

文章编号: 1004-4051(2024)04-0069-10

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20240443

# 基于大数据的中国稀散金属矿成矿规律 定量研究

王岩<sup>1</sup>, 李德先<sup>1</sup>, 刘家军<sup>2,3</sup>, 王成辉<sup>1</sup>, 黄凡<sup>1</sup>

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

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 地质大数据推动地球科学研究逐渐从定性研究向半定量研究、定量研究迈进。稀散金属(锗、镓、铟、铊、铋、碲、硒、碲)是我国的优势矿产资源, 因传统用途局限, 研究相对不足。本文通过对 759 处稀散金属矿床(点)资料的系统梳理, 定量分析了 542 处稀散金属矿产地(含矿点)的成矿密度、成矿强度及各成矿期稀散金属矿的成矿强度问题。研究结果表明: 中国稀散金属矿床空间分布广泛但相对集中, 可划分为七大主要资源集中区; 广西、云南矿床(点)数量最多(61 处), 云南资源储量最大( $24 \times 10^4$  t), 河南是稀散金属矿成矿密度最大、成矿强度最强的省份( $3.4$  处/ $10^4$  km<sup>2</sup>、 $8$  100 t/ $10^4$  km<sup>2</sup>)。中国稀散金属矿床时间分布不平衡, 燕山期是主要成矿阶段, 成矿密度最大达 2.3 处/Ma, 而喜马拉雅期成矿强度最强, 稀散金属资源储量超 4 000 t/Ma。划分了 18 个稀散金属矿集区, 兰坪-普洱(DM-J13)成矿强度最大。今后应加强稀散金属综合研究, 加强其地质找矿与开发利用, 促进新质生产力的形成与发展。

**关键词:** 稀散金属(锗、镓、铟、铊、铋、碲、硒、碲); 成矿规律; 大数据; 成矿强度; 新质生产力

中图分类号: TD-0; P617 文献标识码: A

## Quantitative research on metallogenic regularity of dispersed metals in China based on big data

WANG Yan<sup>1</sup>, LI Dexian<sup>1</sup>, LIU Jiajun<sup>2,3</sup>, WANG Chenghui<sup>1</sup>, HUANG Fan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Geological big data has promoted geoscience research from qualitative to semi-quantitative

收稿日期: 2024-03-25 责任编辑: 赵奎涛

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“中国矿产地质志”资助(编号: DD20221695, DD20190379); 科技部科技基础资源调查专项课题资助(编号: 2022FY101702); 中国地质调查局地质调查项目“战略新兴产业矿产地质调查工程”资助(编号: DD20230034); 中国地质调查局地质调查项目“天山-兴安中东段关键地区成矿系统与找矿预测”资助(编号: DD20240075, DD20243489)

第一作者简介: 王岩(1983—), 女, 博士, 研究员, 主要从事区域及关键矿产成矿规律研究及编图相关工作, E-mail: wangyan@mail.cgs.gov.cn。

通讯作者简介: 李德先(1969—), 女, 博士, 正高级工程师, 从事稀散金属及矿山环境研究, E-mail: dexianli2005@126.com。

引用格式: 王岩, 李德先, 刘家军, 等. 基于大数据的中国稀散金属矿成矿规律定量研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(4): 69-78.

WANG Yan, LI Dexian, LIU Jiajun, et al. Quantitative research on metallogenic regularity of dispersed metals in China based on big data[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(4): 69-78.

and quantitative. Dispersed metals including germanium(Ge), gallium(Ga), indium(In), thallium(Tl), rhenium(Re), cadmium(Cd), selenium(Se), tellurium(Te), although not widely recognized by the general public, are indeed valuable mineral resources in China. Based on the data of more than 759 dispersed metals deposits (points), the paper quantitatively analyzes the metallogenic density, intensity and ore-forming periods of 542 dispersed metals ore. The research shows that the dispersed metals in China have an obvious trend of spatiotemporal concentration distribution, and it can be divided into seven major resource concentration areas. Guangxi and Yunnan have the largest number of deposits (61). Yunnan has the largest resource reserves ( $24 \times 10^4$  t), and Henan is the province with the highest metallogenic density and strongest metallogenic intensity ( $3.4$  deposits/ $10^4$  km<sup>2</sup>,  $8\ 100$  t/ $10^4$  km<sup>2</sup>). The time distribution of dispersed metal deposits in China is unbalanced. Yanshanian stage is the main mineralization stage with the highest metallogenic density of 2.3 deposits/Ma, while Himalayan stage has the strongest metallogenic intensity and the reserves of dispersed metal resources exceed 4 000 t/Ma. The metallogenic intensity of Lanping-Pu'er (DM-J13) is the strongest among 18 dispersed metals ore concentration areas. In the future, it should strengthen the comprehensive study of dispersed metals, strengthen their geological prospecting, exploitation and utilization, and promote the formation and development of new quality productivity.

**Keywords:** dispersed metals (germanium, gallium, indium, thallium, rhenium, cadmium, selenium, tellurium); metallogenic regularity; big data; metallogenic intensity; new quality productivity

稀散金属指在地壳中平均含量低(一般为 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ ),且在岩石中极为分散的元素,归入金属矿产大类,包括锗(Ge)、镓(Ga)、铟(In)、铊(Tl)、铼(Re)、镉(Cd)、硒(Se)和碲(Te)8种,属于我国的优势矿产资源。稀散金属独立矿床非常少,如四川石棉大水沟碲矿、湖北恩施渔塘坝硒矿、贵州兴仁滥木厂汞铊矿、云南南华龙潭砷铊矿等,绝大多数是作为其他矿床的伴生组分出现,科学家们对稀散金属成矿进行了初步探讨<sup>[1-2]</sup>,开展了部分典型矿床研究<sup>[3-6]</sup>,对全国稀散金属矿时空分布、成矿规律等研究相对不足。

