
附件 3

《铅冶炼废气治理工程技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

项目名称： 铅冶炼废气治理工程技术规范

项目统一编号： 2011-17

承担单位： 云南亚太环境工程设计研究有限公司、昆明冶金研究院、昆明有色冶金设计研究院股份公司、云南驰宏锌锗股份有限公司

编制组主要成员： 曾子平、刘应隆、刘成、栾景丽、谢益民、黄立明、周锡飞、杨勇、欧根能、杨超、李晓阳、侯伊仲、何艳明、谢刚

标准所技术管理负责人： 姚芝茂

技术处项目管理人： 姜宏

目 次

1 任务来源	1
2 标准制定必要性	1
2.1 国内大气污染治理的需要	3
2.2 重金属污染治理的需要	5
3 主要工作过程	7
4 国内外相关标准研究	9
4.1 国内相关政策和标准	9
4.2 国外铅企业废气排放的环保标准	15
5 同类工程现状调研	18
5.1 我国铅冶炼工艺及其烟气特点	20
5.2 铅冶炼废气治理工程技术	25
5.3 国外铅冶炼治理情况	42
6 主要技术内容及说明	44
6.1 适用范围及总体要求说明	44
6.2 污染物和污染负荷	46
6.3 工艺设计篇	46
7 标准实施的环境效益与经济技术分析	53
8 标准实施建议	54

《铅冶炼废气治理工程技术规范》

编制说明

1 任务来源

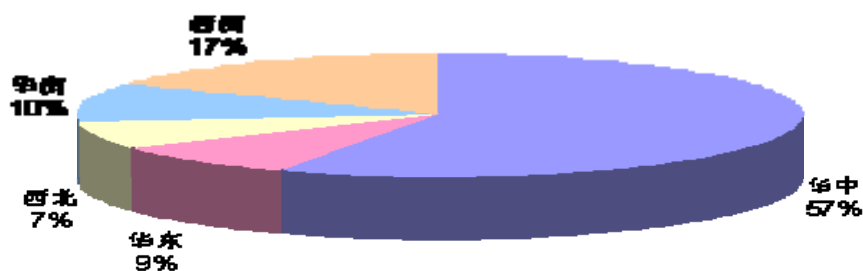
项目列入环境保护部计划《关于开展 2011 年度国家环境技术管理项目工作的通知》（环办函[2011]565 号）文件，其中提出了制定《铅冶炼废气治理工程技术规范》（项目编号 2011-17）行业标准的任务。

项目承担单位为云南亚太环境工程设计研究有限公司，参编单位有昆明冶金研究院、昆明有色冶金设计研究院股份公司、云南驰宏锌锗股份有限公司。

2 标准制定必要性

中国是全球最大的铅锌产出国，其中精铅产量占全球产量的 34%。过去 10 年间，铅锌冶炼产能急剧扩张。从安泰科公布的数据看，2000 年精铅产能在 110 万吨；2010 年我国铅冶炼产能由 2009 年的 445 万吨增加至 498 万吨，增幅在 12% 左右；2012 年我国累计产精铅 464.57 万吨，与 2011 年的 464.77 万吨基本持平。10 年间我国精铅产能年均递增 28%。分地区看，新增产能主要集中在河南、湖南、云南等主要精铅生产地区。据中国有色金属工业协会统计，2009 年我国规模以上的铅锌企业 1374 家，其中采选企业 754 家，冶炼企业 620 家。“受国内外经济形势影响，我国有色金属行业发展面临前所未有的挑战。”中国有色金属工业协会副会长尚福山表示，虽然经过多方努力，我国有色金属行业在 2012 年保持整体平稳健康的发展态势，产量持续增长，价格触底企稳，但企业经营依然困难。全国有色金属行业 2012 年实现利润约 5350 亿元，比上年下降约 20%，而且回升动力不足。另一方面，国家和地方近年来对重金属排放设置了更高的标准，这就要求涉重企业改进技术，优化工艺；而重金属污染事故频发使得越来越多的人“谈铅色变”，也要求企业在做好沟通工作的同时，更要注重在绿色、低碳方面发展。

2010年5万吨/年以上冶炼企业产能分布



数据来源: SMM

随着铅冶炼行业的发展，对大气的污染和其它环境的污染也随之加剧，近几年来国内重金属污染事件频发，特别是“血铅”事件给人民群众的生命财产造成了重大损失。铅污染是重金属污染中危害最为严重的环节之一，铅的人为排放是造成铅污染的重要原因。在工业“三废”中，铅冶炼过程中产生的废气，是造成环境污染的重要来源。

铅锌生产行业是造成大气污染和重金属污染的重要来源之一，其中铅冶炼废气中含有大量 SO_2 、氮氧化物以及重金属的烟尘，是造成铅工业污染的重要来源。其中最直接的污染物为 SO_2 和烟尘中的重金属。在铅锌冶炼企业中，年产能能在 5 万吨以上的大中型企业由于资本雄厚，可以在环保方面进行较大投资，减少环境污染；而产能在 5 万吨以下的小型冶炼企业，在环保方面投入相对较小，环境污染严重。据中商情报网统计我国铅锌产能的 80%以上为小型冶炼企业，由此造成的环境污染不容小觑。

2012 年一季度中国铅锌冶炼行业不同类型企业数量分布图



针对国内铅冶炼企业现状，“十一五”期间国家对工艺落后、污染严重，能耗高

的铅冶炼企业进行了大力整顿。特别是各地发生的多起“血铅”事件，加快了国家推动落后产能淘汰的步伐。2012年全国铅冶炼淘汰落后产能企业名单已经公布，涉及47家铅冶炼企业，累计产能115万吨。通过环保整顿，湖南、河南、江西等地的小型铅企基本被关闭，其中以湖南和河南地区最为严重。铅企中的大企业目前尚未受到停产的威胁，但是已经受到各地环保部门严格监管，中型企业面临最为尴尬的位置，一方面环保压力较重，另一方面企业停产涉及当地税收和就业，许多都处在半生产半停工的状态。

2.1 国内大气污染治理的需要

我国铅冶炼行业多采用硫化矿为原料，在生产中产生了大量含SO₂烟气。根据物料平衡核算，生产1t的金属铅约有0.5t的硫进入冶炼流程，因此，生产1吨粗铅进入烟气中的SO₂约为1000kg左右，加上所采用燃料和一些工艺中为提高烟气浓度所配入的其它硫化矿物，熔炼过程中产生的含SO₂烟气量更为庞大。从国内各大铅锌冶炼厂生产情况来看，采用烧结鼓风炉法炼铅每吨铅废气排放量在37060~154110m³/t之间，ISP法炼铅锌在100000m³/t铅左右，直接炼铅法废气排放量则在20000~30000m³/t以内，有的企业甚至在10000m³/t铅以内；SO₂的主要排放源制酸尾气、鼓风炉、烟化炉等的烟气排放量约为6000~15000m³/t。如按颗粒物与SO₂排放标准计，则每吨粗铅颗粒物排放量约为1.6~12kg/t，SO₂排放量约为4~10kg/t。

SO₂是造成大气污染的最主要污染物之一，严重影响到我国的生态环境和人民健康。“十一五”期间，我国大气污染治理取得了巨大的成绩。国家“十一五”规划提出，“十一五”期间主要污染物排放总量减少10%的约束性指标。要求到2010年，全国化学需氧量和二氧化硫排放量分别比2005年下降10%，即化学需氧量排放量由2005年的1414.2万吨减少到1272.8万吨，二氧化硫排放量由2005年的2549.4万吨减少到2294.4万吨。截至2010年底，当年化学需氧量排放总量1238.1万吨；二氧化硫排放总量2185.1万吨。与2005年相比，化学需氧量和二氧化硫排放总量分别下降12.45%和14.29%，均全面超额完成10%的减排任务。

表 2-1 全国废气中主要污染物排放量年际变化

项目	二氧化硫排放量(万吨)			烟尘排放量(万吨)			工业粉尘排放量(万吨)
	合计	工业	生活	合计	工业	生活	
2006	2588.8	2234.8	354.0	1088.8	864.5	224.3	808.4
2007	2468.1	2140.0	328.1	986.6	771.1	215.5	698.7
2008	2321.2	1991.3	329.9	901.6	670.7	230.9	584.9
2009	2214.4	1866.1	348.3	847.2	603.9	243.3	523.6
2010	2185.1	1864.4	320.7	829.1	603.2	225.9	448.7

国家“十二五”规划中明确提出，到2015年“主要污染物排放总量显著减少，化学需氧量、二氧化硫排放分别减8%，氨氮、氮氧化物排放分别减少10%”。

国家环境保护“十二五”规划也提出，要“加大二氧化硫和氮氧化物减排力度”、“加强水泥、石油石化、煤化工等行业二氧化硫和氮氧化物治理。石油石化、有色、建材等行业的工业窑炉要进行脱硫改造”、“实施多种大气污染物综合控制”。

国务院总理李克强2013年6月14日主持召开国务院常务会议，部署大气污染防治十条措施。会议认为，大气污染防治既是重大民生问题，也是经济升级的重要抓手。我国日益突出的区域性复合型大气污染问题是长期积累形成的。治理好大气污染是一项复杂的系统工程，需要付出长期艰苦不懈的努力。当前必须突出重点、分类指导、多管齐下、科学施策，把调整优化结构、强化创新驱动和保护环境生态结合起来，用硬措施完成硬任务，确保防治工作早见成效，促进改善民生，培育新的经济增长点。国务院9月10日发布《大气污染防治行动计划》，要求以邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观为指导，以保障人民群众身体健康为出发点，大力推进生态文明建设，坚持政府调控与市场调节相结合、全面推进与重点突破相配合、区域协作与属地管理相协调、总量减排与质量改善相同步，形成政府统领、企业施治、市场驱动、公众参与的大气污染防治新机制，实施分区域、分阶段治理，推动产业结构优化、科技创新能力增强、经济增长质量提高，实现环境效益、经济效益与社会效益多赢，为建设美丽中国而奋斗。为我国未来五年大气污染防治勾勒出一幅明晰的路径图。

铅冶炼行业作为大气污染的重要来源之一，是国家“十二五”环境保护重点治理行业。对铅冶炼行业废气治理进行规范和引导，将对大气污染治理起到重要作用。

2.2 重金属污染治理的需要

经分析，在铅冶炼行业产生和排放的烟尘颗粒物成分中，铅、锌、汞、砷等重金属及其化合物占了很大比重。烟尘颗粒物随废气排放到空气中后，在随风传播扩散的同时发生一系列化学变化，之后自然沉降或随雨水降落到地面，直接污染了土壤、水体和农作物，造成不可逆的危害。因此，在控制颗粒物的同时，也同时控制了通过烟气所造成的重金属污染。

铅锌冶炼属于高能耗、高污染的行业，提高节能减排技术水平和管理水平非常重要。节能减排水平将体现整个行业的技术水平，决定整个行业的生存发展。随着铅冶炼行业的发展，对大气的污染和其它环境的污染也随之加剧，近几年来国内重金属污染事件频发，特别是“血铅”事件给人民群众的生命财产造成了重大损失。铅污染是重金属污染中危害最为严重的环节之一，铅的人为排放是造成铅污染的重要原因。在工业“三废”中，铅冶炼过程中产生的废气，是造成环境污染的重要来源。环保部部长周生贤强调指出，采矿、冶炼、铅蓄电池、皮革及其制品、化学原料及其制品五大行业成为重金属污染防治的重点行业。

“十一五”期间，国家对重金属环境污染情况加大了检查和处罚力度。各地认真贯彻落实《国务院办公厅关于转发环境保护部等部门加强重金属污染防治工作的指导意见》，组织编制重金属污染防治规划。仅2010年，查处重金属排放企业11515家，较上年增加约20%。共查处违反建设项目环保法律法规企业1731家，违反危险废物管理规定企业373家，淘汰生产工艺、设备落后企业337家。对14个重点省（自治区）的41个地市的503家重金属排放企业进行了现场督查，对2个区域性环境违法问题和8家企业环境违法案件及突出问题实施挂牌督办。查处57家二氧化硫超标排放企业、19家化学需氧量超标排放污水处理厂和136家其它污染物超标排放企业。颁布了《环境行政执法后督察办法》，进一步规范了后督察工作。

国家环境保护“十二五”规划提出，要“加大二氧化硫和氮氧化物减排力度”、“加强水泥、石油石化、煤化工等行业二氧化硫和氮氧化物治理。石油石化、有色、建材等行业的工业窑炉要进行脱硫改造”、“实施多种大气污染物综合控制”、“严格污染源监管，减少含汞、铅和二噁英等有毒有害废气排放”、“遏制重金属污染事件高发态势。加强重点行业和区域重金属污染防治。以有色金属矿（含伴生矿）采选业、有色金属冶炼业、铅蓄电池制造业、皮革及其制品业、化学原料及化学制品制

造业等行业为重点，加大防控力度，加快重金属相关企业落后产能淘汰步伐。合理调整重金属相关企业布局，逐步提高行业准入门槛，严格落实卫生防护距离。坚持新增产能与淘汰产能等量置换或减量置换，禁止在重点区域新改扩建增加重金属污染物排放量的项目。鼓励各省（区、市）在其非重点区域内探索重金属排放量置换、交易试点。制定并实施重点区域、行业重金属污染物特别排放限值。”规划首次提出重金属总量控制的目标，意味着重金属污染防治将采取总量控制与浓度控制相结合的思路。

按照规划，“十二五”期间，我国铅锌工业的发展必须以环境保护和资源综合利用作为首要任务。重金属污染综合防治是“十二五”规划中的工作重点。涉及14类重点防控的重金属污染物、14个重点省份、138个重金属污染防控重点区域、9类重金属污染防控重点行业、4452家重金属污染防控重点企业。

重金属污染综合防治“十二五”规划中，提出了“十二五”期间重金属污染防治的具体目标，到2015年，重点区域的铅、汞、铬、镉和类金属砷等重点重金属污染排放量比2007年减少15%，非重点区域的重点重金属污染排放量不超过2007年的水平，重金属污染得到有效控制。

“有色金属工业发展的障碍是资源、能源和环境。”中国工程院院士邱定蕃表示，环境污染是铅锌冶炼的主要问题，而环境保护是铅锌冶炼企业的生命线。我国有色金属产量增加主要靠扩大采选、冶炼企业的规模，但这是不可持续的。随着生产规模扩大，污染物排放总量将继续上升。重金属冶炼“三废”及污染场地修复问题一直都是有色金属行业重金属污染防控的难题。虽然公众“谈铅色变”，但经济社会发展又离不开铅，那么污染问题应如何解决？专家的建议是“官、产、学、研结合”。我国铅锌冶炼的主流工艺技术已经处于世界先进水平，但还应进一步淘汰落后产能。企业则要做好物料衡算，尤其是重金属污染源的解析，弄清楚重金属污染元素的去向，对症下药。一旦出了问题，企业也能进一步追根溯源。

2.3 制定铅冶炼废气治理工程技术规范，推动行业健康发展

控制铅污染，要遵循“源头控制、多措并举”的方针，在铅锌矿采选、铅锌冶炼、再生铅生产和铅制品加工等行业中，严格控制污染物的产生和排放，要加强执法力度，坚决淘汰落后工艺和产能，严格相关标准、规范，依法关闭环保不达标的

企业。现有和新建的铅企业除采用新的冶炼技术和对现有工艺进行更新改造外，对铅冶炼产生的废气进行高标准综合治理也是很重要的。2009年11月13日环保部发布了《清洁生产标准 粗铅冶炼业》、《清洁生产标准铅电解业》，为铅冶炼工业企业开展清洁生产提供技术支持和导向；2010年9月27日环保部发布了《铅、锌工业污染物排放标准》，提高了铅锌冶炼排放污染物的标准。这几项标准的发布直接对铅冶炼的污染物排放做了硬性规定，必将促进铅冶炼企业选用先进技术进行整改，进一步减少环境污染，推动行业的整体发展。可以看出，对于铅冶炼行业，未来中国对企业环境污染物要求将会更加严格。

“十二五”期间，我国铅锌冶炼行业面临更加严峻的环保以及节能减排压力。企业需要更加关注节能减排和环境保护，加快技术进步，特别是回收处置技术，改善我国铅锌生产行业的产业结构，实现我国铅锌冶炼行业的可持续发展。

