

高等院校地学研究生教学用书

构造应力场控岩控矿

*Tectonic Stress Field Controls on
Lithogenesis and Mineralization*

● 黄继钧 王国芝 编著

地质出版社

构造应力场控岩控矿

黄继钧 王国芝 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书较系统地介绍了构造应力场、应力驱动及矿液运移、构造应力对成矿环境的影响、构造应力场演化及控矿、不同力学性质断层和褶皱控矿特征,单向挤压和拉伸应力场、直扭应力场、弯曲应力场、旋扭应力场特征及控岩控矿机制;应力叠加原理及联合应力场特征和控岩控矿机制;断裂力学性质的复合叠加、叠加褶皱的类型及变形图像、纵弯叠加褶皱地区先存裂隙产状变化规律及恢复、构造复合的控岩控矿特征;构造应力场对侵入岩体的控制;侵入岩和火山岩构造控矿作用;古构造研究方法等内容。

本书可供高等学校地质学专业,石油、金属与非金属矿产普查与勘探专业研究生和本科生学习使用,也可供从事矿产普查、勘探与开发的地质技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

构造应力场控岩控矿 / 黄继钧, 王国芝编著. —北京: 地质出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-116-09012-5

Ⅰ. ①构… Ⅱ. ①黄… ②王… Ⅲ. ①构造应力场—
控矿构造—研究生—教材 IV. ①P313②P613

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 236371 号

Gouzao Yinglichang Kongyan Kongkuang

责任编辑: 罗军燕 赵俊磊

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324514 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 82324340

印 刷: 北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张: 34.5

字 数: 830 千字

印 数: 1—1500 册

版 次: 2014 年 10 月北京第 1 版

印 次: 2014 年 10 月北京第 1 次印刷

定 价: 65.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-09012-5

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

构造应力场及构造变动的控岩控矿作用是地质学研究的热点之一，相关的文献浩繁，而综合性系统性的专书还付之阙如。编著者以长期从事教学和科研工作所积累的资料为基础，并广泛地融汇了国内外学者在这一领域内所取得的多方面的重要研究成果及相关论述，编著了这部《构造应力场控岩控矿》，在一定程度上弥补了这方面的欠缺，在教学、研究和实际的地质矿产工作中都是很有应用价值的。

该书把复杂的构造变动过程和成岩成矿的物质运动过程密切结合起来加以研究。其内容广泛涉及构造地质学、岩石学、矿床学、矿物学及地球化学等各门地质学科，用统一的联系的观点缕析综述。这是该书的一个重要的特色。

构造应力场方面的论述是全书的框架。该书应用固体力学的原理和方法，对构造应力场的类型、分期及演化都作了比较详尽的分析和介绍。我们知道，对于现代仍在地壳中活动的地应力，可以用各种手段进行实测；地质历史中曾经活动过的构造应力场一般都已消失，只遗留下来相关的构造变形（各种构造形迹），地质学者只能依据各种构造形迹及其组合形式（构造类型或构造型式）反演曾经活动过的构造应力场，并进一步反推构造动力。值得注意的是，反演的解答有时并不是唯一的，需要尽量查明实际存在的边界条件，进行比较验证。

该书介绍了各种基本存在的或简单受力的构造应力场及所决定的各种基本构造型式，又介绍了一些联合的或复杂受力的构造应力场及相应的联合构造型式。我们知道，地壳中由于岩块、地块的不同配置和各种复杂边界条件的控制，在一定范围内，可能有两种或两种以上不同方向、不同方式的构造力（压力、拉力或剪力）同时作用于某一岩块或地块，决定了联合构造应力场及相应的联合构造型式。联合构造的研究拓宽了构造型式的范畴。由于地壳结构的复杂性，实际存在的构造型式可能多种多样，新类型的构造组合型式可能不断被发现，需要依据实际地质条件进行厘定，不宜拘泥于已研究定型的所谓“标准型式”。

该书又引述应用流体力学原理研究矿液运移所得到的一系列规律，综述各家对矿液运移驱动力的不同观点或不同提法，例如，“矿液自身力量驱动”“静岩压力驱动”“构造应力驱动”“浓度梯度驱动”“温度梯度驱动”，等等。所提出的“驱动力”较多，着重点不同，有时难免发生歧义。不同地质条件下，地壳中的流体（矿液、矿

