

全国危机矿山接替资源找矿专项
国土资源大调查及地质矿产评价专项
国家自然科学基金项目
国土资源部公益性行业科研专项
全国找矿突破战略行动项目
广西壮族自治区找矿突破战略行动项目

联合资助

成矿地质体及地质力学找矿预测丛书之四

成矿结构面的 物理化学研究

韦昌山 肖昌浩 吕古贤 陈正乐 陈柏林 等 编著

地质出版社

成矿地质体及地质力学找矿预测丛书之四

原找矿专项
产评价专项
金项目
业科研专项

联合资助

全国找矿突破战略行动项目
广西壮族自治区找矿突破战略行动项目

成矿结构面的物理化学研究

韦昌山	肖昌浩	吕古贤	陈正乐	陈柏林	
韩凤彬	张文高	蔡锦辉	刘建民	申玉科	编著
王晓虎	王永	王文磊	刘向冲	韦良喜	



地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书为成矿地质体找矿预测理论与方法体系中成矿构造及成矿结构面的最新研究成果集成。以热液脉状矿床的矿体侧伏规律为研究切入点,初步总结了原生成矿构造分布特点,构建了五大成矿构造体系,厘定了各构造体系内主要成矿结构面类型,系统分析硅钙面等成矿结构面的成矿驱动力及矿质沉淀机理,探讨了主要成矿结构面的物理化学障特征,并从物理力学和元素地球化学角度论述各类物理化学障的成因机理,探索完善成矿构造体系研究成果在野外地质填图及专题研究中的应用。

本书可供从事矿产勘查、开采及矿床地质研究等相关人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

成矿结构面的物理化学研究 / 韦昌山等著. — 北京:地质出版社, 2018.12

ISBN 978-7-116-11241-4

I. ①成… II. ①韦… III. ①成矿构造—构造地球化学—研究 IV. ①P613

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 214107 号

CHENGKUANG JIEGOU MIAN DE WULI HUAXUE YANJIU

责任编辑:田泽瑾

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

咨询电话:(010)66554528(邮购部);(010)66554622(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554622

印 刷:北京地大彩印有限公司

开 本:787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:8.5

字 数:210 千字

版 次:2018 年 12 月北京第 1 版

印 次:2018 年 12 月北京第 1 次印刷

审 图 号:GS (2018) 5285 号

定 价:75.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-11241-4

(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

危机矿山的接替资源勘查是一项重要任务，它既可以充分开发利用矿产资源，又有助于促进区域的可持续发展。为此，在21世纪初，我国实施了“全国危机矿山接替资源找矿专项”，并取得了显著成果，这项工作不仅发现了丰富的新资源，延长了众多矿山寿命，而且获得了一系列矿产地质的重要发现。以叶天竺教授为主编辑出版的《勘查区找矿预测理论与方法（总论）》和《勘查区找矿预测理论与方法（各论）》，丰富和发展了矿床学和矿产勘查学的理论与方法，是近年来一份突出的原创性成果。

在上述研究的基础上，经过多名专家的努力，进一步集成、提炼和扩展，逐步完成了《成矿地质体及地质力学找矿预测丛书》，它包括：《中国主要矿山资源潜力调查评估案例》《中国主要矿山资源潜力调查研究》《中国主要危机矿山构造及接替资源勘查》《成矿结构面的物理化学研究》《危机矿山典型矿床成矿规律总结研究》《危机矿山典型矿床总结研究图册》《矿产地质调查新方法作业参考书》《华南及邻区成矿规律与勘查部署研究》《东秦岭—大别及邻区构造控矿规律与找矿预测》等分册，形式多样，内容丰富，尤其是将我国原创的地质力学理论和方法进一步运用到成矿学和找矿预测中去，取得许多新的认识。

这些成果的主要特点是：①地学理论与找矿预测工作密切结合，相互促进；②从我国地质构造与成矿特征的深入研究所获得的理论认识，具有全球意义；③这些成果既充分发挥集体合作研究的优势，又能尊重每个人的特长和创造精神，这些成功的经验都值得我们认真学习和推广。

这套丛书的问世，还将为20世纪前半叶诞生的地质力学理论带来新的发展机遇（该理论本身就具有地球系统思维，可以认为李四光先生是地球系统科学的一位先驱）。借着新时代地球系统科学发展的契机，地质力学理论的核心——地球系统思维和“构造体系”会发扬光大，与时俱进，开拓创新。