随着我国铅冶炼行业的发展，对企业废气排放的标准日益严格。因此，迫切需要根据我国铅冶炼废气排放治理的具体情况和发展趋势，参照国外技术状况及相关标准，建立一套既符合我国国情又能与国际接轨的铅冶炼废气治理工程的技术标准，规范我国铅冶炼废气治理工程技术的设计、施工、验收、运行和维护等过程的行为准则；促进我国铅冶炼废气治理工程技术进步和可持续发展，改善环境质量、保护生活环境、生态环境和人体健康，为我国铅冶炼行业健康可持续发展提供技术支撑。

总之，针对铅冶炼行业的废气污染特点，从工程技术规范角度约束铅冶炼行业的建设和生产行为，规范和强化铅冶炼废气治理行为，将会为遏制铅污染、减少大气污染、推动铅冶炼行业健康可持续发展提供有力支持。制定铅冶炼废气治理的工程技术规范，使铅冶炼废气治理更符合我国铅冶炼工业发展的要求，是非常必要和迫切的。

3 主要工作过程

3.1 2011年5月，国家环境保护部委托中国环境科学研究院与云南亚太环境工程设计研究有限公司签订了环境保护技术管理项目《铅冶炼废气治理工程技术规范》任务合同书。项目承担单位为云南亚太环境工程设计研究有限公司，参加标准编制的单位有昆明冶金研究院、昆明冶金设计院有限公司、云南驰宏锌锗股份有限公司。

2011年6月，云南亚太环境工程设计研究有限公司会同各项目参编单位成立了项目编制组。

3.2 项目编制组成立之后先后进行了调研、分析、咨询等几方面的工作：

了解国家有关环境管理的政策法规、发展规划、管理目标、产业政策、技术政策等。

查阅文献资料，进行工程实地调研，熟悉现有铅冶炼废气治理工程实例，熟悉工程的工艺特点、投资运行费用和处理效果等情况。

分析研究不同类型工艺及设计的设备，确定各类型工艺的设计参数，并从技术上、经济上和运行效果进行综合评估。

咨询相关专家、设计施工单位等，进行讨论、分析研究。

经过上述工作研究之后，项目编制组建立了相对明确的工作思路，并着手编制项目开题报告，项目开题报告于2012年2月编制完成。

3.3 2012年4月24日由国家环境保护部科技标准司组织召开了《铅冶炼废气治理工程技术规范》开题论证会，与会专家提出了如下相关建议：

(1) 结合行业实际，充分考虑与国家相关法规、政策和其它相关标准、规范的衔接。

(2) 加强对行业现状、治理技术等归纳总结，在体现全面、完整系统、兼容的基础上，进一步突出行业生产、污染及治理技术的特点，并充分补充相关的污染特征参数。

(3) 进一步优化技术方案，注意推荐技术的前沿代表性和技术经济合理性。

3.4 2013年4月，针对《铅冶炼废气治理工程技术规范（征求意见稿）》初稿，编写小组组织召开了专家讨论会，对规范的内容进行了梳理和论证，与会专家提出：

(1) 规范作为指导性文件，需要覆盖面广，技术先进，经济合理；

(2) 规范在文字表述上需要改变方式，以预防环境污染为目标，重点描述治理对象、路线和具体要求，减少硬性约束指标；

(3) 规范适用范围中建议增加铅废渣及其它涉及铅冶炼的企业；

(4) 规范的文本结构需要进一步调整，部分条款需要修改。

经过上述工作后，编制小组理顺思路，对征求意见稿（初稿）进行了修改，于2013年10月完成了征求意见稿。

4 国内外相关标准研究

4.1 国内相关政策和标准

我国对铅锌冶炼污染治理一贯非常重视，环保要求逐步严格。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国清洁生产促进法》等有关法律法规，所有新、改、扩建项目必须严格执行环境影响评价制度，持证排污（尚未实行排污许可证制度的地区除外），达标排放。现有铅锌采选、冶炼企业必须依法实施强制性清洁生产审核。环保部门对现有铅锌冶炼企业执行环保标准情况进行监督检查，定期发布环保达标生产企业名单，对达不到排放标准或超过排污总量的企业决定限期治理，治理不合格的，应由地方人民政府依法决定给予停产或关闭处理。

《中华人民共和国大气污染防治法》第三十六条规定，“向大气排放粉尘的排污单位，必须采取除尘措施。严格限制向大气排放含有毒物质的废气和粉尘；确需排放的，必须经过净化处理，不超过规定的排放标准”。第三十七条规定，“工业生产中产生的可燃性气体应当回收利用，不具备回收利用条件而向大气排放的，应当进行防治污染处理”。第三十八条规定，“有色金属冶炼过程中排放含有硫化物气体的，应当配备脱硫装置或者采取其他脱硫措施”。第四十二条规定，“运输、装卸、贮存能够散发有毒有害气体或者粉尘物质的，必须采取密闭措施或者其他防护措施”。根据法律规定，铅冶炼企业冶炼炉窑及其它生产装置产生的含尘、含 SO₂ 以及其它有毒有害物质的废气均须进行防治污染处理。

《中华人民共和国清洁生产促进法》第二十六条规定，“企业应当在经济技术可行的条件下对生产和服务过程中产生的废物、余热等自行回收利用或者转让给有条件的其他企业和个人利用”。第二十八条规定，“企业应当对生产和服务过程中的资源消耗以及废物的产生情况进行监测，并根据需要对生产和服务实施清洁生产审核。污染物排放超过国家和地方规定的排放标准或者超过经有关地方人民政府核定的污染物排放总量控制指标的企业，应当实施清洁生产审核。使用有毒、有害原料进行生产或者在生产中排放有毒、有害物质的企业，应当定期实施清洁生产审核，并将审核结果报告所在地的县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门和经济贸易行政主管部门。”

国家环境保护总局 2007 年 2 月 27 日发布的第 17 号公告规定：“排放标准中

规定的污染物排放方式、排放限值是判定排污行为是否超标的技术依据，在任何时间、任何情况下，排污单位的排污行为均不得违反排放标准中的有关规定”；“环保部门在排污单位进行监督性检查时，可以环保工作人员现场即时采样或监测的结果作为判断排污行为是否超标以及实施相关环境保护管理措施的依据”。

《有色金属工业环境保护设计技术规范》（YS5017—2004）规定：铅冶炼宜采用强化熔炼工艺和富氧熔炼技术，新建粗铅冶炼企业硫的利用率应达到 90%；有色金属硫化矿冶炼烟气含二氧化硫浓度大于 3.5%时，应生产硫酸或其它硫产品，烟气制造硫酸工艺，当采用一次转化、一次吸收流程（即单接触法）时，其尾气应脱硫或采取其它方法处理；冶炼过程产出的熔融态渣，宜采用水淬法处理后利用；酸泥应回收其中的主要金属，暂不能利用时，必须妥善堆存于专用库房内；含汞酸泥堆存时间不宜大于 3d，并应及时采用蒸馏法回收；炼铅黄渣应回收其中的主要金属或妥善处理；铅冶炼宜控制烟化炉渣中磁性氧化铁的含量小于 40%，做水泥生产配料。

《有色金属工业环境保护设计技术规范》还规定，“大中型金属硫化矿火法冶炼项目的主要烟气排放源和单台容量大于等于 14MW（20t/h）的锅炉，必须设置固定的烟尘、二氧化硫排放浓度连续监测装置。”按照《污染源自动监控管理办法》（国家环保总局令第 28 号），“地方环境保护部门根据国家环境保护总局的要求按照统筹规划、保证重点、兼顾一般、量力而行的原则，确定需要自动监控的重点污染源，制定工作计划。”、“新建企业应按照《污染源自动监控管理办法》的规定，安装污染物排放自动监控设备，并与监控中心联网。各地现有企业安装污染物排放自动监控设备的要求由省级环境保护行政主管部门规定。”

国家发改委 2007 年发布的《铅锌行业准入条件》（2007 年第 13 号公告），对企业布局及规模和外部条件要求，工艺和装备，能源消耗，资源综合利用，环境保护，安全生产与职业危害，监督管理等方面进行了规定。对铅冶炼行业新建和现有项目的规模、工艺与有关技术指标作出了明确规定，具体如下：

（1）“新建铅冶炼项目，单系列铅冶炼能力必须达到 5 万吨/年（不含 5 万吨）以上，企业自有矿山原料比例达到 30%以上。允许符合有关政策规定企业的现有生产能力通过升级改造淘汰落后工艺改建为单系列铅熔炼能力达到 5 万吨/年（不含 5 万吨）以上”；

（2）“新建铅冶炼项目，粗铅冶炼须采用先进的具有自主知识产权的富氧底吹

强化熔炼或者富氧顶吹强化熔炼等生产效率高、能耗低、环保达标、资源综合利用效果好的先进炼铅工艺和双转双吸或其他双吸制酸系统”；

(3) “必须有资源综合利用、余热回收等节能设施。烟气制酸严禁采用热浓酸洗工艺。冶炼尾气余热回收、收尘或尾气低二氧化硫浓度治理工艺及设备必须满足国家《节约能源法》、《清洁生产促进法》、《环境保护法》等法律法规的要求。利用火法冶金工艺进行冶炼的，必须在密闭条件下进行，防止有害气体和粉尘逸出，实现有组织排放；必须设置尾气净化系统、报警系统和应急处理装置”；

(4) “立即淘汰土烧结盘、简易高炉、烧结锅、烧结盘等落后方式炼铅工艺及设备，……禁止新建烧结机—鼓风炉炼铅企业，在 2008 年底前淘汰经改造后虽然已配备制酸系统但尾气及铅尘污染仍达不到环保标准的烧结机炼铅工艺”；

(5) “新建铅冶炼综合能耗低于 600 千克标准煤/吨；粗铅冶炼综合能耗低于 450 千克标准煤/吨，粗铅冶炼焦耗低于 350 千克/吨，……现有铅冶炼企业：综合能耗低于 650 千克标准煤/吨；粗铅冶炼综合能耗低于 460 千克标准煤/吨，粗铅冶炼焦耗低于 360 千克/吨”；

(6) “新建铅冶炼项目：总回收率达到 96.5%，粗铅熔炼回收率大于 97%、铅精炼回收率大于 99%；总硫利用率大于 95%，硫捕集率大于 99%；水循环利用率达到 95%以上。现有铅锌冶炼企业：铅冶炼总回收率达到 95%以上，粗铅冶炼回收率 96%以上；总硫利用率达到 94%以上，硫捕集率达 96%以上；水循环利用率 90%以上”；

(7) 新建及现有再生铅锌项目，废杂铅锌的回收、处理必须采用先进的工艺和设备确保符合国家环保标准和有关地方标准的规定，严禁将蓄电池破碎的废酸液不经处理直接排入环境中。排放废水应符合《污水综合排放标准》(GB8978-2002)；熔炼、精炼工序产生的废气必须有组织排放，送入除尘系统；废气排放应符合《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)。熔炼工序的废弃渣，废水处理系统产生的泥渣，除尘系统净化回收的含铅烟尘(灰)，防尘系统中废弃的吸附材料，燃煤炉渣等必须进行无害化处理；含铅量较高的水处理泥渣，铅烟尘(灰)必须返回熔炼炉熔炼；作业环境必须满足《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)和《工作场所所有害因素职业接触限值》(GBZ2-2007)的要求；所有的员工都必须定期进行身体检查，并保存记录。企业必须有完善的突发环境事故的应急预案及相应的应急设施和装备；

企业应配置完整的废水、废气净化设施，并安装自动监控设备。再生铅生产企业，以及从事收集、利用、处置含铅危险废物企业，均应依法取得危险废物经营许可证。

(8)“污染物排放要符合国家《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB9078-1996)、《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)、《污水综合排放标准》(GB8978-2002)、固体废物污染防治法律法规、危险废物处理处置的有关要求和有关地方标准的规定。防止铅冶炼二氧化硫及含铅粉尘污染以及锌冶炼热酸浸出残渣中汞、镉、砷等有害重金属离子随意堆放造成的污染。确保二氧化硫、粉尘达标排放。严禁铅锌冶炼厂废水中重金属离子、苯和酚等有害物质超标排放。……铅锌冶炼项目的原料处理、中间物料破碎、熔炼、装卸等所有产生粉尘部位，均要配备除尘及回收处理装置进行处理，并安装经环保总局指定的环境监测仪器检测机构适用性检测合格的自动监控系统进行监测”；

2010年发布的《铅、锌工业污染物排放标准》(GB 25466—2010)，对我国铅锌冶炼企业废气污染物排放作出规定：自2012年1月1日起，现有企业执行新的大气污染物排放限值。标准与以前执行的废气污染物排放限值的对比如表2-2。“自本标准实施之日起，铅、锌工业企业水和大气污染物排放执行本标准，不再执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)、《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)和《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB9078-1996)中的相关规定。”

表 4-1 现行标准与以前执行的废气污染物排放限值的对比情况表

污染物		粗铅冶炼	铅精炼	干燥	制酸
颗粒物 (mg/m ³)	2010年前执行标准(二级)	100	100	200	/
	新标准 2012年起执行标准	80	8	80	/
SO ₂ (mg/m ³)	2010年前执行标准	二级 850, 三级 1430			960
	新标准 2012年起执行标准	400	/	400	400
硫酸雾 (mg/m ³)	2010年前执行标准	/	/	/	45
	新标准 2012年起执行标准	/	/	/	20

《铅、锌工业污染物排放标准》中还规定：“企业边界大气污染物任何1小时平均浓度执行表4-2规定的限值。”

“表 4-2 现有和新建企业边界大气污染物浓度限值”

单位：mg/m³

序号	污染物项目	限值
1	二氧化硫	0.5
2	总悬浮颗粒物	1.0
3	硫酸雾	0.3
4	铅及其化合物	0.006
5	汞及其化合物	0.0003

4.2.5 在现有企业生产、建设项目竣工环保验收后的生产过程中，负责监管的环境保护主管部门应对周围居住、教学、医疗等用途的敏感区域环境质量进行监测。建设项目的具体监控范围为环境影响评价确定的周围敏感区域；未进行过环境影响评价的现有企业，监控范围由负责监管的环境保护主管部门，根据企业排污的特点和规律及当地的自然、气象条件等因素，参照相关环境影响评价技术导则确定。地方政府应对本辖区环境质量负责，采取措施确保环境状况符合环境质量标准要求。

4.2.6 产生大气污染物的生产工艺和装置必须设立局部或整体气体收集系统和集中净化处理装置。所有排气筒高度应不低于 15m。排气筒周围半径 200m 范围内有建筑物时，排气筒高度还应高出最高建筑物 3m 以上。”

《铅锌冶炼工业污染防治技术政策》(中华人民共和国环境保护部公告 2012 年第 18 号)指出：

“（三）铅锌冶炼业应加大产业结构调整和产品优化升级的力度，合理规划产业布局，进一步提高产业集中度和规模化水平，加快淘汰低水平落后产能，实行产能等量或减量置换。”

“（五）铅锌冶炼业新建、扩建项目应优先采用一级标准或更先进的清洁生产工艺，改建项目的生产工艺不宜低于二级清洁生产标准。企业排放污染物应稳定达标，重点区域内企业排放的废气和废水中铅、砷、镉等重金属量应明显减少，到 2015 年，固体废物综合利用（或无害化处置）率要达到 100%。”

“（六）铅锌冶炼业重金属污染防治工作，要坚持“减量化、资源化、无害化”的原则，实行以清洁生产为核心、以重金属污染物减排为重点、以可行有效的污染防治技术为支撑、以风险防范为保障的综合防治技术路线。”

“为防范环境风险，对每一批矿物原料均应进行全成分分析，严格控制原料中

汞、砷、镉、铊、铍等有害元素含量。无汞回收装置的冶炼厂，不应使用汞含量高于 0.01%的原料。含汞的废渣作为铅锌冶炼配料使用时，应先回收汞，再进行铅锌冶炼。”

“（一）采用集气装置严格控制废气无组织排放。根据气象条件，采用重点区域洒水等措施，防止扬尘污染。

（二）鼓励采用微孔膜复合滤料等新型织物材料的布袋除尘器及其他高效除尘器，处理含铅、锌等重金属颗粒物的烟气。

（三）冶炼烟气中的二氧化硫应进行回收，生产硫酸或其他产品。鼓励采用绝热蒸发稀酸净化、双接触法等制酸技术。制酸尾气应采取除酸雾等净化措施后，达标排放。

（四）鼓励采用氯化法、碘化法等先进、高效的汞回收及烟气脱汞技术处理含汞烟气。

（五）铅电解及湿法炼锌时，电解槽酸雾应收集净化处理；锌浸出槽和净化槽均应配套废气收集、气液分离或除雾装置。

（六）对散发危害人体健康气体的工序，应采取抑制、有组织收集与净化等措施，改善作业区和厂区的环境空气质量。”

