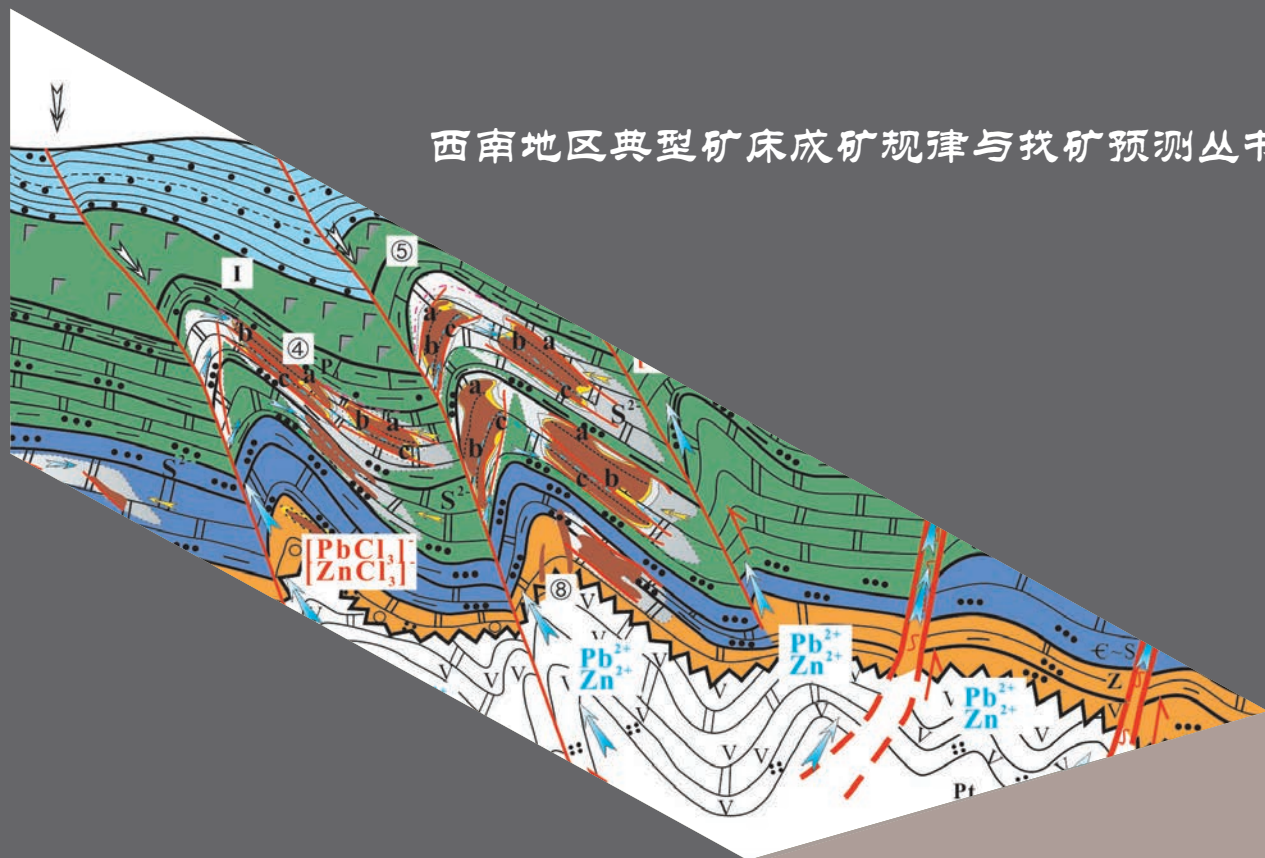


西南地区典型矿床成矿规律与找矿预测丛书



# 滇东北矿集区富锗铅锌矿床 成矿机制与隐伏矿定位预测

韩润生 张艳 王峰 吴鹏 邱文龙 李文尧 等著



科学出版社

西南地区典型矿床成矿规律与找矿预测丛书

# 滇东北矿集区富锆铅锌矿床成矿机制 与隐伏矿定位预测

韩润生 张 艳 王 峰 吴 鹏 邱文龙 李文尧等 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书以全球罕见的滇东北矿集区富锕铅锌矿为研究对象,通过国内外典型铅锌矿床对比研究,将碳酸盐岩容矿的非岩浆后生热液型铅锌矿床划分为两个端元矿床,即密西西比河谷型(MVT)和会泽型(HZT);阐明了斜冲走滑构造系统的控矿作用,研究总结了矿床时空分布规律和矿体定位规律,提出陆内走滑断褶构造控矿论;揭示了富锕铅锌矿超常富集与巨量聚集的主要机制,建立了特色成矿系统的矿床模型,提出流体“贯入”-交代成矿论;构建了找矿预测地质模型及其应用流程,创新了构造地球化学深部精细勘查技术,创建了大比例尺构造-蚀变岩相找矿预测方法、高精度坑道重力全空间域定位探测方法及大比例尺“四步式”深埋藏矿体定位探测集成技术,实现了矿区深部及外围找矿重大突破。

本书可供矿产普查与勘探、矿物学岩石学矿床学、地球化学、地球探测与信息技术、构造地质学等专业的研究生、高校教师和矿产勘查技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

