

硒矿资源研究现状

刘家军¹ 冯彩霞¹ 郑明华²

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放
研究实验室, 贵阳 550002; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘要: 硒系分散元素之一, 在自然界通常极难形成工业富集, 甚至硒的独立矿物也很少, 其主要来源于综合性含硒矿床。目前硒已广泛应用于各个领域, 国际市场对硒的需求量逐年增长。世界硒矿资源严重短缺, 且其分布不均匀, 供求矛盾比较突出。在我国加强硒矿资源的勘查和开发利用已刻不容缓。

关键词: 硒资源 研究现状 开发 利用 前景

The Studying Situation on Selenium Resource and Its Exploiting and Utilizing Prospect

LIU Jiajun¹ FENG Caixia¹ ZHENG Minghua²

(1. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: Selenium is one of the dispersed elements and it is not easily enriched to such an extent as to be of commercial importance. The occurrence of selenide minerals is even scarce. The primary selenium comes mainly from some selenium-containing deposits. So far selenium is applied to various field extensively such as glass manufacturing, miscellaneous chemical uses, photoreceptors, pigments, electronics, metallurgical application, national defence, agricultural feed additives, medical treatment and health care. Selenium demand has been increasing year after year in international trade. Because world selenium resource is deficient seriously and not well-distributed, the contradiction of supply and demand of selenium is very prominence. Therefore, it is urgency for selenium resources to be reinforced exploration, exploitation and utilization.

Key words: selenium resource, studying situation, exploitation, utilization, prospect

硒系分散元素之一, 在自然界通常极难形成工业富集。甚至硒的独立矿物也很少。这是因为硒在地壳中的丰度比硫低上千倍, 加之硒与硫的结晶化学和它们的某些地球化学性质, 如离子半径(S^{2-} 为 0.184nm, Se^{2-} 为 0.191nm)、晶格能系数(S^{2-} 为 1.15, Se^{2-} 为 1.10)、离子电位(S^{2-} 为 -1.09eV, Se^{2-} 为 -1.05eV)等颇相似, 属强亲铜元素, 故硒易取代硫化物中的硫而不易形成硒化物^[1, 2, 3]。即使在一些伴生硒矿床

亦较难发现。国外文献中所述的有硒化物产出的热液矿床主要有四种类型^[2, 3]: (1)“远成”硒化物脉状矿床; (2)不整合面型矿床; (3)砂岩型铜、轴矿床; (4)陆相火山岩型低温 Au-Ag 矿床。目前仅有第一类可形成独立的硒矿床, 另三类矿床中尽管有一些硒化物产出, 但均没有形成硒的矿化富集体, 它仅表明硒的浓度有所增高^[4, 5]。尽管如此, 国外对硒资源开发利用研究一直较重视。我国对含硒等分散元素的矿

床研究,最早始于50年代对有色金属矿床的研究。自80年代中期以来,我国在湖北、贵州、四川、甘肃等地相继发现了一些含分散元素的金属矿床,使地质学家们对矿床中分散元素(包括硒)的研究倍受重视。为此,国家自然科学基金委员会于1996年批准了《分散元素成矿机制研究》重点项目,之后又批准了多项有关分散元素研究的面上项目。其中涉及到硒的项目就有2项。目前硒已广泛应用于玻璃、冶金、电子、国防、化学、农业和医疗保健等各个领域,国际市场对硒的需求量逐年增长,供求矛盾比较突出,在我国表现更甚。

鉴于分散元素硒的重要性,作者对国内外硒矿资源的研究现状进行了分析。这将有助于推进我国分散元素硒矿床的找矿和科学研究,提高硒的成矿理论水平,并更好地开发、利用我国的硒矿资源,缓解我国硒供求矛盾突出的现状。

