较强烈的地带分布。岩株常受背斜核部及断裂交叉部位控制。

(3) 岩墙受断裂构造控制,而且岩墙的形态、产状及组合规律基本上反映了构造断裂的特征。巨大的岩墙群反映了巨型区域断裂特征,有些基性岩墙群,例如席状岩墙则与板块构造相联系的伸展区有关。因此,岩墙可以作为确定和追索断裂及区域构造的重要依据。

平行式岩墙群一般受一组剪切断裂控制。斜列式岩墙群代表一个脆-韧性剪切带。放射状岩墙群通常是受火山构造或岩浆底辟穹窿控制。锥状岩席和环状岩墙则是沿由于岩浆上升时对围岩挤压形成张裂面及岩浆冷凝收缩时围岩对岩浆房挤压形成剪裂面充填而形成。沿剪切面充填就形成环状岩墙。席状岩墙群是裂谷反复扩张侵入的结果,这是板块学说洋壳扩张的重要证据。

9. 喷出岩体的产状按喷出方式、熔岩性质和喷发岩体的形态分为熔岩被、熔岩流和火山锥三类。

10. 各种产状的岩浆岩体可以单独产出,但多数是互相关联的。例如岩株、岩墙可能是深部岩基的分枝,而喷出岩体可能通过火山管道和侵入体相联等等。还必须指出,协调和不协调侵入体是相对的,总的来说侵入体与围岩层理、片理是不协调的,只在局部可以有协调现象。

二、主要参考书

I. 205—210 基本阅读内容,各种基本概念以本书为准。

III. 201—206 介绍火山机构的组成和内部构造要素,并介绍了恢复古火山机构的方法。该书反映了火山构造研究较新的成果。

VII. 250—262 介绍岩床、岩盖和岩墙三种产状的侵入体特征和实例。

XIII. 207—294 介绍各类产状侵入体的特点、形成条件和实例分析,并介绍了大型侵入体占据空间的问题。

三、思考与练习

1. 图8—1为岩浆岩产状的综合示意图。请指出图上各种岩浆岩体(从1—8)的产状类

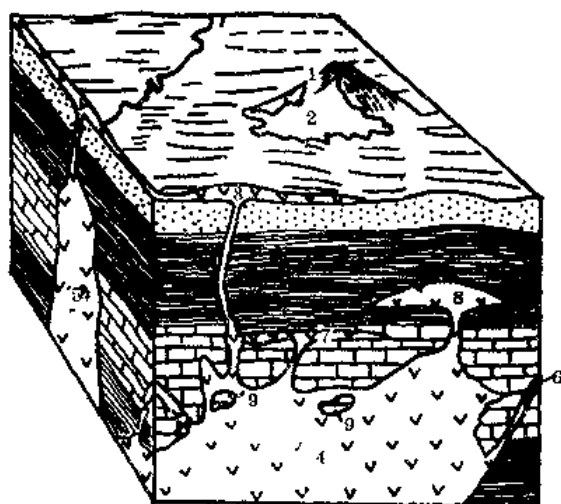


图 8—1 岩浆岩体产状示意图
(据长春地质学院“构造形迹”)

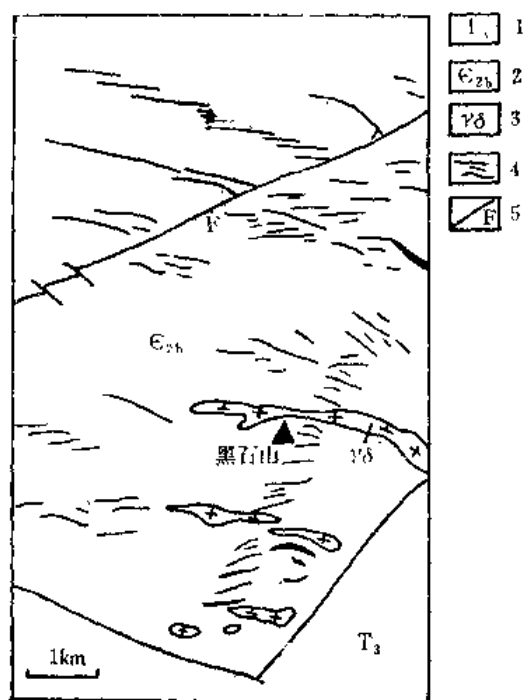


图 8—2 甘肃白银厂黑石山地区岩墙分布图
1—上三叠统；2—中寒武统白银厂群；3—花岗闪长岩；
4—花岗斑岩为主的岩墙群；5—断层

型。

2. 什么叫协调侵入体和不协调侵入体？它们的划分根据是什么？

3. 某一东西向地层剖面的岩层全为变质砂岩，产状为 $90^\circ < 50^\circ$ ；剖面中部有一个辉长岩岩床。请绘出该剖面的示意图。

4. 什么叫岩盘和岩盆？二者有什么区别？

5. 世界上最著名的岩盆是南非的什么岩盆？

6. 请绘一幅岩鞍示意图，并说明岩鞍是怎样形成的？

7. 请分析岩株和岩基的异同点。

8. 图8—2是甘肃白银厂黑石山地区岩墙群分布图。其岩性以花岗斑岩为主，也有花岗闪长斑岩及少量基性岩墙。

请根据图面分析该区岩墙的组合规律，分析两组斜列式岩墙群的构造性质，并指出形成岩墙群构造的最大主应力轴方位（岩墙产状近直立）。

9. 在火山岩地区测得放射状岩墙群，请分析其构造意义。

10. 在我国西南云南、贵州、四川等省的三叠系地层中部普遍发育一套玄武岩系，这就是有名的峨眉山玄武岩系。请分析这套岩系的产状类型及其形成条件。

§ 2. 岩浆岩体的原生构造和次生构造

一、内容提要

1. 岩浆岩的原生构造有岩浆流动阶段形成的原生流动构造和冷凝阶段形成的原生破

裂构造。以及原生流动与冷凝破裂阶段之间的塑性变形构造（原生塑变构造）。

2. 侵入体的原生流动构造——流线和流面

（1）流线——线状流动构造 它是由柱状、针状等长条形矿物及长条形折离体和捕虏体的长轴大致平行定向排列而成的线状构造。它是悬浮于岩浆内的早期结晶矿物，随着岩浆从边缘到中央的差异性流动而产生的一种构造。它在岩体边缘最发育，可以指示岩浆的相对流动方向。

（2）流面——面状流动构造 流面是由片状、板状矿物或扁平捕虏体和折离体的扁平面互相平行排列而构成的面状构造。在流面形成过程中由于成分分异，形成不同成分的岩石层或不同深浅颜色的色带，也属于流面。流面是岩浆差异流动的层流和岩浆对围岩的侧向挤压共同作用的结果。流面大致平行于接触面，在侵入体顶部和边缘最发育。因而可以根据流面产状来恢复侵入体接触面的产状和岩体形态。

（3）流线可以单独存在，也可以分布在流面上，当其分布在流面上时既可指示流动方向，又可恢复接触面产状。

（4）流线和流面的产状在野外露头上常常不能直接准确测量，其确定的方法是野外测出不同露头面上矿物长轴定向线理的侧伏角，然后用赤平投影法进行测算，根据测算结果即可判别有无流线及流面存在，又可准确求出其产状（方法见第十章§3.）。

3. 侵入体的原生破裂构造是在其冷凝过程中已冷凝的侵入体顶部及边缘部分受内部未冷凝岩浆向上和周围的挤压力，有时可能伴有一定的构造应力而形成的节理和断层。H. Cloos (1922) 根据破裂构造与原生构造的关系将侵入体原生破裂构造划分为横节理、纵节理、层节理、斜节理、边缘张节理和边缘逆断层等类型。

（1）横节理（Q） 节理面垂直于流线，倾斜较陡，呈张开状并常被岩脉、矿脉充填，这种节理可能是岩浆流动导致的水平拉伸的结果；

（2）纵节理（S） 节理面平行于流线，垂直于流面，倾斜较陡，成因尚不清楚，可能与侵入体的拉伸作用有关；

（3）层节理（L） 节理面平行流面，产状平缓，并大致平行于顶部接触面，常充填岩脉，是冷凝收缩形成的；

（4）斜节理（D） 与流线、流面斜交，常切割其它节理并充填岩脉，它是岩浆向上推挤而形成的剪节理，沿这种节理可发育成正断层；

（5）边缘张节理 是发育于侵入体陡倾斜接触上向岩体倾斜的雁列状节理，可延伸至围岩中，并有岩脉充填，它是由于岩浆上升与冷凝边缘的剪切作用而形成的；

（6）边缘逆断层 它是由于岩浆上升在陡倾斜冷凝边缘形成的一组剪裂面发展而成的，呈叠瓦状，也可延伸至围岩中。

4. 喷出岩体的原生构造亦可分为流动构造和破裂构造两类。

（1）原生流动构造 有流线、流面、流纹、绳状构造、气孔构造和杏仁体构造等，可以指示熔岩的流动方向；

（2）原生破裂构造 有枕状构造和柱状节理，可以用来确定火山熔岩层的顶底面。

5. 岩浆岩体的原生塑变构造是近年来才提出的新构造类型。一般认为这种构造发生在岩体冷凝破裂之前。塑性变形构造的主要类型有岩体中的韧性剪切带和片麻岩带，前者与

一般韧性剪切带的特点基本相同(参看第六章§2.15.),表现为一条发育S-C面理的片理化线性带,带内的长石、折离体、捕虏体等被拉长、压扁,并沿S面理和C面理定向排列,矿物粒度变细,可能形成糜棱岩,矿物晶粒内部发生强烈的塑性变形,并可能作随蜕变质作用出现绿泥石、绢云母等矿物。由于岩体相对来说是一种各向同性的岩石,因此,岩体中的韧性剪切带比较容易识别。这种剪切带的S-C面理产状及二者夹角的变化、剪应变强度从边缘到中央的递增,以及糜棱岩的对称性分带等等方面的规律性都比其它韧性剪切带更强、更明显。

片麻岩带多出现于岩体边缘,特别是在花岗岩体边缘常形成花岗片麻岩带。片麻岩化的强度常由岩体至围岩出现递变的趋势。

岩浆岩体的塑性变形构造一般认为是在岩体侵位过程中处于较高温和塑性较强的条件下形成的,它可能是岩浆侵位扩张挤压作用,以及岩浆上升时的剪切作用的结果。从一些塑性变形构造与围岩构造的关系可以看出它们还常与区域应力作用有一定关系。

6. 岩浆岩体的次生构造是岩体形成后发生的构造变形,包括褶皱、节理、断层、劈理及线理等。由于岩体一般不具有层理,因而次生构造不易识别。它的褶皱很少;节理和断层也有其自身的一些特征;劈理、线理和变质岩没有区别。

(1) 岩浆岩体的褶皱构造由流面、流层、片麻理或节理面等作为变形面弯曲而成。其变形一般很微弱,多呈宽缓的简单背形和向形。协调侵入体可以随围岩一起褶皱。

(2) 岩浆岩体的节理、断层和一般的节理断层特征一样,但岩体中的断裂较难识别。岩体中的断裂面一般较平直,且发育均匀,其主要识别标志是岩脉或岩相带的错开,并见有片理化带,及碎裂岩、糜棱岩等断层岩存在。

二、主要参考书

I. 212—222 主要阅读内容。

VII. 234—250 对原生流动构造及破裂构造讲的很详细,特别是对形成机制的解释很深刻,构造描述也细致。

XII. 294—310 本书讲的原生流动构造和破裂构造无论是术语和概念上都与一般的(如I、IV等)不同,它特别批判了H.Cloos的原生节理划分方法,不同意按节理与原生流动构造的关系划分节理类型。他认为矿物线状定向成因有多种,因而应按不同类型的线状定向构造来划分节理,并分出另一种定义的纵节理、横节理、平缓节理、逆断层和平缓正断层。

三、思考与练习

1. 何谓原生构造和次生(后生)构造?岩浆岩的原生构造有哪些?
2. 侵入岩的原生流动构造有哪些?它们的特征和划分依据是什么?
3. 侵入岩的原生破裂构造有哪些?它们的特征和划分依据是什么?
4. 什么是侵入体的塑性变形构造(原生塑变构造)?它有哪些基本类型?图8—3是花岗岩体中的一个塑性变形构造——韧性剪切带的素描图,请分析其特点。
5. 侵入岩的流面和层节理在恢复岩体产状时有什么意义?
6. 如何应用赤平投影方法确定流线和流面的存在及求它们的产状(请看第十章§3.)。
7. 请综合分析岩浆流动在侵入体原生构造形成中的作用。

8. 侵入岩体内的断裂构造有哪些特征？岩体中断层存在的标志是什么？

9. 喷出岩的原生流动构造和原生破碎构造有哪些？怎样应用它们来确定喷出岩的层面、顶面、底面，以及熔岩的流动方向？

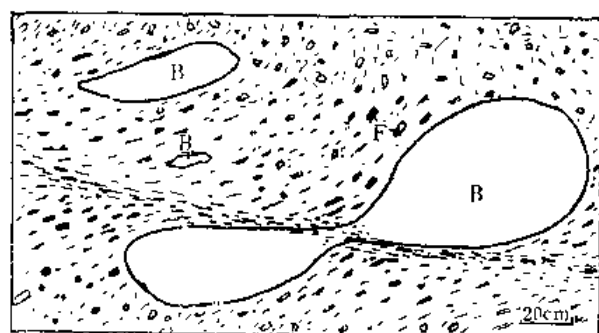


图 8—3 花岗岩体中的原生塑变构造 韧性剪切带
(北京房山)
Y—花岗岩；B—捕虏体；F—长石斑晶

§ 3. 岩浆岩体构造的观测和研究

一、内容提要

1. 岩浆岩体构造观测研究的主要内容包括：

- (1) 恢复岩体的产状；
- (2) 观察测量原生构造和次生构造；
- (3) 确定岩体的时代；
- (4) 划分相带；
- (5) 研究剥蚀深度；
- (6) 研究岩体与构造的关系；
- (7) 研究岩体与矿产的关系。

2. 划分岩相带是侵入体研究的重要任务,从内到外可将岩体划分为内部相、过渡相、边缘相和接触变质带。

(1) 边缘相 岩石常呈细粒斑状结构,原生流动构造及破裂构造发育,围岩捕虏体多,岩性受围岩同化混染而变化。

(2) 内部相(中央相) 岩石呈粗粒等粒或似斑状结构,原生流动构造不发育,少或者无捕虏体,岩性较均一。

(3) 过渡相 特点介于内部相和边缘相之间。

(4) 接触变质带 接触变质带是围岩受岩体的热力烘烤以及与岩浆发生交代作用而形成的,接触变质带很复杂,但它常是矿产最富集的地方,因此是研究的重点。

侵入体的三个相是相互过渡的,没有截然的界线,三个相的发育程度不一致,有的只发育一个或两个相,相带的特点能概略地指示侵入体的形态和接触面的产状。

3. 恢复侵入体产状的主要依据是出露形态、接触面产状及相带特征。接触面产状可以在露头上直接测量和根据流线、流面及层节理等原生构造的产状推测。相带特征也可反

映岩体产状,如相带呈圆环状分布,则岩体可能呈圆形。当接触变质带宽窄变化在岩体两侧相差很大时,则可能反映接触面是向宽的一侧倾斜的岩体。

4. 岩体构造的观测 岩体构造包括岩体形成前及形成时的原生构造,和形成后的次生构造。

(1) 研究岩体形成前构造的主要目的是探讨控制岩体分布和产状的构造因素。研究内容是岩体与围岩层理、片理、节理、褶皱及断层的关系,以及岩体所在的区域构造部位。

(2) 研究岩体原生构造的主要内容是观测原生构造的类型、特征、发育程度及其相互关系,需要进行系统测量,并研究岩体对围岩构造的影响。

(3) 研究岩体的次生构造与研究一般构造的研究方法大致相同,只是应注意其与原生构造的区别,并注意岩体次生构造的特征与标志。

5. 喷出岩构造研究的目的主要是恢复火山机构,即确定火山锥、火山口和破火山口、火山颈(筒)、次火山侵入体,以及火山岩穹、火山洼地和火口围墙等等。其研究方法是测绘火山岩地层剖面,确立喷发顺序及产物,划分火山岩相,确定火山岩产状,研究原生断裂等原生构造(Ⅲ201—209)。

6. 侵入岩体与围岩接触关系和形成时代的确定。

(1) 接触关系分为侵入接触、沉积接触和断层接触三类。侵入接触是接触关系的主要类型,其接触面形态多样,有平直状、港湾状及顺层贯入等形态。这种接触关系的岩体中可见围岩捕虏体,并存在接触变质带。沉积接触的接触面常存在古侵蚀面或风化壳,无接触变质现象,上覆岩层大致平行于接触面。断层接触多较平直,两边岩石有突变现象,并可能有断层岩或破碎带及擦痕等断裂带特征。

(2) 侵入体形成时代的确定,可以用同位素法也可用地质法。

地质法的依据有:

① 接触关系 侵入体晚于与其呈侵入接触的最近地层时代,早于不整合接触面上覆盖的最老地层时代,也早于断层接触的断层时代;

② 岩体差异 同期同源之岩体的岩石特征、岩石化学及微量元素特征有相似性;

③ 岩体间的穿插关系 被穿插岩体形成时代较早。

④ 与区域构造的关系 岩浆活动总是伴随某一时代的构造运动而产生,因此,根据控制岩体发育区的构造发育期次及其与岩体的关系可以判断岩体的形成时代。

二、主要参考书

I. 222—228 基本阅读内容

II. 65—66 岩浆岩区地质图特点及制图方法。

XII. 314—337 详细介绍了侵入岩的相带划分及其特点;讲述了侵入体构造的研究方法和实例;对地质测量和观测要点进行了论述;特别对火山岩构造的观测研究讲述得较详细;列举了许多侵入岩和喷出岩的构造分析实例。

III. 201—209 介绍喷出岩特别是中心式火山机构的特征和研究方法,反映了我国火山岩构造研究的经验。

三、思考与练习

1. 岩浆岩的构造研究内容有哪些?

