

doi: 10.12029/gc20210104

王岩, 王登红, 王永磊, 黄凡. 2021. 基于地质大数据的中国锑矿空间分布规律定量研究[J]. 中国地质, 48(1): 52–67.

Wang Yan, Wang Denghong, Wang Yonglei, Huang Fan. 2021. Quantitative research on spatial distribution of antimony deposits in China based on geological big data[J]. Geology in China, 48(1):52–67(in Chinese with English abstract).

# 基于地质大数据的中国锑矿空间分布规律定量研究

王岩, 王登红, 王永磊, 黄凡

(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:** 大数据正在开创地学研究新途径, 将传统的定性地质研究方法推向定量研究的高度。锑矿是中国的传统优势矿产, 但目前已有赖于进口, 成为典型的关键金属(Critical Metal)。文章基于锑矿地质大数据, 系统展示中国锑矿在 I、II、III 级成矿区带的空间分布特征, 总结中国锑矿的空间分布规律, 定量分析中国省、市、县级及 III 级成矿区带的锑矿成矿密度、成矿强度。研究表明, 中国锑矿在各成矿域中均有分布, 华南成矿省集中了全世界 59% 以上的资源储量, 是中国锑矿最重要的成矿区域。中国锑矿以湖南省数量最多、成矿强度最大; 按地级市统计, 以广西河池市锑矿床数量最多, 以湖南娄底市锑矿成矿强度最大; 按县级统计, 以河池市南丹县锑矿床数量最多, 娄底市冷水江市锑矿成矿强度最大, 达 3330 t/km<sup>2</sup>; 按成矿区带统计, 江南隆起西段成矿带(III-78)锑矿产地数量最多、成矿密度最大, 湘中—桂中北成矿带(III-86)成矿强度最强。随着勘查工作的进展, 新增资源量不断向湖南板溪、龙山等危机矿山深部及西藏等西部地区转移, 今后锑矿地质找矿和矿业开发的重点也将向重要矿区深部及中国西部地区转移。

**关键词:** 地质大数据; 锑矿; 成矿规律; 成矿强度; 定量研究; 矿产勘查工程

中图分类号: P617; P628+.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2021)01-0052-16

## Quantitative research on spatial distribution of antimony deposits in China based on geological big data

WANG Yan, WANG Denghong, WANG Yonglei, HUANG Fan

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

**Abstract:** Big data is creating a new approach to geological research, pushing traditional qualitative geological research methods to the level of quantitative research. Antimony ore is the traditional preponderant mineral resources in China, but now it depends on import and becomes our critical metal. Based on the geological big data of antimony deposits, our studies summarize the spatial distribution regularity of antimony deposits, specifically reveal the spatial distribution of antimony in grade-I, grade-II and grade-III minerogenetic belts, and quantitatively analysis the metallogenic density and intensity of antimony deposits in the provinces, cities, counties and III level metallogenetic belts in China. The research shows that antimony deposits are distributed in all

收稿日期: 2019-11-20; 改回日期: 2019-12-04

基金项目: 中国地质调查局中国地质科学院基本科研业务费专项经费(JYYWF20183704, JYYWF20183701)及中国地质调查局地质大调查项目(DD20190379, DD20160346)联合资助。

作者简介: 王岩, 女, 1983年生, 博士, 副研究员, 主要从事地理信息与矿床地质研究; E-mail: 13534687@qq.com。

通讯作者: 黄凡, 男, 1983年生, 副研究员, 主要从事矿产资源研究; E-mail: hfhymn@163.com。

metallogenic domains in China, and the south China metallogenic province is the most important one with more than 59% resources reserves in the whole world. Hunan is the province with the largest amount of antimony ore and the largest mineralization intensity in China. According to the statistics of prefectural cities, Hechi City of Guangxi has the largest number of antimony deposits and Loudi City of Hunan has the largest mineralization intensity. According to county level statistics, Hechi City in Guangxi has the largest number of antimony deposits, while Loudi City in Hunan has the strongest ore-forming intensity, up to 3330 t/km<sup>2</sup>. The statistics of the metallogenic belts shows that the western part (Ⅲ-78) of southern Yangtze uplift is a metallogenic belt with the largest number of antimony deposits and the largest ore-forming density; while, central Hunan-northcentral Guangxi (Ⅲ-86) is a metallogenic belt with the strongest ore-forming intensity in China. With the development of exploration work, the new addition of antimony resources will be transferred to the depth of crisis mines such as Banxi and Longshan in Hunan province and western areas such as Tibet. The focus of geological prospecting and mining development will also move downward and westward.

**Key words:** Geological big data; antimony deposits; metallogenic regularity; metallogenic intensity; quantitative research; mineral exploration engineering

**About the first author:** WANG Yan, female, born in 1983, doctor, associate researcher, engaged in the study of geographic information and deposit geology; E-mail: 13534687@qq.com.

**About the corresponding author:** HUANG Fan, male, born in 1983, associate researcher, engaged in mineral resources research; E-mail: hfhyym@163.com.

**Fund support:** Supported by CGS Research Fund (No.JYYWF20183704, JYYWF20183701) and the China Geological Survey Program (No. DD20190379, DD20160346).

## 1 引言

什么是大数据?狭义的大数据以4V为标志,即大量性(Volume)、高速性(Velocity)、多样性(Variety)及价值性(Value),通常需要云计算;而广义的大数据,不仅仅是数据大,更是思维新,视角广,是从数据出发,通过探讨数据之间的相关关系,提取有价值的信息,为决策提供依据。地质大数据则属于后者。

地质大数据是信息时代背景下大数据的理念、技术和资源,在地质领域的应用和实践(王登红等,2015),其意义在于对大数据进行专业化、数字化及智能化处理,从而分析和挖掘出有价值的结构化信息(Felice et al., 2008)。地质大数据具有混合性、抽样性、因果性、时空性、多态性和多元性等主要特点(谭永杰,2019;赵鹏大,2019),地质大数据的开发利用应先建立“知识库”,据此建立“数据库”、“模型库”及“方法库”,有针对性地获取、分析、研究和应用大数据。地质学定量化是地质学自身发展臻于成熟的重要标志。

大数据正在引发地球科学领域一场深刻的革命,地质工作者利用地质大数据已经实现了地质数据定量分析与评价(Wilkinson and Kesler, 2009; 于

萍萍等,2015;Ren et al., 2016;李景哲等,2018;王怀涛等,2018;向杰等,2019)、地质云构建及应用(Song et al., 2014;陈建平等,2015;谭永杰等,2018)、地质信息化系统建设(Chen et al., 2016;黄少芳等,2016;常力恒等,2018;Stephenson, 2019;周小希等,2019)、智能的找矿模型构建与区域找矿靶区优选(吴永亮等,2017;罗建民等,2019)等。美国地质调查局总结了建局近150年的经验及当前的新形势、新挑战,在连续2次制定的科学战略及10年(2010—2020年和2013—2023年)规划中(Linda et al., 2011; Bristol et al., 2012)明确提出了基于大数据的核心科学体系,即基于大数据的科学研究第四范式(Tony et al., 2009),在数据高效管理和调度的条件下,实现多源多类异质异构大数据融合,进行多样化的地球科学数据挖掘和相关的知识发现,促进交叉和综合学科的发展,以解决复杂的地球科学问题和社会问题(吴冲龙等,2019)。矿床学研究应专注于查明矿床形成的规律,指导矿床的找矿,提高经济价值,当充分利用地质大数据,加强对相关关系的研究(王登红等,2015;刘波等,2019)。2019年10月国家地质大数据共享服务平台“地质云”2019年新产品上线服务,实现资源的统一汇聚、互联互通,为深度挖掘数据资源价值、开展大数据知识服务,提供创新性、数字化、智

慧化工作平台(佚名,2019)。

中国是世界上最大的锑资源国,储量大,产量高,居世界首位。同时锑也是一种不可再生资源,是稀世珍宝,因其独特的“热缩冷涨”性质而备受关注,是各国争相储备的战略资源。2016年11月国务院批复通过的《全国矿产资源规划(2016—2020年)》首次将24种矿产列为战略性矿产,其中就包括锑。锑的储采比小于5,锑矿珍贵且大量出口,对全球锑生产和贸易起着至关重要的作用。近年国家已将锑列为实行保护性开采和冶炼的特定矿种(赵工业,2018),因中国锑产量的减少,欧盟将锑的稀缺性排在所有金属之首,并将锑列为12种关键的原料之一,现有锑储量的可采年限也是所有金属中最短的(周艳晶等,2014),锑比稀土更稀有。因此,摸清锑矿的资源家底,查明锑矿的空间分布规律,对科学预测锑的资源潜力、保障锑业的可持续发展具有重要的意义。本次对中国890余处锑矿床(420余处小型以上规模)进行了统计分析,开展中国锑矿成矿规律的定量研究,可为锑矿预测及找矿勘查提供重要的理论依据。

## 2 中国锑矿的资源概况

锑矿是中国的传统优势矿种之一,湖南锡矿山是世界上独一无二的单一锑矿床,但面临资源枯竭的困境。据全国矿产资源储量通报(自然资源部,2018)<sup>①</sup>,截至2017年底,中国现已探明有储量的锑矿区214处,遍布全国20个省(区),锑矿查明资源量 $319.76 \times 10^4$  t。与2013年相比,锑矿矿区数增加了19处,查明资源量增长21.6%,其中甘肃、西藏近年新增锑资源量幅度较大。比2016年净增加 $12.52 \times 10^4$  t,其中贵州省榕江县八蒙锑矿区勘查新增 $5.8 \times 10^4$  t,云南省西畴县香坪山矿区勘查新增锑铅锌铜矿 $2.5 \times 10^4$  t,湖南省新化县长新矿区勘查新增锑矿 $2.3 \times 10^4$  t,吉林省安图县万宝镇矿山屯勘查新增锑矿 $1.5 \times 10^4$  t,青海省格尔木市东大滩勘查新增金锑矿 $1.1 \times 10^4$  t。2017年基础储量 $56.40 \times 10^4$  t(含储量 $25.50 \times 10^4$  t),资源量 $263.36 \times 10^4$  t。

中国锑矿查明资源量主要分布于湖南、广西、西藏、贵州、新疆、云南、甘肃等省区(图1),这7省(区)2017年底合计查明资源量 $268.31 \times 10^4$  t,约占全国84%(图2),在青海、河南、广东、新疆、陕西、吉林、江

西、安徽、四川、湖北、河北、黑龙江和浙江等省市(自治区)亦有产出。锑矿相对集中于中南、西南地区。

## 3 中国锑矿的空间分布规律

### 3.1 中国锑矿在Ⅰ级成矿区带(成矿域)的分布规律

全球锑资源比较稀缺,且分布不均匀,主要分布于25个国家(王修等,2014)。据美国地质调查局2019年统计数据,2018年全球锑矿储量(金属量)约 $150 \times 10^4$  t(USGS,2019),主要国家锑矿储量为:中国(48万t)、俄罗斯(35万t)、玻利维亚(31万t)、澳大利亚(14万t)、土耳其(10万t)。仅中国、俄罗斯、玻利维亚3个国家的锑矿储量占到全球锑矿资源储量的79.32%以上。

