

➤ 环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

典型含铅废物 风险控制技术

DIANXING HANQIAN FEIWU FENGXIAN KONGZHI JISHU

陈 扬 张正洁 刘俐媛 主编



化学工业出版社



环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

典型含铅废物 风险控制技术

DIANXING HANQIAN FEIWU FENGXIAN KONGZHI JISHU

陈 扬 张正洁 刘俐媛 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

根据我国铅矿采选、原生铅冶炼、铅蓄电池生产、再生铅生产等四个典型铅生产过程中含铅废物特点及污染控制实际需求,在对国内外相关领域的管理和技术进行广泛调研和评估的基础上,本书系统分析了典型铅生产过程污染防治的关键影响因素及污染特征,开发了风险识别技术,探索了典型铅生产过程含铅废物风险控制技术,构建了典型铅生产过程含铅废物污染综合防治技术体系,为消除特定领域重金属污染问题提供技术条件和管理依据。

本书不仅适用于重金属污染防治研究人员,各级相关部门管理人员,也适用于从事铅矿采选、原生铅冶炼、铅蓄电池生产、废铅蓄电池回收等领域的科研人员、生产人员及管理人员,同时也可作为生产一线人员的培训教材及教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

典型含铅废物风险控制技术/陈扬,张正洁,刘俐媛
主编.—北京:化学工业出版社,2017.1
(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)
ISBN 978-7-122-28616-1

I. ①典… II. ①陈… ②张… ③刘… III. ①铅-
废物处理 IV. ①X756.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 298085 号

责任编辑:成荣霞

文字编辑:孙凤英

责任校对:王 静

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 16 字数 255 千字 2017 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:88.00 元

版权所有 违者必究

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编委会

顾 问	黄润秋
组 长	邹首民
副组长	刘志全
成 员	禹 军 陈 胜 刘海波

《典型含铅废物风险控制技术》编写人员

主 编 陈 扬 张正洁 刘俐媛

编写成员 (按姓氏汉语拼音排序)

陈朝中	陈 刚	陈 扬	陈 昱	范艳翔
冯钦忠	耿立东	李宝磊	李士龙	林星杰
刘俐媛	刘 平	刘 舒	马倩玲	马 帅
裴江涛	祁国恕	尚辉良	邵春岩	申士富
王吉位	王金玲	王俊峰	许增贵	杨 乔
张广鑫	张正洁	张智勇	朱忠军	

目前,全球性和区域性环境问题不断加剧,已经成为限制各国经济社会发展的主要因素,解决环境问题的需求十分迫切。环境问题也是我国经济社会发展面临的困难之一,特别是在我国快速工业化、城镇化进程中,这个问题变得更加突出。党中央、国务院高度重视环境保护工作,积极推动我国生态文明建设进程。党的十八大以来,按照“五位一体”总体布局、“四个全面”战略布局以及“五大发展”理念,党中央、国务院把生态文明建设和环境保护摆在更加重要的战略地位,先后出台了《环境保护法》《关于加快推进生态文明建设的意见》《生态文明体制改革总体方案》《大气污染防治行动计划》《水污染防治行动计划》《土壤污染防治行动计划》等一批法律法规和政策文件,我国环境治理力度前所未有,环境保护工作和生态文明建设的进程明显加快,环境质量有所改善。

在党中央、国务院的坚强领导下,环境问题全社会共治的局面正在逐步形成,环境管理正在走向系统化、科学化、法治化、精细化和信息化。科技是解决环境问题的利器,科技创新和科技进步是提升环境管理系统化、科学化、法治化、精细化和信息化的基础,必须加快建立持续改善环境质量的科技支撑体系,加快建立科学有效防控人群健康和环境风险的科技基础体系,建立开拓进取、充满活力的环保科技创新体系。

