

中国主要含砷矿产资源的区域分布 与砷污染问题

肖细元, 陈同斌*, 廖晓勇, 武 斌, 阎秀兰,
翟丽梅, 谢 华, 王莉霞

(中国科学院地理科学与资源研究所环境修复中心, 北京 100101)

摘要: 本文分析了我国主要含砷矿产资源的区域分布及其开采所带来的环境污染问题。截至 2003 年底, 我国累计探明砷矿资源储量为 397.7 万 t, 保有储量 279.6 万 t, 其中 87.1% 的保有储量以共生、伴生砷矿形式存在。砷矿资源分布相对集中于广西、云南、湖南, 三省的保有储量占全国保有储量的 58.0%; 其中广西南丹县和云南个旧市的保有储量最大, 分别占全国总保有储量的 17.0% 和 10.2%。我国已经有大量的砷随矿产资源的开采而带至环境中。截至 2003 年底, 全国砷采出量至少高达 139.2 万 t, 其中广西、云南、湖南采出量最大, 分别达 73.3、34.2 和 15.3 万 t。在矿产采冶过程中, 采出的砷有 70% 弃留于尾矿中。矿业活动释放的砷已通过土壤及食物链途径威胁到人体健康, 尤其是在矿冶活动密集的西南地区问题更加突出。

关 键 词: 砷; 矿产; 储量; 区域分布; 污染

文章编号: 1000-0585(2008)01-0201-12

1 引言

砷的毒性极强, 且具有致癌作用。据报道, 中国、孟加拉、印度、阿根廷等 20 多个国家(地区) 都有饮水型砷中毒, 影响人口数达 6000 多万, 尤其是在孟加拉和印度某些地区最为典型^[1~3]。据金银龙等人调查, 我国有 267 万余人遭受饮水型和燃煤型高砷影响, 也属于地方性砷中毒危害最严重的国家之一^[4]。2002 年, Mandal 和 Suzuki 总结了世界各地与矿业等活动有关的 19 个重大砷中毒事件^[1]。

矿业活动是导致砷污染的重要原因之一^[1, 5~8]。从工业时代的 1850 年开始至 2000 年, 全球人为活动向环境排放砷量逐年增加, 至 2000 年已累计达到 453 万 t 左右, 其中矿业活动产生的砷量占 72.6%^[9]。全球砷矿资源的分布很不均衡, 其中砷探明储量的 70% 集中在我国^[10]。我国矿产资源采冶活动引起的砷害事件常见报道^[11, 12]。但是, 我国对于矿产资源采冶过程排放到环境中的砷及其潜在风险分布仍缺乏总体认识。系统总结我国砷矿资源的区域分布特征及其环境风险, 对砷污染控制和环境风险评估具有重要意义。

2 我国砷矿资源的分布特征

在元素地球化学分类表中, 砷属金属矿床的成矿元素族, 也属半金属和重矿化剂族。

收稿日期: 2007-03-23; 修订日期: 2007-08-14

基金项目: 国家杰出青年科学基金(40325003)

作者简介: 肖细元(1973-), 女, 湖南邵阳人, 博士。主要从事植物修复技术研究。

*通讯作者: 陈同斌, 研究员, 博士生导师。E-mail: chentb@igsnrr.ac.cn

自然界中极少见自然砷或砷金属化合物,大多以硫化物的形式夹杂在金、铜、铅、锌、锡、镍、钴矿中,已知的含砷矿物达 300 多种^[13],因此砷常作为找寻这些金属矿床的指示元素^[14]。

2.1 我国砷资源的储量及其区域分布

我们根据《全国各省矿产储量表》^[15]的矿产储量数据进行统计和计算,截至 2003 年底,我国 19 个省、自治区的砷矿产地共 84 处列入储量表内(简称表内,下同),累计探明砷资源储量 397.7 万 t(雄黄、雌黄矿物按含砷 70%折算),其中基础储量为 135.1 万 t;保有砷资源储量为 279.7 万 t,其中保有基础储量 58.0 万 t(图 1)。砷储量表外(简称表外,下同)各种金属矿及硫铁矿中伴生丰富砷资源。通过对其他含砷矿种的砷资源数据统计(砷保有资源储量 = 保有矿石量 × 矿石含砷量),砷含量 > 0.1% 的储量有 138 万余 t,而含砷量 < 0.1% 的储量也约有 15 万 t(未列入图 1 内)。

