

# 我国铅锌冶炼现状与持续发展<sup>①</sup>

蒋继穆

(中国有色工程设计研究总院, 北京 100038)

**摘要:** 综述了我国铅锌冶炼的现状, 重点介绍了锌冶炼工艺及与世界工业发达国家的差距, 提出我国铅锌产业面临的主要问题和应采取的对策。通过优化产业、产品结构, 加强环境保护, 重视再生资源的回收和利用, 加大技术创新和科技开发的力度, 使我国铅锌产业持续高速发展。

**关键词:** 铅; 锌; 冶炼; 现状; 发展对策

## Status and sustainable development of lead and zinc smelting industry in China

JIANG Jī mu

(China Nonferrous Engineering and Research Institute, Beijing 100038, China)

**Abstract:** The status of lead and zinc smelting industry in China was described, especially the zinc smelting process and the technical gap between China and the developed countries, and strategies of China's lead and zinc industries were suggested. Only by optimizing the industry structure, enforcing environmental protection, emphasizing the recycling of resources and strengthening technical innovation, can China's lead and zinc industry gain a rapid and sustainable development.

**Key words:** lead; zinc; smelting; status; developing strategies

### 1 铅冶炼现状

近年来我国铅冶炼工业有很大发展。2002 年产电铅 132.5 万 t(包括再生铅回收), 其中矿产铅 122.8 万 t(包括进口含铅物料), 国产铅精矿含铅 64.1 万 t, 再生铅 9.7 万 t(见表 1)。

全国已建成铅冶炼厂 400 多家, 含国有企业 66 家, 集体企业 200 多家, 股份制企业 14 家, 联营企业 15 家, 私营企业 34 家, 三资企业 21 家和个体企业 19 家。这些铅冶炼厂中, 单一的粗铅冶炼厂、单一的电解精炼厂、既有粗炼又有电解精炼的综合铅冶炼厂大体上各占三分之一。在铅冶炼厂中, 年产粗铅 10 万 t 以上者仅 1 家, 5 万 t 以上的大型企业有 8 家(见表 2), 年产粗铅能力 1~4 万 t 的共计 16

家, 其余均为年产粗铅能力 1 万 t 以下。

近几年来我国铅产销两旺, 产铅除满足国内市场需求外, 还大量出口。1995~2002 年我国铅进出口状况见表 3。铅的消费量见表 4。一方面大量进口原料, 另一方面大量出口精铅及铅合金。

2002 年以前, 我国铅冶炼工艺, 除西北铅锌冶炼厂引进了德国鲁奇公司 QSL 炼铅技术外, 其余全部是烧结、鼓风炉熔炼和电解精炼; 除了韶关冶炼厂、株洲冶炼厂(株冶)、河南豫光金铅集团及安阳豫北金属冶炼厂等采用烧结机烧结外, 其余均采用烧结锅或烧结盘进行烧结。冶炼烟气只有韶关冶炼厂(铅锌混合精矿烧结, 用 ISP 工艺生产铅锌)采用单转单吸制酸, 而河南豫光金铅集团及豫北金属冶炼厂采用国内开发的非定态低浓度 SO<sub>2</sub> 烟气转

① 作者简介: 蒋继穆(1939-), 国家工程设计大师

通讯作者: 蒋继穆, 中国工程设计大师; 电话: 010-63984023; E-mail: JiangJm@enfi.com.cn

表 1 我国铅产量(万 t)

项目名称	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
铅金属	60.79	70.62	70.75	75.69	91.84	109.99	119.54	132.50
铅精矿含铅量	51.98	64.31	71.19	58.05	54.89	65.95	67.58	64.10
再生铅	17.5	14.3	12.3	9.2	9.7	10.2	9.7	9.7

表 2 我国主要铅冶炼企业铅产量(万 t)

企业名称	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
河南豫光金铅集团公司	2.18		4.1	5.0	6.2	8.2	11.2	13.75
株洲冶炼厂	7.88	6.7	8.35	8.35	9.5	10	9.5	9.7
安阳豫北金属冶炼厂			1.7		4.6	5.15	7.1	7.9
中金岭南韶关冶炼厂	3.16	4.4	5.1	5.5	6.3	7.4	7.5	7.9
水口山金属有限责任公司	2.69	3.3	4.3	4.3	5.0	6.1	6.6	6.8
徐州春兴合金有限公司			1.4	2	3.0	3.4	6.0	5.9
云南新立有色金属公司					3.0	6.7	6.0	5.7
老河口汉江有色金属公司			2.5	3.8	4.1	5.1	3.3	2.2

表 3 我国铅产品进出口状况(万 t)

市场	项目	年份							
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
进口	铅精矿	31.8	7.0	11.8	23.6	16.9	31.1	39.7	38.9
	铅及铅合金	0.5	0.7	1.4	1.54	1.6	1.6	2.9	5.8
	铅材	0.3	0.55	0.43	0.47	0.6	1.1	0.6	0.7
出口	铅精矿	5.4	1.45	2.6	3.4	2.3	0.3	0.02	0.001
	铅及铅合金	18.5	2.6	19.8	25.1	46.8	46.7	46.96	41.8
	铅材	0.3	0.2	0.17	0.46	0.2	0.4	0.37	1.3

表 4 我国铅消费量(万 t)

项目名称	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
精铅消费量	44.2	47.0	49.3	50.0	52.5	66	75.9	92.1

化技术制酸,株冶铅系统烟气引进了托普索工艺制酸,其他铅冶炼厂的烟气都直接排放至大气。2002年矿产铅中有 50~60 万 tSO<sub>2</sub> 排入大气,严重污染环境。烧结机或烧结锅的操作及多段返粉破碎,铅粉尘及 SO<sub>2</sub> 的低空污染同样十分严重,劳动条件恶劣。

随着各国环保政策要求日益严格,对于满足环保要求,生产成本低廉的炼铅新工艺的需求也日益突出。20 世纪 80~90 年代,有关国家研究开发出几种新的炼铅工艺,已应用于工业生产。这就是众所周知的基夫赛特法、顶吹浸没熔炼法(TSL 法)、QSL 法、卡尔多法等。

统观世界铅冶炼的状况,新工艺和新技术的采用不如铜冶炼那样迅速。世界年产 600 多万 t 铅,用新工艺生产的不足 100 万 t,世界铅产量的 80% 以上仍然采用传统的烧结-鼓风炉流程生产。