1 硒在地壳中的分布

硒在地壳中呈分散状态。其特征具体表现在:(1) 硒的克拉克值很低,仅 0.05×10^{-6} , 主要呈分散状态存在。它虽能形成某些独立矿物,但极少形成硒的富集体;(2) 硒的独立矿物(包括硒硫化物)虽已发现百余种^[6],但它们在自然界分布极少。硒主要呈类质同象分布于硫化物或硫酸盐矿物中;(3) 硒极少形成具有工业价值的(独立)硒矿床,其主要来源于综合性含硒矿床,即硒大都作为其它矿床的副产品而加以综合回收^[7,8,9,10,11,12];(4) 冶炼提取硒的工艺过程较复杂,投入费用较多,主要由发达国家生产,且产量集中在少数几个大公司^[7,8]。

2 硒矿床的类型及储量

根据硒的工业利用情况,可将硒矿床类型划分为两大类:(1) 独立硒矿床;(2) 伴生硒矿床。根据硒的主要来源将伴生硒矿床又划分为如下几种工业类型:岩浆型(Cu-Ni 硫化物矿床)、斑岩型(Cu 矿床和 Cu-Mo 矿床)、矽卡岩型(Cu、Fe 矿床)、海底喷流型(硫化物矿床)、火山沉积型(黄铁矿矿床)、热液型(U-Hg-Mo-V 多金属矿床、Cu 矿床、Pb-Zn 矿床、金矿床)、沉积型(黑色页岩、碳质硅岩、煤、磷块岩等矿床)。在上述类型中,岩浆型、斑岩型、热液型、沉积型矿床最

重要,其中的硒约占硒储量的90%^[7,8]。对于独立硒矿床而言,目前已知的硒矿床主要是热液型矿床,但多为小型矿床,仅有玻利维亚的帕卡哈卡矿床较大。该矿床的硒矿体呈脉状产于破碎带内。矿石由碳酸盐、重晶石、赤铁矿及少量的黄铁矿组成。矿物主要是 Ag、Cu、Pb、Ni 的硒化物^[13-14]。我国也发现了(独立)硒矿床,即湖北恩施的渔塘坝硒矿床^[15,16,17]。但该矿床不同于帕卡哈卡热液硒矿床,而属于典型的沉积型硒矿床。该矿床赋存在一套由碳质硅岩、黑色页岩和石煤组成的硅岩建造中。

据美国矿物局估算^[7,8,11,12],全世界硒的基础储量为 1.34×10^4 t, 已探明的储量仅 7.1×10^4 t。其分布以美洲最多,占储量的52.7%,亚、非洲各占15.4%,欧洲12.2%,大洋洲4.4%。在已探明的硒储量中,智利、美国、加拿大、中国、赞比亚、扎伊尔、秘鲁、菲律宾、澳大利亚和巴布亚新几内亚等国家占世界总储量的76.9%。另有40余个国家缺乏硒资源。

3 我国硒资源概况

我国是世界主要硒资源国家之一,硒蕴藏量占全球硒资源量的1/3以上,保有工业储量居世界第四位,仅次于加拿大、美国和比利时^[7,8,11,12]。在已探明的硒储量中,岩浆型铜镍硫化物矿床约占硒总储量的一半以上。尽管我国硒资源丰富,但分布极不均匀,71.2%的硒储量分布于中南和西北地区,甘肃、青海、广东、湖北四省就拥有硒储量数千吨。我国的硒大部分伴生于 Cu-Ni 硫化物矿石中(主要集中于西北和长江中下游地区)。此外,主要由碳质硅岩和黑色页岩组成的硅岩建造在自然界中存在一套主要由硅岩、泥质岩/页岩或板岩、碳酸盐岩和粉砂岩组成的沉积建造,并以富含有机质和菌藻微生物等为特征,沉积厚度较大。其中硅岩为其主要岩石类型。故作者称之为“硅岩建造”^[18,19,20]中的硒储量也相当可观。近十年来,作者及其他研究者陆续报道了硒在硅岩建造中高度富集形成硒富集体或硒矿床的实例。如西秦岭拉尔玛-邛崃金-硒矿床^[4,5,21,22]、湖北恩施渔塘坝硒矿床^[15,16,17]、湖南郴州许家洞(金银寨)铀-硒矿床(李朝阳口头介绍,2001)和陕西紫阳硒矿化区^[23]。

表1 硅岩建造中部分矿床的硒及其它元素的含量(10^{-6})

