

中国铅锌矿资源潜力和主要战略接续区

张长青¹ 芮宗瑶¹ 陈毓川² 王登红¹ 陈郑辉¹ 娄德波¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037

2. 中国地质科学院, 北京, 100037)

摘要: 铅锌原本是中国的优势资源, 但随着国内铅锌资源需求不断增大, 中国铅锌的后备资源难以跟上现代化建设的步伐。文章通过总结中国铅锌矿的主要特征, 分析中国铅锌资源面临的问题, 并根据铅锌资源潜力评价工作需要, 将中国铅锌矿床划分为(火山)-沉积变质型、火山岩型海相、火山岩型陆相、矽卡岩型、层控热液型、岩浆热液型、风化(壳)型 7 类不同的预测类型, 共计 48 个矿床式。基于此, 对目前已发现的潜在铅锌矿集区进行了潜力分析, 在全国范围内共划分出 28 个铅锌资源战略接续区, 并对重点接续区进行了介绍。最后通过资源潜力分析, 对中国铅锌矿床下一步工作部署提出了一些建议和意见。

关键词: 预测类型; 接续区; 潜力; 铅锌

中图分类号: P618.42-43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)01-0248-25

1 概 述

世界范围内铅锌资源是丰富的, 全球大陆已知铅锌资源除南极洲外, 其他五大洲约 50 多个国家均有分布。据美国地调局统计, 2011 年世界已查明的铅资源量超过 15 亿 t, 铅基础储量为 8500 万 t; 锌资源量有 19 亿 t; 锌储量 25000 万 t^[1]。铅储量比 21 世纪初增加 2100 万 t; 锌基础储量比 21 世纪初增加了 6000 万 t^[2], 原因是近十几年来各国对贱金属的勘查较为重视, 加大了勘查投入, 发现了大量新矿床, 增加了基础储量。2012 年中国铅储量为 1400 万 t, 仅次于澳大利亚, 居世界第二位, 占世界的比例为 16%; 锌基础储量 4300 万 t 仅次于澳大利亚, 居世界第二位, 占世界的比例约为 17%^[1]。

1.1 中国铅锌矿床分布及成矿条件

中国具有良好的铅锌成矿条件, 三大成矿域地质背景复杂、类型多样, 有利于不同类型矿床的形成。中国既有稳定的地台和地台边缘, 如华北、华南、

塔里木地台, 又有活动的大陆边缘, 如环太平洋带。就造山带而言, 中国既有古生代造山带, 如天山造山带、兴蒙造山带、华南褶皱带, 又有中生代造山带, 如秦—祁—昆造山带, 还有新生代的造山带, 如喜马拉雅造山带, 这些造山带的存在致使中国铅锌矿床形成的多阶段性; 同时还造成中国铅锌矿床形成的复杂性, 为矿床勘查、开发以及研究工作带来一定的难度。

中国铅锌矿床的分布明显受地质环境的制约, 在不同的成矿环境产出不同的矿床类型。在古亚洲成矿域, 由于古—中元古代和古生代沉积盆地的存在, 有利于与海底喷流沉积有关(SEDEX 型)铅锌矿床的形成, 如狼山—渣尔泰山矿带、秦岭矿带; 古生代天山造山带和中生代秦—祁—昆造山带的活动有利于与岩浆作用有关的一系列矿床的形成, 如柴北缘海相火山岩型、小秦岭热液型、矽卡岩型矿床; 在古特提斯—喜马拉雅成矿域, 由于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, 在冈底

收稿日期: 2012-10-11; 改回日期: 2012-12-02

基金项目: 全国矿产资源潜力评价项目(1212010633901)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K0904)和国家自然科学基金项目(40902029)联合资助。

作者简介: 张长青, 男, 1975 年生, 博士, 副研究员, 主要从事岩石、矿物、矿床学研究; E-mail: zcqcqchangqing@163.com。

斯念青唐古拉造山带有利于大量矽卡岩型、斑岩型及热液型铅锌多金属矿床的形成,如蒙亚啊—亚贵拉—洞中拉矽卡岩型成矿带、甲马—沙让斑岩型—矽卡岩型成矿带和藏东—昌都热液型成矿带;在三江—喀喇昆仑造山带内,由于挤压走滑,有利于形成角砾岩和海相火山岩的产出,相应地形成了砂(砾)岩型和海相火山岩型铅锌矿床,如兰坪、沱沱河砂(砾)岩型成矿带、昌宁—澜沧、白玉—巴塘海相火山岩型成矿带。

1.2 中国铅锌矿床主要特点

(1)资源丰富,分布地区广,但相对集中

目前已有29个省、区、市发现并勘查了铅锌矿床。根据2012年中国矿产资源报告资料,截止2011年,全国铅锌查明资源储量(金属量)1亿多吨;仅2011年度,全国新增查明资源储量铅445.4万t,锌883.3万t^[3]。从矿床富集程度来看,主要集中于云南、内蒙古、甘肃、广东、湖南、四川、广西等省(区),其铅锌资源量占全国总查明资源储量66%^[4]。超大型、大中型铅锌矿床和铅锌成矿区带,主要集中分布在扬子地台周缘地区、三江地区及其西延部分(特别是滇西兰坪)、冈底斯地区、秦岭—祁连山地区、内蒙古狼山—渣尔泰地区、大兴安岭区带以及南岭等地区;从三大经济地区分布来看,主要集中于中西部地区。

(2)探明资源储量大,贫矿多,富矿少

截至2008年底,中国铅锌矿保有资源储量1亿多吨^[4],据全球第二位。铅平均品位仅为1.40%,锌平均品位2.69%,铅矿石品位主要集中在1.0%~5.0%,大于5.0%的资源储量仅占总量的10.8%,锌矿石品位主要集中在1.0%~8.0%,大于8.0%的资源储量仅占总量的16.9%。

(3)铅锌矿床物质成分复杂,共伴生组分多,综合利用价值大

大多数矿床普遍共伴生Cu、Fe、S、Ag、Au、Sn、Sb、Mo、W、Hg、Co、Cd、In、Ga、Se、Tl、Sc等元素。有些矿床开采的矿石,伴生元素达50多种。特别是银、锗在许多铅锌矿床中含量高,成为铅锌银矿床、银铅锌或锌锗矿床,其银储量占全国银矿总储量的60%以上,其综合回收银的产量,占全国银产量的70%~80%,锗的储量和产量也相当可观。

(4)现有资源形势不容乐观

铅矿查明资源储量自2006年以来逐年增加,但铅、锌矿储量2004年以后却逐年降低,截至2007年

底,中国铅、锌矿储量仅为2004年储量的0.91倍和0.90倍。且铅锌金属产量有着逐年增长趋势,2011年铅产量同比增长12.5%,锌同比增长3.8%^[3],未来铅锌缺口将会更大。

(5)成矿条件优越,找矿潜力大

中国存在数十个铅锌成矿密集区,新近在东部老矿区深部和外围、西部工作程度低的地区不断取得突破,显示出中国铅锌资源潜力巨大。目前,中国已查明的储量远低于预测的资源量,据全国主要省区铅锌资源总量预测结果,未查明的资源量为5亿多t,已探明资源储量仅占到29%。中国西部地区成矿地质条件优越,但目前由于工作程度低,已探明单位面积资源储量却低于全国平均水平,找矿潜力大,近期国土资源大调查取得的显著成果证明了这一点。

1.3 中国铅锌矿床主要成因类型

中国铅锌矿床类型按照含矿岩性和成因机制划分,主要有与岩浆作用有关的矿床(包括矽卡岩型、热液脉型)、与火山作用有关的矿床(包括陆相火山岩型和海相火山岩型)、与沉积作用有关的矿床(海底喷流沉积型)、与盆地流体有关的矿床(包括碳酸盐岩型和砂砾岩型)和与表生氧化作用有关的矿床(风化淋滤型)等类型。根据2009年中国铅锌矿数据库资料,中国碳酸盐岩型矿床个数和资源储量所占比重最大,分别占27%和33%;其次为矽卡岩矿床,分别占20%和21%;海底喷流沉积型矿床的矿床数虽然较少,仅占矿床总数的4%,但资源量却占总量的17%;热液型矿床虽然矿床数量较多,占总矿床数的29%,但其资源量仅占总量的12%;砂(砾)岩型矿床数量极少,但资源量所占比重较大,主要是由于金顶超大型矿床的存在。其中碳酸盐岩型、矽卡岩型、海底喷流沉积型和砂(砾)岩型资源量合计占总量的75%,矿床数占总量的56%,是中国目前勘探开发应重点关注的矿床类型。

2 中国铅锌矿战略接续区划分

2.1 预测类型划分

为对中国铅锌矿床有个较好的预测效果,解决勘查程度差异、地质信息不对称问题,全国矿产资源潜力评价项目提出了矿床预测类型的概念,并根据以下原则在全国范围内划分出各个不同的预测类型,该种类型划分既不同于传统的矿床成因类型划分,又有别于工业类型的划分。

预测类型划分原则及说明:(1)以含矿主要容矿围岩作为主要分类依据,辅以成矿地质作用的表现形式;(2)空间上,按6大区划分;(3)时间上,按太古宙、早中元古代、新元古代、早古生代、晚古生代、中生代、新生代7个时段划分;(4)多以全国著名的典型矿床式作为铅锌矿预测类型代表;(5)矿床类型按(火山)-沉积变质型、火山岩型海相(实为海相火山岩型,为便于计算机管理及检索,特命名为“火山岩型海相”)、火山岩型陆相、矽卡岩型、层控热液型、岩浆热液型、风化(壳)型,其中层控热液型包括海底喷流沉积型、碳酸盐岩型和砂(砾)岩型等与盆地流体成矿有关的矿床。全国共计划分出7个铅锌预测类型,48个矿床式,括号中的为共生、伴生矿(表1)。其中层控热液型、矽卡岩型、热液型这三种类型的资源量占总探明资源量的80%左右,各自所占比例分别为47%、19%和14%。因此这几种类型的矿床将成为中国寻找和开发铅锌矿床工作的重点。

2.2 战略接续区划分

随着地质勘查程度的不断提高,中国重要成矿区带和有潜力的铅锌资源接续区的资源潜力日趋显著。2012年9月,在全国矿产资源潜力评价工作研讨会上,工作组按照相同的成矿地质背景、预测类型,兼顾已有成矿区带划分的界限和远景区内的预测资源量,对全国有潜力的铅锌远景区进行了成矿条件分析,铅锌初步划分出28个铅锌资源战略接续区(表2,图1),这些接续区不仅涵盖了目前已有的

老矿集区,如狼山—渣尔泰山、长江中下游、祁连—秦岭、大兴安岭、新疆阿尔泰、燕辽地区、武夷山北段、赣南—粤北、湘东—赣西、滇东南红河—文山、赣南—粤北等地区;还包括近年来在老矿集区内取得找矿新突破的地区,如川滇黔、三江南段、桂北河池—南丹、内蒙陈巴尔虎—根河、青海柴北缘、西秦岭、桂东—粤西、湘西—鄂西、吉南—辽北、闽南粤东等地区;同时,紧跟西部勘查工作步伐,还圈定了一些近年来有找矿新发现,并有潜力取得更大突破的地区,如扬子地台北缘、西藏冈底斯、青海沱沱河、新疆东天山、塔里木南缘、塔里木西缘、西南三江北段、祁连造山带、东昆仑造山带等地区。

3 重要铅锌资源接续区特征

3.1 川滇黔接续区

矿床特征及分布 碳酸盐岩型(MVT)矿床(田)分布广泛、规模巨大,多数产于地台地区,少数分布于造山带边缘,是中国铅锌矿床中的重要类型,探明的储量占全国铅锌总储量的27%,开发经济价值巨大。中国该类矿床矿集区存在多个,主要集中在扬子地台周缘地区和塔里木西缘地区,此外,在华北地台北缘地区也有零星分布。其中滇黔川地区的碳酸盐岩型铅锌矿床,分布范围广,资源量最大,遍布从震旦系到二叠系的所有层位,含矿岩性主要为海相碳酸盐岩系,多数赋存于白云岩或不纯白云岩中,个别产于石灰岩或不纯石灰岩中,受一定层位控制,属层

表1 全国铅锌矿预测类型划分方案

Table 1 The division scheme of prognostic types for Pb-Zn deposits in China

铅锌矿	西北	华北	东北	西南	中南	华东	小计
(火山)-沉积变质型	彩霞山式	甲生盘式、高板河式	(红透山式)			(西裘式)	6
火山岩型海相	(阿舍勒式)、(白银厂式)、小铁山式、可可塔勒式、锡铁山式		放牛沟式	(大平掌式)、老厂式、呷村式		闽中峰岩式	10
火山岩型陆相		(支家地式)、蔡家营式、甲乌拉式		姚安式		冷水坑式、五部式、银山式	6
矽卡岩型	花牛山式、什多龙式	白音诺尔式	八家子式、翠宏山式、桓仁式	(个旧式)、亚贵拉式	水口山式、黄沙坪式、拉么式		11
层控热液型	厂坝式、马元式、塔木式			会泽式、金顶式	泗顶式、凡口式	张十八式、栖霞山式	9
岩浆热液型				林周式、白牛厂式、北衙式	桃林式、大厂式		5
风化(壳)型				榨子厂式			1
合计							48

注:()内的矿床式中,铅锌仅作为共伴生矿种出现。

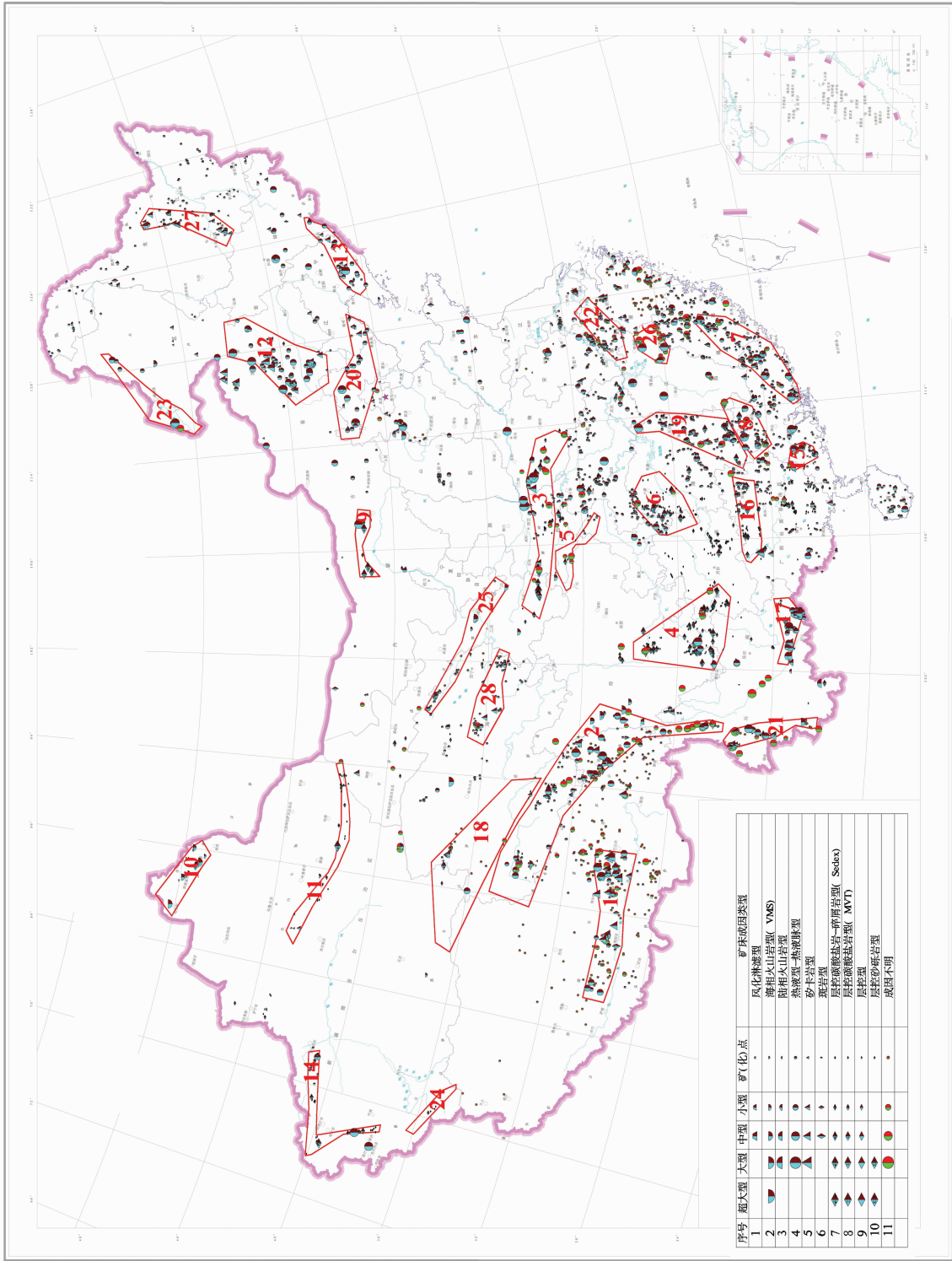


图 1 中国铅锌矿资源战略接续区分布示意图
(图中序号与表 2 的一致)

