

国内外铅锌矿床类型及成矿特征研究

樊昊¹, 侯广顺^{1*}, 秦战营^{2,3}, 闫晓博⁴, 王森雨¹, 侯苏萌¹, 刘林齐¹

¹河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454003

²河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心, 河南 郑州 450016

³河南省有色金属地质矿产局 第三地质大队, 河南 郑州 450016

⁴中化地质矿山总局河南地质局, 河南 郑州 450000

发布日期: 2025年11月10日

摘要

铅锌矿作为全球重要的战略性矿产资源, 其类型及成矿特征的研究对于矿产资源的勘探、开发和利用具有关键意义。我国铅锌矿的开采生产规模目前处于世界前列, 但我国铅锌矿存在多贫矿、多共伴生组分等情况。铅锌矿的主要类型有沉积岩型、岩浆岩型、变质岩型等, 每种类型的成矿特征有诸多方面, 比如成矿环境、控矿因素、矿物组合等。相较于盲目钻探, 通过类型划分与成矿要素解析, 可大大提升勘探成功率, 显著降低勘探成本, 尤其对隐伏矿、深地矿的探测具有决定性作用。本文旨在对国内外铅锌矿主要类型、成矿特征及矿物质来源进行系统性研究, 以期对今后相关工作及研究提供信息参考及借鉴。

关键词

铅锌矿; 矿床成因; 物质来源

Research on Lead-Zinc Ore Deposit Types and Mineralization Characteristics at Home and Abroad

Hao Fan¹, Guangshun Hou^{1*}, Zhanying Qin^{2,3}, Xiaobo Yan⁴, Senyu Wang¹, Sumeng Hou¹ and Linqi Liu¹

¹School of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China

²Henan Provincial Engineering Technology Research Center for Nonferrous Metal Mineral Exploration, Zhengzhou, Henan 450016, China

³Henan Provincial Bureau of Nonferrous Metals Geology and Mineral Resources Third Geological Brigade, Zhengzhou, Henan 450016, China

⁴Henan Geological Bureau of CCGMB, Zhengzhou, Henan 450000, China

Email: houguangshun@hpu.edu.cn

文章引用: 樊昊, 侯广顺, 秦战营, 闫晓博, 王森雨, 侯苏萌, 刘林齐. (2025). 国内外铅锌矿床类型及成矿特征研究. 工程學輯要, 1(1), 27-32. ISSN Print: 3079-5648; ISSN Online: 3079-5656.

DOI: [10.63313/Engineering.4002](https://doi.org/10.63313/Engineering.4002)

Abstract

As a globally significant strategic mineral resource, the study of lead-zinc ore types and mineralization characteristics holds critical importance for the exploration, development, and utilization of mineral resources. China currently ranks among the world's leading producers in leadzinc mining scale, yet its deposits are characterized by numerous low-grade ores and multiple associated minerals. Primary lead-zinc ore types include sedimentary, igneous, and meta-morphic deposits, each exhibiting distinct mineralization features such as depositional environments, controlling factors, and mineral assemblages. Compared to blind drilling, classifying ore types and analyzing genesis factors can significantly enhance exploration success rates and reduce costs, particularly for detecting hidden and deep-seated deposits. This paper aims to conduct a systematic review of major lead-zinc ore types, genesis characteristics, and mineral sources worldwide, providing reference information for future related work and research.

Keywords

Lead-zinc ore; ore deposit genesis; material sources

Copyright © 2025 by author(s) and Erytis Publishing Limited.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 铅锌矿的应用领域

铅锌矿作为全球最重要的有色金属资源之一，其用途广泛且研究持续深化。铅锌矿的主要产品是铅和锌金属，它们在工业中有广泛应用。铅的主要用途包括蓄电池、弹药、化工、玻璃陶瓷等，而锌则用于镀锌、合金、电池、橡胶等。