产地	Se(%)	Mo(%)	Ni(%)	V ₂ O ₅ (%)	Cu(%)	Ag	Au	Pt	Pd
贵州遵义铅矿床	0.27	4.0	5.1		50	0.7	0.3	0.38	
湖南大庸大坪镍铅矿床	0.1~0.2	0.35	0.36	1.09	0.07	6.6	0.3	0.34	0.42
湖南大庸柑子坪镍铅矿床	0.0103	0.2	0.16	0.145	0.01	5~8	0.12	0.26	0.34
湖南大庸柑子坪镍铅富矿层	0.193	3.52	1.04	0.26	0.10	14	0.5	0.44	0.49
湖南慈利大新镍铅矿床	0.1~0.3	1.65	1.51	0.5~0.9		5.6	0.4	0.32	0.35
浙江东溪镍铅金属层	0.071	2.82	1.47	0.20	0.03			0.06	0.06
湖北兴山白果园银钒矿床	0.0079			0.86		89.0	0.15		
湖北长阳向家岭银钒矿床	0.0082	0.09		1.31		97.4			
湖北鹤峰走马坪钒矿床	0.006	0.04		1.21		5.8	0.1		
湖北渔塘坝硒矿床	0.1~0.14	0.04		0.53					

表1中列出了我国产于硅岩建造中部分矿床的硒及其

它元素的含量。富硒的硅岩建造主要有三个层位,即:(1)上

科技前沿与学术评论

震旦统陡山沱组^[24],如湖北兴山白果园富硒银钒矿床;(2)寒武系牛蹄塘组^[24,25]、太阳顶群^[20,26]和洞河群^[23],如湖南大庸天门山富硒镍钨矿床;(3)二叠系茅口组^[15,16,17],如鄂西恩施渔塘坝硒矿床,其中的硒含量高达 8590×10^{-6} ,硒储量(C+D级)近50吨。

作者在研究我国西秦岭隆起地区寒武系硅岩建造金矿床的物质组分时,发现矿床中不仅存在大量硒的独立矿物^[27,28,29,30,31,32,33,34],而且也存在硒的矿化富集体^[4,5,21,22,35]。在含硒的金矿石中,硒含量一般在 $n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-4}$ 范围内,最高达 7700×10^{-6} ^[4,5]。硒在矿石中的赋存形式有三种:(1)以独立硒矿物形式存在。这些硒矿物有硒锑矿、硒汞矿、硒铅矿、等轴硒镍矿和斜方硒镍矿等;(2)以类质同象形式存在。几乎所有硫化物和硫酸盐矿物中均含有一定量的硒,其中以辉锑矿、块硫锑铜矿、辉砷镍矿中含硒最高,可达31.5%,一般含硒8~15%;(3)以微粉形式存在于石英、重晶石、地开石等热液矿物中,或与碳质共存于碳质岩石中。在国内外文献中所述的有硒化物产出的金矿床,多是一些与陆相火山作用有关、富砷化物的浅成热液金-银矿床,而拉尔玛-邛莫金矿床既与陆相火山作用无关^[36,37,38],又无银的异常和碲矿物产出^[4,5]。但硒在金矿床中却如此富集,这是一个尤为奇特的现象。是什么原因导致了硒在拉尔玛-邛莫金矿床中的高度富集?硒在金的成矿过程中起何作用?金、硒为何共生在一起?有关传统理论均无法解释上述问题。为此,作者在国家自然科学基金项目《西秦岭层控金矿带中硒的示踪作用与金-硒共生机理研究》(批准号49773197)的资助下对上述问题进行了研究,并已揭示^[4,5,39]硒为何在所研究金矿床中高度富集,甚至可圈出独立硒矿体的原因,并阐明了金-硒共生的机理,提出了金以 Au-Se-S 或 Au-Se 络合物新形式迁移的认识。