浆,以及石油、热水等)的运移流动可能以某种驱动力为主导,也可有其他驱动力协同作用。可以认为,不论驱动力来源如何,最后都主要以压力差的形式驱动流体的运移。正如书中所强调的“压力差是造成矿液运移的主要原因”,“在压力梯度的驱使下,从高压部位向低压部位运移”。岩浆运动、矿液运移集中还可能涉及一些比较复杂的因素,某些“驱动力”是如何作用于岩浆、矿液的也尚不够清楚。正如书中所述“不同性质的流体和处于不同热动力条件下元素的运动方式和力学效应的研究,尚属于探索阶段”。对成岩成矿的驱动机制所涉及的一些问题仍然有待深入研究。

通常所谓“构造应力场控岩控矿”可以广义地理解为构造力、构造应力场、构造变形(构造行迹及其组合)三者统一的、三位一体的控制作用;有时三者又可分别单独起到控制作用。例如,成矿前曾经活动的构造力和构造应力场已经消失,只有遗存的构造变形单独起着控岩控矿作用;而在成矿期,构造力可以通过岩块岩层的位移,直接对矿液施压而成为其运移的驱动力。

对构造应力场控岩控矿的研究,除了揭示相关规律,恢复作用过程外,更重要的是希望借助这些规律指导找矿勘探工作。例如,预测成矿区域、成矿的构造部位、矿体形态和产状等。这方面的实例和成功的经验也不少,还需要进一步归纳和总结。

这部书可以说是对构造应力场控岩控矿以及相关领域研究成果进行概括和总结的有益的尝试。该书论述较全面,实际材料丰富,特推荐于构造地质研究者、矿产地质工作者及高等学校相关专业的师生参考。

乐光禹

2011年11月20日

前 言

构造应力场控岩控矿研究是把构造活动与成岩成矿物质运动紧密结合起来,以地球动力学、地球化学过程动力学及其他基础科学为基础,将构造应力及与其紧密相关的构造活动、岩浆活动、变质作用、沉积作用和成岩成矿作用融合为一个统一的热动力构造—物理化学系统的综合研究。显然,它与传统的成岩成矿研究不同,不再把构造活动与各种不同成因的成矿作用人为地分割开来,也不再把成矿作用放在一个封闭的孤立的体系里加以研究。

构造应力场活动和演化不断改变成矿的温度、压力和其他物理化学环境,可以激发成矿元素活动、驱动含矿溶液运移,可以改变成矿物质析出的物理化学条件,直接促使矿体、矿床、矿带和成矿区的形成。

构造应力场控岩控矿是当今地学界研究的热点,为满足高等学校地质学专业,石油、金属与非金属矿产普查与勘探专业本科生和研究生系统学习的需要并可供从事矿产普查与勘探的地质技术人员和科研人员参考,编著者集这方面长期教学和科研的成果以及搜集到的资料编著成《构造应力场控岩控矿》一书。全书共分13章。

第1章绪论。简要介绍了构造应力场控岩控矿的含义、研究意义和研究内容及方法。

第2章构造应力场基础。较系统地介绍了应力、球应力张量和偏应力张量、应力状态、应力圆、应变、断层构造应力场特征、节理与主应力方向、褶皱构造应力场特征、岩石圈内部应力大小、构造应力场随深度变化规律、几种简单型式应力场、构造应力场研究方法及其构造应力场研究实例。

第3章应力驱动及矿液运移。介绍了矿液运移方式、矿液运移和流动的驱动力,重点介绍了应力驱动机制和矿液运移方向的判别标志、矿液运移的物理数学模拟。

第4章构造应力场对成矿环境的影响。介绍了不同力学性质应力对矿液化学特征的影响;挤压性和拉张性板块边界深成岩套主要元素的化学特征;应力场影响元素的化学特征;构造应力场对地球化学过程方向的影响;构造应力场影响矿物的性能;应力—应变促使元素重新分配;应力影响微构造地球化学体系;构造应力场对同位素分馏的影响;偏应力张量对成矿深度的控制;构造应力场强度变化及其控矿作用;动力成矿问题;成矿系统非线性动力学分析;构造应力场与变质作用;成矿应力场能量。

