

# 青海省成矿规律与百年勘查成果及 新一轮找矿突破行动建议

——《中国矿产地质志·青海卷》研编

潘彤<sup>1)</sup>, 王福德<sup>2)</sup>, 薛万文<sup>3)</sup>, 田永革<sup>3)</sup>, 何书跃<sup>4)</sup>,  
李五福<sup>3)</sup>, 王雷<sup>5)</sup>, 路超<sup>6)</sup>, 雷晓清<sup>3)</sup>

1)青海省地质矿产勘查开发局, 青海西宁 810008; 2)青海省第五地质勘查院, 青海西宁 810003;  
3)青海省地质调查院, 青海西宁 810012; 4)青海省第三地质勘查院, 青海西宁 810008;  
5)青海省第一地质勘查院, 青海海东 810699; 6)青海省第四地质勘查院, 青海西宁 810001

**摘要:** 青海省成矿条件优越, 矿产资源丰富, 是我国矿产资源的主要蕴藏地之一。通过《中国矿产地质志·青海卷》、矿产地质图和成矿规律图研编, 总结了青海省百年勘查成果, 共发现矿产种类有 137 种, 发现各类矿产地 2 587 处。研编成果在点上有了新类型、新矿种发现; 确立柴达木盆地北缘稀有金属找矿靶区; 实现了柴达木盆地盐类理论创新与找矿突破。成矿在空间上涉及 5 个成矿省、16 个成矿带; 经历了前南华纪、南华纪—泥盆纪、石炭纪—三叠纪、侏罗纪—白垩纪、古近纪—第四纪五个时段的演化。青海省成矿作用多样、矿种复杂, 厘定矿床成矿系列 48 个, 亚系列 114 个。依据以上, 研判了青海省矿产资源潜力和找矿前景, 提出了新一轮找矿突破战略行动建议, 提出柴达木盆地聚焦盐湖增产保供、柴达木盆地周缘突出战略性矿产找矿、共和盆地、贵德盆地实现清洁能源找矿新发现, 并梳理了影响找矿取得突破的关键科学问题。

**关键词:** 青海省; 成矿规律; 找矿突破; 行动建议

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.102401

## Metallogenic Regularity, Centennial Exploration Results of Qinghai Province, and Suggestions for a New Round of Prospecting: Research and Compilation of “Geology of Mineral Resources of China • Qinghai Volume”

PAN Tong<sup>1)</sup>, WANG Fude<sup>2)</sup>, XUE Wanwen<sup>3)</sup>, TIAN Yongge<sup>3)</sup>, HE Shuyue<sup>4)</sup>,  
LI Wufu<sup>3)</sup>, WANG Lei<sup>5)</sup>, LU Chao<sup>6)</sup>, LEI Xiaoqing<sup>3)</sup>

1) Bureau of Geological Exploration & Development of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810008;  
2) The Fifth Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810003;  
3) Qinghai Geological Survey Institute, Xining, Qinghai 810012;  
4) The Third Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810008;  
5) The First Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Haidong, Qinghai 810699;  
6) The Fourth Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810001

**Abstract:** Qinghai Province is one of the main mineral resources reserves in China. It has superior metallogenic conditions and abundant mineral resources. Through the research and compilation of the “Geological Atlas of Mineral Deposits in Qinghai Province” and mineral geological maps and deposit pattern maps, the century-long

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号: DD20221695; DD20190379; DD20160346)、第二次青藏高原综合科学考察研究

项目(编号: 2019QZKK0806)和国家自然科学基金重点项目(编号: 9206220026)联合资助。

收稿日期: 2024-05-25; 改回日期: 2024-10-12; 网络首发日期: 2024-10-25。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 潘彤, 男, 1966 年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事成矿规律研究与找矿工作。E-mail: pant66@163.com。

exploration achievements in Qinghai Province were summarized. A total of 137 kinds of minerals and 2 587 mineral deposits were found in Qinghai Province. New types and species of minerals were discovered through the research and compilation, which established the rare metal exploration target area in the northern margin of the Qaidam Basin, and achieved theoretical innovation and breakthroughs in salt exploration in the Qaidam Basin. The new generation of mineral deposit distribution map, mineral geology map and metallogenic regularity map was systematically compiled. The maps show that the mineral resources are divided into 5 metallogenic provinces and 16 metallogenic belts. These metallogenic domains experienced five periods of evolution: Pre-Nanhua Nanhua–Devonian, Carboniferous–Triassic, Jurassic–Cretaceous and Paleogene–Quaternary. The theory of “metallogenic series” was developed, 48 metallogenic series and 114 sub-series were determined, and the metallogenic system framework of Qinghai was established and perfected. Based on the above, the mineral resources potential and prospecting prospects of Qinghai Province were studied and assessed, and a new round of prospecting breakthrough strategic actions focusing on salt lake production and supply in the central Qaidam Basin, highlighting strategic mineral prospecting in the Qaidam Basin periphery, and realizing new energy mineral prospecting in the Gonghe and Guide Basins was proposed. Scientific problems affecting breakthroughs in mineral exploration were resolved.

**Key words:** Qinghai Province; metallogeny; prospecting breakthrough; suggestions

青海省处于秦祁昆造山系和北羌塘—三江造山系中,在造山前期、主造山期和后造山期形成不同类型的成矿作用。不同的区域构造格局具有不同的地质特征,同时也控制着不同成矿类型、不同矿种形成。

《中国矿产地质志·青海卷》于2013年启动预研编,2014年01月正式启动。青海省自然资源厅(原青海省国土资源厅)成立了领导小组及专家委员会,建立了由青海省地质矿产勘查开发局牵头的编撰委员会。中国石油青海油田公司、中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队、青海煤炭地质局、青海省核工业地质局以及青海省地质矿产勘查开发局所属相关单位参加,汇集了全省十多家地勘单位和百余名专家参与研编工作。为了保证项目资金充足,每年按1:1的比例进行省财政资金配套。

研编工作在青海省矿产地质志编撰领导小组统一领导下和领导小组办公室及专家编审委员会指导下,为了高标准、高质量、高水平完成《中国地质矿产志·青海卷》目标任务,设置了五个专项,即志书正本研编、普及本研编、矿产地质图研编、成矿规律图研编和成矿数据库建设。研编围绕国家目标、科学目标、社会目标和人才目标,按“一个统一、三个覆盖”的基本要求研编,即按照“统一的技术要求”开展研编工作,实现“矿种全覆盖”、“矿产地全覆盖”、“省域面积全覆盖”。继承与发扬我国地质行业编著型志书的“纪实”传统,突破了传统志书“述而不议”的编纂惯例,着力于通过对勘查实践所取得认识的提升和总结,做到立足写实、有述有论、论而不泛、力求精准,使取得的规律性认识得以传承和不断深化。

《中国矿产地质志·青海卷》历经八年的研编

工作,于2021年初以优异成绩通过全国终审,取得系列重要成果,本志书项目取得预期成果。志稿分五册出版,首次全面而较系统地阐述了青海省的能源、金属、盐湖、非金属、水气5大类109个典型矿床的勘查历史、成矿特征、成矿模式、资源储量以及开发利用;首次提出新太古代—南华纪大陆基底演化、南华纪—泥盆纪原特提斯洋演化、石炭纪—三叠纪古特提斯洋演化、侏罗纪—白垩纪特提斯洋演化和新生代高原碰撞隆升五段成矿。深化了青海省十六个三级成矿区带成矿特征认识;厘定了青海省矿床成矿系列、成矿系列组、成矿谱系,系统总结了青海省区域成矿规律,评价了成矿潜力,指出了找矿方向。应用志书研编成果,指导青海找矿取得新进展,如柴达木盆地北缘锂铍成矿带的发现、五龙沟—深水潭金矿资源量年年增加、柴达木盆地西部发现了规模巨大的深层含钾卤水矿等等。本文对志书研编取得的进展和主要成果进行全面介绍,以期为一轮找矿突破行动提供指导。

## 1 百年勘查成果

### 1.1 矿产资源特征概况

#### 1.1.1 矿产资源种类

截至2018年底,青海省共发现矿产种类有137种,其中能源矿产11种,金属矿产46种,非金属矿产78种,水气矿产2种。发现各类矿产地2 587处(不包括矿化点、矿化信息),其中能源矿产地268处,金属矿产地1 286处,非金属矿产地901处,水气矿产地132处。按规模划分,有超大型31处,大型97处,中型181处,小型483处,矿点1 795处。