4 硒的开发利用与供求状况

硒是典型的半金属元素,其重要的特性是:受光照射时电阻率增大,在硒的金属体界面上形成一种封闭层,造成电子流只能单一方向流动的区段,其导电性能比在黑暗中的导电性能大1000倍,而且随着温度的升高而增大。正因为如此,在半导体技术上硒用于制造整流器和光电元件(包括照相、复印),同时也应用于红外技术上的光电、光阻和热敏元件。在玻璃原料中增加硒的成分可以改善玻璃的光学性质。因此在玻璃工业中硒也被广泛应用。硒还是人体和动物生命的一种必不可少的微量元素,是医疗卫生、饲料工业、农业肥料研究的热门课题,开发应用的领域越来越广泛。迄今硒已广泛应用于玻璃、陶瓷、冶金、化工、饲料、医疗卫生等众多领域,其价值已引起世界各国的高度重视和特别关注^[7,8,9,10,11,12]。世界各国硒的应用领域基本相同,其中电子和玻璃工业的消耗量就在65%以上,但各国消耗构成不完全一致(表2)。如美国从二次世界大战至今,硒在电子工业的半导体及陶瓷和玻璃工业领域的应用量稳步增长,这两项用量占其消耗量的65%。日本在电子工业上硒消耗量占74%,我国玻璃工业硒消耗量约占70%,冶金和电子工业的消耗量分别占13%与7%。表3列出了美国近几年来硒在各个领域

的应用比例。从中可知,用于冶金行业的比例是逐年增多,而在电子工业领域的比例则有降低的趋势。

表2 硒的应用领域

应用领域	含量(%)			
	世界	中国	美国	日本
电子、照相和复印机部件	30	7	35	74
玻璃	36	70	30	8
化工和颜料	9	6	20	9
冶金	8	13	7	
其它(包括动物饲料等)	17	4	8	9

资料来源:据文献[11,12]综合。

表3 美国近几年来硒在各领域的应用比例

应用领域	含量(%)						
	2000	1995	1998	1997	1996	1995	1994
玻璃	35	25	25	25	25	23	30
电子、照相和复印机部件	13	11	12	14	16	21	30
化工	20	14	14	14	15	14	10
颜料		8	8	8	8	7	18
冶金		23	22	20	16	15	12
其它(包括动物饲料等)	32	19	19	19	20	20	

资料来源:据文献[11,12]综合。

由于硒的应用领域不断拓宽,国际市场对硒的需求量也逐年增长。尽管目前世界上已有20多个国家70多家公司和冶炼厂生产硒,但由于世界硒矿资源严重短缺,导致了硒不能完全满足需求。80年代全世界硒的年消耗量为1300~1600t/a,90年代突破2000t/a^[9,10]。但90年代以来世界精硒年产量(表4)除1995~1996年超过2000t/a外,其它年份均小于1900t/a,且最近三年均小于1500t/a^[11,12]。精硒产量降低的原因主要是硒作为铜的副产品而回收的,因而硒的产量受铜工业的限制,而最近几年有一些生产冶炼铜的厂家相继破产或关闭,这就影响了硒的产量。目前有40多个国家缺硒,供不应求的局面一时难以缓解^[7,8,9,10,11,12]。就我国而言,现虽有冶炼厂16家,年生产能力为200吨,但实际仅能生产几十吨,尚不能满足要求,年平均需进口80吨以上,是世界上主要的硒进口国^[7,8,9,10,11,12]。其中日本是我国的供应大户,每年生产的500~600t硒大部分直接或通过香港销往我国内地^[11,12]。90年代以来,我国每年需消耗硒300t,供求矛盾更为突出^[9,10],硒的紧张局势难以在短时期内缓解。因此,在我国注意加强硒的研究,加速硒矿资源的勘查与开发已刻不容缓。

在国际市场上,硒的贸易一般有矿物原料和金属两种形式^[11,12]。硒矿物原料出口国主要是一些发展中国家,如智利、秘鲁、菲律宾、扎伊尔等,每年有90%的含硒原料出口到日本和欧洲等发达国家,经这些国家再加工,转手出口。金属硒的出口国^[11,12]主要是日本、加拿大、美国、比利时、瑞典、德国等。进口国^[11,12]主要是中国、德国、英国等。我国主要从日本进口,是世界上主要的硒进口国。

表 4 90年代以来世界各地精硒矿产量(t)

