

全球铅锌矿资源分布

江少卿,徐 毅,孙尚信,王 策,李 丽

中国铝业集团有限公司,北京 100082

摘 要: 世界范围内铅锌矿资源较为丰富,在全球 50 多个国家均有分布. 通过搜集国内外铅锌矿相关的资料和信息,在对世界 1035 处铅锌矿床及 3319 个矿(化)点资料进行提炼、系统梳理的基础上,对不同数据来源的全球铅锌矿的储量和资源储量进行比较研究,对全球铅锌矿 3 种主要成因类型,即喷流沉积型、火山块状硫化物型和密西西比型铅锌矿的资源分布、成矿时间和成矿空间分布规律进行了全面的综合分析研究,对世界大型铅锌矿床的储量、资源储量、品位、成矿类型和成矿特征进行归纳总结,以期为全球铅锌矿的综合研究提供参考.

关键词: 铅锌矿;资源储量;喷流沉积型;火山块状硫化物型;密西西比型;分布规律

GLOBAL DISTRIBUTION OF LEAD-ZINC RESOURCES

JIANG Shao-qing, XU Yi, SUN Shang-xin, WANG Ce, LI Li

Aluminum Corporation of China Limited, Beijing 100082, China

Abstract: The lead-zinc resources are abundant in the world and distributed in more than 50 countries. By collecting the data and information of lead-zinc deposits at home and abroad, based on the systematic review of the data of 1035 Pb-Zn deposits and 3319 occurrences/ mineralized spots in the world, the paper comparatively studies the resources and reserves of global Pb-Zn deposits from different data sources, comprehensively analyzes the resources distribution and spatiotemporal distribution regularity of mineralization for the three major genetic types including sedimentary exhalative (SEDEX), volcanic massive sulfide (VMS) and Mississippi Valley-type (MVT), and summarizes the deposit reserves, resources, grades, metallogenic types and characteristics of the worldwide large Pb-Zn deposits, to provide reference for the comprehensive research of global Pb-Zn deposits.

Key words: lead-zinc deposit; resources and reserves; SEDEX; VMS; MVT; distribution regularity

0 引言

铅锌是重要的工业原料,其全球金属消费量排名仅次于铁、铝、铜. 2018 年,中国精炼铅产量为 483×10^4 t, 占全球产量的 41.5%;中国精炼铅消费量为 497×10^4 t, 占全球产量的 42.3%;中国精炼铅供应缺口

为 14×10^4 t. 2018 年,中国精炼锌产量为 573×10^4 t, 占全球产量的 43.1%;中国消费量为 647×10^4 t, 占全球消费量的 47.5%;中国精炼锌供应缺口为 74×10^4 t. 2018 年中国进口铅精矿 123×10^4 t, 进口锌精矿 296×10^4 t. 中国铅锌精矿对外依存度保持在 20%~30%^[1].

收稿日期:2019-12-30;修回日期:2020-02-14. 编辑:李兰英.

基金项目:中铝集团科技发展基金重点项目“南美洲安第斯成矿带铜多金属矿成矿特征及资源项目优选研究”(2011KJZD09).

作者简介:江少卿(1983—),男,博士,高级工程师,现从事矿产资源管理工作,通信地址 北京市海淀区西直门北大街 62 号中铝大厦, E-mail//jiangshaoqing83@163.com

像中国这样对铅锌需求巨大,但是资源相对匮乏的发展中国家,掌握全球铅锌资源情况,并有效实施“两种资源、两个市场”的发展战略比以往更加紧迫.全面研究全球铅锌矿资源分布、类型和时空分布规律,科学掌控全球铅锌上游资源具有重要意义.本文即是对全球铅锌矿资源分布规律研究成果的概略性总结.

1 全球铅锌矿资源分布

1.1 全球铅锌矿资源储量

1.1.1 储量

全球铅锌矿资源丰富,美国地质调查局(USGS)^[2]公布的全球铅锌储量为 3.13×10^8 t,而本研究根据标准普

尔数据库(S&P)^[3]整理的全球铅锌储量为 3.05×10^8 t,主要分布在澳大利亚、中国、俄罗斯、墨西哥、秘鲁、哈萨克斯坦、美国、印度、波兰、加拿大(表 1).全球铅锌储量大于 5000×10^4 t 的国家有澳大利亚^[2]和中国; $5000\times 10^4\sim 1000\times 10^4$ t 的国家有俄罗斯^[3]、墨西哥、秘鲁、哈萨克斯坦、美国、印度、波兰; $1000\times 10^4\sim 500\times 10^4$ t 的国家有加拿大、玻利维亚、瑞典^[2-3](表 1).

1.1.2 资源储量

全球保有铅锌资源储量(均指资源量与储量之和,且为金属量)为 12.25×10^8 t^[3],排名前 10 的国家为中国、澳大利亚、加拿大、俄罗斯、秘鲁、墨西哥、朝鲜、美国、印度、伊朗,其中,保有资源储量超过 1×10^8 t 的国家为中国和澳大利亚^[3].

