

构造 - 矿床地质学

理论与实践

◎ 徐旃章 邹 灏 方 乙 陈远巍 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

构造-矿床地质学 理论与实践

徐旃章 邹灏 方乙 陈远巍 编著



北京

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书由两部分组成,第1部分为地质构造与成矿,第2部分为矿床成因类型与成矿构造环境。本书系统论述了不同类型、不同尺度、不同构造环境和不同构造运动程式及不同构造动力学条件与环境对不同类型矿床的控制作用与构造-成矿机理。

本书可供地质专业相关高校师生,科研机构、矿山企业等从事科研、技术及管理的人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

构造-矿床地质学理论与实践/徐旃章等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-5024-7707-3

I. ①构… II. ①徐… III. ①构造地质学 ②经济地质学
IV. ①P54 ②P61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 322595 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 王梦梦 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7707-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 2 月第 1 版, 2018 年 2 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 22.25 印张; 435 千字; 349 页

79.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

构造-矿床地质学实质是研究构造运动及构造变形程式、构造变形特征和规律与岩石、岩层、岩体、成矿组分地球化学之间时空上、物质运动方式上、方向上和能量上各种相关因素的相关性和规律性，是一门遵循自然规律的构造与成矿、理论与实践密切联系的基础学科。我国著名的地质学家、中国科学院院士涂光炽教授和前辈科学家都有一个共识：“一门学科要站得住脚，不能只靠人为的支持，重要的是这门学科能适应生产发展的需要，给生产以力所能及的推动，本身有一定的理论和方法作为支柱……”这也是本书论述和研究的主体内容和核心指导思想。

不同尺度、不同强度、不同类型的构造变形过程中，受变形的不同含矿性的岩石与岩层，必然导致原岩结构、构造和组分的再调整、再分配、迁移和富集或贫化，尤其在构造变形过程中同步有流体和热流体参与的条件下，有用元素或成矿组分的再调整、再分配的特征与规律就更加明显，并在三维不同温度、压力、介质条件下时空定位、富集成矿或相关矿产资源的形成。因此，构造活动与构造变形是各类矿床形成的重要前提与条件，各类矿床或成矿组分的调整、迁移、富集的过程也客观地揭示着控矿构造发生、发展和演变的过程，两者依控关系清晰、三维空间分带对应特征明显。

穷究于理、成就于工，实践出真知、理论明实践是自然界和自然科学的辩证—逻辑真理。自然科学自 20 世纪以来，随着量子理论和相对论的诞生与发展，自然科学呈现惊人的进展，地质科学与其他自然科学一样，也同步由定性的描述性阶段逐步迈入到

定量-半定量的理论研究新领域，登上了理论指导实践，实践丰富、充实理论的理论找矿新阶段，拓宽了视域，加深了实践与理论研究的深度与广度，大幅度地促进了矿业开发和矿业经济的高速发展，客观地揭示了矿产资源综合评价理论与实践的互动性和相关性。

客观的成矿地质事实表明，地壳上各类矿产资源无不严格地受构造和建造的双重因素或条件控制，仅因矿产资源种类和矿床成因类型的不同，构造和建造对成矿的控制作用与地位各有差异而已，而各类建造又明显受控于不同的大地构造环境、构造运动程式与构造变形机制，因此构造动力学条件与环境及相应的构造运动程式对成矿的主控作用，是不容置疑的事实，它不但是各类含矿建造和矿产资源形成的主要构造前提，也是成矿-导矿、赋矿的重要空间，更是壳-幔物质组分不断调整、迁移、富集成矿的构造地球化学主控因素。

但值得注意的是：尽管地壳物质以多种运动的形式存在，地壳物质（各类建造，包括成矿建造）物理、化学的时空演变与相应矿产资源的形成，无不直接、间接地受演变着的构造动力、发展中的构造程式及相应的构造变形所控制、所制约；因此，地质科学的构造与组分的相关性和动态研究是不变的前提，也是构造-矿床学研究的重心所在。

全书由徐旃章、邹灏、方乙执笔撰写，文图编排、清绘由陈远巍完成。

本书是在众多学者和专著系列研究成果的基础上探索结果的总结，不妥之处在所难免，敬请批评指正。

作 者

2018年1月

目 录

第 1 部分 地质构造与成矿

1 褶皱构造与成矿	1
1.1 褶皱构造的主要类型及其形成的力学机制	1
1.1.1 褶皱构造的几何形态特征分类	1
1.1.2 褶皱构造的成因分类	5
1.1.3 褶皱的力学性质分类与鉴别	9
1.2 叠加褶皱与成矿	11
1.2.1 横跨褶皱与成矿	12
1.2.2 限止褶皱与成矿	14
1.2.3 重褶褶皱与成矿	14
1.2.4 横跨、限止、重褶褶皱形成的力学机制	16
1.3 叠加褶皱的室内-野外判析与厘定	29
2 断裂构造与成矿	33
2.1 断裂(层)构造的主要分类及其变形的力学机制	33
2.1.1 断裂(层)构造的几何分类及其受力机制	33
2.1.2 断裂(层)构造的力学分类及其受力机制	34
2.2 断裂力学性质的综合识别信息与标志	36
2.3 断裂构造的复合叠加变形与成矿	52
2.3.1 重叠式复合叠加断裂	52
2.3.2 交切式复合叠加断裂	54
2.4 断裂形成时代的厘定与识别	57
2.4.1 控矿断裂相对地质年代的判析与厘定	64
2.4.2 控矿断裂绝对年龄的测定与判断	68
2.4.3 成矿前、成矿期、成矿后断裂的识别方法与标志	69
2.5 断裂构造的导矿、布矿、容矿与成矿作用	73
2.5.1 断裂构造导矿、布矿、容矿作用的构造-地球化学前提	74
2.5.2 断裂构造多级控矿与导矿、布矿和容矿	83

