

doi: 10.12029/gc20220321002

陈炳翰, 李鹏, 刘建楠. 2024. 中国铯矿成矿规律概要[J]. 中国地质, 51(6): 1946–1959.

Chen Binghan, Li Peng, Liu Jiannan. 2024. Metallogenic regularity of caesium deposits in China[J]. Geology in China, 51(6): 1946–1959(in Chinese with English abstract).

中国铯矿成矿规律概要

陈炳翰, 李鹏, 刘建楠

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

摘要:【研究目的】对中国铯矿资源特征、铯矿类型、时空分布、成矿谱系进行了分析与归纳, 初步总结了我国铯矿成矿规律。【研究方法】对中国铯矿的资源特征进行了介绍, 划分了铯矿类型, 对铯矿形成时代和空间分布进行了统计。【研究结果】将中国铯矿划分为花岗岩型、花岗伟晶岩型、岩浆热液型、盐湖型、卤水型、硅华型、花岗岩风化壳型 7 大预测类型, 初步总结了各类型铯矿的时空分布特征; 将中国铯矿成矿时代总结为古生代、中生代、新生代 3 个成矿期, 划分了 10 个铯成矿带; 厘定出 31 个与铯矿有关的成矿系列, 建立了中国铯矿成矿谱系。【结论】中国铯矿主要为中生代和新生代北阿尔泰和北华陆块的花岗伟晶岩型、花岗岩型和盐湖型铯矿, 青藏高原的盐湖型, 长江中下游的花岗伟晶岩、花岗岩铯矿、岩浆热液型铯矿。后期可加强在新疆地区、长江中下游、青藏高原以及潜江盆地的找矿工作。

关键词: 铯矿; 资源特征; 铯矿类型; 成矿时代; 铯成矿带; 成矿系列; 矿产勘查工程

创新点: 首次对中国铯矿成矿规律进行概述, 并对中国铯矿成矿谱系进行总结。

中图分类号: P618.84 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2024)06-1946-14

Metallogenic regularity of caesium deposits in China

CHEN Binghan, LI Peng, LIU Jiannan

(MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] In the national dynamic evaluation project of potential mineral resources, the features, type and spatiotemporal distribution of caesium resource in China are studied, and the metallogenic regularities of caesium deposits in China are summarized.

[Methods] This paper introduces the resource characteristics of caesium deposits in China. Caesium deposit types are divided, and the mineralization age and spatial distribution of cesium ore are counted. **[Results]** Caesium deposits in China are divided into seven types, namely the granite type, granite pegmatite type, magmatic hydrothermal type, salt lake type, brine type, geysertite type, granite weathering crust type. The spatiotemporal distribution feature of each type of caesium deposits is preliminarily summarized. Based on the statistics, the metallogenic period of caesium deposits in China is divided into Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic. 10 caesium metallogenic belts are divided. 31 caesium-related metallogenic series are determined and the metallogenic pedigree of caesium deposits in China is established. **[Conclusions]** China's caesium deposits are mainly Mesozoic and Cenozoic granite pegmatite type, granite type and salt lake type caesium deposits in north Altay and North China continental block, salt lake type in Qinghai-Tibet Plateau, granite pegmatite, granite caesium deposit and magmatic hydrothermal caesium deposit in the middle and lower reaches of

收稿日期: 2022-03-21; 改回日期: 2022-09-12

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20190193、DD20221694、DD20230040)联合资助。

作者简介: 陈炳翰, 男, 1990 年生, 助理研究员, 主要从事矿床学、潜力评价研究; E-mail: chenbinghan@cags.ac.cn。

the Yangtze River. The exploration in Xinjiang, the middle and lower reaches of the Yangtze River, Qinghai-Tibet Plateau and Qianjiang basin should be strengthened.

Key words: caesium; resource characteristics; type of caesium deposits; metallogenic period; caesium metallogenic belt; metallogenic series; mineral exploration engineering

Highlights: The metallogenic law of cesium deposits in China is summarized for the first time. The metallogenic pedigree of cesium deposits in China is summarized.

About the first author: CHEN Bingham, male, born in 1990, assistant researcher, mainly engaged in ore deposit geology and mineral resources assessment; E-mail: chenbinghan@cags.ac.cn.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey (No.DD20190193, No.DD20221694, No.DD20230040).

1 引言

近年来,关键金属受到全球空前关注,铯是美国 2018 年列出的 35 种关键金属之一,它属于稀有轻碱金属,银白色、易延展,活性很强。铯在现代高科技领域具有广泛的应用前景,如催化、工业生产、生物制药、航空航天、能源等领域,对国家经济发展和国防安全具有重要意义。全球对于铯及其相关产品的需求量也越来越大。在全国矿产资源潜力动态评价项目实施过程中,本文通过对全国铯矿矿产地、矿产勘查、科研成果、预测评价等综合资料进行整理和分析,尝试对中国铯矿成矿规律进行总结,为开展中国铯矿的资源潜力评价提供思路。

2 中国铯矿资源概况

加拿大、津巴布韦和纳米比亚是世界上主要的铯矿产出国家。中国的铯矿资源较为丰富,分布在新疆、江西、湖北、西藏、湖南、四川、内蒙古、河南、青海、云南、江苏、福建、广东、海南等 14 个省(自治区)。依据 2022 年自然资源部全国矿产资源储量统计表,中国铯矿储量集中分布在江西与河南。本文收集了全国 46 个铯矿、矿产地信息,其中大型 13 个,中型 11 个(表 1,图 1)。

3 中国铯矿矿床类型

铯属于碱金属壳源元素,一般以伴生矿产产出,主要产于碱性岩或盐湖,与锂、铷、铯、钽及稀土等共生或伴生。铯会在花岗质熔体演化至晚期时高度富集,结晶过程经历了从岩浆阶段向岩浆-热液过渡阶段的演化,最后形成富铯矿物。铯有 3 个独立矿物:铯沸石、铯锰星叶石、铯硼锂矿。

此外,铯绝大多数分散在锂辉石、锂云母、铁锂云母中,在钾长石、沸石、绿柱石、天河石、钾盐和光卤石等矿物中与钾、钠、锂呈类质同象。

目前世界上已知的固体铯矿床主要有 4 种类型:含铯伟晶岩(铯榴石和铯锂云母)矿床、古代和现代含铯盐类矿床、铯锰星叶石矿床、含铯硅华(董普和肖荣阁, 2005)。中国的铯矿床按照成因可以划分为内生型、外生型和内生外成型,具体分为 5 种类型:花岗岩型、花岗伟晶岩型、岩浆热液型、盐湖型和花岗岩风化壳型(表 2;王瑞江等, 2015)。

花岗岩型矿床是中国分布最广的铯矿类型,主要位于华南地区,与锂、铷、钽、铯、锡等矿种共生。可进一步细分为锂云母花岗岩型和云英岩型(朱京平, 2008;李胜虎等, 2015),该类矿床具有品位低、规模大的特点。

花岗伟晶岩型铯矿床主要分布在新疆阿尔泰成矿带、川西松潘—甘孜成矿带、江南造山成矿带、北秦岭、武夷—云开等地区,与锂、铷、钽、铯、锡等矿种共生,包括可可托海、甲基卡、可尔因、仁里、官坡、南平等典型矿床(邹天人和李庆昌, 2006;李建康等, 2007;王登红等, 2017)。其特点是品位较高,一般单脉的规模较小。该类型矿床可进一步细分为钠长石锂辉石伟晶岩型和钠长石锂云母型,前者以可可托海为典型,后者以甲基卡为代表。花岗岩型和花岗伟晶岩型矿石可出现在同一矿床内(袁晓军等, 2004)。

盐湖卤水为高矿化卤水,化学成分中 Cs 含量高(郭秀红等, 2008)。盐湖型主要分布在青海和西藏,与锂、铷等矿种共生,具体可细分为碳酸盐型和硫酸盐型盐湖,前者以西藏扎布耶盐湖为代表(赵元艺等, 2010),后者以察尔汗、西台吉乃尔等盐湖为

