

附件 3

再生铅冶炼污染防治可行技术指南

（征求意见稿）

编制说明

项目名称：再生铅冶炼污染防治可行技术指南

项目统一编号：2012-ZN-006

编制单位及成员：

环境保护部环境保护对外合作中心 余立风 丁琼 吴广龙 姜晨

北京中色再生金属研究有限公司 张希忠

中国科学院高能物理研究所 陈扬 刘俐媛 冯钦忠

中国环境科学研究院 李艳萍 霍守亮

项目管理负责单位及负责人：中国环境科学研究院 何连生

技术处项目负责人：许丹宇

目 录

1 任务来源.....	1
2 指南编制的必要性和意义.....	1
3 指南编制的原则、方法和法律依据.....	1
3.1 编制原则.....	1
3.2 编制方法.....	2
3.3 法律依据.....	3
3.4 指南的使用.....	3
4 主要工作过程.....	3
5 再生铅生产工艺及主要环境问题.....	5
5.1 废铅的产生及危害.....	5
5.2 国外再生铅生产工艺及发展趋势.....	7
5.3 我国再生铅生产及污染防治情况.....	7
6 再生铅冶炼污染防治可行技术指标体系构建.....	11
6.1 可行技术的确定原则.....	11
6.2 可行技术的评估、筛选方法.....	11
7 指南主要内容及说明.....	14
7.1 再生铅冶炼工艺及污染物排放.....	14
7.2 废铅蓄电池铅回收末端治理技术.....	34
7.3 新技术.....	44
7.4 再生铅冶炼污染防治技术的评估与筛选.....	46
7.5 再生铅冶炼污染防治可行技术.....	55
8 可行技术指南实施环境效益与经济效益分析.....	69
8.1 再生铅冶炼采用可行技术环境效益分析.....	69
8.2 再生铅冶炼采用可行技术经济效益分析.....	70
9 指南实施建议.....	75

1 任务来源

2012 年，环境保护部下达了《关于开展 2012 年度国家环境技术管理项目计划工作的通知》（环办函[2012]328 号），其中提出了制订《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南-铅》技术指导文件的工作任务。环境保护部环境保护对外合作中心、北京中色再生金属研究有限公司、中国科学院高能物理研究所和中国环境科学研究院联合成立编制组承担该技术文件的编制工作。

2 指南编制的必要性和意义

从我国目前再生铅行业的发展情况来看，虽然国内已经有一定的工作基础，但各项工作总体上处于起步阶段。无论是在基础信息、支撑能力，还是在可行技术的开发和应用方面都与国外发达国家存在着较大的差距，尤其是在国家政策层面针对再生铅污染控制的技术选择原则和技术路线等方向性问题的确实可行的指导性文件还不能满足环保要求。因此，研究和制定《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南—铅》具有特殊的意义。主要体现在以下几个方面：

（1）指导相关管理工作：从技术上指导环境保护规划、环境影响评价、污染防治、排放标准制修订等各项环境管理工作。

（2）作为工程设计的依据：作为工程设计单位、再生铅企业在进行再生铅工程设计、工程建设及企业技术改造过程中的技术依据，同时有助于其他责任主体合理选择污染防治技术方案，更好地贯彻执行国家的环境保护的方针政策，规范环保技术市场。

（3）为再生铅新技术研究提供指导：为再生铅冶炼新技术和再生铅污染防治新技术的研究提供指导，包括无污染的再生铅生产工艺和设备、新型的再生铅环保技术及设备等。

（4）为再生铅行业相关规划法规提供技术支持：为再生铅制定行业发展规划、科技发展规划、技术规范、技术培训方案等提供依据。

3 指南编制的原则、方法和法律依据

3.1 编制原则

针对本指南的定位，在可行技术确定的过程中应遵循以下原则：

（1）坚持立足我国实际，与国际接轨原则。充分借鉴国外发达国家和地区（如美国、日本、韩国、加拿大、欧盟等）再生铅行业污染防治管理体系的基础

上，结合我国经济发展状况和环境管理要求，编制适合我国国情的再生铅冶炼行业污染防治可行技术指南。

(2) 技术筛选和技术应用相结合的原则。通过多技术介绍、规范化评估和分类别筛选，为再生铅行业污染防治可行技术的选择和应用提供标准和依据，针对特定技术的应用问题提出切实可行的应用保障措施。

(3) 坚持综合防治原则。根据清洁生产和循环经济的理念，再生铅行业环境污染治理应从源头控制，预防为主，防治结合的原则，实施全过程清洁生产，从源头上减少污染物的产生，从而降低和减轻污染物末端治理对环境造成的压力，提高环境污染防治和管理水平。

(4) 坚持节能减排的原则。根据国务院颁布的《国家环境保护“十二五”规划》以及《节能减排综合性工作方案》的指导思想和方针，再生铅行业技术的选择和管理也应全面体现节能减排的指导思想和方针。

(5) 坚持因地制宜的原则。应考虑区域特性、经济水平以及环境特征，综合考虑技术可行性、成本有效性、生产可操作性、社会可接受性、可持续性、生态友好性以及环境可接受的风险水平等，确定切实可行的技术标准和选择依据。

(6) 坚持循环经济的原则。对再生铅污染预防工艺及防治技术都做了概要性的描述，并对其环境效果、二次污染、经济成本、综合利用途径等做了详细分析，目的在于通过技术的环境效果和经济分析，确定可行技术，促进产业循环经济发展，提高产业经济效益。

3.2 编制方法

在编制方法方面，项目组紧密围绕项目的总体目标，系统采用调研、资料分析、类比分析、专家咨询、论证、案例验证等方法，从推进再生铅行业可持续环境管理和技术升级的角度出发，深入研究国内外再生铅行业先进技术、工艺以及环境管理要求，并对我国目前的再生铅行业技术工艺进行深入地研究和分析，在此基础上结合我国的实际国情，开展了再生铅行业污染防治可行技术指南的研究，进而在以上工作基础上编制完成了《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南——铅》。

在具体工作层面，结合再生铅冶炼行业和重大环境问题有针对性的提出污染防治的总体技术路线和思路，充分体现以人为本、预防为主、防治结合、全过程控制的原则。并根据国内外发展情况提出可行的资源综合利用率高、污染物产生

量少的清洁生产技术和工艺；鼓励优先采用国家鼓励发展的工艺技术，淘汰落后的生产技术、工艺、设备，并通过技术指南的实施，引导企业技术进步。

3.3 法律依据

本指南是根据下列有关再生铅冶炼行业环境保护的法律、法规和技术政策等制订的：

- （1）中华人民共和国环境保护法
- （2）中华人民共和国环境影响评价法
- （3）中华人民共和国大气污染防治法
- （4）中华人民共和国水污染防治法
- （5）中华人民共和国固体废物污染环境防治法
- （6）中华人民共和国环境噪声污染防治法
- （7）中华人民共和国清洁生产促进法
- （8）中华人民共和国循环经济促进法
- （9）中华人民共和国节约能源法

3.4 指南的使用

3.4.1 法律定位

本指南可作为再生铅项目环境影响评价、工程设计、工程验收以及运行管理等环节的技术依据，是供各级环境保护部门、设计单位以及用户使用的指导性技术文件。

3.4.2 适用范围

适用于以废铅蓄电池等含铅金属废料为主要原料的再生铅冶炼企业。

4 主要工作过程

2012 年 1 月成立了《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南——铅》编制组。为推进《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南——铅》编制工作的开展，编制组开展了如下工作：

- （1）资料收集及整理

2012 年 1 月至 2012 年 3 月：完成国内外再生铅生产及再生污染防治技术及应用相关政策、法规、标准及技术资料的收集、整理和分析工作。为使研究成果与现行法律、法规以及技术规范更好衔接，编制组系统评估了发达国家有关再生

铅行业污染防治的技术、管理和经济政策，明确了国外再生铅行业推进建立可行技术的对策与措施；调研了国内再生铅行业技术及相关政策，并进行了评估，明确了我国在推进采用可行技术方面的基础条件和差距；同时全面研究了《斯德哥尔摩公约》、《巴塞尔公约》以及美国、欧洲、加拿大等国家在再生铅行业推进采用可行技术的实际经验和具体做法，为再生铅行业污染防治可行技术指南的编制提供了基础。

（2）项目开题

2012 年 4 月至 2012 年 10 月：为使项目研究成果更具有针对性，编制组到湖北、河南、山东、安徽、江苏、浙江等省再生铅生产企业进行了实地调研，了解再生铅生产企业生产工艺、设施建设、运行及管理状况，以使再生铅冶炼污染防治可行技术指南编制工作能够结合我国再生铅行业技术发展和污染防治实际需求，更具可操作性。在上述工作基础上，综合考虑生产工艺、污染预防技术等因素，并参考国外相关污染预防技术，初步确定《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南——铅》体系框架，编制了《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南——铅》初稿。2012 年 10 月 17 日，召开了本技术指南开题论证会，环保部科技标准司代表以及清华大学、北京矿冶研究总院、中南大学、北京科技大学、有色金属协会等单位和相关企业的专家参加了会议并对技术指南的编制工作提出了意见和建议。

（4）完成征求意见稿及其编制说明

2012 年 10 月至 2013 年 12 月：在项目的实施过程中，按照开题论证会要求进行深入调查研究，编制组围绕再生铅行业污染控制可行技术开展了系统的调研和评估工作，多次召开专家研讨会和阶段性成果审议会，广泛征求了本领域不同部门专家的意见和建议，为项目阶段性目标的实现奠定了基础。综合考虑生产工艺及污染控制技术、行业发展状况以及国家相关产业政策和行业发展规划，斟酌研究各部门的反馈意见，形成《再生有色金属冶炼污染防治可行技术指南——铅》（征求意见稿）及其编制说明。

5 再生铅生产工艺及主要环境问题

5.1 废铅的产生及危害

金属铅为蓝灰色，原子量 207.19，密度 11.3437g/m³，莫氏硬度为 1.5，展性好，延性差，熔点 327.5℃，沸点 1525℃，导热和导电性差。由于铅的化学稳定性好，所以常用作化工和冶金设备的防腐衬里和防护材料。铅大量用作蓄电池的制作材料和各种含铅合金原料。表 5-1 给出了铅基合金的大致组成。

表 5-1 工业铅基合金的大致组成

合金名称	主要成分/%			其他成分/%
	Sb	Sn	Pb	
蓄电池铅栅板	2.5~5	0.25~0.5	余量	Cu 0~2
印刷合金	2~23	1.7~3	余量	
电缆包皮	1~6	-	余量	
铅板和铅管	2~6	-	余量	
软管	2~3	-	余量	
子弹丸	0.5~12	0.25~1	余量	
铅硬	6~28		余量	

数据来源：《再生有色金属生产》2006 年，乐颂光等编著。

铅有毒，尤其破坏儿童的神经系统，可导致血液病和脑病。长期接触铅及其盐（尤其是可溶的和强氧化性的 PbO₂）可以导致肾病和类似绞痛的腹痛。由于日趋严重的环境铅污染，现代人体血铅值急增至工业革命前正常人血铅值的数百甚至千倍，其数据常常触目惊心。

我国回收的废铅主要是废铅蓄电池，大约占废铅资源的 80-85%。废铅蓄电池属于危险废物，其对环境产生影响的成分是废酸及铅、镉、砷、锌等重金属物质。整只废铅蓄电池一般含有 20%~25%的电解液，其中含有 15%~20%的硫酸以及悬浮的含铅化合物，表 5-2 给出了废铅蓄电池中电解液的主要成分。

表 5-2 废铅蓄电池电解液中不同金属物质的浓度

金属	浓度 (mg/L)
铅颗粒	60~240
溶解铅	1~6
砷	1~6
镉	20~175
锌	1~13.5
锡	1~6
钙	5~20
铁	20~150

不同类型的废铅蓄电池，其板栅、铅膏、塑壳、隔板和废电解液成分虽不同，但各部件所占百分比波动不大，其成分平均百分比见表 5-3。废铅蓄电池铅膏的化学成分见表 5-4。

表 5-3 废铅蓄电池各部件所占平均百分比值

部件名称		平均百分比	备注
板栅	极板	33.2%	含铅 97%
	端子极柱		
	偏极柱		
	汇流排		
铅膏		50%	/
塑壳		5.2%	/
隔板		1.52%	/
废电解液		10.08%	/
总重（未倒酸）		100%	/

表 5-4 废铅蓄电池铅膏的化学成分 单位：%

名称	总铅	Pb	PbO	PbO ₂	PbSO ₄	Sb	酸不溶物
铅膏	77.07	5.98	9.88	27.53	55.73	-	0.88

在废铅蓄电池再利用过程中，铅主要有两种存在形式——烟尘和粉尘。极细小的铅烟尘在 500℃ 以上的条件下形成，因而较大颗粒的铅粉尘就成了主要污染物。铅粉尘经过下图所示的途径到达人体的血液，最终，大约 90% 积累在人体骨骼中，可能引起贫血、腹痛和脉搏减弱，造成神经代谢、生殖等方面疾病，严重时会导致人死亡。而铅蓄电池中的废酸如处理不当，流入农田将导致农作物的大量死亡。铅粉尘在自然环境和人体中的传播途径如图 5-1 所示。

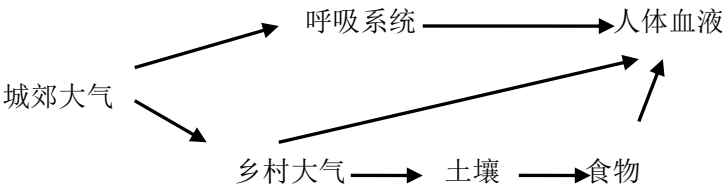


图 5-1 铅粉尘传播途径

在废铅蓄电池处理过程中，由于部分企业环保设施简陋，使得熔炼加工过程中排放的铅蒸汽、铅尘超过国家排放标准几倍甚至几十倍，给周围环境带来严重污染，且资源浪费巨大。如果按每年处理 120 万 t 废铅蓄电池计算，每年向周围环境中排放大约 24,000t 铅，其中也有其他重金属（如镉）也在冶炼过程中流失。另外，废铅蓄电池再生利用过程中产生的含铅废料，以及熔炼过程中产生的废渣等，如果处理不当，也会严重污染周围的土壤和水体，从而给人体健康带来严重危害。

5.2 国外再生铅生产工艺及发展趋势

目前发达国家再生铅冶炼工艺主要是先采用机械破碎分选和铅膏预脱硫等技术处理废铅蓄电池，再用火法、湿法、干湿联合工艺回收铅及其他有用物质。对于火法冶炼，废铅膏经过预脱硫后，一方面减少了进炉的物料量，提高了炉料的铅品位，减少了烟气量、弃渣量、烟尘量、二氧化硫排放量，降低了能耗，提高了金属回收率，有利于环境保护；另一方面也降低了工人劳动强度，减少了生产过程中的人为环境污染问题。如意大利某公司采用该技术，使炉料的含硫量降低了 90%，这使得冶炼熔剂量和二氧化硫的排放量大大减少；与未脱硫相比，脱硫可使冶炼能力提高 30%，铅回收率达到 90%以上，冶炼温度降低 150℃，能耗降低 10%，冶炼废弃物减少 75%。对于湿法冶炼，废旧蓄电池的湿法预处理脱硫是实现湿法电沉积冶炼的前提，其主要特点是在冶炼过程中没有废气、废渣的产生，铅回收率可达 95%~97%。

5.3 我国再生铅生产及污染防治情况

5.3.1 我国废铅资源的总体情况

由于再生铅的原料主要为废铅蓄电池，因此，再生铅产量与汽车工业有密切的关系。随着我国汽车工业的发展，我国再生铅产量在最近十年增速很快。表 5-5 给出了我国近十年再生铅产量及其占铅总产量的比例。从表可看出，2012 年全国再生铅产量 136.2 万 t，占当年铅产量（464.16 万 t）的 29.3%，再生铅产业已经成为我国铅工业的重要组成部分，但由于我国汽车工业与发达国家还有一定的差距，因此，相对主要发达国家（如美国、德国、法国、日本等）再生铅产量均超过本国铅总产量的 50%以上相比，我国再生铅产业还存在较大差距。

表 5-5 近十年我国再生铅产量及占铅产量的比例 单位：万 t

	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
铅产量	156.41	193.45	239.14	271.49	278.83	345.18	387.05	419.94	465.5	464.16
再生铅产量	28.25	42.49	53.71	58.71	65.05	88.88	123.00	136.29	135.00	136.2
比例 (%)	18.0	22.0	22.5	21.6	23.3	25.8	31.8	32.4	29.0	29.3

数据来源：国家统计局公布数据、中国有色金属协会数据。

5.3.2 我国再生铅生产状况及工艺发展趋势

5.3.2.1 我国再生铅企业生产情况

据 2012 年统计数据，我国共有再生铅冶炼企业 80 家，分布在全国 15 个省市。企业数量排名前三的省为湖南省、河北省和广东省，企业数目分别为 43 家、8 家和 5 家，各省市再生铅企业分布及产能、产量情况如表 5-6 和图 5-2 所示。

表 5-6 2012 年全国再生铅冶炼企业分布及产能、产量情况

序号	省份	企业数量 (单位:个)	产能 (单位: 万 t)	产量 (单位: 万 t)
1.	湖南省	43	64.9	37.02
2.	河北省	8	30.4	8.47
3.	广东省	5	8.2	2.56
4.	河南省	4	61.0	11.72
5.	江西省	4	10.2	0.82
6.	安徽省	3	59.5	33.10
7.	江苏省	3	16.5	11.70
8.	辽宁省	2	7. 0	5.00
9.	天津市	2	3.1	3.35
10.	广西壮族自治区	1	9.0	6.99
11.	贵州省	1	6.0	0.08
12.	湖北省	1	4.0	0.16
13.	内蒙古自治区	1	2.0	0.16
14.	宁夏回族自治区	1	1.0	0.29
15.	山东省	1	0.1	0.01

数据来源：2013 年全国 POPs 统计报表。

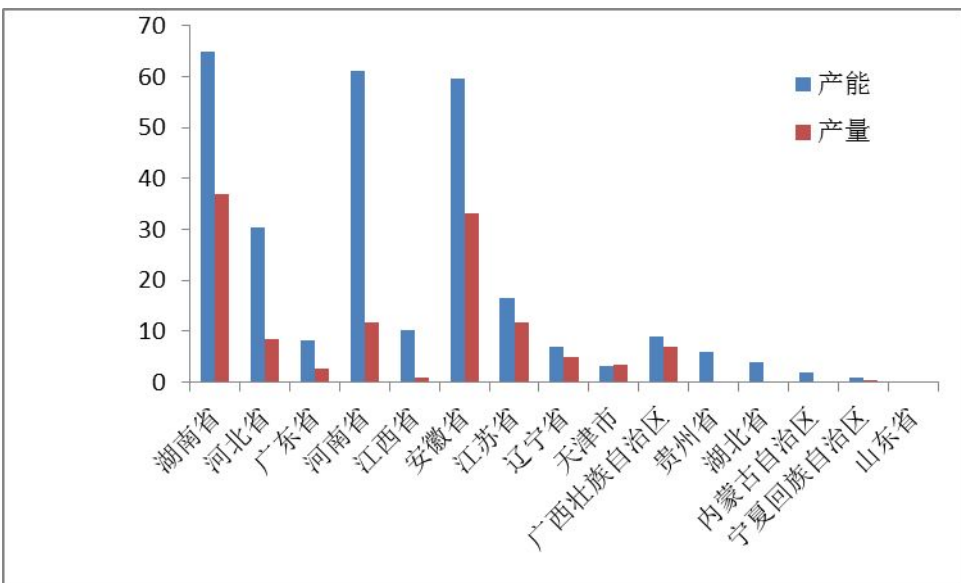


图 5-2 2013 年全国各省市再生铅企业产能与产量分布

2012 年我国再生铅行业总产能为 282.96 万 t/年，其中，产能超过 10 万 t 的企业有 7 家，产能为 137.04 万 t/年，占全国总产能的 48.4%，这 7 家企业 2012 年产量为 60.4 万 t/年，占全国总产量的 50.1%。产能在 3-10 万吨之间的企业 18 家，产能为 95.52 万 t，占全国总产能的 33.76%，这 18 家企业 2012 年总产量为 40.02 万 t，占全国总产量的 32.96%。具体比例情况见图 5-3 和 5-4 所示。

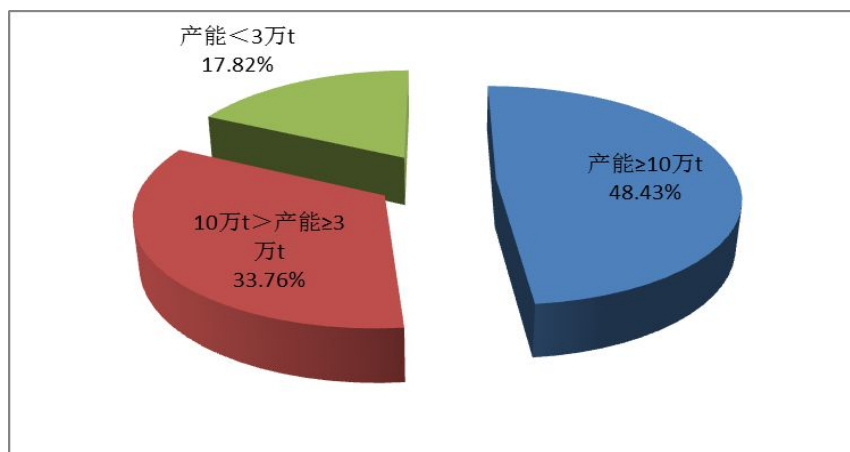


图 5-3 2012 年不同规模企业占全国再生铅总产能的比例

(数据来源：2013 年全国 POPs 统计报表)

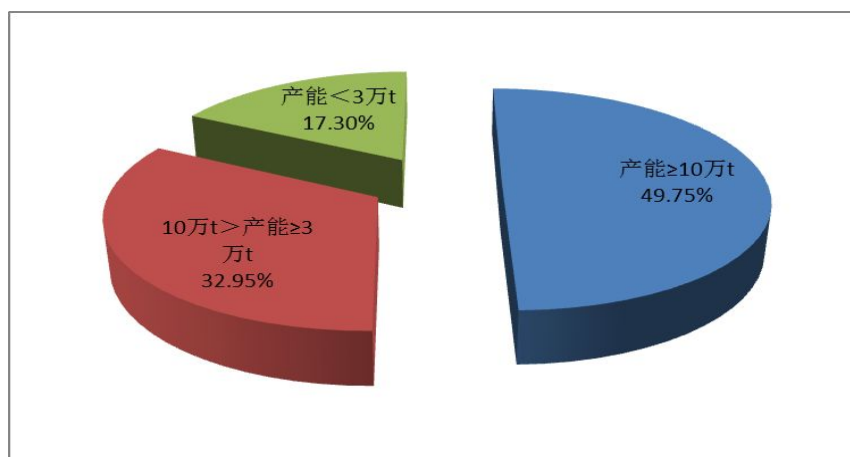


图 5-4 2012 年不同规模企业占全国再生铅总产量的比例

(数据来源：2013 年全国 POPs 统计报表)

