第 39 卷 第 1 期
2024 年 3 月:056－064

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 39 No. 1
Mar. 2024:056－064

doi:10.6053/j.issn.1001－1412. 2024. 01. 007

青海铅锌矿成矿规律及资源潜力分析

蒋成伍[1,2],薛万文[1,2],康继祖[1,2],赵志逸[1,2],李焕学[1,2]

(1.青海省地质调查院,西宁 810012;
2.青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室,西宁 810012)

摘要: 铅锌矿作为青海省的优势矿产之一,具有成带展布、分段集中、成矿类型丰富的特点。本文以 2021 年青海潜在矿产资源评价成果为基础,总结青海铅锌矿的成矿规律,梳理建立海相火山岩型、接触交代(矽卡岩)型、浅成中-低温热液型等 3 个具较好潜力的预测模型;对 4 个主要铅锌成矿带潜在矿产资源进行了探讨,并对青海省内铅锌矿产勘查工作提出了建议。

关键词: 铅锌矿;资源评价;预测模型;资源潜力;青海省

中图分类号: P618.4;P612 **文献标识码:** A

1 青海铅锌资源概况

青海省是全国的矿产资源大省,铅锌矿是青海省的优势矿产,是青海省主要的有色金属矿产。根据 2020 年全国矿产资源储量统计结果显示,截止 2020 年底青海省铅锌矿矿产资源保有储量分别为铅 52.25×10^4 t、锌 91.27×10^4 t,均位于全国矿产资源保有储量的第七位。

2 青海铅锌矿资源特性

青海省目前共发现铅锌矿产地 620 处(含共伴生),矿床以上矿产地 103 处。其中,特大型矿床 2 处,大型矿床 5 处,中型矿床 28 处,小型矿床 68 处。青海铅锌矿资源具有以下特性:

(1)矿床类型丰富,矿产地成带展布、分段集中

青海 103 处矿床以上矿产地矿床类型以接触交代(矽卡岩)型(42 处)、浅成中-低温热液型(23 处)、海相火山岩型(16 处)、陆相火山岩型(11 处)等为主,次为岩浆热液型(7 处)、斑岩型(2 处)、化学沉积型(2 处)[1]。

35 处中型以上矿产地主要集中产出在东昆仑成矿带(青海段)(Ⅲ－26, 20 处)、柴达木盆地北缘成矿带(Ⅲ－24, 4 处)、喀喇昆仑-羌北成矿带(青海段)(Ⅲ－35, 3 处)、昌都-普洱成矿带(青海段)(Ⅲ－36, 3 处)等 4 个成矿带[2]之中(图 1)。

(2)查明资源量高度集中

青海铅锌矿查明资源量集中产出的特性更加明显,全省共查明铅资源量 1084×10^4 t、锌资源量 911×10^4 t,其中锡铁山、牛苦头-四角羊、多才玛、莫海拉亨等 4 个矿(床)区总计查明铅矿约 934×10^4 t(占总查明资源量的 86%)、锌矿 638×10^4 t(占总查明资源量的 70%)。

(3)主要成矿时代较为集中,以三叠纪、二叠纪为主

青海自寒武纪到第四纪都有铅锌矿成矿事件的发生,大多数集中于三叠纪。35 处中型以上铅锌矿产地的成矿时代如表 1 所述;103 处矿床以上矿产地的成矿时代主要集中在三叠纪(27 处),次为石炭

收稿日期: 2023－08－17; **责任编辑:** 沈名星

基金项目: 青海省自然资源厅省级地质勘查专项“青海省潜在矿产资源评价”项目(编号:2021074107gq014)资助。

作者简介: 蒋成伍(1983—),男,地质矿产副高级工程师,2006 年 7 月中南大学地质工程专业毕业,主要从事矿产资源勘查工作。通信地址:青海省西宁市城中区南川西路 107 号,青海省地质调查院;邮政编码:810012。E-mail:120611141@qq.com

通信作者: 薛万文(1983—),男,地质矿产正高级工程师,2005 年 7 月中国地质大学(北京)资源勘查工程专业毕业,主要从事矿产资源勘查工作。通信地址:青海省西宁市城中区南川西路 107 号,青海省地质调查院;邮政编码:810012。E-mail:593339751@qq.com