1.1. 铅的应用领域

铅酸蓄电池：占全球铅消费量的 80%以上，广泛应用于汽车启动、通信基站、新能源储能等领域。中国铅蓄电池产销量占全球 40%以上，2025 年预计新能源储能需求将推动铅碳电池、胶体电池等技术升级。

化工与材料：铅用于生产氧化铅（玻璃陶瓷釉料）、铅酸（催化剂）、铅合金（电缆护套）。

军事与医疗：铅的高密度特性使其成为弹药弹头、核反应堆屏蔽材料的关键原料。

1.2. 锌的应用领域

镀锌防腐：占锌消费量的 50%，用于建筑钢材、汽车零部件的表面防护，全球镀锌钢板年产量超 2 亿吨。

合金制造：锌合金（如锌铝合金）用于压铸、五金制品，锌-铜合金（黄铜）广泛应用于机械零件。

电池与电子：锌锰干电池、锌空气电池占据全球干电池市场的 70%，氧化锌（ZnO）用于压敏电阻、半导体器件

2. 国内外铅锌矿床主要类型

全球铅锌矿资源以 SEDEX 型、VMS 型和 MVT 型为主，矽卡岩型次之。国内矿床多集中于西南“三

江”成矿带及东部环太平洋成矿带，而国外资源主要分布于澳大利亚、加拿大、美国等(唐攀科等，2018)。

Table 1. Reserves and Characteristics of Major Lead-Zinc Deposit Types Worldwide

表 1. 世界主要铅锌矿床类型储量、特征表

类型	全球储量占比	典型控矿因素	研究热点
VMS 型	14%	火山岩相、同生断裂	深海热液成矿、微生物作用
SEDEX 型	52%	裂谷盆地、热水沉积岩	成矿流体演化、深部找矿
MVT 型	13%	碳酸盐岩、低温热液	流体包裹体、成矿年代学
矽卡岩型	5%	接触带、构造 - 岩性	多金属综合利用、绿色开采技术

2.1. 火山块状硫化物（VMS）型

火山块状硫化物（VMS）型矿床是全球铅、锌、铜、金、银等金属的重要来源，其与海相火山活动相关，矿体呈层状或透镜状，常伴生铜、金等金属，如加拿大 Kidd Creek 矿床、澳大利亚 Mount Isa 矿床以及我国青海锡铁山矿床、新疆可可塔勒矿床等。火山喷发释放含金属热液，在海底沉积成矿，成矿温度较高（200–350℃）。矿体主要由铁的各种硫化物及不同含量和比例的铜、铅、锌等硫化物组成，通常呈层状产于火山岩中，其成因与火山岩密切相关，所以，又称火山成因块状硫化物矿床(宋鹏等，2019)。

2.2. 喷流-沉积（SEDEX）型

喷流-沉积（SEDEX）型矿床通常是指碎屑岩或碳酸盐为主的沉积岩中整合产出的层状矿床，国内也称作热水沉积矿床，其发育于泥岩-碎屑岩层中，矿石具层纹状构造，富集黄铁矿，以规模大、延伸稳定为特征。喷流沉积往往形成重要的矿床，如世界上著名的加拿大的 Sullivan、澳大利亚的 Broken Hill、德国的 Rammelsberg 矿等矿床均属此类型。虽然此类矿床数量不如火山成因块状硫化物矿床多，但其规模大、品味高、矿化延展稳定，伴生有用组分多，因此而备受关注。目前，在我国发现的厂坝、大西沟、霍各乞、东升庙、云南蒙自白牛厂、小坝梁、黄岗梁、甘肃毕家山等矿床皆属于海底喷流沉积型（池三川等，1994）。

2.3. 密西西比河谷（MVT）型

密西西比河谷（MVT）型铅锌矿：密西西比河谷型铅锌矿床（Mississippi Valley type Pb-Zn deposit），是沉积岩容矿的铅锌矿床（Sediment-Hosted Pb-Zn deposit）的重要组成部分（另一类为喷流-沉积型矿床，即 SEDEX 型矿床）。MVT 型铅锌矿床是一种与岩浆活动无关的，主要赋存于台地碳酸盐岩中的浅成后生铅锌矿床。该类型矿床提供了全球铅锌资源量的近 25%，是最为重要的铅锌矿床类型之一（PARADIS S et al, 2007）。MVT 型铅锌矿床在全球广泛分布，主要的矿集区有：美国 Upper Mississippi Valley、爱尔兰 Irish Midland、波兰 Upper Silesia、澳大利亚 Lennard Shelf，以及我国茅坪矿床、新疆火烧云铅锌矿等。