Fig.1 Sketch map of main successive strategic bases of Pb-Zn resources in China

控性矿床,多为沉积改造型,少数为沉积变质型矿床,其资源量占全国总资源量的 10.6%。矿体严格受岩相、岩性和不同形式的层间破碎带控制,呈层状、似层状,具有沉积-热液改造特征,成矿和火成侵入岩没有直接关系,最明显的特点有:①层控性,明显受碳酸盐岩控制;②后生特征明显,容矿构造(断层、褶皱)对富矿、大矿有着明显的控制作用,矿体多具开放孔隙充填方式;③矿物组合简单,金属矿物以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主,脉石矿物主要为方解石、白云石、石英等。迄今在川滇黔地区已发现四川会东大梁子、会理小石房、天宝山、甘洛赤普,云南会泽、巧家茂租、鲁甸乐红等 7 个大型铅锌矿床以及近 30 个中型矿床和一批小型矿床^[5-6]。

背景 川滇黔相邻区属秦祁昆构造区和泛扬子构造区交接地带,北与华北地台、秦岭褶皱带、松潘甘孜褶皱带相接,西南临西南三江褶皱带,东南靠华南褶皱带。区内广泛分布块状无序的“结晶基底”和成层无序的“褶皱基底”区域变质岩系。沉积地层覆盖面积约占全区 70%,震旦系至二叠系出露齐全。岩浆活动频繁强烈,大面积出露火山岩和侵入岩。该成矿带主要经历了前寒武纪陆壳生长和增生的克拉通形成阶段,四堡—晋宁期陆核裂解增生到聚合造山的褶皱基底形成阶段;澄江—加里东期陆块增生阶段;早古生代加里东运动导致扬子和华南褶皱系拼合阶段;晚古生代经历了碳酸盐岩台地沉积、岩浆岩侵入喷发、华力西—印支期褶皱造山阶段,形成完整的华南大陆,该时期成为区内主要的成矿高峰期;燕山—喜马拉雅期是陆块“活化”阶段,板内活动强烈,大量花岗岩侵入,显示区内西部存在又一期成矿。

地层 区域内沉积地层发育,广泛分布震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系,次有志留系、奥陶系和三叠系。岩性以碳酸盐岩为主。铅锌矿床(点)集中产于白云岩、白云质灰岩和灰岩地层中。区内赋矿地层较多,有震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系、志留系、二叠系及第四系,具多层位矿化特点。区内发育有 212 个矿床和矿(化)点,其中有 9 个矿床产于前震旦系变质基底,54 个产于震旦纪地层,30 个产于寒武纪地层,13 个产于奥陶纪地层,9 个产于志留纪地层,26 个产于泥盆纪地层,58 个产于石炭纪地层,另外有 13 个矿床产于二叠纪地层,含矿地层以震旦系和石炭系含矿性最佳,规模较大,工业价值较高;

其次是寒武系、志留系,见有较多的中、小型矿床和矿点;第四系仅有风化形成的残坡积砂矿堆积。无论铅锌矿赋存于泥盆系、石炭系或二叠系的任一层位中,在容矿岩石的上覆岩层均有泥质岩层存在。碳酸盐岩与泥质岩形成了一种有利于成矿的生储盖岩性组合,泥质岩石形成盖层,对矿液起着遮挡屏蔽作用,而其下为易于溶蚀、破碎、孔隙较多的碳酸盐岩,所以两种岩性组合在一起,有利于成矿溶液在碳酸盐岩的孔隙中充填交代,富集成矿。从空间分布特征来看,含矿层位有以小石房铅锌矿为中心向外(向东和向北)逐渐变新的趋势,例如在小江断裂以西的围岩从前震旦系会理群中的小石房铅锌矿,向东和东北方向变为以震旦系灯影组地层围岩矿床(如大梁子、天宝山),继续向东和向北,穿过石棉—小江断裂,在断裂带的东侧靠近断裂带附近仍然以震旦系灯影组中铅锌矿为主(如赤普、茂租、乐红铅锌矿等),继续向东和北面容矿地层则变为寒武系、奥陶系和泥盆系铅锌矿床(如寒武系的阿尔、跑马、底舒、五星厂等;奥陶系的乌依、宝贝函等;泥盆系的洛泽河、毛坪、火德红等),再向东延伸则变为包括会泽铅锌矿在内的以石炭系和二叠系碳酸盐岩为容矿围岩的铅锌矿床(如衫树林、天桥、银厂坡、榨子厂、富乐厂等)。

构造 断陷盆地边缘的深大断裂,多数经历多期次构造活动,对铅锌成矿具有明显的控制作用。纵观全区,铅锌矿产的分布都明显地受南北向、北东向和北西向深断裂的控制。断裂的控制作用表现在:1)控制着断陷的发生、发展。随着盆缘断裂的作用,盆地不断下沉,断陷程度逐渐变大,导致盆地内赋矿地层的沉积;2)主干断裂成为导矿构造。深源的热、水、矿质等借断裂带上升、排放,含矿热液借断裂带再迁移;3)形成容矿的场所。在主干断裂的产状变化处及旁侧次级小断层中、与主干断裂叠加复合的小断层中、与断裂带相伴发育的背斜轴部及断裂旁侧的拖拽褶皱中、层间剥离构造及虚脱空间中都是矿体就位的有利场所。区内的南北向安宁河、绿汁江和小江断裂即是这样的断裂构造,区内铅锌矿床(点)就分布在南北向安宁河、绿汁江线性断裂带和石棉—小江断裂带以东至北西向垭都—紫云—水城断裂带和米勒—师宗—水城断裂带之间的区域内,且在断裂附近富集。如宁南、巧家地区的矿床位于 SN 向小江断裂和 NW 向则木河断裂的交汇地带;会泽矿床位

表 2 中国铅锌资源战略接续区资源潜力分析

Table 2 Potential analyses of main successive strategic bases of Pb-Zn resources in China

序号	接续区名称	矿床类型	预测类型	资源潜力
1	西藏冈底斯	矽卡岩型、热液型	矽卡岩型、岩浆热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力巨大
2	西南三江(含北段)	热液型、矽(砾)岩型	层控热液型	查明资源量规模很大, 资源潜力巨大
3	祁连-秦岭造山带	海底喷流沉积型	层控热液型	查明资源量规模很大, 资源潜力巨大
4	川滇黔交界地区	碳酸盐岩型	层控热液型	查明资源量规模很大, 资源潜力巨大
5	扬子地台北缘	碳酸盐岩型	层控热液型	查明资源量规模一般, 资源潜力较好
6	湘西-鄂西地区	碳酸盐岩型、热液型	层控热液型、岩浆热液型	查明资源量规模一般, 资源潜力较大
7	闽南-粤东地区	海底喷流沉积型、矽卡岩型、热液型	层控热液型、矽卡岩型、岩浆热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
8	赣南-粤北地区	热液型、碳酸盐岩型	岩浆热液型、层控热液型	查明资源量规模很大, 资源潜力巨大
9	狼山-渣尔泰地区	海底喷流沉积型	层控热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
10	新疆阿尔泰地区	海相火山岩型	火山岩型海相	查明资源量规模较大, 资源潜力巨大
11	新疆东天山地区	碳酸盐岩型、海底喷流沉积型	层控热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
12	大兴安岭突泉-翁牛特旗地区	矽卡岩型、热液型	矽卡岩型、岩浆热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
13	吉南-辽北地区	矽卡岩型、热液型	矽卡岩型、岩浆热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较好
14	新疆塔西缘喀什-和田地区	碳酸盐岩型、海相火山岩型	层控热液型、火山岩型海相	查明资源量规模较大, 资源潜力巨大
15	桂东-粤西地区	火山热液型	岩浆热液型、矽卡岩型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
16	桂北河池-融县地区	矽卡岩型、热液型	矽卡岩型、岩浆热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较好
17	滇东南红河-文山读取	矽卡岩型、碳酸盐岩型	矽卡岩型、层控热液型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
18	东昆仑造山带	碳酸盐岩型	层控热液型	查明资源量规模一般, 资源潜力较好
19	湘东-赣西地区	矽卡岩型、热液型	矽卡岩型、岩浆热液型	查明资源量规模很大, 资源潜力较大
20	燕辽地区	海底喷流沉积型、斑岩型、矽卡岩型	层控热液型、岩浆热液型、矽卡岩型	查明资源量规模较大, 资源潜力较大
21	云南昌宁-澜沧地区	海相火山岩型、矽卡岩型	火山岩型海相、矽卡岩型	查明资源量规模较大, 资源潜力巨大
22	长江中下游地区	热液型、矽卡岩型	岩浆热液型、矽卡岩型	查明资源量规模一般, 资源潜力较好
23	内蒙德尔布干-三河地区	热液型、矽卡岩型	岩浆热液型、矽卡岩型	查明资源量规模一般, 资源潜力较大
24	塔里木南缘(西昆仑)	热液型、碳酸盐岩型	岩浆热液型、层控热液型	查明资源量规模一般, 资源潜力较好
25	祁连造山带北段	火山岩型、热液型	岩浆热液型、海相火山岩型	查明资源量规模一般, 资源潜力较好
26	武夷山北段	斑岩型、矽卡岩型	岩浆热液型、矽卡岩型	查明资源量规模较大, 资源潜力较好
27	小兴安岭-一张广才岭	热液型、矽卡岩型	岩浆热液型、矽卡岩型	查明资源量规模一般, 资源潜力较好
28	祁连造山带	火山岩型、矽卡岩型	海相火山岩型、矽卡岩型	查明资源量规模一般, 资源潜力较大

于小江断裂和 NE 向的威信—会泽断裂、金牛厂断裂的交汇地段^①;大梁子矿床则位于断裂所造成的地堑式破碎带中^[7]。

区内褶皱构造对铅锌矿也有一定的控制作用。1)背斜轴部或近轴部的产状较陡翼成为铅锌矿床的聚集区。区内背斜多被纵向断层破坏,纵向断层可导致在其旁侧产生一系列的次级断层和褶皱,次级构造直接控制各矿床(点)。因此,背斜构造上的纵向断层往往可控制一串矿床(点);2)次级背斜成为矿体直接的储存场所。这是由于主干断层上下盘错动、拖曳作用,导致旁侧次级褶皱、拖拽褶皱、地层挠曲的

形成,在其褶皱地层内形成拓空与剥离空间;由于断裂的复杂作用,再使褶皱、挠曲形成,拓空、剥离、破碎空间增加,致使矿体就位空间大幅增加。如天宝山矿床受控于天宝山复式向斜 SE 翼的次一级倾伏背斜和 SN 向益门断裂派生的 NWW 向隐伏断裂的复合部位^[8];金沙厂矿床位于巧家—莲峰二级深大断裂派生的金沙逆断层与金盆短轴背斜倾伏端的交汇处,矿化在背斜轴部和倾伏端最强;茂租矿床位于巧家—莲峰二级深大断裂派生的 NE 向茂租逆断层和臭水井断裂交汇的三角带上^[9]。

岩浆岩 区内自新太古代至第四纪都有岩浆活

①黄智龙,李文博,韩润生,等. 云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中地几个问题[C]//峨眉山地幔柱与资源环境效应研讨会文集. 2003:17-25.

动,侵入岩、火山岩较为发育,新太古代—元古宙以海相基性火山喷发和中酸性岩浆侵入为主,代表地壳早期岩浆活动的产物;古生代广泛分布着中酸性侵入岩类和大规模的二叠纪峨眉山玄武岩喷发,表征了区内岩浆活动的高峰;中生代岩浆活动比古生代弱,这些岩浆活动不仅可以为流体活动提供热能,还可以改造和富集已形成的矿床。

矿体特征 川滇黔地区铅锌矿床主要受地层岩性、断层和褶皱构造以及古溶洞的控制,具有明显的后生特征,主要容矿构造为层间破碎带和古溶洞形成的坍塌角砾岩。震旦纪和古生代地层中的厚层状碳酸盐岩在构造作用下容易发生脆性破裂、渗透性增强,有利于成矿流体的运移。矿质主要富集在构造扩容部位,容易形成矿体膨大、狭缩、尖灭现象。川滇黔地区铅锌矿床按照控矿特征可分为两大类型,即层控型和断控型。根据控矿构造组合形式及矿体的产状、形态特征,进一步划分为筒状—脉状(断控)、层状(层控)、不规则状(层控、不整合面控制)、层脉联合(断控、层控)矿床;1)筒状、脉状(大脉状)型产于基底隆起区内或其边缘,矿体呈筒状、柱状产于震旦系和早古生界碳酸盐岩中,受基底南北向深大断裂交切的近东西向张扭性断裂破碎带和短轴褶皱的控制,以大中型富 Zn 及 Pb—Zn 共生矿床为主;2)层间脉状型产于碳酸盐岩内部,矿体呈似层状、透镜状产于震旦系和早古生界碳酸盐岩中,矿体受南北向深断裂旁侧褶皱翼部地层层间滑动(破碎)带的控制;3)不规则状型产于碳酸盐岩内部,矿体呈似层状、透镜状及不规则状,该类矿床主要产于早古生界的石炭系和泥盆系中,最为发育的层位为石炭系碳酸盐岩,矿体主要受近矿断层和古溶洞的控制;4)层脉联合型产于碳酸盐岩层内断裂发育部位,下部往往是受断裂控制的脉状、囊状矿体,中、上部则产出有受地层控制的似层状、透镜状矿体,有时上部又可出现受断裂控制的脉状、囊状矿体。

矿石矿物 矿石组分及共生矿物组合简单,矿石矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、菱锌矿、辉铜矿等;脉石矿物主要为方解石、白云石、重晶石、石英、玉髓、萤石等。矿石具粒状、胶粒状、晶粒状等结构和浸染状、块状、条带状、脉状、团块状、斑点状等构造。矿石中金属组分比较简单,主要为锌,其次为铅,共生组分为硫,伴生组分有锑、镉、镓、银等,另有微量铋、砷、金。矿床富铅或富锌,一般锌高于铅,比

值为 1:2~1:5,矿石铅品位一般 0.5%~5.5%,锌品位为 1%~11%^[10]。不同时代围岩中铅锌矿床的矿物组分有所不同,上震旦系灯影组的矿床以闪锌矿为主,普遍含硅质、重晶石,黄铁矿较少;泥盆系—石炭系的矿床除闪锌矿外,普遍见黄铁矿,重晶石含量较少。

