

浙江矿产时空分布规律综述

黄国成,程海艳,李翔,陈小友

浙江省地质调查院,杭州,311203

内容提要:通过对浙江省主要矿产的矿床数量、规模、矿产组合时间演化以及成矿分带性、丛聚性等特征的分析与归纳,概要总结了浙江省矿产资源的时空分布规律。通过系统收集和整理浙江省同位素成矿年龄资料,建立起全省成矿年代学谱系,并结合大地构造演化,将浙江省的成矿活动划分了5个时段。通过矿床数量、矿床规模以及矿产组合对比分析各时段的成矿信息和演化特征,构建了成矿时间演化图。依据浙江省矿产资源空间分布特征,将浙江省划分了4个Ⅲ级成矿带和7个Ⅳ级成矿亚带,从成矿密度和成矿强度的角度探讨各Ⅳ级成矿亚带矿床的分布规律。其中成矿密度划分了1个高密度区、4个中密度区和2个低密度区,综合矿产成矿强度划分了3个强成矿强度区、1个中成矿强度区和3个弱成矿强度区,以此为找矿方向和规划部署提供新思路。

关键词:成矿年代学谱系;矿化组合演化;成矿密度;成矿强度

近年来浙江省的找矿实践表明,找矿工作的难度日益加大,地表矿近乎绝迹。而老矿山资源逐年消耗,逐个步入危机矿山之列。如何在“绿色矿业”的新形势下,保持优势矿产的资源地位,实现劣势矿产找矿突破,保障地方矿产资源战略储备,亟需加强对成矿规律的认识,树立理论找矿、模式找矿的意识,积极探索深部找矿空间。

浙江省成矿规律研究的思想萌芽于我国古代,古人在进行长期的矿产开采实践活动中逐渐总结出一些朴素的地质找矿认识。近代,随着地质矿产调查的开展和逐步深入,前人对成矿规律的研究和认识也在不断加深。早期,对成矿规律的研究往往局限于对单一矿床(Zheng Renlai et al., 1984; Hua Jiexiong et al., 2000)、单一矿种(Lü Huijin, 2002; Huang Guocheng et al., 2015)、单一类型(Zhu Ping et al., 1994)或单一区域(Qiu Hongkun et al., 1998)的研究。这些研究成果加深了单矿种的成矿规律研究水平,为后期全省性成矿综合矿种的规律总结提供了素材。随着矿床成矿系列理论兴起与发展(Cheng Yuqi et al., 1979, 1983; Chen Yuchuan et al., 2006, 2015, 2016),在浙江省内逐步加强了对同一成矿作用下形成的矿床之间相互联系的研究,

并建立了浙江省金属非金属矿床成矿系列和矿床成矿谱系(朱安庆等, 2009; 吴小勇等, 2013^①)。在前人的成矿规律研究和总结中,普遍强调矿床的成矿地质背景、控矿因素以及物质来源等,而对矿床产出最基本的时空分布规律的研究偏弱。而矿床时空分布规律的研究对认识矿床的形成、演化至关重要,对找矿预测和勘查部署也具有重要意义。成矿密度和成矿强度是评价一个地区或地质建造成矿有利度的重要指标(Chi Shundu, 1999),已得到了初步应用(Yang Ping, 1991; 王登红等, 2001; Wang Yan et al., 2018)。本文引入了成矿密度与成矿强度两个概念来讨论矿床的时空分布规律,可以有效去除人为因素的干扰,以单位面积内的矿床数量和资源储量来客观评价研究区的成矿作用强弱,即可为矿床时空分布规律研究提供了新的思路,也可进一步提高浙江省矿床时空分布规律的研究水平,对浙江省成矿规律的总结,具有重要的理论意义和现实意义。

1 资源概况

浙江位于滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)扬子成矿省的北东端,省内地层较发育,构

注:本文为中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号 DD20160346)和“中国矿产地质志·浙江卷”委托业务的资助成果。

收稿日期:2019-11-01;改回日期:2019-12-15;网络发表日期:2019-12-17;责任编辑:周健。

作者简介:黄国成,男,1981年生。高级工程师,博士,主要从事矿产资源调查评价及成矿规律研究。Email:dafengem@sina.com。

引用本文:黄国成,程海艳,李翔,陈小友. 2020. 浙江矿产时空分布规律综述. 地质学报, 94(1):102~112, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020121.

Huang Guocheng, Cheng Haiyan, Li Xiang, Chen Xiaoyou. 2020. An overview of the spatiotemporal distribution regularity of minerals in Zhejiang Province. Acta Geologica Sinica, 94(1):102~112.

造岩浆活动强烈,变质作用剧烈,成矿条件良好。全省矿产资源总体表现为“非金属矿产丰富、金属矿产不足、能源矿产匮乏”的特征。截止目前,已发现矿种 109 种,其中有探明储量的 67 种。金属矿产主要为铁、铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、汞、金、银、稀土等,资源总体欠丰,矿床规模以小型为主,鲜有中大型矿床。非金属矿产资源丰富,以萤石、明矾石、叶蜡石、伊利石、硅灰石、沸石、石灰石、花岗岩、大理岩、珍珠岩和高岭土、膨润土、硅藻土为代表的“十块石头三把土”,是浙江省的优势非金属矿产。其中叶蜡石、明矾石探明资源储量位居全国之首,单一萤石、伊利石名列全国第二,硅藻土名列全国第三,沸石位居全国第四。排名全国第五到第十的矿产有硅灰石、高岭土、大理岩、珍珠岩、膨润土等。能源矿产主要包括煤、石煤、铀等,其中铀矿是浙江省又一优势矿种,尤以陆相火山岩型铀矿最为丰富,是全国铀矿的重要产区之一;而煤和石煤因资源枯竭和环境问题已无开采。

2 时间分布规律

2.1 成矿年代学谱系与成矿时段

成矿年代学研究是区域成矿规律研究的重要内容之一,也是确定成矿时代、划分成矿期次的重要依据,其中同位素年代学研究为成矿年代学提供了一个重要依据。“矿床成矿年代谱系”指的是通过系统的同位素年代学研究,查明一定区域内不同类型矿