青海省查明有资源储量的矿产种类有108种,

青海省自然资源厅(2020)年编入《青海省矿产资源储量简表》的矿产种类有 96 种(固体矿、液体矿,不含石油、天然气)。其中能源矿产 3 种,金属矿产 38 种,非金属矿产 53 种,水气矿产 2 种。

### 1.1.2 矿产地地理分布情况

青海省自然资源十分丰富,是一个矿产资源大省,其矿产资源的特点为地域分布不均衡。依据目前勘查程度和矿产资源利用情况,青海省矿产地按矿种分布具有明显的地域特点,建材非金属矿产主要分布于西宁市周边及海东地区;盐湖矿产及石油、天然气主要分布于柴达木盆地西部;煤炭主要分布于柴北缘、北祁连,玉树、果洛地区有少量分布;黑色金属主要分布于格尔木西部、都兰、祁连地区;有色金属、贵金属主要分布于祁连、格尔木、大柴旦、兴海、都兰、泽库、同仁、玉树等地区。

青海省 2 587 处矿产地分布于 8 个州(市)和 42 个县(市、行委)行政区,但集中分布于海西州(1 135 处)、海北州(342 处)、玉树州(303 处)、海东市(274 处)等州(市);矿产地超过 100 处的县(市)有都兰县(334 处)、格尔木市(333 处)、祁连县(216 处)、大柴旦(128 处)、茫崖市(115 处)。

### 1.1.3 资源储量在全国的排序

据青海省矿产资源年报(青海省自然资源厅,2020)青海省矿产资源储量居全国前 3 位的有 27 种,前 5 位的有 37 种,6 至 10 位的有 21 种。有 58 种矿产资源保有资源储量排在全国前 10 位。其中锂矿、氯化镁、硫酸镁、玻璃用石英岩、电石用灰岩、化肥用蛇纹岩、钾盐、石棉、锶矿、饰面用蛇纹岩 10 种矿产位于全国第 1 位。在国民经济占主导地位的 45 种主要矿产中,优势矿产锂矿(LiCl)、锶矿、钾盐(KCl)、石棉、玻璃用石英岩等居第 1 位,而大宗支柱性矿产的煤炭居第 15 位,石油第 9 位,天然气第 7 位,铜矿第 11 位,锌矿第 9 位,铅矿第 12 位,金矿第 14 位,铁矿第 20 位。盐湖矿产是青海省重要优势矿产和特色矿产,在全国占有绝对优势,其中钾盐、锂矿、镁盐保有资源储量占全国的比重高达 79.78%、83.16%和 95.4%。对青海省经济发展贡献较大的优势矿产是石油、钾盐、天然气、煤炭、岩金、锌、铜、铅、锂、硼、铁、盐矿(NaCl)、石棉、饰面石材等矿种。具有资源优势并具潜在市场前景的矿产有:镁盐、石英岩、芒硝、石膏、硅灰石等矿产。

### 1.2 取得的重要成果及认识

志书研编与青海省地质找矿紧密结合,根据矿床成矿系列“全位成矿、缺位找矿”成矿预测思维,借鉴兄弟单位研编的找矿经验,取得了以下重要成

果及规律认识:

(1)发现了新的矿床类型。柴达木盆地北缘新发现砾岩型金矿(尕日力根金矿)、隐爆角砾岩型铅锌矿(阿哈达哇多金属矿),提升了柴北缘成矿带金、铅锌等多金属矿的成矿条件认识,并拓展了其找矿思路;柴达木盆地发现黏土型锂矿,拓展了柴达木盆地锂矿的找矿空间。

(2)提出了柴达木盆地北缘是青海省重要稀有金属成矿带(潘彤等,2020),通过矿产调查评价已得到证实,目前茶卡北山地区圈定花岗伟晶岩一千条、圈出含矿蚀变带三条,锂、铍资源量规模不断扩大,其中铍矿已达大型规模(王进寿等,2022,2023)。结合找矿成果、资料分析,在我国的西部除了阿尔泰活动造山带、松潘—甘孜造山带(马尔康—雅江喀拉昆仑)伟晶岩型稀有金属战略区外,柴达木盆地北缘已成为我国西部新的伟晶岩型稀有金属矿找矿基地。进一步总结了青海东昆仑成矿带钴矿具有“321”特征:3 个成矿期,中元古代 Columbia 超大陆裂解期、奥陶纪祁漫塔格洋岛弧期、志留纪—泥盆纪后碰撞伸展期;2 个主要成矿作用,岩浆熔离作用、热水喷流沉积作用;1 个综合找矿信息,即一系列找矿信息(潘彤等,2023)。

(3)梳理了柴达木盆地盐湖资源保障方面关键科学问题。研编工作启动以来,一直关注盐湖地质科技问题及找矿工作,特别 2020 年以来潘彤等通过对 33 宗采矿权的保有资源储量、开发利用现状、建成产能规模等情况调查,发现盐湖矿产资源保障方面还存在三个方面问题。一是西部地区水资源保障不足严重影响盐湖资源有效利用;二是深层含钾砂砾石型孔隙卤水矿床资源潜力不清;三是第四系现代盐湖资源保有家底有待查明(潘彤,2024)。围绕这些技术关键问题,首次划分了柴达木盆地盐类矿产成矿单元,建立了柴达木盆地盐类矿产的成矿模式,明确提出柴达木盆地地区背斜构造区是盐湖卤水型锂矿找矿重要靶区,应加强背斜构造区锂矿成矿机理研究及靶区的验证(潘彤等,2022);以成藏系统理论指导成矿预测,划分钾盐成矿远景区 63 个、锂盐成矿远景区 65 个。

### 1.3 矿产资源找矿潜力

志书研编中,以成矿系列为指导,开展了青海省矿产资源潜力与预测工作。由图 1 可知,青海省重要矿产资源总体查明率较低,战略性矿产钨查明率仅为 2.89%,稀土查明率为 5.20%、银矿 21.20%、铜矿 25.02%、金矿 28.66%、镍矿 32.73%,查明率最高的为碘,查明率达 81.58%。全省平均 33.03%,低于 36% 的全国平均水平(薛万文等,2023)。

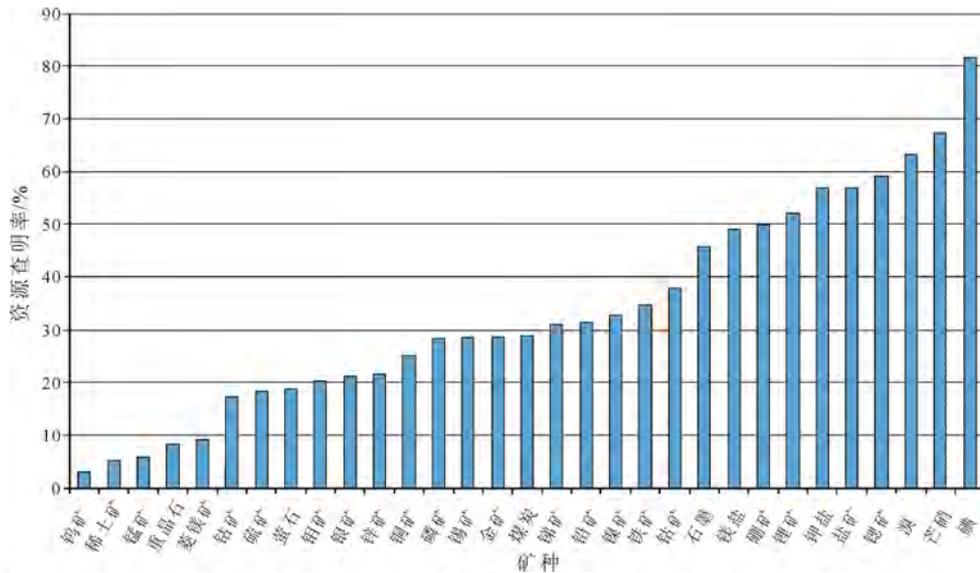


图 1 青海省重要矿产资源查明率图(据薛万文等, 2023)

Fig. 1 Identification rate of important mineral resources in Qinghai Province (from XUE et al., 2023)