表 1 中国主要铯矿

Table 1 Caesium deposits in China

序号	矿床预测类型	矿产地	矿种 (含共生矿种)	铯矿规模及品位	成矿时代	参考文献
1		蔡家沟	铯、钽、铍、锂、铷、钍	中型 (1055.6 t, 0.053%)	396 Ma	袁忠信和白鸽, 2001
2		南阳山	铯、钽、铍、锂、铷、钍	中型	396 Ma	
3		别也萨麻斯	铯、钽、铍、锂、铷、钍	小型	(151.0±1.8) Ma	杨富全等, 2018
4		仁里	铯、钽、铍、锂、铷、钍	大型	(133.0±2.6) Ma	Li et al., 2020
5	花岗伟晶岩型	石乃亥	铯、钽、铷	小型	加里东期	徐新文, 2009; 李玉龙等, 2018
6		官坡	铯、钽、铍、锂、铷、钍	中型	396 Ma	
7		西坑	铯、钽、锡、锂、铷、铍	小型	287~360 Ma	袁忠信和白鸽, 2001
8		可可托海	铯、钽、铍、锂、铷	小型 (136 t, 0.095%)	180~220 Ma	杨富全等, 2018
9		甲基卡	铯、钽、铍、锂、铷	大型 (4770 t, 1.1%)	183~188 Ma	袁忠信和白鸽, 2001
10		草陇	铍、铯、钽、铷	小型	(159±8) Ma	白宗海等, 2018
11		北尖岛	铯、铍	小型		内部资料
12		湘源	铯、铷	大型 (6023 t, 0.013%)	燕山晚期	朱京平, 2008
13	岩浆热液型	香花铺	银、铯、钽、铷、铷、镉	大型 (2049.72 t, 0.0070%)	(160.7±2.2) Ma	轩一撒等, 2014; 朱真真等, 2019
14		丰收	铯、铷	小型	印支期和燕山期	郝贵宝等, 2017
15		维拉斯托	铯、铷、铯、钽、铍、锡、钨、钼、铜、锌	小型	(130.7±0.5) Ma	张天福等, 2019; 付旭等, 2020
16		四一四	铯、钽、铍、锂、铷	大型 (3182.83 t, 0.033%)	(152.5±1.1) Ma	张勇等, 2019
17		加不斯	铯、钽、铷、铷	大型 (2882.41 t, 0.040%)	燕山早期	孙艳, 2013
18	花岗岩型	善安浜	钽、铯、铷、铷	大型	早白垩	袁晓军等, 2004
19		东溪	铯、铷、钽、铷	小型	118 Ma	张福神等, 2018
20		波孜果尔	铯、钽、铷、钍、稀土、铷、铷、铷	小型	(275.0±1.4) Ma	徐海明等, 2012
21		雅山	铯、铷、铷	中型	(161.0±1.0) Ma	楼法生等, 2005
22		枫下塌	铯、钽、铍、铷、铷	小型	燕山早期	谢军军和杨莉, 2018
23		赵井沟	铯、钽、铷	小型	(127±2), (126±1) Ma	Wu et al., 2020
24	花岗岩风化壳型	禾尚田	钨、锡、铷、铷、铷	小型	(161.1±1.1) Ma	武国忠等, 2014
25		新岐	铷、钽、钽、铯、铷、铷、铷、铷	大型	72~65 Ma	周新平等, 2017
26		潜江凹陷	铯、铷	大型 (>2000 t, 0.00013%)	第四纪	马黎春等, 2015
27	卤水型	江陵凹陷	铯、铷	大型 (>2000 t, 0.0070%)	第四纪	王春连等, 2018
28		小梁山	钾、铷、硼、铷、铷、碘、溴	小型		内部资料
29	硅华型	布朗雄古	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	中型	第四纪	
30		萨嘎朗嘎	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	中型	第四纪	赵元艺等, 2010
31		谷露	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	中型	第四纪	
32		搭格架	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	中型	第四纪	赵元艺等, 2008
33		色米	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	
34		孔孔茶卡	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	
35		鄂雅错	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	中型	第四纪	
36		扎布耶	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	中型	第四纪	
37		麻米错	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	大型 (8538 t)	第四纪	
38		玛尔果	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	赵元艺等, 2010
39		古瓶湖	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	
40	盐湖型	热邦错	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	
41		别若则错	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	
42		聂尔错	铯、钾、硼、铷、铷、钽、钽、钽、钽	小型	第四纪	
43		大柴旦	钾、铷、硼	中型	10.0~0 cal.ka BP	洪荣昌, 2018
44		察尔汗	镁、钠、硼、铷、铷、碘、碘	大型	第四纪	王强, 1998
45		罗布泊	钾	大型 (32.7万t, 0.013%)	0.61~0.25 Ma	吕凤琳, 2018
46		达布逊	镁、钠、硼、铷、铷、碘、碘	小型	第四纪	王强, 1998

注: 铯矿 (Cs₂O) 规模, 小型<500 t, 中型500~2000 t, 大型>2000 t。

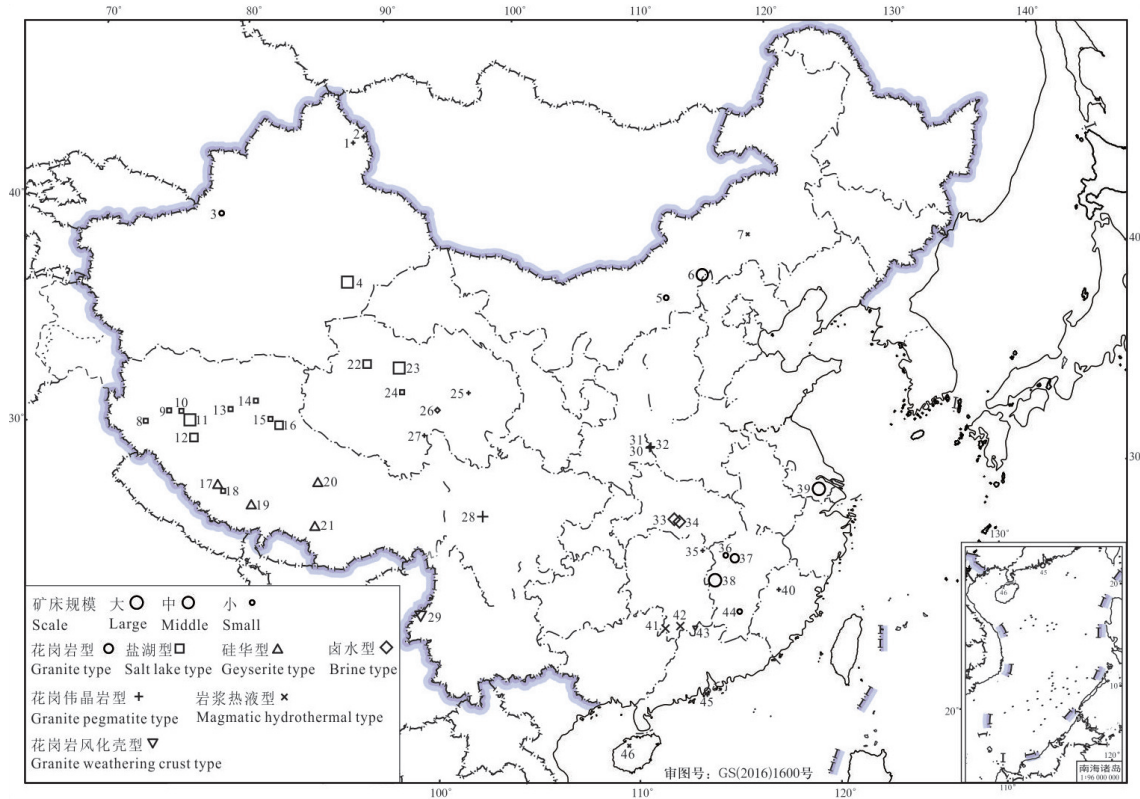


图 1 中国铯矿分布图

1—可可托海; 2—别也萨麻斯; 3—波孜果尔; 4—罗布泊; 5—赵井沟; 6—加不斯; 7—维拉斯托; 8—热邦错; 9—聂尔错; 10—别若则错; 11—麻米错; 12—扎布耶; 13—古瓶湖; 14—玛尔果; 15—孔孔茶卡; 16—鄂雅错; 17—搭格架; 18—色米; 19—萨嘎朗嘎; 20—谷露; 21—布朗雄古; 22—大柴旦; 23—察尔汗; 24—达布逊; 25—石乃亥; 26—小梁山; 27—草陇; 28—甲基卡; 29—新歧; 30—官坡; 31—南阳山; 32—蔡家沟; 33—江陵; 34—潜江; 35—仁里; 36—柳下塌; 37—雅山; 38—四一四; 39—善安浜; 40—西坑; 41—湘源; 42—香花铺; 43—禾尚田; 44—东溪; 45—北尖岛; 46—丰收

Fig.1 Distribution of caesium deposits in China

1—Keketuohai; 2—Bieyesamasi; 3—Boziguouer; 4—Lop Nur; 5—Zhaojinggou; 6—Jiabusi; 7—Weilasituo; 8—Rebangcuo; 9—Niercuo; 10—Bieruozeecu; 11—Mamicuo; 12—Zhabuye; 13—Guping lake; 14—Maerguo; 15—Kongkongchaka; 16—Eyacuo; 17—Dagejia; 18—Semi; 19—Sagalangga; 20—Gulu; 21—Bulangxionggu; 22—Dachaidan; 23—Chaerhan; 24—Dabuxun; 25—Shinaihai; 26—Xiaoliangshan; 27—Caolong; 28—Jiajika; 29—Xinqi; 30—Guanpo; 31—Nanyangshan; 32—Caijiagou; 33—Jiangling; 34—Qianjiang; 35—Renli; 36—Jianxiaguo; 37—Yashan; 38—Siyisi; 39—Shanbang; 40—Xikeng; 41—Xiangyuan; 42—Xianghuapu; 43—Heshangtian; 44—Dongxi; 45—Beijiandao; 46—Fengshou