从各企业的冶炼炉类型来看，采用鼓风炉熔炼的企业最多，有 36 家，装置数为 37 个，采用反射炉熔炼的企业次之，有 28 家，装置数为 46 个。具体情况见表 5-5 所示。

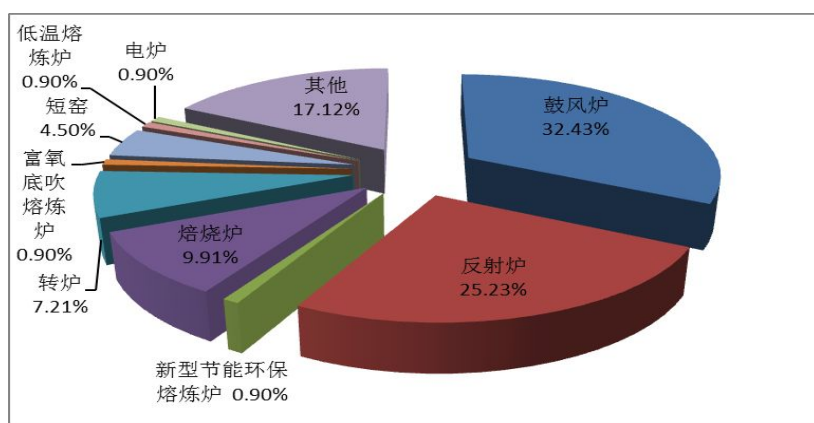


图 5-5 采用不同熔炼设备的企业数量比例（数据来源：2013 年全国 POPs 统计报表）

从各企业采用的除尘设施来看，采用袋式除尘最多，有 168 个，水幕除尘次之，有 28 个，静电除尘有 5 个，其他 9 个。具体情况见图 5-6 所示。

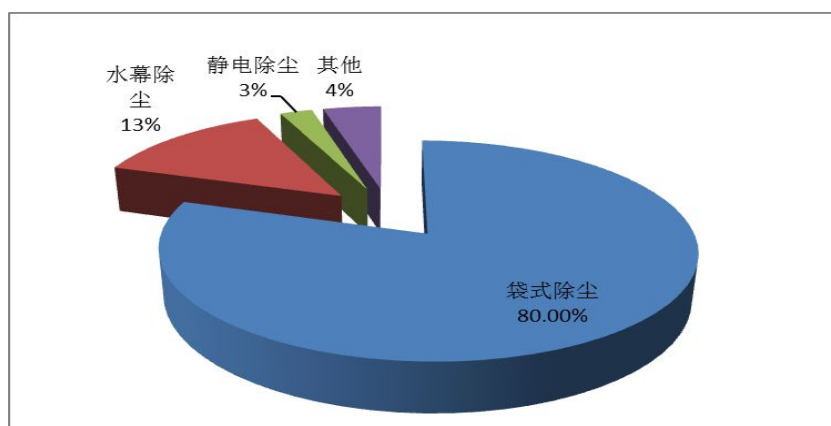


图 5-6 采用不同除尘设施的企业数量比例（数据来源：2013 年全国 POPs 统计报表）

从 2012 年统计数据来看，将近 70%的企业处于由工信部和环保部于 2012 年 8 月联合发布的《再生铅行业准入条件》要求在 2013 年底之前淘汰范围内，这些企业大多采用鼓风炉等比较落后的冶炼设备，且污染防治措施较为落后，如果不对这些企业采取关停或技术升级改造，将会对我国环境造成严重污染。

5.3.2.2 我国再生铅冶炼工艺技术的发展趋势

再生铅冶炼工艺技术的发展主要体现为不断实现现有技术升级，降低处理技术建设及运行成本，提高废铅蓄电池等含铅废料回收再利用的安全性和二次污染控制水平，进而加强其安全处理能力。

再生铅的原料废铅与其他再生金属的原料不同，如再生铜的原料废杂铜正在向低含量、多成分复杂化发展，而废铅却因铅的消费领域缩小，正在向品种单一

方向发展，就目前而言，废铅即以废铅蓄电池为主，原料的单一，给再生铅工业的产业升级及环境污染防治带来了方便。

再生铅冶炼最大问题是会产生铅等污染物，必须结合物料特点及其含铅污染物产生条件促进冶炼技术升级，在冶炼过程中尽量消除铅废气的产生从而减少铅的排放。对于已经建设的再生铅冶炼处理设施，一方面要确保该类设施在今后的更新改造和完善过程中，不断提高污染控制水平；另一方面，应重点从管理入手，切实推进该类设施的规范化运行和管理，实现在安全处理废铅蓄电池等含铅废料的同时，实现污染物稳定达标排放。

6 再生铅冶炼污染防治可行技术指标体系构建

6.1 可行技术的确定原则

(1) 可行技术需与现阶段国民经济发展水平相适应，体现先进性、适用性、经济性、稳定性的原则。

(2) 可行技术需在满足再生铅生产质量与安全运行的前提下，有利于实现再生铅企业的清洁生产、循环经济和节能减排，充分体现以防为主、防治结合、资源能源高效利用的思想。

6.2 可行技术的评估、筛选方法

再生铅冶炼有多种技术路线，众多的技术均有其各自的特点及适用性，如何推进一项再生铅冶炼技术在一个地区的应用究竟应该考虑哪些因素？同时如何应用这些因素来最终确定可行技术。应综合考虑国际公约以及国际组织关于再生铅冶炼技术应用的选择标准，并结合我国的实际情况进行确定。经研究和分析国内外再生铅冶炼技术应用状况，认为一项技术的选择应考虑如下因素：

- 环境目标可达性 (Environmental desirability)：是指采取的处置技术和管理能力能够确保公共健康和环境安全；
- 管理持续性 (Administrative diligence)：是指相应的管理能力能够确保采取的政策和措施得以落实并长期有效；
- 经济有效性 (Economic effectiveness)：是指采取的处置技术和管理手段成本有效，并同时考虑废物本身的经济价值；
- 社会可接受性和有效性 (Social acceptability and equity)：是指采取的处置技术和管理手段能够为当地社会所支持和接受，包括废物管理方法的有效性。

当前美国和欧洲等发达国家在再生铅冶炼技术选择时考虑的因素包括：废铅蓄电池等含铅废料处理能力、污染物排放、政策接受水平、空间要求、附属设施要求、废物减量、职业安全和健康、噪声和恶臭、自动控制、技术可靠性、商业化水平、技术和设备提供商背景、成本、社会及公众接受程度等因素。

围绕以上考虑的因素，经综合国内外研究成果，对再生铅冶炼技术选择过程中所涉及的影响因素进行分析和总结，得出再生铅冶炼技术选择考虑的指标体系，如表 6-1 所示。

表 6-1 再生铅冶炼技术选择考虑的指标体系

序号	考虑范畴	编号	选择指标	重点考虑因素
A	技术性能	A1	处理规模适宜性	与地方规划规模的适应性
		A2	处理效果有效性	与地方配套设施匹配性
		A3	处理铅物料适用性	含铅物料的理化特性
		A4	系统配置完备性	与标准和规范相符性
		A5	单元设计先进性	与标准和规范相符性
		A6	自动化控制水平	与标准和规范相符性以及自动化先进性
		A7	处置设施的安全性	考虑设施安全防护措施配置情况
		A8	需配套的基础设施	考虑配套设施的难易程度
		A9	节能性能情况	考虑节能效果的比较优势
		A10	处理设施的易操作性	考虑设施的复杂程度和可操作性
		A11	监管手段可实现性	考虑相应的地方监管及监测能力
B	环境影响	B1	产生有毒有害污染物风险	考虑有毒有害物质的产生情况
		B2	产生二次污染物风险	考虑废气、废水、废渣、噪声等环境因子
		B3	职业安全健康风险	考虑技术应用对操作人员的健康风险
		B4	对周围居民环境影响风险	考虑污染物排放对周围居民的影响程度
		B5	生态环境影响风险	考虑污染物排放对生态环境的影响程度
C	经济性能	C1	建设成本	考虑主体设备及配套设施的成本
		C2	运行成本	考虑废物处置成本和设备折旧
		C3	收益水平	考虑利润水平和运行可持续能力
D	社会条件	D1	公众可接受程度	从污染程度以及公众反应进行综合评价
		D2	政策允许程度	从对技术应用的政策角度进行评价
		D3	选址难易程度	从卫生和安全防护距离角度评价
		D4	技术获取难易程度	从技术获取的难易程度进行评价

表 6-1 列出了在进行技术选择时应考虑的主要因素，关于具体因素的内容阐述如下：

技术性能指标 A：

A1-处理规模适宜性：指再生铅处理系统在规定时间内所能处理废铅蓄电池等含铅废料的处理量；

A2-处理效果有效性：指处理废铅蓄电池等含铅废料所能达到资源综合利用的效率、废弃物排放程度及后续处置要求；

A3-处理废物适用性：指处理技术对各种含铅物料的适用范围；

A4-系统配置完备性：指处理设施应具备的全套设备和单元情况；

A5-单元设计先进性：指各个处理单元的先进程度；

A6-自动化控制水平：指处理设施对相关工况参数和运行参数实现自动化控制的程度；

A7-设施安全性指标：再生铅冶炼系统要有完备的应急保护方案，在突发紧急事故时，可以通过设置由工作区监视系统、分级报警显示、联动自锁装置、应急供电及设备等组成的应急安全系统，以确保系统的安全；

A8-需配套的基础设施：主要指除了主体设备和附属设备外，还需配套哪些其他设施，如供水、供电、二次污染物处置等；

A9-节能性能情况：通常用生产单位再生铅所消耗的能源量来衡量处理系统能耗性能；

A10-处理设施的易操作性：主要体现在处理操作难易程度、操作强度大小及操作时间长短等；

A11-监管手段可实现性：主要结合再生铅冶炼技术水平，考虑地方的实施监管硬件和软件条件的可实现程度。

环境影响指标 B：

B1-产生有毒有害污染物风险：各种再生铅冶炼技术均会或多或少产生的有毒有害气体、液体或固体污染物等对环境危害的可能性大小；

B2-产生二次污染物风险：指处理过程中产生的有毒有害物质经污染控制装置处置之后排放后，对环境产生二次污染可能性大小。通常用污染控制装置出口的排放物种类和浓度来反映；

B3-职业安全健康风险：指在处理过程中对工作人员造成的不安全可能性大小和危害后果，不安全因素包括有毒有害物的危害和危险性作业的危害；

B4-对周围居民环境影响风险：指再生铅冶炼对周围居民健康危害的可能性大小；

B5-生态环境影响风险：指在再生铅冶炼过程中产生或排放的有害物对再生铅冶炼单位所在地的土壤、水体、大气等生态环境状况造成的负面影响。

经济性能指标 C：

C1-建设成本：指估算项目所投入的总资金，包括建设投资、流动资金及建设期内分年资金需要量；

C2-运行成本：指项目生产运营支出的各种费用。通常用单位再生铅成本和总成本费用反映成本费用多少；

C3-收益水平指标：收益水平反映了项目盈利能力的高低。财务内部收益率、财务净现值和投资回收期是主要的盈利性指标。

社会条件指标 D：

D1-公众接受程度指标：指公众根据对再生铅冶炼工艺技术方案的认识，所表现出的排斥性大小或认可接受程度；

D2-政策许可程度指标：指所选用的再生铅冶炼技术得到国家以及地方相关标准和法规认可或偏向性程度；

D3-选址难易程度指标：针对备选再生铅冶炼技术，项目所在地可用场地条件与选址要求相匹配、相适应程度；

D4-技术获取难易程度指标：技术获取难易程度与技术供应商背景、技术商品化程度、技术引进方式及国产化程度等有关。

而每个方面又各自包含了许多指标因素，其中既有定量指标因素，又有定性指标因素，这样均反映了技术方案评价的整体性、综合性、相关性和阶层性特征。实际上，一项技术的成功应用将最终要体现在工程上，同时，再生铅冶炼技术的综合评价是一个由相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂系统，涉及技术、经济、环境及社会制约等方面，尤其是在中国履行《斯德哥尔摩公约》和《巴塞尔公约》，加严二噁英等相关标准限值的特定背景下，如何针对现有源和新源采取相应的技术优化措施尤为重要。

7 指南主要内容及说明

7.1 再生铅冶炼工艺及污染物排放

7.1.1 预处理工艺及产污节点

7.1.1.1 机械破碎分选技术

（1）技术原理

破碎分选的工艺原理是根据废铅蓄电池的细分密度与粒度的不同，在水介质或重介质中运用物理方法将其解离并分开，分别获得板栅、铅膏及有机物等。

（2）工艺流程及产污节点

机械破碎分选系统包括一级破碎单元、二级破碎单元、水动力浮选单元、压滤单元、洗涤单元、酸性废水处理单元、自动控制单元及其它辅助单元等功能单元。机械破碎分选过程中会产生二次污染物，主要是酸雾、含重金属残渣、含重金属废水、噪声等，工艺流程及产污节点如图 7-1 所示。

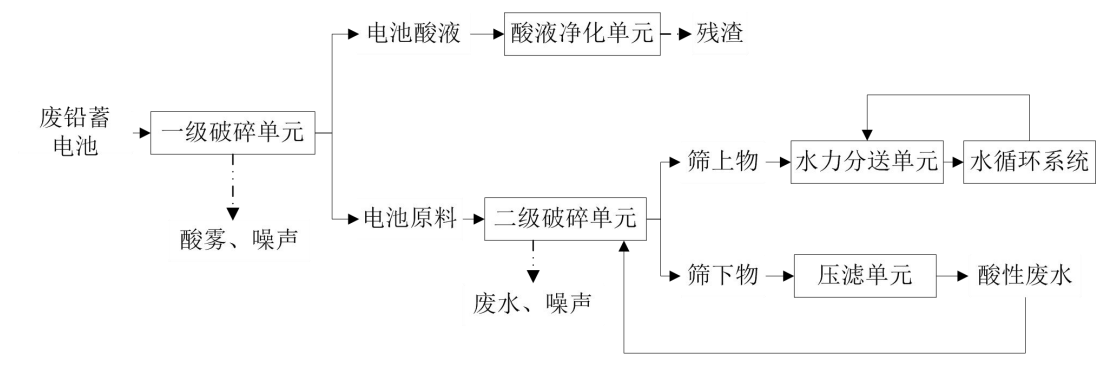


图 7-1 机械破碎分选工艺流程及产污节点

（3）物料能源消耗

废铅蓄电池机械破碎分选工艺主要物料与能源消耗为电和水，具体消耗量如表 7-1 所示。

表 7-1 物料与能源消耗情况表（以 t 废物计）

序号	名称	单位	消耗量
1	电	Kwh（kgce/t）	4
2	水	t	3.0

（4）污染物排放

废铅蓄电池机械破碎分选过程产生的污染物主要有以下四类。

1) 废气

对废铅蓄电池进行破碎分选过程中会有硫酸雾产生。具体数值如表 7-2 所示。

表 7-2 废铅蓄电池机械破碎分选废气污染物产生情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	硫酸雾	mg/L	0.3~0.5

2) 废水

废水为工艺工程中排放的废水和少量生活废水，主要有收运车辆冲洗废水、破碎分选产生的酸性废水、以及跑、冒、滴、漏现象引起的废水、蓄电池贮存库和破碎分选车间等场地冲洗废水、生活污水等，水质主要污染物具体数值如表 7-3 所示。

表 7-3 废铅蓄电池机械破碎分选废水污染物产生情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6~9
2	BOD ₅	mg/L	10~20
3	COD _{Cr}	mg/L	30~60
4	SS	mg/L	15~30
5	氨氮	mg/L	5~15

3) 固体废物

固体残渣可分为蓄电池酸液净化产生的残渣及水力分选产生的残渣，其组分主要为含铅污泥、油泥等混合物，水力分选产生的废物主要为含铅的塑料。该过程产生的固体废物需按照危险废物进行处理。

4) 噪声

噪声主要集中在厂房和辅助车间各类机械设备和动力设施，如鼓风机、引风机、各类泵体等，最高可达 85dB 以上。

7.1.1.2 预脱硫技术

(1) 技术原理

预脱硫技术是在一定温度下的水溶液中，用 Na_2CO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH 等脱硫剂将废铅蓄电池分离后产生的铅膏中的硫酸铅转化为碳酸铅，脱硫剂还可以再生回用。

(2) 工艺流程及产污节点

废铅蓄电池预脱硫装置一般包括一次脱硫单元、二次脱硫单元、压滤单元、脱硫液浓缩结晶单元、自动控制单元及其他辅助单元等功能单元。废铅蓄电池预脱硫过程中会产生二次污染物，主要有含铅等重金属废水、噪声等，工艺流程及产污节点如图 7-2 所示。

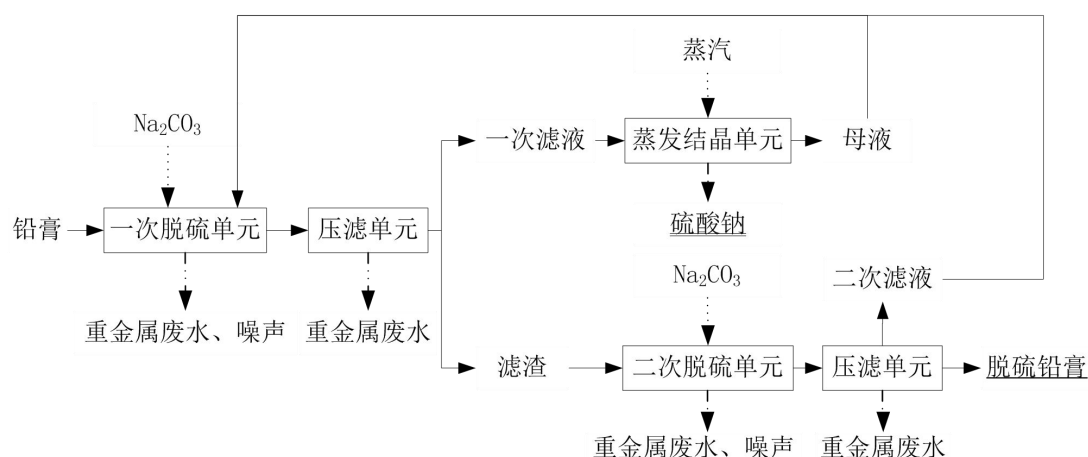


图 7-2 废铅蓄电池预脱硫工艺流程及产污节点

(3) 物料能源消耗

废铅蓄电池预脱硫工艺主要物料与能源消耗为水、 Na_2CO_3 、蒸汽和电等，具体消耗量如表 7-4 所示。

表 7-4 物料与能源消耗情况表（以 t 废物计）

序号	名称	单位	消耗量
1	电	Kwh (kgce/t)	1
2	水	t	1
3	Na_2CO_3	kg	327
4	蒸气	kg	0.5

(4) 污染物排放

废铅蓄电池预脱硫产生的污染物主要有以下三类。

1) 废水

废水为工艺工程中排放的废水，主要有预脱硫跑、冒、滴、漏现象引起的废水、预脱硫车间等场地冲洗废水等，水质主要污染物具体数值如表 7-5 所示。

表 7-5 废铅蓄电池预处理废水污染物产生情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6~9
2	BOD_5	mg/L	10~20
3	CODcr	mg/L	30~60
4	SS	mg/L	15~30
5	氨氮	mg/L	5~15
6	石油类	mg/L	-
7	总铅	mg/L	≤ 0.5
8	总镉	mg/L	-
9	总砷	mg/L	-
10	总锌	mg/L	-

2) 固体残渣

预脱硫过程产生的机械损失污泥其组分主要为含铅污泥、油泥等混合物,属于危险废物;预脱硫过程产生的固体主要为含铅物料。该过程的固体残渣需要返回熔炼工序。

3) 噪声

噪声主要集中在厂房和辅助车间各类机械设备和动力设施,如鼓风机、各类泵体、空压机和锅炉安全阀等,最高可达 85dB 以上。

7.1.2 火法和湿法冶炼生产工艺及产污环节

7.1.2.1 预脱硫-还原熔炼-精炼工艺及产污节点

废铅蓄电池经机械破碎分选得到废酸、板栅、铅膏和有机物,其中废酸和有机物进行资源化综合利用,板栅直接精炼熔铸形成精炼铅或铅合金;铅膏经脱硫预处理后,采用火法熔炼、精炼工艺产生铅及铅合金。其工艺流程及产污环节见图 7-3、7-4 所示。

具体工艺流程如图 7-3、图 7-4 所示。

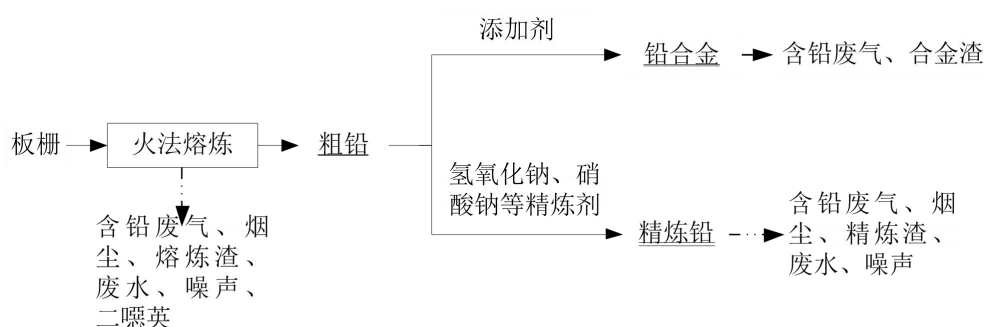


图 7-3 预脱硫-还原熔炼-精炼工艺及产污环节——板栅熔铸、精炼

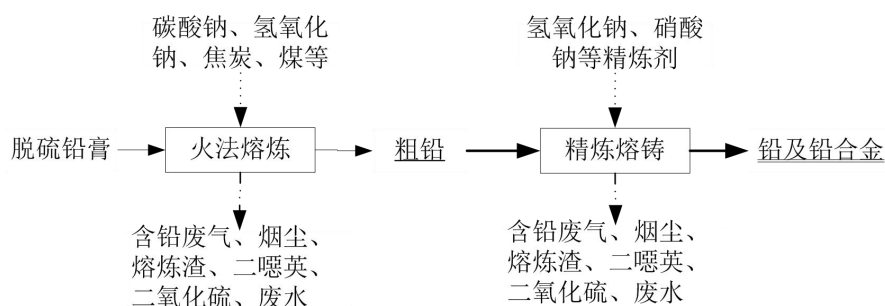


图 7-4 预脱硫-还原熔炼-精炼工艺及产污环节——脱硫铅膏熔炼

7.1.2.2 再生铅与矿产铅混合熔炼-精炼工艺及产污节点

废铅蓄电池经机械破碎分选得到的板栅直接精炼熔铸形成精炼铅或铅合金；铅膏经脱硫预处理后与矿产铅混合熔炼、精炼工艺产出铅及铅合金。其工艺流程及产污环节见图 7-5 所示。