其中位于青藏高原西北部的火烧云铅锌矿是特提斯世界级铅锌矿带内重要组成部分，也是迄今为止国内已发现品质最好、储量最大的铅锌矿床，排名亚洲第一、世界第六。区域出露的地层主要为三叠系、侏罗系地层，自下而上依次为：中三叠统河尾滩组、上三叠统克勒青河组及中侏罗统龙山组，其中侏罗系龙山组为火烧云铅锌矿的赋矿地层。矿区地层由上三叠统克勒青河组、中侏罗统龙山组和第四系沉积物组成。共发现 5 个矿体，其中一个矿体以铅锌硫化物矿为主，其他矿体主要为铅锌碳酸盐矿。铅锌矿体多近水平层产出，矿床控制铅锌资源量较大。矿石矿物以菱锌矿和白铅矿碳酸盐为主（总量的 95%以上），其次为原生铅锌硫化物和少量水锌矿。脉石矿物主要为方解石、白云石等，围岩蚀变较弱。

2.4. 矽卡岩型

一般产于中酸性侵入体与碳酸盐类岩石的接触带或其附近。成矿过程较复杂，铅—锌硫化物是成矿作用的晚期晚阶段产物，矿体往往离开矽卡岩而产于石灰岩和白云岩中，可与矽卡岩型钨、锡、铜等矿床相伴生。矿体形体复杂，一般呈不规则囊状、柱状、脉状。一些教科书运用构造环境对火山岩或是不同类型矿床进行分类。Meinert 等提出了有利于矽卡岩矿床形成的大地构造环境，主要有洋壳俯冲和弧后盆地环境、伴随洋壳增生的陆壳俯冲环境、过渡型洋壳低角度俯冲环境及俯冲后或者陆壳上升环境（MEINERT L D et al, 2005）。

Table 2. Key Information on Different Types of Lead-Zinc Deposits Worldwide

表 2. 国内外不同类型铅锌矿床主要信息表

矿床名称	国家	矿床类型	储量（万吨，Pb+Zn）	品位（%）	成矿时代	构造背景
KiddCreek	加拿大	VMS	1500+	Zn6.5,Pb0.5	太古宙	洋中脊-岛弧环境
Kuroko（黑矿）	日本	VMS	2000+	Zn5-10,Pb2-5	中新世	岛弧裂谷环境
Neves-Corvo	葡萄牙	VMS	500+	Zn5.2,Pb3.8	泥盆纪	弧后盆地
RioTinto	西班牙	VMS	3000+	Cu0.8,Zn0.5	石炭纪	古生代裂谷带
白银厂	中国	VMS	200+	Zn4.0,Pb1.2	早古生代	大陆裂谷
Sullivan	加拿大	SEDEX	1600+	Zn6.0,Pb4.0	中元古代	被动陆缘裂谷
MountIsa	澳大利亚	SEDEX	7000+	Zn7.5,Pb4.5	中元古代	克拉通内裂谷
McArthurRiver	澳大利亚	SEDEX	2500+	Zn10.0,Pb4.0	中元古代	陆内拉张盆地
厂坝铅锌矿	中国	SEDEX	500+	Zn4.5,Pb2.5	早古生代	被动陆缘裂陷槽
锡铁山	中国	SEDEX	500+	Zn3.8,Pb1.5	奥陶纪	裂谷盆地
Tri-State	美国	MVT	5000+	Zn3.0,Pb1.5	古生代	前陆盆地
UpperMississippi	美国	MVT	3000+	Zn4.0,Pb2.0	古生代	克拉通边缘盆地
PinePoint	加拿大	MVT	700+	Zn23.92,Pb3.0	泥盆纪	前陆盆地
火烧云铅锌矿	中国	MVT	2100+	Zn6.0,Pb 4.85	中生代早期	陆陆碰撞造山带.
金顶铅锌矿	中国	MVT	1500+	Zn6.5,Pb2.5	中生代	前陆盆地
特尼格尔特	中国	矽卡岩	100+	Zn3.5,Pb1.8	中生代	造山带接触带
四角羊沟	中国	矽卡岩	50+	Zn4.0,Pb2.0	中生代	岩浆弧
水口山	中国	矽卡岩	200+	Zn5.0,Pb3.0	中生代	陆内岩浆活动带
Darwin	美国	矽卡岩	80+	Zn7.0,Pb2.5	中生代	岛弧环境