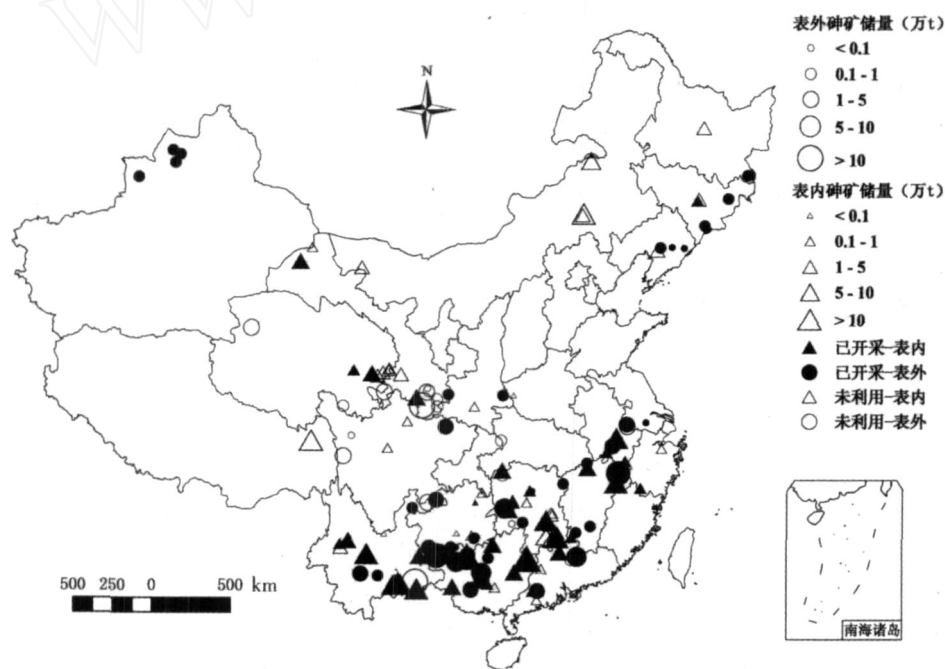


图 1 我国砷矿资源的砷储量分布

Fig. 1 Distribution of arsenic deposits in China

我国的砷矿资源相对集中,主要分布于环太平洋中新生代造山区的中南及西部^[16]。其中广西、云南、湖南的累计探明(表内 + 表外)储量分别达 165.9 万 t、94.8 万 t 和 82.7 万 t,共占全国累计探明储量的 61.6%;其保有储量分别达 92.6 万 t、79.6 万 t 和 48.6 万 t,合计占全国总保有储量的 52.8%。广西(134.7 万 t)、云南(69.7 万 t)、湖南(68.9 万 t)三省区累计的表内砷探明储量共占全国总累计探明资源量的 68.9%;其保有储量分别为 67.1 万 t、54.8 万 t、39.9 万 t,共占全国总保有储量的 58.0%(图 1)。上述三省区的砷储量占我国砷储量的绝大多数。其次,内蒙古和西藏自治区的砷保有储量占全国总保有储量的比例分别达 7.8% 和 5.1%。总的来看,砷矿资源主要分布在我国西南地区。砷资源保有储量(表内)主要以大型矿床(>1 万 t)为主,产地数为 50 处,占总储量的 95.4%。在累计探明储量最多的三省区中,广西南丹和云南个旧两地砷资源的

累计探明储量分别达 106.3 万 t 和 41.0 万 t，各占全国总储量的 26.8% 和 10.3%，居全国前列；其保有储量分别为 47.5 万 t 和 28.5 万 t，各占总储量的 17.0% 和 10.2% (图 1)。

2.2 我国砷矿资源的共、伴生特征及品位区域分布

我国砷矿资源储量丰富，但单独砷矿床不多，表内单独砷矿产地仅 23 处，合计储量 36.2 万 t，占全国总储量的 12.9%；共生、伴生砷矿产地 61 处，储量 243.6 万 t，占总量的 87.1% (图 1)。伴生砷矿多集中在桂西北南丹、河池坳陷，滇桂台向斜的西南；单独毒砂矿床产于粤中坳陷的阳春、肇庆等地^[16]。另外，我国拥有世界上独特的雄黄资源，广泛分布于湘、黔、川、滇等省；其中湖南石门雄黄矿是国内外最大的雄黄矿，已有 1500 年的开采历史。

我们根据《全国各省矿产储量表》^[15] 的相关资料重新统计和整理后，绘制出我国砷矿资源的砷品位分布图 (截至 2003 年) (图 2)。全国砷资源的品位集中在 <5.0% 区，合计储

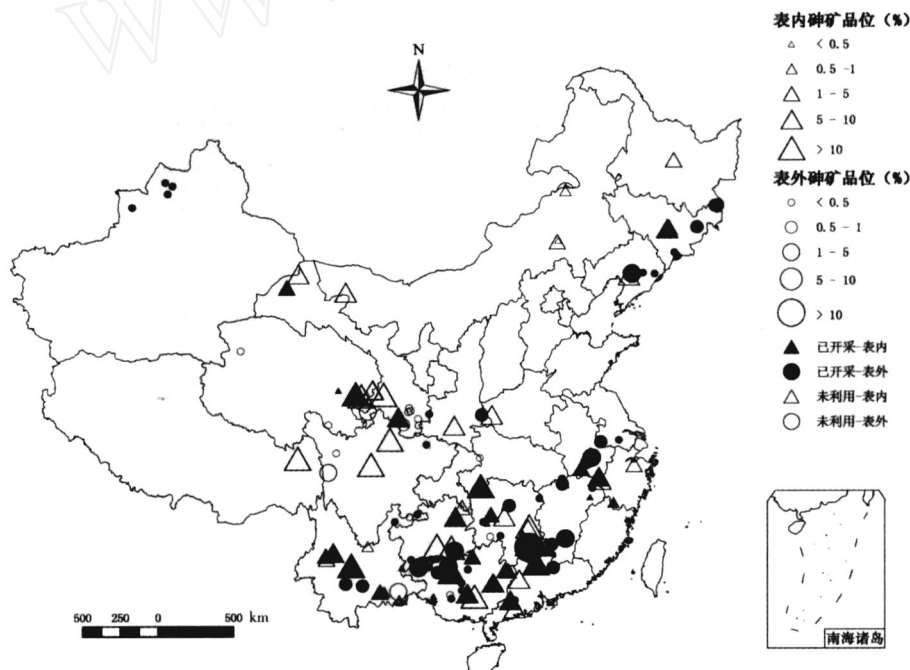


图 2 我国砷矿资源的品位分布

Fig. 2 Distribution of grade of arsenic deposits in China

量 215.0 万 t，占总储量的 76.7%。其中品位在 1.0%~5.0% 的储量 123.3 万 t，占总储量的 44.0%。从各省区砷矿产地的砷品位 (表内) 来看，云南、广西砷矿的平均品位 (算术平均值) 较低，分别为 2.36% 和 3.75%；品位较高的有贵州 (7.72%)、广东 (7.49%)、四川 (12.89%) 等产地。但是从几何平均值来看，云南、广西、湖南三省区产地的平均品位相差不大，为 1.13%~1.37%。需要特别指出的是，我国矿产资源中所含有的砷远高于上述数值。除上述所说的共生、伴生砷矿外，对于许多量大、面广的各种矿物中的砷，由于其所含的砷没有开采和回收价值，目前还缺乏相应的数据而难以进行估计，因此上述计算中并没有将其包括在内。尽管这些矿物中所伴生的砷品位较低，但其含砷总量很大。从环境角度考虑，这些矿物所携带的砷一旦进入环境后，也将产生严重的环境污染问题。