“（五）冶炼烟气中收集的烟（粉）尘，除了含汞、砷、镉的外，应密闭返回冶炼配料系统，或直接采用湿法提取有价金属。

（六）烟气稀酸洗涤产生的含铅、砷等重金属的酸泥，应回收有价金属，含汞污泥应及时回收汞。生产区下水道污泥、收集池沉渣以及废水处理污泥等不可回收的废物，应密闭储存，在稳定化和固化后，安全填埋处置。”

“鼓励研究、开发、推广以下技术：

（一）环境友好的铅富氧闪速熔炼和短流程连续熔炼新工艺，液态高铅渣直接还原等技术；锌直接浸出和大极板、长周期电解产业化技术；铅锌再生、综合回收的新工艺和设备。

（二）烟气高效收集装置，深度脱除烟气中铅、汞、铊等重金属的技术与设备，小粒径重金属烟尘高效去除技术与装置。

（三）湿法烟气制酸技术，低浓度二氧化硫烟气制酸和脱硫回收的新技术；制酸尾气除雾、洗涤污酸净化循环利用等技术和装备。”

“(三) 企业应保证铅锌冶炼的污染治理设施与生产设施同时配套建设并正常运行。发生紧急事故或故障造成重金属污染治理设施停运时，应按应急预案立即采取补救措施。

“(四) 应按照规定，开展清洁生产工作，提高污染防治技术水平，确保环境安全。”

4.2 国外铅企业废气排放的环保标准

几个国家的铅冶炼企业环保相关标准见表 4-3:

表4-3 国外铅冶炼行业废气排放相关标准

污染物 国家	日本			澳洲	
	二氧化硫	总量控制法	0.04ppm (电导法检测)	平均每小时不能超过值	0.2ppm
0.1ppm (紫外荧光法)			0.08ppm		每天不能超过值
	计算控制法	K 为地区系数 (m/h) (1.17≤K≤17.5)	平均每天不能超过值 【He——烟尘有效高度 (m)】		
烟尘 mg/m ³	总量控制法	$Q = K \times 10^{-3} \times He^2$, PM2.5 35μg/m ³	平均每天不能超过值	PM10 50 μg/m ³	平均每天不能超过值
镉及其化合物	总量控制法	1mg/Nm ³	平均每天不能超过值		
铅及其化合物	总量控制法	10~30mg/Nm ³	平均每天不能超过值	0.5 mg/m ³	平均每天不能超过值
氟及其化合物	总量控制法	1.0~20mg/Nm ³	平均每天不能超过值		
氯化氢	总量控制法	80~700mg/Nm ³	平均每天不能超过值		
氯	总量控制法	30mg/Nm ³	平均每天不能超过值		
氮氧化物	总量控制法	新建计划工厂: 60 - 400 ppm 已存在的工厂: 130 - 600 ppm	平均每天不能超过值	0.12ppm 0.03ppm	每小时不能超过值 每年不能超过值

续上表

污染物 \ 国家	德国		欧盟		美国	
二氧化硫	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	每天不能超过值 一年中不能超过 24 次	70~400 mg/m^3	平均每天不能超过值	一级指标 75ppb	平均每小时不能超过值
					二级指标 0.5ppm	平均每三小时不能超过值(一年中不得超过多于一次)
烟尘 mg/m^3	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	平均每天不能超过值 一年中不能超过 35 次以上	5~20 mg/m^3	平均每天不能超过值	PM2.5	一级指标 每年不得超过 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 二级指标 每天不超过 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
					PM10	每天不得超过 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
镉及其化合物	1 mg/m^3		0.05 mg/m^3	平均每天不能超过值		
铅及其化合物	1 mg/m^3		0.5 mg/m^3	平均每天不能超过值	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	平均每天不能超过值
氟及其化合物	1.0~4.0 mg/m^3		1 mg/m^3	平均每天不能超过值		
氯化氢			10 mg/m^3	平均每天不能超过值		
氯				平均每天不能超过值		
氮氧化物	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	平均每小时不能超过值 每年不能超过 18 次以上	10~250 mg/m^3	平均每天不能超过值	一级指标 100ppb	平均每小时不能超过值
					一级指标 二级指标 53ppb	平均每年不能超过值

5 同类工程现状调研

我国的铅冶炼大体上可以分为矿产铅冶炼和再生铅冶炼两种。我国的铅生产以矿产铅为主，再生铅产量也逐渐增加，但所占比重基本保持没变。

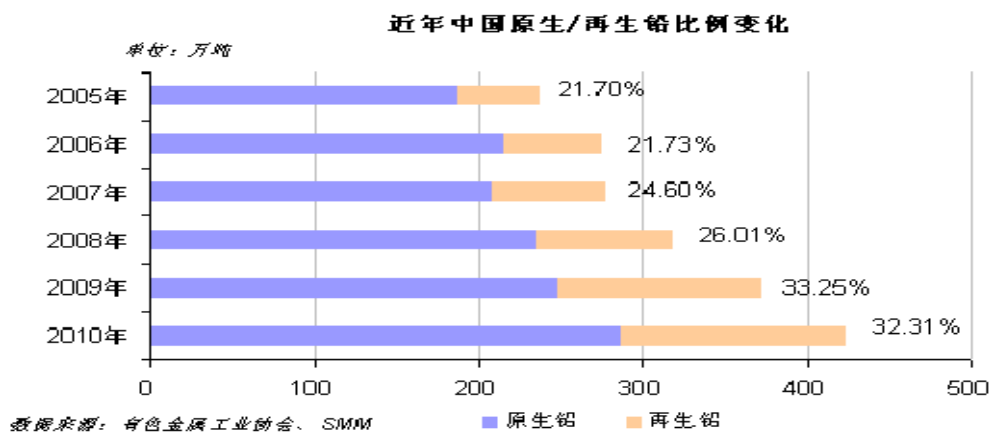


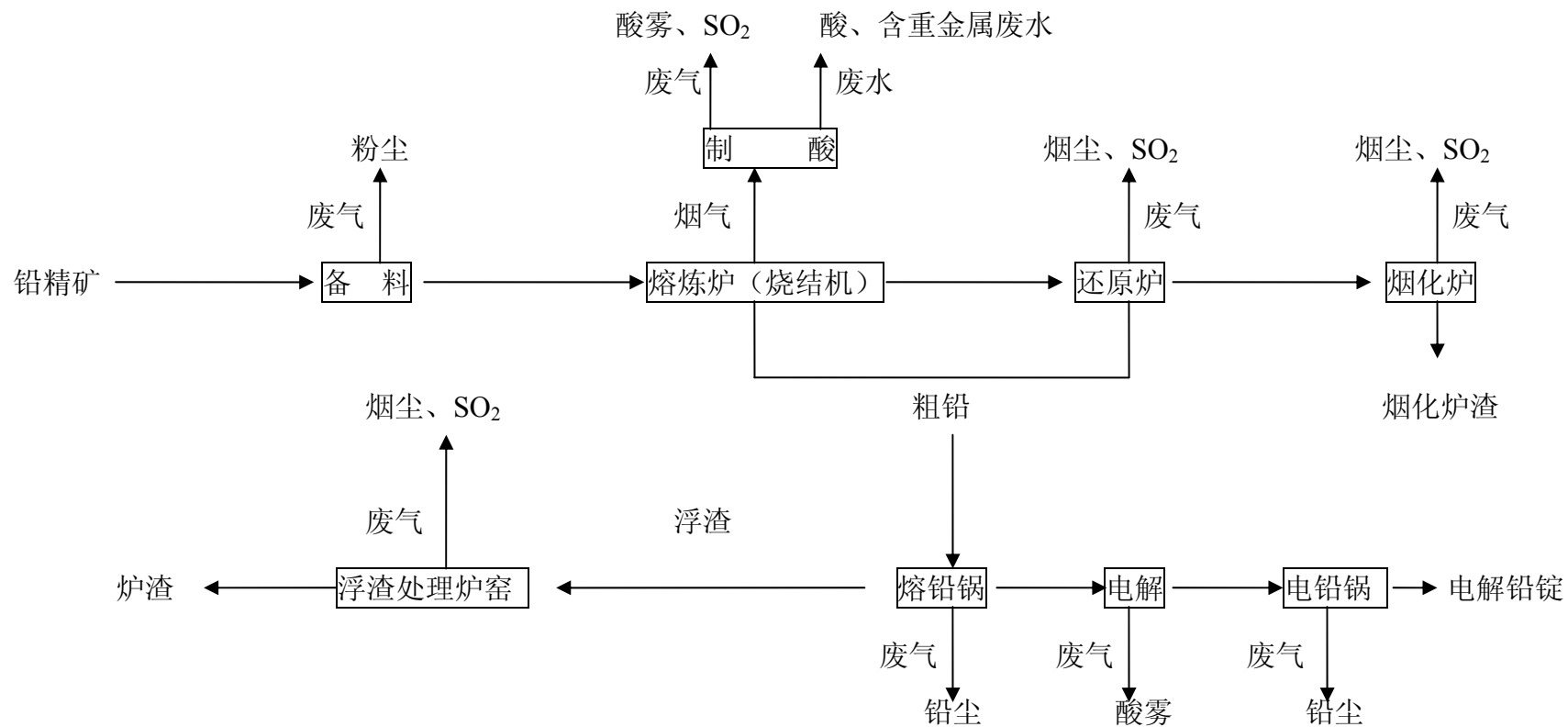
图 5-1 近年中国原生铅/再生铅产量示意图

从我国目前再生铅冶炼的情况来看，再生铅冶炼的原料占绝大多数的是废铅酸蓄电池，其它种类的再生铅冶炼多是随矿产铅冶炼同时进行。由于废铅酸蓄电池的冶炼毒害性大，国家已经出台了相关冶炼工艺规范和排放标准以及相关的法规，如《再生铅行业准入条件》（工业和信息化部、环境保护部公告2012年第38号）、《再生有色金属工业污染物排放标准—铅》（征求意见稿）、《废铅酸蓄电池处理污染控制技术规范》（HJ519）、《清洁生产标准 废铅酸蓄电池铅回收业》（HJ510）等。

鉴于再生铅所占比例较小，且国家对再生铅冶炼行业已经或即将出台较为完善的法律、法规和标准。因此，本标准不再将再生铅冶炼废气治理纳入规范范畴，主要考虑矿产铅冶炼废气的治理。

世界上粗铅冶炼几乎采用的全是火法，湿法炼铅虽已进行长期试验研究，有的已进行了半工业试验规模，但仍未工业应用。目前我国铅冶炼工艺基本采用火法炼粗铅、电解法生产精铅。

铅冶炼过程中主要产污环节见图 5-2：



注：○1⊕本图只表明铅冶炼工艺原理过程及其产污点，具体情况按照各企业所采用不同工艺方法和设备不同而不尽相同；

○2⊕还原炉包括：鼓风机、密闭鼓风机、侧吹还原炉、底吹还原炉等。

图 5-2 铅冶炼生产工艺及主要产污环节

5.1 我国铅冶炼工艺及其烟气特点

我国铅冶炼采用的工艺有传统铅冶炼工艺和熔池熔炼新工艺。传统的铅冶炼主要采用的是烧结机-鼓风机炼铅，在偏远地区仍有采用烧结锅或烧结盘的。传统炼铅工艺生产中产生的烟气 SO_2 浓度低，回收难度大，受工艺设备限制， SO_2 无组织排放和铅尘污染没有得到有效地解决。烧结-鼓风机法由于工艺简单、适应性强、生产稳定、回收率高、投资省等优点，曾一度是国内普及的炼铅主流工艺。虽然近年在环保压力下，淘汰关闭了许多企业，但仍有一些小型企业依然在使用。该工艺主要缺点在于返料循环量大，能耗高，烧结机 SO_2 浓度偏低不利于制酸，烟尘率高，无组织排放严重，劳动条件差、污染严重等问题。主要改进措施有烧结机的刚性滑道的柔性改进和密闭性负压改造、引入空气预热及富氧烧结，鼓风机的大型化、富氧熔炼、连续放铅排渣等，取得了一定的效果，但尚不能从根本上解决环境问题。国家发改委 2007 年发布的《铅锌行业准入条件》规定：“立即淘汰土烧结盘、简易高炉、烧结锅、烧结盘等落后方式炼铅工艺及设备，……禁止新建烧结机—鼓风机炼铅企业，在 2008 年底前淘汰经改造后虽然已配备制酸系统但尾气及铅尘污染仍达不到环保标准的烧结机炼铅工艺”。近年来，在国家强有力的监管和调控政策下，许多采用传统炼铅工艺的、污染严重的铅冶炼企业纷纷关闭或进行技术改造。因此本规范对工艺落后的烧结-鼓风机炼铅不予考虑。

随着铅冶炼技术的发展和进步，直接炼铅技术的优势越发明显。国外新的炼铅技术也在我国得到应用，如驰宏锌锗引进的 ISA 法炼铅、西部矿业公司引进的卡尔多炉炼铅等等。我国近年建设的铅冶炼项目大多以直接炼铅工艺为主，一些大中型铅企业也开始建设直接炼铅系统，对原有的传统炼铅工艺加以取代。与传统的烧结-鼓风机炼铅技术相比，直接炼铅技术具有流程短，自动化程度高，设备紧凑、占地面积小的优点，同时通过自热熔炼可达到能耗低、金属回收率高、烟气 SO_2 浓度高，利于制酸和尾气处理等优点，可以达到很好的环保效果。我国目前采用的直接熔炼法包括自主研发的氧气底吹-鼓风机炼铅工艺（又称水口山法、SKS 法）、顶吹转炉法（卡尔多法、TBRC 法）、富氧顶吹喷枪熔炼法（ISA 法、Ausmelt 法）、奥托昆普闪速熔炼法、瓦纽可夫法等。

(1) 密闭鼓风炉熔炼法 (ISP)

密闭鼓风炉熔炼法不同于传统的烧结-熔炼法。经过半个多世纪的发展,该技术已十分成熟。工艺特点是能同时熔炼铅锌混合精矿,可以处理难选的复杂精矿和低品位原料和各种含铅锌的二次物料。在中国典型应用实例为韶关冶炼厂,韶冶通过烧结机返烟、改进密闭鼓风炉及其附属设施,增大炉身面积和风口区面积,优化工艺技术条件等措施,进一步改善了炉内熔炼状态,稳定了炉况,提高了烟气 SO_2 浓度,使各项技术经济指标和环境指标大幅度提高。

采用烧结-密闭鼓风炉炼铅锌工艺 ISP 法治炼工艺,目前国内有 4 家共 5 条生产线,其中韶关冶炼厂 2 条,白银、葫芦岛、陕西岭东各一条。

(2) 我国自主研发开发的氧气底吹-鼓风炉还原炼铅的 SKS 工艺得到了迅速发展,水口山、河南豫光金铅、东方金铅、安徽池州、祥云飞龙等企业已经采用该技术陆续建成投产,还有一些企业也将该工艺列入技改目标,预计采用该法的铅生产企业总产能将占全国铅产量的 50%以上。

水口山炼铅法 (SKS 法) 即富氧底吹熔炼-鼓风炉还原炼铅工艺,是由北京有色冶金设计研究院、河南豫光金铅集团公司和水口山矿务局等单位合作开发的一种炼铅技术。于 2002 年在河南豫光金铅集团公司首次成功应用,现该技术已在我国规模化推广应用,是目前国内应用最多的直接炼铅法之一。该工艺主要由富氧底吹熔炼和鼓风炉还原熔炼两部分组成,其核心是富氧底吹熔炼。采用 QSL 炉的氧化段代替传统方法的烧结段,其中 SKS 炉是由 QSL 炉变化而来,不同的是水口山炼铅法保留了传统炼铅法中的鼓风炉还原系统,它与传统炼铅工艺相比,省去了烧结工序。具有投资省、成本低、流程短、热利用率高、烟气中 SO_2 浓度高、硫利用率高等特点,较好地解决了环保问题,达到了国外先进的工艺技术水平。该工艺具有烟气 SO_2 浓度高,硫利用率高,操作环境卫生好等优势。因此,水口山炼铅法适于采用烧结-鼓风炉熔炼工艺的老厂的技术改造。豫光金铅集团和池州有色金属公司铅厂的改造即采用该工艺,在很短时间内达到或超过了预期效果。该法的主要缺点是一次粗铅产率低,且液态高铅渣不能直接还原,导致能耗相比其它直接炼铅法偏高。