3. 铅锌矿床成因与物质来源

铅锌矿床成因复杂，物质来源多样，不同类型铅锌矿床在成因与物质来源上存在显著差异。铅锌矿床类型的矿物质来源与其地质背景紧密相关（张长青等，2014）。外生作用主导：MVT、砂岩型、沉积型依赖盆地流体或沉积过程；内生作用主导：火山热液型、岩浆相关型依赖岩浆或火山热液系统；变质改造：变质型强调原岩金属再活化。这些差异反映了铅锌成矿的多期性和复杂性。

3.1. 密西西比河谷型 (MVT) 铅锌矿床

成因：这类矿床常被认为与低温热液活动有关，形成于碳酸盐岩地层中。流体混合模型指出，含金属氯化物配合物的流体与含还原硫的流体混合，导致金属硫化物沉淀。实验表明，流体混合过程中， H_2S 主导 Pb 和/或 Zn 的沉淀反应，金属沉淀受金属配合物稳定性和 pH 值影响。在成矿流体中金属和总 S 浓度恒定情况下，pH 值是控制 Pb 和/或 Zn 金属沉淀的主要因素，因为成矿流体的中和或被中和过程会导致 Pb 和 Zn 氯化物配合物不稳定，硫物种重新分布，从而促进 Pb 和 Zn 离子水解及硫化物沉淀。所以，弱酸性至中性流体环境最有利于碳酸盐岩型铅锌矿床中 Pb 和 Zn 硫化物沉淀 (Zhang et al., 2019)。

铅锌主要来源于沉积盆地中富金属的卤水。这些卤水在埋藏过程中，通过淋滤围岩（如碳酸盐岩、页岩或蒸发岩）中的金属元素 (Pb、Zn) 并携带至构造有利部位（如断裂、礁体、溶洞）沉淀成矿。

3.2. 火山热液型铅锌矿床

成因：与火山活动密切相关，火山喷发过程中，携带大量成矿物质的热液在合适的地质构造和物理化学条件下，于火山岩或其附近围岩中沉淀富集形成矿床。

物质来源：铅锌主要与火山活动或次火山热液系统相关。岩浆热液：岩浆分异过程中释放的含金属流体（如黑矿型矿床）；火山岩淋滤：海水或大气降水循环淋滤火山岩（如玄武岩、流纹岩）中的金属，形成热液对流系统。

3.3. 与岩浆活动有关的铅锌矿床

成因：岩浆在侵入或喷发过程中，随着温度、压力降低，其中的成矿物质会逐渐析出，在合适的构造空间和物理化学条件下富集成矿。

物质来源：铅锌直接或间接来源于中酸性岩浆活动。岩浆分异：花岗质岩浆结晶分异释放含金属 (Pb、Zn、Ag) 的热液；围岩交代：热液与碳酸盐岩接触形成矽卡岩，金属在接触带沉淀（如矽卡岩型矿床）。

3.4. 砂岩容矿的铅锌矿床

成因：此类矿床形成与盆地卤水活动紧密相连。在地质历史时期，盆地中的卤水在一定的构造、地层条件下，携带铅锌等成矿物质运移，当遇到合适的沉淀环境时，成矿物质沉淀析出形成矿床。