2.6 控矿断裂的三维空间分带与成矿三维空间分带时空关系	92
2.7 推覆构造与成矿	102
2.7.1 腾冲地块巨型高黎贡山推覆构造体系与控岩、控矿	103
2.7.2 川、黔、湘西巨型推覆构造体系与成矿	109
2.8 控岩、控矿构造系统的综合识别信息与标志	113
2.8.1 地质研究的方法与思路	113
2.8.2 地球物理方法的信息与标志	114
2.8.3 地球化学测量方法的信息与标志	130
2.8.4 遥感技术方法的信息与标志	141
 第2部分 矿床成因类型与成矿构造环境	
3 矿产资源分类及成因类型与成矿	146
3.1 矿产资源分类概述	146
3.1.1 按产出状态分类	146
3.1.2 按矿产性质及工业用途分类	146
3.2 矿产资源的成因分类与成矿构造	147
3.2.1 沉积矿床	147
3.2.2 岩浆与岩浆期后热液矿床	168
3.2.3 变质矿床	196
3.2.4 层控矿床及其典型矿床剖析	208
4 地幔柱和腾冲地块地幔柱活动与成矿	249
4.1 地幔热柱	249
4.2 地幔热柱活动与成矿	250
4.2.1 腾冲地块地幔热柱构造活动与成矿	252
4.2.2 黑龙江依兰地区幔枝构造活动与成矿	265
5 结语	311
参考文献	337

第 1 部分 地质构造与成矿

地质构造是在构造运动发生、发展过程中，不同类型的岩石和地层受力变形的产物。尽管产生于不同类型岩石和不同时代、不同岩层和岩层组合中的地质构造形态各异，变形机理不一，但纵观全局仍以褶皱和断裂为主，褶皱和断裂是最基本、最主要的地质构造类型和研究对象。

1 褶皱构造与成矿

1.1 褶皱构造的主要类型及其形成的力学机制

褶皱构造是岩石和岩层受力变形的主要类型，而作为三维变形的地质构造实体，又各具不同的几何形状和形态特征。它们分属不同成因、不同受力条件下变形的产物，因此，褶皱几何形态特征与分类的研究，是褶皱成因分类和力学性质分类的基础与前提。

1.1.1 褶皱构造的几何形态特征分类

1.1.1.1 褶皱构造的纵向几何形态特征分类

褶皱构造的纵向几何形态特征有：（1）水平褶曲（背斜~向斜）如图 1-1（a）所示；（2）倾伏褶曲（背斜~向斜）如图 1-1（b）所示。

1.1.1.2 褶皱构造的横向几何形态特征分类

褶皱构造的横向几何形态特征有：（1）直立褶曲；（2）斜歪褶曲；（3）倒转褶曲；（4）平卧褶曲。

其中直立褶曲、斜歪褶曲多发生于宽缓褶皱区，而倒转、平卧褶曲多产于强变形和强区域变质区（见图 1-2）。

背斜、向斜作为三维地质实体，其几何形态特征直接表征着各褶曲要素的空

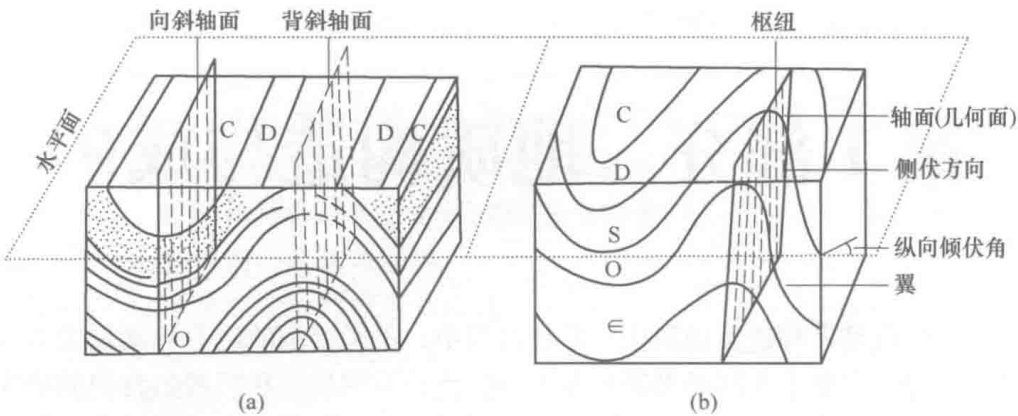


图 1-1 水平褶皱与倾伏褶皱在平面-剖面上的表现特征
(a) 水平褶皱 (背斜~向斜); (b) 倾状褶皱 (背斜~向斜)