我衷心祝贺本套丛书的出版，并向作者们致以敬意！

刘裕生

2018年11月

出版说明

“成矿地质体及地质力学找矿预测成果丛书”为以叶天竺为首、先后由严光生和陈仁义领衔的创新研究团队集体劳动成果的组成部分，是整个研究团队自 21 世纪初，全国危机矿山接替资源找矿专项（以下简称“危机矿山专项”）实施以来的近 20 余年里逐渐探索创建具有中国特色找矿预测理论与方法体系的过程中各阶段所形成的一系列最新研究成果总体集成，亦是前期已出版的《勘查区找矿预测理论与方法（总论）》（以下简称《总论》）和《勘查区找矿预测理论与方法（各论）》（以下简称《各论》）的支撑性基础资料素材，以及该找矿预测理论与方法应用推广的延伸性成果内容。

创新研究团队以中国地质调查局发展研究中心（国土资源部矿产勘查技术指导中心）、中国地质科学院地质力学研究所、有色金属矿产地质调查中心（北京矿产地质研究院）为核心，包括参与危机矿山专项典型矿床及成矿规律总结研究项目的 18 家科研院校（所）20 多名中青年矿床学家及 300 余名研究生、参与危机矿山专项及后续老矿山资源潜力调查报告编制的 17000 名专业技术人员和后续最终评估汇总的 7 个工业部门 108 名评估专家、承担危机矿山专项 230 个勘查项目 168 家勘查单位野外一线 8500 名专业技术人员及 100 余名资深监审专家、承担危机矿山专项 32 个找矿预测项目及新技术方法类项目承担单位人员、负责全国 28 个省（自治区、直辖市）国土资源业务管理及技术支撑部门，以及原国土资源部、中国地质调查局相关单位业务管理及技术支撑人员，危机矿山专项技术指导专家委员会 6 名院士及相关专家组成员等，上述创新研究团队相关单位及人员均对本丛书的出版做出了不同程度的贡献。

本丛书主要包括以下 9 本书：

1. 中国主要矿山资源潜力调查评估案例

在 2005—2007 年开展 1010 座全国主要固体矿产大中型矿山资源潜力调查的基础上，全国危机矿山接替资源找矿项目办公室组织煤炭、核工业、有色、冶金、黄金、化工、建材等 7 大工业部门评估专题组，从 485 座具资源潜力矿山中筛选出 270 余座矿山，编制“主要矿种（组）具有潜力矿山图文集”，作为专项勘查工作部署的重要依据。该书是我国矿山勘查开发工作的一个标志性总结成果资料，其丰富翔实的资料可供后续研究者参考。

2. 中国主要矿山资源潜力调查研究

在 2005—2007 年开展 1010 座全国主要固体矿产大中型矿山资源潜力调查和 2013 年完成 232 座老矿山调查评估汇总的基础上，对全国主要固体矿产大中型老矿山分布

现状、综合利用、危机程度、找矿依据类别、相关找矿预测指标、调查与勘查成效对比等进行全面综合汇总，基本摸清全国大中型老矿山资源家底，为危机矿山及老矿山接替资源勘查部署提供依据，其调查方法及所获得大量统计数据将为后续矿产勘查提供参考。

3. 中国主要危机矿山构造及接替资源勘查

该书以成矿构造、成矿结构面及矿产预测为研究主线，在汇总全国各省监审专家编写的 230 个危机矿山专项勘查矿山总结、28 个省级勘查工作总结及 7 个工业部门分矿种勘查进展总结基础上，对勘查矿山成矿构造和成矿结构面资料进行统计分析，厘出了危机矿山接替资源勘查过程中各类成矿构造研究对找矿成功率的贡献程度，总结成矿结构面类别及相应的找矿预测地质模型，可为今后老矿山深部接替资源勘查提供参考。

4. 成矿结构面的物理化学研究

该书为成矿地质体找矿预测理论与方法体系中成矿构造及成矿结构面的最新研究资料汇总。以热液脉状矿床的矿体侧伏规律为研究切入点，初步总结了原生成矿构造分布特点，构建了五大成矿构造体系，厘定了各构造体系内主要成矿结构面类型，汇总分析硅钙面等成矿结构面的成矿驱动力及矿质沉淀机理，探讨了主要成矿结构面的物理化学特征，并从物理力学和元素地球化学角度论述各类物理化学障的成因机理，最后探索完善成矿构造体系研究成果在野外地质填图及专题研究分析方法。

5. 危机矿山典型矿床成矿规律总结研究

该书根据成矿地质体找矿预测理论与方法体系对危机矿山专项实施的 129 个典型矿床总结研究成果进行全面汇总，重点从各项目组填制的 129 个典型矿床的 15 张数据表格、野外调研原始资料及岩矿测试数据中梳理出构建各矿床类型找矿预测地质模型所需的数据资料，结合 9 个矿床类别及 7 个专业领域汇总小组分别总结研究的新成果，对前期构建的各矿床类型找矿预测地质模型进行补充修改与完善，为找矿勘查及理论拓展提供基础素材。

