

中国铅锌矿床成矿规律概要

张长青¹⁾, 吴越²⁾, 王登红¹⁾, 陈毓川³⁾, 芮宗瑶¹⁾, 娄德波¹⁾, 陈郑辉¹⁾

- 1) 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;
2) 长江大学地球环境与水资源学院, 武汉, 430100; 3) 中国地质科学院, 北京, 100037

内容提要:中国铅锌资源十分丰富, 目前全国铅锌矿产地有 3000 多处, 铅锌金属储量 1 亿多吨, 铅、锌储量均居世界第二位。鉴于铅锌矿床分类一直以来极具争议, 本次在铅锌矿成矿规律研究的基础上将成因类型和工业类型相结合, 提出了以成矿作用为一级要素, 容矿围岩为二级要素的 5 类 13 亚类铅锌矿床类型划分方案。总结了全国铅锌矿床时空分布规律, 提出多期次、多旋回的造山带环境是铅锌矿床发育的最有利部位, 元古宙是火山岩型矿床发育的主要时期, 古生代是沉积型铅锌矿床发育的重要时期, 中、新生代是岩浆型铅锌矿床发育的全盛期。在此基础上, 分析了构造演化与铅锌成矿的关系, 并认为对成矿时代的确定、对成矿关键地质要素的厘定、对构造环境的判定是影响成矿类型划分、时空分布规律总结的重要因素。

关键词: 矿床类型; 时空分布; 构造环境; 铅锌矿床; 中国

世界范围内铅锌资源极为丰富, 全球大陆除南极洲尚未发现外, 其他五大洲约 170 余个国家均有铅锌矿分布。据美国地调局统计, 2013 年世界已查明铅资源量超过 20×10^6 t, 铅储量 8900×10^4 t; 锌资源量超过 19×10^6 t, 锌储量 2.5×10^6 t (U. S. G. S., 2014)。铅储量比 21 世纪初增加 2500×10^4 t; 锌储量比 21 世纪初增加了 6000×10^4 t (U. S. G. S., 2014; U. S. G. S., 2000)。截止 2011 年底, 中国查明铅锌资源储量(金属量) 17100×10^4 t, 仅次于澳大利亚, 居世界第二位, 其中铅查明资源储量(金属量) 5600×10^4 t, 锌查明资源储量(金属量) 11500×10^4 t (中华人民共和国国土资源部, 2012; U. S. G. S., 2014)。作为我国优势矿种, 通过近几十年的大量开采, 铅锌资源保有储量迅速下降, 发现和开采比逐年下降, 导致我国正在逐渐失去铅锌资源在全球的优势地位, 资源枯竭趋势初步显现, 找矿压力逐年上升。2013 年世界铅锌产量 1890×10^4 t, 其中铅产量为 540×10^4 t, 中国为 300×10^4 t; 锌产量为 1350×10^4 t, 中国为 500×10^4 t, 可见中国铅锌产能在全球占有较大比重, 铅锌找矿勘查压力突显 (U. S. G. S., 2014)。然而, 全国矿产资源潜力

评价通过对铅锌资源成矿远景分析, 在全国范围内共圈定出铅锌预测工作区 192 个, 最小预测区 2185 个, 预测资源量铅 2.1×10^6 t, 锌 4.2×10^6 t, 表明我国铅锌资源的潜力较大^① (中国地质科学院矿产资源研究所, 2013)。

据对全国 2347 处铅锌矿产地统计显示, 超大型矿床 7 处, 大型矿床 33 处, 中型矿床 122 处, 小型矿床 535 处, 矿点矿化点 2395 处。超大型矿床数量虽然较少, 其资源储量却占铅锌总资源储量的 29%, 大型、中型和小型矿床资源储量分别占总资源储量的 45%、21%、5%, 因此寻找超大型、大型矿床是增强我国铅锌资源保障程度的关键。世界勘查和开采铅锌矿的主要类型有碳酸盐岩-细碎屑岩型 (SEDES)、碳酸盐岩型 (MVT)、砂砾岩型、海相火山岩型、矽卡岩型、热液脉型等, 其中碳酸盐岩型和碳酸盐岩-细碎屑岩型是最重要的矿床类型, 两者分别占超大型铅锌矿床数、铅锌储量的 36%、24% 和 42%、23% (戴自希等, 2005), 这 2 类矿床一旦被探获, 其找矿潜力都会很大。在我国, 砂砾岩型铅锌矿床也是重要的铅锌矿床类型, 其单个矿床规模多达到大型至超大型。全球超大型、大型矿床的产出存

注: 本文为中国地质调查项目(编号 1212010633901、12120114039601、1212011220369)和国家“973”项目(编号 2014CB440903)基本科研业务费(编号 K1411)资助的成果。

收稿日期: 2014-10-10; 改回日期: 2014-11-04; 责任编辑: 周健。

作者简介: 张长青, 男, 1975 年生。副研究员, 主要从事岩石、矿物、矿床学研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号; Email: zcqcchangqing@163.com。

在明显的偏在性,具体体现在成矿类型的偏在性、成矿时代偏在性和成矿背景的偏在性等方面(裴荣富和熊群尧,1999),即矿产在时间上和空间上的分布是不均匀的,在地质历史中一定类型的矿床及其组合的出现往往和一定的大地构造环境和发展阶段有关,因此加强铅锌成矿类型研究和判定,矿床形成时间、空间分布规律研究对不断提高理论找矿水平,减小勘查风险,提高找矿预测效果具有重要的指导意义。

近些年来,我国铅锌矿成矿理论研究进展较为缓慢,源于大多数铅锌矿床成矿时代、成矿物质来源、成矿流体演化和成矿机制等方面存在较大的不确定性,导致矿床成因类型划分、区域成矿规律和区域成矿模式等方面研究存在明显不足。本文通过对全国铅锌矿床的类型、时空分布规律、存在科学问题等方面进行总结性介绍,旨在为进一步深化全国铅锌矿床成矿规律研究起到抛砖引玉之效,并有望引导我国铅锌矿的找矿战略部署工作。

1 铅锌矿床类型

铅锌矿床的分类一直以来是一个极具争议的问题,国内外矿床学家提出过多种分类原则和方案,归纳起来,可分为两类:①铅锌矿床成因类型;②铅锌矿床工业类型。本次单矿种资源潜力预测工作,根据需求建立了第三类分类方案——矿产预测类型(王登红等,2013)。同时,考虑到矿床成因类型和工业类型在科学研究和工业生产中分别发挥着重要作用,尝试将成因类型作为一级分类要素,工业类型作为二级分类要素,提出了一种新的铅锌矿床类型划分方案。

1.1 前人分类方案

铅锌矿床类型划分可分为 4 个阶段,第一阶段为岩浆成因分类阶段,即从岩浆分异观点出发,把铅锌矿作为岩浆热液成矿作用的产物,以成矿温度和深度作为分类原则(赵一鸣等,2004;武警黄金地质研究所,2007)。但众所周知,许多铅锌矿床与岩浆作用并无关系,且在同一温度条件下,可形成不同类型的铅锌矿床,因此,此种分类在生产中很难应用。第二阶段为层控矿床盛行阶段,分类方案以成矿作用作为主要分类原则,以容矿围岩作为次要分类依据,将成矿作用划分为内生和外生成矿两大类型(郭文魁等,1960),并提出了层控矿床的概念(Brobst and Pratt, 1973; Wolf, 1976),对层控矿床给予了重点关注,然而这种分类方案中存在部分重叠,如接

触交代矿床和不规则交代矿床、脉状矿床三者之间存在难以区分的特征,且对于碳酸盐岩-碎屑岩中赋存的 SEDES 矿床尚没有被认识。第三阶段多种成因分类阶段,涂光炽(1981,1984)、王育民(1983)、刘瑛和吕凤翔(1983)、郑知一等(1983)、郭洪中(1994)、赵一鸣等(2004)对铅锌矿的划分分别提出了不同的方案,但不同作者均将沉积、火山、热液和外生作用有关的类型纳入到分类方案中,形成了铅锌矿床的多种成因类型的认识。国外铅锌矿床划分方案侧重于成矿作用和容矿围岩结合的分类方案,如,沉积岩容矿的海底喷气沉积矿床(SEDEX)、火山岩容矿的海底喷气沉积矿床(VMS)、碳酸盐岩容矿的后生沉积矿床(MVT)、砂页岩容矿的沉积或沉积变质矿床、与岩浆岩有关的斑岩、矽卡岩、热液交代型矿床和陆相火山岩型矿床、非硫化物锌矿床等类型(戴自希等,2005)。近期,Dill(2010)又对 63 个矿种进行了棋盘格子分类,其中铅锌矿床共划分为岩浆型铅锌矿床、与构造有关的铅锌矿床、沉积型铅锌矿床、变质型铅锌矿床等 4 类 11 个亚类(徐志刚等,2013)。第四阶段为成矿系统分类阶段,翟裕生等(2000,2002,2003)按照成矿系统理论,将铅锌矿床划分为 4 个成矿系统 8 个成矿亚系统,4 个成矿系统分别为盆地萃取热水成矿系统、花岗质岩浆-热水成矿系统、海底含铅锌锰结核成矿系统、大陆红土化铅锌成矿系统。陈喜峰和彭润民(2007)根据成矿系统理论,将铅锌矿划分为 4 类 9 个亚类,4 类分别为岩浆成矿系统、热液(水)成矿系统、叠加沉积成矿系统和改造成矿系统。成矿系统类型划分方案,主要强调了地质作用在成矿中的重要性。

铅锌矿床的另一类分类方案为工业类型划分,由于铅锌成矿作用的复杂性给矿床普查勘探技术应用带来了困难,以围岩性质、矿体形态和矿石矿物成分为基础的分类方案纷纷被提出(赵一鸣等,2004),孟宪民(1958,1963)、夏宏远(1959)、长春地质学院(1961)等对中国铅锌矿床的提出了以围岩条件为划分准则,以矿体形态作为辅助分类标准的分类方案反映了 20 世纪 60 年代以前大多数矿床学家对铅锌成矿作用的认识,对该时期铅锌矿床研究、普查勘探起着重要的积极作用。此后,在全面考虑铅锌矿床产出的地质背景、成矿环境、含矿岩系、物质组成、成矿物理化学条件的基础上,《中国矿床》、《中国铅锌矿山》中强调了赋矿围岩主导作用,以主导成矿作用为辅助分类依据,将中国铅锌矿床划分为 8 种不同类型(《中国矿床》编委会,1989;中国铅锌矿山编委

会,1993)。在潜力评价前期开展的工作中,主要参考矿床工业类型划分,将中国铅锌矿床划分为 9 类 27 个矿床式,9 类分别为碳酸盐岩型、砂砾岩型、碳酸盐岩-细碎屑岩型、海相火山岩型、陆相火山岩型、各种围岩中的脉状、矽卡岩型、斑岩型、风化-残积型(陈毓川等,2010a)。为了对我国铅锌矿床成矿远景预测起到良好的效果,解决勘查程度差异、地质信息不对称问题,矿产预测类型的概念被提出,并在全国范围内划分出(火山)-沉积变质型、海相火山岩型、陆相火山岩型、矽卡岩型、层控热液型、岩浆热液型、风化(壳)型 7 个预测类型 48 个矿床式,具体划分方案参见《重要矿产预测类型划分方案》(陈毓川等,2010b)。这一分类方案以成矿关键要素为分类依据,对矿产资源定量预测的开展起到的重要的指导作用。

1.2 铅锌矿成因类型划分

以上各种分类各自均有自己的特色和优点,反映了对铅锌成矿作用认识上的不断进步,不同时期均对铅锌矿的找矿勘探起到很大的促进作用。同时以上分类方案中,人们均试图以成矿作用作为分类标准,但由于全球铅锌矿床中有许多成因信息并不十分明确,多数分类方案不得以将容矿围岩介入了分类方案之中,在实际划分中多存在成因和容矿围岩同时作为一类分类要素的现象。对成矿规律总结而言,揭示矿床的成因机理是矿床学研究的最终目的,本次尝试以成矿地质作用为主要分类依据,突出与成矿有关地质作用对成矿的贡献,成矿亚类则从勘探和找矿预测的角度出发,以含矿岩性作为分类标准,将矿床工业类型予以充分考虑。