本文在充分搜集各地勘查、研究成果资料的基础上,按照《中国矿产地质志省级矿产地质志研编技术要求》,搜集整理了全国 542 处稀散金属矿产地

(含矿点)、759 处矿床(点)资料,构建了中国矿产地质志稀散金属矿成果数据库,对各矿产地的自然属性和地质特征进行了梳理,引入成矿密度和成矿强度等指标评价一个地区或地质建造成矿有利度<sup>[7]</sup>,定量研究中国稀散金属矿的成矿密度、成矿强度问题,可以更清晰地量化揭示中国稀散金属矿的成矿规律,并为稀散金属矿预测及找矿勘查工作部署提供重要依据。

## 1 中国稀散金属矿的资源概况

中国稀散金属矿分布广泛,全国除天津市、宁夏回族自治区外,29个省、市、自治区均有发现(未包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省)。稀散矿床(点)数量最多的省(区、市)依次是广西、云南、河南、贵州、湖南等(图 1),相对集中于中南地区

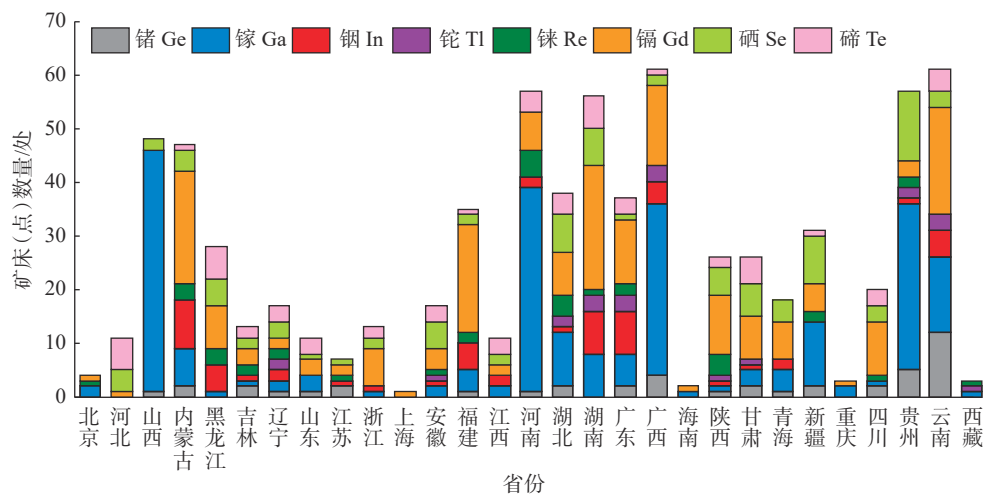


图 1 稀散矿床(点)数量的省级统计

Fig. 1 Provincial statistics of the quantity of dispersed metals ore (points)

和西南地区,其次是华北地区和西北地区。矿床(点)数量最多的稀散金属依次是镓、镉,其次是硒、碲、锗、铼和铊。矿床规模以中型、小型居多,但大型稀散金属矿床的资源量占比较大,大型矿床数占 16.75%,资源储量占 77.72%(图 2)。稀散金属资源储量最大的省份是云南,约  $24 \times 10^4$  t,其中镉资源储量

约  $20.8 \times 10^4$  t;随后依次是河南、广西、内蒙古、山西等省(区)。独立稀散金属矿床极少,以伴(共)生矿床为主。矿床类型多样,但主要矿床类型比较集中,以岩浆热液型、矽卡岩型、化学沉积型、浅成中-低温热液型、海相火山岩型为主。稀散金属矿床(点)特征见表 1。

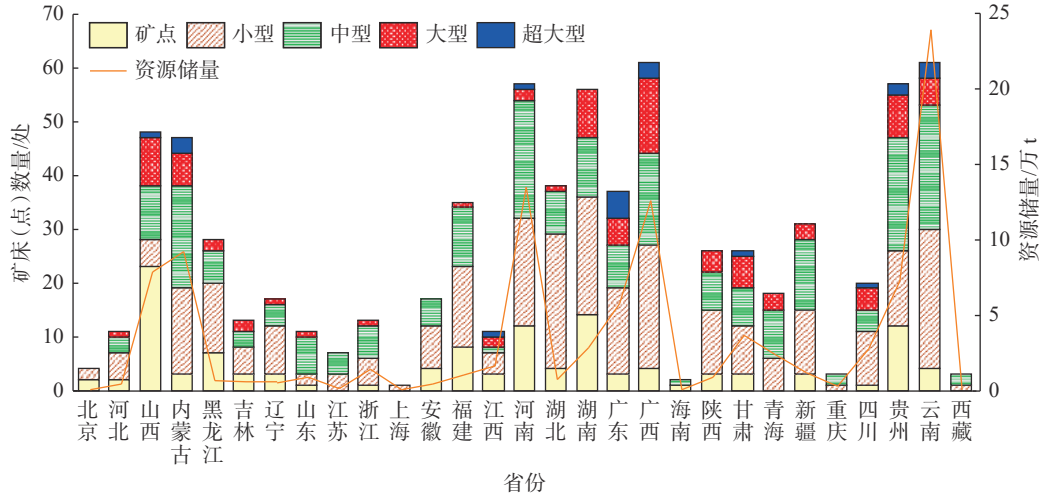


图 2 稀散矿床(点)规模的省级统计

Fig. 2 Provincial statistics of the size of dispersed metals ore (points)

表 1 稀散金属矿床(点)特征

Table 1 Characteristics of dispersed metals ore (points)