## 2 成矿地质环境

### 2.1 区域地质背景

青海省从新太古代到新生代地层均有出露, 沉积环境复杂, 地层类型繁多(祁生胜等, 2019)。前震旦纪地壳长期稳定沉降, 地层厚度大, 主要分布于昆仑山南坡—秀沟—玛沁断裂带以北。早古生代以裂谷发育为重要特征的活动阶段形成早古生代活动型沉积。在中—晚中生代至新生代(侏罗纪—第三纪)阶段, 青藏高原开始进入陆内造山阶段, 沉积以陆相碎屑岩建造为特征, 燕山运动出现山间断陷盆地沉积, 喜马拉雅运动使柴达木、西宁、共和等盆地继续大幅度下降, 沉积了内陆湖泊相的砂砾、砂质和泥质碎屑岩岩系。青海三叠纪沉积最广泛, 约占全省面积的 1/2, 石炭纪、二叠纪及元古宙地层亦占有重要位置。青海志留纪前(包括志留纪)为海相沉积, 自白垩纪开始为陆相沉积, 泥盆纪至侏罗纪海相与陆相沉积地层并存, 沉积类型以活动型、次活动型(过渡型)为主, 显示出较为典型的造山带特征。

青海省岩浆活动频繁且强烈, 形成了一系列多期次不同类型和不同岩性岩相组合的火山岩浆建造。兴凯—前兴凯期侵入岩分布很少, 主要在格尔木南部的昆仑北、乌兰、大通地区; 中寒武世—早泥盆世侵入岩全部分布于昆仑以北, 祁连山地区最多, 环柴达木盆地也有少量分布; 中泥盆世—中三叠世侵入岩分布面积最大, 主要集中于环柴达木盆地; 晚三叠世侵入活动很强, 侵入岩主要分布于昆仑、鄂拉山、大柴旦—泽库、巴颜喀拉和火山—玉树地区; 新生世侵入岩主要分布于雁石坪—囊谦、巴颜喀拉地区。

青海省变质期次划分为前南华纪、南华纪—泥

盆纪、石炭纪—三叠纪、侏罗纪—白垩纪、古近纪—第四纪五个期次, 其中古近纪—第四纪未发生明显变质作用。区域变质岩呈大面积分布; 热接触变质岩主要产于不同时代岩浆侵入体外接触带; 动力变质岩则以线状赋存于大型韧性剪切带或压扭性断裂带中, 尤以东昆仑变质地块最为发育。

青海省共有 35 条重要断裂, 主断裂构造为北西、北西西向, 构成了区域构造格架, 这些断裂控制了沉积作用和岩浆活动, 使得构造单元的不同部位形成不同的沉积-岩浆组合, 进而控制了矿产的时空分布。

### 2.2 区域成矿单元

按照《中国成矿区带划分方案》(徐志刚等, 2008), 杨生德等(2013)对青海成矿区带进行了划分, 青海省跨一级成矿域 2 个、二级成矿省 5 个、三级成矿区带 16 个、四级成矿区带 40 个、五级矿带(矿集区)72 个。潘彤(2017)从青海成矿规律及成矿特征出发, 以Ⅲ级、Ⅳ级为重点, 全面系统地划分青海省的成矿区(带)。志书研编过程中, 收集了最新地质成果并进行了深化, 结合本省成矿区带划分原则和依据, 本着求大同存小异的原则, 在原有Ⅲ级成矿区带基础上, 又进一步划分出 39 个成矿亚带(图 2)、55 个矿集区和 70 个成矿远景区。

### 2.3 青海省构造演化

青海省形成如今构造格局至少经历了前南华纪超大陆形成、南华纪—泥盆纪原特提斯洋演化、石炭纪—三叠纪古特提斯洋演化、侏罗纪—白垩纪特提斯洋演化、古近纪—第四纪青藏高原迅速隆起阶段。多期次、多阶段的构造演化过程, 发育多期构造-岩浆-变质-成矿事件, 形成了不同类型的矿床。

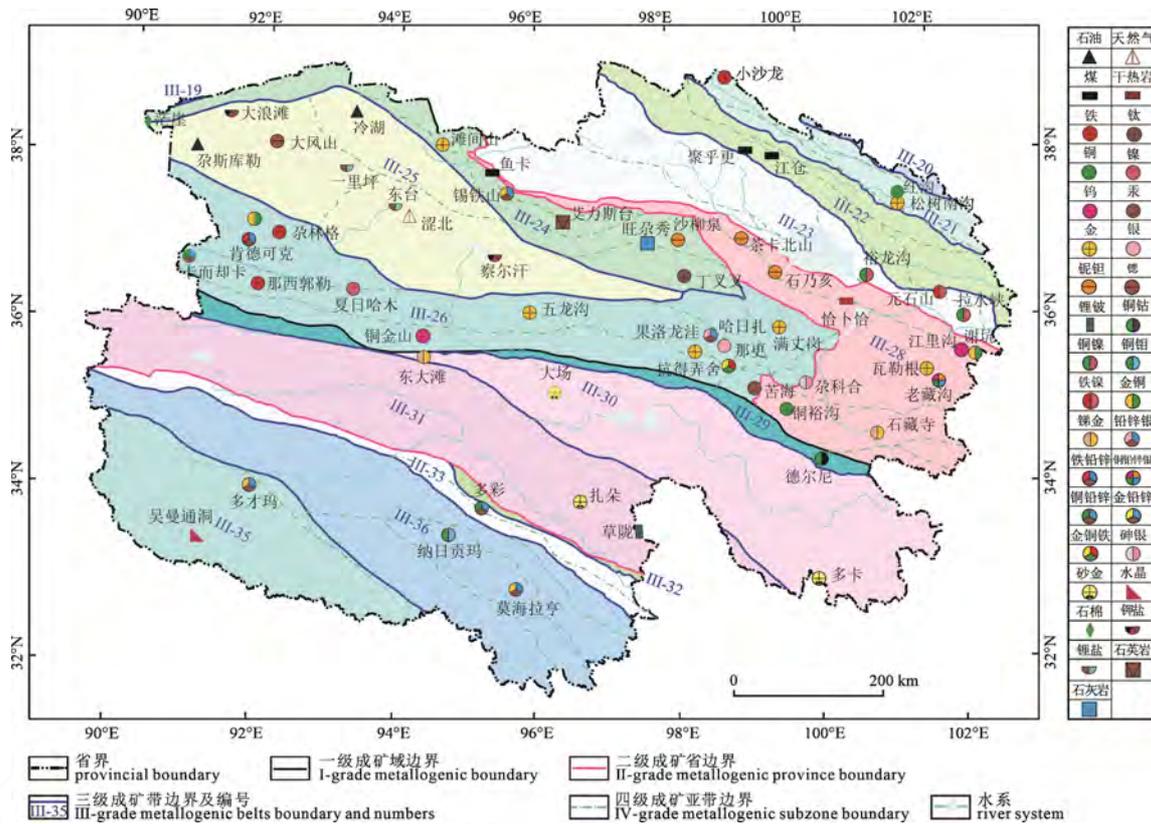


图 2 青海省成矿单元划分图

Fig. 2 Distribution of metallogenic units of Qinghai Province

(1)前南华纪(~0.78 Ga): 前南华纪是青海大陆地壳形成的主要时期, 1.8 Ga 的哥伦比亚超大陆聚合与 0.8 Ga 的罗迪尼亚超大陆聚合基本形成了青海大陆地壳的主体, 为沉积变质型铁(锰)矿、石墨矿床和石英岩矿床主要成矿时期。

(2)南华纪—泥盆纪(780~359 Ma): 南华纪随着罗迪尼亚超大陆裂解, 原特提斯的祁连洋、昆仑洋与秦岭洋开启。中寒武世始, 大洋板块向北俯冲, 青海北部演化成为活动大陆边缘, 形成规模巨大的沟-弧-盆系, 成矿作用以热水-喷流沉积作用为主, 形成了锡铁山铅锌矿、驼路沟钴矿等矿床, 此时, 青海南部处于原特提斯大洋区。志留纪—泥盆纪北部的南祁连—全吉、柴达木等诸陆块汇聚, 陆块碰撞, 形成柴北缘超高压变质带及其与之相伴的金红石型钛矿床和以滩间山金矿为代表的造山型金矿。碰撞晚期地壳伸展拉张, 幔源岩浆上涌, 环柴达木周缘的形成了与铜镍硫化物有关的超基性岩带, 从而形成了以夏日哈木超大型镍矿为代表的岩浆熔离矿床。

(3)石炭纪—三叠纪(359~199.6 Ma): 为古特提斯洋演化, 青海北部除宗务隆山裂谷外, 整体处于柴达木—华北板块稳定的大陆边缘, 碳酸盐岩为主的滨-浅海相地层分布十分广泛, 为优良的生烃层系。青海南部以阿尼玛卿洋和金沙江洋为代表的古