表 1 全球铅锌矿保有储量、资源量和资源储量
Table 1 Reserves and resources of lead and zinc in the world by countries

铅锌资源 储量排序	国家	储量(据文献[2])			储量(据文献[3]整理)			资源量(据文献[3]整理)			资源储量(据文献[3]整理)		
		锌	铅	铅锌	锌	铅	铅锌	锌	铅	铅锌	锌	铅	铅锌
1	中国 *	4100	1700	5800	4579	1893	6472	13915	7074	20989	18756	9216	27972
2	澳大利亚	6400	3500	9900	2809	1322	4131	7802	4858	12660	10612	6180	16792
3	加拿大	540	-	540	606	133	739	7091	1914	9005	7697	2047	9744
4	俄罗斯	-	640	-	2327	464	2791	3855	740	4594	6182	1203	7385
5	秘鲁	2800	600	3400	1630	420	2050	4160	865	5024	5789	1285	7074
6	墨西哥	2000	560	2560	2024	521	2544	3349	1119	4468	5373	1640	7013
7	朝鲜	-	-	-	-	-	-	5600	1400	7000	5600	1400	7000
8	美国	970	500	1470	1144	632	1776	3122	1099	4221	4266	1731	5996
9	印度	1100	220	1320	997	274	1271	1841	703	2545	2839	977	3816
10	伊朗	-	-	-	262	58	320	1903	1152	3055	2165	1210	3374
11	哈萨克斯坦	1300	-	-	1381	448	1829	974	405	1379	2354	854	3208
12	南非	-	-	-	430	65	495	1382	316	1699	1812	382	2194
13	西班牙	-	-	-	279	117	396	997	389	1386	1277	506	1783
14	瑞典	380	110	490	368	147	515	778	169	947	1146	316	1462
15	波兰	-	-	-	771	352	1123	192	49	241	962	401	1363
16	葡萄牙	-	-	-	330	85	414	707	176	883	1037	261	1297
17	爱尔兰	-	-	-	120	28	148	789	164	953	909	192	1101
18	玻利维亚	480	160	640	475	156	631	382	77	459	857	234	1091
19	塔吉克斯坦	-	-	-	0	0	0	413	533	947	413	533	947
20	印度尼西亚	-	-	-	83	52	135	473	304	778	557	356	912
	世界	23000	8800	31800	22881	7639	30519	66093	25913	92006	88974	33552	122526

单位: 10^4 t. * 中国铅锌矿储量、资源量、资源储量引用的 S&P 数据,根据文献[4]进行了调整.

2 全球主要铅锌矿类型

铅锌矿类型分类方案繁多,但在主要类型划分方面意见基本一致.目前全球已发现和查明的主要类型有(沉积岩容矿的海底)喷流沉积型(SEDEX)、火山块状硫化物型(VMS)、密西西比河谷型(碳酸盐岩容矿的后生沉积矿床,MVT)三大类^[5-8].选取保有资源储量前 300 名的铅锌矿床进行统计,三种类型分别占总资源储量的 52%、14%、13%(表 2),合计占总资源储量的 79%.此外,斑岩型、夕卡岩型、热液型等分别占总资源储量的 5%、5%、3%.其他类型如铁氧化物铜-金型(IOCG)、花岗岩型、黑色页岩型伴生的铅锌矿床等占 8%.

表 2 世界铅锌矿类型及保有资源储量
Table 2 Reserves and resources of Pb-Zn deposits in the world by types

矿床类型	个	铅锌资源储量/ 10^4 t	占比
SEDEX 型	86	51022	52%
VMS 型	76	13463	14%
MVT 型	39	12709	13%
斑岩型	12	4917	5%
夕卡岩型	24	4642	5%
热液型	22	3316	3%
其他类型	41	7642	8%
合计	300	97711	100%

据文献[3]整理.

2.1 喷流沉积(SEDEX)型铅锌矿床

该类矿床是指在裂谷、沉降盆地构造环境中,由海底喷流、喷气沉积作用形成的,赋存于热水沉积岩岩相之中的层状矿床,成矿金属元素主要为铅、锌、银.这种类型的矿床是世界上重要的铅锌来源之一,且具有规模大、品位高、富含银和重晶石的特征^[5,9-10].全球超大型铅锌矿,如澳大利亚 Mt Isa 和 McArthur River 矿床、加拿大的 Selwyn 矿床等均属此类型.它们的铅锌资源储量超过 2000×10^4 t,且铅锌的平均品位超过 8%,如中国的火烧云矿床,铅锌品位达 28.62%;美国 Red Dog 矿床,铅锌品位 17.43%;印度 Rampura Agucha 矿床,铅锌品位 14.90%^[3].

全球 SEDEX 型铅锌矿资源储量占世界铅锌资源储量 52%,具体特征是:1)大于 1000×10^4 t 的矿床 9 个,资源储量 27364×10^4 t,主要分布于澳大利亚(2 个)、朝鲜、加拿大、俄罗斯、中国、南非、美国、印度(各

1 个)(表 3);2) $500 \times 10^4 \sim 1000 \times 10^4$ t 的矿床 11 个,资源储量 8789×10^4 t;3) $100 \times 10^4 \sim 500 \times 10^4$ t 的矿床 34 个,铅锌资源储量 9333×10^4 t;4) $50 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ t 的矿床 15 个,资源储量 1059×10^4 t.

2.2 火山块状硫化物(VMS)型矿床

该类矿床是指在地盾及大陆边缘构造环境中,形成与海相火山有关,矿体主要由块状黄铁矿和贱金属铜、铅、锌等硫化物组成的块状硫化物矿床^[11-14].VMS 型铅锌矿是世界第二大铅锌矿床类型,在全球分布数量仅次于喷流沉积型铅锌矿床.该类矿床不仅含有大量铅、锌,同时共、伴生铜金属.目前世界上至少发现了 230 多个该类矿床,大部分是中、小型矿床.