滇东北矿集区富锕铅锌矿床成矿机制与隐伏矿定位预测 / 韩润生等著. — 北京: 科学出版社, 2019. 8

(西南地区典型矿床成矿规律与找矿预测丛书)

ISBN 978-7-03-055934-0

I. ①滇… II. ①韩… III. ①铅锌矿床-成矿作用-云南 ②铅锌矿床-隐伏矿床-成矿预测-云南 IV. ①P618.400.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第313097号

责任编辑: 王 运 姜德君 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年8月第一版 开本: 787×1092 1/16

2019年8月第一次印刷 印张: 33

字数: 780 000

定价: 428.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 序 一

富铅锌矿是我国的紧缺资源，稀散元素锗是一种新兴战略关键矿产。川滇黔接壤区广泛分布富锗铅锌矿，铅锌品位之高、富锗之多，全球少见。国内外已有成矿理论还不能圆满解释该区富锗铅锌矿的特殊性，常规找矿技术在深部探测遇到困难。因此，该类型矿床成矿的主控因素和矿体赋存规律、成矿类型及其形成机制等诸多理论问题亟待破解，高寒乌蒙山区深部找矿勘查技术组合亟待研发和集成。韩润生教授领衔的产学研用协同创新团队，历经20多年的持续攻关，以滇东北矿集区为研究基地，针对制约深部找矿突破的成矿构造动力学背景与成矿响应机制、高品位大吨位铅锌锗成矿机制、矿床成矿规律、矿床类型归属及其成矿系统等理论问题，以及深埋藏矿床（体）定位探测等关键技术难题，系统开展了典型矿床精细解剖、矿田构造解析和矿床地球化学、实验地球化学、国内外矿床对比等研究，在成矿理论和深部定位勘查技术研究方面实现了新突破，在深部找矿方面取得重大成果。其主要成果概括为以下三个方面。

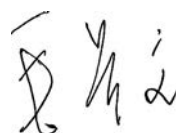
一是率先提出川滇黔富锗铅锌矿床以构造驱动成矿为主导的学术思想，论证了矿床形成于印支期碰撞造山过程的陆内走滑构造系统，查明了矿床形成的主控断褶构造组合样式，揭示了构造成矿-控矿新机制，建立了构造分级控矿、矿体定位模式，提出了陆内走滑断褶构造控矿论。在此基础上，阐明了“矿源-输运-聚集”成矿过程，揭示出构造-流体多重耦合作用是铅锌锗超常富集-巨量聚集成矿的主要机制，厘定了铅锌矿床新类型——会泽型，建立了矿床成矿系统和矿床模型，进而创立了流体“贯入”-交代成矿论，并有效地指导了区域找矿评价和矿山深部及外围找矿勘查部署。

二是从该类型矿床的典型特征出发，成功研发出大比例尺构造-蚀变岩相找矿预测、构造地球化学精细勘查、高精度坑道重力全空间域深部矿体定位探测等系列关键技术，创建了大比例尺深部矿体定位探测集成技术体系及“四步式”综合勘查模型，解决了非岩浆热液矿床矿化自然边界圈定、低弱矿化信息提取和隐伏矿体产状推断等难题，填补了大比例尺坑道重力三方向梯度探测技术的空白。

三是以成矿理论为指导，运用研发的深部勘查技术，在会泽、毛坪等老矿山深部及外围推广应用，指导探明了一系列富厚大矿体，推动深部找矿取得重大突破，新增铅锌、锗、银金属资源储量巨大，经济、社会和环境效益显著。该成果为我国深部找矿勘查提供了一个典型范例。

总之，《滇东北矿集区富锗铅锌矿床成矿机制与隐伏矿定位预测》是一部成矿理论与找

矿实践紧密结合，在铅锌成矿理论和深部找矿技术方面有重大创新，在找矿实践中有显著实效的力作。该成果为我国特色成矿系统研究和深部资源勘查提供了典型案例，必将进一步推动铅锌矿床成矿理论的发展与深部勘查技术水平的提升，相信对全球类似矿床地质找矿具有重要启迪意义。



中国工程院院士  
2018年12月18日

## 序 二

川滇黔接壤区地处特提斯成矿域与环太平洋成矿域交界地带，广泛分布一批以品位高、规模大、共伴生锆等元素多、矿体延深大为典型特征的大型-超大型铅锌矿床，一直是地学界研究的热点地区。20世纪60年代至21世纪初，广大地质工作者先后对碳酸盐岩中的铅锌矿提出了一系列成因观点，其中以沉积成矿观点为主导。但是，国内外已有理论难以圆满解释该区富锆铅锌矿的特殊性。同时，在20世纪末，会泽、毛坪、赫章等一批主力矿山资源枯竭，“四矿问题”凸显。因此，破解该类矿床成矿主控因素、成矿类型及其形成机制等诸多理论问题，创新深部找矿勘查技术，已成为发现新的接替资源亟待解决的重要任务。

