

[文章编号] 1005-9539(2001)04-0344-06

喜马拉雅碰撞造山作用与(超)大型矿集区的形成: 科学问题与思考

顾雪祥^{1,2} 唐菊兴² 王成善² 陆彦² 王乾²

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002; 2. 成都理工大学)

[摘要] 青藏高原及邻区是中国唯一的一块具有世界规模级的成矿富集区, 迄今所发现的大型、超大型矿床/矿集区, 在时间抑或空间上均与喜马拉雅碰撞造山作用有着密切的联系, 反映了与喜马拉雅碰撞造山作用过程相伴随的青藏高原周边及内部岩石圈薄弱地带的壳幔置换过程、层圈交换作用、流体活动及其地球化学分馏过程, 是控制大型、超大型矿床/矿集区形成的主要因素。青藏高原成矿大陆动力学研究是阐明该区矿产资源分布规律和进一步发现大型、超大型矿床(矿集区)的科学基础。

[关键词] 喜马拉雅碰撞造山作用; 大型矿集区; 青藏高原

[分类号] P62 **[文献标识码]** A

1 国家需求与资源现状

矿产资源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。随着社会生产力的发展和社会生活的进步, 人类使用矿产资源的数量和种类在急剧增长。据统计, 近半个世纪以来全世界的矿产开采总量已超过人类历史上开采量的总和。在中国, 95%以上的能源、80%以上的工业原料和70%以上的农业生产资料来自于矿产资源^{[1],[2]}。

中国在过去的半个世纪中, 矿产地质勘查所提供的大量资源基本保证了国民经济建设的需要。但是, 面对21世纪国民经济发展的宏伟目标, 矿产资源保证程度将出现严重的缺口。从国外经验看, 一个国家在人均年收入800~3500美元的工业化阶段, 对矿产资源需求的增长率是最大的。21世纪初叶, 中国正进入工业化社会, 国家建设对矿产资源的需求量将进入高峰期。据预测, 从2000年到2010年的10年中, 中国所需的矿产资源量约等于建国50余年以来需求量的总和。然而, 在铬、铜、铅、锌、金、银、铁、铀、钾盐等支柱性固体矿产资源中, 现已查明的能基本保证到2010年经济建设所需的矿产只有铅、锌和铀, 而铬、铜、金、银、铁和钾盐等缺口较大; 2010

年后, 上述支柱性矿产资源均面临严重短缺的局面^{[3],[4]}。目前, 全国近2/3的主要有色金属和贵金属矿山的生产已到中晚期。更为严重的是, 到2010年以后, 由于历年积累的保有储量已大量消耗, 加上找矿难度更大, 多数矿产资源保有储量将大幅度减少, 尤其是上述几种支柱性大宗矿产资源将严重亏缺。如果没有大量新增储量的补缺, 很多原材料工业将“无米下锅”, 这必将严重阻碍国家经济和社会的持续发展。

2 青藏高原及邻区的固体矿产资源

地处特提斯—喜马拉雅构造域东段的青藏高原及其邻区, 是冈瓦纳大陆与欧亚大陆的接合部位和印度板块与欧亚板块碰撞对接的部位。晚古生代以来, 板块的多次离散敛合、拼贴碰撞, 使青藏高原地区成为全球最为重要的巨型复杂构造带和成矿带之一。频繁的地壳运动、剧烈的岩浆和变质作用, 尤其是喜马拉雅碰撞造山作用所产生的壳幔交换过程, 为青藏高原提供了优越的成矿地质环境, 形成了中国唯一的一块具有世界规模级的成矿富集区。本文所指的青藏高原及其邻区, 包括青藏高原主体以及相邻的扬子地台西缘、三江、西秦岭、祁连山、南天

[收稿日期] 2001-05-30

[基金项目] 国家自然科学基金(49872038)和“中科院百人计划”资助项目

[作者简介] 顾雪祥(1964—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 矿物、岩石、矿床学专业。(E-mail: gxx@cdut.edu.cn)

山、东天山等地区。

青藏高原迄今已发现矿种 100 余种,其中已探明工业储量的矿种有 60 多种。具重大优势的固体矿种有铬、铜、铅、锌、金、银、盐湖、石棉、放射性和稀有分散金属等,其中罗布莎铬铁矿、玉龙铜矿、金顶铅锌矿、老厂铅锌矿、老王寨金矿、呷村含金富银多金属矿、扎布耶特种盐湖的锂盐、芒崖的石棉、祁连的