6. 危机矿山典型矿床总结研究图册

该图册由危机矿山专项典型矿床总结研究项目编制的 128 个典型矿床综合图件（由原来分别编制的 4 张图精选合并为 1 张图），同时精选出 140 个典型矿床及调研矿床的矿山（床）景观、矿体露头及代表性矿石构造等内容的野外照片，辅以简要说明，全景式反映了遍及我国主要矿床类型及大部分耳熟能详的老矿山或近期部分新发现大中型矿床的地质概貌，为进一步开展矿床学研究及成矿理论创新提供了雄厚的基础素材。

7. 矿产地质调查新方法作业参考书

该书分为三部分：上篇为构造-蚀变填图工作方法及实例；中篇为矿产地质调查

构造专项填图工作细则及矿产地质调查主要图件编制说明，重点介绍编制 21 幅 1:5 万矿产地质调查样图的经验总结及体会；下篇为重点调查区及勘查区找矿预测工作参考。总体上为中国地质调查局标准“矿产地质调查技术要求”作业施工的辅助性参考材料，旨在以成矿地质体找矿预测理论与方法体系为指导，汇总一些近年来野外数据采集、资料整理与图件编制等新方法，为上述标准和工作细则的实施提供一些具体操作性工作内容，供矿产地质调查野外一线人员及相关研究者参考。

8. 华南及邻区成矿规律与勘查部署研究

该书为丛书主笔者等在华南地区承担的十二个成矿规律及矿产预测项目成果集成。在分析成矿地质背景的基础上，重点汇总了南岭地区锡多金属矿评价、广西大规模找矿突破勘查、东南亚中南半岛等地区矿产资源潜力分析的成果，总结成矿规律；并对广西佛子冲铅锌矿和德保铜矿、广东大宝山铜钼多金属矿和凡口铅锌矿等典型矿床开展找矿预测与靶区验证。在总结上述地区矿产勘查现状及区域找矿潜力基础上，厘定找矿预测方向及方法，提出各区域矿产勘查部署建议。

9. 东秦岭-大别及邻区构造控矿规律与找矿预测

该书为丛书主笔者等在东秦岭-大别及毗邻地区承担的十个成矿规律及矿产预测项目成果集成。在分析成矿地质背景基础上，重点汇总了鄂豫陕、桐柏-大别、鄂西黄陵背斜等地区矿产资源潜力及构造控矿规律等方面成果，并对河南刘山岩铜矿、银洞坡金矿和湖北马滑沟金矿等典型矿床开展构造-流体-成矿专题研究、找矿预测与靶区验证。同时，在总结鄂豫陕地区矿产勘查现状及区域找矿潜力基础上，厘定找矿预测方向及方法，提出各区域矿产勘查部署建议。

此外，还计划出版与之配套的科普类丛书——成矿地质体及地质力学科普丛书，首批将出版以下三本：①野外探宝——图说成矿地质体及地质力学找矿（科普版）；②黄金娃闯关记（幼儿版）；③ Minecart come here（英文版）。

前言

本书总体定位：一是将《勘查区找矿预测理论与方法(总论)》(叶天竺等, 2014) 中有关成矿构造及成矿结构面内容补充相关实例, 为《总论》修订提供基础素材；二是在《勘查区找矿预测理论与方法(各论)》(叶天竺等, 2017) 统稿的基础上, 根据危机矿山专项等前人工作积累形成的大量数据资料进行综合汇总及统计分析, 总结出一些规律性论据, 支持或强化《总论》中某些结论和观点；三是加深与拓宽地质力学理论有关“结构面”“构造物理化学”的内涵及外延。

本书为“热液脉状矿床成矿构造及成矿结构面研究”课题成果的一部分内容, 该课题为国土资源部公益性行业科研专项经费项目“成矿地质体找矿预测理论研究与应用示范”下属课题(编号: 201411024-3)。总体上以热液脉状矿床的矿体侧伏为研究切入点, 汇总分析各种矿床类型的成矿构造和成矿结构面特征, 构建成矿构造体系。从构造破裂产生容矿空间的角度而言, 与热液成矿作用有关各类矿床都是广义的热液脉状矿床(即使是岩浆矿床)。由于我国此类矿床大多受后期强烈改造而呈具侧伏规律的脉状形态, 很少有国外盘状或席状矿体。因此, 本书汇总内容涉及与五大成矿地质作用相关的矿床, 而不仅仅局限于狭义的热液脉状矿床。