韩润生教授带领的产学研用协同创新团队，以矿床成矿系统论、构造成矿动力学理论和方法为指导，在矿床成因认识、深部找矿技术及勘查难度极大的条件下，针对制约深部找矿突破的成矿构造动力学背景及其成矿响应机制、铅锌锆超常富集成矿机制等核心问题与隐伏矿定位探测等关键技术难题，突破沉积成矿为主导的传统思维，率先提出了构造成矿为主导的学术思想，历经20余年持续创新，通过区域构造分析、矿田构造解析、典型矿床精细解剖、实验地球化学等系统研究和深部找矿关键技术研发及集成，取得了在构造成矿理论和深部找矿技术上有重大创新、在找矿勘查实践上有重大突破的突出成果。主要表现在：一是创新提出富锆铅锌矿形成于印支期陆内碰撞造山成矿响应的大陆动力学背景的观点，查明了矿床形成的主控因素和断褶构造组合样式，揭示了陆内走滑构造系统成矿-控矿新机制，建立了构造分级控矿系统和矿体定位模式，提出了陆内走滑断褶构造控矿论；揭示出构造-流体多重耦合作用是铅锌锆超常富集成矿的主要机制，厘定了具中国特色的会泽型铅锌矿床新类型，并建立了其成矿系统和矿床模型，提出了流体“贯入”-交代成矿论，为区域找矿勘查部署奠定了坚实基础。二是创新和发明了大比例尺构造-蚀变岩相找矿预测、构造地球化学精细勘查、高精度坑道重力全空间域深部矿体定位探测等关键技术，创建了大比例尺“四步式”深部矿床（体）定位探测集成技术体系及深部综合勘查模型，攻克了非岩浆热液矿床矿化自然边界圈定、深部低弱矿化信息提取、隐伏矿体产状推断及其定位等技术难题。三是成矿理论和勘查技术为支撑，在一批老矿山深部和外围及勘查区发现了系列矿床（体），新增铅、锌、锆、银金属资源储量巨大，经济、社会和环境效益显著，实现了该区近50年来铅锌成矿理论和深部找矿技术创新的新飞跃。

《滇东北矿集区富锆铅锌矿床成矿机制与隐伏矿定位预测》是我国近些年来深部找矿勘

查领域铅锌成矿理论技术成果及成功找矿范例的系统概括。该专著的出版，不仅对川滇黔接壤区深部找矿具有直接指导作用，而且将推动我国铅锌矿床成矿理论的进一步发展和深部勘查技术水平的提升，并对世界类似矿床地质找矿具有示范推广作用。我衷心祝贺该著作的出版！



2018年12月18日

# 前 言

矿产资源的可持续供应是我国经济增长、国家资源安全和提高国际竞争力的重要保障，是国家中长期科学与技术发展规划中矿产资源领域资源勘探增储的优先主题，也是深入实施“一带一路”倡议、“南亚东南亚辐射中心”战略的需要。目前，国家开展的“深地资源勘查开采重点专项”正是为了解决深部矿产资源探测重大问题而设立的研发计划。

富铅锌矿是我国重要的紧缺资源，稀散元素锗是全球新兴产业的关键矿产。我国铅锌资源产量和消耗量居世界首位，对外依存度居高不下。川滇黔接壤区广泛分布富锗铅锌矿，铅锌品位之高、富锗之多，全球罕见。该区地处集革命老区、民族地区和连片特困区于一体的乌蒙山区，是国家扶贫攻坚的重点区，也是我国最大有色金属工业基地的核心区及中国地质调查局规划的 19 个重点找矿区带之一。20 世纪末，以该区会泽、毛坪铅锌矿为代表的一批主力矿山资源枯竭，大批员工下岗，“四矿问题”（矿业、矿山、矿工、矿城）凸显，铅锌产业面临严峻挑战。因此，创新成矿理论和深部探测技术，发现和探明接替资源刻不容缓！

近些年来，虽然广大地质工作者在滇东北大型矿集区富锗铅锌矿成矿理论、深部找矿技术等方面开展了富有成效的研发工作，但是老矿山储量不足的矛盾仍很突出，而且深部找矿难度极大：①认识难度大——国内外已有理论不能圆满解释富锗铅锌矿的特殊性 [品位特高， $Pb+Zn$ ：20% ~ 35%；储量大，矿床（体）可达大型-超大型规模；富锗、银等元素；矿体延深大；热液蚀变强]，成矿主控因素和矿体赋存规律不清、矿床成矿类型和形成机制不明；②技术难度大——矿体形态特殊且埋深大，地表物化探异常较弱，导致常规找矿技术难以奏效；③勘查难度大——高寒乌蒙山区山高谷深，地表勘查困难。为此，在国家自然科学基金和省部级科技计划及一批校企合作重点项目的持续支持下，针对制约深部找矿突破的成矿构造动力学背景及其成矿响应机制、铅锌锗元素超常富集-巨量聚集成矿机制、矿源-输运-聚集成矿过程、矿床成矿规律、矿床类型归属、富锗铅锌成矿系统等重大理论问题，以及深埋藏矿床（体）定位预测等关键技术难题，通过会泽、毛坪、乐红、茂租、富乐厂、松梁等一批中-大型富锗铅锌矿床的精细解剖与黔西北、川西南矿集区典型铅锌矿床的深入调研，历经 20 年产学研用协同攻关，取得了如下主要成果。