第5章构造应力场演化及控矿。介绍了构造应力场分期;成矿构造应力场及成矿构造控矿机制;应力场活动与地球化学场。

第6章构造形迹力学性质及其控岩控矿作用。介绍了不同力学性质断裂构造、褶皱构造的控岩控矿特征。

第7章构造应力场类型及控岩控矿特征。分别介绍了单向挤压和拉伸应力场、直扭应力场、弯曲应力场、旋扭应力场特征及控岩控矿作用。

第8章构造应力场联合及其控岩控矿作用。系统介绍了应力叠加原理及类型、特征；联合应力场主应力特征、变形特征及控岩控矿机制。

第9章构造复合及其控岩控矿作用。系统介绍了断裂力学性质的复合叠加；叠加褶皱的类型及变形图像；褶皱的限制复合；纵弯叠加褶皱地区先存裂隙产状变化规律及恢复；构造复合的控岩控矿特征。

第10章构造应力场对侵入岩的控制。介绍了岩浆运移的力学机制；构造应力场影响岩浆分异环境；构造应力场对侵入体岩相的控制；岩盖形成的力学机制；构造应力场对岩脉分布的控制；岩浆侵入时围岩中应力分布规律及其控矿作用。

第11章侵入岩体构造及其控矿作用。介绍了侵入岩体产状、内部构造及其控矿作用；叠加构造控矿作用；侵入接触构造及其控矿作用；多期次侵入岩体构造成矿控制作用；岩墙与成矿的关系；侵入岩体构造研究方法。

第12章火山岩构造及其控矿作用。分别介绍了火山穹窿构造、火山通道构造、破火山口构造、线状火山构造及次火山岩构造的控矿作用和火山构造的研究方法。

第13章古构造研究方法。分别介绍了古断裂构造、古褶皱构造、古构造地质图的研究方法；背斜圈闭发育史、生长断层发育史研究方法。

本书由黄继钧、王国芝编著。书中引用和参考了陈国达、翟裕生、曾庆丰、杨国清、万天丰、乐光禹、格佐夫斯基、兰姆赛、Ф. H. 沃尔弗松、B. B. 别洛乌索夫和 B. H. 斯米尔诺夫等国内外学者、专家公开发表的著作中的资料，在此表示诚挚的感谢。

本书编著过程中得到了成都理工大学校长倪师军教授、地球科学学院院长张成江教授的大力支持和热情指导，受“矿物学、岩石学、矿床学”国家级重点学科（培育）出版基金资助，编著者特致以由衷的感谢。

本书承蒙乐光禹教授审阅、提出宝贵意见，并作序，特致由衷的感谢。

郭劲松同志对本书书稿电子版及插图完善付出了大量辛勤劳动，对此编著者特表感谢。

囿于编著者水平和经验，书中疏漏、错误恳请读者批评斧正。

编著者

2011年10月

目 录

序

前言

1 绪论	(1)
1.1 构造应力场控岩控矿的含义	(1)
1.2 构造应力场控岩控矿研究意义	(2)
1.3 构造应力场控岩控矿研究内容和方法	(2)
1.3.1 厘定成矿构造应力场	(2)
1.3.2 研究应力驱动及矿液运移机制	(3)
1.3.3 构造应力场对成岩成矿环境影响的研究	(3)
1.3.4 构造应力场演化及控岩控矿研究	(3)
1.3.5 构造形迹力学性质及控岩控矿特征研究	(4)
1.3.6 不同构造应力场类型控岩控矿特征研究	(4)
1.3.7 应力场叠加及其控岩控矿的研究	(4)
1.3.8 构造复合及其控岩控矿作用研究	(4)
2 构造应力场基础	(5)
2.1 应力	(5)
2.1.1 内力、附加内力、应力	(5)
2.1.2 球应力张量、偏应力张量	(6)
2.1.3 应力张量不变量和偏应力张量不变量	(7)
2.2 应力状态	(8)
2.2.1 单向挤压或拉伸状态下任意斜截面上的应力	(8)
2.2.2 平面一般应力状态下任一斜截面上的应力分量	(9)
2.2.3 平面一般应力状态下, 最大主应力 (σ_1)、最小主应力 (σ_3) 和 最大剪应力 ($\tau_{\max}$) 的大小和方向	(9)
2.2.4 地壳中岩石的受力状态	(10)
2.3 应力圆	(11)
2.3.1 原理	(11)
2.3.2 作法	(12)
2.3.3 特征	(12)
2.3.4 三向应力状态下, 任一斜截面上应力	(15)
2.4 应变	(17)
2.5 构造应力场的基本知识	(21)
2.5.1 构造应力场的基本概念	(21)

