

中国锗矿成矿规律与开发利用现状

赵汀,王登红,刘超,李德先,周凤英

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

内容提要:锗是一种银灰色性脆的金属,在地壳中的含量约为0.0007%,属于稀散元素,是制造红外光学仪器的关键材料,2018年被美国内政部列为35种关键性矿产之一。中国的锗资源储量占全球的41%,产量占全世界的71%,拥有类似于稀土的全球影响力。已查明资源储量的锗矿区主要分布在内蒙古和云南等14个省(自治区),其中约一半的查明锗资源储量与煤矿伴生,其余大部分与铅锌矿等有色金属矿产伴生。锗可以出现在不同时代的各种矿床当中,主要包括中低温热液型多金属矿床、含锗有机岩矿床和沉积改造型三大类型,以前二者为主,占有所有锗矿资源量的64%。我国高品位的富锗煤矿是世界上少有的优质资源,但尚未得到充分的开发利用。国际上主要从煤灰残渣中回收,我国除了煤矿中回收锗(如云南的临沧含锗煤矿、内蒙的乌兰图嘎)之外,也从有色金属冶炼厂综合回收(如广西大厂、云南会泽)。

关键词:三稀;成矿规律;战略性矿产;锗;稀散

锗(Ge)是一种银灰色性脆的金属,在地壳中的含量约为0.0007%,于1886年被德国化学家克萊門斯·溫克勒在对硫银锗矿进行分析时所发现(Lucy, 2016)。锗的出名是因为集成电器的诞生,1958年,曾经在战略情报局工作过的杰克·基尔比(Jack Kilby)以电子工程师的身份发明了集成电路,当时只是为了避免焊接电路所带来的一系列问题,却没想到开启了一个微电子的新生代并获得了2000年诺贝尔物理学奖。基尔比之所以能成功,是因为他选对了材料——锗(Abraham, 2015)。

锗具有亲铁、亲硫、亲石和亲有机质等多重地球化学性质,在自然界中主要呈分散状态赋存于闪锌矿、硫砷铜矿及银铅与铁矿中,或某些特定的煤矿中,通常被视为多金属矿床的伴生组分,一般情况下难以独立成矿。目前,工业产锗主要是在处理铅锌铜银金铁等硫化矿时作为副产品回收,或从煤燃烧后的粉煤灰中综合回收利用(Zhang Sujiang et al., 2017)。在自然界中,所有的煤都含有锗,但是能富集成锗矿床的只是极少数,多数煤中锗含量甚微。

锗品位大于0.001%的铅锌矿、大于0.002%的煤矿可作为锗矿开采。

全球锗资源比较贫乏,截至2010年,全球锗基础储量(以金属量统计)约为8600 t(Wang Yan, 2011)。主要分布在美国、中国、俄罗斯、加拿大等国,美国保有3870 t,占全球总量45%。中国是全球最大的锗生产国和出口国,中国的锗资源占全球储量的41%,却供给世界71%的产量,与稀土的状况非常类似。美国在2018年把锗列为35种关键性矿产之一。

本文在总结前人资料和找矿进展的基础上,探讨了中国锗矿的成矿规律,圈出锗矿成矿区带,指出了锗的找矿方向和建议,以期对指导我国锗矿的找矿勘查工作部署,增加资源储备和综合开发利用起到积极的促进作用。

1 中国锗矿资源禀赋

中国的锗资源主要呈伴生产出,真正系统评价过锗资源的矿区并不多,难以代表全国的锗资源状

注:本文为中国地质大调查项目“华南重点矿集区稀有稀散和稀土矿产调查”(编号DD20160056)、“中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务”(矿产地质志)项目(编号DD20160346)、“矿产资源国情调查数据集成与动态更新”(编号DD20190613)、“国内外三稀资源信息集成”(编号1212011220807)联合资助成果。

收稿日期:2019-05-01;改回日期:2019-06-03;网络发表日期:2019-06-05;责任编辑:周健。

作者简介:赵汀,博士,硕士生导师,从事数学地质和资源评价研究工作。Email:771899460@qq.com。通讯作者:王登红,男,1967年生。研究员,博士生导师。主要从事矿产资源研究。Email:wangdenghong@vip.sina.com。

引用本文:赵汀,王登红,刘超,李德先,周凤英. 2019. 中国锗矿成矿规律与开发利用现状. 地质学报, 93(6):1245~1251, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019182.
Zhao Ting, Wang Denghong, Liu Chao, Li Dexian, Zhou Fengying. 2019. Metallogenic and utilization status of Ge deposit in China. Acta Geologica Sinica, 93(6):1245~1251.