表 1 我国主要共伴生砷矿产资源中砷的品位和储量
Tab 1 Grade and reserves of associated arsenic ore deposits

主金属	频数	As 品位 (%)				As 保有 储量(万 t)
		范围	中值	算术平均值	几何平均值	
Sn	24	0. 23~10. 25	1. 12	1. 82	0. 75	133. 1
Zn	29	0. 22~13. 99	1. 20	2. 30	0. 73	112. 6
Pb	30	0. 22~13. 99	1. 20	2. 54	0. 75	105. 7
Au	49	0. 1~11. 06	0. 46	1. 47	0. 63	95. 10
Cu	26	0. 13~7. 64	1. 21	1. 98	0. 40	89. 08
W	9	0. 15~3. 61	1. 24	1. 58	0. 64	63. 67
Fe	9	0. 10~4. 83	0. 33	1. 11	0. 36	28. 72
Ag	15	0. 16~7. 64	0. 75	1. 38	0. 69	25. 40
S	10	0. 10~12. 31	0. 31	1. 53	0. 41	22. 98
Sb	12	0. 20~11. 06	0. 66	1. 83	0. 49	16. 19
Hg	5	0. 38~22. 99	3. 96	8. 36	1. 90	4. 37

表 2 储量表内部分共生、伴生砷的金属矿中砷与主金属含量的比值
Tab 2 The ratios between the grades of arsenic and major metals in the mineral ores

矿种	矿区	矿产类型	As 含量 (%)	主金属含量 (%或 g/t) *	As/ 主金属
Sn	云南个旧卡房锡矿	伴生	1. 54	0. 21	7. 50
	云南个旧老厂矿田竹叶山矿段	伴生	2. 40	0. 22	10. 8
	云南个旧老厂矿田竹林锡矿	伴生	0. 90	0. 76	1. 18
	广西南丹大厂锡矿	伴生	0. 54	0. 56~2. 59	0. 21~0. 96
	广西融水县白云加龙铜锡矿	伴生	1. 18	0. 32	3. 73
	湖南郴县红旗岭矿区锡多金属矿	共生	1. 24	0. 40	3. 14
Pb	内蒙古额济纳旗老硐沟金铅矿床	共生	6. 18	3. 76	1. 64
	湖南常宁县水口山铅锌矿 (康家湾区)	伴生	0. 46	3. 92	0. 12
Cu	甘肃夏河县龙得岗铜矿	共生	5. 22	0. 68	7. 68
	湖南桂阳大顺隆含铜多金属矿	共生	3. 11	0. 91	3. 42
	湖南新化县杨家山五峰 铜砷矿	共生	6. 04	0. 94	6. 46
	贵州印江石柱岩矿区	共生	1. 02	0. 99	1. 03
	甘肃安西辉铜山铜矿 (I 矿段)	伴生	4. 56	1. 71	2. 67
Au	贵州三都苗龙金矿	伴生	11. 1	5. 31	20829
	安徽休宁县小贺多金属矿 (铅、锌)	共生	5. 87	4. 02	14602
	吉林桦甸市兴隆金矿	伴生	6. 78	8. 41	8062
	内蒙古额济纳旗老硐沟金铅矿床	共生	6. 18	9. 24	6688
	甘肃舟曲九源坪定金矿	伴生	6. 62	11. 6	5697
	湖南叙浦县江溪垅金锑矿	伴生	0. 57	2. 28	2500
	湖南叙浦县龙王江矿田泥潭冲金矿	共生	1. 15	6. 64	1732

* Au 的品位为 g/t 外, 其余金属均为 %。

我国砷资源主要伴生在锡、铅、锌、铜、金等矿产资源中^[15] (表 1)。锡矿中含有大量的砷资源, 达 133 万 t。另外铅、锌、金、铜矿中砷储量也非常丰富, 都在 100 万 t 左右。原冶金部情报研究所的统计资料显示^[10], 在全球 15 % 的铜资源中, 矿物中含 50 t 铜

中就伴生 1 t 砷，砷与铜之比为 1 50；3 %的钴资源中，砷与钴之比为 2 1；10 %的锡资源中，砷与锡之比为 10 1；5 %的黄金资源中，砷与金之比为 2000 1。

我国共生、伴生砷(表内) 的金属矿中砷与主金属含量的比值^[15]相对较高(表 2)。我国每开采 1t 金需要带出 1732~20829t 砷；每开采 1t 其他金属(金除外)，相应带出 0. 12~10. 8t 砷。因此，在金属矿产资源开采时，应该加强砷的回收利用及其环境污染控制。

3 含砷矿产资源采冶的环境问题

3. 1 矿产资源开发中砷的采出量

伴生砷是我国砷资源的主要组成部分，每年大量的砷随其他主矿种而开采出来。据粗略计算（砷的采出量 = 累积探明砷资源储量 - 保有砷资源储量），截至 2003 年底，我国表内共采出 117. 1 万 t 砷，其中单一矿产砷资源采出量占总采出量的 16. 7 %，伴生及共生砷矿资源采出量占总采出量的 83. 3 % (图 3)。从各省砷的采出量（表内）^[15] 来看，广西是砷采出量最多的省区，达 67. 6 万 t，占总采出砷量（表内）的 57. 7 %；其次是湖南 29. 7 万 t，占总采出砷量的 25. 4 %；云南为 14. 2 万 t，占总采出砷