2.5.2	构造应力场的应变能规律	(22)
2.5.3	断裂构造应力场特征	(27)
2.5.4	外力方向对断裂周围应力场和位移场三维空间分布的影响	(28)
2.5.5	节理与应力方向	(35)
2.5.6	褶皱构造应力场特征	(38)
2.6	岩石圈内部应力大小的估算	(42)
2.7	构造应力场随深度变化规律	(44)
2.8	几种简单形式的应力场	(50)
2.8.1	压缩应力场和拉伸应力场	(50)
2.8.2	剪切应力场	(50)
2.8.3	弯曲应力场	(51)
2.8.4	旋扭应力场	(54)
2.9	构造应力场的研究方法	(57)
2.9.1	现今构造应力场的研究方法	(57)
2.9.2	古构造应力场的研究方法	(60)
2.10	构造应力场研究实例分析	(73)
2.10.1	宣汉炉厂坪地区构造应力场、应变场分析	(73)
2.10.2	宣汉双石庙地区纵弯褶皱叠加特征及应力场、应变场分析	(80)
2.10.3	四川盆地雷音铺背斜内部北西向构造及其力学成因分析	(87)
2.10.4	新疆喀拉通克铜镍硫化物矿区构造应力场分析	(93)
2.10.5	羌塘盆地主变形期构造应力场反演	(93)
3	应力驱动及矿液运移	(102)
3.1	概述	(102)
3.2	导矿、配矿、储矿构造	(102)
3.2.1	导矿构造	(102)
3.2.2	配矿构造	(103)
3.2.3	容矿构造	(103)
3.3	矿液运移方式	(104)
3.3.1	成矿溶液沿岩层流动运移	(104)
3.3.2	矿液沿断裂运移	(106)
3.3.3	矿液穿层流动运移	(108)
3.4	成矿物质搬运方式	(110)
3.4.1	成矿物质搬运方式	(110)
3.4.2	成矿物质迁移的影响因素	(110)
3.5	成矿物质沉淀	(110)
3.6	矿液运移和流动的驱动力	(111)
3.6.1	矿液依靠自身力量打开通道不断运移和流动	(111)
3.6.2	岩浆、矿液运移或流动的应力驱动	(112)
3.6.3	浓度梯度驱动	(112)

3.6.4	温度梯度推动元素和矿液运移	(115)
3.6.5	能量梯度推动矿液运移	(116)
3.7	应力驱动矿液运移	(117)
3.7.1	构造应力驱动的基本原理	(117)
3.7.2	驱动物态	(128)
3.7.3	矿化富集的应力场机理	(130)
3.8	矿液运移方向的判别标志	(132)
3.8.1	成矿构造标志	(133)
3.8.2	矿化特征	(133)
3.8.3	围岩蚀变特征	(138)
3.8.4	成矿温度标志	(139)
3.8.5	地球化学特征	(140)
3.8.6	矿物结晶特征及光学性质	(146)
3.8.7	稳定同位素特征	(147)
3.8.8	地质因子分析	(149)
3.9	矿液运移的物理、数学模拟	(151)
3.9.1	矿液运移介质的流通性	(151)
3.9.2	成矿热液运移理论	(153)
3.9.3	矿液运移势的数学物理模拟	(154)
4	构造应力场对成矿环境的影响	(162)
4.1	不同力学性质应力对成矿环境的影响	(162)
4.1.1	应力对矿液化学特性的影响	(162)
4.1.2	挤压性和扩张性板块边界深成岩套主要元素的化学特征	(164)
4.1.3	应力场影响元素化学特征	(169)
4.2	构造应力场对体系中反应自由能的影响	(171)
4.3	构造应力场对地球化学过程方向的影响	(172)
4.4	构造应力影响矿物的性能	(173)
4.4.1	应力引起矿物的光学性异常	(173)
4.4.2	应力引起矿物体积变小和相对密度加大	(173)
4.4.3	应力引起矿物配位数的改变	(174)
4.4.4	应力对矿物晶体构造有序化程度的影响	(174)
4.4.5	应力导致矿物成分的改变	(174)
4.5	应力—应变促使元素重新分配	(175)
4.6	应力影响微构造地球化学体系	(176)
4.7	构造应力场对同位素分馏的影响	(177)
4.8	偏应力状态对成矿深度的控制	(179)
4.9	构造应力场强度变化及其控矿作用	(183)
4.9.1	构造应力等距分布及其成矿作用	(184)
4.9.2	平面内构造应力场强度变化及其成矿作用	(187)