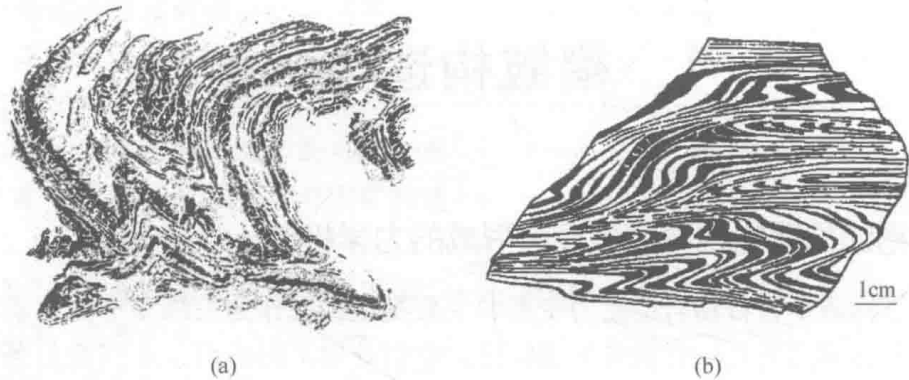


图 1-2 褶皱的宏观与微观表现
(a) 航空照片上的褶皱素描; (b) 手标本上的褶皱素描 (北京, 奥陶纪灰岩)
(据构造地质学, 宋鸿林、张长厚、王根厚, 2013)

间定位特征与规律。

岩石和岩层的成层性, 是褶皱或褶皱形成的必需的岩石学条件, 岩层的层间滑动是褶皱构造形成或岩层受力失稳塑性变形的岩石力学和变形力学的基础与前提。块状各类侵入岩体, 当发育有层状、似层状密集的构造劈理、节理和裂隙时, 在后期受侧向挤压或压扭受力条件下, 同样可以形成褶皱变形 (见图 1-3)。我国东部大部分燕山-喜山期钾长-二长花岗岩中的次生石英岩-石英脉型钼矿 (MoS_2) 均产于花岗岩产状平缓的层裂隙 (L 裂隙) 的沿裂面滑动的裂隙破碎带中 (见图 1-4 和图 1-5), 构成了我国钼矿 (MoS_2) 重要的成因类型与工业类型。

但值得注意的是, 不同物理-化学性质的岩石和岩层的组合特征, 对矿体的产出部位、形态变化、矿石特征均有着明显的控制作用或依控关系, 也是深部成矿预测的重要信息标志 (见图 1-6)。

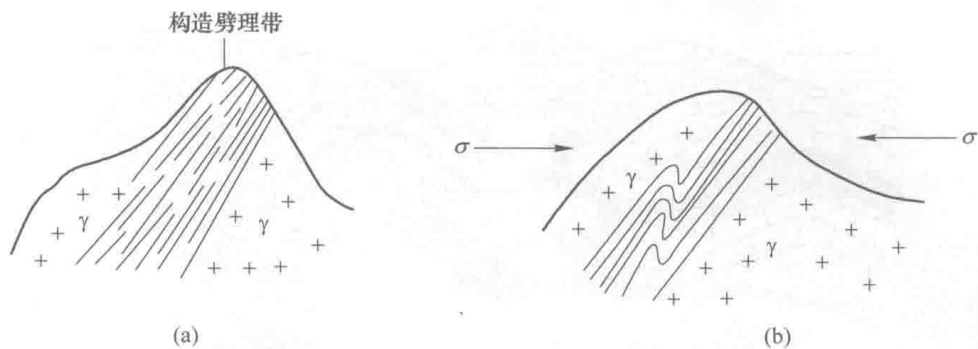


图 1-3 花岗岩体中发育的先成构造劈理带牵引褶皱
(a) 构造劈理带；(b) 在后期压或扭压应力作用的条件下所形成的牵引褶皱

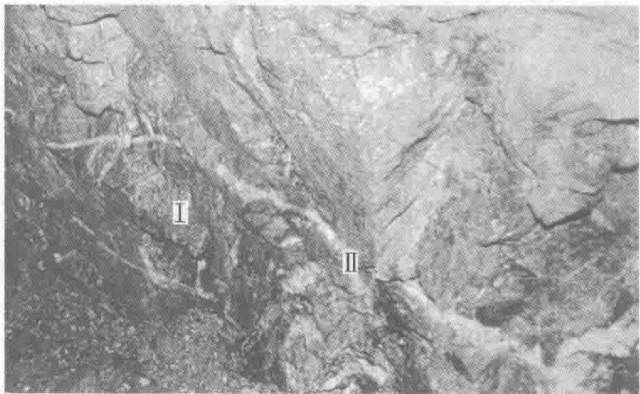


图 1-4 浙江青田钼矿 (MoS_2)
(沿花岗岩层 (L) 裂隙破碎带发育的缓产状次生石英岩型钼矿 (成矿 I 阶段),
并可见成矿 II 阶段沿“层”和穿“层”的含钼石英脉)
(据徐旃章, 2001)