况。本次工作共统计锆矿 35 处(表 1),其中大型 10 处,中型 12 处,小型 13 处(图 1),锆矿资源在空间上分布于内蒙古、云南等 14 个省区市。

表 1 中国各类代表性锆矿床简表
Table 1 Chinatypical Ge deposits list

序号	矿床名称	省份	矿床类型	规模
1	胜利煤田乌兰图嘎锆矿	内蒙锡林 浩特市	含锆有机岩矿床	大型
2	营城煤矿上家二井	吉林九台市	含锆有机岩矿床	中型
3	万寿山锆矿	江苏江浦县	中低温热液矿床	中型
4	南山头锆矿	江苏水县	中低温热液矿床	小型
5	洛阳铁矿	福建漳平市	沉积改造型	小型
6	刘山岩(大河)铜锌矿	河南桐柏县	中低温热液矿床	小型
7	小汉口铜矿	湖北远安县	中低温热液矿床	小型
8	凡口铅锌矿	广东仁化县	沉积改造型	大型
9	钦甲铜锡矿	广西德保县	中低温热液矿床	大型
10	北山铅锌硫铁矿	广西环江毛 南族自治县	中低温热液矿床	大型
11	唐家铅锌矿	四川汉源县	中低温热液矿床	中型
12	会东铅锌矿	四川会东县	中低温热液矿床	大型
13	小山坝铝土矿	贵州修文县	沉积改造型	大型
14	水城特区杉树林矿	贵州钟山区	中低温热液矿床	矿点
15	猫猫厂-榨子厂铅锌矿	贵州赫章县	中低温热液矿床	中型
16	张家湾铅锌矿	云南彝良县	中低温热液矿床	小型
17	茂租铅锌矿	云南巧家县	沉积改造型	中型
18	毛坪铅锌矿	云南彝良县	沉积改造型	中型
19	临沧大寨锆矿 (帮卖富锆矿)	云南临翔区	含锆有机岩矿床	大型
20	楠木树锌矿	陕西南郑县	中低温热液矿床	大型
21	洛坝铅锌矿	甘肃徽县	中低温热液矿床	中型
22	洛坝铅锌矿(15~41)线	甘肃徽县	沉积改造型	小型
23	下拉地银铅矿	甘肃临潭县	中低温热液矿床	小型
24	铜峪沟铜矿	青海兴海县	沉积改造型	中型
25	石庄铅锌矿	云南东川区	中低温热液矿床	小型
26	石将军铜矿	云南东川区	沉积改造型	小型
27	矿山厂铅锌矿(脉矿)	云南会泽县	中低温热液矿床	大型
28	矿山厂铅锌矿(砂矿)	云南会泽县	中低温热液矿床	中型
29	麒麟厂铅锌矿	云南会泽县	中低温热液矿床	大型
30	雨录铅锌矿	云南会泽县	中低温热液矿床	小型
31	窝铅厂锌矿	云南会泽县	中低温热液矿床	小型
32	营城煤矿九井	吉林九台市	含锆有机岩矿床	中型
33	营城煤矿十井	吉林九台市	含锆有机岩矿床	矿点
34	营城煤矿上一井	吉林九台市	含锆有机岩矿床	中型
35	营城煤田官地矿区	吉林九台市	含锆有机岩矿床	中型

在查明锆资源储量的矿产地中,我国与煤矿伴生的锆矿有 7 处,占全国查明资源储量的 42%;与铅锌矿伴生的锆矿至少 16 处,占全国查明资源储量的 29%;与铝土矿伴生的锆矿至少 1 处,占全国查明资源储量的 12.2%;与铁矿伴生的锆矿 1 处,占全国查明资源储量的 3%;与铜矿伴生的锆矿 5 处,占全国查明资源储量的 4%;在煤层中与铀、煤伴生的锆矿 1 处(大寨铀锆矿),占全国查明资源储量的