4.9.3	构造减压成矿	(189)
4.10	岩石体耗及其成矿作用	(192)
4.11	动力成矿基本问题	(195)
4.11.1	动力成矿含义	(195)
4.11.2	动力成矿作用的方式	(196)
4.11.3	动力成矿的影响因素	(200)
4.11.4	动力成矿的机理	(200)
4.12	成矿系统非线性动力学分析	(201)
4.12.1	成矿系统的结构、功能和层次划分	(202)
4.12.2	成矿系统的耗散结构	(202)
4.12.3	成矿系统演化的协同性	(203)
4.12.4	成矿系统的混沌性	(204)
4.12.5	结论	(204)
4.13	构造应力场与变质作用	(205)
4.13.1	挤压作用使岩石温度升高	(205)
4.13.2	构造动力使岩石中元素活化转移	(206)
4.13.3	构造应力对岩石热力学体系的影响	(209)
4.13.4	应力使岩石重结晶	(210)
4.14	成矿应力场能量	(212)
4.14.1	成矿期构造应力状态恢复	(212)
4.14.2	古构造应力场中所产生的形变能	(213)
5	构造应力场演化及控矿	(216)
5.1	构造应力场分期	(216)
5.1.1	成矿前应力场	(216)
5.1.2	成矿期应力场	(216)
5.1.3	成矿后应力场	(217)
5.2	成矿构造应力场计算	(218)
5.3	成矿构造应力场及成矿构造控矿机制	(219)
5.3.1	成矿应力场控矿机制	(219)
5.3.2	构造应力场递进演化与成矿作用	(231)
5.3.3	成矿期构造控矿机制	(240)
6	构造形迹的力学性质及其控岩控矿作用	(246)
6.1	构造形迹的基本概念	(246)
6.1.1	结构要素和构造形迹	(246)
6.1.2	结构面和线理	(246)
6.1.3	构造线	(246)
6.2	构造形迹的力学性质分类	(246)
6.3	构造形迹的力学性质鉴定	(247)
6.3.1	褶皱的力学性质鉴定	(247)

6.3.2	断层的力学性质鉴定	(249)
6.4	褶皱构造的控矿作用	(251)
6.4.1	褶皱构造控矿的一般原理	(252)
6.4.2	褶皱的导矿作用	(254)
6.4.3	褶皱构造的储矿作用	(255)
6.4.4	褶皱形态和部位控矿特征	(261)
6.4.5	褶皱轴线及轴面产状变化控矿特征	(262)
6.4.6	褶皱产生的层间裂隙控矿作用	(263)
6.4.7	褶皱的上下关系对成矿的控制	(263)
6.4.8	褶皱的协调性对成矿的控制作用	(264)
6.4.9	褶皱的伴生断层、节理控矿特征	(264)
6.4.10	褶皱的构造地球化学特性及对成矿的影响	(265)
6.4.11	组成褶皱的围岩性质对成矿的控制作用	(266)
6.4.12	成矿期褶皱对外生矿床形成的控制作用	(266)
6.5	裂隙构造与成矿作用	(267)
6.6	不同力学性质断层控矿特征	(268)
6.6.1	断层控矿作用的基本原理	(268)
6.6.2	压性断裂的控矿特征	(274)
6.6.3	张性断层的控矿作用	(276)
6.6.4	扭(剪)性断层的控矿特征	(277)
6.6.5	压扭(剪)性断裂控矿特征	(277)
6.6.6	张扭(剪)性断裂控矿特征	(277)
6.6.7	断裂构造的控油控气作用	(278)
7	构造应力场类型及控岩控矿特征	(286)
7.1	构造组合的基本概念	(286)
7.2	构造组合的类型和型式	(286)
7.2.1	构造组合类型和型式的基本含义	(286)
7.2.2	构造体系型式建立的原则	(287)
7.3	单向挤压或拉伸应力场控矿作用	(287)
7.3.1	单向挤压或拉伸应力场及其构造体系的成矿控制作用	(287)
7.3.2	压出区和压入区的问题	(288)
7.3.3	收缩构造	(290)
7.3.4	收缩构造与油气的关系	(291)
7.4	直扭应力场控矿特征	(293)
7.4.1	多字型构造应力场控矿特征	(294)
7.4.2	人字型构造应力场控矿特征	(301)
7.4.3	棋盘格式构造应力场控矿特征	(307)
7.4.4	扭动构造控油特征	(309)
7.4.5	异类盆地的叠合与盆地性质的转变	(315)