成矿时代 自从震旦纪以来,峨眉山玄武岩喷发(260~253 Ma)是区内一次重大事件,与之有关的矿化包括与基性—超基性岩有关的二叠纪末期铂钼矿、钒钛磁铁矿和铜镍硫化物矿。但是,川滇黔地区铅锌矿床成矿时代却众说纷纭,张云湘等^[11]根据铅同位素模式年龄的分组,认为康滇地轴东缘的铅锌矿床为多期成矿产物,主成矿期为海西晚期和燕山期;杨应选和管士平^[6]、柳贺昌和林文达等^[12]将这些铅锌矿床的成矿时代划分为海西成矿期和印支—燕山期两个时期;张立生^[13]推断整个川滇经向构造带东侧的铅锌矿床成矿作用发生于晚二叠世峨眉山玄武岩喷发时期;管士平和李忠雄^[14]在对本区 15 个矿床铅同位素数据总结的基础上,利用铅同位素组成计算出该区铅锌矿床成矿时代为 245 Ma;王奖臻等^[15]根据矿区的构造和地质特征推断成矿时代为燕山—喜马拉雅期;近年来,会泽铅锌矿的研究成为研究热点,黄智龙等^[16]、李文博等^[17]、刘峰^[18]和张长青等^[19]先后采用闪锌矿 Rb—Sr 法、方解石 Sm—Nd 法和粘土矿物的 K—Ar 法测得会泽铅锌矿床的成矿年龄数据为 $(225.6 \pm 3.1)\text{Ma}$ 、 $(222 \pm 14)\text{Ma}$ 、 $(220 \pm 14)\text{Ma}$ 和 $(176.5 \pm 2.5)\text{Ma}$,张长青等^[20]采用闪锌矿 Rb—Sr 法获得大梁子铅锌矿的年龄为 $(366 \pm 7.7)\text{Ma}$ 。这些年代数据显示成矿时代分别滞后于两次地幔活动 25 Ma 和 50 Ma。铅锌矿床与地幔柱的关系仍需进一步研究,但是川滇黔地区的铅锌矿床形成与相对伸展的构造环境较为明显,在整个早古生代期间,扬子克拉通西南缘均处于被动大陆边缘的伸展环境之下。

控矿因素 研究区的最主要的控制因素为断裂和岩性(岩相)控制,该区 90%以上的含矿地层为碳酸盐岩,几乎所有矿床的产出均与断裂构造息息相关。康滇地轴东缘处于极其特殊的大地构造部位,既是扬子地台西部边缘的一部分,又是巨型的中国南北向构造带的一部分,深大断裂密集带,有壳断层和岩石圈断裂 5~6 条,主要为南北向,次为北西、北东向,具有明显的方向性和等距性特征。区内发育的断裂沟通了深、浅层地壳之间的联系,为热活动和成矿元素活化、迁移提供了良好的通道,又为深、浅层地

下水的循环及对所流经的含矿岩石进行反复淋解、萃取,从而为含矿溶液的浓集提供了十分有利的条件;以碳酸盐岩为主的巨厚局限性盆地沉积相,为矿质沉淀提供了有利的场所。两者成为最主要的控矿因素可能是因为碳酸盐岩和断裂构造均具有高渗透率的特征,高的渗透率是含矿流体发生大规模运移的关键。

区域成矿模式 通过以上矿床地质特征分析,结合对典型矿床研究,初步总结出如下川滇黔地区铅锌矿床成矿模型(图 2):

1) 含矿建造形成

晋宁运动导致扬子地台变质基底形成以后,自晚震旦世至晚二叠世期间,川滇黔地区始终处于相对稳定的被动大陆边缘演化阶段,全区大部分时间接受台地相的碳酸盐岩沉积,地层中普遍含有铅、锌等成矿元素;变质基底和沉积盖层之间的不整合面也为后期流体金属聚集提供了物源。因此稳定被动大陆边缘演化阶段是含矿碳酸盐岩建造的形成阶段。

2) 流体形成阶段

随着岩层的埋深,盆地含矿建造在上覆压力下释放出粒间水;随着地温的增高,粘土和膏盐类矿物发生脱水产生地层水,同时,有机质逐渐向烃类转变,沉积建造中的水和烃类形成地层流体。加里东期

间,伴随着华夏古陆向扬子克拉通的俯冲作用,扬子地台西缘发生区域性地壳抬升,区域地层抬升,压力增加,层内流体温度升高,在压实作用和重力作用驱动下,沉积地层中层间水和粒间水被释放出来,在地温梯度或岩浆的加热作用下,形成热的盆地流体。与此同时,加里东期的构造运动形成了区域范围的断裂活动,还引起了先存基底断裂的再活化,为后期成矿流体运移提供通道,也为部分成矿物质的沉淀提供了空间。

3) 流体运移阶段

在印支运动的影响下,古特提斯洋闭合,川滇黔地区进入陆内发展阶段,形成了楚雄—西昌边缘前陆盆地。伴随着特提斯洋俯冲闭合作用的进行,川滇黔地区再次隆升,导致前陆盆地内流体压力升高,在重力和密度差的驱动下,在泥页岩等隔挡层的遮挡下,流体沿楚雄—西昌盆地向陆块区或盆地边缘运移;在流经碳酸盐岩或火山岩的过程中,淋滤和溶解岩层中的卤素和金属元素,如铅、锌、铁、钠、钙、氯、镁、钡、氟等元素,最终形成含矿热卤水。这种含矿热卤水可沿断层或不整合界面向盆地边缘移动,断层作为流动通道可导致矿区内赋矿层位多,矿体地球化学特征差异大的特征。

4) 卸载成矿阶段

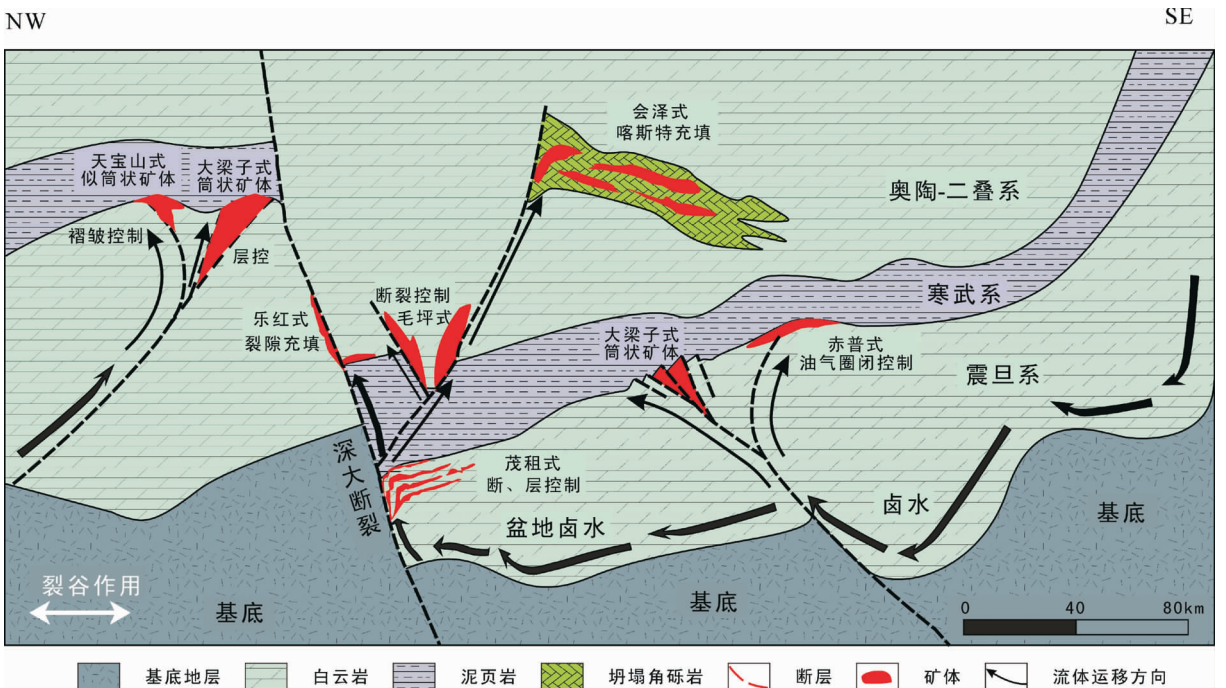


图 2 川滇黔地区铅锌矿床成矿模式图

Fig.2 Metallogenic model for Pb-Zn deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou border area

早印支或早燕山期造山后的侧向挤压导致区域构造应力场由挤压向伸展过渡,导致局部正断层发育,形成局部减压扩容空间,为流体的运移创造条件。当沿不整合面和断层面快速运移的盆地流体达至盆地边缘与已存的深大断裂、破碎带或者岩性圈闭相遇时,由于流体物理化学条件的迅速改变或者与含有有机质的还原性流体的混合,导致铅锌铁等金属硫化物的沉淀成矿(图 2)。在两种溶液混合的过程中,流体可以造成地层中灰岩的大量溶解,随着溶解作用的进行,容矿空间逐渐增大,为硫化物的沉淀提供了空间。在部分空间内形成溶解坍塌角砾岩,造成角砾状硫化物充填角砾岩孔隙的矿体。此外,当混合溶液向围岩扩散时可以造成周围 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度的增加,并交代围岩形成白云岩,白云岩化增加了岩石的孔隙度,进一步为硫化物沉淀提供了容矿空间。成矿流体在沿区域性断层向上运移过程中,当达至断裂破碎带与下行大气降水相遇时,则形成受断裂控制的筒状、脉状矿体(如大梁子、天宝山、乐红等矿床);当上行的含矿卤水遇到岩性界面时,由于上覆泥页岩的隔挡作用,在岩性界面附近形成似层状、透镜状矿体(如茂租、毛坪、乐红中的似层状矿体等);当沿断层向上运移的热卤水进入古溶洞环境时,则发生溶蚀交代作用形成不规则形状的溶洞充填型矿体(如会泽等矿床);沿不整合面侧向运移的含矿流体,在进入含古油气藏的构造圈闭或者岩性圈闭中,由于有机质的还原作用使得含矿流体中的硫元素被还原为 HS^- 或 H_2S ,并与溶液中的金属离子发生反应沉淀成矿,形成受古油气藏控制的矿体(如赤普等矿床)。

3.2 西秦岭接续区

矿床特征及分布 海底喷流沉积型(SEDEX 型)铅锌矿床形成于大陆伸展体制或总体大陆挤压体制下的局部伸展背景中,位于大陆裂谷、弧后裂谷和伸展盆地的中部或边部次级沉积盆地和同生断裂附近。沉积盆地是 SEDEX 型铅锌矿的主要定位构造,并且沉积盆地具有明显的分级,中国该类矿床资源量占全国资源总量的 17%,主要分布在华北地台北缘(如狼山矿田)、西秦岭地区(如西成矿田)以及中国东部江南古陆东南缘等地区。形成时代主要有两期,一是中元古代(如霍各乞、东升庙、高板河等),主要分布于狼山—渣尔泰山矿集区;另一为古生代(如厂坝—李家河、邓家山等),主要分布于西秦岭矿集区。其中,西秦岭铅锌矿带是世界上几个巨型铅锌矿

带之一,拥有厂坝、李家沟、邓家山、毕家山、洛坝、铅碛山、八方山、银母寺等大型矿床,另有中小型矿床和矿点数十个,已探明金属储量数千万吨,占全国探明储量的 11.8% 左右,下面以西秦岭为例介绍西秦岭接续区内的 SEDEX 铅锌矿床。

背景 矿床分布于华北古陆与扬子古陆之间的秦岭造山带北侧克拉通边缘拉张带,在震旦纪—早古生代时有零星盆地接受沉积,在晚古生代时成为陆棚边缘斜坡带,具稳定的构造环境和沉积环境,沉积了巨厚的中、上泥盆统复理石建造为主的砂泥质和碳酸盐岩系。由于受两侧礼县—山阳深大断裂和岷县—镇安深大断裂的控制,海底地形变化较大,岩相分异复杂,该区大部分铅锌矿床与海底盆地的形成有着密切关系。同生断裂的活动导致一系列热水喷流作用的出现及有利环境的形成^[2]。

地层 成矿带内铅锌矿床都产于泥盆系中一定层位内,且含矿层位呈东西向的狭长条带状沿礼县—白云—山阳深大断裂南侧分布。含矿层位一般厚为数米到数十米,组成含矿层的岩石类型主要为泥质岩、粉砂岩和碳酸盐岩,有时富含有机质,含黄铁矿、菱铁矿或绿泥石的岩石也常出现。含矿层中还普遍出现一些富硅质、钠长石和重晶石岩类。带内铅锌矿床绝大多数都是顺层整合产出的,极少切过地层层面,并且矿带范围内可以进行地层对比。这一特征表明成矿作用与成岩作用具有等时性及等容性,即使在强烈的后期改造作用中变动的矿体也仍然保留了同生沉积的特征。此外,该类矿床的重要特征是所有赋矿层位均产于一种过渡层位,一般产于碎屑岩与碳酸盐岩接触界面附近或者礁灰岩向泥质岩过渡的部位。这种岩性转化表明成矿环境的变化对成矿作用发生的重要性。

构造 同生断裂控制着矿床的形成和展布。区内的深大同生断裂两侧地层的差异运动,使得断裂两侧的岩性古地理面貌发生巨大变化,从而导致断裂引导秦岭铅锌矿床的形成与分布。秦岭铅锌矿沿礼县—白云—山阳深大断裂南侧呈带状分布,指示矿床发育在由深水沉积盆地向浅海局限盆地或碳酸盐岩台地转化的部位,这个岩相古地理环境的格局变化完全是由这一深大断裂控制的。此外,同生断层还直接控制着矿床的形成,含矿热水可以沿着生长断裂上升,到达海底,因物理—化学条件的变化而产生沉积(或交代)作用,形成热水矿床。生长断裂规

模、下切深度以及活动强烈程度都影响到热水循环系统的规模,也决定热水的矿化度和可能形成的矿床的规模和矿化富集程度。

同沉积褶皱为主要的赋矿构造。在秦岭铅锌矿带内发育一系列的褶皱构造,这些构造主要形成于印支期,总体展布方向为东西向。这些褶皱中的同沉积背斜控制着矿床的就位,矿体往往赋存于背斜鞍部,部分赋存于背斜的核部生物礁灰岩中或者背斜翼部的千枚岩中。由于背斜鞍部是主要的赋矿部位与金属聚集地,因此查明背斜轴线的空间分布形态往往会导致矿床规模的扩大及部分新矿段的发现。

岩浆岩 在西成或凤太矿田中,岩浆侵入活动均不发育。许多矿区外围有印支期二长花岗岩和花岗闪长岩体,矿区内多发育一些岩脉。

矿体特征 秦岭地区铅锌矿体均产于中泥盆统大理岩、白云岩、生物礁灰岩、云母石英片岩、炭质千枚岩、绢云方解千枚岩、砂质千枚岩等碳酸盐岩和碎屑岩中。矿体多呈层状、似层状、透镜状与围岩整合产出。矿床一般由多个主矿体和几十甚至上百个小矿体组成,最大的矿体长度大于1 000 m,倾向上最大延深达700 m 尚未尖灭,最大厚度30多米。较大矿体一般长300~1 000 m,延深150~600 m,个别矿体延深大于延长。沿走向有分支复合、尖灭再现等现象。矿体以容矿岩石的不同而分为碎屑岩矿体(围岩为黑云母石英片岩)和碳酸盐岩矿体(围岩为灰岩和生物微晶灰岩),其中碎屑岩矿体中的砂岩矿体品位最高。以产出形态不同可将矿体划分为层状、似层状、脉状和网脉状矿体^[2]。

层状矿体一般形成于由细碎屑岩、泥质岩组成的含矿层内,由一层块状硫化物矿石或呈互层的条带条纹状含金属硫化物沉积岩组成,与上下岩层具有明显的整合接触关系。走向上延伸稳定,厚度变化不大。似层状矿体往往产于某一容矿岩层内部,顺层展布,但矿体变化大,形态很不规则,厚度常有很大变化,有时变为多个不连续的小透镜状矿体。区内虽有网脉状矿体,但是总体上并不发育,目前尚未找到喷气通道相的网脉状矿化蚀变岩筒。另外区内发育有典型的脉状矿体,这些脉状矿体往往与层状矿体相伴而生,其产状明显受切割地层的断裂控制。这些脉状矿体与层状矿体存在于大致相同的层位内,若不是后生的,那么就是形成于碳酸盐岩成岩作用的晚期或者其后期热液活动阶段。