7.2%。我国在 20 世纪 50 年代末到 60 年代初开展过煤中锆资源的综合调查,相继发现了一系列含锆煤矿,主要是褐煤。虽然我国是煤炭大国,但大多数煤中锆含量偏低,不具工业开采价值。已查明的具有独立开采价值的煤-锆矿床有两个,分别是位于云南临沧新生代盆地的帮卖煤-锆矿床和内蒙古中生代盆地的乌兰图嘎煤-锆矿床(Wang Tinghao et al.,2016)。

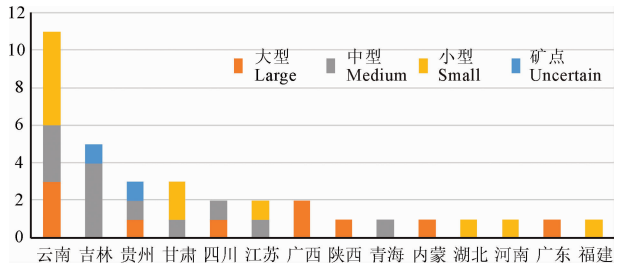


图 1 中国各省锆矿数量(据国内外三稀资源信息集成项目)

Fig.1 Gedeposites in different province of China
(after Domestic and Foreign Rare Element Resources Information Integration Project)

2 中国锆矿开发利用现状

我国是世界上最大的锆生产国,目前形成了云南、内蒙、广东、江苏四个生产基地。2014 年我国的锆产量约为 111.07 t,比 2005 年的产量增加了 50 t。从 2005 年到 2014 年,大约每三年就有一次产量的大提升;2013 年,产量首次超过 100 t,在世界市场上拥有越来越大的影响力,为全世界的科技进步尤其是半导体、集成电路、红外仪器、光纤等高科技的发展作出了重要贡献。

根据我国锆矿资源 2020~2030 年保障程度论证结论,我国锆的消费量从 2011 年开始超越日本,成为世界第二大锆消费国。2014 年的锆消费量达到了 32 t,与 1987 年的 1.79 t 相比,增长了 16.9 倍。锆产品包括:四氯化锆、氧化锆、锆锭、锆单晶和有机锆等。2014 年我国锆的消费结构为:红外光学领域占 69%,光纤占 19%,电子及太阳能发电占 6.3%,其他占 6.3%。其中,红外光学领域是我国锆消费的主体(Wang Yan,2011)。

云南省已成为我国第一产锆大省。临沧市以褐煤资源优势为依托,以云南临沧鑫圆锆业股份有限公司(以下简称“云南锆业”)为“锆”龙头企业,努力打造“我国锆都”(南方)。同时,驰宏锌锆股份有限

公司旗下会泽冶炼厂以会泽铅锌矿为原料进行锆精矿加工,合资公司云南北方驰宏光电有限公司(以下简称“北方驰宏”)生产高纯二氧化锆、区熔锆及下游产品。云南部分锆资源输出到江苏、四川、湖南、武汉等地。2014 年,云南原地锆产量达到几十吨。

内蒙古的锆资源量全国最大,主要由国电集团公司开发,其旗下锡林郭勒盟乌兰图嘎煤炭有限责任公司(乌煤公司)负责矿山开采,旗下锡林郭勒通力锆业有限公司(以下简称“通力锆业”)和锡林郭勒蒙东锆业科技有限公司(以下简称“蒙东锆业”)利用煤发电后的烟尘提取锆。通力锆业已满负荷生产,产能折合金属量达几十吨。蒙东锆业产能约为通力锆业的 2 倍,产能逐渐释放,且有下游产品。内蒙古的锆生产集中,产量比较稳定,随着通力锆业和蒙东锆业产量的增加而增加。2014 年,内蒙古的本

土锆产量约为几十吨,未来有比较大的增长空间。除了云南、内蒙古外,广东、江苏、四川、湖南、湖北、河北均有锆的生产。

3 中国锆矿的成矿规律

3.1 我国锆矿的矿床类型

我国锆矿床按成因类型和工业类型概括为三大主要类型:中低温热液型多金属矿床、含锆有机岩矿床和沉积改造型(图 2)。我国的锆矿资源主要集中于中低温热液型多金属矿床和含锆有机岩矿床 2 种类型,其资源储量占有所有锆矿类型的 64%。