铅冶炼新工艺推广速度不快,可能与下述因素

有关。

1) 在经济上,铅是重有色金属中价位最低的一种,投资利润率相对较低。如果不进行准确而详细的技术经济比较,盲目地花大量投资进行铅厂技术改造,经济上要承担重大风险。

2) 在技术上,硫化铅、氧化铅及金属铅等都是沸点比较低的物质,尤其是硫化铅在 600 °C 就开始挥发,其沸点仅为 1 281 °C,在 1 000~1 100 °C 的熔炼温度下,它们的蒸汽压都相对较高。新的炼铅方法多数是采用富氧强化熔炼, PbS、Pb、PbO 等大量挥发,烟尘率很高。如国内开发的底吹炼铜,烟尘率仅 1% 左右;而底吹炼铅,烟尘率在 15% 以上, QSL 法达 25% 左右。这给新的炼铅工艺带来一定的工艺和工程问题。如烟尘中 VA 族元素循环积累问题;烟尘粘结问题;超细干尘清理、输送、混料等过程的粉尘挥扬造成的低空污染问题;烟尘率高,返料率就高,能耗也相应提高。基于这些原因,

铅冶炼改造以及炼铅新工艺的开发和应用难度较大。并且新开发的这几种工艺,生产应用时间都不算长,还或多或少存在一些问题,处在不断改进和完善之中,这给业主决策带来一定困难,造成21世纪初,世界铅产量的80%仍以烧结-鼓风机传统工艺生产。

我国铅冶炼状况与国外相比有以下特点。

1) 国内外铅冶炼均以烧结-鼓风机传统工艺为主,截至2002年国外新工艺产铅产量接近铅总产量的20%,国内只有10%。

2) 传统炼铅工艺方面,国外的装备水平较国内高,工厂平均规模远比国内的大,劳动生产率远高于国内。铅的回收率以及综合利用程度方面,国内大型铅冶炼厂与国外基本相当。我国铅行业的主要技术经济指标列于表5。

3) 由于国内煤、焦炭单价及劳动力成本较国外低,因此铅的加工费低于国外。利用进口铅精矿及低品位铅杂料生产精铅出口,仍有盈利。这是造成目前大量进口铅原料,又大量出口精铅,铅冶炼产业高速发展的主要原因。1990~2002年世界精铅产量平均增长率为1.52%,而同期我国的平均增长率为13.3%。同期世界铅的绝对增量为108.6万t,我国为102.9万t。扣除我国铅的净增值,同期世界铅的净增值为5.7万t。可见1990年以后世界

铅的增量几乎全部为我国所为(见表6)。

4) 国外开发的炼铅新工艺,由于经济及技术上的原因,推广不快;而我国自行开发的氧气底吹氧化-鼓风机还原炼铅新工艺,由于具有投资省、环保好、能耗低、自动化程度高、生产成本低等优点,推广速度很快,已被池洲、豫光、水口山、祥云飞龙、保定安建等5家采用,其中池洲、豫光已投产,产能分别达6万t/a、8万t/a粗铅,两家都准备再建一条10万t/a生产线。这5家总产能将达54万t。还有河池等几家在联系设计,推广应用方面势头强劲。这除了我国自行开发的炼铅新工艺本身具有的优点外,另外在我国现有条件下,采用炼铅新工艺,较工业发达国家有更有利的条件。工业发达国家硫酸市场已饱和,日本、韩国多年来向我国倾销硫酸,基本上只收运输费。MIM公司的炼铜厂和炼铅厂都不制酸,厂址设在SO<sub>2</sub>污染有一定容耐力的荒漠地域。不考虑SO<sub>2</sub>污染,MIM公司建设了6万t/a金属铅的顶吹炼铅新工艺生产厂,据称从原料供应、规模和总体经济效益综合考虑,生产3年后停止了采用顶吹炼铅新工艺生产,仍用原有的16万t/a的烧结-鼓风机传统流程生产。目前我国硫酸还有一定市场容量,每产1t铅,一般可回收1t酸,每吨酸有上百元利润。这对炼铅新工艺的推广极为有利。

表5 我国铅行业主要技术经济指标

项目	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
铅冶炼回收率/%	92.44	92.49	92.75	93.69	93.49	93.52	92.99	94.3
采选冶综合回收率(露采)/%	74	74.07	75.9	77.0	76.9	78.2	77.85	78.4
采选冶综合回收率(坑采)/%	66	66.2	69	71.6	71.8	74.93	75.17	75.6
粗铅冶炼生产能力/万t	59.6	64.28	66.5	78.6	78.5	91.9	104.4	115.7
综合能耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	728	817.8	688.2	705	900	720.9	685.4	607.1
硫的综合利用率/%	鼓风烧结: 60~85; 底吹炼铅: >95							
新水单耗	烧结-鼓风机: 29~43 t/t(电铅); 底吹炼铅: 12~20 t/t(精铅)							
粗铅生产成本/(元·t <sup>-1</sup> )		3 902	3 514	3 444	2 755	2 962	3 245	3 184
电铅生产成本/(元·t <sup>-1</sup> )	4 304	4 712	4 426	3 798	3 340	3 465	3 684	3 589

注: 采选冶综合回收率= (1- 损失率) × 选冶回收率

表6 我国与世界总计精铅产量对比(万t)

	年份									
	1990	1992	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
世界总计	546.0	536.8	538.0	557.9	602.0	628.6	658.2	656.8	670.3	654.6
中国	29.6	36.6	46.8	55.1	70.8	75.6	91.8	110.0	117.2	132.5

## 2 锌冶炼现状

### 2.1 概况

近年来我国锌冶炼与铅冶炼一样, 产量迅速增长。1990 年产锌为 55.18 万 t, 1995 年为 107.67 万 t, 2002 年达到 215.5 万 t, 产量居世界第一位, 同时锌的出口量及消费量均居世界第一, 是名符其实的锌的生产和消费大国。1995~2002 年我国锌产