VMS 型铅锌矿占世界铅锌资源储量 14%,具体特征是:1)大于 1000×10^4 t 矿床 1 个,资源储量 1303×10^4 t,为哈萨克斯坦的凯锌(Kazzinc)铅锌矿(表 4);2) $500 \times 10^4 \sim 1000 \times 10^4$ t 矿床 2 个,资源储量 1538×10^4 t;3) $100 \times 10^4 \sim 500 \times 10^4$ t 矿床 39 个,资源储量 8252×10^4 t;4) $50 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ t 矿床 33 个,资源储量 2266×10^4 t.

2.3 密西西比(MVT)型矿床

该类矿床得名于经典矿床广泛分布于美国中部的密西西比河流域.MVT 型矿床是指在稳定地台构造环境中,具后生特征的沉积型铅锌矿床类型.容矿围岩以白云岩为主,矿床形成与岩浆活动无直接联系,又被称为碳酸盐容矿的后生沉积铅锌矿床^[15-17].MVT 型矿床是世界第三大铅锌矿床类型,规模以中—大型为主,铅锌品位介于 3%~10%.

MVT 型铅锌矿占世界铅锌资源储量 13%,具体特征是:1)大于 1000×10^4 t 矿床 4 个,资源储量 5959×10^4 t,主要分布于伊朗、中国、澳大利亚、波兰(各 1 个)(表 5);2) $500 \times 10^4 \sim 1000 \times 10^4$ t 矿床 3 个,资源储量 2112×10^4 t;3) $100 \times 10^4 \sim 500 \times 10^4$ t 矿床 20 个,资源储量 3803×10^4 t;4) $50 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ t 矿床 12 个,资源储量 835×10^4 t.

3 全球铅锌矿时空分布规律

3.1 喷流沉积(SEDEX)型铅锌矿床时空分布规律

该类矿床的成矿构造为沉降、张裂和裂谷环境.矿床主要形成于拉张性构造环境下,受裂谷控制的克拉通内或其边缘拗陷沉积盆地.该类型的矿床具有显著的层控特征.

表 3 全球资源储量超过 500×10^4 t 的 SEDEX 型铅锌矿床
Table 3 Global SEDEX Pb-Zn deposits with resources and reserves over 5 Mt

名称	国家	主要产品	锌金属量	锌品位	铅金属量	铅品位	总资源储量	铅锌品位
检德	朝鲜	锌铅银	5600	-	1400	-	7000	7~10
Mt Isa	澳大利亚	锌铅银	3953	5.90	2211	3.30	6164	9.20
Selwyn	加拿大	锌铅银	2049	4.80	665	1.56	2714	6.35
McArthur River	澳大利亚	锌铅银	1805	9.60	846	4.50	2651	14.10
Kholodninskoye	俄罗斯	锌铅银	2120	4.09	336	0.65	2456	4.73
火烧云	中国	锌铅银	1468	23.95	286	4.67	1754	28.62
Gamsberg	南非	锌铅银	1468	6.80	114	0.53	1582	7.33
Red Dog	美国	锌铅银	1199	13.46	353	3.97	1553	17.43
Rampura Agucha	印度	锌铅银	1280	12.80	210	2.10	1490	14.90
Ozernoye	俄罗斯	锌铅银	827	6.12	157	1.16	983	7.28
Reward	澳大利亚	锌铅银	822	8.09	134	1.32	956	9.41
Bolshoi Konimansur	塔吉克斯坦	银锌铅	413	0.38	533	0.49	947	0.87
Dugald River	澳大利亚	锌铅银	780	11.24	143	2.06	923	13.30
Oggero	俄罗斯	锌铅	745	5.23	145	1.02	890	6.25
Shalkiya	哈萨克斯坦	锌铅	669	3.16	168	0.79	836	3.95
Sindesar Khurd	印度	锌铅银	491	4.00	295	2.40	786	6.40
Cannington	澳大利亚	银铅锌	262	2.91	404	4.49	666	7.40
Zawar Group	印度	锌铅银	428	4.50	219	2.30	647	6.80
Rammelsberg	德国	锌铅铜	446	16.40	199	7.30	645	23.70
Rajpura-Dariba	印度	锌铅银	391	6.60	118	2.00	509	8.60

储量单位: 10^4 t; 品位: %。据文献[3]。

SEDEX 型矿床在世界上分布较广泛, 分布于 25 个沉积盆地^[10], 主要分布于澳大利亚北领地-昆士兰 Mt. Isa-McArthur 盆地、加拿大育空-西北领地 Selwyn 盆地和 BC 省 Belt-Purcell 盆地、朝鲜检德盆地(图 1)。澳大利亚有著名的麦克阿瑟河(McArthur River)、芒特艾萨(Mount Isa)、布罗肯希尔(Broken Hill)、希尔顿(Hilton)、杜加尔河(Dugald River)、坎宁顿(Cannington)、世纪(Century)、乔治菲什尔(George Fisher)和莱蒂洛雷塔(Lady Loretta)矿床等; 加拿大塞尔温盆地的 Howards Pass、Faro、Cirque、Grum 和 Tom 矿床等; 朝鲜检德矿田的本山、老银洞、桦树沟、黄铁钩、中途场、如云洞、舞鹤洞、间店、检德山矿床等。其他地区的大型矿床有南非 Gamsberg、美国 Red Dog、俄罗斯 Kholodninskoye、德国 Rammelsberg、爱尔兰 Pallas Green 和 Tara 等。我国该类型的矿床主要有新疆火烧云铅锌