湿纺石棉等,所探明的矿量在国内占有重要地位。据预测,仅西藏自治区矿产资源潜在价值就高达 6500 亿元以上,人均占有资源价值居全国首位^[5]。

中国支柱性固体矿产资源中的急缺矿种铬、有色金属(铜、铅、锌)、贵金属(金、银)及盐类等,恰恰是青藏高原地区具明显优势和特色的富有矿种(图 1)。

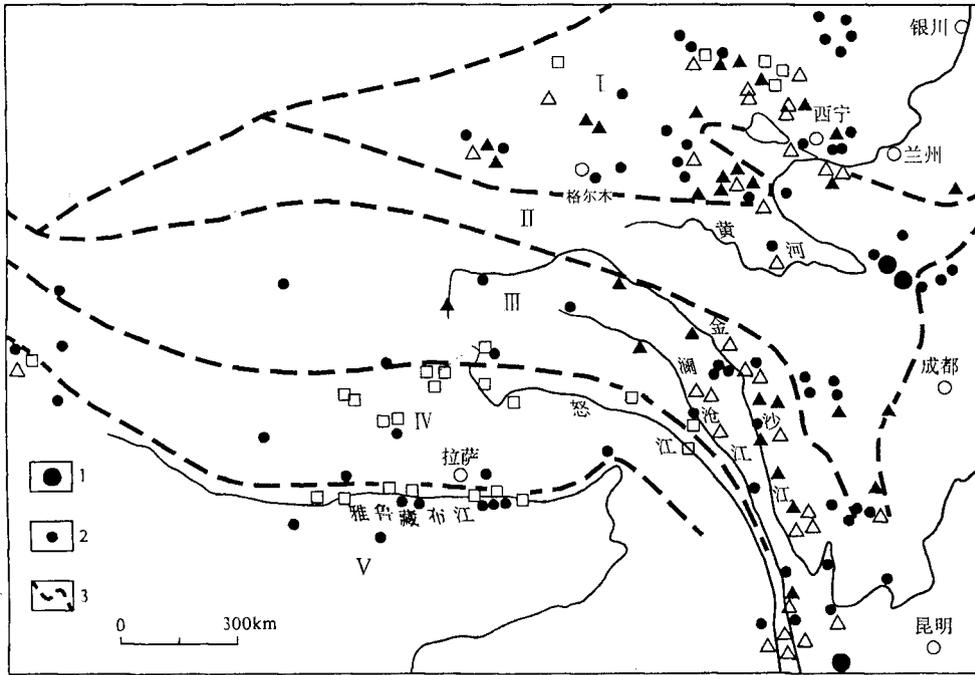


图 1 青藏高原地区主要矿产资源分布略图

Fig. 1 Sketch map showing the distribution of main mineral resources in the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions

- 1. 大型、超大型矿床; 2. 大—中型矿床; 3. 成矿区界线。 I. 祁昆成矿区; II. 可可西里—巴颜喀拉成矿区;
- III. 唐古拉—“三江”成矿区; IV. 冈底斯—念青唐古拉成矿区; V. 喜马拉雅成矿区。
- 金矿床; △ 铜矿床; ▲ 铅锌矿床; □ 铬铁矿床

藏南雅鲁藏布江岩带的罗布莎是中国储量最大、品位最高的铬铁矿矿床,探明储量超过 4×10^6 t。此外,在班公湖—怒江岩带和祁连山岩带均发现有一系列储量数十万至上百万吨的铬铁矿矿床,它们均围绕某一主要矿床(如罗布莎、东巧、大道尔吉等)呈“众星捧月”式的矿集区(带)出现。

青藏高原铜矿资源十分丰富,并以分布广、储量大、类型多而著称。目前已探明矿床 40 余个,探明储量约占中国铜矿总储量的 40%,仅“三江”地区即占 20% 以上。这些矿床集中分布于“三江”地区和祁连—秦岭一带,主要成矿类型为与酸性—中酸性侵入岩有关的斑岩型、矽卡岩型,与基性—超基性或超镁铁质侵入岩有关的 Cu-Ni 或 Cu-Co 硫化物型,以及与细碧角斑岩建造有关的海相火山岩型。尽管各铜矿类型的矿床成因和成矿模式不尽相同,但它们大