单位: 处

序号	矿种	矿床(点)	超大型	大型	中型	小型	矿点	分布主要省份	主要矿床类型	典型矿床
1	锗	44	5	8	15	12	4	云南、广西、贵州等	浅成中-低温热液型、生物化学沉积型	广东仁化凡口、内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎
2	镓	234	5	30	63	80	56	山西、河南、广西等	化学沉积型	内蒙古准格尔黑岱沟、贵州务川大竹园
3	锗	60	2	8	16	25	9	内蒙古、广东、湖南等	岩浆热液型、矽卡岩型	湖南浏阳七宝山、辽宁建昌八家子
4	铊	22	3	4	5	8	2	广东、湖南、云南等	岩浆热液型、浅成中-低温热液型	贵州兴仁滥木厂、安徽和县香泉
5	铼	36	0	7	17	10	2	河南、湖北、陕西等	斑岩型、矽卡岩型	四川乐山沐川、安徽泾县湛岭
6	镉	206	3	22	78	76	27	湖南、内蒙古、福建等	岩浆热液型、矽卡岩型、浅成中-低温热液型、海相火山岩型	贵州都匀牛角塘、广西南丹大厂、云南文山都龙
7	硒	94	1	9	29	44	11	贵州、新疆、湖北等	矽卡岩型、浅成中-低温热液型、岩浆型	湖北恩施双河(渔塘坝)、甘肃碌曲拉尔玛
8	碲	63	2	2	11	35	13	河北、黑龙江、湖南等	岩浆热液型、斑岩型	广东曲江大宝山、江西九江城门山、甘肃永昌白家咀子
总计		759	21	90	234	290	124			

1) 锗是中国优势资源之一,主要伴生于铅锌矿、煤矿、铜矿中,分布在云南、广西、内蒙古、贵州等 18 个省(区),资源储量也集中在内蒙古、贵州、云南等省(区);矿床类型以浅成中-低温热液型、生物化

学沉积型为主,代表性矿床有广东仁化县凡口铅锌伴生锗镉镓铟矿床、内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锗矿床、云南会泽县麒麟厂铅锌伴生锗镉矿床<sup>[8]</sup>等。

2) 镓矿分布在 26 个省(区),有矿床(点)230 余

处,是矿床(点)数量最多的分散金属矿,资源储量主要集中在广西、贵州、河南、山西、云南5省(区),这5省(区)的镓资源储量合计占全国镓资源储量的90%以上,其中,河南占全国的46%,其余省(区)的资源储量较少;矿床类型以化学沉积型为主,镓主要伴生于沉积铝土矿,代表性矿床有内蒙古准格尔黑岱沟超大型镓矿,也是中国发现的首个独立镓矿床。

3)中国钢矿均为伴生矿床,主要分布在云南、广东、内蒙古、湖南等19个省(区),其中,云南、广西、内蒙古、青海4个省(区)占全国钢资源总量的87%;矿床类型以岩浆热液型、矽卡岩型为主,代表性矿床有湖南浏阳市七宝山铜矿伴生钢矿床、辽宁建昌县八家子铅锌伴生钢镉矿床等。

4)铊资源丰富,但需求量极少,主要分布在广东、湖南、云南等11个省(区)<sup>[9]</sup>,目前已发现3个独立铊矿床<sup>[10]</sup>,其中,贵州兴仁县滥木厂汞铊矿床为世界上第一个发现的独立铊矿床;另外还有安徽和县香泉铊矿床、云南南华县龙潭铊矿床;云南铊资源储量约占全国的96.25%;矿床类型以岩浆热液型、浅成中-低温热液型为主。

5)铼资源主要伴生于钼矿或铜(钼)矿中,分布于河南、湖北、陕西等17个省(区),矿床类型以斑岩型、矽卡岩型为主,代表性的矿床有四川乐山市沐川铼钼矿床、安徽泾县湛岭钼伴生铼矿床等<sup>[11]</sup>。

6)中国的镉资源丰富,矿产地数量仅次于镓,主要集中在湖南、内蒙古、福建等27个省(区)。镉主要伴生在锌矿中,在已探明的伴生镉矿床中,大中型矿床占60%,所占资源储量为总储量的98%;矿床类型以岩浆热液型、矽卡岩型为主,代表性的矿床有贵州都匀市牛角塘锌镉矿床、广西南丹县大厂锡铅锌伴生镉矿床、云南文山州马关县都龙锡锌伴生钢镉矿床等<sup>[12]</sup>。

7)硒在自然界中可以形成独立硒矿床,鄂西南已发现双河(渔塘坝)独立硒矿<sup>[13]</sup>,另有贵州六盘水独立硒矿点。硒矿床(点)广泛分布在贵州、新疆、湖北等23个省(区),伴生硒矿床中的硒约占总储量的90%;矿床类型以矽卡岩型、浅成中-低温热液型、岩浆型为主。

8)中国现已探明伴生碲的储量居世界第三位;全国已发现碲矿床(点)主要分布在河北、黑龙江、湖南等20个省(区),但储量主要集中于广东(占全国总量的42%)、江西(41%)和甘肃(11%)3省,矿床类型以岩浆热液型、斑岩型为主,代表性伴生碲矿床有广东韶关市曲江县大宝山铜铅锌伴生碲铊镉碲矿

床、江西九江县城门山铜硫铁矿伴生碲镉铊矿床、甘肃永昌县白家咀子铜镍伴生硒碲矿床等。

## 2 中国分散金属矿的成矿规律

成矿密度是指单位面积产出矿产地的数量,可以用单位面积或单位时间所拥有的矿产地的数量来表示<sup>[7]</sup>。成矿强度则指矿化发育的强烈程度,可以用单位面积或单位时间所拥有的矿产资源量来表示。