表 2 中国主要铯矿成因类型

Table 2 Main genetic types of caesium deposits in China

成矿系列	成因类型		参考文献
	类型	具体类型	
内生型	花岗岩型	锂云母花岗岩型、云英岩型	朱京平, 2008; 张勇等, 2019
	花岗岩伟晶岩型	锂辉石钠长石伟晶岩型、 锂云母钠长石伟晶岩型	邹天人和李庆昌, 2006; 王登红等, 2017; 代鸿章等, 2018
	岩浆热液型	石英脉型、接触交代型	江西有色地质勘查二队, 2010 ^① ; 杨涛, 2018
	盐湖型	碳酸盐型、硫酸盐型	王强, 1998; 赵元艺等, 2010
外生型	地下卤水型		陈思, 2014; 马黎春等, 2015; 尹菲, 2016
	硅华型		赵元艺等, 2010
内生外成型	花岗岩风化壳型		江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 2010 ^② ; 李建康等, 2012

代表(王强, 1998)。其中碳酸盐型盐湖锂、铷、铯等金属资源易于提取, 开发利用成本低。

西藏发育高温水热活动沉淀的硅华, 硅华含有经济价值较高的稀碱金属铯资源(董普和肖荣阁,

2005; 赵元艺等, 2008)。硅华型同样主要分布于西藏, 以谷露盐湖、布朗雄古盐湖、萨嘎朗嘎盐湖等为代表(赵元艺等, 2010)。

地下卤水型铯矿以湖北潜江凹陷油田为代表(陈思, 2014; 马黎春等, 2015; 尹菲, 2016), 高温高压高盐度卤水富含钾、锂、硼、溴、碘、铷、铯等, 达到工业品位或超过综合利用品位, 构成卤水矿(王春连等, 2018), 开发利用潜力较大。

花岗岩风化壳型主要分布在江西、湖南等地(李建康等, 2012)。矿化岩体发生强烈的物理-化学-生物风化作用, 普遍发育厚达 30 m 的风化壳, 铯主要以类质同象形式赋存在云母中, 少量以类质同象存在于钾长石内(沈致富, 2002)。

依据矿床预测类型的定义(王登红等, 2013), 凡是由同一地质作用形成的, 成矿要素和预测要求基本一致, 可以在同一预测底图上完成预测工作的矿床、矿点和矿化线索可以归为同一“矿产预测类型”, 本次研究工作将铯矿预测类型划分为花岗岩型、花岗伟晶岩型、岩浆热液型、盐湖型、卤水型、硅华型、花岗岩风化壳型, 矿床具体划分见表 1。

4 铯矿成矿时代

铯榴石和铯云母是主要的赋铯矿物, 发育这些矿物的岩体形成时间近似代表了铯矿的成矿时代; 盐湖、卤水沉积的时代代表了此类型铯矿的成矿时代。本文收集了 44 个矿床的成矿时代, 从早古生代到新生代均有产出, 大致可以划分成古生代、中生代、新生代, 大部分矿床形成时代集中在中生代和新生代(图 2, 表 1)。

花岗岩型铯矿主要成矿时代为中生代, 仅有波孜果尔形成时间属于古生代(早二叠世末; (275±1.4)Ma; 徐海明等, 2012); 花岗伟晶岩型铯矿形成时间为古生代和中生代; 岩浆热液型铯矿形成时间均处在中生代; 花岗岩风化壳型铯矿形成时间属于中生代和新生代; 盐湖型、卤水型、硅华型铯矿形成时代均处在新生代, 且集中在第四纪。

5 铯矿空间分布规律

结合Ⅲ级成矿区带的划分(徐志刚等, 2008)和矿产地分布, 对各类型铯矿空间分布进行了统计。花岗岩型铯矿产出在扬子成矿省、大兴安岭成矿

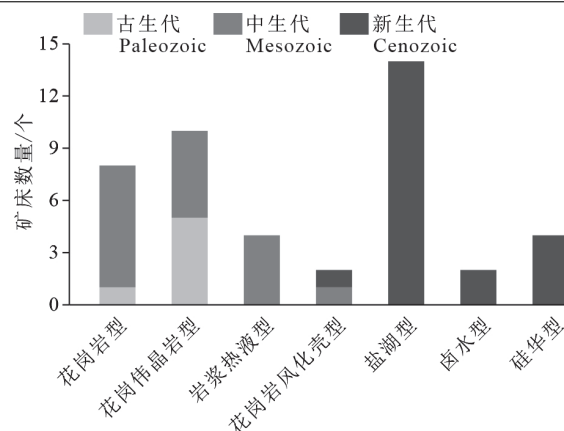


图2 含铯矿床形成时代
Fig.2 Metallogenic age of caesium-bearing deposit

省、华南成矿省、塔里木成矿省、华北成矿省, 分布在武功山、突泉、长江中下游、塔里木板块北缘、江南隆起东段、乌拉山成矿带。花岗伟晶岩型铯矿产出在阿拉善、扬子、秦岭—大别、华南、巴颜喀拉—松潘成矿省, 分布在华北陆块南缘、北阿尔泰、江南隆起东段、西秦岭、浙中、南巴颜喀拉成矿带。岩浆热液型铯矿产出在华南、大兴安岭成矿省, 分布在南岭、海南、翁牛特成矿带。盐湖型铯矿产出在巴颜喀拉—松潘、喜马拉雅、喀喇昆仑—三江、冈底斯—腾冲、昆仑、塔里木成矿省, 分布在阿尼玛卿、雅鲁藏布江、羌南、狮泉河、喀喇昆仑、拉萨地块、班公湖、东昆仑祁曼塔格、柴达木盆地、磁海、阿尼玛卿成矿带。地下卤水型铯矿产出在扬子、巴颜喀拉—松潘成矿省, 分布在江汉、北巴颜喀拉成矿带。硅华型铯矿产出在喜马拉雅、冈底斯—腾冲成矿省, 分布在喜马拉雅、拉萨地块成矿带。花岗岩风化壳型铯矿产出在华南成矿省、冈底斯—腾冲成矿省, 分布在南岭、腾冲成矿带。

在Ⅲ级成矿区带划分(徐志刚等, 2008)的基础上, 结合铯矿的主矿种类型、主要矿床的时空分布特征及其成矿地质条件和区域成矿要素, 将中国铯矿划分为 10 个成矿带(表 3, 图 3), 重点介绍松潘—甘孜—昆仑成矿带(Cs5)和江南成矿带(Cs9)。

阿尔泰成矿带(Cs1)包括可可托海、别也萨麻斯等矿床, 矿床类型主要为花岗伟晶岩型, 成矿时代属于中生代。铯成矿与该区的印支期—燕山期的酸性岩浆作用有关。

塔里木成矿带(Cs2)包括波孜果尔、罗布泊等

表 3 中国铯矿成矿带划分

Table 3 Division of caesium metallogenic belts in China

编号	成矿带名称	预测类型	成矿时代	代表性矿床
Cs1	阿尔泰	花岗伟晶岩型	中生代	可可托海、别也萨麻斯
Cs2	塔里木	花岗岩型、盐湖型	古生代、新生代	波孜果尔、罗布泊
Cs3	华北北缘	花岗岩型、岩浆热液型	中生代	赵井沟、加不斯、维拉斯托
Cs4	藏北	盐湖型	新生代	热邦错、聂尔错、别若则错、麻米错、扎布耶、古瓶湖、玛尔果、孔孔茶卡、鄂雅错
Cs5	松潘—甘孜— 昆仑	花岗伟晶岩型、盐湖型、卤水型	中生代、新生代	大柴旦、察尔汗、达布逊、小梁山、草陇、甲基卡
Cs6	滇西—藏南	花岗岩风化壳型、盐湖型	新生代	搭格架、色米、萨嘎朗嘎、谷露、布朗雄古、新歧
Cs7	秦岭	花岗伟晶岩型	古生代	官坡、南阳山、蔡家沟
Cs8	江汉	卤水型	新生代	江陵、潜江
Cs9	江南	花岗岩型、花岗伟晶岩型	中生代	仁里、枫下塌、雅山、四一四、善安浜
Cs10	南岭	花岗岩型、花岗伟晶岩型、 岩浆热液型、花岗岩风化壳型	古生代、中生代	西坑、湘源、香花铺、禾尚田、东溪