床的成矿时代,梳理其成矿演化的历史关系,最后以“谱系”的方式把成矿规律表达出来(王登红等,2014)。

浙江省的同位素年代学研究也大致从 20 世纪 80 年代开始起步,经历了 30 多年的发展历程,为典型矿床研究、区域成矿规律总结积累了一批宝贵的数据。30 年来同位素年代学测试方法得到大幅改进。20 世纪 80 年代,浙江省主要流行的是 K-Ar 法测年(叶伯舟等,1986;梁修睦等,1986^①);90 年代,Rb-Sr 法(Lu Wuchang et al., 1990;李华芹等,1993;Wang Denghong et al., 2010)和 Sm-Nd 法(韩文彬等,1991)、裂变径迹法(韩文彬等,1991)测年逐步引入省内;进入 21 世纪,锆石 U-Pb 的 SHRIMP(Ye Meifang et al. 2007;Tang Zengcai et al., 2014;Wang Keqiang et al., 2015;Tang Zengcai et al., 2016)和 LA-ICP-MS(Wang Xiaolei et al., 2012;Li Zilong et al., 2013;Jin Qinghua et al., 2015)技术得到快速发展。近期,在公开刊物上偶尔也能看到少量关于浙江省 Re-Os 法的测试数据(Li Yanjun et al., 2011;Zhang Jianfang et al., 2015;Zhang Shiming et al., 2013;Chen Lei et al., 2013;Wang Haibao et al., 2016)。前人在同位素年代学方面的工作为浙江省成矿年代学谱系的建立奠定了基础。本次工作共收集了 67 个矿床 98 个与成矿时代有关的同位素年龄数据,建立了浙江省成矿年代学谱系图(图 1)。

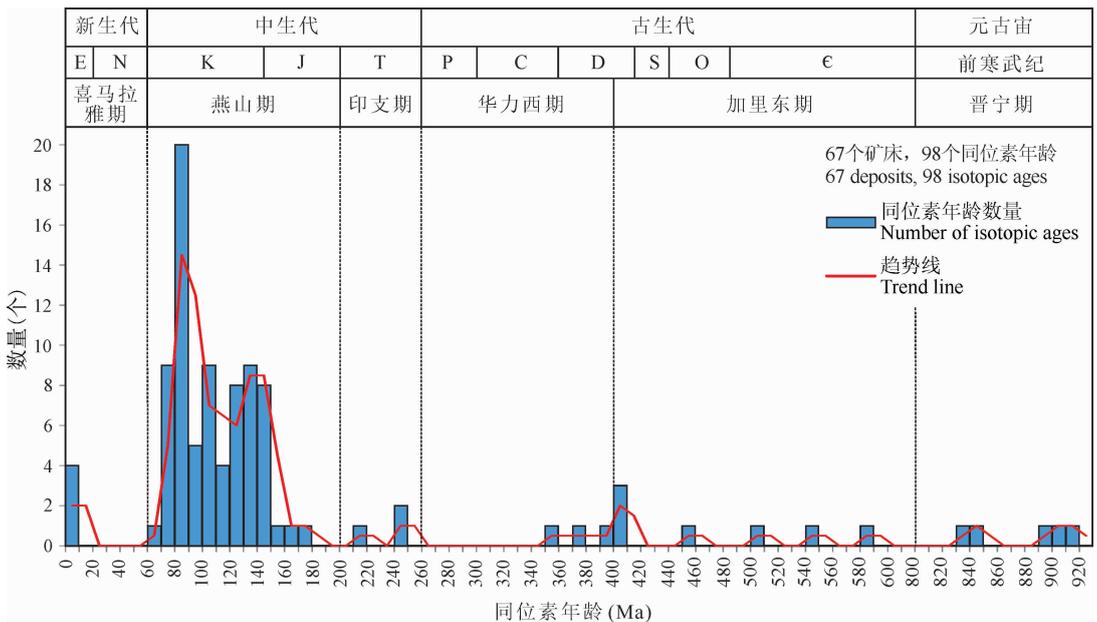


图 1 浙江省矿床成矿年代谱系图

Fig. 1 The mineralization chronology pedigree of mineral deposit in Zhejiang Province

由图1可见,浙江省矿床形成具有时间跨度大、发育不平衡的特点。根据浙江省地史发展演化阶段划分,除中条期属于初始陆壳形成阶段,暂无明确的成矿同位素年龄资料外,从晋宁期到喜马拉雅期的每个阶段均有不同程度的成矿显示。

前寒武纪成矿同位素年龄来源于绍兴西裘铜矿和诸暨石角铁矿,年龄数据介于830~920Ma,反映了青白口纪古华南洋板块向扬子克拉通俯冲形成了一系列大陆边缘弧和洋内弧过程中,构造事件与成矿作用的耦合关系。洋陆俯冲形成平水洋内弧,发育了平水组火山岩和桃红岩体、西裘岩体等中酸性侵入岩,其中平水组细碧角斑岩中赋存了海底喷流沉积的硫化物矿床。该时期,在绍兴诸暨地区发现岛弧型超基性岩浆岩侵入,岩体本身富Fe、V等元素,构成低品位的铁矿。

古生代的成矿年龄较分散,自350~590Ma之间断续分布,从成矿年代谱系图的年龄趋势线可见在加里东晚期至华力西早期有一个明显的峰值,该时期的成矿强度较大。古生代成矿年龄来自于Pb、Zn、Cu、Au等矿床,主要分布于武夷地块与扬子克拉通的碰撞拼合带中,成矿作用包括混合岩化变质作用和韧性剪切动力变质作用,这与该时期的构造运动相吻合。加里东晚期陆陆碰撞达到顶峰,成矿作用也相对集中。

中生代成矿是浙江省最广泛最密集的一次成矿作用,成矿同位素年龄数据占全省80%,包含印支和燕山两期构造活动。印支期构造运动相对较弱,仅有少量印支期岩体附近发育岩浆期后热液型矿床。燕山期岩浆侵入、火山喷发活动强烈,形成了大批金属、非金属矿产,也获得了大量的同位素年龄数据。从成矿年龄谱系图趋势线上明显可见在燕山期成矿年龄有两个峰值,分别位于早白垩世早期及晚

白垩世。早白垩世早期主要在浙西北地区形成岩浆期后热液型黑色金属、有色金属矿产,而晚白垩世则在浙东南地区形成大量萤石矿、金银等陆相火山岩型矿床。这个结果与浙江省中生代岩浆、火山活动的时空演化规律一致,总体由北西向南东成岩年龄有不断变新的趋势。

新生代成矿年代学研究较为局限,仅在嵊州浦桥硅藻土矿中获得了4个新近纪的成矿年龄。但它代表了中国东部新生代一次重要的构造运动和成矿事件。

根据浙江省地壳演化的主要构造运动、矿床产出的时间分布及成矿同位素年代学谱系特征,将矿床成矿期划分为:前寒武纪成矿期、早古生代成矿期、晚古生代成矿期、中生代成矿期和新生代成矿期五个时段(详见表1)。