国家	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
比利时	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250
加拿大	400	438	398	592	694	553	566	295	294	207	342
智利	50	49	49	49.500	50	51	43	49.5	50	50.6	49.4
芬兰	25	26	26	28	28	29	26.69	30.4	30	35.2	31.23
德国	100	100	100	115	115	115	120	120	125	110	125
印度		11.5	11.5	11.5000	11.5	11.449	11.582	11.116	9.7	4	3.84
日本	550	548	549.615	546.372	588.186	547.731	614.134	540.943	573	537	495
墨西哥									0.4	2.8	12.2
秘鲁	20	21	21	21	21	21	21	17.1	14.4	12.4	8.91
菲律宾	40	40	40	40	40	40	40	40	60	60	55.6
南斯拉夫	10	10	30	30	30	30	30	27.677	57.8		
瑞典	20	20	20	20	26	30	50	50	32	23	29
美国	W	W	W	W	379	373	360	283	243	260	287
南斯拉夫										64.1	59.2
赞比亚	10	13	14.670	15.161	20.165	18.55	21.29	26.967	31.8	21.9	21.7
津巴布韦		0.5	0.500	1.000	2.000	2	2.009	1.113	1.74	2.55	2.3
其它国家	10	12	13	13	13	17	15	15	15	15	15
总计	1400	1480	1460	1720	2250	2070	1880	1740	1770	1640	1770

资料来源:据文献[11,12]综合。
W 示未公布数据。

5 硒的价格

相对于其它分散元素而言,硒的价格不算高,但波动幅度较大(图1)^[11,12,39],其中以70年代中期硒的价格达到最高值。据美国矿物局统计^[7,8,11,12,39],1975-1976年美国精炼硒实际价格最高达18美元/磅,相对60年代提高了三倍。这是因为当时硒需求量增加,而应用于电子工业和照相复印业的高纯硒供不应求所致。到70年代中期,硒价格猛涨,促进了生产厂家从精炼铜过程中回收硒,并出现短期硒供应过剩,使硒价格下跌。1983年以后,硒价格又开始回升。1986年工业硒(Se 99.5%)为4.1~4.5美元/磅,高纯硒(含Se 99.99%)为10.7~14.8美元/磅。90年代初期至中期^[39],硒的

价格基本上保持在4.89~5.82美元/磅之间,最高达9.1美元/磅,尤其是高纯硒货紧价俏,价格达18.2美元/磅。但在90年代后期,硒的价格有降低的趋势,1998年和1999年均仅为2.5美元/磅。2000年以来,硒的价格又开始回升,一度涨至4.30美元/磅^[11,12]。正如Robert D Brown所指出^[11,12]的那样,硒价格出现这种波动现象的原因是:生产效率的提高,就增加了过量硒供应的可能性;相反,硒产品的供应又受铜产量的限制。在今后几年内,尽管硒的供需基本保持平衡,但由于一些精炼铜的公司关闭或倒闭,预计硒的供应将出现紧张局势,并难以在短期内得到缓解,硒的价格将会不断上升^[11,12]。

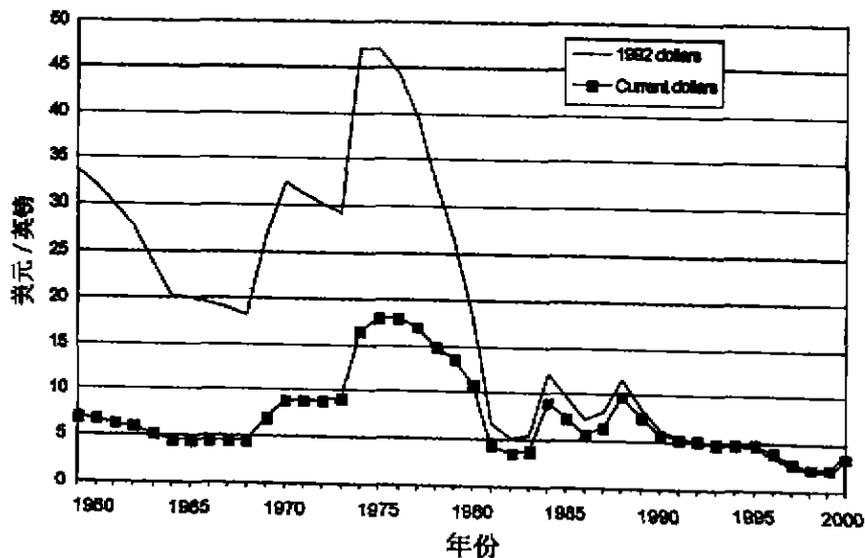


图1 工业硒的年平均价格变化图(据Brown资料修编)