矿床^[18-19], 内蒙古渣尔泰群和狼山群的东升庙^[20]、炭窑口、甲胜盘铅锌矿床, 陕西凤县-太白沉积盆地的八方山-二里河铅锌矿床, 甘肃西和-成县盆地的厂坝-李家沟铅锌矿床。

在 SEDEX 型矿床分布的 25 个沉积盆地中, 有 8 个盆地中铅锌矿的资源储量超过 1000×10^4 t。依次为澳大利亚 Mt. Isa-McArthur 盆地(7 个矿床, 铅锌资源储量 11200×10^4 t)、朝鲜摩天岭检德盆地(9 个矿床, 铅锌资源储量 7000×10^4 t)^[21]、加拿大 Selwyn 盆地(17 个矿床, 铅锌资源储量 5500×10^4 t)、美国阿拉斯加 Brooks Range(3 个矿床, 铅锌资源储量 4000×10^4 t)、俄罗斯 Kholodninskoye 盆地(铅锌资源储量 2300×10^4 t)、印度 Rajasthan 盆地(5 个矿床, 铅锌资源储量 2000×10^4 t)、美国和加拿大 Belt-Purcell 盆地(1 个矿床, 铅锌资源储量 1900×10^4 t)、德国 Rhenish 盆地(2 个矿

表 4 全球资源储量超过 200×10^4 t 的 VMS 型铅锌矿床
Table 4 Global VMS Pb-Zn deposits with resources and reserves over 2 Mt

名称	国家	主要产品	锌金属量	锌品位	铅金属量	铅品位	总资源储量	铅锌品位
Kazzinc 矿集区	哈萨克斯坦	锌铜铅	926	1.95	377	0.79	1303	2.74
Neves-Corvo	葡萄牙	铜锌铅	779	3.89	177	0.88	956	4.77
Bawdwin	缅甸	铅锌银	197	2.40	385	4.7	581	7.10
Los Frailes	西班牙	锌铅铜	261	3.72	154	2.2	415	5.92
Uchaly	俄罗斯	铜锌金	393	3.11	-	-	393	3.11
Oued Amizour	阿尔及利亚	锌铅	316	4.60	75	1.1	391	5.70
Hackett River	加拿大	锌铅铜	331	3.80	46	0.53	377	4.33
青海锡铁山	中国	锌铅银	198	4.86	170	4.16	368	9.02
Stepnoye	俄罗斯	铜锌铅	223	14.37	92	5.92	315	20.29
Bisha	厄立特里亚	锌铜金	313	4.66	-	-	313	4.66
Aznalcollar	西班牙	锌铜铅	274	3.86	24	0.34	298	4.20
Nicolet	美国	锌铜金	294	9.80	-	-	294	9.80
Fresnillo	墨西哥	银金铅	196	2.70	95	1.3	291	4.00
Aripuana	巴西	锌铅银	200	4.31	76	1.65	276	5.95
Aljustrel	葡萄牙	锌铅银	206	4.59	66	1.47	272	6.06
Masa Valverde	西班牙	锌铜铅	178	1.65	60	0.55	237	2.20
East Region	哈萨克斯坦	铜锌金	186	3.20	50	0.85	235	4.05
Izok Lake	加拿大	锌铜银	191	13.10	20	1.4	212	14.50
Novo-Uchalinskoe	俄罗斯	锌铜	209	2.70	-	-	209	2.70
Rosebery	澳大利亚	锌铅铜	153	8.20	54	2.9	206	11.10
Khnaiguiyah	沙特阿拉伯	锌铜	206	3.21	-	-	206	3.21

储量单位: 10^4 t;品位: %。据文献[3]。

床,铅锌资源储量 1100×10^4 t)。

该类矿床时控性较为显著,成矿多集中于寒武纪—石炭纪(530~300 Ma)和古—中元古代(1.9~1.4 Ga)^[10, 22]。澳大利亚麦克阿瑟河 (McArthur River)、芒特艾萨 (Mount Isa) 矿床,加拿大的 Sullivan 矿床和朝鲜的检德矿床^[17]均为元古宙矿床的代表。德国的Rammelsberg、Meggen 以及加拿大 Selwyn 盆地的矿床为古生代矿床的代表。

3.2 火山块状硫化物(VMS)型矿床时空分布规律

该类矿床产于两类地质环境^[11-14]:一是古老地盾(台)内的绿岩带;二是古大陆边缘不同时代的活动带。全球主要矿带和集中区分布如下:(1)地盾(台)区,有北美地台(加拿大地盾)、西澳地盾、东欧波罗的地盾、

阿拉伯努比亚地台等的绿岩分布区;(2)古生代褶皱带,主要有东欧堪的纳维亚、伊比利亚、阿巴拉契亚、乌拉尔、阿尔泰、东澳塔斯马尼亚及我国的祁连—北秦岭等构造带;(3)中、新生代褶皱带,如北美科迪勒拉、阿尔卑斯、西太平洋岛弧等矿带(图 2)。分布的主要地区如下。

1)北美地台(加拿大地盾)

分布以太古宙—古元古代为主的 VMS 型矿床。在加拿大地盾中部 Churchill 成矿省和东部 Grenville 成矿省分布多个超大型铅锌矿床。主要矿床有 Kidd Creek:锌金属量 859×10^4 t,品位 6.0%;铜金属量 388×10^4 t,品位 2.46%。成矿时代为太古宙。Noranda:锌金属量 156×10^4 t,品位 1.37%;铜金属量 244×10^4 t,品位