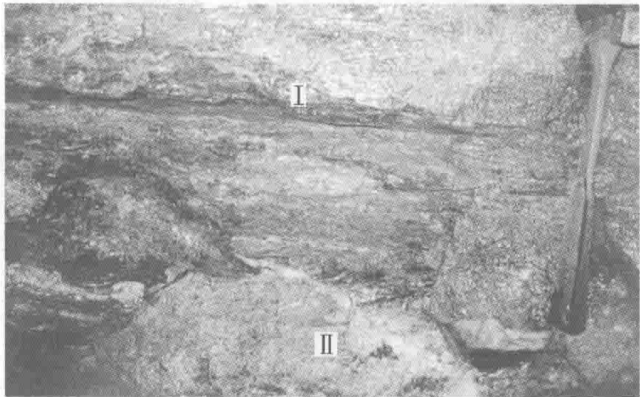


图 1-5 浙江雅溪钼矿 (MoS_2)
(沿花岗岩层 (L) 裂隙破碎带发育的缓产状次生石英岩型钼矿 (成矿 I 阶段),
并可见成矿 II 阶段沿“层”和穿“层”的含钼石英脉)
(据徐旃章, 2001)

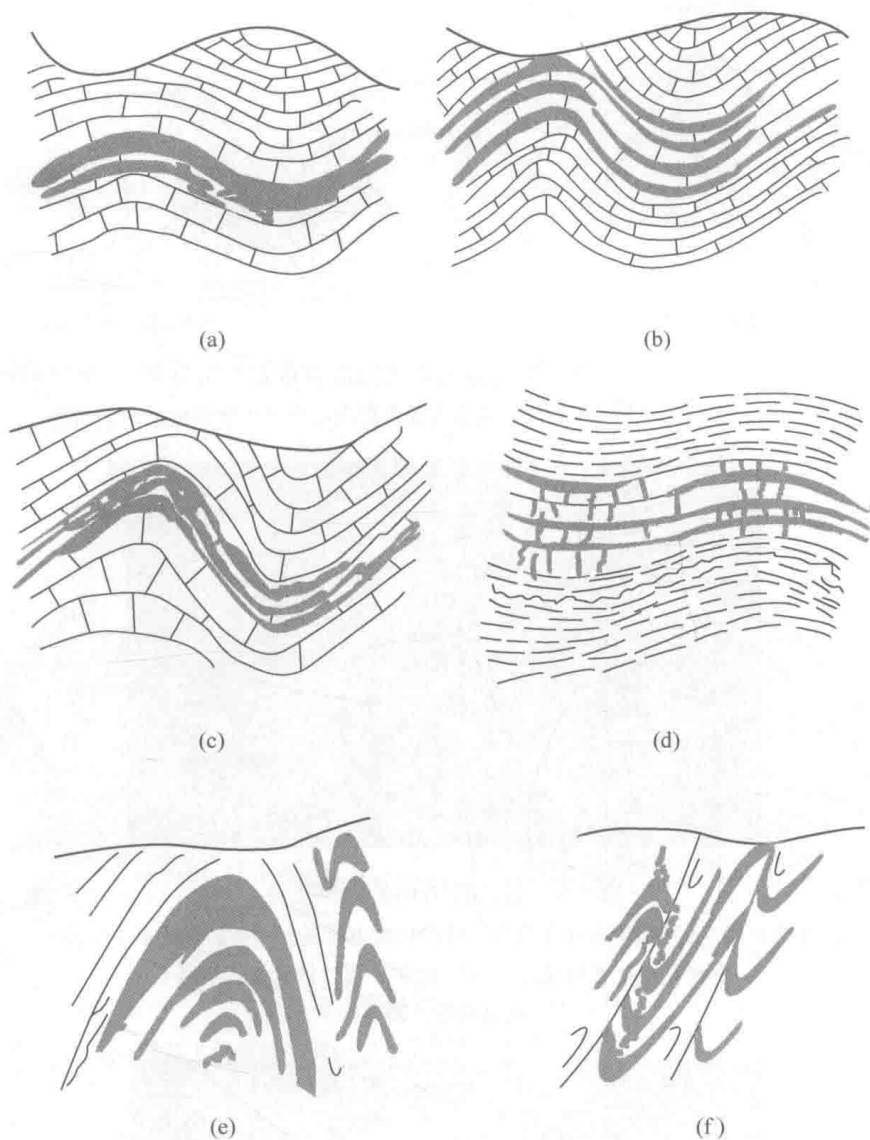


图 1-6 不同物理-化学性质岩石和岩（层）石组合条件下，褶（曲）皱的控矿特征

- (a) 厚层灰岩夹薄层灰岩的赋矿特征；(b) 薄层灰岩夹厚层灰岩的赋矿特征；
 (c) 厚层灰岩夹薄层泥页岩的赋矿特征；(d) 薄层泥质页岩夹灰岩的赋矿特征；
 (e) 强变形褶皱中的多层状叠置式鞍状矿体；(f) 压性-压扭性断裂旁侧牵引褶皱鞍状矿体

在褶皱岩层中，岩石和岩石组合的物理力学性质和化学性质是褶皱构造中矿体空间定位的重要控制因素。例如，成矿有利岩体之上，覆盖具有一定厚度的低孔隙度、低渗透率的泥质岩层时，由于上覆隔水岩系作为物理、化学屏障，阻挡了含矿热流体的向上侵位，而在其下有利岩层和岩体的有利组合部位中富集、堆积成矿。这种成矿实例很多，如云南个旧锡矿、川东南萤石-重晶石矿、黔东湘西汞矿等（见图 1-7）。