本次矿床类型划分力求做到既能充分揭示成矿的关键地质作用,又可命名方便、实用,且通俗易懂。基于这一原则,建议分类方案中以自然地质作用为主线,即沉积作用、岩浆作用、火山作用、流体作用、变质作用、风化作用和生物作用等作为主要分类依据,考虑到生物成矿作用在自然界中相关成因类型的矿床很难界定,将其与风化作用合并为一类型,即风化淋滤作用类型;由于在我国范围内尚未发现在变质作用过程中铅锌硫化物结晶而形成的矿床实例,故变质作用类型暂不不予体现。另外,自然界中尚存在一种多成因铅锌矿床,对于多成因矿床则根据成矿过程中地质作用对成矿的贡献大小,将导致矿床形成的关键地质作用作为类型划分的依据。基于上述考虑暂将铅锌成矿类型划分 5 个主要类型(表 1)。亚类的划分借鉴矿床工业分为方案中的赋

矿围岩作为分类依据,将含矿地质体作为分类标准,主要涉及到岩浆岩、火山岩、变质岩(包括矽卡岩)、各类沉积岩,根据这些岩性及岩性组合不同,共划分为 13 亚类(表 1)。

表 1 中国铅锌矿矿类型划分表
Table 1 Theclassify of genetic type for Pb-Zn deposits of China

大类	亚类	代表性矿床
岩浆型(与岩浆作用有关的矿床)	1. 矽卡岩型	湖南水口山-康家沟、广西大厂、内蒙古白音诺
	2. 各种围岩脉型	河北蔡家营、湖南桃林等
	3. 斑岩型	江西冷水坑、云南姚安、山东香奁
火山型(与火山作用有关的矿床)	4. 陆相火山岩型(VMS型)	浙江五部、江西银山等
	5. 海相火山岩型	甘肃小铁山、青海锡铁山、四川呷村等
	6. 碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES型)	甘肃厂坝、邓家山、陕西八方山和银洞子、内蒙古东升庙、炭窑口、甲生盘等
	7. 砂岩铅矿(SS-Pb矿)	贵州猫猫厂
	8. 锰质结核型(海底铅锌矿)	
沉积型(与沉积作用有关的铅锌矿床)	9. 含铜页岩型(页岩中伴生铅锌矿)	
	10. 煤层型(煤层中闪锌矿)	
低温热液型(与盆地卤水作用有关的低温热液型矿床)	11. 碳酸盐型(MVT型)	四川大梁子、广东凡口、云南茂租、会泽等
	12. 砂砾岩型	云南金顶、新疆乌拉根等
风化淋滤型(与风化淋滤作用有关的铅锌矿床)	13. 砂矿(氧化型)	贵州赫章榨子厂、云南会泽砂矿、老厂砂矿、个旧砂矿等

本分类方案主要分类依据为成矿作用,次要依据为容矿围岩,因此将矿床成因类型和工业类型进行了有机结合,即可适用于理论研究,又可与工业生产相结合。在分类方案中,将中国目前关注较少的海底矿产和尚未开发利用的煤系、页岩中的铅锌矿产也纳入其中,以引起人们的关注。对于低温热液矿床,目前碳酸盐岩型和砂砾岩型两者似乎经历了相似的形成过程,因此将两者划入同一大类。碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES型)矿床的容矿围岩具有沉积成因,成矿喷流热液具有火山-潜火山热液特征,因此该类型跨火山岩型和沉积型大类;斑岩体通常为具有介于侵入岩和火山岩之间的潜火山岩性质,因此将斑岩型化为跨岩浆型和火山岩型大类。在中国,虽然砂岩铅矿、含铜页岩型和煤层型铅锌矿床少见报道,但这类矿床应有所发育,多以伴生状态产出;锰质结核型

铅锌资源主要产于海底,在我国尚未开发利用,因此这些类型矿床尚缺少代表性矿床。

1.3 影响类型正确划分的关键因素

铅锌矿床的成因分类一直存在很大的争议,迄今为止,还是以多来源、多时代和多成因解释较为普遍,在强调一定层位的同时,往往难以确定控制成矿的关键地质事件。因此成因类型的确定存在两个关键问题需要解决:成矿属于何时?什么是主控因素?

铅锌矿床成矿时代测定始终是人们研究的热点问题,到目前为止仍未能找到真正解决的办法,因此在很大程度上制约了矿床成因类型的确定。成矿时代的不确定,制约了对成矿物质、成矿流体来源的探讨和矿床成因模式的建立。为此同位素地球化学家和矿床学家都进行了不懈的努力,虽然已有不少成熟的同位素年代学方法可以解决一部分矿床的成矿年龄(王登红等,2010,2014),特别是与岩浆作用有关的高一中温热液矿床的成矿年龄,但还有一些矿床的测年技术仍未得到有效的解决,如低温热液层控型铅锌矿床。这些类型矿床的测年问题制约了这些矿床的研究,导致这部分矿床的成因长期争论不休。如凡口、金顶、会泽、青城子、泗顶铅锌矿等,长期以来,一直存在同生与后生之争,如能解决矿床的形成时代问题,则矿床成因将会迎刃而解。

关于控矿主因的确定,同样存在许多不确定因素。①认识的不断深化,造成控矿认识和找矿方向发生变化。随着矿山勘探开发程度的不断变化,人们的认识有可能会发生翻天覆地的变化,如云南澜沧老厂铅锌矿床早期喷流沉积(SEDES)成因认识被普遍接纳,而近年来,随着钻孔深部厚大钼矿体的发现,打破了以往单纯喷流沉积成因认识,形成了石炭世喷流沉积成矿和始新世斑岩热液成矿同位叠加的新认识,丰富了地质找矿理论。然而,这一新认识的获得对成因认识的确定也带来了新的争议:矿床是两套成矿作用产物,还是同一成矿作用下两类不同表现形式?再如,辽宁青城子铅锌矿、广东凡口铅锌矿一直以来被认为是碳酸盐岩型(MVT)铅锌矿床的典型代表,然而由于青城子钻孔深部岩体的发现和凡口矿区辉绿岩脉的大量存在,矿床的成因认识引起了较大争议。②地质特征的独特性,造成控矿主因认识不清。云南会泽铅锌矿床目前有近 10 多种成因认识,主要集中在碳酸盐岩型(MVT)、碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDEX)和岩浆热液型 3 种不同认识上,最近又出现与火成碳酸岩活动有关的认识。因此一些学者建议将其独立出来建立新的成矿

模式,如“会泽型”(黄智龙等,2004;韩润生等,2006,2012)。究其原因,是会泽矿床的地质特征具有独特性:既有断裂控矿特征又有层控特征,矿石品位异常高(平均超过 20%),矿区周围有峨眉山玄武岩发育,矿体受后期构造运动破坏明显,原始矿石构造被破坏等等。云南金顶铅锌矿床成因认识也存在很大争议,主要有同生沉积-后期改造矿床(施加辛等,1983;白嘉芬等,1985;吴淦国和吴习东,1989;张乾,1991);后生热液或后生热液-层控矿床(覃功炯,1991;温春齐等,1995;薛春纪等,2002;牟传龙和余谦,2004);喷流沉积(SEDES)矿床(赵兴元,1989;王京彬等,1990;王江海和常向阳,1993)等观点,此外,还存在中低温非岩浆热液矿床和角砾岩底辟-侵位矿床等认识(王安建等,2009)。金顶作为我国最大铅锌矿床也具有独特特征,如容矿围岩的特殊性(砂砾岩),大型推覆-滑动构造的存在,盐丘和盐类矿物(矿床)与金属硫化物矿物(矿床)共生,有机质广泛发育,金属硫化物矿床的“层、相、位”控矿与油气矿床的“生、储、盖”形成条件等等。从而导致构造演化及控矿作用、容矿围岩的形成、成矿物质来源和成矿机制,特别是硫质来源的激烈争论,引发矿床成因不休的争论。因此加强矿床成矿主因认识的研究,将是准确认识矿床类型的关键要素之一。

2 中国铅锌矿时空分布规律

2.1 空间分布规律

我国铅锌矿床分布地区广,但大、中型规模矿床和主要类型矿床相对集中。目前已有 29 个省、区、市发现并勘查了铅锌矿床,主要集中于云南、内蒙古、甘肃、广东、湖南、四川、广西等省(区)(图 1)。近年来随着地质调查项目的深入开展,西藏、青海、新疆等西部三省铅锌矿的资源储量不断攀升,西部已成为我国新的铅锌资源基地。

从成矿类型分析,岩浆型、沉积型、火山型、热卤水型、风化淋滤型铅锌矿床均有发育,但类型的产出又与其所处的构造环境密切相关。碳酸盐岩型矿床通常分布广泛,局限的沉积盆地较之开放的沉积盆地更有利于矿床的形成,因此规模巨大的碳酸盐岩型矿床或矿集区多产于稳定陆块边缘,少数分布于裂谷环境。在我国,这类矿床主要产于上扬子地台周缘、塔里木盆地周缘和华北地台周缘地区,早期发现该类型铅锌矿的地区有扬子地台周缘川滇黔地区、滇西兰坪盆地、粤西-桂东的凡口-泗顶地区,近年来又新发现了三江北段玉树-沱沱河地区、塔里木

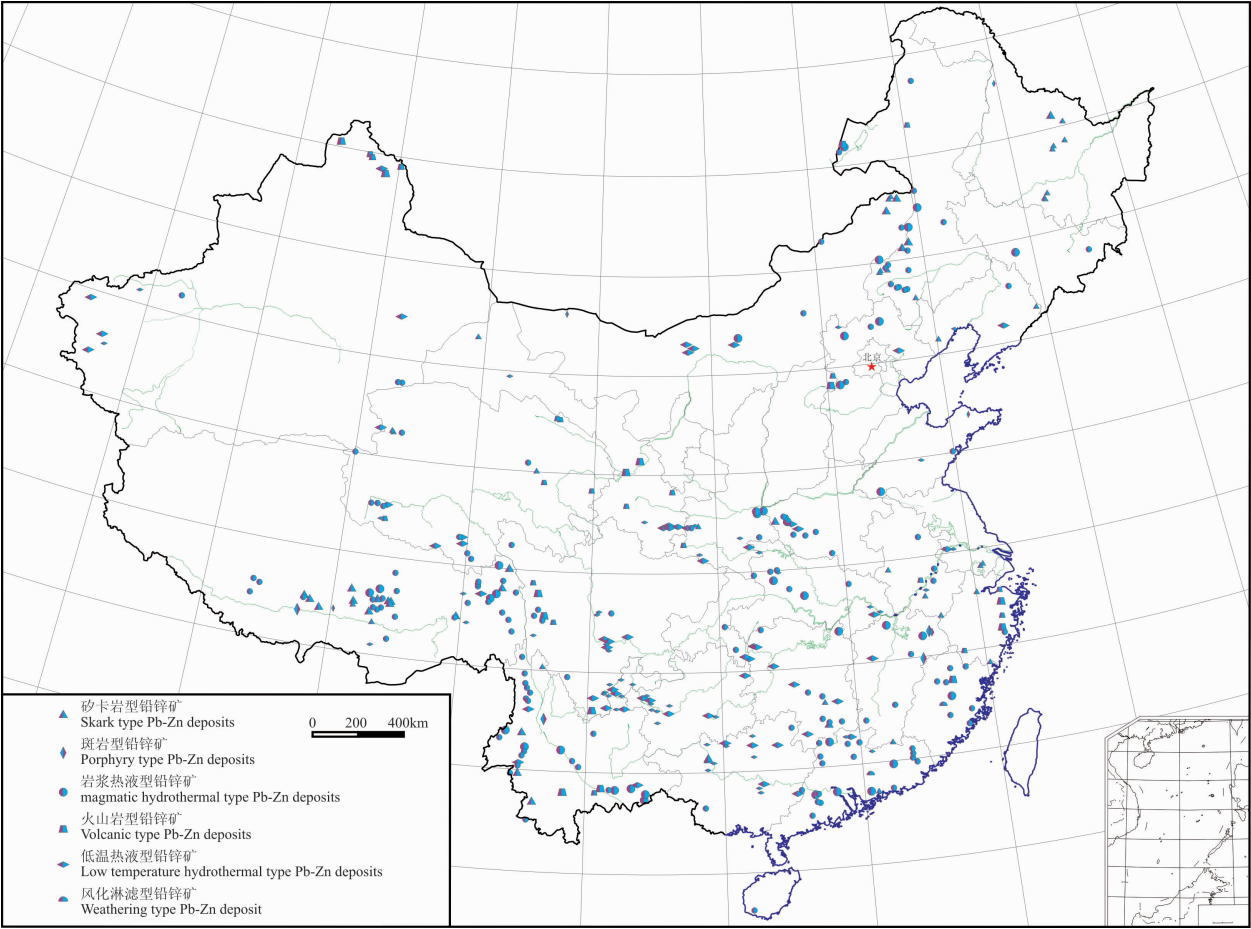


图 1 中国典型铅锌矿床分布图

Fig. 1 Map of distribution for Pb-Zn deposits in China

盆地西缘乌拉根-塔木-古兰卡地区、扬子地台北缘马元-白玉地区和扬子地台东南缘鄂西-湘西地区等多个矿集区,这些矿集区多处于稳定地台边缘。碳酸盐岩-细碎屑岩(SEDES)型铅锌矿床,多数产于造山带中的深海沉积环境中,而且发育的矿床往往规模较大。我国主要分布于内蒙古狼山地区和西秦岭地区,狼山地区主要发育有炭窑口、霍各乞、东升庙、甲生盘等矿床,西秦岭西成-凤太铅锌矿带中发育有厂坝、李家沟、毕家山、邓家山、洛坝、银洞梁、峰崖、手搬崖、铅硐山、八方山、银母寺等一批铅锌矿床。海相火山岩(VMS)型铅锌矿床是海底火山活动的产物,主要发育于洋中脊的拉张环境和大陆边缘活动带,在我国主要发育于西部地区的古生代—三叠纪祁连-昆仑大陆边缘造山带环境,代表性矿床有白银厂、小铁山等。矽卡岩型、斑岩型、各种围岩脉型和陆相火山型铅锌矿床大多数分布于我国东南沿海和西南青藏高原及周边,是中、新生代岩浆活动的产物,在很大程度上是受中、新生代地壳运动的影响而成矿的。矽卡岩型铅锌矿床有两种不同的亚类,一