表 5 全球资源储量超过 200×10^4 t 的 MVT 型铅锌矿床

Table 5 Global MVT Pb-Zn deposits with resources and reserves over 2 Mt

名称	国家	主要产品	锌金属量	锌品位	铅金属量	铅品位	总资源储量	铅锌品位
Mehdiabad	伊朗	锌铅银	1651	3.54	624	1.34	2275	4.88
云南兰坪金顶	中国	锌铅银	1137	6.97	269	1.65	1405	8.61
Admiral Bay	澳大利亚	锌铅银	697	4.10	459	2.70	1156	6.80
Boleslaw	波兰	锌铅银	771	3.94	352	1.80	1123	5.74
Angouran	伊朗	锌铅银	252	9.69	528	20.31	780	30.00
云南会泽	中国	锌铅	250	6.39	462	3.45	712	9.84
广东凡口	中国	锌铅银	416	9.97	204	4.88	620	14.85
Tara	爱尔兰	锌铅银	275	6.60	71	1.70	345	8.30
Pavlovskoye	俄罗斯	铅锌银	248	5.28	55	1.17	303	6.45
Prairie Creek	加拿大	锌铅银	162	10.30	132	8.40	295	18.70
Vazante	巴西	锌铅银	287	12.04	7	0.30	294	12.34
Doe Run Mines	美国	铅锌铜	53	1.31	225	5.51	278	6.82
湖南凤凰	中国	锌铅	218	21.80	7	0.71	225	22.51
Gayna River	加拿大	锌银铅	212	4.70	-	-	212	4.70

储量单位: 10^4 t; 品位: %。据文献[3]。

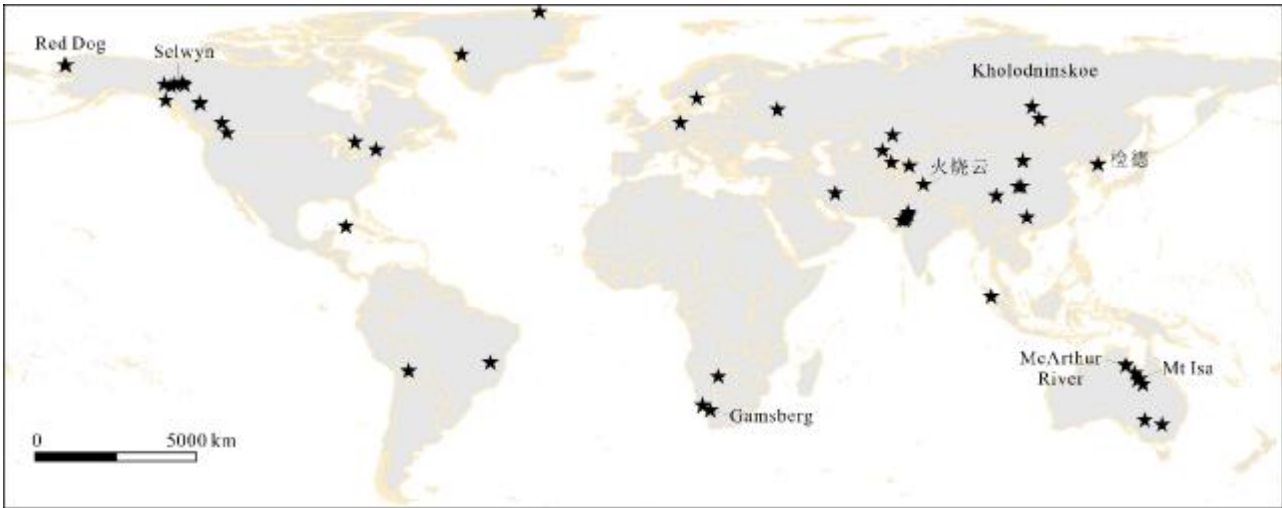


图 1 全球资源储量大于 50×10^4 t 的海底喷流沉积型铅锌矿床分布

(据文献[3])

Fig. 1 Distribution of SEDEX Pb-Zn deposits with resources and reserves over 50×10^4 t

(From Reference [3])

2.14%;成矿时代为太古宙。

2)伊比利亚造山带

该晚古生代造山带又称为伊比利亚黄铁矿带,北至西班牙 Llanera 省,南至葡萄牙西南端 Vila do Bpo 省,

西临大西洋,东至西班牙托莱多省。南北长约 300 km,东西宽约 60 km。矿带位于伊比利亚地块的南部,形成于华为西期伊比利亚造山运动的早期阶段,陆壳基底的拉张作用环境,与矿化有关的火山作用主要为早石