**1. 基于全球罕见的滇东北矿集区富锗铅锌矿独特的地质特征，提出了陆内走滑断褶构造控矿论，为找矿思路从沉积成矿到构造成矿的根本转变提供了科学依据**

(1) 提出了富锗铅锌矿的形成与碰撞造山事件的成矿响应机制密切相关的观点，厘定了印支期陆内构造-成矿耦合事件的年代，阐明了高品位大吨位富锗铅锌矿形成的大陆动力

学背景。在系统总结矿床独特的地质特征的基础上,通过地质推断-构造变形筛分-古应力值系统测量-同位素精确定年,厘定陆内构造-成矿耦合事件的时代为印支期(228~194Ma),进一步揭示出富锆铅锌矿形成于印支期碰撞造山过程的陆内走滑构造系统。印支期,印支陆块与扬子陆块碰撞导致包括中越交界的八布-Phu Ngu 洋在内的古特提斯洋关闭,形成了南盘江-右江造山带,区域构造应力向扬子陆块内传导,在川滇黔接壤区形成了空间分布具广泛性、类型具分区性和多样性的陆内走滑构造系统:在滇东北形成 NE 向左行斜冲走滑-断褶带;在黔西北形成 NW 向斜落走滑-断褶带;在川西南形成近 SN 向走滑断裂带。印支期碰撞造山作用,导致新元古代-古生代陆缘裂陷,并产生大规模构造变形,而且构造驱动深源流体沿走滑断褶带或断裂带大规模运移,流体呈旋涡状被断褶构造和花状构造圈闭,因构造释压、流体“贯入”及构造-流体多重耦合作用,形成了以滇东北矿集区为代表的川滇黔富锆铅锌成矿区。

(2) 查明了矿床形成的主控因素和断褶构造组合样式,揭示了陆内走滑断褶构造系统成矿-控矿机制,构建了构造分级控矿、矿体定位模式。通过深入剖析陆内走滑构造系统和矿床时-空-物结构,提出印支期控制盆地边缘碳酸盐岩蚀变带的走滑断褶构造带为该类型矿床的成矿地质体,成矿构造体系为 NE 构造带,从而实现了以地层层位成矿为主导转变为以构造成矿为主导的认识突破;厘定了成矿-控矿的断褶构造组合样式为同斜式断褶带、对倾式断褶带、单斜式断褶带及背倾式断裂带,进而构建了构造分级控矿系统:陆内走滑构造系统控制了川滇黔成矿区分布;区内 NE、NW、近 SN 向走滑断褶带分别控制滇东北、黔西北、川西南富锆铅锌矿集区;断褶构造组合控制富锆铅锌矿田(床);层间断裂带、断裂裂隙带控制矿体展布。基于构造精细解析与地表、坑道、钻孔地质填图,建立了矿体定位模式:①空间上矿体呈等间距、等深距展布。②在滇东北矿集区,矿体定位于 NE 向断褶构造主断裂带上盘的层间断裂-裂隙带中,呈左列式向 SW 向侧伏。③走滑断褶带为矿床的导矿构造,次级断裂-褶皱为配矿构造,层间断裂带、断裂裂隙带为容矿构造。④断裂-裂隙带、蚀变岩相转化界面(酸碱界面)等主要的成矿结构面及其组合,直接控制了“似层状”型、倾伏-侧伏型、不规则脉型及其组合等矿化样式。

## 2. 揭示了构造-流体多重耦合作用是铅锌锆超常富集-巨量聚集成矿的主要机制,提出了会泽型富锆铅锌矿床流体“贯入”-交代成矿论

(1) 查明了“矿源-输运-聚集”成矿过程,揭示了铅锌锆超常富集成矿的主要机制。通过矿化蚀变分带规律、微量元素地球化学、流体包裹体地球化学及 S-Pb-Sr-Zn-Fe、C-H-O、He-Ar 同位素示踪等研究,揭示了矿质主要来源于变质基底和深源,成矿流体主要有深源和盆地两种来源。基于流体包裹体地球化学和物理化学相图,查明了成矿流体中铅锌主要以氯络合物形式迁移,流体历经了中高温-低盐度-中高压→中温-中盐度-低压→低温-中低盐度-低压的演化过程,矿床主要形成于近中性环境,酸碱地球化学障是铅锌共生分异和矿化蚀变岩相分带的主因。结合成矿模拟实验,揭示出酸性流体萃取作用、深源流体“贯入”作用、