大部分锑矿资源分布在环太平洋成矿带、地中海成矿带和中亚天山成矿带,具有明显的分带性(图3)。其中,环太平洋成矿域长约4000 km,地跨亚、美、澳、欧四大洲的数十个国家,包括中国东部及南部、俄罗斯东部、玻利维亚、美国西部、智利、秘鲁、墨西哥、日本等,经济意义最大,集中了约全球77%的锑储量(周艳晶等,2014)。代表性锑矿床有中国的锡矿山和玻利维亚的卡拉科塔,其中锡矿山是全球最大的锑矿,累计查明锑金属储量达 $138.30 \times 10^4$  t。特提斯—喜马拉雅成矿域横亘于地球中部,地跨北美洲、欧洲、非洲、亚洲等4大洲,成矿地质构造背景较简单,主要是显生宙造山带,也是全球重要的巨型锑矿带,包括中国西南部、土耳其、西班牙、法国、意大利、葡萄牙、阿尔及利亚、希腊等众多产区,代表性锑矿床有中国西藏的扎西康和土耳其的阿拉谢希尔。劳亚成矿域经受了大陆基底形成、古亚洲洋陆缘增生和滨西太平洋大陆边缘活动及陆内断块升降3个阶段,造就了多种有利的成矿环境,涵盖了中国、俄罗斯、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、蒙古等国,代表性锑矿床有中国的萨瓦亚尔顿和吉尔吉斯斯坦的卡达姆扎依。冈瓦纳成矿域展布于地球南部,横跨南美洲、非洲、大洋洲和亚洲等4大洲,成矿地质构造背景以前寒武纪地块及叠加其上的显生宙沉积盆地和构造带占绝对优势,代表性矿床有南非默奇森绿岩带的锑金矿床等(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所,1987)。

### 3.2 中国锑矿在Ⅱ级成矿区带(成矿省)的分布规律

中国锑矿在古亚洲、秦祁昆、特提斯、滨太平洋

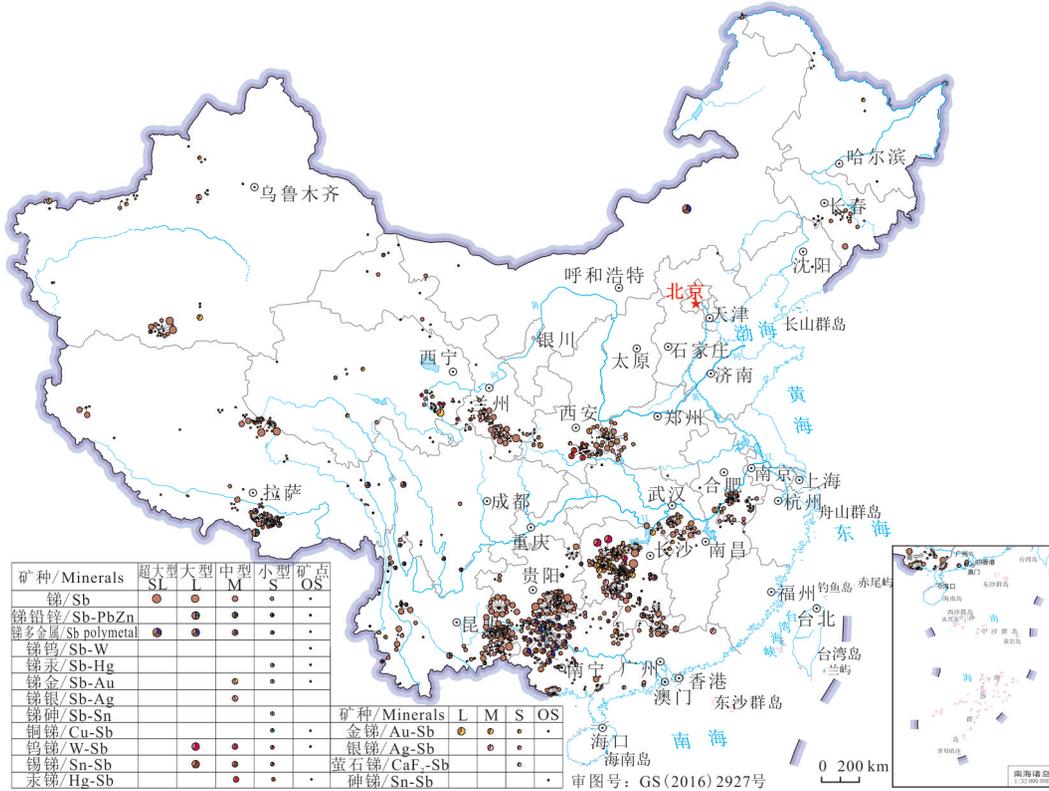


图1 中国锑矿分布简图  
Fig.1 Distribution map of antimony deposits in China

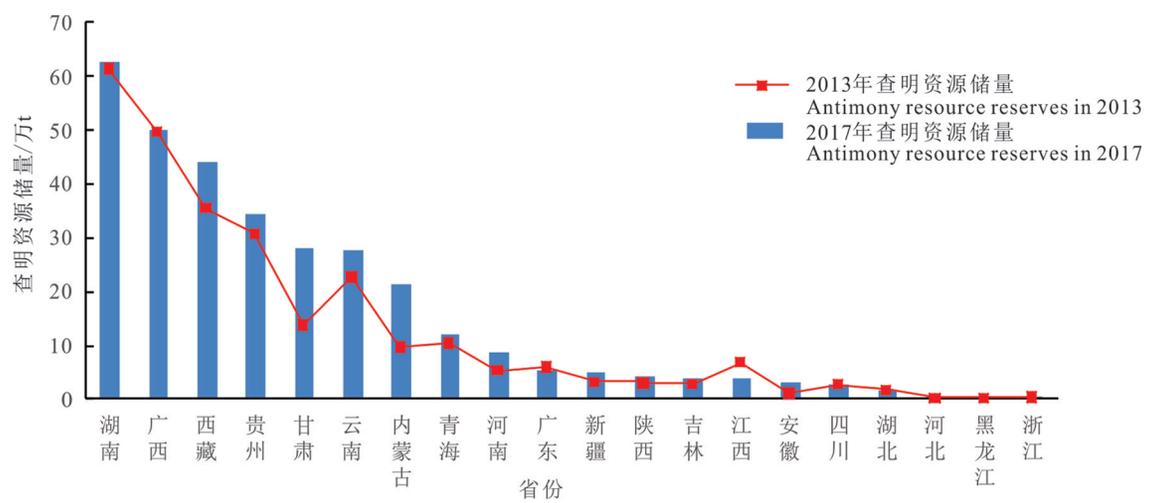


图2 中国锑矿查明资源储量2013年与2017年对比图  
Fig.2 Comparison of identified antimony reserves between 2013 and 2017 in China

和古亚洲与滨太平洋叠加的5个成矿域中均有分布。依据区域成矿的地质构造环境及区域成锡作用之性质、强度及其他有关的矿化信息,锡矿的Ⅱ级成矿单元分为4个成矿省:华南成锡省、青藏高原及滇西成锡省、秦岭—大别成锡省、天山—兴蒙成

锡省(图4)(肖启明等,1992)。中国锡储量(资源量)居世界首位,尤其是华南成锡省,聚集了全国59%的矿产,探明锡金属储量约占全国锡金属探明储量的68%。华南成锡省位于华南褶皱带北缘与扬子准地台南缘活动带的过

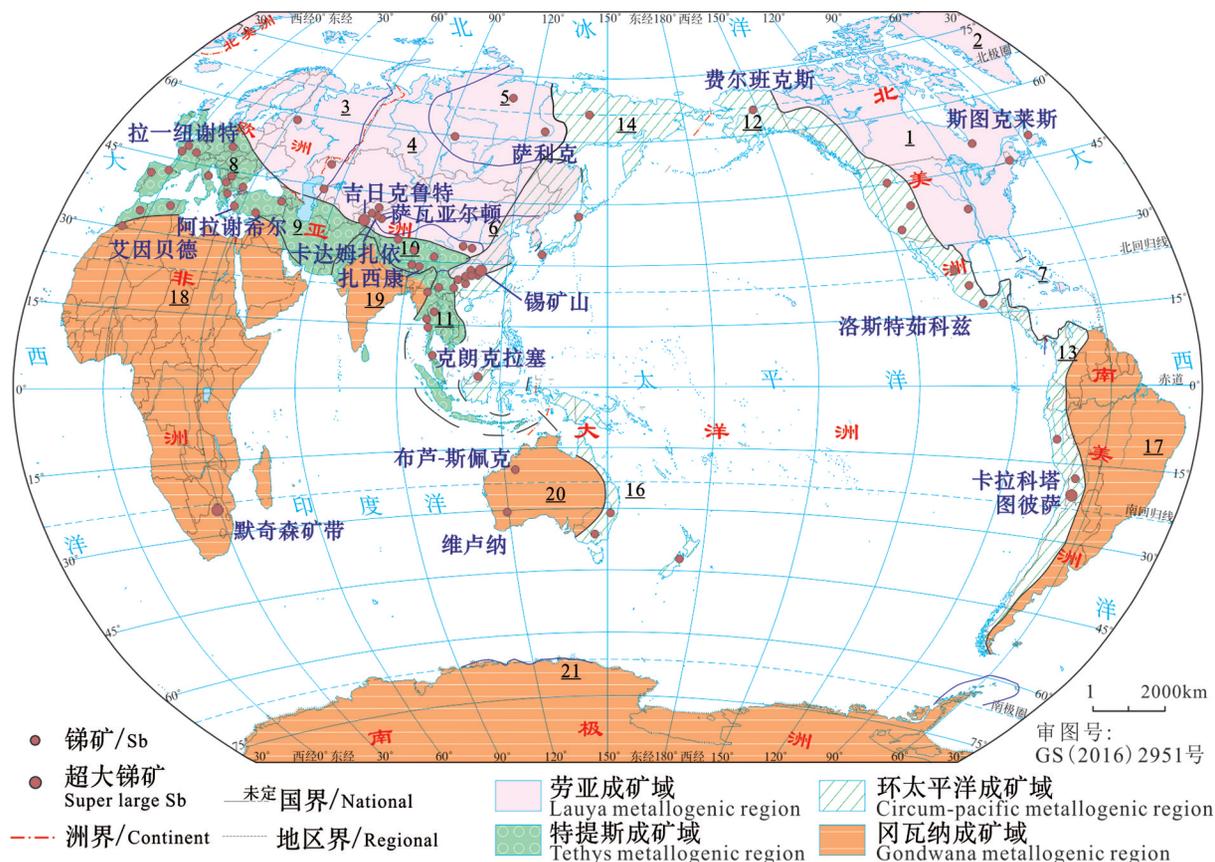


图3 全球锑的成矿域

1—北美成矿区; 2—格陵兰成矿区; 3—欧洲成矿区; 4—乌拉尔—蒙古成矿带; 5—西伯利亚成矿区; 6—中朝成矿区; 7—加勒比成矿带; 8—地中海成矿带; 9—西亚成矿带; 10—喜马拉雅成矿带; 11—中南半岛成矿带; 12—北科迪勒拉成矿带; 13—安第斯成矿带; 14—楚科奇—鄂霍次克成矿带; 15—东亚成矿带; 16—伊里安—新西兰成矿带; 17—南美成矿区; 18—非洲—阿拉伯成矿区; 19—印度成矿区; 20—澳大利亚成矿区; 21—南极成矿区(成矿域的界线据梅燕雄、裴荣富等, 2009)