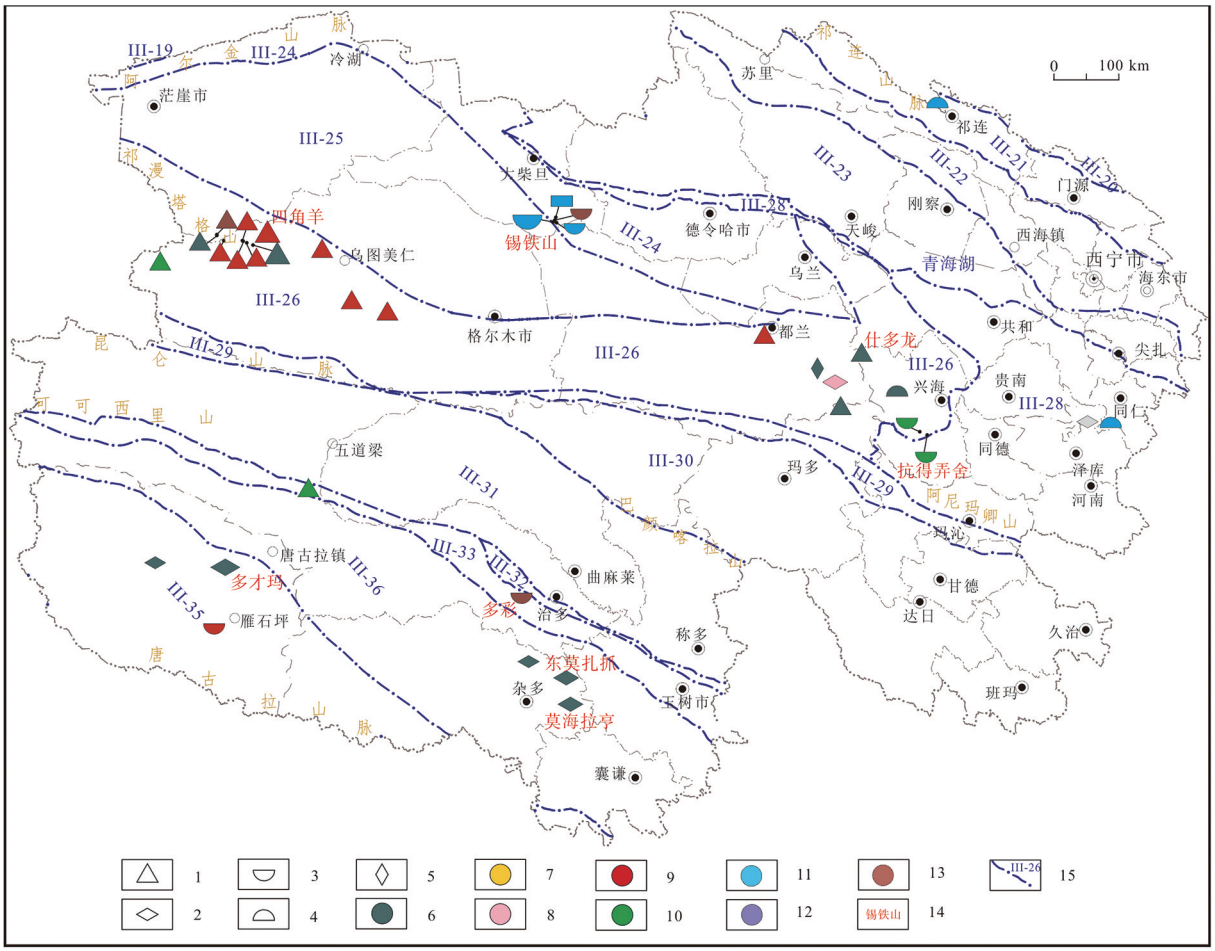

图 1　青海省铅锌矿产地分布图

Fig. 1　Map showing distribution of Pb-Zn ore in Qinghai province

1. 接触交代型；2. 浅成中-低温热液型；3. 海相火山岩型；4. 陆相火山岩型；5. 斑岩型；6. 铅锌矿；7. 金矿(Gold ore)；8. 银矿；9. 铁矿；10. 铜矿；11. 钼矿；12. 钨矿；13. 锑矿；14. 矿床(区)名称；15. 三级成矿带界线及编号

纪(17 处)、奥陶纪(16 处)；查明资源量主要集中产于特大型-大型矿床之中，成矿时代以二叠纪(铅 675×10^4 t、锌 177×10^4 t)、奥陶纪(铅 200×10^4 t、锌 292×10^4 t)为主，次为石炭纪(铅 60×10^4 t、锌 176×10^4 t)、三叠纪(铅 8×10^4 t、锌 42×10^4 t)。

3　铅锌矿预测模型

铅与锌在自然界中密切共生，其产出的地质条件基本相同，青海省铅锌矿类型多样且矿产地遍及全省，具成带展布、分段集中的特征①②。根据青海省潜在矿产资源评价结果，将青海铅锌矿总体归纳为 3 大预测模型：浅成-中低温热液型、海相火山岩型、接触交代(矽卡岩)型。

3.1　浅成中-低温热液型铅锌矿预测模型

(1)典型矿床式

多才玛式铅锌矿：矿床大地构造位置处于三江造山带开心岭-杂多陆缘弧带[3]，成矿带属喀喇昆仑-羌北成矿带。含矿岩性主要为中二叠统九十道班组下岩段结晶灰岩、生物碎屑灰岩；矿体以铅锌矿体为主，呈板状、透镜状等，产状较缓，以背斜的形式产出；矿石矿物有方铅矿和闪锌矿、黄铜矿等，脉石矿物为方解石、白云石、玉髓、硬石膏、重晶石等；围岩蚀变主要有碳酸盐化、硅化、泥化，其中硅化与矿化关系较为密切③。矿床产出于逆冲推覆构造系统的前锋地带，主要矿体赋存于逆冲断裂上盘破碎灰岩部位[4]；矿化主要与次级断裂构造关系密切，所有铅锌矿(化)体受控于 EW 向、NW 向 2 组构造裂隙，以 EW 向断裂控矿为主；矿化富集程度严格受后期热液