7.5	弯曲应力场控矿特征	(317)
7.6	旋扭构造应力场控矿特征	(320)
7.6.1	旋扭构造的组合特征	(320)
7.6.2	旋扭构造的类型	(320)
7.6.3	旋扭应力场控矿特征	(325)
7.7	构造体系的控油控气作用	(330)
7.7.1	构造体系控油控气的规律性和部位性	(331)
7.7.2	构造体系成生、发展阶段与油气成生、运移、聚集的相关性	(332)
7.7.3	不同构造体系控油、控气的差异性	(333)
8	构造应力场联合及其控岩控矿作用	(341)
8.1	构造联合的基本概念	(341)
8.2	构造体系联合的基本型式	(341)
8.2.1	应力叠加原理	(342)
8.2.2	直线式联合构造或构造体系	(344)
8.2.3	曲线式联合构造或构造体系	(345)
8.3	联合应力场控岩控矿原理	(349)
8.3.1	叠加应力场主应力特征	(349)
8.3.2	联合弧形构造变形强度及控岩控矿特征	(354)
8.4	弧形联合构造的控油控气作用	(359)
8.4.1	川南区域构造特征及应力场分析	(359)
8.4.2	川南区域变形场及应力场对油气运移储集的控制	(362)
8.4.3	川南局部构造裂缝的分布对油气储集控制	(366)
9	构造复合及其控岩控矿作用	(367)
9.1	构造复合及其控矿的基本概念	(367)
9.2	断裂力学性质的复合叠加	(368)
9.3	叠加褶皱的类型及变形图像	(370)
9.3.1	跨褶	(371)
9.3.2	推褶	(375)
9.4	褶皱的限制复合	(377)
9.5	纵弯叠加褶皱地区先存裂隙产状的变化规律及恢复	(382)
9.5.1	问题的提出	(382)
9.5.2	构造裂隙的类型	(383)
9.5.3	早期褶皱过程中先存裂隙的产状变化	(383)
9.5.4	叠加褶皱对先存裂隙产状的改造	(384)
9.5.5	纵弯褶皱叠加纵弯褶皱地区的先存裂隙产状的恢复	(392)
9.5.6	断层面在叠加褶皱过程中的产状变化	(398)
9.6	构造复合对油气的控制作用	(399)
9.7	复合构造控岩控矿作用	(414)
9.7.1	复合叠加褶皱控岩控矿作用	(414)

9.7.2	复合叠加断层控岩控矿作用	(420)
10	构造应力场对侵入岩的控制	(426)
10.1	岩浆形成及运移的力学机制	(426)
10.1.1	岩浆形成的围压条件	(426)
10.1.2	岩浆的上升运移机制	(427)
10.1.3	应力场控制岩浆上升的深度	(430)
10.1.4	应力场影响岩体原生构造	(431)
10.2	构造应力场影响岩浆分异环境	(433)
10.2.1	应力性质影响岩浆分异程度	(433)
10.2.2	岩浆期后作用与机制	(436)
10.2.3	构造应力场在岩浆分异成矿过程中的主导作用	(437)
10.2.4	剪应力和应变能影响岩浆分异进程	(439)
10.3	构造应力场对侵入体岩相的控制	(440)
10.4	岩盖形成力学机制	(442)
10.5	构造应力场对岩脉分布的控制	(445)
10.6	岩浆侵入时围岩中应力分布规律及其控矿作用	(446)
11	侵入岩体构造及其控矿作用	(452)
11.1	侵入岩体的形状、产状与围岩构造	(452)
11.2	侵入体内部构造及其控矿作用	(454)
11.2.1	结晶分异层状构造及其控矿作用	(454)
11.2.2	原生流动构造控制的矿体	(454)
11.2.3	原生破裂构造控制的矿体	(455)
11.3	叠加构造控矿作用	(458)
11.4	侵入接触构造及其控矿作用	(460)
11.4.1	侵入接触构造的基本类型	(460)
11.4.2	侵入接触构造的分布	(461)
11.4.3	侵入接触带的有利成矿部位	(463)
11.5	多期次侵入构造成矿控制作用	(474)
11.6	岩墙与成矿的关系	(476)
11.6.1	岩墙的成因类型	(476)
11.6.2	岩墙与矿化的空间联系	(477)
11.6.3	岩墙与矿化的时间关系	(478)
11.7	侵入岩体构造研究方法	(478)
11.7.1	侵入体产出构造背景的分析	(479)
11.7.2	岩体几何形态和产状的研究	(479)
11.7.3	原生构造的研究	(480)
11.7.4	岩体中叠加构造的研究	(481)
11.7.5	侵入岩体和岩墙外接触带和内接触带的研究	(483)