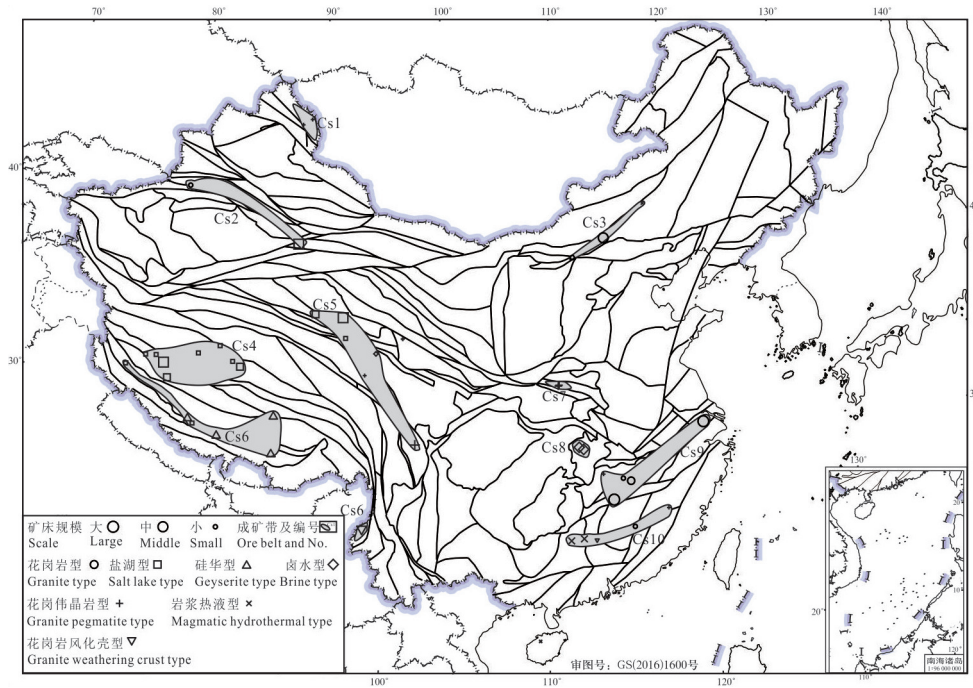


图 3 中国铯矿床成矿带分布图(底图据徐志刚等, 2008)

铯成矿带名称见表 3

Fig.3 Distribution diagram of caesium metallogenic belts in China (modified from Xu Zhigang et al., 2008)

Caesium metallogenic belts' names are shown in Table 3

矿床, 矿床类型包括花岗岩型、盐湖型, 成矿时代属于古生代、新生代。铯成矿与晚古生代稀有金属形成和新生代蒸发沉积作用有关。

华北北缘成矿带(Cs3)包括赵井沟、加不斯、维拉斯托等矿床, 矿床类型包括花岗岩型、岩浆热液型, 成矿时代属于中生代。铯成矿与燕山期酸性岩浆侵入作用有关。

藏北成矿带(Cs4)包括热邦错、聂尔错、别若则

错、麻米错、扎布耶、古瓶湖、玛尔果、孔孔茶卡、鄂雅错等矿床, 矿床类型包括盐湖型, 成矿时代属于新生代。铯成矿与新生代湖相沉积层有关。

松潘—甘孜—昆仑成矿带(Cs5)包括大柴旦、察尔汗、达布逊、小梁山、草陇、甲基卡等矿床, 矿床类型主要为花岗伟晶岩型、盐湖型、卤水型, 成矿时代属于中生代、新生代。铯成矿与印支期—燕山期花岗伟晶岩类形成和第四纪蒸发—沉积作用有关。

滇西—藏南成矿带(Cs6)包括搭格架、色米、萨嘎朗嘎、谷露、布朗雄古、新岐等矿床,矿床类型主要为花岗岩风化壳型、盐湖型,成矿时代属于新生代。铍成矿与第四纪湖相沉积层有关。

秦岭成矿带(Cs7)包括官坡、南阳山、蔡家沟等矿床,矿床类型主要为花岗伟晶岩型,成矿时代属于古生代。铍成矿与早古生代成矿作用有关。

江汉成矿带(Cs8)包括江陵、潜江等卤水型铍矿,成矿时代属于新生代。铍成矿与新生代陆相蒸发沉积有关。

江南成矿带(Cs9)包括仁里、枳下塌、雅山、四一四、善安浜等矿床,矿床类型主要为花岗岩型、花岗伟晶岩型,成矿时代属于中生代。铍成矿与燕山中酸性—酸性岩浆侵入喷发活动有关。

南岭成矿带(Cs10)包括西坑、湘源、香花铺、禾尚田、东溪等矿床,矿床类型包括花岗岩型、花岗伟晶岩型、岩浆热液型、花岗岩风化壳型,成矿时代属于古生代、中生代。铍成矿与晚古生代海相火山喷发、燕山期钙碱性—中浅成酸性花岗岩类有关。

5.1 松潘—甘孜—昆仑成矿带 (Cs5)

松潘—甘孜—昆仑褶皱造山带主体由亲扬子地块的新元古代—古生代变质杂岩结晶基底、中—上三叠统沉积岩盖层,以及俯冲碰撞—后碰撞构造背景下的中—新生代岩浆岩组成。其中,沉积盖层为一套“残余型”或“地中海型”海盆沉积的浅海相复理石沉积建造,其因印度板块与欧亚板块、扬子板块碰撞引起的区域变质作用而普遍浅变质为板岩、片岩、千枚岩等,并发育一系列紧闭褶皱、滑脱断层和穹隆构造。岩浆岩侵位于三叠系,并呈岩基、岩株或者岩滴状产出,物源成分包括含有不同程度沉积物质的造山带基底、扬子陆块的新元古代基底(750~850 Ma)和微量的地幔物质,属于造山花岗岩(200~220 Ma)和后造山花岗岩(150~200 Ma)(Roger et al., 2004; Zhang et al., 2006),部分侵入岩周围分布伟晶岩、辉绿岩等岩脉。扎乌龙、马尔康、甲基卡等矿田内典型的伟晶岩脉群即分布于以壳源重熔型(S型)花岗岩为中心、以三叠系热接触变质岩为边缘的“岩浆核杂岩”热隆构造内。

松潘—甘孜—昆仑造山带稀有金属矿产资源丰富,典型矿田有康定的甲基卡、道孚的容须卡、石渠的扎乌龙、九龙的洛木、雅江的长征、金川的马

尔康等。另外,稀有金属矿床分布集中,矿石锂品位高,共/伴生组分综合利用价值较高,如甲基卡、马尔康矿田内的锂矿床中均伴生有铍、铌、钽、铷、铯等稀有金属,部分矿脉亦共伴生锆、钨、钼、铀、镓、稀土等稀有金属。同时,该成矿带稀有金属矿产储量大,矿体埋藏较浅,开采剥离比较小,矿石选冶性能好,作为中国重要的稀有金属资源基地,具有重要的价值和研究意义。稀有金属矿田主要分布于造山带主体东缘的中央褶皱推覆带中,矿床类型以花岗伟晶岩型矿床为主,与印支晚期过铝质高钾钙碱性花岗岩时空和成因关系密切,岩浆岩锆石 U-Pb 年龄多集中于 225~200 Ma(李建康等, 2007; 郝雪峰等, 2015; Li et al., 2019)。

5.2 江南成矿带 (Cs9)

江南造山带位于华南扬子地块和华夏地块之间,西起桂北,经黔、湘西、赣、皖南、浙西至湖北,长约 1500 km,宽 200 km(舒良树等, 1995; 王孝磊等, 2017; Li et al., 2020)。这一中元古代—新元古代造山带主要由前寒武纪基底、上覆新元古代巨厚沉积地层和不同时代的岩浆岩侵入体组成,是扬子地块东南缘与华夏地块西北缘间的中新元古代洋盆闭合所形成的陆陆碰撞造山带(王孝磊等, 2017)。江南造山带内分布的元古宇大体可以分为上下两部分,下部地层以冷家溪群为主,并以双桥山群、上溪群、溪口岩群和四堡群等为代表,具线性紧闭褶皱。冷家溪群、板溪群为较典型的复理石建造和类复理石建造,由一套巨厚的碎屑岩、泥质岩、凝灰岩夹少量碳酸盐岩、碳质岩和溶岩等复杂岩类组成。

江南稀有金属成矿带位于造山带的中段至东段。区域早在加里东运动末期,东西向构造就已具规模;到晚古生代早期,整个区域进入地台阶段,地块下降海侵开始;海西期构造运动对本区的影响是以缓慢升降为主,因而上古生界各时代地层呈整合或假整合接触(王孝磊等, 2017; Li et al., 2020)。到印支晚期,区域上经历过一次大的构造运动——安源运动,在区域内形成一系列南北向的褶皱,并伴随强烈的岩浆活动,将军庙岩体、玉峰仙岩体先后侵位。至燕山早期,区域内形成一些内陆盆地,燕山晚期构造运动在本区产生的构造形迹以北东向的褶皱和断裂为主,形成区域大型的北东向区域性

断裂。从印支期到燕山晚期是本区岩浆活动最为强烈的时期, 幕阜山、将军庙、玉峰仙等岩体相继侵入。喜山构造运动致使早期形成的部分断裂重新活动, 切割早期花岗岩体和矿体的断层都形成于此期间, 并有局部的基性岩脉侵入。喜山期构造活动后, 整个区域构造轮廓基本定型(舒良树等, 1995; 毛景文等, 1998; 王孝磊等, 2017; 陈毓川和王登红, 2012; 陈毓川等, 2014; 孟庆秀, 2014)。江南造山带是中国东部重要的稀有金属成矿带, 其中段到东段分布了大量稀有金属矿床, 包括华容、断峰山、仁里、连云山、松树岗、黄山等花岗伟晶岩型 Be-Nb-Ta-Li 矿床。其中仁里超大型矿床是中国少有的高品位铌钽矿床, Ta₂O₅ 储量 10791 t, 平均品位 0.036%, Nb₂O₅ 储量 14057 t, 平均品位 0.047%, 并伴生有丰富的铷、铯资源(周芳春等, 2019)。这些矿床均围绕侵入冷家溪群巨厚地层中的燕山期花岗岩分布。