量(见表 7)年均增长率达 10.42%。

锌及锌产品除满足国内需求外, 尚可大量出口。1995 年后, 锌及锌产品进出口状况见表 8。从表中可以看出, 特殊锌材料及其合金仍需依靠进口, 并呈逐年增加趋势, 锌精矿则由大宗出口转为大宗进口, 精锌出口量 1999 年以后在 50~60 万 t 间波动, 出口量仅次于加拿大, 居世界第二; 2002 年已超过加拿大, 居世界第一(见表 9)。

表 7 我国锌产量(万 t)

项目名称	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
锌精矿含锌量	101.07	112.14	120.99	127.3	147.6	178.03	169.32	162.4
锌金属	107.67	118.48	143.44	148.6	170.32	195.7	203.76	215.5
其中: 电锌	44.3	45.8	66.05	70.86	81.89	100.5	117.8	124.6
精锌	32.1	36.4	41.7	39.14	39.79	55.9	45.9	59.7
蒸馏锌	5.5	2.2	5.1	6.52	7.71	4.42	7.2	1.7
锌品	25.7	34.1	30.5	32.02	40.93	34.8	32.8	29.4

表 8 我国锌产品进出口状况(万 t)

年份	锌精矿		精锌		锌合金		锌材		锌废碎料		氧化锌	
	进口	出口	进口	出口	进口	出口	进口	出口	进口	出口	进口	出口
1995	10.2	15.5	1.4	18.1	5.3	1.0	4.5	1.7	2.2	0.3	0.5	4.0
1996	29.5	10.9	1.1	21.7	5.9	0.9	4.7	1.3	2.0	0.2	0.7	2.7
1997	16.6	38.1	1.1	54.4	6.1	1.3	4.4	1.2	1.0	0.2	0.9	5.6
1998	5.3	20.1	1.2	37.1	7.5	1.2	5.8	1.4	2.6	0.5	1.0	5.7
1999	4.4	23.3	1.6	50.7	9.1	1.9	4.3	1.3	4.2	0.6	1.1	6.8
2000	7.8	13.9	1.9	57.5	11.0	1.9	5.1	1.6	4.8	0.2	1.3	13.5
2001	65.29	1.3	1.85	54.2	12.2	2.0	4.6	1.3	3.5	0.2	1.4	9.2
2002	78.4	0.4	6.8	47.3	14.3	2.3	5.6	1.5	5.1	0.3	1.6	8.7

表 9 世界锌进出口量(万 t)

项目	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
锌锭出口世界合计	251.46	276.01	310.21	313.08	342.76	357.37	364.1	345.3
其中: 加拿大	53.60	58.16	54.76	57.69	61.07	60.34	60.3	49.5
中国	18.12	21.84	54.38	37.06	50.75	57.46	57.5	54.4
荷兰	17.61	16.67	16.94	25.50	24.09	30.61	11.3	13.3
澳大利亚	11.17	15.52	13.39	15.19	20.05	29.84	16.9	36.7
哈萨克斯坦	11.46	13.22	16.63	21.80	20.59	22.92	23.5	26.3
韩国	3.52	2.43	9.12	15.91	15.35	17.72	20.9	26.3
芬兰	12.55	13.73	12.87	15.55	18.69	17.64	17.5	18.6
俄罗斯	6.25	11.93	12.03	11.72	11.62	11.72	10.3	11.1
挪威	11.16	11.30	12.42	11.68	12.19	11.70	11.3	13.3
法国	6.74	22.67	17.71	14.37	12.79	11.17	12.7	14.3
秘鲁	7.89	10.92	10.49	9.42	7.64	10.90	9.0	9.1
新加坡	21.75	3.49	12.66	13.54	11.00	10.07	7.6	4.3
锌锭进口世界合计	281.55	270.21	313.64	312.78	338.60	336.67	332.5	339.8
其中: 美国	84.76	81.87	87.62	86.88	106.55	92.00	91.7	104.3
中国台湾	20.56	19.64	22.89	24.07	27.30	29.41	27.6	30.3
德国	22.75	18.79	23.62	25.86	25.22	25.12	26.2	23.1
比利时	15.25	22.08	24.79	23.22	19.28	23.32	23.3	23.7
荷兰	20.84	11.56	10.05	15.90	12.55	2.07	15.3	12.6
意大利	11.37	10.17	9.81	14.89	19.81	21.29	17.5	20.2
新加坡	3.87	4.55	24.17	16.90	13.25	15.89	23.4	14.2
法国	13.47	10.80	11.42	11.69	12.85	12.91	12.7	9.8
韩国	5.25	8.81	6.67	7.10	11.13	12.85	9.8	11.6
英国	14.52	13.20	13.71	16.09	11.22	11.87	11.1	10.6

我国锌冶炼工艺以湿法冶炼为主，火法其次。据2002年统计的全国锌产量中，湿法炼锌占70%，火法炼锌占30%。火法中竖罐法占18%，ISP法约占9.5%，其余(包括电热法、平罐、马槽炉、马鞍炉和四方炉)约占2.5%。

我国开发利用的锌资源以硫化矿为主，氧化矿由地方小厂处理一部分，数量有限。云南兰坪的大型氧化锌矿尚处于筹备开发阶段；厂坝铅锌矿上部亦有锌含量5%~20%的氧化矿，金属储量达26万t，未予开发利用。由于氧化锌矿难于选矿富集，低品位氧化矿多通过回转窑挥发焙烧，得到品位较高的氧化锌尘作为火法或湿法炼锌原料。采用氧化锌矿直接湿法冶炼，在云南建设了万吨/年级电锌生产厂，处理含锌18%左右的氧化锌，仍可获得较好的经济效益。

我国锌产量60%以上集中在几家大、中型冶炼企业，见表10。

这些企业的工艺和装备水平以及生产指标和世界同类企业不相上下，有的处于世界先进水平。2002年这几家大型企业多数减产，致使锌产量集中度降至53%。

我国万吨/年级以上的锌冶炼厂共计25家，与铜、铅、锑等冶炼厂相比，相对较为集中。尽管锌冶炼的原料95%以上是硫化矿，硫化矿脱硫除采用ISP工艺烧结外，其余几乎全部采用沸腾焙烧法。沸腾炉焙烧多用微负压操作，车间劳动条件较好，低空污染轻微。锌沸腾产出烟气SO<sub>2</sub>含量在8%~