“十一五”以来,中央财政加大对环保科技的投入,先后启动实施水体污染控制与治理科技重大专项、清洁空气研究计划、蓝天科技工程专项等专项,同时设立了环保公益性行业科研专项。根据财政部、科技部的总体部署,环保公益性行业科研专项紧密围绕《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》《国家创新驱动发展战略纲要》《国家科技创新规划》和《国家环境保护科技发展规划》,立足环境管理中的科技需求,积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”以来,环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目479项,涉及大气、水、生态、土壤、固废、化学品、核与辐射等领域,共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与,逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前,专项取得了重要研究成果,已验收的项目中,共提交各类标准、技术规范997项,各类政策建议与咨询

报告 535 项，授权专利 519 项，出版专著 300 余部，专项研究成果在各级环保部门中得到较好的应用，为解决我国环境问题和提升环境管理水平提供了重要的科技支撑。

为广泛共享环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书”。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，不断提高环境治理能力现代化水平，为持续改善我国环境质量提供强有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

黄润秋

在现代工业所消耗的有色金属中,铅居第四位,成为工业基础的重要金属之一。铅以金属、合金或化合物形式应用于国民经济的诸多领域。铅的主要应用领域是铅蓄电池生产,占铅消耗总量的80%以上。然而铅效应,特别是对儿童智力和神经行为发育的影响,已得到大量流行病学调查和实验研究的证实。自20世纪90年代以来,我国政府就儿童铅中毒问题采取了一系列防治措施,儿童铅中毒防治取得了实质性进展,尤其是推广使用无铅汽油后,我国儿童血铅水平呈明显下降的趋势。但是,近年来我国很多地区连续发生了多起“血铅事件”,表明我国部分地区环境铅污染问题依然突出。

在铅的生产、消费、回收等过程中都面临着潜在的严重的环境污染问题。我国典型铅生产过程主要包括铅矿采选、原生铅冶炼、铅蓄电池生产以及废铅蓄电池铅回收等四个方面。从铅的整个生命周期来看,我国各行各业产生的含铅废物品种繁多,数量很大,其中包括铅粉尘、铅冶炼渣、废铅蓄电池、各类含铅废渣、含铅污泥和含铅废酸等。

铅矿采选是以硫化铅矿或氧化铅矿为采选对象,无论露天开采还是地下开采都会产生大量废石,而废石中就有可能含有铅等重金属,采矿时若使用水等溶剂,就会产生含铅泥浆,该类废物的堆存必然成为地表环境中大规模二次污染和交叉复合污染产生的重要来源。另外,由于我国铅矿资源品位较低,必须经过选矿、去杂、富集后才能利用。在选矿过程中以选矿药剂或萃取剂为原辅材料,会产生矿渣、含铅等重金属废水等,也会对矿区周围环境造成严重的复合污染。原生铅冶炼是以化学药剂及熔剂等为辅料,冶炼过程中会产生大量冶炼废渣(包括冶炼浮渣、砷钙渣、水淬渣)及含铅砷粉尘,这些废物中的含铅、砷、汞、铜等重金属会对铅冶炼企业周围环境造成严重的复合污染。铅制品生产主要集中在铅蓄电池生产上,目前,全世界每年生产铅约有85%消耗于铅蓄电池产品上,铅蓄电池生产过程中产生的废硫酸、含铅废渣、铅尘等含铅废物会对周围环境带来潜在的环境威胁。再生铅生产是以废铅蓄电池为代表的含铅废料中回收铅的过程。在再生铅生产过程中,废铅蓄电池电解液的泄漏、含铅废渣和含铅污泥的产生与排放,都会对周围环境产生威胁。

大部分含铅废物属于危险废物，早已被列入《国家危险废物名录》（2008年8月1日起施行）。其对环境污染严重，主要表现为露天堆放的含铅废物遇刮风天气会产生扬尘，造成严重的大气环境污染；露天堆放的含铅废物受到雨水冲刷和地表径流影响后，会产生含铅废水，排放进入水体，将会带来严重的水体污染问题；含铅废物的大量堆存会对周围的土壤造成严重的污染，堆存过程中产生的渗滤液如不加以控制随意乱流将会对废物堆放地附近的较大区域造成污染，破坏当地生态环境。