6 铯矿成矿系列与成矿谱系

矿床的成矿系列是指在一定的地质历史时期

或构造运动阶段, 在一定的地质构造单元及构造部位, 与一定的地质成矿作用有关的一组具有内在成因联系的矿床的自然组合(陈毓川等, 2007)。在陈毓川、王登红等对全国重要矿床成矿系列厘定(陈毓川等, 2010a, b)的基础上, 本文对与铯成矿有关的矿床成矿系列进行了重新整理, 共划分出 31 个与铯成矿有关的成矿系列(表 4), 并依此建立了中国铯矿成矿谱系图, 从时空角度反映区域铯成矿演化规律(图 4)。铯矿形成时代集中在中生代和新生代。在中生代, 主要是花岗岩型、花岗伟晶岩型和岩浆热液型。在北阿尔泰、突泉、南岭、班戈、江南隆起东等地区, 铯矿成矿系列的产出具有延续性。由成矿谱系图可以看出, 北方地区以中生代和新生代北阿尔泰和华北陆块的花岗伟晶岩型、花岗岩型和盐湖型铯矿为主, 南方地区集中在中生代和新生代青藏高原的盐湖型, 长江中下游的花岗伟晶岩、花岗岩铯矿、岩浆热液型铯矿。

新疆以及长江中下游的花岗伟晶岩型和花岗岩型铯矿, 是主要的铯矿产出类型, 在今后的找矿和预测工作中, 应加强这些地区的工作。青藏高原

表 4 中国铯矿床有关的成矿系列

Table 4 Related metallogenic series of caesium deposits in China

序号	时代	编号	成矿系列(组)名称	代表矿床
1	古生代	Pz ₁ -1	兴海与加里东期海相火山喷、沉积作用有关的铜、锡、汞、铋矿床成矿系列	石乃亥
2		Pz ₂ -1	豫西早古生代金、钼、钨、铁、铅、锌、硫铁矿床成矿系列	蔡家沟、南阳山、官坡
3		Pz ₂ -2	武夷山与晚古生代海相火山喷发、沉积作用有关的钨、锡、钼、金、银、铅、锌、铌、钽矿床成矿系列	西坑
4		Pz ₂ -3	哈尔克山晚古生代稀有铋、锰、铜矿床成矿系列	波孜果尔
5	中生代	Mz ₁ -1	北阿尔泰印支—燕山期与酸性岩浆作用有关的稀有、铅、锌、金、白云母矿床成矿系列	可可托海
6		Mz ₁ -2	海南与印支—燕山期构造—岩浆作用有关的铁、铜、钴、金、钼矿床成矿系列	丰收
7		Mz ₂ -1	雅江与印支—燕山期花岗伟晶岩类有关的稀有金属(锂、铍、铌、钽)矿床成矿系列	甲基卡、草陇
8		Mz ₂ -2	武功山与燕山期中酸性—酸性岩浆侵入喷发活动有关的铜、钼、钨、锡、铌、钽矿床成矿系列	雅山、四一四
9		Mz ₂ -3	南岭与燕山期钙碱性花岗岩类有关的钨、锡、铌、钽、铍、铋、铜、铅、锌矿床成矿系列	香花铺、禾尚田
10		Mz ₂ -4	突泉与燕山期酸性岩浆侵入作用有关的铅、锌、银、铜、铁、锡、稀土矿床成矿系列	加不斯
11		Mz ₂ -5	江南隆起东段与燕山期中酸性—酸性岩浆侵入喷发活动有关的金、银、铅、锌、钨、锰、钒、萤石矿床成矿系列	枫下塌
12		Mz ₂ -6	北阿尔泰与印支—燕山期酸性岩浆作用有关的稀有铅、锌、金、白云母、宝石矿床成矿系列	别也萨麻斯

续表 4

序号	时代	编号	成矿系列(组)名称	代表矿床
13	中生代	Mz ₃ -1	突泉与燕山晚期中酸性岩浆火山侵入杂岩有关的铅、锌、银、铜、铁、锡、稀土矿床成矿系列	维拉斯托
14		Mz ₃ -2	乌拉山与燕山期酸性岩浆侵入作用有关的铁、金、钨、萤石矿床成矿系列	赵井沟
15		Mz ₃ -3	江南隆起东段与燕山期中酸性—酸性岩浆侵入喷发活动有关的金、银、铅、锌、钨、锰、钒、钨、铌、钽矿床成矿系列	仁里
16		Mz ₃ -4	南岭与燕山期中浅成酸性花岗岩类有关的钨、锡、铌、钽、铍、铋、铜、铅、锌矿床成矿系列	湘源、东溪
17		Mz ₃ -5	长江中下游与燕山期中基—中酸—酸性侵入喷发活动有关的铅、锌、锡、钨、钼、铌、钽、钒矿床成矿系列	善安浜
18		Mz ₃ -6	班戈与燕山晚期花岗岩类侵入作用有关的硫、钨、铍、锂、铁、铅、锌矿床成矿系列	新歧
19	新生代	Q-1	磁海与新生代蒸发沉积作用有关的石盐、芒硝、钾盐矿床成矿系列	罗布泊
20		Q-2	柴达木第四纪与蒸发—沉积作用有关的锂、硼、钾盐、钠盐、镁盐、芒硝、石膏、天然盐、卤盐(水)矿床成矿系列	察尔汗
21		Q-3	东昆仑与第四纪蒸发—沉积作用有关的锂、硼、钾盐、钠盐、镁盐、芒硝、石膏、天然盐、卤盐(水)矿床成矿系列	大柴旦
22		Q-4	阿尼玛卿与第四纪蒸发—沉积作用有关的锂、硼、钾盐、钠盐、镁盐、芒硝、石膏、天然盐、卤盐(水)矿床成矿系列	达布逊
23		Q-5	羌北与现代盐湖及新生界湖相沉积层有关的石盐、钾盐、硼、芒硝、锂矿床成矿系列	玛尔果
24		Q-6	羌南与现代盐湖及新生界湖相沉积层有关的石盐、钾盐、硼、芒硝、锂矿床成矿系列	古瓶湖、孔孔茶卡、鄂雅错
25		Q-7	班公湖与现代盐湖及新生界湖相沉积层有关的石盐、钾盐、硼、芒硝、锂矿床成矿系列	别若则错、聂尔错
26		Q-8	班戈与现代盐湖及新生界湖相沉积层有关的石盐、钾盐、硼、芒硝、锂矿床成矿系列	谷露
27		Q-9	狮泉河与现代盐湖及新生界湖相沉积层有关的硼、钾盐、芒硝、锂、石盐矿床成矿系列	扎布耶、麻米错
28		Q-10	拉萨地块与现代盐湖及新生界湖相沉积层有关的硼、钾盐、芒硝、锂、石盐矿床成矿系列	搭格架、热邦错
29		Q-11	雅鲁藏布与江喜山期湖相沉积层有关的石盐、钾盐、硼、芒硝、锂矿床成矿系列	色米
30		Q-12	喜马拉雅与第四纪湖相沉积层有关的石盐、钾盐、硼、芒硝、锂矿床成矿系列	布朗雄古、萨嘎朗嘎
31		Q-13	江汉与新生代陆相蒸发沉积有关的卤水矿床成矿系列	潜江、江陵

注：系列名称和系列编号依据陈毓川等(2010a, b)。

地区的盐湖以及卤水虽然蕴含大量铯矿,但目前开发利用难度较大,需加强盐湖及卤水内铯矿的提取研究。新疆地区、长江中下游、青藏高原以及潜江盆地可作为铯矿找矿远景区。

7 结 论

(1)江西和河南是中国铯矿储量的主要省份。

(2)花岗岩型、花岗伟晶岩型铯矿是中国最主要的铯矿类型。

(3)中生代、新生代是铯矿形成的主要时代。

(4)北方地区以中生代和新生代北阿尔泰和华北陆块的花岗伟晶岩型、花岗岩型和盐湖型铯矿为主,南方地区集中在中生代和新生代青藏高原的盐湖型,长江中下游的花岗伟晶岩、花岗岩铯矿、岩浆热液型铯矿,后期应加强新疆地区、长江中下游、青藏高原以及潜江盆地的找矿工作。