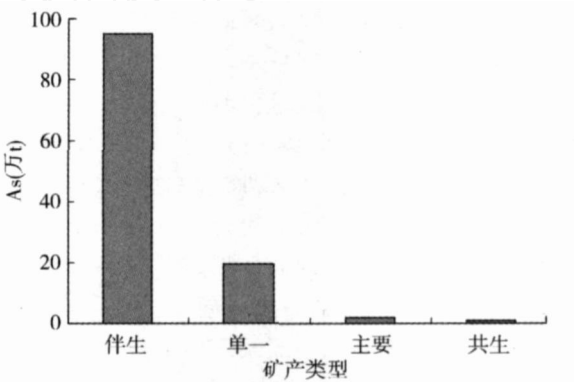


图 3 截至 2003 年底我国表内累计采出砷量
Fig 3 The exploited amounts of arsenic of China (up to 2003)

表 3 截至 2003 年底我国部分省区累计采出砷量

省份	采出砷量 (万 t)			占总采出砷量的比例 (%)	
	总量	表内	表外	表内	表外
广西	73. 3	67. 6	5. 70	48. 5	4. 09
湖南	34. 2	29. 7	4. 43	21. 4	3. 18
云南	15. 3	14. 2	1. 10	10. 2	0. 79
四川	7. 43	0	7. 43	0	5. 34
安徽	4. 62	4. 54	0. 08	3. 26	0. 06
陕西	1. 78	0	1. 78	0	1. 28
广东	0. 91	0. 91	0	0. 65	0
贵州	0. 54	0	0. 54	0	0. 39
新疆	0. 54	0	0. 54	0	0. 39
江西	0. 36	0	0. 36	0	0. 26
吉林	0. 13	0. 03	0. 10	0. 02	0. 07
青海	0. 095	0. 095	0	0. 07	0
辽宁	0. 057	0	0. 057	0	0. 04
福建	0. 039	0. 039	0	0. 03	0. 00
江苏	0. 019	0	0. 019	0	0. 01
甘肃	0. 010	0. 008	0. 002	0. 01	0. 00
合计	139. 3	117. 1	22. 1	84. 1	15. 9

量的 12.1 %。另外安徽、广东分别为 4.54 万 t 和 0.91 万 t；其余省区采出量都在 1000 t 以下 (表 3)。对储量表外伴生砷 ($As (\%) > 0.1$) 的其他矿产资源分析,截至 2003 年底,大约 22.1 万 t 砷采出至环境^[15] (表 3)。值得注意的是,广西、湖南、云南、四川、陕西等省区,砷采出量都在 1 万 t 以上。有些省区砷排放并非由冶炼砷矿引起,可能是由于冶炼其他主矿排放大量的含砷尾矿,例如四川,采出的砷量竟高达 7.43 万 t。因此,不仅储量表中的砷矿资源开采存在砷的大量排放,而且表外大量的砷也会对环境带来严重的危害。全球已探明的砷储量主要集中于我国,而我国的砷资源主要集中在西南地区。根据这一区域分布特点以及西南地区降雨量大、坡度陡、水土流失严重的地理特点,我国应该高度重视该地区砷污染问题的潜在威胁。

周文琴等人的调查发现,1990 年我国伴生及共生砷矿资源开采的回收利用只有 3 处产地^①。1988 年,全国伴生砷随主矿采出量约为 2.7 万 t,回收砷量仅 3000 t,造成了大量砷的流失^[18]和严重的环境问题。根据砷矿开采平均回收率 64 %^[19,20]估算,直接流失到环境中的砷量 (表内 + 表外) 总共达 116.7 万 t,占总采出砷量的 83.8 %。值得指出的是,我国部分地区的煤矿中砷的含量水平也较高^[17],但是由于数据不足,这里的计算中并没有考虑这一部分砷的贡献。

3.2 矿业活动中砷的流失去向

砷伴随着主要元素被开采出来,在矿石的前处理 (如选矿过程) 中,大部分弃留在尾矿中。据魏梁鸿等^[10]对国内有关选矿资料统计,全国平均约 70 %的砷采出量废弃于选矿尾砂中,矿石中的砷平均只有 20 %左右进入冶炼厂。从国内外尾砂库来看,一些单独砷矿或伴生砷的有色金属矿区的尾矿中砷含量非常高 (表 4),是一种严重的潜在污染源。经

表 4 部分矿区尾矿中砷含量

Tab 4 Arsenic concentrations in mining tailings

矿种	矿区名称	样本数	尾矿砷浓度 (mg/kg)	文献
单独砷矿	英国新南部威尔士 Mole river 砷矿	13	26100~266000 (78700) *	[21]
	湖南石门雄黄矿	2	23441~24886 (24153)	[22]
	湖南郴州炼砷区选矿厂	7	21027~45525 (31782)	
金矿	葡萄牙 Jales 矿		17000	[23]
	葡萄牙 Freixeda 矿		12000	
	葡萄牙 Penedomo 矿		2800	
	加拿大 Nova Scotia 地区 Goldenville 矿		1000~10000	[24]
	韩国 Jingok, Cheonbo 和 Sino 矿区		880~62530	[25]
	法国 Massif Central 地区 Cheni 矿		966~8975 (6054)	[26]
锑矿	湖南锡矿山锑矿		332	[27]
锡矿	泰国 Bannang Sata 地区锡矿	32	1670~15900	[28]
	云南个旧地区锡精选厂		80000~150000	[29]
	广西南丹境内选矿厂	5	3100~930500	[30]
铅锌矿	爱尔兰一铅锌矿	10	630	[31]
	广西环江铅锌矿	1	120	[32]
多金属矿	墨西哥 Ag-Pb-Zn-Cu-Au 矿		4000	[33]
	俄罗斯 Khovur Aksy 钴镍砷矿	2	11700~23000	[34]
	湖南柿竹园钨锡铋钼矿区才山选矿厂		7958	[35]
钨矿	葡萄牙 Val das Gatas 钨矿		5200	[23]

*: 尾矿砷浓度一列中, 括号内数值为平均值

①周文琴, 魏梁鸿, 周剑辉. 我国砷矿资源对生产建设保证程度论证报告 (内部资料). 1990.