矿石矿物 秦岭成矿带矿石矿物组分较为单一,矿石主要是铅锌建造,金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、菱铁矿,次要矿物有黝铜矿、毒砂、磁黄铁矿、白铁矿、斜方硫锑铅矿、磁铁矿、菱锰矿等;脉石矿物主要为方解石、石英、铁白云石,其次有斜长石、微斜长石、黑云母、白云母、伊利石、蒙脱石、重晶石、石膏、石墨、绿泥石、透闪石、阳起石、有机碳等。层状富锌矿石中主要矿物有黄铁矿、石英、闪锌矿、方铅矿、钠(钾)长石和碳酸盐岩矿物;富铅的矿石主要矿物有黄铁矿、石英、方铅矿、闪锌矿、重晶石、钠长石、绿泥石、铁白云石等。似层状矿体的矿物组合一般也比较简单,主要矿物有石英、黄铁矿(白铁矿)、闪锌矿、铁白云石、方铅矿、黝铜矿、方解石等。区内矿物组合有总体简单而局部相对复杂的特点,局部复杂变化的趋势主要是由于砷、锑、铜、铅等硫盐类矿物的出现和铜银的富集。矿石中锌平均品位为2.79%~7.68%,铅平均品位为1.16%~2.41%,主要矿床的Pb/Zn=0.18~0.48,即锌是铅的1.4~7.34倍^[2]。矿石有用元素为铅、锌,伴生元素中银、镉、铜、镓等可供综合利用,矿石中含砷,钡含量虽然比锑高,但比围岩中钡的含量低。矿石结构主要有半自形、他形粒状、莓球状、交代溶蚀、交代残余、碎裂等结构;矿石构造有块状、条纹-条带状、网脉状、角砾状、浸染状等构造。围岩蚀变不强,主要有硅化、绢云母化、方解石化、铁白云石化等。

控矿因素 主要控矿因素为地层和构造,地层控矿表现在中泥盆统浅海局限盆地相碎屑岩和碳酸盐岩建造是主要的容矿围岩,控制着矿体的的形成和展布;构造控制主要表现在区内的河西、石鼓子等断裂不仅控制着盆地的形成、发展,同时也是成矿热卤水喷溢的通道,同沉积背斜构造产生的节理、裂隙、剥离空间是主要的容矿空间,控制了矿体的产出。

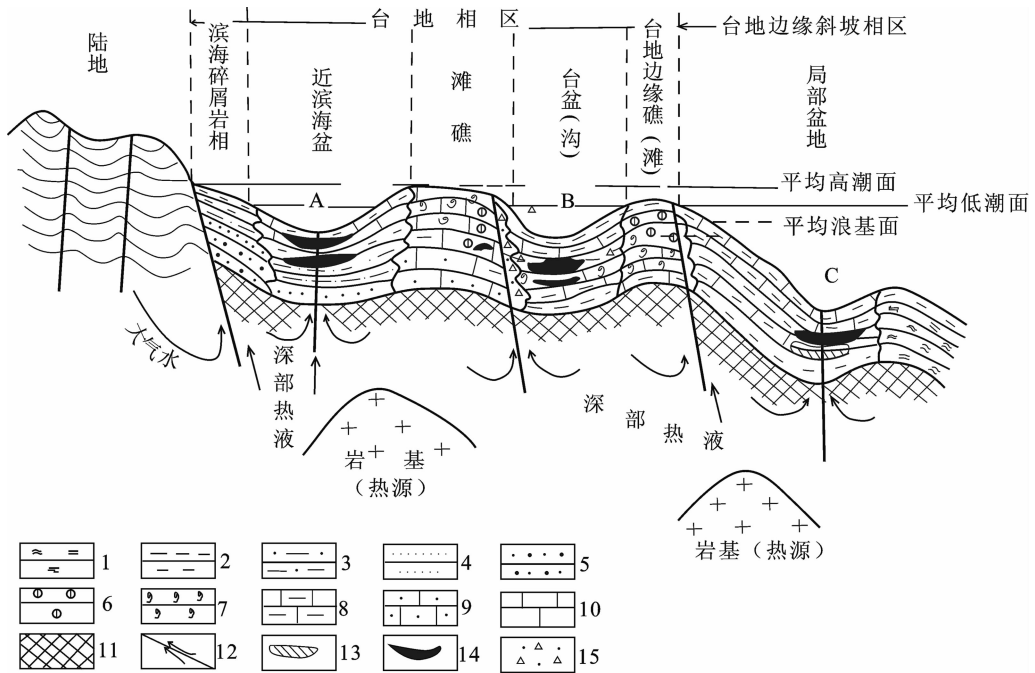
区域成矿模式 整个秦岭地区的铅锌矿床应纳入一个热水沉积成矿系列中^[2],主要经历了两期成矿作用:(1)热水沉积-成岩成矿期;(2)改造(再造)期。在沉积成矿期,由于盆地边缘生长断层的脉动式活动,导致高度矿化热水间歇性沿生长断层上升并进入沉积盆地,热液到达盆地后由于其密度远大于海水,因而仅在盆地底部沿斜坡流动,并在局部洼地中停聚形成卤水池。卤水池上部与海水产生有限混合,pH值增高;而卤水池下部则处于还原环境,Eh值较低。热水进入海底后因温度、压力等物理-化学条件

产生明显变化,使热水平衡系统受到破坏,络合物分解,形成富含金属的软泥。与此同时,在相对较高温度的热水环境中,硫酸盐被还原产生大量硫,与铅锌等金属结合形成富含金属硫化物的富厚矿层。因此,海底喷气热水沉积作用是这一成矿系列中成矿元素富集的重要机制,直接形成中上泥盆统中的铅锌矿床^[2]。由于盆地边缘及卤水层上部处于浅水半氧化环境,因而形成重晶石等硫酸盐及少量硫化物沉积。在后期改造作用过程中,沉积-成岩期形成的矿体和含矿层一起遭受区域变质作用、深部岩浆作用及构造变形作用,主要表现为矿体的塑性变形和矿石的重结晶作用,成矿物质未发生大规模的活化迁移(图3)。

3.3 三江中北段类乌齐—左贡接续区

矿床特征及分布 热液型铅锌矿床在全国范围内分布广泛,在三大成矿域均有分布,例如在滨太平

洋成矿域的东南沿海闽中、浙东、粤东等地区均有分布,在古亚洲成矿域内的华北地台北缘燕辽、吉南—辽北及内蒙额尔古纳等地区也有分布,在特提斯成矿域发育有冈底斯、三江、滇东南等热液型铅锌成矿带。已探明的热液型矿床具有数量多、储量小,且多为伴生元素等特征。最近由于西藏地区类乌齐—左贡和冈底斯成矿带的发现,大大提高了热液型和矽卡岩型铅锌矿床的找矿潜力。其中冈底斯成矿带的矿床符合多数热液矿床的特征,大多为斑岩型、矽卡岩型铜金矿床,铅锌为伴生元素,类乌齐—左贡成矿带矿床则并不完全具备多数热液矿床的特征,多为沉积-热液改造型矿床,找矿潜力巨大。类乌齐—左贡成矿带内多金属矿床(点)有71处,矿种主要为铅、锌、镉、银,次有钨、锡,是一个以铅、锌、银、汞、砷等矿种为主的资源富集区,铅锌矿17处,包括拉诺



古陆边缘以碳酸盐岩和碎屑岩为容矿岩石的(秦岭式)铅锌矿床模式图

A—厂坝亚式; B—铅矾山亚式; C—银洞子亚式

图3 西秦岭地区铅锌矿床区域成矿模式(据裴荣富, 1995^[24])

- 1—硅质岩及铁白云石硅质岩; 2—粉砂岩、页岩; 3—砂质泥岩; 4—砂岩、细砂岩; 5—含砾砂岩; 6—礁灰岩;
- 7—生物灰岩; 8—泥质灰岩; 9—砂质灰岩; 10—灰岩; 11—下泥盆统及前泥盆系基底; 12—同生断层及热液流动方向; 13—菱铁矿矿体; 14—铅锌和铅锌银矿体; 15—同生角砾岩

Fig.3 Metallogenic model for Pb-Zn deposits in west Qinling area (after Pei Rongfu, 1995)

- 1—Siliceous and ankerite-siliceous rocks; 2— Siltstone and shale; 3— Ankerite-siliceous rocks; 4— Sandstone fine sandstone; 5— Pebbled sandstone; 6— Reef limestones; 7— Bioclastic limestone; 8— Argillaceous limestone;
- 9— Calcarenite; 10— Limestone; 11— Lower Devonian and pre-Devonian basement; 12— Contemporaneous fault and direction of hydrothermal fluid; 13— Ore body of siderite; 14— Ore body of Pb-Zn and silver; 15— Syngenetic breccia

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。区内化探异常密集,呈带状分布,主要有铅、锌、铜、锑、银、重晶石、黑钨矿等异常,高温矿物组合异常与岩浆岩成正相关^①,低温热液型铜、银、铅锌多金属矿产多数远离侵入体,与侵入体无关。

背景 类乌齐—左贡成矿带位于特提斯—喜马拉雅巨型构造带之三江特提斯构造域北段,构造单元上属左贡—施甸陆块中的类乌齐—耿马被动大陆边缘褶冲带的北段^[7],西临怒江板块结合带,东连澜沧江板块结合带至昌都陆块的西部边缘,在构造位置上位于澜沧江大断裂和怒江构造带的中部,构成规模巨大的北西向—近南北向的弧形构造,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—喜山期的岩浆弧带,由此构成本区基本地质构造格架,也控制西藏东部地区的丰富矿产资源。其形成与北澜沧江带向东俯冲有关,北澜沧江洋盆扩张始于石炭—二叠纪,二叠纪晚期—印支期向东俯冲形成火山岩浆弧。成矿有关的早石炭世卡贡岩组与海底扩张的构造环境有关,而晚三叠世中酸性侵入岩与俯冲、碰撞的大地构造环境关系密切。

地层 区内出露的地层包括元古宇、石炭系、二叠系、侏罗系和古近—新近系。元古宇主要包括吉塘群、嘉玉桥群变质岩系,主要为一套结晶片岩、片麻岩、变粒岩、大理岩、绿片岩,分布于班公错—康托—兹格塘错断裂与吉曲—察雅—碧土断裂之间的美玉—吉塘—干中雄—滨达以及类乌齐镇—钟达—巴青县的雅安多一带和嘉玉桥—左贡县饶金一带。石炭系主要分布于察雅县卡贡一带和类乌齐县北部地区,岩性主要由泥质灰岩、页岩、生物碎屑岩、白云岩、千枚岩及片岩组成,属于稳定台地环境的碳酸盐岩建造和浅海相火山岩建造组合。二叠系仅有下二叠统零星出露,主要为一套亮晶生物碎屑灰岩、砂屑灰岩,为滨浅海相砂泥岩、碳酸盐岩建造。三叠系中下三叠统缺失,上三叠统分布广泛,岩性主要为板岩、砂岩、砾岩、灰岩、白云岩和少量安山岩,局部发现有煤层和石膏层,为一套次稳定—活动型的海相碎屑岩,含碳酸盐岩和基性—中基性火山岩。侏罗系

在区内普遍发育,岩性主要为泥岩、页岩、砂岩及少量的碳酸岩和中基性火山岩,为一套陆相碎屑岩沉积。古近—新近系为一套粉砂岩、粉砂质泥岩、砾岩、泥岩和石膏层。

构造 区内断裂、褶皱构造发育,总体构造形迹为北西—南东向,由褶皱、断裂组成的褶断系控制着区内沉积作用、岩浆活动的展布。断裂多为压性断裂,规模大,具有多期活动性质,沿断裂带有岩浆侵入,代表性断裂有桑多—左贡断裂和俄洛桥断裂及一系列断层和复式褶皱,桑多—吉塘断裂是昌都板片和唐古拉板片的分区界线,具明显的构造分割作用,是澜沧江断裂带的北西延伸部分。断裂带性质为扭压性逆冲断层,形成时期主要为华力西期,印支期和燕山期发生再次活动改造。俄洛桥断裂为桑多—吉塘断裂的分支断裂,破碎带由糜棱岩和构造角砾岩组成,控制区域铁帽氧化带的分布。沿该断裂带已知矿床有:拉诺玛铅锌多金属矿床、俄洛桥砷硫大型矿床、西岗锑铅多金属中型矿床等。

岩浆岩 主要沿桑多—吉塘断裂呈北西向展布,产状多为复式岩基、岩株,主要为燕山期和印支期花岗岩类,其中花岗闪长岩与成矿关系密切,是本区各类沉积改造型矿(床)产形成的主要热源体。除花岗闪长岩外,在吉塘铁矿还有角闪辉长岩、辉长岩、角闪二长岩、花岗岩、二长花岗岩等岩(脉)体侵入,其中的二长花岗岩,规模最大,呈北西—南东向长条状展布,侵入于早石炭世卡贡岩组中,主要岩性为黑云母二长花岗岩。不同期次岩浆岩主要受构造控制,具成带性。岩石为S型花岗岩特点,物质来源于陆壳部分熔融,其侵入活动与Pb、Zn、Ag、Cu等矿化关系密切。

矿体特征 矿体形态、规模、品位变化等均受断层和褶皱的控制,断裂破碎带和褶皱转折端滑脱部位是矿体产出的有利部位,矿化体呈似层状、层状、复脉状产出,赋存在碳酸盐岩地层中的矿体,其产状与围岩地层产状一致,产于断裂带中的矿体多产于断裂破碎带内及断裂带两侧的沉积地层中,矿体多呈条带状、透镜状或似层状产出。

矿石矿物 原生矿石有黄铁矿、白铁矿、方铅矿、闪锌矿和少量黄铜矿,氧化矿物为褐铁矿、纤铁矿、铅矾、菱锌矿、纤锌矿、赤铁矿、菱铁矿和少量孔

①藏东地矿的博客,2009. 西藏类乌齐—左贡成矿带中段有色金属矿成矿条件探讨. http://blog.sina.com.cn/s/blog_63ac7b990100_gfth.html.

孔雀石,脉石矿物主要为方解石、重晶石、萤石、白云石、石英、石膏等。矿石的构造主要为稀疏浸染状、稠密浸染状、角砾状构造,其次为皮壳状、块状、蜂窝状、孔洞状、肾状、胶状、变胶状、针状、放射状、脉状-网脉状等构造;结构以自形、半自形晶体集合体及交代残余、假象结构为主,可见他形粒状结构的堆积集合体。围岩蚀变为褐铁矿化、方解石化、萤石化、白云岩化、黄铁矿化和硅化等。

控矿因素 区内矿体受到地层和构造的双重控制,古生代以来的沉积地层,尤其是碳酸盐岩地层是铅锌矿床赋存的有利围岩;多期次活动的断裂构造是矿液运移通道,同时也是矿体就位的有利空间,尤其是当断裂带发育有构造角砾岩时,更加有利于矿体的形成;区内褐铁矿化、方解石化、硅化、黄铁矿化等可为寻找铅锌矿体的找矿标志。

主要控矿因素为地层和构造,地层控矿主要表现在中泥盆统浅海局限盆地相碎屑岩和碳酸盐岩建造是主要的容矿围岩,控制着矿体的形成和展布;构造控制主要表现在区内的河西、石鼓子等断裂不仅控制着盆地的形成、发展,同时也是成矿热卤水喷溢的通道,同沉积背斜构造产生的节理、裂隙、剥离空间是主要的容矿空间,控制了矿体的产出。

成因认识 该类铅银矿床(点)与构造驱排的中低温热卤水活动有关,形成充填交代型多金属矿化,以优日铅银矿、都日铅银矿、彭多沟砾矿为代表。初步查明优日、都日银铅矿受下二叠统(交嘎组)灰岩、上二叠统(妥坝组)火山凝灰岩中的构造破碎带控制,主矿体规模大,延伸稳定,银、铅品位较富,具有典型中低温热液矿床的特征,有望成为大型矿床规模,外围具有进一步扩大远景的希望。

3.4 三江南段兰坪接续区

矿床特征及分布 砂砾岩型铅锌矿床产于海相或陆相砂岩、长石砂岩和砾岩中的铅锌矿床。矿石组成简单,铅锌品位较高,围岩蚀变微弱,成矿温度低。这类矿床虽然在中国分布不广,但发育的多为大型、超大型矿床,开发经济价值巨大,典型矿床为云南兰坪金顶铅锌矿床,该矿床位于三江造山带的走滑拉分盆地中,与新特提斯洋闭合后,印度大陆与欧亚大陆的碰撞有关,其铅、锌储量合计超过 1500 万 t,并含有银、镉、铊、硫等有用元素。矿区的穹隆构造中心被剥蚀,出露虎头寺组地层。围绕穹隆中心分别为北厂、架崖山、蜂子山、西坡、南厂、白草坪、跑马坪等矿段^[28]。