表 1 青海省中型以上铅锌矿(35 处)地质特征统计结果

Table 1 Statistics of 35 medium-large Pn-Zn ore occurrences in Qinghai province

序号	矿产地名称	行政位置	主矿种	规模	品位/品质	矿床类型	赋矿围岩年代	成矿时代	共生矿种
1	纳保扎陇	格尔木市	铅锌矿	中型矿床	2.76	浅成中-低温热液型	三叠系(纪)	晚三叠世	
2	虎头崖	茫崖市	铅锌矿	中型矿床	7.23	接触交代型(矽卡岩型)	石炭系(纪)	时代不明	银矿-铜矿
3	迎庆沟	茫崖市	锌矿	中型矿床	2.21	接触交代型(矽卡岩型)	石炭系(纪)	三叠纪	铅矿-银矿-铜矿-铁矿
4	多才玛	格尔木市	铅锌矿	特大型矿床	4.99	浅成中-低温热液型	二叠系(纪)	二叠纪	
5	四角羊	格尔木市	铅锌矿	大型矿床	4.20	接触交代型(矽卡岩型)	石炭系(纪)	石炭纪	铁矿-铜矿-硫矿
6	多彩(尕龙格玛)	治多县	锌矿	中型矿床	1.92	海相火山岩型	三叠系(纪)	晚三叠世	铜矿-铅矿
7	然者涌	杂多县	铅锌矿	中型矿床	3.96	浅成中-低温热液型	二叠系(纪)	古近纪	银矿
8	锡铁山	大柴旦镇	铅矿	特大型矿床	10.47	海相火山岩型	奥陶系(纪)	晚奥陶世	锡矿-硫铁矿
9	锡铁山铅锌矿床中间沟矿区	大柴旦镇	锌矿	中型矿床	2.60	海相火山岩型	奥陶系(纪)	晚奥陶世	铜矿
10	中间沟-断层沟铅锌矿床	大柴旦镇	铅矿	中型矿床	2.65	化学沉积型	奥陶系(纪)	晚奥陶世	锌矿
11	锡铁山铅锌矿床断层沟矿区	大柴旦镇	铅矿	中型矿床	1.30	海相火山岩型	奥陶系(纪)	晚奥陶世	锌矿
12	东莫扎抓	杂多县	铅锌矿	大型矿床	5.68	浅成中-低温热液型	三叠系(纪)	古近纪	银矿
13	莫海拉亨-叶龙达	杂多县	铅锌矿	大型矿床	3.36	浅成中-低温热液型	石炭系(纪)	古近纪	银矿
14	哈日扎	都兰县	铅锌矿	中型矿床	4.26	斑岩型	古元古界(代)	古元古代	锡矿-银矿-铜矿-金矿
15	抗得弄舍	玛多县	铅锌矿	中型矿床	2.55	接触交代型(矽卡岩型)	奥陶系(纪)	中二叠世	金矿-银矿
16	什多龙	兴海县	铅锌矿	中型矿床	7.88	接触交代型(矽卡岩型)	古元古界(代)	中晚三叠世	铜矿-银矿
17	索拉沟	兴海县	铅锌矿	中型矿床	1.54	陆相火山岩型	三叠系(纪)	中晚三叠世	银矿-镉矿
18	湾阳河	祁连县	铅矿	中型矿床	4.59	陆相火山岩型	晚元古界(代)	中寒武世	锌矿
19	老藏沟	泽库县	铅矿	中型矿床	2.04	陆相火山岩型	三叠系(纪)	三叠纪	锡矿-银矿-铟矿-镉矿-硫铁矿
20	那更康切尔沟	都兰县	银矿	大型矿床	339.22*	浅成中-低温热液型	古元古界(代)	三叠纪	铅矿-锌矿
21	白石崖	都兰县	铁矿	中型矿床	52.25	接触交代型(矽卡岩型)	石炭系(纪)	三叠纪	铅矿-锌矿-铜矿
22	尕林格	格尔木市	铁矿	大型矿床	9.38	接触交代型(矽卡岩型)	三叠系(纪)	三叠纪	铜矿-铅矿-锌矿-钴矿-金矿-银矿-镉矿-硫矿
23	肯德可克	格尔木市	铁矿	中型矿床	33.35	接触交代型(矽卡岩型)	三叠系(纪)	三叠纪	铅矿-锌矿-钴矿-铜矿-铋矿-金矿-硫铁矿
24	卡而却卡	格尔木市	铜矿	中型矿床		接触交代型(矽卡岩型)	奥陶系(纪)	三叠纪	铁矿-锌矿-钼矿
25	野马泉 M9、M10 磁异常	格尔木市	铁矿	中型矿床	42.28	接触交代型(矽卡岩型)	石炭系(纪)	晚石炭世	铜矿-铅矿-锌矿-银矿-钴矿-硫矿
26	小唐古拉山	格尔木市	铁矿	中型矿床	55	海相火山岩型	侏罗系(纪)	侏罗纪	铅矿
27	野马泉 M4、M5	格尔木市	铁矿	中型矿床	39.32	接触交代型(矽卡岩型)	奥陶系(纪)	晚奥陶世	锌矿
28	它温查汉	格尔木市	铁矿	中型矿床	34.28	接触交代型(矽卡岩型)	三叠系(纪)	三叠纪	铜矿-钼矿-锌矿-铅矿
29	拉陵灶火	格尔木市	铁矿	中型矿床	44.33	接触交代型(矽卡岩型)	三叠系(纪)	三叠纪	金矿-铜矿-锌矿
30	哈西亚图	格尔木市	铁矿	中型矿床	40.03	接触交代型(矽卡岩型)	三叠系(纪)	三叠纪	锌矿-铜矿-铅矿-金矿
31	野马泉	格尔木市	铁矿	中型矿床	32.95	接触交代型(矽卡岩型)	三叠系(纪)	三叠纪	锌矿-铜矿-铅矿
32	赛什塘	兴海县	铜矿	中型矿床	0.75	海相火山岩型	二叠系(纪)	晚二叠世	铅矿-锌矿-银矿-铁矿-硫矿
33	铜峪沟	兴海县	铜矿	中型矿床	0.81	海相火山岩型	二叠系(纪)	二叠纪	铅矿-锌矿-硫矿-金矿-银矿-铯矿-镓矿-镉矿-锡矿
34	多朗尕日寨	泽库县	砷矿	中型矿床	10.42	浅成中-低温热液型	三叠系(纪)	中三叠世	铅矿-铜矿-锌矿
35	藏麻西孔	治多县	铜矿	中型矿床	1	接触交代型(矽卡岩型)	白垩系(纪)	古近纪	铅矿-铜矿