特提斯洋处于鼎盛时期, 形成了与洋底热水-喷流作用相关的德尔尼铜钴矿床。二叠纪晚期至晚三叠世早期, 古特提斯大洋岩石圈板块向北、南两侧的大陆地壳之下俯冲, 北方东昆仑地区形成的壳幔混合型岩浆岩带来了巨量的金属, 形成了重要的多金属成矿带; 南侧形成了开心岭—杂多陆缘弧, 在治多县多彩地区也形成了具有潜力的铜铅锌矿集区。晚三叠世, 古特提斯大洋消失, 海水退至唐古拉山脉及以南广大区域。板块碰撞及后碰撞造山过程中, 在东昆仑和巴颜喀拉山脉北部地区形成了五龙沟、沟里和大场等金矿矿集区。

(4)侏罗纪—白垩纪(199.6~65 Ma): 为特提斯洋演化阶段。在古特提斯残留洋收缩、消亡、造山的同时, 特提斯洋主域已移至班公湖—怒江洋及雅鲁藏布江一带。青海北部为中低纬度温暖湿润的低海拔丘陵-平原, 河湖发育, 植被茂盛, 成为青海省最重要的聚煤期, 青海省最主要的煤炭资源即形成于该时期。青海南部由于印度板块与亚洲板块碰撞, 引发了大规模岩浆活动, 形成与该侵入岩体有关的矿产主要有铁、铅锌等, 如囊谦县解嘎银铜铅矿。

(5)古近纪—第四纪(65 Ma~): 印度板块与欧亚板块初始碰撞, 青海省南部受碰撞作用局部形成碰撞伸展环境, 该环境发育高钾花岗岩组合-过碱性

花岗岩组合,形成有规模的斑岩型钼铜矿,如杂多县纳日贡玛钼铜矿床。渐新世—中新世(34~25 Ma)青海省主要表现为随高原差异隆升,形成一系列走滑断裂活动与拉分盆地,随之也进入了盆地充填活跃期,如柴达木盆地的上、下油砂山组产油层系的形成。

第四纪以来,青藏高原快速隆升,昆仑—黄河运动(1.2~0.6 Ma),昆仑山抬升,黄河中阶地形成;共和运动 0.15 Ma 以来,黄河低阶地形成。这一时期形成了丰富的盐类、砂矿、泥炭、石膏等资源。

### 3 青海省成矿规律

青海省处于秦祁昆造山系和北羌塘—三江造山系中,在造山前期、主造山期和后造山期形成不同类型的成矿作用。不同的区域构造格局具有不同的地质特征,同时也控制着不同成矿类型、不同矿种形成。青海省 5 大成矿作用 17 种成矿类型均有分布,其中内生矿产占据主导地位,浅成中-低温热液型及成因不明矿床类型居首位。

青海省矿产资源丰富,种类繁多,总体上呈现出“北部煤,南部有色金属,西部盐类和油气,中部有色金属、贵金属,东部非金属”的特点;北部矿产多,南部矿产少;共生伴生矿产多,小矿多,矿产地分布零散,但矿产资源储量相对集中。全省已查明的矿产地和保有资源储量,绝大部分分布在北纬 36°以北地区,南部由于地质工作程度低,大量的矿产资源尚未查明,目前只有砂金、铜、钼、铅锌等少数矿产。北部地区的矿产资源又多集中分布于柴达木盆地及其周边。青海省盐湖资源享誉世界,柴达木盆地

以盐类矿产为主的各类矿产资源配置比较齐全,储量高度集中,以“聚宝盆”著称(潘彤等, 2021)。

#### 3.1 矿产的时间分布

全省 2 587 处矿产地按成矿时代统计结果见图 3。由图 3 看出,全省以三叠纪为主要成矿期,矿产地数量 765 处,占所统计矿产地数的 29.22%,所占比例最高,其次是第四纪,矿产地数 445 处,占 17.20%,再次是奥陶纪,矿产地数 339 处,占 13.10%。

总体看来,青海省矿产时间分布具有如下特点。成矿时代跨度大,从古元古代到第四纪均有矿产地分布,但成矿强度存在差异,内生成矿以中生代最强,并以三叠纪分布较集中,古生代次之,并以奥陶纪相对较强,喜山期矿床所占比例较多,但以砂矿型及盐湖矿产为主,内生矿床较少;印支期、加里东期是青海省主要成矿期,且大中型矿床所占比例较大;燕山期、华力西期矿床规模以小型为主,但数量多,找矿潜力较大。

青海省主要矿产成矿强度在时间上的变化呈现一定的规律性。石油、天然气:成藏发生在喜山运动中期和喜山运动晚期,且晚期成藏的规模要大于早期成藏的规模;煤炭:早—中侏罗世是青海省主要成煤期,其次为石炭纪;铁矿:以三叠纪为主,其次为寒武纪—奥陶纪和古—中元古代;铜矿:以三叠纪为主,其次为奥陶纪和二叠纪;铅锌矿:奥陶纪和古近纪居首,其次为三叠纪和二叠纪;镍矿:泥盆纪居首,其次为第四纪和奥陶纪;钴矿:泥盆纪居首,其次为二叠纪和奥陶纪;金矿:以三叠纪为主,其次为泥盆纪、第四纪和奥陶纪;

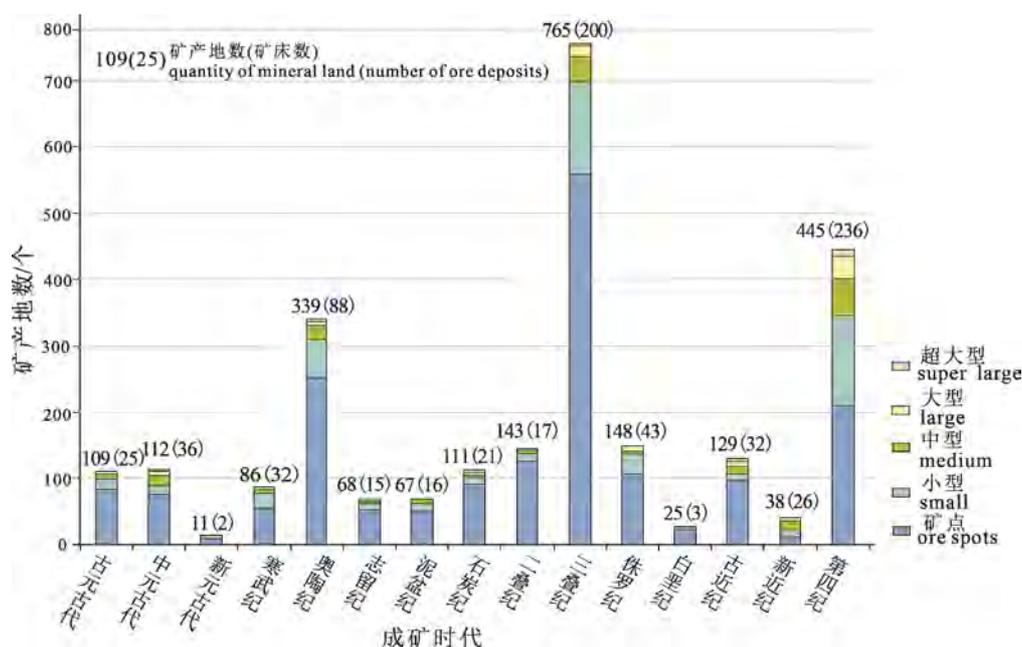


图 3 青海省矿产地成矿时代分布图

Fig. 3 Ore-forming epoch distribution map of Qinghai Province

银矿: 三叠纪居首, 其次为奥陶纪、二叠纪和古近纪; 钾盐、锂矿、镁盐、硼矿等盐湖矿产产出时代主要为第四纪; 锂、铍、铌、钽等稀有金属矿产: 三叠纪居首, 其次为奥陶纪、志留纪; 锇矿: 新近纪居首, 第四纪次之; 石棉: 奥陶纪居首, 其次为寒武纪; 石灰岩: 石炭纪、三叠纪居首, 其次为奥陶纪; 大理岩: 成矿时代主要集中在前南华纪, 其次为奥陶纪和三叠纪; 石英岩: 全部在前南华纪。

### 3.2 矿产的空间分布

青海地跨秦祁昆成矿域及特提斯成矿域两大成矿域, 共涉及 5 个成矿省、16 个成矿带。矿产地按成矿省及三级成矿带进行统计, 青海省矿产空间上分布极不均匀, 以东昆仑成矿带(III-26)三级成矿带分布的矿产地最多, 矿产地数 635 处, 占全省矿产地总数的 24.55%(图 4), 其次是中祁连成矿带(III-22), 矿产地 352 处, 占比 13.61%; 柴北缘成矿带(III-24)矿产地数 304 处, 占比 11.75%。