流体不混溶作用、流体混合作用是铅锌锆超常富集成矿的主要机制。

(2) 发现富锆铅锌矿床典型特征不同于典型的密西西比河谷型 (MVT) 矿床,厘定了会泽型 (HZT) 铅锌矿床新类型,划分了碳酸盐岩容矿的非岩浆后生热液型铅锌矿床的两类端元矿床,构建了其成矿系统的矿床模型,为区内找矿部署提供了科学依据。经典理论认为, MVT 铅锌矿主要形成于克拉通碳酸盐台地和大陆伸展环境,赋存于弱变形且稳定的碳酸盐台地,受正断层控制 (Leach and Sangster, 1993),但川滇黔富锆铅锌矿的形成机制无法用经典理论来解释。研究发现:区内富锆铅锌矿是走滑断褶构造圈闭、富矿流体充沛、储矿空间优越及酸性流体萃取、流体不混溶、流体混合作用之综合效应的产物;矿床在成矿构造背景、成矿主控因素和矿化蚀变分带规律、矿体侧伏规律、成矿物化条件、地球化学特征及成矿机制等方面明显不同于典型 MVT 矿床,进而提出了会泽型 (HZT) 铅锌矿床新类型;基于典型 MVT 铅锌矿床的成矿规律,通过国内外非岩浆后生热液型铅锌矿床的对比研究,将碳酸盐岩容矿的非岩浆后生热液型铅锌矿床划分为两类端元矿床:密西西比河谷型 (MVT)、会泽型 (HZT);总结了 HZT 铅锌矿床成矿规律,建立了该类矿床成矿系统:源(矿质主要来源于变质基底和深源,流体来源主要为深源和盆地源)→运(构造驱动流体沿走滑断褶带大规模运移)→储(流体在层间断裂带、断裂-裂隙带中卸载沉淀)→变(成矿后构造使矿体变形)→保(矿床主体未遭受强烈剥蚀得以保存),进而构建了流体“贯入”-交代成矿模型与找矿预测地质模型,并依据其矿床模型及其应用流程,有效地指导了深部及外围找矿勘查部署。

**3. 成功研发了大比例尺找矿勘查系列关键技术,为隐伏矿定位预测和深部找矿突破提供了有力支撑**

(1) 发明了大比例尺构造-蚀变岩相找矿预测新方法,圈定了找矿有利区段,解决了非岩浆热液矿床矿化自然边界圈定的难题。基于该类矿床矿化蚀变岩相分带规律与矿化蚀变指数、迁入元素增长指数的变化规律,发明了该方法。其要点为:构造-蚀变岩相填图→反演成矿物化条件 (T、P、pH、Eh)→构建矿化蚀变岩相分带模型→圈定找矿有利区段。

(2) 创新了构造地球化学精细勘查技术,研发出矿化中心圈定和深部矿化信息捕获及矿体产状判定新方法,实现了重点靶区快速圈定,解决了低弱矿化信息提取、隐伏矿体产状推断困难的问题。针对矿床明显受构造控制和热液蚀变强等特点,基于构造精细解析,识别并筛分出深部成矿构造;采用数据挖掘方法、断裂带金属元素组合晕异常及模糊综合评判模型,提取深部低弱矿化信息;依据异常延展方向、异常梯度变化规律及异常漂移方向,判定隐伏矿体产状和侧伏方向。

(3) 发明了高精度坑道重力全空间域定位探测深部矿体新方法,填补了大比例尺坑道重力三方向梯度探测技术的空白,攻克了坑道重力反演多解性的难题,弥补了其他物探方法受电磁干扰的不足。基于 HZT 铅锌矿床高品位大吨位、矿石与围岩密度差异明显的特点,通过重力勘查理论研究、正演计算及实地探测,发明了高精度坑道重力全空间域定位探测方

法。其要点为：应用重力异常 ( $V_z$ ) 及其三维重力梯度异常 ( $V_{xz}$ 、 $V_{yz}$ 、 $V_{zz}$ ) 的正负组合特点，判定隐伏矿体的定位空间。

(4) 创建了大比例尺深部矿体定位探测集成技术体系，建立了“四步式”综合勘查模型，在会泽、毛坪等矿区深部和外围取得重大找矿突破。针对在哪里找大矿、如何找富矿的难题，在不同找矿方法异构数据同构化的基础上，集成了矿床模型和找矿勘查关键技术，发明了大比例尺“四步式”深部矿体定位探测技术，建立了其综合勘查模型：①应用矿床模型优选找矿方向，实现“空间择向”。②应用构造-蚀变岩相找矿方法，预测找矿有利区段，实现“面中筛区”。③运用构造地球化学精细勘查技术，快速圈定重点靶区，实现“区中选点”。④坑道重力、AMT 和 TEM、IP 综合探深，实现“点上探深”，最终实现隐伏富厚矿体的准确定位。

通过富锺铅锌矿成矿理论研究和深部勘查技术示范，建立了矿床模型与矿体定位模式，优化了找矿标志，优选出多批重点找矿靶区，在会泽、毛坪等矿区深部及外围取得了“攻深找盲”的重大突破，自 20 世纪末以来累计新增超千万吨铅锌金属资源储量和数千吨锺银金属资源储量。以此资源为依托，新建成具有国际领先水平的曲靖、会泽采选冶和加工基地及会泽、彝良 2000t/d 采选基地，现已发展成为以云南驰宏锺铅股份有限公司为主体的国际化铅锺工业基地，取得了巨大的经济、社会和环境效益，在我国有色金属产业中处于举足轻重的地位。本书成果为我国特色成矿系统研究和深部资源勘查提供了重要的创新平台，也为川滇黔接壤区矿床深部及外围与同类矿床实现找矿突破奠定了基础。