### 2.1 分散金属矿的成矿密度

中国分散金属矿成矿密度等值线图反映了分散金属矿床(点)分布的数量和趋势,以及分散金属矿床(点)的分布状态。以每 $10^3 \text{ km}^2$ 面积产出矿产地的数量为背景值,圈定了分散金属矿床(点)分布的高背景值区(图3)。根据矿产资源的集中程度,全国分散金属矿可划分七大主要资源集中区:①滇黔地区,有丰富的镓、镉、硒等密布,另外,贵州兴仁滥木厂、云南南华龙潭铊矿等独立分散金属矿床也分布在此区域;②滇东南地区,以喜马拉雅期风化型铝土矿伴生镓矿床为主,成矿密度可达120多处/ $10^3 \text{ km}^2$ ,是分散金属成矿密度最大的区域;③南岭地区,以镉、铊、钢矿为主,代表性矿床有广东韶关大宝山铊、镉、碲矿床,湖南常宁康家湾镉、钢矿床等;④福建沿海地区,以镉矿为主,该区域仅福建龙岩中甲铁钢矿床中的钢达大型规模,其他以中小型规模为主;⑤长江中下游地区,以中小型规模的矽卡岩型-斑岩型硒、碲、铊矿床为主,仅江西九江城门山铜镉矿床为大型规模;⑥华北陆块南缘,以沉积铝土矿伴生镓矿为主,其次为碲、铊矿床,全国46%的镓资源储量集中于此;⑦山西(断隆)地区,依然以沉积铝土矿伴生镓矿为主,其次为矽卡岩型硒矿床。

### 2.2 分散金属矿的成矿强度

中国分散金属矿成矿强度等值线图反映的是分散金属矿床(点)资源储量浓集程度的信息,以及分散金属资源储量堆积的特征和趋势。以每 $10^4 \text{ km}^2$ 面积产出的分散金属资源储量为背景值,圈定了分散金属矿床分布高背景值区(图4)。成矿强度较大的区域集中在滇东南、丽江、粤北、小秦岭、福建沿海等地。其中,丽江地区成矿强度可达 $20\ 000 \text{ t}/10^4 \text{ km}^2$ ,是中国成矿强度最大的区域。滇东南、福建沿海等分散金属矿床高密度区,同时也是分散金属资源储量高度集中的区域,表明这些地区不仅具有巨大的分散金属资源储量,还有较多的矿床,含有大型-超大型矿床,反映在图形上,中心高值等值线比较开阔,而其边缘等值线非常密集。在个别矿床中密度区或低密度区,也出现了成矿强度集中区,如丽江地区、华北陆块北缘地区等,表明这些地区分散金属资源



图 3 中国稀散金属矿成矿密度等值线图

Fig. 3 Contour map of metallogenetic density of dispersed metals in China

储量控制占主导因素,其稀散金属资源储量峰值是由一个或多个大型-超大型矿床引起,反映在图形上同样呈中心高值等值线开阔的特点,而中高等值线呈同心圆或椭圆形。另有一些矿床分布低密度区也出现了中-高成矿强度区,如东北地区、长江中下游、哈密-吐鲁番一带等,反映在图形上是呈孤立的具中高等值线的同心圆或椭圆形。

### 2.3 稀散金属矿空间分布

以省级行政区为单元编制的稀散金属矿成矿密度分布图如图 5 所示。由图 5 可知,河南省域面积 16.7 万 km<sup>2</sup>,已发现稀散金属矿产地 57 处(不含矿点),包括大型-超大型稀散金属矿床 3 处,中型 22 处,小型 20 处,每 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 面积产出稀散金属矿产地约 3.4 处,是中国稀散金属矿成矿密度最大的省份;其次是贵州、山西,其成矿密度均大于 3 处/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>;成矿密度大于 2 处/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 的省(区、市)有福建、湖南、广西、北京、广东、湖北等。总体上看,稀散金属矿高密度区域集中在中国中南部:中南地区、西南地区及华北南缘,而东北地区、西北地区成矿密度较低。

中国稀散金属矿成矿强度省级分布图如图 6 所示。由图 6 可知,河南是稀散金属矿成矿密度最大、

成矿强度最强的省份,稀散金属资源储量超 13 万 t,成矿强度约 8 100 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,其中,偃师夹沟铝土伴生镓矿资源储量超 10 万 t,是中国已发现的资源储量最大的伴生镓矿床,河南已发现镓资源储量占全国的 30%;另外也有澠池曹窑煤铝土伴生大型镓矿床、栾川上房沟大型钼铌矿床。云南稀散金属资源储量居全国第一位,约 24 万 t,因省域面积较大,稀散金属成矿强度位居全国第二位,约 6 085 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,有兰坪金顶铅锌伴生超大型镉、铊矿床,马关都龙锡锌伴生超大型锑矿床、大型镉矿床,罗平富乐厂铅锌伴生大型镉矿床,个旧锡铜镓矿床,临沧大寨铀锆矿床,中型稀散金属矿床 23 处。广西、山西的稀散金属矿成矿强度均超过 4 000 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。贵州、广东的稀散金属矿成矿强度均超过 2 000 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。其他省(区)的成矿能力较弱。

### 2.4 稀散金属矿时间分布

中国在各个地质历史时期都有稀散金属矿形成,可将中国稀散金属矿划分为 6 个主要成矿期,即前寒武纪稀散金属成矿期(>500 Ma)、加里东稀散金属成矿期(500~400 Ma)、华力西稀散金属成矿期(400~250 Ma)、印支稀散金属成矿期(250~200 Ma)、