背景 金顶铅锌矿区位于西南三江褶皱系南段的兰坪—思茅中—新生代裂谷盆地的北端。矿区范围,长 4.5 km,宽 2.5 km,面积约 11 km²,出露地层由外来系统和原地系统两部分组成。外来系统由上三叠统、中侏罗统及下白垩统组成,它是由水平推覆断层从本区东部向西推覆并倒置于原地系统之上。原地系统由上白垩统和古近系组成。在矿田内二者同步褶皱形成北北东向的穹隆构造,分布于泚江大断裂西侧,东西两侧为南北向断裂所切。

三江地区地质构造的形成与发展经历了原特提斯(Pt₃-Pz₁),古特提斯(D-T₃)和中特提斯(T₃-E₁)洋的 3 次打开和闭合,印支和燕山—喜马拉雅期的 2 次强烈碰撞造山作用及盆山(或洋陆)和壳幔的 2 种转换的复杂演化过程,造成了地球各圈层物质的大循环、大混杂、大汇聚^[29],为三江地区形成得天独厚的成矿背景创造了条件。特别是喜马拉雅期印度板块与欧亚板块的会聚和碰撞过程,使本区形成大推覆、逆冲、走滑、区域变质,使深源与浅成的热气液流体,沿断裂系统对流,这是一次重大的热事件,它对区内金属与成矿物质的迁移和富集影响很大,金顶超大型铅锌矿床正是在这样的区域地质背景下形成的^[30]。

地层 矿区内地层可分为外来系统和原地系统两部。外来系统地层倒置在原地系统地层之上,自上而下由三叠系上统、侏罗系及少部分白垩系下统组成;原地系统由白垩系上统及古新统云龙组等组成。两套地层系统之间以构造推覆面接触。外来系统中的下白垩统景星组(K_{1j})上部为灰色厚层细粒石英砂岩,下部为灰色含砾屑(钙质角砾)细砂岩夹粉砂岩,该组为矿区的主要含矿层。原地系统中的古近系云龙组(E_{1y})含盐地层上部(E_{1yb})为灰色夹紫红色砾屑灰岩、含砾屑细-中粒砂岩,也为主要含矿层位^[31]。

构造 金顶铅锌矿床的主要控矿构造为交汇的断裂和穹隆状盐丘。位于 SN 向泚江断裂和 NE 向隐伏断裂的交汇部位,成矿受两大断裂的控制,在两条断裂的交汇地带矿化作用最强;沿断裂向外侧矿化作用有逐渐减弱的趋势。

金顶超大型铅锌矿床分布在一个长 3 km、宽 2 km 的穹隆构造中。沿着穹隆构造边部似乎发育一系列放射状断裂。盐丘的形态和规模与矿区的穹隆构造具有和谐的关系,沿着穹隆构造边部发育的一系列放射状断裂说明穹隆构造极有可能是在区域构造应力作用下由于含盐地层密度倒置导致膏盐底辟

形成盐丘,并诱发形成金顶矿区的穹隆构造。穹隆控矿使矿体厚度产生了厚→薄→厚的变化,具体表现为:穹隆褶皱过程中,在侧压力的作用下,随翼部地层产生滑动,平缓地段即为引张地带,因而矿体变得富厚;陡倾地段即为挤压地段,因而矿体变薄、变贫。

矿体特征 矿区有两个矿带,上矿带由下白垩统景星组底部的石英砂岩组成;下矿带由古近系云龙组上段含角砾砂岩和灰岩角砾组成。矿体明显受围岩岩性控制,产状与围岩基本一致。全区共圈出铅锌矿体446个,矿区95%以上的储量分布于北厂、架崖山、蜂子山、跑马坪四个矿段。与铅锌矿共生的矿体有硫铁矿矿体76个、天青石矿体100个、石膏矿体59个。各矿段的矿体围绕穹隆核心呈不规则的环带分布。按空间及层位来看,铅锌矿体主要发育在白垩系下统与古近系构造接触面上下的景星组(上含矿带)与云龙组上段(下含矿带)两套地层中。上含矿带位于钙质胶结的分选好的灰色细粒石英砂岩中,矿化均匀稳定,几乎全层矿化^[32],金属矿物多呈浸染斑点状。矿体呈层状、似层状产出,延伸数百米,呈近EW走向,倾向N,倾角约30°。下含矿带赋矿岩石为一套含膏盐陆相碎屑岩,矿体呈透镜状、脉状和不规则状产出,金属矿物沿节理、裂隙充填交代,矿体除含铅锌外,常含黄铁矿、白铁矿、天青石、石膏,它们有时可构成单独的工业矿体。

矿石矿物 原生金属矿物为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、白铁矿,常见少量的赤铁矿,偶见微量的黄铜矿、自然银、银黝铜矿、辉银矿等。透明矿物主要为方解石、石英(多呈碎屑状)、含钡天青石、含锶重晶石、硬石膏、白云石及各种碎屑矿物。氧化矿物主要为菱锌矿、水锌矿、异极矿、白铅矿、含铈铅铁矾、褐铁矿、菱锆矿、无钡天青石、粉状重晶石、方解石及少量硫镉矿等^[33]。按岩性可将矿石类型划分为砂岩型和灰岩角砾岩型两大类。其中砂岩型矿石主要赋存于上含矿层以及北厂17线以西的下含矿层,分布于北厂、蜂子山、西坡、架崖山、白草坪等矿段;灰岩角砾岩型矿石见于下含矿段,分布于北厂17线以东的架崖山、南厂、跑马坪等矿段。砂岩型矿石的结构较为简单,主要以金属矿物胶结砂屑而成的胶结结构为主,次为溶蚀交代结构、鲕状结构;矿石构造以浸染斑点状为主,块状次之。而灰岩角砾岩型矿石的结构构造较为复杂,主要为交代溶蚀结构、胶状同心环带结构、乳滴状结构和似文象结构;常见的构造为网脉

状、角砾状和条带状构造,具有明显的后期充填交代特征^[32]。围岩蚀变常见黄(白)铁矿化、方解石化、赤铁矿化、硅化、白云石化、重晶石化、天青石化和退色作用。此外,石膏的塑性变形和似脉状穿插也发育,靠近补给系统的灰岩角砾岩型矿石蚀变较之上部砂岩型矿石强烈,尤其是角砾岩型矿石中各种蚀变作用叠加,强度不一。与铅锌矿化关系密切的有黄(白)铁矿化、方解石化、赤铁矿化、重晶石化和天青石化。

控矿因素 沿兰坪盆地中央新生代盆地边缘近南北向展布的沱江断裂带是重要导矿构造,砂、角砾岩是主要的储矿岩性,推覆构造、(金顶)穹隆构造、断裂构造控制着矿体分布。金顶矿体呈板状主要产在推覆构造(F_2)中及其上下附近的景星组(K_{1j})和云龙组上段(E_{1y}^b)碎屑岩中,推覆构造是容矿构造之一。含矿岩系以石英砂岩和角砾岩为主,具有孔隙度大、渗透率高的特点,从储集层厚度、储集层类型、沉积相特征以及有效孔隙度综合分析,是成矿流体有利的储集空间。推覆断层 F_2 连同主矿体在矿区形成以原地系统为核心的穹隆构造;推覆滑动面也卷入穹隆,反映推覆构造形成于穹隆构造之前^[34]。穹隆孤立出现,矿体围绕着穹隆核心分布,矿体厚度越靠近穹隆顶部越厚,金顶穹隆是重要的容矿构造。

成矿时代问题 金顶型铅锌多金属矿床容矿地层多属白垩系下统、古新统和侏罗系。成矿时代应晚于主岩。金顶矿石中微晶黄铁矿的Re-Os同位素等时线年龄为67 Ma^[35],白秧坪矿床中硅化石英的Ar-Ar年龄为62 Ma^[35],与喜马拉雅期幔-壳源碱性岩浆活动开始时间(68 Ma)一致^[34],推测成矿时代为57~23 Ma^[35]。

区域成矿模式 金顶矿床成因问题一直争论不休。归纳起来,主要有4种成因观点:①同生沉积-后期改造矿床^[9, 32-34, 37];②后生热液或后生热液-层控矿床^[28, 35-36, 38-41];③同生沉积(喷流沉积,即Sedex)矿床^[42-45];④特殊类型矿床^[46-48]。近年来,对于矿床成因的认识以后生矿床为主,本文按照后生成因认识如下:在古特提斯基础上,金顶地区中生代先后接受残留海和坳陷盆地不连续陆相为主的碎屑沉积(含膏盐),新生代(沱江等)近SN向走滑构造活动,出现古近纪拉分盆地含盐碎屑沉积。古新世末以来自东而西的逆冲构造使大量中生界推覆到古近系之上,于金顶矿区推覆构造末或随后发生局部穹隆,金顶推覆构造卷入穹隆化过程。金顶穹隆中盆地流体聚

集并易发生 SO_4^{2-} 被地下水中的细菌或聚集于穹隆中的油气大量还原成 H_2S , 可能形成 H_2S 气藏。矿床的形成是含矿热卤水与地下水的混合机制。含矿热卤水带来了重金属元素, 地下水起到了改变成矿温度, 带来有机质、细菌和硫质, 改变成矿溶液的硫、氧逸度、pH 值、盐度等的作用^[28]。含矿流体通过位于矿区东部的泚江断裂从深部注入金顶穹隆, 向西运移, 铅锌离子(团)与气藏中 H_2S 的快速反应而集中沉淀在金顶穹隆中形成铅锌矿床^[41](图 4), 丰富的含矿热卤水沿构造的持续补给、良好的容矿空间、不透水层的遮挡作用是形成金顶巨型矿床的最主要因素^[33]。进一步的穹隆化导致油气藏破坏和硫化物矿体的不连续性。

3.5 冈底斯接续区

西藏冈底斯多金属成矿带位于雅鲁藏布江缝合带北侧拉萨地体南缘的冈底斯造山带中, 包括班公湖—怒江板块缝合带之南, 至雅鲁藏布江缝合带之北

广大地区。冈底斯成矿带找矿潜力巨大, 矿床集中分布在谢通门至工布江达长约 400 km, 宽约 50 km 范围内, 现在已经找到十余处矿床。在冈底斯念青唐古拉成矿带先后发现了亚桂拉—龙玛拉铜铅锌多金属成矿带、驱龙—甲玛斑岩—矽卡岩型铜铅锌金银多金属成矿带、昂张—拉屋铜铅锌多金属成矿带、扎雪—金达铜铅锌多金属成矿带、都朗铜铅锌多金属成矿带和尤卡朗—同德铅银多金属成矿带。已经取得重大地质勘查成果的冈底斯念青唐古拉地区, 是区内现阶段地质综合研究和勘查开发的集中热点地区。

亚桂拉—龙玛拉铜铅锌多金属成矿带。该带位于工作区南部, 矿化类型以来姑组地层层控型铅锌多金属矿为主, 次有热液充填交代型铅锌矿化。主要沿亚桂拉—龙玛拉来姑组地层和扎雪—金达燕山期岩浆岩带北侧分布。区内矿床主要产于来姑组第三岩性段海底喷流沉积地层中, 受地层岩相控制明显。燕山晚期及喜山期的中酸性岩浆侵入活动, 在先成

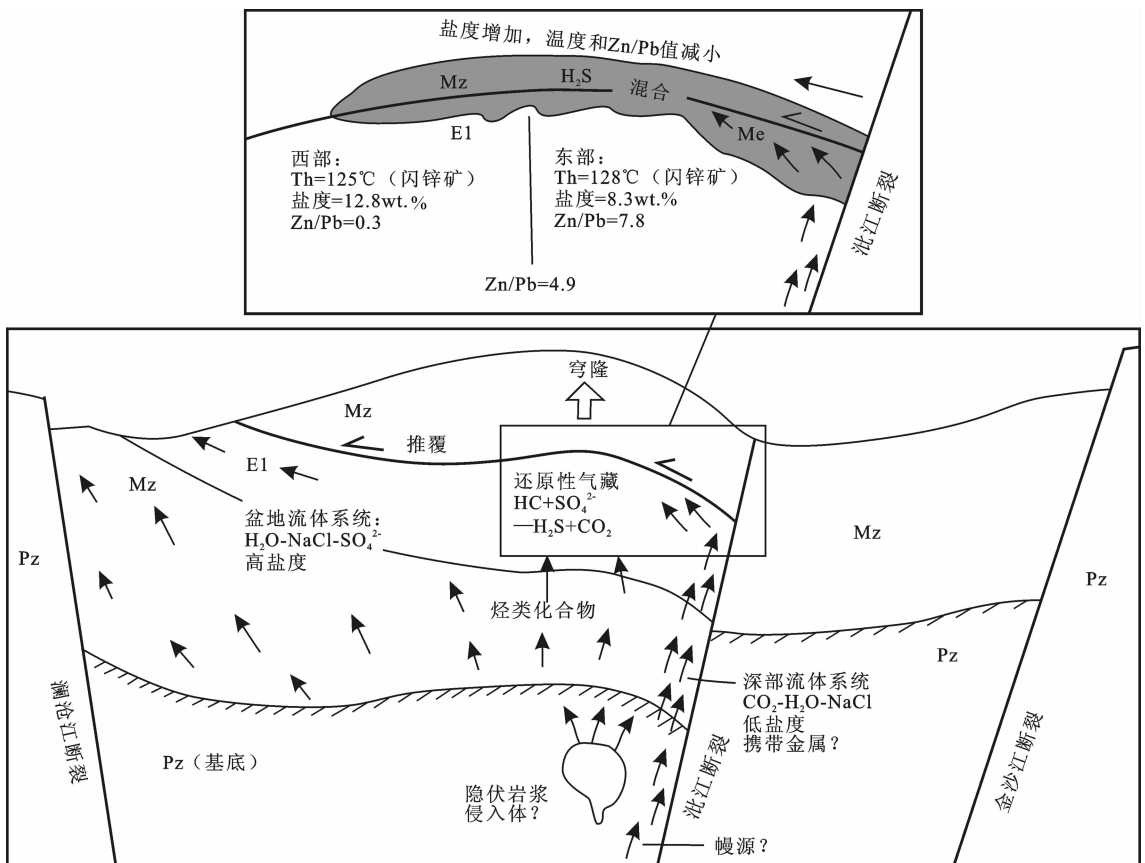


图 4 金顶型铅锌多金属矿床模型 (薛春纪, 2009^[41])
Fig.4 Model of Jinding Pb-Zn deposit (after Xue Chunji, 2009)

喷流沉积层控型矿床基础上叠加了晚期岩浆热液充填交代型(矽卡岩型)铅锌矿化。因此,区内主要矿床类型为热水喷流沉积型铅锌矿、热水喷流沉积-叠加改造型铅锌矿床,如亚桂拉铅锌矿、龙马拉铅锌矿、蒙亚啊铅锌矿等。

驱龙—甲玛成矿带。以甲玛为代表的典型矿床主要为受灰岩—炭质板岩的层间构造控制,这些矿床属于与新生代中酸性岩浆活动密切相关的矽卡岩、角岩和斑岩型矿石三位一体的铜多金属矿床^[50]。典型矿床有甲玛、雄村、邦铺沟、尤卡朗、龙玛拉、赵发涌、纳如松多等铅锌或多金属矿床。

都朗铜铅锌多金属成矿带。该带位于冈底斯成矿带中部,沿萨旺—嘎布日—错麦—基龙多一带分布,即与色日绒—错麦复式岩浆岩带一致。带内出露的岩层主要是上石炭统—下二叠统来姑组中厚层状大理岩及其和砂质板岩组成的互层。目前该区主要分布铅锌多金属矿床、矿(化)点2处。铅锌多金属矿床矿化类型以层控型铅锌多金属矿为主,如色日绒多金属矿、体加弄巴多金属矿,次有热液充填交代型铅锌矿化。

昂张—拉屋铜铅锌多金属成矿带。该带位于工作区中部,主要沿昂张—拉屋、由拉沟—江喻松多来姑组地层分布。矿化类型以来姑组地层层控型铅锌多金属矿为主,次有热液充填交代型铅锌矿化。在区内还发现有热水沉积成因的重晶石矿和多处石膏等矿床,如欧雁龙巴重晶石矿、空布拉石膏矿、委元绒石膏矿等。燕山晚期及喜山期,由于中酸性岩浆侵入活动,不仅为矿区铅锌多金属矿化再次提供了热动力,而且也提供了部分成矿物质来源;同时矿区次级断裂带构造为热液的运移提供了通道,并在喷流沉积层控型矿床基础上叠加了晚期热液充填交代型(矽卡岩型)铅锌矿化。如拉屋铅锌多金属矿床。