2. 可以根据哪些标志来恢复侵入体的形态和产状? 为什么?

3. 侵入体可以分为哪几个相带? 它们各有什么特点? 其相互关系怎样?

4. 怎样恢复侵入体接触面的产状?

5. 侵入体与围岩的接触关系有几种? 怎样确定?

6. 怎样确定侵入体的时代?

7. 图8—4是平面地质图。请分析花岗岩体的形状、产状类型、接触面产状及其与构造的关系, 并作出AB示意剖面。

8. 图8—5是某地地质简图, 请分析该图上花岗岩体与围岩的接触关系、接触面产状、岩体产状类型与形态、形成时代、受什么构造条件控制, 并作AB示意剖面图。

9. 图8—6是某地区平面地质图, 请分析图上花岗岩体的产状、接触关系和形成时代, 并作AB剖面图。

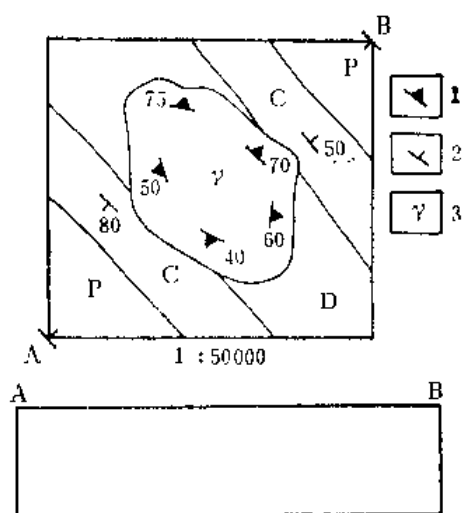


图 8—4 某地区地质简图

1—流线产状; 2—层理产状; 3—花岗岩
(剖面图由学员完成)

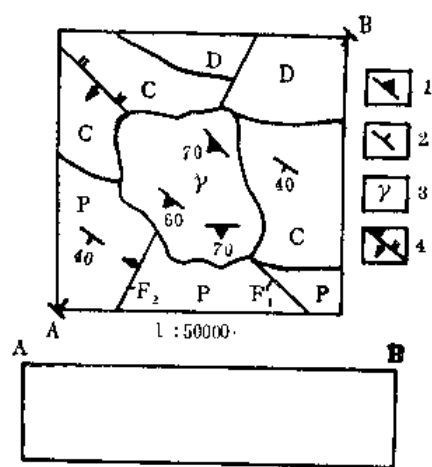


图 8—5 某地区地质简图

1—流线产状; 2—岩层产状; 3—花岗岩; 4—断层

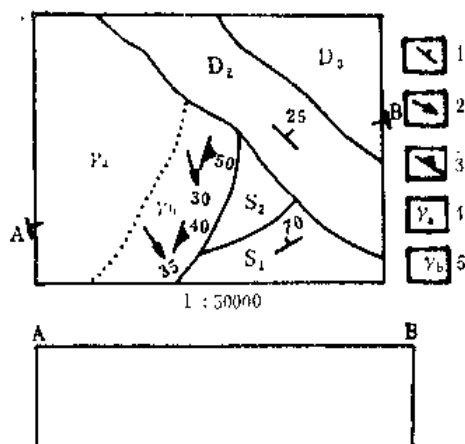


图 8—6 某地区地质简图

1—岩层产状; 2—流线; 3—流线; 4—花岗岩体内部相; 5—边缘相

第九章 变质岩区的构造研究

一、中心内容

1. 变质岩区是地壳上构造最复杂的地区。这种地区岩石经历了变质作用，同时经受过强烈的常常是多期的构造变形和岩浆活动，其构造情况比沉积岩区一般要复杂得多。因而，在变质岩区除一般的构造研究方法外，还有其一些独特的研究方法。

2. 本章除介绍变质岩区的构造特点外，还将介绍变质岩区的构造研究方法。主要内容有：

- (1) 变质岩区构造的基本特点；
- (2) 变质岩的成层构造；
- (3) 叠加褶皱；
- (4) 韧性剪切带；
- (5) 变质岩系间的不整合；
- (6) 变质岩区构造解析的内容和步骤；
- (7) 变质岩区的地质制图；
- (8) 变质岩区构造数据的收集和分析；
- (9) 变质岩区构造的综合解析。

3. 学习和研究变质岩区构造时，首先要撑据好前几章的内容。劈理和线理是变质岩区广泛发育的构造类型；复杂褶皱是变质岩区的主要构造特点。要理解多期叠加的复杂褶皱，首先必须掌握好未叠加褶皱的基本特点。第二，必须掌握好赤平投影方法。构造解析的主要内容就是将大量测量的构造要素通过赤平投影来统计分析它们的产状、变位特征与规律及其相互关系，从而追索与恢复构造特点和变形序列。这一些解析内容都可用赤平投影方法进行。第三，应当多看变质岩构造的模型与标本（包括劈理、线理、褶皱、韧性剪切带和叠加褶皱等），结合模型、标本来理解和掌握变质岩区的构造特点。另外还应当多看变质岩地质图和构造照片。第四，争取到变质岩地区实习，选择典型地段进行构造测量和构造解析。只有这样才能较好地掌握变质岩区的构造特点及构造解析方法。

二、主要参考书

I. 230—254 该教材是根据本课程的教学基本要求编写的，仅介绍了变质岩区构造研究的基础知识。要想全面系统学习变质岩区构造的研究和工作方法还应参阅其它书籍。

II. 67—69 介绍变质岩地质图的特点及其阅读分析方法。

V. 73—81 在相似褶皱一章中介绍叠加褶皱。

VI. 207—223 在几何分析一章中讲叠加变形及叠加褶皱的露头型式及复杂区的构造分析。内容比较系统、新颖，有丰富、清晰的插图。

XII. 全书 这是迄今变质岩区构造分析理论与方法最系统、全面的专著，现代构造分析的原则及方法都是以本书为基础，全书共分三篇第一篇，构造岩组构及其几何分析；

第二篇岩石的变形：理论和实验；第三篇，构造岩组构的解释。

专著《嵩山构造变形》，马杏垣、索书田、游振东、刘如琦著，地质出版社，1981。本书是国内变质岩区构造研究最全面系统的专著，结合嵩山的实例，可作为变质岩区构造研究方法的指南和范例。

§ 1. 变质岩区构造特征

一、内容提要

1. 对变质岩区构造特征有两种不同的观点，一种认为变质岩区构造简单，多呈平缓褶皱或单斜，而露头上的复杂小褶皱只是局部现象。另一种认为变质岩区构造复杂，是经历了地壳多次构造-热事件的结果。构造-热事件是由构造变形和变质作用所反映的地质历史上的地壳活动事件。

2. 变质岩区构造的基本特点

(1) 新生变质构造广泛出现，新生构造如劈理、片理和线理是变形与变质作用的结果，它们在变质岩区是透入性构造，其空间分布和排列很有规律，在一定区段内具统计优势方位或存在变位规律。这些新生构造的几何规律还与矿物晶格的变形相一致。另外也存在变形前的残余构造。

(2) 塑性变形占主导地位。M. 马托埃 (Mattauer, 1980) 将地壳构造分为表构造层次、浅构造层次 (深小于3—5km) 及深构造层次 (深大于3—5km)。变质岩构造形成于深构造层次。深构造层次塑性变形占优势，表现为强烈的褶皱及劈理、片理化，断裂构造表现为韧性剪切带，微观上则表现为以晶格变形为主。

(3) 普遍有多期构造叠加现象，一套变质岩系一般都经历了二至三个以上的变形变质幕，造成不同世代的具有不同特征及不同格局与样式的构造相互叠加，使变质岩区构造具有极其复杂多样的特点。叠加褶皱是构造叠加的主要表现形式，查清褶皱叠加关系也就解决了构造叠加问题。

(4) 变形与变质作用相伴进行，它们都是在深构造层次的高温、高压并有溶液及动力等作用的环境下发生的，因此，变形和变质是统一的，它们共同反映了地壳的构造-热事件，为我们研究构造特征及恢复变形环境提供了依据。

3. 构造置换是变质岩构造研究的最重要概念之一，他是由一种构造，经过递进变形后被另一种构造所代替的现象。其中以面状构造的置换最重要。用构造置换的观点，我们可以追索变形过程，判别变质岩中成层构造的性质。原生层理的置换过程是最基本和最重要的构造置换。

层理置换可以划分为初步置换、强烈置换和完全置换三个类型，对层理置换的过程来说，它们也是连续发展的三个阶段，对置换现象来说，它们反映了不同置换强度的构造特征 (图9—1)。

(1) 初步置换 这是置换的第一阶段。层理 S_0 形成紧闭褶皱，并产生轴面劈理 S_1 。这时层理 S_0 的构造方位已局部被劈理 S_1 置换，但 S_0 的连续性基本保持，而层理 S_0 的总方位则需由褶皱的包络面来恢复。这时地层的换层方向是垂直于包络面的方向，而不是垂直于劈理或被置换的层理方向 (图9—1, I)。

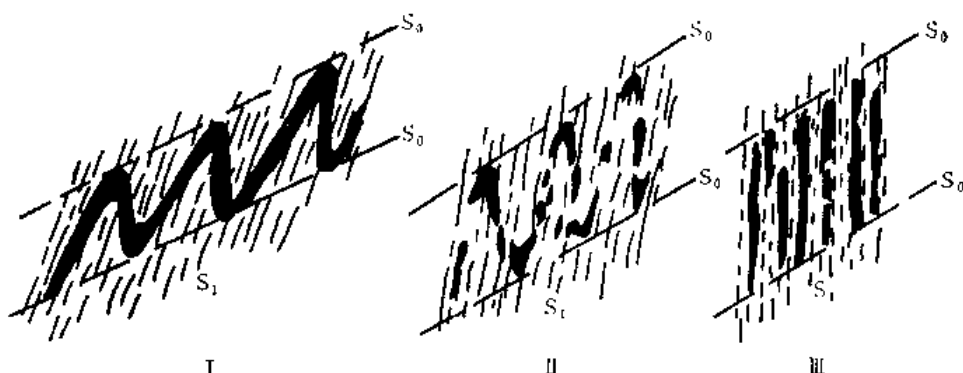


图 9—1 层理的置换过程

I—初步置换(阶段); II—强烈置换(阶段); III—完全置换(阶段); S_0 —包络面示由置换关系恢复的原始层理; S_1 —劈理; 黑色层为强硬层

(2) 强烈置换 这是置换过程的第二阶段。经初步置换后若继续受力挤压, 塑性岩层将强烈劈理化, 并突破原层理的限制, 强硬岩层则被拉断而石香肠化或透镜体化。褶皱转折端也可能被拉开而孤悬出来, 成为无根片内褶皱。这时新生劈理 S_1 已开始取得主导地位, 但原生层理 S_0 的方位还可以用无根褶皱等的分布及其包络面近似地恢复出来(图9—1, II)。

(3) 完全置换 这是置换过程的第三阶段。经强烈置换后若继续受力挤压, 岩层会发生强烈的压扁作用, 使劈理 S_1' 更加发育, 强硬层的无根褶皱、石香肠体也被压扁伸长而成为平行于劈理 S_1 的岩性层, 并发生劈理化。这时层理 S_0 完全消失, 形成平行于劈理 S_1 的新的成层构造。这种“层”的特点表现为岩性单一的频繁互层, 可称为“岩性似层理”。这种似层理无任何层序意义, 只代表一期构造面理。如果在大范围内分析, 会发现可能存在由不同岩性组合组成的“岩性似层理层带”。这种层带的趋势性包络而可能是原生层理 S_0 的残迹。

(4) 置换现象和阶段的识别标志可概括如下: 紧闭同斜褶皱及轴面劈理发育是初步置换的标志; 强劈理化及无根片内褶皱与石香肠构造是强烈置换的标志; 岩性似层理与层带则是完全置换的标志。

4. 变质岩区地层系统的双重概念 地层系统是以成层岩系的生成顺序而建立的, 但是在变质岩区, 由于层理置换作用及置换程度的差别, 可以把变质岩区的地层分别划分为沉积地层系统及构造岩石地层系统。

(1) 沉积地层系统是以沉积岩序为标准的正常地层系统, 它以原生层理为分层界面, 因此, 只能在置换不太强烈、原生层理可以恢复的条件下才能建立。由于层理等原生构造残留很少, 化石难以保存, 加之变质作用, 使这种地层系统的精度不可能很高。

(2) 构造-岩性地层系统也可称为褶皱变质-混合杂岩地层系统。在深变质及混合岩化地区, 原生层理及地层标志已被完全破坏, 无法追寻, 只能按新生的成层构造所分割的构造-岩性单元来组建地层系统。这种地层系统以所能追踪的最老褶皱面为分层界面, 或者以最发育的岩性似层理为界面, 也可以用不同样式和经历不同变形期次的构造群落的界面为分层界面。按岩性分组、根据同位素年龄定时代, 依各岩组所处的构造部位及岩浆活动、混合岩化作用及变质作用等确定上、下层序。构造-岩性地层系统也划分出群、组、

段等地层单元,但不完全具备层序意义。

5. 叠加褶皱 同一变形面(层理、劈理等)经历两次以上褶皱作用所形成的褶皱叫做叠加褶皱。叠加褶皱是变质岩区最普遍、最重要的构造现象,也是进行构造解析的主要研究对象。

(1) 叠加褶皱的存在和识别标志

- ① 早期褶皱轴面有规律的弯曲现象;
- ② 以劈理为变形面的褶皱;
- ③ 两期以上的透入性劈理;
- ④ 不同方向的褶皱;
- ⑤ 系统分布的穹窿、盆地系列,以及广泛发育环形、蘑菇形、新月形、镰形等复杂褶皱形态,以及倾竖褶皱、重斜褶皱的大量出现;
- ⑥ 在赤平投影解析图上,出现线理、劈理产状的规律性变位或褶皱变形面 π 图解出现多环带、多轴组构。

(2) 褶皱的叠加关系取决于两期褶皱的轴向、强度、规模(波幅)、褶皱机制及褶皱产状类型。

- ① 按轴向可分为正交叠加、斜交斜加和共轴叠加关系;
- ② 按强度可分为叠加控制、叠加复合和叠加改造关系;
- ③ 不同大小规模的两期褶皱形成的叠加褶皱规模取决于规模小的一期;
- ④ 弯褶皱叠加弯褶皱及弯褶皱叠加剪切褶皱的形态及几何规律不相同;
- ⑤ 两期褶皱的形态和产状是决定叠加褶皱形态、产状的主导因素。

(3) 叠加褶皱的干涉型式 当两期褶皱的强度相近时,会出现叠加复合关系,这时两期褶皱就像两组水波叠加产生叠加干涉一样,形成复杂而有规律的各种叠加褶皱干涉型式。J. R. 兰姆赛(Ramsay, 1967)按照两期褶皱的三种轴向关系,并设第一期是直立、平卧、斜卧(重斜)褶皱;第二期为直立、水平剪切褶皱。根据这些形态产状关系推导出三型九种叠加干涉型式(I. 238—241; V. 75—81; VI. 208—211)。如果第一期是水平直立褶皱,第二期也是水平直立褶皱,两期正交叠加会形成穹、窿盆地相间的穹、盆系列干涉型式;若两期为斜交叠加则会形成伸长的穹、盆系列;若两期为共轴叠加,就只会使早期褶皱增强而不显示叠加现象。由于叠加的因素很多,因此,叠加褶皱是非常复杂的。

6. 韧性剪切带 这是变质岩区断层构造的主要表现形式,但由于韧性剪切带不易识别而常常被忽视。在变质岩区应变突然增强的线性地带,包括强片理化带(常发育多组劈理)、糜棱岩带等常常是韧性剪切带存在的宏观标志,应特别注意观察研究(见第六章§2.)。