调查,广西南丹龙泉中心库等 12 个尾矿库中尾矿砷含量均超出国家原生矿的工业品位^[12]。这些尾矿不仅是砷资源的主要储存库,而且也是一种潜在的污染源。

有色金属矿提取过程中,砷以氧化物或盐的状态分别进入烟气、废水和废渣中。我国除个别厂以 As_2O_3 的形式回收少量砷外,大部分厂家因找不到合适的处理方法将大量的含砷废弃物堆存或以“三废”形式排放,对周边环境造成严重污染(表 5)。据不完全统计,每年随精矿进入冶炼厂的砷总量达 6000 t,因砷回收技术落后,经济效益差,回收的砷不足进厂总砷量的 10%。其余 20% 以上的砷进入冶炼渣,60%~70% 的砷以中间产品堆存,另一部分排入废气、废水中^[10]。因此,采出的砷大部分被不同程度地遗弃、流失,致使资源浪费,砷污染蔓延。

表 5 我国有色金属矿选冶中砷的排放

Tab 5 Release of arsenic from nonferrous metal smelting

有色金属矿 选冶单位	砷源	进厂砷量 (t/年)	砷的 排放量	参考 文献
湖南锡矿山矿务局			含砷 1.2%~4.2% 的碱渣 900 t/年	[36]
湖南湘西金矿	配矿中含砷 (0.05%~1%)		每年约 20 t 砷进入水体,数 10 kg 砷排入大气	[37]
湖南水口山矿区	铅锌铜精矿		大气排放 9.99 t 砷/年	[38]
辽宁沈阳冶炼厂	矿石	400	炉渣约 102.6 t 砷,废水中 70~80 t 砷,废气中 53.7 t 砷	[39]
江西铜业公司贵溪冶炼厂	铜精矿 (1995~1998 年)	1267	占进厂总砷量的 40%~50%	[12, 40]
广东韶关冶炼厂	铅锌精矿	500~800	含砷 10% 的烟尘 1000 t/年	[41]
甘肃白银铜冶炼厂	铜精矿		含砷 1.8%~3.8% 烟尘 2200 t/年	[42]

3.3 砷的污染与危害

矿产资源开采中,暴露于地表的含砷废石、尾砂及冶炼废渣在地表风化、淋滤,砷被活化以各种形式逸散到周围环境中,对水体、大气、土壤等造成污染,人和畜禽通过直接接触或食物链途径摄入过量的砷而中毒。

土地是砷的主要归宿地。含砷废渣或尾砂不仅占用土地,同时严重污染土地。大量的报道显示,在含砷矿产资源开采活动密集的区域,土壤及农作物中的砷含量较高。国内目前年产砷渣约 5 万 t,囤积的砷渣 20 余万 t,大量砷渣挤占土地的问题突出^[43]。广东连南县寨岗镇铁屎坪炼砷遗址,20 世纪 80 年代后期停产后含砷 2.4%~5.8% 的废渣尾砂堆存 2.47 万 t,占地 1.28 hm^2 ^[44]。如湖南常宁县因采矿和冶炼而导致大面积稻田受砷污染,其砷含量为 92~840 mg/kg ^[45]。王振刚等^[46]调查了石门雄黄矿附近 3 个村,发现土壤砷含量为 84~296 mg/kg 。广西南丹大厂超大型锡多金属矿田下游的刁江流域沿岸土壤 As 超过土壤环境质量 (GB15618-1995) II 级标准 36~276 倍^[47]。而这些砷污染的土壤会直接或间接地影响人体健康,成为一条重要的砷暴露途径。调查发现,受砷污染的地区其农作物中砷含量远远超过国家标准 (GB4810-94)^[48] 中粮食砷的限量标准 ($\leq 0.7 \text{mg/kg}$) (表 6),表现出明显的砷污染效应,对人体健康构成严重威胁^[8, 49]。

表 6 我国部分矿业活动影响区农作物中砷含量

Tab 6 Arsenic concentrations in crops from some areas in China affected by mining activities

类型	作物	样本数	砷浓度(mg/ kg 干重)		富集系数	文献
			土壤	可食部分		
湖南柿竹园矿区周围	葱	3	9. 0~1166	0. 6~17. 7(8. 4) *		[6]
	豆角	5	9. 0~1166	0. 6~5. 8(2. 7)		
	空心菜	3	9. 0~1166	2. 1~54. 8(32. 0)		
	茄子	2	9. 0~1166	2. 0~4. 7(3. 3)		
	水稻	29	82. 9~1217(380)	0. 5~7. 5(1. 7)		
湖南郴州铅锌矿污染区	辣椒	1	709	14. 8	0. 02	[7]
	四季豆	1	709	7. 9	0. 01	
	玉米	1	709	1. 5	0. 002	
	芋头	1	709	16. 6	0. 02	
湖南郴州砷冶炼区下游	红萝卜	1	33. 9	2. 1	0. 15	[8, 49]
	芹菜	1	23. 9	8. 1	0. 16	
	小白菜	1	33. 1	13. 8	0. 42	
	叶用莴苣	1	31. 0	22. 8	0. 73	
	菠菜(鲜重)	3	23. 1~61. 7	0. 58~2. 12	0. 039~0. 047	
	芹菜(鲜重)	2	23. 9~42. 3	0. 59~0. 79	0. 021~0. 025	
	茼蒿(鲜重)	2	37. 4~55. 4	1. 14~2. 39	0. 02~0. 064	
湖南常宁砷毒田	芫荽(鲜重)	2	40. 3~64. 9	0. 34~0. 56	0. 009~0. 009	[50]
	水稻	9	146~615	0. 34~3. 9(1. 29)		
	红薯	8	299~2334	0. 04~3. 5		
	萝卜	1		1. 91		
湖北冶炼厂废水污灌区	白菜	21	155~1194	0. 11~1. 92(0. 87)		[51]
	小麦	8	72. 3	0. 86	0. 012	
	大米	8	72. 3	0. 88	0. 012	
广东老虎冲砷渣污染农田	黄豆	1	1400	6. 8	0. 00	[52]
云南个旧矿区	油麦菜	1	82. 05	15. 36	0. 19	1)
	韭菜	1	82. 05	89. 02	1. 08	
	苋菜	1	82. 05	11. 51	0. 14	
	豆角	1	113. 1	21. 19	0. 19	
广西环江污染农田	水稻	3	14. 5~24. 6	0. 74~2. 29	0. 051~0. 093	1)