(3) 富氧顶吹熔炼法系富氧顶吹浸没式熔池熔炼过程,艾萨法与奥斯麦特法均为顶吹熔炼,核心设备分别为艾萨炉和奥斯麦特炉,其工作原理基本相同,

只是在结构上各有特点。

艾萨炉顶吹炼铅过程分为铅精矿等含铅物料的氧化熔炼和高铅渣的还原两个阶段。与传统粗铅冶炼工艺相比，富氧顶吹熔炼法具有以下特点：对原料适应性强；避免了烧结过程出现的 SO_2 和粉尘的低空污染；提高了烟气 SO_2 浓度，利于两转两吸制酸；对入炉料要求不严格，混合料制粒可降低烟尘率；熔炼强度和热利用率较高；占地面积小，自动化水平高。云南驰宏锌锗曲靖有色基地引进消化的艾萨法富氧顶吹熔炼工艺，2005年3月建设完工，6月ISA炉点火投产一次成功。是目前为止世界上用铅精矿直接熔炼生产粗铅的第一座ISA炉。

奥斯麦特法（Ausmelt）也是富氧顶吹浸没熔池熔炼技术。普遍采用的奥斯麦特技术炼铅工艺为：在1台Ausmelt炉内可以实现粗铅生产的氧化熔炼+还原熔炼过程，产出粗铅和高锌渣。高锌渣通过渣溜槽流入电热前床，使铅进一步沉淀，然后进烟化炉吹炼，产出氧化锌烟尘和终渣。粗铅经除铜作业后浇铸成铅阳极板送电解精炼。烟气经余热回收后采用电收尘器收尘，烟尘由刮板运输机直接返回制粒进熔炼系统，电收尘后烟气送制酸系统。烟化炉烟气经余热回收后采用表面冷却器降温、布袋收尘器收尘，尾气送脱硫系统。Ausmelt熔炼炉分为熔炼时段、还原时段、放渣时段，烟气量及浓度周期性波动。Ausmelt铅熔炼炉及烟化炉所产生的烟气，均用于制酸及脱硫。进脱硫系统的烟气主要有三股：一是抽出Ausmelt熔炼炉熔炼时段部份浓度 SO_2 7%的烟气经净化、干燥、 SO_2 风机后送入脱硫系统；二是制酸尾气；三是烟化炉烟气。低浓度 SO_2 脱硫处理采用离子液法，烟气中的 SO_2 经过吸收—解吸—干燥—液化—储存—蒸发，再去制酸系统。采用配气方案将各时段 SO_2 浓度配到6.3%左右，以利于制酸生产。制酸采用封闭酸洗净化、单转单吸+尾气处理流程。驰宏锌锗公司在呼伦贝尔驰宏矿业有限公司新建冶炼厂即采用该项工艺，设计规模为粗铅产能6万t/a。

云锡一步炼铅法也是采用Ausmelt工艺，所不同的是云锡铅厂在同一座Ausmelt炉中一次完成氧化、还原和烟化过程，产出铅渣可以直接排放。因为在一个冶炼周期内同时进行了三段作业，所以产生的烟气 SO_2 浓度波动较大。为解决烟气处理问题，云锡铅厂引进Cansolv法工艺（有机胺吸附、解析）与一转一吸制酸结合，即在熔炼段烟气浓度高、量大时，分出一部分烟气进行有机胺吸附，在其他时段烟气浓度低时进行解析，将得到的 SO_2 气体补充到烟气中，从

而保证了制酸系统所需的稳定制酸条件，制酸后尾气也同样经有机胺吸附和解析，并入制酸系统，从而形成独特的两次吸附制酸工艺，达到了很好的脱硫制酸效果。

卡尔多炉炼铅法分加料、氧化熔炼、还原和放铅出渣 4 个阶段，整个冶炼过程周期性进行。卡尔多炉标准炉型为 11m^3 炉，年生产能力 5 万 t 粗铅。氧化熔炼阶段所需要的热量主要来自于精矿含硫，还原阶段的热量则由氧油燃烧喷枪提供。由于卡尔多的周期性作业，产生的 SO_2 烟气是不连续的，在氧化熔炼阶段，烟气 SO_2 含量高达 16%，还原阶段及其它时段烟气 SO_2 含量几乎为零。因此，卡尔多炉烟气在除尘、降温、除雾、干燥后进入 SO_2 部分冷凝系统，将不连续的 SO_2 烟气转变为含量为 6% 的连续稳定的烟气，以满足制酸要求。卡尔多炉炼铅法铅回收率为 97.5%，总硫利用率达 95.45%。西部矿业公司卡尔多冶炼厂即采用此种工艺。

氧气底吹炼铅法 (QSL 法) 核心设备为 QSL 反应器，工艺过程简单，铅回收率高达 98%~99%，硫回收率达 99%。由于冶炼过程是在密闭的反应器中进行，车间操作岗位的铅尘含量可达到 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。QSL 反应器冶炼产生的烟气 SO_2 浓度可达 8%，利于两转两吸制酸。氧气底吹炼铅工艺流程短，投资较省，但技术条件控制要求严，生产过程自动化水平高，且技术成熟度相对较低，目前不适合我国具体情况。我国只有上世纪甘肃西北铅锌冶炼厂引进一套 QSL 工艺，但由于引进时间早，技术不成熟，只经过短时间运行即宣告停产。

基夫赛特法 (Kivcet 法) 是由前苏联有色金属科学研究院从六十年代开始研究开发的直接炼铅工艺，八十年代用于大型工业生产，是当今世界较先进、成熟、有效的直接炼铅工艺。主要设备是基夫赛特炉，由熔炼竖炉、炉缸、电热区和烟道四部分组成。该法特点是作业连续，氧化脱硫和还原在一座炉内连续完成；原料适应性强，含铅 20~70%、硫 13.5~28%、银 100~8000g/t 的原料均可适用；主要金属的回收率高，铅回收率 >98%，金、银入粗铅率达 99% 以上，回收原料中锌 60% 以上；烟尘率低 (4%~8%)，烟气 SO_2 浓度高 (20%~50%)，可直接制酸，烟气量少，带走热量少，且余热利用好，从而减小冷却和净化设备；能耗低，粗铅能耗一般低于 0.35t 标煤 / t，电铅能耗可控制在 0.6t 标煤 / t；炉子寿命长，炉寿可达 3 年，维修费用省。其主要缺点是原料准备复杂，炉料粒度

要求 $<1\text{mm}$ ，需干燥至含水 1% 以下，且投资偏高。江西铜业已经采用该工艺建成的铅冶炼一期 10 万吨电铅项目；株冶正在进行的把现有传统的烧结一鼓风炉炼铅工艺改造为基夫赛特直接炼铅工艺项目，已开工建设，预计建成后可达到年产粗铅 12 万吨，电铅 10 万吨的规模。

(4) 铅富氧闪速熔炼（HUAS 闪速炼铅法）

由我国自主研发的闪速炉一步炼铅工艺是将闪速强化熔炼技术和液态高铅渣直接还原技术运用于铅冶炼的直接炼铅新工艺。HUAS 炼铅法的主体设备由一座闪速熔炼炉和一座矿热贫化电炉构成。该工艺将经干燥的粉末硫化铅精矿与氧气一起从由喷嘴喷入一个高温的反应塔空间，呈漂浮状态，通过控制氧气的输入量，使得硫化铅的氧化率为 $60\% \sim 80\%$ ，完成硫化铅的氧化过程，生成的熔体飘落在反应塔下方的沉淀池中；再通过氧化铅与硫化铅的交互反应以及还原反应，连续生成粗铅和炉渣。使用工业纯氧实现了物料在反应塔的快速强氧化脱硫（ $3 \sim 5$ 秒完成氧化反应，脱硫率大于 98% ），在闪速熔炼炉中得到的含铅 $10\% \sim 15\%$ 炉渣，经溜槽进入贫化电炉，被焦炭和粉煤还原后可得含铅小于 1% 的弃渣。利用炽热焦滤层实现了脱硫熔融物料在熔池内的快速高效还原，淘汰了高耗能的烟化炉，显著降低了粉煤用量和系统能耗。在一个炉体内实现了反应塔的高氧势快速脱硫和熔池的低氧势快速还原铅两个过程，金属铅产生的主要途径是氧化铅的高温碳还原。由于改变了铅的还原途径，大大增强了工艺对物料的适应性，入炉料含铅可以降至 25% 甚至更低，一次渣含铅最低可降至 3% ，一次粗铅产率最高可达 92% ，烟尘率最低降至 6% 。烟气经烟道进入热锅炉，最后送回收硫装置。

闪速炉一步炼铅工艺具有短流程、连续化、节能、产能大等特点，允许精矿干燥后入炉，使含二氧化硫的冶炼高温烟气量大幅度减少，烟气含二氧化硫浓度高（ $>20\%$ ），且连续、稳定，适合制酸。由北京矿冶研究总院和灵宝市华宝产业有限责任公司合作开发的 HUAS 闪速炼铅法 10 万吨/年项目于 2009 年 9 月成功试车运行。

(5) 我国的粗铅精炼工艺均采用电解精炼。电解精炼的优点是除铋效果好，能使铋及贵金属富集于阳极泥中，有价金属回收率高，劳动条件较好，可产出高纯度的精铅。其缺点是占地面积大，基建投资多，只能产出单一品级的精铅，而且要先进行火法精炼除铜，有时还需除锡。电解精炼的主体设备是电解槽，电解

前的粗铅预精炼和电解后的阴极铅熔铸及除杂，均在精炼锅中进行，国外精炼锅的最大容量已达到 350t，国内最大为 75t。电解精炼的产生污染的主要设备为精炼锅、熔铅锅，废气污染物主要是粗铅、阴极铅及阳极铅残片带入的含硫化合物熔化时造成的含硫气体，以及铅蒸气。因含硫气体含量较低，这部分废气一般经冷却收尘后排放。

电解产生的酸雾因生产面积大，操作较频繁等问题，目前国内尚无很好的解决方法，铅企业多采用加强通风的方式解决。虽可采用薄膜覆盖、塑料小球覆盖等方式进行减缓，但也造成操作不便等问题。因此，需加强这方面的研究工作，本规范暂不涉及。

(6) 铅电解精炼产生铅阳极泥。铅阳极泥产率一般为粗铅的 1.2%~1.8%，通常含有 Au、Ag、Se、Pb、Cu、As、Sb、Bi、Ni、Fe、Sn、Al 和铂族金属等有价元素，在一般情况下，银、铅、铋、锡以及铜、砷等元素的总量占干重的 70%以上，应予以综合利用。不同冶炼厂由于使用的原料和冶炼工艺与技术不同，产出的阳极泥也会不尽相同，即使同一铅厂不同时期所产生的阳极泥的成分变化也很大。

目前，铅阳极泥的处理基本上有三种方式：一是火法—电解处理工艺，有的厂将铅阳极泥和铜阳极泥进行混合熔炼；二是全湿法工艺；三是湿法—火法联合流程。根据铅阳极泥成分的不同和所回收有价元素的不同，各企业采用不同的综合回收工艺，所产生工业废气的普遍特点是烟气量较少、因工艺的不同烟气成分差别较大。针对不同的废气各厂采用的治理方法也不一样，常见的有活性材料吸附法、溶液水洗法等方法。

5.2 铅冶炼废气治理工程技术

整体看来，在整个铅冶炼及制酸过程中产生了多种废气，量大且危害严重。低浓度二氧化硫回收难度大，二氧化硫无组织排放及铅、砷等污染需要得到有效控制。必须认真对待，加以合理治理，保证废气治理工程正常、稳定运行，确保排出的废气烟尘、SO₂ 和铅等重金属排放浓度均达到国家排放要求。

(1) 由于铅冶炼的工艺的特点，硫化铅冶炼 SO₂ 排放量大，非稳态、某些工艺过程中 SO₂ 周期内气量变化达一倍，SO₂ 浓度变化达到上百倍（1000~

100000mg/Nm³), 烟气温度高, 含尘量大, 需要解决烟气极端非稳态 (气量变化达一倍, SO₂ 浓度变化达到上百倍) 的 SO₂ 排放问题。

(2) 铅冶炼烟气含尘量大。毒性污染物 As₂O₃、ZnO、PbO 及 Hg、Cl 化合物等以烟尘的形态存在烟气中。需要研究解决冶炼烟气中重金属治理和回收问题, 防治重金属排放的污染。

(3) 我国铅锌工业所排放的废气污染物主要是各类重金属及其化合物、颗粒物、SO₂、硫酸雾等。在排放的颗粒物成分中, 铅、锌、汞、砷等重金属及其化合物占了很大比重, 因此控制颗粒物的同时, 也同时控制了通过烟气所造成的重金属污染。

对于国外对冶炼厂环保要求的氮氧化物限值, 目前我国暂未列入冶炼行业控制指标, 尚未出台国家控制标准, 本规范暂不涉及。因此, 目前铅锌冶炼厂的废气治理仍主要是针对颗粒物和 SO₂ 的去除, 主要处理路线为冶炼废气→收尘→制酸→低浓度 SO₂ 烟气脱硫。

烟气收尘和烟气脱硫是铅锌冶炼废气治理的两大重点。企业采取的冶炼工艺不同, 单位产品废气量差别也较大。

5.2.1 收尘

1) 收尘工艺简介

烟气收尘分干式、湿式两类。目前, 国内铅锌工业烟气收尘以采用干式收尘流程居多, 其特点是烟尘容易处理, 但投资较大, 烟尘飞扬, 劳动条件差。湿式收尘流程则多在南方冶炼企业使用, 回收的烟尘呈泥浆状, 处理泥浆存在污水处理、设备腐蚀与堵塞等问题。在北方寒冷地区湿式流程的采用受到一定限制。某些含水量较高的炉窑烟气, 比如干燥窑烟气, 由于具有含水分高 (15%~25%)、温度比较低 (80℃~120℃) 的特点, 烟气温度与其露点很接近, 易造成烟气的结露, 在使用袋式除尘器时易造成糊袋现象, 致使清灰无法正常进行, 系统阻力增加, 迫使停产更换滤袋。

铅锌冶炼中各类烟气基本上均可采用布袋收尘或电除尘器。常用的干式收尘设备有降尘室、旋风除尘器、布袋收尘器和电除尘器等, 可以单独使用, 也可以多形式组合使用。如烧结机, 直接炼铅炉等一般采用电除尘器或旋风除尘器与电除尘器的组合进行收尘, 炼铅鼓风机、烟化炉、反射炉、铅精炼锅、电炉等一般

采用布袋收尘。密闭鼓风机由于烟气含 CO 达 20~24%，可作为燃料，一般采用洗涤机、脱水器处理后供用户使用，烟气含尘可降到 40mg/m³ 以下。目前，在布袋收尘器的设计和生产上，出现了一些新型织物材料，采用这些材料生产的布袋收尘器，弥补了传统布袋上的一些不足，如容易破损，耐高温性能差，处理低露点烟气和粘度大烟尘的难度较大等。

以往的布袋收尘器多采用前置鼓风机，除尘系统为正压操作。近年来的发展则改为密闭的抽风过滤系统，采用后置风机，负压操作。这项技术的使用意味着更长的布袋寿命，更小的操作和维护费用。

湿式收尘适用于净化含湿量大的含尘烟气。由于整个作业过程都处于湿式状态，容易造成设备管道腐蚀，且收下的烟尘呈浆状并有废水产生，难于处理。因此，在铅锌冶炼烟气治理中用的较少。一般情况下，湿式收尘器仅适用于处理含水较高的烟气。在实际生产操作中，有些工序产生的金属细尘由于粘度较大，如铅精炼锅等，采用布袋收尘器容易造成阻塞，一些厂家也采用湿式收尘。铅锌冶炼主要采用的湿式收尘设备有水膜旋风收尘器、冲击式收尘器、自激式收尘器和文丘里管等。采用湿式收尘处理干燥窑烟气一次收尘难以达到烟尘排放达标要求，并存在如下问题：①需要一套复杂的污水和泥浆处理设施；②泥浆需再次压滤成型，造成能源上的浪费；③在北方寒冷地区的采用受到一定限制；④由于先天条件所限，出口烟气含尘浓度达不到布袋收尘器或电除尘器的效果，处理干燥窑烟气时一般只能勉强控制在 200 mg/m³ 以内，如想提高收尘效率，则只能增加除尘级数，必然会导致系统阻力和能耗的增加。