本书是集体智慧和劳动成果的结晶。撰写具体分工如下：前言，韩润生；第一章，韩润生、王峰、任涛、张艳、邱文龙、张长青；第二章，王峰、韩润生、周高明、黄智龙、王雷、王胜开；第三章，韩润生、邱文龙、吴鹏、张艳、周高明、郭忠林、任涛、石增龙、王加昇、刘飞；第四章，韩润生、王峰、陈进、李波、胡煜昭、崔峻豪、孙晓栋、李孜腾、胡彬、吕豫辉、潘萍；第五章，韩润生、邱文龙、申屠良义、文德潇、张小培、陈随海；第六章，韩润生、任涛、吴鹏、张艳；第七章，韩润生、张艳、邱文龙、吴永涛、赵冻、王磊、管申进；第八章，张艳、韩润生；第九章，韩润生、王峰、张艳、罗大锋、任涛、邱文龙、王雷；第十章，韩润生、李文尧、吴鹏、王峰、罗大锋、周高明、郭忠林、胡体才、贺皎皎、龚红胜。另外，吴海枝、杨光树、杨柏英、雷丽、魏平堂、江小均、黄建国、管申进、韩尚、王子勇、韩爱宁等同志参与野外调研、图件绘制及资料收集整理等工作。最后由韩润生、张艳审定完成。

需要指出的是，为了保持有关成果的延续性，本书中地层划分沿用二叠系的两分方案，石炭系的三分方案。

本书得到了国家自然科学基金联合基金重点项目“滇东北矿集区富锺铅锌矿床成矿机理及靶区优选”(U1133602)、国家自然科学基金项目“黔西北富银铅锌矿集区冲断褶皱构造系统的成矿机制及找矿潜力分析”(41572060)、“云岭学者”人才计划项目(2014)、云

南省自然科学基金重点项目(2010CC005)、中国地质调查局典型矿集区潜力评价示范项目(121201115036001)、中国博士后科学基金项目“铅锌运移动力学机制的高温高压实验——以会泽铅锌矿为例”(2017M610614)、昆明理工大学-云南驰宏锌锗股份有限公司校企合作重点项目“昭通毛坪铅锌矿床深部及外围隐伏矿找矿预测及增储研究”(2010-01)和“云南会泽超大型铅锌矿床深部及外围隐伏矿找矿预测及增储研究”(2010-2)等项目的联合资助。在此一并深表感谢。

在项目立项和研究过程中,得到翟裕生院士、张洪涛教授级高工、叶天竺教授、刘丛强院士、毛景文院士、侯增谦院士、邓军教授、王京彬教授级高工、李文昌教授、方维萱研究员、胡瑞忠研究员、孙晓明教授、倪培教授、唐菊兴研究员、吕志成教授级高工、庞振山教授级高工、祝新友教授级高工、金中国研究员、崔银亮教授级高工、侯曙光教授级高工等的悉心指导和帮助。在本书编撰过程中,得到翟裕生院士、陈毓川院士、邓军教授、李峰教授、王学焜教授、冉崇英教授、朱立新研究员、张翼飞教授级高工、尹光侯教授级高工、武国辉研究员等的指导和鼓励;毛景文院士、方维萱研究员、李峰教授等对完善本书学术思想提出了宝贵的指导性意见。在项目实施过程中,得到云南冶金集团总公司、云南驰宏锌锗股份有限公司、有色金属矿产地质调查中心、中国地质调查局发展研究中心、中国科学院地球化学研究所、中国地质科学院矿产资源研究所、南京大学、云南省地质调查局、云南省有色地质局等单位领导和技术人员的大力支持和帮助,尤其是得到了云南冶金集团王洪江副总经理,云南驰宏锌锗股份有限公司沈立俊总经理、孙成余总经理,会泽矿业分公司闫庆文等领导及工程技术人员,以及昆明理工大学国土资源工程学院、科技处、人事处等部门的领导和老师们的大力支持和帮助。在此,对以上单位和各位专家表示深深的谢意。特别要感谢毛景文院士、邓军教授在百忙之中欣然为本书作序。还要感谢以上未提到的关心和支持项目研究的领导、专家学者及各位同仁。

本书付梓正值云南省著名的地质学家、教育学家孙家骢教授(1934~1997)逝世22周年之际,谨以此作表达学生对恩师的教导之恩和崇敬之情。

韩润生

2019年6月

# 目 录

序一

序二

前言

<b>第一章 概述</b> .....	1
第一节 铅锌矿床的主要类型.....	1
第二节 全球超大型铅锌矿床概况.....	4
第三节 中国 MVT 铅锌矿床主要特征 .....	8
第四节 MVT 铅锌矿床成矿规律 .....	9
第五节 MVT 铅锌矿床找矿预测地质模型 .....	24
第六节 典型 MVT 铅锌矿床成矿规律研究实例.....	27
本章小结 .....	32
参考文献 .....	33
<b>第二章 成矿地质背景</b> .....	40
第一节 区域地质 .....	40
第二节 区域地球物理、地球化学 .....	47
第三节 区域矿床分布及其地质地球化学特征 .....	50
第四节 成矿构造背景研究总结 .....	52
本章小结 .....	54
参考文献 .....	54
<b>第三章 主要典型铅锌矿床</b> .....	58
第一节 会泽超大型富锆铅锌矿床 .....	58
第二节 毛坪大型富锆铅锌矿床 .....	73
第三节 乐红大型富锆铅锌矿床 .....	89
第四节 茂租大型富锆铅锌矿床.....	100
第五节 富乐厂大型富锆铅锌矿床.....	109
第六节 巧家松梁富锆铅锌矿床.....	113
第七节 滇东北矿集区富锆铅锌矿床典型特征.....	120
本章小结.....	123
参考文献.....	123