中低温热液型多金属矿床是最常见的一种伴生锆矿床,典型矿床包括云南会泽的矿山厂铅锌矿、麒麟厂铅锌矿和雨露铅锌矿等。含锆有机岩矿床,是指锆与煤、油页岩、黑色页岩等共伴生的矿床(图



图 2 中国锆矿资源分布与成矿带划分

Fig. 2 Metallogenic belt and distribution of Ge in China

1—准东哈密富锆煤成矿带;2—呼伦贝尔富锆煤成矿带;3—锡林郭勒富锆煤成矿带;4—鄂尔多斯富锆煤成矿带;

5—川滇黔锆成矿带;6—滇西临沧富锆煤成矿带;7—粤北锆成矿带

1—Zhundong Hami Ge coal metallogenic belt; 2—Hulunbeier Ge coal metallogenic belt; 3—Xilin Gole Ge coal metallogenic belt;

4—Ordos Ge coal metallogenic belt; 5—Sichuan-Yunnan-Guizhou Ge metallogenic belt;

6—Western Yunnan Linchang Ge coal metallogenic belt; 7—Northern Guangdong Ge metallogenic belt



图 3 中国煤炭资源中锗元素分布特征

Fig. 3 The distribution map of Ge-bearing coal mine in China

3), 目前国内已发现的高锗煤富集区位于滇西、内蒙古锡林郭勒盟胜利煤田及呼伦贝尔盟伊敏煤田等地 (Ao Weihua et al., 2007)。云南临沧的帮卖锗矿, 是中国乃至世界上罕见的含煤地层中的可独立开采的锗矿床 (Zhu Xueli, 2009), 储量达到大型规模; 内蒙古胜利煤田乌兰图嘎锗的资源储量接近 3000 t。沉积改造型锗矿如贵州赫章的猫猫厂—榨子厂铅锌矿, 其中的锗分布于氧化物 (氧化锌) 中, 含量可达 390g/t。热液交代型锗矿一般规模较小, 如云南的石家庄铅锌矿和福建的洛阳铁矿 (Yuan Ying et al., 2011, 2012; Zhou Yun et al., 2013; Zhang Changqing et al., 2014)。

3.2 我国锗矿成矿带划分

根据空间分布特征, 中国锗资源主要集中在“川滇黔锗成矿带”、“滇西临沧富锗煤成矿带”、“蒙东锡林郭勒富锗煤成矿带”三个成矿带 (图 2)。

新疆准东哈密富锗煤成矿带是新疆煤炭资源最丰富的地区, 不仅拥有数百亿吨低阶煤储量, 而且分布着富含锗的煤炭井田, 其中伊吾县淖毛湖煤田, 富

锗煤层中 Ge 含量平均达到 202×10^{-6} 。

内蒙古呼伦贝尔富锗煤主要位于海拉尔盆地伊敏煤田, 煤田锗异常主要发育在夹矸中, 锗资源量预计超过 4000 t。各煤层大多数有锗异常显示, 锗含量一般在 $50 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 之间 (Wang Lanming, 1999)。

蒙东锡林郭勒富锗煤成矿带中煤种主要是褐煤, 煤化程度太低, 发热量低、挥发份高、不适宜运输和储存、容易自燃, 但具有储量大、可露天开采、开发成本低的特点, 其中胜利煤田锗平均含量达到 244×10^{-6} , 苏尼特左旗白音乌拉井田达 290×10^{-6} , 坑口电厂燃煤后的煤灰可回收锗。

鄂尔多斯盆地富锗煤成矿带是我国煤炭的国家规划矿区所在, 锗资源主要富集在准格尔旗, 准格尔旗小塔沟井田 Ge 含量平均达到 613×10^{-6} , 长滩井田达到 327×10^{-6} , 孔兑沟井田 301×10^{-6} 。

在川滇黔锗成矿带, 分布着大量铅锌矿床, 例如四川会东大梁子铅锌矿、四川会理天宝山铅锌矿、云南会泽铅锌矿、云南罗平富乐铅锌矿、贵州水城杨树

林铅锌矿、贵州都匀牛角塘铅锌矿、贵州水城青山铅锌矿等。这些铅锌矿中都伴生有分散元素锗(Wang Qian et al. ,2010; Zhang Yuxu et al. ,2012)。