Fig.3 Global Metallogenic domain of antimony deposits

1—North America metallogenic district; 2—Greenland metallogenic district; 3—Europe metallogenic district; 4—Ural—Mongolia metallogenic district; 5—Siberia metallogenic district; 6—Sino—Korea metallogenic district; 7—Caribbean metallogenic district; 8—Mediterranean metallogenic district; 9—West Asia metallogenic district; 10—Himalaya metallogenic district; 11—Indo—China Peninsula metallogenic district; 12—Northern Cordilleran metallogenic district; 13—Andean metallogenic district; 14—Chokochi—Okhotsk metallogenic district; 15—East Asia metallogenic district; 16—Irian—New Zealand metallogenic district; 17—South America metallogenic district; 18—Africa—Arabia metallogenic district; 19—India metallogenic district; 20—Australia metallogenic district; 21—Antarctic metallogenic district (The boundaries of the metallogenic domain after Mei and Pei et al., 2009)

渡区,是中国锑矿最重要的成矿区域,也是环太平洋锑矿带的重要组成部分,是扬子克拉通南缘长期演化的结果(刘建明等,2002)。已发现锡矿山、巴里—龙头山100号、箭猪坡、沃溪、渣滓溪、龙头山105号等超大型或大型锑矿床13处和其他10余个中型锑矿床。

青藏高原及滇西成锑省向西延与地中海锑矿带相连,由特提斯—喜马拉雅成矿域东段、西藏境内喜马拉雅、冈底斯、滇西腾冲、昆仑山等地的锑及锑多金属矿床组成。该成锑省研究程度较差,但近年不断发现新的锑矿化。目前查明锑矿产地33处,

包括尕尔西姜、美多、扎西康等大型矿床3处。西藏地区的锑矿分布较为集中,具有带状分布特征,层控特征明显,具有较大的工业价值,且均属于新近纪,是世界上最年轻的锑矿带(彭渤洋等,2015)。

秦岭—大别成锑省为塔里木—华北板块与华南板块之间的过渡带,总体呈北西西向展布(张国林等,1998),向西延与中亚锑矿带相连。该成矿省是近10年来查明的重要锑矿带,现已探明硝尔库勒、崖湾、石藏寺等大型锑矿床3处,中小型锑矿床50余处。

天山—兴蒙成锑省空间跨度大,向西延与外贝加尔锑矿带相连,由古亚洲成矿域中的一系列锑矿

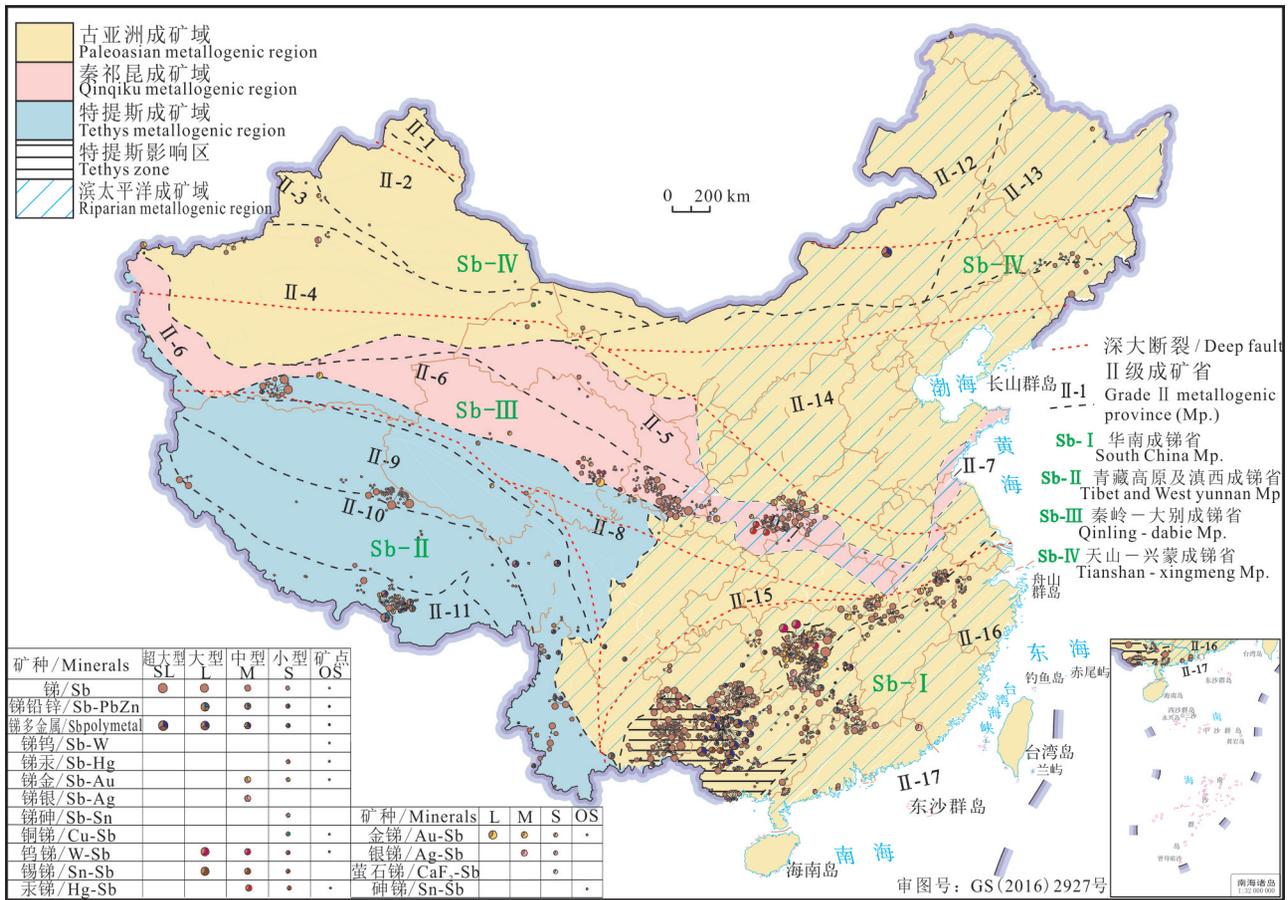


图4 中国锑的成矿省及主要成锑省

II-1—阿尔泰成矿省; II-2—准噶尔成矿省; II-3—伊犁成矿省; II-4—塔里木成矿省; II-5—阿尔金—祁连成矿省; II-6—昆仑成矿省; II-7—秦岭—大别成矿省; II-8—巴颜喀拉松潘成矿省; II-9—喀喇昆仑—三江成矿省; II-10—冈底斯—腾冲成矿省; II-11—喜马拉雅成矿省; II-12—大兴安岭成矿省; II-13—吉黑成矿省; II-14—华北成矿省; II-15—扬子成矿省; II-16—华南成矿省; II-17—中国东部海区成矿省

Fig.4 Metallogenic provinces and major antimony ore-forming belts in China

II-1—Altay minerogenetic province; II-2—Junggar minerogenetic province; II-3—Ili minerogenetic province; II-4— Tarim minerogenetic province; II-5— Altun—Qilian minerogenetic province; II-6—Kunlun minerogenetic province; II-7— Qinling—Dabie minerogenetic province; II-8— Bayan Har—Songpan minerogenetic province; II-9—Karakoram—Sanjiang minerogenetic province; II-10—Gangdise—Tengchong minerogenetic province; II-11—Ximalayas minerogenetic province; II-12—Da Hingganling minerogenetic province; II-13—Jilin—Heilongjiang minerogenetic province; II-14—North China minerogenetic province; II-15—Yangtze minerogenetic province; II-16—South China minerogenetic province; II-17—Minerogenetic province of the sea area in eastern China

床组成。该成矿省现发现白音查干东山大型锑银矿1处,萨瓦亚尔顿及查汗萨拉等中型锑矿2处,小型锑矿床7处。

### 3.3 中国锑矿在Ⅲ级成矿区带(成矿带)的分布规律

中国共划分了94个Ⅲ级成矿区带(徐志刚等,2008),其中54个Ⅲ级成矿区带内分布有锑矿。依据区域成矿的地质构造环境及区域成锑作用之性质、强度及其他有关的矿化信息,共划分14个成锑带(图5,表1)(王永磊等,2013,2014)。其中A级区带为累计探明储量达大型以上、近年找矿有大突

破、远景储量大的区带,共7个区带,包括昆仑—秦岭成锑带(Sb3)、藏北成锑带(Sb5)、藏南成锑带(Sb6)、上扬子(滇黔桂)成锑带(Sb8)、江南隆起成锑带(Sb9)、湘中—桂中北成锑带(Sb10)、白乃庙—锡林浩特成锑带(Sb14);B级区带为累计探明储量中型以上、远景储量较大的区带,共6个区带,包括西南天山成锑带(Sb1)、小兴安岭—张广才岭成锑带(Sb2)、长江中下游成锑带(Sb4)、西南三江成锑带(Sb7)、南岭成锑带(Sb11)、东南沿海成锑带(Sb12);C级区带为累计探明储量中型以下,远景储量一般的区带,共1