*括号内数值为平均值。 1)为本课题组待发表资料。

含砷矿产资源的开发所导致的地区性、流域性甚至更大范围的砷污染事故，在国内外都时有发生，特别是土法炼砷的污染问题更加严重^[53]。从我国矿业活动导致的砷中毒事件（表 7）来看，砷污染土壤（食物）、饮用水源和大气是最主要的途径。这类事件主要发生在我国砷储量相对丰富及含砷矿产资源采、选、冶活动比较密集的广西、湖南、云南、贵州等西南及其周边地区。对此区域的砷污染威胁应该予以重点关注。



表 7 我国矿业活动导致的砷污染危害事件举例

Tab 7 Arsenic calamities caused by mining activity

时间	地点	污染事件	危害产生原因	文献
1961	湖南新化锡矿山	308 人食物中毒, 6 人死亡	饮水井周围露天堆存含砷碱渣, 污染饮用水源	[54]
1974	云南锡业公司第一冶炼厂	多人中毒	锡精炼的铝砷浮渣受潮, 产生砷化氢	[54]
1981	浙江富春江冶炼厂	200 多人中毒	铜鼓风炉渣中混进含砷的废触媒, 砷污染水源	[36]
1987	湖南新田县莲花乡	14 人慢性砷中毒, 2 头耕牛死亡, 3 口鱼塘的鱼全部死亡, 砷污染稻田 0.16 hm ²	炼砷渣随意堆放在公路两边导致砷污染	[55]
1994	湖南桃江县竹金坝乡	8 人急性砷中毒	镉废渣污染井水导致急性砷中毒	[56]
1994	贵州省三都县某镇	125 人急性砷中毒, 1 匹运输马死亡	直接接触土法炼砷处遗留的铁桶、炉砖, 饮用现场砷污染水源	[57]
1995	湖南常宁县白沙镇	300 余人中毒, 农田大面积绝收、减产, 全年直接经济损失 5500 万元以上	炼砷、炼砒废水污染水源和土壤	[11]
1995~1998	广西柳州市工矿企业	5 起 11 例急性职业性砷化氢中毒, 其中 2 人死亡	砷矿渣与水或酸混合产生砷化氢	[58]
1996	贵州平坝县	280 人中毒	含砷废水污染饮用水源	[59]
1996	湖南新化锡矿山	617 人中毒	含砷镉废渣污染井水	[60]
1998	湖南安仁县华五乡	884 名师生出现砷中毒	食用土法炼砒处废弃的编织袋盛装的大米	[61]
1998	云南某乡镇冶炼厂	32 名工人中毒	车间空气中三氧化二砷含量过高 (8.99 mg/m ³)	[62]
2000	湖南郴州市苏仙区邓家塘乡	300 多人砷中毒, 2 人死亡, 50 hm ² 水田抛荒	炼砒厂含砷废水污染水源和土壤	2)
2000	广西柳江县	6 人中毒, 其中 2 人死亡	自来水冲洗废旧砷矿渣产生砷化氢	[63]
2001	广西河池五圩	193 人中毒	选矿厂排出的废水砷超标 2189 倍, 污染水源	[12]
2002	贵州独山县城近郊	334 人中毒	选矿厂随意堆放和倾倒含砷废渣, 污染水源	3)
2002	湖南衡阳界牌镇	76 人中毒	砷矿石、废渣等污染水源	4)
2003	云南楚雄滇中铜冶炼厂	83 人陆续砷中毒	排烟系统超负荷运转, 砷化合物烟气外溢	5)
2004	辽宁阜新	160 人砷中毒	炼铜厂污水泄漏, 污染水源	6)
2005	河北保定老河头镇	30 多人中毒	含砷矿渣遇水生成砷化氢	7)

注: 2) 中国环境报, 2001-3-31; 3) 中新网贵阳, 2002-3-20; 4) 北京青年报, 2002-8-5; 5) 重庆晨报, 2004-12-18; 6) 北京青年报, 2005-4-9; 7) 央视国际, 2005

4 结语

我国砷矿资源储量丰富, 截至 2003 年底, 全国累计探明砷资源储量 397.7 万 t, 保有

储量 279.6 万 t; 共生、伴生矿占总保有储量的 87.1%。砷主要伴生在锡、铅、锌、铜、金等金属矿中, 其中锡矿中砷储量非常丰富, 全国砷含量 > 0.1% 的锡矿达 133 万 t。

截至 2003 年底, 我国砷采出量已达 139 万 t, 且大部分存在于尾矿中或以三废形式排放至环境。我国砷潜在污染风险最大的地区为广西, 砷采出量达 73.3 万 t, 其次为云南和湖南。尽管矿产资源的开采并不一定会导致严重的土壤砷污染问题, 但是在矿产资源开采和冶炼活动密集的地区, 砷污染问题确实比较严重。目前由于金属砷的价格较低, 企业对砷的回收缺乏动力, 大量砷都直接或间接地进入土壤, 导致土壤砷污染问题十分突出。因此必须加强矿产资源开发中砷的管理、回收利用和污染治理。

参考文献:

- [1] Mandal B K, Suzuki K T. Arsenic round the world: A review. *Talanta*, 2002, 58: 201~235.
- [2] Ng J C, Wang J P, Shraim A. A global health problem caused by arsenic. *Chemosphere*, 2003, 52: 1353~1359.
- [3] Hossain M F. Arsenic contamination in Bangladesh: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 113: 1~16.
- [4] 金银龙, 梁超轲, 何公理, 等. 中国地方性砷中毒分布调查(总报告). *卫生研究*, 2003, 32(6): 519~540.
- [5] Baroni F, Boscagli A, Lella L A D, *et al.* Arsenic in soil and vegetation of contaminated areas in southern Tuscany (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 2004, 81: 1~14.
- [6] Liao X Y, Chen T B, Xie H, *et al.* Soil As contamination and its risk assessment in areas near the industrial districts of Chenzhou city, Southern China. *Environment International*, 2005, 31: 791~798.
- [7] Liu H Y, Probst A, Liao B H. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/ zinc mine spill (Hunan, China). *Science of the Total Environment*, 2005, 339: 153~166.
- [8] 谢华, 廖晓勇, 陈同斌, 等. 污染农田中植物的砷含量及其健康风险评估——以湖南郴州邓家塘为例. *地理研究*, 2005, 24(1): 151~159.
- [9] Han F X, Su Y, Monts D L, *et al.* Assessment of global industrial-age anthropogenic arsenic contamination. *Naturwissenschaften*, 2003, 90: 395~401.
- [10] 魏梁鸿, 周文琴. 砷矿资源开发与环境治理. *湖南地质*, 1992, 11(3): 259~262.
- [11] 谭达田, 聂春元. 土法炼砷亟待制止——关于衡阳市乡镇砷污染的调查. *中国环境管理*, 1996, (1): 28~30.
- [12] 黎谊锴, 杨保疆. 南丹式尾矿资源开发利用的思考. *南方国土资源*, 2004, (5): 20~24.
- [13] 付一鸣, 王德全, 姜澜, 等. 固体含砷废料的稳定性及处理方法. *有色矿冶*, 2002, 18(4): 42~45.
- [14] 桂林冶金地质研究所. *地球化学探矿分析方法*. 北京: 冶金工业出版社, 1975. 167~169.
- [15] 全国各省矿产储量表. 内部资料, 截至到 2003 年底. 2004.
- [16] 宣之强. 中国砷矿资源概述. *化工矿产地质*, 1998, 20(3): 205~211.
- [17] 尹学朗. 我国砷矿资源发展战略. *矿产保护与利用*, 1991, (3): 31~32.
- [18] 中华人民共和国国土资源部. *中国国土资源年鉴*. 北京: 中国国土资源年鉴编辑部. 2000. 824~825.
- [19] 中华人民共和国国土资源部. *中国国土资源年鉴*. 北京: 中国国土资源年鉴编辑部. 2002. 918~919.
- [20] 丁振华, 郑宝山, Finkelman R B, 等. 黔西南高砷煤的分布规律及地球化学特征. *地球化学*, 2000, 29: 490~494.
- [21] Ashley P M, Lottermoser B G. Arsenic contamination at the Mole River mine, northern New South Wales. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1999, 46: 861~874.
- [22] 韦朝阳, 陈同斌, 黄泽春, 等. 大叶井口边草——一种新发现的富集砷的植物. *生态学报*, 2002, 22(5): 777~778.
- [23] De koe T. *Agrostis castellana* and *Agrostis delicatula* on heavy metal and arsenic enriched sites in NE Portugal. *The Science of the Total Environment*, 1994, 145(1-2): 103~109.
- [24] Wong H K T, Gauthier A, Nriagu J O. Dispersion and toxicity of metals from abandoned gold mine tailings at Goldenville, Nova Scotia, Canada. *The Science of the Total Environment*, 1999, 228: 35~47.
- [25] Kim M J, Ahn K H, Jung Y J. Distribution of inorganic arsenic species in mine tailings of abandoned mines from