多是幔源含矿岩浆的产物。

铅锌,包括以铅锌为主的多金属矿,是青藏高原重要的优势矿种,已探明储量占全国总储量的 40% 以上,仅“三江”地区约占 25%。呷村、锡铁山、厂坝等超大型矿床居全国前列,在世界上也颇为著名。青藏高原的铅锌矿床最为重要的特征是 Pb, Zn 品位高,并常与 Fe, Cu, W, Sn 矿等构成复合矿床;同时伴(共)生有 Ag, Au, Cd, Ga, Co 等贵金属及稀散元素可供综合利用。矿床具多种成因类型,其中最突出的是海相火山岩型(呷村、锡铁山)、海底热水沉积型(厂坝)和渗滤热卤水充填-交代型(金顶)三种。它们集中分布于祁连—秦岭和“三江”两个矿集区内。

青藏高原的金矿资源也十分丰富。已发现的金矿床集中分布于祁连—秦岭、阿坝地块东缘、“三江”和哀牢山等地区,主要成矿类型为岩浆热液(混合)

型(老王寨、金厂)、细碎屑岩中的微细浸染型(东北寨、桥桥上、马脑壳)、碳酸盐岩中的地下水热液型(耳泽、偏岩子)和砂金型(漳腊、崩纳藏布)。

青藏高原盐湖众多、资源丰富。全区各类盐湖 352 个,总面积为 21 456 km²,约占本区湖泊总面积的 42%。干盐湖察尔汗面积达 5 800 km²,为现代世界上内陆干盐湖之冠。高原湖泊水化学类型齐全,成分复杂多样,除有巨量的石盐、芒硝、镁盐以及天然碱等普通盐湖外,还有以盛产钾盐和富 K, B, Li, Rb, Cs 等元素的特种盐湖。其中日喀则地区的扎布耶茶卡稀有元素盐湖,它的 Li, B, K, Rb, Cs 含量均居全国盐湖之首,潜在经济价值高达 2 000 亿元以上。

目前,矿业开发已成为青藏高原经济和社会发展的重点和支柱产业。仅西藏全区现有矿山企业 145 家,从业人员约 5 000 人,已有铬、硼、铜、铅、锌、金等 18 种矿产被开发利用,矿业产值约占全区工业产值的 1/3 左右^[5]。但是,由于基础地质研究和资源调查工作程度低,青藏高原地区至今仍是一个未开垦的“聚宝盆”,是中国 21 世纪战略资源的最重要后备基地。

3 喜马拉雅碰撞造山作用对(超)大型矿集区的制约

鉴于青藏高原及其邻区自然条件恶劣、交通不便、经济落后,因而作为该区支柱产业的矿业开发应瞄准急缺矿种的大型—超大型矿床和矿集区。目前,世界上 95% 以上的矿产品来自只占矿床总数 3% 的大型和超大型矿床(矿集区),足见大型—超大型矿

床/矿集区对于改变一个国家或地区资源面貌所具有的决定性作用。

超大型矿床和矿集区的形成具有特定的大陆动力学背景。地球上已知的世界规模级矿集区和大型、超大型矿床,均分布于壳幔置换和层圈交换作用剧烈的地区,如环太平洋成矿域和阿尔卑斯—喜马拉雅成矿域。近年来对五大洲各种不同地质环境下的矿床研究(如 Kutina, 1995, 1996)^{[6], [7]}表明,地壳中金属组分大规模富集与地幔根的构造不连续性(mantle-rooted structural discontinuities)有关,尤其是这种深部构造不连续性与板块边界、裂谷构造、造山带或板内深部其他构造线等交切部位。在造山运动期间,这些部位为深部岩浆、热和金属的上升提供了有利的通道,使地球物质处于开放系统,层圈(软流圈、岩石圈、大气圈及生物圈等)交换作用、流体活动和地球化学分馏等十分活跃,因而是形成大型—超大型矿床和矿集区所必须的物质—能量—介质—动力的最佳耦合场所。