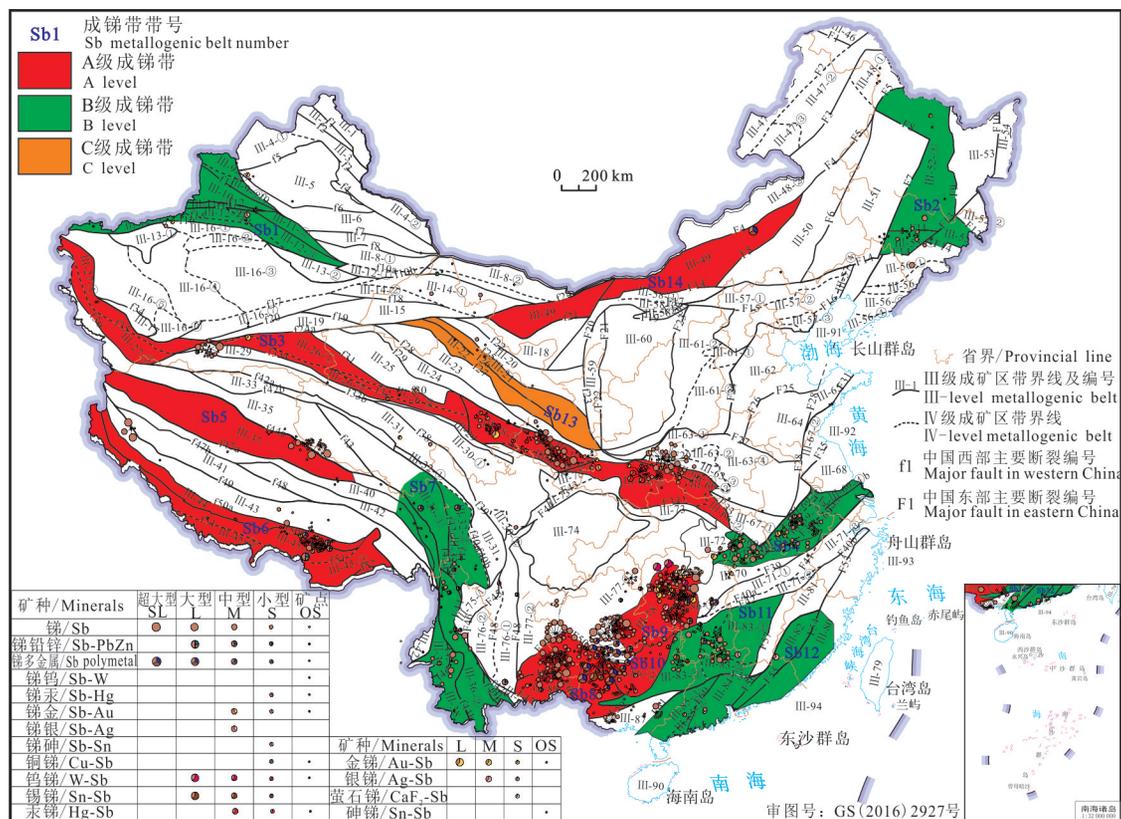


图5 中国成锑带分布略图

Sb1—西南天山成锑带; Sb2—小兴安岭—张广才成锑带; Sb3—昆仑—秦岭成锑带; Sb4—长江中下游成锑带; Sb5—藏北成锑带; Sb6—藏南成锑带; Sb7—西南三江成锑带; Sb8—滇黔桂成锑带; Sb9—江南隆起成锑带; Sb10—湘中—桂中北成锑带; Sb11—南岭成锑带; Sb12—东南沿海成锑带; Sb13—祁连山成锑带; Sb14—白乃庙—锡林浩特成锑带

Fig.5 Simplified map showing the distribution of antimony ore-forming belts in China

Sb1—Southwestern Tianshan antimony metallogenic belt; Sb2—Xiaoxing'anling—Zhangguangcailing antimony metallogenic belt; Sb3—Kunlun-Qinling antimony metallogenic belt; Sb4—The middle-lower Yangtze antimony metallogenic belt; Sb5—Northern Tibet antimony metallogenic belt; Sb6—Southern Tibet antimony metallogenic belt; Sb7—Southwestern Sanjiang antimony metallogenic belt; Sb8—Yunnan—Guizhou—Guangxi antimony metallogenic belt; Sb9—Jiangnan uplift antimony metallogenic belt; Sb10—Central Huana—northern Guangxi antimony metallogenic belt; Sb11—Nanling antimony metallogenic belt; Sb12—Southeast coast antimony belt; Sb13—Qilianshan antimony metallogenic belt; Sb14—Bainai temple and Xilinhot antimony metallogenic belt

个区带,为祁连山成锑带(Sb13)。

## 4 中国锑矿成矿规律的定量研究

### 4.1 省级锑矿成矿规律

中国锑矿多以共伴生为主,规模上以小型、中型为主。超大型锑矿床2处,分别是湖南娄底市锡矿山锑矿和广西河池市巴里—龙头山100号锑矿;大型锑矿床19处,主要位于广西、西藏、湖南省(自治区)内,中型97处,小型245处(图6)。广西锑矿床数量最多,其次是湖南、贵州、云南等省份。

成矿密度、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,也是评价找矿潜力的重要参考。成矿密度即单位面积产出矿产地的数量,

成矿强度为单位面积所拥有的矿产资源储量(王岩等,2018)。中国锑矿床在空间上的分布具有区域性集中的趋势,高密度成锑矿区域以中南、西南为主,以长江中下游为核心。湖南省成锑矿密度居全国首位,其次为广西、贵州等省份(图7)。

中国锑矿类型丰富、规模大、矿石质量好,资源优势得天独厚。锑矿查明资源量主要分布于湖南、广西、西藏、贵州、新疆、云南等省区,上述六省(区)合计查明资源储量占全国的84.4%。湖南省闻名于世的“世界锑都”——锡矿山,不仅是中国锑业的龙头,也是世界上超大型的优质锑矿床,在世界锑业中有着举足轻重的地位。湖南板溪、沃溪、渣滓溪等老矿区深部找矿不断取得新进展,使得我国锑矿

表1 中国成锑带划分表

Table 1 Antimony ore-forming belts in China

成矿域	成锑省	编号	成锑带名称	级别	典型锑矿床
古亚洲成矿域		Sb1	西南天山成锑带	B	萨瓦亚尔顿,查汗萨拉
古亚洲与滨太平洋 叠加成矿域	天山—兴蒙成锑省	Sb2	小兴安岭—张广才岭成锑带	B	驿马,桦树乡
		Sb14	白乃庙—锡林浩特成锑带	A	白音查干东山
秦祁昆成矿域	秦岭—大别成锑省	Sb3	昆仑—秦岭成锑带	A	石藏寺
		Sb13	祁连山成锑带	C	石窝铺
	青藏高原及滇西成 锑省	Sb5	藏北成锑带	A	美多,尕尔西姜
特提斯成矿域		Sb6	藏南成锑带	A	扎西康,壤拉,车穷卓布
		Sb7	西南三江成锑带	B	笔架山
		Sb4	长江中下游成锑带	B	驼背山,百福脑
		Sb8	上扬子(滇黔桂)成锑带	A	木利,马雄,坡岩
古亚洲与滨太平洋 叠加成矿域	华南成锑省	Sb9	江南隆起成锑带	A	沃溪,摆吉
		Sb10	湘中—桂中北成锑带	A	锡矿山,巴里—龙头山100号
		Sb11	南岭成锑带	B	赤老顶,长城岭,新开
		Sb12	东南沿海成锑带	B	嵩溪,良厚

相对集中产出的资源优势能够延长现有矿山的服  
务年限,尤其是为湘中大型锑矿资源基地的可持  
续发展提供了资源保障。广西大厂锡多金属矿床  
是中国仅次于湖南锡矿山锑矿田的第二大锑矿中  
区,可以分为在茶山一带产出的钨锑矿、长坡—铜  
坑锡多金属矿床中共伴生的锑矿以及巴里—龙  
头山100号一带的锡锑多金属矿床和龙头山105号  
锡锑多金属矿床,其中巴里—龙头山100号锡锑  
多金属矿的锑金属储量为 $80.05 \times 10^4$  t,达超大型  
规模。这两个超大型锑矿的储量占全国锑金属总  
储量的28.65%。中国现已探明的锑矿区中,大型、超大型

锑矿床储量占全国总储量的67.5%,可见大型、超  
大型锑矿床对我国锑资源开发利用具有重大贡献  
(王登红等,2014;刘雪娇等,2018)。

中国锑矿床分布整体以大别山—秦岭—昆  
仑山为界,形成南密北疏的空间分布框架(图7)。  
湖南省成矿强度最大,达 $10.8 \text{ t/km}^2$ 。广西的成  
矿强度次之,约 $7.2 \text{ t/km}^2$ ,其次为西藏、贵州等  
省份(图8)。西藏是中国锑矿的重要产地,锑矿  
床数量虽不多,但查明资源量却位居全国三甲,  
代表性矿床有尕尔西姜锑矿、美多锑矿、拉诺  
玛锑矿,西藏的锑矿大多数是21世纪以来勘  
查的,发现新矿产地的潜力还很