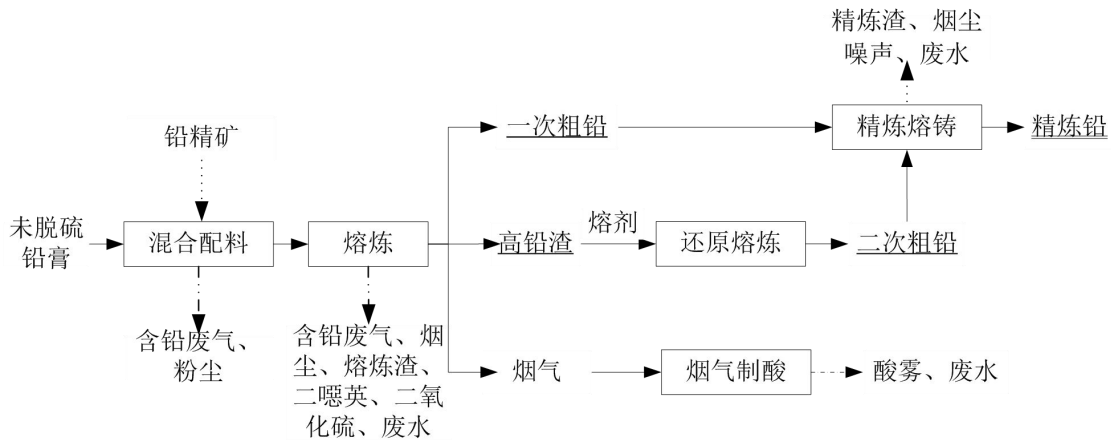


图 7-5 再生铅与矿产铅混合熔炼工艺及产污环节

7.1.2.3 预脱硫-湿法冶炼工艺及产污节点

废铅蓄电池经机械破碎分选得到的板栅直接精炼熔铸形成精炼铅或铅合金；铅膏经脱硫预处理后，采用湿法处理，一般分为两种工艺：一是电解沉积工艺，二是固相电还原工艺。其工艺流程及产污环节分别见图 7-6、图 7-7 所示。

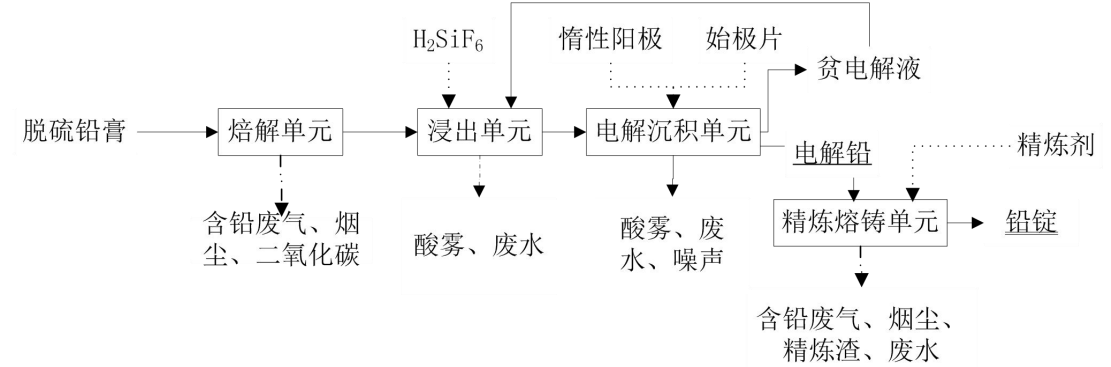


图 7-6 电解沉积工艺及产污环节

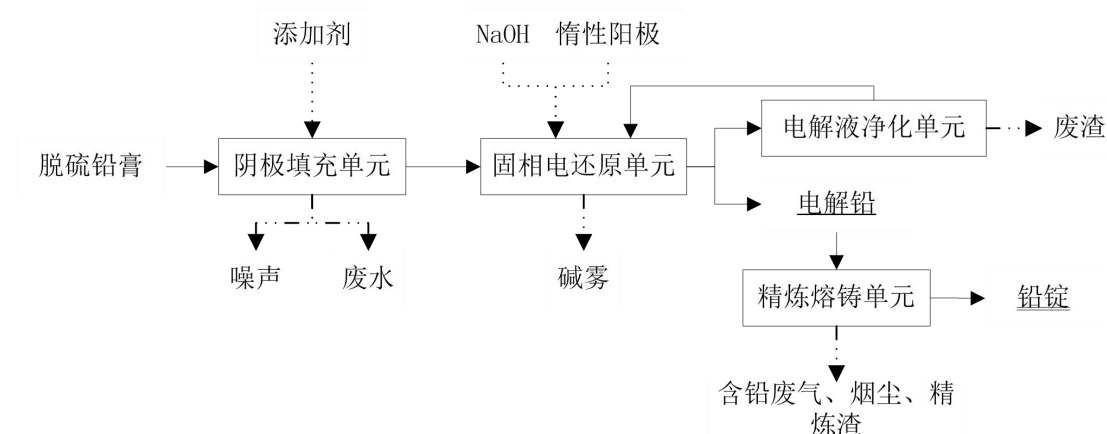


图 7-7 固相电还原工艺及产污环节

7.1.3 再生铅冶炼工艺污染防治技术

7.1.3.1 反射炉熔炼技术

(1) 技术原理

反射炉熔炼技术原理是利用铁、煤等还原剂对 PbSO_4 、 PbO 、 PbO_2 等进行高温还原，冶炼温度 $1100^\circ\text{C}\sim 1300^\circ\text{C}$ 。

(2) 工艺流程及产污节点

反射炉熔炼一般包括配料单元、反射炉熔炼单元、辅助燃料供给单元、冷却单元、脱硫单元及除尘单元等工艺单元。配料单元会产生烟尘、噪声等，反射炉熔炼单元会产生冶炼渣、烟气（重金属、二噁英、烟尘）、噪声等；脱硫单元会产生废水；除尘器会产生噪声等。具体工艺及产污节点如图 7-8 所示。

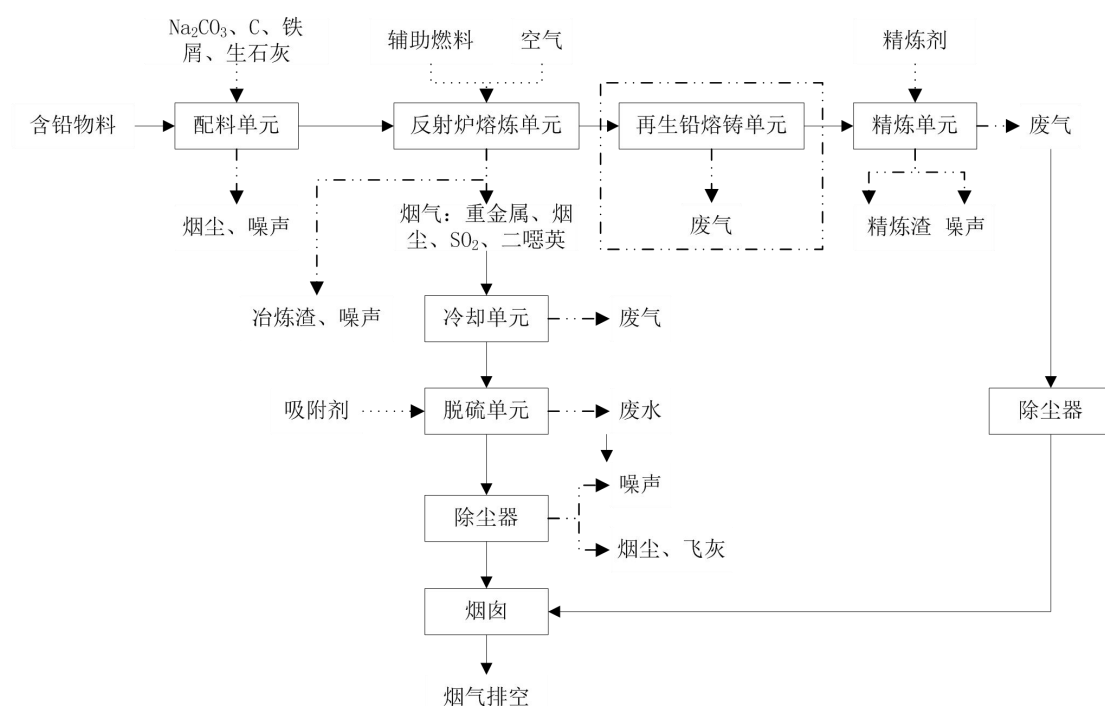


图 7-8 反射炉熔炼工艺流程及产污节点

(3) 物料能源消耗

反射炉熔炼工艺主要物料与能源消耗为天然气或煤气、水、电、 Na_2CO_3 、铁屑及生石灰，具体消耗量如表 7-6 所示。

表 7-6 物料与能源消耗情况表（以 t 再生铅计）

序号	名称	单位	消耗量
1	Na_2CO_3	kg	2.18
2	天然气	m^3	112
3	电	kwh	50~100
4	水	t	2~3
5	铁屑	kg	7~8
6	生石灰	kg	15.80

(4) 污染物排放

反射炉熔炼工艺工艺排放的污染物主要有以下四类。

1) 废气

反射炉熔炼工艺在配料、进料和熔炼过程中会产生含铅、 SO_2 及二噁英等气体，具体数值如表 7-7 所示。

表 7-7 反射炉熔炼工艺废气污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	颗粒物	mg/m ³	5~30
2	SO ₂	mg/m ³	20~30
3	铅	mg/m ³	0.4~5
4	二噁英	ngTEQ/m ³	<0.5

2) 废水

反射炉熔炼工艺产生的废水主要有脱硫单元产生的含重金属废水、熔炼车间等场地冲洗废水、生活污水、铸铅过程中产生含铅废水以及炉套冷却水等，水质主要污染物具体数值如表 7-8 所示。

表 7-8 反射炉熔炼工艺废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6.0~9.0
2	BOD ₅	mg/L	<50
3	COD _{cr}	mg/L	14.8~20.3
4	SS	mg/L	<40
5	氨氮	mg/L	≤10
6	石油类	mg/L	<5.0
7	总铅	mg/L	<0.5
8	总砷	mg/L	<0.5
9	总镉	mg/L	<0.1
10	总锌	mg/L	<2.0
11	总氮	mg/L	<15

3) 固体残渣

固体残渣为布袋除尘器收集的含铅烟尘，冶炼产生的冶炼浮渣和冶炼终渣。含铅烟尘和冶炼浮渣需返回熔炼工序，冶炼终渣可作为建材、水泥行业原料使用。

4) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、风机及除尘器等，最高可达 85dB。

7.1.3.2 竖炉熔炼技术

(1) 技术原理

竖炉熔炼废铅蓄电池的原理与原矿熔炼一样，是靠焦炭在焦点区燃烧形成高温进行还原熔炼。废铅、石灰石、焦炭、铁屑及制粒后的粉尘经混合后，用皮带运输机加入竖炉内预热带。加入竖炉的炉料在炉子上部进行脱水和预热。随着物料落到高温区开始易挥发化合物的蒸发，高价铅、锑氧化物的离解及金属铅、锑、锡的熔化。在风口区的焦炭燃烧的气体产物含有大量的 CO，使铅、锑和其他金

属氧化物在固相中发生还原。当炉料通过高温区时开始硫化物的熔炼，氧化物的还原，熔化及造渣过程。

(2) 工艺流程及产污节点

竖炉熔炼一般包括配料单元、竖炉熔炼单元、辅助燃料供给单元、冷却单元、袋式除尘单元及末端脱硫单元等工艺单元。配料单元会产生烟尘、噪声等，竖炉熔炼单元会产生冶炼渣、烟气（重金属、二噁英、烟尘），噪声等；除尘器会产生噪声、脱硫单元会产生废水等。具体工艺及产污节点如图 7-9 所示。

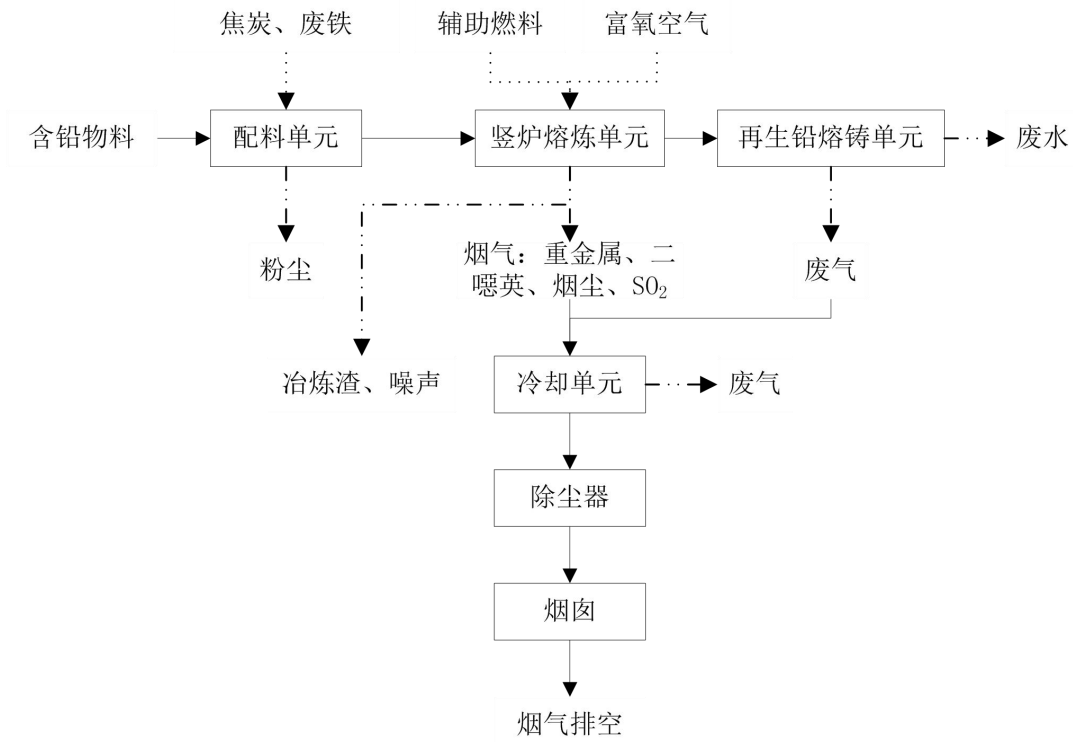


图 7-9 竖炉熔炼工艺流程及主要产污节点

(3) 物料能源消耗

金属态含铅物料熔炼工艺主要物料与能源消耗为天然气或煤气、水、电、生石灰。具体消耗量如表 7-9 所示。

表 7-9 物料与能源消耗情况表（以 t 再生铅计）

序号	名称	单位	消耗量
1	生石灰	kg	24
2	Na ₂ CO ₃	kg	3.3
2	天然气	m ³	6~7
3	电	kwh	3~5
4	水	t	24

(4) 污染物排放

竖炉熔炼工艺排放的污染物主要有以下三类。

1) 废气

竖炉熔炼工艺在配料、进料和熔炼过程中会产生含铅、SO₂ 及二噁英等气体，具体数值如表 7-10 所示。

表 7-10 竖炉熔炼工艺废气污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	颗粒物	mg/m ³	5~30
2	SO ₂	mg/m ³	20~30
3	铅	mg/m ³	0.4~5
4	二噁英	ngTEQ/m ³	-

2) 废水

竖炉熔炼工艺产生的废水主要有脱硫单元产生的含重金属废水、熔炼车间等场地冲洗废水、生活污水、铸铅过程中产生含铅废水以及炉套冷却水等，水质主要污染物具体数值如表 7-11 所示。

表 7-11 竖炉熔炼工艺废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6.0~9.0
2	BOD ₅	mg/L	<50
3	CODcr	mg/L	14.8~20.3
4	SS	mg/L	<40
5	氨氮	mg/L	≤10
6	石油类	mg/L	<5.0
7	总铅	mg/L	<0.5
8	总砷	mg/L	<0.5
9	总镉	mg/L	<0.1
10	总锌	mg/L	<2.0
11	总氮	mg/L	<15

3) 固体残渣

固体残渣为布袋除尘器收集的含铅烟尘，冶炼产生的冶炼浮渣和冶炼终渣。含铅烟尘和冶炼浮渣需返回熔炼工序，冶炼终渣可作为建材、水泥行业原料使用。

7.1.3.3 短窑熔炼技术

(1) 技术原理

短窑熔炼的技术原理是以柴油或天然气为燃料，Na₂CO₃、无烟煤块和铸铁屑为辅助原料，使用短炉身、高耐火材料内衬的旋转炉进行熔炼。燃烧和废气排放均位于炉子的尾部，操作温度为 1200~1300℃。根据投入炉中的铅的含量和每

炉料的热容需要对具体燃烧温度进行自动控制。炉料的添加可以利用叉车前的旋转斗完成，炉料既包含电池破碎系统产生的原料，也包括除尘室烟道灰和精炼工序产生的熔渣。短窑设有二次燃烧室，其目的是使回转窑产出烟气中的有机物和一氧化碳完全燃烧。随后将烟气喷淋水冷至 500~900℃，并与粗铅精炼时的废气合并，通过高空的架空烟道，气体冷至 1200℃ 以下后入袋式除尘器净化。

(2) 工艺流程及产污节点

短窑熔炼一般包括配料单元、短窑熔炼单元、辅助燃料供给单元、冷却单元及袋式除尘单元等工艺单元。短窑熔炼过程会产生冶炼渣、烟气（重金属、二噁英、烟尘）、噪声等。具体工艺及产污节点如图 7-10 所示。

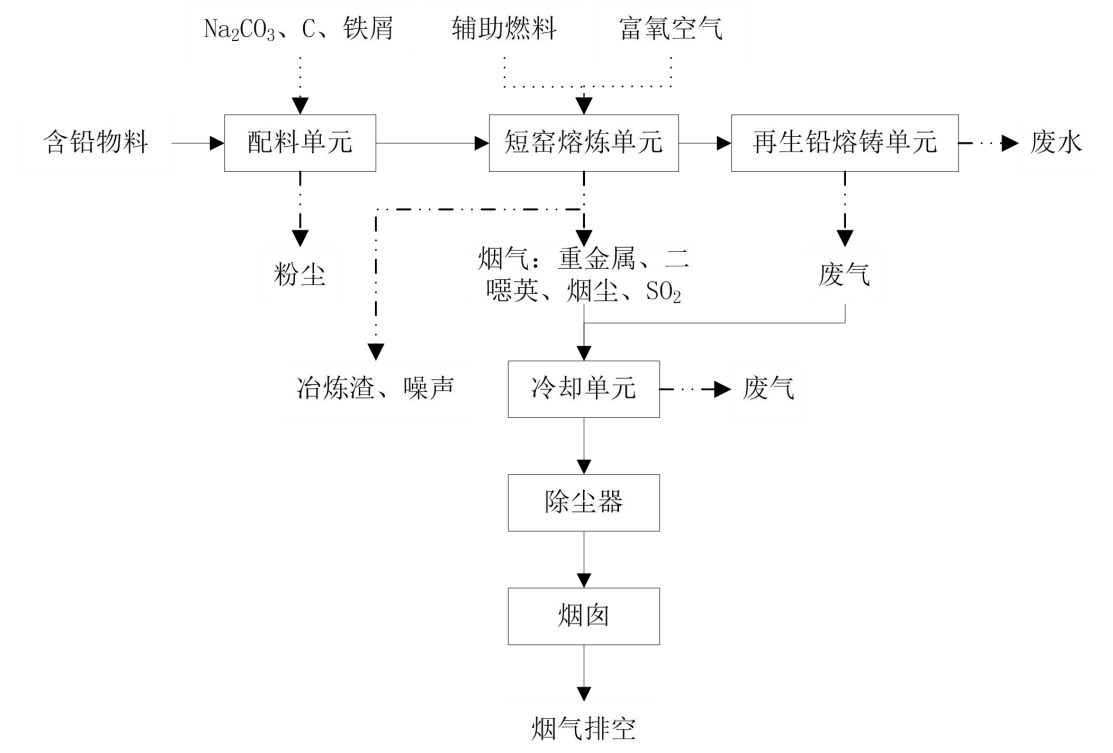


图 7-10 短窑熔炼工艺流程及产污节点

(3) 物料能源消耗

短窑熔炼工艺主要物料与能源消耗为天然气、 Na_2CO_3 、水和电，具体消耗量如表 7-12 所示。

表 7-12 物料与能源消耗情况表（以 t 再生铅计）

序号	名称	单位	消耗量
1	天然气	m ³	112
2	Na ₂ CO ₃	kg	5~6
3	水	kg	1.5
4	电	kwh	50

（4）污染物排放

短窑熔炼工艺排放的污染物主要有以下四类。

1) 废气

短窑熔炼工艺在进料和出铅、扒渣过程中会产生含铅废气等气体，具体数值如表 7-13 所示。

表 7-13 短窑熔炼工艺气体污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	铅	mg/m ³	100~200
2	SO ₂	mg/m ³	14~17
3	碳氧化物	mg/m ³	0.01~0.02
4	二噁英	ngTEQ/m ³	-

2) 废水

短窑熔炼工艺产生的废水主要有烟气冷却单元产生的冷却水、再生铅熔铸过程产生的冷却水以及熔炼车间的冲洗废水，水质主要污染物具体数值如表 7-14 所示。

表 7-14 短窑熔炼工艺废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6~9
2	BOD ₅	mg/L	3~20
3	COD _{cr}	mg/L	20~60
4	SS	mg/L	10~40
5	氨氮	mg/L	2~15

3) 固体残渣

固体残渣为布袋脱硫除尘器收集的含铅烟尘，冶炼产生的冶炼浮渣和冶炼终渣。含铅烟尘和冶炼浮渣需返回熔炼工序，冶炼终渣可作为建材、水泥行业原料使用。

4) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、短窑、风机、脱硫除尘设备、各类泵体等，最高可达 85dB。