种是产于陆相红层中的铅锌矿,多数局限于中新生代断陷盆地的河流相、三角洲相地层中,含矿岩系主要是砾岩、砂岩、长石砂岩,也有泥灰岩、泥岩等陆相沉积物,并常出现石膏、天青石夹层,矿床主要分布在中国西部地区,如滇西金顶超大型砂砾岩型铅锌矿床;另一种产于滨海相或海陆交互相砂-砾岩中的铅锌矿床,目前我国发现得较少,而且规模也不大。风化淋滤型铅锌矿床多为原生硫化物矿床在地表风化作用下的产物,多发育于我国南方低纬度亚热带、热带地区,如云南个旧、会泽、贵州樟子厂、猫猫厂等矿床。

从构造环境分析,环太平洋、古特提斯、古亚洲成矿域铅锌矿床均十分发育,但三大成矿域地质背景复杂、各具特色,分别拥有其特征的矿床类型。

古亚洲成矿域,由于古—中元古代和古生代沉积盆地的存在,有利于碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES)矿床的形成,如狼山-渣尔泰山成矿带、秦岭成矿带;古生代天山-兴蒙造山带和古生代、中生代秦岭-祁连山-昆仑山造山带的活动,有利于岩浆

型、火山型矿床的形成,如柴北缘海相火山岩型成矿带、东天山碳酸盐岩型(MVT)成矿带、大兴安岭矽卡岩型、各类围岩脉型成矿带。狼山-渣尔泰山成矿带分为狼山成矿带和渣尔泰山成矿带。狼山成矿带在狼山背斜南北两侧,产有霍各乞、炭窑口、东升庙等细碎屑岩容矿的 SEDEX 型铅锌矿床;渣尔泰成矿带处于内蒙古地轴边缘的坳陷带中,产有甲生盘等矿床。狼山-渣尔泰山成矿带内因褶皱长期隆升和剥蚀为坳陷带提供了丰富的沉积和成矿物质,成岩后的多期构造运动、变质作用,促进了矿化不断改造和富集。秦岭成矿带位于扬子和华北地台之间,自寒武纪以来一直处于大陆边缘的海相环境,三叠纪末印支期造山事件形成了现今的成矿带,秦岭铅锌成矿带为一近东西向成矿带,自西向东有西成矿田(西和-成县)、凤太矿田(凤县-太白)和柞山矿田(柞水-山阳)(王集磊等,1996)。带内的铅锌矿床形成于泥盆系含碳酸盐岩的碎屑岩沉积建造的古陆的边缘海环境,含矿层位有中泥盆统安家岔组和西汉水组或古道岭组、红星铺组,容矿岩系为碳酸盐-细碎屑岩建造,主要矿体产于碳酸盐与变质岩或硅质岩的界线附近,产出有厂坝、邓家山、向阳山、毕家山、洛坝、李家沟、八方山-二里河、铅洞山、银洞子等一系列大型、超大型碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDEX)和碳酸盐岩、碎屑岩中热液脉型铅锌矿床。柴达木北缘成矿带内加里东晚期花岗岩类及少量闪长岩较为发育,在加里东坳陷带发育有奥陶纪滩间山群细碧角斑岩系,与之有关的铅锌矿床以锡铁山大型矿床最为醒目,在其西北,沿绿梁山-塞什腾山一线,断续分布着双口山铅矿床、青龙滩硫铜矿床;在其东侧,至宗务隆山的东端,则出现有蓄积山、哲合龙、大尼等铅矿床(点)。大兴安岭成矿带是海西期天山-兴蒙造山带的一部分,后期由于受太平洋构造运动的影响,演化为滨太平洋大陆边缘构造带,发育了强烈火山-深成岩浆活动,伴有铅锌多金属成矿作用。铅锌矿床集中分布于大兴安岭中段,产出有白音诺、浩布高、孟恩套勒盖、长春岭、朝不楞等矿床(赵一鸣等,1997)。与成矿关系密切的花岗岩为燕山期中酸性浅成-超浅成火山侵入杂岩,如黑云母二长花岗岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、英安斑岩等,容矿围岩多为二叠系黄岗梁组、大石寨组、西林组的大理岩、碎屑岩,大理岩中产出矽卡岩型矿床,砂页岩内则产出热液型矿床。东天山成矿带内铅锌矿床集中分布于觉罗塔格成矿带西段和卡瓦布拉克-星星峡成矿带的中段,呈近 EW 向展布(陈毓川等,

2008)。区内探明铅锌资源储量超过 500×10^4 t,已经发现的 19 处(包括伴生矿点),其中超大型矿床 1 处(彩霞山),中型矿床 2 处(宏源维权、吉源银铅锌多金属矿),小型矿床 3 处,主要分布于星星峡地体,受老地块南北缘深大断裂控制,主要容矿地层为长城系星星峡群、蓟县系卡瓦布拉克群,主要赋矿岩石为大理岩、白云质大理岩、灰岩等,少数产于千枚岩、片岩、片麻岩中。

特提斯-喜马拉雅成矿域,受到印支-燕山期特提斯洋多次开合的影响,在西南三江、班公湖-怒江、羌塘地块一线发育多期次、多旋回的构造、岩浆活动,因此岩浆型、火山型铅锌矿较为发育,形成多个成矿带,如义敦岛弧、昌宁-孟连地区构成海相火山岩型成矿带、祁漫塔格地区形成矽卡岩-各类围岩脉型成矿带。新生代期间印度大陆向中国大陆俯冲,导致青藏高原的隆升,构造、岩浆活动发育,在冈底斯-念青唐古拉一带形成了矽卡岩型、斑岩型及各类围岩脉型铅锌多金属成矿带;在三江-喀喇昆仑造山带内,由于挤压走滑,有利于角砾岩带和海相火山岩的形成,相应地构成了砂砾岩沉积型和海相火山岩型铅锌矿带,如兰坪-沱沱河-玉树砂砾岩型成矿带、碳酸盐岩型成矿带和昌都各类围岩脉型成矿带。义敦岛弧成矿带位于金沙江断裂与甘孜-理塘断裂之间的印支造山带,伴随区内流纹岩-玄武岩建造发育,形成了呷村、嘎依穷等海相火山岩型铅锌多金属矿床,燕山期岩浆侵入活动形成了一些小型酸性-中酸性斑岩体,伴有夏塞、红牛-红山等斑岩型-矽卡岩型铜铅锌多金属矿床形成,燕山-喜马拉雅早期发生大规模花岗岩类侵入活动,伴有青刀等矽卡岩型和热液型铅锌锡多金属矿床的形成。昌宁-澜沧成矿带位于晚古生代海盆地区,区内海西期中一基性火山喷发作用强烈,并伴有褶皱、断裂等强烈的构造运动 and 大规模花岗岩类侵入,花岗岩类侵入活动一直延续到燕山期,因此在区内形成了以老厂为代表的海相火山岩型和矽卡岩型叠加的铅锌矿床。祁漫塔格成矿带内主要发育有晚三叠世陆相火山岩,产出有祁漫塔格-都兰、伯喀里克-香日德、满丈岗、智益-铜峪沟等矿区,产出有肯德可克、野马泉-四角羊沟、它温察汗、扎麻山-那日马拉黑、什多龙、卡尔却卡、索拉沟海、坑德弄舍、赛什塘等铅锌矿床。冈底斯-念青唐古拉成矿带是近年来新发现的铅锌矿带,带内先后发现了亚桂拉-龙玛拉铜铅锌多金属矿区、驱龙-甲玛斑岩-矽卡岩型铜铅锌金银多金属矿区、昂张-拉屋铜铅锌多金属矿区、扎雪-金达铜铅

锌多金属矿区、都朗铜铅锌多金属矿区和尤卡朗-同德铅银多金属矿区,产出有亚桂拉、蒙亚啊、尤卡朗、赵发涌、拉屋、洞中拉等一批铅锌矿床。受印度板块向中国大陆的俯冲影响,成矿带内的铅锌矿区多具有东西向带状分布特征。兰坪-玉树-沱沱河成矿带位于澜沧江断裂和金沙江断裂之间的中-新生代拗陷带,在晚三叠世—第三纪沉积了巨厚的含膏盐的红色岩系,燕山—喜马拉雅期构造运动引起地层褶皱和断裂,产生大规模走滑、推覆,伴有金顶、莫海拉亨、东莫扎抓、然者涌、众根涌、多才玛、宗陇巴等砂砾岩型、碳酸盐岩型(MVT)铅锌矿床的形成。昌都成矿带位于特提斯-喜马拉雅巨型构造带之三江特提斯构造域北段,澜沧江大断裂和怒江构造带的中部,构造单元上属左贡-施甸陆块类乌齐-耿马被动大陆边缘褶冲带的北段(刘增乾等,1993),发育一系列的大型走滑断层、逆冲断层和复式背向斜,并伴生一系列印支期—燕山期—喜马拉雅期的岩浆弧带,因此控制了成矿带内多金属矿床(点)的形成和分布,形成了一个以铅、锌、银、汞、砷等矿种为主的资源富集区,目前发现铅锌矿 17 处,包括拉诺玛、织翁尕、月穷弄、南越拉、赵发涌、滨达、干中雄、优日、都日铅锌多金属矿床及包果卡、西岗、勃罗雄、乌嘎、所出、测松等铅锌多金属矿点。

环太平洋成矿域,由于太平洋板块的俯冲作用,在中国东部发育大面积的燕山期花岗岩浆活动,与此相对应形成了一系列与岩浆活动有关的矽卡岩型、斑岩型、各类围岩脉型铅锌成矿带,如东南沿海成矿带、南岭成矿带、长江中下游成矿带,同时因伴有频繁的火山活动,在东南沿海成矿带内还形成了陆相火山岩型铅锌矿床。东南沿海成矿带位于我国大陆东南边缘,是太平洋板块活动影响最为强烈的地区,受板块俯冲影响,区内构造-岩浆-火山活动较为强烈,因此多形成与岩浆、火山作用有关的矿产。在东南沿海北段浙东地区主要形成了以陆相火山岩为主的铅锌(银)矿床,如五部、大岭口、治岭头、上垟等矿床;在中段闽东地区主要形成矽卡岩型和陆相火山岩型铁铜金铅锌矿床,如银坑、霞春、峰岩、八外洋、后坪、上姚等矿床;在南段粤东地区则以钨锡铅锌为主,矿床类型以岩浆热液脉型矿床为主,如厚婆坳、高枧等矿床。南岭地区是我国大陆主要的地块之一,形成时间早,沉积历史长,区内发育有巨厚的沉积地层,加之加里东、印支、燕山各期构造变动强烈,导致隆起、拗陷相间出现,深大断裂纵横交错,岩浆活动多期叠加,多形成复式岩体。这使得南岭