近年来，在某些冶炼项目的设计以及部分厂家的实际生产运行当中，对易结露烟气的收尘系统采取了蒸汽保温技术，防止烟气结露。实践证明这种方法是行之有效的，干燥窑烟气露点一般为 40~60℃，采取烟气保温措施即避免了使用布袋收尘器时糊袋现象的出现，从而提高了干燥窑烟气的收尘效率。但这种方法对企业的硬件设施有较高的要求，要求企业具备余热锅炉或有富余的蒸汽，因此，一般来说只适用于大中型冶炼企业。近年出现的新型微孔薄膜复合滤料，表面极其光滑，透气性好，具有良好的粉尘捕集性能和剥离性能，具有过滤效率高、运行阻力低、过滤风速大、适用范围广、运行费用低、使用寿命长等优点，且可有效地解决糊袋问题，采用有效的清灰方式后，可广泛应用于干燥窑及其它铅锌冶

金炉窑的烟气收尘。

2) 铅冶炼废气烟尘污染来源及收尘工艺

铅冶炼废气中颗粒污染物来源及特性见表 5-1:

表 5-1 铅冶炼废气中颗粒污染物来源及特性

源型	颗粒物种类	来源	主要污染物成分	含尘量(g/Nm ³)
有组织排放				
点源	粉尘	铅精矿仓中给料、输送、配料等过程产生	铅、锌、镉、汞、铜、砷、铊、锰、铋、锡等	5~10
点源	烟尘	熔炼炉 ^①	铅、锌、砷、汞等及其氧化物	100~200
点源	烟尘	烧结机	铅、镉、汞、锌、砷、铜、铊等及其氧化物	25~40
点源	烟尘	还原炉 ^②	铅、锌、砷、镉、铜等	8~30
点源	烟尘	烟化炉	铅、锌的氧化物	50~120
点源	烟尘	澳斯麦特炉 ^③	铅、锌、砷等及其氧化物	100~200
点源	铅尘	熔铅锅	铅、锌、砷、镉等及其氧化物	1~2
点源	铅尘	电铅锅	熔化氧化产生的含铅烟尘	1~2
点源	烟尘	浮渣反射炉	铅、锌、砷、镉、铜、碲、铟等及其氧化物	5~10
点源	粉尘	熔炼炉、鼓风机、烟化炉、浮渣处理炉窑、铸渣机和铸锭机等加料口、出铅口及出渣口等处产生的环保烟气烟尘	铅、锌、镉、汞、铜、砷、铊、锰、铋、锡等	1~5
无组织排放				
面源	粉尘	道路、堆场和厂房扬尘等	铅、锌、镉、汞、铜、砷、铊、锰、铋、锡等	——

注：① 熔炼炉：水口山（SKS）炼铅法、艾萨（ISA）富氧顶吹炉、基夫赛特炉等。

② 还原炉包括：密闭鼓风机、侧吹还原炉、底吹还原炉等。

a) 原料仓及配料系统废气收尘

铅精矿仓中给料、输送、混料等均产生粉尘，在各产尘点设置集气装置，选用袋式除尘装置处理该废气，除尘效率可达 99% 以上。在物料破碎、筛分、皮带转运的物料跌落点，可采用无动力、微动力除尘技术。

b) 冶炼过程收尘

粗铅冶炼行业颗粒物的排放量主要取决于生产单位粗铅的排气量和废气中颗粒物浓度。

据已有资料来看，企业颗粒物排放量主要集中在 1.12~8.26kg/t 铅之间。水口山法炼铅吨粗铅颗粒物排放量为 1.854kg/t 铅，ISP 法企业在进行减排技术改造后可达到 3.82kg/t 铅，而卡尔多炉颗粒物排放量可达到 1kg/t 铅以下。

因为熔炼收尘后制造硫酸的烟气要求具有一定的 SO_2 浓度，选择流程时，应采用漏风率低的除尘设备。对于含一氧化碳较高的烟气，应采用密闭性能好的收尘设备捕集烟尘，选择干或湿式收尘流程则不限。干式电收尘器要求烟尘比电阻为 $10^4 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ，如不在此范围，须采取特殊措施。烟气中含有二氧化硫、三氧化硫等成分时，对收尘设备均有腐蚀作用，尤其当烟气含水较高时腐蚀更为严重，选择流程时应充分考虑设备的防腐问题。布袋除尘器由于其抗火性能较差，一般需在其前设置余热锅炉或冷却装置对烟气进行降温。

铅熔炼炉烟气收尘

铅鼓风炉熔炼的烟气温度一般为 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ ，打炉结和处理事故时，烟气温度可达 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ，烟气含尘量最高可达 $1030 \text{g} / \text{m}^3$ ，收尘流程应按处理事故时的烟气温度确定冷却设备。铅尘密度较大而黏，烟尘含量高时不宜将风机设在袋式除尘器进口，以避免风机因粘尘而产生振动。袋式除尘器应采取有效的清灰方式，可采取机械振打加脉冲清灰。鼓风炉熔炼烟气中含硫氧化物(SO_x)可达 0.05%~0.5%，按环保要求必须处理后才能排放。

对于氧气底吹炼铅熔炼炉，由于强化了熔炼过程，烟气中的含尘量、烟气温度和 SO_2 浓度都比较高，出炉烟气温度可达 1300°C ，烟气含尘量高达 $200 \text{g} / \text{m}^3$ ， SO_2 浓度达 8%~9%，烟气可直接制酸。一般采用余热锅炉降温并回收其中的余热，收尘装置可采用电除尘器。考虑到配置及操作上的原因，一般不设粗收尘装置，烟气出余热锅炉后直接进入电除尘器。

ISP 法铅烧结机烟气收尘

烧结机烟气中含有一定的 SO_2 和水, 烟气温度 $250\sim 350^\circ\text{C}$, 烟气含尘量 $25\sim 40\text{ g}/\text{m}^3$ 。由于这种烟尘的比电阻比较高, 以往多采用袋式除尘器, 但因其存在着腐蚀和劳动条件差等问题, 现已多改用电除尘器。烧结机烟气中的 SO_2 浓度为 $3\%\sim 7\%$, 为保证进入制酸工序的 SO_2 浓度, 应采用密闭性能好的收尘设备。电除尘器可采用宽极距, 电场风速及驱进速度应控制在适当的范围内。

烟化炉烟气收尘

铅烟化炉出炉烟气温度高达 1250°C , 烟气含尘 $10\sim 120\text{ g}/\text{m}^3$, 烟气需经余热锅炉降温并回收余热后进入收尘系统。烟化炉烟尘多为挥发性烟尘, 烟尘粒度较细, 烟尘中含锌、铅较高, 一般采用袋式除尘器。处理含氟(F)、氯(Cl)较高的氧化矿时, 滤袋烟尘含氟(F)、氯(Cl)亦较高, 采用湿式收尘流程, 可脱除一部分氟、氯, 此流程耗水量在 $2\sim 3\text{ kg}/\text{Nm}^3$, 脱氟率可达 99% 以上。当烟化炉操作不正常时, 烟气中常含有未燃烧的粉煤, 收尘系统应考虑防爆措施。

反射炉处理烟气收尘

反射炉处理浮渣时, 其烟气温度为 900°C , 烟气含尘 $3\sim 10\text{ g}/\text{Nm}^3$, 主要采用冷却器—冷却烟道—滤袋收尘器 / 湿法收尘器—外排等干法、湿法收尘流程。

综合利用烟气收尘

处理阳极泥、烟尘和废渣等的冶炼炉烟气多采用滤袋收尘。稀有金属回收时, 常采用湿式电收尘, 收尘效率在 99% 以上。

铅电解烟气收尘

铅电解车间熔铅锅、电铅锅在操作时会有铅蒸汽及铅尘冒出, 一般在锅上设排风罩收集, 正常情况下排风罩集气率可达 90% 以上, 排风罩烟气经袋式除尘器净化后外排, 几年来出现的新型微孔薄膜复合滤料的袋式除尘器除尘效率可达 99.5% 以上, 大大降低了铅尘的排放量。

c) 环境集烟收尘

在铅冶炼中, 在氧气底吹熔炼炉、鼓风机、烟化炉、反射炉等处的加料口、出铅口、出渣口以及皮带机受料点等处产生烟粉尘, 设通风收尘系统, 选用袋式除尘器除尘, 除尘效率 99.5% , 除尘后烟气经环保烟囱排放。

d) 无组织排放

铅冶炼过程中的其它无组织排放主要包括道路扬尘、堆场扬尘和电解车间产生的酸雾。对于原料堆场通过建造原料仓库、原料棚来减少二次扬尘的产生，运输道路通过洒水降尘来抑制二次扬尘的产生。

铅冶炼过程典型收尘技术流程如表 5-2:

表 5-2 铅冶炼过程典型收尘技术流程表

烟（粉）尘来源	收尘流程	外排烟（粉）尘浓度 (mg/Nm ³)
铅精矿仓中给料、输送、配料等过程产生粉尘	集气罩→袋式收尘器（或无动力收尘 ^① ，或微动力收尘 ^② ）→外排	<80
熔炼炉烟尘	烟气→余热锅炉→电收尘器→制酸系统	——
鼓风烧结机烟尘	烟气→沉尘室（或旋风收尘器）→电收尘器→制酸系统	——
还原炉烟尘	烟气→旋风除尘（或沉降室、余热锅炉、表面冷却器）→布袋收尘器→制酸或脱硫系统	<80
烟化炉（或回转窑、烟化炉—余热锅炉一体化）烟尘	烟气→旋风除尘（或沉降室、余热锅炉、表面冷却器）→袋式收尘器→脱硫系统	<80
澳斯麦特炉烟尘	烟气→余热锅炉→电收尘器→动力波洗涤→电除雾→制酸系统	<50
熔/电铅锅铅烟尘	集气罩→袋式收尘器→外排	<8
浮渣反射炉烟尘	烟气→旋风除尘（或沉降室、余热锅炉、表面冷却器）→袋式收尘器→脱硫系统	<80
	烟气→冷却烟道→文氏管→汽水分离	

	器→脱硫系统	
环保烟气烟尘	集气罩→袋式收尘器→外排	<25
道路、堆场和厂房等产生扬尘	道路和堆场扬尘采取遮盖、围栏、洒水抑尘、电动喷雾机组、压气喷雾或真空吸尘系统等降尘设施。 厂房扬尘采取电动喷雾机组、压气喷雾或真空吸尘系统等降尘设施。 设置水冲洗设施，定期用水冲洗厂房内部各积尘表面。利用开敞式空间静电抑尘装置对无罩尘源进行控制。	—

注：①和②适用于物料破碎、筛分、皮带转运系统的除尘，其中粉状、磨琢性小的物料，可采用无动力除尘；在粉尘量大，粉尘运动动力不足的情况下，采用微动力除尘技术。

5.2.2 烟气中 SO₂ 治理

铅锌工业废气中的 SO₂ 主要有两个来源，一是原料含硫，二是燃料含硫。SO₂ 排放基本上都是来自于各种工业炉窑产生的烟气。ISP 法生产铅锌废气量在吨金属 100000m³ 左右，直接炼铅法废气排放量则在 20000~30000m³/t 以内，而 SO₂ 的主要排放源制酸尾气、鼓风机、烟化炉等的烟气排放量约为 6000~100000 m³/t。来源及特征见表 5-3：

表 5-3 铅冶炼废气中 SO₂ 污染物来源及特性

源型	烟气种类	来源	含 SO ₂ 量 (%)
有组织排放			
点源	烧结烟气	烧结机 (ISP 法)	平均 1.0-6.0 最低 0.2, 采用富氧技术可达 10 以上
点源	熔炼烟气	SKS 炼铅法	8-15
点源	熔炼烟气	密闭鼓风机	<0.5%
	熔炼烟气	基夫赛特法 (Kivcet 法)	20-50
	熔炼烟气	卡尔多炉	0-16

	熔炼烟气	奥托昆普、HUAS炼铅闪速炉	>20
	熔炼烟气	奥斯麦特炉	0.1%-12%
	还原烟气	富氧侧吹铅渣处理炉	10
点源	烟气	烟化炉、还原炉 [®]	0.02-10
点源	烟气	浮渣反射炉	<1%
无组织排放			
面源	烟气	系统漏气、生产操作时在出铅口、出渣口等处产生的烟气	无规则、波动大

由于各铅冶炼企业采用的工艺不一致，各工序或设备产生的烟气，按照收尘后烟气中的 SO₂ 气体浓度不同，分为 5 种情况，见表 5-4:

表 5-4 烟气中 SO₂ 不同含量情况

	情况一	情况二	情况三	情况四	情况五
SO ₂ v%	<1.5	1.5-3.5	3.5-5	5-8	>8

1) 高浓度烟气制酸（情况三、四、五）

一般将依照烟气中 SO₂ 含量情况，将铅冶炼烟气分为高浓度烟气（SO₂ 含量大于 3.5%）和低浓度烟气（SO₂ 含量小于 3.5%）。当烟气中 SO₂ 含量在 3.5% 以上时，就可以采用接触法进行制酸。直接炼铅法制酸工艺均为两转两吸，采用国内触媒转化率可达到 99.6%，如采用进口触媒，其转化率可达到 99.8%，则制酸后的 SO₂ 残留量为 2kg；但进口触媒价格昂贵，企业应按实际情况选用。

铅冶炼烟气浓度在 3.5% 左右时，目前国内一些老企业采用的仍是一转一吸工艺，一转一吸工艺制酸尾气 SO₂ 一般达不到排放标准，须在该段工艺后加脱硫系统。由于该法对环境危害较大，方法不予推荐。一个特例为云锡铅厂采用的 Cansolv 法加一转一吸工艺，该厂用有机胺吸附和解析来调节 SO₂ 浓度，制酸尾气也用有机胺吸收，为类似两转两吸工艺，完全可以满足制酸需要和环境要求，但一次投资较大。

情况二中如采用低浓度接触法制酸主要有两种转化方式，即非稳态转化制酸和 TOPSOE 制酸技术（WSA）。非稳态转化制酸主要为豫北冶炼厂和济源冶炼

厂所采用，对烟气浓度波动的适应性较强，低浓度转化可以实现自热平衡，但转化率较低，只有 90%左右，且硫酸产品质量较差。存在的问题还有催化剂损耗大、转化率低（80-90%）、尾气不能直接排放仍需脱硫处理等。株冶于 90 年代引进了 TOPSOE 制酸技术（WSA），除技改费用昂贵外，从装置的运行来看，烟气仍需配气到 SO₂ 含量 3.5-4.0%才能稳定运行，另外装置和设备上还存在一些问题。目前株冶正准备用基夫赛特炉替代落后的烧结—鼓风机工艺。

ISP 法铅锌烧结比单纯的铅烧结 SO₂ 浓度要略高，可达到 5%以上，可以采用两转两吸制酸，而普通的铅烧结烟气 SO₂ 浓度则在 3~5%之间，难以采用两转两吸。韶冶一系统烧结烟气采用两转两吸制酸工艺，二系统原本采用一转一吸制酸，其后果是尾吸成本太高。2004 年韶冶对二系统着手进行了改造，通过提高烧结机密闭性能、加大返烟力度等措施，提高了出口 SO₂ 烟气的浓度，同时制酸改为两转两吸，SO₂ 转化率可以提高至 99.6%，外排烟气 SO₂ 不需尾吸即可以达标。除韶冶之外，国内另外两家 ISP 冶炼厂葫芦岛集团和陕西东岭集团也是采用两转两吸。

与传统铅冶炼工艺相比，直接炼铅设备如 QSL 炉、SKS 炉、基夫赛特炉等烟气量相对要小的多，SO₂ 浓度也高。QLS 炉和 SKS 炉烟气 SO₂ 含量均在 10%上下，基夫赛特炉甚至达到了 20%以上，如此高的浓度完全可以采用两转两吸制酸，因此，可以说直接炼铅法解决了传统的烧结工艺制酸难的问题。

因此，较高浓度的铅冶炼烟气推荐通过配气等手段，采用两转两吸工艺进行制酸，或采用类似双接触法工艺进行制酸。

2) 低浓度烟气脱硫（情况一和情况二）

铅锌冶炼中，烧结或焙烧烟气、直接炼铅炉等产生的各种烟气 SO₂ 含量在 3.5%以上，为高浓度 SO₂ 烟气，可制取工业硫酸回收硫；其它低浓度含 SO₂ 废气（包括制酸尾气）未达到排放标准的均需处理后才能排放。对于基夫塞特炉、卡尔多炉等直接炼铅工艺设施，由于不需要后续的鼓风机还原处理，其产生的低浓度烟气 SO₂ 以制酸后废气中的残余 SO₂ 和渣处理炉烟气为主。而对于 ISP 法、艾萨法、水口山法等炼铅工艺，后续的鼓风机等设备产生的低浓度 SO₂ 也占有较大比重。特别是 SO₂ 含量在 3%以下的还原炉和烟化炉烟气，由于热量难以平衡，制酸难度较大，一些炼铅厂将这部分烟气直接排放，严重污染大气环境。