量单位:w_B/%;* w_B/10^{-6}。

活动的控制,成矿热液在成矿过程中受到一定程度多源混染影响,具有多阶段、多来源富集形成特征[5]。

(2)预测模型

浅成-中低温热液型铅锌矿床主要产于开心岭-杂多弧后前陆盆地(包括沱沱河-昌都弧后前陆盆地

和雁石坪弧后前陆盆地），地层以石炭-三叠纪的海相（海陆交互相）碎屑与碳酸盐岩夹火山岩等为主。成矿带属喀喇昆仑—羌北成矿带，主要为晚古生代和新生代铅锌成矿作用、晚古生代和中生代铁铜锌成矿作用，形成铅、锌、铁、铜、水晶、石膏等矿产，带内矿产多呈层状、似层状和透镜状，多层产出，上下叠置，常与地层产状一致，少数截切地层，与围岩界线较清晰，沿走向和倾向分支复合、尖灭再现，单矿体长数十至千余米，延深几十至几百米，厚几米至几十米，矿石品位变化大，贫富均有[6-10]。代表性矿床有多才玛铅锌矿床[11]、莫海拉亨铅锌矿床、东莫扎抓铅锌矿床、然者涌铅锌银矿床等。根据典型矿床和区域成矿地质特征总结预测要素，形成浅成中-低温热液型预测模型（表 2）。

3.2　海相火山岩型铅锌矿模型

（1）典型矿床式

锡铁山式铅锌矿：大地构造位置处于滩间山岩浆弧，成矿带属柴达木盆地北缘成矿带。含矿岩性为寒武-奥陶系滩间山群大理岩、绿片岩等，矿体有大理岩型矿体和片岩型矿体 2 类，矿体呈似层状、透镜状、扁豆状。矿石中铅、锌品位较高，还伴生有金、银、锡、镉、铟等有益元素。矿石矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿，脉石矿物有石英、方解石、钠长石、绿泥石、炭泥质等；大理岩型矿体近矿围岩蚀变比较强烈，以硅化、大理岩化和碳酸盐化为主；片岩型矿体近矿围岩蚀变不强烈，可见少量硅化、绿泥石化和绢云母化[12]。矿体明显受地层层位和岩性控制，与围岩产状基本一致，矿石具典型热水喷流沉积的特点[13]。

尕龙格玛（多彩）式铜铅锌矿：大地构造位置位于三江造山带通天河（西金乌兰-玉树）蛇绿混杂岩带，成矿带属金沙江成矿带。区内火山岩分布较广，赋矿岩性为上三叠统巴塘群英安质凝灰岩、绢英片岩和千糜岩。矿体多呈透镜状，沿走向具分枝复合现象，单矿体长 50～1000 m，厚 2～15 m，矿体主要为铜铅锌矿体，矿石品位不高，伴生有金、银等有益元素。矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黝铜矿，脉石矿物主要为绢云母、石英。围岩蚀变有绢云母化和硅化，其次为重晶石化、绿泥石化和碳酸盐化。矿体多受地层层位控制，多与围岩产状基本一致[14]。

表 2　多才玛式浅成中-低温热液型铅锌矿区域预测要素

Table 2　Key regional prediction factors of Duocaima meso-epithermal Pb-Zn property

预测要素		内容描述	分类
区域成矿地质环境	大地构造位置	沱沱河-昌都弧后前陆盆地、开心岭-杂多陆缘弧带、雁石坪弧后前陆盆地	次要
	成矿构造特征	断裂构造主要有 NW-SE、近 EW 向和近 SN 向 3 组断裂。其中以 NW-SE 向和近 EW 向断裂和矿体关系较大	必要
	主要赋矿地层	二叠纪开心岭群九十道班组（P_2j）、早石炭世杂多群（C_1z）、早二叠世开心岭群尕笛考组（P_1gd）、晚三叠世结扎群甲丕拉组和波里拉组，岩性以灰岩、生物碎屑灰岩、泥晶灰岩等碳酸盐岩为主	重要
	沉积建造类型	碳酸盐岩建造、碎屑岩建造、火山岩建造	重要
区域成矿地质特征	沉积地层时代	石炭纪、二叠纪、三叠纪	必要
	成矿时代	喜山期	必要
	结构构造	矿石结构以半自形—他形晶粒状结构、交代假象结构、似斑状结构为主。矿石构造以脉状、稀疏浸染状、星点状为主，少数呈斑杂状、土状构造	重要
	蚀变特征	围岩蚀变类型主要有碳酸盐化、硅化、泥化、绢云母化等。其中与矿化关系较密切的主要为硅化、碳酸盐化，常以石英细脉的形式产出	必要
物化探特征	激电异常	共圈出激电异常 4 处，长 1～8 km，宽 100～600 m，异常段视极化率值在 2%～4.5%之间，表现为低阻中等极化特征，区内含矿岩性与非矿岩性的激电性差异较为显著，与土壤异常带相吻合，指示深部可能有矿化体存在	重要
	磁异常	共圈定磁异常 40 处以上，异常强度-60～+200 nT，多与构造相关，推断断裂构造 20 条以上	次要
	化探异常	区内以铅锌为主元素的水系异常，具有一定的规模和强度，形态完整、浓度梯度变化明显，是本区寻找铅锌矿的地球化学标志；共圈出以 Pb、Zn 为主的异常 81 处，异常组合为 Pb、Zn、Cu、Cd、Hg，其中 Pb、Zn 主元素多具 3 级浓度分带，各元素套合较好，异常浓集中心及各元素套合部位与 NW 向或近 EW 向断裂构造附近是寻找铅锌矿的有利部位	必要

(2)预测模型

海相火山岩型铅锌矿床主要在古生代-中生代海相火山岩中比较发育,其大地构造位置包括滩间山岩浆弧、通天河(西金乌兰-玉树)蛇绿混杂岩带、雁石坪弧后前陆盆地。成矿带属柴达木盆地北缘成矿带、金沙江成矿带,柴达木北缘成矿带的成矿以南华纪—泥盆纪、石炭纪—三叠纪和侏罗纪—新近纪为主,形成了金、铅、锌、钛、锰、铁、铬、铜、钨、稀有、煤等矿产;金沙江成矿带矿产成矿时期主要集中于中生代,其次为新生代,形成了铁、银、铜、砂金、石灰岩、黏土等矿产;矿产多为似层状、透镜状,具分枝复合现象,多顺地层产出,少量截穿地层,单矿体长百米至千余米,延深几十至几百米,厚几米到几十米。矿石品位较高,矿化不均匀,并伴生有金、银等贵金属[14-15]。代表性矿床有锡铁山铅锌矿床、多彩锌铜铅矿床等。根据典型矿床和区域成矿地质特征总结预测要素,形成海相火山岩型预测模型(表 3、表 4)。