地区成为与岩浆岩型、低温热液型铅锌矿床发育的有利环境,在早古生代碳酸盐岩地层中,多发于有碳酸盐岩型(MVT)和矽卡岩型矿床,如凡口、泗顶、后江桥、白云铺、禾青、黄沙坪、佛子冲、康家湾、枫树板等矿床,在碎屑岩地层中,多发于有岩浆热液脉型矿床,如桃林、大宝山等矿床。长江中下游成矿带古生代至三叠纪为浅海相沉积拗陷带,沉积了海相碎屑岩和碳酸盐岩交互层,中生代为一系列断陷盆地,沉积着红色碎屑岩和陆相火山岩系。经燕山期构造-岩浆作用强烈改造,区内发育规模不等的侵入岩和火山岩系,伴之形成了斑岩-矽卡岩型-热液脉型铁铜铅锌矿化,以铁铜为主,铅锌次之。区内铅锌矿床多与铁铜伴生,重要的铅锌矿床集中在宁镇、铜陵-贵池、九江-阳新等地区,如栖霞山、大凹山、伏牛山、安基山、银山等铅锌矿床。

除活动大陆边缘多形成铅锌矿化集中区外,在稳定大陆边缘往往形成中低温热卤水型和沉积型铅锌矿床,如上扬子地台周缘、华北地台北缘、塔里木盆地西南缘、松辽盆地周缘均发育有碳酸盐岩型(MVT)、碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES)铅锌矿床,对于这些地区的铅锌矿床的产出和分布规律已有专文(芮宗瑶等,2004)或专著(吕志成等,2004;赵一鸣等,2004;戴自希等,2005)介绍,此不赘述。

虽然中国大多数类型的铅锌矿床分布多具有较为明显的构造专属性,但仍有一些类型矿床形成的构造背景不十分明确,例如,碳酸盐岩型(MVT)铅锌矿床,盆地流体运移是成矿的关键,但目前国内发现的该类型矿床又主要发育于盆地边缘,似乎与造山带存在某种特定关系;再如砂砾岩型铅锌矿床板块汇聚环境下的挤压-走滑环境(如三江、塔里木西北缘等)是寻找该类矿床的有利地段,但板块汇聚边界范围通常较广,到底什么样的次级构造具体控制砂砾岩型铅锌矿体就位?怎样才能找到新的砂砾岩型铅锌矿床?我国以前被认定的碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES)矿床,多发生后期变质、变形,导致人们对类型认定存在争议。这些均需在今后的研究中加以关注。

2.2 时间分布规律

铅锌矿床除在空间上集中于一定地区外,在时间上也集中于一定时代。我国铅锌矿床从太古宙、元古宙、古生代、中生代,一直到新生代均有形成,不同地质时期形成的铅锌矿床类型和规模各不相同。本次潜力评价工作对全国三千多个铅锌矿产地的成矿年代进行了统计(表 2),太古宙占 0.3%、元古宙

表 2 中国部分铅锌矿成矿年龄或与成矿有关岩体年龄统计

Table 2 The metallogenic age or the diagenetic age of magmatic rock related to Pb-Zn deposits in China

矿床名称	规模	测年矿物/岩石	测试方法	成矿年龄(Ma)	误差(Ma)	参考文献
三元沟铅锌矿	中型	蚀变绢云母	Ar-Ar	110	9	叶会寿等, 2010
铁炉坪银铅锌矿	中型	绢云母	Ar-Ar	135.3	2.4	高建京等, 2011
凡口铅锌矿	大型	闪锌矿流体包裹体	Ar-Ar	265.8	1	蒋映德等, 2006
冷水北沟铅锌矿	大型	石英	Ar-Ar	137.87	0.39	王长明, 2007
沙沟银铅锌矿	中型	铬云母	Ar-Ar	145.0	1.1	毛景文等, 2006
沙沟银铅锌矿	中型	绢云母	Ar-Ar	147.0	1.5	毛景文等, 2006
蒙恩陶勒盖银铅锌矿	中型	白云母	Ar-Ar	179.0	1.5	张炯飞等, 2003
白秧坪铜钴银矿	中型	石英流体包裹体	Ar-Ar	56.53	0.43	何明勤等, 2006
白秧坪铜钴银矿	中型	硅化石英	Ar-Ar	61.13	0.19	薛春纪等, 2003
富湾银铅锌矿	大型	石英	Ar-Ar	64.3	0.1	梁华英等, 2006
夏塞银铅锌矿	中型	矿石石英	Ar-Ar	73.47 75.95	0.33 0.76	应汉龙等, 2006
横江铅锌矿	大型	石英	Ar-Ar 快中子活化	39.06	0.16	王登红等, 2006
峰岩铅锌银矿床	大型	钾长石	Ar-Ar 快中子活化	89.385.4	1.08.9	吴淦国等, 2004
莫海拉亨铅锌矿	大型	闪锌矿、方铅矿	Rb-Sr	33.949	0.022	田世洪等, 2009
东莫扎抓铅锌矿	大型	闪锌矿、黄铁矿、方铅矿	Rb-Sr	35.015	0.034	田世洪等, 2009
拉么锌铜矿	大型	石英	Rb-Sr	98.6	6	李华芹等, 2008
拜仁达坝铅锌银矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	116		刘建明等, 2004
王坪西沟铅锌矿	中型	铅锌矿(四号矿体)	Rb-Sr	117	27	姚文明等, 2010
梅仙铅锌银矿	中型	花岗斑岩	Rb-Sr	127	6	丰成友等, 2007
甲乌拉铅锌银矿	大型	闪锌矿、黄铁矿	Rb-Sr	142.7	1.3	李铁刚等, 2014
水吉铅锌银矿	中型	闪长岩	Rb-Sr	154	11	丰成友等, 2007
支家地多金属矿	小型	石英斑岩	Rb-Sr	156.03		肖秀梅, 1992
蔡家坪铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	178	36	王登红等, 2014
会泽铅锌矿	大型	浅色闪锌矿	Rb-Sr	196.3	1.8	本文
呷村铅锌矿	大型	全岩	Rb-Sr	204	14	李朝阳等, 2002
二里河铅锌矿	小型	闪锌矿	Rb-Sr	227	7.3	胡乔青等, 2012
南沙沟铅锌矿	中型	石英、闪锌矿	Rb-Sr	260	7	侯满堂等, 2006
大梁子铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	366.3	7.7	张长青等, 2008
凹子岗铅锌矿	中型	闪锌矿硫化物相	Rb-Sr	409	26	王登红等, 2014
凤凰茶田铅锌矿	矿点	闪锌矿全矿物	Rb-Sr	462	28	王登红等, 2014
凤凰茶田铅锌矿	矿点	闪锌矿硫化物相	Rb-Sr	476	50	王登红等, 2014
凤凰茶田铅锌矿	矿点	闪锌矿硫化物 +流体+硫化物相	Rb-Sr	486	5.8	王登红等, 2014
马元铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	486	12	李厚民等, 2007
冰洞山铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	509	18	王登红等, 2014
核桃坪铅锌矿	小型	闪锌矿、黄铜矿等 硫化物和石英	Rb-Sr	116.1	3.9	陶琰等, 2010
金厂河铜铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	118.9	5.9	黄华等, 2014
金厂河铜铅锌矿	中型	硫化物(闪锌矿+ 方铅矿+黄铜矿)+石英	Rb-Sr	118.9	1.4	黄华等, 2014
冷水坑银铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	126.9	7.1	徐贻赣等, 2013
佛子冲铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	134.7	3.5	罗俊华等, 2012
篁碧铅锌矿		闪锌矿	Rb-Sr	135.4	4.4	张家箐等, 2012
篁碧铅锌矿		闪锌矿硫化物	Rb-Sr	137.5	7.3	王登红等, 2014
篁碧铅锌矿		闪锌矿全矿物	Rb-Sr	137.5	5.2	王登红等, 2014
芦子园铅锌矿	中型	石英、钾长石	Rb-Sr	141.9	2.6	朱飞霖等, 2011
大宝山多金属矿	大型	石英流体包裹体	Rb-Sr	168.7	5.5	蔡锦辉和刘家齐, 1993
茶山银金多金属矿	中型	矿化石英	Rb-Sr	189	6	梁华英等, 2000
枞树板铅锌矿		绿泥石方解石	Rb-Sr	189.1 154.51	26.2	陈柏林等, 1999
天桥铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	191.9	6.9	Zhou et al. , 2013a
跑马铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	200.1	2.1	蔺志永等, 2010
乐红铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	200.9	8.3	张云新等, 2014

续表 2

矿床名称	规模	测年矿物/岩石	测试方法	成矿年龄(Ma)	误差(Ma)	参考文献
金沙厂铅锌矿	中型	萤石	Rb-Sr	201.1	6.2	Zhang et al. , 2014
会泽铅锌矿	大型	6 号矿体闪锌矿	Rb-Sr	223.5	3.96.4	李文博等, 2004a; Yin et al. , 2009
		10 号矿体闪锌矿		226.0		
会泽铅锌矿	大型	1 号矿体闪锌矿	Rb-Sr	225.9	1.1	黄智龙等, 2004
		6 号矿体闪锌矿		224.8	1.2	
		10 号矿体闪锌矿		226.0	6.9	
五星厂铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	223.9	3.3	武昱东, 私人通讯
杉树林铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	227.5	2.1	武昱东, 私人通讯
唐家铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	229.1	4.7	武昱东, 私人通讯
团宝山铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	230.3	3.3	武昱东, 私人通讯
宝贝沟铅锌矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	231.9	3.4	武昱东, 私人通讯
彩霞山铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	250~270		王登红等, 2010
凡口铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	255.3	6.1	王登红等, 2014
凡口铅锌矿	大型	6 号矿体闪锌矿	Rb-Sr	259.3	7.4	王登红等, 2014
霍什布拉克铅锌矿	中型	闪锌矿石	Rb-Sr	265	12	李华芹, 2004
广西老厂铅锌矿	大型	石英	Rb-Sr	265	5	陆孝赞等, 2004
可可塔勒铅锌矿	大型	铅锌矿石	Rb-Sr	274	19	李华芹, 2004
吴底厂铅锌银铜矿	中型	闪锌矿	Rb-Sr	28.93	0.62	王晓虎等, 2011
富隆厂铅锌铜银矿	小型	闪锌矿	Rb-Sr	28.99	0.13	王晓虎等, 2011
李子坪铅锌银矿	矿点	闪锌矿	Rb-Sr	29.013	0.037	王晓虎等, 2011
硫磺山铜多金属矿	矿点	石英	Rb-Sr	346	30	李华芹等, 2003
横江铅锌矿	小型	石英流体包裹体	Rb-Sr	35.0	1.2	王登红等, 2006
四川天宝山铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	362.2±1.2	1.2	武昱东, 私人通讯
西沟铅锌银矿	小型	片岩黑云母	Rb-Sr	366	10	祁进平等, 2009
半边街铅锌矿	大型	闪锌矿、黄铁矿、白云岩	Rb-Sr	378	140	陈国勇等, 2005
凹子岗铅锌矿	中型	闪锌矿全矿物+ 硫化物+流体相	Rb-Sr	428	14	王登红等, 2014
打狗洞铅锌矿		闪锌矿硫化物和包裹体	Rb-Sr	489.6	5.9	杜国民等, 2012
铜坑-长坡 92 号矿	大型	石英	Rb-Sr	93.4	7.9	蔡明海等, 2006
天堂铜铅锌矿	大型	闪锌矿	Rb-Sr	98.1	1.6	郑伟等, 2013
天堂铜铅锌矿	大型	闪锌矿、黄铁矿、方铅矿	Rb-Sr	98.2	1.3	郑伟等, 2013
大硐厂铅锌矿	中型	辉钼矿	Re-Os	118	2.4	董方渊等, 2005
南毛断铅锌矿		辉钼矿	Re-Os	137.7	2.7	李艳军等, 2011
朝不楞铁多金属矿	中型	辉钼矿	Re-Os	140.7	1.8	聂风军等, 2007
北岔沟门铅锌矿	中型	辉钼矿	Re-Os	152	3	毛德宝等, 2000
宝山铅锌银矿	矿点		Re-Os	160	2	路远发等, 2006
拉屋铜铅多金属矿	中型	磁黄铁矿	Re-Os	309	31	崔玉斌等, 2011
阿巴列克铅锌矿	小型	黄铜矿	Re-Os	331.59	4.13	张正伟等, 2011
大平掌铜铅锌矿	小型	辉钼矿	Re-Os	429	10	Lehmann et al. , 2013
治岭头金银铅锌矿	小型	辉钼矿	Re-Os	113.0	2.4	本文
黄沙坪铅锌矿	大型	辉钼矿	Re-Os	153.8	4.8	马丽艳, 2007
黄沙坪铅锌矿	大型	辉钼矿	Re-Os	154.8	1.9	姚建军等, 2007
黄沙坪铅锌矿	大型	辉钼矿	Re-Os	157.5	1.1	王登红等, 2010
				157.6	1.2	
				157.7	1.9	
黄沙坪铅锌矿	大型	辉钼矿	Re-Os	159.4	3.3	雷泽恒等, 2010
				157.5	2.4	
				157.6	2.3	
赤普铅锌矿	大型	沥青	Re-Os	165.7	9.9	吴越, 2013
亚贵拉铅锌钼多金属矿	大型	辉钼矿	Re-Os	58.7	8.5	唐菊兴等, 2009
金顶铅锌矿	大型	黄铁矿	Re-Os	72	4.4	薛春纪等, 2003
大湾钨钼矿	大型	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	137.59	0.95	成欢等, 2012
				136.98	1.26	
大厂锌铜矿体	大型	石榴子石	Sm-Nd	95	11	梁婷等, 2011
玉水铜铅多金属矿	中型	硫化物(黄铜、斑铜、辉铜)	Sm-Nd	189.7	4.8	刘家齐, 1997