10%，可以满足双转双吸制酸要求，尾气能达标排放，硫的利用率高达95%左右。

## 2.2 冶炼工艺

### 2.2.1 湿法炼锌

#### 1) 常规浸出法

株州冶炼厂是我国采用常规流程中最大的湿法炼锌厂，始建于20世纪50年代，设计规模产电锌10万t/a，逐年扩产至15万t/a。20世纪90年代又新建一条10万t/a的生产线，2002年共产电锌26.7万t。老系统采用4台42m<sup>2</sup>的沸腾炉焙烧，热焙砂直接用含酸浸出液冲矿混合，以矿浆的形式进入浸出槽内，称为湿法上矿。此法可以充分利用焙砂的物理热，节省能源，同时省去了焙砂的冷却设备，这在常规两段连续浸出湿法炼锌工艺中独具特色。新系统采用1台109m<sup>2</sup>的大型鲁奇式沸腾炉焙烧精矿，焙砂经沸腾冷却器、高效冷却圆筒冷却后，用空气输送至焙砂中间储仓，采用干式上料、常规两段连续浸出工艺。湿法上矿的缺点是焙烧和浸出两工序间相互制约，焙烧系统出现故障时，浸出工序就得停车，反之亦然。干式上料法设有中间料仓储存焙砂，可以缓解焙烧、浸出工序间的相互制约，提高全系统的开工率，提高产量。

株冶老系统浸出液采用锌粉流态化连续净化除铜、镉，黄药间断净化除钴，二段净液工艺。株冶新系统采用反向锑盐三段深度净液工艺，两种净液工艺净化后液成分见表11。

表10 我国主要锌企业锌产量(万t)及分布(%)

企业名称	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
葫芦岛锌厂	24.06	20.37	31.1	27.83	28.36	32.2	28.7	22.1
株州冶炼厂	13.13	17.7	24.2	24.89	26.3	27.9	28.2	26.7
中金岭南韶关冶炼厂	6.45	8.85	11.8	13.00	15	16.6	16.9	17.0
白银公司	10.73	10.8	12.1	13.07	14.2	14.2	14.7	13.5
银荔集团龙城化工总厂	2.5		3.3	3.3	4.5	6	8.9	8.9
水口山有限公司	2.69	3.08	3.4	4.12	5	6.2	7.7	6.9
云南驰宏有限公司	3.5		5.1	5.4	5.6	6.3	6.0	6.3
四川宏达有限公司						2.4	6.7	
柳州锌品公司	3.12	3.3	4.0	4.1	4.0	9.6	9.4	4
柳州有色冶炼股份公司	3.3		3.2	3.3	3.6	4.1	4.8	2.3
总计	69.48	64.1	98.2	99.01	106.56	123.1	127.7	114.4
全国总计	107.67	118.48	143.44	148.6	170.32	195.7	203.76	215.5
占全国总产量/%	64.53	54.10	68.46	66.63	62.56	62.90	62.67	53.09

表11 株冶两种净液工艺净化后液成分(mg/L)

	Zn	Cu	Cd	Co	Ni	Fe	Sb	Ge
老系统	(1.3~1.7) × 10 <sup>5</sup>	≤0.2	≤1.5	≤1	≤1.5	≤20	≤0.3	≤0.05
新系统	(1.5~1.6) × 10 <sup>5</sup>	0.2~0.3	1	0.1~0.5	0.05	<10	0.02	0.001~0.005

两种净液工艺均能满足生产  $0^{\#}$  电锌的要求。铈盐三段深度净液对锌精矿来源广、原料杂质含量变化大的情况具有较强的适应能力, 可获得更稳定、更纯净的电解液。

株冶采用常规浸出工艺, 唯一的缺点是浸出渣含锌高, 一般达 20%~22%, 需要进一步用回转窑挥发焙烧, 回收残余的铅、锌等有价值金属。株冶已建挥发窑 5 台, 其中  $d2.8\text{ m} \times 44\text{ m}$  三台,  $d2.9\text{ m} \times 52\text{ m}$  一台,  $d3.2\text{ m} \times 65\text{ m}$  一台。回转窑挥发铅、锌直收率接近 95%; 但能耗高, 配焦率为处理渣量的 50% 以上, 炉衬寿命短, 以往一般为 2~3 个月, 最多不超过半年; 且场地周围逸散粉尘量大, 劳动条件差, 劳动生产率相对较低。由于我国煤、焦炭单价及工人工资较国外低, 所以株冶采用常规湿法工艺炼锌仍具有较强的竞争力和较高经济效益。株冶近年回转窑挥发焙烧窑采用预挂渣操作, 致使炉衬寿命达到一年以上, 是锌渣处理技术的突破性进展。

会泽铅锌厂、水口山锌厂、葫芦岛湿法炼锌分厂、开封冶炼厂、原沈阳冶炼厂锌车间等均采用常规浸出工艺炼锌, 浸出渣处理, 除葫芦岛锌厂采用该厂自行开发的旋涡炉挥发焙烧外, 其余都是采用回转窑处理。

## 2) 热酸浸出法

白银西北冶炼厂锌系统是我国采用新的黄钾铁矾法炼锌最大的冶炼厂, 设计年产电锌 10 万 t, 建于 20 世纪 80 年代末期, 采用国外多项新工艺与新技术。焙烧采用  $109\text{ m}^2$  的大型鲁奇式沸腾炉, 抛料机加料; 烟气设余热锅炉生产蒸汽发电; 热焙砂采用沸腾冷却器及高效冷却圆筒组合冷却。主体设备(包括鼓风机、排烟机等全系统)采用单系列生产, 不设备品。浸出系统采用了高效节能搅拌槽, 中性浸出采用自动加料、自动控制 pH 值的连续浸出。采用了热酸连续浸出和黄钾铁矾除铁新工艺; 采用了  $50\text{ m}^2$  的大型圆筒过滤器过滤铁渣和自动压滤机过滤铅银渣; 采用了铈盐三段深度净液工艺。电解车间采用了钢架塑料内衬新型电解槽、 $1.6\text{ m}^2$  的无包边阴极、自动剥锌片机、电解车间专用吊车、大型 220kV 直降硅整流器、电解槽短路器、电解液除氟装置、40 t 大型低频感应熔锌电炉、锌锭自动浇铸码垛机等。建设了单系列双转双吸 20 万 t/a 的大型硫酸厂, 采用阳极保护酸冷却器, 烟气脱汞, 电解回收金属汞装置; 采用了 D2000 大型  $\text{SO}_2$  风机及先进的废酸废水处理系统。