矿床(点)总体分布自北至南呈现由多到少变化之特点。但青南地区因自然地理环境及地勘投入不多使矿产勘查程度普遍较低, 说明其找矿空间较大。

青海省各三级成矿带中, 矿床数量排序与矿产地排序基本一致。从矿床数量看, 东昆仑成矿带矿床数量 199 处, 占 25.13%, 位居前列, 中祁连成矿带矿床数量 140 处, 占 17.68%, 柴北缘成矿带矿床数 92 处, 占 11.62%, 北祁连成矿带矿床数 79 处, 占 9.97%, 柴达木盆地成矿带矿床数 72 处, 占

9.09%, 且超大型矿床基本分布于上述成矿带中。矿种多、类型齐全, 是青海省最为重要的成矿区域, 也是今后开展矿产勘查及研究的重要地区。矿产地分布少的地区, 矿产勘查工作一般较低, 从成矿预测成果看, 其找矿前景较好。

从矿床的埋深看, 省内最大勘探深度很少超过 1 000 m(煤、石油、天然气除外), 一般勘探深度 500 m 以浅, 深部找矿潜力较大。

### 3.3 矿床类型

青海省地质构造复杂, 成矿地质作用多样。对照《中国矿产地质志省级矿产地质志研编技术要求》矿床类型划分方案, 青海省 5 大成矿作用 17 种成矿类型均有分布。统计结果表明(表 1), 青海省内生矿产占据主导地位, 约占 70%; 在三级分类中, 浅成中-低温热液型及成因不明矿床居首位, 其次为岩浆热液型矿床、接触交代型矿床、化学沉积型矿床。

### 3.4 矿床成矿系列

矿床成矿系列具体反映特定成矿带矿床成矿期、成矿地质环境、成矿作用及矿床类型组合的特征和规律, 其可以研究不同地质历史阶段和特定构造环境下的成矿作用和矿床组合, 该理论的“全位成矿、缺位找矿”思维方法对后期的区域成矿预测及靶区优选具有重要指导意义(陈毓川等, 2006, 2016, 2020)。根据前人对青海矿床成矿系列探讨, 并结合不同学者对青海省单矿种(组)成矿系列研究成果(潘彤等, 2018, 2019, 2024; 潘彤, 2019; 王进寿等, 2023), 依照成矿系列理论, 进一步精细厘定了

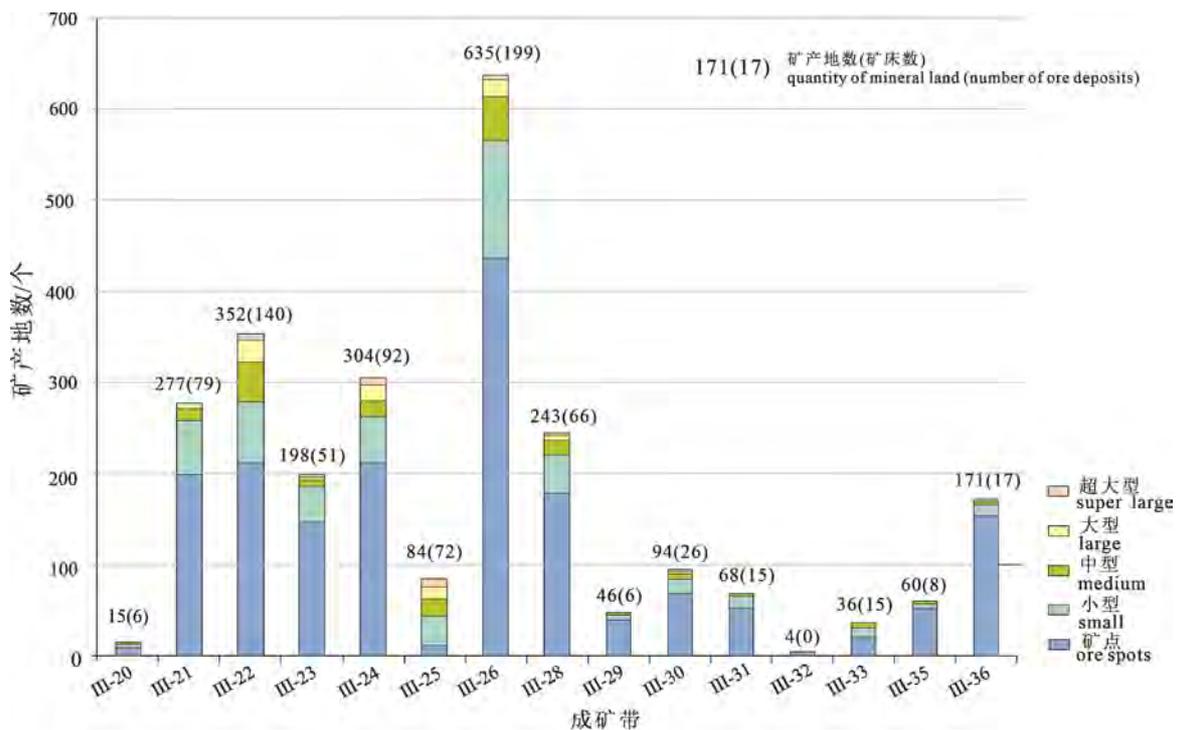


图 4 青海省矿产地成矿带分布图

Fig. 4 Distribution of metallogenic belts in Qinghai Province

青海省矿床成矿系列,共厘定出16个成矿系列组、48个成矿系列、114个成矿亚系列和155个矿床式(表2)。其中秦祁昆成矿域划分出10个矿床成矿系

列组、32个矿床成矿系列、77个亚系列、129个矿床式;特提斯成矿域划分出6个矿床成矿系列组、16个矿床成矿系列、37个亚系列、26个矿床式。

表1 青海省主要矿床类型简表  
Table 1 Major mineral deposits in Qinghai Province

一级	二级分类	三级分类	主要矿种	代表性矿床	矿产地/处	矿床/处					
岩浆作用 矿床	1. 岩浆型矿床		镍、铬、铜、钴、铁、磷	夏日哈木镍矿床、拉水峡铜镍钴矿床、玉石沟铬铁矿床、达尔乌拉铁矿床、上庄磷矿床、寺脑饰面花岗石材矿床、共和干热岩	103	22					
				2. 伟晶岩型矿床			锂、铍、铌、钽	茶卡北山锂铍矿、沙柳泉铌钽矿床、大三岔长石石英白云母矿床、草陇锂铍钽矿点	63	5	
				3. 云英岩型矿床			钨	巴拉大才曲钨矿点	2		
	内生 矿床	4. 接触交代型(矽卡岩型)矿床		铁、铜、铅、锌、钼、钨、金、水晶、硅灰石、玉石	尕林格铁矿床、肯德可克铁铅锌矿床、卡而却卡铜锌铁矿床、拉陵灶火中游铜钼矿床、什多龙铅锌银矿床、江里沟钨钼矿床、海寺硅灰石铅锌矿床、吴曼通洞水晶矿床、三岔口透闪石质玉矿床	287	105				
					5. 斑岩型矿床			铜、钼、钨	纳日贡玛铜钼矿床、哈龙体玛钨钼矿床、沙柳河南钼矿床、乌兰乌珠尔铜矿床	19	8
					6. 岩浆热液型矿床			金、银、铅、锌、萤石	滩间山金矿床、五龙沟金矿床、那更康切尔沟银矿床、哈日扎铅锌矿床、大格勒沟萤石矿床	371	83
					7. 陆相火山岩型矿床			铅、锌、银、铜、锡	老藏沟铅锌锡矿床、索拉沟铜铅锌银矿床、那日尼亚铅矿床、格尔银矿床	34	10
变质作用 矿床	9. 受变质型矿床		铁、锰、磷、石英岩	锡铁山铅锌矿床、小沙龙铁矿床、哈莉哈德山锰矿床、尕大坂铅锌铜矿床、红沟铜矿床、松树南沟金矿床、驼路沟钴矿床、抗得弄舍金铅锌矿床、日龙沟锡铅锌铜矿床、铜峪沟铜矿床、德尔尼铜钴矿床、多彩铜铅锌矿床、赵卡隆铁银铅矿床、水泉湾玄武岩矿床	112	37					
				10. 变成型矿床			石榴子石、红柱石、钛、石墨	丁叉义山南坡钛石榴子石矿床、夹道沟红柱石矿床、巴勒木特石石墨矿床、纳赤台饰面用大理岩矿床	97	30	
				11. 浅成-中-低温热液型及成因不明作用矿床			金、铍、银、铅、锌、汞、自然硫、石棉	大场金矿田、东大滩铍金矿床、石藏寺铍金矿床、然者涌银铅锌矿床、莫海拉亨—叶龙达铅锌矿床、东莫扎扎铅锌矿床、多才玛铅锌矿床、苦海汞矿床、硫磺山自然硫矿床、茫崖石棉滑石蛇纹岩矿床、草大坂滑石菱镁矿床、塔塔梭河水源地	547	202	
外生 矿床	表生作用 矿床	12. 风化型矿床	铁、镍、彩石	元石山铁镍矿床、断层山绿松石矿床、丹麻彩石矿点、下柳沟膨润土矿点、抓什科高岭土矿点、七里寺麦饭石矿点	26	3					
				13. 砂矿型矿床			砂金	扎朵砂金矿床、多卡砂金矿床、大场砂金矿床、柯尔咱程砂金矿床、天朋河砂金矿床、高庙砂金矿床	109	32	
	沉积作用 矿床	14. 机械沉积型矿床		铜、金、黏土	二道沟铜矿床、沈家寨砖瓦黏土矿床、扎西尕日铜银矿点、尕日力根金矿点、阿力克粘土矿床、滴水滩粘土矿床、拉拉口南山泥岩矿床	94	20				
					15. 化学沉积型矿床			铁、锰、钒、石灰岩	阿力克铁矿床、三通沟北锰矿点、大干沟口钒钼矿床、门旦峡大怀口白云岩矿床、昆特依深层卤水钾矿床、南翼山矿区深层卤水锂硼钾矿床	242	40
					16. 蒸发沉积型矿床			锂、锶、钾、硼、芒硝、盐、石膏	东台吉乃尔湖锂矿床、一里坪锂矿床、大风山锶矿床、大浪滩钾矿田、察尔汗钾镁盐矿床、大柴旦湖硼矿床、察汗斯拉图芒硝矿床、宗家—巴隆天然碱矿床、柯柯盐矿床、北山寺—洋子山石膏钙芒硝矿床	150	50
17. 生物化学沉积型矿床	煤、石油、天然气	默勒煤矿、江仓煤矿区、大通煤矿元术尔井田、尕斯库勒油田、昆北油田、东坪油气田	193	82							
合计					2 587	792					