续表 2

矿床名称	规模	测年矿物/岩石	测试方法	成矿年龄(Ma)	误差(Ma)	参考文献
狮子山铅锌矿(渔塘矿)	大型	方解石	Sm-Nd	273	52	王登红等, 2010
		闪锌矿	Sm-Nd	139	15	张家箐等, 2012
		茂租铅锌矿	Sm-Nd	196	13	Zhou et al., 2013b
大梁子铅锌矿	大型	方解石	Sm-Nd	204. 4	1. 2	吴越, 2013
会泽铅锌矿	大型	6 号矿体方解石	Sm-Nd	226	1538	黄智龙等, 2004;
		1 号矿体方解石		225		李文博等, 2004b
会泽铅锌矿	大型	麒麟厂方解石	Sm-Nd	227	14	刘锋等, 2005; 王登红等, 2010
凡口铅锌矿	大型	方解石	Sm-Nd	281	17	蔡锦辉等, 2013; 王登红等, 2014
可可塔勒铅锌矿	大型	闪锌矿	Sm-Nd	373	31	李华芹, 2004
都龙锡锌矿	大型	锡石 TIMS 法	TIMS	82. 0	9. 6	刘玉平等, 2007
蒙亚阿铅锌多金属矿	大型	石英	电子顺磁共振(ESR)	10. 0	1. 0	魏博等, 2010
				11. 7	1. 0	
				13. 6	1. 4	
斯弄多铅锌矿	大型	花岗斑岩	锆石 LA-ICP-MS	68. 20	0. 32	刘波等, 2010
锡铁山铅锌矿		玄武岩、安山岩	锆石 La-ICP-MS	514. 2	8. 5	史仁灯等, 2004
蒙亚阿铅锌多金属矿		花岗斑岩	锆石 La-ICP-MS	14. 3	0. 3	魏博等, 2010
敖包吐铅锌矿	大型	花岗闪长斑岩	锆石 La-ICP-MS	140. 0	1. 5	董旭周等, 2014
白音诺尔铅锌矿		花岗闪长岩	锆石 LA-ICP-MS	244. 5	0. 9	江思宏等, 2011
查个勒铅锌矿		花岗斑岩	锆石 La-ICP-MS	63. 18	0. 77	黄瀚青等, 2012
洞中拉铅锌矿	大型	花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	124. 4	1. 9	费光春等, 2010
蔡家坪-橙树坪铅锌矿	中型	流纹斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	137	2. 1	徐庆胜等, 2014
八外洋铅锌银矿	大型	花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	151	3	丰成友等, 2007
水口山铅锌矿	大型	花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	163	2	马丽艳等, 2006
莫若格钦铅锌矿	矿点	二长闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	312. 6	4. 1	云飞等, 2011
亚贵拉铅锌铜多金属矿	大型	石英斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	127. 8	1. 11. 31. 0	高一鸣等, 2009
				129. 3		
				128. 0		
翠宏山铅锌多金属矿	大型	二长花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb	192. 8	2. 53. 1	邵军等, 2011
				199. 0		
野马泉铁铜多金属矿	小型	正长花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb	204. 1	2. 6	刘云华等, 2006
都龙锡锌矿	大型	花岗斑岩花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb	86. 992. 9	1. 41. 9	刘玉平等, 2007
蔡家营铅锌矿	大型	成矿前石英斑岩	锆石 U-Pb	119. 1	7. 5	黄典豪, 1992
锡铁山铅锌矿	大型	中酸性火山岩	锆石 U-Pb	486	13	王惠初等, 2003
金腊铅锌银多金属矿区		角闪二长花岗岩	锆石 U-Pb	45	110. 78	陈永清等, 2009
		黑云母二长花岗岩		45		
		碱长花岗岩斑岩		43. 41		

占 2. 8%、早古生代占 23. 5%、晚古生代占 12. 8%、中生代占 56. 5%、新生代占 4. 2%，其中以中生代燕山期最为重要，燕山期形成的矿床数占总矿床数的 46. 5%。同时对全国 248 个大、中型铅锌矿床含矿地层时代进行了统计，太古宇占 0. 7%、元古宇占 19. 4%、早古生代占 18. 3%、晚古生代占 44. 0%、中生代占 16. 1%、新生代占 1. 5%。其中以泥盆纪最为突出，其矿床数占到总数的 21%。

全国范围内中、新生代岩浆型铅锌矿较为发育，规模矿床以古生代沉积型、热卤水型矿床尤为重要。太古宙矿床集中发育于华北地台，以海相火山岩型为主；元古宙矿床集中分布在华北和西北地区，以碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES)矿床为主；古生代矿床

主要分布于中西部，东部地区较少发育，以海相火山岩型、碳酸盐岩型(MVT)矿床为主；中生代矿床以发育于中国东部为特色，西北地区很少发育，矽卡岩型-各类围岩脉型、碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES型)、碳酸盐岩型(MVT)矿床均有发育；新生代矿床主要发育于西南地区，尤其是冈底斯和西南三江地区，以矽卡岩型-各类围岩脉型矿床为主(图 2)。

太古宙地体高级变质斜长角闪片麻岩中，属于受变质的海相火山岩型矿床和矽卡岩型，辽宁的红透山、大荒沟铜锌矿和山西交城西榆皮铅锌矿床。元古宙沿华北地台北缘中元古代渣尔泰群变质碎屑岩建造中产出，多属于受变质的碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES)，少量海相火山岩型；内蒙古霍各乞、炭

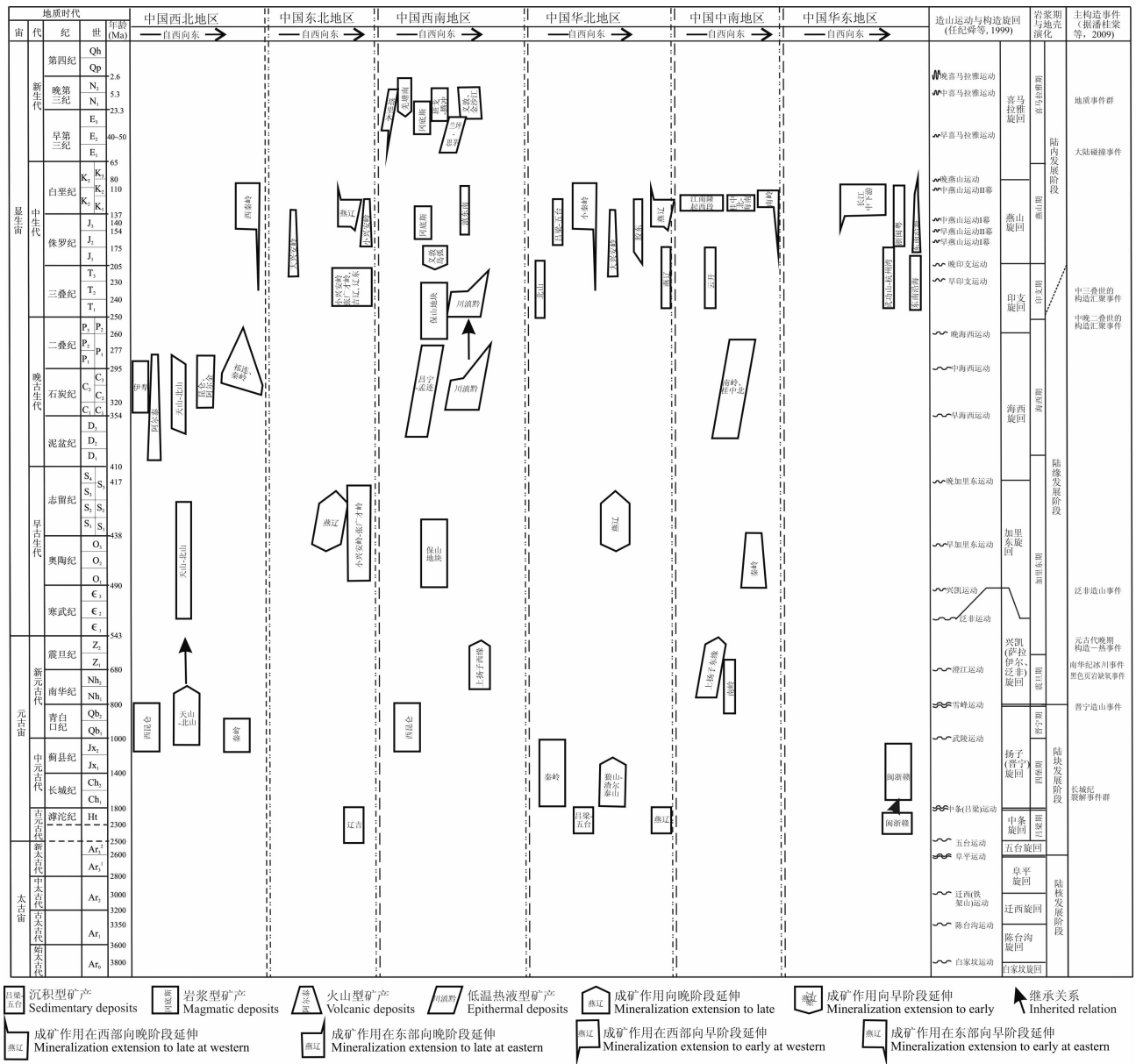


图 2 中国铅锌矿床与构造演化关系图

Fig. 2 The map of relationship between tectonic evolution and Pb-Zn deposits in China
岩浆期与地壳演化阶段的划分根据程裕洪等(1994);地质时代的绝对年龄参考全国地层委员会(2002)
Magmatic period and the crustal evolution based on Cheng (1994); absolute age
of geological age based on all China Commission of Stratigraphy (2002)

窑口、东升庙、甲生盘、河北北部高板河、新疆彩霞山碳酸盐岩-细碎屑岩型铅锌矿床形成于元古宙,河南刘山岩、浙江西裘等海相火山岩型铅锌矿床也形成于元古宙。早古生代以加里东期成矿作用最为突出,主要形成海相火山岩型铅锌矿床,代表性矿床为甘肃小铁山和白银厂、青海锡铁山等。晚古生代以海西期成矿作用为主,主要形成海相火山岩型、各类围岩中脉型和碳酸盐岩型(MVT)铅锌矿床,以西南三江和川滇黔地区最为突出,如川西的呷村、嘎依穷

和纳交系等,大多形成于海西期。滇西的勐兴、芦子园等矿区;青海的老藏沟、什多龙、赵卡隆和广西新华等也属于海西期;四川南部天宝山和大梁子等矿区可能属于海西—燕山期成矿。中生代有两期主要成矿作用,即印支期和燕山期。印支期受华南、华北汇聚和古特提斯洋盆闭合的影响,形成碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES型)、碳酸盐岩型(MVT)、矽卡岩型-各类围岩脉型、海相火山岩型等类型的铅锌矿床,它们集中分布在4个地区:①秦岭,如甘肃厂坝、