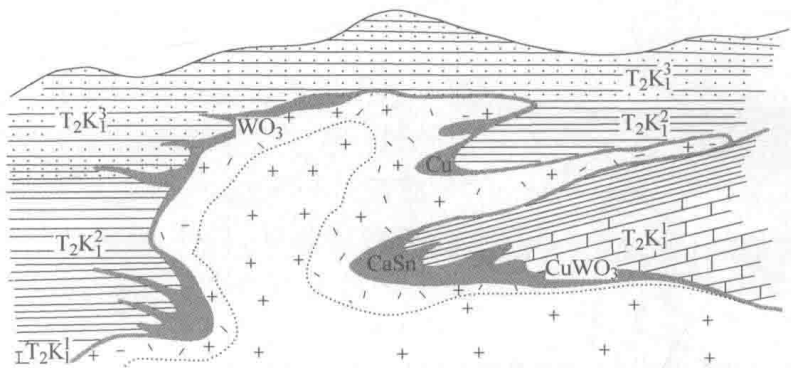


图 1-7 云南个旧侵入体形态与矿体赋存部位关系剖面图
(据翟裕生等, 1984)

此外，必须说明的是，地壳中普遍发育的假整合（面）带和角度不整合（面）带，尤其是后者，其既记录了地层-岩石沉积历史的间断，又显示了区域性层状构造薄弱带的物理力学性能与特征。在褶皱运动过程中，角度不整合（面）带既可直接赋矿，往往又构成了区域性的成矿热流体场，而成为成矿热流体的构造集-散源部与赋矿构造空间（见图 1-8~图 1-10）。

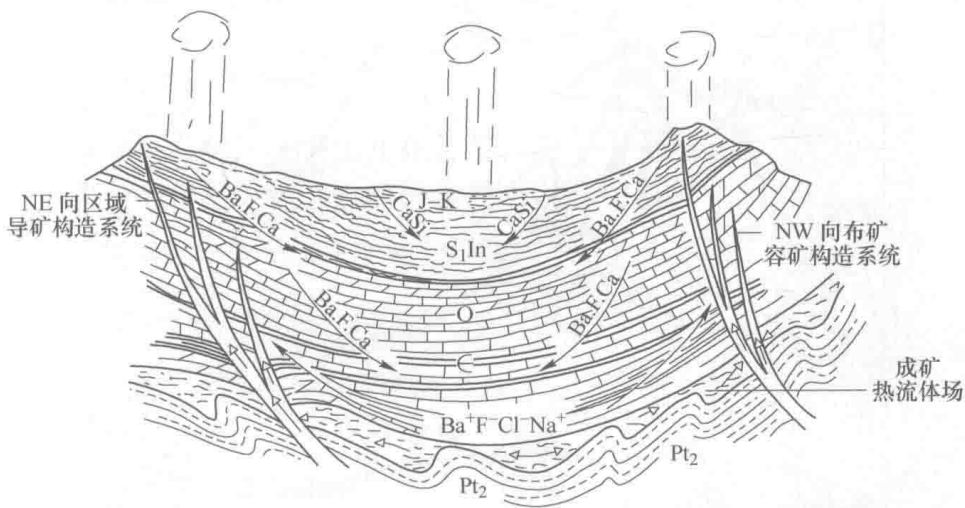


图 1-8 川东南 Zn/Pt₂区域角度不整合（面）带与萤石-重晶石成矿热流体场关系模式图
(据徐旃章, 2012)

1.1.2 褶皱构造的成因分类

褶皱构造按其形成原因可分为六类，由于不同成因的褶皱，其形成条件和形态特征各异，因此其控矿特征也各不相同。

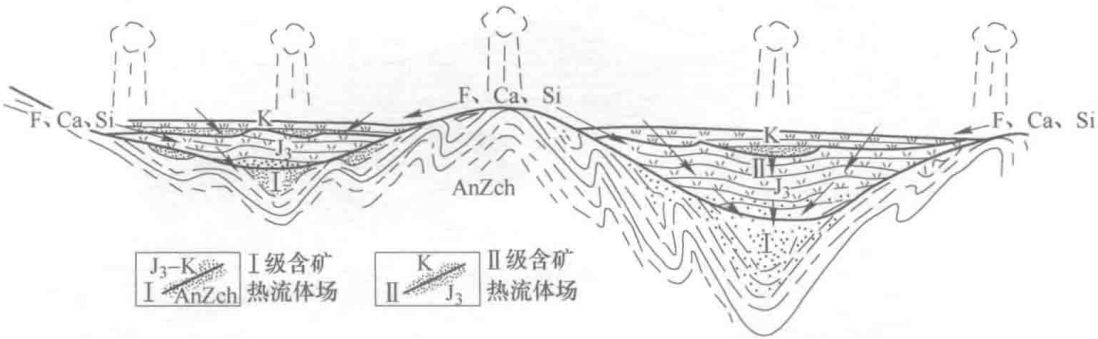


图 1-9 浙江省 J-K/AnZch 区域角度不整合（面）带与萤石成矿热流体场关系模式图
(据徐旂章, 2013)