白银西北冶炼厂锌系统设计采用新工艺、新设备, 自控及装备水平均达到世界一流水平。

采用热酸浸出黄钾铁矾法除铁工艺生产锌的还有柳州锌品厂; 采用热酸浸出工艺的还有赤峰冶炼厂、温州冶炼厂、池洲冶炼厂等中型企业。赤峰冶炼厂采用碳酸氢氨沉铁, 生成  $(\text{NH}_4) \cdot \text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  氨矾铁渣, 由于铁渣中锌含量低, 称为低污染黄钾铁矾法。温州和池洲冶炼厂均采用喷淋法除铁, 生成  $\text{FeO}(\text{OH})$  沉淀物, 称为仲针铁矿法。热酸浸出的浸出率高, 可以获得含锌很低的铁渣及铅银相对富集的铅银渣, 但不管采用何种方式获得铁渣, 均含可溶重金属离子, 随意堆放会造成环境污染。

高硅氧化锌矿的处理, 近年有突破性进展。云南祥云飞龙实业有限公司将氧化矿与硫化矿焙砂的中温浸出渣按适当配比混合, 经高温高酸浸出, 用针铁矿法沉铁、脱硅, 取得专利。该厂 2002 年产电锌 4.7 万 t, 锌回收率平均达 94% 左右, 运转正常, 这为大规模开发利用兰坪资源矿创造了条件。

国内电锌厂的直流电耗随管理水平不同在 3 000~3 300  $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{t}$  间波动, 综合电耗 4 000~4 600  $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{t}$ 。

## 2.2.2 火法炼锌

火法炼锌产量在我国占锌总产量的 30%, 高于国外。火法炼锌有竖缸炼锌、鼓风机炼锌、电炉炼锌及其他土法炼锌。

### 1) 竖罐炼锌

国外竖罐炼锌最后一条生产线已于 1980 年关闭。我国葫芦岛锌厂经多年努力, 开发了高温沸腾焙烧、自热焦结炉、大型蒸馏炉、大型精馏炉、双层煤气发生炉、罐渣旋涡熔炼挥发炉等新技术, 将竖罐炼锌技术提高到一个新水平, 有关技经指标均高于国外水准, 并先后建成了 20 万 t/a 竖罐炼锌生产线。由于竖罐炼锌对原料适应性较强, 可以处理含氟、砷和铋较高的原料及二次物料; 产品灵活性大, 可直接生产 99.99% 以上高纯锌, 还可直接生产高纯氧化锌及锌粉, 锌的总回收率可达 95%~96%, 硫利用率 > 94%; 万吨/年级以下的锌厂单位投资低于湿法炼锌厂, 加上我国煤、焦炭、人工等价位较低, 竖罐炼锌仍有一定市场, 被国内多家中小工厂所采用。2002 年全国竖罐炼锌总产量达 38 多万吨, 约占总产量的 18% 左右。

竖罐炼锌中, 单台设备最大产锌量仅 21~22 t/a, 劳动生产率低; 焙烧烟尘需要再处理进一步脱除铅、镉和硫; 每吨精锌能耗高达 2.1~2.2 t 标煤; 车间粉尘含量高, 污水处理难度大, 环保难以达标。从能源、环保、劳动生产率几个关键因素考

虑,以及从可持续发展战略看,竖罐炼锌技术属逐步淘汰范围。

### 2) 鼓风炉炼锌

鼓风炉炼锌又称ISP法(帝国熔炼法),炉子上部产锌、下部产铅。我国建有3套装置,2002年共产锌20.5万t,占总产量的9.5%。

韶关冶炼厂是世界上屈指可数的大型鼓风炉炼锌厂,建有2台110m<sup>2</sup>大型烧结机,2台18.4m<sup>2</sup>鼓风炉,全厂综合设计能力达到铅加锌20万t/a,2002年实际产锌17万t,锌的总回收率达93.8%。采用了双转双吸制酸,硫的利用率达90.5%。制酸尾气采用氨吸收,排放浓度<270mg/m<sup>3</sup>,远低于国家排放标准;采用鼓风炉空气脱湿,焦率控制在34%~36%;采用拷贝热风炉,预热风温900~950℃;鼓风炉系统采用了DCS微机控制系统。目前正在改造污水处理装置,投产后,可实现污水零排放。工厂总体技术处于世界同类企业的上游水平。

鼓风炉炼锌和鼓风炉炼铅一样,炉料都要经过烧结(个别厂使用团矿),且铅锌烧结的返料率较炼铅更高,达80%左右。烧结过程的SO<sub>2</sub>及粉尘的低空污染与铅冶炼一样严重,环保问题较为突出,因此20世纪80年代以后,只有印度(Chanderiya)于1991年新建一座ISP工厂,该技术没有再获得大规模推广,在发达国家因环保原因有的已经关闭。由于该工艺能同时生产铅和锌,且加工成本较低,在发展中国家,仍具有一定的竞争力。

### 3) 电炉炼锌

国内有部分小硫酸厂利用改烧收购的民采锌精矿生产硫酸,产出的锌焙砂可满足电炉炼锌要求,

产出的烟尘可卖给湿法炼锌厂,这较处理黄铁矿可取得更好的经济效益,促使电炉炼锌得以发展。

电炉炼锌分布在甘肃、山西、河北、云南、四川、贵州等省,已建成几十台套。采用矿热炉还原蒸锌,锌蒸汽通过锌雨冷凝产出粗锌,粗锌经精馏炉获得含锌>99.99%的精锌产品。目前此法生产规模都很小,单台电炉产锌量在1000~2500t/a之间,吨锌电耗为4000~5000kW·h。由于投资省、劳动力廉价,绝大多数小型电炉炼锌厂均可获利,环保条件尚可,在电力充裕的边远山区仍有一定生命力。目前正在准备开发5000kVA/台较大规格的电炉,预计单台炉产锌可达5000t/a。