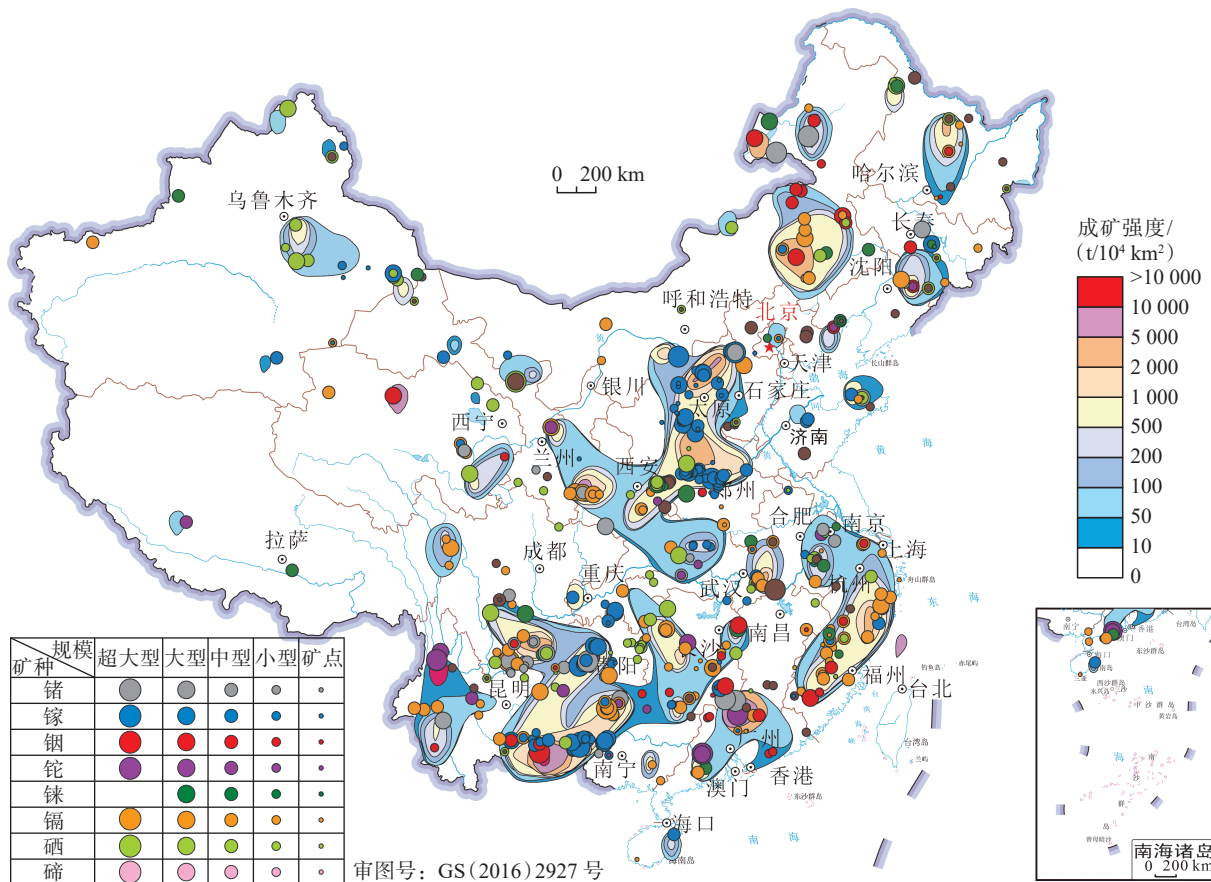


图4 中国稀散金属矿成矿强度等值线图

Fig. 4 Contour map of metallogenetic intensity of dispersed metals in China

燕山稀散金属成矿期(200~65 Ma)和喜马拉雅稀散金属成矿期(<65 Ma)。

稀散金属矿成矿具有新老弱中间强的特点(图7)。燕山期、华力西期是中国稀散金属矿的主要成矿时段,形成矿床(点)的数量最多,约占全部稀散金属矿床(点)的3/4,其次是加里东期、印支期、喜马拉雅期及前寒武纪;而华力西期形成的稀散金属矿资源储量最大,达41.2万t,其次是喜马拉雅期、燕山期,均超过20万t,再次是加里东期、印支期及前寒武纪。北方地区以燕山期和华力西期形成的矿床(点)为主,南方地区以燕山期、喜马拉雅期和华力西期为主,中部地区形成的稀散金属矿床较少。

燕山期是稀散金属矿形成的最主要阶段,是镉、铟、硒、碲、铊、铊等伴生矿床的主要成矿时代;矿床类型以岩浆热液型、矽卡岩型、浅成中-低温热液型、斑岩-矽卡岩型、生物化学沉积型(煤型)为主。华力西期是镓、锆矿的主要成矿时代;该成矿期形成的稀散金属资源储量最多,超41万t;矿床类型以化学沉积型(铝土矿)、海相火山岩型、浅成中-低温热液型、岩浆型及生物化学沉积型(煤矿)为主。喜马拉雅期形成的矿床主要分布于中南地区、西南地

区,其中,中南地区主要为风化型(堆积型铝土矿)伴生镓矿床,该成矿期形成的镓矿资源储量最大,西南地区主要为云南、西藏铅锌矿伴生的镉、铊、锆、碲等矿床。加里东期、印支期形成的稀散金属矿床相对较少,主要为镉矿、硒矿,矿床类型以海相火山岩型、浅成中-低温热液型和矽卡岩型为主。前寒武纪形成的稀散金属矿床较少,主要矿种为镉矿和硒矿,矿床类型以浅成中-低温热液型和海相火山岩型为主。

若按每百万年形成的矿床数量及探明资源储量来统计各时期稀散金属矿的成矿密度与成矿强度,则燕山期的成矿密度最大,矿产地数量达2.3处/Ma;华力西期每百万年形成的矿床数量仅次于燕山期形成的矿床数量,约1.5处/Ma,其次为印支期、加里东期、喜马拉雅期及前寒武纪。

喜马拉雅期形成的矿床数量不多,资源储量也次于华力西期,仅26万t,但每百万年形成稀散金属资源储量超4000t,是稀散金属矿成矿强度最大的成矿期;华力西期每百万年形成稀散金属资源储量近2600t,成矿强度仅次于喜马拉雅期;其次为燕山期、印支期、加里东期,前寒武纪的成矿强度较差。