2.2 成矿时间演化

本文根据浙江省矿产资源的情况,优选主要金属矿产铁、铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、汞、金、银、稀土和优势非金属矿产硫铁矿、萤石、叶蜡石、沸石、明矾石、石灰岩、硅藻土、高岭土、伊利石、膨润土、珍珠岩、凝灰岩等,共计24种矿产597处矿床来讨论成矿时间演化特征。

2.2.1 矿床数量与规模演化

根据矿床的成矿时代,统计得到浙江省主要金属、非金属矿产矿床成矿时代分布图(图2)。

由图2可见,浙江省金属矿产在加里东期和燕山期有两个成矿高峰期,其中加里东期主要为区域变质作用形成的Pb、Zn、Au等矿产,分布于江山-绍兴拼接带及其两侧;燕山期为与岩浆活动有关的金属矿产,全省均有分布,占全省金属矿产矿床总数的82%。非金属矿产在华力西和燕山期有两个成矿高峰期,其中华力西期主要为与沉积作用有关的碎屑

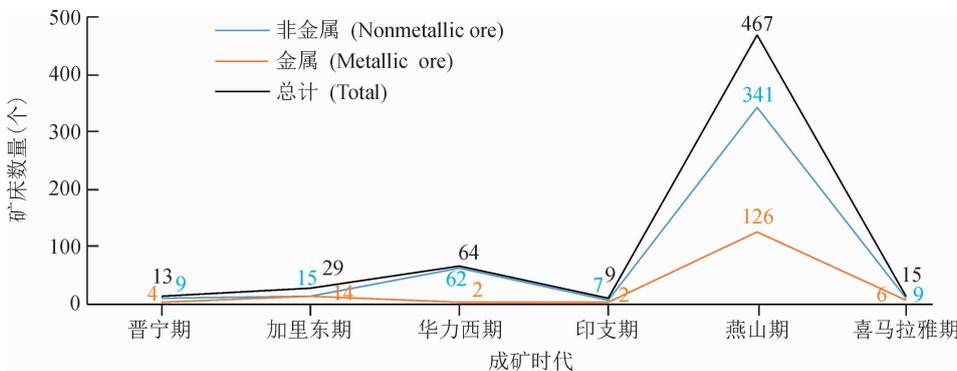


图2 浙江省主要矿产矿床成矿时代统计图

Fig. 2 Statistical chart of metallogenic period of major mineral deposits in Zhejiang Province

表 1 浙江省成矿时代划分表

Table 1 Classification of metallogenic period in Zhejiang Province

成矿期	地质年代	构造旋回	距今年龄 (Ma)	主要矿种	主要矿床类型	代表性矿床
新生代成矿期	第四纪	喜马拉雅构造旋回	2.58	浅成天然气、泥炭、金、锡、稀土、锆石、铌、钽、硅藻土等	风化型、砂矿型、生物化学沉积型	诸暨街亭砂金矿、庆元荷地稀土矿、嵊州浦桥硅藻土矿
	新近纪		23.03			
	古近纪		66.0			
中生代成矿期	白垩纪	印支-燕山构造旋回	145.0	铁、金、银、铜、铅、锌、钨、钼、锡、锑、汞、硼、砷、萤石、黄铁矿、沸石、膨润土、明矾石、高岭土、伊利石、叶蜡石、普通建筑石材矿等	陆相火山岩型、岩浆热液型、接触交代型、斑岩型、岩浆型	绍兴漓渚铁矿、遂昌冶岭头金矿、黄岩五部铅锌矿、临安夏色岭钨矿、青田石平川钼矿、泰顺洋滨锡矿、遂昌湖山萤石矿、龙游溪口黄铁矿、平阳矾山明矾石矿、缙云靖岳沸石矿、临安平山膨润土矿、青田山口叶蜡石矿、温州渡船头伊利石矿
	侏罗纪		201.3			
	三叠纪		251.9			
晚古生代成矿期	二叠纪	华力西构造旋回	298.9	煤、铜、铅、锌、金、硫铁矿、石灰岩	化学沉积型、海相沉积-叠改型	长兴煤山煤矿、建德岭后铜矿、富阳铁坞口铅锌矿、建德石马头石灰岩矿
	石炭纪		358.9			
	泥盆纪		419.2			
早古生代成矿期	志留纪	加里东构造旋回	443.8	金、铅、锌、钼、银、钨、磷、硫铁矿、石灰岩	浅成中-低温热液型、受变质型、化学沉积型	诸暨璜山金矿、龙泉乌岙铅锌矿、诸暨七湾铅锌矿、桐庐东溪磷矿、常山灰埠石灰岩矿
	奥陶纪		485.4			
	寒武纪		541.0			
前寒武纪成矿期	震旦纪	晋宁构造旋回	630	铁、金、铜、铅、锌、明矾石、黄铁矿、磷	机械沉积型、化学沉积型、海相火山岩型、陆相火山岩型、受变质型	淳安合富黄铁矿、绍兴西裘铜矿、萧山岩山明矾石黄铁矿、龙泉青坑铁矿
	南华纪		820			
	青白口纪		1000			
	蓟县纪		1600			
	溇沱纪					

岩、碳酸盐岩矿产,广泛分布于浙西北古生代地层覆盖区;燕山期主要为与火山活动有关的非金属矿产,主要分布于浙东南火山岩覆盖区,浙西北在余杭—湖州一带也有少量分布,占全省非金属矿产矿床总数的 77%。总体而言,浙江省的矿床数量演化从晋宁期—加里东期—华力西期—印支期保持相对平稳,到燕山期,达到一个成矿大爆发,浙江省矿床数量达到顶峰,之后进入喜马拉雅期,成矿作用明显减弱,矿床数量回落至燕山期之前的各成矿时段。

从矿床的规模来看(图 3),超大型矿床产于燕山期和华力西期,分别占 80%和 20%;大型和中型矿床主要产于燕山期和华力西期,其中大型矿床在燕山期和华力西期分别占 53%和 27%,中型矿分别占 70%和 18%;小型矿床主要产于燕山期,独占 85%。