7. 变质岩系间不整合的识别 不整合在划分变质岩地层及恢复构造变形史与地质发展史上有极重要的意义。古老变质岩系经历了长期和多次变形,角度不整合接触应当是普遍存在的,但它却常常表现模糊和隐蔽而不易识别。它的特征和识别标志有:

- (1) 常发育一定规模的渐变过渡带;
- (2) 沿不整合面常常形成构造滑脱面,并可形成韧性剪切带;
- (3) 沿不整合带可能发生混合岩化作用而形成混合岩带;

(4) 不整合上、下岩系的构造格局、构造变形、变质作用与岩浆活动以及微观组构等方面都存在差异。

二、主要参考书

I. 230—246 主要阅读内容。

V. 73—81 讲二维叠加褶皱、无序褶皱和三维叠加褶皱，并分析其干扰型式。有平面和立体图，对建立叠加褶皱的整体概念很有帮助。

VI. 209—213 讲叠加褶皱的露头型式和分析方法，有详细直观的立体图解。

XVIII. 147—164 第十章叠加褶皱作用。

三、思考与练习

1. 变质岩区构造特征两种对立观点的内容是什么？
2. 什么叫变质岩区的残余构造和新生构造？
3. 变质岩区构造有哪些基本特点？
4. 什么叫构造置换？试述层理的置换过程和置换类型。
5. 请分析图9—1上所示的层理置换阶段及各阶段的特征。
6. 变质岩区为什么要使用两种地层系统？这两种地层系统有什么不同？
7. 构造-岩性地层系统适用于什么样的变质岩地区，它是怎样划分的？
8. 什么叫叠加褶皱？怎样判别叠加褶皱的存在？
9. 两期褶皱的叠加关系可分哪些类型？
10. 影响叠加褶皱的主要因素是哪些？
11. 兰姆赛划分叠加干涉型式的主要参数是哪两个？它们的主要意义是什么？
12. 某地沿东西向分布着一系列圆形穹窿，经研究它们是两期褶皱叠加的结果，试分析它们可能是怎样叠加的？
13. 什么叫共轴叠加、斜交叠加和正交叠加？
14. 变质岩系中的角度不整合接触有哪些特点？
15. 什么叫韧性剪切带？为什么韧性剪切带在变质岩区特别发育？

§ 2. 变质岩区的构造解析

一、内容提要

1. 构造解析是分析和解释地质体内结构构造的规律及其演化。构造解析法是变质岩区构造研究的基本方法。

2. 构造解析的基本内容是构造几何分析、构造序列分析、构造变形环境分析和构造应力-应变场分析。

3. 几何分析是构造解析的基础，它的任务是确定和恢复构造的三维空间形态和产状。内容是首先进行地质填图及系统地进行构造测量，然后对各种面状和线状构造要素进行投影制图分析。根据它们的产状、变位规律及相互关系来恢复褶皱的几何性质、形态、产状及叠加关系。

4. 构造序列分析，其任务是划分构造变形阶段和确定其形式与演化顺序，其目的是重建构造变形史。构造变形阶段可以按旋迴一幕一期一次的系列划分。旋迴是地壳构造演

化的大地构造阶段，在时间上与空间上可以和区域乃至全球进行对比。必要时还可以划分亚旋回，如某一构造旋回里存在以角度不整合为界面的两个构造层，就可以分为两个亚旋回。幕是由同一应力场作用形成的构造组合。期是在幕的同一应力作用下由于变形条件的局部改变而形成的构造组合。次是同期构造内由构造要素的类型和方位的局部变化所反映的构造阶段。应当指出，构造阶段的划分系列至今并不统一，同一术语，不同人的理解和概念也不相同，学习时应注意这一点。构造序列划分的综合根据是构造组合的类型及样式，其直接依据是：

- (1) 叠加褶皱；
- (2) 劈理、线理等小型构造的期次、类型和交切关系；
- (3) 定量统计分析图解中线理、面理的变位规律；
- (4) 同构造期岩浆活动；
- (5) 变质作用、混合岩化作用及成矿作用；
- (6) 地层接触关系。

5. 变形环境分析，主要是指温度、围压、溶液、作用力方向和应变速率，分析的根据是构造特征及变质作用。这些因素的综合反映可称为变形相，也就是说变形相是由变形与变质作用所反映的变形环境。

6. 应力-应变场分析 目的是恢复和建立各变形阶段的应力-应变场，进而探讨与区域性构造运动的关系。占应力-应变场分析具有很大的探索性，迄今还没有精确有效的方法。一般采用的方法有两种：一种是根据各种面理、线理的力学性质及构造的几何方位等推测主应力轴和主应变轴的方位；另一种是用有限应变测量方法来作应力-应变定量计算。推测应力-应变场的主要依据有：

- (1) 劈理的力学性质及线理的轴型；
- (2) 构造的几何方位，如褶皱、断层的产状及其组合规律；
- (3) 构造的对称性，包括宏观构造及构造要素投影图解的对称性，以及显微组构的对称性；
- (4) 由脆-韧性剪切带以及韧性剪切带确定的剪切指向等等。

7. 构造解析的步骤大致可以分为地质制图、构造测量、数据处理与分析、综合解析。

8. 地质制图的目的是编制出研究区的地质图。变质岩区地质图不像沉积岩区那样一次填图即可完成，而是要经过填图与研究相结合的多次反复逐步编制而成。其步骤首先填绘岩性图；然后根据岩石组合的分布规律建立地层系统，按地层的展布建立构造格架，用地层与构造相结合的办法来追索地质界线；最后编制出以地层系统分层界线为依据的地质图。应当指出，由于强烈的置换作用，使变质岩区地质图上的地质界线要么是一条推测的线，要么是一条构造岩石单元界线。这种界线的标志多不明显或在实地难以追索的；另外，在变质岩区地质图上的地质单元包含了地层、构造及岩石等多重含义，因此常常用一些特殊的图例、符号来表示。在变质岩区地质制图中，标志层及标志层系起着极为重要的作用，构造格架常常就是用标志层为依据建立起来的。制图前要从岩石分布图上仔细地选择标志层，例如石英岩、大理岩、碳质岩层等标志明显，且在变质作用中相对惰性的岩层都可作标志层。制图时要认真地追索标志层。最后依标志层来恢复褶皱、断层及建立地层单元。总之

变质岩区的地质制图工作是比较复杂的，它实际上贯穿于整个构造解析过程中。变质岩地质图上除了表示出沉积岩及岩浆岩图的内容外，还要标出各种新生构造要素的类型和产状，并且要用不同的符号反映出变形序列，有时还表示出变质相及岩性等等内容，能反映构造格架的主要标志层必须表示出来。

9. 构造测量是对各种小型构造要素如劈理、线理等进行系统的测量。其目的是查明构造要素的类型和分布；收集、测量各要素的产状和其它定量决据；观察和确定各种构造生成的先后顺序，为综合解析提供定量依据。构造测量的步骤如下：

- (1) 典型区段或露头的研究和构造序列模型的建立；
- (2) 均匀的布置观测点；
- (3) 系统进行构造测量；
- (4) 构造数据的处理与分析；
- (5) 编制构造图。

在构造测量工作中，典型区段的研究是关键，典型区段是指各种构造要素发育最全、关系最清楚、露头最好的地段。它可以是一个小范围的区域或是一个露头，甚至可以是一个大型标本。通过典型区段研究，应当基本上了解研究区主要构造要素——劈理、线理等的类型、性质、特征及生成顺序，建立起构造序列的模型。而面上的系统测量就以典型区段建立的序列进行观测。

10. 构造要素数据处理的方法和步骤

(1) 划分构造均匀区段 所谓均匀区段就是将研究区划分为许多小区段，在每个区段内的一种或几种构造要素具有共同的规律。均匀区段划分是否准确可以下述原则为标准，即一个均匀区段内的构造要素要具有统计上的规律性，反映在赤平投影解析图上，应当成为极密成大圆环带。划分方法首先是以断层及构造线明显转折带为界划开，然后再以肉眼判识主要构造优势产状的分布范围为界分成小区，进行投影。若投影图符合上述原则，就说明区段划分是正确的；若不符合需重新再划，如此反复进行。先划分的小区段可小一些，然后根据要求可适当合并，最后划分的均匀区段在满足要求的情况下，应尽量大一些。

(2) 投影图解的制作是先分区段作出各构造要素的产状统计表；然后分区段作投影图。一般是作面理的 π 图解（法线极点图）、线理的L图解（极点图），需要时也可作面理的S图解（大圆图）和 β 图解（褶皱面大圆交点等密图）。

(3) 投影图解的分析、解释和对比

- ① 图解的组构类型有单极密组构，大圆环带组构和小圆环带组构三种基本类型。
- ② 组构的对称性分为轴对称、斜方对称、单斜对称和三斜对称四种型式。
- ③ 层理 S_0 的 π 图解呈大圆环带组构，说明存在以 S_0 为变形面的圆柱状褶皱；单极密组构说明同斜褶皱，反映是叠加控制关系；小圆环带说明圆锥状褶皱，是叠加褶皱的证据，反映叠加复合关系。
- ④ 劈理 S_1 的 π 图解呈单极密组构说明叠加变形弱或不存在；呈大圆或小圆环带都说明存在叠加褶皱，以及存在以 S_1 为变形面的褶皱。

⑤ 线理 L_1 或 L_2 的单极密组构说明叠加变形弱，极密代表 L_1 或 L_2 的优势产状；呈大圆环带组构说明叠加了剪切褶皱；呈小圆环带说明叠加了弯褶皱。另外在图解上还可以读

出各构造要素的产状,并求出褶皱枢纽、轴面等的产状。

其它变形期的线理和面理解也照样进行分析,当然实际的投影图解是很复杂的。应当指出的是在图解分析解释时必须结合野外的实际地质情况来进行,否则图解的多解性会导致错误的结论。上述解析规律只是提示性的,学习时应结合具体实例进行分析,否则难予理解。

二、主要参考书

I. 246—254 基本阅读内容。

XII. 全书 讲变质岩构造解析的理论及工作方法,讲得深入全面,在工作方法方面连野外观测记录格式及常用的图例代号都有规定,是从事变质岩构造研究必读的参考书。

专著:《嵩山构造变形》,结合嵩山构造实例讲构造分析方法。比参考书Ⅳ更具体。

三、思考与练习

1. 构造解析的含义是什么?
2. 构造解析包括哪些主要内容?
3. 几何分析的主要任务和内容是哪些?
4. 什么叫构造序列?构造序列是怎样划分的?
5. 构造变形环境的主要因素是哪些?
6. 在构造应力场分析中,哪些构造要素可以用来推测主应力轴的方位,怎样判断?
7. 变质岩区地质图制图工作有什么特点,一般的制图步骤是哪些?
8. 请阅读几张变质岩区地质图。如参考书Ⅱ—清源县地质图、迁安市地质图,及“嵩山构造变形”一书中的嵩山地质图,综合一下变质岩区地质图的特点。如图上所表示的地质内容及表示方法;构造要素的类型及符号;断层的类型;以及标志层的作用等等。
9. 试述构造测量的目的和任务。
10. 典型区段研究在变质岩区构造测量中有什么意义?
11. 什么叫构造均匀区段?怎样划分区段?怎样判别区段划分是否正确?
12. 构造几何分析中的构造要素投影图解有哪几种基本类型?它们是怎样制作的?
13. 某地变质岩区的 π_{s0} 图解呈大圆环带组构,环带轴产状 $140^\circ \angle 20^\circ$,请分析其构造意义。

14. 甘肃白银厂某区段构造测量制作的投影图解的概要如下(图9—2):

- ① π_{s0} 为大圆环带,环带轴为 $295^\circ \angle 18^\circ$;
- ② π_{s1} 呈大圆环带,环带轴产状 $290^\circ \angle 30^\circ$,并落在 S_2 的优势大圆上;
- ③ π_{s2} 呈单极密组构,并求得 S_2 优势产状为 $340^\circ \angle 40^\circ$;
- ④ L_1^{\parallel} 是离散的,但 L_1^{\parallel} 可以拟合成一个大圆,即 L_1^{\parallel} 的变位轨迹是一个大圆。

请分析该区段图解所反映的构造意义。

(答案: π_{s0} 呈大圆环带说明该区发生了向 $295^\circ \angle 18^\circ$ 倾伏的圆柱状褶皱。 π_{s1} 呈大圆环带说明该区发生了第二期褶皱,枢纽产状 $=\pi_{s1}$,轴产状 $=340^\circ \angle 40^\circ$;轴面为 S_2 。 L_1^{\parallel} 是变位的也说明发生过二期褶皱,但从 L_1^{\parallel} 的变位轨迹可拟合成大圆,说明第二期叠加的是剪褶皱。滑动面为折劈理 S_2 。 π_{s1} 轴接近于 π_{s0} 轴,说明为共轴叠加。由于是共轴叠加,加之二期褶皱强度弱,未能使第一期褶皱受到改造,因而使第一期褶皱仍保持圆柱状褶皱特征,

它反映了两期褶皱的叠加控制关系)

15. 完成实习十九。分析迁钢市地质图或清源县地质图，认识变质岩区地质图的特点(Ⅱ. 61—69)。

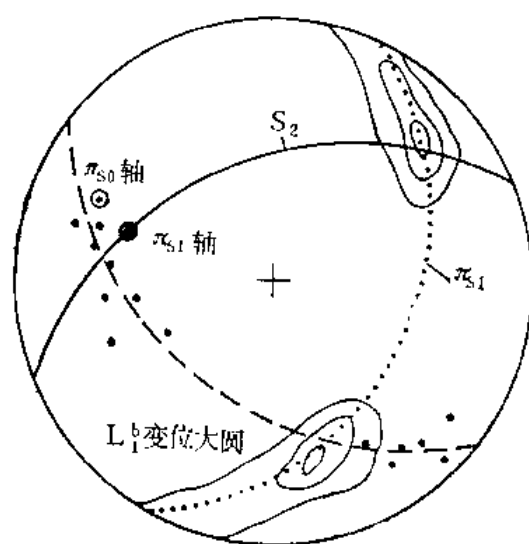


图 9—2 综合投影图解
(甘肃白银厂露天矿)
(说明见正文)

第十章 极射赤平投影在构造地质学中的应用

一、中心内容

极射赤平投影（又称等角投影）是构造地质研究中经常使用的一种投影制图方法。通过这部分学习，要求学员初步掌握投影原理；熟练掌握直线和平面的投影方法及其空间关系的测算；初步学会应用赤平投影分析褶皱、断层、节理等构造及分析应力、应变场。

本章主要包括赤平投影的基本原理；直线、平面的投影方法，以及直线、平面空间关系的投影与测算；赤平投影在构造分析中的应用三部分内容。

赤平投影是一种技术方法，掌握投影原理和方法并不难，但要达到快速熟练准确的投影则需要反复练习。赤平投影的应用很广，除本课介绍的几种应用外，还有许多领域可以应用，有些应用范围还有待开发，因此，我们应当学好本章内容。

二、主要参考书

II. 1—31 介绍赤平投影基本原理，投影方法，以及用赤平投影求解地质构造问题，是本课的基本内容与主要参考书。

XI. 1—178 是国内最系统全面介绍赤平投影的专著，主要内容有投影原理；基本作图方法；面状构造产状的测算；线状构造产状的测算；岩浆岩流动构造的测算；计算岩层的真厚度；褶皱构造的测算；断裂构造的测算；岩组分析上应用赤平投影等。该书介绍的“投影网反时针刻度投影方法”是一种操作简便，投影迅速的新方法，应当大力推广。该书简明扼要，易学好读，是本章理想的参考书。

V. 92—104 在使用赤平投影网图解法一章中简单介绍了赤平投影原理；直线和平面的标绘方法及旋转操作等内容。

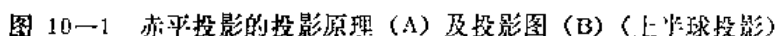
XII. 34—62 在组构资料的图解处理一章中介绍利用等积网投影直线和平面的方法，以及投影资料的制图和应用。本书其它章节的构造解析内容中，大量应用了赤平投影方法。

§ 1. 极射赤平投影的基本原理

一、内容提要

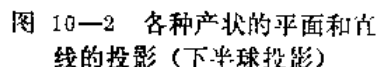
1. 投影要素 投影要素是进行投影的各个组成部分，有投影球（上半球、下半球）、赤平面与基圆和极射点（上极射点、下极射点）。

2. 投影原理 假设在地面上某一测点O上测得一岩层面M的产状是SW210°∠30°，作该岩层面M的赤平投影（图10—1）方法是以O测点为球心作任意半径的球（即投影球），地面（水平面）与球的交面是赤平面，它将投影球分为上、下两个半球。赤平面与球的交线为基圆。球的上、下有两个球极（极射点），其连线垂直于赤平面。投影步骤如下：