### 4) 其它方法

在云南、甘肃、贵州等边远山区,还有采用原始的马槽炉、马鞍炉、四方炉或正规一点的平罐炉炼锌。这些方法能耗很高,回收率很低,严重浪费资源,污染环境,已被我国政府明令禁止兴建,现已引起各地方政府的注意,正在采取措施,或关停或改造。这部分产锌量有限,加上电炉产锌约占全国锌产量的2.5%左右。

1995~2000年我国再生锌产量列于表12。我国锌行业主要技术经济指标列于表13。

表12 我国再生锌产量

年份	产量/万t	占总产量的比率/%
1995	10	8.9
1996	7.3	6.1
1997	6.24	4.4
1998	1.5	1.0
1999	1.9	1.1
2000	7	3.6

表13 我国锌行业主要技术经济指标

项目	年份							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
蒸馏锌回收率/%	92.76	92.93	92.7	93.08	92.73	92.85	93.83	95.14
精馏锌回收率/%	94.07	94.5	93.9	93.01	96.06	93.7	94.94	94.29
电锌回收率/%	91.01	89.12	91.07	91.82	92.27	92.28	92.74	92
蒸馏锌生产能力/万t	41.8	54.98	53.9	55	56	56.6	54.6	53.1
精锌生产能力/万t	43.1	49.6	49	50	50	56	48.9	58.7
电锌生产能力/万t	82.8	92	96.4	96.5	96.6	116.8	132.4	166.2
锌品生产能力/万t	18.1	19.8	22.3	27.7	27.8	35.8	35.1	35.4
蒸馏锌标准能耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	2488	1828	1700		1679	1460	1479	
精锌综合能耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	1776	1195	1641	2304	2267	2234	2223	2251.4
电锌综合能耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	1108	2241	2313	2182	2246	2306	2050	1887.7
硫的综合利用率/%	ISP法90;湿法>93;竖罐>95							
新水单耗	竖罐55~80t/t(精锌);湿法29~35t/t(电锌)							
电锌生产成本/(元·t <sup>-1</sup> )	7284	7342	7901	7167	6698	6878	6727	5999
精锌生产成本/(元·t <sup>-1</sup> )	6761	7414	7184	6770	6384	6502	6495	6200

## 2.3 中外对比

尽管我国是世界第一产锌和锌消费大国,除了在高硅氧化锌矿湿法冶炼技术上存在某些优势外,在下述方面与工业发达国家仍存在一定差距。

### 2.3.1 劳动生产率低

20 世纪 80 年代国外产锌 20 万 t/a 级的湿法炼锌厂职工总数为 600 人左右,我国目前同样规模的工厂职工总数均超过 6000 人,人均劳动生产率约为工业发达国家的 1/10,这主要是由于国内装备水准不如工业发达国家所至。

### 2.3.2 个别工艺滞后

硫化锌精矿直接加压酸浸湿法炼锌工艺在加拿大科明科公司工业应用已有多年,世界上共有 4 家采用这一工艺生产,我国仍处于研究阶段。

该工艺省去了焙烧、制酸工序,直接产出元素硫,对于硫酸没有销路的地区,具有明显的优势。氧化矿酸浸-萃取-电积方法国外已有工业应用,我国亦处于研究阶段。

### 2.3.3 净液工序有待改进

电解液铋盐或砷盐的深度净液,在操作工艺方面没有完全掌握。净液后的电解液部分杂质含量高,有的比国外较好水平高出一个数量级,还有待研究突破。

### 2.3.4 二次金属回收率低

我国对废镀锌钢材、黄杂铜等含锌废料处理中锌的回收利用重视不够,处于自流状态,没有形成产业。美国有 80 多家电炉炼钢厂,集中处理废镀锌钢材,产出含 Zn、Pb、Cd 的烟尘,经过进一步分离富集,作为生产这些金属的原料,有效地提高二次金属的回收率。目前世界上约有 50 家再生锌回收厂,再生锌回收率占世界锌总量的 30%,约 290 万 t/a。据 1995~2000 年统计我国再生锌回收率平均为 4.18% (见表 12),较世界平均值低得多,开发潜力很大。

## 3 持续发展对策

10 多年来,我国铅锌产业一直处于持续高速发展之中,诸多问题也逐步显示出来,如不及时采取措施对策,这种良好的发展态势难以持续。

### 3.1 保持持续发展面临的主要问题

1) 铅锌冶炼产能高速增长导致原料供应后劲不足。

2) 铅锌产业对环境造成污染和破坏。

3) 产业结构和产品结构不合理。我国铅锌的产业结构主要存在两个问题:一是选矿能力大于采矿能力,冶炼能力又大于选矿能力,这种倒宝塔结构,经多年调整,仍未到位;二是生产集中度很低,而且还有进一步分散的趋势。

4) 对再生铅锌(二次金属)的回收利用重视不够。

### 3.2 保持持续发展的对策

#### 3.2.1 优化产业和产品结构

我国矿铅产量、精铅产量、精铅出口量、矿锌产量、精锌产量、锌的消费量、锌的出口量都已居世界第一,是一个名符其实的世界铅锌生产和消费大国,对世界铅锌市场具有重大影响。优化铅锌产业和产品结构,提高经济效益和社会效益,对保持我国国民经济持续、稳定、健康发展具有重要意义。

##### 3.2.1.1 产业结构优化

优化铅锌的产业结构,必须结合国情,从实际出发,顺应经济全球化和有色金属生产国际化的大趋势。

1) 开发铅锌矿业,解决制约我国铅锌工业发展的瓶颈。

我国铅锌矿产资源的优势地位即将消失,必须抓紧与加强其地质勘探工作,加大国拨地勘费投入的同时,制定优惠政策,拓宽资金渠道,吸引外企和国内有关部门、地方政府和企业投资国内矿业,扩大资源储量,解决后备资源不足的矛盾。

通过有色行业协会,重组有优势的国内铅锌企业,成立跨国公司或与国外跨国公司合作,选择铅锌资源丰富的国家,合资开采大型优势铅锌矿床,建立稳定、可靠的原料供应基地。

严格执行《矿产资源法》,强化矿产资源开发全过程的管理,坚决制止滥采乱挖、无证开采、采富弃贫、破坏矿山现有资源的现象重演。对于我国的大中型铅锌矿床,必须纳入国家计划进行规模开采;小型矿床也必须经过有资格的设计单位先行设计,保证安全、重视环保、贫富兼采、合理开发,力求达到有效利用资源,并确保矿山员工和附近居民的生命、财产安全。