物质来源：铅锌主要来源于盆地卤水：深部富金属卤水沿同生断裂上升，在还原性沉积环境（如黑色页岩）中沉淀（如 SEDEX 型矿床）；同生沉积：金属通过海底热液喷流直接进入沉积盆地，形成层状矿体。

3.5. 沉积型铅锌矿床

成因：在沉积环境中，铅锌等金属元素通过各种方式（如陆源碎屑物携带、生物作用等）在特定的沉积相带中逐渐富集，经过漫长地质历史时期的压实、成岩等作用，最终形成铅锌矿床。

物质来源：铅锌通过化学或生物化学作用在沉积过程中直接富集。海水富集：古海洋中溶解的金属离子（如铅锌氯化物络合物）在缺氧条件下与 H_2S 反应生成硫化物；陆源输入：风化剥蚀携带金属碎屑至盆地，通过吸附或胶体沉淀富集（如某些页岩型矿床）。

3.6. 变质型铅锌矿床

成因：原岩通常为含铅锌的沉积岩或火山沉积岩，在区域变质作用下，岩石发生变质变形，其中的铅锌等成矿物质在温度、压力变化以及流体作用下，发生迁移、富集，形成具有工业价值的铅锌矿床。

物质来源：铅锌源于原岩（沉积岩或火山岩）中的成矿物质，经变质作用改造。原岩继承：原岩（如富金属页岩、火山岩）在低级变质过程中释放金属，被变质流体迁移至裂隙或有利构造部位；变质热液：区域变质或剪切带活动产生的流体活化并重新富集金属。

4. 结语

铅锌矿是全球重要的战略性矿产资源，其主要类型包括火山块状硫化物（VMS）型（全球储量占比14%）、喷流-沉积（SEDEX）型（占比52%）、密西西比河谷（MVT）型（占比13%）、矽卡岩型（占比5%）等，不同类型在成矿环境、控矿因素、矿物组合等方面各具特征，如VMS型与海相火山活动相关，SEDEX型发育于泥岩-碎屑岩层中，MVT型赋存于台地碳酸盐岩中，矽卡岩型产于中酸性侵入体与碳酸盐类岩石接触带；铅锌矿床成因复杂，物质来源多样，外生作用、内生作用、变质改造均有涉及；铅锌矿应用广泛，铅主要用于蓄电池、化工等领域，锌用于镀锌、合金等领域，我国铅锌矿开采规模居世界前列，但存在多贫矿、多共伴生组分等情况。

铅锌矿床的成因多样，主要受构造-流体-岩性耦合控制。物质来源包括地壳淋滤、岩浆热液、地幔流体等，同位素地球化学是判别来源的关键手段。现代成矿理论强调多期次流体叠加和动态成矿过程。未来需聚焦深部资源开发、复杂矿高效利用与绿色技术创新，以应对资源约束与环境挑战。

参考文献

- [1] 唐攀科. 中国铅锌矿产资源成矿特征与资源潜力评价[J]. 地学前缘, 2018,25(03): 31-49.
- [2] 宋鹏. VMS型铅锌矿成矿流体研究进展[J]. 企业技术开发, 2019,38(06): 84-86.
- [3] 池三川. 非火山环境海底沉积-喷流（“SEDEX”）矿床[J]. 地学前缘, 1994(4): 183.
- [4] 张长青,吴越,王登红,等.中国铅锌矿床成矿规律概要[J].地质学报,2014,88(12):2252-2268.
- [5] PARADIS S, HANNIGAN P, DEWING K. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits[J]. Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 2007, (5): 185-203.
- [6] MEINERT L D, DIPPLE G M, NICOLESCU S. World skarn deposits[J]. 2005.
- [7] Zhang,Yan,et al. "An experimental study on metal precipitation driven by fluid mixing: implications for genesis of carbonate-hosted lead-zinc ore deposits." Acta Geochimica 2019 (38): 202-215.