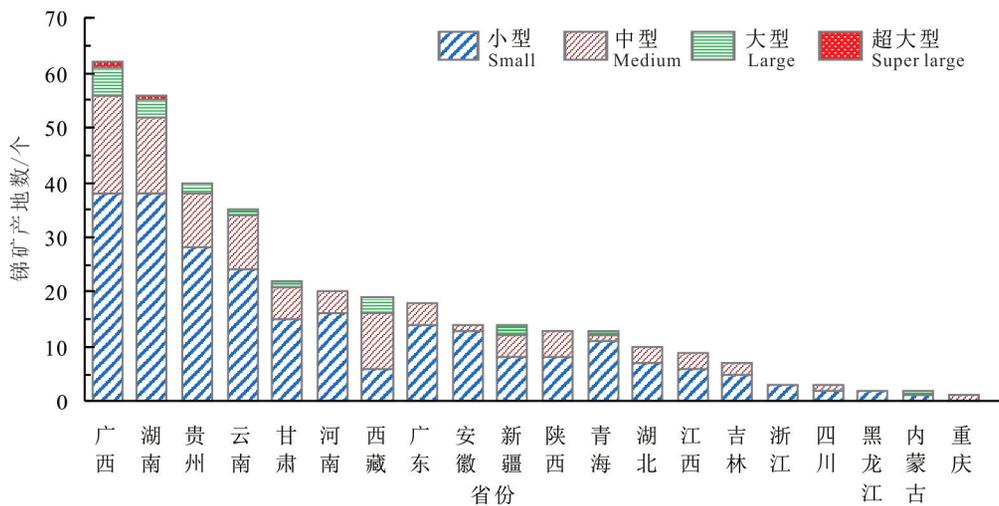


图6 锑矿产地数量的省级统计  
Fig.6 Provincial quantity statistics of antimony deposits

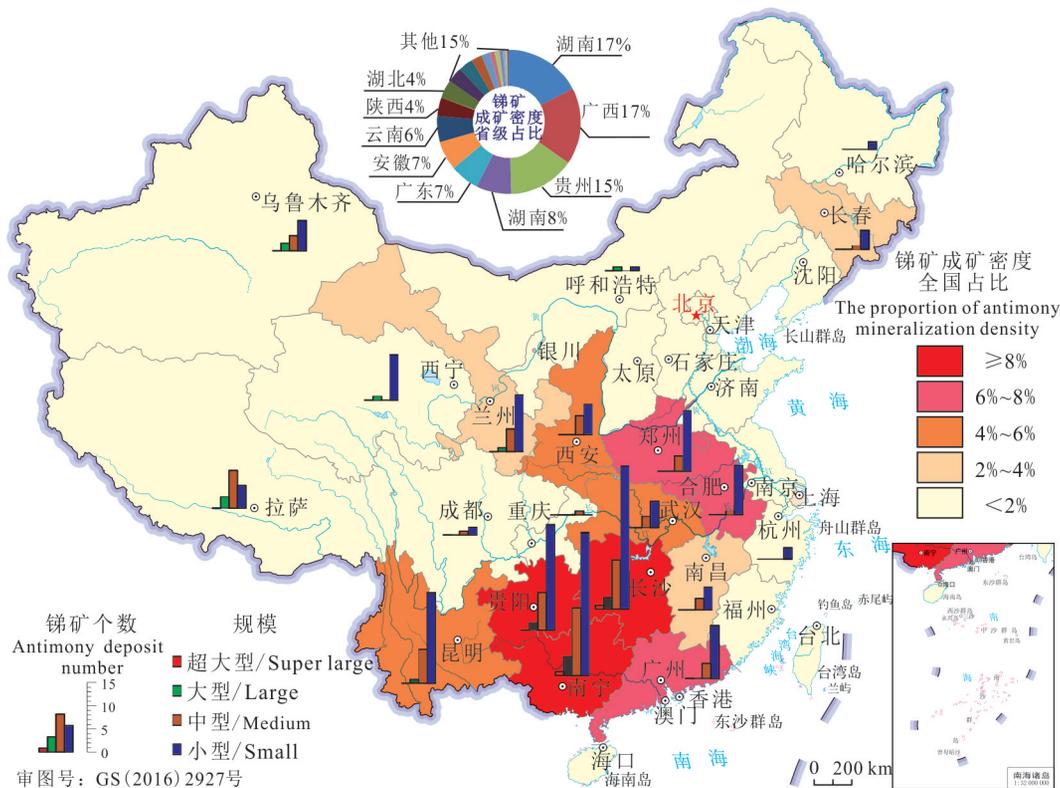


图7 中国锑矿成矿密度省级分布图

Fig.7 Metallogenic density distribution map of antimony deposits in different provinces

大,其成矿强度也将增大(丁建华等,2013),但其开采开发的难度也大、成本也高,经济效益不佳。

#### 4.2 地级市锑矿成矿规律

以地级市为单元进行统计,结果显示,锑矿床数量最多的地级市依次是广西河池市、河南三门峡市、湖南怀化市等(图9),其中河池市有小型以上规模的锑矿产地34处,是中国锑矿产地数量最多的地级市,超大型巴里—龙头山100号锡锑多金属矿、大型箭猪坡、铜坑、龙头山105号、长坡及茶山锑矿均坐落于此。

锑矿成矿密度大的地级市集中在中南、西南地区,以河南三门峡市位居首位,锑矿规模以中、小型为主,典型矿床有掌耳沟、焦沟锑矿;湖南益阳市、广西河池市、贵州黔西南州、安徽池州市锑矿成矿密度次之。湖南娄底市锑矿成矿强度约 $174.9\text{ t}/\text{km}^2$ ,位居全国之首且遥遥领先,其中超大型锡矿山锑矿位于此处;广西河池市成矿强度次之,约 $44\text{ t}/\text{km}^2$ ;其次为湖南益阳市、河南三门峡市、湖南怀化市、贵州黔南州、甘肃陇南市等地级市(图10)。

#### 4.3 县级锑矿成矿规律

开展中国锑矿床县级成矿规律定量统计尚属

国内首次。锑矿床数量最多的县级行政区依次为:广西南丹县、河南卢氏县、贵州晴隆县、湖南安化县、湖南溆浦县等(图11)。广西南丹县在近 $3900\text{ km}^2$ 范围内汇集了19处锑矿床,含超大型1处(巴里—龙头山100号)、大型锑矿4处(茶山、龙头山105号、铜坑、长坡锑矿)、含中型锑矿7处(大山、黑水沟—大树脚、平村、鱼泉洞—铜坑、高峰、洪塘、马鞍山锑矿)、小型锑矿7处,锑矿床数量居于中国县级行政区域锑矿床数量之首位。

锑矿成矿密度大的县级市以贵州晴隆县为首,该县面积约 $1300\text{ km}^2$ ,覆盖锑矿矿产地12处,规模以中、小型为主,成矿密度约每 $1000\text{ km}^2$ 有9.2处锑矿产地。广西南丹县、河南卢氏县、湖南溆浦县成矿密度次之。县级锑矿成矿强度统计见图12,明显可见锑矿高强度区域集中于湖南冷水江市,成矿强度达 $3330\text{ t}/\text{km}^2$ ,远远强于国内其他县级行政区域,主要是因为超大型锡矿山锑矿坐落在此。广西南丹县锑矿成矿强度约 $304\text{ t}/\text{km}^2$ ,位于全国锑矿成矿强度县级行政区域第二位,其次为广西金城江区、贵州独山县、甘肃西和县等。

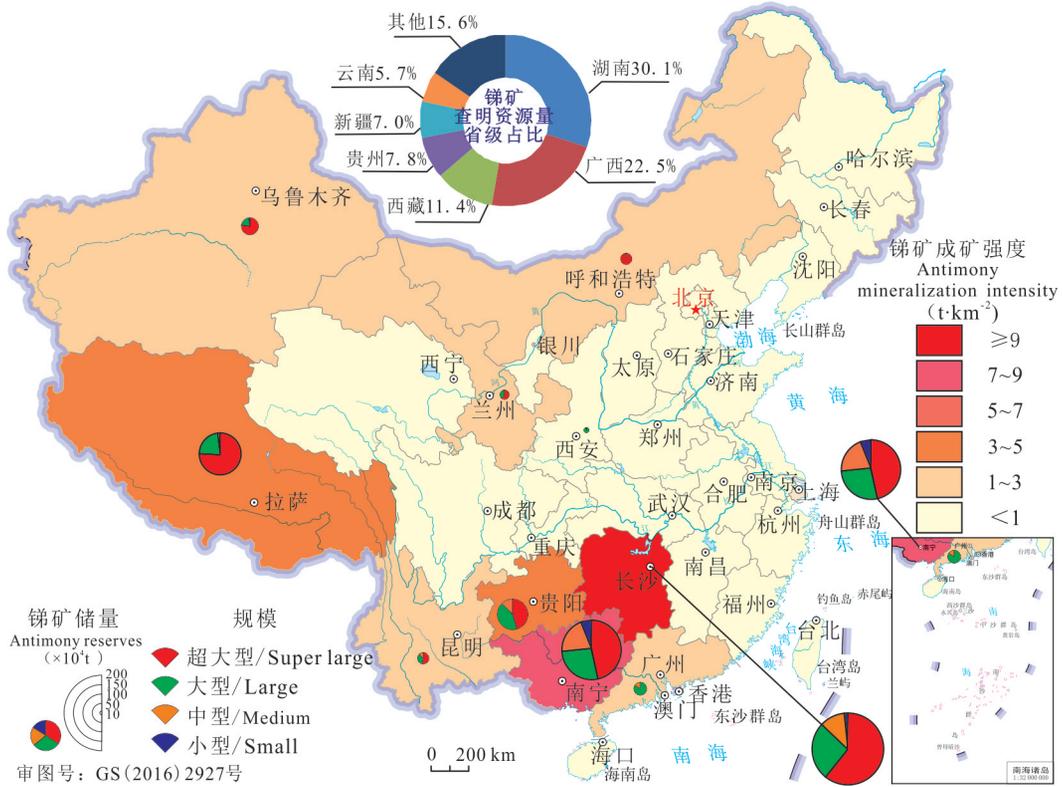


图8 锑矿成矿强度省级分布图

Fig.8 Metallogenic intensity distribution map of antimony deposits in different provinces

#### 4.4 中国锑矿Ⅲ级成矿区带的成矿规律

中国54个Ⅲ级成矿区带内分布有锑矿,其中40个带内有小型以上规模的锑矿。江南隆起西段成矿带(Ⅲ-78)中锑矿产地数量最多,有大型锑矿4处(摆吉、沃溪、渣滓溪、板溪锑矿),中型6处,小型38

处,其成矿密度也位居全国Ⅲ级区带之首。锑矿产地数量由多到少其次是桂西—黔西南—滇东北部成矿带(Ⅲ-88)(代表性矿床有木利、晴隆锑矿)、上扬子中东部(坳褶带)成矿带(Ⅲ-77)(代表性矿床有巴里—龙头山100号、茶山、半坡、龙头山105