科技前沿与学术评论

6 硒矿资源远景分析

目前,世界上生产硒主要是从铜电解的阳极泥中提取,即在生产铜金属中综合回收硒,小部分从生产硫酸或纸浆的烟气中的尘泥或淋洗的泥渣中获得硒金属^[7,8,11,12,39]。迄今世界上作为独立开采的硒矿床,仅有玻利维亚的帕卡哈卡中型热液脉状矿床,而从含铜黑色页岩中提取硒金属也只有德国的曼斯菲尔德公司。我国对赋存在硅岩建造中的硒资源还未加以利用,在石煤作燃料时也未综合回收。然而,正如前所述,硅岩建造中的共(伴)生硒矿资源和沉积型矿产在我国有较好的成矿条件和成矿远景,尤其是在许多沉积矿床(如Ni-Mo矿床、V-Ag矿床、Au-Cu-U矿床、煤等)中,硒均具有综合利用的价值,有些矿床中硒甚至达到了独立硒矿床所要求的工业品位。硅岩建造中硒的高度富集,不仅具有重要经济意义,动摇“分散元素不能形成独立矿床,它们以伴生元素的方式赋存于其它元素的矿床内”^[40]的传统观念,而且展示出一种硒矿化新类型,为我国对分散元素富集成矿以及把硒富集必备的条件与硅岩建造形成作用/成因有机联系起来进行研究,提供了有利条件和良好时机。

从已有资料来看,分散元素硒大多在一些与陆相火山作用有关、富银和碲化物的矿床中较富集^[4,5],而前述几个地区的富硒硅岩建造的形成环境似乎与陆相火山作用无关,且硅岩建造中未发现碲化物,银的独立矿物也不多,甚至无银矿物(如拉尔玛、邛莫),但硒在硅岩建造中如此富集,这是一个尤为奇特的现象。是什么原因导致了硒的矿化富集?硒在形成时间上、空间上与硅岩建造有何联系?有关传统理论均无法解释上述问题。而对对这些问题的研究,可能是揭示硒为何在硅岩建造中高度富集,甚至形成硒矿床的关键所在。因此,深入研究硅岩建造中硒的地质地球化学特征及其超常富集机理,探索分散元素硒在我国具有类似地质构造背景地区的找矿远景,对推进我国分散元素硒矿床的找矿和科学研究无疑十分重要。

近几年来我国在西南地区的找矿实践证明,分散元素硒既可以形成硒矿化富集体(如四川邛莫),又可以在一定情况下形成独立的硒矿床(如湖北渔塘坝)。因此,在其它矿床类型中综合回收硒的同时,亦应重视寻找、评价和利用硅岩建造或沉积矿床中的伴生硒资源和沉积型硒矿产。我们相信,随着地质找矿的不断深入,硅岩建造或沉积矿床中的硒将对世界、尤其是对我国硒工业的发展具有重要的经济意义。

综上所述,世界硒矿资源严重短缺,供求矛盾比较突出,尤其我国表现更甚。因此,加强我国硒矿资源的研究,并加速对硒矿资源的勘查和开发已刻不容缓。

参考文献

[1]刘英俊.元素地球化学导论.地质出版社,1987:244-257
 [2]Simon G. and Essene E J. Phase relation among selenides, sulfides, tellurides, and oxides: I. Thermodynamic data and calculated equilibria.