2009年先后发生的三十多起血铅超标及中毒事件为我国推进以铅为代表的金属污染防治工作敲响了警钟，而以铅矿采选、原生铅冶炼、铅蓄电池生产和铅的再生过程为代表的铅生产、消费及回收利用过程是我国在该问题上必须面对的关键症结所在。为此国务院印发了《关于加强重金属污染防治工作的指导意见》，对调整和优化产业结构、加强重金属污染治理、强化环境执法监管、加强技术研发和示范推广、健全法规标准体系和严格落实责任等方面提出了更高的要求。同时，环保部会同发改委等八部门制定了《重金属污染综合整治实施方案》，在此背景下编制完成的《重金属污染防治综合规划（2011—2015）》并进入深度实施阶段，将铅、汞、镉、砷和铬等重金属作为防控重点，统筹规划重金属污染治理。

本书根据我国铅矿采选、原生铅冶炼、铅蓄电池生产、再生铅生产等四个典型铅生产过程中的含铅废物特点及污染控制实际需求出发，在对国内外相关领域的管理和技术进行广泛调研和评估的基础上，系统分析了典型铅生产过程污染防治的关键影响因素及污染特征，开发了风险识别技术，探索了典型铅生产过程含铅废物风险控制技术，构建了典型铅生产过程含铅废物污染综合防治技术体系，为消除特定领域重金属污染问题提供技术条件和管理依据。

本书共分10章，第1章绪论，第2章含铅废物国内外环境污染控制及环境管理技术要求，第3章典型铅生产过程环境风险识别及安全评价技术，第4章典型铅生产过程环境风险评价技术，第5章典型铅生产过程环境风险控制技术，第6章铅矿采选过程含铅废物的风险控制技术，第7章原生铅冶炼过程含铅废物风险控制技术，第8章铅蓄电池生产过程含铅废物风险控制技术、第9章废铅蓄电池回收过程含铅废物的风险控制技术，第10章典型铅生产过程含铅废物污染防治工作的对策建议。

我们相信本书不仅适用于重金属污染防治研究人员，各级相关部门的管

理人员，也适用于从事铅矿采选、原生铅冶炼、铅蓄电池生产、废铅蓄电池回收等领域的科研人员、生产人员及管理人员，同时也可作为生产一线人员的培训教材及教学参考。

感谢为本书撰写和出版做出卓有成效工作和不懈辛苦的所有人员，尽管他们工作繁重，但仍于百忙之中为此书尽责尽力，正因为他们的辛勤工作，才使此书得以问世。

本书的编写得到了环保部公益项目“典型铅生产过程含铅废物风险控制及环境安全评价集成技术研究”（2011467061）项目组的积极支持，得到了中国科学院高能物理研究所、中国科学院北京综合研究中心同事的大力支持，得到了中国环境科学学会、中国有色金属工业协会再生金属分会、北京矿冶研究总院环境所与矿山所、沈阳环境科学研究院等协助与支持，以及环保部固废管理中心、中国环境科学研究院、中国环境科学学会重金属专业委员会、中南大学、东北大学、中国电池工业协会、沈阳蓄电池研究所等有关单位专家的帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者业务水平的限制，本书难免有疏漏和不当之处，请读者不吝赐教，多提宝贵意见，以便我们在下一步工作中改进。

编 者

2016 年 10 月

第 1 章 绪论	001
1.1 铅及其化合物的性质	001
1.1.1 铅的物理性质	001
1.1.2 铅的化学性质	002
1.1.3 铅的化合物及其性质	002
1.2 铅的应用领域及主要用途	004
1.2.1 铅的传统应用领域	004
1.2.2 铅在新兴技术领域中的应用	005
1.3 铅对人体的危害及防治	005
1.4 国内铅污染危害现状	008
1.5 典型铅生产过程中产生的含铅废物概况	009
 第 2 章 含铅废物国内外环境污染控制 及环境管理技术要求	 014
2.1 发达国家对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求	014
2.1.1 美国对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求	014
2.1.2 加拿大对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求	016
2.1.3 澳大利亚对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求 ...	017
2.1.4 日本对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求	017
2.1.5 德国对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求	018
2.1.6 发达国家对含铅废物的环境污染控制及管理技术经验借鉴 ...	018
2.2 我国对含铅废物的环境污染控制及环境管理技术要求	019
2.3 铅污染防治工作进展及对策建议	025
2.3.1 铅污染风险防治工作复杂艰巨	026
2.3.2 涉铅风险防控相关工作有序进展	027
2.3.3 铅污染防治工作仍存在诸多问题	029
2.3.4 后续铅污染防治工作的对策建议	033