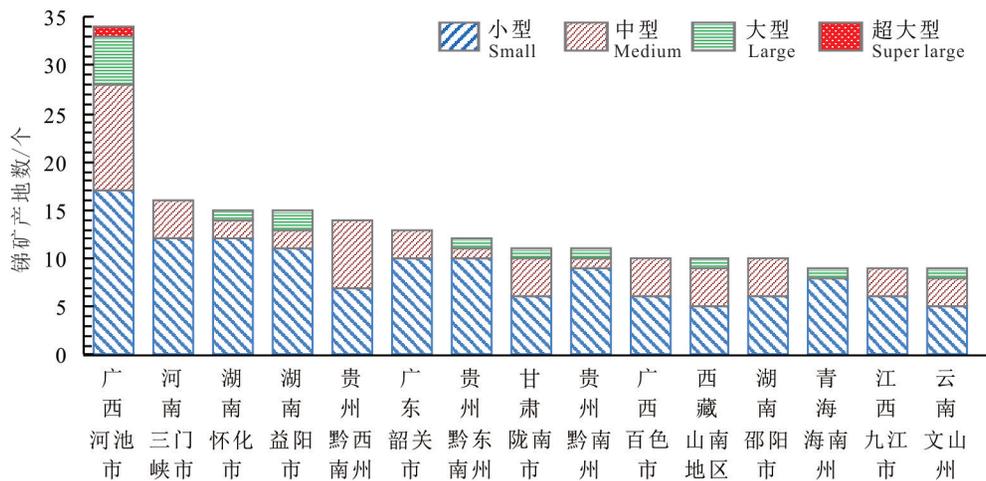


图9 锑矿产地数量市级统计前15位排序

Fig.9 Top 15 cities of antimony deposits in quantity

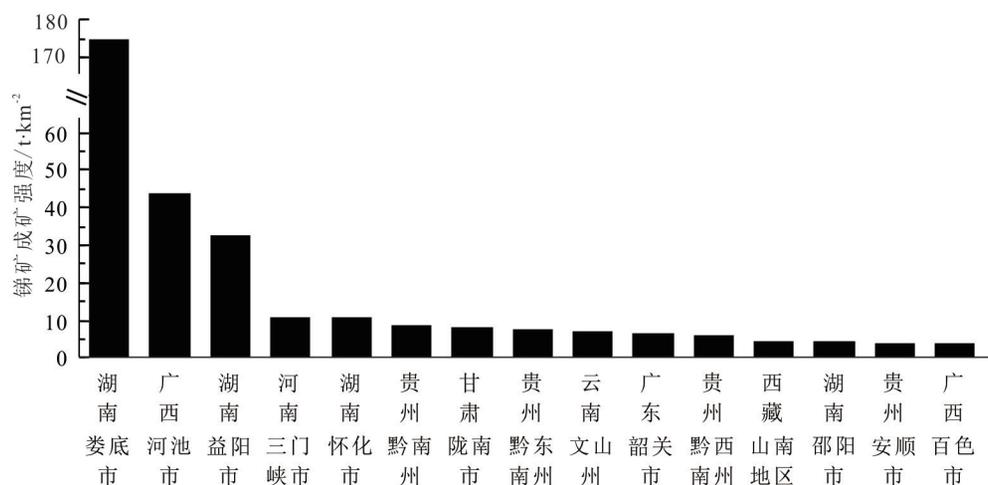


图10 锑矿成矿强度市级统计前15位排序

Fig.10 Top 15 cities of antimony metallogenetic intensity

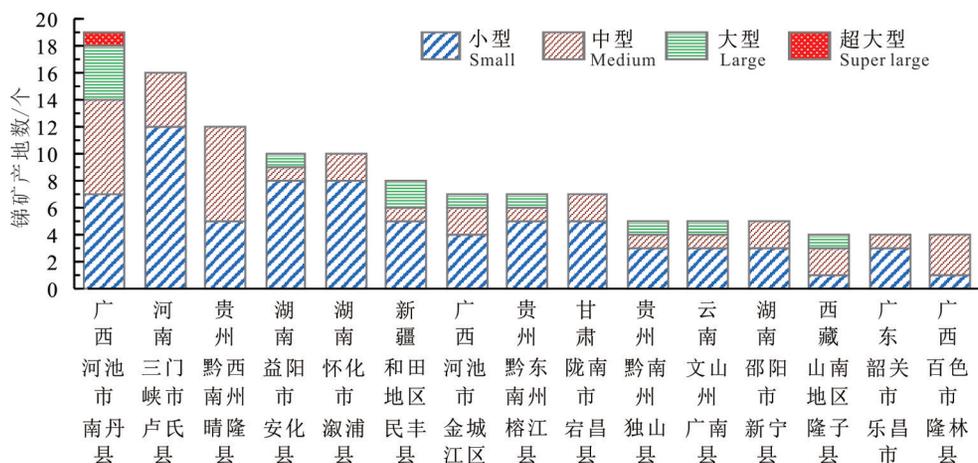


图11 锑矿产地数量的县级统计前15位

Fig.11 Top 15 counties of the quantity of antimony deposits

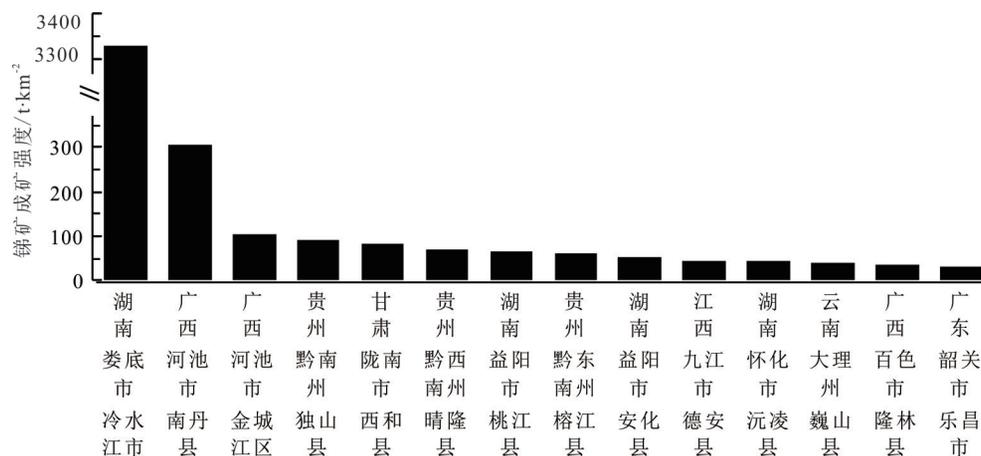


图12 锑矿成矿强度县级统计前15位

Fig.12 Top 15 counties of antimony metallogenetic intensity

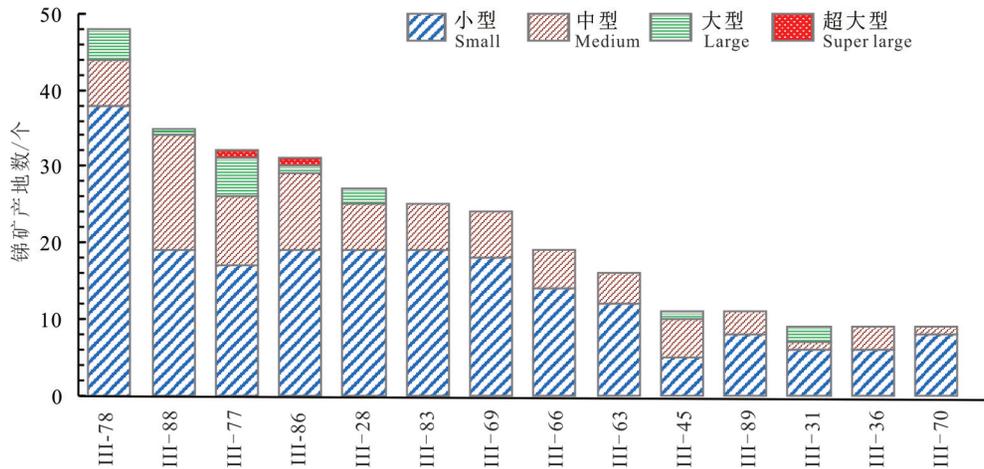


图13 III级成矿区带铋矿产地数量统计前15位

Fig.13 Number of top 15 antimony deposits in the III metallogenic belts

号、铜坑、长坡铋矿)、湘中—桂中北成矿带(III-86)(代表性矿床有湖南锡矿山、箭猪坡铋矿)等(图13)。

铋矿成矿密度整体呈现由南向北、由西向东扩展的趋势,尤其是江南隆起西段和湘中—桂中北地区,显示了高密度成铋矿的特征(图14)。传统的铋矿密集区也是湘中—桂中北成矿带的核心部位,而

西侧滇西、北侧四川、重庆、湖北、东侧福建的铋矿就少得多,在长江中下游、西秦岭及东秦岭成矿带崖湾等铋矿,工作程度虽赶不上湘中—桂中北地区,但成矿密度也有显著增长。

中国铋矿高强度区域集中在湘中—桂中北成矿带(III-86),成矿强度在23.27 t/km<sup>2</sup>,远强于其他

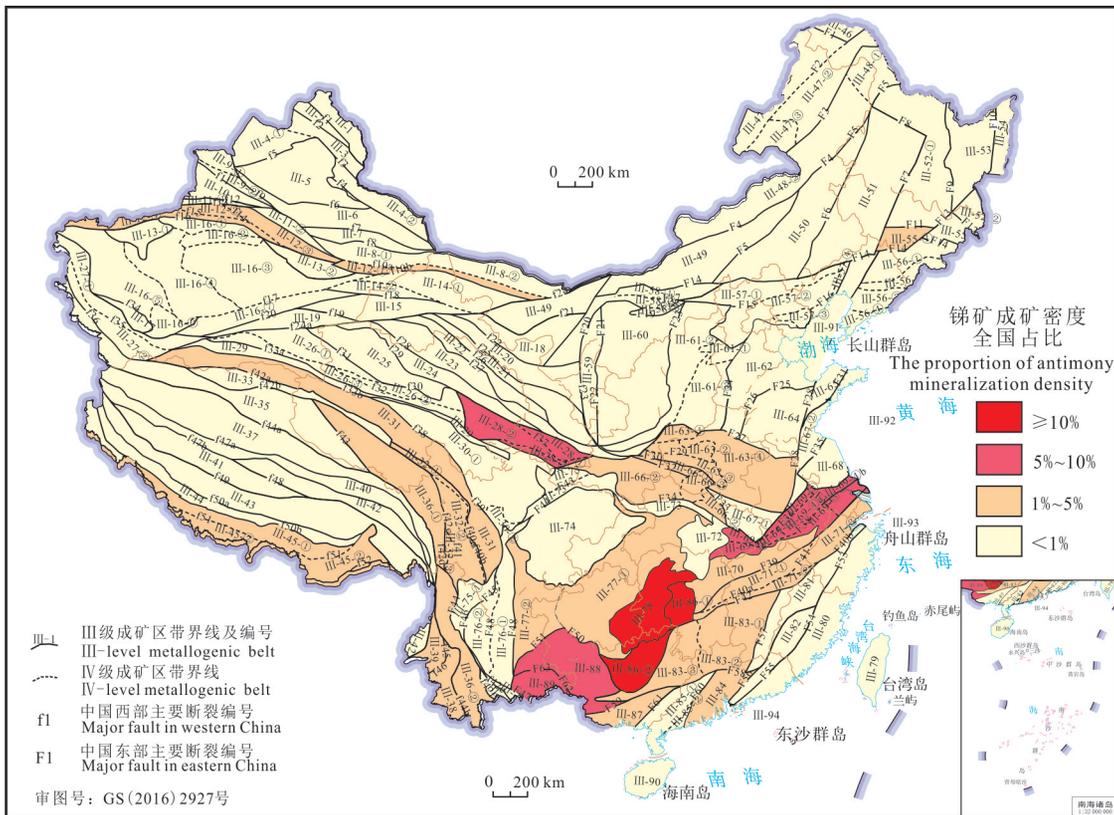


图14 III级成矿区带铋矿成矿密度分布图

Fig.14 Metallogenic density of antimony deposits in the III metallogenic belts

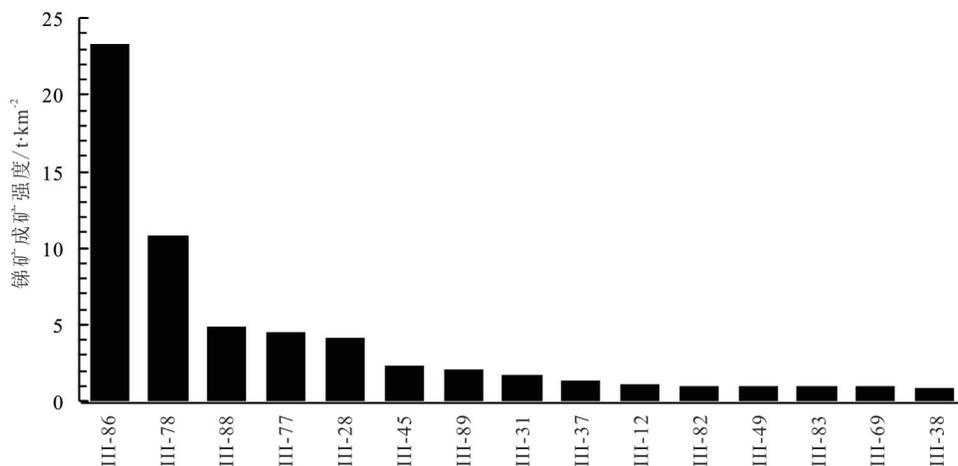


图15 III级成矿区带锑矿成矿强度统计前15位

Fig.15 Metallogenic intensity of the top 15 antimony deposits in the III metallogenic belts