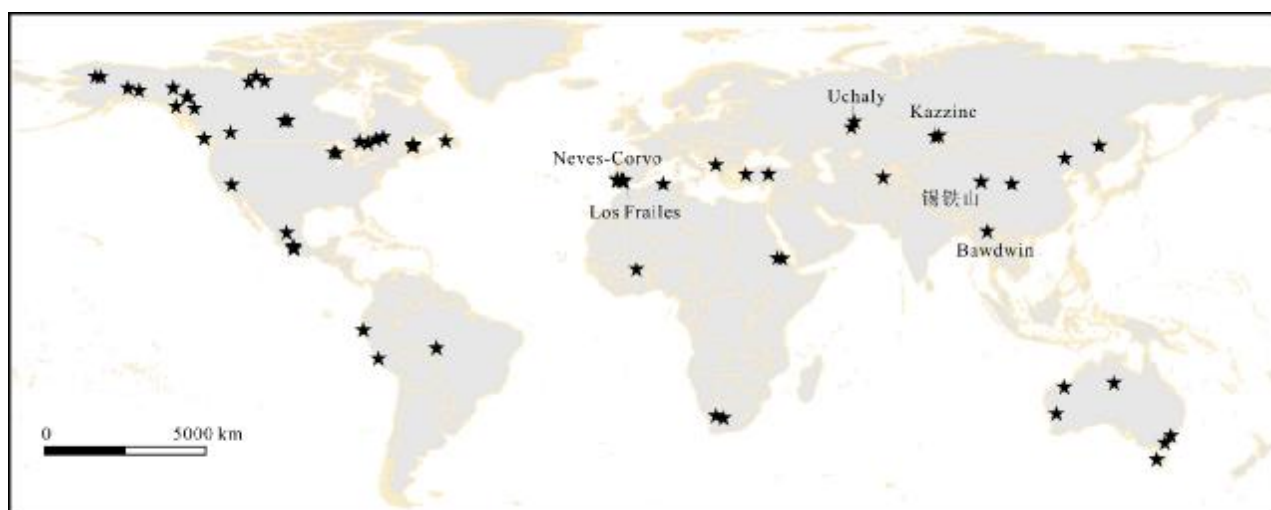


图2 全球资源储量大于 50×10^4 t 的块状硫化物型铅锌矿床分布

(据文献[3])

Fig. 2 Distribution of VMS Pb-Zn deposits with resources and reserves over 50×10^4 t

(From Reference [3])

炭世。伊比利亚造山带分布的大型 VMS 铅-锌-铜矿床超过 50 余个,其中,葡萄牙的 Neves Corve 和西班牙的 Los Frailes、Masa Valverde 等矿床为大型—超大型规模。Los Frailes 铅锌矿的保有锌金属储量为 260.79×10^4 t,品位 3.72%;铅金属储量为 154.44×10^4 t,品位 2.20%^[11]。Neves Corve 铜锌铅矿的保有锌金属储量为 779.49×10^4 t,品位 3.89%;铅金属储量为 179.65×10^4 t,品位 0.88%^[11]。此外,历史著名的超大型 Rio Tinto 铜金矿也位于该矿带,目前已经闭坑。

3) 乌拉尔和阿尔泰造山带

该晚古生代造山带分布于东欧板块与哈萨克斯坦板块之间,属于两个板块的缝合带,VMS 型锌铜矿床赋存在哈萨克斯坦板块的东乌拉尔构造单元。主要矿床都位于 Magnitogorsk 矿带,与奥陶纪—早石炭纪的硅镁质岛弧杂岩有关,矿体大多赋存于弱变质的泥盆纪长英质围岩中^[23]。Uzelginsk 铜锌矿田是乌拉尔成矿带最大的矿田,矿田内发育有 Uchaly 铜锌矿床锌金属量为 393.10×10^4 t,品位 3.11%;Novo-Uchalinskoe 锌铜矿床,锌金属量为 208.71×10^4 t,品位 2.70%。此外,还有 Chebach、Babaryk、Alexandrinsk 等中小型锌铜矿床。

阿尔泰造山带地处中亚腹地,西起哈萨克斯坦境内,经过中国新疆北部,东延至蒙古境内。晚古生代西伯利亚板块西南缘的陆壳基底拉张形成阿尔泰造山带。中国新疆的可可塔勒铅锌矿床、阿舍勒铜(锌)矿

床以及克兰盆地的铁木尔特铅锌矿床都产于该造山带中。

4) 东欧地台西北地区波罗的地盾中部

该地区分布的 VMS 型矿床主要环波罗的海分布,位于瑞典中部和南部、芬兰的南部、爱沙尼亚和拉脱维亚等地区。矿床形成与早期的 Svecokarelian 造山运动有关,古元古代的 VMS 型矿床均与 1.93~1.83 Ga 火山岛弧增生至太古宙 Karelian 克拉通的构造活动有关。含矿火山岩主要为流纹岩,其中穿插有拉斑玄武岩及玄武质安山岩建造。已知 VMS 型矿床主要集中于 2 个矿带:瑞典的 Bergslagen 和 Skellefte;芬兰的 Vihanti-Pyhasalmi 和 Outokumpu^[11-14]。该地区的主要矿床有 Garpenberg 铅锌矿、Zinkgruvan 铅锌矿和 Boliden 锌矿。

VMS 型重要矿床有:哈萨克斯坦的 Kazinc、葡萄牙的 Neves-Corvo、加拿大的 Hackett River、西班牙的 Los Frailes。我国这类矿床较重要的有新疆可可塔勒、阿舍勒等。

从全球范围看,VMS 型矿床形成于以下 6 个成矿期^[24]:新太古代(2.85~2.60 Ga)、古元古代(2.0~1.7 Ga)、新元古代(900~700 Ma)、寒武纪—奥陶纪(550~450 Ma)、泥盆—石炭纪(400~320 Ma)、早侏罗世至今(200~0 Ma)。虽然该类型矿床成矿时间范围较广,全球不同构造单元的成矿时代不尽相同,但主要成矿期为太古