从冶炼工艺改进角度，各炼铅厂针对此情况采取了很多方案，有效的解决措施有：烧结机分段排气及尾气处理、贫 SO₂ 烟气循环、将贫 SO₂ 烟气鼓入焙烧（烧结）炉烟气，以及改革现有工艺：采取密封返烟烧结、富氧、热风和计算机控制等措施使冶炼烟气达到制酸要求等。

烟化炉中由于原料中含硫及加入的燃料含硫原因，烟气仍含有低浓度的 SO₂，难以直接进行烟气制酸，直接排放会对环境造成较大污染。云南驰宏锌锗股份有限公司烟化炉处理物料时，烟气含 SO₂ 浓度 300~100000mg/m³。由于其烟气含二氧化硫浓度波动较大，并且以低浓度烟气为主，因此，配套建设了烟气氨酸法脱硫工艺设施，很好地解决了这一问题，其脱硫效率达 99%。

炼铅鼓风还原炉、铅浮渣反射炉等炉窑出口烟气 SO₂ 含量虽大多在 1%以下，但 SO₂ 浓度仍超出排放标准。此外，冶炼过程中无组织排放的含硫烟气，因气量大、收集困难、SO₂ 含量低、温度低等特点，大部分直接排放，也对大气环境造成污染。

低浓度 SO₂ 冶炼烟气的利用 铅熔炼、浮渣反射炉熔炼等设备冶炼烟气中的 SO₂ 浓度低(<1.5%)，例如铅鼓风炉烟气中的 SO₂ 的浓度小于 0.5%，铅浮渣反射炉烟气中的 SO₂ 的浓度小于 1%，都不适于直接制酸。

目前我国越来越多的铅锌冶炼企业已经开始对 SO₂ 含量不足以制酸的低浓度 SO₂ 烟气进行进一步的脱硫处理，新建项目则均配备了脱硫设施。

国内适用的主要脱硫工艺有石灰石/石膏法（钙法）、湿式氨法、钠碱法、双碱法、有机胺法、氧化锌法、活性炭（焦）法等。

石灰石/石膏法又称为钙法脱硫，原理为采用石灰、石灰石、电石渣等钙类原料制成，浆料与烟气中的 SO₂ 等酸性气体和其它杂质反应，从而达到净化烟气的目的。该法是目前国内各行业 SO₂ 烟气净化应用最广泛的方法。

主要特点是：脱硫效率高达 95%以上，有利于地区和企业实行总量控制；技术成熟，设备运行可靠性高（系统可利用率达 98%以上）；单塔处理烟气量大，SO₂ 脱除量大；适用于任何含硫量的烟气脱硫；对负荷变化的适应性强；设备布置紧凑减少了场地需求；处理效果好，处理后的烟气含尘量大大减少；吸收剂(石灰石)资源丰富，价廉易得；脱硫副产物（石膏）可实现综合利用。该法的主要缺陷是产生了大量石膏，这种脱硫石膏产品中可能含有铅砷等大量有害元素，综

合利用困难，堆存处理时占用了大量土地并成为了新的污染源；另外设备、管道运行时极易堵塞也是工艺本身的缺陷。

湿式氨法工艺过程一般分成三大步骤：脱硫吸收、中间产品处理、副产品制造。根据过程和副产物的不同，湿式氨法又可分为氨-硫铵肥法、氨-磷铵肥法、氨-酸法、氨-亚硫酸铵法等。氨法直接采用液态氨水或尿素等含氨物料溶液作为吸收剂，吸收烟气中的 SO_2 。中间产品的处理主要分为两大类：直接氧化和酸解，对应工艺称为氨肥法和氨酸法。直接氧化是在多功能脱硫塔中，鼓入空气将亚硫酸氧化成硫铵；酸解又称氨酸法，用硫酸、磷酸、硝酸等酸将脱硫产物亚硫酸铵酸解，生成相应的铵盐和气体二氧化硫。云南亚太环境工程设计研究有限公司开发了将硫酸铵溶液加入氯化钾，生产硫酸钾化肥的工艺，拓展了产业链。

主要特点：脱硫塔不易结垢；对烟气硫含量和波动适应性广；系统简单、设备体积小、能耗低；无二次污染，且得到的副产品可直接作为硫铵化肥，也可在过程中通过酸解析得到 SO_2 ，补充进制酸系统或生产液体 SO_2 ，大大降低了运营费用。氨法脱硫的副产品有着良好的销售前景，通常情况下可以抵消原料氨的成本，甚至可以部分或全部抵消整个装置的运行成本。这是其他脱硫方法难以做到的。该法的缺点是：脱硫过程需要氨，对附近有生产或副产氨企业的铅冶炼厂最为实用，其它地区则需要增加运输费用；另外由于氨的易挥发等特性，因此对工艺技术提供商及运营人员要求比较高。

碱法脱硫包括钠碱法和钾碱法，由于 NaOH 远比 KOH 便宜，所以一般采用钠碱法。 NaOH 烟气脱硫工艺是为了克服石灰石/石灰法容易结垢的缺点而发展起来的。它先用碱金属盐类如 NaOH 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 Na_2SO_3 等的水溶液吸收 SO_2 ，吸收后的产物可以以各种方式回收或者再生循环利用。株洲冶炼厂等企业采用此种工艺。

该法具有如下优点：与氨法比，它使用固体吸收剂，碱的来源限制小，便于输送、储存。而且由于阳离子为非挥发性的，不存在吸收剂在吸收过程中的挥发问题，因而耗碱少；与钙法比，钠碱的溶解度更高，因而吸收系统不存在结垢、堵塞等问题；钠碱吸收剂吸收能力大，吸收剂用量小，可获得较好的处理效果。钠碱法的主要缺点是与氨法及钙碱法相比，处理成本相对较高；副产品为 Na_2SO_3 或 NaSO_4 时，产品品级略低，销售存在一定难度。

双碱法烟气脱硫技术是为了克服石灰石—石灰法容易结垢的缺点而发展起来的。双碱法是采用钠基脱硫剂进行塔内脱硫，由于钠基脱硫剂碱性强，吸收二氧化硫后反应产物溶解度大，不会造成过饱和结晶，造成结垢堵塞问题。另一方面脱硫产物被排入再生池内用氢氧化钙进行还原再生，再生出的钠基脱硫剂再被打回脱硫塔循环使用。

双碱法脱硫工艺降低了投资及运行费用，与石灰石或石灰湿法脱硫工艺相比，双碱法原则上有以下优点：用 NaOH 脱硫，循环水基本上是 NaOH 的水溶液，在循环过程中对水泵、管道、设备均无腐蚀与堵塞现象，便于设备运行与保养；吸收剂的再生和脱硫渣的沉淀发生在塔外，这样避免了塔内堵塞和磨损，提高了运行的可靠性，降低了操作费用；同时可以用高效的板式塔或填料塔代替空塔，使系统更紧凑，且可提高脱硫效率；钠基吸收液吸收 SO₂ 速度快，故可用较小的液气比，达到较高的脱硫效率，一般在 90% 以上；对脱硫除尘一体化技术而言，可提高石灰的利用率。缺点是：Na₂SO₃ 氧化副反应产物 Na₂SO₄ 较难再生，需不断的补充 NaOH 或 Na₂CO₃ 而增加碱的消耗量；Na₂SO₄ 的存在也将降低石膏的质量；另外同钙法一样，也存在钙还原再生部分设备、管道易结垢和副产石膏销售处理困难的问题。

氧化锌法是用氧化锌料浆吸收烟气中 SO₂ 的方法，原料可采用氧化锌矿物或收尘得到的氧化锌粉尘等，采用氧化锌浆液吸收尾气中的 SO₂，首先生成亚硫酸锌 (ZnSO₃·5/2H₂O)，然后与烟气中氧气及鼓入空气中的氧气发生氧化反应，生成硫酸锌溶液；由氧化塔排至渣浆贮槽中的含硫酸锌渣浆，经反冲胀鼓管式过滤器快速过滤，过滤上清液为硫酸锌，直接返回氧化锌浆液制备系统，但当滤清液锌含量 > 100g / L，送至成品贮槽，其中一部分送至氧化锌精加工工序，另一部分送至硫酸锌浓缩工序，制成硫酸锌晶体或作为浸出液进入电解锌工序。底部排出的泥浓浆直接进入箱式压滤机，进一步分理出固态滤渣，滤液返回配浆槽，将渣浆分离后进行干燥 (主要通过加热的方法除去其中的结晶水)，然后对固态滤渣进行煅烧分解 (在添加焦炭或煤作还原剂情况下)，再生氧化锌粉并回收副产 SO₂。滤渣 (主要为硫酸铅、原料中杂质) 送锌冶炼系统，回收锌和 SO₂。豫光金铅和水口山矿务局等企业即采用该法。

氧化锌法适用于铅锌联产冶炼厂，由于原料易得，且产品可回用于生产，烟

气中的硫可以回收，得到了越来越多的利用，但有时由于杂质的累积，难以真正做到闭路，不得不生产硫酸锌作为产品销售，受到市场销路影响；另外氧化锌的吸收效率相对偏低。

镁法又称氧化镁法，和氧化锌法的反应机理大致相同。镁法脱硫系统包括两部分：一是氧化镁浆液制备，烟气 SO_2 吸收，浓度过滤；二是亚硫酸镁的烘干煅烧 800-850 度分解，固体颗粒为氧化镁，返回使用。含高浓度 SO_2 气体降温后送硫酸系统制取硫酸。

镁法脱硫技术的优点：工艺成熟，原料有保证。我国氧化镁储量为 160 亿 t，占全世界的 80%，资源丰富。脱硫效率高，设备不结垢。在化学反应活性方面，氧化镁要远远高于钙基脱硫剂，而且氧化镁的分子量比 CaCO_3 和 CaO 都小，在相同的条件下脱硫率高，用量小，且亚硫酸镁不结垢。脱硫废水量少。氧化镁法脱硫工艺无废水，只有冲洗地面时有废水产生。投资少，其主体设备脱硫吸收塔的高度仅为钙法的 2/3，致使投资费用通常要比钙法降低 20%-30%。。氧化镁制取浆液比较简单，不用粉磨，而且在吸收塔中液气比小，塔径小，循环泵流量、功率降低，吸收剂的用量也少。副产品价值高。亚硫酸镁循环主要有两种用途：一是制硫酸和氧化镁，氧化镁循环再使用，只补充 8%的氧化镁，副产硫酸，经济效益显著；二是亚硫酸镁可以制做硫镁肥料等，无二次污染。缺点是副产品中可能带入烟气中污染物，对副产品品质造成影响；脱硫剂再生时，需要煅烧，能源消耗较大。

有机胺法最具代表的工艺是 Cansolv 工艺，1988 年，加拿大联合碳化物公司首次进行 Cansolv 系统脱除二氧化硫的技术开发，二氧化硫的处理量最低浓度能达到 15ppmv。其脱硫工艺由预分离器、吸收装置、解吸装置、胺净化装置组成。大致流程为：烟道气体在水喷淋预洗涤器中急冷和饱和，同时去除小颗粒灰尘及大部分强酸，预洗涤器中洗涤液 pH 值低的酸性环境，防止 SO_2 的水解并使其以气相形式进入吸收塔。贫胺与 SO_2 逆流接触反应，其中烟气中强酸与吸收剂反应。净化后的烟道气符合环保标准并送回烟道放空。吸收 SO_2 后的富液经富液泵加压后进溶液换热器，与热贫液换热后进入再生塔上部，在再生塔内被蒸汽汽提，并经再沸器加热再生为热贫液。热贫液经换热后进贫液泵加压，再生出来的贫胺液返回吸收塔循环利用，其中一部分进入胺净化装置去除“热稳定性

盐”，保证贫胺液浓度。从再生塔解析出来的 SO_2 经冷却、分离后纯度达到 99% 以上（干基），可作为硫酸或硫磺生产中所需原料。云锡铅厂即采用此种工艺，从有机胺中解析的 SO_2 送往制酸系统，取得了很好的效果。

有机胺烟气脱硫的优点：脱硫效率大于 99%，工艺流程简单，需吸收液制备系统，系统操作、维护简单可靠；系统腐蚀小，系统在弱酸性气液相环境中运行，基本无腐蚀；二次污染，副产品硫酸或硫磺的商业价值高，市场需求大；吸收液具有高的热稳定性和化学稳定性。缺点：一次投资较大；再生蒸汽消耗量较大，能耗成本较高；有机胺的抗氧化性、过程中生成的热稳定盐需要脱除。有机胺损耗价值较高，造成运营成本较高。

活性炭（焦）吸附法通常以活性炭或活性焦作吸附剂，在催化剂的作用下， SO_2 在活性炭表面同氧、水蒸气反应,生成硫酸而被吸附，淋洗而得浓度为 10~20% 的稀酸。也可将吸附 SO_2 后的活性焦在加热的情况下，释放出浓度大于 20% 的 SO_2 的混合气体，吸附层可用固定床或移动床,活性炭再生后回复吸附性能，重新投入脱硫塔循环使用。活性炭再生过程中产生的高浓度 SO_2 混合气体进入副产物利用系统进行资源化回收。此法一般多用来处理含 SO_2 在 0.5% 以下的烟气。

优点是：干法脱硫，节约水资源；脱硫过程温度高，脱硫后烟气无需升温；脱硫效率高，能适应各种烟气量规模和各种浓度的烟气；工况适应性强，能适应烟气量和 SO_2 浓度的频繁波动，对主生产系统影响小，自动化程度高；无二次污染，没有废水废渣，符合环保发展方向；可回收硫资源，同时可回收有价金属，实现清洁生产和循环经济需要；在脱硫的同时还能实现除尘，脱硝、脱重金属、脱除二恶英等多种污染物。缺点：活性炭价格目前相对较高；强度低，在吸附、再生、往返使用中损耗大；吸附法脱硫存在脱硫容量低、脱硫速率慢、再生频繁等缺点；水洗再生耗水量大、易造成二次污染；吸附剂吸附容量有限,常须在低风速(0.13~1.12m/s)下运行，因而吸附器体积较大；活性炭易被烟气中的 O_2 氧化导致损耗；长期使用后，活性炭会产生磨损，并会因微孔堵塞而丧失活性；从而需要再生处理；过程为间歇操作，投资费用高，能耗大。使该法的应用受到限制

常见几种脱硫方法比较如表 5-5：

表 5-5 几种常见的脱硫方法运行情况比较表

脱硫方法	石灰-石膏法(湿法)	镁法	双碱法	氨法(氨-酸法)
脱硫效率%	> 90	> 90	> 90	> 95
原料	石灰石	氧化镁	Na ₂ CO ₃ /石灰	氨(液氨/氨水)
来源情况	天然矿, 丰富	菱镁矿	合成	合成
原料价格(估) 元/t	2000-3250	6500(85%)	1600/200	液氨 2500
原料消耗 t/tSO ₂	1.8-1.9	0.7-0.8	0.16/0.88	0.532(折液氨)
副产品	石膏	MgSO ₄ ·7H ₂ O	CaSO ₃ \CaSO ₄ 、 Na ₂ SO ₃ \Na ₂ SO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄ 、 化肥
副产品用途	加工后可做建材, 但大部分抛弃	加工后可做 化肥添加剂, 但大部抛弃	加工后可做建材, 但大部分抛弃	农用化肥
副产品价格 元/t	0	0	0	800~1000
副产品产量 t/tSO ₂	2.6~2.7	3.8~3.9	2.1	2.1
产品-原料差价 元/tSO ₂	-370	-455	-400	350

5.2.3 其它污染物

为防范环境风险,铅冶炼企业对每一批矿物原料均应进行全成份分析,严格控制原料中汞、砷、镉、铊、铍等有害元素含量。无汞回收装置的冶炼厂,不应使用汞含量高于 0.01%的原料。含汞的废渣作为铅冶炼配料使用时,应先回收汞,再进行铅冶炼。通常情况下,铅冶炼企业基于投资和成本控制的原因,采用配料控制的方式保证每批次原、辅料入炉的各种有害元素含量不超标,以保证冶炼过程中不会对环境产生危害,并达到经济合理。

1) 经除尘后烟气中的重金属

经除尘后的冶炼烟气中仍含有一定量的重金属污染物,主要是铅锌蒸气或铅

锌蒸气冷凝形成的超细颗粒、汞蒸气、气态或微粒形态的砷及其化合物、铜、镉、铋等重金属微粒、其他微小颗粒和盐类。由于颗粒细小，或在一定温度下以气态存在，这部分污染物不能在收尘系统中除去，从而进入下一工序。