在滇西临沧富锗煤成矿带,锗矿产在滇西以印支期花岗岩为基底的帮卖含褐煤碎屑岩盆地中,锗矿床具有独立开发价值(Qi Huawen et al. ,2002a, 2002b),包含大寨和中寨两个矿床。

在粤北锗成矿带,凡口铅锌矿是区带内典型的沉积改造型锗矿床(但也有观点认为是热液型铅锌矿),保有锗资源储量约 1000t,与其他热液成因的锗矿床类似,锗也主要与锌发生类质同象赋存于闪锌矿中(Chen Yuchuan et al. ,2014; Wang Li et al. ,2003)。

3.3 我国锗矿的主要成矿时代

根据各锗矿成矿时代的统计,中国锗成矿作用发生的时间跨度从中生代到新生代。总体上,锗成矿作用以燕山期最为发育,次为喜马拉雅期、印支期。其中,大型伴生锗矿主要发育在燕山期和喜马拉雅期,与铅锌共生的锗矿主要发育在燕山期,印支期为次;煤层中伴生锗矿主要发育在侏罗纪和白垩纪,晚第三纪也有发育(Wang Denghong et al. ,2014)。

3.4 我国锗矿的成矿演化

从我国锗矿的时空演化特征看,川滇黔锗成矿带中以会泽铅锌锗矿最具代表性,成矿作用发生于印支期-燕山期,主体为印支晚期,部分延至燕山早期(Han Runsheng et al. ,2014);粤北锗成矿带中凡口铅锌锗矿的成矿时代大约在早白垩世晚期,延续时间较长(Zhu Xinyou et al. ,2013);与凡口铅锌锗矿成因相似的广西北山铅锌锗矿成矿流体为泥盆-二叠纪盆地形成的压实脱水含矿热卤水,在燕山期,含矿热卤水运移至有利位置沉淀成矿(Liu Xianghua et al. ,2018)。至于富锗褐煤,成煤时间较新,煤化程度低,蒙东锡林郭勒富锗煤成矿带为白垩纪成煤,准东哈密富锗煤成矿带成煤时代为侏罗纪,滇西临沧富锗煤成矿带主要为新近纪成矿,呼伦贝尔富锗煤成矿带主要是晚侏罗世及早白垩世成矿。

3.5 我国锗矿共生规律

锗矿常伴生在铅锌、银、铜、钼的硫化物及煤层中,独立的锗矿很少,伴生在铅锌矿中的锗一般是类质同相赋存在闪锌矿的晶格中,强还原及低温条件下, Ge^{4+} 转变成 Ge^{2+} ,离子半径与 Zn^{2+} 相近,易于进入闪锌矿晶格中(Liu Feng,2005)。煤层中锗品

位变化较大,锗主要富集在顶部和底部,而在上部缺少灰岩和硅质岩的含煤段层,基本无锗矿化。云南临沧帮卖盆地煤层中的锗,可能不是从成煤植物中继承来的,而主要来自于周边的变质岩、花岗岩及盆地的基底层(Zhu Xueli,2009);但胡瑞忠等(Hu Ruizhong et al. ,1996,2000)根据富锗煤矿与硅质岩的空间分布规律、黄铁矿的硫同位素组成、锗在矿化煤层中的品位变化规律及硅质岩的地球化学特征,认为锗主要来自热水溶液,而这种热水溶液中的锗主要由盆地基底的富锗花岗岩供应(Zhang Ming et al. ,2003)。

4 结论

我国锗矿床可分为三大主要类型:中低温热液型多金属伴生锗矿、含锗有机岩矿床和沉积改造型锗矿,以中低温热液型和含锗有机岩矿床为主,占有锗矿类型的 64%。

我国提供了全世界所需要的大部分锗资源,为全球锗产业的发展作出了突出贡献,但话语权不大。中国以 41%的储量供给世界 71%的产量,是全球最大的锗生产国和出口国,但中国在锗的制造和应用上,仍处于行业的末端,多以锗锭和粗加工为主,开发利用基本停留在四氯化锗和二氧化锗初级产品水平,精、深加工程度较低,而且大多数产品都用于出口。中国锗业还没有在真正意义上形成具有话语权的全产业链。中国初级锗产品的生产量占据了世界总产量的 50%以上,还应该在深加工和高附加值产品上下功夫,建议推动深加工产品研发和产业化,鼓励企业在锗应用关键技术、关键产品上下功夫,提高锗终端应用领域的技术研发,提高关键产品生产能力,提高出口产品的附加值,开拓新应用,将下游做强。