“成矿构造”这一名词由陈国达先生于1978年创建, “指与矿床形成及改造有关的构造”(陈国达, 1985), 它“直接、间接控制或影响着—个含矿区内的内生或外生矿床的发生原因、物质来源、形成环境及条件、发生和发展的过程。”通过实践验证, 叶天竺等(2014)认为, 《成矿构造研究法》和《矿田构造学》(翟裕生等, 1993)至今仍然是研究成矿构造理论和方法的基础工具书, 对找矿预测有重要的指导价值。

早在20世纪20年代末, 李四光教授就提出了构造体系内核“构造型式”, 并于40年代初创建了地质力学理论和丰富发展“构造体系”一词, 他认为“构造体系是许多不同形态、不同性质、不同等级和不同序次, 但具有成生联系的各项要素所组成的构造带以及它们之间所夹的岩块或地块组合而成的总体”(李四光, 1976)。他强调地质力学最基本的概念是结构要素、地块形态和构造体系, 并认为结构面是最重要的结构要素, 是地质力学“处

理一切地质问题的中心问题之一”。从某种意义上说,构造体系思想是现代构造研究理论的雏形与先驱。近40年来,构造成矿研究的主要进展,如断裂构造岩理论与断层的双层模式、韧性剪切带理论与韧性剪切带型金矿、变质核杂岩理论与剥离断层控矿、水力压裂作用理论与裂隙—脉—角砾岩系、变形分解理论与分解变形构造等(汪劲草,2001),体现出这种发展趋势,也是本书构建成矿构造体系的理论基础与研究出发点。主要认识进展简述如下:

1) 系统汇总了新中国成立以来28个省(自治区、直辖市)矿产勘查及专题研究所获得的586个矿床(带)1050组矿体侧伏数据,涉及21个矿床类型、23个矿种,其中金矿268个、中低温岩浆热液型矿床213个。在导致矿体侧伏成因的55类成矿结构面及组合的700组数据中,属于褶皱类82组、断裂类383组,其余为原生构造、后期构造及其他组合类构造。据此推断,以热液脉状矿床为主体的矿体侧伏与成矿过程(含叠加富集作用)中区域构造应力形成的断裂及褶皱叠加有关,侧伏发育程度体现了成矿过程中断裂及褶皱参与成矿作用强度及动力成矿贡献值大小。

2) 系统汇总了18个矿种、22个矿床类型、258个矿床的270组原生成矿结构面数据,包括重力驱动类数据46组、流体驱动类数据81组、压力驱动类数据115组、岩浆热驱动类数据15组、构造应力驱动类数据13组。考虑到目前内、外生成矿作用界线并非截然分开且主体成矿地质作用厘定在野外调查中难度也较大等原因,本书建议按原/次生构造组合、主矿体(成矿作用中心)位置等直观性内容,以当前成矿效率最高、分布较广的三类成矿构造,即接触带、角砾岩带、剪切带,加上常规的断裂带和褶皱带,共划分出5类成矿构造体系和正接触带等20类成矿构造型式,涉及自然界大部分矿床类型的成矿结构面,并以部分实例概述接触带、流体(角砾)岩带、剪切流变带等三类以原生成矿结构面为主体的成矿构造体系特征。

3) 系统汇总23个省(自治区、直辖市)中的9个矿种,涉及11个矿床类型的118组硅钙面数据,划分出以矽卡岩交代蚀变为主体的1类数据(39组)和以硅化交代为主体的11类数据(79组)。结合前期地质矿产评价专项年报汇总和第三届全国矿田构造会议构造专题数据统计,指出目前野外识别的成矿结构面仍以区域构造应力驱动的断裂和褶皱等构造为主,对原生成矿结构面在成矿中重要性及野外辨识亟待加强。而成矿结构面上成矿物质驱动力主要包括重力、流体、压力、热力、构造应力等5类。汇总统计了21个矿床类型或亚类的182组矿床的成矿物质沉淀方式数据,包括沸

腾作用数据 43 组、交代作用数据 52 组、混合作用数据 36 组、充填作用数据 37 组、塑性流变叠加重力作用数据 3 组、压滤脱水作用数据 5 组 and 风化淋滤作用数据 6 组。其中与爆破角砾岩相关的减压沸腾亚类数据 34 组、与正接触带和硅钙面相关的接触交代亚类数据 35 组，所占比例较高。

4) 根据“酸性 + 中性 + 碱性三带双向组合、强酸性 / 强碱性 + 中性两带单向组合、氧化环境 + 还原环境两带双向组合”等三类成矿结构面地球化学障组合，对主要矿床类型的矿化蚀变分带及影响分带原因进行初步分析，认为在水压致裂、减压沸腾及矿质迁聚分带等成矿结构面成生演化过程中，以下主要成矿元素主体行为尤其重要，主要包括钠化置换铁能力高，金在气相中分配系数高，钨铁矿与压力剧减及混合相关，铜在热液流体相分配系数在 1kbar (1bar=100kPa) 时最大，锡的络合物形式，银与铜、金的电位势相近，砷、锑、硼元素在流体中以气相迁移，铅、锌在碳酸盐岩中缓冲系数大，铀吸附性等。此外，250℃ 温度为 Cl^- 基络合物转换为 HS^- 基络合物界限，低于 350℃ 硫化物络合物对矿质的搬运才可能是重要的，而这两个温度分别为方解石和石英产生塑性流变的温度界限，这对于动力成岩成矿研究具有重要意义。