7.1.3.4 富氧底吹熔炼工艺

(1) 技术原理

该技术核心设备为 QSL 反应器，QSL 炼铅法是利用熔池熔炼的原理，通过浸没底吹氧气的强烈搅动，使硫化物精矿、含铅二次物料与熔剂等原料在反应器（熔炼炉）的熔池中充分搅动，迅速熔化、氧化、交互反应和还原，生成粗铅和炉渣。

(2) 工艺流程及产污节点

废铅蓄电池富氧底吹熔炼一般包括配料单元、富氧底吹熔炼单元、辅助燃料供给单元、高铅渣深度还原熔炼单元、余热利用单元、冷却单元及袋式除尘单元、制酸单元等工艺单元。富氧底吹熔炼单元会产生冶炼渣、烟气（重金属、SO₂、烟尘、二噁英）、噪声等，高渣铅深度还原熔炼单元会产生冶炼渣、烟气（重金属、烟尘、SO₂）、噪声等，余热利用单元会产生含重金属废水等，除尘单元会产生烟尘、飞灰、噪声等，制酸单元会产生污酸、含重金属酸性废水、噪声等。具体工艺及产污节点如图 7-11 所示。

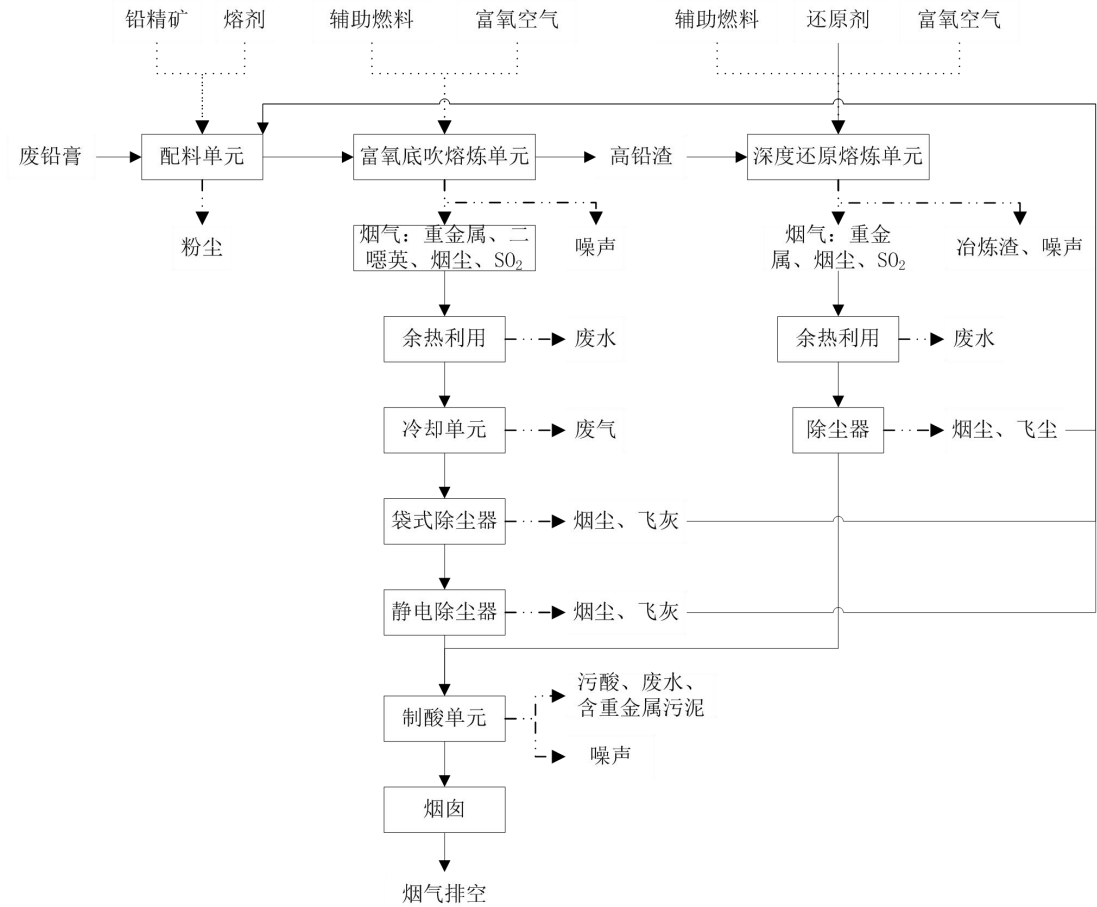


图 7-11 富氧底吹熔炼工艺流程及产污节点

（3）物料能源消耗

富氧底吹熔炼工艺主要物料与能源消耗为工业氧气、粉煤、电，具体消耗量如表 7-15 所示。

表 7-15 物料与能源消耗情况表（以 t 含铅物料计）

序号	名称	单位	消耗量
1	工业氧气	m ³	260~280
2	粉煤	kg	100
4	电	Kwh	180

（4）污染物排放

富氧底吹熔炼工艺排放的污染物主要有以下三类。

1) 废气

富氧底吹熔炼工艺在熔炼过程中会产生颗粒物、含铅废气、SO₂、二噁英等气体，具体数值如表 7-16 所示。

表 7-16 富氧底吹熔炼工艺污染物产生情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	颗粒物	mg/m ³	60~80
2	SO ₂	mg/m ³	45-300
3	铅	mg/m ³	0.4-5.0
4	二噁英	ngTEQ/m ³	<0.5

2) 固体残渣

冶炼渣为熔炼过程中产生的冶炼渣、烟尘和飞灰；冶炼渣可分为冶炼浮渣、冶炼终渣。冶炼浮渣返回熔炼工序，冶炼终渣可作为建材原材料使用。烟尘和飞灰也返回熔炼工序。

3) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、鼓风机、制氧站、引风机、各类泵体等设备，最高可达 85dB。

7.1.3.5 低温熔炼技术

（1）技术原理

低温熔炼技术原理是根据金属铅的熔点低的特点，将破碎分选后产生的板栅合金，直接进入熔炼炉熔炼，熔炼温度一般在 500℃~550℃，熔炼后经过捞渣，产出合金铅。

（2）工艺流程及产污节点

低温熔炼一般包括铅屑熔炼单元、合金配制单元、辅助燃料供给单元、废气吸收单元及袋式除尘单元等工艺单元。低温熔炼单元会产生冶炼渣、烟气（重金

属、烟尘、二噁英)、噪声等;合金配制单元会产生合金渣、烟气(重金属、烟尘);废气吸收单元会产生废水;除尘器会产生烟尘、飞灰及噪声等。具体工艺及产污节点如图 7-12 所示。

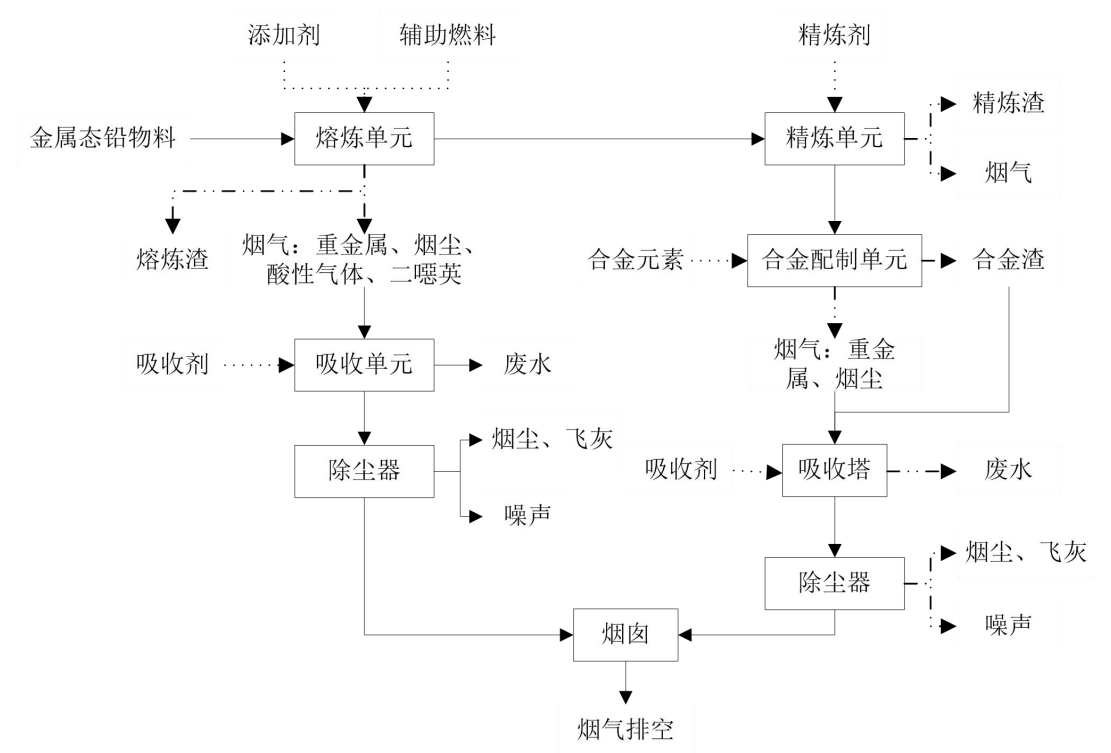


图 7-12 低温熔炼工艺流程及产污节点

（3）物料能源消耗

金属态含铅物料熔炼工艺主要物料与能源消耗为天然气或煤气、水、电、Na₂CO₃、赤磷及硝酸钠。具体消耗量如表 7-17 所示。

表 7-17 物料与能源消耗情况表（以 t 再生铅计）

序号	名称	单位	消耗量
1	Na ₂ CO ₃	kg	5~6
2	天然气	m ³	6~7
3	电	kwh	3~5
4	水	t	0.1~0.3

（4）污染物排放

金属态含铅物料熔炼工艺排放的污染物主要有以下四类。

1) 废气

金属态含铅物料熔炼工艺在进料、熔炼和合金配制过程中会产生含铅、SO₂等气体，具体数值如表 7-18 所示。

表 7-18 金属态含铅物料熔炼工艺气体污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	颗粒物	mg/m ³	5~30
2	SO ₂	mg/m ³	20~30
3	铅	mg/m ³	0.4~5
4	二噁英	ngTEQ/m ³	-

2) 废水

金属态含铅物料熔炼产生的废水主要有废气吸收单元产生的废水、熔炼车间等场地冲洗废水、生活污水以及铸铅过程中产生含铅废水等，水质主要污染物具体数值如表 7-19 所示。

表 7-19 金属态含铅物料熔炼废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6.0~9.0
2	BOD ₅	mg/L	<50
3	CODcr	mg/L	14.8~20.3
4	SS	mg/L	<40
5	氨氮	mg/L	≤10
6	石油类	mg/L	<5.0
7	总铅	mg/L	<0.5
8	总砷	mg/L	<0.5
9	总镉	mg/L	<0.1
10	总锌	mg/L	<2.0
11	总氮	mg/L	<15

3) 固体残渣

固体残渣为布袋除尘器收集的含铅烟尘，冶炼产生的冶炼浮渣和冶炼终渣，合金配制过程产生的合金渣。含铅烟尘、冶炼浮渣及合金渣需返回熔炼工序，冶炼终渣可作为建材、水泥行业原料使用。

4) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、风机、吸收塔及除尘器等，最高可达 85dB。

7.1.3.6 电解沉积技术

(1) 技术原理

脱硫铅膏首先经过焙解得到铅的二价金属氧化物，再以经过特殊处理的石墨板为惰性阳极，始极片为阴极，将二价铅氧化物加入反应器中，用硅氟酸和铅电沉积产生的贫电解液浸出得到的富电解液进行电解沉积，得到析出铅，最终熔铸得到 1 号铅，贫电解液返回浸出工序。

(2) 工艺流程及产污节点

电解沉积装置一般包括焙解单元、浸出单元、电解沉积单元、废气吸收单元、精炼熔铸单元及除尘单元、整流系统及自动控制单元等。焙解单元会产生废气、噪声等；浸出单元会产生酸雾、浸出渣等；电解沉积单元会产生酸雾、噪声等；精炼熔铸单元会产生精炼渣、烟气及含重金属废水等；废气吸收单元会产生废水；袋式除尘器会产生烟尘和飞灰，噪声等。具体工艺及产污节点如上图 7-6 所示。

（3）物料能源消耗

电解沉积工艺主要物料与能源消耗为硅氟酸、电、水、骨胶和木质素。具体消耗量如表 7-20 所示。

表 7-20 物料与能源消耗情况表（以 t 含铅物料计）

序号	名称	单位	消耗量
1	硅氟酸	kg	2.5~3.5
2	电	Kwh	600~700
3	水	t	0.3~1
4	骨胶	kg	4.5
5	木质素	kg	3.5

（4）污染物排放

电解沉积工艺排放的污染物主要有以下三种。

1) 废气

电解沉积工艺在冶炼过程中会产生 CO₂、酸雾等气体，具体数值如表 7-21 所示。

表 7-21 电解沉积工艺大气污染物产生情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	颗粒物	mg/m ³	5~30
2	SO ₂	mg/m ³	20~30
3	铅	mg/m ³	0.4~5
4	硅氟酸	mg/m ³	100~350

2) 废水

废水为工艺工程中排放的废水和少量生活废水，主要有电解沉积厂房等场地冲洗废水、生活污水等，水质主要污染物具体数值如表 7-22 所示。

表 7-22 电解沉积工艺废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6.0~9.0
2	BOD ₅	mg/L	<50
3	COD _{Cr}	mg/L	14.8~20.3
4	SS	mg/L	<40
5	氨氮	mg/L	≤10
6	石油类	mg/L	<5.0
7	总铅	mg/L	<0.5
8	总砷	mg/L	<0.5
9	总镉	mg/L	<0.1
10	总锌	mg/L	<2.0
11	总氮	mg/L	<15

3) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、硅整理器、阴极直线铸锭机、泵类及风机等设备，最高可达 85dB。

7.1.3.8 固相电还原技术

(1) 技术原理

固相电还原技术原理是用不锈钢作阴极和阳极，将脱硫后的铅膏均匀填充在特殊结构的阴极框架中，然后将阴、阳极放入装有以 NaOH 为主要介质的碱性溶液的电解槽内，通入直流电进行电解。当阴极反应到终点时，阴极出槽进行脱框，得到海绵铅，再进行压实处理后在 400℃ 进行熔铸得到 2 号铅。

(2) 工艺流程及产污节点

固相电还原装置一般包括阴极填充单元、固相电还原单元、废气吸收单元、精炼熔铸单元及除尘单元、整流系统及自动控制单元等。阴极填充单元会产生废水、噪声等；固相电还原单元会产生碱雾、噪声等；精炼熔铸单元会产生精炼渣、烟气及含重金属废水等；废气吸收单元会产生废水；袋式除尘器会产生烟尘、飞灰和噪声等。具体工艺及产污节点如上图 7-7 所示。

(3) 物料能源消耗

固相电还原技术主要物料与能源消耗为 NaOH、电、水、骨胶和磷酸。具体消耗量如表 7-23 所示。

表 7-23 物料与能源消耗情况表（以 t 含铅物料计）

序号	名称	单位	消耗量
1	NaOH	kg	112
2	电	Kwh	450~550
3	水	t	0.3~1
4	骨胶	kg	2.5~3.5
5	磷酸	g	5~10

（4）污染物排放

固相电还原技术排放的污染物主要有以下四类。

1) 废气

固相电还原工艺在冶炼过程中会产生含碱雾等气体，具体数值如表 7-24 所示。

表 7-24 固相电还原工艺大气污染物产生情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	颗粒物	mg/m ³	5~30
2	SO ₂	mg/m ³	20~30
3	铅	mg/m ³	0.4~5
4	NaOH	mg/m ³	100~350

2) 废水

废水为工艺工程中排放的废水和少量生活废水，主要有固相电还原厂房等场地冲洗废水、生活污水等，水质主要污染物具体数值如表 7-25 所示。

表 7-25 固相电还原工艺废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6.0~9.0
2	BOD ₅	mg/L	<50
3	CODcr	mg/L	14.8~20.3
4	SS	mg/L	<40
5	氨氮	mg/L	≤10
6	石油类	mg/L	<5.0
7	总铅	mg/L	<0.5
8	总砷	mg/L	<0.5
9	总镉	mg/L	<0.1
10	总锌	mg/L	<2.0
11	总氮	mg/L	<15

3) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、硅整理器、阴极填充生产线、活性铅粉压实生产线、风机及除尘器等设备，最高可达 85dB。

7.2 废铅蓄电池铅回收末端治理技术

7.2.1 废气污染防治技术

7.2.1.1 烟气除尘技术

由于再生铅行业废气中的铅等污染物主要以颗粒物的形式存在于烟（粉）尘中，因此，废气中烟尘的治理尤为重要。

（1）密闭尘源技术

技术原理：将散发粉尘的地点密闭起来，防止粉尘的扩散。如在各扬尘点设排风罩或采用封闭式物料输送设备，自带密闭罩的破碎筛分设备等。

消耗及污染物排放：该技术属一次性投资，防尘效果好，常与通风除尘技术措施配合使用。

技术适用性及特点：密闭尘源技术适用于再生铅熔炼、精炼过程中炉料加料口、渣排出口、出料口等产烟部位的密闭。密闭罩的设置既要有效控制尘源，又要兼顾不影响生产操作、设备检修等。在不能全密闭的情形下可采用半封闭或采用上吸罩、侧吸罩等。

（2）旋风除尘技术

技术原理：旋风除尘器是利用离心力的作用，使烟尘从烟气中分离而加以捕集。

消耗及污染物排放：旋风除尘器的动力消耗主要来自设备阻力消耗，除尘净化效率约 70%。

技术适用性及特点：旋风除尘器的特点是结构简单，造价低，操作管理方便，维修工作量小。对 $10\mu\text{m}$ 以上的粗粒烟尘有较高的除尘效率。可用于高温（ 450°C ）、高含尘量（ $400\text{g}/\text{m}^3\sim 1000\text{g}/\text{m}^3$ ）的烟气。旋风除尘器对处理烟气量的变化很敏感，烟气量变小其除尘效率大幅度降低，烟气量增大其流体阻力急剧加大。旋风除尘器一般只能作粗除尘使用，以减轻后序除尘设备的负荷。

（3）湿法除尘技术

技术原理：尘粒与水接触时直接被水捕获或尘粒在水的作用下凝聚性增加，使粉尘从烟气中分离出来。

消耗及污染物排放：湿法除尘净化效率在 90%~95%。

技术适用性及特点：湿式除尘器具有投资低，操作简单，占地面积小，能同时进行有害气体的净化、含尘气体的冷却和加湿等优点。湿式除尘器适用于非纤维性的、能受冷且与水不发生化学反应的含尘气体，特别适用于高温、高湿和有爆炸性危险气体的净化，但除尘后的含泥污水必须经过处理，否则可能会产生二次污染。该技术不适用于去除黏性粉尘。

（4）袋式除尘技术

技术原理：利用纤维性织物的过滤作用对含尘气体进行过滤，当含尘气体进入袋式除尘器后，颗粒大、比重大的粉尘由于重力作用沉降下来，落入灰斗，含有细小颗粒粉尘的气体通过滤料时，烟尘被阻留，使气体得到净化。随着滤尘过程不断进行，滤袋内表面捕集的粉尘越来越厚，粉尘层阻力增大，当阻力达到一定值时，就应清除除尘器滤袋上的积尘。

消耗及污染物排放：袋式除尘器的运行费用主要是更换滤袋的费用。袋式除尘器的电能消耗主要来自设备阻力消耗、清灰系统消耗、卸灰系统消耗。

袋式除尘器的除尘总效率在 99.5%以上，最高可达 99.99%。烟粉尘排放浓度可低于 30mg/m³。

技术适用性及特点：袋式除尘一般能捕集 0.1μm 以上的烟尘，且不受烟尘物理化学性质影响，但对烟气性质，如烟气温度的、湿度、有无腐蚀性等要求较严。袋式除尘器与电除尘器相比，一次性投资小，但后期维护费用较大。清灰可实现自动脉冲清灰。袋式除尘技术在铅冶炼厂一般可用于短窑炉烟气除尘、鼓风炉烟气除尘、反射炉烟气除尘等。袋式除尘器也适用于通风除尘系统及环保排烟系统废气净化。

（5）电除尘技术

技术原理：在电极上施加高电压后使气体电离，进入电场空间的粉尘荷电，在电场力的作用下，分别向相反电极的极板或极线移动，最后将沉积的粉尘收集下来，实现电除尘的全过程。

消耗及污染物排放：电除尘器的能耗主要由设备阻力损失、供电装置、电加热保温和振打电动机等能耗组成。由于电除尘器设备阻力较小，仅约 300Pa 左右，因此总的能耗较低。电除尘器的性能与烟尘的比电阻、集尘电极的总表面积、气

体的体积流量以及颗粒物的驱进速度等因素有关。电除尘器除尘效率为 99.0%~99.8%，烟尘排放浓度可达 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。由于电除尘不是烟气处理的最末端，后续处理有烟气制酸及烟气脱硫，因此对电除尘器后粉尘浓度的控制应结合技术及经济因素综合考虑。一般送硫酸厂烟气粉尘浓度控制在 $500\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

技术适用性及特点：阻力小，耗能少；除尘效率高；适用范围广；能捕集 $0.1\mu\text{m}$ 以上的细颗粒粉尘，烟气含尘量可高达 $100\text{g}/\text{m}^3$ ，能适应 400°C 以下的高温烟气；处理烟气量大；自动化程度高，运行可靠；一次性投资大；结构较复杂，消耗钢材多，对制造、安装和维护管理水平要求较高；应用范围受粉尘比电阻的限制。适用于比电阻范围在 $1\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}\sim 5\times 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 之间。

电除尘技术在再生铅冶炼厂主要用于熔炼炉除尘。

（6）电-袋复合除尘技术

技术原理：前级电场预收烟气中 70%~80% 以上的粉尘量；后级袋式除尘装置拦截收集烟气中剩余粉尘。其中，前级电场的预除尘作用和荷电作用对提高电-袋除尘器的性能起到重要作用。目前开发出的除尘设备主要有“预荷电+布袋”式、“静电-布袋”并列式和“静电布袋”串联式等。电-袋复合式除尘器对粉尘适应性强，对于高比电阻粉尘、低硫煤粉尘和脱硫后的烟气粉尘的处理效果更具优势。