- (1) 求出岩层面M与球面的交线，是一个直径为球径的圆（称为大圆）；
- (2) 从上（或下）极射点向该大圆发射射线，这些射线必穿过赤平面；
- (3) 将各射线在赤平面上的穿透点相联，得一圆弧，该圆弧就是岩层面M的极射赤影。

3. 各种产状的平面和直线的投影 赤平投影主要是用来表示空间上的直线和平面的方向、相互间的角距关系及运动轨迹,任何物体的赤平投影都是将该物体的平面、直线投影在赤平面上。图10—2是各种产状的平面和直线的赤平投影。



(7) 一条通过球心的倾斜直线的赤平投影是一个点，称为极点；一条直立直线的赤平投影是与投影中心重合的极点；一条水平直线的赤平投影是两个在基圆上的极点，二极点相差 180° ，互称为对蹠（念“直”）点。

4. 平面和直线都可以投影成上半球或下半球投影, 上半球投影是由下球极发射射线,

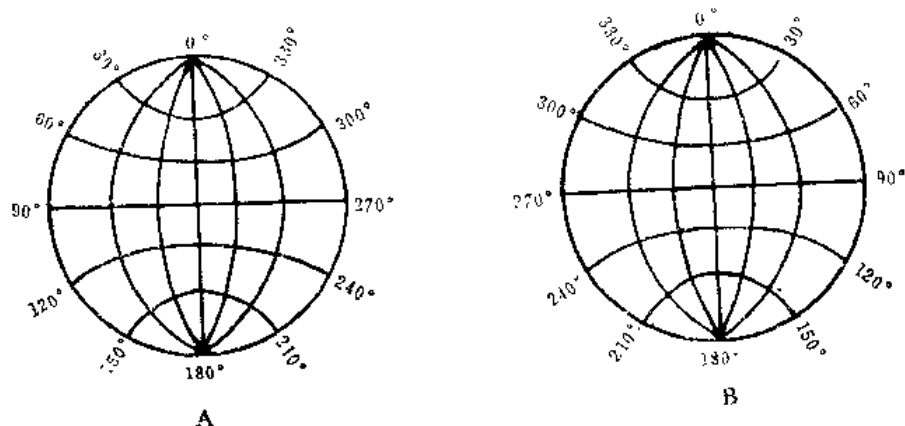


图 10—3 投影网 (吴氏网)
A—反时针刻度网；B—顺时针刻度网

下半球投影是由上球极发射射线，上、下半球的投影图刚好相差 180° 。

5. 投影网是进行赤平投影的工具。如果投影时要先按上述原理绘投影球再从球极发射射线投影，则这种方法几乎没有实用意义。因此，吴尔福和施密特等人先后设计出各种投影网，即目前广泛应用的吴氏网（极射赤平投影网）和施氏网（等面积投影网）。用投影网就能简捷地进行赤平投影的投绘和测算。这两种网的基本结构和投影方法是一致的，但是在圆球面上的任意小圆在极射赤平投影图上仍是一个小圆；而在等积投影图上是一个椭圆。在构造分析中经常遇到绘制小圆问题，因此，在构造地质研究中多用吴氏网。特别需要注意的是，如果使用吴氏网进行投影，那么统计极点的密度时必须采用普洛宁网进行统计。当使用施氏网投影时，则统计极点密度必须采用中心密度计与边缘密度计进行。阅读赤平投影图时，也必须在相应的投影网上进行，因此，赤平投影图上必须标明所用的投影网类型。

投影网的结构是基圆（赤平大圆，代表水平面，即倾角为 0° 的面。标准网的基圆直径为20cm）、投影中心O（基圆圆心）、南北直径和东西直径（又分为北径ON、南径OS、东径OE、西径OW）、径向大圆弧和纬向小圆弧。

投影网的基圆按 2° 间隔作 360° 刻划。刻划方法有顺时针和反时针两种，顺时针刻划按地理方位即N— 0° （ 360° ）、E— 90° 、S— 180° 、W— 270° （图10—3A）。反时针刻划法是N— 0° （ 360° ）、E— 270° 、S— 180° 、W— 90° （图10—3B）。两种刻划网的投影方法不同，一般参考书多用顺时针刻划法（图10—3B）。本书建议采用反时针刻划网的投影方法（X.18—54）。实践证明这种投影法简捷准确，而且速度快、效率高，能克服顺时针刻划网投影法中有时会出现的标点混淆、图面不洁等缺点，特别是投影的数据量大时更显出其优越性。顺时针刻划网投影法请参看Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅷ等参考书。虽然两种投影方法不同，但投影图是完全相同的。

投影网是进行赤平投影的工具，方位在基圆刻度上测算；倾角在南、北径上（或东、西径上）测算；平面或直线之间的夹角在大圆弧上测算。

二、主要参考书

Ⅱ. 1—6 介绍投影原理及投影网，学员必须掌握。

三、思考与练习

1. 怎样用投影球作一个平面的赤平投影?
2. “极射赤平投影”这个名词的含义是什么?
3. 吴氏网上的径向大圆弧是一系列走向南北, 倾向东和西, 倾角从 0° 到 90° 的过球心平面的投影, 你能理解吗?
4. 你能理解吴氏网上纬向小圆弧是一系列走向东西但不过球心的直立平面的投影, 或是一系列锥轴为南北向水平状的不同顶角的圆锥体的投影吗?
5. 请认识各种投影网, 仔细区分吴氏网和施氏网的差别。

§2. 基本作图方法

一、内容提要

1. 准备工作:

(1) 将吴氏网裱糊在一块 $25 \times 25\text{cm}^2$ 的硬纸板上, 网的中心用一颗大头针或图钉穿透, 在网的基圆上, 正上方标 0° , 然后按反时针标出 360° 刻度(图10—2A)。做好的投影网可以长期使用。

(2) 将作业纸(透明纸或薄膜)裁成 $25 \times 25\text{cm}^2$ 的方形, 蒙在吴氏网上, 并用大头针固定在网的中心上, 为了使作业纸的中心不致于在投影转动时扩大或撕裂, 可以在作业纸的中心背面贴一小块胶布, 然后描出基圆, 用小“十”描出投影中心的直径, 在 0° 处绘上“↓”, 称为“北标”。

2. 平面和直线的投影方法 这里介绍用反时刻度投影网的下半球赤平投影口诀。按口诀, 可进行直线和平面的投影。

(1) 直线的赤平投影 将北标转指直线的倾向, 然后在北径上从基圆往中心数倾角数的点并标出, 该点即为该直线的赤平投影极点。

例: 已知一直线产状为 $330^\circ \angle 65^\circ$, 求其赤平投影。

转动透明作业纸使北标指投影网 330° , 然后在北径上从基圆往中心数 65° 的点K, 标出即可得出该直线的赤平投影(图10—4)。

(2) 平面(若不特别指出, 均指过球心的平面)的赤平投影可以采用大圆弧法直接投平面的产状, 或用法线法投平面法线的产状。

① 大圆弧法 将北标转至平面的倾向, 然后在北径上从基圆往中心数倾角数的点并标出, 再将该点转至东径(或西径)上, 描出该点所在的网大圆弧就是所求的平面投影。

例: 已知一平面产状为 $300^\circ \angle 50^\circ$, 用大圆弧法求其赤平投影。

首先, 转动透明作业纸使北标对准网上的 300° ; 然后, 在北径上从基圆往中心数倾角数 50° 并标出点K; 接着, 将标出的K点转至东(或西)径上, 描出该点所在网的大圆弧M即是所求平面的投影(图10—5)。

② 法线法 将北标转指平面的倾向, 在南径上从中心往基圆数倾角数的点并标出, 该点即是所求平面法线的赤平投影极点。

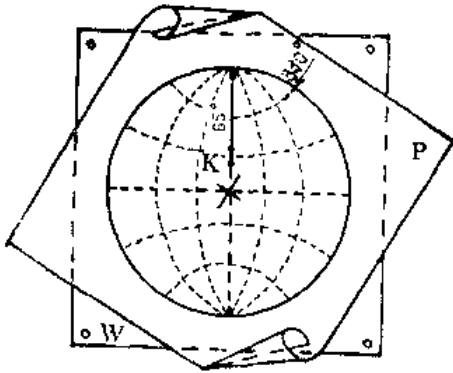


图 10—4 直线的投影

W—吴氏投影网（用虚线示，下同）；P—透明作业纸（下同）；↓—北标；K—直线投影的极点

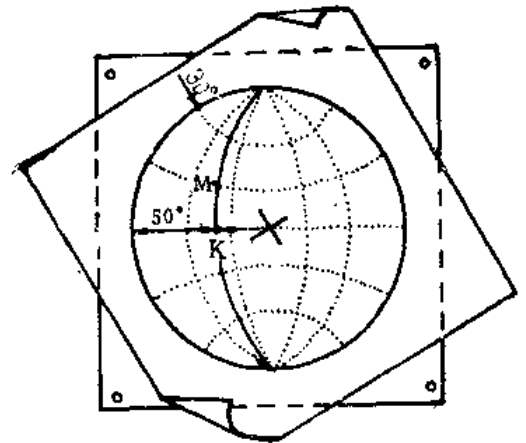


图 10—5 平面的投影（大圆弧法）

K—平面倾向线的极点；M—平面投影的大圆弧；↓—北标

例：已知一平面产状为 $300^\circ \angle 50^\circ$ ，求其法线的赤平投影。

转动透明作业纸使北标对准网上的 300° ，然后在南径上从中心往基圆数 50° 的点K标出，即是所求投影点（图10—6）。

上述直线、平面大圆、平面法线等三个投影口诀，一定要熟记，并反复练习，达到非常熟练的程度，只有这样才能应用赤平投影去测算解析构造地质问题。

3. 基本作图法

下面介绍几种最常用的赤平投影作图法，将这些作图中的平面和直线换成具体的构造要素便可进行构造测算与分析。

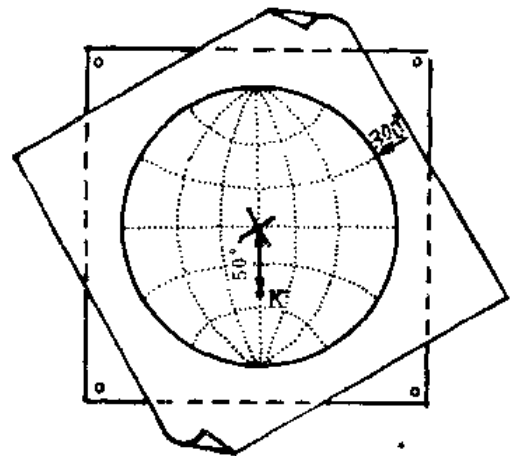


图 10—6 平面的投影（法线法）

K—平面法线的投影极点；↓—北标

（1）求两条不同产状的直线所构成的平面产状，并求该二直线的夹角和夹角等分线的产状。其具体作法如下：

- ① 投出二直线的极点，然后转动透明作业纸使二极点落在投影网的同一大圆弧上，描出该大圆弧并读出大圆的产状就是所求二直线共面的投影。
- ② 在上述二直线共面大圆弧上，数二极点之间的角距，就是二直线的夹角。注意夹角有两个，一个是二极点间的角距；另一个是二极点与基圆角距之和。
- ③ 在上述大圆弧上数出夹角角距的中点，就是二直线夹角的等分线极点。

（2）求二平面的交线及夹角和夹角等分面的投影，其作法如下（图10—7）：

- ① 投出二平面的大圆弧。二大圆弧的交点就是二平面交线的极点。
- ② 将上述二平面交线的极点转至东（或西）径上，并在东西径上数与该极点成 90° 角距的点，描出该点所在的大圆弧就是垂直于二平面及其交线共垂面的投影。

③ 在共垂面大圆弧上，数共垂面大圆与两个平面大圆交点之间的角距就是二平面的夹角，夹角的等分点就是二平面夹角的等分线。将等分线极点与二平面交线极点转至网的同一大圆弧上，描出大圆弧就是二平面夹角等分面的投影。

④ 求二平面的夹角，也可用投影平面法线极点的方法，而且比投影大圆弧的方法简单快捷，其作法如下：首先投影二平面法线极点。然后转动透明作业纸使二极点落在投影网的同一大圆上；在该大圆弧上数二极点的角距就是所求平面的夹角（但需注意，法线极点间的夹角与其对应的平面夹角是互补的）；二极点角距的等分点就是二平面夹角的等分线。最后投影出上述二极点所在大圆弧的法线极点（即在东西直径上与大圆弧成 90° 角距的点）。转动透明作业纸，使该极点与前述平面夹角等分线极点落在网的同一大圆弧上，描出该大圆弧就是二平面夹角的等分面。

（3）求一直线与一平面的夹角

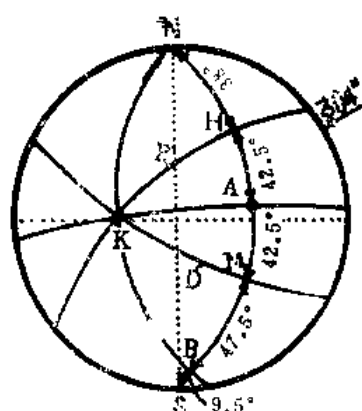


图 10—7 二平面的交线夹角与等分面
P、D—平面投影的大圆；K—二平面交线的极点；
NAS与K成 90° 角距的大圆，即垂直于K、P、D的共垂面；
HM—二平面之夹角，有两个：一个为HM角距，另一个
为HN+SM；A、B—二面角等分线；KA、KB—二
面角的等分面

① 大圆弧法 首先，投影直线的极点和平面的大圆弧；然后，投影出平面法线极点；而后，再转动透明作业纸将直线极点与平面法线极点落在网同一大圆弧上，在该大圆弧上数直线极点与该大圆弧和平面大圆弧之交点间的角距就是所求夹角。

② 法线极点法 首先，投影出直线极点和平面法线极点；然后，转动透明作业纸使上述二极点落在网的同一大圆弧上，并数二极点的角距（取锐角），所求直线与平面的锐夹角等于 90° 减去二极点间的角距，其钝夹角等于 90° 加上二极点间的角距。

4. 赤平图的阅读

（1）阅读赤平投影图就是正确读出图上代表各种构造要素的直线和平面的产状及其相互关系。

（2）读图前先弄清该图是上半球投影还是下半球投影、图的内容，以及该图是用哪一种投影网投影的。

（3）投影图是按上北、下南、左西、右东的地理方位，在下半球投影图上可以根据弧顶指向及极点所在的象限大致判断平面和直线的产状，但若精确读出产状数据则需将投影图像在投影网上按前述 § 2.一、2.中作投影图的逆过程才能准精阅读。例如读极点所代表的直线的产状，需将投影图像在相应的投影网上，然后将极点转到网的北径上，这时北标所指的网刻度为直线倾向；北径上极点与基圆的角距为其倾角（反时针刻度网法）。因此，只有与投影网同直径的投影图才能精确阅读，一般缩小的投影图，只能大致估计，而不能精确读数。

5. 赤平投影的旋转法

将一平面（或直线）绕一轴作逆时针（或顺时针）转动一个角度，求出旋转后的平面

(或直线)的产状。这就是赤平投影的旋转操作。

根据旋转轴的产状可以分为绕南北水平轴旋转；绕任意水平轴旋转及绕任意倾斜轴旋转等方法。平面的旋转又可分为大圆弧旋转法和法线极点旋转法。本书只介绍法线极点旋转法。大圆弧旋转法作图麻烦，用法线极点旋转法完全可以代替它。

原理：一直线绕一旋轴的旋转轨迹是一个双圆锥面。双圆锥面的赤平投影是一个小圆弧(或小圆)。因此，一直线绕一旋轴旋转一定角度，在投影图上就是该直线极点沿上述小圆弧移动一定的弧度。我们知道吴氏网的纬向小圆弧是一系列不同顶角的南北向水平锥轴的圆锥面投影。因此，旋转操作可以在投影网的纬向小圆弧上进行(Ⅱ.10—14；Ⅵ.41；Ⅲ.26)。

旋转操作方法如下：

(1) 绕南北水平轴旋转

- ① 在透明作业纸上投影出直线(或平面法线)的极点。
- ② 将极点沿所在的投影网小圆弧按规定的旋转方向移规定的旋转角度后得的点，就是旋转后直线(或平面法线)的极点。若极点沿所在小圆弧移动到基圆仍未满足规定的旋转角度，则应从其对蹠点起继续移动。旋转方向在下半球投影的移动规则是顺时针旋转向左移，逆时针旋转向右移。

(2) 绕任意水平轴旋转

- ① 在透明作业纸上投影出直线(或平面法线)的极点K及水平旋轴的极点A、A'，(在基圆上的对蹠两点)。
- ② 转动透明作业纸使旋转轴极点A、A'与投影网的0°、180°重合。注意，转动作业纸时要使北标保持在上半圆。
- ③ 将极点K沿所在投影网小圆弧按规定旋向移动规定的旋转角得的点就是旋转后的直线(或平面法线)的极点，读出其产状就是所求。