青藏高原及其周边地区迄今所发现的大型、超大型矿床/矿集区,在时间抑或空间上均与喜马拉雅碰撞造山作用有着密切的联系。在时间上,一部分超大型矿床形成于第三纪以来喜马拉雅碰撞造山作用时期(如玉龙铜矿、金顶铅锌矿等)^{[8]~[13]},另一部分则形成于高原隆升前的古生代或中生代,但在喜马拉雅碰撞造山作用过程中受到强烈的活化、改造和变形,如老王寨金矿、老厂铅锌矿、呷村含金富银多金属矿以及川西北一带的微细浸染型金矿床等^{[12], [14], [15]}(图 2)。从空间分布特征来看,青藏高原已知的大型、超大型矿床/矿集区多位于其东缘的藏

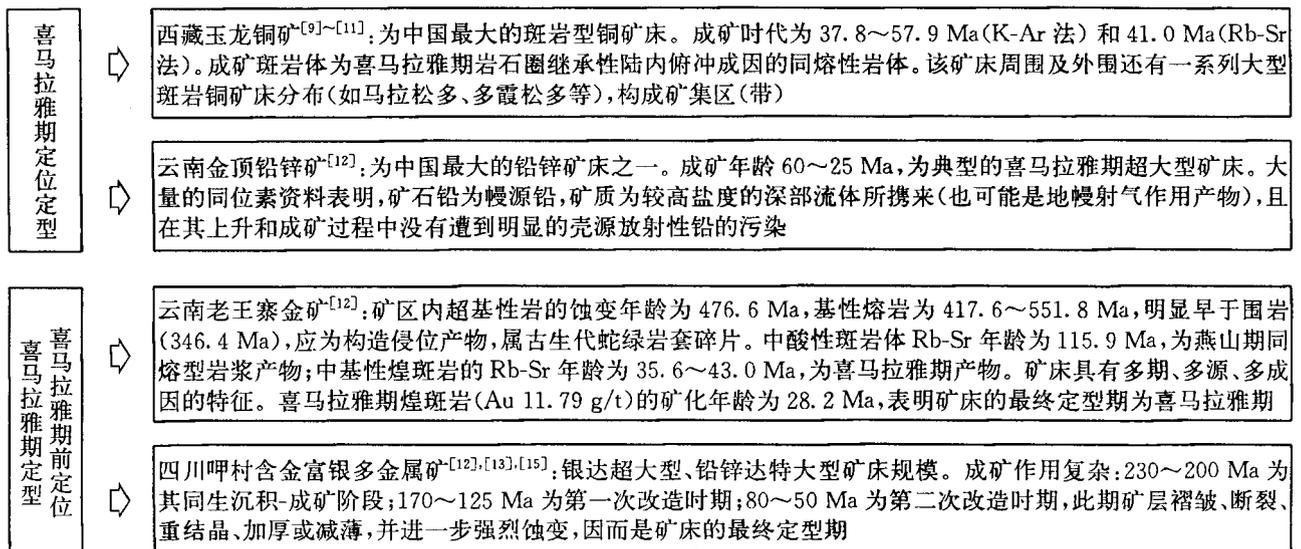


图 2 青藏高原及邻区超大型矿床的两种主要类型

Fig. 2 Two main types of ore deposits in the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions

东、川西和滇东地区以及高原内部巨型构造结合带(图 3)。深部地球物理资料显示,青藏高原周边地区恰好是上地幔上隆(upper mantle updoming)和岩石圈厚度急剧变薄的地带。这充分表明,与喜马拉雅碰撞造山作用过程相伴随的青藏高原周边及内部岩石圈薄弱地带的壳幔置换过程、层圈交换作用、流体活动及其地球化学分馏过程,是控制青藏高原大型、超大型矿床/矿集区形成的主要因素。换言之,青藏高原大陆动力学研究是阐明该区矿产资源分布规律和进一步发现大型、超大型矿床(矿集区)的科学基础。

4 科学问题与研究意义

当代成矿理论的发展,一方面正立足于全球性、统一性的整体观、系统观和时空的多尺度,在对地球体系的整体行为和各圈层相互作用过程及其演化规律研究的基础上,探索大型、超大型矿床的形成条件、地壳—区域—局部控制因素和时空分布规律;另一方面,国际矿床学界正从传统的定性静态描述转向以过程为目标的确定量化的动力学研究,并且正朝着建立不同尺度成矿系统与地球各圈层和深部动力学过程之间关系的目标发展。地幔物质的不均匀性和运动过程对超大型矿床的控制、壳幔深部结构