我国锗资源虽然总量较丰富,但优质资源稀少,建议储备优质资源以保障新兴产业的发展。我国的锗资源特别是高品位的富锗煤矿是世界上少有的优质资源,煤中锗还常与镓伴生,但受制于主矿产的开采,回收程度不高。铅锌矿中伴生锗的综合利用除了个别矿床之外,整体上利用水平不高,需要加强资源的保护和综合利用。

References

Abraham D S. 2015. The Elements of Power. Yale University Press.
Ao Weihua, Huang Wenhui, Ma Yanying, Sun Lei, Wan Huan. 2007. Features and utilization of germanium resource in coal in

- China. Resources & Industries, 9(5):16~18 (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. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(02): 219~229 (in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Wang Feng, Hu Yuzhao, Wang Xuekun, Ren Tao, Qiu Wenlong, Zhong Kanghui. 2014. Metallogenic tectonic dynamics and chronology constrains on the Huize-type (HZE) germanium-rich silver-zinc-lead deposits. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(04): 758~771 (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Ye Zaojun, Su Wenchao, Qi Liang. 1996. The genesis of Lincang germanium deposit — a preliminary investigation. *Acta Mineralogica Sinica*, (02):97~102 (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Su Wenchao, Qi Huawen, Bi Xianwu. 2000. Geochemistry, occurrence and mineralization of germanium. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, (04):215~217 (in Chinese without English abstract).
- Lucy. Germanium [EB/OL]. (2016-04-13) [2016-12-16]. <http://12739.rm.cglhub.com/doc/3584956-3769698.html>.
- Liu Feng. 2005. The Metallogenetic Mechanism of the Huize Lead-Zinc Ore Deposit and the Occurrence of Germanium, Yunnan Province, China. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Liu Xianghua, Tang Zhaoxia, Wu Ximing, Shi Jian, Zhou Xi. 2018. Study on the types and metallogenic models of the Beishan lead-zinc pyrite deposit in Guangxi. *China Metal Bulletin*, (02): 203~204 (in Chinese without English abstract).
- Qi Huawen, Hu Ruizhong, Su Wenchao, Qi Liang. 2002a. Genesis of carboniferous siliceous limestone in the Lincang germanium deposit and its relation with germanium mineralization. *Geochimica*, (02): 161~168 (in Chinese with English abstract).
- Qi Huawen, Hu Ruizhong, Su Wenchao, Qi Liang. 2002b. Rare earth element geochemistry of lignite from Linfen coal mine. *Geochimica*, (03): 300~308 (in Chinese without English abstract).
- Wang Denghong, Xu Zhigang, Shen Jifu, Zhu Mingyu, Xu Jue, Yuan Zhongxin, Bai Ge, Qu Wenjun, Li Huaqin, Chen Zhenhui, Wang Chenhui, Huang Fan, Zhang Changqing, Wang Yonglei, Ying Lijuan, Li Houming, Gao Lan, Sun Tao, Fu Yong, Li Jiankang, Wu Guang, Tang Juxing, Feng Chengyou, Zhao Zhen, Zhang Daquan. 2014. Progress on the study of regularity of major mineral resources and regional metallogenetic regularity in China: a review. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2176~2191 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lanming. 1999. Introduction of the geological feature and exploring of Wulantuga germanium deposit in Xilinguole League, Inner Mongolia. *Geology of Inner Mangolia*, (03):16~20+15 (in Chinese with English abstract).
- Wang Li, Peng Shenglin, Long Yongzhen, Shu Guanglong. 2003. Polygenetic compound mineralization of Fankou Pb-Zn ore deposit, Guangdong. *Journal of Guilin Institute of Technology*, (02):149~153 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qian, An Yunling, Gu Xuexiang, Tang Juxing, Zhong Kanghui. 2010. The research of occurrence state and enrichment law of associated dispersed elements Gd, Ge and Ga of typical lead-zinc deposits in the eastern edge of Kangdian Axis, China. *Earth and Environment*, 38(03):286~294 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tinghao, Huang Wenhui, Yan Deyu, Tang Xiuyi. 2016. Progress of research on mineralization mode of large coal-Ge deposits in China: Coal-Ge deposit in Wulantuga of Inner Mongolia and Lincang of Yunan. *Earth Science Frontiers*, 23(03):113~123 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yan. 2011. Analysis of supply and demand of metal antimony. *China Metal Bulletin*, (07): 42~43 (in Chinese without English abstract).
- Yuan Ying, Zhu Xinyou, Wang Yanli. 2011. A review of the distribution and occurrence state of associated rare elements in lead-zinc deposits in China. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(S1): 316~317 (in Chinese without English abstract).
- Yuan Ying, Zhu Xinyou, Li Shunting. 2012. Contents, distribution and comprehensive utilization of associated rare earth metals in lead-zinc mines in China. *Mineral Deposits*, 31(S1):965~966 (in Chinese without English abstract).
- Zhang Changqing, Wu Yue, Wang Denghong, Chen Yuchuan, Rui Zongyao, Lou Debo, Chen Zhenghui. 2014. Brief introduction on metallogeny of Pb-Zn deposits in China. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2252~2268 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ming, Gu Xuexiang, Fu Shaohong, Si Rongjun, Li Fayuan. 2003. A review of disperse element germanium. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 22(1):82~87 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Sujiang, Ji Genyuan, Wang Nan, Jiang Ailing, Shang Lei. 2017. Current situation and sustainable development countermeasures of germanium resources in China. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, (02):6~12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuxu, Zhu Chuanwei, Fu Shaohong, Zhou Guofu, Qin Yanrong, Fan Haifeng, Wen Hanjie. 2012. A study on the enrichment regularity of ispersed elements Ge in Pb-Zn deposits in Sichuan, Yunnan and Guizhou Provinces, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 32(01):60~64 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Xinyou, Wang Jingbin, Liu Shengbo, Wang Yanli, Han Ying, Zhen Shimin, Guo Ningning. 2013. Metallogenetic age of Mississippi Valley type Pb-Zn deposit in Fankou, Guangdong: evidence from shrimp U-Pb zircon dating of diabase. *Acta Geologica Sinica*, 87(02):167~177 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Xueli. 2009. Talking about the minerogenetic geological conditions and distribution regularities of germanium in coal. *Tech Information Development & Economy*, 19(32):153~154 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yun, Duan Qifa, Cao Liang, Gan Jinmu. 2013. Enrichment of dispersed elements in MVT-type lead-zinc deposits in western Hunan and western Hubei. *Acta Mineralogica Sinica*, 33(S2): 189~190 (in Chinese without English abstract).