(3) 绕任意倾斜轴旋转

例：设一直线(或为一平面法线)K产状为 $132^{\circ}/34^{\circ}$ 。绕倾斜旋转轴(产状 $154^{\circ}/20^{\circ}$)逆时针旋转 30° ，求旋转后直线(或平面法线)的产状(图10—8)。

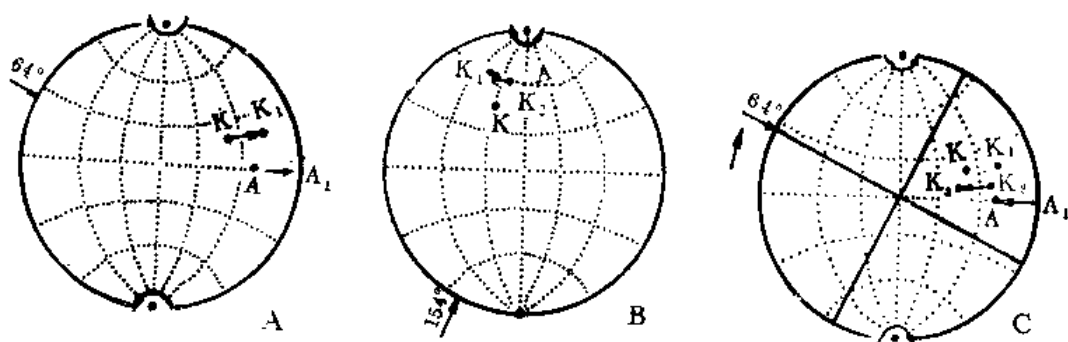


图 10—8 绕任意倾斜轴旋转

K—直线(或平面法线)极点；A—旋转轴；K₃—所求的旋转后极点

- ① 在透明作业纸上投绘出直线(或平面法线)的极点K，以及旋轴的极点A。
- ② 转动透明纸使旋转轴及点A落在网东径(或西径)上，然后，将A点移至基圆上

(即网 270° 或 90° 处)得 A_1 。直线(或法线)极点 K 也和 A 同步(即同方向同角度)沿其所在网小圆弧移至 K_1 (图10—8A)。

③ 将 A_1 转至投影网 0° 处,然后将 K_1 按规定旋向沿所在网小圆弧移动指定的旋转角得 K_2 点(图10—8B)。

④ 将 A_1 转至网 270° (或 90°)处,使 A_1 回复到 A 点,将 K_2 点也与 A_1 点同步移动得 K_3 点。 K_3 点就是旋转后的直线(或平面法线)极点。读出 K_3 的产状即为所求(图10—8C)。

6. 赤平投影小圆的作法

一个圆锥面的赤平投影是一个小圆,投影小圆的作法有两种:一种是用吴氏网直接绘制;另一种是用圆规和直尺绘制。

(1) 用吴氏网绘投影小圆

已知条件:小圆的投影中心(即圆锥体的锥轴)和角距半径(即圆锥体的半顶角)。

作图步骤:

① 在透明作业纸上投出锥轴极点 K ,并将 K 转到网的南径(或北径)上,再将 K 移到网的 0° (或 180°)得对蹠的 K_1 和 K'_1 点(图10—A);

② 从 K_1 和 K'_1 起,在南、北径上数小圆角距半径的投影网小圆弧,并描出该小圆弧(如图10—9A上的 40° 小圆弧);

③ 将 K_1 和 K'_1 转到投影网的 90° 和 270° 处,使 K_1 移回到 K 点(即回复到原倾斜轴的位置),同时使小圆弧和 K_1 同步移动,移动方法可以在小圆弧上取许多点,使各点沿其所在的投影网小圆弧按 K 至 K 的方向和角距移动,得一系列的点,将这些点联成圆就是所求以 K 为投影圆心的小圆(图10—9B)。

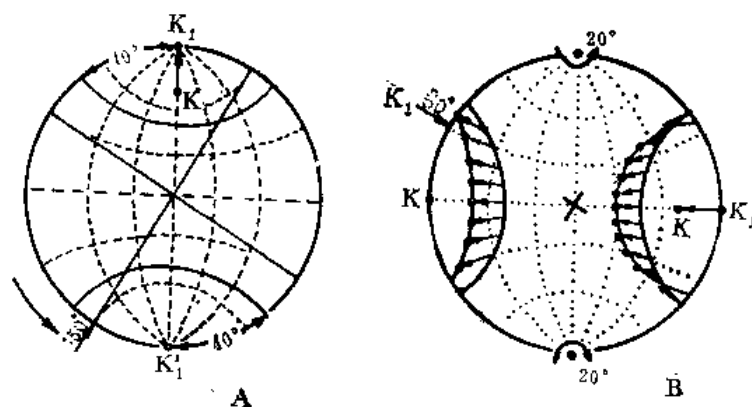


图 10—9 用吴氏网绘制投影小圆

A—作投影中心为水平产状的小圆; B—经旋转投影中心回复到原倾斜状态的小圆(点联线小圆)

(2) 用圆规和直尺绘投影小圆

已知条件:小圆的投影中心和角距半径(即圆锥体的锥轴产状和半顶角)。

作图步骤:

① 在透明作业纸上投影出圆锥体锥轴的极点 K (即小圆投影中心);

② 将 K 转至东径(或西径)上,从 K 起沿直径往两侧数角距半径得 A 、 B 两点;

③ 因为在极射赤平投影图(即用吴氏网投影)相同角距的线段长度是不等的,这样,投影中心 K 不是小圆的作图圆心,因此,需另外求一个作图圆心用直尺量出 AB 线长度, AB 线等分点 F 即作图圆心,用 AB 长的二分之一为作图半径,用圆规绘出小圆就是所求的

投影小圆 (图10—10)。

若上述第二步从K点沿直径数角距半径时, 一侧在基圆内得A; 另一侧到基图仍不够, 则需从对蹠点继续数得B, 即 $\widehat{KA} = \widehat{Kb_1} + \widehat{b_2B} = \text{半径角距}$ (图10—11)。这说明 投影小圆只有一部分在基圆内, 另一部分在基圆外。这种小圆的作法是: 首先求出B的对蹠点B'; 求法是联接BN (网0°), 并过N点作BN的垂线, 该垂线交东西直径延长线于B'点, B'就是B的对蹠点。然后, 用AB'的等分点F为圆心, AB'长的一半为半径绘出的小圆 就是所求的投影小圆 (图10—11)。若需将基圆外那一部分小圆也绘在基圆内, 还需求出A的对蹠点A', 以BA'的等分点H为圆心, BA'长度一半为半径作圆, 该圆基内的部分就是所求 (图10—12)。

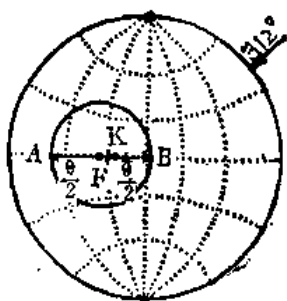


图 10—10 赤平投影作全小圆

K—小圆投影中心; $\widehat{KA} = \widehat{AB}$ —小圆角距半径;
F—小圆作图圆心

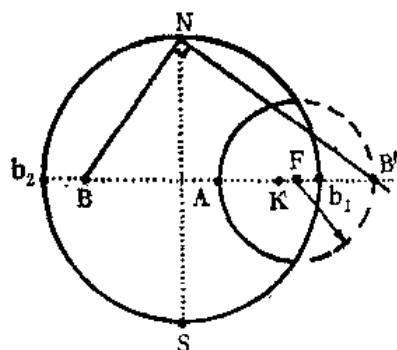


图 10—11 赤平投影作残缺小圆

B'—B的对蹠点; K—投影圆心; F—作图圆心;
 $\widehat{KA} = \widehat{Kb_1} + \widehat{b_2B}$ —小圆半径角距

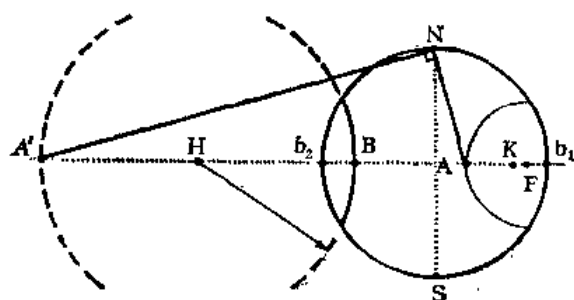


图 10—12 赤平投影作残缺小圆的对蹠部分

A'—A的对蹠点; H—作图圆心

二、主要参考书

II. 6—15 介绍用顺时针刻度投影网的投影方法及基本作图方法。

XI. 18—54 介绍用反时针刻度投影网的投影方法。该书详细介绍各种基本作图方法, 述说细致、准确, 按其所述操作, 便可作出各种投影图, 利于自学。

III. 20—32 介绍各种基本作图方法, 述说简明。

三、思考与练习

1. 在某观测点测得断层擦痕产状为: $118^\circ \angle 40^\circ$ 、 $122^\circ \angle 45^\circ$ 、 $130^\circ \angle 36^\circ$ 、 $200^\circ \angle 60^\circ$ 、 $210^\circ \angle 55^\circ$ 、 $204^\circ \angle 58^\circ$ 、请作出这些擦痕 (即直线) 的赤平投影。

2. 某背斜构造的岩层产状是 $143^\circ \angle 37^\circ$ 、 $101^\circ \angle 30^\circ$ 、 $14^\circ \angle 85^\circ$ 、 $157^\circ \angle 14^\circ$ 、 138°

$\angle 25^\circ$ 、 $300^\circ \angle 10^\circ$ 、 $240^\circ \angle 60^\circ$ ，请用大圆弧法作出这些岩层的赤平投影。

3. 请投影出下列节理面的法线极点。 $70^\circ \angle 40^\circ$ 、 $50^\circ \angle 70^\circ$ 、 $110^\circ \angle 20^\circ$ 、 $180^\circ \angle 60^\circ$ 、 $210^\circ \angle 50^\circ$ 、 $90^\circ \angle 30^\circ$ 、 $10^\circ \angle 55^\circ$ 、 $133^\circ \angle 29^\circ$ 、 $320^\circ \angle 78^\circ$ 、 $321^\circ \angle 50^\circ$ 、 $270^\circ \angle 42^\circ$ 。

4. 请自己假设10条直线和10个平面的产状，并分别投影出它们的极点、大圆弧和法线极点。

5. 在一观测点上测得同一岩层面的两个视倾斜线产状分别为 $165^\circ \angle 440^\circ$ 、 $130^\circ \angle 20^\circ$ ，求该岩层面的真倾斜产状（提示：二视倾线构成的面即为所求岩层面）。

（答案： $112^\circ \angle 52^\circ$ ）

6. 某花岗闪长岩露头上角闪石长轴明显的定向排列成线理，在四个露头面上测得角闪石长轴的产状分别是 $70^\circ \angle 13^\circ$ 、 $92^\circ \angle 38^\circ$ 、 $182^\circ \angle 46^\circ$ 、 $209^\circ \angle 31^\circ$ ，请用赤平投影判别角闪石长轴是否排列在同一平面上。若在同一平面上，则该平面就是闪长岩体的流面。请求出流面产状（提示：在投影图上，若四条线的极点都落在同一大圆弧上或趋近于同一大圆弧，则该大圆弧就是它们的共面）。

（答案：存在流面，其产状为 $151^\circ \angle 51^\circ$ ）

7. 一尖棱背斜两翼岩层的产状分别为 $130^\circ \angle 50^\circ$ 和 $260^\circ \angle 30^\circ$ ，求两翼的夹角（翼间角）和两翼交线（即枢纽）的产状。

（答案： 107° 、 $203^\circ \angle 18^\circ$ ）

8. 二平面产状为 $140^\circ \angle 60^\circ$ 和 $230^\circ \angle 40^\circ$ ，试求出二平面交线的产状、二平面夹角及夹角等分面的产状。

（答案： $202^\circ \angle 36^\circ$ 、 $110^\circ \angle 70^\circ$ 、 $279^\circ \angle 75^\circ$ 、 $185^\circ \angle 37^\circ$ ）

9. 一直线产状为 $50^\circ \angle 40^\circ$ ，求该直线绕南北水平旋轴顺时针旋转 120° 后的产状。

（答案： $300^\circ \angle 12^\circ$ ）

10. 一平面产状为 $130^\circ \angle 60^\circ$ ，求该平面绕产状为 $200^\circ \angle 40^\circ$ 的旋轴逆时针旋转 30° 后的产状。

（答案： $110^\circ \angle 83^\circ$ ）

11. 一直线绕产状为 $210^\circ \angle 40^\circ$ 的轴，以 20° 的夹角旋转，其旋转轨迹是顶角为 40° 的圆锥体，求作该圆锥体的投影小圆。

§3. 赤平投影在地质构造分析中的应用

一、内容提要

赤平投影在构造分析中应用十分广泛，这里只介绍几种基本的应用实例。

1. 统计分析——等密图的作法 构造分析中常常要对某些构造要素进行统计分析，以确定这些构造要素是否存在统计优势，并确定其几何规律与变位规律。通过赤平投影制作构造要素的极点图和等密图是构造统计分析中最常用和最有效的方法，我们应当熟练掌握这些方法。

极点图和等密图的作法如下：

（1）将野外测量的构造要素数据分类并编录成表格，如节理统计表、岩层产状统计表、线理统计表、劈理统计表等等。

(2) 作极点图 将构造要素投影成极点图, 线理直接投极点, 面理(节理、岩层面、劈理等)投其法线极点; 得出节理极点图、层理极点图等等。在极点图上可以大致看出极点的分布状况。它们可能是随机分布的, 这种分布表明这些构造无规律, 不存在统计优势; 也可能是集中成一团或几团; 还可能散布在一个大圆弧或小圆附近, 这种分布表明该要素具统计规律(图10—17)。

(3) 作等密图 上述极点图上虽然可以大致看出是否具有统计规律, 但却不能准确读出其统计优势产状或散布的趋势大圆弧或小圆的产状。为此必须作等密图。

等密图是在极点图上作的, 其制作步骤如下:

① 密度统计 密度统计是统计极点图上每百分之一面积内的极点数目, 统计方法有密度计法和普洛宁网法两种。当极点图是用等积网(施氏网)投影时, 必须采用密度计法统计极点数, 当极点图是用吴氏网投影时, 就一定要采用普洛宁网统计极点数, 二者不可混淆。现将两种密度统计法分别介绍如下:

密度计法 密度计分为中心密度计和边缘密度计两种, 中心密度计用来统计全圆内的极点数; 边缘密度计用来统计残缺圆内的极点数(II.57图II.34)。统计时先在透明极点图下面衬一张具有 $1 \times 1\text{cm}^2$ 方格的方格纸(或用坐标纸), 使极点图的E—W、A—N直径与方格线重合。方格纸的每个“十”字中心就作为一个密度统计中心。统计方法是将中心密度计小圆心与方格“十”字中心重合, 数出密度计小圆内(包括圆周上)的极点数目, 并用铅笔标在“十”字中心上(或点出“十”字中心, 将数目标在点旁)。这样依次移动密度计, 统计每个“十”字中心密度计小圆的极点数并标出。没有极点的“十”字中心也要标出“0”。在极点图边缘的“十”字中心上, 密度计小圆只有一部分在基圆内, 这种叫做残缺小圆。对残缺小圆应当使用边缘密度计统计(II—57)。统计方法是首先将边缘密度计的中缝用大头针钉在极点图的中心上, 然后滑动密度计, 使密度计一端的小圆与残缺小圆“十”字中心重合(这时密度计另一端小圆无“十”字中心), 将密度计两端小圆内及圆周上的极点数相加得的总点数标在一端的十字中心上。若“十”字中心在基圆上, 这时基圆上必然有两个对蹠的“十”字中心, 和两个统计半圆, 滑动边缘密度计, 使其两端小圆与基圆上对蹠的二“十”字中心重合, 然后将二小圆内的极点数相加, 并将总点数同时标在对蹠的两个“十”字中心上。

普洛宁网法 普洛宁网由一系列小圆组成, 每个小圆代表投影网的百分之一面积。作密度统计时先将透明极点图蒙在普洛宁网上, 用胶纸固定, 然后依次数出网上每个小圆内和圆周上的极点数, 并标在圆心上。对于边缘的残缺小圆, 应将二对蹠残缺圆内的极点数相加, 并将总点数标在有圆心一端的圆心上。对于圆心在基圆上的残缺小圆, 应将对蹠两个半圆内的极点数相加, 并将总极点数同时标在二对蹠圆心上。对于无极点的小圆, 也要在圆心上标出“0”