及其演化对矿集区的控制、各圈层的流体运移和聚集-构造变动-成矿作用的耦合关系、地壳深部成矿作用和矿化垂直分带、矿床的时空演化及成矿动力学等前沿问题,正成为当代国际地球科学家们所共同关注的焦点。

因此,开展喜马拉雅碰撞造山作用与(超)大型矿集区关系研究,其基本的科学思路是:以喜马拉雅碰撞造山过程中的大陆动力学为科学指导,以青藏高原周边地区和高原内部巨型构造结合带及其所控制的矿集区(带)为主要对象,通过研究地球各圈层之间物质和能量交换作用的过程和机理、壳幔演化的动力学机制、流体作用的行为和方式、以及成矿物质聚集的运动学和动力学过程等,阐明喜马拉雅碰撞造山运动及其壳幔动力过程对大型、超大型矿床/矿集区的控制规律,从而为国家急缺矿种的大型、超大型矿床/矿集区的战略预测提供科学依据。应研究的主要科学问题包括如下三方面。

4.1 喜马拉雅碰撞造山运动控制下的深部过程与成矿作用

地球内部的动力学特征或活动性是通过“内动力”作用,即构造作用、岩浆作用、变质作用和成矿作用等反映到地表;因此,超大型矿床或矿集区的形成

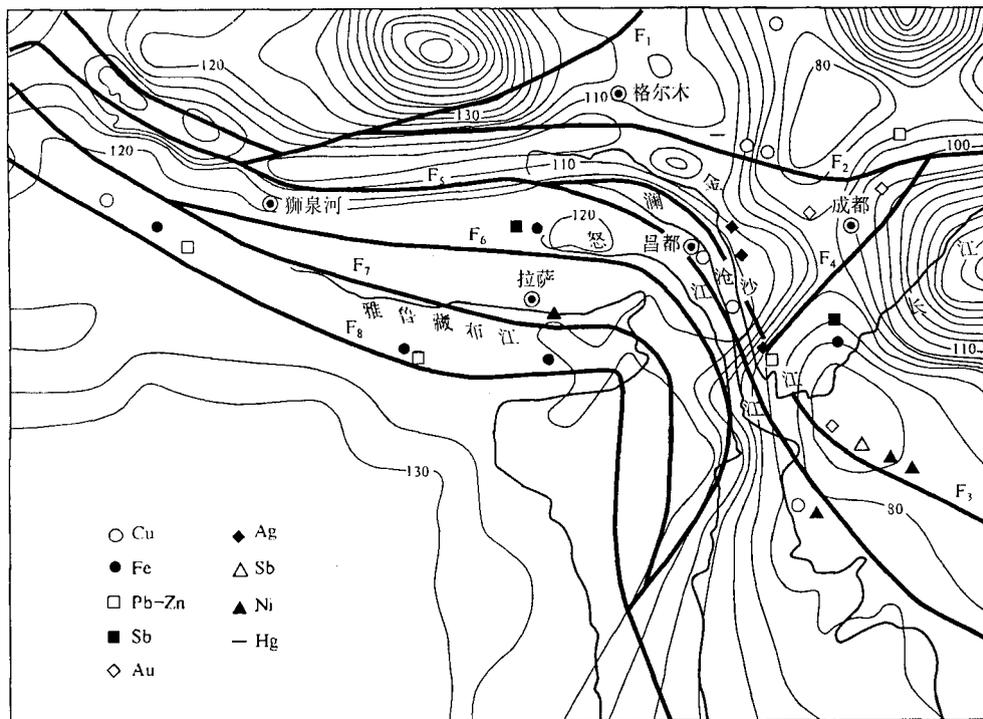


图 3 青藏高原岩石圈厚度与主要大型、超大型矿床的分布

Fig. 3 Lithosphere thickness of the Qinghai-Tibet plateau and distribution of main large and super-large mineral deposits