成矿带。其次为上江南隆起西段成矿带(III-78),成矿强度均10.8 t/km<sup>2</sup>(图15,图16)。湘中成矿亚带(III-86-①)是全国锑矿成矿强度最强的三级亚带,成矿强度高达到56.39 t/km<sup>2</sup>以上,代表性矿床有超大型锡矿山锑矿。随着近年找矿新进展,桂西—黔

西南—滇东南北部成矿带(III-88)、上扬子中东部(III-77)、西秦岭成矿带(III-28)、喜马拉雅成矿带(III-45)、滇东南南部成矿带(III-89)的成矿强度渐显,预示着今后锑矿找矿及开发的重点也逐渐向北、向东转移。

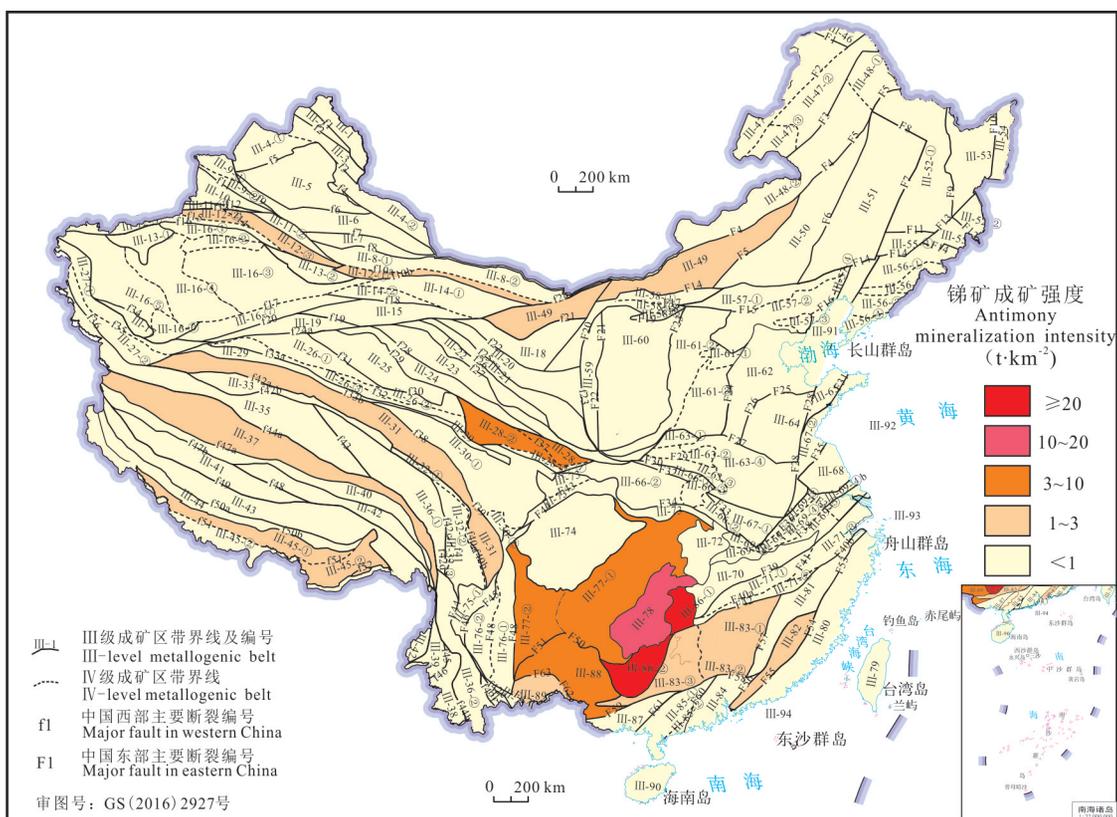


图16 III级成矿区带锑矿成矿强度分布图

Fig.16 Metallogenic intensity of antimony deposits in the III metallogenic belts

## 5 结 论

地质大数据是综合性的地质科学,是地质科学与计算技术高度融合的产物。基于锑矿地质大数据分析,查明中国锑矿在Ⅰ级成矿域、Ⅱ级成矿省及Ⅲ级成矿带的分布规律,定量分析省、市、县级及Ⅲ级成矿区带的锑矿成矿规律,可进一步指导锑矿的找矿工作。

通过开展中国锑矿成矿规律定量研究,得出如下结论:

(1)中国锑矿是世界锑矿成矿带的重要组成部分,也是最重要的集中区。在古亚洲、秦祁昆、特提斯、滨太平洋和古亚洲与滨太平洋叠加的5个成矿域中均有分布,但产出集中,尤其是华南成矿省,集中了全国59%的锑矿资源储量,是中国锑矿最重要的成矿区域,也是环太平洋锑矿带的重要组成部分。

(2)中国锑矿床在空间上高度集中分布于中南、西南地区,整体以大别山—秦岭—昆仑山为界,形成南密北疏的空间分布框架。矿床数量最多的省份依次是湖南、广西、贵州等,湖南省成矿强度最大,达10.8 t/km<sup>2</sup>。

(3)锑矿床数量最多是市为广西河池市,最多的县为河池市南丹县;锑矿成矿密度最大的市为河南三门峡市,最大的县为贵州黔西南州晴隆县;锑矿成矿强度最强的市为湖南娄底市,约174.9 t/km<sup>2</sup>,最大的县为娄底市冷水江市,成矿强度达3330 t/km<sup>2</sup>,远远强于国内其他县级行政区域,主要是因为超大型锡矿山锑矿坐落在此。

(4)江南隆起西段成矿带(Ⅲ-78)是锑矿产地数量最多、成矿密度最大的Ⅲ级成矿区带;湘中—桂中北成矿带(Ⅲ-86)成矿强度在23.27 t/km<sup>2</sup>,湘中成矿亚带(Ⅲ-86-①)是全国锑矿成矿强度最大的Ⅲ级亚带。

像湖南锡矿山和广西大厂这样的百万t、50万t以上级别的锑矿,在世界上绝无仅有,这也是中国锑矿地质工作者对于世界锑矿的巨大贡献。然而中国锡矿山、广西大厂、贵州晴隆等传统锑矿山,都已经进入了“危机矿山”序列,资源接替已经成为当务之急。湖南板溪、龙山等危机矿山不断取得深部找矿的突破,说明中国重要矿区深部找矿的潜力是存在的。西藏近年锑新矿产地的勘探、开发,表明

其找矿潜力还很大,有望取得锑矿的找矿突破。

### 注释

①自然资源部矿产资源储量管理部门信息中心. 2018. 全国矿产资源储量通报(二〇一七年)[R].

### References

- Anonymous. 2019. The national geological big data platform was upgraded and put online[R]. The People's Daily, 2019.10.14:A13.
- Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, China Nonferrous Metal Industry Corporation. 1987. Major Non-ferrous Metal Minerals Abroad [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1-602 (in Chinese).
- Bristol R S, Euliss N H, Booth N L, Burkardt N, Diffendorfer J E, Gesch D B, McCallum B E, Mille D M, Morman S A, Poore B S, Signel R P, Viger R J. 2012. Science strategy for Core Science Systems in the U.S. Geological Survey, 2013-2023[M]. U.S. Geological Survey.
- Bruce H. Wilkinson, Stephen E. Kesler. 2009. Quantitative identification of metallogenic Epochs and provinces: Application to Phanerozoic porphyry copper deposits [J]. Economic Geology, 104 (5): 607-622.
- Chang Liheng, Zhu Yueqin, Wang Xinqing, Zhang Xuan, Liu Yujiang, Wu Shuo. 2018. Construction of minerals knowledge base in big data environment: A case study of tungsten ore [J]. China Mining Magazine, 27(9): 93-108 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jianping, Li Jing, Cui Ning, Yu Pingping. 2015. The construction and application of geological cloud under the big data background[J]. Geological Bulletin of China, 34(7): 1260-1265 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jianping, Xiang Jie, Hu Qiao, Yang Wei, Lai Zili, Hu Bin, Wei Wei. 2016. Quantitative geoscience and geological big data development: A review [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 90(4): 1490-1515.
- Ding Jianhua, Yang Yiheng, Deng Fan. 2013. Resource potential and metallogenic prognosis of antimony deposits in China [J]. Geology in China, 40(3): 846-858 (in Chinese with English abstract).
- Deng Zhonghua, Li Zhifang. 2013. The evolution of scientific research paradigm: The fourth paradigm of scientific research in the Era of big data [J]. Information and Documentation Services, 4: 19-23 (in Chinese with English abstract).
- Felice Frankel, Rosalind Reid. 2008. Big data: Distilling meaning from data[J]. Nature, 455(4): 30.
- Huang Shaofang, Liu Xiaohong. 2016. Thinking about the application of geological big data and geological information development [J]. China Mining Magazine, 25(8): 166-170 (in Chinese with English abstract).
- Li Jingzhe, Zhou Yongzhang, Zhang Jinliang, Wang Shugong, Ding