宙和中新生代。

3.3 密西西比(MVT)型矿床

该类矿床主要分布于美国中部的密西西比河流域,世界其他地区分布较为分散,如加拿大西北领地、塞尔维亚 Trepca 地区、爱尔兰中部平原、中国川滇黔地区等^[15-17],主要分布地区如下(图3)。

(1)美国 MVT 型矿床主要分布于该类型矿床的命名地——密西西比河谷地区,包括密西西比河谷上游区域(Upper Mississippi),主要为艾奥瓦州、威斯康星州、伊利诺伊州,发育的铅锌矿以中、小型为主^[15],分布约 400 个 MVT 型矿床。矿床分布于艾奥瓦州东北部、威斯康星州西南部、伊利诺伊州西北部三州交界的部位(Tri-State);密苏里州东南部的 Viburnum 铅矿带和老铅矿带;田纳西州中部的 Elmwood-Gordonsville 矿区和田纳西州的东部地区。

(2)加拿大重要矿床主要分布于西北领地的 Pine Point 矿集区。该矿集区长 40 km,宽 24 km,分布铅锌矿床 80 余个。此外,西北领地还分布 Prairie Creek 和 Gayna River 大型铅锌矿床^[25]。

(3)中国该类型矿床集中发育于扬子地台及周缘地区。扬子地台西部的川滇黔交界区域^[16,26],主要矿床有云南矿山厂、麒麟厂、茂租,四川天宝山、大梁子、赤普。该区也是我国该类型矿床的聚集区。扬子地台南部的桂粤区域,主要矿床有广东凡口,广西后江桥、

北山、泗顶。扬子地台北部的秦岭褶皱系,主要矿床有陕西马元,湖北竹溪-谷城一带的朝阳、贵子沟、老公峪。扬子地台中部的湘鄂区域,主要矿床有湖南李梅、董家河、白云铺。此外,还有新疆西昆仑的塔木-卡兰古矿带等。

全球约 61% 的 MVT 型矿床成矿时代主要集中于泥盆纪—二叠纪,与 Pangea 超大陆汇聚、增生阶段强烈构造活动有关。其次,全球约 36% 的 MVT 型矿床形成于白垩纪—新近纪,主要分布于北美地台和非洲—欧亚板块。此外,还有少数矿床形成于晚元古代—早古生代、三叠纪—侏罗纪。然而在中国川滇黔地区, MVT 型矿床主要形成于古特提斯闭合时的三叠纪—早侏罗纪^[14-17]。

4 结论

世界铅锌矿资源丰富,铅锌储量约 3×10^8 t,保有铅锌资源储量约 12×10^8 t,主要分布于中国、澳大利亚、加拿大、俄罗斯、秘鲁、墨西哥、朝鲜、美国、印度、伊朗。

世界上主要铅锌矿类型有喷流沉积(SEDEX)型、火山块状硫化物(VMS)型、密西西比(MVT)型 3 大类,分别占世界总资源储量的 52%、14%、13%。超大型喷流沉积型铅锌矿床主要分布于加拿大、澳大利亚、中国、俄罗斯、印度。超大型火山块状硫化物型铅锌矿床

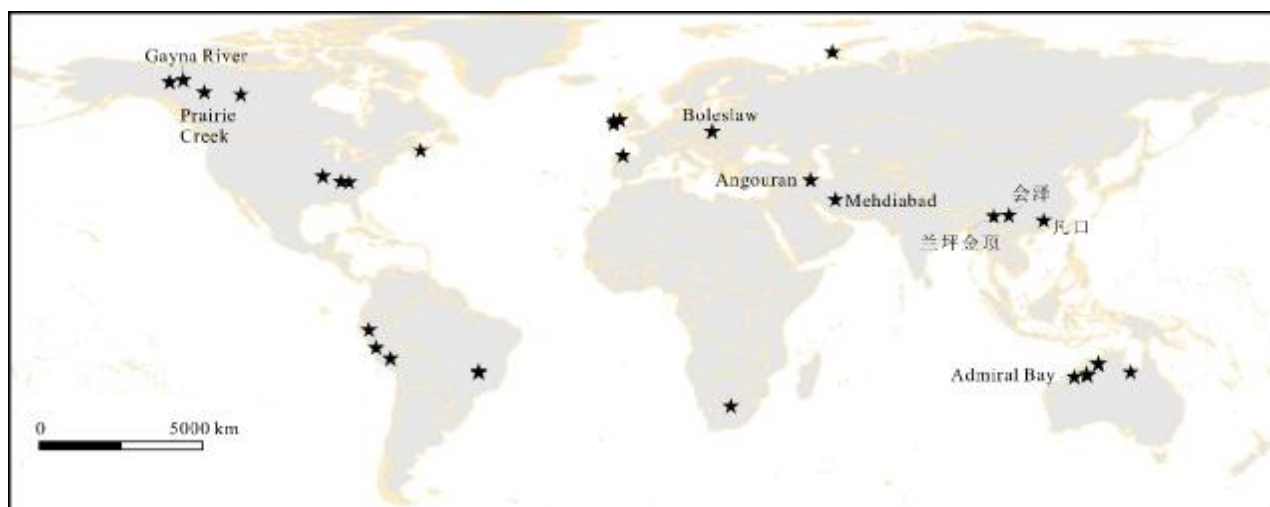


图3 全球资源储量大于 50×10^4 t 的密西西比型铅锌矿床分布图

(据文献[3])

Fig. 3 Distribution of MVT Pb-Zn deposits with resources and reserves over 50×10^4 t