消耗及污染物排放：电-袋复合式除尘器可去除烟气中的颗粒物和重金属（如汞）。电-袋复合式除尘器的设计除尘效率可达 99.9% 以上，因此可实现颗粒物的极低排放，比较适用于环保要求严格的环境敏感区。电-袋复合式除尘器的除尘效率高，总除尘效率在 99.9% 以上。电-袋复合式除尘器的阻力一般在 600-1500Pa 之间。电-袋复合式除尘器的运行温度大多在 200°C 以下。

技术适用性及特点：电-袋复合式除尘器除尘效率具有高效性和稳定性；设备阻力比袋式除尘器低，每 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 风量引风机功率可减少约 1.74kW；技术适应性强，电-袋复合式除尘器的效率不受高比阻细微粉尘和烟灰特性影响，粉尘适应性强；滤袋使用寿命长，清灰周期长，能耗小；一次投资和运行费用低于单独采用袋式除尘器的费用；对制造、安装、运行、维护都有较高的要求。

7.2.1.2 烟气脱硫

（1）石灰/石灰石法

技术原理：采用石灰或石灰石母液吸收烟气中的 SO_2 ，反应生成硫酸钙。脱硫吸收塔多采用空塔形式，吸收液与烟气接触过程中，烟气中 SO_2 与浆液中的碳酸钙进行化学反应被脱除，最终产物为石膏，经脱水装置脱水后回收。

消耗及污染物排放：石灰/灰石石-石膏法需要消耗石灰石、电能和水。其脱硫效率可达 95% 以上，当烟气 SO_2 含硫量在 $3000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下时， SO_2 排放浓度可控制在 $150\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下。脱硫系统产生脱硫石膏副产物。

技术适用性及特点：该方法所用的吸收剂石灰/石灰石来源广、价格低廉、成本费低、技术成熟可靠，在满足再生铅企业低浓度 SO_2 烟气治理的同时，还可以部分去除烟气中的 SO_3 、重金属离子、 F^- 、 Cl^- 等，适用于冶炼厂锅炉烟气及低浓度 SO_2 烟气污染源处理系统。

石灰/石灰石-石膏法脱硫装置占地面积相对较大、吸收剂运输量较大、运输成本较高、副产物脱硫石膏处置困难，不适合脱硫剂资源短缺、场地有限的再生铅企业。

（2）钠碱法

技术原理：采用碳酸钠或氢氧化钠作为吸收剂，吸收烟气中的 SO_2 ，反应生成物亚硫酸钠溶于水，含亚硫酸钠的脱硫循环水与投加的氢氧化钙反应可生成氢氧化钠和亚硫酸钙。通过沉淀分离可将难溶的亚硫酸钙从循环水中清除，氢氧化钠易溶于水，可循环使用，脱硫过程只消耗氢氧化钙。

消耗及污染物排放：钠碱法需要消耗碳酸钠或氢氧化钠、电能和水，主要污染物为废水。

技术适用性及特点：该技术避免了设备腐蚀与堵塞，便于设备运行与保养，运行可靠性增加，运行费用降低；同时系统更紧凑，脱硫效率提高。该技术适用于氢氧化钠来源较充足的地区。

（3）柠檬酸钠法

技术原理：是以柠檬酸钠溶液为吸附剂，通过循环吸收烟气中的二氧化硫，产生亚硫酸络合物，再通过加热产生浓二氧化硫产品的技术。

消耗及污染物排放：该技术二氧化硫吸收率在 99% 以上，回收的二氧化硫产品纯度高。但吸收剂浓度、pH 值、液气比、温度等参数对系统脱硫效率影响明显。

技术适用性及特点：该技术适用于低浓度二氧化硫烟气的治理。

（4）废酸循环利用技术

技术原理：是以硫酸生产产生的污酸或废铅蓄电池回收的废酸为吸附剂，通入含有硫化氢的净化气体，通过循环吸收烟气中的二氧化硫，再将生成的硫化物进行沉淀、过滤分离，使硫化物从稀硫酸溶液中净化去除，最后提纯生成工业硫酸的技术。

消耗及污染物排放：SO₂ 烟气浓度 8-12%，SO₂ 转化率>99%，成品酸：≥98%，物料中硫利用率大于 96%。

技术适用性及特点：该技术具有生产成本低，流程短，循环利用率高，能耗低，环境污染小，自动化水平高的优点；该技术适用于铅膏与铅矿的混合熔炼过程中二氧化硫烟气的治理。

7.2.1.3 二噁英控制技术

废铅蓄电池经预处理未完全分离的含氯有机物进入熔炼系统，如不完全燃烧，或与熔炼系统中的碳源从“头”合成就可能产生二噁英，可以从源头削减、过程控制、尾气处理等三个方面来对熔炼过程中产生的二噁英进行控制。

二噁英治理技术可采用烟气骤冷+布袋除尘+选择性催化还原（SCR）技术，烟气骤冷+活性炭注入+布袋除尘，布袋除尘+活性炭吸附，活性炭注入+布袋除尘+活性炭吸附等组合工艺。

（1）源头削减

改进破碎、分选技术，使有机物与铅及其化合物有效分离，同时控制燃料和熔剂中油、含氯物质的含量，从源头上减少二噁英的产生。

（2）过程控制

采用全过程负压状态和密闭式生产，减少烟气的无组织排放；改进工艺过程，使燃料和燃烧气混合均匀，达到足够高的温度，抑制淬火区或低温段的出现；在熔炼炉后设置二燃室，保持燃烧炉温度在 850℃ 以上，停留时间大于 2s，保证紊流度和过氧控制（O₂%>6%），实现完全燃烧。此外，在燃烧过程中，应尽可能采用连续操作方式，以减少燃烧炉在启动和停工时的尾气排放。

（3）尾气处理

建立快速冷却系统，尽可能降低气体在低温区的停留时间，避免二噁英的重新生成。对逸出的二噁英，采用活性炭吸附和高效袋式除尘器进行捕集，收集的

滤尘返回熔炼炉高温处理，分解金属化合物吸附的二噁英，并回收金属。

7.2.2 废酸综合利用技术

7.2.2.1 鼓式浓缩回收技术

技术原理：是用燃油将压缩空气加热到较高温度，通入稀硫酸鼓泡器中进行鼓泡，利用热空气带出稀硫酸中水分的技术。

消耗及污染物排放：该技术占地面积大，污染严重，能耗较高。

技术适用性及特点：该技术生产工艺简单，成品酸的浓度高，收率高。该技术适用于废硫酸的浓缩。

7.2.2.2 真空浓缩回收技术

技术原理：是在减压条件下进行蒸发浓缩的回收技术。废硫酸在 380~420℃ 下喷雾蒸发，硫酸被分解为 SO_3 和 H_2O ，可将预浓缩至 40%~50% 的废硫酸生成 96%~98% 的硫酸。

消耗及污染物排放：该技术易产生酸雾，可采用密闭、吸收措施预防酸雾产生。

技术适用性及特点：该技术适用于硫酸盐含量较高的废硫酸处理。

7.2.2.3 高温非还原分解技术

技术原理：是在高温下将废硫酸分解为三氧化硫和水，再以冷凝成酸法得到纯净硫酸的技术。

消耗及污染物排放：废硫酸在 380~420℃ 下喷雾蒸发，硫酸被分解为 SO_3 和 H_2O ，可将预浓缩至 40%~50% 的废硫酸生成 96%~98% 的硫酸。易产生酸雾，可采用密闭、吸收措施。

技术适用性及特点：该技术成熟可靠，处理量大，可直接生产浓硫酸或发烟硫酸。但投资大、能耗高。该技术适用于硫酸盐含量较高的废硫酸处理和废酸的综合利用。

7.2.2.4 超滤技术

技术原理：是以超滤膜为过滤介质，以膜两侧的压力差为驱动力，在一定压力下，当水流过膜表面时，只允许水及比膜孔径小的小分子物质通过，以达到溶液的净化、分离与浓缩的分离技术。

消耗及污染物排放：脱盐率：≥97%（运行三年内），水回收率：≥67%。该技术会产出少量的含铅、镉、砷的重金属污泥，可返回熔炼系统。

技术适用性及特点：该技术具有高效、能耗（功效）低、膜分离设备操作维

护简单、运行稳定等特点。该技术适用于含杂质较低的废硫酸的净化和浓缩。该技术主要用于经过处理但仍达不到回用水标准的污酸、污水的后续处理，以达到废水回用的目的。

7.2.3 废水控制与治理技术

在再生铅生产过程中，由于熔炼设备冷却、烟气净化和冲洗等工序会产生含有酸碱及重金属粒子的废水，再生铅企业一般采用物化法处理工业废水。近年来，随着部分大中型企业增加了工业用水回用率的改造，废水处理的方法也有所增加。

7.2.3.1 废水循环技术

技术原理：是指对污染较低的生产废水，采用中和、沉淀、过滤等方法降低废水中重金属等污染物的浓度后循环利用，对外无排放。

消耗及污染物排放：能耗为循环泵动力消耗、中和剂等，产生的污染物主要为产生的沉淀渣。

技术适用性及特点：该技术适用于再生铅生产过程中的中间废水、冲洗废水和初期雨水，各炉窑和铸锭过程中冷却水的循环使用。该技术能够节约新水，减少废水外排，节约成本。

7.2.3.2 石灰中和法

技术原理：向重金属废水中投加石灰，使重金属离子与羟基反应，生成难溶的金属氢氧化物沉淀、分离。

消耗及污染物排放：中和剂为石灰（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ），去除率：Pb 98%~99%、As 90%~95%、F 80%~99%、其他重金属离子 98%~99%。

技术适用性及特点：石灰中和法对重金属离子的去除率很高（大于 98%），基本可处理除汞以外的所有重金属离子；对水质有较强的适应性；工艺流程短、设备简单、石灰就地可取、价格低廉、废水处理费用低。但该技术处理后出水浊度较高，过滤脱水性能差，组成复杂，含重金属品位低，综合回收利用与处置难，并易造成二次污染。石灰中和法用于处理铅冶炼中产生的伴有含重金属离子和砷、氟等有害物质成分的酸性废水（即综合废水）。

7.2.3.3 硫化-石灰中和法

技术原理：硫化-石灰中和法是指向水中投加硫化剂，使金属离子与硫反应生成难溶的金属硫化物沉淀去除，硫化剂可采用硫化钠（ Na_2S ）、硫化氢（ H_2S ）、硫化亚铁（ Fe_2S ）等。硫化处理后的废水再投加石灰，使重金属离子与羟基反应，生成难溶的金属氢氧化物沉淀、分离。

消耗及污染物排放：常用的硫化剂有硫化钠（ Na_2S ）、硫化氢（ H_2S ）、硫化亚铁（ FeS ）。去除率：Pb 98%~99%、As 96%~98%。

技术适用性及特点：硫化法可用于去除水中的镉、砷、锑、铜、锌、汞、银、镍等重金属。此法的优点是生成的金属硫化物的溶解度比金属氢氧化物的溶解度小，处理效果比中和法更彻底，而且沉淀物不易溶解，沉渣量少，含水率低，便于回收有价金属。缺点是硫化药剂价格贵，货源少。此外，在反应过程中会产生有剧毒的硫化氢（ H_2S ）气体，对人体造成危害。目前，含砷、汞、铜离子较高的废水普遍采用硫化法处理。

7.2.3.4 离子交换法

技术原理：是重金属离子与离子交换剂发生离子交换作用，分离出重金属离子的技术。常用的离子交换树脂有阳离子交换树脂、阴离子交换树脂、螯合树脂和腐植酸树脂等。

消耗及污染物排放：该技术树脂再生频繁，反应周期长，运行费用高。

技术适用性及特点：该技术处理容量大，出水水质好，可实现铅的回收，无二次污染。采用离子交换法处理水量小、仅含铅离子的废水是可行的。具有占地面积小，处理效率高，可以实现自动化，管理方便等优点。但单独使用离子交换处理工艺来处理水量较大、含铅浓度高的废水，会存在设备投资大，运行成本高等问题。

7.2.3.5 螯合沉淀法

技术原理：是在常温下使用重金属捕集剂与废水中多种重金属离子反应生成不溶于水的螯合盐，而后再加入少量有机或/和无机絮凝剂以形成絮状沉淀，从而捕集去除重金属离子的技术。

消耗及污染物排放：该技术方法简单，去除效果好，絮凝效果佳，污泥量少且易脱水，pH 值适用范围宽。

技术适用性及特点：该技术适用于含铅废水的处理。

7.2.3.6 吸附法

技术原理：是利用吸附剂活性表面吸附废水中的铅离子的技术。制备吸附剂的材料大致可分为两类：无机矿物材料和生物质材料。其中，无机矿物吸附材料有沸石、粘土（如膨润土和凹凸棒石）、海泡石、磷灰石、陶粒，粉煤灰等。

消耗及污染物排放：该技术原料来源广、制造容易、价格较低。但重金属吸附饱和后再再生困难，难以回收重金属资源。

技术适用性及特点：该技术适用于含铅废水的处理。

7.2.3.7 膜分离法

技术原理：是利用隔膜使溶剂同溶质或微粒进行分离。铅冶炼主要采用超滤和纳滤组合处理技术。超滤系统作为纳滤系统的预处理，超滤预处理系统由进水泵、自清洗过滤器、超滤设备以及超滤反洗、清洗装置组成。超滤预处理后的水进入纳滤系统，纳滤系统由进水泵、5 μ m 保安过滤器、纳滤设备、清洗系统等组成。

消耗及污染物排放：需用的药剂有混凝剂、助凝剂、阻垢剂，脱盐率达到75%，出水悬浮物浓度（SS）低于 5mg/L。

技术适用性及特点：该技术具有分离效率高、无相变、节能环保、设备简单、操作简便等特点，特别是可回收有价金属和水资源，将资源回收和废水处理有效结合起来。

7.2.4 余热利用技术

技术原理：是通过对水冷壁和对流管束热交换回收烟气热量使烟气降温，收集部分烟尘，同时将余热加以利用的能源回收利用技术。

消耗及污染物排放：该技术能有效降低烟气温度，回收烟气余热，利于烟气除尘，提高热利用效率，同时能有效控制炉窑烟尘率。

技术适用性及特点：该技术适用于再生铅熔炼工序的余热回收利用。

7.2.5 固体废物治理技术

（1）一般工业固体废物的综合利用

根据《“十二五”资源综合利用指导意见》等相关文件精神，鼓励有色金属冶炼渣资源化利用以及重金属冶炼渣的无害化处理。预处理过程中分选出的废塑料经清洗后可作为再生塑料的原料。再生铅冶炼水淬渣，属于一般固体废物，可用

于生产建材，如可作为水泥的掺和料或制砖等。稀酸废水处理产生的石膏渣可作为生产水泥的添加剂。

（2）工业固体废物的堆存

属于一般工业固体废物的，可建立处置场永久性集中堆放。

按照《固体废物浸出毒性浸出方法》（GB5086）规定方法进行浸出试验的浸出液中，任何一种污染物的浓度均未超过《污水综合排放标准》（GB8978）最高允许排放浓度，且 pH 值在 6~9 范围内的，属于第 I 类工业固体废物，按 I 类场标准处置。

按照《固体废物浸出毒性浸出方法》（GB5086）规定方法进行浸出试验的浸出液中，有一种或一种以上的污染物的浓度超过《污水综合排放标准》（GB 8978）最高允许排放浓度，或者 pH 值在 6~9 范围之外的，属于第 II 类工业固体废物，按 II 类场标准处置。

（3）危险固体废物的综合利用

有金属回收价值的危险固体废物，应首先考虑综合回收利用。熔炼炉渣、布袋除尘器收集的烟尘属于危险废物，但由于含有铅、有综合利用的价值，可以返回熔炼过程重新熔炼，回收其中的铅。

（4）危险固体废物的处置

无金属回收利用价值的危险固体废物，可委托当地危废处置中心处置或建立危险固废填埋场。

7.2.6 噪声治理技术

再生铅冶炼企业噪声源较多，噪声类型也不尽相同，应针对具体情况，主要从三个环节进行考虑：根治声源噪声、在传播途径上控制噪声、在接受点进行个体防护。

根治噪声源：在满足工艺设计的前提下，尽可能选用低噪声设备，采用发声小或基本不发声的装置。

在传播途径上控制噪声：在设计中，着重从消声、隔声、隔振、减振及吸声上进行考虑，结合合理布置厂内设施，采取绿化等措施，可降低噪声 35dB（A）左右，使噪声得到综合性治理。

个人防护：主要措施有在工段中设置必要的隔声操作间、控制室等，使室内的噪声符合有关卫生标准。

7.3 新技术

7.3.1 密闭脱硫脱氧技术

技术原理：密闭脱硫脱氧是根据硫酸铅、二氧化铅热分解的特点，在分解温度下无需添加置换剂原料，密闭脱硫反应器采用外加热方式传热，硫酸铅、二氧化铅在密闭脱硫反应器内能满足快速分解脱硫、脱氧的分解条件，分解产出的三氧化硫气体抽出后进入制酸系统，产出的氧化铅进入研磨、储罐系统；外加热燃烧尾气进入铅膏干燥转炉的外加热燃烧室。

消耗及污染物排放：该技术无需置换脱硫剂，产出硫酸可循环用于蓄电池生产。

技术适用性及特点：该技术回收成本低、价值高。

7.3.2 新型固相电还原技术

技术原理：新型固相电还原技术是以不锈钢做阴阳极，以弱碱性复合介质为电解液，通过周期性直流电，实现高电流密度电还原得到活性铅粉，活性铅粉经过压实、熔炼得到精铅。

消耗及污染物排放：废铅膏通过阴极自动填装系统，自动称量、自动挤压成型，通过在线检测系统，直到达到反应终点的 95%。

技术适用性及特点：该技术效果好，运行费用低廉、无二次污染、运行稳定、操作简单。

7.3.3 低温连续熔炼技术

技术原理：低温连续熔炼技术通过铅屑输送带直接将铅屑输送到专用的铅屑熔炼转炉中熔化，通过一种铅屑转炉的出料系统装置使铅金属与渣灰自动分离，实现连续进料、出料，产出金属铅及固体粉状铅渣，铅渣进入下道工序连续熔炼炉的配料系统。而脱硫铅膏及其他含铅物料，经过计量配料系统配料后，由进料机采用连续进料方式，输送到连续熔炼炉中熔炼，炉内实现冶炼温度和冶炼气氛稳定，料层经过交互反应、静置、层析过程后，通过液位控制，超过液位的铅自动流出，氧化渣在炉内积存，当达到一定量时将铅渣直接送到另一还原炉内强化还原气氛还原冶炼，产出再生铅及贫铅渣，实现连续出铅，间歇出渣。

消耗及污染物排放：该技术使用主要设备为铅屑连续熔炼转炉，生产能力：3 t/h ~5t/h，能耗：30kgce/t 铅，一次出铅率：80%~85%，产渣率：15%，烟尘率：1.5%，渣含铅：85%~90%（进入下道工序冶炼）。

技术适用性及特点：该技术适用于废铅蓄电池脱硫铅膏低温连续熔炼，该技术熔化温度低，热效率高，能够实现液态铅和固体粉状铅渣自动分离，无需人工去渣。

7.3.4 氢气-氧化铅燃料电池湿法炼铅技术

技术原理：是以氢气为阳极，铅膏脱硫提纯后产生的氧化铅为阴极，温度在30-100℃的氢氧化钠水溶液为传输介质，构建氢气-氧化铅燃料电池，经催化还原后将氧化铅还原为单质铅的技术。

消耗及污染物排放：每吨氧化铅能量消耗：9.2kgH₂，不产生污染物。

技术适用性及特点：该技术适用于脱硫铅膏等含铅物料的处理，该技术无需消耗电能，产物仅为高纯铅和水，铅回收率大于 99.7%。

7.3.5 活性铅粉生产技术

技术原理：废铅膏生产活性铅粉的主要原理是利用有机酸与金属离子铅的螯合作用，将金属离子均匀分布在高分子网络结构中，在低温热分解中形成超细金属氧化物粉末。

消耗及污染物排放：废铅膏生产活性铅粉新工艺消除了高温熔炼排放的SO₂、CO₂及挥发性铅尘等大气污染物；大大降低了能耗。

技术适用性及特点：该技术直接制备超细 PbO 粉体，可以直接作为生产蓄电池的铅粉；超细 PbO 粉体作为极板的活性物质，可能获得高性能的铅蓄电池新产品。

7.3.6 低温等离子体技术

技术原理：是通过高能量等离子体对污染物进行直接击穿和轰击，使其分子链断裂，从而达到高效净化废气的技术。

消耗及污染物排放：脉冲低温等离子体技术（非热平衡等离子体技术）可以在常温、常压下协同控制废气中所排放的 NO_x、SO₂ 等污染物分子，具有能耗低、污染物去除效率高、反应器结构简单、适用范围广、无二次污染物、运行成本低等特点，较好的克服了传统气体污染物处理技术的不足。

技术适用性及特点：该技术处理效果好，运行费用低廉、无二次污染、运行稳定、操作简单。该技术适用于含重金属、二噁英等废气的处理。

7.4 再生铅冶炼污染防治技术的评估与筛选

7.4.1 再生铅冶炼污染防治技术分析 with 评估

7.4.1.1 废铅蓄电池火法冶炼污染控制分析 with 评估

废铅蓄电池火法冶炼处理装置是一个系统工程，充分体现了各个系统的不同功能以及不同系统之间的衔接性。因此，对于一套设施的性能评价一方面要结合不同火法工艺的总系统构成特点来考证，另一方面还要根据不同的火法设施配置做到因地制宜。不同类型的火法铅回收处置技术具有不同的使用范围。

富氧底吹熔炼工艺是我国自主开发的铅熔炼技术，该工艺能很好地解决铅膏处理和铅烟尘的污染问题，对废铅蓄电池中的铅有很好的处理效果，具有工艺流程简单、铅回收率高、能耗低、在回收铅膏中铅的同时循环利用了硫。但该技术的缺点在于弃渣铅含量较高，弃渣存在环境风险。该技术适用于再生铅与矿产铅混合熔炼的大规模冶炼企业。

短窑熔炼工艺是以欧洲发达国家为代表，普遍采用的再生铅熔炼工艺，该工艺属间断熔炼法。脱硫后铅膏冶炼温度一般为 $950^{\circ}\text{C}\sim 1050^{\circ}\text{C}$ ，渣率一般为 $10\%\sim 20\%$ ，渣含铅一般为 $3.5\%\sim 5\%$ 。该工艺的技术特点是机械化程度高，作业灵活，生产过程清洁。其缺点在于弃渣含铅高，能耗较高，间断作业。该工艺适用于块料、粉料的处理，适用范围广。

反射炉熔炼技术是我国再生铅行业使用最多的技术。节能环保型熔炼炉熔炼技术将传统锅炉的松散形燃烧方式改为集中喷射冶炼，使燃料成本降低百分之六十六以上。节能降耗，减污增效。性能好、污染少，但生产能力较小。该技术适用于中小型再生铅冶炼企业脱硫铅膏等含铅废料的处理。