2.2.2 矿产组合演化

浙江省的成矿时代从晋宁期持续到喜马拉雅期,燕山期为鼎盛时期,受成矿地质背景和成矿地质条件的控制,矿化组合也发生了明显的规律性变化。

浙江省主要矿产的矿化组合演化见图 4。

由图 4 可见,浙江省的矿产组合演化总体呈“树状发散”,以江山-绍兴对接带为“树干”向两侧发散壮大。江山-绍兴对接带及其北西侧边缘在晋宁期开始成矿,形成一系列与火山-热水-沉积作用有关的 Cu、Au、Fe、叶蜡石、明矾石、硫铁矿、磷及碳酸盐岩矿床。浙西北加里东期—印支期主要形成与海相沉积作用有关的磷、石煤、重晶石、煤及碳酸盐岩矿床,燕山期则主要形成与陆缘岩浆侵入作用有关的 Fe、W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Sb、Ag、硼、硫、萤石等矿床;浙东南加里东期主要形成与区域变质作用有关的铅锌矿床,印支期—燕山期大规模形成与陆缘火山作用有关的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、珍珠岩、沸石、叶蜡石、明矾石、高岭土、伊利石、萤石矿床。当然,进入燕山期后,岩浆侵入岩成矿作用和火山喷发成矿作用并不是在浙西北和浙东南决然分开,相互也有穿插,如在浙西北也可形成陆相火山岩型的膨润土矿床,在浙东南也形成了大量岩浆期后热液型的钼矿、萤石矿等。

乌镇断裂带为界,进一步划分为长江中下游成矿带、武功山-杭州湾成矿带 2 个Ⅲ级成矿带;华南成矿省以丽水-余姚断裂带为界进一步划分为浙中-武夷成矿带和浙闽粤沿海成矿带 2 个Ⅲ级成矿带。在以上 4 个Ⅲ级成矿带的划分基础上,还可进一步划分出泗安-长兴、天目山、下庄-芳村、开化-杭州、常山-诸暨、龙泉-慈溪和温州-宁波 7 个Ⅳ级成矿亚带(图 5)。

3.2 成矿分带性特征

成矿分带是含矿流体运移过程中,由于物化条件的变化导致矿物、矿石的成分、结构等呈带状产出的特征,可分为水平分带和垂直分带。通过对浙江省矿产空间展布规律研究发现,在矿田、矿床、矿脉

不同尺度上,都有矿化分带特征。

矿田尺度的矿化蚀变分带性多以岩浆期后热液矿床为主,如以淳安大铜坑、临安学川岩体为中心,具有明显的成矿水平分带特征,总体上成矿元素围绕成矿岩体呈现明显的水平分带性,岩体及岩体附近为 W、Mo、Cu 等中高温成矿元素,远离岩体为 Pb、Zn、Ag、F 等中低温成矿元素。

矿床与矿脉尺度的矿化蚀变分带较为普遍,前者如建德岭后铜矿具有下部富 Cu,上部富 Pb、Zn 的分带性特征;后者如浙东南火山热液充填型萤石矿脉自上而下普遍具有硅化→萤石矿化→碳酸盐化蚀变分带等。

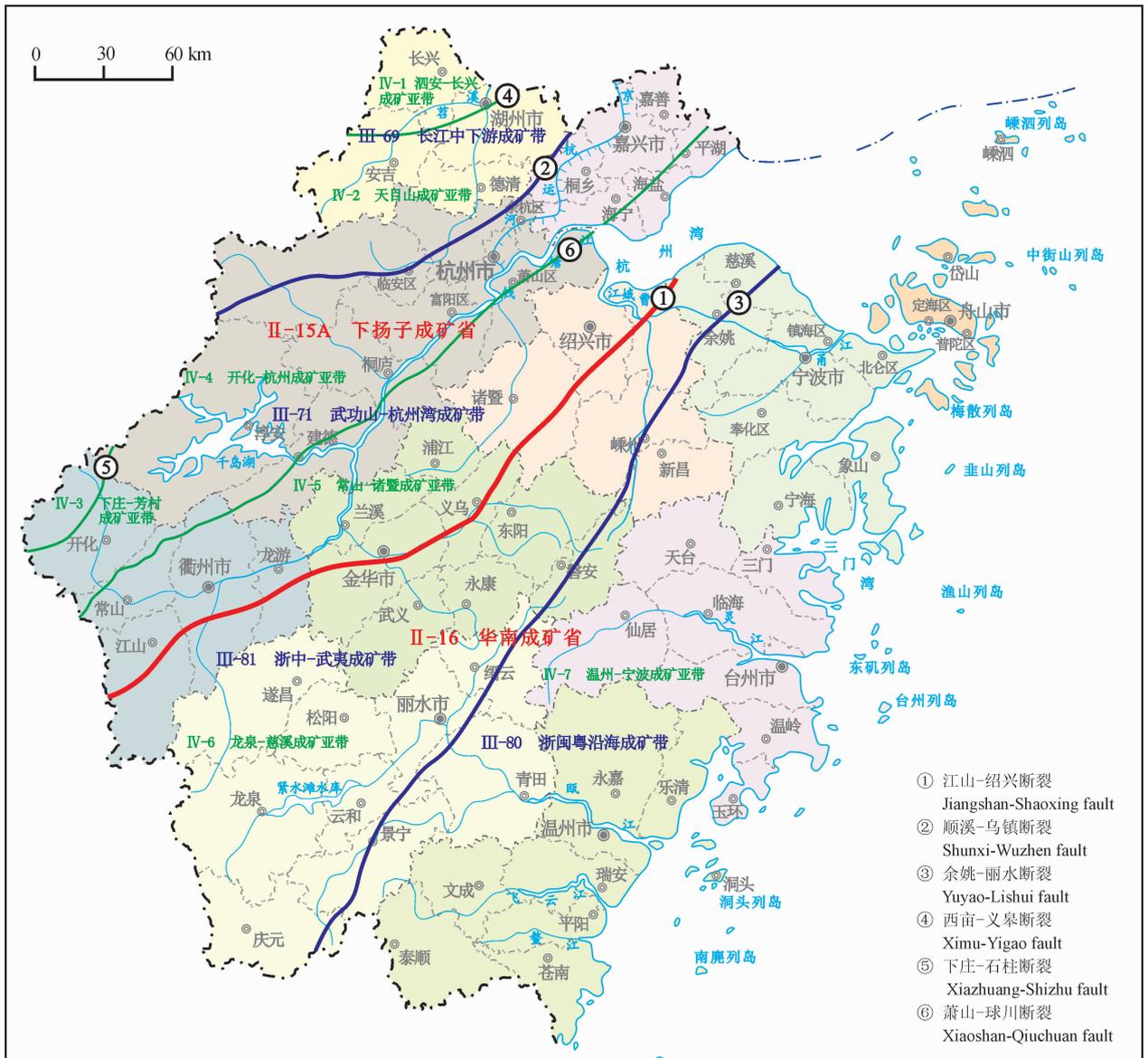


图 5 浙江省Ⅳ级成矿亚带划分示意图

Fig. 5 Division of IV grade mineralization sub-belt in Zhejiang Province

3.3 成矿丛聚性特征

成矿丛聚性特征可以用成矿密度、成矿强度信息来表述,它们是评价一个地区或地质建造成矿有利度的重要指标(Chi Shundu, 1999)。成矿密度(Md)即单位面积产出矿产地的数量:

$$Md = N/S \quad (1)$$

成矿强度(MI)指单位面积产出的矿产资源量(Wang Yan et al., 2018):

$$MI = M/S \quad (2)$$

式中: N 为某地区矿产地数量; S 为某地区面积; M 为某地区矿产资源量。

3.3.1 成矿密度特征

根据式(1)的计算结果,浙江省各Ⅳ级成矿亚带主要金属、非金属矿产成矿密度统计情况见图6。统计结果表明,浙江省各Ⅳ级成矿亚带总体成矿密度的大小取决于非金属矿产成矿密度的大小,即从已发现的矿床数量上来说,浙江省以非金属矿产为

主导,金属矿产所占比重较低。

浙江省7个Ⅳ级成矿亚带中综合成矿密度大致可分高中低为三类:第一类高密度区,分布于泗安-长兴成矿亚带(Ⅳ-1),是全省成矿密度最大的Ⅳ级成矿亚带,导致该地区成矿密度变大的原因有二,其一是该Ⅳ级成矿亚带面积较小,其二是该地区的有丰富的石灰岩矿床;第二类中密度区,包括开化-杭州(Ⅳ-4)、常山-诸暨(Ⅳ-5)、龙泉-慈溪(Ⅳ-6)、温州-宁波(Ⅳ-7)四个Ⅳ级成矿亚带,以江山-绍兴拼接带为中心,向两侧延伸,总体覆盖范围占据了大半个浙江,是浙江省主要金属、非金属矿产的重要产区;第三类低密度区,包括天目山(Ⅳ-2)和下庄-芳村(Ⅳ-3)两个Ⅳ级成矿亚带,矿床产出的数量较少,远达不到全省综合密度均值线。

3.3.2 成矿强度特征

根据式(2)的计算结果显示,各单矿种在Ⅳ级成矿亚带中的成矿强度各有特色,其中金属矿产成矿

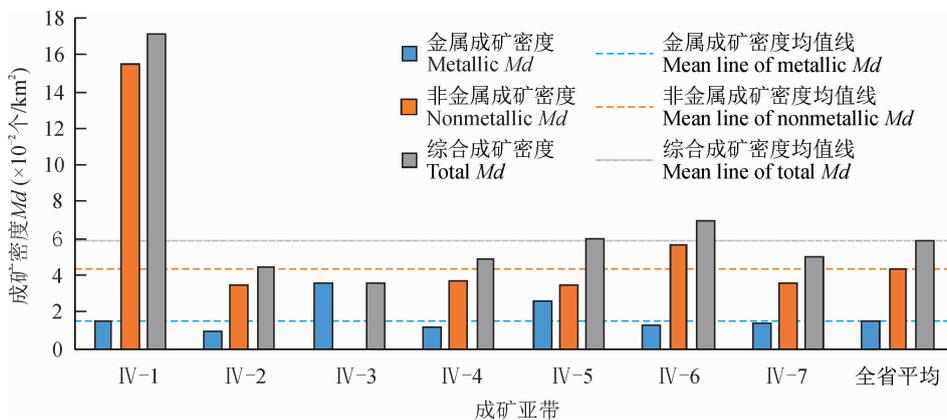


图6 浙江省主要金属非金属矿产Ⅳ级成矿亚带成矿密度统计图

Fig. 6 Statistical chart of metallogenic density of major metallic and nonmetallic mineral in IV grade mineralization sub-belt in Zhejiang Province

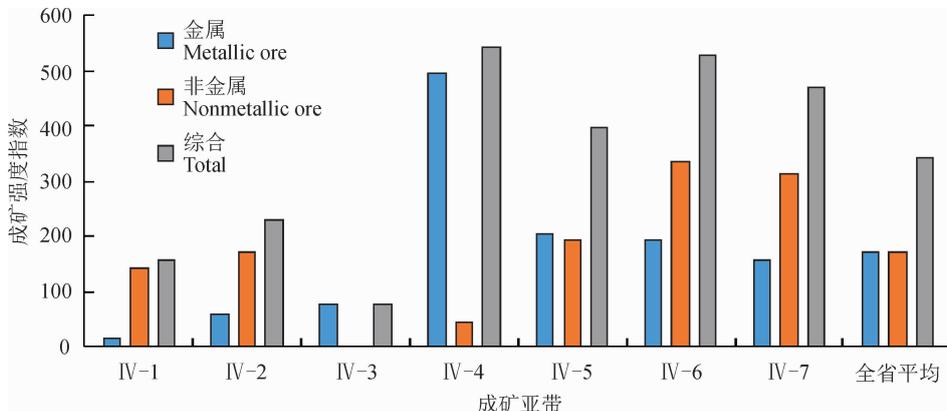


图7 浙江省主要矿产Ⅳ级成矿亚带成矿强度指数统计图

Fig. 7 Statistical chart of metallogenic intensity index of major metallic and nonmetallic mineral in IV grade mineralization sub-belt in Zhejiang Province

高强度区主要集中在Ⅳ-4、Ⅳ-5、Ⅳ-6 成矿亚带中, Pb-Zn、W-Sn-Mo 两个矿种组具有一定的相关性, 成矿强度变化较为一致; 非金属矿产总体而言Ⅳ-6、Ⅳ-7 成矿亚带为成矿高强度区, 各矿种之间成矿强度差异较大, 仅叶蜡石—明矾石之间成矿强度变化较为一致。根据各单矿种在Ⅳ级成矿亚带中成矿强度的数值, 可折算为单矿种在每个Ⅳ级成矿亚带中成矿强度所占百分比, 再将每个Ⅳ级成矿亚带中各单矿种的成矿强度百分比累加, 即可得到每个Ⅳ级