致谢:感谢所有对“全国矿产资源潜力动态评价”项目给予支持的领导和技术人员,感谢审稿专

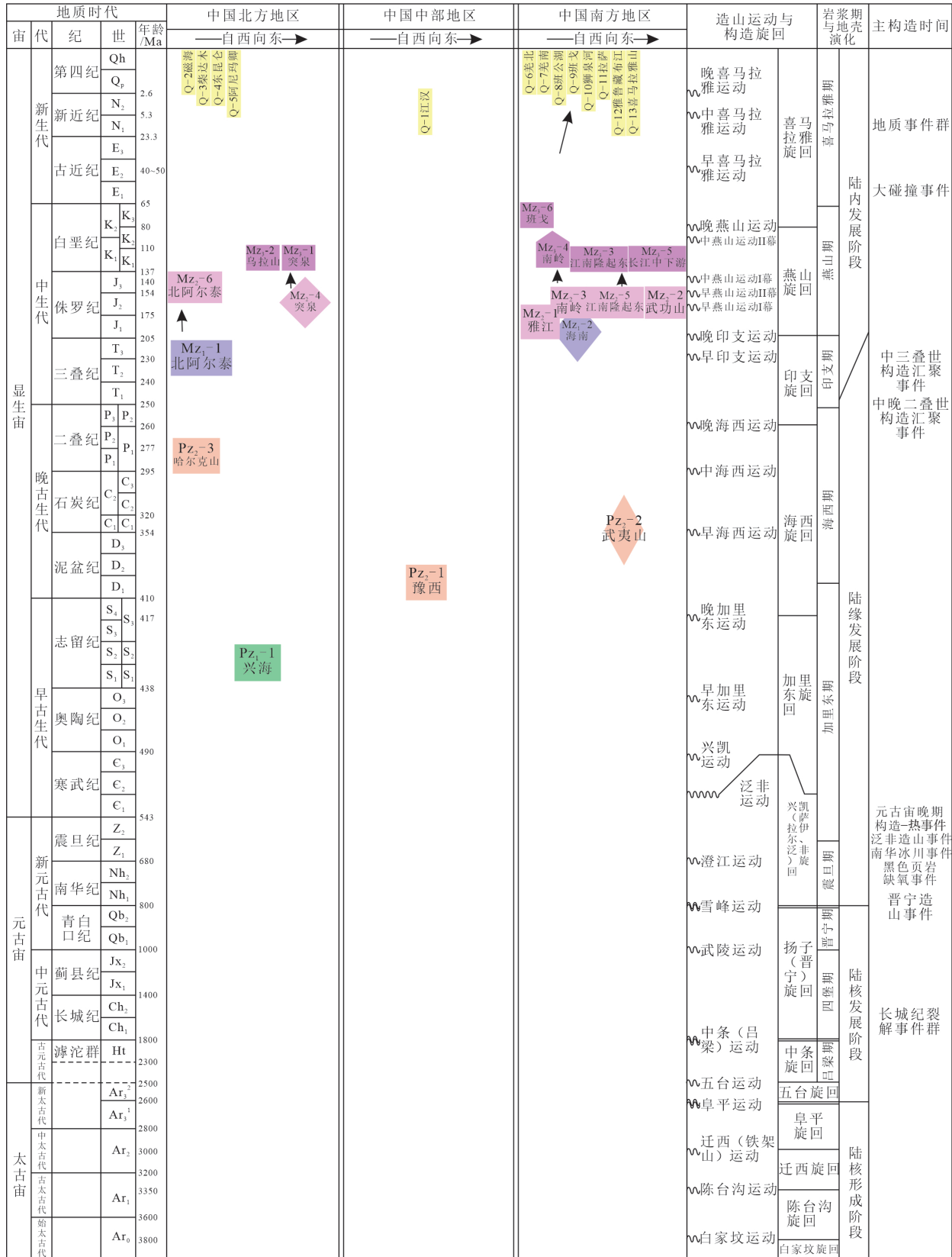


图4 中国铯矿成矿谱系图(底图据王成辉等, 2014)

Fig.4 Metallogenic lineage figure of caesium deposits in China (Basemap after Wang Chenghui et al., 2014)

家对本文提出宝贵的修改意见。

注释

① 江西有色地质勘查二队. 2010. 江西省于都县上坪钨矿核查区资源储量核查报告 [R].

② 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队. 2010. 江西省赣县 6812(牛岭坳)稀土矿核查区资源储量核查报告 [R].

References

- Bai Zonghai, Lin Hao, Li Shanping, Chen Bingfang, Bai Jianhai, Fu Jun, Jin Tingting. 2018. Characteristics and genesis analysis of pegmatite type lithium-polymetallic deposit in the Caolong area of the northern segment of the Sanjiang belt, Qinghai[J]. *Journal of Qinghai University (Natural Science)*, 36(4): 86–93 (in Chinese with English abstract).
- Chen Si. 2014. The Diagenesis Research of Guiniujiang Composite Pluton in Guichi Region, Anhui Province[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 1–103 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Chang Yinfo, Pei Rongfu. 2007. Metallogenic System and Regional Metallogenic Evaluation in China[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui. 2010a. Technical Requirements for the Study of National Important Minerals and Regional Metallogenic Laws[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Li Houmin. 2010b. Classification Scheme of Important Mineral Prediction Types[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong. 2012. Four main topics concerning the metallogeny related to Mesozoic magmatism in South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 315–321 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang, Huang Fan. 2014. Outline of regional metallogeny of ore deposits associated with the Mesozoic magmatism in South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 219–229 (in Chinese with English abstract).
- Dai Hongzhang, Wang Denghong, Liu Lijun, Yu Yang, Dai Jingjing, Fu Xiaofang. 2018. Geochronology, geochemistry and their geological significances of No.308 pegmatite vein in the Jiajika Deposit, Western Sichuan, China[J]. *Earth Science*, 43(10): 3664–3681 (in Chinese with English abstract).
- Dong Pu, Xiao Rongge. 2005. Application of cesium salt and evaluation of cesium (alkali metal) mineral resources[J]. *China Mining Magazine*, 14(2): 30–34 (in Chinese with English abstract).
- Fu Xu, Lü Guxian, Kou Limin, Li Boyang, Jiang Dawei, Wang Lei, Gao Shuqi. 2020. Research on the zoning and distribution of ore-bearing tectono-deformation-lithofacies belt in the Weilasituo Li-Sn polymetallic deposit, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 39(11): 1752–1758 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xiuhong, Zheng Mianping, Liu Xing, Nie Zhen, Pu Lingzhong. 2008. Saline cesium resource and prospect of its exploitation and utilization in Tibet[J]. *Journal of Salt and Chemical Industry*, 37(3): 8–13 (in Chinese with English abstract).
- Hao Guibao, Fang Weixuan, Guo Yuqian, Cao Jingwei. 2017. Relationship between fracture structure and enrichment of Tungsten mineralization, Wenxipo, Danzhou, Hainan Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 37(5): 45–52 (in Chinese with English abstract).
- Hao Xuefeng, Fu Xiaofang, Liang Bin, Yuan Linping, Pan Meng, Tang Yi. 2015. Formation ages of granite and X03 pegmatite vein in Jiajika, western Sichuan, and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 34(6): 1199–1208 (in Chinese with English abstract).
- Hong Rongchang. 2018. Sedimentary Evolution of the Dachaidan Salt Lake: Paleoclimatic Records of the Xifeng Belt and Genesis of the Magnesium Borate Deposit[D]. Xining: Qinghai Institute of Salt Lake, Chinese Academy of Sciences, 1–171 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiankang, Wang Denghong, Zhang Dehui. 2007. Formation Mechanism and Continental Dynamics Background of Pegmatite Type Deposits in Western Sichuan[M]. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese).
- Li Jiankang, Wang Yonglei, Sun Yan. 2012. The petrochemical features and Rb-Nb-Y potential of the Xiaojiang granitic intrusion, Guidong, Hunan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 350–356 (in Chinese with English abstract).
- Li P, Li J K, Chou I M, Wang D H, Xiong X. 2019. Mineralization epochs of granitic rare-metal pegmatite deposits in the Songpan-Ganzê orogenic belt and their implications for orogeny[J]. *Minerals*, 9: 280.
- Li P, Li J K, Liu X, Li C, Huang Z B, Zhou F C. 2020. Geochronology and source of the rare-metal pegmatite in the Mufushan area of the Jiangnan orogenic belt: A case study of the giant Renli Nb-Ta deposit in Hunan, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 116: 103237.
- Li Shenghu, Li Jiankang, Zhang Dehui, Wan Guilong. 2015. The evolution of ore-forming fluid and its constrain to the ore-forming process in Limu Ta-Nb-Sn polymetallic ore deposit, Guangxi, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(4): 954–966 (in Chinese with English abstract).
- Li Yulong, Qi Changwei, Chai Yun, Wang Chengyong, Zhao Mingfu, Ma Wen. 2018. Geochemical characteristics and ore prospecting potentials in southern Tatalenghe, Delingha City, Qinghai Province[J]. *Gold*, 39(7): 144–147 (in Chinese with English abstract).
- Lou Fasheng, Shen Weizhou, Wang Dezi, Shu Liangshu, Wu Fujiang, Zhang Fangrong, Yu Jinhai. 2005. Zircon U-Pb geochronology of the Wugongshan dome complex granite in Jiangxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(5): 636–644 (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- Lü Fenglin. 2018. Evolution of Sedimentary Environment and Effect of Salt Resources in Lop–Nur Area since Late Cenozoic[D]. Beijing: China University of Geosciences, 1–183 (in Chinese with English abstract).
- Ma Lichun, Huang Hua, Zhang Lianyuan, Liu Chenglin, Sun Mingguang, Niu Lei. 2015. Characteristics of Paleogene deep potassium–rich brines in the Qianjiang Depression, Hubei Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(11): 226–233 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Wang Denghong, Peng Cong. 1998. Ore forming of Mesozoic polymetallic deposits in South China and its relationship with mantle plume[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 17(2): 130–132 (in Chinese with English abstract).
- Meng Qingxiu. 2014. Geochronological Study and Tectonic Significance of the Neoproterozoic Lengjiaxi Group and Banxi Group in the Middle of the Jiangnan Orogenic Belt[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1–46 (in Chinese with English abstract).
- Roger F, Malavieille J, Leloup P H, Calassou S, Xu Z. 2004. Timing of granite emplacement and cooling in the Songpan–Garzê fold belt (Eastern Tibetan Plateau) with tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22(5): 465–481.
- Shen Ganfu. 2002. Weathering crust of Baihuanao granite: A potential superlarge–scale Rb, Cs, Y, Sc, Quartz and albite ore deposit[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 21(3): 182–184 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi, Charvet J, Sun Yan. 1995. Plate Tectonics and Collision Orogeny in the Middle Part of Jiangnan[D]. Nanjing: Nanjing University Press (in Chinese).
- Sun Yan. 2013. Study on Typical Rb Deposits and Their Metallogenic Tectonic Setting in China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–180 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chenghui, Xu Jue, Huang Fan, Chen Zhenghui, Ying Lijuan, Liu Shanbao. 2014. Resources characteristics and outline of regional metallogeny of gold deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2315–2325 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chunlian, Huang Hua, Wang Jiuyi, Xu Haiming, Yu Xiaocan, Gao Hao, Meng Lingyang, Cai Yinrui, Yan Kai, Fang jingling. 2018. Geological features and metallogenic model of K– and Li–rich brine ore field in the Jiangling Depression[J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(8): 1630–1646 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, Sheng Jifu, Zhu Mingyu, Liu Xifang, Zhang Changqing, Wang Chenghui, Wang Yonglei. 2013. Prediction type of mineral resources and its application in the assessment work of mineral resources potential[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 43(4): 1092–1099 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Liu Lijun, Hou Jianglong, Dai Hongzhang, Yu Yang, Dai Jingjing, Tian Shihong. 2017. A preliminary review of the application of "Five levels+Basement" model for Jiajika–style rare metal deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 24(5): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang. 1998. Sudden formation of Chaerhan Salt Lake and great changes of surface system: According to ostracods[J]. *Acta Geomechanica Sinica*, 4(4): 82–87 (in Chinese).
- Wang Ruijiang, Wang Denghong, Li Jiankang, Sun Yan, Li Dexian. 2015. Rare Earth Rare and Scattered Mineral Resources and Their Development and Utilization[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Chen Xin, Zhang Fengfeng, Sun Ziming. 2017. Formation and evolution of the Jiangnan Orogen[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(5): 714–735 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guozhong, Wang Denghong, Hu Yaoguo, Wang Chenghui. 2014. Metallogenic ages of two types of tungsten deposits in northern Guangdong: A case study of Miantuwo and Heshangtian[J]. *Geotectonics and Metallogeny*, 38(2): 325–333 (in Chinese with English abstract).
- Wu H H, Huang H, Zhang Z C, Wang T, Guo L, Zhang Y H, Wang W. 2020. Geochronology, geochemistry, mineralogy and metallogenic implications of the Zhaojinggou Nb–Ta deposit in the northern margin of the North China Craton, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 125: 103692.
- Xie Junjun, Yang Li. 2018. Characteristics of rare metal resources such as lithium in Yifeng area[J]. *World Nonferrous Metals*, (21): 94–97 (in Chinese).
- Xu Haiming, Zou Tianren, Fang jingling, Xu Jue, Fan Li, Wang Jun. 2012. Metallogenic epoch and genesis of Boziguoer Nb–Ta deposit in Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 31(S1): 625–626 (in Chinese).
- Xu Xinwen. 2009. Types, characteristics and prospecting direction of niobium tantalum deposits in Qinghai Province[J]. *Western Exploration Engineering*, 3: 144–147 (in Chinese).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui. 2008. Metallogenic Belt Division Scheme of China[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Xuan Yisa, Yuan Shunda, Yuan Yabin, Mi Jiaru. 2014. Zircon U–Pb age, geochemical characteristics and genesis of Jianfengling pluton, southern Hunan[J]. *Mineral Deposits*, 33(6): 1379–1390 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fuquan, Zhang Zhongli, Wang Rui, Li Qiang, Ding Jiangang, Su Zhenhua, Ma Kun. 2018. Geological characteristics and mineralization of rare metal deposits in Altay, Xinjiang[J]. *Geotectonics and Metallogeny*, 42(6): 1010–1026 (in Chinese with English abstract).
- Yang Tao. 2018. Study on the Geochemical Characteristics and Genesis of Hede Tungsten Tin Polymetallic Deposit in Sichuan[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 1–68 (in Chinese with