F₁. 阿尔金断裂; F₂. 昆仑—秦岭断裂; F₃. 金沙江—红河断裂; F₄. 龙门山—锦屏山断裂; F₅. 什咯拉—澜沧江断裂; F₆. 班公—怒江断裂; F₇. 雅鲁藏布江断裂; F₈. 主边断裂

有着特定的大陆动力学背景。解决超大型矿床形成的大陆动力学背景的关键,在于研究地球深部的物质组成、结构、属性、深部作用过程及其与成矿作用的耦合关系。主要研究内容包括:地幔对流与上地幔上隆的成因和方式及其对矿源物质的驱动;下地壳、上地幔化学组成的时空不均一性与矿集区地球化学组成的继承性和互补性(化学元素和同位素储库的类型和几何学分区,元素亏损和富集的时空制约,有用组分的不均匀性与岩浆源区的部分熔融、分异和混合作用等);深部物质的组成、相变、分层结构、运动方式与碰撞造山作用、火山活动以及成矿作用等表层地质作用之间的关系;高温高压条件下的壳-幔边界物质的状态方程、矿物-流体的相平衡和相间反应动力学、物质分配系数和矿物之间及流体之间的物质扩散系数等。

4.2 喜马拉雅碰撞造山过程中的流体作用动力学-地球化学循环与成矿作用

流体作为各种地质过程中最为活跃的因素,不仅直接影响和控制着地壳乃至地幔的构造、成岩、变质和成矿等重大地质作用,而且还充当着金属矿床和油气形成以及地球环境变化的最重要媒介和作用剂^{[16]~[19]}。由于流体作用,使地球内部成为一个开放系统,各圈层(地幔、地壳、大气圈、水圈和生物圈等)之间物质和能量的交换与传输以及地球化学循环异常活跃,从而促进了成矿物质的溶解、迁移和富集成矿。研究喜马拉雅碰撞造山运动过程中的流体作用与青藏高原及邻区大型-超大型矿床形成的关系,重点在于研究地球内部流体的起源、性状、运动学和动力学机制及其对金属成矿作用的控制。主要包括:不同来源流体(地幔流体、变质流体、盆地流体、构造流体、地表流体等)的甄别标志、混合的时-空耦合关系及其对成矿作用的贡献和影响;流体的地球化学性状和 PTCT(压力-温度-成分-时间)演化轨迹;流体的压力系统、输导系统及其运动学特征;流体输送的动力学机制以及输送过程中对围岩介质的作用机理、作用轨迹和指示特征;流体溶解、搬运、沉淀金属的方式、过程及机理;大规模流体运移与大型、超大型矿床的成生联系;地幔超临界流体对岩浆产生、壳幔物质再分配和地球化学循环的制约;超压热流体系统的形成进程、排泄机理及与金属成矿作用的关系;构造流体的成矿作用等等。

4.3 喜马拉雅碰撞造山过程控制下的超大型矿床成矿机制、分布规律和战略预测

从对青藏高原内部、周边及邻区若干具代表性的超大型矿床/矿集区的解剖入手,通过宏观与微观

相结合、平面与剖面相结合、时间与空间相结合、定性与定量相结合、浅部与深部相结合等多方面的综合对比研究,探索超大型矿床形成的初始条件、临界条件和边界条件、趋势性和随机性因素以及它们各自的影响强度;剖析形成超大型矿床和矿集区的时间、空间、成矿物质(成矿元素在壳-幔中的时空分布特征)、成矿条件(造成成矿物质富集或分散的不同尺度的地质事件)四大要素的耦合关系;查明超大型矿床形成的最佳构造-岩石-事件组合和物理化学参数;揭示超大型矿床形成的壳-幔规模的深层次控制因素,进而为青藏高原及邻区超大型矿床和矿集区的战略预测提供科学依据。

总之,开展喜马拉雅碰撞造山作用与(超)大型矿集区成生联系的研究,对于从地球科学的整体行为和各圈层的相互作用及其演化规律的基础上,认识(超)大型矿床/矿集区的大陆动力学背景、地幔-地壳-区域-局部控制因素和时空分布规律,实现矿床学研究从定性的静态描述向定量的动力学研究的转变,建立和开拓以过程为目标的成矿大陆动力学的研究领域和知识体系,具有重要的科学意义。同时,这一研究对于指导青藏高原及其邻区紧缺矿种的找矿勘查工作,提高国家在本世纪初社会和经济发展的固体矿产资源的支撑和保障能力,使以矿业开发为支柱产业的西部经济发展随着国家建设同步发展,实现青藏高原少数民族地区的经济繁荣和社会稳定,具有重大的实际意义。