毕家山、李家沟、邓家山和陕西的铅洞山和银洞梁等;②小兴安岭,如黑龙江翠宏山、二股、小西林等矿床;③新疆阿尔泰,如可可塔勒等;④川滇黔地区,如荒田、会泽、乐红、天桥、五星厂等矿区亦于此时成矿。燕山期为我国最重要的铅锌成矿期,受中国东部岩浆活动影响显著,主要形成矽卡岩型、各类围岩脉型、斑岩型和陆相火山岩型铅锌矿床,如黑龙江弓棚子,吉林天宝山,辽宁八家子,河北蔡家营,北京银冶岭,内蒙古白音诺、浩布高、三河、小营子和甲乌拉,河南曲里,江苏栖霞山、大凹山、遇里,浙江五部,江西七宝山,湖南水口山、黄沙坪、桃林、枫树板,广西大厂、佛子冲,广东凡口、大宝山等。此外中国西部局部地区也形成与岩浆作用有关的燕山期矿床,如云南的个旧、都龙、白牛厂,西藏亚贵拉、拉诺玛、赵发涌等。喜马拉雅期成矿主要受印度板块向中国大陆俯冲造山的影响,形成了冈底斯、三江地区、喀喇昆仑-唐古拉等铅锌矿床集中区,矿床类型以砂砾岩型和斑岩-矽卡岩型为主,代表性矿床为西藏干中雄、甲玛、勒青拉、洞中松多、云南金顶、白牛厂、青海孔莫陇、宗陇巴、东莫扎抓、莫海拉亨、新疆乌拉根等矿床。

2.3 构造演化与铅锌成矿

中国大陆随着地质时代变新,地壳和岩石圈逐渐分化,矿床亦由简单到复杂,其不但表现为矿种由少到多,而且表现为矿床类型由相对简单到复杂多样,矿种的共生组合演化亦有这种趋势。

太古宙由于陆壳较薄且未很好固结,在陆核边部发育十分强烈的海底基性火山喷发和陆源杂砂岩。原始大气圈中含氧量很小,形成了新太古代红透山式铜锌矿床。新太古代-古元古代原始陆核开始解体,Pb 局部富集形成铅矿床,如西榆皮铅矿床。

进入中元古代,地球圈层构造逐步形成,大气圈和水圈逐步富氧,成矿作用发生了变化,在海底碳酸盐岩-细碎屑岩界面附近形成了碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES 型)铅锌矿床,如内蒙古狼山-渣尔泰山、华北地台北缘燕辽成矿带(张乾,1993)。

自震旦纪直到中三叠世,在我国南方的广大范围内沉积了巨厚的碳酸盐岩地层。碳酸盐沉积持续了 500 Ma,我国有许多铅锌矿床赋存在这一巨大旋回的碳酸盐建造中(如凡口、会泽、花垣、董家河、栖霞山、彩霞山、霍什布拉克等矿床),且几乎其中的每一个地质时代地层都有矿床分布,其中,泥盆纪和石炭纪地层中的碳酸盐岩型(MVT)矿床分布更多一些,南到粤北,西到新疆哈什一带均有分布。同一旋

回的碳酸盐建造在北方和东北地区则不发育,因而碳酸盐岩型(MVT)铅锌矿床在北方分布较局限。

从侏罗纪开始,我国的铅锌成矿在类型上有了很大变化。碳酸盐岩型(MVT)、海相火山岩型(VMS)和碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES 型)矿床随着海水退出大陆而基本消失。代之而起的是与中生代岩浆活动密切相关的矽卡岩型、斑岩型、各种围岩脉型、陆相火山岩型与陆相砂砾岩型铅锌矿床。中生代时,我国东部地区地壳运动频繁而剧烈,表现为多期次、大面积的花岗岩类的侵入及火山活动和各种形式的构造变形(断裂、褶皱、破碎带的发育等),这给铅锌成矿作用带来了“机遇”,各种围岩脉型、矽卡岩型、斑岩型和陆相火山岩型矿床纷纷形成。虽然有个别矿床产于加里东期花岗岩体内,但铅锌成矿却在中新世代完成,如广西新华和张公岭矿床(《中国矿床》编委会,1989)。

新生代以来,伴随青藏高原隆起,在西藏冈底斯和西南三江地区广泛发育构造、岩浆活动和大型挤压-走滑构造,形成了冈底斯、三江地区、喀喇昆仑-唐古拉等以砂砾岩型和斑岩-矽卡岩型为主的铅锌矿床集中区。

3 铅锌找矿新进展及今后工作部署建议

3.1 找矿进展

近年来我国铅锌勘查工作成果显著,不仅归功于 2002 年以来矿业市场的复苏,导致大量商业资金投入市场,更应取决于我国地质勘查部门对基础性地质勘查工作国有资金投入的加大。1999 年实施国土资源大调查以来,铅锌矿产资源调查评价取得重要成果。在我国一些重要成矿区(带)如西南三江、西秦岭、豫西南、闽中等,发现了一大批大中型矿产地。在原有的一些重要勘查区内,找矿取得突破性进展,获得了一批具有重要意义的资源量,如甘肃代家庄、陕西马元-白玉、河南湍源、福建八外洋、云南芦子园、安徽姚家岭等;在一些新的远景区,如湘西-鄂西-桂北、青海祁漫塔格、沱沱河、四川石棉-金阳、新疆东天山等发现具有重要意义的矿床或找矿线索。同时由于危机矿山项目的实施,又先后在湖南黄沙坪、广西佛子冲、铜坑、山西支家地、江西银山、辽宁红透山、云南勐兴、澜沧老厂等老矿山的深部和边部取得了显著成效。目前我国除了地质大调查项目、地勘基金项目、危机矿山项目以外,随着矿业开发的市场化,商业性勘查投资也正在不断注入

矿业勘查市场。在商业性勘查资金投入的支撑下,一批新的矿山被发现,例如利比亚、卧力吐等,另外还有一些老矿山也不断取得新的突破,如乌拉根铅锌矿床。2007 年全国发现铅锌矿产地 92 处(大型 2 处、中型 20 处、小型 70 处),完成阶段性勘查的矿产地 167 处(预查 5 处、普查 108 处、详查 53 处、勘探 1 处)^①。2008 年全国新发现铅锌矿产地 62 处(大型 1 处、中型 7 处、小型 54 处),完成阶段性勘查的矿产地 159 处(预查 5 处、普查 110 处、详查 41 处、勘探 3 处)^②。“十一五”期间,国家加大了对 16 个重要成矿区带的公益性地质调查投入、实施中央地质勘查基金和危机矿山接替资源找矿,拉动和促进商业性矿产勘查工作的蓬勃发展,使得矿产资源调查评价和勘查工作出现新的重大突破。预期“十二五”期间新增铅锌资源储量将超过 15000×10^4 t,并可能形成冈底斯、昆仑、三江北段、西天山、念青唐古拉山、闽中、鄂西—湘西、沱沱河、豫西南、东天山、地区、织金—纳雍、大兴安岭中南段、塔里木西缘等一批可供国家规划和建设的大型铅锌资源基地,铅锌矿产供应紧张的局面有望得以一定程度的缓解。

3.2 找矿部署建议

我国铅锌矿资源虽然比较丰富,但也面临着严峻的形势。为缓解我国现代化建设过程中的铅锌资源供需矛盾,需要做到放眼国外,立足国内,以科技创新为突破口,加强成矿理论和找矿技术研究,引领地质找矿不断取得新突破,提升资源保障程度。

依靠国内外两种资源,通过不断壮大自我,逐渐走出国门,占领国外市场,加强国内、外两种资源的联合利用。成矿理论创新是一个长期孕育过程,只有保证科学家在某一方向、地域和矿种长期稳定研究,才能产出有震动性成果或原始创新性成果。通过不断技术创新,突破选冶技术资源开发约束,将大大提高资源利用率。加强铅锌矿产资源综合利用,是我国铅锌工业实现可持续发展面临的重大问题,特别是伴生元素的回收利用,将成为企业发展新的增长点。

4 结论

我国铅锌矿床虽资源丰富,但探采比逐渐下降,找矿压力与日俱增。

将地质作用过程作为一级分类要素、含矿岩系作为二级分类要素,将中国铅锌矿床划分为岩浆型、火山型、沉积型、热卤水型、风化淋滤型 5 类 13 亚类。

全国三大成矿域铅锌矿床均较发育,且以造山带环境最为有利,古亚洲成矿域主要形成碳酸盐岩-细碎屑岩型、海相火山岩型、矽卡岩型-各类围岩脉型铅锌矿床;特提斯-喜马拉雅成矿域主要形成矽卡岩型-热液脉型、海相火山岩型和砂砾岩型铅锌矿床;环太平洋成矿域主要形成矽卡岩型、斑岩型、各类围岩脉型、陆相火山岩型铅锌矿床。

不同地质时期形成的铅锌矿床类型和规模各不相同,其中以中生代燕山期最为重要。太古代以海相火山岩型为主,元古宙以碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES)为主,古生代以海相火山岩型、碳酸盐岩型(MVT)为主,中生代以矽卡岩型-各类围岩脉型、碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES 型)、碳酸盐岩型(MVT)为主,新生代以矽卡岩型-各类围岩脉型为主。就矿床储量而言,碳酸盐岩-细碎屑岩型(SEDES 型)、碳酸盐岩型(MVT)、砂砾岩型以分布广、规模大为特色,是今后找矿勘查的主攻类型。

致谢:谨以此文祝贺我国著名矿床学家陈毓川院士 80 华诞,向陈院士表达崇高的敬意!感谢审稿人对本文提出的建设性修改意见。

注 释

- ① 中国地质科学院矿产资源研究所. 2013. 全国铅锌矿成矿规律研究汇总成果报告. 1~984.
- ② 国土资源部. 2008. 2007 年地质勘查成果分析报告. 1~117.
- ③ 国土资源部. 2009. 2008 年全国地质勘查成果通报及分析报告. 1~83.

参 考 文 献

- 《中国矿床》编委会. 1989. 中国矿床(上册). 北京:地质出版社, 116~204.
- 《中国铅锌矿山》编委会. 1993. 中国铅锌矿山. 北京:冶金工业出版社, 1~506.
- 白嘉芬, 王长怀, 荣荣仙. 1985. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探. 矿床地质, 4(1): 1~10.
- 蔡锦辉, 刘家齐. 1993. 粤北大宝山多金属矿床矿物包裹体特征研究及应用. 矿物岩石, 13(1): 33~40.
- 蔡锦辉, 韦昌山, 陈尚周, 于新业, 罗俊华. 2013. 广东凡口铅锌矿床方解石钐-钕同位素年龄. 矿物学报, 33(增): 897~898.
- 蔡明海, 梁婷, 韦可利, 黄惠明, 刘国庆. 2006. 大厂锡多金属矿田铜坑-长坡 92 号矿体 Rb-Sr 测年及其地质意义. 华南地质与矿产, 25(2): 31~36.
- 长春地质学院. 1961. 矿床工业类型(上册): 金属矿床. 北京:中国工业出版社, 1~194.
- 陈柏林, 李玉生. 1999. 枫树板铅锌矿床地球化学特征及成因探讨. 矿产与地质, 13(4): 230~234.
- 陈国勇, 安琦, 范玉梅. 2005. 黔东南地区铅锌矿地质特征及成矿作用分析. 贵州地质, 22(4): 252~259.

陈喜峰, 彭润民. 2007. 铅锌矿床类型划分评析. 化工矿产地质, 29 (4): 209~214.

陈永清, 黄静宁, Xiaoming, Zhai, 卢映祥, 程志中, 李建荣. 2009. 中缅甸邻区金腊 Pb-Zn-Ag 多金属矿田花岗岩锆石 U-Pb 定年与地球化学特征. 地学前缘, 16 (1): 344~362.

陈毓川, 刘德权, 唐延龄, 等. 2008. 中国天山矿产及成矿体系. 北京: 地质出版社, 1~1063.

陈毓川, 王登红, 李厚民, 等. 2010a. 重要矿产预测类型划分方案. 北京: 地质出版社, 1~222.

陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 等. 2010b. 重要矿产和区域成矿规律研究技术要求. 北京: 地质出版社, 1~179.

程裕洪主编. 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 517.

成欢. 2012. 河北涞源大湾钼矿成矿类型特征及找矿标志. 长安大学硕士学位论文, 88.