第3章 典型铅生产过程环境风险识别及安全评价技术	035
3.1 典型铅生产过程含铅废物环境风险识别技术研究	035
3.1.1 环境风险识别、源项分析等理论概念	035
3.1.2 典型铅生产过程产排污环节及风险源分析	036
3.1.3 典型铅生产过程含铅废物环境风险识别	040
3.2 典型铅生产过程含铅废物环境安全评价技术研究	052
3.2.1 环境安全评价常用的技术方法	052
3.2.2 典型铅生产过程含铅废物的环境安全评价技术	058
第4章 典型铅生产过程环境风险评价技术	065
4.1 典型铅生产过程铅污染环境累积风险评价技术	065
4.1.1 典型铅生产过程铅污染在环境介质及人体的迁移转化过程 ...	065
4.1.2 典型铅生产过程铅污染累积风险评价技术评估	070
4.2 铅矿采选过程含铅废物堆存环境风险评价技术	081
4.2.1 铅矿采选企业含铅废物堆存环境风险等级划分指标体系	081
4.2.2 内因性指标	082
4.2.3 外因性指标	087
4.3 环境风险管理事故应急救援	088
4.3.1 环境风险管理事故应急救援	088
4.3.2 事故应急救援能力分析	089
4.4 环境风险等级划分方法	089
第5章 典型铅生产过程环境风险控制技术	092
5.1 环境风险管理理论基础、内容及方法	092
5.2 国内环境风险控制管理研究重点分析	095
5.2.1 环境风险控制管理的基本内容	095
5.2.2 事故风险控制管理的重点内容分析	096
5.2.3 正常工况下环境风险控制管理的重点内容	098
第6章 铅矿采选矿过程含铅废物的风险控制技术	100
6.1 铅锌矿采选的国内现状	100
6.1.1 我国铅锌矿采选发展现状	100
6.1.2 我国铅锌选矿发展现状	101

6.2 采选业生产工艺及存在的主要问题	102
6.2.1 铅矿采选工艺	102
6.2.2 铅矿采矿业存在的主要问题	104
6.2.3 铅矿选矿业存在的主要问题	106
6.3 铅矿采选过程含铅废物的风险控制技术	106
6.3.1 减少含铅废物排放的环保措施	107
6.3.2 尾矿输送风险控制措施	108
6.3.3 尾矿综合利用与尾矿库风险防范措施	108
6.3.4 废石综合利用及废石堆场风险防范措施	111
6.3.5 酸性废水防范措施	112
第7章 原生铅冶炼过程含铅废物风险控制技术	113
7.1 原生铅冶炼行业发展情况	113
7.2 铅冶炼工艺	114
7.2.1 基夫赛特 (Kivcet) 法	116
7.2.2 氧气顶吹熔炼技术	117
7.2.3 氧气底吹熔炼技术	118
7.2.4 卡尔多法 (Kaldo) 炼铅	120
7.3 原生铅冶炼企业主要环境风险分析	120
7.3.1 环境风险形式	120
7.3.2 主要风险源	120
7.3.3 主要污染物	121
7.4 原生铅冶炼含铅废物风险控制技术	123
7.4.1 预防风险控制技术	123
7.4.2 过程风险控制技术	125
7.4.3 末端风险控制技术	127
7.4.4 事故防范技术	128
第8章 铅蓄电池生产过程含铅废物风险控制技术	132
8.1 我国铅蓄电池生产行业发展概况	132
8.2 行业发展带来的主要环境问题	133
8.2.1 主要污染类型和污染因子	133
8.2.2 主要污染物排放总量	134
8.3 我国铅蓄电池生产行业环境污染状况	134
8.4 风险控制分类内容	136