低温连续熔炼技术是在借鉴国外先进技术的基础上，我国自主研发的一项新的再生铅冶炼技术。占废铅蓄电池 30% 以上的铅屑不需要进入高温冶炼系统，直接在低温下连续熔化，同时脱硫铅膏的冶炼温度降低了 $300^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，实现了再生铅的低温熔炼。该技术采用专用的设备，实现了再生铅冶炼过程连续作业，提高了生产效率和自动化水平。该技术的特点在于冶炼温度低、生产过程连续、废气和废渣中铅排放量少、节能及生产效率高。

7.4.1.2 废铅蓄电池湿法冶炼污染控制分析与评估

对废铅蓄电池湿法冶炼处理装置的性能评价一方面也要结合不同湿法工艺的总系统构成特点来考证，另一方面还要根据不同的湿法设施配置做到因地制宜。不同类型的湿法铅回收处置技术具有不同的使用范围。

电解沉积工艺是以经过特殊处理的石墨板为惰性阳极，以始极片为阴极，脱硫料加入反应器中，用硅氟酸和铅电沉积产生的贫电解液浸出得到富电解液，用富铅电解液做电解液进行电解沉积，得到析出铅，最终熔化得 1 号电铅，贫电解液返回浸出工序。其特点在于生产过程清洁、资源综合利用率高、节约能源、适应性强。其缺点在于工艺复杂，投资和运行成本较高。该工艺适用于电力资源丰富的地区再生铅规模化生产，尤其适用于原生铅冶炼厂的工艺改造。

固相电还原技术是用不锈钢作阴极和阳极，将脱硫后的铅膏均匀填充在特殊结构的阴极框架中，然后将阴、阳极放入装有以 NaOH 为主要介质的碱性溶液的电解槽内，通入直流电进行电解。当阴极反应到终点时，阴极出槽进行脱框，得到海绵铅，再进行压实处理后在 400℃ 进行熔铸，最后得 2 号铅。其特点在于流程短、投资少、占地省；生产过程清洁；资源综合利用率高；节约能源、适应性强。其缺点在于碱耗较高、电耗成本较高。该技术适用于电力丰富的地区、再生铅中型规模化生产，尤其适用于小型再生铅冶炼厂的工艺改造。

预脱硫-电解沉积技术、预脱硫-固相电还原技术在技术、运行费用、投资等方面的对比分析如表 7-26 所示。

表 7-26 废铅蓄电池铅回收湿法处理方法对比分析

序号	项目	电解沉积	固相电还原
1	技术原理	脱硫后的铅膏用氟硅酸浸出制取电解液，电解液进入电解槽进行电解沉积，生产产品电解铅。电解液循环使用	用不锈钢作阴极和阳极，将脱硫后的铅膏均匀填充在特殊结构的阴极框架中，然后将阴、阳极放入装有以 NaOH 为主要介质的碱性溶液的电解槽内，通入直流电进行电解得到金属铅
2	技术可靠性	满足再生铅要求	满足再生铅要求
3	技术成熟度	国产化设备已成熟	国产化设备有待完善
4	设备要求	耐酸、耐腐蚀	耐酸耐碱、耐腐蚀
5	适用范围	适用于电力资源丰富的地区再生铅规模化连续生产，尤其适用于原生铅冶炼厂的工艺改造	适用于电力丰富的地区、再生铅中型规模化生产，尤其适用于小型再生铅冶炼厂的工艺改造
6	技术优点	生产过程清洁、资源综合利用率高、节约能源、适应性强	流程短、投资少、占地省；生产过程清洁；资源综合利用率高；节约能源、适应性强
7	技术缺点	工艺复杂，投资较高等原因，运行成本较高	碱耗较高、电耗成本较高
8	作业方式	连续作业	连续作业
9	操作要求	原料准备充足，设备自动化，劳动人员素质要求高	主设备自动化，劳动人员素质要求高
10	污染物排放	无 SO ₂ 气体和铅尘排放，有少量酸雾排放	无 SO ₂ 气体和铅尘排放，有少量碱雾排放
11	占地面积	相对较大	相对较小
12	运行维护	物料转运设备做好日常维护，泵类设备运行维护要求高；电解车间日常检查跑冒滴漏现象，及时处理	物料转运设备做好日常维护，泵类设备运行维护要求高
13	单位固定资产投资	3500 万元人民币/万 t	2000 万元人民币/万 t

由表 7-26 可以看出：（1）电解沉积技术在设备自动化、清洁生产、规模化等方面具有相对优势，但工艺复杂，单位固定资产投资较高，运行成本较高；（2）固相电还原技术在单位投资、生产成本、生产周期方面等具备优势，但碱耗较高、设备自动化水平有待提高；如果能进一步提高自控水平，降低碱单耗则会有更为广泛的应用前景。

7.4.2 废铅蓄电池处理技术适用性分析与评估

根据废铅蓄电池处理优化处置技术指标体系中所确定的 23 项指标，在进行系统的评估和比较前，首先针对几种技术之间的关键性问题进行论述和比较。

7.4.2.1 处置对象适用性比较

废铅蓄电池处理技术的适应范围是进行技术应用的基础，不同废铅蓄电池处理技术适用范围如表 7-27 所示。

表 7-27 不同废铅蓄电池处理技术适用范围

处理技术		铅精矿	废铅蓄电池	铅蓄电池生产产生铅废料	铅氧化矿	铅粉尘、烟灰	其他含铅废料
火法冶炼	富氧底吹熔炼炉冶炼	√	√	√		√	√
	短窑冶炼		√	√		√	√
	反射炉冶炼		√	√	√		允许一小部分
	节能环保型熔炼炉熔炼技术		√	√	√		√
	竖炉冶炼	√	√	√		√	允许一小部分
湿法冶炼	电解沉积	√	√	√	√	√	√
	固相电还原		√	√	√	√	√

7.4.2.2 处理技术规模适宜性比较

废铅蓄电池处理技术规模适宜性是进行技术选择的基础，不同废铅蓄电池处理技术规模适宜性如表 7-28 所示。

表 7-28 不同废铅蓄电池处理技术规模适宜性

处理技术	火法冶炼				湿法冶炼	
	富氧底吹熔炼炉	短窑	反射炉	竖炉	电解沉积	固相电还原
单炉生产规模再生铅或单条生产线	10 万 t/年以上	5 万 t/年以上	5 千 t-1 万 t/年	2-3 万 t/年	5 万 t 以上	2-3 万 t

从表 7-28 可以看出，富氧底吹熔炼炉、短窑、电解沉积是适用于较大规模的再生铅技术；竖炉、固相电还原适用于规模中型的再生铅技术；而反射炉适合小规模的再生铅技术。

7.4.2.3 不同处理技术的综合性比较分析

经总结前面章节关于火法冶炼和湿法冶炼技术的评估与分析,现结合技术优化的 23 项指标,对我国目前应用以及潜在应用的主要铅回收技术进行系统的分析和评估,如表 7-29 所示。

表 7-29 我国主要再生铅技术选择评估分析

序号	考虑范畴	编号	选择指标	火法铅回收技术					湿法铅回收技术	
				富氧底吹熔炼炉	短窑	反射炉	竖炉	低温连续熔炼	电解沉积	固相电还原
A	技 术 性 能	A1	生产规模适宜性	330t/d 以上	150t/d 以上	35t/d 以下	40t/d 以上	40t/d 以上	160t/d 以上	100 t/d 以上
		A2	处理效果有效性	资源综合利用率 > 90%, 金属回收率 > 98%	资源综合利用率 > 90%, 金属回收率 > 97%	资源综合利用率 > 80%, 回收率 > 85%	资源综合利用率 > 80%, 回收率 > 85%	资源综合利用率 > 90%, 金属回收率 > 97%	资源综合利用率 > 90%, 金属回收率 > 98.5%	
		A3	处理含铅物料适用性	铅精矿、废铅蓄电池、铅烟灰、蓄电池生产产生的铅废料、铅渣	废铅蓄电池、铅烟灰、蓄电池生产产生的铅废料	废铅蓄电池、铅烟灰、蓄电池生产产生的铅废料	废铅蓄电池、铅烟灰、蓄电池生产产生的铅废料	废铅蓄电池	废铅蓄电池、铅烟灰、蓄电池生产产生的铅废料、铅氧化矿等	
		A4	系统配置完备性	应具备完善的处置设备和单元方能采用，具体应符合国家标准要求					应具备完善的处置系统方能采用，具体应符合国家标准要求	
		A5	单元设计先进性	各处置单元应具有先进性，符合国家标准要求					各处理单元应具有先进性，符合国家标准要求	
		A6	自动化控制水平	处置设施对相关工况参数和运行参数应能实现自动化控制，具体应符合国家标准要求					处置设施对相关工况参数和运行参数应能实现自动化控制，具体应符合国家标准要求	
		A7	处置设施的安全性	处置系统应有完备的应急保护方案，在突发紧急事故时，可以通过设置由工作区监视系统、分级报警显示、联动自锁装置、应急供电及设备组成的应急安全系统，以确保系统的安全					处置系统应有完备的应急保护方案，在突发紧急事故时，可以通过设置由工作区监视系统、分级报警显示、联动自锁装置、应急供电及设备组成的应急安全系统，以确保系统的安全	
		A8	需配套的基础设施	需配套供水、供电、供油以及二次污染物控制设施等					需配套供水、供电以及二次污染物控制设施等	
		A9	节能性能情况	< 185Kgce/t 再生铅	< 130kgce/t 再生铅	> 300 Kgce/t 再生铅	< 130kgce/t 再生铅	< 30kgce/t 再生铅	耗电，节能效果明显	耗电，节能效果显著
		A10	处置设施的易操作性	运行维护要求高、操作简单	运行维护要求较高、操作难易程度一般、操作强度较大、操作	运行维护要求较低、操作简单，操作强度较大、操作时间较长	运行维护要求高、操作复杂、操作强度较大	运行维护要求低、操作简单、操作强度小	运行维护要求较高，操作简单、操作强度较小	

序号	考虑范畴	编号	选择指标	火法铅回收技术					湿法铅回收技术	
				富氧底吹熔炼炉	短窑	反射炉	竖炉	低温连续熔炼	电解沉积	固相电还原
					时间较长					
		A11	监管手段可实现性	可实现在线监控，监管软硬件条件具备	可实现在线监控，监管软硬件条件具备	实现在线监管难度大，监管软硬件条件不具备	可实现在线监控，监管软硬件条件具备	可实现在线监控，监管软硬件条件具备	可实现在线监控，监管软硬件条件具备	
B	环境影响	B1	产生有毒有害污染物风险	易产生二噁英等 POPs 物质					不产生二噁英等 POPs 物质	
		B2	产生二次污染物风险	产生飞灰等固体废物，还需进行安全处置					破碎分选后产生的 PE 塑料及胶木需按照危废处置。	
		B3	职业安全健康风险	具有铅中毒、矽肺的健康风险					酸液对皮肤腐蚀的风险	碱液对皮肤腐蚀的风险
		B4	对周围居民环境影响风险	铅粉尘排放对周围居民健康危害的可能性较大					影响极小	
		B5	生态环境影响风险	对周围土壤、大气影响较小	对周围土壤、大气影响较小	对周围土壤、水体、大气影响较大	对周围土壤、水体、大气影响较大	对周围土壤、大气影响较小	对周围土壤、水体、大气影响较小	
C	经济性能	C1	建设成本	高	高	低	低	低	较高	低
		C2	运行成本	低	高	高	高	低	较高	低
		C3	收益水平	中	中	低	中	高	中	高
D	社会条件	D1	公众可接受程度	高	高	低	中	高	高	高
		D2	政策允许程度	高	高	低	中	高	高	高
		D3	选址难易程度	高	高	高	高	高	低	低
		D4	技术获取难度	中	高	低	低	高	高	高

7.4.3 再生铅冶炼污染治理技术分析 with 评估

再生铅冶炼过程中产生的污染物主要包括：废气、废水和固体废弃物。废气中的主要污染物为含铅颗粒物、二氧化硫、铅蒸汽、酸雾等，废水中的主要污染物为重金属、悬浮物、盐类等，固体废弃物中主要污染物为废有机物、含重金属废渣、石膏渣等。这些污染物在进入环境前，需要采用一定的处理技术进行削减，以满足相关排放标准的要求。具体包括：烟气收尘技术、烟气脱硫技术、废水控制与治理技术。

7.4.3.1 烟气收尘技术的综合性比较分析

目前，国内再生铅企业对污染物的治理主要针对排放的烟气，通过对烟气中颗粒物的有效收集，不仅能避免颗粒物的污染，还能进一步提高铅回收率。经总结前面章烟气收尘技术的介绍，现将不同烟气收尘技术的综合性比较分析结果列于表 7-30。

表 7-30 烟气收尘技术综合性比较分析

设备名称	允许操作温度 (℃)	允许操作压力 (kPa)	允许烟气含尘量 (g/m³)	捕集烟尘的粒径 (μm)	收尘效率 (%)	烟气流速 (m/s)	耗水量 (L/m³)	设备费 (相对比例)	运行费 (相对比例)
沉降室	<450	不限	不限	>20	50~60	0.5~1	/	1	1
旋风收尘器	<450	不限	<800	>10	60~90	15~30	/	0.7~1.5	1~2.5
袋式收尘器	<250, (高于烟气露点 30℃)	<5	<30	>0.1	98~99.9	0.01~0.05	/	4.4~5	5~10
湿式电收尘器	<80	<5	<30	>0.1	98~99.9	0.4~1.2	0.4	8~9	2.3
干式电收尘器	<400, (高于烟气露点 30℃)	<5	<50	>0.1	95~99.9	0.4~1.5	/	6~7	1.5
水膜收尘器	<80	<5	<50	>10	80~92	15~20 (入口)	0.6	1.7	3
冲击式收	<80	<5	<50	>10	85~	10~75	0.1	2.8	5

尘器					95				
文丘里收尘器	<80	<10	<100	>0.1	90~99.5	20~100	1.1	3~3.5	4

综上所述，建议选定布袋收尘器和电-袋复合收尘器作为再生铅烟气除尘的主要设备，可同时与旋风收尘器结合，或采用两级以上布袋对再生铅熔炼、精炼过程中产生的烟气进行收集，使得颗粒物排放达到相关标准的要求。

7.4.3.2 烟气脱硫技术的综合性比较分析

再生铅行业的 SO₂ 污染主要来源于熔炼过程，铅膏的主要成分是硫酸铅，如果采用铅膏直接熔炼工艺（如竖炉熔炼），会产生大量 SO₂；如果对铅膏脱硫之后再熔炼，由于对铅膏洗涤不干净或添加含硫物料，在熔炼过程中也会分解产生 SO₂。无论采用哪种熔炼方式，都会产生一定量的 SO₂。常用的技术是通过碱性溶液吸收的办法去除烟气中的硫。

表 7-31 烟气脱硫技术综合性比较分析

脱硫技术名称	工艺参数	污染物削减及排放	二次污染及防治措施	技术经济适用性
石灰石-石膏法	脱硫剂碳酸钙含量大于 90%，石灰石粉的细度保证-250 目占 90%	烟气中 SO ₂ 含量在 1000~3500mg/m ³ 时，SO ₂ 排放浓度低于 200mg/m ³ ，脱硫效率大于 95%	脱硫废水应处理后回用，脱硫产生的石膏应综合利用	适用于低浓度 SO ₂ 烟气治理，该技术一次性投资为 40 元/Nm ³ 左右，治理成本为 1000 ~ 4000 元/吨 SO ₂
钠碱法	吸收塔 pH 值为 8.5	SO ₂ 排放浓度低于 200mg/m ³ ，脱硫效率高于 99.5%	吸收废液需回收利用，或用石灰石或石灰再生	该法吸收速度快，不存在结垢问题，适用于 SO ₂ 浓度小于 4% 的冶炼烟气脱硫
柠檬酸钠法脱硫技术	pH 值 4~5，吸收温度 50 ~ 60℃，解吸温度 100~105℃，液气比 5~9L/m ³	当烟气中 SO ₂ 浓度超过 5% 时，脱硫效率在 99% 以上	需要及时清除设备内结晶，防止管道堵塞和设备腐蚀，废液需再生	该技术可再生，回收的 SO ₂ 纯度高，适用于 SO ₂ 含量在 0.3% ~ 12% 的冶炼烟气脱硫

7.4.3.3 废水处理技术的综合性比较分析

再生铅行业产生的废水主要来源于废铅蓄电池的拆解、铅膏脱硫过程、车间地面冲洗水等。生产过程中的冷却水、冲洗废水和初期雨水收集后，经中和、沉

淀、过滤方法处理后循环使用，根据调查，生产每吨产品大约产生废水 3t。大型企业的废水经过治理后循环利用。再生铅冶炼工艺废水处理技术的综合性比较分析如表 7-32 所示。

表 7-32 废水处理技术综合性比较分析

废水处理技术名称	工艺参数	污染物削减及排放	二次污染及防治措施	技术经济适用性
石灰中和法	中和槽 pH 控制范围 8~9	出水 pH7~9、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总镉浓度小于 0.05 mg/L	废水处理污泥作危险废物处置	适用于再生铅冶炼过程中产生的酸性废水和初期雨水的处理
硫化-石灰中和法	硫化反应槽 pH 控制范围小于 2，中和槽 pH 控制范围 2~3	出水 pH6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05 mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L	硫化渣作危险废物处置，石膏渣可作为生产水泥的添加剂。溢出的 H ₂ S 气体需采用 NaOH 溶液喷淋吸收处理	适用于再生铅冶炼过程中酸性废水的处理，建设和运行成本高。
膜分离法	超滤过滤精度为 0.01μm，控制进水 pH 值约 6.5，温度 35~40℃，进水阻垢剂保持在 1.5 mg/L，纳滤压力约为 6kg/cm ²	系统脱盐率大于 90%，出水钙离子 30 ~ 200mg/L，悬浮物浓度不高于 20mg/L，含盐量不高于 3000mg/L	产生的浓水可返回水淬渣池作为水淬渣冷却补充水	适用于再生铅生产过程中酸性废水和车间冲洗水的处理

7.5 再生铅冶炼污染防治可行技术

7.5.1 再生铅火法冶炼可行技术

7.5.1.1 富氧底吹熔炼技术

(1) 工艺流程

富氧底吹熔炼可行技术一般包括自动破碎分选单元、配料单元、富氧底吹炉熔炼单元、余热利用单元、气体净化单元、水处理单元、自动控制单元及其他辅助单元等功能单元。具体工艺流程如图 7-13 所示。

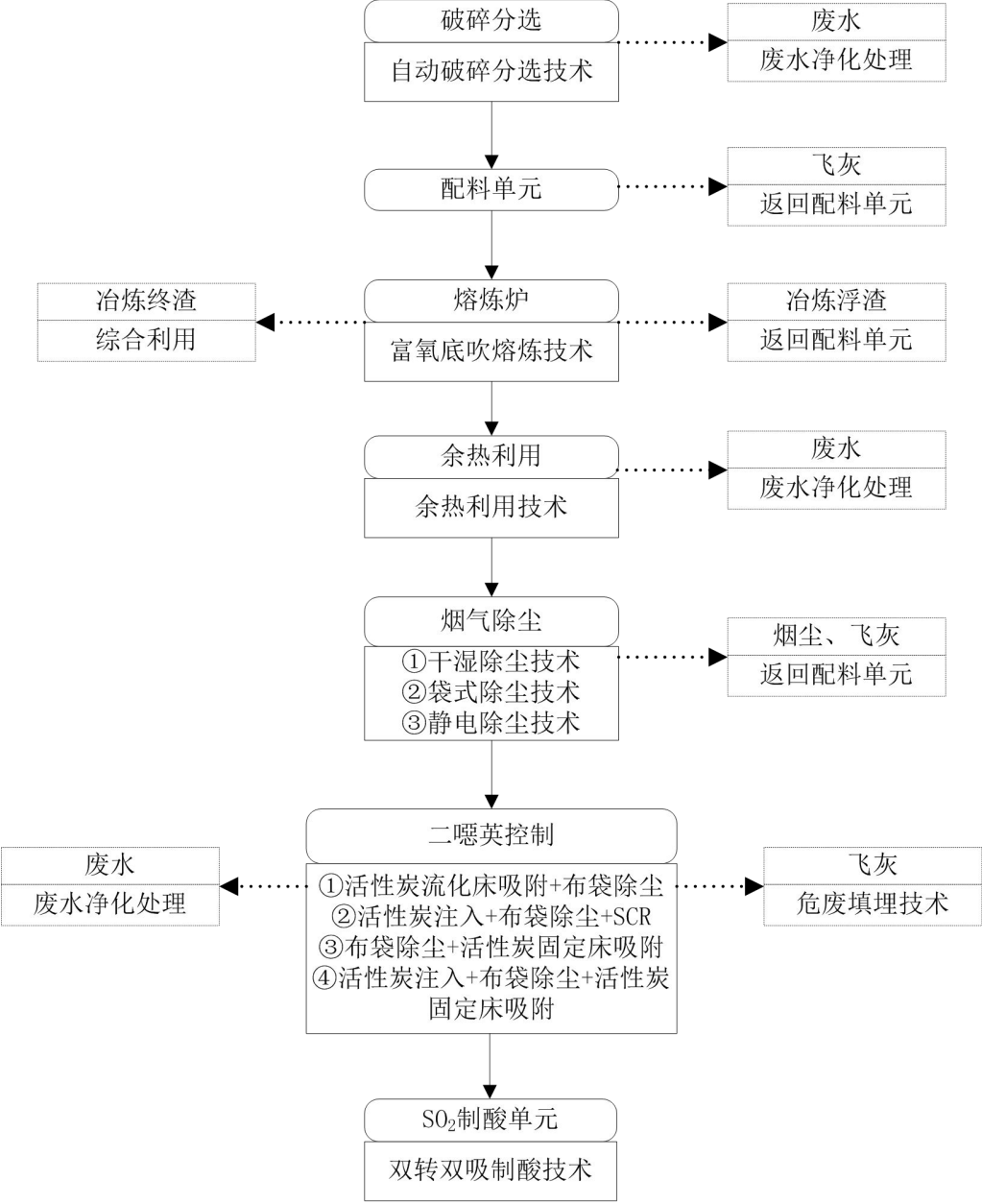


图 7-13 自动破碎分选-富氧底吹炉熔炼可行技术

(2) 工艺参数

- 利用重力分选和筛选技术，确保分选的材料洁净，铅屑含铅膏和其他非金属材料: ≤5%，铅膏的水含量小于 12%；
- 脱硫后铅膏含硫率小于 0.5%；
- 制粒含水：7%~8%；