尤卡朗—同德铅银多金属成矿带。位于申扎—嘉黎断裂带北侧,沿班戈—桑雄—同德燕山期岩浆岩带展布,该岩浆弧带主要由中侏罗统马里组、桑卡拉侖组、中上侏罗统拉贡塘组及下白垩统多尼组构成,北邻比如—洛隆盆地,总体上呈单斜形态,地层由南向北变新,有较大规模的燕山期I型或I-S过渡型花岗岩株和岩基发育,构造形变以过渡型褶皱和逆冲推覆为主。区内分布有以银铅为主的多金属矿点7处。带内主要矿种为铅(锌)银,主要矿化类型为热液充填交代型富银铅矿,如尤卡朗铅银矿。

扎雪—金达铜铅锌多金属成矿带。扎雪—金达

断隆主要由近东西向带状分布的前二叠系雷龙库、马布库、岔萨岗岩组的石英岩、云英片岩、云母片岩、变粒岩、钾长—斜长片麻岩和大理岩组成,呈紧闭褶皱穹状隆起。本区铅锌银多金属矿化与燕山晚期及喜山期的中酸性岩浆岩关系最为密切,矿床主要赋存于上石炭统—下二叠统来姑组和中二叠统洛巴堆组中,主要矿床类型为矽卡岩型铅锌多金属矿,如普穷多多金属矿。

4 主要接续区潜力评述

4.1 潜力分析

从铅锌矿床资源潜力分布特征来看,中国最具潜力的接续区主要分布在西部地区,包括西藏冈底斯地区,青海的沱沱河地区,四川、云南和贵州交界地区,还包括秦岭造山带两侧西秦岭北侧和扬子地台北缘的大巴山(马元—白玉)地区,西南三江地区,乌拉根地区,新疆阿尔泰,东天山等地区。中国东部地区也存在许多有潜力的接续区,但是这些区带多集中分布在已有的铅锌矿集区内部及其周围,其中包括长江中下游地区、南岭地区、大兴安岭、小兴安岭—张广才岭地区、华北地台北缘、东南沿海地区等。这些东部地区除闽中和额尔古纳地区外,其他大部分地区的资源潜力主要来自老矿山的深部和外围。

从前述矿床成因类型来看,中国主要的铅锌矿成矿类型有碳酸盐岩型、海底喷流沉积型、矽卡岩型,另外砂(砾)岩型矿床也应值得重视。中国最有潜力的矿床类型主要为矽卡岩型和碳酸盐岩型,矽卡岩型的有潜力的接续区有13个,资源潜力初步估计能达到1亿t左右,其中最为典型的铅锌接续区为冈底斯成矿带,近期的找矿发现证明它具有十分巨大的找矿潜力;具有碳酸盐岩型矿床成矿潜力的铅锌接续区有8个,资源潜力初步估计能达到近1亿t,其中典型的潜力区带分布在上扬子地台周缘,以川滇黔地区、扬子地台北缘的白玉—马元地区和东南缘的鄂西—湘西地区为代表,近几年在这些地区不断获得找矿新突破,显示出了中国碳酸盐岩型铅锌矿床的找矿潜力不容忽视。具有海底喷流沉积型矿床成矿潜力的铅锌接续区有5个,资源潜力初步估计超过1亿t,其中典型的接续区分布在祁连—秦岭造山带、内蒙古狼山—渣尔泰山地区和华北燕辽地区,近年来,这类矿床找矿虽未取得重大突破,但

潜力相对较大的砂(砾)岩型铅锌矿床,主要潜力分布区位于中国西南三江地区和塔里木西缘地区,这两个地区目前勘探程度较低,工作条件较差,适当增加勘查投入,有望取得不错成效。另外,其他类型的潜力情况依次为热液型、海相火山岩型、陆相火山岩型。

4.1.1 西部新矿区潜力初步显现

目前,中国西部地区勘查程度较低,随着勘查工作的不断进行,西部资源优势日趋显现。自“十五”实施以来,西部各省的地勘单位地质勘查成果捷报频传。在新疆,乌拉根找矿获突破,新发现东天山彩霞山大型矿床,铅锌资源量已超过 500 万 t,宏源铅锌矿具有很好的找矿远景;在西藏,蒙亚啊—亚贵拉—洞中拉成矿带获得近 1000 万 t 的远景资源量,甲玛—沙让成矿带获得远景资源量超过 200 万 t,拉诺玛铅锌矿资源量超过 300 万 t,类乌齐—左贡成矿带铅锌潜在资源量超过 300 万 t;在青海,沱沱河地区新发现金顶式砂(砾)岩型矿床,资源潜力巨大,新发现东莫扎抓、茶曲怕查、才多玛等一批铅锌矿床;在云南,鲁子园远景资源量超过 180 万 t,保山地区新发现核桃坪、金厂河等铅锌多金属矿床;在贵州,碳酸盐岩型铅锌矿床勘查在织金—纳雍一带获得突破,估算资源量超过 200 万 t;在四川,同样是碳酸盐岩容矿的碳酸盐岩型矿床获得新突破,乌斯河新探获远景资源量 57.16 万 t,山水沟探获铅锌资源量 60.53 万 t,砂西探获远景储量 165 万 t,尔呷地吉探获资源量近 50 万 t;在甘肃,新发现代家庄、秦家园、石碛沟等矿床,累计探获远景资源量超过 60 万 t。这些新发现表明,中国西部地区铅锌资源优势正在逐步显现,在未来一段时期内中国铅锌资源储量的增加将在很大程度上依赖于西部新矿产地的发现。

4.1.2 东部老矿区深部找矿潜力不容忽视

2005 年全国危机矿产资源潜力找矿专项启动,通过几批项目的实施,先后取得了令人振奋的找矿新突破。使得中国许多老矿山重获新生。根据危矿办《全国主要固体矿产大中型矿山资源潜力调查报告》统计,对于固体矿山而言,深部勘探工作平均每增加 1 万 m 工作量相应将增加 311 t 的新增储量。例如,

在广西大厂铜坑矿区深部,突破性地探获新的铜锌矿体,新增铜资源量近 100 万 t^①;在湖南黄沙坪矿区深部新探获远景铅锌资源量 136 万 t,初步估算经济效益可达 150 亿元^②;由于在 1571 m 标高以下深部 8 号矿体的发现,使得会泽铅锌矿床资源量扩大 80 多万吨^③。所有这些实例表明,中国许多老矿山仍有很大的找矿空间。目前中国大部分铅锌矿床的开采深度在 160~1220 m,平均勘探深度为 534 m。随着开采深度的不断加大,将会有许多新矿体不断被发现和探明。

4.2 典型类型铅锌接续区潜力评述

4.2.1 矽卡岩型铅锌接续区——以冈底斯矿集区为例

中国目前最具潜力的矽卡岩型铅锌接续区主要集中在青藏、华南及东北和华北的部分地区,主要的接续区有冈底斯、突泉—翁牛特旗、吉南—辽北、赣东北、湘西南—桂东北、小秦岭、河池—南丹、桂东—粤西、长江中下游等地区,其中最具潜力的应属冈底斯接续区。

冈底斯成矿带隶属于冈底斯念青唐古拉造山带,面积为 1 350 km²,目前在该造山带上发现了蒙亚啊—亚贵(桂)拉—洞中拉矽卡岩型成矿带、驱龙—甲玛斑岩—矽卡岩型铜钼铅锌金银多金属成矿带,已发现有蒙亚啊、亚贵拉、洞中拉、拉屋、甲玛、雄村、邦铺沟、尤卡朗、龙玛拉、赵发涌、纳如松多等处铅锌或多金属矿床,铅锌资源量近 760 万 t。冈底斯接续区已发现的铅锌资源储量虽然不大,但是该地区的勘查程度总体较低,近年来地质调查和勘探工作取得了巨大的找矿突破。谭岗等(2011)对西藏冈底斯多金属成矿带内铅锌矿进行了定位预测,获得 29 个成矿远景区潜在铅锌资源量为 29 192 万 t,其中铅 13 111 万 t,锌 16 080 万 t^④,潜力评价初步预测结果显示,区域内潜在资源量为 4900 多万吨,显示出冈底斯地区具有巨大的找矿潜力。

区内主要矿床类型为矽卡岩型和热液型,相应的预测类型为矽卡岩型和岩浆热液型。主要的找矿区域有蒙亚啊—亚贵拉—洞中拉成矿带和驱龙—甲玛—帮浦斑岩铜钼多金属成矿带^⑤。这两个成矿带位于冈底斯—念青唐古拉造山带东段,区内矿床主要

① 危机矿山专项实施以来找矿成效显著。国土资源地质勘查司网, 2009-3-16。

② 湖南发现价值 150 亿大型铅锌矿和钨钼多金属矿。湖南地勘局网, 2008-8-6。

③ 唐鞠兴,王登红,肖克炎,等.西藏冈底斯成矿省(Ⅱ10)重要矿床类型、成矿规律和找矿评价.全国矿产资源潜力评价成矿规律研讨会, 2009。

受灰岩(大理岩)与黑色岩系的层序界面和地球化学障的控制,或受灰岩(大理岩)和黑色岩系的层间构造控制。主要的含矿层位是晚石炭—早二叠世来姑组灰岩(灰岩—黑色岩系的层间构造)、二叠纪洛巴堆组(灰岩—黑色岩系的层间构造)、中侏罗世多底沟组与晚侏罗世林布宗组层间构造(灰岩—黑色岩系的层间构造)。这类矿床代表了燕山晚期—喜马拉雅早期主碰撞期的成矿,与酸性花岗岩、花岗斑岩的侵位有关,矿床地质特征、元素组合、蚀变、成矿背景等与南岭地区的成矿作用有一定的相似之处。燕山晚期—喜马拉雅早期花岗斑岩、石英斑岩、花岗岩的出露,近东西向分布的层间构造带(来姑组、洛巴堆组的灰岩—黑色岩系的层间构造),来姑组、洛巴堆组的灰岩—黑色岩系控制着蒙亚啊—亚贵拉的铅锌多金属矿的分布。驱龙—甲玛—邦浦多金属成矿带主要为受灰岩—炭质板岩的层间构造控制的矽卡岩型矿床,念青唐古拉地区广泛发育的钙碱性浅成岩控制这类斑岩铜矿—矽卡岩型铅锌多金属矿的形成。

铅锌矿床矿体产于碳酸盐岩与碎屑岩之间的接触界面处,同时中酸性岩浆活动是触发成矿作用发生的关键因素。在冈底斯成矿带内寻找与岩体接触的碳酸盐岩地层将是寻找该类铅锌矿床的有利部位。因此,在今后找矿工作中应注意以下几个方面问题:(1)认真研究总结该区大型、特大型铅锌矿床的形成条件和找矿经验,并进行推广;(2)注意寻找碳酸盐岩地层与岩体的接触部位,尤其是与中酸性岩体接触的地段,将是找矿的最有利地段;(3)注意控矿主断裂及与各方向断裂交汇部位找矿,着重加强东西向基底构造带与北东、北北东及南北向断裂交汇处。

4.2.2 碳酸盐岩型铅锌接续区——以川滇黔接续区为例

碳酸盐岩型铅锌矿床是中国最重要的铅锌矿床类型之一,目前全国已发现的矿集区大多集中在上扬子地台周缘和塔里木盆地边缘的部分地区,扬子周缘主要的接续区有川滇黔、马元—白玉、黄陵—神农架、湘西、石棉—金阳等地区,其中最为重要的应属川滇黔接续区。

川滇黔接续区地质勘查程度相对较高,经过近一个世纪的找矿工作,已有许多矿床被发现,然而,由于近几年地质勘查投入的增加,一些新的矿床被不断发现,如乐红、火德红、织金—纳雍成矿带等;另外在已有矿山的深部也有新的突破,如在会泽铅锌矿深部发现 8 号和 10 号矿体,从而大大增加了矿山

储量。总的来讲,川滇黔仍然具有很大的找矿潜力。

该接续区的主要矿床类型为碳酸盐岩型矿床,相应的预测类型为层控热液型。主要的找矿区域有四川凉山会理—会东地区、云南巧家—会泽—贵州威宁地区、贵州水城地区、织金—纳雍地区,该地区的矿床主要受灰岩(大理岩)与泥页岩的层序界面、地球化学障以及断裂构造的控制。区内主要的含矿层位是晚震旦世灯影组白云岩、石炭系白云岩、灰岩,其次是寒武系、志留系碳酸盐岩和碎屑岩。区内南北向、北东向和北西向深断裂控制着矿床的产出,断裂控制着断陷的发生、发展,主干断裂成为导矿构造,断裂膨胀部位形成主要容矿场所。这类矿床代表了印支期古特提斯闭合过程中,盆地流体大规模运移过程中一系列的碳酸盐岩容矿的后生碳酸盐岩型铅锌矿床的形成。矿床地质特征、元素组合、蚀变、成矿背景等与上扬子地台北缘马元—白玉地区、扬子地台北缘黄陵—神农架地区、扬子地台东南缘湘西地区有着相似之处。

川滇黔接续区的铅锌矿床矿体产于碳酸盐岩内,同时矿床的展布受南北向深大断裂及其北东向、北西向断裂的控制,矿区内的矿体则主要受次级断裂带、褶皱的控制。因此,在今后找矿工作中应注意以下几个方面问题:(1)研究区内大型、特大型铅锌矿床的分布特征,尤其重视推覆构造对矿床分布的控制作用;(2)注意寻找碳酸盐岩地层,尤其是在地层物性(如孔隙度和渗透率)变化明显的部位,这些部位将是找矿的最有利地段;(3)重视矿区内断裂对矿体的控制作用,尤其是张性断裂的作用,注意控矿主断裂及与各方向断裂交汇部位找矿,通过断裂性质的判断以及断裂伸展方向的追溯,推断隐伏矿体的位置。

4.2.3 海底喷流沉积型铅锌接续区——以西秦岭接续区为例

海底喷流沉积型(SEDEX 型)铅锌矿床在中国铅锌资源中占据着重要的地位,虽然矿床数量相对不多,但其资源量所占比重占据着重要地位。目前国内 SEDEX 型铅锌接续区有西秦岭、狼山—渣尔泰山、燕辽、尤溪—大田、东天山等地区,其中最为重要的应属西秦岭和狼山—渣尔泰山两个接续区。

西秦岭接续区位于华北古陆与扬子古陆之间的秦岭造山带北侧克拉通边缘拉张带,面积为 750 多平方千米,目前其资源量与兰坪接续区共同成为中

国资源储量最大的接续区。区内地质勘查程度相对较高,经过近一个世纪的找矿工作,已有许多矿床被发现,然而,由于近几年地质勘查工作的进行,接续区内又有了一些新的发现,如代家庄铅锌矿床的发现。总的来讲,仍然具有一定的找矿潜力。

该接续区的主要矿床类型为 SEDEX 型矿床,相应的预测类型为层控热液型。主要的找矿区域有西成矿田和风太矿田。铅锌矿体主要产于泥质岩、粉砂岩和碳酸盐岩地层中,一般产于碎屑岩与碳酸盐岩接触界面附近或者礁灰岩向泥质岩过渡的部位。这种岩性转化表明成矿环境的变化对成矿作用发生的重要性。这类矿床代表了印支期华北地台与扬子地台碰撞造山及其后阶段,矿床地质特征、元素组合、蚀变、成矿背景等与华北地台北缘的狼山—渣尔泰山铅锌矿床有着相似之处。

沉积地层的分布控制着矿床的分布,同时同生断层不仅控制着盆地的形成、发展,也成为成矿热液喷流的通道和矿体容矿空间。因此,在今后找矿工作中应注意以下几个方面问题:(1)研究区内盆地的展布和形态,以及盆地内沉积地层的特征,寻找有利的含矿部位;(2)注意寻找不同岩性的接触界面,尤其是在地层物性(如孔隙度和渗透率)变化明显的部位,这将是快速定位矿体的有效手段;(3)重视区内断裂对矿体的控制作用,尤其是同生断裂的形态特征,同生断层的两侧和断层本身均是主矿体产出部位;(4)重点加强西成矿田和风太矿田之间的部位,这一地区是寻找同生矿床的重点地区之一,将有可能取得一定的找矿突破。