表 2 青海省矿床成矿系列汇总表  
Table 2 Summary of metallogenic series of Qinghai deposits

成矿时段	成矿作用	系列	亚系列	秦祁昆成矿域			特提斯成矿域		矿床式
				II-5	II-6	II-7	II-8	II-9	
E-Q	F	5	12	E-Q12F	E-Q25F	E-Q32F	E-Q39F	E-Q48F	9
	H	2		E-Q11H	E-Q24H				3
	S	5	18	E-Q10S	E-Q23S	E-Q31S	E-Q38S	E-Q47S	21
	I	1	4					E-Q46I	4
J-K	F	1						J-K45F	2
	S	4	9	J-K9S	J-K22S		J-K37S	J-K44S	9
	I	3	5			J-K30I	J-K36I	J-K43I	1
C-T	F	5	6	C-T8F	C-T21F	C-T29F	C-T35F	C-T42F	5
	M	1				C-T28M			1
	S	5	8	C-T7S	C-T20S	C-T27S	C-T34S	C-T41S	9
	I	4	23		C-T19I	C-T26I	C-T33I	C-T40I	39
Nh-D	F	2	4	Nh-D6F	Nh-D18F				3
	M	2	4	Nh-D5M	Nh-D17M				5
	S	2	2	Nh-D4S	Nh-D16S				4
	I	2	15	Nh-D3I	Nh-D15I				29
AnNh	M	2	4	AnNh2M	AnNh14M				9
	S	2		AnNh1S	AnNh13S				2
合计		48	114	12	13	7	7	9	155
成矿系列组				4	4	2	3	3	16

注: I—与岩浆作用有关的成矿系列组合; S—与沉积作用有关的成矿系列组合; M—与变质作用有关的成矿系列组合; F—成因不明的成矿系列组合; H—与表生作用有关的成矿系列组合; E-Q—古近纪—第四纪; J-K—侏罗纪—白垩纪; C-T—石炭纪—三叠纪; Nh-D—南华纪—泥盆纪; AnNh—前南华纪; AnNh1S 等表示成矿系列代号, Nh-D3I 等加阴影表示重要成矿系列及代号。

## 4 新一轮找矿建议

### 4.1 研编提出远景区、靶区

研编过程中通过成矿系列不断学习总结,并结合其他地勘找矿成果等,提出了以下成果认识:

(1)研编中结合成矿地质背景,提出了砾岩型金矿、隐爆角砾岩型铅锌矿等新矿床类型在柴北缘成矿带具有较好的找矿前景。通过对柴达木盆地黏土型锂矿进一步研究发现,柴达木盆地晚更新世到全新世是该类型重要的成矿时段。

(2)提出了柴达木盆地北缘是青海省重要稀有金属成矿带(潘彤等, 2020)。通过矿产调查评价发现茶卡北山、锲墨格山、俄当岗、生格、阿姆内格等一批稀有金属矿产地,其中茶卡北山地区圈定花岗伟晶岩一千多条,圈出含矿蚀变带三条,锂、铍资源量规模不断扩大,其中铍矿已达大型规模(王进寿等, 2022, 2023)。圈出 A 类找矿靶区 12 处,其中红岭北锂铍找矿靶区、高特拉蒙铍找矿靶区、巴音山铍铌找矿靶区、胜利口北铍铌找矿靶区和俄博梁铍矿找矿靶区找矿前景较好,可供进一步勘查工作。

(3)研编针对柴达木盆地盐类矿产提出背斜构造区(212 个)是盐湖卤水型锂矿找矿重要靶区。应加强背斜构造区锂矿成矿机理研究及靶区的验证(潘彤等, 2022),成矿预测锂盐成矿远景区 65 个,通过

个别靶区钻探验证达到大型规模。

(4)研编过程中认识到青海矿产资源具有较大的找矿潜力。按已查明率由小到大排序,前六位依次是钨矿、稀土矿、锰矿、重晶石、菱镁矿、铬矿,后六位依次是碘、芒硝、溴、锶矿、盐矿、钾矿,说明钨矿、稀土矿、锰矿、重晶石、菱镁矿、铬矿等资源潜力巨大;而碘、芒硝、溴、锶矿、盐矿、钾矿等集中分布于柴达木盆地的盐类矿产资源潜力较小(表 3)。

### 4.2 青海重要成矿带或矿集区的找矿建议

依据全省矿产资源分布特征、工作程度、地质背景、找矿前景及研编成果,结合最新潜力评价成果,柴达木盆地及周缘地区为找矿突破行动的“主战场”,青海省找矿战略行动应从以下 3 方面开展工作:

一是聚焦盐湖资源保障。加快柴达木盆地西部地区深层卤水勘查进程,以马海深层卤水钾矿、大门口地区深层卤水钾矿、黑北凹地北部深层卤水钾矿和雅沙图地区硼矿等重点勘查区为依托,针对深层砂砾孔隙型卤水和背斜构造裂隙-孔隙型卤水,优选成矿条件有利、找矿前景好、勘查程度较低的黑北凹地、马海、大门口等地区加大勘查力度,提高勘查程度,同时加强水动力条件、卤水补给机制等调查研究,开展群孔抽卤试验,评价深层卤水

表3 青海省潜在矿产资源总表  
Table 3 Summary of potential mineral resources in Qinghai Province