进入制酸系统的烟气一般要先经过洗涤，在洗涤过程中绝大部分细小颗粒物和气态金属被洗涤下来，经沉淀后形成酸泥和污水两部分。酸泥成份随冶炼物料变化和炉况而不尽相同，因此需要按批次对酸泥成份进行分析，汞、砷、镉等有害物质超标的酸泥严禁返回系统配料使用，必须封存并交有危废处理资质的专业企业进行处理。洗涤污水由于溶解了毒害物质，不允许直接排放，必须处理后达标方能排放。

进入脱硫系统的烟气处理情况依各工艺不同而不一致。湿法脱硫可以有效将除尘器未能除去的重金属污染物捕集下来，许多湿法工艺过程除去的重金属微粒或离子进入副产品中，可溶性重金属盐类进入污水中，因此需要严格控制原料矿的汞、砷、镉等毒害物质含量；另外对副产物要进行严格的分析，毒害物质超标的副产物要经再处理或按相关规定封存处理；污水需要经处理后排放。云南亚太环境工程设计研究有限公司研发的脱硫除重金属一体化工艺，通过在脱硫过程中加入重金属脱除剂，并对吸收母液加以过滤，达到脱除重金属的目的，装置运行脱除效率高，副产物基本不能检出毒害物质，滤渣经化验后可回收利用或再处理。干法脱硫工艺中推荐活性炭吸附法，可以使重金属微粒和气态污染物得以共同吸附，从而达到除重金属的目的。

2) 硫酸酸雾

铅锌冶炼企业中排入空气中的硫酸雾基本上是来自制酸工序。目前直接炼铅炉出口烟气 SO_2 含量一般可达到 7~8%以上，国内两转两吸制酸转化率为 99.5%~99.7%， SO_3 总吸收率可达到 99.98%，以此推算，尾气 SO_3 浓度在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以上，换算为酸雾则 $>61.25\text{mg}/\text{m}^3$ 。而实际上，在制酸初期高温的 SO_2 烟气与水一接触时会产生大量酸雾。虽在干燥塔前设有电除雾器进行除雾处理，但电除雾器因故障率较高经常导致除雾效率达不到要求，再加上后续流程仍会有酸雾产生，外排尾气中的酸雾浓度一般达不到现行标准要求，有时甚至达到一百到几百毫克，因此企业应采取措施去除酸雾。目前行之有效的方法是在二吸塔顶安装纤维除雾器，可确保尾气中酸雾达标。

3) 铅电解酸雾

铅电解车间产生的酸雾通过在电解槽阳极区覆盖高压聚乙烯粒料或采用槽面覆盖的方式,可以减少酸雾的溢出,同时通过设置轴流风机强制车间通风,可保证电解车间酸雾达到《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2-2007)中容许浓度限值要求。但是,电解槽中覆盖塑料小球或槽面覆盖会导致生产操作不便,生产厂家采用较少;强制通风需要对外排风进行处理,减少厂界环境污染。

5.3 国外铅冶炼治理情况

与目前我国铅冶炼行业发展趋势相同,欧盟国家早在上世纪就已开始了对传统铅冶炼工艺的改造,获得了显著的环境效益,体现出了工艺改造对于污染控制的重大意义。由于各种工艺所能达到的产能规模各不相同,所选择的不同工艺也伴随不同的处理装置。在上个世纪末,欧盟国家数家铅冶炼厂的排放水平已经可以达到严格的排放标准。几十年来,欧盟铅冶炼工业不断地发展工艺,以最大限度地利用冶炼过程产生的废物或产生出的废物能够用于其它有色金属冶炼工艺。

当前在欧盟铅冶炼行业中,采用新型现代滤料的布袋除尘器被认为是冶炼烟气收尘最有效和可行的处理技术。对于 SO_2 含量在 1~4% 的烟气,附加干式或半干式洗刷器的一转一吸或 WSA 制酸装置被认为是最有效和可行的处理技术;对于 SO_2 含量在 5% 以上的烟气,两转两吸制酸装置以及末端安装除雾器的处理方式被认为是最有效可行的技术。

5.3.1 收尘

根据欧盟有色金属工业最佳可得技术参考文件,使用织物过滤器、热静电除尘器(EP)和旋风除尘器等减量技术,废气中粉尘现有排放范围最大值为 100 mg/Nm^3 ,最小值 $<1 \text{ mg/Nm}^3$ 。织物过滤器被认为是有色金属废气中粉尘与金属削减的最佳可得技术(BAT),使用织物过滤器可将废气中的粉尘降至 $1\sim5 \text{ mg/Nm}^3$,使用 BAT 技术的铅锌生产新厂可以达到的排放标准为 10 mg/Nm^3 。

据欧盟有色金属工业最佳可得技术参考文件(BREF 文件),新型覆膜布袋将极度光滑精细的聚四氟乙烯制膜覆盖在衬底材料之上,可提高布袋寿命,降低对烟气温度的要求,并相应地降低了运行费用。这些新型材料的使用大大扩张了布袋除尘器的应用范围,可应用于所有新建或现有的装置,并可用于现有布袋的

修复。根据文件中提供的报告，这类新型布袋如果配以正确的设计和管理，并用以处理合适的粉尘，将可获得极低的排放浓度 ($<1\text{mg}/\text{m}^3$)，而且更长的寿命和更大的可靠性足以弥补改良布袋除尘器所花费的投资。

在欧盟的冶炼厂中有数个比较成功的陶瓷除尘器应用实例，使用这类除尘器可以达到极高的除尘效率，很细微的颗粒包括 PM_{10} 都可以被收集。陶瓷除尘器一般为明矾、硅酸盐等所制，外面涂一层材料以提高抗酸性或抗腐蚀性，其收尘原理和布袋收尘器相近。陶瓷除尘器具有高的耐热性，在正确的设计和合适的粉尘前提下，粉尘排放浓度可以达到 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，但粘性大的颗粒难以清理依然是陶瓷除尘器存在的一个潜在的问题。

5.3.2 SO_2 治理

欧盟有色金属工业最佳可得技术参考文件中介绍了西方铅锌冶炼厂对烟气中的 SO_2 所采取的主要的治理对策，具体如下：

(1) 烟气 SO_2 含量 $<1\%$ ，可采用威尔曼再生法，利用亚硫酸钠溶液吸收 SO_2 生成亚硫酸氢钠，再从溶液中释放出高浓度的 SO_2 ，用以生产液态 SO_2 或硫等其它产品。美国熔炼公司 (ASARCO) 则采用 2,3-二甲基苯胺洗涤器吸收气体中的 SO_2 ，然后用水解吸后生产硫酸。另外，也可采用干式或半干式石灰吸收、氧化铝吸收、镁盐吸收等方法。

(2) 烟气 SO_2 含量 $>1\%$ ，一种方案是用冷水，比如冷海水吸收烟气中的 SO_2 后再真空解吸再生为液态 SO_2 ，这种方法需要与一套制酸装置相联接，以回收未被吸收完全的 SO_2 。另一种方案是直接制酸，单接触法采用铈氧化物作催化剂时， SO_2 的转化率可得到显著的提高。法国的 Hoyelles-Godault 炼铅厂采用的湿式硫酸工艺 (WSA 法或 TopsoeWSA 法)，是单接触法发展的产物。该工艺取消了烟气的预先或中途的干燥过程，进口烟气 SO_2 含量为 $2.0\sim 3.5\%$ ，转化率达到到了 99% 。此项技术在株冶也已有应用，但由于某些技术问题，效果不十分理想。双接触装置将 SO_2 的转化率由单接触法的 $<98\%$ 提高到 $>99.5\%$ ，驰宏锌锗公司生产实例表明，当采用铈催化剂时，转化率可达到 99.9% ，可以直接满足《铅锌工业污染物排放标准》(GB25466-2010) 要求，不用再后接脱硫装置。

欧盟有色金属工业最佳可得技术参考文件中给出了烟气中 SO_2 治理的最佳可得技术 (BAT)，主要如下：

(1) 对于浓度很低的 SO_2 烟气，采用湿式或半干的洗涤器，如果生产石膏外卖可行的话，被认为是最佳可得技术；

(2) 对于浓度高一点的烟气，采用后连硫酸装置的冷水吸收烟气中 SO_2 ，并从溶液中再生生产液态 SO_2 ，被认为是最佳可得技术；

(3) 最小四段的双接触法的采用被认为是最佳可得技术，进口烟气浓度的最大化也被认为是最佳可得技术；

(4) 对于一套制酸装置，下列措施被认为是最佳可得技术：

a) 当烟气 SO_2 含量在 14% 甚至以上时，铈催化剂的使用是必要的；

b) 对于 SO_2 含量低且变动 (1.5~4%) 的烟气，单接触法比如 WSA 法可以被采用，铈催化剂在最后一段的采用可以达到最佳的效果。双接触法工艺复杂且昂贵，可以采用单接触法，必要时利用石灰吸收生产石膏。

5.3.3 过程控制

发达国家铅冶炼工业非常重视冶炼过程控制技术，通过过程控制来达到有效阻止或最小化污染物的排放、提高进程效率和节能降耗的目的。目前已被应用于工业生产的技术主要有：

(1) 原料的采样分析和优化配料；

(2) 喂料计量和转运系统；

(3) 计算机应用控制进料率、关键过程、燃烧条件和气体状态等，主要通过一些参数的检测来加以控制，关键的参数设置警报。主要参数如下：

a) 温度、炉压（或负压）、废气流量或速度的在线检测，检测并控制熔炼炉的温度，以避免因过热而产生大量金属和金属氧化物的烟气；

b) 废气成份的检测 (O_2 、 SO_2 、 CO)；

c) 振动的在线检测以探查是否有堵塞或可能的设备故障；

d) 外排污染物的在线检测。

6 主要技术内容及说明

6.1 适用范围及总体要求说明

本规范是在铅冶炼业清洁生产的前提指导下，根据国家《铅锌冶炼工业污染

防治技术政策》(中华人民共和国环境保护部公告 2012年 第18号)等技术政策,以全面达到《铅、锌工业污染物排放标准》排放要求为目的,对铅冶炼废气治理工程的设计、施工、验收、运行和维护提出了技术要求。

(1)本标准适用于矿产铅冶炼和以矿产铅冶炼作为金属捕集剂的冶炼行业,再生铅冶炼产生的废气治理按国家相关标准执行。

我国的铅冶炼包括矿产铅冶炼和再生铅冶炼。从我国目前再生铅冶炼的情况来看,再生铅冶炼的原料占绝大多数的是废铅酸蓄电池,其它种类的再生铅冶炼多是随矿产铅冶炼同时进行。由于废铅酸蓄电池的冶炼毒害性大,国家已经出台了相关冶炼工艺规范和排放标准以及相关的法规,如《再生铅行业准入条件》(工业和信息化部、环境保护部 公告 2012 年第 38 号)、《再生有色金属工业污染物排放标准—铅》(征求意见稿)、《废铅酸蓄电池处理污染控制技术规范》(HJ519)、《清洁生产标准 废铅酸蓄电池铅回收业》(HJ 510)等。

鉴于再生铅所占比例较小,且国家对再生铅冶炼行业已经或即将出台较为完善的法律、法规和标准。因此,本标准不将再生铅冶炼废气治理纳入规范范畴。

此外,一些贵金属冶炼和其它金属回收企业,以矿产铅的冶炼过程捕集和回收金属,因产生的废气性质类似于矿产铅冶炼废气,故也适用于本规范。

(2) 本规范暂不涉及铅冶炼过程中所产生氮氧化物的治理

目前铅锌冶炼厂的废气治理仍主要是针对颗粒物和 SO₂ 的去除,对于国外冶炼厂环保要求的氮氧化物限值,目前我国暂未列入冶炼行业控制指标,尚未出台国家控制标准,国内铅厂也未见相关治理工程,因此本规范暂不涉及铅冶炼所产生的氮氧化物治理问题。

(3) 国家发改委 2007 年发布的《铅锌行业准入条件》规定:“立即淘汰土烧结盘、简易高炉、烧结锅、烧结盘等落后方式炼铅工艺及设备,……禁止新建烧结机—鼓风炉炼铅企业,在 2008 年底前淘汰经改造后虽然已配备制酸系统但尾气及铅尘污染仍达不到环保标准的烧结机炼铅工艺”。近年来,在国家强有力的监管和调控政策下,许多采用传统炼铅工艺的、污染严重的铅冶炼企业纷纷关闭或进行技术改造。因此本规范对工艺落后的烧结-鼓风炉炼铅不予考虑。

(4) 国家鼓励较高浓度的铅冶炼烟气通过采用配气等手段,采用两转两吸类工艺进行制酸,或采用类似双接触法工艺进行制酸。由于铅冶炼尾气两转两

吸类制酸工艺属成熟技术，本规范不再详细规范。

(5) 烟气脱汞因为国内铅冶炼采用的原料含汞通常通过配料控制，烟气中汞含量一般不超标，因此此方面仅在条款 5.1.13 中第(1)条中做一般要求。

(6) 铅电解产生的酸雾因电解生产面积大，操作较频繁等问题，目前国内尚无很好的解决方法，铅企业多采用加强通风的方式解决。因此，本规范仅在条款 5.1.11 中做一般要求。

(7) 铅阳极泥综合利用产生的废气因组分不同，各厂采用的工艺不同，特点是废气气量少，组分差别大，所以，本规范条款 5.1.12 要求：铅阳极泥综合利用过程中产生的废气应根据具体工艺和废气类型和气量选用适合的除尘、脱硫、脱酸(碱)、脱除其它有害气体的工艺，不允许直接超标排放。

6.2 污染物和污染负荷

6.2.1 污染物

铅冶炼废气的污染物按形态分可以分为固体颗粒物和气态污染物。其中固体颗粒物主要污染物是烟气中的粉尘、烟尘和铅烟尘。我国粗铅冶炼企业采取的冶炼工艺不同，烟尘浓度差别较大，其中氧气底吹熔炼(SKS法、基夫赛特、奥托昆普)产尘浓度较高。烟尘主要污染物为铅、锌、砷、铊、镉、汞等重金属及化合物。铅冶炼废气中的颗粒物包括各工序收尘器所收烟(粉)尘均返回生产流程用于金属回收。

本规范中铅冶炼废气中的气态污染物主要为冶炼产生的 SO_2 ，另外还含有少量的各类重金属及其化合物、金属蒸气、 SO_2 、硫酸雾等。

6.2.2 污染负荷

根据调研情况和资料汇总，技术规范条款 4.1 中提出颗粒污染物来源及特性见本说明表 5-1；技术规范条款 4.2 中提出铅冶炼废气中 SO_2 污染物来源及特性见本说明表 5-3。

6.3 工艺设计篇

6.3.1 工艺路线选择

(1) 除尘

因为各企业所采取的冶炼工艺不同,各种设备所采用收尘工艺也不尽相同。依照烟(粉)尘的来源和性质不同,技术规范条款 6.1.1 中选择相应处理工艺。见下表 6-1。

表 6-1 铅冶炼过程典型收尘技术流程表

烟(粉)尘来源	收尘流程	外排烟(粉)尘浓度 (mg/Nm ³)
铅精矿仓中给料、输送、配料等过程产生粉尘	集气罩→袋式收尘器(或无动力收尘 ^① ,或微动力收尘 ^②)→外排	<80
熔炼炉烟尘	烟气→余热锅炉→电收尘器→制酸系统	——
鼓风烧结机烟尘	烟气→沉尘室(或旋风收尘器)→电收尘器→制酸系统	——
还原炉烟尘	烟气→旋风除尘(或沉降室、余热锅炉、表面冷却器)→布袋收尘器→制酸或脱硫系统	<80
烟化炉(或回转窑、烟化炉—余热锅炉一体化)烟尘	烟气→旋风除尘(或沉降室、余热锅炉、表面冷却器)→袋式收尘器→脱硫系统	<80
澳斯麦特炉烟尘	烟气→余热锅炉→电收尘器→动力波洗涤→电除雾→制酸系统	<50
熔/电铅锅铅烟尘	集气罩→袋式收尘器→外排	<8
浮渣反射炉烟尘	烟气→旋风除尘(或沉降室、余热锅炉、表面冷却器)→袋式收尘器→脱硫系统	<80
	烟气→冷却烟道→文氏管→汽水分离器→脱硫系统	
环保烟气烟尘	集气罩→袋式收尘器→外排	<25
道路、堆场和厂房等产生扬尘	道路和堆场扬尘采取遮盖、围栏、洒水抑尘、电动喷雾机组、压气喷雾或真空吸尘系统等降尘设施。 厂房扬尘采取电动喷雾机组、压气喷雾或真空吸尘系统等降尘设施。设置水冲洗设施,定期用水冲洗厂房内部各积尘表面。 利用开敞式空间静电抑尘装置对无罩尘源进行控制。	——