12 火山岩构造及其控矿作用	(484)
12.1 概述	(484)
12.1.1 火山岩构造的含义及其要素	(484)
12.1.2 研究火山岩构造的意义	(484)
12.1.3 火山岩矿田与矿床构造类型	(485)
12.2 火山穹窿构造的控矿作用	(485)
12.2.1 火山穹窿构造的含义和特征	(485)
12.2.2 火山通道构造控制的矿床(体)	(485)
12.2.3 火山穹窿斜坡上及穹窿间的同火山洼地构造的矿体	(487)
12.2.4 火山岩层理构造控制的矿床	(487)
12.2.5 火山穹窿顶部放射状裂隙构造控制的矿体	(489)
12.3 破火山口构造的控矿作用	(490)
12.3.1 破火山口成因及特征	(490)
12.3.2 破火山口控矿作用	(493)
12.4 线状火山岩构造的控矿作用	(497)
12.4.1 线状火山岩构造的控矿作用	(497)
12.4.2 线状火山岩构造控矿特征	(497)
12.5 次火山岩构造的控矿作用	(498)
12.5.1 次火山岩及其特征	(498)
12.5.2 次火山岩构造控矿特征	(499)
12.6 火山岩构造研究方法	(502)
12.6.1 火山分布规律的研究	(502)
12.6.2 火山存在和形态的研究	(503)
12.6.3 火山机构研究	(503)
13 古构造研究方法	(505)
13.1 古构造基本概念	(505)
13.2 古断裂研究方法	(505)
13.3 古褶皱构造分析方法	(509)
13.4 古构造地质图的研究方法	(513)
13.4.1 关于古构造地质图分析方法的一般知识	(514)
13.4.2 古构造—地质分析方法的主要地质标志	(518)
13.4.3 古构造地质图和剖面图的编制方法	(519)
13.4.4 古构造地质分析法的解释和实际应用	(522)
13.5 背斜圈闭发育史的研究	(523)
13.5.1 地层接触关系分析法	(524)
13.5.2 地层厚度分析法	(525)
13.6 生长断层发育史研究	(527)
参考文献	(530)

1 绪 论

1.1 构造应力场控岩控矿的含义

应力是作用在受力物体内任一截面单位面积上的附加内力,是用大小、方向及其与作用面的关系三个要素来表达的一种张量。地应力是地球内部应力的总和,包括由重力和构造运动所造成的应力。“构造应力场就是在一个空间范围内构造应力的分布”(王仁,1982)。格佐夫斯基(Гзовский,1957)定义为“作用在地壳某一地区内部的和由于这一地区某种变形的构造单元发育而出现的应力总和”。

构造应力场与实际的构造变形是不相同的(万天丰,1982)。后者是前者作用的产物。构造应力场及其产物——构造——是控制一定区域中各种地质体间耦合关系的主导因素(翟裕生,1996),而构造应力则是驱动成矿物质——岩浆、矿浆、矿液、石油、天然气等运移的主要动力。地质流体在介质中的运动过程,其动力学系统是处于远离平衡态的耗散结构系统,必须进行非线性动力学分析。过去在研究热液成矿作用时,侧重于流体的热扩散、浓度扩散等驱动作用,而不重视或忽略了应力驱动这一重要因素。成矿流体是多组分流体,其动力学不同于单一流体。研究成矿流体运动时既应考虑热扩散,又要考虑溶液的浓度扩散,更应充分考虑围压、剪应力、应变能。研究构造应力场控岩控矿的目的,是力图将应力场与物质场结合起来。按与成矿的时间关系,可分为成矿前构造应力场、成矿期构造应力场、成矿后构造应力场。成矿前构造应力场与成矿无直接关系,只是其产物——成矿前构造——为成矿物质(岩浆、矿浆、矿液、石油、天然气等)运移、充填提供空间和场所,控制矿体产出部位、产状、形态、规模等;成矿期构造应力场与成矿关系密切,直接驱动和控制成矿物质运移、聚散,并影响成矿环境。所谓构造应力场控岩控矿,就是指成矿期构造应力场对成岩成矿的控制。成矿后应力场有时对矿体起破坏作用,有时却造成成矿元素或物质(如石油、天然气)再次迁移,引起有益元素再富集,造成矿体叠加富集。