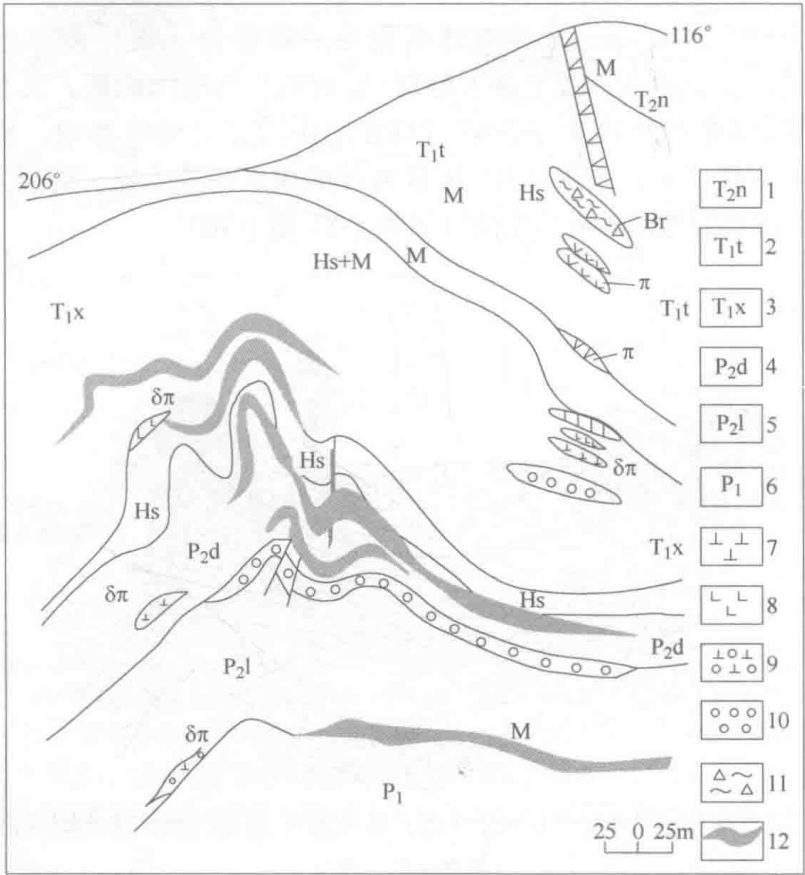


图 1-10 安徽铜陵老鸦岭铜矿假整合面控矿特征图
1—南陵湖组；2—塔山组；3—小凉亭组；4—大隆组；5—龙潭组；
6—孤峰组；7—闪长斑岩；8—煌斑岩；9—砂卡岩化闪长岩；
10—透辉石石榴石砂卡岩；11—角砾岩；12—铜矿体
(据安徽 321 队, 1983)

1.1.2.1 纵弯褶皱

成层岩层在侧向挤压应力作用条件下形成的纵弯褶皱，是自然界最常见的一种褶皱类型。在纵弯褶皱发生、发展和形成过程中，由于层间滑动的结果，在褶皱的枢纽部分，常形成鞍状的剥离空间和鞍状矿体（见图 1-11），这种矿体在岩层组合有利的条件下，常形成少则一层至数层，多达十层至数十层的鞍状矿体，是一种常见而重要的褶皱控矿构造类型。

1.1.2.2 横弯褶皱

横弯褶皱是在垂向作用力作用的条件下，形成的一种褶皱构造类型，其既可是由构造岩块上隆而形成，也可由深层侵入岩体向上侵位、上冲压力而导致的（见图 1-12）。

1.1.2.3 压柔褶皱

压柔褶皱是在侧向水平挤压条件下，层间滑动不明显的状况下而形成的褶皱剥离空间，是成矿有利的构造空间（见图 1-13）。

1.1.2.4 底辟（刺穿）褶皱

底辟（刺穿）褶皱是在横弯曲条件下，穹形褶皱形成时产生的一种特殊褶皱，是地下岩盐、石膏、黏土等低黏性、易流动的物质，在构造力或浮力的作用下，向上流动，以致刺穿或部分刺穿上覆岩层，并使其拱起而形成的构造。核部由盐类组成的构造，称盐丘或盐丘底辟。由岩浆强力侵位而形成的称为岩浆底辟。盐丘核部常形成具有经济价值的盐类矿床，其上部的穹状构造则是有利的储油构造（见图 1-14 和图 1-15）。

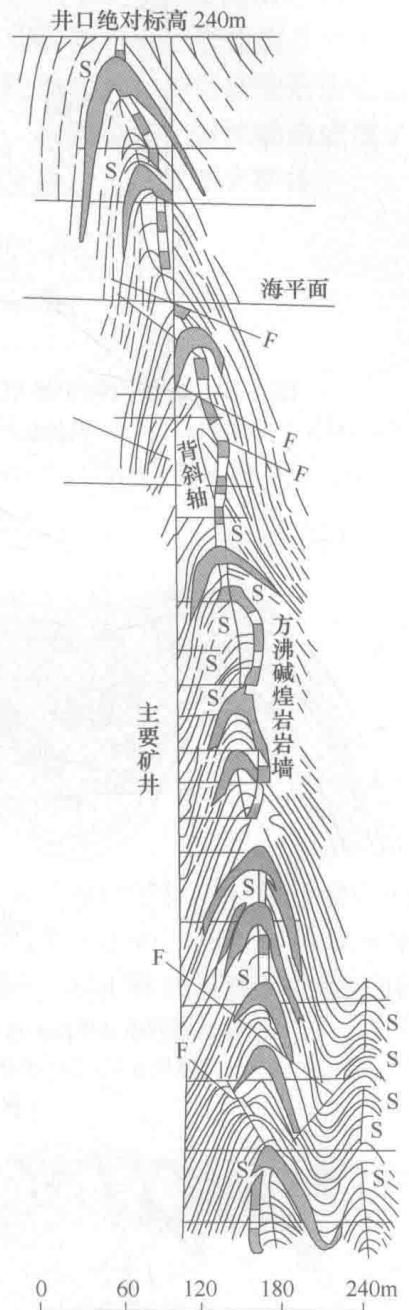


图 1-11 本迪哥矿床鞍状矿体垂向变化

(据 R. W. Boyle, 1979)