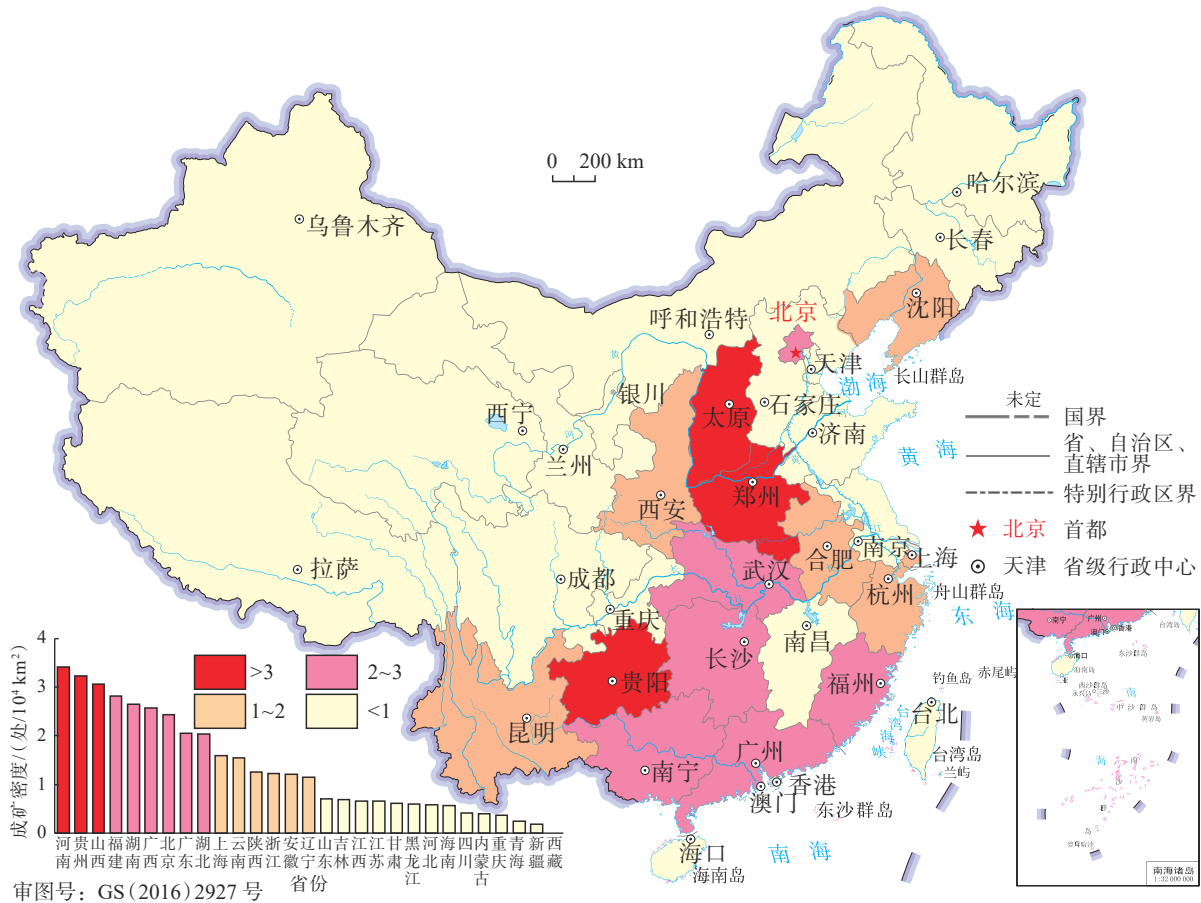


图 5 稀散金属矿成矿密度省级分布图

Fig. 5 Metallogenic density map of dispersed metals in different provinces

### 3 中国稀散金属矿集区分布

稀散金属矿在古亚洲成矿域、秦祁昆成矿域、滨太平洋成矿域、特提斯-喜马拉雅成矿域中均有分布,高度集中在滨太平洋成矿域。中国稀散金属矿绝大多数为伴生矿床,其成矿作用、成矿条件及矿床类型均与主矿种关系密切。按稀散金属矿资源的集中程度,综合考虑稀散金属矿带的空间展布、成矿时代、构造格架、沉积、变质与岩浆建造特征、稀散金属矿床类型等因素,全国范围内可分出 18 个稀散金属矿集区(图 8)。这 18 个稀散金属矿集区覆盖了中国稀散金属矿资源储量的 93%。

稀散金属矿床(点)数量超过 50 处的矿集区有上扬子中东部(滇东-川南-湘鄂西-黔西南)(DM-J10)、华北陆块南缘(DM-J6)、滇东南南部(DM-J14);成矿密度最大的矿集区则依次为华北陆块南缘(DM-J6)、武功山-杭州湾(DM-J11)、南岭(DM-J16)、滇东南南部(DM-J14),分别为 7.78 处/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>、6.30 处/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>、5.66 处/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>、5.22 处/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>;成矿强度最大的矿集区则依次为兰坪-普洱-昌宁-澜沧-保山-香格里拉(DM-J13)、华北陆块南缘(DM-J6)、滇东南南部

(DM-J14),分别为 64.3 万 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>、40 万 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>、27.5 万 t/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。中国稀散金属矿集区的量化特征见表 2。

### 4 结论与讨论

大数据是随着近些年信息技术发展提出的概念,地质大数据则是地质科学与计算机技术高度融合的产物。基于稀散金属地质大数据的定量化研究,对稀散金属矿定位、定量、找矿研究成为评价趋势,有助于加快形成与稀散金属密切相关的新质生产力<sup>[4]</sup>,也是保障国家经济安全的客观需要。通过开展稀散金属矿的成矿规律定量分析,得出以下结论。

1)中国稀散金属矿床空间分布广泛,但相对集中在中南地区和西南地区,特别是广西、云南、河南、湖南、贵州等省(区)。根据矿产资源的集中程度,全国稀散金属矿可划分七大主要资源集中区,成矿强度较大的区域集中在滇东南、丽江、粤北、小秦岭、福建沿海等地。

2)广西、云南矿床(点)数量最多,云南资源储量最大;河南是稀散金属矿成矿密度最大、成矿强度最强的省份,每 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 面积产出稀散金属矿产地约