[参 考 文 献]

- [1] 任增本. 浅谈我国矿产资源形势及对策建议[J]. 中国地质矿产经济, 1998, 11(4): 29-32.
- [2] 全国政协人口资源环境委员会. 国内矿产资源对 21 世纪我国经济和社会发展需要的保证程度分析和对策建议[J]. 资源·产业, 2000, (1): 9-12.
- [3] 文世澄. 中国矿产资源特点与前景[J]. 中国矿业, 1996, (4): 5-9.
- [4] 孙延绵, 边绍志. 矿产资源配置与有色金属工业可持续发展[J]. 世界有色金属, 1998, (3): 4-9.
- [5] 陈良琨. 西藏的矿业开发与环境保护[J]. 中国矿业, 1997, (5): 69-72.
- [6] Kutina J. Regional mantle-rooted Discontinuities extending transversely to the margins of cratons and adjacent mobile belts: Metallogenic implications[J]. Global Tectonics and Metallogeny, 1995, 5(1&2): 7-18.
- [7] Kutina J. The role of mantle-rooted structural discontinuities in concentration of metals with an example from the Bohemian Massif set in the context of Central and Western Europe[J]. Global Tectonics and Metallogeny,

- 1996, 5(3&4): 79-92.
- [8] Gu X X, Tang J X, Wang C S. Porphyry and skarn Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au metallogeny of the Gangdise plutonic-volcanic arc, Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7 (Suppl): 430.
- [9] Gu X X, Tang J X, Wang C, et al. Himalayan magmatism and metallogeny in the Yulong Porphyry Cu-Mo ore belt, East Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 19(3A): 25.
- [10] 唐仁鲤, 罗怀松. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质[M]. 北京:地质出版社, 1995.
- [11] 马鸿文. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1990.
- [12] 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等. 三江地区区域地球化学背景与金银铜铅锌矿床成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 1992.
- [13] 叶庆同. 四川呷村含金富银多金属矿床成矿地质特征和成因[J]. *矿床地质*, 1991, 10(2): 107-117.
- [14] Gu X X. Turbidite-Hosted Micro-Disseminated Gold Deposits[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1996.
- [15] 侯增谦, 侯立纬, 叶庆同, 等. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床[M]. 北京:地震出版社, 1995.
- [16] Fyfe W S, Price N J, Thompson A B. Fluids in the Earth's Crust[M]. Amsterdam: Elsevier, 1978.
- [17] Parnell J. Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins[M]. London: Geol Soc Spec Pub, 1994. 78.
- [18] Shmulovich K I, Yardley B W D, Gonchar G G. Fluids in the Crust: Equilibrium and Transport Properties [M]. London: Chapman & Hall, 1995.
- [19] McCaffrey K, Lonergan L, Wilkinson J. Fractures, Fluid Flow and Mineralization[M]. London: Geol Soc Spec Pub, 1999. 155.

HIMALAYAN COLLISION OROGENESIS AND FORMATION OF THE LARGE ENRICHED MINERAL DISTRICT: SCIENTIFIC PROBLEMS AND THINKING

GU Xue-xiang^{1,2}, TANG Ju-xing², WANG Cheng-shan², LU Yan², WANG Qian²

(1. Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, China; 2. Chengdu University of Technology)

Abstract: The Qinghai-Tibet plateau including its adjacent regions is an only enriched mineral district of world-scale in China. Large and super-large ore deposits discovered to date in the plateau and its adjacent regions are spatially and temporally associated with the Himalayan collision orogenesis. This reflects that the crust-mantle replacement, hydrosphere-lithosphere exchange, fluid activity and accompanied geochemical fractionation in the periphery and within the plateau where a weak lithosphere occurs are the main factors controlling the formation of the large enriched mineral district. The research on the ore-forming continental dynamics of the plateau is the foundation for understanding the law of the distribution of mineral resources and for further discovering the large and super-large ore deposits in the plateau.

Key words: Himalayan collision orogenesis; large enriched mineral district; Qinghai-Tibet plateau