② 绘等密线 极点图经密度统计后, 在每个统计中心上都标出了极点数, 这时将极点数字相同的相邻点连成曲线, 就是极点等密线。连等密线之前先要分析一下全图的极点密度分布状况, 找出高值点(区)(这些高值点往往是等密线的圈闭中心)。然后确定连哪些数值的等密线。其原则是一方面考虑数值出现的频度, 例如图上0、1、2、4、7几个数值出现频度最多, 就连这几个数值的等密线; 另一方面要考虑等密线在图上的间距要比较均匀, 不能突然过密或过稀。如果某点上没有需要联的数值, 就用插入法找出该数值

点再连线。例如某区只有“0”、“4”数值点，我们要连“1”“3”两条等密线时就先在“0”与“4”之间用插入法找出“1”、“3”数值点再连线。连等密线时要特别注意，同一个图上等密线的密度间距必须一致。若决定连出数值为“3”的等密线，则全图都必须联出“3”线，没有数值“3”的点要用插入法找出来。另外要注意等密线不能交叉，同一等密线必须围闭或交于基圆上，基圆上对臚部位的密度值必须相同，等密线对称。连线时应当先从低值线开始连，然后逐级连出高值线，一般是先连出“0”线（0值区的边缘线），再连“1”线、“2”线、“3”线等等。若高值区内出现个别“0”“1”等低值点时可以去掉这些低值点。

③ 计算密度百分比 为了进行对比，等密图上的等密线。一般不用极点数值表示，而是换算成极点总数的百分比表示。如极点总数是50，那么密度为1的线，百分比是2%，密度为2的线是4%等等。

④ 整饰 须将等密线描成圆滑的曲线；对相邻等密线间可着以不同的颜色或绘上不同的花纹；标出投影中心；在图外绘出图例并标明各种颜色或花纹所代表的密度百分比，如不绘图例则需用文字写出其百分比，如可写成“等密线0—2—8.5—11%”；在图下方写上图名；图名后面可用括号标注下（或上）半球投影和投影数据总数、和投影网的类型（10—13）。

（4）极点图和等密图还可用电子计算机完成。

2. 线状构造的倾伏和侧伏产状测算

线状构造是成定向延伸的构造，如砾石定向排列、矿物定向生长形成的线理，断层面的擦痕，褶皱的枢纽及两个构造面的交线等等都是线状构造。线状构造的产状有倾伏和侧伏两种表示法：侧伏产状是相对于水平面进行测量，即直线在水平面上的投影指向为其倾向，与水平面的夹角为其倾角。倾伏产状是线状构造的真产状。侧伏产状是以某一测量面为参照面进行测量的，即直线与测量参照面的走向之间的锐夹角为侧伏角；侧伏角的指向为侧伏向。例如断层面上断层擦痕与断层面走向线之间的锐夹角即为侧伏角；构成侧伏角的断层走向端指向为侧伏向。侧伏产状的测量方法是先用罗盘量出测定面的产状；在测量面上画出该面的走向线，再用量角器量出线理与走向线的夹角就是侧伏角；侧伏角所在的走向端的指向为侧伏向。一般侧伏向只标其大致方位即可，如偏南、南东、南西或偏北、北东、北西等。侧伏产状的记录方式为 $120^{\circ}40'/\angle 50^{\circ}\text{S}$ 。其中分子“ $120^{\circ}\angle 40'$ ”表示测量面的产状；分母“ $\angle 50'$ ”表示侧伏角；“S”表示向偏南方向侧伏。

利用赤平投影可以准确简捷地进行倾伏和侧伏产状的换算。例如：野外露头面上测得线理的侧伏产状是 $150^{\circ}\angle 40'/\angle 30^{\circ}\text{S}$ （图10—14）。投影图上的 30° 为侧伏角，L点为该线理的倾伏向； 18° 为其倾伏角。在野外露头上常常难于准确地直接测量线理的倾伏产状，而是先测量侧伏产状，然后用赤平投影求出倾伏产状。

3. 褶皱构造分析

实际工作中常常采用赤平投影进行褶皱要素测算及几何分析。如求褶皱枢纽、轴面、轴迹等要素的产状；分析褶皱的几何性质等等。变质岩中多期褶皱的叠加关系，主要用赤平投影方法进行分析，其有关内容请参看第九章。

（1）求枢纽产状

① 大圆弧法 当褶皱是比较简单的圆柱状褶皱或尖棱褶皱时，可以根据两翼产状

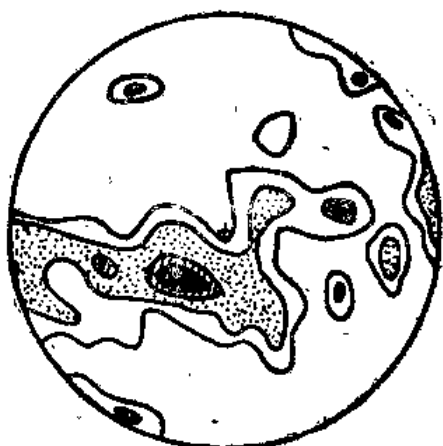


图 10-13 某地节理等密图

(吴氏网下半球投影 120个)

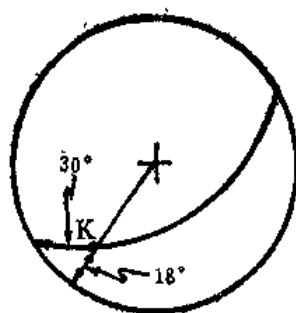


图 10-14 直线(线理)的侧伏和倾伏
K—线理极点; 大圆弧—测量面; 30°—倾伏角;
18°—倾伏角; L—倾伏向

投影出其大圆弧。各大圆弧必交于一点(或交点趋于一个中心), 该交点(或中心)就是所求枢纽的投影。这种直接投影大圆弧求枢纽的赤平图称为S图。

② β 图解法 依次投影褶皱面上各相邻部位产状的大圆弧, 并将相邻部位两个大圆弧的交点用特殊符号标出来, 或干脆擦去大圆弧, 只保留交点。相邻部位大圆弧的交点代表褶皱曲面上二相邻局部微分平面的交线—— β 交线, 在赤平图上为一点—— β 点。若在某褶皱上测了30个产状, 就可以有29个 β 点。若褶皱为圆柱状褶皱, 其 β 点会相对集中于一个小范围内。等密图表现为单极密组构, 极密中心就是所求的褶皱枢纽投影(图10-15)。若 β 点是分散分布, 等密图可能表现为一个小圆环带, 说明该褶皱是圆锥状褶皱。过小圆环带的中心线或极密点做一小圆弧, 该小圆弧称为趋势小圆或拟合小圆。小圆弧弧度的等分点为该圆锥状褶皱的枢纽投影。小圆弧的投影圆心为小圆弧所代表的圆锥体的锥轴(图10-16)(卡扎科夫1981)①。

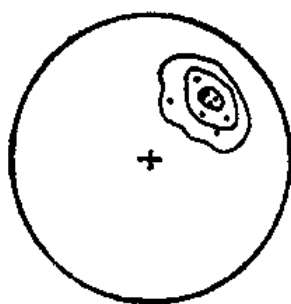


图 10-15 β 图解
(圆点为褶皱面两个相邻局部微分平面的交线—— β -交线的极点)

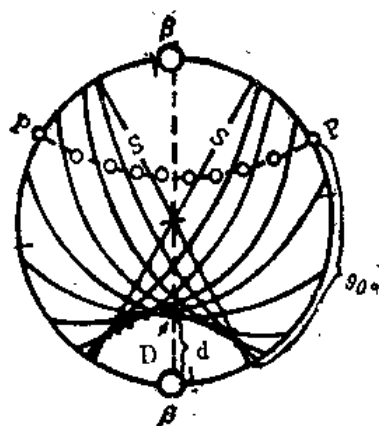


图 10-16 锥状褶皱的 β -交线图的作图方法及要素
(据卡扎科夫略修改)

S—褶皱面的投影大圆; P—褶皱面的法线极点;
 β —锥轴; d—顶角; D—褶轴(即枢纽——编者注)

① 卡扎科夫: 变质岩的变形和叠加褶皱, 地质出版社, 1981

③ π 图解法 褶皱面法线的极点图或等密图称为 π 图,这是褶皱分析中经常应用的一种赤平投影图解。在 π 图解上可以区分圆柱状褶皱和非圆柱状褶皱;确定枢纽和轴面的产状;分析褶皱形态等等。在褶皱面上各个不同部位测量其产状,投影其法线极点得法线极点图,转动透明作业纸,若各法线极点都分布在某一大圆弧附近,该大圆弧即为 π 圆。因此, π 圆是褶皱面法线极点的趋势大圆(或拟合大圆)。 π 圆可以是一个大圆弧,也可以是一个小圆弧。 π 大圆代表 π 平面,该平面是圆柱状褶皱的横截面。褶皱的枢纽垂直于 π 大圆的极点,称为 π 轴(图10—17)。若 π 圆是一个小圆弧,则说明所测的褶皱是一个圆锥状褶皱。如果法线极点图上的极点数量较多,趋势大圆位置不易确定,则应该做极点等密图。等密图多数成环带状,若环带的中心线或极密部位可以趋近于一个大圆弧,则称为 π 大圆环带。垂直于趋势大圆的极点叫做环带轴,它代表该圆柱状褶皱的枢纽(图10—18)。若环带趋势于一个小圆,则称为小圆环带。小圆环带说明褶皱具有圆锥状的几何特征(图10—16)。此外,在 π 图解上还可以分析褶皱轴面、两翼等要素,以及分析褶皱形态等。

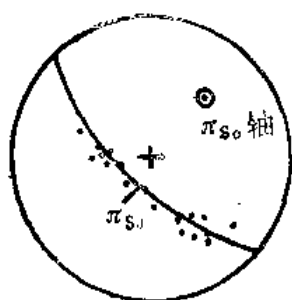


图 10—17 π 图(极点图)

S_0 —褶皱面; π_{S_0} 轴=枢纽; 圆点—褶皱面 S_0 的法线极点

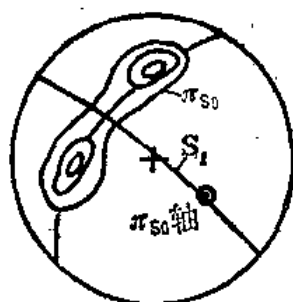


图 10—18 π 图(等密图)

二个极密—褶皱两翼投影; S_1 —轴面; π_{S_0} 轴=枢纽

④ 利用褶皱伴生构造——劈理、旋转节理等求枢纽 在投影图上,劈理(或节理)的投影大圆与褶皱面(如层理等)投影大圆的交点就是所求枢纽(见本章§2.一、3.(2))。

(2) 求褶皱轴面产状

① 用褶皱两翼顶角等分面求褶皱轴面 这种方法的原理是对称褶皱的两翼顶角等分面就是褶皱轴面。

作法(一) 在赤平投影图上先投影出两翼的大圆弧;然后用求二面角等分面的方法就可求出轴面(见§2.二、3.(2))。

作法(二) 在 π 图解上, π 大圆环带的两个极密中心代表两翼的统计优势产状的法线极点。用两翼极点之间弧度的等分点与枢纽(即 π 轴)作一大圆弧就是所求的褶皱轴面(图10—18)。

注意:应该根据野外观察的褶皱形态来决定取投影图上的两翼夹角,因为投影图上有两个夹角。

② 用枢纽和轴迹求轴面 枢纽和轴迹的共面大圆弧,就是所求轴面。一般地说,在平面和横剖面地质图上地层界线最大弯曲点的连线就是轴迹(Ⅱ.19图I—30)。

4. 断裂构造分析

赤平投影在断裂构造分析中应用很广,主要用于分析断裂构造应力场的主应力轴方位和断盘位移方向,对某些断层的总滑距、共轭节理、断层派生节理配套,以及旋转断层和

圆锥状断层系等也可用赤平投影分析。这里主要介绍前四种应用，后两种应用请参看X. 152—164。

(1) 根据共轭节理(或共轭断层)的产状求主应力轴的产状 在野外测得共轭节理的产状，或通过节理统计测量，在节理等密图上求得共轭节理的产状。其主要应力轴的关系如下：共轭节理的交线是 σ_2 ；二共轭节理面锐夹角等分线是 σ_1 ；钝夹角等分线是 σ_3 。因此，已知二共轭节理的产状，用求二平面交线及二面角等分线的方法就可求出三个主应力轴(作法见§2.二、3.(2))(图10—19、20)。

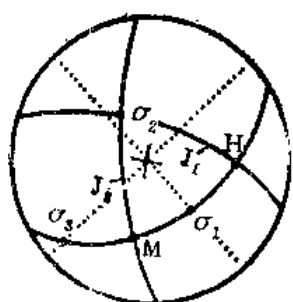


图 10—19 根据共轭剪节理求主应力轴
J、J₂—共轭节理；P—共垂面大圆

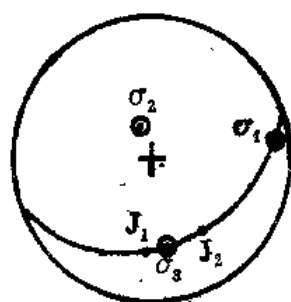


图 10—20 用法线极点法求共轭剪节理的主应力轴
J₁、J₂为节理法线的极点

(2) 根据断层及其侧羽状节理(或劈理等)的产状求断层运动线的产状 断层的运动线(如擦痕等)一定在断层面上，而且垂直于断层和侧羽节理的交线。因此，在赤平图上先投影出断层面与侧羽节理面的大圆，二大圆交点b即为二面交线。在断层大圆上找出与b成90°的点a就是所求的断层运动线(图10—21)。

(3) 根据共轭断层或断层的侧羽状节理求断层性质和该断层的主应力轴 某一断层和其派生的侧羽节理(或共轭断层)之间的锐夹角即是 σ_1 的方位(因剪裂角小于45°)，据此，可求主应力轴及断层性质。其作法如下：

① 作断层F及侧羽节理(或共轭断层)J的大圆弧，二圆弧交点是b(相当于中间应力轴 σ_2)；

② 作出与b垂直的大圆弧S，S与F的交点是断层运动线a；

③ 若J为共轭断层，则在S大圆弧上求出F、J锐夹角等分点即为 σ_1 ，在S大圆上与 σ_1 成90°的点为 σ_3 ；

④ 若J为侧羽剪节理，则在S大圆弧上J与F的锐夹角一侧与a成45°的点为 σ_1 ，与 σ_1 成90°的点为 σ_3 ，若J为张节理，则S与J的交点是 σ_1 ，在S上与 σ_1 成90°的点是 σ_3 ；

⑤ 若 σ_1 在F大圆弧的凸侧，即在断上盘(下半球投影)，当 σ_1 与a的角距小于或等于45°时，则示为上盘上升的逆断层，大于45°为正断层；

⑥ 若 σ_1 在F大圆弧的凹侧(即下盘)，则 σ_1 与a的角距小于或等于45°时为正断层，大于45°为逆断层；

⑦ 断层的水平位移分量可由运动线a在断层面上的侧伏角来确定(图10—22)。

(4) 求断层总滑距

用赤平投影法可以准确地求出标志层(面)在断层面上的迹线(标志层与断层面的交线)的产状。因而可借助赤平投影求断层的总滑距(真断距)。其要求条件如下：

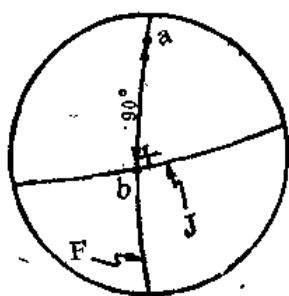


图 10—21 用侧羽状节理求
断层运动线产状

F—断层；J—侧羽剪节理；a—断层运动线

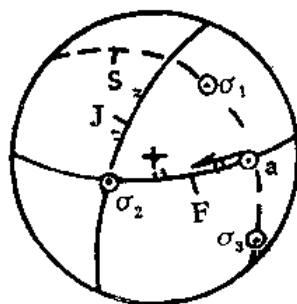


图10—22 用侧羽状节理求断层的主
应力轴及运动方向

F—断层；J—侧羽节理；S—辅助大圆；a—运
动线；单箭头—断盘位移指向

① 精确的平面地质图（或坑道平面图），图上用来求滑距的标志层（面）位置要准确；

② 断层的产状；

③ 标志层的产状，而且标志层在两盘上的产状不变（即该断层运动只能直移，而不是旋转断层）；

④ 已知两个产状不同的标志层（作法一），或已知一个标志层和运动线（擦痕）的产状（作法二）。

作法（一） 图10—23为一平面地质图（实线部分所示）。该图所示的断层产状为 $180^\circ \angle 40^\circ$ ；A、B两条岩脉的产状为 $SE120^\circ \angle 35^\circ$ 和 $SW260^\circ \angle 45^\circ$ ；岩脉被断层错断后产状不变，求总滑距。