成矿亚带的成矿强度指数。通过成矿强度指数的大小即可判断所在区域综合成矿强度的强弱(图 7)。

由图 7 可见, Ⅳ-4、Ⅳ-6、Ⅳ-7 三个成矿亚带的综合成矿强度超过全省均值, Ⅳ-5 成矿亚带的综合成矿强度接近全省均值, 其余地区综合成矿强度小于全省均值。按照各Ⅳ成矿亚带成矿强度指数方差计算, 将方差 $\geq 30\%$ 的地区归为强成矿强度区; 方差介于 $-30\% \sim 30\%$ 之间的归为中成矿强度区; 方差 $\leq -30\%$ 的归为弱成矿强度区(表 2)。

表 2 浙江省主要金属、非金属矿产Ⅳ级成矿亚带成矿强度指数分级

Table 2 Metallogenic intensity index classification of major metallic and nonmetallic mineral in Ⅳ grade mineralization sub-belts in Zhejiang Province

成矿强度指数分级	金属矿产	非金属矿产	综合矿产	方差判别标志
强成矿强度区	Ⅳ-4	Ⅳ-6、Ⅳ-7	Ⅳ-4、Ⅳ-6、Ⅳ-7	$\geq 30\%$
中成矿强度区	Ⅳ-5、Ⅳ-6、Ⅳ-7	Ⅳ-1、Ⅳ-2、Ⅳ-5	Ⅳ-5	$-30\% \sim 30\%$
弱成矿强度区	Ⅳ-1、Ⅳ-2、Ⅳ-3	Ⅳ-3、Ⅳ-4	Ⅳ-1、Ⅳ-2、Ⅳ-3	$\leq -30\%$

因而, Ⅳ-4、Ⅳ-6、Ⅳ-7 为强成矿强度区, 分布于浙西被动大陆边缘盆地以及整个浙东南火山岩区, 是浙江省矿产勘查和资源开发的重要区域。其中Ⅳ-4 成矿亚带中主要为燕山期岩浆作用成矿数量多, 包括 Fe、Pb、Zn、Ag、萤石等, 另外还有大量石灰岩矿床分布; Ⅳ-6、Ⅳ-7 成矿亚带内分布大量的燕山期陆相火山岩型萤石矿以及凝灰岩建筑石料矿, 加上陆相火山岩型铅锌、金银和一批规模较大的明矾石、叶蜡石、高岭土等非金属矿床的产出, 使得该地区成矿强度变大。Ⅳ-5 为中成矿强度区, 分布于江山-绍兴对接带中, 区内金属和非金属矿产均有大量产出, 但总体规模较小。Ⅳ-1、Ⅳ-2、Ⅳ-3 为弱成矿强度区, 分布于浙北临安—湖州以及开化石耳山地区, 区内矿床数量有限, 规模较小, 以小型矿床为主, 因而, 成矿强度指数偏低。

4 结语

浙江省重要金属、非金属矿产的时空分布规律, 总体上表现为: 从早到晚, 成矿环境由海相到陆相, 矿产种类由简单到复杂, 成矿空间由浙中向两侧发展。

(1) 无论从成矿数量、成矿规模, 还是从矿产组合演化上看, 燕山期都是浙江最重要的成矿时段, 产出的矿床数量占全省的 78%。

(2) 矿化组合的演化, 从早到晚, 金属矿产由有色金属→有色金属、贵金属→有色金属、贵金属、黑色金属逐步丰富; 非金属矿产则有海相火山岩型→海相沉积型→陆相沉积型→陆相火山岩型→表生型

演化。

(3) 成矿的分带性特征在矿田、矿床和矿脉的不同尺度中均有表现, 尤其在矿床和矿脉范围内表现得更为普遍。

(4) 以Ⅳ级成矿区带为单位, 划分了 1 个高成矿密度区、4 个中成矿密度区和 2 个低成矿密度区; 根据综合矿产成矿强度划分了 3 个强成矿强度区、1 个中成矿强度区和 3 个低成矿强度区。

(5) 开化-杭州成矿亚带(Ⅳ-4)为金属矿产成矿强度最大的地区, 龙泉-慈溪(Ⅳ-6)和温州-宁波(Ⅳ-7)成矿亚带为非金属矿产成矿强度最大的地区。这三个成矿亚带不仅是目前矿产资源最丰富的地区, 也是今后找矿勘查工作重点部署的地区。另外, 常山-诸暨成矿亚带(Ⅳ-5)金属、非金属矿产成矿强度均较丰富, 也是一个找矿勘查潜力区。

致谢: 本文依托“中国矿产地质志·浙江卷”研编工作整理而成, 代表了项目组集体工作成果。在写作过程中还得到了“浙江省区域地质志”项目组吴小勇教授级高工、余盛强高工、唐增才高工、董学发高工、赵旭东高工的倾情相助。成稿后, 中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员对文章的修改完善提出了专业性意见。现对各位专家、同事的热情帮助以及审稿专家的悉心指导一并表示衷心的感谢。

注 释

① 吴小勇, 袁强, 黄国成, 董学发, 李翔, 罗以达, 朱建龙, 杨海翔, 康占军, 邹霞, 谢斌, 陈国锋. 2013. 浙江省矿产资源潜力评价成果报

告. 浙江省地质调查院, 1238~1245.

- ② 梁修睦, 陈璐芳, 顾仁发. 1986. 与花岗岩侵入有关的浙西北若干萤石矿床成因研究. 浙江省第一地质大队, 49~50.