崔玉斌, 赵元艺, 屈文俊, 刘伟, 叶荣, 刘妍. 2011. 西藏当雄地区拉屋矿床磁黄铁矿 Re-Os 同位素测年和成矿物质来源示踪. 地质通报, 31(8): 1283~1293.

戴自希, 盛继福, 白治, 等. 2005. 世界铅锌资源的分布与潜力. 北京: 地震出版社, 1~387.

董方浏, 侯增谦, 高永丰, 曾普胜, 蒋成兴, 杜安道. 2005. 滇西腾冲大铜厂铜-铅-锌矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素定年. 矿床地质, 24 (6): 663~668.

董旭舟, 周振华, 王润和, 李进文, 何妹琚. 2014. 内蒙古古包吐铅锌矿床花岗岩类年代学及其地球化学特征. 矿床地质, 33(2): 323~338.

杜国民, 蔡红, 梅玉萍. 2012. 硫化物矿床中闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年方法研究——以湘西新晃打狗洞铅锌矿床为例. 华南地质与矿产, 28(2): 175~180.

费光春, 温春齐, 王成松, 周雄, 吴鹏宇, 温泉, 周玉. 2010. 西藏墨竹工卡县洞中拉铅锌矿床花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年. 中国地质, 37(2): 470~476.

丰成友, 丰耀东, 张德全, 余宏全, 李大新, 李进文, 董英君. 2007. 闽中梅仙式铅锌银矿床矿质来源的硫、铅同位素示踪及成矿时代. 地质学报, 81(7): 906~916.

高建京, 毛景文, 陈懋弘, 叶会寿, 张继军, 李永峰. 2011. 豫西铁炉坪银铅矿床脉脉构造解析及近矿蚀变岩绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄测定. 地质学报, 85 (7): 1172~1187.

高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 杜欣, 李新法, 高明, 蔡志超. 2009. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌钼多金属矿床石英斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 地质学报, 83 (10): 1436~1444.

郭洪中. 1994. 铅锌矿床的类型划分及特征. 地质地球化学, (6): 4~8.

郭文魁, 张玉华. 1960. 1: 3000000 中国铅锌成矿规律略图简要说明. 地质论评, 20(1): 17~31.

韩润生, 陈进, 黄智龙, 等. 2006. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测: 以云南会泽超大型铅锌(银、锗)矿床为例. 北京: 科学出版社, 1~185.

韩润生, 胡煜昭, 王学琨, 等. 2012. 滇东北富锗银铅锌多金属矿集区矿床模型. 地质学报, 86: 280~294.

何明勤, 刘家军, 李朝阳, 李志明, 刘玉平, 杨爱平, 桑海清. 2006. 云南兰坪白秧坪铜钴多金属矿集区矿石中石英的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄. 地质科学, 41(4): 688~693.

侯满堂, 唐永忠, 王党国. 2006. 旬阳地区志留系铅锌矿成矿时代探讨. 陕西地质, 24 (2): 1~7.

胡乔青, 王义天, 王瑞廷, 李建华, 代军治, 王双彦. 2012. 陕西省凤太矿集区二里河铅锌矿床的成矿时代: 来自闪锌矿 Rb-Sr 同位素年龄的证据. 岩石学报, 28 (1): 258~266.

黄典豪. 1992. 蔡家营铅-锌-银矿床. 北京: 地质出版社, 1~169.

黄瀚霄, 李光明, 曾庆高, 刘波, 段志明, 董随亮, 张晖, 张丽. 2012. 西藏查个勒铅锌矿床成矿时代研究及地质意义. 中国地质, 39(3): 750~759.

黄华, 张长青, 周云满, 谢华锋, 刘博, 谢永富, 董云涛, 杨春海, 董文伟. 2014. 云南保山金厂河铁铜铅锌多金属矿床 Rb-Sr 等时线测年及其地质意义. 矿床地质, 33(1): 123~136.

黄智龙, 陈进, 韩润生等著. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系. 北京: 地质出版社, 187.

江思宏, 聂凤军, 白大明, 刘翼飞, 刘妍. 2011. 内蒙古白音诺尔铅锌矿床印支期成矿的年代学证据. 矿床地质, 30(5): 787~798.

蒋映德, 邱华宁, 肖慧娟. 2006. 闪锌矿流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 法定年探讨——以广东凡口铅锌矿为例. 岩石学报, 22 (10): 2425~2430.

雷泽恒, 陈富文, 陈郑辉, 许以明, 龚述清, 李华芹, 梅玉萍, 屈文俊, 王登红. 2010. 黄沙坪铅锌多金属矿成岩成矿年龄测定及地质意义. 地球学报, 31(4): 532~540.

李朝阳, 刘铁庚, 叶霖, 朱维光, 邓海琳. 2002. 我国与火山岩有关的大型、超大型银矿床. 中国科学 D 辑, 32 (z1): 69~77.

李厚民, 陈毓川, 王登红, 李华芹. 2007. 陕西南郑地区马元锌矿的地球化学特征及成矿时代. 地质通报, 26 (5): 546~552.

李华芹, 陈富文. 2003. 东天山硫磺山铜多金属矿床成岩成矿作用同位素地质年代学. 地球学报, 24 (6): 555~558.

李华芹, 陈富文等著. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学. 北京市: 地质出版社, 391.

李华芹, 王登红, 梅玉萍, 梁婷, 陈振宇, 郭春丽, 应立娟. 2008. 广西大厂拉么铜钼多金属矿床成岩成矿作用年代学研究. 地质学报, 82 (7): 912~920.

李铁刚, 武广, 刘军, 胡妍青, 张云付, 罗大峰. 2014. 大兴安岭北部甲乌拉铅锌银矿床 Rb-Sr 同位素测年及其地质意义. 岩石学报, 30(1): 257~270.

李文博, 黄智龙, 陈进, 韩润生, 张振亮, 许成. 2004a. 会泽超大型铅锌矿床成矿时代研究. 矿物学报, 24 (2): 112~116.

李文博, 黄智龙, 王银喜, 陈进, 韩润生, 许成, 管涛, 尹牡丹. 2004b. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义. 地质论评, 50 (2): 189~195.

李艳军, 魏俊浩, 伍刚, 谭俊, 蒋永建, 付乐兵, 屈文俊, 楼望平, 谢常才. 2011. 浙西南毛断铅锌多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义. 地球科学——中国地质大学学报, 36 (2): 289~298.

梁华英, 王秀璋. 2000. 粤中茶山金银多金属矿床地质特征及形成时代. 地球化学, 29 (6): 592~596.

梁华英, 喻亨祥, 曾提, 夏萍. 2006. 富湾超大型银矿床 Ar-Ar 年龄、铅同位素特征及形成条件分析. 吉林大学学报: 地球科学版, 36 (5): 767~773.

- 梁婷, 王登红, 李华芹, 黄惠明, 王东明, 于萍, 蔡明海. 2011. 广西大厂石榴石 REE 含量及 Sm-Nd 同位素定年. 西北大学学报: 自然科学版, 41 (4): 676~681.
- 蒯志永, 王登红, 张长青. 2010. 四川宁南跑马铅锌矿床的成矿时代及其地质意义. 中国地质, 37 (2): 488~494.
- 刘波, 董随亮, 李光明, 张晖. 2010. 西藏斯弄多铅锌矿岩体地球化学特征及年龄地质意义. 矿床地质, 29(S1): 472~473.
- 刘峰. 2005. 云南会泽大型铅锌矿床成矿机制及锗的赋存状态. 导师: 王登红, 李厚民. 中国地质科学院硕士论文, 112.
- 刘家齐. 1997. 广东梅县玉水富铜多金属矿床温压地球化学特征、成矿时代及成因研究. 华南地质与矿产, 17(1): 37~50.
- 刘建明, 张锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征. 地质前缘, 11(1): 269~277.
- 刘玉平, 李正祥, 李惠民, 郭利果, 徐伟, 叶霖, 李朝阳, 皮道会. 2007. 都龙锡锌矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学: 滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩-成矿事件. 岩石学报, 23(5): 967~976.
- 刘云华, 莫宣学, 喻学惠, 张雪亭, 许国武. 2006. 东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 22 (10): 2457~2463.
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同. 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律. 北京: 地质出版社, 1~246.
- 陆孝赞, 黄位鸿, 卫小彦, 秦荣娥. 2004. 广西老厂式铅锌矿床成因研究. 矿产与地质, 18 (2): 139~142.
- 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 梅玉萍, 陈希清. 2006. 湖南宝山铜-钼多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究. 岩石学报, 22(10): 2483~2492.
- 吕志成, 戴自希, 芮宗瑶, 等. 2004. 铅锌矿床成矿理论和找矿方法. 中国地质调查局发展研究中心, 1~501.
- 罗俊华, 张燕挥, 翟丽娜, 刘炜, 江河. 2012. 广西佛子冲铅锌矿床闪锌矿铷-锶同位素年代学研究. 化工矿产地质, 34 (1): 26~31.
- 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 陈希清. 2006. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 22 (10): 2475~2482.
- 马丽艳, 路远发, 屈文俊, 付建明. 2007. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄及其地质意义. 矿床地质, 26 (4): 425~431.
- 毛德宝, 李子仪. 2000. 冀北北岔沟门铅锌矿床中辉钼矿的铼-钼同位素年龄. 地球化学, 29 (2): 132~135.
- 毛景文, 郑榕芬, 叶会寿, 高建京, 陈文. 2006. 豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿床成矿的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义. 矿床地质, 25(4): 359~368.
- 孟宪民. 1963. 矿床分类与找矿方向. 北京: 科学出版社, : 1~18.
- 孟宪民著. 1958. 中国铅锌矿床的工业类型及其找矿远景. 全国第一届矿床会议, 第 3 辑.
- 牟传龙, 余谦. 2004. 金顶铅锌矿床相关地质问题及成因探讨. 矿物岩石, 24(1): 48~51.
- 聂凤军, 张万益, 杜安道, 江思宏, 刘妍. 2007. 内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿铼-钼同位素年龄及地质意义. 地球学报, 28 (4): 315~323.
- 裴荣富, 熊群尧. 1999. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场). 矿床地质, 18, 37~46.
- 祁进平, 宋要武, 李双庆, 陈福坤. 2009. 河南省栾川县西沟铅锌银矿床单矿物铷-锶同位素组成特征. 岩石学报, 25 (11): 2843~2854.
- 全国地层委员会. 2002. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书. 北京: 地质出版社, 1~134.
- 芮宗瑶, 叶锦华, 张立生, 等. 2004. 扬子克拉通周边及其隆起边缘的铅锌矿床. 中国地质, 31(4): 337~346.
- 邵军, 李秀荣, 杨宏智. 2011. 黑龙江翠宏山铅锌多金属矿区花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义. 地球学报, 32 (2): 163~170.
- 施加辛, 易凤煌, 文启镔. 1983. 兰坪金顶铅锌矿床的岩矿特征及成因. 云南地质, 2(3): 179~194.
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, HIZUKA, Tsuyoshi, HIRATA, Takafumi. 2004. 柴达木北缘超高压变质带中的岛弧火山岩. 地质学报, 78 (1): 52~64.
- 覃功炯, 朱上庆. 1991. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测. 云南地质, 10(2): 145~190, 205.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-钼同位素年龄及其地质意义. 地质学报, 83 (5): 698~704.
- 陶琰, 胡瑞忠, 朱飞霖, 马言胜, 叶霖, 程增涛. 2010. 云南保山核桃坪铅锌矿成矿年龄及动力学背景分析. 岩石学报, 26(6): 1760~1772.
- 田世洪, 杨竹森, 侯增谦, 刘英超, 高延光, 王召林, 宋玉财, 薛万文, 鲁海峰, 王富春, 苏媛娜, 李真真, 王银喜, 张玉宝, 朱田, 俞长捷, 于玉帅. 2009. 玉树地区东莫扎抓和莫海拉亨铅锌矿床 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义. 矿床地质(6): 747~758.
- 涂光炽. 1981. 铅锌矿床的成因分类. 见: 中国科学院地球化学研究所编. 中国科学院地球化学研究所年报(1978~1979), 贵阳: 贵州人民出版社: 2~3.
- 涂光炽等著. 1984. 中国层控矿床地球化学(第一卷). 北京: 科学出版社, 13~69.
- 王安建, 曹殿华, 高兰, 等. 2009. 论云南兰坪金顶超大型铅锌矿床的成因. 地质学报, 83(1): 43~54.
- 王长明, 张寿庭, 邓军, 孙艳霞, 燕长海, 叶会寿. 2007. 河南冷水北沟铅锌矿地质地球化学特征及成因探讨. 矿床地质, 26 (2): 175~183.
- 王登红, 陈毓川, 李杰维, 魏琳, 李晓焰, 李纯杰. 2006. 广东三水盆地西缘横江铅锌矿床的成矿时代及新生代找铜前景. 矿床地质, 25 (1): 10~16.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 近年来成矿年代学研究新数据. 地质学报, 84 (7): 1030~1040.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 盛继福, 朱明玉, 刘喜方, 张长青, 王成辉, 王永磊. 2013. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4): 1092~1099.
- 王登红, 李华芹, 屈文俊, 何哈哈, 秦燕, 刘新星, 黄凡, 王成辉, 李超, 陈郑辉, 李建康, 张长青, 王永磊, 梅玉萍, 应立娟, 李立兴, 赵芝, 赵正, 付勇, 孙涛, 侯可军. 2014. 全国成岩成矿年代谱系. 北京: 地质出版社, 438.

