

重金属污染 及 控制

臧文超 叶旌 田祎 等编著

非
外
借



化学工业出版社

重金属污染 及 控制

臧文超 叶旌 田祎 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对重金属的污染问题，详细阐述了重金属的特性及其危害、重金属在环境中的迁移转化、重金属对人体健康及对生态系统的风险等；分析了我国铅、镉、汞的生产、使用和排放现状，提出了相应的污染防治和废物管理措施；针对含重金属的产品提出了替代产品生产和替代技术等。

本书具有较强的技术性和应用性，可供从事重金属污染控制的科研人员、工程技术人员和管理人员参考，也供高等学校环境科学与工程及相关专业的教师参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

重金属污染及控制/臧文超等编著. —北京：化学工业出版社，2018.10

ISBN 978-7-122-32836-6

I. ①重… II. ①臧… III. ①重金属污染-研究 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 187367 号

责任编辑：刘兴春 卢萌萌
责任校对：宋 夏

文字编辑：汲永臻
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：大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 468 千字 2018 年 12 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888

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：98.00 元

版权所有 违者必究

《重金属污染及控制》

编著人员名单

编著者：臧文超 叶 旌 田 祎 王玉晶 赵 静
管小东 田 宇 于丽娜 滕婧杰 王 玉
许 涓 李玲玲 罗庆明 侯 琼 徐淑民

前言

近年来，国际社会对重金属铅、镉、汞的关注度越来越高，联合国环境规划署（UN Environment）理事会早在 2001 年就设定了针对汞和其他重金属及其化合物的行动的决议，以推动人们关注由于接触某些重金属，特别是汞、铅和镉及其化合物而造成的人类健康危险和对环境的严重影响。

2002 年 UN Environment 组织开展全球汞评估，在全球范围内收集数据信息，分析和识别汞排放源，评估汞在环境中的迁移转化及产生的环境风险和危害，呼吁全球共同应对和解决汞污染问题；2009 年启动国际汞公约谈判，并最终于 2013 年通过了 21 世纪首份全球环境协定——《关于汞的水俣公约》的案文，且公约已于 2017 年 8 月 16 日正式生效。此外，2005 年 UN Environment 启动编著铅和镉的科学研究报告，特别关注铅和镉的长距离传输问题，并编制现有风险管理措施的清单，以便于 UN Environment 对铅和镉的全球行动计划需求进行深入讨论；2009 年《铅科学报告》和《镉科学报告》正式完成；同时，UN Environment 鼓励各国政府和其他各方在铅和镉整个生命周期内降低其对人体健康和环境的风险，并酌情采取行动促进无铅和无镉替代品的使用，例如在玩具和涂料中使用替代品；其后，分别成立了清洁燃料和车辆伙伴关系以及消除含铅涂料全球联盟，逐步开展淘汰含铅汽油和含铅涂料的一系列具体行动和工作；还先后开展了包括针对铅镉问题的能力建设和意识提高活动、含铅和镉电池全生命周期环境无害管理全球倡议、推广无铅和无镉替代品的使用、推动对含铅和含镉产品、废物及污染场所的环境无害管理以及加强科学研究基础、继续降低铅和镉全生命周期的健康及环境风险等行动和措施，推动铅和镉的管控进程。

在国际社会不断关注重金属问题的同时，我国也面临着越来越多的由铅、镉、汞等重金属带来的环境和人体健康问题的挑战。有色金属采选/冶炼、铅蓄电池制造、化工、电镀、皮革加工等涉重金属行业分布广泛，生产管理水平参差不齐，历史遗留问题比较突出，重金属污染防治形势严峻，部分地区铅、镉等重金属污染较为严重，威胁群众健康和农产品质量安全，社会反映强烈。铅、镉、汞等重金属的排放贯穿生产、使用、废弃及废弃产品回收处置等全过程，末端减排和污染治理很难彻底解决由重金属引起的人体健康和环境风险问题，而基于全生命周期的重金属污染及综合防控研究，不仅是履行国际公约和应对国际谈判的需要，也是遏制和防范重金属污染不

断发展问题的必然需要。

本书针对重金属铅、镉、汞问题，既汇编了全球铅和镉科学报告以及全球汞评估中大量翔实的数据和信息，涵盖了三类重金属特性及其危害、在环境中的迁移转化、暴露及人体健康影响、对生态系统风险，以及重金属问题的国际管理进程等内容，也系统地梳理了近年来我国铅镉汞生产、使用、排放以及污染控制和管理现状。书中汇编的背景数据和研究成果尽可能全面、翔实，为国内铅、镉、汞的污染防治科研和管理工作提供参考。