参 考 文 献

- 敖卫华, 黄文辉, 马延英, 孙磊, 万欢. 2007. 中国煤中锗资源特征及利用现状. *资源与产业*, 9(5):16~18.
- 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. *大地构造与成矿学*, 38(02):219~229.
- 韩润生, 王峰, 胡煜昭, 王学煜, 任涛, 邱文龙, 钟康惠. 2014. 会泽型(HZE)富锗银铅锌矿床成矿构造动力学研究及年代学约束. *大地构造与成矿学*, 38(04):758~771.
- 胡瑞忠, 毕献武, 叶造军, 苏文超, 漆亮. 1996. 临沧锗矿床成因初探. *矿物学报*, (02):97~102.
- 胡瑞忠, 苏文超, 戚华文, 毕献武. 2000. 锗的地球化学、赋存状态和成矿作用. *矿物岩石地球化学通报*, (04):215~217.
- 刘峰. 2005. 云南会泽大型铅锌矿成矿机制及锗的赋存状态. 北京: 中国地质科学院.
- 刘湘华, 唐朝霞, 吴熙明, 石坚, 周溪. 2018. 广西北山铅锌黄铁矿床类型与成矿模式研究. *中国金属通报*, (02):203~204.
- 戚华文, 胡瑞忠, 苏文超, 漆亮. 2002a. 临沧锗矿含碳硅质灰岩的成因及其与锗成矿的关系. *地球化学*, (02):161~168.
- 戚华文, 胡瑞忠, 苏文超, 漆亮. 2002b. 临沧锗矿褐煤的稀土元素地球化学. *地球化学*, (03): 300~308.