4.2.4 沉积-热液改造型铅锌接续区——以西藏类乌齐—左贡矿集区为例

西藏地区类乌齐—左贡和冈底斯成矿带的发现,大大提高了热液型和矽卡岩型铅锌矿床的找矿潜力。类乌齐—左贡成矿带矿床则并不完全具备多数热液矿床的特征,多为沉积-热液改造型矿床,找矿潜力巨大。在矿段北段范围内,已有 17 处矿床点,由于目前各个矿区的工作程度较低,仍然存在一些强度较大的地球化学异常有待于进一步验证。目前仅对 6 处大中型铅锌多金属矿床(即干中雄、赵发涌、织翁杂、南越拉、滨达等)进行了初步估计,除已有估计外,其潜在铅锌资源量仍可达 300 万 t^①。此外

区内尚有 1:20 万区域地球化学 Pb、Zn 化探综合异常尚未进行查证,至少具有发现 5 处以上大中型铅锌多金属矿床的潜力。

类乌齐—左贡地区从地层、构造、岩浆活动等方面均具有形成铅锌多金属矿床的良好地质条件。区内与成矿有关的地层有前寒武纪—早古生代吉塘群,上三叠统甲丕拉组、波里拉组、多盖拉组、巴贡组,侏罗—白垩系拉贡塘组、多尼组等,成矿赋存于一定地层层位中,成矿物质来源于地层本身或深部,并有同生-后生成矿作用特征,因此所形成的矿床具有“层、相、位”的特点,工作区内的数十处矿床、矿点、矿化点中,绝大多数直接或间接与层控有关,围岩具有提供成矿物质的能力。

区域构造运动是控制区域性成矿特征的重要因素,区内自晚古生代以来,尤其是中生代为板块运动的主要时期,与其相关的构造缝合带和深大断裂(如金沙江、澜沧江、怒江缝合带及多期活动的深大断裂)是岩浆作用和成矿作用活动的主要控制因素,区内的 NW 向的主干深大断裂十分发育,这些断裂具有时间长、规模大、多期多次活动特点,不仅控制着矿带的展布,对岩浆-热液多金属矿床的控制作用更加明显。大断裂旁侧的两组不同方向次级断裂或韧性剪切带的交汇部位对成矿极为有利,这些次级断裂是控制矿田(床)的重要构造条件。区内的岩浆活动强烈,岩浆种类繁多,不同时代、不同类型的岩浆活动具有各自的成矿特点,晚三叠—早侏罗世酸性岩对区内铁铜银成矿的形成有着密切关系,形成多期矿化的接触交代型矿床;晚白垩世壳源成因的中酸性岩与区内的锡铜银等矿化有关;古近纪零星出露的小岩体,其岩浆期后热液活动强烈,对于形成于断裂构造中的铜金银矿床的形成起着重要作用。区内的这些岩浆活动对于早期形成的沉积成因铅锌矿床或者矿源层中分散的铅锌元素具有重要的富集和迁移作用,是区内铅锌矿床最终形成和就位的重要影响因素。总之,区内地层、构造和岩浆活动均对铅锌矿床的形成起着积极作用,因此在类乌齐—左贡地区具有沉积-改造型铅锌矿床形成的良好找矿条件,找矿前景良好。

4.2.5 砂(砾)岩型铅锌接续区——以兰坪矿集区为例

砂(砾)岩型铅锌矿床在中国虽然数量极少,目

① 西藏自治区地质调查院. 西藏自治区藏东类乌齐县—左贡县金银铜铅锌多金属成矿带远景评价报告, 2003.

前仅兰坪接续区为该类型矿床,但是由于金顶单个矿床的资源量极大,从而增强了这类矿床的重要性。近年来的勘探工作在三江北段地带发现了沱沱河成矿带,有望开辟成为新的砂(砾)岩型铅锌接续区。

兰坪接续区位于西南三江褶皱系南段的兰坪新生代裂谷盆地,整个接续区面积为500多平方千米,目前在兰坪接续区内发现的矿床不多,最主要的矿床为金顶、白秧坪、北衙、自把、灰山、黑山、安乐铅锌矿等,由于金顶铅锌矿床的存在,区内铅锌金属资源量却超过1700万t。区内地质勘查程度相对较高,随着近几年地质勘查工作的进行,接续区内有了一定的新发现,但未能取得重大的突破。然而,最近在勘查程度较低的三江成矿带的西北段青海沱沱河地区的勘查工作取得了重大突破,有望勘查并寻找到与兰坪接续区类似的砂(砾)岩型铅锌接续区,因此这一地区寻找金顶式铅锌矿床将是未来重要勘探方向之一。

兰坪接续区的主要矿床类型为砂(砾)岩型矿床,相应的预测类型为层控热液型。区内在喜马拉雅构造运动的挤压状态下,沿构造薄弱带的上地壳岩层超过承受的极限而造成破裂、垮塌,使得构造应力迅速释放减小,造成局部拉张的环境,这种总体挤压背景下的局部拉张等构造动力体制转换,是形成大型矿床的一种机制^[63]。在三江构造带范围内除了兰坪接续区外,在三江成矿带的北西段纳日贡玛—沱沱河铜、钼、铅、锌、银成矿带又是一个可能形成砂(砾)岩型铅锌矿床的地区,该成矿带是青海重要的有色金属与贵金属成矿带。区内二叠纪处于多岛弧和弧后盆地环境,火山活动带来了丰富的成矿物质,新生代处于造山带和拗陷盆地的边缘,受造山作用、构造-岩浆活动的影响,发生广泛的水-岩交换,成矿物质发生迁移、富集,在构造有利的部位聚集成矿,地质成矿条件有利,极具找矿前景。

兰坪和沱沱河接续区的铅锌矿床产于砂岩和灰岩角砾岩建造中,沉积地层控制着矿床的分布,深大断裂和推覆构造不仅控制着盆地的形成、发展,也控制着成矿热液的运移。因此,在今后找矿工作中应注意以下几个方面问题:(1)区内地质工作程度较低,通过评价工作,以已知矿点检查评价入手,建立地、物、化综合找矿标志,结合1:5万化探异常综合查证,采用地质、物探、化探综合方法,系统收集和研究成果,提高该区地质研究程度,实现找矿新突破;(2)充分加强大比例尺化探异常的

验证,区内1:5万化探异常显示Cu、Pb、Zn、Ag等主成矿元素含量随工作比例尺的增大逐级提高,异常范围进一步缩小,异常浓集中心更加明显,有望对找矿起到明显的效果;(3)注意寻找区内的次级盆地和盆地内相对隆起的部位,盆内的盐丘隆起将是寻找矿体的有利地段;(4)重点加强三江北段已发现铅、锌、银找矿线索(如宗陇巴、多才玛、茶曲怕查等)地区的勘查和研究工作,不断拓展找矿思路,将有可能取得较好的找矿突破。

5 下步勘查建议

目前中国铅锌资源勘查开发程度东高西低,东西部不平衡,加大铅锌资源勘查和开发力度,有望在未来40年内实现中国铅锌资源立足国内、提高资源保障程度的宏伟目标。为实现以上目标,需要做好以下几个方面的工作:

(1)加大资金投入,实现国家找矿目标。中国铅锌矿资源虽然比较丰富,但也面临着严峻的形势。按照目前开采能力计算,中国已探明的铅、锌资源储量仅够开采3年和6年(未计远景储量)。东部地区的铅锌矿产资源已逐渐枯竭;东北、华东地区的大型矿山将陆续关闭;华南地区的大型矿山经过多年开发,储量明显减少;广西等地铅锌资源超量开采之后,已经导致资源急剧消失,产量将出现递减。矿山原料不足将成为制约中国铅锌工业持续发展的关键性因素。中国铅锌资源孕育着很大的潜力,若想使得这些潜力充分发挥作用,则离不开广大地质工作者的共同奋斗、不懈努力,更重要的是离不开政府对地质勘查开发事业的大量资金投入。2007年,中国对铅锌勘查的投入为15亿元,新发现矿产地92处,新增资源量1138.6万t;2008年,中国加大对固体矿产的勘查力度,对铅锌勘查的投入增加为37.87亿元,新发现矿产地62处,新增资源量386.8万t。从过去两年的工作成果来看,中国铅锌资源平均每增加1t,需要的资金投入0.35元。按照这一投入产出比,如果有370亿元的资金投入就可实现新增资源量13000万t的目标。如果考虑到中国未来找矿重点应放在东部地区的深部和西部工作条件较差的地区,进行区域调整系数和深部调整系数计算,资金投入达到550亿元将可实现预测新增13000万t资源量的目标。

(2)依靠科技进步,提高资源利用率。中国目前由于选冶技术的限制还有相当储量的矿产资源未能

够得到开采利用。根据 2004 年国家发展和改革委员会所作的一项调查,在中国铅锌生产矿山中,目前还有数量较大的低品位和难选矿石未得到利用。例如,江铜集团银山铅锌矿目前约有 300 万 t 低品位铅锌矿还未回采;白银公司厂坝铅锌矿有大量的铅锌品位低于 4%的矿石未予回采;湖南省水口山康家湾矿也有 32 万 t 低品位铅锌矿未得到利用;南京栖霞山铅锌矿则有 190 万 t 难选氧化矿未得到利用(有的压在风景区下);云南省会泽驰宏铅锌矿有占储量 5%,约 65 万 t 难选氧化矿未得到利用。依靠科技进步,通过技术创新,突破选冶技术对铅锌矿产开发限制,将大大提高中国资源利用率,提高资源保证程度。例如,河南豫光金铅集团运用了富氧底吹氧化——鼓风机还原熔炼技术和二氧化硫非稳定态转化技术,成为国内铅冶炼回收二氧化硫的先进企业,2006 年二氧化硫尾气回收率达到 97%,生产硫酸 35 万 t,开创中国铅冶炼清洁生产的先河;又如,四川省白玉铜-铅-锌-银混合浮选的闭路试验清洁分离新技术,长江上游煤系硫铁矿的重浮联合选矿流程,滇东南地区铅锡多金属矿选矿中初步考虑采用“先浮后重”的流程等均取得了较好的技术指标。

此外,加强铅锌矿产资源综合利用,是中国铅锌工业实现可持续发展面临的重大问题。特别是在铅锌矿山开发规模难以扩大的情况下,伴生元素的回收利用,应成为企业发展新的增长点。目前,在锌冶炼企业中,能比较多的回收镉、镉、锗、银、铟、铅、铜、镓等有价元素的有株冶集团、中金岭南和葫芦岛有色集团等企业;在铅冶炼企业中能比较多的回收金、银、铋、硒、碲、铂、钡、锌、铜等有价元素的有豫光金铅、株冶集团、中金岭南、白银公司、云南新立公司等企业。此外,矿山尾矿、废水等也具有资源化的潜力,可以通过技术革新得到开发利用。

(3)实施资源整合,提高资源保障能力。目前中国矿产资源开发中存在的矿山数量多、分布散、规模小、采富弃贫、回收率低等问题,加上破坏性、掠夺性开采和无序竞争,资源浪费现象相当严重,加之安全生产和矿山环境问题突出等已直接影响矿业经济的健康发展。实施资源整合将有效保护和节约资源,实现矿业集约化、规模化发展,是提高矿业安全生产水平的迫切需要,是保护生态环境的重要措施,同时也是提高资源保障能力的有效途径。另外,虽然目前中国大部分铅锌矿区已经开发,但“大矿小开”的情况

不少,有的局部开采,有的单采富矿,多数尚未正规开发,因此,大有生产潜力可控。

(4)重视物探工作,进一步提高找矿效果。近年来,铅锌矿产资源调查评价中物探工作得到了一定程度加强,也取得了一定效果,但是由于种种原因没有引起有关项目承担单位的足够重视。中国地质调查局为加强物探电法在有色金属矿产勘查中应用,已经开展了一些试验工作。实践证明,在铅锌矿找矿中,将物探电法手段纳入基本勘查程序,对于提高勘查资金投入产出效益具有重要意义。因此,在今后铅锌矿勘查工作中要进一步加强物探等勘查方法的有效性应用。

(5)重视矽卡岩型和层控型铅锌矿床勘查工作,力争实现找矿新突破。近年来,通过开展区域成矿规律研究以及典型矿床解剖研究,对一些重要成矿区带铅锌矿控矿条件进行了分析和总结,尤其是对层控型矿床的认识,促进了扬子地台周缘、西秦岭、小秦岭等地区铅锌找矿工作取得了重大进展。层控型铅锌矿是中国重要矿床类型,规模巨大,根据有关资料,该类矿床探明储量占全国铅锌总储量的 44%。由于西部勘查工作的开展,特别是西藏近几年的地质勘查工作取得显著的效果,在西藏冈底斯成矿带上新发现了像亚贵拉、蒙亚啊、洞中拉等矽卡岩型铅锌矿床,同时发现了像甲玛、沙让等斑岩型铜铅锌多金属矿床,初步显示了与岩浆作用有关的铅锌矿床在西部地区的潜力。因此,在今后铅锌矿产资源调查评价中,要重视层控型和矽卡岩型铅锌矿床的研究,进一步加强勘查工作,力争取得找矿新突破。

(6)依靠老区、发展新区,重视东、西部两种资源。中国铅锌资源主要分布于上述的 28 个接续区内,这两年的找矿工作表明,在老区的边部和深部具有很大的潜力,往往某个接续区的深部找矿能够导致老矿区获得第二春;在新区,尤其是中西部地区,往往可以找到大型、超大型的铅锌矿床,更应值得重视。

参考文献(References):

- [1] U.S.Geological Survey. Mineral Commodity Summaries (Zn and Pb). <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>, 2012, 188-189(zinc); 90-91(lead).
- [2] U.S.Geological Survey. Mineral Commodity Summaries (Zn and Pb). <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>, 2000, 190-191(zinc); 96-97(lead).