本书共 16 章，由生态环境部固体废物与化学品管理技术中心组织并完成编著工作，具体分工如下：第 1 章 重金属特性及其危害，由于丽娜、田祎编著；第 2 章 重金属在环境中的迁移转化，由李玲玲、菅小东编著；第 3 章 重金属暴露及其对人体健康的影响，由臧文超、叶旌编著；第 4 章 重金属对生态系统的风险，由滕婧杰、王玉晶编著；第 5 章 重金属问题的国际管理进程，由叶旌、侯琼编著；第 6 章 铅的使用和释放，由王玉晶、田祎编著；第 7 章 我国铅的供需与排放，由王玉晶、叶旌编著；第 8 章 我国铅污染控制及管控措施，由田祎、臧文超编著；第 9 章 镉的使用和释放，由田宇、叶旌编著；第 10 章 我国镉的供需与排放，由田祎、徐淑民编著；第 11 章 镉污染防治措施，由赵静、田祎编著；第 12 章 原生汞生产及污染控制，由赵静、臧文超编著；第 13 章 添汞产品生产及替代技术，由臧文超、田祎编著；第 14 章 用汞工艺及污染控制，由罗庆明、王玉晶编著；第 15 章 大气汞排放控制，由王玉、王玉晶编著；第 16 章 含汞废物处理处置由叶旌、许涓编著。另外，附录由田祎、王玉晶、叶旌整理。全书最后由臧文超、叶旌、田祎统稿、定稿。

限于编著者水平和编著时间，书中难免存在疏漏与不足之处，恳请读者批评指正。

编著者

2018 年 5 月

目录

第一篇 重金属危害及国际管控

第 1 章 重金属特性及其危害 /2

- 1.1 存在形式及其化合物 /2
 - 1.1.1 铅的存在形式及其化合物 /2
 - 1.1.2 镉的存在形式及其化合物 /3
 - 1.1.3 汞的存在形式及其化合物 /3
- 1.2 物理和化学特性 /4
 - 1.2.1 铅的物理和化学特性 /4
 - 1.2.2 镉的物理和化学特性 /6
 - 1.2.3 汞的物理和化学特性 /7
- 1.3 毒性 /7
 - 1.3.1 铅的毒性 /7
 - 1.3.2 镉的毒性 /10
 - 1.3.3 汞的毒性 /11

第 2 章 重金属在环境中的迁移转化 /13

- 2.1 大气中的迁移转化 /13
 - 2.1.1 铅在大气中的迁移转化 /13
 - 2.1.2 镉在大气中的迁移转化 /17
 - 2.1.3 汞在大气中的迁移转化 /19
- 2.2 水体中的迁移转化 /20
 - 2.2.1 铅在水体中的迁移转化 /20
 - 2.2.2 镉在水中的迁移转化 /24
 - 2.2.3 汞在水中的迁移转化 /25
- 2.3 土壤中的迁移转化 /26
 - 2.3.1 铅在土壤中的迁移转化 /26