2) 控制冶炼的发展速度,保持采、选、冶产能

平衡发展。

应加强对铅锌行业现状的宣传, 诱导企业把投资重点转向国内外的矿山开发, 保持采、选、冶产能基本平衡。

在保证国内需求的基础上, 根据国际市场需求缺额确定我国铅锌冶炼的产能和产量, 保持 5% ~ 6% 的年均递增率较为合适。如果仍然保持 1990 年至 2001 年 12% ~ 13% 以上的速度递增, 将会造成世界铅锌产品过剩、售价下跌、效益降低, 重复过去钨、钼、锡、锑优势产业经历的盲目扩张产量、压价对外竞销, 造成优势产业没有优势效益的惨痛教训。

3) 关闭部分小型企业, 扩大企业生产规模, 发挥规模效益。

我国现有 1 186 家铅锌采选企业, 其中小型企业达 1 134 家, 占企业总数的 95.62%, 劳动生产率低, 产业结构极不合理。根据国情全部关闭小型采选企业不太现实, 但是必须以法律形式强行关闭大中型矿山中所有民采企业、个体企业, 以保护大中型矿产资源不遭破坏。对于小型矿山, 凡是没有详细地质资料、未经合理的采选设计而滥采乱挖的企业、无证开采的企业, 必须下令全部关闭。组织个体企业联合起来, 引导到科学开采的轨道上, 进行适度的规模经营。

我国现有铅锌冶炼企业 775 家, 其中集体及私营小型企业 640 家, 占企业总数的 82.6%。其中有 300 家废杂铅回收企业, 加上数十家尚未改造的烧结锅一鼓风炉炼铅厂, 这些企业是我国铅锌企业中 SO<sub>2</sub>、粉尘、铅蒸汽污染最为严重的企业, 除个别有条件的可以进行扩产技改外, 绝大多数均应以环保为由强行关闭, 将产能转移到采用先进工艺的大型铅冶炼企业中。凡采用横罐、马槽炉、四方炉的锌冶炼厂, 同样应予强行关闭。今后 10 年应严格禁止新建任何 10 万 t/a 金属量以下的铅锌冶炼厂, 靠扩大现有冶炼厂产能来发展, 以提升铅锌冶炼厂规模、达到调整产业结构的目的。

### 3.2.1.2 产品结构调整

我国铅锌产品结构的问题在于产品品种单一、雷同, 深加工技术含量低、数量少, 高科技产品很少开发和产业化, 大量出口低附加值产品, 又大量进口高附加值产品。调整产品结构的重点是增加产品品种, 扩大深加工产品产量的比例。

对国内已经开发试制或小批量生产的产品, 国家予以扶持, 列入计划, 由大型企业牵头, 争取 2 ~ 3 年内实现产业化, 大批量生产, 替代进口, 满足国内需求。

对于仍需进口、国内尚未研制开发的产品, 一方面国内相关的高等院校及研究单位与企业挂钩, 开展研制工作; 另外可以利用国内丰富的人力资源、廉价的劳动力, 吸引国外公司在国内合资建厂生产; 还可以高价聘请出国留学人员或发达国家退休、离岗、具有生产国内空白产品工程经验的科技人员来华共同开发。

国家还需要加大科技投入, 加强铅锌化合物及其合金新材料、新的应用领域的基础工程研究, 开发我国独具特色的新材料、新产品。

产品结构调整的目标在于: 考虑用 10 年左右的时间, 将铅锌深加工产品从现在占铅锌总产量的 20% 提高到 40% 左右, 达到工业发达国家的中等水准; 用 20~ 30 年时间, 建立我国独具特色的铅锌高科技材料新系列, 真正实现赶超世界先进水平的宏愿。

### 3.2.2 加强铅锌产业的环境保护

加强铅锌产业的环境保护, 首先要制止滥采乱挖、破坏生态平衡的事态进一步发展, 推广无废采矿技术, 对所有采场、废石堆场、尾矿坝等立法进行复垦、植树、造林或种草, 恢复植被, 防止水土流失。

对铅冶炼而言, 应尽快以熔池熔炼技术替代烧结工艺, 解决长期以来的烧结烟害及返粉破碎系统的粉尘污染。

对锌冶炼而言, 应重点关闭落后的火法炼锌工厂, 对高温高酸浸出渣的堆场, 应严格满足防渗要求, 并有专人管理, 防止污染地下水源。

冶炼废水应加强治理, 扩大中水回用, 积极推广零排放技术。

### 3.2.3 重视再生资源的回收工作

持续发展还必须重视铅锌再生资源的回收和利用。前面已提到, 西方国家再生铅已占精铅产量的 60%, 再生锌占全球锌供给量的 30%。我国缺乏这方面的精确统计数据, 有关专家估计: 我国再生铅年产量目前为 25 ~ 30 万 t, 再生锌产量约为 10 万 t/a。

再生金属回收水平以占金属生产量的比例计算

不一定科学,用占消费量的比例计算更为科学。只有多消费,才能多回收。我国 2002 年铅的消费量为 92.1 万 t 铅的再生率按世界平均水准 50% 计,2002 年我国再生铅产量可达 46 万 t/a。2002 年我国锌的消费量为 167.6 万 t,按世界金属锌平均再生率 30% 计,我国再生锌量应达到 50 万 t。铅锌合计每年应产近百万吨再生金属,这等于每年可以减少 2 500 多万 t 矿山采掘量。再生铅锌的能耗只有原生铅锌的 20%~30%,每年可减少百多万吨标煤消耗量。按目前铅锌冶炼硫的回收率计,每年 SO<sub>2</sub> 排放量可少 23 万 t。从减少矿产资源消耗、减少能源消耗、降低 SO<sub>2</sub> 对环境污染程度 3 个方面看,重视和提高再生铅锌的产率是保证铅锌产业持续发展的最好途径。

据国际锌协会报导,世界再生锌(包括金属锌及其化合物)产量增长速度为原生锌产量增长速度的 3 倍,预计到 2005 年再生锌的消费量将占世界锌消费总量的 40%,美国 2000 年再生锌消费量已达锌消费总量的 40%。