- English abstract).
- Yin Fei. 2016. Study on Groundwater Chemistry in Southwest Sichuan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–74 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Xiaojun, Wang Chuanli, He Jianping. 2004. Characteristics and exploration prospecting of the super-large Shananbang tantalum deposit, Suzhou[J]. *Geology and Prospecting*, 40(1): 31–35 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin, Bai Ge. 2001. Temporal and spatial distribution of Endogenic rare and rare earth mineral deposits of China[J]. *Mineral Deposits*, 20(4): 347–354 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fushen, Zhong Bin, Xu Jin. 2018. Geological characteristics of altered vein type Nb–Ta deposit in Jiuling area, Jiangxi Province: a case study of Dongxi Nb–Ta deposit[J]. *China Metal Bulletin*, (7): 297–298 (in Chinese).
- Zhang H F, Parrish R, Zhang L, Xu W C, Yuan H L, Gao S, Crowley Q G. 2006. Association of granitic magmatism in the Songpan–Garze fold belt, eastern Tibet Plateau: Implication for lithospheric delamination[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(18): A734.
- Zhang Tianfu, Zhang Chao, Guo Shuo, Xin Houtian, Zhang Yun, He Peng, Liu Wengang, Zhang Kuo, Liu Chuanbao, Wang Kexiang, Zhang Chao. 2019. Genesis and evolution of Weilasituo highly differentiated granitoids in the southern part of the Great Xing'an Mountains and their constraints on Sn–(Li–Rb–Nb–Ta) polymetallic mineralization[J]. *Earth Sciences*, 44(1): 248–267 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yong, Ma Dongsheng, Xu Zhe, Zhao Haibo, Zhu Likuan. 2019. Re–Os age of molybdenite from Yashan 414 tantalum lithium deposit and its prospecting significance[C]//The Ninth National Symposium on metallogenic theory and prospecting methods, 180–181 (in Chinese).
- Zhao Yuanyi, Han Jingyi, Guo Lihe, Qian Zuohua, Zhou Yongzhang, Nie Fengjun, Li Zhenqing. 2008. Characteristics and geological significance of mineralogy and fabrics for the hot spring cesium deposit occurring within the Targejia district, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 519–530 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuanyi, Zhao Xitao, Ma Zhibang, Deng Jian. 2010. Chronology of the Gulu hot spring cesium deposit in Nagqu, Tibet and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(2): 211–220 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Fangchun, Li Jiankang, Liu Xiang, Li Peng, Huang Zhibiao, Shi Weike, Su Junnan, Chen Hu, Huang Xiaoqiang. 2019. Geochemical characteristics and genetic significance of ore bodies in Renli Nb–Ta deposit, Hunan Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(6): 1392–1404 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xiping, Qi Huawen, Qu Wenjun, Li Chao. 2017. Re–Os isotopic dating of molybdenite in Xinqi W–Sn polymetallic deposit, Yunnan Province and its geological significance[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 37(1): 84–92 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jingping. 2008. Metallogenic control and metallogenic regularity of Xiangyuan polymetallic ore field, Hunan Province[J]. *Guide to Land and Resources*, 5(4): 40–43 (in Chinese).
- Zhu Zhenzhen, Liu Xiaoxi, Wang Yuan, Wu Nanchuan, Bin Wenliang. 2019. Geological characteristics and ore-controlling factors of Tungsten–Lead–Zinc deposit in the Xianghuapu mining area, Hunan[J]. *Mineral Exploration*, 10(12): 2943–2952 (in Chinese with English abstract).
- Zou Tianren, Li Qingchang. 2006. Rare and Rare Earth Metal Deposits in Xinjiang, China[J]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