Econ. Geol., 1996, 91: 1183-1208
 [3]Simon G, Kesler S E, and Essene E J. Phase relation among selenides, sulfides, tellurides, and oxides: II. Application to selenide-bearing ore deposits. Econ. Geol., 1997, 92: 468-484
 [4]Liu Jiajun, Zheng Minghua, Liu Jianming et al. Geochemistry of the Larma and Qiongsuo Au-Se deposits in the western Qinling Mountains, China. Ore Geology Review, 2000, 17: 91-111
 [5]Liu Jiajun, Liu Jianming, Zheng Minghua et al. The Au-Se Paragenesis in Cambrian Stratabound Gold Deposits, Western Qinling Mountains, China. International Geology Review, 2000, 42(11): 1037-1045
 [6]刘家军. 硒矿物研究现状. 见:中国矿物学岩石学地球化学研究新进展(一), 欧阳志远主编, 兰州大学出版社出版, 1994: 12
 [7]地质矿产部情报研究所矿产室编. 国外矿产资源. 地质矿产部情报研究所. 1988: 316-318
 [8]刘家军, 郑明华. 硒矿资源研究及其开发利用. 见: 资源、环境与可持续发展战略, 中国环境科学出版社, 1995. 114-116
 [9]彭大明. 罕见硒矿中国蕴藏. 建材地质, 1996, (6): 11-14
 [10]彭大明. 中国硒矿资源概述. 化工矿产地质, 1997, 19(1): 37-42
 [11]Brown R D Jr. Selenium and tellurium. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook. 1994-1999
 [12]Brown R D Jr. Selenium. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 1996-2001
 [13]Block P B, Ahlfeld F. Die Selenlagerstätte Pacajake, Bolivia. Zeitschrift für Praktische Geologie, 1937, 45: 9-14
 [14]Hurlbut C S, Arisarañ L F. Olsacherite, Pb₂(SeO₄)(SO₄), a new mineral from Bolivia. American Mineralogist, 1969, 54: 1519-1527
 [15]宋成祖. 鄂西南渔塘坝沉积硒矿化区概况. 矿床地质, 1989, 8(3): 83-89
 [16]郑宝山. 鄂西富硒岩层中硒富集规律及成因研究. 矿物岩石地球化学通讯, 1991, (3): 129-131
 [17]姚林波, 高振敏. 恩施渔塘坝硒矿床成因探讨. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 350-352
 [18]郑明华, 周渝峰, 刘建明等. 喷流型与浊流型层控金矿床. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 273
 [19]刘家军, 刘建明, 郑明华等. 西秦岭寒武系硅岩建造的喷流沉积作用与矿质聚集. 高校地质学报, 1998, 4(1): 20-33
 [20]刘家军, 刘建明, 郑明华等. 利用岩石地球化学特征判断西秦岭寒武系硅岩建造的沉积环境. 沉积学报, 1998, 15(4): 42-49
 [21]刘家军, 郑明华. 拉尔玛层控金矿床中硒富集体的发现及其意义. 地球科学进展, 1993, 8(6): 89
 [22]刘家军, 郑明华, 刘建明等. 西秦岭寒武系层控金矿床中硒的矿化富集及其找矿前景. 地质学报, 1997, 71(3): 266-273
 [23]雒昆利, 姜继圣. 陕西紫阳、岚皋下寒武统地层的硒含量及其富集规律. 地质地球化学, 1995, (2): 68-71
 [24]梁有彬, 朱文凤, 王宗学. 我国黑色岩系中硒矿资源及其前景分析. 矿产与地质, 1994, 8(4): 266-272
 [25]李有禹. 湖南大庸慈利一带下寒武统黑色岩系中海底喷流沉积硅质岩的地质特征. 岩石学报, 1997, 13(1): 121-126
 [26]刘家军, 刘建明, 郑明华等. 西秦岭寒武系金矿床中硅岩的地质地球化学化学特征及其沉积环境意义. 岩石学报, 1999, 15