图10—24是该断层的立体示意图。从该图上可以看出，在断层两盘断层面上，二岩脉在断层面上的迹线Nb、Lb和Ka、Ma的交点a与b之间的距离就是该断层的总滑距。因此，求总滑距的关键是要作出岩脉在断层面上的迹线。由于断层和岩脉产状已知，因此，在赤平投影图上投出断层面与岩脉的大圆弧，二者交点即是所求迹线。再在断层面上给出迹线就可量出总滑距。具体作图步骤如下：

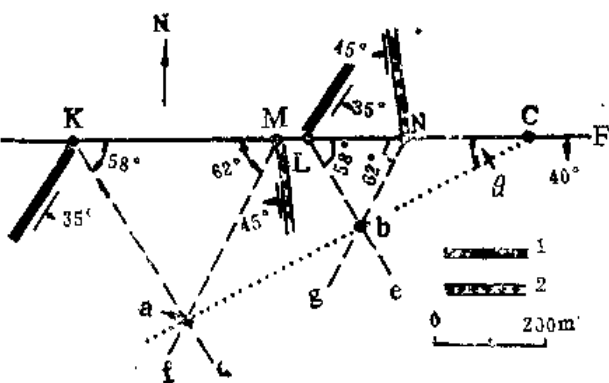


图 10—23 平面地质图（实线部分）

1—A岩脉；2—B岩脉；虚线—岩脉在断层面上的
迹线；θ—断层运动线侧伏角

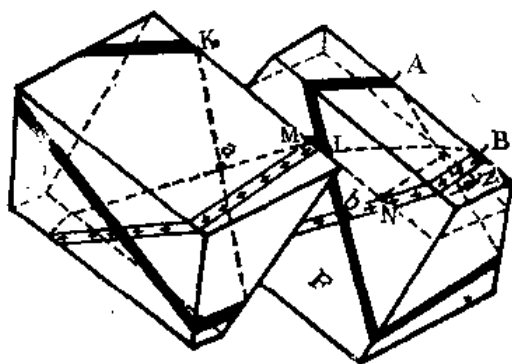


图 10—24 立体图表示两条岩脉被错开的情况

a、b二点的距离为总滑距

在赤平投影图上作断层F与二岩脉A、B的大圆弧，A、B与F大圆的交点就是岩脉迹线。读出二迹线在断层面上的侧伏角得 58° 和 62° （图10—25）。

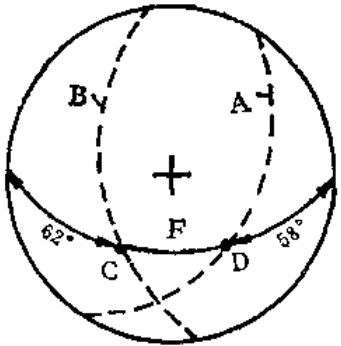


图 10—25 赤平投影求标志层在断层面上的迹线产状
A、B—二岩脉投影大圆，F—断层投影大圆；C、D—岩脉在断层面上的迹线投影

在平面地质图上（图10—23）K、M、L、N分别为岩脉与断层线的交点。将该图的下半部（或上半部）视为断层面，因断层线F是水平线，故迹线的侧伏角就是与该线的夹角。因此，过K、M、L、N分别作与F线成相应侧伏角 58° 及 62° 的线Kd、Mf、Le、Ng，这四条线就是岩脉在断层面上的迹线，它们必然分别相交于a、b两点。用尺量出ab之间的距离（24mm）即代表断层的总滑距。再按地质图的比例尺换算成实际长度（343m）。在图上ab延长线与断层线F交于C点，二线夹角 θ 为该断层运动线ca的侧伏角。

作法（二） 图10—26为一平面地质图（实线部分），图上断层F产状为 $180^\circ \angle 40^\circ$ ；断层擦痕（运动线）侧伏产状为 $180^\circ \angle 40^\circ / \angle 30^\circ W$ ；一个标志层（岩脉） γ 的产状为 $125^\circ \angle 35^\circ$ ；岩脉被错断后产状不变，求总滑距。

从图10—24上可知，断层的总滑距是在运动线（擦痕）上量测的，本题擦痕产状已知，因此，在断层面上标志层的迹线之间的擦痕线长度就是图上所求的总滑距。其具体作图步骤如下：

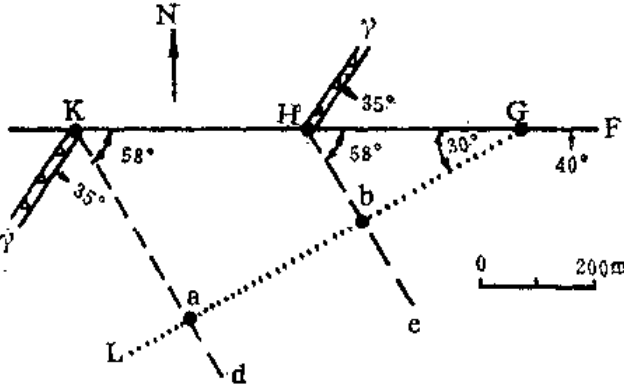


图 10—26 平面地质图（实线部分）
虚线—岩脉 γ 在断层面上的迹线；点线—断层擦痕（运动线）

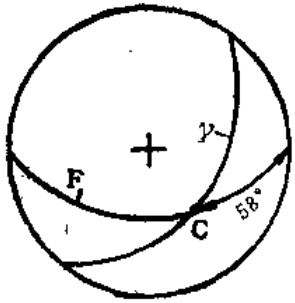


图 10—27 赤平投影求标志层在断层面上的迹线产状

在赤平投影图上作断层和岩脉的大圆弧F和 γ ，二者交点即为岩脉在断层面上的迹线，其向东侧伏角为 58° （图10—27）。

在地质图上（图10—26），由K、H点作Kd、He线，使其与断层线F的夹角成迹线侧伏角 58° ，Kd、He线就是岩脉在断层面上的迹线。由F线上任意点G向西作GL线，使其与F成 30° 角，GL线就是擦痕，该线与迹线交点a、b之间的距离（24.1mm），按地质图比例尺换算成实际长度（343m）就是所求总断距。

5. 岩浆岩流动构造分析

利用赤平投影可以分析是否存在流面、流线，并且可以测算它们的产状。

岩浆岩的流线、流面是由矿物定向排列显示，并不存在连续的线和平整的面。因此，不能准确地直接测量，甚至不能准确判断其存在，利用赤平投影就能解决这个问题。

如在野外不同产状的露头面上测量出矿物定向排列线的侧伏产状（在一个小范围内至少测3个产状，越多越好），即可用来测算流动构造。

例如：在一花岗岩观测点的三个露头面上测得由长石斑晶定向排列显示的线理侧伏产状为 $L_1=144^\circ\angle 17^\circ/78^\circ N$ ； $L_2=130^\circ\angle 80^\circ/75^\circ N$ ； $L_3=68^\circ\angle 84^\circ/15^\circ N$ 。试确定有无流面和流线构造，如有则求出其产状。

（1）求流面

原理：若各露头面上测得的同种流线都处于同一平面内，就说明存在流面。

作法：在赤平投影图上投影出三个露头面上的线理极点 L_1 、 L_2 、 L_3 （作法见§2.二、（二））。转动透明作业纸，若三个极点能落在透影网的同一大圆上，或趋近于同一个大圆弧（存在拟合大圆），则说明有流面存在。该大圆弧就是流面的投影，读出其产状便是流面产状（图10—28）。

（2）求流线

原理：流线是柱状、针状矿物（角闪石、长石等）的长轴平行排列所显示的线状构造，但是任意露头面上的矿物长轴只是柱状矿物任意切面的视长轴。作出每个露头面的法线与矿物视长轴的平面（称为法轴面），若各法轴面的交线互相平行则说明存在流线，否则就不存在流线。

作法：在赤平投影图上投影出三个露头面的法线极点1、2、3及相应的线理 L_1 、 L_2 、 L_3 ，转动透明作业纸，分别绘出1、 L_1 ；2、 L_2 ；3、 L_3 的大圆弧，若三个大圆弧交于一点或交于一个中心区，则说明存在流线，并且该交点或交点中心区的中心就是流线的投影，其产状就是流线产状。若交点很分散就说明不存在流线（图10—29）。

上述方法不仅用于确定流线和流面，而且可用于各种面状构造的分析。如构造透镜体扁平面的确定，由扁平矿物排列而显示的劈理产状、构造线理的存在和产状的确定等等。

6. 根据钻孔资料求岩层产状

（1）原理 钻孔在钻进时，岩层面S（图10—30）绕钻孔轴R旋转，岩层面S过轴心O的法线OP的旋转轨迹是一个双圆锥面。圆锥体的半顶角是层面法线OP与钻孔轴R的夹角（称为法轴角）。该圆锥面的赤平投影是以轴R的极点为投影圆心，以法轴角 θ 为角距半径的小圆。当钻孔轴的产状变为 R_1 ，法轴角是 θ_1 ，也形成一个双圆锥面及一个投影小圆，若两段（或两个）钻孔中的岩层产状不变，其法线产状也不会变，则两个圆锥上有一条线是平行的，它就是二圆锥体的母线——层面法线。几何上这二圆锥体成相切的关系，切线就是层面法线，在赤平投影图上就是两圆锥体投影小圆的切点。根据这个原理就可用赤平投影利用钻孔资料求岩层的产状。

利用这种方法确定岩层产状的先决条件是：岩层产状稳定，即钻孔切过的各个岩层产状一致；钻孔产状不同，或同一单孔中各段的钻孔倾角不同，钻孔最好成倾斜比较大的弧形孔；要有精确的测斜数据；岩心完整，岩心上岩层面清晰。

（2）作法 首先在岩心上测岩层面的法轴角 θ ，并查出该段岩心的钻孔轴产状（至

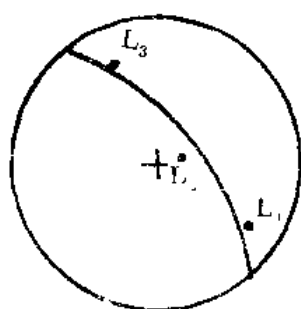


图 10—28 赤平投影求流面
L₁、L₂、L₃—在不同产状的露头面
上测得的线理极点；S—流面

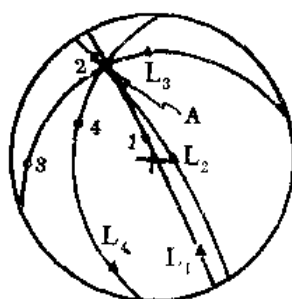


图 10—29 赤平投影求流线
1、2、3、4—测量面的法线极点；
L₁、L₂、L₃、L₄—各测量面之矿
物长轴线理的极点；A—流线

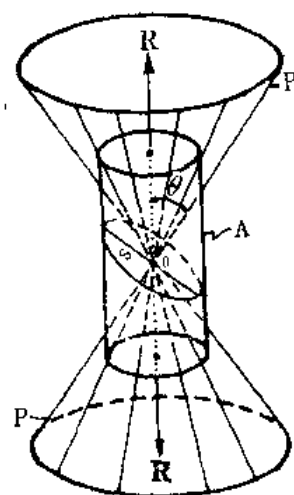


图 10—30 层面法线绕钻孔
轴旋转的轨迹是一个双圆锥面
A—岩心；S—岩层面；R—钻
孔轴；P—层面法线； θ —法轴角

少应测2—3段以上的岩心)，将数据列表备用；然后投影小圆，以钻孔轴极点为投影圆心，以法轴角为半径角距作出各测量段的投影小圆（作法见§1.二、6），各小圆的切点就是所求层面的法线极点。读出其对应的大圆产状就是岩层产状(图10—31)。但是，由于测量的误差及各测量段岩层产状稍有变化，会使小圆不完全相切或有几个切点，这时应取相切的趋势点为法线极点，或用别的钻孔资料来检验（方法参看Ⅺ—65—67）。

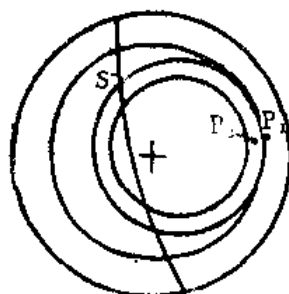


图 10—31 利用钻孔资料求岩层产状
P₁—切点；P₂—中点，即所求岩层之法
线极点；S—所求岩层之投影大圆

钻孔资料

孔 深 (m)	钻孔产状		法轴角 θ
	倾 向	倾 角	
50	11°	86°	74°
150	48°	74°	60°
220	53°	70°	50°

二、主要参考书

Ⅱ. 15—31 面状构造和线状构造的标绘法；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；褶皱枢纽、轴迹和轴面产状的测算；断裂构造的赤平投影和分析；流面和流线的测定；面理、线理的旋转及小圆应用问题。

Ⅺ. 55—173 面状构造产状的测算；线状构造产状的测算；岩浆岩流动构造的测算；计算岩层的真厚度；褶皱构造的测算；断裂构造的测算；岩组分析上应用赤平极射投影问题。

Ⅹ. 36—55、111—135 构造分析中的等面积投影、方位图的意义；组构资料的旋转；大型褶皱和褶皱系的分析。

三、思考与练习

1. 什么是极点图和等密图? 用吴氏网和施氏等面积网投影的极点等密图有什么不同?
2. 一个等密图上应当标注哪些内容?
3. 为什么等密图上基圆对蹠部分密度必须相等? 而且必须对称?

4. 在某一地区共测得30个岩层产状, 试作出岩层层面的等密图; 并分析等密图的构造意义。岩层产状数据如下: $165^{\circ}\angle 45^{\circ}$ 、 $155^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 、 $154^{\circ}\angle 42^{\circ}$ 、 $165^{\circ}\angle 39^{\circ}$ 、 $163^{\circ}\angle 44^{\circ}$ 、 $165^{\circ}\angle 47^{\circ}$ 、 $167^{\circ}\angle 44^{\circ}$ 、 $170^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 、 $166^{\circ}\angle 43^{\circ}$ 、 $171^{\circ}\angle 42^{\circ}$ 、 $168^{\circ}\angle 43^{\circ}$ 、 $170^{\circ}\angle 44^{\circ}$ 、 $172^{\circ}\angle 38^{\circ}$ 、 $183^{\circ}\angle 38^{\circ}$ 、 $174^{\circ}\angle 44^{\circ}$ 、 $178^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 、 $183^{\circ}\angle 47^{\circ}$ 、 $210^{\circ}\angle 32^{\circ}$ 、 $189^{\circ}\angle 32^{\circ}$ 、 $247^{\circ}\angle 32^{\circ}$ 、 $276^{\circ}\angle 49^{\circ}$ 、 $293^{\circ}\angle 63^{\circ}$ 、 $284^{\circ}\angle 56^{\circ}$ 、 $290^{\circ}\angle 62^{\circ}$ 、 $282^{\circ}\angle 66^{\circ}$ 、 $291^{\circ}\angle 64^{\circ}$ 、 $288^{\circ}\angle 58^{\circ}$ 、 $292^{\circ}\angle 59^{\circ}$ 、 $296^{\circ}\angle 64^{\circ}$ 、 $293^{\circ}\angle 71^{\circ}$ 、 $292^{\circ}\angle 61^{\circ}$ 、 $298^{\circ}\angle 74^{\circ}$ 、 $292^{\circ}\angle 64^{\circ}$ 、 $301^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 、 $293^{\circ}\angle 66^{\circ}$ 。

(答案: 等密图呈双极密大圆环带特征, 反映是以岩层面为变形面的圆柱状褶皱; 枢纽产状(即环带轴)为 $220^{\circ}\angle 30^{\circ}$; 二极密代表褶皱的两个翼, 产状分别为 $161^{\circ}\angle 42^{\circ}$ 和 $291^{\circ}\angle 62^{\circ}$)

5. 某尖棱褶皱两翼产状分别为 $150^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 和 $290^{\circ}\angle 60^{\circ}$, 请求出枢纽产状。

(答案: $213^{\circ}\angle 21^{\circ}$)

6. 在某背斜上从北往南依次测到岩层的产状为 $14^{\circ}\angle 85^{\circ}$ 、 $60^{\circ}\angle 42^{\circ}$ 、 $92^{\circ}\angle 30^{\circ}$ 、 $110^{\circ}\angle 32^{\circ}$ 、 $143^{\circ}\angle 37^{\circ}$ 、 $160^{\circ}\angle 40^{\circ}$, 请分别用 β 图和 π 图求该背斜的枢纽产状。

(答案: $105^{\circ}\angle 31^{\circ}$; $100^{\circ}\angle 30^{\circ}$)