附中文参考文献

- 白宗海, 林浩, 李善平, 陈秉芳, 白建海, 付军, 金婷婷. 2018. 青海三江北段草陇伟晶岩型锂多金属矿特征及成因分析[J]. *青海大学学报*, 36(4): 86–93.
- 陈思. 2014. 安徽贵池牯牛降复式岩体成岩作用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 1–103.
- 陈毓川, 常印佛, 裴荣富. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2010a. 全国重要矿产和区域成矿规律研究技术要求[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 王登红, 李厚民. 2010b. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 王登红. 2012. 华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题[J]. *大地构造与成矿学*, 36(3): 315–321.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 黄凡. 2014. 华南区域成矿和中生代岩浆成矿规律概要[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 219–229.
- 代鸿章, 王登红, 刘丽君, 于扬, 代晶晶, 付小方. 2018. 川西甲基卡308号伟晶岩脉年代学和地球化学特征及其地质意义[J]. *地球科学*, 43(10): 3664–3681.
- 董普, 肖荣阁. 2005. 铍盐应用及铍(碱金属)矿产资源评价[J]. *中国矿业*, 14(2): 30–34.
- 付旭, 吕古贤, 寇利民, 李泊洋, 姜大伟, 王磊, 高树起. 2020. 内蒙古维拉斯托锂锡多金属矿含矿构造变形岩相分带和分布[J]. *地质通报*, 39(11): 1752–1758.
- 郭秀红, 郑绵平, 刘喜方, 卞贞, 卜令忠. 2008. 西藏盐湖卤水铍资源及其开发利用前景[J]. *盐业与化工*, 37(3): 8–13.
- 郝贵宝, 方维萱, 郭玉乾, 曹经纬. 2017. 海南儋州文溪坡钨多金属矿段裂隙构造与钨富集成矿关系[J]. *矿物学报*, 37(5): 45–52.
- 郝雪峰, 付小方, 梁斌, 袁瀚平, 潘蒙, 唐屹. 2015. 川西甲基卡花岗岩和新三号矿脉的形成时代及意义[J]. *矿床地质*, 34(6): 1199–1208.
- 洪荣昌. 2018. 大柴旦盐湖沉积演化——西风带古气候记录及镁硼酸盐矿床成因[D]. 西宁: 中国科学院青海盐湖研究所, 1–171.
- 李建康, 王登红, 张德会. 2007. 川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景[M]. 北京: 原子能出版社.
- 李建康, 王永磊, 孙艳. 2012. 湖南桂东小江花岗岩体: 一个潜在Rb–Nb–Y矿床的岩石化学特征及其成矿远景[J]. *大地构造与成矿学*, 36(3): 350–356.

- 李胜虎, 李建康, 张德会, 万贵龙. 2015. 广西栗木钽铌锡多金属矿床的成矿流体演化及其对成矿过程的制约[J]. 岩石学报, 31(4): 954-966.
- 李玉龙, 祁昌炜, 柴云, 王成勇, 赵明福, 马文. 2018. 青海省德令哈市塔塔楞河南部地区地球化学特征及找矿前景[J]. 黄金, 39(7): 144-147.
- 楼法生, 沈渭洲, 王德滋, 舒良树, 吴富江, 张芳荣, 于淮海. 2005. 江西武功山穹隆复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 地质学报, 79(5): 636-644.
- 吕凤琳. 2018. 罗布泊地区晚新生代以来沉积环境演化及盐类资源效应[D]. 北京: 中国地质大学, 1-183.
- 马黎春, 黄华, 张连元, 刘成林, 孙明光, 牛磊. 2015. 湖北潜江凹陷古近系深层富钾卤水矿床特征及成因[J]. 地质学报, 89(11): 226-233.
- 毛景文, 李红艳, 王登红, 彭聪. 1998. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 17(2): 130-132.
- 孟庆秀. 2014. 江南造山带中段新元古代冷家溪群、板溪群年代学研究及构造意义[D]. 成都: 成都理工大学, 1-46.
- 沈致富. 2002. 百花脑花岗岩风化壳: 潜在超大型的铷、铯、钇、铀、石英和钠长石矿床[J]. 矿物岩石地球化学通报, 21(3): 182-184.
- 舒良树, 施央申, 郭令智, J Charvet, 孙岩. 1995. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京: 南京大学出版社.
- 孙艳. 2013. 我国铷典型矿床及其成矿构造背景研究[D]. 北京: 中国地质大学, 1-180.
- 王成辉, 徐珏, 黄凡, 陈郑辉, 应立娟, 刘善宝. 2014. 中国金矿资源特征及成矿规律概要[J]. 地质学报, 88(12): 2315-2325.
- 王春连, 黄华, 王九一, 徐海明, 余小灿, 高超, 孟令阳, 蔡芑睿, 颜开, 方景玲. 2018. 江陵凹陷富钾锂卤水矿田地质特征及成藏模式研究[J]. 地质学报, 92(8): 1630-1646.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 盛继福, 朱明玉, 刘喜方, 张长青, 王成辉, 王永磊. 2013. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4): 1092-1099.
- 王登红, 刘丽君, 侯江龙, 代鸿章, 于扬, 代晶晶, 田世洪. 2017. 初论甲基卡式稀有金属矿床"五层楼+地下室"勘查模型[J]. 地学前缘, 24(5): 1-7.
- 王强. 1998. 察尔汗盐湖的突然形成与地表系统巨变——据介形类研究[J]. 地质力学学报, 4(4): 82-87.
- 王瑞江, 王登红, 李建康, 孙艳, 李德先. 2015. 稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用[M]. 北京: 地质出版社.
- 王孝磊, 周金城, 陈昕, 张凤凤, 孙梓铭. 2017. 江南造山带的形成与演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 36(5): 714-735.
- 武国忠, 王登红, 胡耀国, 王成辉. 2014. 粤北两类钨矿的成矿时代——以棉土窝和禾尚田为例[J]. 大地构造与成矿学, 38(2): 325-333.
- 谢军军, 杨莉. 2018. 宜丰地区含锂等稀有金属矿产资源特征[J]. 世界有色金属, (21): 94-97.
- 徐海明, 邹天人, 方景玲, 徐珏, 樊莉, 王军. 2012. 新疆波孜果尔钽铌矿成矿床时代及成因研究[J]. 矿床地质, 31(S1): 625-626.
- 徐新文. 2009. 青海省钽铌矿类型、特征及找矿方向[J]. 西部探矿工程, 21(3): 144-147.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社.
- 轩一撒, 袁顺达, 原垭斌, 弥佳茹. 2014. 湘南尖峰岭岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因[J]. 矿床地质, 33(6): 1379-1390.
- 杨富全, 张忠利, 王蕊, 李强, 丁建刚, 苏振华, 麻坤. 2018. 新疆阿尔泰稀有金属矿地质特征及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 42(6): 1010-1026.
- 杨涛. 2018. 四川赫德钨锡多金属矿床地球化学特征及矿床成因研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 1-68.
- 尹菲. 2016. 四川盆地西南地区地下卤水水化学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-74.
- 袁晓军, 王传礼, 何坚平. 2004. 苏州善安浜超大型钽矿地质特征及找矿前景[J]. 地质与勘探, 40(1): 31-35.
- 袁忠信, 白鹤. 2001. 中国内生稀有稀土矿床的时空分布[J]. 矿床地质, 20(4): 347-354.
- 张福神, 钟斌, 徐进. 2018. 江西省九岭地区蚀变岩脉型钽铌矿床地质特征——以东溪钽铌矿为例[J]. 中国金属通报, (7): 297-298.
- 张天福, 张超, 郭硕, 辛后田, 张云, 何鹏, 刘文刚, 张阔, 刘传宝, 王可祥, 张超. 2019. 大兴安岭南段维拉斯托高分异花岗岩体的成因与演化及其对 Sn-(Li-Rb-Nb-Ta) 多金属成矿作用的制约[J]. 地球科学, 44(1): 248-267.
- 张勇, 马东升, 徐喆, 赵海波, 朱黎宽. 2019. 雅山 414 钽锂辉钨矿铼钼年龄及找矿意义[C]// 第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会, 180-181.
- 赵元艺, 韩景仪, 郭立鹤, 钱作华, 周永章, 聂凤军, 李振清. 2008. 西藏搭格架热泉型铯矿床矿物学与矿石组构特征及地质意义[J]. 岩石学报, 24(3): 519-530.
- 赵元艺, 赵希涛, 马志邦, 邓坚. 2010. 西藏谷露热泉型铯矿床年代学及意义[J]. 地质学报, 84(2): 211-220.
- 周芳春, 李建康, 刘翔, 李鹏, 黄志彪, 石威科, 苏俊男, 陈虎, 黄小强. 2019. 湖南仁里钽铌矿床矿体地球化学特征及其成因意义[J]. 地质学报, 93(6): 1392-1404.
- 周新平, 戚华文, 屈文俊, 李超. 2017. 云南新岐钨锡多金属矿床辉钨矿 Re-Os 同位素测年及地质意义[J]. 矿物学报, 37(1): 84-92.
- 朱京平. 2008. 湖南湘源多金属矿田成矿控制和成矿规律[J]. 国土资源导刊, 5(4): 40-43.
- 朱真真, 刘晓曦, 王元, 吴南川, 宾文梁. 2019. 湖南香花铺矿区钨铅锌矿床地质特征及控矿因素[J]. 矿产勘查, 10(12): 2943-2952.
- 邹天人, 李庆昌. 2006. 中国新疆稀有及稀土金属矿床[M]. 北京: 地质出版社.