8.4.1	工艺风险分类指标体系	136
8.4.2	生产装备风险分类指标体系	137
8.4.3	污染源防控技术类别	137
8.4.4	防控部位技术要求	138
8.5	生产过程风险部位技术要求	139
8.5.1	铅粉制造工序	139
8.5.2	板栅制造工序	139
8.5.3	和膏工序	140
8.5.4	涂片工序、挤膏工序	140
8.5.5	管式极板灌粉工序	141
8.5.6	固化室、干燥室	141
8.5.7	外化成工序	141
8.5.8	内化成工序	142
8.5.9	极板加工工序	142
8.5.10	装配包板、焊接工序	142
8.5.11	蓄电池清洗	143
8.5.12	其他防控部位	143
8.6	末端风险控制技术要求	143
8.6.1	水处理控制技术	143
8.6.2	固体危险废物控制技术	144
8.7	职业卫生防护技术	145
8.7.1	总则	145
8.7.2	职业卫生设计	145
8.7.3	个人防护	146
8.7.4	辅助卫生设施	146
8.7.5	职业卫生管理	147
8.7.6	职业卫生知识培训	147
8.7.7	工作场所职业危害因素监测	148
8.7.8	健康监护	148

第9章 废铅蓄电池回收过程含铅废物的 风险控制技术 149

9.1	再生铅生产工艺及主要环境问题	149
9.1.1	废铅的产生及危害	149

9.1.2	我国废铅资源的总体情况	151
9.1.3	我国再生铅生产状况及工艺发展趋势	151
9.2	国内废铅蓄电池铅回收过程运行管理存在的问题	154
9.3	废铅蓄电池铅回收过程风险污染风险控制技术	157
9.3.1	铅回收企业源头风险控制要求	157
9.3.2	废铅蓄电池的收集、运输和贮存	159
9.3.3	废铅蓄电池铅回收过程风险控制技术	161
9.3.4	末端风险控制技术	162
9.3.5	职业防护技术	164
9.3.6	运行与维护	167

第 10 章 典型铅生产过程含铅废物污染防治 工作的对策建议..... 173

10.1	加强铅矿采选行业环境管理工作的对策建议	173
10.2	加强原生铅冶炼行业环境管理工作的对策建议	173
10.3	加强我国铅蓄电池行业环境管理工作的对策建议	175
10.4	加强我国废铅蓄电池铅回收行业环境管理工作的对策建议	176
10.4.1	健全蓄电池铅回收领域政策标准体系	176
10.4.2	建立科学规范的经济运行机制	177
10.4.3	建立健全相关回收管理体系及制度	177

附录 179

附录 1	涉铅生产单位环境风险因素调查表	179
附录 2	铅蓄电池行业规范条件（2015 年本）	181
附录 3	铅蓄电池行业规范公告管理办法（2015 年本）	188
附录 4	环境保护技术文件：再生铅冶炼污染防治可行 技术指南（环境保护部 发布）	209

参考文献 238

第1章 绪论

1.1 铅及其化合物的性质

1.1.1 铅的物理性质

铅（Pb）的密度大，硬度小，展性好，延性差，熔点和沸点都低，高温下铅易挥发。导热性和导电性差，能阻挡 X 射线的穿透。液态铅的流动性好。铅是蓝灰色金属，新的断口具有灿烂的金属光泽，其结晶属于等轴晶系（八面体或六面体）。