构造控岩控矿在矿床学、矿田矿床构造学及构造地质学中已有较多研究,但多侧重于静态而对动态研究不够,多注重既存构造特征(性质、产状、规模、形态)对矿体产出部位、形态、产状、规模等的控制研究。元素的迁移离不开力与能量(恩格斯),构造应力场控岩控矿则是从动态角度出发,注意用“动力学”的观点来研究和解释地壳构造运动及其相关的地球中物质(岩浆、矿浆、矿液、石油、天然气、水等)在构造应力场作用下发生迁移、聚集、分散的全过程。特别是元素活化、迁移、沉淀、富集的全过程与构造应力场发展演化的关系。

自然界矿床的形成是十分复杂的过程,每一条矿脉的形成,包括矿物质的供给、物质(热液等)流体运动、扩散或渗滤、交代反应、沉淀等。而每一环节都与地壳中的构造应力场息息相关。“近代构造学将全球构造、区域构造和控制矿田、矿床、矿体构造,乃至某些矿石构造,元素在矿石中的赋存状态,都归结于构造应力场及其变化所造成的”(王

建平, 1994)。应力能使地壳中的元素活化、迁移; 应力对矿液的化学性质具有明显的影响; 应力能驱动成矿物质(岩浆、矿浆、矿液、石油、天然气等)的运移; 应力能改变体系中的自由能; 构造应力场能影响地球化学过程; 构造应力场能影响元素的化学性质; 应力一应变可引起岩石中元素活化迁移, 能促使元素在地壳中重新分配……矿床的形成、演化严格受控于构造应力场性质、类型、强度。20 世纪 80 年代以来, 我国不少地质学家(翟裕生, 1981, 1984, 1994; 陈国达, 1986; 孙殿卿, 1987; 池三川, 1988; 沈淑敏, 1993, 1994; 曾庆丰, 1978; 杨开庆, 1982, 1986; 万天丰, 1988; 董树文, 1993; 等等)对构造应力场及控岩控矿均进行了深入研究。

构造应力场控岩控矿是以构造应力场性质、演化为依托, 探索构造应力场引起地壳变形和控制成矿物质(岩浆、矿浆、矿液、石油、天然气)形成、迁移、聚积成矿及地壳中元素的再分配。

1.2 构造应力场控岩控矿研究意义

在地壳演化过程中, 构造动力(以地应力为主导, 包括压力、热应力)的活动导致组成地壳的岩石矿物发生物理的和化学的变化, 即形变、相变与化学元素的迁移聚散, 形成以一定形式展布的构造岩相带。这种构造岩相带往往由构造变形带及其相伴的岩浆岩带、变质带及矿床所组成, 它们在空间分布上具有一致性(刘迅, 1998)。岩石圈的应力集中带不仅决定地壳和上地幔岩石的产状, 同时也影响到岩石形成过程的本身, 从而控制着某些特定类型的岩石组合的产生。岩石内部颗粒与颗粒之间及分子和原子的形成以及存在于地壳中的多种矿产, 都明显地受构造应力场的控制。深入探索地壳中应力活动的特征和规律, 不但能推断岩石构造变形, 了解地壳运动的特征、程式, 进而追索地壳运动的力源, 而且对探讨地壳各部分矿产的富集和分布规律有着重要的理论意义和实际意义。

构造动力作用下的岩石矿物形变、相变与元素聚散领域的研究, 是动态成矿理论的基础, 是把构造应力场的活动与物质成分迁移聚散的研究紧密联系起来, 是把构造应力场及与其紧密相关的构造活动、岩浆活动、变质作用、沉积作用和成矿作用融合为一个统一的热动力构造—物理化学系统加以综合研究。这样对深化成矿构造形式的厘定, 分析矿床形成机制, 查明矿产分布规律, 对预测和寻找隐伏矿体, 优选找矿靶区具有重要指导意义。

1.3 构造应力场控岩控矿研究内容和方法

构造应力场控岩控矿是研究地壳物质在构造动力调整作用过程中地球化学作用的一些表现, 比如岩浆结晶时, 不同应力作用强度形成不同的岩石、矿物组合: 固态岩石在变形时原有岩石、矿物成分重新组合成新岩石、矿物组合, 以及在不同力学性质的构造力作用下, 不同构造形迹在变形过程中的地球化学特征、地球化学作用和机制, 研究不同应力场的原子、离子运动之间的关系。

1.3.1 厘定成矿构造应力场

与成矿系列理论相匹配的多阶段控岩控矿构造应力场的精确厘定, 是构造应力场控岩