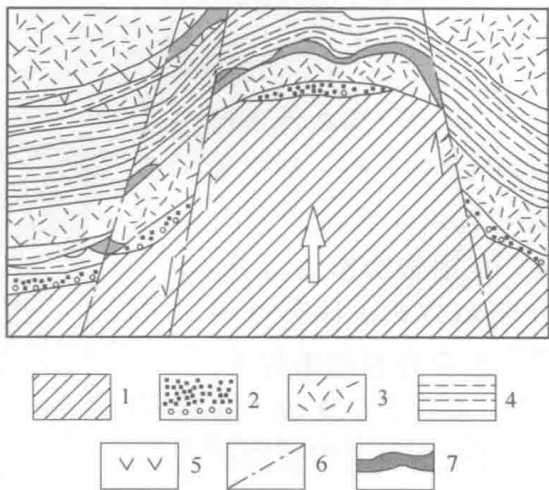


图 1-12 鲁德内阿尔泰断块上隆形成的断块褶皱虚脱部位的金属矿体
1—早古生代变质岩；2~5—泥盆纪火山-沉积岩（2—砂岩和两翼；3—石英钠长斑岩及凝灰岩；
4—页岩、粉砂岩；5—辉绿岩、玢岩及其凝灰岩）；6—断裂；7—矿体
（据 Г. Ф. 雅科夫列夫，1985）

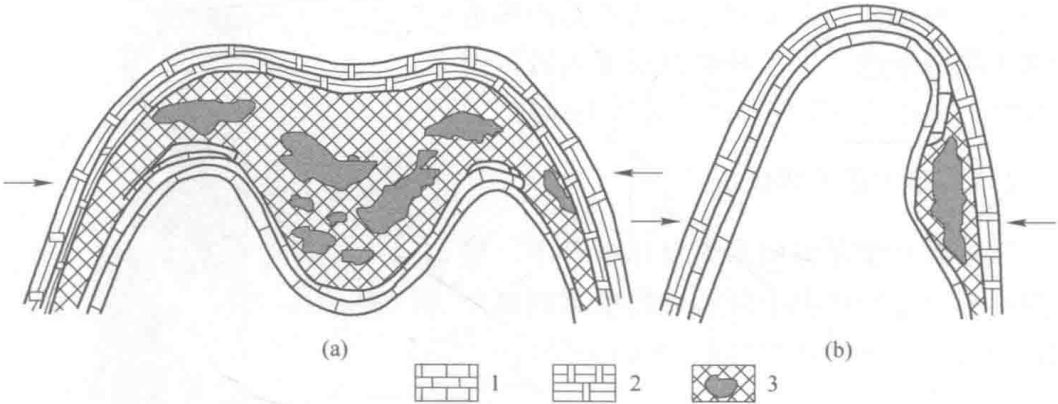


图 1-13 压柔褶皱剥离空间中的含汞锑矿体
（a）在背斜轴部的矿化压柔褶皱；（b）在背斜翼部的矿化压柔褶皱
1—薄层状灰岩；2—顶盘页岩；3—含锑汞浸染状矿石和矿巢的角砾岩
（据 В. И. 沃尔弗松，1955）

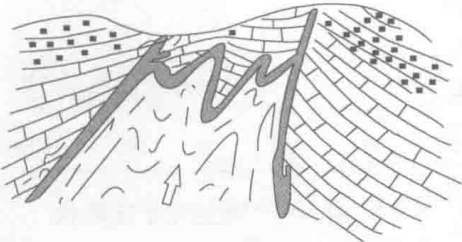


图 1-14 底辟刺穿褶皱构造破碎带的矿体定位特征

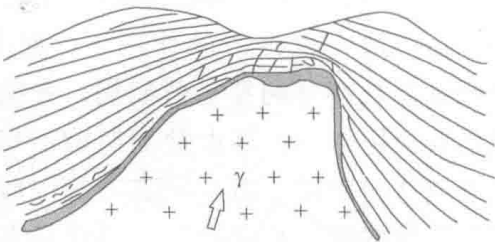


图 1-15 岩浆底辟及其成矿特征示意图

1.1.2.5 流褶皱

流褶皱实际上是一种固态流变条件下的褶皱作用,尤其在高温、高压条件下,深层岩石发生塑性变形而形成的褶皱,是深变质岩和混合岩化岩石中常见的一种褶皱类型。在该类褶皱形成的晚阶段,常出现剪切面,并促使变形岩石进一步位移或滑动,因此又称剪切褶皱(见图1-16),与此同时,塑性物质或成矿组分由翼部向核部迁移、聚集,从而使核部矿体厚度增大,形成厚大矿体。