本书还对成矿构造体系的应用、完善及存在问题进行分析讨论。

以上根据勘查实践总结的宏观矿化样式和成矿结构面类型，为深化成矿结构面物理化学研究奠定了基础。从某种意义而言，本书将以往矿田构造长期徘徊于分划性构造破裂机理描述、应力 / 应变测量、构造地球化学元素迁聚及构造-流体-成矿关系研究，推进到成矿结构面驱动力源—破裂过程物理化学参数剧变—元素按地球化学性质（价态、电位势、缓冲系数和分配系数等）递变分带等耦合过程研究，并可从野外宏观岩性、构造及蚀变矿化等方面得到有效辨识与标志佐证，将为矿田构造及成矿构造研究领域开辟一条新的研究路径。而本书将成矿作用内容有机揉进已成熟的矿田构造分类及具体操作方法的试点，预期将在某种程度上转变相关勘查区构造研究工作思维与实施途径，对矿田构造与成矿构造学科发展具有一定程度的促进作用。

本书书名中的“物理化学研究”指的是地质构造物理化学，是研究地壳物质在构造作用下的物理变化和化学变化相互关系的领域。通过地质构造力学结合岩石学和矿床学，分析动力学环境、研究其影响地球化学过程的物理化学条件，用以认识构造力影响化学过程的方式和途径（吕古贤等，1999），其研究主线总体上是构造附加压力→应力如何影响化学平衡→地壳

压力是由构造力和重力两者复合而成—构造力通过影响压力温度等参量控制地球化学平衡，通过构造地球化学、动力成岩成矿、同位成矿、矿田的构造成矿系统、构造岩相测量和找矿预测方法等方面的研究，解释地质科学及相关学科领域的一些重要基本理论问题，用以解决实际应用问题。很显然，本书的学术指导思想、技术路线和工作方法等与上述分支学科的“正演”方式迥然不同，主要有以下几点：

1) 本书总体研究思路是从蚀变矿化等具示踪标志的宏观地质现象出发，根据元素地球化学特征确定蚀变矿化所指示的地球化学障，剖析与地球化学障所对应的成矿结构面特征，进一步揭示各类物理力学界面与地球化学障之间的关系，特别是原生构造及成矿结构面的地球化学障特征，厘清成矿构造系统内各类结构要素间的成因联系，推断各类成矿构造及成矿结构面的成生动力学机制及成矿机理。

2) 各类地质构造变形的物理力学成矿机理需通过物质成分载体才能得到有效示踪，从元素地球化学行为探讨成矿过程中物理力学对成矿作用的贡献，对于地质找矿专业技术人员而言，更为直观，而无明显宏观分划性标志的物理化学成矿结构面等，是难以从常用的固体力学角度加以分析，须借助流体成分及流体力学研究才可能达到目的。

3) 中浅成成矿系统中水压致裂网络、爆发角砾岩体（筒）等原生成矿构造，以及中深成成矿系统中剪切带型金矿裂隙网络等是成矿构造精细研究和立典解剖的关键场所，如引入国内近三十年的断层阀及泵吸等构造破裂扩容及流体成矿模式，结合元素地球化学行为等分析，更便于地质找矿专业技术人员接受与理解（叶天竺等，2014；张德会，2015）。本书第三章第四节引用的部分成矿构造研究的标杆性图件，旨在能引导相关研究者以匠心精神，像对待本书所汇总矿体侧伏数据一样，充分利用前期已有大量原生成矿构造资料，如脉状钨矿“五层楼”模式等，揭示成矿过程中构造破裂及相关变形行为机理。

4) 无论是否为利益驱动，在了解元素地球化学行为等的基础上，借助于色谱子轨道理论、电子跃迁理论等进行人工合成（正演）与修复（反），所获得的宝玉石总是光彩靓丽且价格不菲，相关技术途径和工作方法也应值得矿床学或地质构造物理化学等研究领域借鉴。

5) 物理与化学两大学科领域间屏障可消除，但大脑思维及工作经验方法上隐形的坎，短期内是难以迈得过去的。将地质构造的物理力学控制成矿元素迁聚等知识传输给地质找矿专业技术人员，犹如让物探人员将物探