- Korea. *Chemosphere*, 2002, 49: 307~312.
- [26] Bodenan F, Baranger P, Piantone P, *et al.* Arsenic behavior in gold-ore mill tailings, Massif Central, France: hydrogeochemical study and investigation of in situ redox signatures. *Applied Geochemistry*, 2004, 19: 1785~1800.
- [27] 何孟常, 季海冰, 赵承易, 等. 锑矿区土壤和植物中重金属污染初探. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(3): 417~420.
- [28] Visoottiviset P, Francesconi K, Sridokchan W. The potential of Thai indigenous species for the phytoremediation of arsenic contaminated land. *Environmental Pollution*, 2002, 118: 453~461.
- [29] 戈保梁, 杨波, 周国仲, 等. 云锡高砷高硫尾矿中有价元素的综合回收. *金属矿山*, 2003, (4): 51~53.
- [30] 马少健, 王桂芳, 莫伟. 硫化矿尾矿库周围水土污染调查研究. *有色矿冶*, 2005, 21(增刊): 125~128.
- [31] Milton A, Johnson M. Arsenic in the food chains of a revegetated metalliferous mine tailings pond. *Chemosphere*, 1999, 39(5): 765~779.
- [32] 翟丽梅, 陈同斌, 廖晓勇, 等. 广西环江铅锌矿尾砂坝坍塌对农田土壤的污染及其特征. *环境科学学报*, 2008, 28(待刊).
- [33] Castro-Larragoitia J, Kramar U, Puchelt H. 200 years of mining activities at La Paz/ San Luis Potosí Mexico - consequences for environment and geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997, 58(1): 81~91.
- [34] Gaskova O L, Bessonova E P, Bortnikova S B. Leaching experiments on trace element release from the arsenic-bearing tailings of Khovr-Aksy (Tuva Republic, Russia). *Applied Geochemistry*, 2003, 18: 1361~1371.
- [35] 雷梅, 岳庆玲, 陈同斌, 等. 湖南柿竹园矿区土壤重金属含量及植物吸收特征. *生态学报*, 2005, 25(5): 1146~1151.
- [36] 武志卿, 王志良. 砷渣的危害与治理. *环境工程*, 1984, 42~45.
- [37] 林恒. 我国黄金矿山砷的污染状况与防治. *黄金*, 1994, 15(11): 51~55.
- [38] 王秋衡, 彭伟, 张宜文, 等. 金属冶炼企业大气污染的安全评价. *安全与环境工程*, 2004, 11(2): 14~17.
- [39] 徐红宁, 许嘉琳. 我国砷异常区的成因及分布. *土壤*, 1996, 28(2): 80~84.
- [40] 吴继烈. 关于集中治理砷害的思考. *铜业工程*, 1998, (4): 46~50.
- [41] 李裕后, 陈世民. 韶冶厂砷的危害及治理方案探讨. *有色矿冶*, 2000, 16(3): 47~48.
- [42] 张金成. 白银公司几种冶炼渣综合回收现状及建议. *中国有色冶金*, 2004, (4): 34~40.
- [43] 陈志澄, 毋福海, 黄丽政, 等. 砷矿尾砂污染及其治理研究. *环境污染与防治*, 2006, 28(3): 180~182.
- [44] 朱昌洛, 沈明伟, 李华伦. 含砷矿产开发中砷害防治现状. *矿产综合利用*, 2005, (5): 31~34.
- [45] 陈同斌. 砷毒田中有机肥对水稻生长和产量的影响. *生态农业研究*, 1995, 3(3): 17~20.
- [46] 王振刚, 何海燕, 严于伦, 等. 石门雄黄矿附近地区慢性砷中毒流行病学特征. *环境与健康杂志*, 1999, 16(1): 4~6.
- [47] 宋书巧, 吴欢, 黄钊, 等. 刁江沿岸土壤重金属污染特征研究. *生态环境*, 2005, 14(1): 34~37.
- [48] GB4810-94, 食品中砷限量卫生标准. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [49] 蔡保松, 陈同斌, 廖晓勇, 等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响. *生态学报*, 2004, 24: 711~717.
- [50] 陈同斌, 刘更另. 湖南省高砷地区土壤含砷量及其作物污染的临界值. *土壤肥料*, 1992, (2): 1~4.
- [51] 林匡飞, 徐小清, Anid P, 等. As 污染区农民头发中 As 含量与环境中 As 含量的关系. *土壤肥料*, 2001, 21(5): 440~444.
- [52] 唐宝英, 陈朝湘, 杨秀环. 炼砷遗址土壤及植物总砷分布的特征. *中山大学学报(自然科学版)*, 1994, 33(4): 65~69.
- [53] 曹国选. “冶炼之乡”已不堪冶炼之重. *环境经济杂志*, 2005, 23: 21~24.
- [54] 杨娟. 矿山砷废石污染及其治理. *工业安全与防尘*, 1992, (6): 2~4.
- [55] 沈迅君. 含砷废渣污染环境引起的人畜中毒. *环境与健康杂志*, 1988, 18.
- [56] 肖恩辉, 邹放云, 肖英才. 锑废渣污染井水致 8 例急性砷中毒报告. *实用预防医学*, 1995, (2): 238.
- [57] 黄正林, 吴枚红. 一起意外事件酿成急性砷中毒事故及 5 年后追踪调查报告. *中国卫生监督杂志*, 2000, 7(1): 10~12.
- [58] 谢华. 柳州市五起急性职业性砷化氢中毒分析. *医学文选*, 1999, 18(2): 248~249.

- [59] 罗端玲, 王锦梅. 一起饮水污染引起的砷中毒调查与对策. 贵州医药, 2000, 24(4): 252~253.
- [60] 赵伟民, 张建设, 刘和明. 一起饮用受砷污染井水致砷中毒的调查报告. 实用预防医学, 1997, 4(1): 36.
- [61] 曹国选. 湖南第一大砷中毒案的思考. 中国环境管理, 1998, 24~35.
- [62] 赵坚, 许天培. 某乡镇冶炼厂砷中毒调查. 中国工业医学杂志, 2000, 13(1): 45~46.
- [63] 莫素娟. 清洗废旧回收物致砷化氢中毒事故一起. 中华劳动卫生职业病杂志, 2002, 20(3): 199.

Regional distribution of arsenic contained minerals and arsenic pollution in China

XIAO Xi-yuan, CHEN Tong-bin, LIAO Xiao-yong, WU Bin,

YAN Xiu-lan, ZHAI Li-mei, XIE Hua, WANG Li-xia

(Center for Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural
Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract : Arsenic reserves, mineral resources distribution and arsenic mining induced environmental pollution in China were analyzed. The known arsenic reserves were 3977 kt, and preserved reserves were 2796 kt, of which 87.1% existed in paragenetic or associated ores up to the end of 2003. The total arsenic preserved reserves owned by the provinces including Guangxi, Yunnan and Hunan accounted for 58.0% of the country's total reserves. Moreover, the arsenic preserved reserves in Nandan County, Guangxi Province and Gejiu County, Yunnan province accounted for 17.0% and 10.2% of the total reserves in China, respectively. Large amount of arsenic had been released to the environment in the process of mining and utilizing ore deposits. Up to 2003, the mined amount of arsenic reached 1392 kt in China. The exploited quantity of arsenic in Guangxi, Yunnan and Hunan provinces was 733,342 and 153 kt, respectively, so the environmental arsenic pollution in those areas was at high risk. The amount of arsenic discharged in the form of mining tailings accounted for about 70% of the total mined. A lot of arsenic pollution events had shown that the arsenic sources released from mining, smelting, and processing threatened people's health through contaminated soils, foods and atmosphere. Furthermore, the arsenic calamities often took place in Southwest China where there were rich arsenic resources and intense mining activities.

Key words : arsenic; mineral resources; reserves; distribution; pollution