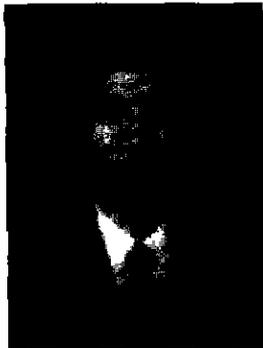
科技前沿与学术评论

- (4): 145-154
- [27] 刘家军, 郑明华, 卢文全. 首次发现块硫锑铜矿的变种—硒硫锑铜矿. 科学通报, 1993, 38(18): 1726-1727
- [28] 刘家军, 郑明华, 卢文全. 硒锑矿—不再仅是人工合成矿物. 科学通报, 1992, 37(15): 1438-1439
- [29] 刘家军, 郑明华. 首次发现锑的硒—硫化物系列. 科学通报, 1992, 37(9): 864
- [30] 刘家军, 郑明华, 刘建明等. 一种尚未定名称的 Ni-As-S-Se 矿物相. 矿物学报, 1995, 15(4): 425-427
- [31] 刘家军, 郑明华, 刘建明等. 邛崃金矿床中的灰硒汞矿. 成都理工学院学报, 1996, 23(2): 21-28
- [32] 刘家军, 刘建明, 卢文全等. 邛崃金矿床中硒—辉锑矿的特征及成因意义. 矿物学报, 1998, 18(4): 445-451
- [33] 刘家军, 刘建明, 卢文全等. 邛崃金矿床中块硫锑铜矿含硒性及其特征. 高校地质学报, 2000, 6(2): 210-214
- [34] Liu Jiajun, Liu Jianming, Liu Congqiang et al. Mineralogy of the stibnite - antimonselite series. International Geology Review, 1999, 41(11): 1042-1050
- [35] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 卢文全, 刘显凡. 西秦岭隆扎地区寒武系层控金矿床中金—硒共同富集成矿机制. 地球化学, 2001, 30(6): 155-162
- [36] 刘家军, 刘建明, 周德安, 郑明华, 周渝峰, 顾雪祥, 张斌, 林丽. 西秦岭隆扎地区金、铀矿床成矿年代学研究. 地质科学, 1998, 33(3): 300-309
- [37] 刘家军, 郑明华, 周德安, 刘建明, 周渝峰, 顾雪祥, 张斌, 林丽. 拉尔玛金成矿带成矿流体氢氧同位素组成及其演化. 长春科技大学学报, 1998, 28(1): 43-49
- [38] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 周德安. 西秦岭寒武系金矿床中硫同位素组成及其地质意义. 长春科技大学学报, 2000, 30(2): 150-156
- [39] Brown R D Jr. Selenium, 1999. 131-133
- [40] 大百科全书. 地质学卷, 1993. 197

作者简介

刘家军(LIU Jiajun, 1963.3~),男,研究员,博士,博士生导师,中共党员.1986年毕业于成都理工学院(原成都地质学院)大学毕业后留校任教,1991年、1996年分别于成都理工学院获硕士和博士学位;1996年10月至1998年11月于中国科学院地球化学研究所做博士后;1998年12月至今于中国科学院地球化学研究所实施中国科学院百人计划的科研工作.多年来从事分散元素硒、贵金属元素等成矿作用地球化学研究,并在国内、外刊物上发表论文百余篇。

(责任编辑:房俊民)



国外新闻

全球网络安全市场营销额高速增长

随着电子商务的发展以及电脑病毒等电子犯罪现象的蔓延,全球网络安全市场的营销额增长加快,到2005年收入将超过140亿美元。

美国著名信息技术市场研究公司——国际数据公司发表的题为《世界因特网安全软件市场预测和分析(2000—2005)》的报告指出,去年全世界网络安全市场营销额增速惊人,增幅为33%,达到51亿美元。防火墙、加密软件、安全认证、授权与管理(3A)和杀毒软件市场平均增长了25%,其中防火墙软件市场增长了42%。

报告说,从现在起到2005年,世界网络安全市场将加速发展,营销额年增长率可达23%,到2005年收入预计将超过

140亿美元。

报告认为,3A市场将是网络安全软件市场中增长最快、也是规模最大的一个部分。全球3A软件市场5年内年均增长率将达28%,到2005年收入将超过95亿美元,占网络安全市场的67%。杀毒软件市场也将快速增长。目前掌上型无线上网设备日益普及,为杀毒软件开辟了一个新的市场。

报告预计,到2005年,北美地区占全球网络安全市场的份额将为52%。亚太地区网络安全市场将增长最快,年增长率可达32%,在全球的份额也将从2000年12%增长到2005年的17%。(新华社供本刊稿)