- 精矿品位：35%~65%；
- 渣含铅：2%~5%；
- 烟尘返回率：5%~10%；
- SO₂ 浓度：7.5%~10%；

➤ 废气净化装置过滤器的过滤尺寸不应大于 0.2μm，耐温不低于 140℃。过滤器应设置进出气阀、压力表和排水阀，设计流量应与处理规模相适应，过滤效率应在 99.999%以上，以便确保废气和二噁英等达标排放；

- 铅回收率：98%~99%；
- 硫回收率：>95%；
- t 粗铅能耗：300kgce/t。

（3）处置系统集成控制

➤ 自动化系统应采用控制技术成熟、可靠性高、性能价格比适宜的设备和元件，保证能在中央控制室通过分散控制系统实现对废铅蓄电池铅回收设施各系统集中监视和分散控制；

➤ 对贮存库房、物料传输过程以及富氧底吹熔炼过程的重要环节，应设置现场工业电视监视系统。应设置独立于分散控制系统的紧急停车系统。对重要参数的报警和显示，可设光字牌报警器和数字显示仪；

➤ 冶炼设施的监控系统设计应包括主体设备工艺系统在各种工况下安全、经济运行的参数；仪表和控制用电源、气源、液动源及其他必要条件的供给状态和运行参数；电动、气动和液动阀门的启闭状态及调节阀的开度；辅机运行状态以及必需的环境参数；

➤ 冶炼处理系统的测量数据、数据处理结果和设施运行状态，应能在监控系统的显示器上得到显示。并应对熔炼烟气中的烟尘、硫氧化物、氮氧化物、氧或一氧化碳、二氧化碳污染物实现在线监测；

➤ 应配置自我检测和热工报警系统，其设计应包括工艺系统主要工况参数偏离正常运行范围以及电源、气源、热工监控系统主要辅机设备发生故障等报警内容，全部报警项目应能在显示器上显示并打印输出。

（4）污染物消减及污染防治措施

➤ 尾气系统由冷却塔、活性炭喷射和布袋除尘器等组成，烟气经过尾气处理系统净化处理达标后，由引风机抽出经烟囱排入大气，其中二噁英的排放限值为 0.5 ngTEQ/Nm³；

➤ 布袋卸灰装置排出的飞灰采用水泥固化处理，固化后送危险废物填埋场填埋处理。残渣运送到生活垃圾填埋场填埋；

➤ 工艺设备产生的噪声采取消声、隔音、减震等措施进行防治。

(5) 技术经济适用性

自动破碎分选-富氧底吹炉熔炼工艺适合大型规模的废铅蓄电池集中处理处置，且对含铅原料的适应性较强。

在尾气处理及二噁英减排方面，“急冷+布袋除尘+SCR”工艺减排效果最好，二噁英可控制在 $0.002\sim 0.05\text{ ngTEQ/Nm}^3$ ，运行成本也低，但前期工程投资比较高；“急冷+活性炭注入+布袋除尘”工艺减排效果也很好，二噁英可控制在 0.1 ngTEQ/Nm^3 ，运行成本中等，但前期工程投资较低。

7.5.1.2 短窑熔炼技术

(1) 工艺流程

自动破碎分选-短窑熔炼可行技术一般包括自动破碎分选单元、预脱硫单元、配料单元、短窑熔炼单元、余热利用单元、气体净化单元、水处理单元、自动控制单元及其他辅助单元等功能单元。具体工艺流程如图 7-14 所示。

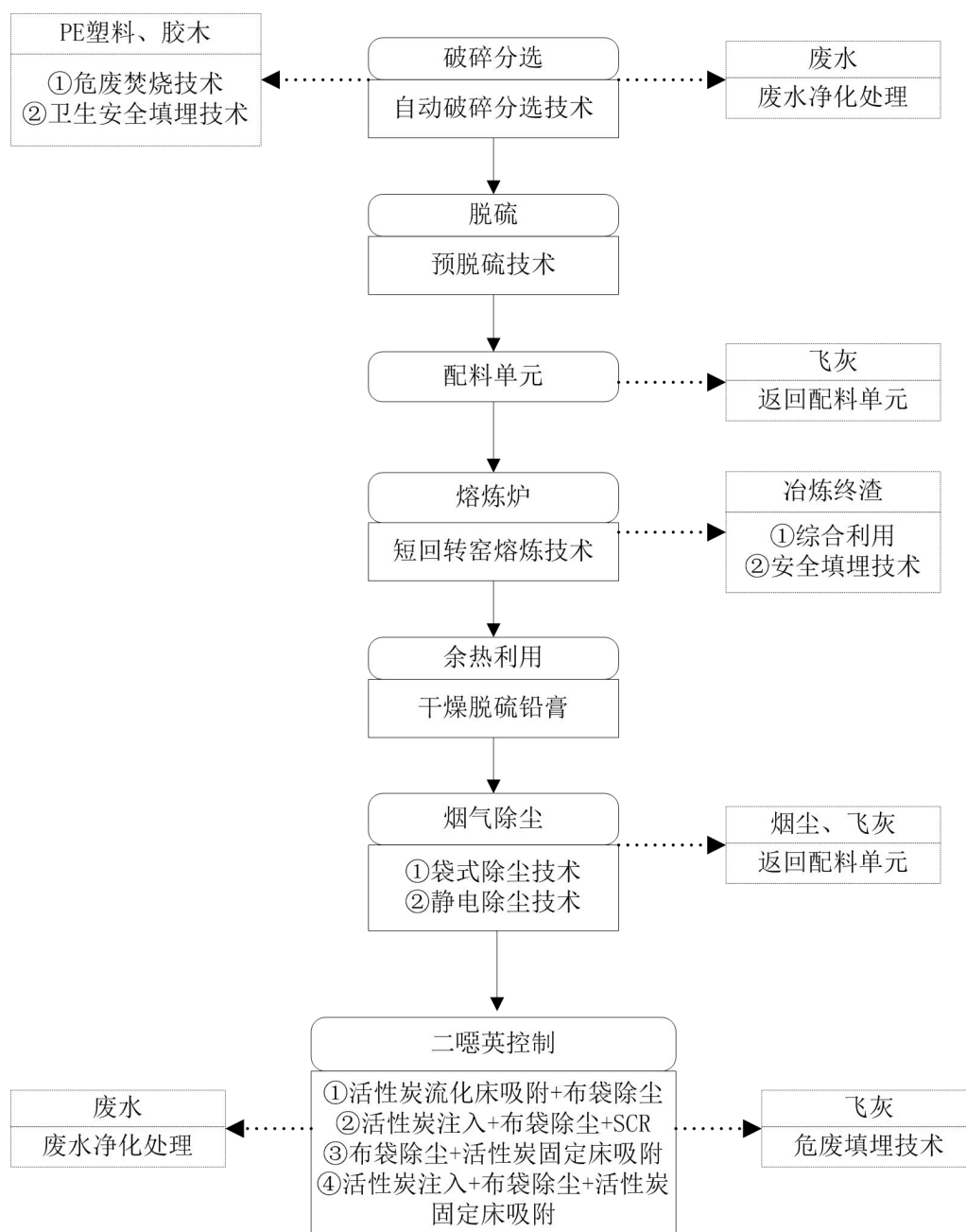


图 7-14 自动破碎分选-短窑熔炼可行技术

(2) 工艺参数

- 利用重力分选和筛选技术，确保分选的物料洁净，铅屑含铅膏和其他非金属物质：≤5%，铅膏的水含量小于 12%；
- 脱硫后铅膏含硫率小于 0.5%；
- 采用热效率更高的转炉，熔化温度低，一种铅屑转炉的出料系统装置可实现连续作业，实现液态铅和固体粉状铅渣自动分离，无需人工去渣。该技术主要设备为连续熔炼转炉，生产能力：3~5t/h，能耗：30kgce/t 铅，一次出铅率：

80%~85%，产渣率：15%，烟尘率：1.5%，渣含铅：85%~90%（进入下道工序冶炼）；

➤ 生产能力：氧化段 10t/h，氧化段炉床能力取 $16 \text{ t/m}^2\cdot\text{d}$ ，还原段 4t/h，还原段炉床能力取 $5 \text{ t/m}^2\cdot\text{d}$ ，能耗：180kgce/t 铅，综合回收率：99%以上，产渣率：5%，烟尘率：8%，渣含铅：2%。同时，采用氧燃技术废气量减少 60%以上，火焰短、温度高，以辐射传热为主，热效率提高 40%，节能 70%以上，炉内冶炼气氛更容易控制；

➤ 采用碱法脱除铅液中金属氧化物和非金属杂质，提高铅液纯净度，改善铅及铅合金的使用性能。

（3）处置系统集成控制

➤ 自动化系统应采用控制技术成熟、可靠性高、性能价格比适宜的设备和元件，保证能在中央控制室通过分散控制系统实现对再生铅冶炼设施各系统集中监视和分散控制；

➤ 对贮存库房、物料传输过程以及短窑熔炼过程的重要环节，应设置现场工业电视监视系统。应设置独立于分散控制系统的紧急停车系统。对重要参数的报警和显示，可设光字牌报警器和数字显示仪；

➤ 冶炼设施的监控系统设计应包括主体设备工艺系统在各种工况下安全、经济运行的参数；仪表和控制用电源、气源、液动源及其他必要条件的供给状态和运行参数；电动、气动和液动阀门的启闭状态及调节阀的开度；辅机运行状态以及必需的环境参数；

➤ 短窑熔炼系统的测量数据、数据处理结果和设施运行状态，应能在监控系统的显示器上得到显示。并应对熔炼烟气中的烟尘、硫氧化物、氮氧化物、氧或一氧化碳、二氧化碳污染物实现在线监测；

➤ 应配置自我检测和热工报警系统，其设计应包括工艺系统主要工况参数偏离正常运行范围以及电源、气源、热工监控系统主要辅机设备发生故障等报警内容，全部报警项目应能在显示器上显示并打印输出。

（4）污染物消减及污染防治措施

➤ 尾气系统由冷却塔、活性炭喷射和布袋除尘器等组成，烟气经过尾气处理系统净化处理达标后，由引风机抽出经烟囱排入大气，其中二噁英的排放限值为 0.5 ngTEQ/Nm^3 ；

➤ 布袋卸灰装置排出的飞灰采用水泥固化处理，固化后送危险废物填埋场填埋处理。残渣运送到生活垃圾填埋场填埋；

➤ 工艺设备产生的噪声采取消声、隔音、减震等措施进行防治。

(5) 技术经济适用性

自动破碎分选-短窑熔炼工艺适合大中型规模的废铅蓄电池集中处理处置，且对含铅原料的适应性较强。

在尾气处理及二噁英减排方面，“急冷+布袋除尘+SCR”工艺减排效果最好，二噁英可控制在 $0.002\sim 0.05\text{ ngTEQ/Nm}^3$ ，运行成本也低，但前期工程投资比较高；“急冷+活性炭注入+布袋除尘”工艺减排效果也很好，二噁英可控制在 0.1 ngTEQ/Nm^3 ，运行成本中等，但前期工程投资较低。

7.5.1.3 节能环保型熔炼炉熔炼技术

(1) 工艺流程

主要工艺流程包括：废铅蓄电池自动化破碎分选、铅泥脱硫、粗铅熔炼、提取精铅和合金铅。回收的废铅蓄电池经自动化破碎分选后得到含铅原料和有机物，有机物进一步分离后出售；分选出的铅网、铅头等直接进入合金熔炼炉配制铅合金；分选得到的铅泥经脱硫转化后进入节能环保型熔炼炉进行熔炼，在炉体内同时实现反应熔炼和沉淀熔炼，得到回收率较高的粗铅；粗铅进入精炼工序，去除杂质、添加合金后炼成精铅和合金铅。具体工艺流程如 7-15 图所示：

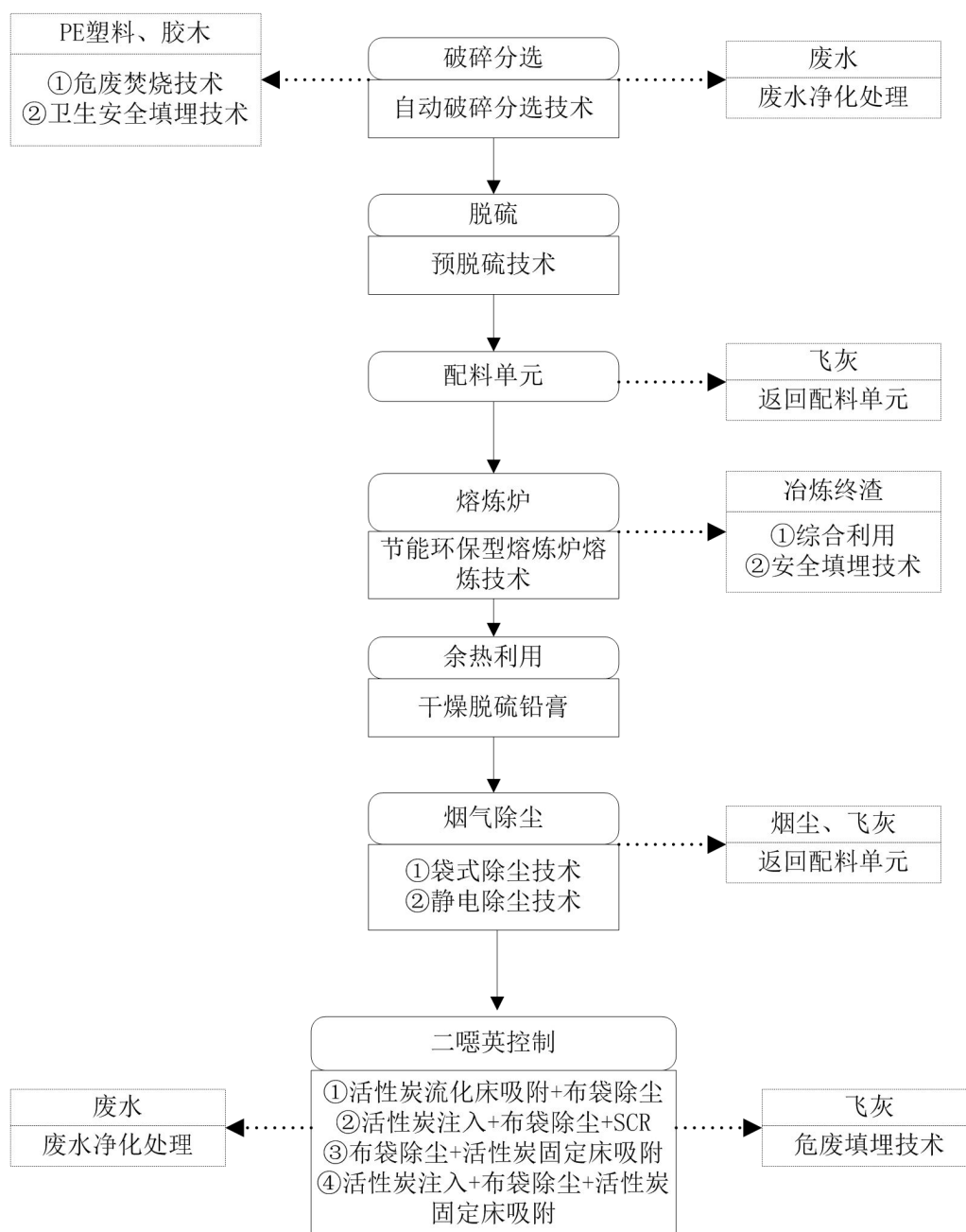


图 7-15 自动破碎分选-节能环保型熔炼炉熔炼可行技术

(2) 可行工艺参数

节能环保型熔炼炉熔炼技术通过对炉体结构、加料装置、搅拌装置、烟尘回收装置的改进，提高热效率和渣的铅回收率。

➤ 采用双室或多室炉体结构，每室都有燃烧装置预热，加料、熔炼等工艺过程能够实现热能互换利用，达到节能目的；

➤ 采用自动连续封闭式加料，整个过程无废烟气逸出，助燃风温在 450℃ 以上；

- 高温全封闭机械化搅拌，整个操作过程自动完成且炉内无气体逸出；
- 全部烟尘通过烟尘回收装置自动返回熔炼炉；
- 采用热风助燃工艺和富氧燃烧技术，提高了热效率。

（3）处置系统集成控制

➤ 自动化系统应采用控制技术成熟、可靠性高、性能价格比适宜的设备和元件，保证能在中央控制室通过分散控制系统实现对再生铅冶炼设施各系统集中监视和分散控制；

➤ 对贮存库房、物料传输过程以及节能环保型熔炼炉熔炼过程的重要环节，应设置现场工业电视监视系统。应设置独立于分散控制系统的紧急停车系统。对重要参数的报警和显示，可设光字牌报警器和数字显示仪；

➤ 冶炼设施的监控系统设计应包括主体设备工艺系统在各种工况下安全、经济运行的参数；仪表和控制用电源、气源、液动源及其他必要条件的供给状态和运行参数；电动、气动和液动阀门的启闭状态及调节阀的开度；辅机运行状态以及必需的环境参数；

➤ 熔炼系统的测量数据、数据处理结果和设施运行状态，应能在监控系统的显示器上得到显示。并应对熔炼烟气中的烟尘、硫氧化物、氮氧化物、氧或一氧化碳、二氧化碳污染物实现在线监测；

➤ 应配置自我检测和热工报警系统，其设计应包括工艺系统主要工况参数偏离正常运行范围以及电源、气源、热工监控系统主要辅机设备发生故障等报警内容，全部报警项目应能在显示器上显示并打印输出。

（4）污染物消减及污染防治措施

该技术将传统锅炉的松散形燃烧方式改为集中喷射冶炼，使燃料成本降低百分之六十六以上。节能降耗，减污增效。性能好、污染少，但生产能力较小。

（5）技术经济适用性

该技术适用于脱硫铅膏等含铅废料的处理。该装置体积小、使用寿命长，具有节能环保的优点。

7.5.2 再生铅湿法冶炼可行技术

7.5.2.1 电解沉积技术

（1）工艺流程

电解沉积技术一般包括自动破碎分选单元、预脱硫单元、浸出单元、铅屑熔炼单元、浸出单元、精炼熔铸单元、气体净化单元、水处理单元、自动控制单元及其他辅助单元等功能单元。具体工艺流程如图 7-16 所示。

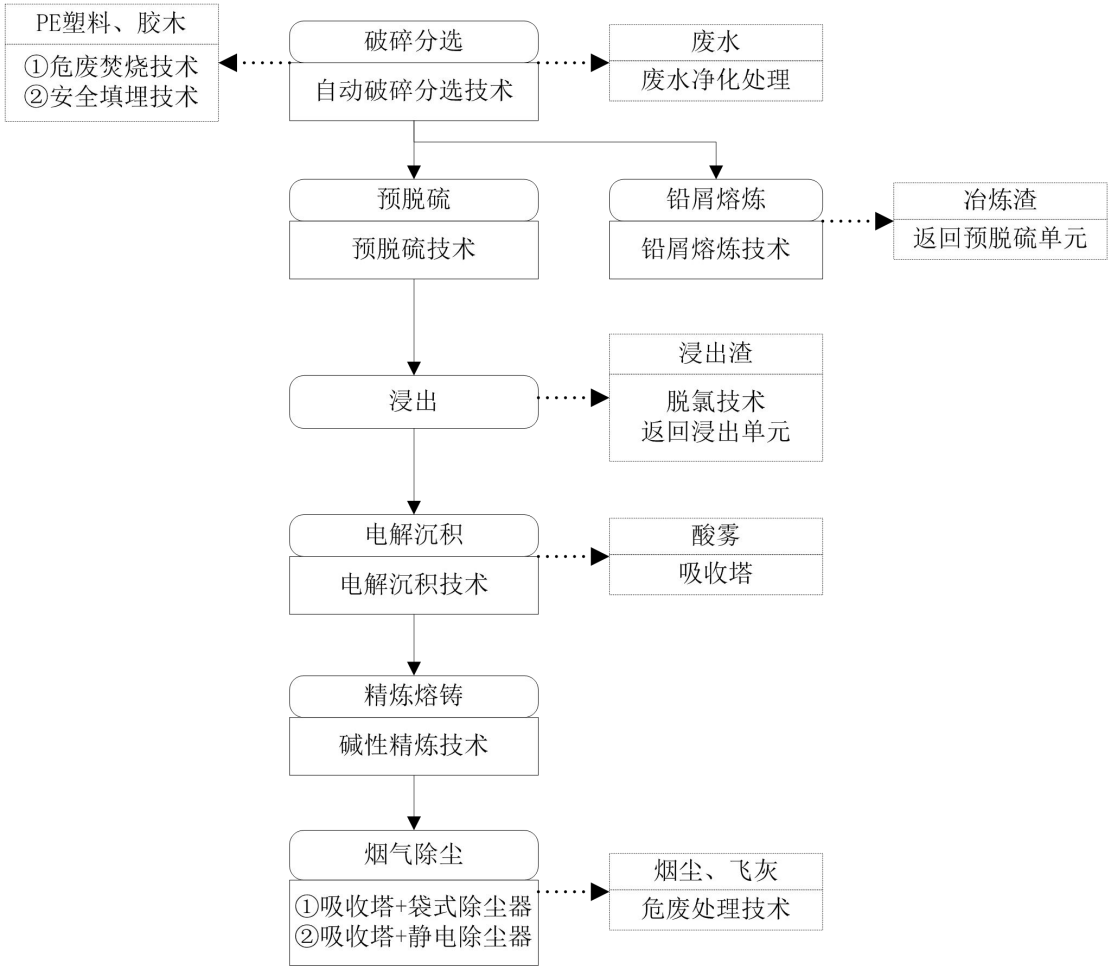


图 7-16 自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术

(2) 工艺参数

- 利用重力分选和筛选技术，确保分选的材料洁净，铅屑含铅膏和其他非金属材料：（ 5%，铅膏的水含量小于 12%；
- 脱硫后铅膏含硫率小于 0.5%；
- 电流密度：500A/m²~800A/m²；
- 同极距：80 mm~90mm；
- 电解液浓度：NaOH 质量百分比浓度为 15%~16%，SO₄²⁻浓度<72g/L；
- 电解周期：24h~36h；
- 产品质量：铅主品位≥99.9%；
- 弃渣含铅：<0.6%；

➤ 废气净化装置过滤器的过滤尺寸不应大于 $0.2\mu\text{m}$ ，耐温不低于 140°C 。过滤器应设置进出气阀、压力表和排水阀，设计流量应与处理规模相适应，过滤效率应在 99.999% 以上，以便确保废气和二噁英等达标排放；