- [3] 中华人民共和国国土资源部编. 中国矿产资源报告 2012 [M]. 北京:地质出版社, 2012:14-15.
Ministry of Land and Resources, Prc. China Mineral Resources 2012 [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012:14-15 (in Chinese).
- [4] 国土资源部矿产资源储量司. 全国矿产资源储量通报. 国土资源部信息中心编制, 2009:151-169.
Reserves department of Ministry of Land and Natural Resources. reserves bulletin of Mineral Resources in China. Information Center of MLR, 2009:151-169(in Chinese).
- [5] 杨应选, 管士平, 林方成. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M]. 成都:四川科技大学出版社, 1994:1-175.
Yang Yingxuan, Guan Shiping and Lin Fangcheng. Origin and Metallogenetic Laws of the Lead-zinc Deposits in the Eastern Margin of Kangdian Axis [M]. Chengdu:Sichuan Science & Technology University Press, 1994:1-175 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张长青, 李向辉, 余金杰, 等. 四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷-锶测年及地质意义[J]. 地质论评, 2008, 54(4):532-538.
Zhang Changqing, Li Xianghui, Yu Jinjie, et al. Rb-Sr Dating of Single Sphalerites from the Daliangzi Pb-Zn Deposit, Sichuan, and Its Geological Significances [J]. Geological Review, 2008, 54 (4): 532-538 (in Chinese with English abstract).
- [7] 林方成. 四川会东大梁子铅锌矿床成因新探 [J]. 矿床地质, 1994, 13(2):126-136.
Lin Fangcheng. Some new opinions on the genesis of the Daliangzi lead-zinc deposit, Huidong county, Sichuan Province [J]. Mineral Deposits, 1994, 13(2):126-136 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王小春. 天宝山铅锌成因分析 [J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(3):10-20.
Wang Xiaochun. Genesis analysis of the Tianbaoshan Pb-Zn deposit [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 19(3): 10-20 (in Chinese with English abstract).
- [9] 贺胜辉, 荣惠锋, 尚卫, 等. 云南茂租铅-锌矿床地质特征及成因研究[J]. 矿产与地质, 2006, 20(4-5):397-402.
He Shenghui, Rong Huifeng, Shang Wei, et al. Geological characteristics and genesis of Maozu lead and zinc deposit, Yunnan[J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20 (4-5):397-402 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张长青, 毛景文, 吴锁平, 等. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. 矿床地质, 2005, 24(3):317-324.
Zhang Changqing, Mao Jingwen, Wu Suoping, et al. Distribution, characteristics and genesis of Mississippi Valley-type lead-zinc deposits in the triangle area of Sichuan-Yunnan-Guizhou Provinces[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3):317-324 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张云湘, 洛耀南, 杨崇喜, 等著. 攀西裂谷 [M]. 北京:地质出版社, 1988:1-320.
Zhang Yunxiang, Luo Yaonan, Yang Congxi, et al. Panxi Rift[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1988:1-320(in Chinese).
- [12] 柳贺昌, 林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明:云南大学出版社, 1999:1-419.
Liu Hechang, Lin Wenda. Study on Metallogenetic Laws of Lead-zinc-silver Deposits in Northeastern Yunnan [M]. Kunming: Publishing House of Yunnan University, 1999:1-419 (in Chinese).
- [13] 张立生. 滇东北地区层控 Pb-Zn-(F-Ba) 矿床地热液喀斯特成因[J]. 云南地质学报, 1997, 18(1):41-52.
Zhang Lisheng. Hydrothermal Karst genesis of Stratabound Pb-Zn-(F-Ba) deposit in northeast Yunnan[J]. Acta Geoscientia Sinica of Yunnan, 1997, 18(1):41-52(in Chinese with English abstract).
- [14] 管士平, 李忠雄. 康滇地轴东缘铅锌矿床硫同位素地球化学研究[J]. 地质地球化学, 1999, 27(4):45-54.
Guan Shiping, Li Zhongxiong. Lead-sulfur isotope study of carbonate-hosted lead-zinc deposit at the eastern margin of the Kangdian axis[J]. Geology-Geochemistry, 1999, 27(4):45-54 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王浆臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 川滇黔地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨[J]. 地质地球化学, 2001, 29(2):41-45.
Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Li Zeqin, et al. The geological setting, characters and origin of Mississippi Valley-Type Pb-Zn deposit in Sichuan and Yunnan Province [J]. Geology-Geochemistry, 2001, 29 (2):41-45 (in Chinese with English abstract).
- [16] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系 [M]. 北京:地质出版社, 2004:1-187.
Huang Zhilong, Chen Jin, Han Runsheng, et al. Geochemistry and ore-formation of the Huize Giant Lead-zinc deposit, Yunnan Province, China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2004: 1-187 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李文博, 黄智龙, 陈进, 等. 会泽超大型铅锌矿床成矿时代研究[J]. 矿物学报, 2004, 24(2):112-116.
Li Wenbo, Huang Zhilong, Chen Jin, et al. Rb-Sr dating of mineral assemblage from the Huize giant Zn-Pb deposit, Yunnan Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24 (2):112-116 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘锋. 云南会泽大型铅锌矿床成矿机制及锗的赋存状态 [D]. 导师:王登红, 李厚民. 中国地质科学院硕士论文, 2005:1-112.
Liu Feng. The Metallogenetic Mechanism of the Huize Lead-Zinc Ore Deposit and the Occurrence of Germanium, Yunnan Province, China [D]. Advisor: Wang Denghong, Li Houmin. Chinese Academy of Geological Sciences, 2005:1-112 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张长青, 毛景文, 刘峰, 等. 云南会泽铅锌矿床粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(3):336-348.
Zhang Changqing, Mao Jingwen, Liu Feng, et al. K-Ar altered clay mineral dating and their geological significance of Huize Pb-Zn deposit in Yunnan province [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 336-348 (in Chinese with English abstract).

- [20] 张长青. 中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅锌矿床成矿模型 [D]. 导师: 毛景文, 余金杰. 中国地质科学院博士论文, 2008:1-166.
Zhang Changqing. The Genetic Model of Mississippi Valley-type Deposits in the Boundary Area of Sichuan, Yunnan and Guizhou Provinces, China [D]. Advisor: Mao Jingwen, Yu Jinjie. A Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy of Chinese Academy of Geological Sciences, 2008:1-166 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王集磊, 何伯墀, 李健中, 等. 中国秦岭型铅锌矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1996:1-264.
Wang Jilei, He Boxi, Li Jianzhong, et al. Qinling-type Lead-Zinc Ore Deposits in China [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1996:1-264(in Chinese with English abstract).
- [22] 祁思敬, 李英著. 秦岭泥盆系铅锌成矿带 [M]. 北京: 地质出版社, 1993:1-239.
Qi Sijing, Li Ying. The Types and Ore-controlling Factors of Lead-zinc Deposits in the Devonian Metallogenic Belt of Qinling Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:1-239 (in Chinese with English abstract).
- [23] 吕志成主编. 国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法[M]. 中国地质调查局发展研究中心编制, 2004:1-501.
Lu Zhicheng. Prospecting Method and Metallogenic Theory of Pb-Zn Deposits at Home and Abroad[M]. Development Research Center, China Geological Survey, 2004:1-501(in Chinese).
- [24] 祁思敬. 秦岭泥盆系中铅锌矿床的热液沉积成因[J]. 西安地质学院学报, 1993, 15(1):27-34.
Qi Sijing. The sedimentary origin of the thermal water in the Pb-Zn ore deposits of the Qinling devonian system[J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1993, 15 (1):27-34 (in Chinese with English abstract).
- [25] 祁思敬, 李厚民, 李英, 等. 秦岭地区若干重要成矿系列[J]. 西安工程学院学报, 1999, 21(4):28-35.
Qi Sijing, Li Houmin, Li Ying, et al. Some important ore deposit series in Qinling range[J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1999, 21(4):28-35(in Chinese with English abstract).
- [26] 裴荣富主编. 中国矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 114-117.
Pei Rongfu. Mineral Deposit Models for China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995:114-117(in Chinese).
- [27] 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1993:1-245.
Liu Zengqian, Li Xingzhen, Ye Qingtong, et al. Division of Tectono-magmatic Zones and the Distribution of Deposits in the Sanjiang Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-245(in Chinese).
- [28] 覃功炯, 朱上庆. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测[J]. 云南地质, 1991, 10(2):145-190, 205.
Qin Gongjiang, Zhu Shangqing. Genetic model and prospecting prediction of Jinding lead-zinc ore deposit [J]. Yunnan Geology, 1991, 10(2):145-190, 205(in Chinese with English abstract).
- [29] 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 1981:1-276.
Li Xingzhen, Liu Wenjun, Wang Yizhao et al. Tectonic Evolution of the Tethys and Mineralization in the Sanjiang Region, Southwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981:1-256(in Chinese with English abstract).
- [30] 曾荣, 薛春纪, 刘淑文, 等. 金顶超大型铅锌矿床成矿条件分析[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(2):21-25.
Zeng Rong, Xue Chunji, Liu Shuwen, et al. Formation conditions of Jinding giant lead-zinc deposit [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2005, 27 (2):21-25 (in Chinese with English abstract).
- [31] 李志明, 廖宗廷, 刘家军, 等. 兰坪盆地金顶超大型铅锌矿床成矿年龄探讨[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(1):23-27.
Li Zhiming, Liao Zongting, Liu Jiajun, et al. The metallogenic age of Jinding super-large scale lead-zinc deposit in Lanping basin[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2006, 21(1):23-27(in Chinese with English abstract).
- [32] 白嘉芬, 王长怀, 纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. 矿床地质, 1985, 4(1):1-9.
Bai Jiafen, Wang Changhuai, Na Rongxian. Geological characteristics of the Jinding lead-zinc deposit in Yunnan with a special discussion on its genesis[J]. Mineral Deposits, 1985, 4(1):1-9 (in Chinese with English abstract).
- [33] 施加辛, 易凤煌, 文启谔. 兰坪金顶铅锌矿床的岩矿特征及成因[J]. 云南地质, 1983, 2(3):179-199.
Shi Jiaxin, Yi Fenghuang, Wen Qichun. The rock-ore characteristics and mineralization of Jinding lead-zinc deposit, Lanping [J]. Yunnan Geology, 1983, 2 (3):179-199 (in Chinese with English abstract).
- [34] 吴淦国, 吴习东. 云南金顶铅锌矿床构造演化及矿化富集规律[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14(5):477-486.
Wu Ganguo, Wu Xidong. A preliminary study on the tectonic evolution and the mineralization regularity of the Jinding lead-zinc deposit Yunnan province [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1989, 14(5):477-486 (in Chinese with English abstract).
- [35] Xue Chunji, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. Geology and isotopic composition of helium, neon, xenon and metallogenic age of the Jinding and Baiyangping ore deposits, northwest Yunnan, China [J]. Science in China (Series D), 2003, 46(8):789-800.
- [36] Xue Chunji, Zeng Rong, Liu Shuwen, et al. Geologic, fluid inclusion and isotopic characteristics of the Jinding Zn-Pb Deposit, Western Yunnan, China: A review [J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31:337-359.
- [37] 张乾. 云南金顶铅锌矿床成因研究 [J]. 地质找矿论丛, 1991, 6 (2): 47-48.
Zhang Qian. A study on genesis of Jinding Pb-Zn deposit in Yunnan province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources

- Research, 1991, 6(2):47-48(in Chinese with English abstract).
- [38] 温春齐, 覃功炯. 金顶铅锌矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 矿物岩石, 1995, 15(4):78-84.
- Wen Chunqi, Qin Gongjiang. Geochemical characteristics of fluid inclusions in the Jinding lead-zinc deposit, Yunnan, China [J]. Mineralogy and Petrology, 1995, 15 (4):78-84 (in Chinese with English abstract).
- [39] 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 等. 金顶铅锌矿床地质-地球化学[J]. 矿床地质, 2002, 21(3):270-277.
- Xue Chunji, Chen Yuchuan, Yang Jianmin, et al. Jinding Pb-Zn deposit; geology and geochemistry [J]. Geology Deposits, 2002, 21 (3): 270-277(in Chinese with English abstract).
- [40] 牟传龙, 余谦. 金顶铅锌矿床相关地质问题及成因探讨[J]. 矿物岩石, 2004, 24(1):48-51.
- Mou Chuanlong, Yu Qian. Discussion on the geological features and origin of Jinding lead-zinc ore deposit [J]. J. Mineral. Petrol., 2004, 24(1):48-51(in Chinese with English abstract).
- [41] Xue Chunji, Chi Guoxiang, Chen Yuchuan, et al. Two fluid systems in the Lanping Basin, Yunnan, China—their Interaction and implications for mineralization [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2006, 89:436-439(in Chinese with English abstract).
- [42] 赵兴元. 云南金顶铅锌矿床成因研究 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1989, 14(5):495-502.
- Zhao Xingyuan. Stable isotope geochemistry of the Jinding lead-zinc ore deposit, Yunnan [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1989, 14(5):495-502(in Chinese with English abstract).
- [43] 王京彬, 李朝阳, 陈晓钟. 金顶超大型铅锌矿喷流沉积成因初探 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1990, (2):122-123.
- Wang Jingbin, Li Chaoyang, Chen Xiaozhong. Geological characteristics of the Jinding lead-zinc deposit in Yunnan with a special discussion on its genesis [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1990, (2):122-123 (in Chinese with English abstract).
- [44] 徐恒, 李元, 张苗红, 等. 金顶铅锌矿床地球化学特征及矿床成因[J]. 科技情报开发与经济, 2007, 17(12):194-196.
- Xu Huan, Li Yuan, Zhang Miaohong, et al. The geochemical characteristics of Jinding lead zinc ore deposit and the genesis of the ore deposit [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2007, 17(12):194-196(in Chinese with English abstract).
- [45] 赵准. 兰坪金顶铅锌矿—陆相 SEDEX 型矿床 [J]. 云南地质, 2007, 26(1):1-14.
- Zhao Zhun. The Jinding Pb-Zn deposit of Lanping—a land facies sedex ore deposit[J]. Yunnan Gology, 2007, 26(1):1-14 (in Chinese with English abstract).
- [46] 王安建, 高兰, 刘俊来, 等. 论兰坪金顶超大型铅锌矿容矿角砾岩的成因[J]. 地质学报, 2007, 81(7):891-897.
- Wang Anjian, Gao Lan, Liu Junlai, et al. Genesis of the host breccia in the Lanping Jinding superlarge Pb-Zn deposit [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (7):891-897 (in Chinese with English abstract).
- [47] 王安建, 曹殿华, 高兰, 等. 论云南兰坪金顶超大型铅锌矿床的成因[J]. 地质学报, 2009, 83(1):43-54.
- Wang Anjian, Caodianhua, Gao Lan, et al. A probe into the genesis of Jinding super-large lead-zinc ore deposit [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(1):43-54(in Chinese with English abstract).
- [48] 高兰, 王安建, 刘俊来, 等. 滇西北兰坪地区金顶超大型铅锌矿床架崖山—北厂矿段岩石地层特征 [J]. 地质通报, 2009, 27(6):855-865.
- Gao Lan, Wang Anjian, Liu Junlai, et al. Lithologic stratum characteristics of the Jiayashan-Beichang profile of the super large Jinding Pb-Zn deposit in the Lanping basin, northwestern Yunnan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (6):855-865 (in Chinese with English abstract).
- [49] 薛春纪. 金顶式砾岩型铅锌多金属矿床模型 [C]//毛景文, 张作衡, 裴荣富, 等主编. 中国矿床模型概论. 北京: 地质出版社, 2009: 535-539.
- Xue Chunji. Model of sand-breccia Pb-Zn polymetallic deposit of Jinding [C]. // Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Pei Rongfu.(eds.). Mineral Deposit Models in China. Beijing: Geological Publishing House, 2009:535-539(in Chinese).
- [50] 王登红, 唐菊兴, 应立娟, 等. 甲玛与世界级铜矿的初步对比及下一步找矿工作建议[J]. 矿床地质, 2011, 30(2):197-206.
- Wang Denghong, Tang Juxing, Ying Lijuan, et al. A preliminary comparison between Jiama and world class copper deposits and an analysis of the prospecting potential [J]. Mineral Deposits, 2011, 30 (2):197-206 (in Chinese with English abstract).
- [51] 韩润生, 陈进, 李元, 等. 云南会泽麒麟厂铅锌矿床八号矿体的发现[J]. 地质地球化学, 2001, 29(3):191-195.
- Han Runsheng, Chen Jin, Li Yuan, et al. Discovery of concealed No.8 orebody in Qilinchang lead-zinc deposit in Huize mine, Yunnan [J]. Geology-Geochemistry, 2001, 29 (3):191-195 (in Chinese with English abstract).
- [52] 谭钢, 余宏全, 常帼雄, 等. 西藏冈底斯多金属成矿带铅锌矿定位预测与资源潜力评价[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(1):83-96.
- Qin Gang, She Hongquan, Chang Weixiong, et al. Regional metallogenic predication and mineral reserves evaluation of lead and zinc deposits in the Gangdise polymetallic ore-forming belt, Tibet [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30 (1):83-96 (in Chinese with English abstract).
- [53] 翟裕生, 吕古贤. 构造动力体制转换与成矿作用 [J]. 地球学报, 2002, 23(2):2-7.
- Zhai Yusheng, Lv Guxian. Transition of tectonic and dynamic regime and mineralization. Acta Geoscientica Sinica, 2002, 23(2): 2-7 (in Chinese with English abstract).

The main successive strategic bases of resources for Pb–Zn deposits in China

ZHANG Chang–qing¹, RUI Zhong–yao¹, CHEN Yu–chuan²,
WANG Deng–hong¹, CHEN Zheng–hui¹, LOU De–bo¹

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: To meet the demands for Pb–Zn resources, China should have more lead and zinc resource reserves to keep up with the step of modernization construction. This paper sums up the distribution and characteristics of Pb–Zn deposits in China, and analyzes the problems of enlarging Pb–Zn resource reserves. Then, based on the demand for resource potential, the authors classified the Pb–Zn deposits in China into 7 prognostic types and 48 models. The 7 types are (volcano)–diagenetic metamorphism type, marine volcanic type, continental volcanic type, skarn type, hydrothermal type, magmatic hydrothermal type and weathering crust type. On such a basis, the discovered ore concentration areas were analyzed for Pb–Zn resource potential, and 28 successive strategic bases for Pb–Zn resources were proposed. The important bases are described in detail in this paper. Through potential analysis, some suggestions and opinions concerning the further work arrangement are put forward in this paper.

Key words: prognostic type; successive bases; potential; Pb–Zn

About the first author: ZHANG Chang–qing, male, born in 1975, doctor, associate researcher, mainly engages in the study of mineral deposits; E–mail: zcchangqing@163.com.