异常成因讲给化探人员和勘查一线人员，其难度可想而知。但反过来，让地质找矿专业技术人员将矿体分布与物探异常对比结果讲给物探人员，其效果可能更为显著。

综上，本书是从物理力学“正演”解释地球化学现象遇到瓶颈时，适时采取一种“反演”的战术策略，即用成矿地球化学最新研究成果来反哺地质构造及物理力学成矿研究领域的短板。

本书是国家自然科学基金项目（49802009、41702095）、地质矿产评价专项（基础性公益性地质调查一级项目）“中东部典型金多金属矿集区矿田构造调查”（DD20160053）二级项目、中央级公益性科研院所基本科研业务费项目“构造体系与成矿作用耦合——以中国东部地区为例”

（JYYWF20180602）和“中国矿产地质志矿种与区域成矿规律重大问题创新研究”（JYYWF20183702）的研究成果。参与本书编写的人员有韦昌山、肖昌浩、吕古贤、陈正乐、陈柏林、韩凤彬、张文高、蔡锦辉、刘建民、申玉科、王晓虎、王永、王文磊、刘向冲、韦良喜等，权立诚、田杰鹏、苏晓凯、张亮、李扬、李元申、欧德功、郭贵娟、李同林等参与野外调查及数据资料汇总工作。本书汇编及相关课题研究工作是在国土资源部国际合作与科技司和项目负责单位中国地质调查局发展研究中心（国土资源部矿产勘查技术指导中心）的精心指导下实施的，得到了中国地质科学院地质力学研究所、中国地质调查局武汉地质调查中心、中国地质大学（北京）、有色金属矿产地质调查中心（北京矿产地质研究院）、中国科学院地质与地球物理研究所等有关项目（课题）成员及单位有关领导、专家的大力支持和帮助。特别感谢项目技术顾问叶天竺教授级高工高屋建瓴地构建学术总体框架，感谢中国地质科学院矿产资源研究所陈仁义教授领衔项目实施，感谢国土资源部矿产勘查技术指导中心吕志成副总工、矿山地质处庞振山处长和薛建玲副处长、甄世民高工、李永胜高工、张志辉高工、贾儒雅博士、陶文博士、陈辉博士、姚磊博士、杜泽忠博士，中国地质大学（北京）张德会教授、李胜荣教授、申俊峰教授，有色金属矿产地质调查中心（北京矿产地质研究院）祝新友教授级高工、王玉往教授级高工、王艳丽高工、程细音高工、李德东高工、解洪晶高工、龙灵利高工、张会琼高工，中国科学院地质与地球物理研究所范宏瑞研究员、秦克章研究员、李光明研究员、曾庆栋研究员、胡芳芳研究员、杨奎锋博士、刘玄博士、赵俊兴博士等的大力支持、精心组织和指导，使本次研究工作得以顺利完成。感谢上述有关单位、有关领导、专家和各职能处室为工作的顺利实施所付出的辛勤劳动，

感谢邢树文研究员、侯春堂研究员、马寅生研究员、杨兴科教授、汪劲草教授、张达教授、许德如教授、陈宣华研究员、郭涛研究员、张青研究员、雷伟志研究员等多位专家在研究工作实施过程中提出的许多宝贵意见，感谢王京彬研究员、李文渊研究员、王剑研究员、吴珍汉研究员、张招崇研究员、周尚国教授级高工、刘国平教授级高工、雷时斌教授级高工、刘家军教授、李钟山教授级高工等审阅了课题报告并提出了许多修改意见，感谢广西壮族自治区国土资源厅、广西大学、广西壮族自治区第四地质队、广西拉么铅锌矿等单位给予野外工作的大力支持。

本书主笔者 15 年前从曾经作为地质力学南方基地（以谭忠福为首的科研群体）的宜昌地质矿产研究所（现中国地质调查局武汉地质调查中心）转到地质力学研究的大本营，此转换期间并没有多少陌生感，很快融入这个大家庭中，能够与众多耳熟能详的地质力学专家一起共事，感到十分荣幸，心中充满着无限的希望和寄托。在此，特别鸣谢以下地质力学前辈和有关专家：孙殿卿院士、陈庆宣院士、杨开庆研究员、孙叶研究员、崔盛芹研究员、吴淦国教授、董树文研究员、邓军教授、王瑞江教授、丁俊研究员、邓乃恭研究员、彭一民教授、刘训研究员、周济元研究员、孙家聪教授、廖椿庭研究员、王小凤研究员、董法先研究员、印纯清教授、张国铎研究员、王建平研究员、郑达兴研究员等。在后续工作、学习及生活中，得到毕业于中国地质大学（武汉）（原武汉地质学院）地质力学 / 地震地质专业 1977 ~ 1988 年级师兄师姐及师弟师妹们的大力支持与帮助，更得到遍布全国的毕业于武汉、长春、成都三大地质院校和北京大学等的地质力学 / 地震地质专业同仁们的多方协作与无私帮助，也得到各科研院校（所）地质力学教研（研究）室老师们、前三期地质力学培训班学员们和各年度培养的地质力学相关专业研究生们的热心指导与启发。三十多年前时代召唤让我们曾经拥有一个共同奋斗目标和学术导师，如今虽然所从事的专业岗位各异，但地质力学理论的核心理念即成因联系等思维及工作方法，深深地烙印在我们脑海中并始终落实于各类实际行动，使我们受益终身，无以忘怀。在即将迎来“构造体系”面世 90 华诞之际，谨以此书向毕生致力于推动地质力学理论与方法创新发展做出了不同程度贡献的有关人士致敬！