<b>第四章 陆内走滑断褶构造控矿论</b> ·····	125
第一节 陆内走滑断褶构造系统形成的区域动力学背景·····	125
第二节 斜冲走滑-断褶构造的深部结构及构造组合样式·····	131
第三节 走滑断褶带与成矿地质体·····	134
第四节 构造控矿作用与成矿构造体系·····	136
第五节 滇东北矿集区构造体系成生发展与成矿构造体系·····	182
第六节 成矿结构面类型、矿化样式及控矿规律·····	183
第七节 成矿构造年代学与印支晚期富锆铅锌成矿事件·····	187
第八节 陆内走滑断褶构造控矿论的意义·····	193
本章小结·····	194
参考文献·····	194
<b>第五章 流体“贯入”-交代成矿论(一) ——矿化蚀变分带规律</b> ·····	198
第一节 会泽超大型富锆铅锌矿·····	198
第二节 毛坪大型富锆铅锌矿床·····	241
第三节 乐红-小河大型富锆铅锌矿床·····	252
第四节 茂租、富乐厂大型富锆铅锌矿床·····	259
本章小结·····	264
参考文献·····	264
<b>第六章 流体“贯入”-交代成矿论(二) ——微量元素地球化学</b> ·····	268
第一节 微量元素特征·····	268
第二节 锆等元素富集规律及其赋存状态研究·····	304
本章小结·····	309
参考文献·····	309
<b>第七章 流体“贯入”-交代成矿论(三) ——流体包裹体、同位素地球化学</b> ·····	312
第一节 流体包裹体地球化学·····	312
第二节 同位素地球化学·····	339
本章小结·····	377
参考文献·····	377
<b>第八章 流体“贯入”-交代成矿论(四) ——实验地球化学</b> ·····	382
第一节 成矿实验准备·····	382
第二节 流体混合作用实验·····	387
第三节 水岩反应实验·····	407
第四节 水解实验·····	412
第五节 还原硫模式沉淀机制实验·····	424
本章小结·····	431
参考文献·····	432

---

第九章 会泽型富锆铅锌矿床成矿规律及成矿机制·····	437
第一节 矿床成矿规律总结及实例·····	437
第二节 矿床成矿作用过程·····	440
第三节 流体运移-沉淀机理·····	442
第四节 国内外典型 MVT 矿床与 HZT 矿床对比研究·····	462
第五节 矿床成矿系统及成矿模型·····	464
本章小结·····	468
参考文献·····	468
第十章 找矿预测地质模型、找矿技术集成及靶区优选·····	473
第一节 找矿预测地质模型·····	474
第二节 隐伏矿定位预测技术方法集成及深部综合勘查模型·····	477
第三节 研究实例（一）——毛坪大型富锆铅锌矿床·····	488
第四节 研究实例（二）——会泽超大型富锆铅锌矿床深部及外围·····	496
本章小结·····	507
参考文献·····	507

# 第一章 概述

## 第一节 铅锌矿床的主要类型

基于川滇黔接壤区铅锌矿床的特殊性与区内矿床找矿勘查的需要，综合国内外专家学者对铅锌矿床的分类，并根据容矿岩石类型、矿床与围岩的时空关系，以及铅锌成矿作用与岩浆热液的成因关系，结合不同类型矿床复合与叠加等因素，现将铅锌矿床概括为五种主要类型：碳酸盐岩容矿的非岩浆后生热液型铅锌矿床、碎屑岩容矿的非岩浆热液型（SEDEX 或 CD）铅锌矿床、火山岩容矿的块状硫化物型（VHMS）铅锌矿床、岩浆热液型铅锌矿床及复合-叠加型铅锌矿床（表 1-1）。

表 1-1 主要类型铅锌矿床典型特征简表

矿床类型	定义	成矿构造背景	成矿主控因素	主要特征	我国代表性矿床	参考文献	
碳酸盐岩容矿的非岩浆后生热液型	密西西比河谷型（MVT）	赋存于克拉通台地和前陆盆地、裂谷盆地边缘，以成岩碳酸盐岩（礁灰岩组合）为容矿围岩，在 50~200℃ 条件下从盆地卤水中沉淀形成的、成因与岩浆活动无关的浅成后生热液型铅锌矿床	克拉通台地、前陆盆地边缘、裂谷盆地边缘	层控（硅-钙面、不整合面、古喀斯特）、岩控和正断层	铅锌品位低且较稳定（Pb+Zn：一般在 3%~10%，极少达 15%）、矿床储量大、共伴生组分少、矿体延深浅、热液蚀变弱、成矿温度低、一般无矿化蚀变分带	湖南花垣、广东凡口、青海东莫扎扎	Leach 和 Sangster, (1993); Leach 等 (2001, 2005, 2010); Taylor 等 (2009); 李发源 (2003); 张长青等 (2005); 刘文均等 (1999); 刘文均和卢家烂 (2000); 刘文均和郑荣才 (1999, 2000a, 2000b); 祝新友等 (2013); 甄世民等 (2014); 刘英超等 (2008)
	会泽型（HZT）	产于陆内走滑构造背景下，受斜向走滑断褶构造带控制，以蚀变的碳酸盐岩为直接的容矿围岩，中高温（200~350℃）-中低盐度、富气相或 CO <sub>2</sub> 成矿流体“贯入”-交代成矿的后生铅锌矿床	陆块碰撞造山过程的陆内走滑构造系统	走滑断褶构造组合及蚀变碳酸盐岩	铅锌品位特高（Pb+Zn：20%~35%）、矿床（体）规模大、共伴生元素多（Ge、Ag、Cd、Ga 等）、矿体延深大、（铁）白云石化等热液蚀变强、成矿温度较高、矿物组合分带明显及层-脉式矿化结构明显	云南会泽、毛坪、乐红、茂租、富乐厂、金沙，四川天宝山、大梁子，贵州猪拱塘、亮岩、天桥、杉树林、磷洞、堰都等	韩润生等 (2001a, 2006, 2012, 2014); Han 等 (2007a, 2007b)