注:①和②适用于物料破碎、筛分、皮带转运系统的除尘,其中粉状、磨琢性小的物料,可采用无动力除尘;在粉尘量大,粉尘运动动力不足的情况下,宜采用微动力除尘技术。

(2) 烟气中的 SO₂ 处理

由于各铅冶炼企业采用的工艺不一致，各工序或设备产生的烟气，技术规范条款 5.1.11 依照经收尘后烟气中的 SO₂ 气体浓度不同，分为 5 种情况，见下表 6-2

表 6-2 烟气中 SO₂ 不同含量情况及常用处理方法

	情况一	情况二	情况三	情况四	情况五
SO ₂ v%	<1.5	1.5-3.5	3.5-5	5-8	>8
处理方法	一般采用脱硫至达标后排放	一般采用脱硫至达标后排放，也可采用非稳态制酸或低浓度 SO ₂ 制酸	配气后两转两吸类制酸工艺或类似两转两吸工艺制酸	两转两吸类制酸工艺或类似两转两吸工艺制酸	配气后两转两吸类制酸工艺或类似两转两吸工艺制酸

a) 烟气制酸

一般将依照烟气中 SO₂ 含量情况，将铅冶炼烟气分为高浓度烟气（SO₂ 含量大于 3.5%）和低浓度烟气（SO₂ 含量小于 3.5%）。当烟气中 SO₂ 含量在 3.5% 以上时，就可以采用接触法进行制酸。直接炼铅法制酸工艺均为两转两吸类制酸工艺，采用国内触媒转化率可达到 99.6%，如采用进口触媒，其转化率可达到 99.8%，则制酸后的 SO₂ 残留量为 2kg；但进口触媒价格昂贵，企业应按自身情况进行选择。

铅冶炼烟气浓度在 3.5% 左右时，目前国内一些老企业采用的仍是一转一吸工艺，一转一吸工艺制酸尾气 SO₂ 一般达不到排放标准，须在该段工艺后加脱硫系统。由于该法对环境危害较大，方法不予推荐。

一个特例为云锡铅厂采用的 Cansolv 法加一转一吸工艺，该厂用有机胺吸附和解析来调节 SO₂ 浓度，使进入一转一吸制酸系统的烟气浓度始终保持在稳定、合理的范围；制酸尾气也用有机胺吸收，为类似两转两吸工艺，完全可以满足制酸需要和环境要求，但一次投资较大，运行成本较高。

情况二如采用低浓度接触法制酸主要有两种转化方式，即非稳态转化制酸和

TOPSOE 制酸技术 (WSA)。非稳态转化制酸主要为豫北冶炼厂和济源冶炼厂所采用,对烟气浓度波动的适应性较强,低浓度转化可以实现自热平衡,存在的问题有催化剂损耗大、转化率低 (80-90%)、尾气不能直接排放仍需脱硫处理。株冶于 90 年代引进了 TOPSOE 制酸技术 (WSA),除技改费用昂贵外,从装置的运行来看,烟气仍需配气到 SO₂ 含量 3.5-4.0%才能稳定运行。

较低浓度 SO₂ 烟气制酸工艺对比见表 6-3:

表 6-3 较低浓度 SO₂ 烟气制酸工艺对比表

技术方法	适应的 SO ₂ 含量	副产品	转化率	适用说明
低浓度非稳态转化制酸	0.9%-4.0%	硫酸	80-90%	可直接制酸,投资省,适用于烟气排放量少,低品位铅矿冶炼。缺点是催化剂损耗大,转化率较低,对烟气含杂要求较高,尾气不能直接排放仍需另加脱硫装置对制酸尾气进行处理
WSA 法	1.5-4.0	硫酸	>90%	可直接制酸,但投资和运营成本较高,烟气仍需配气至 SO ₂ 3-4.5%才能稳定运行

两转两吸类的双接触法制酸因转化率高,SO₂ 吸收较彻底,硫利用率高,转化后的制酸尾气可以满足排放标准,一般可直接排放。因此,对于制酸工艺选择,条款 6.2 提出本着稳妥可靠、工艺先进的原则,在满足条件的情况下宜首先选用两转两吸类制酸工艺或相当于两转两吸的制酸工艺。

由于铅冶炼烟气特点是非稳态,烟气波动大,浓度差值高,许多企业制酸尾气仍然不能达到排放标准,因此条款 5.1.9 中明确规定,任何外排烟气 SO₂ 含量未达到排放标准 (400mg/m³) 的必须进行脱硫处理,不能直接或稀释排放。原则上建议企业在制酸系统后建设脱硫系统,作为安全预防措施,以防止不达标排放和适应以后更严格的排放标准要求。

b) 低浓度烟气脱硫

低浓度烟气脱硫工艺分为干法、半干法、湿法。由于前述原因,铅冶炼过程中废气中含有铅、汞、砷等毒害物质蒸气及其化合物,是不能通过除尘的方法去除干净的。采用常规干法脱硫,也不易将其脱除干净,而采用湿法脱硫工艺,相当于在脱硫同时烟气进行低温洗涤,其中气态毒害物质可在脱硫过程中从烟

气中脱除；干法中的活性炭吸附法也可达到同样效果。

国内主要适用的脱硫工艺有氧化锌法、氨法、钠碱法、双碱法、有机胺法、石灰石/石膏法（钙法）、氧化镁法、活性炭吸附法等，前文已对各种方法分别做了介绍，经分析比较，氧化镁法和活性炭法因在铅冶炼企业中无应用先例，故在本规范中不做推荐。铅冶炼低浓度 SO₂ 烟气脱硫的推荐工艺流程见表 6-4（标准中附录 A），企业应根据实际情况选取适应的脱硫工艺，达标排放。其中采用石灰石/石灰法、钠碱法、双碱法脱硫工艺可参照 HJ462 工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范规定。氨法脱硫系统因在 HJ462 没有规定，因此具体要求参照附录 B 要求，其它工艺方法应符合国家相关规定。

表 6-4 铅冶炼低浓度 SO₂ 烟气脱硫的推荐工艺流程

技术方法	适应的 SO ₂ 含量 (%)	原料	原料消耗比 (t/tSO ₂)	副产品	脱硫效率	适用说明
氧化锌法	<3.5	氧化锌粉	1.27	硫酸锌、亚硫酸锌、高浓度 SO ₂	>90%	适用于铅锌联产的企业，脱硫剂易得，副产品可直接进入锌冶炼系统，或煅烧获得高浓度 SO ₂ 。缺点是脱硫效率偏低，副产品外销不易
氨法	<3.5	液氨、氨水、尿素等氨源	0.532（折液氨）	硫酸铵化肥	>95%	适用范围广、脱硫效率高，投资和运营成本低，副产品易销售，可在脱硫过程中除去重金属等污染物，但对脱硫剂的运输、储存、使用要求较高
有机胺法	0.5-18	有机胺	0.9×10 ⁻³ —3.0×10 ⁻³	高浓度 SO ₂	>90%	脱硫效率高，工艺简单、系统腐蚀小，副产品处理容易，自动化程度高。适用于低压蒸汽供应充足、烟气二氧化硫浓度较高、波动较大的铅冶炼烟气制酸，但一次性投资高、蒸汽消耗量大，需要附设制酸或硫磺生产装置
钠碱法	<3.5	氢氧化钠、碳酸钠	1.25-1.66	硫酸钠、亚硫酸钠	>90%	适用范围广，碱的来源限制小，便于输送、储存，损耗低，投资省，但运营成本较高，产品销售面较窄，另外由于其吸收效果好，杂质易影响副产品品质。适用于氢氧化钠来源较充

						足的铅冶炼烟气制酸。
双碱法	<3.5	氢氧化钠、石灰或电石渣	0.16/0.88	脱硫石膏、亚硫酸钙	>90%	相比钙法不易在塔体形成结垢，吸收率高、缺点是： NaSO_3 氧化副反应产物 Na_2SO_4 较难再生，需不断的补充 NaOH 或 Na_2CO_3 而增加碱的消耗量。另外， Na_2SO_4 的存在也将降低石膏的质量。
石灰石（电石渣）/石膏法	<1.5	石灰、电石渣等	1.8-1.9	脱硫石膏、亚硫酸钙	>90%	适用范围广，原料易得。但副产品含杂较多，销售难度大，多堆存处理。装置易结垢堵塞。不适用于脱硫剂资源短缺、场地有限的铅冶炼烟气制酸

(3) 重金属染污物

重金属污染是铅冶炼废气污染的重要来源，也是制约铅冶炼行业健康发展的重要因素之一，因此技术规范中条款 5.1.13 中加以强调。

铅冶炼业重金属污染防治工作，要坚持“减量化、资源化、无害化”的原则，实行以清洁生产为核心、以重金属污染物减排为重点、以可行有效的污染防治技术为支撑、以风险防范为保障的综合防治技术路线。

从铅冶炼废气治理过程看，重金属污染物主要集中在烟尘、酸泥、制酸废水、脱硫废水、脱硫副产品中。把控好废气处理的每个环节，即可有效防止废气中的重金属对环境造成污染。

为防范环境风险，铅冶炼企业对每一批矿物原料均应进行全成份分析，宜通过调节不同产地的原材料配比，严格控制入炉原、辅料中汞、砷、镉、铊、铍等有害元素含量。无汞回收装置的冶炼厂，不应使用汞含量高于 0.01% 的原料。含汞的废渣作为铅冶炼配料使用时，应先回收汞，再进行铅冶炼。

建议采用先进高效的新型袋式除尘及电袋一体除尘设备，提高收尘效率。收尘系统所捕集的烟尘应根据原辅料变化情况及时进行化验分析，大部分粒径较大的烟尘经收尘后，作为原料重新进入冶炼系统；对砷、镉、汞等毒害物质含量超标的烟尘宜进行开路处理，不应重新进入冶炼流程。

经除尘后的冶炼烟气中仍含有一定量的重金属污染物，主要是铅锌蒸气或铅锌蒸气冷凝形成的超细颗粒、汞蒸气、气态或微粒形态的砷及其化合物、铜、镉、

铋等重金属微粒、其他微小颗粒和盐类。由于颗粒细小，或在一定温度下以气态存在，这部分污染物不能在收尘系统中除去，从而进入下一工序。

进入制酸系统的烟气一般要先经过洗涤，在洗涤过程中大部分细小颗粒物和气态金属被洗涤下来，经沉淀后形成酸泥和污水两部分。酸泥成分随冶炼物料变化和炉况而不近相同，因此需要按批次对酸泥成分进行分析，汞、砷、镉等有害物质超标的酸泥严禁返回系统配料使用，必须封存并交有危废处理资质的专业企业进行处理。洗涤污水由于溶解了毒害物质，不允许直接排放，必须处理后达标方能排放。

进入脱硫系统的烟气处理情况依各工艺不同而不一致。湿法脱硫可以有效将除尘器未能除去的重金属污染物捕集下来，许多湿法工艺过程中除去的重金属微粒进入副产品，可溶性重金属盐类进入污水中，因此需要严格控制原料矿的汞、砷、镉等毒害物质含量；另外对副产物要进行严格的分析，毒害物质超标的副产物要经再处理或封存处理；污水需要经处理后排放。氨法脱硫由于副产品为硫酸铵化肥，宜在工艺过程中加入重金属脱除工序，脱除烟气中的重金属，严格控制液态硫酸铵中重金属含量，避免副产氨肥对土地造成二次污染

6.3.2 工艺设计

(1) 收尘设计

铅冶炼废气收尘，一般包括废气冷却、废气收尘、烟（粉）尘输排、备料扬尘和积尘的集气收尘，同时还可能包括废气湿法收尘及其废水收集处理。

a) 收尘系统直接关系到铅冶炼废气重金属污染，5.1.8 条款中对收尘系统设计作出了总体规定。

b) 对于备料、飞扬、输送、加料、排渣、出铅及电解精炼锅等处等处产生烟尘，可归入集气收尘范围，技术规范条款 6.1.3 对集气收尘做了规定。

c) 对于冶炼产生烟气的收尘，技术规范 6.1.4 条款对其提出了具体设计要求。

d) 技术规范条款 6.1.5 对烟粉尘输排作出具体要求。

(2) 低浓度烟气脱硫

a) 技术规范条款 6.3.1 对脱硫系统的工艺路线做出规定，提出脱硫剂选择原则和工艺选择方法；指出采用石灰石/石灰法、钠碱法、双碱法可参照 HJ462 规

定。其它方法应符合国家相关规定。

b) 氨法脱硫在 HJ462 中未作出规定, 在技术规范附录 B 中对该工艺作出一定程度规范要求。

c) 技术规范条款 6.3.3、6.3.4 6.3.5 条款分别对湿法低浓度烟气脱硫的烟气输送系统、吸收系统和副产品处理系统作出了工艺设计要求。

(3) 重金属脱除

由于重金属等毒害污染物脱除分别在收尘、制酸、脱硫三个阶段完成, 属于各工艺的组成部分, 故没有单独设立章节进行规范。

(4) 设备和材料

由于铅冶炼废气大部分为高温气体, 其中含有铅等金属蒸汽和酸性腐蚀性的有毒气体, 因此在设备和材料的选型上, 应注重防泄漏、耐腐蚀、防凝固堵塞和耐磨性。技术规范条款 7 对设备和材料做出了要求。

(5) 检测和过程控制

铅冶炼废气治理系统应装设符合 HJT 76 固定污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法要求的烟气排放连续监测系统, 并按照 HJT 75 固定污染源烟气排放连续监测技术规范要求进行连续监测。污染物监测应满足 GB25466 排放要求。

技术规范条款 8 对收尘和脱硫工艺的检测和工程控制提出了具体要求。

(6) 结合铅冶炼废气治理的实际情况, 技术规范条款 9 对辅助工程的电器系统、建筑结构与防腐、暖通、消防和给排水方面, 在满足国家相关标准的基础上提出了具体要求。

(7) 劳动安全与职业卫生方面, 根据铅冶炼废气治理的毒害性和腐蚀性, 技术规范条款 10 提出了具体要求。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

该标准实施后, 新建铅冶炼企业总硫利用率大于 95%, 硫捕集率大于 99%; 现有铅锌冶炼企业总硫利用率达到 94%以上, 硫捕集率达 96%以上。治理后排放的尾气中 SO_2 浓度低于 $400\text{mg}/\text{m}^3$, 颗粒物浓度低于 $80\text{mg}/\text{m}^3$, 硫酸酸雾低于 $20\text{mg}/\text{m}^3$, 使得大气环境状况明显得以改善, 从源头解决了铅冶炼大气污染的

问题，特别是有效控制了大气二氧化硫和铅毒污染的问题。按 2011 年我国矿产铅 318 万吨来计算，每年烟气 SO₂ 排放至少可减少 350 万吨，回收颗粒悬浮物 3 万吨以上，企业减少排污费用总计达 19 亿元以上。同时厂界周边环境 SO₂ 含量降低到 0.5mg/m³ 以下、悬浮颗粒物降低到 1.0 mg/m³ 以下、铅及其化合物降低到 0.006 mg/m³ 以下、汞及其化合物降低到 0.0003 mg/m³ 以下，周边大气环境得以大幅改善，其环境效益和经济效益十分明显。

8 标准实施建议

由于铅冶炼行业采用的冶炼工艺较多，原料矿来源复杂，产生废气状况不同，而各企业采用的治理方法不同，因此建议在实施中现试行一段时间，根据实际应用情况，进行进一步修订完善。

为进一步提高铅冶炼废气治理水平，完善本标准内容及实施效果，建议进行如下研究工作：

(1) 由于氮氧化物已经成为我国除 SO₂ 外另一大气污染源，国家“十二五”规划已经将其列入大气污染减排的重点之一，而相关技术在有色冶金行业未得到广泛应用，国家也尚未出台相关排放标准，因此急需进行相关技术开发和展开标准制定工作。

(2) 电解产生的酸雾因生产面积大，操作较频繁等问题，目前国内尚无很好的解决方法，铅企业多采用加强通风的方式解决。虽可采用薄膜覆盖、塑料小球覆盖等方式进行减缓，但也造成操作不便等问题。因此，需加强这方面的研究工作。