References

- Chen Lei, Wang Zongqi, Zhao Yuanyi, Liu Yan, Cao Jie, Ding Li, Qu Wenjun. 2013. Re-Os isotopic dating of pyrrhotite in the Linghou Cu deposit, Jiande, Zhejiang Province and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 87(12): 1864~1873 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. 2006. On minerogenetic (metallogetic) series; third discussion. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1501~1508 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong, Wang Pingan. 2015. Natural classification of mineral deposits; Discussion on minerogenetic series of mineral deposits (IV). *Mineral Deposits*, 34(6): 1092~1106 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong, Huang Fan. 2016. Minerogenetic series for mineral deposits; discussion on minerogenetic series (V). *Acta Geoscientia Sinica*, 37(5): 519~527 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits. *Bulletin Chinese Academy of Geological Sciences*, 1(1): 32~58 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming, Song Tianrui. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits. *Bulletin Chinese Academy of Geological Sciences*, 6(2): 1~66 (in Chinese with English abstract).
- Chi Shundu. 1999. Application of GIS to the quantitative analysis of ore-forming intensity and extensity—a case study from the ore-forming analysis of strata along the Lancang River valley. *Journal of Graduate School, China University of Geoscience*, 13(3): 323~328 (in Chinese with English abstract).
- Hua Jiexiong, Cheng Shaohua, Mao Weixiong, Den Xingeng. 2000. Structural controls of mineral localization and mineral deposit model of Zhilingtou gold-silver deposit. *Gold Science and Technology*, 8(4): 27~35 (in Chinese with English abstract).
- Huang Guocheng, Zhang Yongshan, Cheng Haiyan. 2015. A study of regional metallogenic regularity and prospecting direction of fluorite deposits in Zhejiang Province. *Mineral Deposits*, 34(6): 1209~1222 (in Chinese with English abstract).
- Jin Qinghua, Li Chunlin, Wang Zongxiu. 2015. Geochronological and geochemical characteristics of the Jingning Intrusion, Zhejiang Province. *Geological Bulletin of China*, 34(2/3): 456~465 (in Chinese with English abstract).
- Li Yanjun, Wei Junhao, Wu gang, Tan jun, Jiang Yongjian, Fu Lebing, Qu Wenjun, Lou Wangping, Xie Changcai. 2011. Re-Os dating of molybdenite from the Maoduan lead-zinc polymetallic deposit in southwestern Zhejiang Province and its geological significance. *Earth Science*, 36(2): 289~298 (in Chinese with English abstract).
- Li Zilong, Zhou Jing, Mao Jianren, Santoshe M, Yu Minggang, Li Yinqi, Hu Yizhou, Langmuir C H, Chen Zhongxing, Cai Xiongxiang, Hu Yanhua. 2013. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of two episodes of granitoids from the northwestern Zhejiang Province, SE China; Implication for magmatic evolution and tectonic transition. *Lithos*, 179: 334~352.
- Lu Wuchang, Yang Shaoquan, Zhang Pin. 1990. Isotope investigation of Yucun fluorite ore in Deqin County, Zhejiang Province. *Minerals and Rocks*, 10(2): 77~81 (in Chinese with English abstract).
- Lü Huijing. 2002. The geological characteristics and types of cause for formation of the alunite deposits in Zhejiang Province. *Geology of Chemical Minerals*, 24(3): 146~150 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Hongkun, Liang Xiumu. 1998. Metallogenic law of volcanic silver deposits in southeastern Zhejiang. *Geology of Zhejiang*, 14(1): 29~34 (in Chinese with English abstract).
- Tang Zengcai, Chen Zhongda, Hu Wenjie, Dong Xuefa, Wu Xiongyong, Yuan Qiang. 2016. Geochronology and geochemistry of Mesozoic intrusive rocks in the Yuhang-Lin'an-Fuyang Region, west Zhejiang and their geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 90(3): 451~467 (in Chinese with English abstract).
- Tang Zengcai, Dong Xuefa, Hu Wenjie, Meng Xiangsui, Rong Yiping. 2014. Shrimp zircon U-Pb dating of Xianlin granodiorite rock in Western Zhejiang and their geological significance. *Geoscience*, 28(5): 884~892 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenhui, Chen Yuchuan, Tang Juxing, Li Jiankang, Ying Lijuan, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Li Lixing, Qin Yan, Li Huanqin, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Chen Wen, Zhang Yan. 2010. New data of the rock-forming and ore-forming chronology for China's important mineral resources areas. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1030~1040 (in Chinese with English abstract).
- Wang Haibao, Jia Baojian, Shao Xinyu, Jin Chong, Cai Xiongxiang, Chen Zhiguo, Yan Yutong, Qian Junfeng, Zhu Xiaoya. 2016. Metallogenic epoch of the Panjia Cu-W-Mo polymetallic ore deposit in Chun'an, Zhejiang Province. *Bulletin of Science and Technology*, 32(4): 32~37 (in Chinese with English abstract).
- Wang Keqiang, Zhang Dehui, Wang Chensheng, Yin Xiaobo, Zhu Yudi, Fu Fen. 2015. Petrogenesis and metallogeny of Yinkeng porphyry Mo deposit in Jinhua, Zhejiang: the evidence from the petrology, petrogenochemistry, isotopes and shrimp zircon U-Pb dating. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 357~367 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolei, Shu Xujie, Xing Guangfu, Xie Siwen, Zhang Chunhui, Xia Han. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the Shijiao-Huangshan intrusive rocks in Zhuji area, Zhejiang Province; implications for the petrogenesis of the ultramafic orbicular rocks. *Geological Bulletin of China*, 31(1): 75~81 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yan, Wang Denghong, Sheng Jifu, Huang Fan, Chen Zhenghui. 2018. Quantitative analysis of metallogenic density and intensity of tungsten in China. *China Tungsten Industry*, 33(1): 17~31 (in Chinese with English abstract).
- Yang Ping. 1991. Analysis of mineralization intensity of primary ore deposits in Gejiu east area. *Mineral Geology in Southwest China*, 5(4): 39~45 (in Chinese with English abstract).
- Ye Meifang, Li Xianhua, Li Wuxian, Liu Ying, Li Zhengxiang. 2007. SHRIMP zircon U-Pb geochronological and whole-rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block. *Gondwana Research*, 12(1~2): 144~156.
- Zhang Jianfang, Chen Meijun, Xie Huaisheng, Gong Ruijun, Zhu Bixian, Wang Longwu, Xu Xingmiao. 2015. Metallogenic types, age and prospecting potential of iron polymetallic deposits associated with igneous rocks at Lizhu district, northwestern Zhejiang Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 39(4): 647~657 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shiming, Xiao Yuanfu, Wang Qiang, Zhang Xuehui, Yang Ling, Wang Yuliang, Zhang Chunmao. 2013. Re-Os dating of molybdenite from the Tongcun porphyry molybdenum deposit in western Zhejiang Province and its geological implications. *Geology and Exploration*, 49(1): 50~57 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Renlai, Xie Congzhi. 1984. A preliminary study of the distribution of silver in the Wubu Pb-Zn deposit Zhejiang Province. *Mineral Deposits*, 3(1): 19~26 (in Chinese with English abstract).