矿种	预测工作区/个	预测区/个	查明资源量	预测量	单位	现查明率/%	查明率排序	备注
煤炭		114	80.91	200.75	$\times 10^8$ t	28.73	15	更新预测
铁矿	8	170	75 450.37	141 531.54	$\times 10^4$ t	34.77	19	更新预测
锰矿	3	21	235.50	3 841.67	$\times 10^4$ t	5.78	3	更新预测
铬矿	2	34	48.30	232.22	$\times 10^4$ t	17.22	6	更新预测
铜矿	20	252	313.53	939.75	$\times 10^4$ t	25.02	11	更新预测
铅矿	15	165	1 059.26	2 312.43	$\times 10^4$ t	31.42	17	更新预测
锌矿	14	162	889.00	3 243.01	$\times 10^4$ t	21.51	10	更新预测
镍矿	6	42	138.11	283.89	$\times 10^4$ t	32.73	18	更新预测
钴矿	6	64	8.48	13.99	$\times 10^4$ t	37.74	20	新增
钨矿	7	119	2.66	89.27	$\times 10^4$ t	2.89	1	更新预测
锡矿	4	38	6.15	15.41	$\times 10^4$ t	28.53	13	更新预测
钼矿	4	57	31.27	123.38	$\times 10^4$ t	20.22	8	更新预测
铋矿	5	61	14.29	31.93	$\times 10^4$ t	30.92	16	更新预测
金矿	9	148	476.40	1 185.63	t	28.66	14	更新预测
银矿	14	169	8 854.93	32 916.53	t	21.20	9	更新预测
稀土矿	8	101	34.61	631.09	$\times 10^4$ t	5.20	2	更新预测
锂矿	5	65	1 871.92	1 728.70	$\times 10^4$ t	51.99	24	更新预测
钾盐	5	63	105 133.69	80 036.94	$\times 10^4$ t	56.78	25	更新预测
硼矿	5	55	4 247.38	4 268.09	$\times 10^4$ t	49.88	23	更新预测
镁盐	3	25	633 455.67	660 189.05	$\times 10^4$ t	48.97	22	新增
盐矿	5	59	3 496.61	2 649.54	$\times 10^8$ t	56.89	26	新增
芒硝	3	14	953 023.28	461 799.84	$\times 10^4$ t	67.36	29	新增
碘	2	3	12 009.78	2 711.26	t	81.58	30	新增
溴	3	4	22.72	13.28	$\times 10^4$ t	63.11	28	新增
锶矿	1	7	2 682.63	1 851.84	$\times 10^4$ t	59.16	27	新增
石墨	7	37	1 728.58	2 056.41	$\times 10^4$ t	45.67	21	新增
萤石	3	18	241.79	1 055.91	$\times 10^4$ t	18.63	7	更新预测
重晶石	3	20	488.99	5 511.99	$\times 10^4$ t	8.15	4	更新预测
磷矿	3	17	73 729.23	185 782.48	$\times 10^4$ t	28.41	12	更新预测
菱镁矿	2	12	186.90	1 848.42	$\times 10^4$ t	9.18	5	更新预测

注: 资源查明率=查明资源量/(查明资源量+预测量) $\times 100\%$ , 资源查明率越低说明资源潜力越大。

资源的可利用性、可供性, 估算可利用资源量(潘彤等, 2024)。

二是实现战略性矿产突破。在柴达木盆地周缘的柴达木盆地北缘、东昆仑成矿带, 以茶卡北山地区锂铍铌钽、滩间山地区金矿、五龙沟金矿、夏日哈木镍钴矿重点勘查区为依托, 加强地、物、化、遥及矿产勘查等资料信息的综合研究, 总结成矿特

征和规律, 提升区内勘查工作程度, 实现增储升级, 取得新的突破。

三是推进新能源矿产新进展。以共和干热岩、都兰县八宝山为依托, 加大重点勘查区勘查力度, 增加资源储量, 保持资源优势, 实现稳定优势、提高控制程度。以上工作应落脚到 11 个重点调查区(表 4, 图 5)。

### 4.3 影响找矿取得突破的关键科学问题

(1)近年深层含钾卤水成果显著, 但对其评价的工业指标仍然沿用第四纪相关标准, 目前, 个别调查区开展大规模抽(放)水试验、盐田蒸发试验、选

矿试验取得成功, 应及时修订标准, 为进一步勘查和及早开发利用提供技术支撑。

(2)战略性矿产控矿因素、成矿作用及找矿预测有待深入, 如青海东昆仑成矿带钴矿的找矿。

表 4 重点调查、勘查区划分一览表  
Table 4 The division of key investigation and exploration areas

目标	编号	名称	主攻矿种
聚焦盐湖 资源保障	DC1	青海省柴达木中西部钾盐重点调查区	钾盐
	KC1	青海省察尔汗钾盐重点勘查区	钾盐
	KC2	青海省柴达木大门口地区深层卤水钾矿重点勘查区	钾盐
	KC3	青海省茫崖市黑北凹地北部深层卤水钾矿重点勘查区	钾盐
	KC4	青海省茫崖市马海深层卤水钾矿重点勘查区	钾盐
战略性 矿产突破	DC2	青海省柴北缘乌兰一带锂铍铌钽矿重点调查区	锂铍
	DC3	青海省红岭北—石乃亥一带锂铍矿重点调查区	锂铍
	DC4	青海省大格勒一带稀有稀土矿重点调查区	稀有稀土
	DC5	青海省夏日哈木镍铜钴矿及外围重点调查区	镍铜钴
	KC5	青海省茶卡北山地区锂铍铌钽重点勘查区	锂铍
	KC6	青海省茫崖市交通社西北山地区铌钽矿重点勘查区	铌
	KC7	青海省乌兰县阿斯和塔地区铍钽稀有金属矿重点勘查区	铌
	KC8	青海省大柴旦行委滩间山地区金矿重点勘查区	金
	KC9	青海省都兰县五龙沟金矿重点勘查区	金
	KC17	青海省都兰县金水口地区锂稀有金属矿重点勘查区	锂
新能源 矿产探索	DC10	青海省柴达木盆地东缘页岩气重点调查区	页岩气
	KC25	青海省共和—贵德盆地地下热水-干热岩重点勘查区	地下热水、干热岩
	KC26	青海省西宁—民和盆地地下热水重点勘查区	地下热水
	KC27	青海省玉树地区地下热水重点勘查区	地下热水

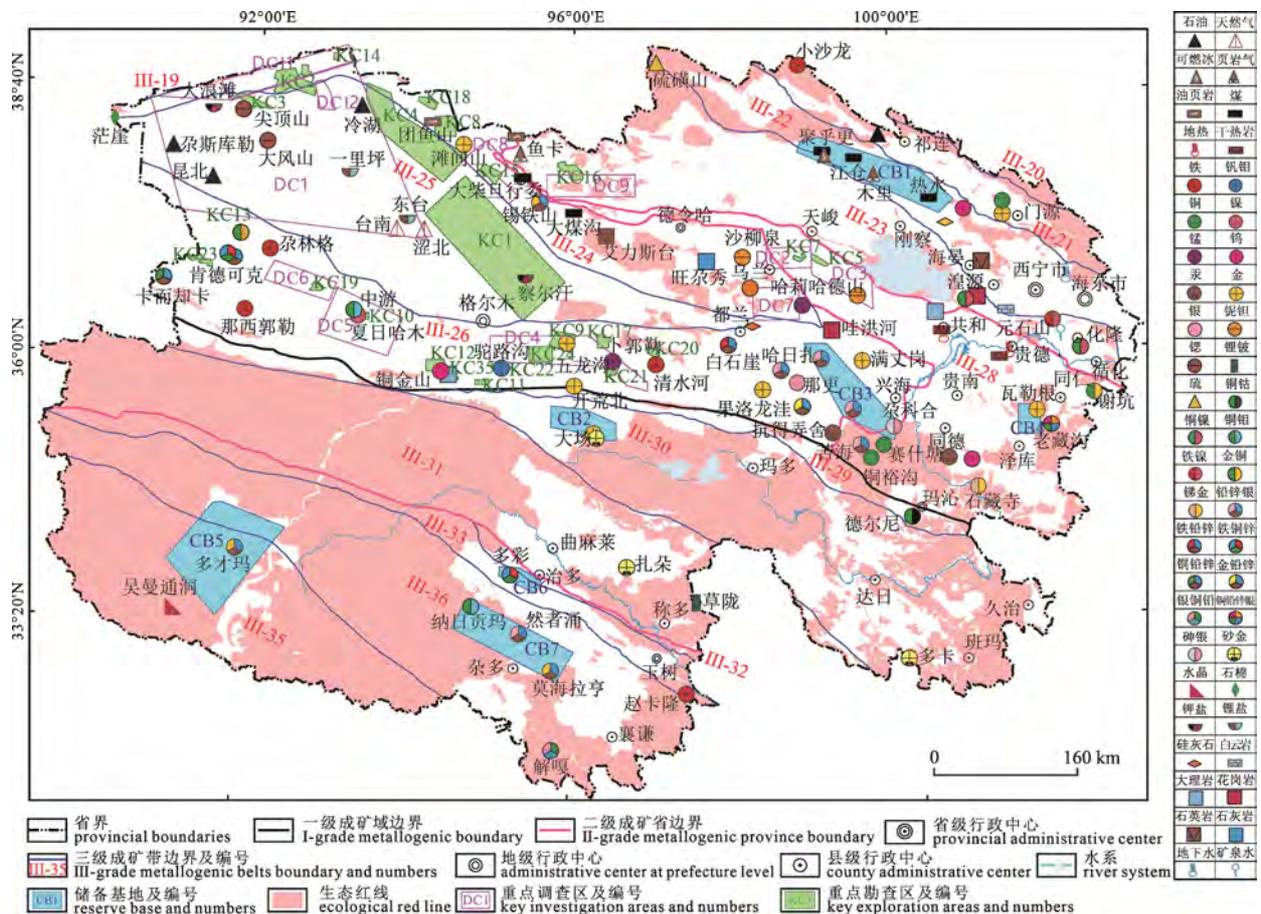


图 5 青海省新一轮找矿突破战略行动规划图

Fig. 5 Strategic action plan of the new round of prospecting breakthroughs in Qinghai Province