3.3 接触交代(矽卡岩)型铅锌矿预测模型

(1)典型矿床式

四角羊式铅锌矿:大地构造位置位于昆北断裂北侧的昆北复合岩浆弧,成矿带属东昆仑成矿带。含矿地层为上石炭统缔敖苏组碳酸盐岩;岩浆活动以印支期侵入岩为主。矿体多为透镜状或似层状,一般长 100～800 m,宽 100～300 m,厚度 1～20 m;矿体的矿石类型复杂,同一矿体可见磁黄铁矿石和铜铅锌矿石等多种类型。矿石矿物主要有磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等;脉石矿物为绿泥石、透闪石、石榴石、透辉石、方解石、蛇纹石、绿帘石等。围岩蚀变主要为矽卡岩化,形成的岩石有透辉石矽卡岩、石榴石矽卡岩等[16]。

表 3 锡铁山式海相火山岩型铅锌矿区域预测要素

Table 3 Key regional prediction factors of Xitieshan marine volcanic Pb - Zn ore property

预测要素		内容描述	分类
区域成矿地质环境	大地构造位置	滩间山岩浆弧	次要
	成矿构造特征	NW-SE 向主干断裂逆断裂为区内主要控矿构造	必要
	主要赋矿地层	滩间山群(∈OT),岩性主要为黑色含碳绿泥石英绢云片岩、绢云石英片岩、大理岩或其接触带	重要
	建造类型	陆缘碎屑浊积岩建造	重要
区域成矿地质特征	地层时代	寒武-奥陶纪	必要
	成矿时代	加里东期	必要
	结构构造	矿石结构以半自形-自形晶粒状结构为主。矿石构造以似层状-透镜状、条带状-细脉浸染状及细脉-网脉状为主	重要
	蚀变特征	硅化、黄铁矿化、白云石化、绢云母化、重晶石化、碳酸盐化、绿泥石化	必要
重、化、遥特征	重力异常	利用重力异常推断断裂构造、沉积盆地、滩间山地层等	重要
	遥感异常	色要素(解译绢云母化)、带要素(解译滩间山地层)	次要
	化探异常	以铅、锌、银、铬、镉组合异常为主	必要

表 4 尕龙格玛(多彩)式海相火山岩型铅锌矿区域预测要素

Table 4 Key regional prediction factors of Galonggema(Duocai) marine volcanic Pb-Zn property

预测要素		内容描述	分类
区域成矿地质环境	大地构造位置	通天河(西金乌兰-玉树)蛇绿混杂岩带	必要
	成矿构造特征	断裂呈 NW-SE 向,宽 300～500 m,NE 向陡倾,治多复向斜之次级倒转背斜	重要
	主要赋矿地层	三叠世巴塘群第二岩组和第四岩组,二者之间呈断层接触,岩性主要为英安质凝灰岩、英安质角砾熔岩、集块熔岩	必要
	火山岩相类型	次火山岩	重要
区域成矿地质特征	地层时代	晚三叠世	重要
	成矿时代	印支晚期	必要
	结构构造	细粒粒状结构和交代结构,浸染状、条带状、微脉状、块状构造	重要
	蚀变特征	黄铁矿、绢云母、重晶石、绿泥石和碳酸盐岩	必要
化探特征	化探异常	异常元素组合为 Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Mo、Mn、Cd、Sn、Ba 等元素。该综合异常元素组合较复杂,呈透镜状分布,套合好,强度大,异常规模大,异常评序值为 62.28,属甲类异常。Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Cd、Ba 等元素异常有浓集中心,且浓度分带为内、中、外或中、外带等。Sb、Sn 等元素异常无浓集中心	重要

(2)预测模型

接触交代(矽卡岩)型铅锌矿床主要产于东昆仑造山带，东昆仑成矿带之中，成矿从前南华纪、南华—泥盆纪、石炭纪—三叠纪、侏罗纪—新近纪和第四纪均有出现，形成了镍、金、铁、铅、锌、银、钨、锡、钴、铋、汞、锰、玉石、萤石、硅灰石、页岩气、重晶石、大理岩、石灰岩、石墨、硫铁矿等矿产；矿产多为似层状、透镜状、囊状、脉状等，倾向、走向上均有尖灭再现、分枝复合、膨大收缩现象，多受地层中节理、裂隙或层间破碎带与岩浆岩侵位形态共同控制；矿体一般长几米至百米，延深几米至百米，厚度一般在几米至十几米之间，矿化不均匀，多共伴生有铁、铜、金、银、硫等矿产[17-22]。代表性矿床有四角羊-牛苦头铁铅锌矿床、虎头崖铅锌矿床、什多龙铅锌矿床、抗得弄舍金铅锌矿床等。根据典型矿床和区域成矿地质特征总结预测要素，形成海相火山岩型预测模型(表 5)。

4　铅锌矿资源潜力

在“青海省矿产资源潜力评价(2013)”成果的基础上，根据《预测资源量估算技术要求(2010 年补充)》和《矿产资源国情调查技术要求(非油气)》相关要求，2021 年对青海省内铅锌矿开展潜在矿产资源动态评价更新，在青海省内对铅锌矿进行了 1000 m 以浅的定位、定量预测，铅、锌矿分别圈定预测区 162 个、159 个，估算预测量 5132×10^4 t、3173×10^4 t，预测量主要分布在昌都-普洱成矿带(青海段)(Ⅲ-36)、喀喇昆仑-羌北成矿带(青海段)(Ⅲ-35)、柴达木盆地北缘成矿带(Ⅲ-24)、东昆仑成矿带(青海段)(Ⅲ-26)等 4 个成矿带中(见图 2)。