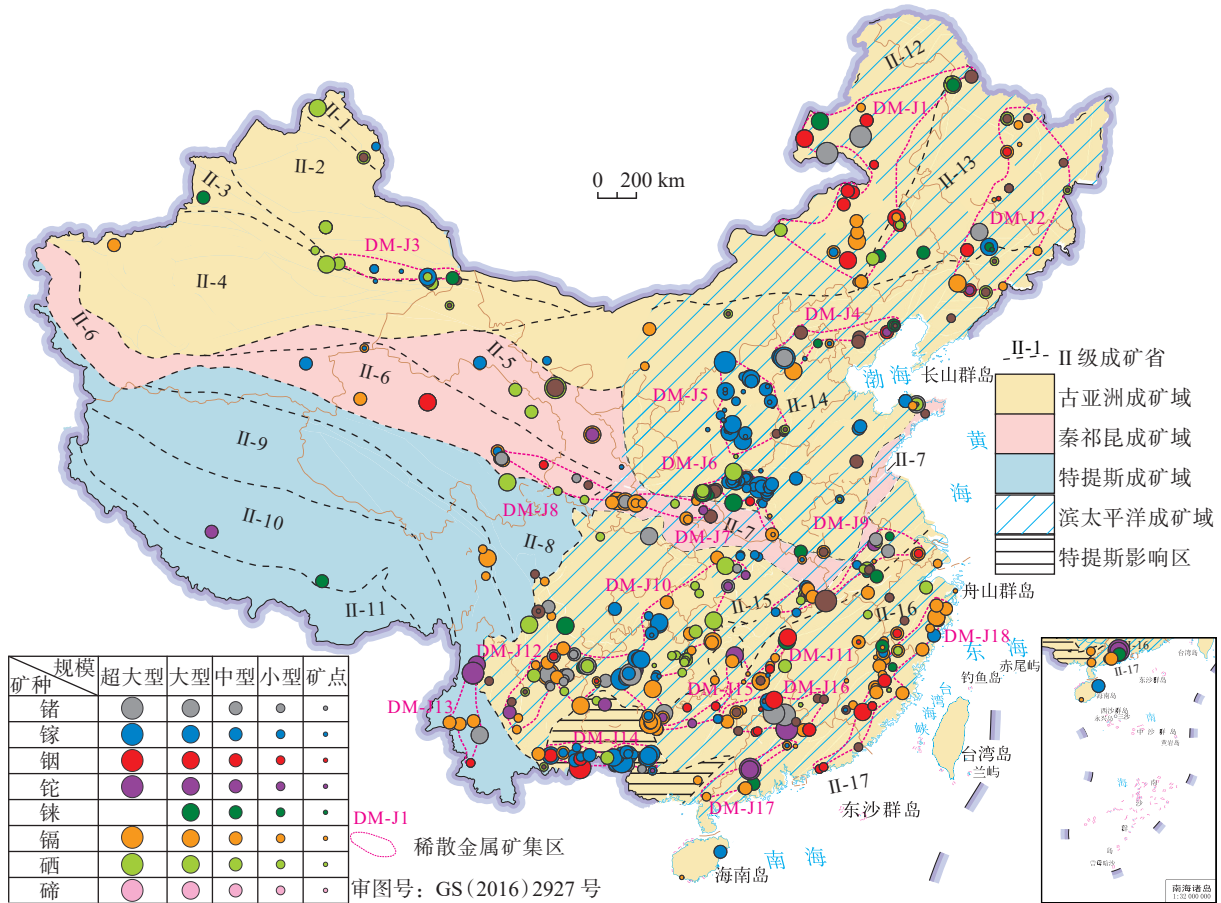


图 8 中国稀散金属成矿域及主要矿集区

Fig. 8 Metallogenic domain and main mining area of dispersed metals in China

表 2 中国稀散金属矿集区的量化特征

Table 2 Quantitative characteristics of dispersed metals deposit concentrations in China

编号	矿集区名称	超大型/处	大型/处	中型/处	小型/处	矿点/处	总计/处	资源储量/t	成矿密度/ (处/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )	成矿强度/ (t/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )
DM-J1	大兴安岭	2	8	19	16	3	48	30 356.44	0.95	14 945.40
DM-J2	小兴安岭	0	3	8	19	9	39	14 176.26	0.84	7 651.07
DM-J3	觉罗塔格-黑鹰山	0	1	5	6	2	14	4 109.18	1.71	12 558.82
DM-J4	华北陆块北缘	1	3	6	6	5	21	52 651.49	1.81	113 728.68
DM-J5	山西(断隆)	1	6	10	8	24	49	94 792.48	3.19	154 515.57
DM-J6	华北陆块南缘	1	5	24	24	12	66	135 548.44	7.78	399 618.94
DM-J7	东秦岭	0	1	2	8	2	13	6 321.50	4.48	54 420.13
DM-J8	西秦岭	0	3	9	10	0	22	28 688.51	2.22	72 303.86
DM-J9	长江中下游	1	2	11	21	4	39	20 553.70	3.47	45 740.06
DM-J10	上扬子中东部(滇东-川南-湘鄂西-黔西南)	4	13	40	36	13	106	138 800.57	3.12	101 985.67
DM-J11	武功山-杭州湾	0	4	0	10	3	17	5 471.44	6.30	50 685.59
DM-J12	康滇隆起	1	1	2	9	2	15	22 646.03	3.20	120 958.34
DM-J13	兰坪-普洱-昌宁-澜沧-保山-香格里拉	2	2	3	3	0	10	198 931.81	1.29	643 516.12
DM-J14	滇东南南部	2	15	16	16	2	51	107 667.51	5.22	275 291.66
DM-J15	湘中-桂中北	0	1	4	7	4	16	10 120.32	3.37	53 314.88
DM-J16	南岭	4	6	11	16	11	48	53 949.58	5.66	158 907.37
DM-J17	粤中-粤西-桂东南	1	1	2	4	2	10	8 877.56	1.65	36 694.73
DM-J18	浙闽粤沿海	0	2	12	15	4	33	22 057.09	2.48	41 474.67