续表

矿床类型	定义	成矿构造背景	成矿主控因素	主要特征	我国代表性矿床	参考文献	
碎屑岩容矿的非岩浆热液型 (SEDEX 或 CD)	沉积-成岩型	产于被动陆缘、同生断裂和裂陷盆地中, 赋存于陆相或海相碎屑岩或沉积变质岩的沉积层序中的铅锌矿床	被动陆缘、同生断裂和裂陷盆地	层位、岩性/岩相及同生断裂	矿床规模大、矿体多呈层状, 富含 Pb、Zn, 偶尔伴生 Ag, 因多含重晶石而含 Ba, 贫 Cu 和 Au, 具有双层结构及分相性, 围岩蚀变种类较多, 矿床分带性明显	甘肃厂坝、邓家山, 陕西八方山和银硐子, 内蒙古东升庙、灰窑口、甲生盘	马国良和祁思敬 (1996); 王玲之 (1989); 戴问天 (1989); 马芳芳 (2012); 彭润民等 (2000, 2004, 2007); 彭润民和翟裕生 (2004)
	构造热液型			受一定层位和构造带控制呈带状分布, 含膏盐砂(砾)岩赋矿层与后期成矿构造(盐丘构造、推覆构造等)组合		云南兰坪金顶铅锌矿, 新疆乌拉根铅锌矿	赵兴元 (1989); 王京彬等 (1990); 王江海和常向阳 (1993)
火山岩容矿的块状硫化物型 (VHMS)	赋存于火山岩系中的块状硫化物型铅锌矿床, 包括海相火山喷流沉积型和陆相火山热液型	洋中脊拉张环境, 大陆边缘活动带	火山机构、海底火山岩相组合	矿体以层状为主, 矿石构造具分带性, 主要成矿元素为 Cu、Pb、Zn, 主要伴生元素为 Au、Ag	浙江五部, 四川呷村, 新疆阿尔泰铁木尔特	李嘉曾 (1984); 黄报章等 (1983); 陈懋弘 (2014); 徐九华等 (2008)	
岩浆热液型	夕卡岩型(接触交代型)	褶皱带、地台内的侵入岩体、断裂构造系统	中酸性侵入体、钙镁质岩石及构造	矿体多呈脉状、网脉状、似层状, 空间上常和高温热液型钨锡矿床、夕卡岩型铁铜矿、斑岩型铜钼矿构成岩浆热液成矿系统; 具有明显的矿化蚀变分带, 以硅化、绢云母化为主; 成矿具明显的阶段性	滇西核桃坪, 湖南水口山, 内蒙古白音诺	高伟等 (2010); 李永胜等 (2012, 2014); 张德全等 (1991); 张德全和鲍修文 (1990)	
	热液脉型				赋存于岩浆热液成矿系统外带的岩浆热液脉型铅锌矿床或岩浆热液型铅锌矿床	滇西北北衙金多金属矿田碱性斑岩外带的大型铅锌矿, 黑龙江塔源二支线铜铅锌矿, 江西冷水坑银铅锌金矿, 云南姚安、山东香介铅锌矿	和文言等 (2012); 王宝权 (2016); 孟祥金等 (2009); 王建飞等 (2016); 张乾 (1990)
复合-叠加型	以上类型铅锌矿床通过复合成矿作用和叠加成矿作用形成的铅锌矿床	大体同期两种或以上成矿作用的构造背景; 两期或以上构造背景叠加, 具有构造背景的转换, 如拉张→挤压转换等	大体同期两种或以上成矿主控因素复合; 两期或以上成矿主控因素叠加	矿体形态、产状复杂, 但保留早期和晚期不同成矿作用的矿体特征。不同的矿化类型、蚀变矿物组合、矿石组构等特征客观反映了不同成矿作用	湖南黄沙坪锡铜铅锌多金属矿, 长江中下游铜金铅锌多金属矿, 云南澜沧铜钼铅锌银多金属矿, 西藏斯弄多大型铅锌矿床	王玉往等 (2011); 地质矿产部《南岭项目》构造专题组 (1988); 李峰等 (2010); 曾普胜等 (2005); 李光明等 (2010); 张辉 (2017)	

(1) 碳酸盐岩容矿的非岩浆后生热液型铅锌矿床: 是铅锌矿床的主要类型之一。自从 Leach 等 (2001, 2010) 系统总结了密西西比河谷型 (MVT) 铅锌矿床成矿特征及其成矿构