(From Reference [3])

主要分布于哈萨克斯坦、葡萄牙、西班牙、缅甸、俄罗斯、澳大利亚、中国、加拿大、美国。超大型密西西比型铅锌矿床主要分布于美国、加拿大、中国、澳大利亚、伊朗。

喷流沉积型铅锌矿床空间上主要位于加拿大和澳大利亚的沉降盆地中,成矿年代主要集中于古一中元古代和寒武纪—石炭纪。火山块状硫化物型矿床主要矿带和集中区有:1)加拿大地盾、北美地台、波罗的地盾等绿岩分布的地盾(台)区。2)伊比利亚、乌拉尔、阿尔泰及我国的祁连—北秦岭等古生代褶皱带。3)中、新生带褶皱带,如:北美科迪勒拉等褶皱带。成矿年代主要集中于太古宙和中新生代。密西西比型矿床主要分布于美国中部的密西西比河流域,成矿年代主要集中于古生代的泥盆纪—二叠纪。

参考文献:

- [1] International Lead and Zinc Study Group (ILZSG). Lead and zinc new mine and smelter projects[Z]. 2019:1-65.
- [2] U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2019[Z]. U.S. Geological Survey, 2019:200.
- [3] S&P. S&P Global market intelligence [R]. 2018.
- [4] 中华人民共和国自然资源部. 2019年中国矿产资源报告[M]. 北京:地质出版社,2019:1-54.
- [5] 戴自希,盛继福,白冶,等. 世界铅锌资源的分布与潜力[M]. 北京:地震出版社,2005:1-212.
- [6] 张明超,李景朝,李鹏远,等. 国内外铅锌矿资源及分布概述[J]. 中国矿业,2016,25(S1):41-45,103.
- [7] 宋玉财,侯增谦,刘英超,等. 特提斯域的密西西比河谷型(MVT)铅锌矿床[J]. 中国地质,2017,44(4):664-689.
- [8] Mudd G M, Jowitt S M, Werner T T. The world's lead-zinc mineral resources: Scarcity, data, issues and opportunities[J]. Ore Geology Reviews, 2017,80:1160-1190.
- [9] 韩发,孙海田. SEDEX 型矿床成矿系统[J]. 地学前缘,1999,6(1):139-142.
- [10] Emsbo P, Seal R R, Breit G N, et al. Sedimentary exhalative (SEDEX) zinc-lead-silver deposit model [R]. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-N, 2016:57.
- [11] 李文渊. 块状硫化物矿床的类型、分布和形成环境[J]. 地球科学与环境学报,2007,29(4):331-344.
- [12] Mosier D L, Singer D A, Berger V I. Volcanogenic massive sulfide deposit density [R]. Scientific Investigations Report, 2007. U.S. Geological Survey, 2007:1-21.
- [13] Mosier D L, Berger V I, Singer D A. Volcanogenic massive sulfide deposits of the world-database and grade and tonnage models[R]. U. S. Geological Survey Open-File Report 2009-1034. U.S. Geological Survey, 2009.
- [14] Shanks III W C P, Thurston R. Volcanogenic massive sulfide occurrence model[R]. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-C. U.S. Geological Survey, 2012:345.
- [15] Leach D L, Taylor R D. Mississippi Valley-type lead-zinc deposit model[R]. U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1213. U.S. Geological Survey, 2009:5.
- [16] 张长青,余金杰,毛景文,等. 密西西比型(MVT)铅锌矿床研究进展[J]. 矿床地质,2009,28(2):195-210.
- [17] Leach D L, Taylor R D, Fey D L, et al. A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores: Chap. A of Mineral Deposit Models for Resource Assessment [R]. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-A. U.S. Geological Survey, 2010:2.
- [18] 董连慧,徐兴旺,范廷宾,等. 喀喇昆仑火烧云超大型喷流-沉积成因碳酸盐型 Pb-Zn 矿的发现及区域成矿学意义[J]. 新疆地质, 2015,33(1):41-50.
- [19] 范廷宾,余元军,夏明毅,等. 新疆和田县火烧云铅锌矿地质特征及其找矿[J]. 四川地质学报,2017,37(4):578-582.
- [20] 张志斌,李建华,黄超义,等. 东升庙矿床成因和找矿研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2010,40(4):791-800.
- [21] 王秀福,王凡,刘培栋,等. 朝鲜检德矿田地质特征[J]. 矿产与地质,2016,30(4):626-632.
- [22] Wang C M, Deng J, Carranza E J M, et al. Nature, diversity and temporal-spatial distributions of sediment-hosted Pb-Zn deposits in China[J]. Ore Geology Reviews, 2014,56:327-351.
- [23] Vikentev I V, Simonov V A, Borisova A Y, et al. Volcanic-hosted massive sulfide deposits of the Urals, Russia: Evidence for a magmatic contribution of metals and fluid [C]//Proceedings of 12th Biennial SGA Meeting. Uppsala, 124-248.
- [24] 侯增谦. 现代与古代海底热水成矿作用:以若干火山成因块状硫化物矿床为例[M]. 北京:地质出版社,2003:1-158.
- [25] Paradis S, Hannigan P, Dewing K. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits (MVT)[C]//Goodfellow W D. Mineral Deposits of Canada. Canada: Geological Association of Canada, 2007:5.
- [26] 许典葵,黄智龙,邓红,等. 云南会泽超大型铅锌矿床的矿床模型[J]. 矿物学报,2009,29(2):235-242.