铅的物理性质如表 1-1 所示。

表 1-1 铅的物理性质

性质	数值	性质	数值
熔点	327.4℃	线膨胀系数	$29.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1} (20 \sim 100^\circ\text{C})$
沸点	1725℃	动力黏度	$2.116 \text{mN/m}^2 (441^\circ\text{C})$
密度	$11.336 \text{g/cm}^3 (20^\circ\text{C})$	表面张力	$444 \text{mN/m} (327^\circ\text{C})$
硬度	莫式硬度计的 1.5	热导率	$35 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) (18^\circ\text{C})$
比热容	$0.1278 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) (25^\circ\text{C})$	电阻率	$20.65 \mu\Omega \cdot \text{cm} (20^\circ\text{C})$
熔化潜热	$22.98 \sim 23.38 \text{kJ/kg}$	电导率	$7.82 \text{IACS} (20^\circ\text{C})$
蒸发潜热	954.34kJ/kg	电阻温度系数	$0.00336 \text{K}^{-1} (0 \sim 100^\circ\text{C})$
蒸气压	$0.13 \text{Pa} (620^\circ\text{C})$	声速	$1.227 \text{mm/s} (18^\circ\text{C})$
	$13.33 \text{Pa} (820^\circ\text{C})$	比磁化率	$-0.12 \times 10^{-6} \text{g}^{-1}$
	$6666 \text{Pa} (1290^\circ\text{C})$	凝固时体积收缩	3.50%

注：电导率（%IACS）= $0.017241/\rho \times 100\%$ ， ρ 为电阻率。下同。

1.1.2 铅的化学性质

铅是元素周期表中Ⅳ主族元素，铅的原子价层电子构型为 $6s^2 6p^2$ ，能形成氧化数为+2、+4的化合物。

金属铅在空气中受到氧气、水和二氧化碳作用，其表面会很快氧化生成保护膜而失去光泽，变灰暗。铅能溶于硝酸、热硫酸、有机酸和碱，与冷盐酸几乎不发生反应，能缓慢溶于强碱性溶液。具有两性，既能形成高铅酸的金属盐，又能形成酸的铅盐。在加热条件下，铅能很快与氧、硫、卤素发生化合反应。

所有的金属元素都可以按照它们的反应活性高低排列成序，铅属于反应活性较低的金属元素，在各种成分的大气、水以及常用的各种化学物质等大多数环境中是相当稳定的。

常温下，铅在干燥的空气中不会被氧化。高温下，特别是熔融状态下，铅的氧化过程将逐渐加剧，生成一系列氧化物。铅在空气中加热熔化时，最初氧化生成 PbO_2 ，继续升温则生成 PbO （俗称铅黄、密陀僧），温度升至 $330\sim 450^\circ\text{C}$ 时， PbO 转化成 Pb_2O_3 ，温度升至 $450\sim 490^\circ\text{C}$ 时， Pb_2O_3 转化成 Pb_3O_4 （即 $2PbO \cdot PbO_2$ ，俗称铅丹或红丹）。无论是 Pb_2O_3 或 Pb_3O_4 在高温下都会离解成 PbO 。

铅易溶于稀硝酸（ HNO_3 ）、硼氟酸（ $HB F_4$ ）、硅氟酸（ H_2SiF_6 ）和醋酸（ CH_3COOH ）及 $AgNO_3$ 等中，难溶于稀盐酸（ HCl ）和硫酸（ H_2SO_4 ）。铅的腐蚀产物保护膜致密，与铅表面的附着力强，且在相应的溶液中溶解度极低，这使铅具有优良的抗蚀能力，能抵抗多种酸及其盐溶液的侵蚀，被广泛应用于可能存在金属锈蚀的场合。如在常温下，稀盐酸、硫酸可与铅的表面起作用，形成几乎不溶解的 $PbCl_2$ 、 $PbSO_4$ 表面膜。

铅的化合价有+2和+4价，其化合物众多，具有多种多样的应用特征，用途十分广泛。常见的有氧化物—— PbO 、 PbO_2 、 Pb_3O_4 、 Pb_2O_3 ；卤化物—— $PbCl_2$ ；硫化物—— PbS ；铅盐——可溶性的 $Pb(NO_3)_2$ 、 $PbAc_2$ ，难溶的 $PbSO_4$ 、 $PbCO_3$ 、 $PbCrO_4$ ；有机铅—— $(C_2H_5)_4Pb$ （四乙基铅）等。铅的化学性质如表 1-2 所示。

1.1.3 铅的化合物及其性质

（1）硫化铅

天然产出的硫化铅（ PbS ）成为方铅矿，色黑，具有金属光泽。硫化铅