(1)昌都-普洱成矿带(青海段)(Ⅲ-36)

该成矿带位于三江造山系沱沱河-昌都弧后前陆盆地(Mz)和开心岭-杂多陆缘弧带(P_{1-2}-T)之中，为青海省内重要铅锌矿产出地，查明资源量较大，累计查明铅、锌矿 36.99×10^4 t、132.86×10^4 t，成矿类型以浅成中-低温热液型为主，少量海相火山岩型锌矿，共圈定铅、锌矿预测区 23 处、45 处，估算预测量 2671.89×10^4 t、822.17×10^4 t 均为 1000 m 以浅预测量。

表 5　四角羊式矽卡岩型铅锌矿预测工作区成矿要素

Table 5　Key prediction factors of Sijiaoyang skarn Pb-Zn property

预测要素		内容描述	分类
区域成矿地质环境	大地构造位置	秦祁昆造山系、柴达木地块、柴达木盆地；东昆仑弧盆系、祁漫塔格北坡-夏日哈岩浆弧、祁漫塔格蛇绿混杂岩带、北昆仑岩浆弧；南昆仑结合带、东昆仑南坡俯冲增生杂岩带	重要
	成矿构造特征	处于昆北、昆中断裂之间，NWW 向断裂发育被后期 NE 向断裂错开、位移	必要
	主要赋矿地层	下元古界金水口群，寒武-奥陶系祁漫塔格群，石炭系締敖苏组、大干沟组、石拐子组，岩性主要为结晶灰岩、大理岩、中基性火山岩、砂岩、粉砂岩	必要
	建造类型	含生物碎屑灰岩建造、白云质灰岩夹砾状灰岩建造、复成分砂砾岩建造、灰岩、白云岩夹粉砂岩建造	必要
	侵入岩名称	花岗闪长岩、闪长岩	
区域成矿地质特征	地层时代	寒武-奥陶纪、石炭纪	必要
	侵入岩时代	中晚三叠世	必要
	成矿时代	印支期	必要
	结构构造	矿石结构以半自形-自形晶粒状结构为主，矿石构造以似层状-透镜状、条带状-细脉浸染状为主	重要
	蚀变特征	主要为矽卡岩化，形成的岩石有透辉石矽卡岩、石榴子石矽卡岩、绿帘石矽卡岩、绿泥石矽卡岩、透闪石矽卡岩等，次为蛇纹石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等	必要
物、化、遥特征	磁测异常	1∶5 万磁法普查发现 11 个磁异常，一般呈带状、似长条状分布，走向近 EW，一般强度 10-470 nT，梯度低缓	必要
	遥感异常	遥感矿产地质特征--线、带、环、块、色遥感找矿五要素，若五要素齐全，标志着该部位构造、岩浆岩、矿源层、矿化蚀变和成矿有利部位同处于最佳组合状态下，是寻找多金属矿产最理想的地段	次要
	化探异常	标型组合元素：Cu、Mo、Ag、Sn。全区 Cu 异常 22 个，总体呈 NW-SE 向排列，主要分布在拉陵灶火河西，除 Cu1 和 Cu14 含量高，规模大外，其余异常多数含量较低，多分布在断裂带上	重要

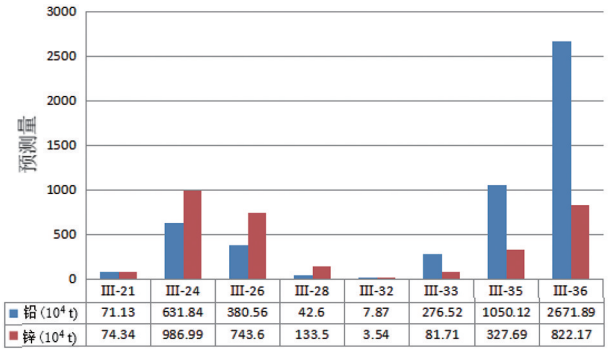

图 2 青海各成矿带铅锌矿预测量分布图

Fig. 2 Map showing distribution of Pb-Zn ore volume prediction of each Pb-Zn ore belt

浅成中-低温热液型铅锌矿体受地层层位控制明显，赋矿围岩无明显专属性，以碳酸盐岩为主，该类地层在区内分布广泛，早石炭世杂多群、早二叠世开心岭群尕笛考组、晚三叠世结扎群甲丕拉组、波里拉组和巴贡组、二叠纪开心岭群九十道班组、诺日巴尕日保组等均可见碳酸盐岩地层，且区内 NW 向构造及次级构造非常发育，三叠-古近纪侵入岩活动强烈，为区内浅成中-低温热液型矿产的富集成矿提供了良好的条件。带内主要有然者涌、东莫扎抓、莫海拉亨等浅成中-低温热液型矿床。

海相火山岩型锌矿体主要产于火山岩之中，赋矿围岩为二叠纪开心岭群诺日巴尕日保组火山碎屑岩段，岩性为安山岩、火山角砾岩，该地层在区内分布较广，区内华力西期侵入岩广泛发育，岩浆热液对早期沉积作用形成矿体有加富作用，并使矿体形态、走向、矿物成分、品位发生变化。区内未发现具规模的海相火山岩型矿床。

(2)柴达木盆地北缘成矿带(Ⅲ-24)