- Lin. 2018. Eustatic fluctuations of the neogene K successions of Huizhou Sag: High resolution quantitative analysis and application of Bays–Laplace principle with big data [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(2): 372–382 (in Chinese with English abstract).
- Linda G S, Belnap J, Goldhaber M, Goldstein A, Haessler P J, Ingebritsen S E, Jones J W, Plumlee G S, Thielert E R, Thompson R S, Back J M. 2011. *Geology for a Changing World 2010–2020 Implementing The U.S Geological Survey Science Strategy*: U.S. Geological Survey Circular 1369[M]. U.S. Geological Survey, 2011.
- Liu Bo, Wei Liuchun. 2019. Study on metallogenic characteristics of non-ferrous metals mines under the background of large data [J]. *World Nonferrous Metals*, 5: 217–218 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianming, Ye Jie, He Binbin, Zhang Ruibin, Li Yongbing. 2002. Sedex-type antimony deposits in giant antimony metallogenic belt, South China [J]. *Mineral Deposits*, 21(S): 169–171 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xuejiao, Liu Su, Peng Siyuan. 2018. The present situation and co-demand situation analysis of antimony resources in China [J]. *Western Resources*, 4: 201–203 (in China).
- Luo Jianmin, Wang Xiaowei, Zhang Qi, Song Bingtian, Yang Zhongming, Zhao Yanqing. 2019. Application of geological big data to quantitative target area optimization for regional mineral prospecting in China [J]. *Earth Science Frontier*, 26(4): 76–83 (in Chinese with English abstract).
- Mei Yanxiong, Pei Rongfu, Yang Defeng, Dai Zixi, Li Jinwen, Xu Congrong, Qu Hongying. 2009. Global metallogenic domains and districts [J]. *Mineral Deposits*, 28(4): 383–389 (in Chinese with English abstract).
- Mengyi Ren, Jianping Chen, Ke Shao, Sheng Zhang. 2016. Metallogenic information extraction and quantitative prediction process of seafloor massive sulfide resources in the Southwest Indian Ocean [J]. *Ore Geology Reviews*, 76: 108–121.
- Michael H. Stephenson. 2019. The uses and benefits of big data for geological surveys [J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(sup.1): 64–65.
- Peng Boyang, Chen Youliang, Liu Kun, He Zhongyang, Yuan Wei. 2015. Discussion of antimony distribution feature in Tibet [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 428–429 (in Chinese with English abstract).
- Song Miaomiao, Li Zhe, Zhou Bin, Li Chaoling. 2014. Cloud computing model for big geological data processing [J]. *Applied Mechanics and Material*, 475–476: 306–311.
- Tan Yongjie, Qu Honggang, Wen Min. 2018. On big data of geological survey [J]. *Geomatics world*, 25(2): 7–11 (in Chinese with English abstract).
- Tan Yongjie. 2019. *Big Data and Geological Big Data* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Tony H, Stewart T, Kristin T. 2009. *The Fourth Paradigm* [M]. Microsoft Press.
- USGS. 2019. *Mineral Commodity Summaries, 2019*: U.S. Geological Survey[R].
- Wang Denghong, Liu Xinxing, Liu Lijun. 2015. Characteristics of big geodata and its application to study of minerogenetic regularity and minerogenetic series [J]. *Mineral Deposits*, 34(6): 1143–1154 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Xu Zhigang, Sheng Jifu, Zhu Mingyu, Xu Jue, Yuan Zhongxin, Bai Ge, Qu Wenjun, Li Huaqin, Chen Zhenghui, Wang Chenghui, Huang Fan, Zhang Changqing, Wang Yonglei, Ying Lijuan, Li Houmin, Gao Lan, Sun Tao, Fu Yong, Li Jiankang, Wu Guang, Tang Juxing, Feng Chengyou, Zhao Zheng, Zhang Daquan. 2014. Progress on the study of regularity of major mineral resources and regional metallogenic regularity in China: A review [J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2176–2191 (in Chinese with English abstract).
- Wang Huaitao, Luo Jianmin, Wang Jinrong, Du Jun, Song Bingtian, Wang Yuxi, Wang Xiaowei, Zhou Yuqi. 2018. Quantitative classification and metallogenic prognosis of basic-ultrabasic rocks based on big data: Taking the Beishan area as an example [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(11): 3195–3206 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiu, Wang Jianping, Liu Chonghao, Zhang Fangfang. 2014. Situation analysis and sustainable development strategy of antimony resources in China. [J]. *China Mining Magazine*, 23(5): 9–13 (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 [J]. *China Tungsten Industry*, 33(1):17–31 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Jue, Chen Zhenghui, Liang Ting. 2013. The principal antimony concentration areas in China and their resource potentials [J]. *Geology in China*, 40(5): 1366–1378 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Xu Jue, Zhang Changqing, Wang Chenghui, Chen Zhenghui, Huang Fan. 2014. Summary of metallogenic regularities of antimony deposits in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2208–2215 (in Chinese with English abstract).
- Wu Chonglong, Liu Gang. 2019. Big data and future development of geological science[J]. *Geological Bulletin of China*, 38(7): 1081–1088 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yongliang, Jia Zhijie, Chen Jianping, Zhu Yueqin. 2017. Construction and prediction of prospecting model based on big data intelligence [J]. *China Mining Magazine*, 26(9): 79–84 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Jie, Chen Jianping, Xiao Keyan, Li Shi, Zhang Zhiping, Zhang Ye. 2019. 3D metallogenic prediction based on machine learning: A case study of the Lala copper deposit in Sichuan Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 38(12):2010–2021 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qiming, Zeng Duren, Jin Fuqiu, Yang Mingyue, Yang Zhifang. 1993. Time-space distribution feature and exploration guide of China's Sb-deposits [J]. *Gold*, 9–14 (in Chinese with English abstract).

- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-138 (in Chinese with English abstract).
- Yu Pingping, Chen Jianping, Cai Fushan, Zheng Xiao, Yu miao, Xu bin. 2015. Research on model driven quantitative prediction and evaluation of mineral resources based on geological big data concept [J]. Geological Bulletin of China, 34(7):1333-1343 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guolin, Yao Jinyan, Gu Xiangping. 1998. Time and spatial distribution regularities and deposit types of antimony in China [J]. Mineral Resources and Geology, 12(5): 306-312 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Gongye. 2018. Analysis on the development direction of antimony deposits in China [J]. China Metal Bulletin, 5: 17-18 (in Chinese).
- Zhao Pengda. 2019. Characteristics and rational utilization of geological big data [J]. Earth Science Frontiers, 26(4): 1-5(in Chinese with English abstract).
- Zhou Xiaoxi, Deng Fan, Wan Lin, Yang Jun. 2019. Design and implementation of information management platform for big data of uranium [J]. Coal Geology & Exploration, 47(1): 6-14 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yanjing, Li Jianwu, Wang Gaoshang, Xia Ye, Qiu Nanping. 2014. Distribution and development situation of global antimony resources [J]. China Mining Magazine, 23(10): 13-16 (in Chinese with English abstract).
- 球成矿域和成矿区带[J]. 矿床地质, 28(4): 383-389.
- 彭渤洋, 陈友良, 刘堃, 何忠痒, 袁为. 2015. 西藏地区锑矿成矿规律探讨[J]. 矿物学报, 428-429.
- 谭永杰, 屈红刚, 文敏. 2018. 论地质调查工作大数据[J]. 地理信息世界. 25(2): 7-11.
- 谭永杰. 2019. 话说大数据与地质大数据[M]. 北京: 地质出版社.
- 王登红, 刘新星, 刘丽君. 2015. 地质大数据的特点及其在成矿规律、成矿系列研究中的应用[J]. 矿床地质, 34(6): 1143-1154.
- 王登红, 徐志刚, 盛继福, 朱明玉, 徐珏, 袁忠信, 白鸽, 屈文俊, 李华芹, 陈郑辉, 王成辉, 黄凡, 张长青, 王永磊, 应立娟, 李厚民, 高兰, 孙涛, 付勇, 李建康, 武广, 唐菊兴, 丰成友, 赵正, 张大权. 2014. 全国重要矿产和区域成矿规律研究进展综述[J]. 地质学报, 88(12): 2176-2191.
- 王怀涛, 罗建民, 王金荣, 杜君, 宋秉田, 王玉玺, 王晓伟, 周煜祺. 2018. 基于大数据的基性-超基性岩定量分类及成矿预测研究——以北山地区为例[J]. 岩石学报, 34(11): 3195-3206.
- 王修, 王建平, 刘冲昊, 张方方. 2014. 我国锑资源形势分析及可持续发展策略[J]. 中国矿业, 23(5): 9-13.
- 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[J]. 中国钨业. 33(1):17-31.
- 王永磊, 陈毓川, 王登红, 徐珏, 陈郑辉, 梁婷. 2013. 中国锑矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 40(5): 1366-1378.
- 王永磊, 徐珏, 张长青, 王成辉, 陈郑辉, 黄凡. 2014. 中国锑矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 88(12): 2208-2215.
- 吴冲龙, 刘刚. 2019. 大数据与地质学的未来发展[J]. 地质通报, 38(7): 1081-1088.
- 吴永亮, 贾志杰, 陈建平, 朱月琴. 2017. 基于大数据智能的找矿模型构建与预测[J]. 中国矿业, 26(9): 79-84.
- 肖启明, 曾笃仁, 金富秋, 杨明跃, 阳志芳. 1993. 中国锑矿床时空分布规律及找矿方向[J]. 黄金, 9-14.
- 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[M]. 北京: 地质出版社, 1-138.
- 佚名. 2019. 国家地质大数据平台升级上线[N]. 人民日报, 2019年10月14日13版.
- 于萍萍, 陈建平, 柴福山, 郑啸, 于森, 徐彬. 2015. 基于地质大数据理念的模型驱动矿产资源定量预测[J]. 地质通报, 34(7): 1333-1343.
- 向杰, 陈建平, 肖克炎, 李诗, 张志平, 张烨. 2019. 基于机器学习的三维矿产定量预测——以四川拉拉铜矿为例[J]. 地质通报, 38(12): 2010-2021.
- 张国林, 姚金炎, 谷相平. 1998. 中国锑矿床类型及时空分布规律[J]. 矿产与地质. 12(5): 306-312.
- 赵工业. 2018. 浅析我国锑业的发展方向[J]. 中国金属通报, 5: 17-18.
- 赵鹏大. 2019. 地质大数据特点及其合理开发利用[J]. 地学前缘, 26(4): 1-5.
- 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所. 1987. 国外主要有色金属矿产[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1-602.
- 周小希, 邓凡, 万林, 杨君. 2019. 铀矿大数据综合管理信息平台设计与实现[J]. 煤田地质与勘探. 47(1): 6-14.
- 周艳晶, 李建武, 王高尚, 夏焱, 邱南平. 2014. 全球锑矿资源分布及开发现状[J]. 中国矿业, 23(10): 13-16.

## 附中中文参考文献

- 常力恒, 朱月琴, 汪新庆, 张旋, 刘雨江, 吴硕. 2018. 大数据环境下的矿产知识库构建:以钨矿为例[J]. 中国矿业, 27(9): 93-108.
- 陈建平, 李婧, 崔宁, 于萍萍. 2015. 大数据背景下地质云的构建与应用[J]. 地质通报, 34(7): 1260-1265.
- 丁建华, 杨毅恒, 邓凡. 2013. 中国锑矿资源潜力及成矿预测[J]. 中国地质, 40(3): 846-858.
- 邓仲华, 李志芳. 2013. 科学研究范式的演化——大数据时代的科学研究第四范式[J]. 情报资料工作, 4: 19-23.
- 黄少芳, 刘晓鸿. 2016. 地质大数据应用与地质信息化发展的思考[J]. 中国矿业, 25(8): 166-170.
- 李景哲, 周永章, 张金亮, 王树功, 丁琳. 2018. 惠州凹陷新近系K系列海平面变化定量分析及大数据应用展望[J]. 岩石学报, 34(2): 372-382.
- 刘波, 韦柳春. 2019. 大数据背景下的有色金属矿山成矿特征研究[J]. 世界有色金属, 5: 217-218.
- 刘建明, 叶杰, 何斌斌, 张瑞斌, 李永兵. 2002. 华南巨型锑矿带中的Sedex型锑矿床[J]. 矿床地质, 21(S): 169-171.
- 刘雪娇, 刘翔, 彭思远. 2018. 锑矿资源现状及我国锑矿供需形势分析[J]. 西部资源, 4: 201-203.
- 罗建民, 王晓伟, 张琪, 宋秉田, 杨忠明, 赵彦庆. 2019. 地质大数据方法在区域找矿靶区定量优选中的应用[J]. 地学前缘, 26(4): 76-83.
- 梅燕雄, 裴荣富, 杨德凤, 戴自希, 李进文, 徐丛荣, 瞿泓滢. 2009. 全