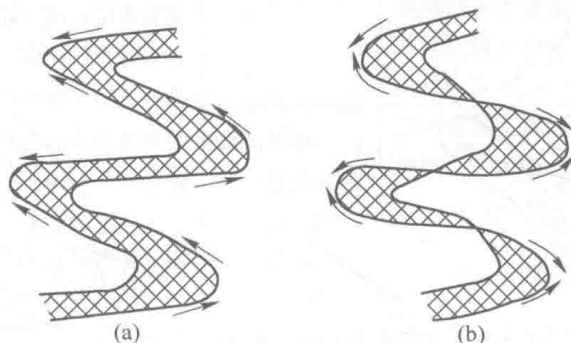


图 1-16 流褶皱变形特征与物质迁移

(a) 相似褶曲变形物质由两翼向核部迁移,形成核部加厚、翼部变薄;

(b) 物质进一步由翼部向核部迁移,甚至在翼部缺失

(据翟裕生、林新多,1993)

1.1.2.6 热流变褶皱

热流变褶皱是一种接触热动力变质构造,在岩浆侵位过程中,由于岩浆的热动力作用,使围岩具有高塑性特征,并变形形成热流变褶皱。热流变褶皱多分布于中、深成岩浆活动的前缘地带,该带往往又是矽卡岩矿床或接触交代型矿床的主要产出地带与部位,因此热流变褶皱又是间接找矿的一种重要标志。

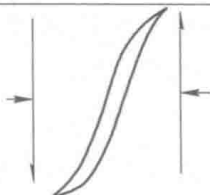
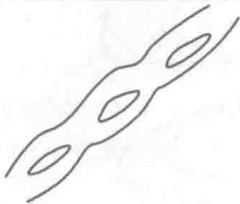
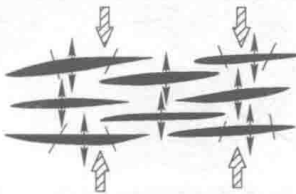
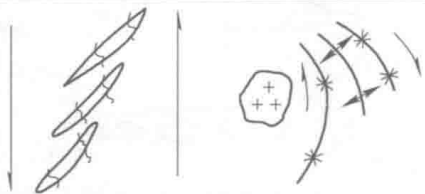
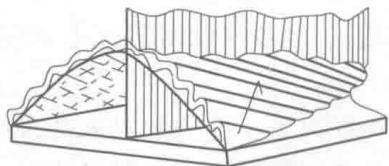
1.1.3 褶皱的力学性质分类与鉴别

褶皱是成层岩石在侧向水平挤压或以压为主兼扭的受力条件下塑性变形的产物。因此,根据褶皱形成的受力条件,褶皱又有压性和压扭性之分(见表1-1)。

由此可见,受力的对称性直接决定着变形的对称性与规律性,为褶皱力学性质的厘定提供了重要的科学依据。

褶皱控矿的实际地质事实表明,褶皱的转折端和翼部的虚脱或剥离空间部位,是各类矿体的主要赋存部位。但压性和压扭性褶皱,由于受力对称性的差异,直接决定着赋矿剥离空间三维定位的差异性:前者(压性)由于受力的斜方

表 1-1 褶皱的力学性质分类与鉴别

鉴定特征	压 性	压 扭 性
1. 单个褶皱的平面形态，轴面、轴线和两翼岩层产状	褶皱往往呈直线状，特别是水平褶皱，轴面比较平直，轴线也呈直线状，两翼岩层走向与轴线大体平行延伸，如稍有局部变化，其总体趋势不变	 褶皱常呈弧形弯曲，其轴面、轴线和两翼岩层走向一般也跟着发生弧形弯转，岩层分布往往呈一端收敛，另一端撒开，与伴生的褶皱分布规律一致
2. 褶皱枢纽起伏变化和高的排列方式镜像对称（斜方对称型）	 枢纽可以是水平的或高低起伏的，枢纽高低起伏时，其高点呈串珠状直线排列，都反映出是由于单向挤压作用引起的褶皱，不过是由于挤压不均匀所致	 枢纽往往呈弧形倾斜或高点起伏，然而其上的高点及其延展方向不成直线形，而是斜鞍相接，雁形排列，弧形展布
3. 褶皱的组合形式	 背斜、向斜相间排列，纵有参差不齐，但总体互相平行延展	 褶皱大多呈弧形展布，并呈一端收敛，另一端撒开，显示扭动作用所造成
4. 褶皱两翼岩层层面上擦痕的产状	由于挤压，当岩层褶皱时，沿着层面发生上下错移，产生的擦痕与褶皱的枢纽垂直，或阶步与枢纽平行，显示上覆岩层往上冲移	其所产生的擦痕和阶步，往往与褶皱的枢纽是斜交的，显示上覆岩层斜向上冲
5. 褶皱两翼岩层层间小构造与层面之交线的产状（层间破劈理、拖拽褶皱、张性裂隙、旋扭构造等）	 褶皱上的滑移交线（低级序构造与层面的交线或旋扭轴线）或滑移轴线近水平或平行枢纽产出，上覆岩层向上滑移	 褶皱上的滑移交线或滑移轴线呈倾斜或与轴线斜交产出，上覆岩层向斜上方滑移