该成矿带位于柴北缘造山带滩间山岩浆弧(O)之中，为青海省内重要铅锌矿产出地，查明资源量较大，累计查明铅、锌矿分别为 206.05×10^4 t、213.17×10^4 t，成矿类型以海相火山岩型为主，少量陆相火山岩型，共圈定铅锌矿预测区 16 处，估算铅、锌矿预测量分别为 380.56×10^4 t、822.17×10^4 t，均为 1000 m 以浅预测量。

海相火山岩型铅锌矿体主要产于火山岩之中，赋矿围岩主要为寒武-奥陶纪滩间山群火山熔岩、火山碎屑岩、大理岩，该地层在区内分布较广，区内 NW 向断裂构造及次级构造发育，对矿体具有一定的控矿或破坏作用。区内主要有锡铁山、沙柳河等海相火山岩型矿床。

陆相火山岩型铅锌矿体主要产于火山岩之中，赋矿围岩主要为晚三叠世鄂拉山组玻屑(晶屑)凝灰岩、熔岩凝灰岩、蚀变安山岩，该地层在区内分布较广，区内 NE 向断裂是主要控矿构造，为成矿热液运移、存储提供了通道和空间。区内未发现具规模的陆相火山岩型矿床。

(3)喀喇昆仑-羌北成矿带(青海段)(Ⅲ-35)

该成矿带位于三江造山系雁石坪弧后前陆盆地(T_3-J)之中，为青海省内重要铅锌矿产出地，查明资源量较大，累计查明铅、锌矿分别为 704.94×10^4 t、132.86×10^4 t，成矿类型以浅成中-低温热液型为主，少量海相火山岩型，共圈定铅、锌矿预测区 37 处、12 处，估算铅、锌矿预测量分别为 1050.12×10^4 t、189.07×10^4 t，均为 1000 m 以浅预测量。

浅成中-低温热液型铅锌矿体受地层层位控制明显，赋矿围岩无明显专属性，以碳酸盐岩为主，该类地层在区内分布广泛，早石炭世杂多群、早二叠世开心岭群尕笛考组、晚三叠世结扎群甲丕拉组、波里拉组和巴贡组、二叠纪开心岭群九十道班组、诺日巴尕日保组等均可见碳酸盐岩地层，且区内 NW 向构造及次级构造非常发育，三叠-古近纪侵入岩活动强烈，为区内浅成中-低温热液型矿产的富集成矿提供了良好的条件。区内主要有多才玛、纳保扎陇等浅成中-低温热液型矿床。

海相火山岩型铅锌矿体主要产于火山岩之中，赋矿岩性为二叠纪开心岭群诺日巴尕日保组火山碎屑岩段安山岩、火山角砾岩、中侏罗纪雁石坪群雀莫错组安山岩、砂岩、粉砂岩、灰岩和渐新世沱沱河组石英岩屑砂岩、粗面岩、粗面英安岩、安山玄武岩、凝灰岩等。开心岭群在带内北侧分布，雁石坪群、渐新世沱沱河组在成矿带内分布较广，带内华力西期、喜山期侵入岩广泛发育，岩浆热液对早期沉积作用形成矿体有加富作用，并使矿体形态、走向、矿物成分、品位发生变化。区内主要有小唐古拉山、那日尼亚、开心岭等海相火山岩型矿床。

(4)东昆仑成矿带(青海段)(Ⅲ-26)

该成矿带位于东昆仑造山带之中，为青海省内重要铅锌矿产出地，查明资源量较大，累计查明铅、锌矿分别为 77.38×10^4 t、216.79×10^4 t，成矿类型以接触交代(矽卡岩)型为主，另有少量岩浆热液型、陆相火山岩型、浅成中-低温热液型、海相火山岩、斑岩型等。共圈定铅锌矿预测区 55 处，估算铅、锌矿预测量分别为 380.56×10^4 t、743.60×10^4 t，均为 1000 m 以浅预测量，预测类型以接触交代(矽卡岩)

型为主，少量海相火山岩型、陆相火山岩型。

接触交代（矽卡岩）型铅锌矿体受地层岩型、岩浆岩侵位特征等因素控制明显，赋矿围岩以碳酸盐岩为主，侵入岩以印支期中酸性岩浆岩为主；碳酸盐岩地层在区内分布广泛，下元古界金水口群、寒武-奥陶纪祁漫塔格群、石炭纪締敖苏组、大干沟组、石拐子组等均可见碳酸盐岩地层，区内三叠纪侵入岩活动强烈，为区内接触交代（矽卡岩）型矿产的富集成矿提供了良好的条件。区内主要有四角羊、虎头崖、黑石山、海寺、肯德可克、野马泉、什多龙、抗得弄舍等接触交代（矽卡岩）型矿床。

5　勘查部署建议

铅锌矿作为青海的优势矿产，具有成矿类型丰富、资源优势明显、矿石优质、易采易选、资源集中等优点，但青海近年来一直秉承“青海省三大优势”省情，矿产勘查一直坚持生态优先的要求，逐步退出了青南地区、祁连山地区的矿产勘查工作，目前矿产勘查工作重心主要集中在东昆仑主脊以北地区、柴达木盆地及周缘地区，针对青海生态环境保护趋势，结合青海铅锌矿潜在矿产资源评价成果，未来的铅锌矿勘查部署建议如下：

（1）根据青海省情及铅锌矿资源潜力评价成果，青海省铅锌矿产勘查重心应主要集中在东昆仑成矿带和柴北缘成矿带之中，2 个成矿带中本次潜在矿产资源动态评价仍获得了铅 1618.183×10^4 t、锌 1124.16×10^4 t 的潜力，说明在 2 个成矿带中仍具有较好的成矿潜力，可作为铅锌矿主要勘查基地；2 个成矿带内预测类型以接触交代（矽卡岩）型、海相火山岩型为主，相应成矿地质条件丰富，并有大量的 1∶25 万、1∶5 万地球化学铅锌为主的组合异常未开展查证，说明东昆仑成矿带和柴北缘成矿带通过进一步工作必定能取得较大突破。

（2）东昆仑成矿带和柴北缘成矿带之中目前已发现了大量的（铁）铅锌铜矿床，并具有明显的局部成群分布特点，主要集中在锡铁山地区、祁曼塔格地区和都兰地区，三片区内均有矿床正在开发，具有较好的交通、电力等条件，建议针对以上片区开展科研、勘查工作，加强深、边部地区矿产勘查，进一步提升铅锌矿产资源储备。

注释：

① 杨生德，吴正寿，赵呈祥，等. 青海省矿产资源潜力评价报告[R]. 西宁：青海省地质矿产勘查开发局，2013.