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. 地质学报, 88(12):2176~2191.

王兰明. 1999. 内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锗矿地质特征及勘查工作简介. 内蒙古地质, (03): 16~20+15.

王力,彭省临,龙永珍,舒广龙. 2003. 广东凡口铅锌矿多成因成矿作用. 桂林工学院学报, (02):149~153.

王乾,安匀玲,顾雪祥,唐菊兴,钟康惠. 2010. 康滇地轴东缘典型铅锌矿床伴生分散元素镉锗镓赋存状态与富集规律研究. 地球与环境, 38(03):286~294.

王婷灏,黄文辉,闫德宇,唐修义. 2016. 中国大型煤-锗矿床成矿模式研究进展:以云南临沧和内蒙古乌兰图嘎煤-锗矿床为例. 地学前缘, 23(03):113~123.

王艳. 2011. 金属锗的供需情况分析. 中国金属通报, (07):42~43.

袁莹,祝新友,王艳丽. 2011. 我国铅锌矿床伴生稀散元素分布与赋存状态研究综述. 矿物学报, 31(S1):316~317.

袁莹,祝新友,李顺庭. 2012. 我国铅锌矿山伴生稀散金属含量、分布规律及综合利用现状. 矿床地质, 31(S1):965~966.

张长青,吴越,王登红,陈毓川,芮宗瑶,娄德波,陈郑辉. 2014. 中国铅锌矿床成矿规律概要. 地质学报, 88(12):2252~2268.

章明,顾雪祥,付绍洪,司荣军,李发源. 2003. 锗的地球化学性质与锗矿床. 矿物岩石地球化学通报, 22(1):82~87.

张苏江,季根源,王楠,姜爱玲,尚磊. 2017. 中国锗矿资源现状及其可持续发展对策研究. 矿产保护与利用, (02):6~12.

张羽旭,朱传威,付绍洪,周国富,覃延荣,樊海峰,温汉捷. 2012. 川滇黔地区铅锌矿床中锗的富集规律研究. 矿物学报, 32(01):60~64.

祝新友,王京彬,刘慎波,王艳丽,韩英,甄世民,郭宁宁. 2013. 广东凡口 MVT 铅锌矿床成矿年代——来自辉绿岩锗石 SHRIMP 定年证据. 地质学报, 87(02):167~177.

朱雪莉. 2009. 煤中锗的成矿地质条件及分布规律. 科技情报开发与经济, 19(32):153~154.

周云,段其发,曹亮,甘金木. 2013. 湘西-鄂西 MVT 型铅锌矿分散元素富集规律. 矿物学报, 33(S2):189~190.

Metallogenic and utilization status of Ge deposit in China

ZHAO Ting, WANG Denghong*, LIU Chao, LI Dexian, ZHOU Fengying

Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

* Corresponding author: wangdenghong@vip.sina.com

Abstract

Ge is a silver-gray brittle metal with a content of about 0.0007% in the earth's crust. It is a rare element and is a key material for the manufacture of infrared optical instruments. It was listed as one of 35 key minerals by the US Department of the Interior in 2018. China's Ge reserves account for 41% of the world's total, and its production accounts for 71% of the world's total. It has a global influence similar to that of rare earths. The Yankuang area where the reserves of resources have been identified is mainly distributed in 14 provinces (autonomous regions) such as Inner Mongolia and Yunnan. About half of the identified reserves of strontium resources are associated with coal mines, and most of the others are associated with non-ferrous metal minerals such as lead-zinc ore. Ge can occur in various deposits of different eras, mainly including medium-low temperature hydrothermal polymetallic deposits, germanium-containing organic rock deposits and sedimentary transformation types. The former two types deposits are the main types, accounting for all the ore resources 64%. China's high-grade germanium-containing coal mine is a rare high-quality resource in the world, but it has not been fully exploited. Internationally, it is mainly recovered from coal ash residues. In addition to recycling sputum in coal mines (such as Linchang coal mine in Yunnan and Wulantuga in Inner Mongolia), it is also recycled from non-ferrous metal smelters (such as Guangxi Dachang, Yunnan Huize).

Key words: rare elements; metallogenic regularities; strategic minerals; germanium; sparse elements