王惠初, 陆松年, 袁桂邦, 辛后田, 张宝华, 王青海, 田琪. 2003. 柴达木盆地北缘滩间山群的构造属性及形成时代. 地质通报, 22 (7): 487~493.

王集磊, 何伯埤, 李健中, 等著. 1996. 中国秦岭型铅锌矿床. 北京: 地质出版社, 1~264.

王江海, 常向阳. 1993. 云南金顶铅锌矿床新的喷流成因机制. 矿物岩石地球化学通报, 12(4): 201~204.

王京彬, 李朝阳, 陈晓钟. 1990. 金顶超大型铅锌矿喷流沉积成因初探. 矿物岩石地球化学通报, 9(2): 122~123.

王晓虎, 侯增谦, 宋玉财, 杨天南, 张洪瑞. 2011. 兰坪盆地白秧坪铅锌铜银多金属矿床:成矿年代及区域成矿作用. 岩石学报, 27 (9): 2625~2634.

王育民. 1983. 试论中国铅锌矿床类型及其基本特征. 矿床地质, 2 (1): 21~29.

魏博, 程顺波, 庞迎春. 2010. 西藏蒙亚啊铅锌矿床成矿年龄及其地质意义. 华南地质与矿产, 26(1): 14~19.

温春齐, 覃功炯. 1995. 金顶铅锌矿床流体包裹体地球化学特征. 矿物岩石, 15(4): 78~84.

乌尔夫(Wolf K H). 1978. 层控矿床和层状矿床(第一卷). 北京:地质出版社, 1~242.

吴淦国, 吴习东. 1989. 云南金顶铅锌矿床构造演化及矿化富集规律初探. 地球科学:中国地质大学学报, 14(5): 477~486.

吴淦国, 张达, 彭润民, 吴建设, 高天钧, 陈柏林, 汪群峰, 狄永军, 张祥信. 2004. 东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究. 地质前缘, 11(1): 237~247.

吴越. 2013. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床大规模成矿作用的时代与机制. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 94.

武警黄金地质研究所. 2007. 铅-锌矿床成因类型(黄金地质专题信息编辑之十一). <http://www.doc88.com/p-0827199237161.html>, 1~132.

夏宏远. 1959. 中国铅锌矿床工业类型及其分类中的一些问题. 地质论评, 341~351.

肖秀梅. 1992. 支家地银矿地质特征及找矿标志. 地质与勘探, 28 (10): 13~17.

徐庆胜, 魏英文, 黄安杰, 罗平, 吴才来, 赵红松, 狄永军. 2014. 江西上饶饶子坑火山盆地潜火山岩地球化学特征. 铅-铀-钍年龄及其与铅锌矿成矿关系. 地质论评, 60(4): 932~944.

徐贻赣, 吴淦国, 王长明, 张达, 张垚垚. 2013. 江西冷水坑银铅锌矿田闪锌矿铷-锶测年及地质意义. 地质学报, 87(5): 621~633.

徐志刚, 张长青, 曹佑功. 2013. Harald G Dill 的矿床“棋盘”分类介绍和概略评述:以主要金属矿床分类为例. 地质科技情报, 32 (5): 195~212.

薛春纪, 陈毓川, 王登红, 杨建民, 杨伟光, 曾荣. 2003. 滇西北金顶和白秧坪矿床: 地质和 He, Ne, Xe 同位素组成及成矿时代. 中国科学(D辑), 33 (4): 315~322.

薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 等. 2002. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析. 矿床地质, 21(1): 36~44.

姚军明, 华仁民, 屈文俊, 戚华文, 林锦富, 杜安道. 2007. 湘南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钨矿的 Re-Os 同位素定年及其意义. 中国科学(D辑): 地球科学, 37(4): 471~477.

姚军明, 赵太平, 李向辉. 2010. 河南王坪西沟铅锌矿床单颗粒闪锌矿 Rb-Sr 定年. 矿床地质, 29(S1): 535~536.

叶会寿, 毛景文, 何春芬, 何岳, 孟芳. 2010. 河南付店矿集区斑岩钼矿和脉状铅锌矿地质特征与成矿时代. 矿床地质, 29(S1): 537~538.

应汉龙, 王登红, 付小方. 2006. 四川巴塘夏塞花岗岩和银多金属矿床年龄及硫、铅同位素组成. 矿床地质, 25 (2): 135~146.

云飞, 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 张万益. 2011. 内蒙古莫若格钦地区二长闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 矿床地质, 30 (3): 504~510.

翟裕生, 邓军, 彭润民, 等. 2002. 成矿系统研究及其资源、环境意义. 高校地质学报, 8(1): 1~8.

翟裕生. 2000. 成矿系统及其演化——初步实践到理论思考. 地球科学:中国地质大学学报, 25(4): 333~339.

翟裕生. 2003. 成矿系统研究与找矿. 地质调查与研究, 26(3): 129~135.

张长青, 李向辉, 余金杰, 毛景文, 陈福坤, 李厚民. 2008. 四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷-锶测年及地质意义. 地质论评, 54 (4): 532~538.

张家菁, 王登红, 陈郑辉, 施光海, 王静, 王永庆, 魏英文. 2012. 江西省铅山县碧碧铅锌矿区同位素年代学和稳定同位素组成. 岩石学报, 28(10): 3325~3333.

张炯飞, 庞庆邦, 朱群, 金成洙. 2003. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌矿床白云母 Ar-Ar 年龄及其意义. 矿床地质, 22 (3): 253~256.

张乾. 1991. 云南金顶铅锌矿床成因研究. 地质找矿论丛, 6(2): 47~48.

张乾. 1993. 中国铅锌矿床的元素组合及时空演化特点. 河北地质学院学报, 16(3): 215~221.

张云新, 吴越, 田广, 申亮, 周云满, 董文伟, 曾荣, 杨兴潮, 张长青. 2014. 云南乐红铅锌矿床成矿时代与成矿物质来源: Rb-Sr 和 S 同位素制约. 矿物学报, 2014, 34(3): 305~311.

张正伟, 漆亮, 沈能平, 游富华, 张中山, 周灵洁. 2011. 西昆仑阿巴列克铜铅矿床黄铜矿 Re-Os 定年及地质意义. 岩石学报, 27 (10): 3123~3128.

赵兴元. 1989. 云南金顶铅锌矿床稳定同位素地球化学研究. 地球科学:中国地质大学学报, 14(5): 495~502.

赵一鸣. 1997. 我国一些重要夕卡岩 Pb-Zn 多金属矿床的交代分带. 矿床地质, 16: 120~129.

赵一鸣, 吴良士, 等著. 2004: 中国主要金属矿床成矿规律. 北京: 地质出版社, 1~411.

郑伟, 陈懋弘, 徐林刚, 赵海杰, 凌世彬, 吴越, 胡耀国, 田云, 吴晓东. 2013. 广东天堂铜铅锌多金属矿床 Rb-Sr 等时线年龄及其地质意义. 矿床地质, 32(2): 259~272.

郑知一, 季绍新, 傅德鑫. 1983. 试论中国铅锌矿床成因类型. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 4(1): 97~111.

中华人民共和国国土资源部编. 2012. 中国矿产资源报告 2012. 北京: 地质出版社, 14~15.

朱飞霖, 陶琰, 胡瑞忠, 廖名扬, 王银喜, 李玉帮. 2011. 云南镇康芦子园铅-锌矿的成矿年龄. 矿物岩石地球化学通报, 30(1): 73~79.

Brodst D A, Pratt W P. 1973. United States mineral resources. Wash D. C.: U. S. Geological Survey Professional Paper, 1~820.

Dill H G. 2010. The “chessboard” classification scheme of mineral deposits Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews*, 100: 1~420.

Lehmann Bernd, Zhao Xinfu, Zhou Meifu, Du Andao, Mao Jingwen, Zeng Pusheng, Friedhelm Henjes-Kunst, Heppe Klaus. 2013. Mid-Silurian back-arc spreading at the northeastern margin of Gondwana: The Dapingzhang dacite-hosted massive sulfide deposit, Lancangjiang zone, southwestern Yunnan, China. *Gondwana Research*, 24(2): 648~663.

U. S. Geological Survey. 2000. Mineral Commodity Summaries (Zn and Pb). <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>, 190~191(zinc); 96~97(lead).

U. S. Geological Survey. 2014. Mineral Commodity Summaries (Zn and Pb). <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>, 186~187(zinc); 90~91(lead).

Wolf K H. 1976. *Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits*. New York: Elsevier Scienfic Publishing Company, 1:1~507.

Yin M D, Li W B, Sun X W. 2009. Rb-Sr isotopic dating of sphalerite from the giant Huize Zn-Pb ore field, Yunnan Province, Southwestern China. *China Journal of Geochemistry*, 28(1): 70~75.

Zhang Changqing, Wu Yue, Hou Lin, Mao Jingwen. 2014. Geodynamic setting of mineralization of Mississippi Valley-type deposits in world-class Sichuan-Yunnan-Guizhou Zn-Pb triangle, southwest China: Implications from age-dating studies in the past decade and the Sm-Nd age of Jinshachang deposit. *Journal of Asian Earth Sciences*.

Zhou Jiayi, Huang Zhilong, Zhou Meifu, Li Xiaobiao, Jin Zhongguo. 2013a. Constraints of C-O-S-Pb isotope compositions and Rb-Sr isotopic age on the origin of the Tianqiao carbonate-hosted Pb-Zn deposit, SW China. *Ore Geology Reviews*, 53: 77~92.

Zhou Jiayi, Huang Zhilong, Yan Zaifei. 2013b. The origin of the Maozu carbonate-hosted Pb-Zn deposit, southwest China: Constrained by C-O-S-Pb isotopic compositions and Sm-Nd isotopic age. *Journal of Asian Earth Sciences*, 73 (5): 39~47.

Brief Introduction on Metallogeny of Pb-Zn Deposits in China

ZHANG Changqing¹⁾, WU Yue²⁾, WANG Denghong¹⁾, CHEN Yuchuan³⁾,
RUI Zongyao¹⁾, LOU Debo¹⁾, CHEN Zhenghui¹⁾

1) *Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037;*

2) *School of Earth Environment and Water Resource, Yangtze University, Wuhan, 430100;*

3) *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

Abstract

Lead and zinc resources are very abundant in china . the rank of lead and zinc reserves is second in the world. The data of national lead zinc mine areas are more than 3000, lead and zinc metal reserves have 100 million tons. In view of the classification of lead-zinc (Pb-Zn) deposits has been a highly controversial issue. According to mineral resources potential evaluation requirements, we established Pb-Zn deposit predict the type classification scheme, and puts forward the Pb-Zn deposit classification scheme(included 5 class and 13 sub-types) which view mineralization as primary factors and view ore rock as Secondary factors. According to the temporal and spatial distribution of Pb-Zn deposit, we summarized that multi period, multi cycle orogenic environment is the most favorable position of lead-zinc deposit growth, Proterozoic is the major period of the growth of volcano rock type deposit, Paleozoic is an important development period of sedimentary Pb-Zn deposit, Mesozoic and Cenozoic is heyday period of magmatic type lead zinc deposits. On this basis, we analysed the relationship between evolution and Pb-Zn metallogenic structures, and put forward that the key factor determining geological mineralization, metallogenic epoch of mineralization determined and tectonic environment analysis are important factors of ore types, temporal and spatial distribution.

Key words:deposit type; spatial and temporal distribution; tectonic environment; Pb-Zn deposit;China