② 潘彤，王贵仁，王福德，等. 中国矿产地质志・青海卷[R]. 西宁：青海省地质矿产勘查开发局，2021.

③ 姚旭东，张子龙，王克瑞，等. 西藏自治区安多县多才玛矿区铅锌矿详查阶段性报告[R]. 西宁：青海省第五地质勘查院，2019.

参考文献：

[1] 陈毓川，王登红，李厚民，等. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京：地质出版社，2010：185－187.

[2] 潘彤. 青海成矿单元划分[J]. 地球科学与环境学报，2017，39(1)：16－33.

[3] 祁生胜. 青海省大地构造单元划分与成矿作用特征[J]. 青海国土经略，2013(5)：53－62.

[4] 宋玉财，侯增谦，杨天南，等. 青海沱沱河多才玛特大型 Pb－Zn 矿床——定位预测方法与找矿突破过程[J]. 矿床地质，2013，32(4)：744－756.

[5] 刘长征，郭海民，孙丰月，等. 沱沱河地区多才玛铅锌矿床地质特征及找矿方向[J]. 中国矿业，2015，24(12)：74－79＋98.

[6] 杨文龙. 沱沱河地区多才玛铅锌矿床矿化富集规律及矿床成因[D]. 长春：吉林大学，2017.

[7] 李领贵. 青海多才玛铅锌矿床地质特征及成矿预测[D]. 长春：吉林大学，2018.

[8] 李善平，黄青华，李小雪，等. 青海三江北段莫海拉亨铅锌矿床地质特征及铅同位素组成的地质意义[J]. 西北地质，2013，46(1)：119－129.

[9] 常有英，李建放，王涛，等. 青海然者涌—东莫扎抓地区铜多金属矿成矿规律研究[J]. 中国科技信息，2012(15)：39－40.

[10] 安永尉，周鹏，马鸿颖，等. 青海三江成矿带然者涌铅锌银矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿产勘查，2020，11(11)：2380－2390.

[11] 刘长征，李世金，陈岳龙，等. 羌塘地区多才玛铅锌矿床流体包裹体特征及成因类型[J]. 大地构造与成矿学，2015，39(4)：658－669.

[12] 魏俊浩，李鹏，李义邦，等. 青海省锡铁山铅锌矿成矿元素物质场结构及深部找矿潜力[J]. 地质科技通报，2012，40(2)：1－12.

[13] 张代斌，奚小双，邓吉牛. 青海锡铁山铅锌矿床的控矿因素分析[J]. 西部探矿工程，2005，1：84－85.

[14] 吴碧娟. 青海省尕龙格玛铜多金属矿成矿条件与矿床成因研究[D]. 长沙：中南大学，2013.

[15] 申大元. 锡铁山铅锌矿床地质特征及找矿方向[J]. 中国矿山工程，2010，39(3)：10－12＋31.

[16] 贾建团. 青海祁漫塔格地区牛苦头铁多金属矿床特征研究[D]. 北京：中国地质大学(北京)，2013.

[17] 蒋成伍. 青海省格尔木市四角羊—牛苦头地区矽卡岩型铁多金属矿矿化特征及成矿模式研究[D]. 北京：中国地质大学(北京)，2013.

[18] 冀春雨，于文明，孙靖宇，等. 青海省都兰白石崖 M14 区多金属矿地质特征及找矿方向[J]. 世界有色金属，2019(17)：86－88.

[19] 方刚. 青海省兴海县什多龙铅锌矿床特征及找矿前景分析

[D]. 北京:中国地质大学(北京),2013.
[20] 李洪普,曹永亮,关有国,等. 青海东昆仑山四角羊地区铁多金属矿床的成矿地质特征[J]. 地质通报,2009,28(6):787-793.
[21] 董想平,王凤林,管波. 青海抗得弄舍金多金属矿床矿化蚀变与富集规律研究[J]. 矿产勘查,2017,8(4):583-590.
[22] 管波,张晓娟,肖小强,等. 青海抗得弄舍金多金属矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿产勘查,2012,3(5):632-637.

Pb-Zn Metallogenic law and the ore potential analysis in Qinghai province

JIANG Chengwu[1,2], **XUE Wanwen**[1,2] **KANG Jizu**[1,2], **ZHAO Zhiyi**[1,2], **LI Huanxue**[1,2]

(1. *Qinghai Geological Survey Institute*, *Xining* 810012, *China*;
2. *Key Lab of Geological Process and Mineral Resources in North Qinghai-Tibet Plateau*, *Xining* 810012, *China*)

Abstract: Pb-Zn ore occurring in belts is one of the important mineral resources in Qinghai province. The ore belt is segmented with different ore deposit type - concentrated segments. Based on assessment of potential mineral resources in Qinghai province made in 2021 is summarized the metallogenic law of Pb-Zn ore and is built the prediction models for potential volcanic type, contact metasomatic (skarn) type and epi-mesothermal Pb-Zn mineral resources in the province. Metallogenic potential of 4 Pb-Zn ore belts is discussed and suggestion put forward for Pb-Zn ore prospecting in the province.

Key Words: Pb-Zn ore; mineral resources assessment; prediction model; mineral resources potential; Qinghai province