川南-湘鄂西-黔西南)(DM-J10)矿产地数量最多,华北陆块南缘(DM-J6)成矿密度最大,兰坪-普洱-昌宁-澜沧-保山-香格里拉(DM-J13)成矿强度最强,约64.3万t/10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>。

需要指出的是,本文只是一种尝试。由于不同稀散金属在地壳中的背景值差别很大,成矿富集机制各不相同,探明的资源储量信息很不完整,量大的矿种会掩盖量小的矿种的成因信息。因此,如何从大数据的角度揭示稀散金属矿成矿作用的本质,还需要不断积累资料,不断探索。

### 参考文献(References):

- [ 1 ] 王瑞江,王登红,李建康,等.稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用[M].北京:地质出版社,2015.
- [ 2 ] 王登红,孙艳,代鸿章,等.我国“三稀矿产”的资源特征及开发利用研究[J].*中国工程科学*,2019,21(1):119-127.  
WANG Denghong, SUN Yan, DAI Hongzhang, et al. Characteristics and exploitation of rare earth, rare metal and rare-scattered element minerals in China[J]. *Strategic Study of CAE*, 2019, 21(1): 119-127.
- [ 3 ] 宁树正,黄少青,严晓云,等.我国煤系锗镓资源前景及研究方向[J].*中国矿业*,2023,32(11):1-11.  
NING Shuzheng, HUANG Shaoqing, YAN Xiaoyun, et al. Prospect and research direction of germanium and gallium resources in coal-bearing strata in China[J]. *China Mining Magazine*, 2023, 32(11): 1-11.
- [ 4 ] 刘建婧,姚素玲,朱本康,等.煤中镓元素富集规律特性研究[J].*中国矿业*,2020,29(1):150-156.  
LIU Jianjing, YAO Suling, ZHU Benkang, et al. Study on enrichment characteristics of gallium in coal[J]. *China Mining Magazine*, 2020, 29(1): 150-156.
- [ 5 ] 曹志敏,温春齐,李保华,等.首例独立碲矿床成因探讨[J].*中国科学(B辑)*,1995,25(6):647-654.  
CAO Zhimin, WEN Chunqi, LI Baohua, et al. Genesis of the first independent tellurium deposit[J]. *Science in China(Series B)*, 1995, 25(6): 647-654.
- [ 6 ] 郑义,郭春丽,王登红,等.中国伴生铟(镉镓锗)矿床的时空分布、成因类型及成矿机制:总结与展望[J].*地质学报*,2023,97(11):3569-3603.  
ZHENG Yi, GUO Chunli, WANG Denghong, et al. Temporal and spatial distribution, genetic type, and metallogenic mechanism of indium (gallium, germanium, cadmium) associated deposits in China: overview and expectation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2023, 97(11): 3569-3603.
- [ 7 ] 王岩,王登红,盛继福,等.中国钨矿成矿密度和成矿强度的定量分析[J].*中国钨业*,2018,33(1):17-31.  
WANG Yan, WANG Denghong, SHENG Jifu, et al. Quantitative analysis of metallogenic density and intensity of tungsten in China[J]. *China Tungsten Industry*, 2018, 33(1): 17-31.
- [ 8 ] 王乾,顾雪祥,付绍洪,等.云南会泽铅锌矿床分散元素镉锗镓的富集规律[J].*沉积与古特提斯地质*,2008,28(4):69-73.  
WANG Qian, GU Xuexiang, FU Shaohong, et al. Enrichment of the dispersed elements Cd, Ge and Ga in the Huize Lead-Zinc Deposit, Yunnan[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2008, 28(4): 69-73.
- [ 9 ] 苏龙晓,陈永亨,刘娟,等.含铊矿床在全国的分布及其资源开发对环境的影响研究[J].*安徽农业科学*.2014,42(22):7588-7591.  
SU Longxiao, CHEN Yongheng, LIU Juan, et al. Distribution of containing thallium deposit in China and effects of resource development on environment[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2014, 42(22): 7588-7591.
- [ 10 ] 涂光炽,高振敏,胡瑞忠.分散元素可以形成独立矿床:一个有待开拓的新领域[C]//欧阳自远.中国矿物学岩石学地球化学研究新进展.兰州:兰州大学出版社,1994:234.
- [ 11 ] 黄凡,王登红,王岩,等.中国铊矿成矿规律和找矿方向研究[J].*地质学报*,2019,93(6):1252-1269.  
HUANG Fan, WANG Denghong, WANG Yan, et al. Study on metallogenic regularity rhenium deposits in China and their prospecting direction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(6): 1252-1269.
- [ 12 ] 刘铁庚,叶霖,沈能平,等.闪锌矿的Cd含量与颜色关系[J].*矿物学报*,2015,35(1):51-55.  
LIU Tiegeng, YE Lin, SHEN Nengping, et al. Cd content in sphalerite with different color[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2015, 35(1): 51-55.
- [ 13 ] 吴荣庆.保护利用我国硒矿资源[J].*中国金属通报*,2009(14):34-35.  
WU Rongqing. Protection and utilization of selenium mineral resources in China[J]. *China Metal Bulletin*, 2009(14): 34-35.
- [ 14 ] 王登红.试论稀散金属矿产与新质生产力[J/OL].*中国矿业*:1-11[2024-04-01].<https://link.cnki.net/urlid/11.3033.TD.20240308.1251.002>.  
WANG Denghong. Discussion on the dispersed metals resources and new quality productivity[J/OL]. *China Mining Magazine*: 1-11[2024-04-01]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3033.TD.20240308.1251.002>.