就我国铅锌的消费结构看,要提高其再生率,就铅而言,应重点抓好铅蓄电池、铅材及合金管板的回收,这两项占铅消耗量的 80%。就锌而言,首先抓热镀锌渣的再生处理,同时对废旧镀锌钢板组织由设有锌回收设施的专门钢厂来集中处理,切忌分散零星处理;应尽快开发经济可行的废旧锌电池回收工艺技术,加强人们的环保意识,建立有效回收各类干电池制度;加强黄铜、压铸合金废旧料的回收、管理、重熔、重铸等直接再生工作。这几项工作做好了,70%~80% 的含锌废料就可得到有效回收再生,从而大幅度提高铅锌的再生率。

再生金属的回收利用,决非有色行业一家能够完成,国家应成立专门机构进行管理,有些问题还需立法才能解决。

### 3.2.4 技术创新和科技开发

技术创新和科技开发始终是保持各种产业持续发展的重要环节。结合我国铅锌产业的实际,技术创新和科技开发方略如下。

#### 3.2.4.1 现阶段实用技术开发

我国铅锌采、选、冶技术,就工艺而言与国外无多大差距,选矿工艺还有个别处于世界领先水平;设备质量、自控水平、劳动生产率、选矿药剂等则相对落后。采、选、冶的通用设备或专用设备

的材质、设计合理性、加工精度、功能转换效率、机电一体化集优程度、故障频率、使用寿命等很少能与进口的先进设备相媲美。这种差距除与材料工业、机械制造业等整体国力水平有关外,管理落后也是重要因素之一。标准通用设备水平有赖于整体国力和管理水平的提高而提高,专用采、选、冶设备,国内多年来相当重视其研究开发以及消化吸收引进技术等工作,并且取得了不少国际领先、国内首创、填补国内空白等各种级别的科研成果,然而这些成果真正形成产业,占领国内市场,并能打入国际市场的产品可说是凤毛麟角。究其原因,多数是样机出来后,没有单位长期跟踪其使用情况,进行不断改进、不断完善、不断提高。由于这些专用设备品种多、规格多、批量小,制造厂家不愿下大力气从事跟踪改进、提高工作,往往作为科研课题联合开发完成样机,任务也就完成了。专用设备开发需要改革这种模式,首先选题必须具有一定普遍性,研究成果有批量生产的需求,主承制单位有相当技术优势和机加工能力,像国外某些专用设备厂一样,能长期从事单一产品的跟踪开发、改进、提高,创出世界名牌。

铅冶炼还可以进行以下课题研究:

1) 利用现有最新手段,开展湿法炼铅清洁工艺研究,探求经济可行的途径。

2) 完善氧气底吹炼铅新工艺,开展氧枪和风口砖材质和结构的研究。较国外同类技术的氧枪使用寿命提高一倍以上,形成专有技术,满足国内需求,并对外出口。

3) 探求底吹高铅热渣直接用电炉热焦还原的工程化技术,进一步降低炼铅能耗。

锌冶炼可进行以下课题研究:

1) 开展氧化锌矿就地浸和堆浸试验,硫化锌矿生物浸出试验及低浓度浸出液萃取-电积工艺试验,集采、选、冶于一体,降低锌的生产成本。

2) 开展氢扩散阳极电积锌的研究,可将槽压降至 1.5 V 左右,电解锌电耗降低 50% 以上。如取得成功,以年产电锌 200 万 t 计,每年可节电 32 亿 kW·h,行业经济效益超过 10 亿元。

3) 开展硫化锌精矿管式釜氧压浸出和氧-一氧化氮混合气体常压浸出研究。据有关报导,锌浸出率可达 99%,除大幅度提高锌的回收率外,还可解决浸出渣堆存造成二次污染的问题。

4) 开拓锌及其化合物新材料、新用途的研究,如纳米材料等,重点应放在替代进口产品的研究和产业化方面。

### 3.2.4.2 较长远的科技开发工作

展望重有色金属冶炼技术发展趋势,抓住以下几项新兴技术,予以开发并形成产业,有色金属冶炼将会发生前所未有的根本性变革。这些技术同样适用于铅锌产业的发展。

#### 1) 研究、开发、推广微波能技术

微波能在重有色冶金过程中有许多特殊功能,有色系统的一些大学和研究机构通过小型和扩大试验表明微波能加热在有色冶炼工业中具有很好的应用前景。目前单台微波能输出功率最大的为40 kW。研究开发大功率的微波能设备是该项技术产业化的关键,国家应组织各类专家集中力量研制,实现日处理成千上万吨物料的大功率微波能设备的研制开发,到批量生产,降低造价,在工业上有效地大规模应用。预计10~20年后,此项技术将会取得突破性进展,而被有色行业大规模推广应用,现在一些冶炼难题将在微波场中迎刃而解。微波能将为改善铅锌工业的环境、节能降耗、持续发展提供新的技术支柱。

#### 2) 开发超重力工程技术

应用超重力技术可以缩小整座工厂的物理尺

寸,达到投资、能耗、环境、安全等全方位的效益。

冶金工程的干燥、脱碳、脱硫、吸水、解吸、蒸发、精馏、换热、挥发、聚合、电化学反应等工艺过程都可以利用超重力工程技术来强化反应过程。超重力工程技术诞生仅十几年,但已经取得了巨大进展。在有色冶金领域,应着手建立超重力工程技术研究分支机构,进行深入的理论探讨和应用研究,开发较传统设备更小、更精、更安全、环境更优化的有色冶炼工业。超重力工程技术也是21世纪铅锌产业持续发展的又一重要的技术支柱。

#### 3) 大力开发纳米技术

纳米技术已成为工业发达国家的研究热点。纳米材料具有各自的特性,在高科技领域用途广泛。在我国纳米材料的研制已取得了较大进展,氧化锌材料已初步产业化。根据纳米相材料在光、热、电、磁、力学等物理性质上的特性和新的规律,可以预见它的发展将会给人类社会的所有领域带来巨大影响。纳米技术开发将促进多学科的交叉,推动新领域的发展,有可能从根本上解决人类当前所面临的能源、环保、医疗保健等一系列重大问题。纳米技术将为21世纪带来一场重大的工业革命,无疑应该列为铅锌产业发展的第三大技术支柱。开发纳米材料也是调整我国铅锌产业结构的重要内容之一。

(编辑 杨 兵)