## 5 结语

(1)通过对青海省矿产志全面研编,认为青海省成矿条件优越,找矿潜力巨大。系统梳理核实了青海目前的矿产资源现状,即已发现矿种 137 种,矿产地 2 587 处。共厘定矿床成矿系列 48 个,亚系列 114 个,建立了相关矿种的成矿模式和找矿模型,研判了青海省矿产资源潜力和找矿前景,为实施国家能源资源安全战略提供基础支撑。

(2)积极开展了研编成果应用服务。在已知矿床(点)除指导找矿资源规模不断扩大的成果上,又有新类型、新矿种的发现外;新发现了柴达木盆地北缘稀有找矿带;柴达木盆地盐湖既有理论创新,又有资源量的大幅提升。形成一批战略性矿产勘查基地。

(3)为国家资源能源安全贡献青海力量。新一轮找矿突破战略行动中,青海省找矿应聚焦柴达木盆地盐湖资源保供;实现东昆仑、柴达木北缘钴、镍锂铍等矿找矿突破;以期盆地干热岩、页岩气新进展。

**致谢:** 本文是“中国矿产地志·青海卷”研编项目成果之一,在此衷心感谢中国矿产地志项目办公室、中国地质科学院及陈毓川院士、王登红研究员、黄凡研究员和所有参加“中国矿产地志·青海卷”研编的地勘单位、科研院所领导和技术人员的大力支持。同时,衷心感谢专家在审稿过程中对本文提出的宝贵修改意见。本书凝聚了参加研编全体人员的心血和才智,是几代地质人,特别是建国以来从五湖四海来青海参加建设的四万多名地质队员的集体劳动结晶。

## Acknowledgments:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20221695, DD20190379, and DD20160346), the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition Program (No. 2019QZKK0806), and National Natural Science Foundation of China (No. 9206220026).

## 参考文献:

陈毓川,裴荣富,王登红,2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.

陈毓川,裴荣富,王登红,等,2016. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 37(5): 519-527.

陈毓川,裴荣富,王登红,等,2020. 论地球系统四维成矿及矿床学研究趋向——七论矿床的成矿系列[J]. 矿床地质, 39(5): 745-753.

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

潘彤,2019. 青海矿床成矿系列探讨[J]. 地球科学与环境学报, 41(3): 297-315.

潘彤,贾建团,李东生,等,2024. 柴达木盆地盐类及地下水矿床成矿系列与找矿方向[J]. 地球科学与环境学报, 46(1): 96-113.

潘彤,李善平,任华,等,2020. 柴达木盆地北缘锂多金属矿成矿条件及找矿潜力[J]. 矿产勘查, 11(6): 1101-1116.

潘彤,李善平,王涛,等,2022. 青海锂矿成矿特征及找矿潜力[J]. 地质学报, 96(5): 1827-1854.

潘彤,王秉章,张爱奎,等,2019. 柴达木盆地南北缘成矿系列及找矿预测[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

潘彤,王福德,2018. 初论青海省金矿成矿系列[J]. 黄金科学技术, 26(4): 423-430.

潘彤,薛万文,王贵仁,等,2021. 青海矿产地质[M]. 北京: 地质出版社: 151-205.

潘彤,张爱奎,2023. 东昆仑成矿带钴矿成矿认识及下一步找矿思考[J]. 青海国土经略, (4): 49-51.

祁生胜,李五福,于文杰,等,2023. 中国区域地质志·青海志[R]. 西宁: 青海省地质调查院.

青海省自然资源厅,2020. 2019 年度青海省矿产资源年报[R]. 西宁: 青海省自然资源厅.

王进寿,潘彤,李鹏,等,2022. 青海省柴北缘成矿带矿床成矿系列[J]. 地球科学与环境学报, 44(3): 391-412.

王进寿,潘彤,薛万文,等,2023. 青海“三稀”矿床成矿系列、成矿规律与找矿方向[J]. 地球学报, 44(4): 723-745.

徐志刚,陈毓川,王登红,等,2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社.

薛万文,蒋成伍,王雷,等,2023. 青海省潜在矿产资源评价报告 2023[R]. 西宁: 青海省自然资源厅.

杨生德,潘彤,2013. 青海省矿产资源潜力评价研究报告[R]. 西宁: 青海省地质矿产勘查开发局.

中国矿产地志项目办公室,中国地质科学院矿产资源研究所,2016. 中国矿产地志省级矿产地志研编技术要求[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所.

## References:

CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, 2006. On minerogenetic (metallo-genetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).

CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al., 2016. Minerogenetic series for mineral deposits: Discussion on minerogenetic series(V)[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(5): 519-527(in Chinese with English abstract).

CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al., 2020. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion on minerogenetic se-

- ries(VII)[J]. *Mineral Deposits*, 39(5): 745-753(in Chinese with English abstract).
- China Mineral Geology Project Office, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 2016. Technical requirements for the compilation of provincial geological records of mineral geology of China[R]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- Department of Natural Resources of Qinghai Province, 2020. Annual Report of Qinghai Mineral Resources in 2019[R]. Xining: Qinghai Provincial Geological Survey Institute(in Chinese).
- PAN Tong, JIA Jiantuan, LI Dongsheng, et al., 2024. Mineralization Series and Prospecting Direction of Salt and Groundwater Mineral Deposits in Qaidam Basin, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 46(1): 96-113(in Chinese with English abstract).
- PAN Tong, LI Shanping, REN Hua, et al., 2020. Metallogenic conditions and prospecting potential of Lithium polymetallic deposits in North Qaidam Basin[J]. *Mineral Exploration*, 11(6): 1101-1116(in Chinese with English abstract).
- PAN Tong, LI Shanping, WANG Tao, et al., 2022. Metallogenic characteristics and prospecting potential of lithium deposits in the Qinghai Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 96(5): 1827-1854(in Chinese with English abstract).
- PAN Tong, WANG Bingzhang, ZHANG Aikui, et al., 2019. Metallogenic series and prospecting prediction in North and south margin of Qaidam Basin[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- PAN Tong, WANG Fude, 2018. Preliminary Discussion on Minerogenic Series of Gold Deposits in Qinghai Province[J]. *Gold Science and Technology*, 26(4): 423-430.
- PAN Tong, XUE Wanwen, WANG Guiren, et al., 2021. Geology mineral resources of Qinghai province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 151-205(in Chinese).
- PAN Tong, ZHANG Aikui, 2023. Understanding of cobalt mineralization in East Kunlun metallogenic belt of Qinghai Province and thinking of further prospecting[J]. *Management & Strategy of Qinghai Land & Resources*, (4): 49-51(in Chinese).
- PAN Tong, 2017. Classification of metallogenic units in Qinghai, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 39(1): 16-33(in Chinese with English abstract).
- PAN Tong, 2019. Discussion on the minerogenic series of deposits in Qinghai, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 41(3): 297-315(in Chinese with English abstract).
- QI Shengsheng, LI Wufu, YU Wenjie, et al., 2023. Regional Geology of China-Qinghai Annals[R]. Xining: Qinghai Provincial Geological Survey Institute(in Chinese).
- WANG Jinshou, PAN Tong, LI Peng, et al., 2022. Metallogenic series of deposits in the northern Qaidam metallogenic belt of Qinghai Province, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 44(3): 391-412(in Chinese).
- WANG Jinshou, PAN Tong, XUE Wanwen, et al., 2023. Metallogenic series, metallogenic regularity, and prospecting direction of rare earth, rare metal, and rare-scattered minerals in Qinghai province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 44(4): 723-745(in Chinese with English abstract).
- XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al., 2008. The Division Scheme of Mineralization Zones in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XUE Wangwen, JIANG Chengwu, WANG Lei, et al., 2023. Evaluation Report of Potential Mineral Resources of Qinghai Province[R]. Xining: Department of Natural Resources of Qinghai Province(in Chinese).
- YANG Shengde, PAN Tong, 2013. Report on metallogenic settings in mineral resources potentiality assesment in Qinghai Province[R]. Xining: Bureau of Geological Exploration and Development of Qinghai Province(in Chinese).