7. 图10—32是一个背斜构造的 π 图解, 请说出图上表示出一些什么内容及它们的构造含义。

8. 在某一地区的变质岩中测得岩层原生层理 S_0 的产状如下: $223^{\circ}\angle 38^{\circ}$ 、 $220^{\circ}\angle 45^{\circ}$ 、 $228^{\circ}\angle 43^{\circ}$ 、 $226^{\circ}\angle 46^{\circ}$ 、 $229^{\circ}\angle 46^{\circ}$ 、 $230^{\circ}\angle 47^{\circ}$ 、 $231^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 、 $340^{\circ}\angle 48^{\circ}$ 、 $270^{\circ}\angle 60^{\circ}$ 、 $290^{\circ}\angle 58^{\circ}$ 、 $320^{\circ}\angle 54^{\circ}$ 、 $340^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 、 $345^{\circ}\angle 41^{\circ}$ 、 $347^{\circ}\angle 38^{\circ}$ 、 $348^{\circ}\angle 46^{\circ}$ 、 $349^{\circ}\angle 46^{\circ}$ 、 $348^{\circ}\angle 54^{\circ}$ 、 $352^{\circ}\angle 52^{\circ}$ 。请作出 πS_0 图(等密图, 并判断是否存在以层面 S_0 为变形面的褶皱构造; 并指出该褶皱的形态特点; 求出该褶皱两翼产状、枢纽产状和轴面产状。

(答案: 存在以 S_0 为变形面的褶皱; 褶皱形态为圆柱状、对称、开阔、圆弧形的直立倾伏褶皱, 属Rickard产状分类第二类; 褶皱两翼产状分别为 $170^{\circ}\angle 55^{\circ}$ 和 $46^{\circ}\angle 48^{\circ}$; 枢纽产状 $100^{\circ}\angle 30^{\circ}$; 轴面产状 $343^{\circ}\angle 85^{\circ}$)

9. 某露头为单斜岩层, 但与相邻的零星露头对比, 应属背斜构造的一翼。因露头不好, 该褶皱要素不能测量, 仅在单斜岩层的中厚层灰岩中测得岩层产状是 $150^{\circ}\angle 40^{\circ}$, 旋转节理的产状是 $290^{\circ}\angle 58^{\circ}$; 在泥灰岩夹层中测得流劈理产状为 $130^{\circ}\angle 80^{\circ}$ 。求该背斜的枢纽产状及轴面产状。

(答案: 用旋转节理及流劈理求得枢纽产状分别为 $214^{\circ}\angle 20^{\circ}$ 和 $216^{\circ}\angle 18^{\circ}$, 二者相近, 证明是同一背斜之伴生构造。由于伴生流劈理与轴面产状相近, 因此, 轴面产状为 $130^{\circ}\angle 80^{\circ}$)

10. 已知一向斜构造的平面地质图(图10—33)该向斜的岩层产状为 $163^{\circ}\angle 46^{\circ}$ 、 $167^{\circ}\angle 44^{\circ}$ 、 $178^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 、 $240^{\circ}\angle 30^{\circ}$ 、 $292^{\circ}\angle 64^{\circ}$ 、 $240^{\circ}\angle 30^{\circ}$ 。求枢纽产状和轴面产状(提示: 在平面地质图上, 褶皱岩层地质界线最大弯曲点——产状的最大转折点大致是枢纽

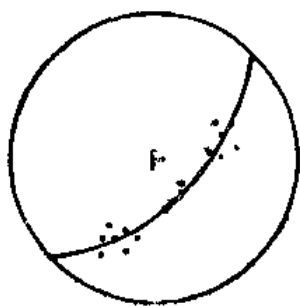


图 10—32 某背斜的 π 图解

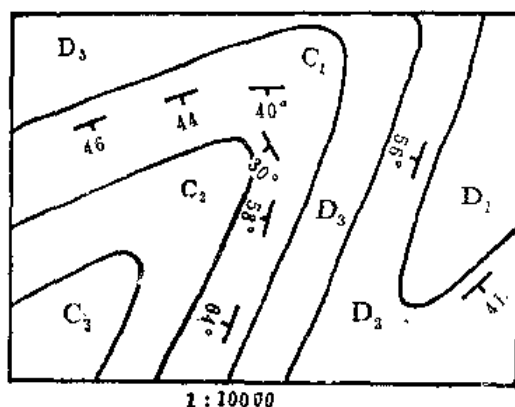


图 10—33 ××区地质图

点，各层界线最大弯曲点的连线大致是褶皱在平面上的轴迹)。

(答案： $216^\circ \angle 30^\circ$ ； $134^\circ \angle 75^\circ$)

11. 在湖北赤马山测得许多节理数据(表10—1)。请作节理等密图，并求出主要节理组的优势产状。若各节理组是配套的，即构成节理系，请求出该节理系的主应力轴产状，并分析节理与褶皱的关系。

湖北赤马山铜矿刘许山地区节理统计数据表

岩层时代为志留系；岩性为角岩；岩层产状为 $SW195^\circ \angle 83^\circ$ ；
测点构造部位是近东西向斜北翼；向斜枢纽产状 $SE106^\circ \angle 13^\circ$

表 10—1

编号	走向	倾向	倾角	节理性质	编号	走向	倾向	倾角	节理性质	编号	走向	倾向	倾角	节理性质
1	25	115	36	剪性	18		110	34	剪性	35	194	104	88	张性
2	20	110	36	剪性	19	191	281	90	张性	36		289	32	剪性
3	17	287	68	张性	20	202	112	30	剪性	37		280	34	剪性
4	185	275	73	张性	21		270	43	剪性	38		93	42	剪性
5		315	35	剪性	22		135	28	剪性	39		290	34	剪性
6		100	28	剪性	23		94	74	张性	40		283	30	剪性
7		91	74	张性	24		300	40	剪性	41		277	80	剪性
8		90	65	张性	25		103	80	张性	42		65	50	剪性
9		264	21	剪性	26		95	34	剪性	43		280	32	剪性
10		131	29	剪性	27		273	55	剪性	44		275	41	剪性
11		265	70	张性	28		285	33	剪性	45		291	41	剪性
12		280	77	张性	29		277	40	剪性	46		72	43	剪性
13		274	68	张性	30		280	50	剪性	47		280	38	剪性
14		195	32	剪性	31		290	42	剪性	48		85	37	剪性
15		272	23	剪性	32		253	57	剪性	49		265	39	剪性
16		106	83	张性	33		244	69	张性	50		102	75	张性
17		289	83	张性	34		275	35	剪性					张性

(答案与分析：在节理等密图上的三个极密中心代表的三组节理优势产状是 $275^\circ \angle 40^\circ$ 、 $120^\circ \angle 30^\circ$ 、走向 $16^\circ \angle 90^\circ$ 。已知测点的岩层产状为 $195^\circ \angle 83^\circ$ ，在投影图上投影出三组节理 J_1 、 J_2 、 J_3 及层理 S_0 的大圆，并求出节理与层理的夹角得： $J_1 \wedge S_0 = 77^\circ$ 、 $J_2 \wedge S_0 = 78^\circ$ 、 $J_3 \wedge S_0 = 88^\circ$ 。说明三组节理都与层理近垂直。这种与层理垂直的节理主要形成于

两种情况，一种是褶皱过程中形成的旋转节理；另一种是褶皱弯曲前形成的节理（平面X节理）。根据旋转节理与岩层面的交线大致与褶皱枢纽平行的原理，可以判断这些节理都不可能是旋转节理，因为它们与层理 S_0 的交线分别是 $J_1/S_0=280^\circ\angle40^\circ$ 、 $J_2/S_0=110^\circ\angle30^\circ$ 、 $J_3/S_0=200^\circ\angle83^\circ$ ，它们与褶皱枢纽产状相差很远。褶皱前的平面X节理必须当层理处于水平位置时节理产状才是直立的。为此，可用赤平投影旋转法将层理 S_0 旋转至水平， J_1 、 J_2 、 J_3 三组节理也同步旋转，旋转后的产状是： $J_1=338^\circ\angle80^\circ$ ； $J_2=46^\circ\angle80^\circ$ ； $J_3=18^\circ\angle90^\circ$ 。三组均近于直立，但还需经节理配套及应力场分析。这三组节理在投影图上都接近相交于一点，表明它们可能配套成节理系。据野外观测， J_1 、 J_2 是剪性， J_3 是张性而且正好处于 J_1 、 J_2 钝夹角的等分线附近，因此，证明三者是一个节理系。形成该节理系主应力轴 σ_1 是 J_1 、 J_2 钝夹角等分线，在投影图上求得主应力轴方位是： $\sigma_1=188^\circ\angle11^\circ$ ； $\sigma_2=10^\circ\angle78^\circ$ ； $\sigma_3=99^\circ\angle1^\circ$ 。已知褶皱轴向为近东西向，即由近南北向挤压力形成。这与三组节理应力场是一致的，因而这三组节理应当是褶皱弯曲前形成的同褶皱应力场平面节理系）

12. 已知某断面产状为 $297^\circ\angle80^\circ$ ；侧羽状节理产状为 $175^\circ\angle71^\circ$ 。求该断层位移方向及主应力轴。

（答案：断层运动线产状为 $22^\circ\angle25^\circ$ ；主应力轴 $\sigma_1=74^\circ\angle26^\circ$ 、 $\sigma_2=227^\circ\angle62^\circ$ 、 $\sigma_3=340^\circ\angle11^\circ$ 。由于运动线侧伏角为 $\angle26^\circ\text{N}$ ，故断层为正-右行平移断层）

13. 湘南某钨矿含矿断层的产状为 $240^\circ\angle70^\circ$ 。预测与该断层派生的侧羽状节理也含矿，现在断层两旁测得三组节理产状分别为 $140^\circ\angle60^\circ$ 、 $94^\circ\angle83^\circ$ （张）、 $35^\circ\angle70^\circ$ 、 $218^\circ\angle67^\circ$ ；在断层面上测得擦痕侧伏产状为 $240^\circ\angle70/32^\circ\text{N}$ 。求哪几组是断层派生侧羽状节理（提示：侧羽状节理与断层面的交线必与擦痕垂直，故在投影图上，该节理与断层大圆弧交点必然与擦痕极点大致成 90° 夹角）。

（答案：前两组为侧羽状节理；最后一组虽然与断层交线也大致垂直于擦痕，但与前两组的运动方向不配套，故不是侧羽节理。另一组与断层无关）

14. 图10—34为湖南锡矿山兰田湾地质图。图上断层 F_1 产状为 $4^\circ\angle78^\circ$ ；煌斑岩墙产状为 $110^\circ\angle80^\circ$ ；上泥盆统余田桥阶（ D_{3s} ）及锡矿山阶（ D_{3x} ）各段岩层产状均为 $120^\circ\angle30^\circ$ ；断层两盘岩墙及岩层的产状均不变。求出 F_1 断层的总滑距及断层运动线的侧伏角和断层性质。

（答案：总滑距约18m；运动线侧伏角 62°NW ；为左行平移-正断层）

15. 图10—35为某区地质图。图中花岗岩体内一闪长岩脉被断层错开，已测得闪长岩脉产状为 $280^\circ\angle40^\circ$ ；断层面产状为 $170^\circ\angle56^\circ$ ；通过断层伴生的侧羽状节理求得断层运动线侧伏角为 $170^\circ\angle56^\circ/\angle40^\circ\text{S}$ 。求该断层总滑距。

（答案：总滑距为155m）

16. 在某花岗岩岩体的六组节理面上，测得由黑云母及长石定向排列显示的线状构造产状列在表10—2中。求流动构造的性质和产状。

（答案：有流面，其产状为 $242^\circ\angle20^\circ$ ；同时存在流线，其产状为 $292^\circ\angle22^\circ$ 。在投影图上，流线极点没有正好落在流面的投影大圆弧上，而是在其侧旁，这主要是测量误差造成的。另外，第5组附近于流面产状，该面上的线状构造也接近于流线的产状）

17. 甘肃白银厂变质岩系中，可能存在由拉长的火山集块或火山角砾构成的拉伸线

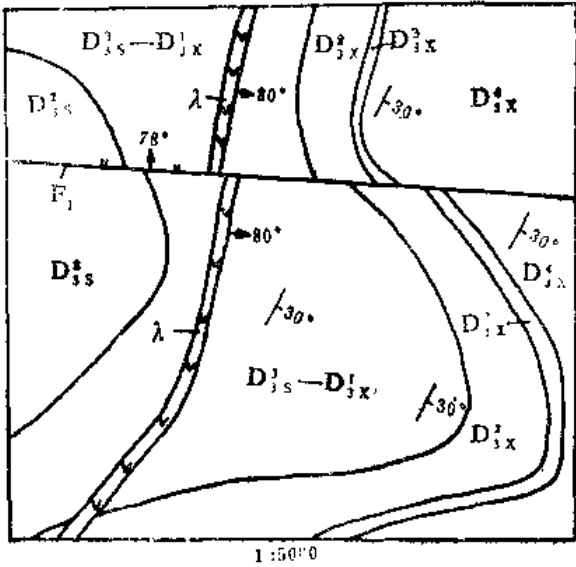


图 10—34 湖南锡矿山兰田湾地质图
 D_{3s}^2 —七里江段（含锡）； D_{3s}^2 — D_{3x}^1 —余田桥
 阶上段至长龙界段； D_{3x}^2 —兔子岭段； D_{3x}^3 —
 泥矿里段（含赤铁矿层）； D_{3x}^4 —马枯脑段；
 λ —煌斑岩墙

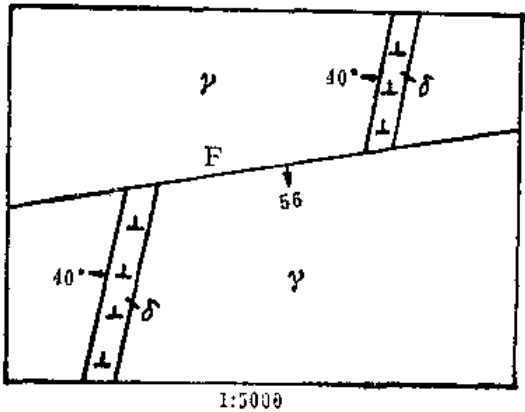


图 10—35 某区地质图
 γ —花岗岩体； δ —闪长岩墙

某花岗岩露头原生流动构造测量数据表

表 10—2

测量节理面编号	节理面产状		节理面上线状构造 的侧伏角
	倾 向	倾 角	
1	S W236°	20°	35° N
2	S E102°	62°	12° S
3	NW355°	40°	29° S
4	S W187°	65°	17° N
5	NW345°	15°	46° S

白银露天矿某观测点线理测量数据表

表 10—3

测量面编号	测量面产状		火山集块、角砾长 轴的侧伏角
	倾 向	倾 角	
1	85°	62°	68° N
2	53°	85°	85° N
3	2°	71°	73° N
4	160°	57°	50° N
5	344°	77°	76° N
6	30°	70°	80° N

附 表
Zk302钻孔测量

表 10—4

测量段编号	孔深 (m)	钻孔产状		法轴角 (θ)
		倾向	倾角	
1	30	—	90°	30°
2	130	316°	84°	25°
3	230	324°	80°	22°
4	320	336°	76°	20°

理。野外工作时在不同的露头面上测得集块或角砾长轴的侧伏角列入表10—3中。请判断是否存在拉伸线理，并求其产状。（提示与分析：作法与岩浆岩求流线、流面相同。构造拉伸线理是岩石中的矿物或矿物集合体如石英、黄铁矿、砾石、火山岩集块等，在构造变形中被压扁、拉长，其长轴定向排列而成。单个矿物或集合体被压扁拉长后的理想形态是一个扁长的椭球体，它的任意切面成椭圆形，长轴定向排列，因此，可用赤平投影法判别其存在，并求其产状）。

（答案：存在拉伸线理，其产状为 $18^{\circ} \angle 67^{\circ}$ 。各测量面的集块、角砾长轴极点，在投影图上可以看出是趋近于一个大圆弧，该大圆代表集块、角砾的扁平面投影，其产状是 $30^{\circ} \angle 70^{\circ}$ 。这与测区的片理产状相同，因此，可用这种方法求出片理不明显的火山集块岩中的片理产状。另外，第6个测量面产状与片理相近，其集块角砾长轴的产状也与拉伸线理相似。这又说明，在片理或流劈理等最大挤压面上可以测到拉伸线理的真产状）。

18. 某勘探矿区ZK302号钻孔资料如表10—4，该钻孔位于一背斜的东翼，岩层产状稳定，试求地下深部的岩层产状。

（答案： $119^{\circ} \angle 32^{\circ}$ ）

19. 某勘探矿区地表被植被掩盖，岩层产状不清，为了求出岩层产状，在三个钻孔中进行了精确的钻孔产状测量及岩心法轴角测量，其数据列于表10—5中，请用赤平投影法求出该区岩层产状。

（答案： $178^{\circ} \angle 60^{\circ}$ ）

某矿区钻孔测量资料

表 10—5

测量钻孔编号	测量部位孔深 (m)	钻孔产状		法轴角 (θ)
		倾向	倾角	
ZK101	70	318°	71°	44°
ZK001	90	360°	70°	40°
ZE202	50	360°	64°	30°