➤ 预处理工序工艺技术参数

➤ 矿浆固液质量比：2.0~4.5；

➤ 硫温度： $>55^{\circ}\text{C}$ ；

➤ 反应时间 30 min ~75min；

➤ 电解沉积工序工艺技术参数

➤ 电解液组成：总酸 120 g/L ~160g/L，铅 95 g/L ~150g/L；

➤ 电解液温度： 25°C ~ 45°C ；

➤ 电流密度： 120 A/m^2 ~ 200 A/m^2 ；

➤ 熔铸工序工艺技术参数

➤ 阴极制作温度： 380°C ~ 450°C ；

➤ 捞渣温度： $>450^{\circ}\text{C}$ ；

➤ 搅拌时间：30min~40min；

➤ 铅水温度： 450°C ~ 540°C ；

➤ 铸型温度： 450°C ~ 500°C 。

（3）处理系统集成控制

➤ 自动化系统应采用控制技术成熟、可靠性高、性能价格比适宜的设备和元件，保证能在中央控制室通过分散控制系统实现对冶炼设施各系统集中监视和分散控制；

➤ 对贮存库房、物料传输过程以及破碎分选过程的重要环节，应设置现场工业电视监视系统。应设置独立于分散控制系统的紧急停车系统。对重要参数的报警和显示，可设光字牌报警器和数字显示仪；

➤ 冶炼设施的监控系统设计应包括主体设备工艺系统在各种工况下安全、经济运行的参数；仪表和控制用电源、气源、液动源及其他必要条件的供给状态和运行参数；电动、气动和液动阀门的启闭状态及调节阀的开度；辅机运行状态以及必需的环境参数；

➤ 再生铅精炼熔铸系统的测量数据、数据处理结果和设施运行状态，应能在监控系统的显示器上得到显示。并应对熔炼烟气中的烟尘、硫氧化物、氮氧化物、氧或一氧化碳、二氧化碳污染物实现在线监测；

➤ 应配置自我检测和热工报警系统，其设计应包括工艺系统主要工况参数偏离正常运行范围以及电源、气源、热工监控系统主要辅机设备发生故障等报警内容，全部报警项目应能在显示器上显示并打印输出。

(4) 污染物消减及污染防治措施

➤ 尾气系统由冷却塔、活性炭喷射和布袋除尘器等组成，烟气经过尾气处理系统净化处理达标后，由引风机抽出经烟囱排入大气，其中二噁英的排放限值为 0.5 ngTEQ/Nm³；

➤ 布袋卸灰装置排出的飞灰采用水泥固化处理，固化后送危险废物填埋场填埋处理。残渣运送到生活垃圾填埋场填埋；

➤ 工艺设备产生的噪声采取消声、隔音、减震等措施进行防治。

7.5.2.2 固相电还原技术

(1) 工艺流程

固相电还原可行技术一般包括自动破碎分选单元、预脱硫单元、固相电解单元、铅屑熔炼单元、浸出单元、精炼熔铸单元、气体净化单元、水处理单元、自动控制单元及其他辅助单元等功能单元。具体工艺流程如图 7-17 所示。

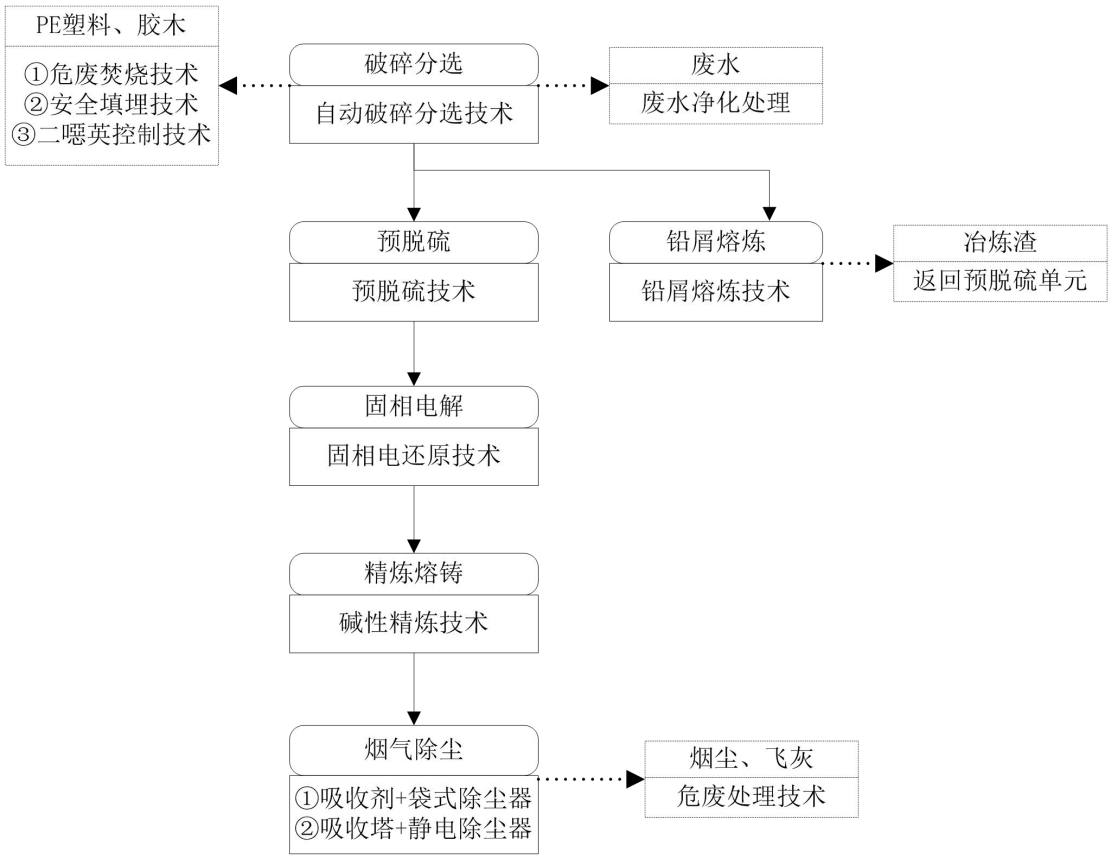


图 7-17 自动破碎分选-固相电还原技术

（2）工艺参数

- 利用重力分选和筛选技术，确保分选的材料洁净，铅屑含铅膏和其他非金属材料： $\leq 5\%$ ，铅膏的水含量小于 12% ；
- 脱硫后铅膏含硫率小于 0.5% ；
- 电流密度： $500\text{A}/\text{m}^2 \sim 800\text{A}/\text{m}^2$ ；
- 同极距： $80\text{ mm} \sim 90\text{mm}$ ；
- 电解液浓度： NaOH 质量百分比浓度为 $15\% \sim 16\%$ ， SO_4^{2-} 浓度 $< 72\text{g/L}$ ；
- 电解周期： $24\text{h} \sim 36\text{h}$ ；
- 产品质量：铅主品位 $\geq 99.9\%$ ；
- 弃渣含铅： $< 0.6\%$ ；
- 废气净化装置过滤器的过滤尺寸不应大于 $0.2\mu\text{m}$ ，耐温不低于 140°C 。过滤器应设置进出气阀、压力表和排水阀，设计流量应与处理规模相适应，过滤效率应在 99.999% 以上，以便确保废气和二噁英等达标排放。

（3）处理系统集成控制

- 自动化系统应采用控制技术成熟、可靠性高、性能价格比适宜的设备和元件，保证能在中央控制室通过分散控制系统实现对废铅蓄电池铅回收设施各系统集中监视和分散控制；
- 对贮存库房、物料传输过程以及破碎分选过程的重要环节，应设置现场工业电视监视系统。应设置独立于分散控制系统的紧急停车系统。对重要参数的报警和显示，可设光字牌报警器和数字显示仪；
- 冶炼的监控系统设计应包括主体设备工艺系统在各种工况下安全、经济运行的参数；仪表和控制用电源、气源、液动源及其他必要条件的供给状态和运行参数；电动、气动和液动阀门的启闭状态及调节阀的开度；辅机运行状态以及必需的环境参数；
- 再生铅精炼熔铸系统的测量数据、数据处理结果和设施运行状态，应能在监控系统的显示器上得到显示。并应对熔炼烟气中的烟尘、硫氧化物、氮氧化物、氧或一氧化碳、二氧化碳污染物实现在线监测；
- 应配置自我检测和热工报警系统，其设计应包括工艺系统主要工况参数偏离正常运行范围以及电源、气源、热工监控系统主要辅机设备发生故障等报警内容，全部报警项目应能在显示器上显示并打印输出。

（4）污染物消减及污染防治措施

➤ 尾气系统由冷却塔、活性炭喷射和布袋除尘器等组成，烟气经过尾气处理系统净化处理达标后，由引风机抽出经烟囱排入大气，其中二噁英的排放限值为 0.5 ngTEQ/Nm³；

➤ 布袋卸灰装置排出的飞灰采用水泥固化处理，固化后送危险废物填埋场填埋处理。残渣运送到生活垃圾填埋场填埋；

➤ 工艺设备产生的噪声采取消声、隔音、减震等措施进行防治。

7.5.3 技术应用中的注意事项

再生铅行业的污染控制应从源头减排、过程控制和末端治理三个方面抓起，遵循全生命周期原则，减少污染物排放。根据《再生铅行业准入条件》、《铅蓄电池行业准入条件》、《铅蓄电池行业现场环境监察指南（试行）》、《废铅酸蓄电池处理污染控制技术规范》等规范和标准关于再生铅行业的环境管理要求，做出如下要求。

7.5.3.1 环境管理通用要求

➤ 加强操作管理，建立岗位操作规程，制定应急预案，定期对员工进行技术培训和演练；

➤ 加强生产设备的使用，维护和维修，保证设备正常运行；

➤ 重视污染物的检测和计量管理工作，定期进行全厂物料平衡测试；

➤ 建立健全各项记录和生产管理制度。

7.5.3.2 大气污染治理环境管理实践

➤ 除尘设备的进出口必须设置温度、压力检测装置及含尘量检测孔。对于送制酸的烟气，可在风机出口处设流量和二氧化硫检测装置；

➤ 采用袋式除尘除尘器或电除尘器时，应有防止烟气结露的可靠的措施，如采取外保温措施，必要时可采取蒸气保温或电加热保温。由于熔炼炉烟气中二氧化硫浓度较高，烟气露点一般在 200℃左右，应严格控制除尘系统的操作温度高出烟气露点 30℃以上；

➤ 烟囱入口烟气的温度、压力、流量、含尘量、二氧化硫浓度应进行不定期在线连续检测；

➤ 除尘系统在负压下操作，以避免有害气体的溢出。排灰设备应密闭良好，防止二次污染的发生。

7.5.3.3 水污染治理环境管理实践

- 重视全厂节水管理，分别设计雨污分流系统、清浊分流系统，并加强各类废水的处理和回用，根据用水水质要求实现废水梯级利用，尽量减少排水；
- 废水管线和处理设施设置防渗、防止有害污染物进入地下水；生产区和污水治理区初期雨水进行合并治理；
- 制定环境监测计划，对酸性废水处理站进出口水质定期进行监测，监测频率每天不得少于 1 次，监测因子应至少包括水量、pH、Pb、As、Cd、Cu、Zn 等。

7.5.3.4 固体废物综合利用及处置环境管理实践

- 对固体废物处置场渗滤液及其处理后的排放水、地下水、大气进行常规监测；
- 固体废物处置场使用单位应建立日常检查维修制度；
- 各类固体废物需分开堆存，暂存场都必须完成地面硬化，防止固体废物污染土壤，要加盖雨篷和围墙（高度不小于物料堆积高度的 1/4），防止雨水冲刷，确保污染物不扩散；
- 场内暂存危险废物应按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597）的要求进行建设，并在渣场外设置标识。暂存渣场的渣要及时清运，运渣车要加强管理，避免沿路洒漏。危险废物转运采用封闭车辆，以防止沿途遗撒。

8 可行技术指南实施环境效益与经济效益分析

8.1 再生铅冶炼采用可行技术环境效益分析

8.1.1 再生铅火法冶炼采用可行技术环境效益分析

再生铅火法冶炼技术作为目前我国处理废铅蓄电池铅等含铅废料的重要技术选择，还将在以后再生铅处理过程中发挥重要的作用。通过采用可行技术，对于推进铅粉尘、重金属、二噁英及 SO₂ 等污染物的排放产生积极的影响，环境效益显著，该技术指南的应用将会对环境效益产生积极的影响。

8.1.2 再生铅湿法冶炼采用可行技术环境效益分析

再生铅湿法冶炼技术作为传统火法的替代技术，因其所具有的运营成本低、社会易接受程度高、环保节能等优点将具有广泛的应用前景，同火法铅冶炼设施相比，将极大的推进二噁英、铅等重金属的减排，环境效益显著。就湿法铅回收

技术而言，其排放的污染物主要为酸雾或碱雾和少量的粉尘，但是通过加强管理，推进过程控制和末端控制，规范处置设施运行管理，将会有效的控制相关污染物的产生和排放。

另外，通过推进采用可行技术，对于推进国内相关技术的研发和应用，全面推进湿法冶炼过程中酸雾或碱雾等的污染控制将会起到积极的作用。

8.2 再生铅冶炼采用可行技术经济效益分析

8.2.1 再生铅火法冶炼采用可行技术经济效益分析

8.2.1.1 自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术经济效益分析

（1）投资成本

自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术的直接工程投资包括废铅蓄电池贮存库、自动破碎分选系统、制氧站、富氧底吹熔炼系统、铅屑熔炼系统、环保治理系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 8-1 以 350t/d 的火法铅回收规模为例，进行工程投资分析。

表 8-1 自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位产能投资（万元/万吨）
		单项投资	总投资	
自动破碎分选-富氧底吹熔炼技术	废铅蓄电池贮存库	1000	41000	4100
	自动破碎分选系统	7000		
	配料系统及物料运输系统	2000		
	制氧站	3000		
	富氧底吹熔炼系统	12000		
	铅屑熔炼系统	1000		
	余热利用系统	3000		
	废水净化处理系统	3000		
	废气污染控制系统（冷却塔、吸收塔、除尘器）	5000		
	噪声污染控制系统设备	1000		
	配电、自动控制系统及其他配套设施	3000		

（2）运行成本

自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术的运行成本包括设备折旧、原辅材料消耗、动力消耗、财务费用、人力费用、融资费用及环保治理费等费用。表 8-2 以 350t/d 的火法铅回收规模为例，进行运行成本分析。

表 8-2 自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术运行成本分析

技术名称	主要设备	单位成本（元/t）
自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术	原辅材料费	1328
	燃料动力费	
	工资及福利费	
	修理费	
	设备折旧（10 年）	
	摊销费	
	财务费用	
	环保治理费	
	其他费用	

8.2.1.2 自动破碎分选-短窑熔炼技术经济效益分析

（1）投资成本

自动破碎分选-短窑熔炼技术的直接工程投资包括废铅蓄电池贮存库、自动破碎分选系统、制氧站、短窑熔炼系统、铅屑熔炼系统、余热利用系统、环保治理系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 8-3 以 350t/d 的火法铅回收规模为例，进行工程投资分析。

表 8-3 自动破碎分选-短窑熔炼技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位产能投资（万元/万 t）
		单项投资	总投资	
自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术	废铅蓄电池贮存库	1000	41000	4100
	自动破碎分选系统	7000		
	配料系统及物料运输系统	2000		
	制氧站	3000		
	短窑熔炼系统	12000		
	铅屑熔炼系统	1000		
	余热利用系统	3000		
	废水净化处理系统	3000		
	废气污染控制系统（冷却塔、吸收塔、除尘器）	5000		
	噪声污染控制系统设备	1000		
	配电、自动控制系统及其他配套设施	3000		

（2）运行成本

自动破碎分选-短窑熔炼技术的运行成本包括原辅材料消耗、燃料动力消耗、工资及福利费、修理费、设备折旧、财务费用、其他费用及环保治理费等费用。表 8-4 以 350t/d 的火法铅回收规模为例，进行运行成本分析。

表 8-4 自动破碎分选--短窑熔炼技术运行成本分析

技术名称	主要设备	单位成本（元/t）
自动破碎分选-短窑熔炼炉熔炼技术	原辅材料费	1378
	燃料动力费	
	工资及福利费	
	修理费	
	设备折旧（10 年）	
	摊销费	
	财务费用	
	环保治理费	
	其他费用	

8.2.1.3 自动破碎分选-节能环保型熔炼炉熔炼技术经济效益分析

（1）投资成本

自动破碎分选-节能环保型熔炼炉熔炼技术的直接工程投资包括废铅蓄电池贮存库、自动破碎分选系统、制氧站、改进型反射炉熔炼系统、铅屑熔炼系统、余热利用系统、环保治理系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 8-5 以 350t/d 的火法铅回收规模为例，进行工程投资分析。

表 8-5 自动破碎分选-节能环保型熔炼炉熔炼技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位产能投资（万元/万 t）
		单项投资	总投资	
自动破碎分选-富氧底吹熔炼炉熔炼技术	废铅蓄电池贮存库	1000	37000	3700
	自动破碎分选系统	7000		
	配料系统及物料运输系统	2000		
	制氧站	3000		
	改进型反射炉熔炼系统	8000		
	铅屑熔炼系统	1000		
	余热利用系统	3000		
	废水净化处理系统	3000		
	废气污染控制系统（冷却塔、吸收塔、除尘器）	5000		
	噪声污染控制系统设备	1000		
	配电、自动控制系统及其他配套设施	3000		

（2）运行成本

自动破碎分选-节能环保型熔炼炉熔炼技术的运行成本包括原辅材料消耗、燃料动力消耗、工资及福利费、修理费、设备折旧、财务费用、其他费用及环保治理费等费用。表 8-6 以 350t/d 的火法铅回收规模为例，进行运行成本分析。

表 8-6 自动破碎分选--短窑熔炼技术运行成本分析

技术名称	主要设备	单位成本（元/t）
自动破碎分选-节能环保型熔炼炉熔炼技术	原辅材料费	1328
	燃料动力费	
	工资及福利费	
	修理费	
	设备折旧（10 年）	
	摊销费	
	财务费用	
	环保治理费	
	其他费用	

8.2.2 再生铅湿法冶炼采用污染控制可行技术经济效益分析

8.2.2.1 自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术经济效益分析

（1）投资成本

自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术的直接工程投资包括废铅蓄电池贮存库、自动破碎分选系统、物料运输系统、预脱硫及脱硫剂再生系统、脱氧系统、电解沉积系统、精炼熔铸系统、环保治理系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 8-7 以 160t/d 的湿法铅回收规模为例，进行工程投资分析。

表 8-7 自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位产能投资（万元/万 t）
		单项投资	总投资	
自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术	废铅蓄电池贮存库	1000	27000	4000
	自动破碎分选系统	7000		
	物料运输系统	2000		
	预脱硫及脱硫剂再生系统	2000		
	脱氧系统	1000		
	电解沉积系统	4000		
	精炼熔铸系统	1000		
	余热利用系统	3000		
	废水净化处理系统	1000		
	废气污染控制系统（冷却塔、吸收塔、除尘器）	1000		
	噪声污染控制系统设备	1000		
	配电、自动控制系统及其他配套设施	3000		

(2) 运行成本

自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术的运行成本包括设备折旧、原辅材料消耗、动力消耗、财务费用、人力费用、融资费用及环保治理费等费用。表 8-8 以 350t/d 的湿法铅回收规模为例，进行运行成本分析。

表 8-8 自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术运行成本分析

技术名称	主要设备	单位成本（元/t）
自动破碎分选-预脱硫-电解沉积技术	原辅材料费	1453
	燃料动力费	
	工资及福利费	
	修理费	
	设备折旧（10 年）	
	摊销费	
	财务费用	
	环保治理费	
	其他费用	

8.2.2.2 自动破碎分选-固相电还原技术经济效益分析

(1) 投资成本

自动破碎分选-固相电还原技术的直接工程投资包括废铅蓄电池贮存库、自动破碎分选系统、物料运输系统、预脱硫及脱硫剂再生系统、固相电还原系统、铅屑熔炼系统、精炼熔铸系统、环保治理系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 8-9 以 160t/d 的湿法铅回收规模为例，进行工程投资分析。

表 8-9 自动破碎分选-固相电还原技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位产能投资（万元/万 t）
		单项投资	总投资	
自动破碎分选-固相电还原技术	废铅蓄电池贮存库	1000	22000	4000
	自动破碎分选系统	7000		
	物料运输系统	2000		
	预脱硫及脱硫剂再生系统	3000		
	固相电还原系统	2000		
	铅屑熔炼系统	500		
	精炼熔铸系统	1000		
	余热利用系统	2000		
	废水净化处理系统	500		
	废气污染控制系统（冷却塔、吸收塔、除尘器）	500		
	噪声污染控制系统设备	500		
	配电、自动控制系统及其他配套设施	2000		

（2）运行成本

自动破碎分选-固相电还原技术的运行成本包括设备折旧、原辅材料消耗、动力消耗、财务费用、人力费用、融资费用及环保治理费等费用。表 8-10 以 100t/d 的湿法铅回收规模为例，进行运行成本分析。

表 8-10 自动破碎分选-固相电还原技术运行成本分析

技术名称	主要设备	单位成本 (元/t)
自动破碎分选-固相电还原技术	原辅材料费	1398
	燃料动力费	
	工资及福利费	
	修理费	
	设备折旧（10 年）	
	摊销费	
	财务费用	
	环保治理费	
	其他费用	

9 指南实施建议

本指南围绕再生铅冶炼过程中污染防治的实施需要，在对再生铅冶炼污染防治技术进行系统分析和评估的基础上，结合国际发展趋势和要求，提出了可行技术和环境管理要求，对于推进再生铅冶炼污染防治等方面工作具有重要的指导意义。

再生铅冶炼污染防治可行技术应围绕如何更好的实现再生铅冶炼污染防治而展开。针对我国再生铅冶炼污染防治可行技术实施提出如下建议：

（1）我国应充分结合再生铅冶炼行业的特点以及区域资源、能源分布情况，围绕可行技术和环境实践要求，选择切实可行的处置技术，解决区域性的再生铅冶炼管理和处置问题。

（2）再生铅冶炼污染防治技术和管理模式的优化要将全过程管理理念纳入到再生铅冶炼污染防治技术应用过程，切实解决再生铅冶炼过程中的污染控制问题，并将其纳入再生铅冶炼污染控制和管理实践中去。

（3）再生铅冶炼污染防治技术和管理模式优化需要建立切实可行的技术优化评价方法。应进一步落实性能评价方法的应用，推进实现含铅废料的安全化和无害化管理和处置。