Zhu Ping, Wan Naiyu. 1994. Unique of gold ore-deposit in gold-ore zone of quartz diorite along Shaoxing-Jiangshan zone. *Geology of Zhejiang*, 10(2): 33~44 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 陈雷,王宗起,赵元艺,刘妍,曹洁,定立,屈文俊. 2013. 浙江建德岭后铜矿磁黄铁矿 Re-Os 年代学特征及成矿意义. *地质学报*, 87(12):1864~1873.
- 陈毓川,裴荣富,王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题. *地质学报*, 80(10):1501~1508.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,王平安. 2015. 论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题. *矿床地质*, 34(6):1092~1106.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,黄凡. 2016. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题. *地球学报*, 37(5):519~527.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题. *中国地质科学院院报*, 1(1):32~58.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题. *中国地质科学院院报*, 6(2):1~66.
- 池顺都. 1999. 应用 GIS 进行成矿强度和广度的定量分析——以云南澜沧江流域地层成矿分析为例. *现代地质*, 13(3):323~328.
- 韩文彬,马承安,王玉荣. 1991. 萤石矿床地质及地球化学特征——以浙江武义矿田为例. 北京:地质出版社,82~130.
- 华杰雄,陈少华,毛伟雄,邓新根. 2000. 治岭头金银矿床控矿构造因素及成矿模式. *黄金科学技术*, 8(4):27~35.
- 黄国成,张永山,程海艳. 2015. 浙江省萤石矿床区域成矿规律与找矿方向研究. *矿床地质*, 34(6):1209~1222.
- 金庆花,李春麟,王宗秀. 2015. 浙江景宁岩体岩石地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄. *地质通报*, 34(2~3):456~465.
- 李华芹,刘家齐,魏琳. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京:地质出版社,1~114.
- 李艳军,魏俊浩,伍刚,谭俊,蒋永建,付乐兵,屈文俊,楼望平,谢常才. 2011. 浙西南毛断铅锌多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义. *地球科学*, 36(2):289~298.
- 卢武长,杨绍全,张平. 1990. 德清庾村萤石矿的同位素研究. *矿物岩石*, 10(2):77~81.
- 吕惠进. 2002. 浙江省明矾石矿床地质特征及其成因类型. *化工矿产地质*, 24(3):146~150.
- 邱鸿坤,梁修睦. 1998. 浙东南火山银矿成矿规律. *浙江地质*, 14(1):29~34.
- 唐增才,陈忠大,胡文杰,董学发,吴小勇,袁强. 2016. 浙西余临富交界区中生代侵入岩年代学、地球化学特征及其地质意义. *地质学报*, 90(3):451~467.
- 唐增才,董学发,胡文杰,孟祥随,荣一萍. 2014. 浙西闲林岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. *现代地质*, 28(5):884~892.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案. 北京:地质出版社,1~138.
- 杨坪. 1991. 个旧东区原生矿床的矿化强度分析. *西南矿产地质*, 5(4):39~45.
- 叶伯舟,申永志,朱杰辰. 1986. 全国同位素地质年龄数据汇编(第四集). 北京:地质出版社,436~469.
- 王登红,陈毓川,杨建民. 2001. 试论成矿强度与喜马拉雅期成矿大爆发. 北京:地震出版社,4~29.
- 王登红,陈郑辉,陈毓川,唐菊兴,李建康,应丽娟,王成辉,刘善宝,李立兴,秦燕,李华芹,屈文俊,王彦斌,陈文,张彦. 2010. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据. *地质学报*, 84(7):1030~1040.
- 王登红,李华芹,屈文俊,等. 2014. 全国成矿成岩年代谱系. 北京:地质出版社,1~438.
- 王海宝,贾宝剑,邵新宇,金宠,蔡雄翔,陈志国,严育通,钱俊锋,朱晓亚. 2016. 浙江淳安潘家铜钨钼多金属矿床成矿年代及其地质意义. *科技通报*, 32(4):32~37.
- 王科强,张德会,王晨昇,印贤波,朱玉娣,付芬. 2015. 浙江金华银坑斑岩型钼矿床的成岩成矿作用:来自岩石学、岩石地球化学、同位素与锆石 Shrimp U-Pb 年代学的证据. *地学前缘*, 22(3):357~367.
- 王孝磊,舒徐洁,邢光福,谢思文,张春晖,夏晗. 2012. 浙江诸暨地区石角-横山侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄——对超镁铁质球状岩成因的启示. *地质通报*, 31(1):75~81.
- 王岩,王登红,盛继福,黄凡,陈郑辉. 2018. 中国钨矿成矿密度和成矿强度的定量分析. *中国钨业*, 33(1):17~31.
- 张建芳,陈美君,解怀生,龚瑞君,祝必贤,汪隆武,许兴苗. 2015. 浙西北滴渚地区与岩浆岩有关铁多金属矿床类型、成矿时代及找矿前景. *大地构造与成矿学*, 39(4):647~657.
- 张世铭,肖渊甫,王强,张雪辉,杨玲,王瑜亮,张春茂. 2013. 浙江省桐村钼矿床 Re-Os 同位素年龄及地质意义. *地质与勘探*, 49(1):50~57.
- 郑人来,谢从智. 1984. 浙江五部铅锌矿床中银分布规律的初步探讨. *矿床地质*, 3(1):19~26.
- 朱安庆,张永山,陆祖达. 2009. 浙江省金属非金属矿床成矿系列和成矿区带研究. 北京:地质出版社,1~433.
- 朱平,王乃雨. 1994. 绍兴—江山对接带石英闪长岩金矿带矿化规律独特性. *浙江地质*, 10(2):33~44.

An overview of the spatiotemporal distribution regularity of minerals in Zhejiang Province

HUANG Guocheng* , CHENG Haiyan, LI Xiang, CHEN Xiaoyou

Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou, 311203

** Corresponding author: dafengem@sina.com*

Abstract

Based on the synthesis of quantity, scale, mineral assemblage evolution, mineralization zonation, and the clusters of major mineral deposit data in Zhejiang Province, a summary of the spatiotemporal distribution of mineral resources was prepared. Systematic compilation and organization of the isotope metallogenic age data has also enabled establishment of the mineralization chronology pedigree in Zhejiang Province. Subsequently, by integrating this data with the tectonic evolutionary history, the metallogenic activities were divided into 5 periods. The metallogenic information and evolution characteristics of each period were analyzed on the basis of number and scale of mineral deposits and intercomparison of mineral assemblages to construct a metallogenic evolution diagram. Based on the spatial distribution characteristics of mineral resources, the Zhejiang Province was divided into 4 III grade metallogenic belts and 7 IV grade metallogenic sub-belts. From the metallogenic density and intensity perspective, spatial distribution regularities of IV grade metallogenic sub-belt are discussed. Metallogenic density was divided into 1 high density zone, 4 medium density zones, and 2 low density zones. The comprehensive metallogenic intensity was divided into 3 strong metallogenic intensity zones, 1 medium metallogenic intensity zone and 3 low metallogenic intensity zones. This overview provides new perspectives for future planning and prospecting.

Key words: mineralization chronology pedigree; mineralization assemblage evolution; metallogenic density; metallogenic intensity