目 录

序

出版说明

前言

第一章 热液脉状矿床的矿体侧伏规律	1
第一节 矿体样式及矿体侧伏	1
一、矿化样式概述	1
二、矿体侧伏研究方法	2
第二节 主要类型矿床的矿体侧伏资料统计分析	5
第三节 矿体侧伏规律	17
一、单矿体与矿体群侧伏特征	17
二、胶东金矿床的矿体侧伏	20
第二章 原生成矿构造及成矿构造体系	24
第一节 原生成矿构造类别特征	24
第二节 成矿构造体系划分	32
第三节 接触带、流体（角砾）岩带及剪切流变带成矿构造体系	35
一、接触带成矿构造体系	35
二、流体（角砾）岩带成矿构造体系	38
三、剪切流变带成矿构造体系	41
第四节 褶皱带及断裂带成矿构造体系	42
一、褶皱带成矿构造体系	42
二、断裂带成矿构造体系	42
第三章 成矿结构面特征	52
第一节 主要成矿结构面类型特征	52
一、成矿结构面类型及统计	52
二、硅钙面特征分析	66
第二节 成矿结构面成因及驱动力	70
一、成矿流体驱动力类型及相关成矿作用	70
二、成矿结构面成因机制	75
第三节 成矿结构面矿质沉淀富集机理	77
一、矿质主要沉淀方式	77
二、主要矿床类型的矿质沉淀方式	81
第四节 成矿结构面的物理化学特征	86
一、界面成矿的物理化学分析	86

二、成矿结构面的地球化学障	87
三、成矿结构面的物理化学特征简述	88
第四章 结语及讨论	107
一、成矿构造体系应用	107
二、成矿构造体系完善	107
三、问题讨论	114
参考文献	115

第一章 热液脉状矿床的矿体侧伏规律

最早文字记载按矿体侧伏（雁列）等规律布钻见矿实例为 1952 年宋叔和院士指导的白银厂矿田勘查。《中国矿床发现史》（甘肃卷）概述如下：“当初宋叔和将白银厂与西班牙里奥廷托铜矿类比，在金矾沟布孔，众人对其不甚理解，最后打出了矿，大家才理解依照成矿规律布孔的意义，把白银厂的探矿水平提高到一个新层次，从就矿找矿，开始向理论找矿转化”。此后，地质力学研究所吴磊伯研究员在指导广东 211 铀矿勘查时也获得成效。《中国矿床发现史》（广东卷）描述如下：“吴（磊伯）副所长指出：矿区北北西向矿脉是呈雁行分布的张扭性构造带，对铀矿成矿非常有利。9 号脉延伸深度可能大于 500m，矿区前景很大”。而早期较为系统论述矿体侧伏规律的公开发表的论文主要由陈春雷（1979）和地质力学研究所崔军文等（1983）撰写，其余以往关于侧伏规律总结大多散见于相关矿床的勘探报告中。但在 20 世纪 70 年代，吉林、内蒙古、甘肃、青海、新疆等地基性—超基性岩的铬铁矿会战、铜镍矿会战，以及随后的胶东金矿普查、南方硬岩型铀矿普查及萤石矿普查等，加上当时广泛推广地质力学找矿方法，矿体侧伏（雁列）规律在野外一线的找矿勘查专业技术人员中得到了不同程度的普及应用。

然而，矿体侧伏数据获取不是在野外用罗盘直接测量出来的，而是在找矿勘查实践过程中通过同期作图分析、规律性总结并结合野外矿体分布特征经反复验证而得出的。在很多大中型矿床的发现过程中（中国矿床发现史编委会，1996），不少野外一线的矿产勘查专业技术骨干人员是冒着很大风险尝试按侧伏方向而不是倾伏方向布钻，这些矿体侧伏数据的获取，并不是如现在发表论文那样随便粘贴一个数据或者从后期勘查开采系列图件拼合计算那么简单，在找矿勘查各个阶段的每个侧伏数据的获取，大都是一线勘查人员在多次布钻落空后，历经无数个日夜煎熬、反复深思与多次激辩争议的结果，倾注着他们的专业智慧与心血汗水，凝聚着新中国成立初期的一代地质人员的命运风险乃至生命代价，我们理应好好地珍惜与开发利用这些宝贵的地质数据。

第一节 矿体样式及矿体侧伏

一、矿化样式概述

研究矿床，必须研究矿体的空间形态。其实，矿体占据的空间就是成矿构造。形象具体地说，成矿构造是指控制矿体几何形态的具有独立自然边界、为矿质直接充填或交代的地质构造单元（汪劲草，2001）。这样定义的目的是：①将成矿构造与控制成矿构造的构造区别开，避免出现以大代小现象，如实际上是剪切带中的 D（压性）、T（张性）、R（剪性）型裂隙控矿，而往往认为控制 D、T、R 型裂隙的剪切带是成矿构造。②将成矿构造

与非成矿构造区别开，避免出现以简代繁现象，如实际上是一条多次活动断裂的某一次活动形成的成矿构造，而往往认为整条断裂都是成矿构造。③将成矿构造的形成与成矿作用过程联系起来，避免机械地就事论事。④有利于将各种型式的成矿构造加以整理、归类乃至模式化。

矿化样式是指矿体形态、规模、产状、矿石结构构造、矿种组合等矿体宏观特征的专用名词，以此和成矿作用其他特征区别开来。决定不同矿化样式的主要因素取决于不同的成矿物质沉淀作用方式（叶天竺等，2014）。矿化样式的研究方法可借鉴汪劲草（2011）矿体形貌分析方法。

在矿床发现、勘查与研究过程中，主要有5种情况出现（汪劲草，2011）：①不知矿化样式，亦不知矿体成因；②知矿体成因，但不知矿化样式；③知矿化样式，但不知矿体成因；④既知矿化样式，亦知矿体成因，但不知矿体间的空间结构；⑤既知矿体成因，又知矿化样式，并知矿体间的空间结构，此为成矿构造研究之最高境界。在矿体只出露“冰山一角”时，若知矿体成因，并能推知矿化样式，则在矿床勘查与研究中，就会事半功倍。在危机矿山“攻深找盲”中，若已知矿体的矿化样式，并知矿体成因，进而可推知有成因联系的未知矿体与已知矿体间的空间结构，即成矿构造体系的空间结构。

二、矿体侧伏研究方法

（一）矿体侧伏概述

一般矿床学教科书中给学生讲解的是矿体侧伏向（图 1-1），而勘查中强调的是矿体群侧伏向，即纵投影图中矿体侧伏方向，两者产状有所差异甚至直交（图 1-1、图 1-2），从而产生了矿体群侧伏向与矿体品位、厚度、标型矿物参数等值线垂直相交的现象。

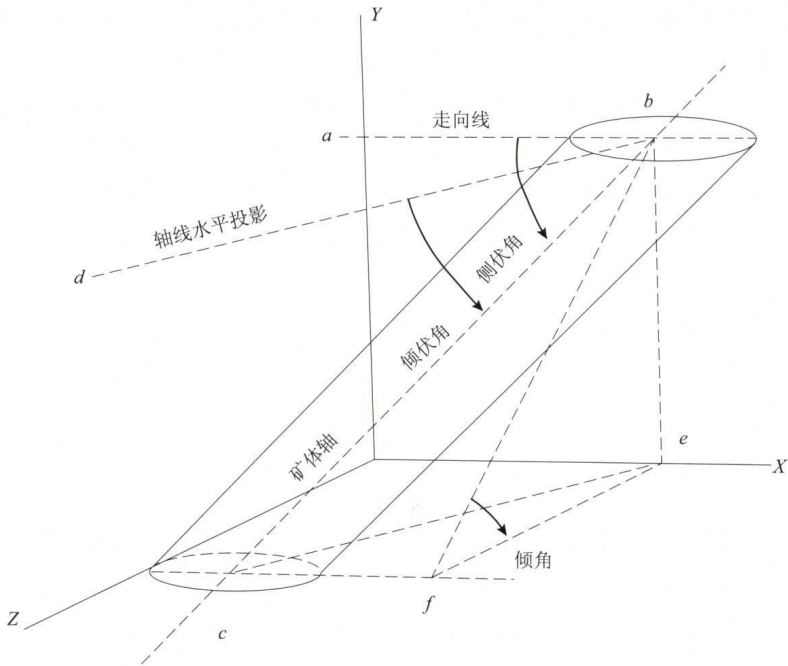


图 1-1 矿体产状及侧伏要素示意图
（据翟裕生等，2011）