2.3.2 镉在土壤中的迁移转化 /27

2.3.3 汞在土壤中的迁移转化 /28

第 3 章 重金属暴露及其对人体健康的影响 /30

3.1 暴露途径 /30

3.1.1 铅的暴露途径 /30

3.1.2 镉的暴露途径 /33

3.1.3 汞的暴露途径 /35

3.2 健康风险 /37

3.2.1 铅的健康风险 /37

3.2.2 镉的健康风险 /38

3.2.3 汞的健康风险 /41

3.3 摄入标准 /41

3.3.1 铅的摄入标准 /41

3.3.2 镉的摄入标准 /43

3.3.3 汞的摄入标准 /43

3.4 环境暴露水平 /45

3.4.1 铅的环境暴露水平 /45

3.4.2 镉的环境暴露水平 /47

3.4.3 汞的环境暴露水平 /48

第 4 章 重金属对生态系统的风险 /50

4.1 对鸟类和哺乳动物的影响 /50

4.1.1 铅对鸟类和哺乳动物的影响 /50

4.1.2 镉对鸟类和哺乳动物的影响 /51

4.1.3 汞对鸟类和哺乳动物的影响 /51

4.2 对水生生物的影响 /53

4.2.1 铅对水生生物的影响 /53

4.2.2 镉对水生生物的影响 /55

4.2.3 汞对水生生物的影响 /56

4.3 对微生物和植物的影响 /56

4.3.1 铅对微生物和植物的影响 /56

4.3.2 镉对微生物和植物的影响 /57

4.3.3 汞对微生物和植物的影响 /58

4.4 对陆地生态系统的影响 /59

4.4.1 铅对陆地生态系统的影响 /59

4.4.2 镉对陆地生态系统的影响 /59

4.4.3 汞对陆地生态系统的影响 /60

第 5 章 重金属问题的国际管理进程 /61

- 5.1 联合国环境规划署重金属相关问题决议 /61
- 5.2 国际化学品管理战略中铅镉问题相关议题 /63
 - 5.2.1 SAICM 文本中关于铅的决议 /63
 - 5.2.2 国际化学品管理大会中关于铅的议题 /64
- 5.3 涉及铅镉的国际公约和条约 /65
 - 5.3.1 《远距离越境空气污染公约》和《奥尔胡斯重金属议定书》 /65
 - 5.3.2 《东北大西洋海洋环境保护公约 (OSPAR Convention)》 /66
 - 5.3.3 《波罗的海域海洋环境保护协议 (赫尔辛基协议)》 /66
 - 5.3.4 《保护和可持续利用多瑙河合作公约》 /67
 - 5.3.5 《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》 /67
 - 5.3.6 《关于在国际贸易中对某些危险化学品和农药采用事先知情同意程序的鹿特丹公约》 /67
 - 5.3.7 《非洲-欧亚迁徙水鸟保护协议》 /68
- 5.4 《关于汞的水俣公约》 /68
 - 5.4.1 概况 /68
 - 5.4.2 《公约》的目标和定义 /68
 - 5.4.3 汞的供应来源和贸易 /69
 - 5.4.4 添汞产品 /70
 - 5.4.5 用汞工艺 /71
 - 5.4.6 汞排放 /73
 - 5.4.7 汞释放 /73
 - 5.4.8 汞的临时储存、汞废物及污染场地 /74
- 5.5 国际方面开展的主要行动 /74
 - 5.5.1 区域和次区域举措 /74
 - 5.5.2 国际组织和项目 /77

第二篇 铅污染及控制

第 6 章 铅的使用和释放 /82

- 6.1 铅的生产、使用和贸易 /82
 - 6.1.1 全球铅生产 /82
 - 6.1.2 全球铅的使用和贸易 /84
 - 6.1.3 铅的最终用途 /84

- 6.1.4 铅化合物 /87
- 6.2 铅的自然释放源 /89
- 6.3 铅的人为释放源 /91
 - 6.3.1 大气铅释放源及排放量 /92
 - 6.3.2 土壤铅释放源及排放量 /97
 - 6.3.3 子弹和鱼坠的铅 /100
 - 6.3.4 水环境的铅释放源及排放量 /100
 - 6.3.5 历史遗留人为铅释放的再流动 /102

第 7 章 我国铅的供需与排放 /104

- 7.1 铅供应来源 /104
 - 7.1.1 铅矿资源 /104
 - 7.1.2 精炼铅生产 /107
 - 7.1.3 再生铅生产 /110
 - 7.1.4 铅产量、消费量和进出口贸易 /114
- 7.2 有意用铅的主要产品和工艺 /121
 - 7.2.1 铅蓄电池 /122
 - 7.2.2 含铅涂料 /124
 - 7.2.3 聚氯乙烯 (PVC) 制品 /126
- 7.3 大气铅排放源 /127
 - 7.3.1 燃煤 /127
 - 7.3.2 铅产业链 /129
 - 7.3.3 其他 /130

第 8 章 我国铅污染控制及管控措施 /132

- 8.1 铅污染防控技术 /132
 - 8.1.1 含铅产品的替代产品和技术 /132
 - 8.1.2 铅污染排放控制技术 /137
 - 8.1.3 含铅废物处理处置技术 /140
- 8.2 现行管控措施 /143
 - 8.2.1 管制名录 /143
 - 8.2.2 铅行业准入条件 /145
 - 8.2.3 铅清洁生产及环保技术规范 /145
 - 8.2.4 铅行业标准及食品卫生标准 /146
 - 8.2.5 其他政策 /148

第三篇 镉污染及控制

第 9 章 镉的使用和释放 /150

- 9.1 镉的生产、使用和贸易 /150
 - 9.1.1 全球生产和原材料消费 /150
 - 9.1.2 镉的最终用途 /155
 - 9.1.3 别国案例 /158
 - 9.1.4 镍镉电池镉使用的详细情况 /160
 - 9.1.5 镍镉电池的用途 /160
- 9.2 镉的污染源和环境排放 /162
 - 9.2.1 镉的自然排放源 /162
 - 9.2.2 镉的人为排放源 /164
 - 9.2.3 过去人为排放镉污染物的再流动 /173
 - 9.2.4 农业土壤的镉污染问题 /174

第 10 章 我国镉的供需与排放 /178

- 10.1 镉的来源与排放 /178
 - 10.1.1 镉矿储量和资源量 /178
 - 10.1.2 镉的生产工艺概况 /180
 - 10.1.3 镉消费量 /181
 - 10.1.4 大气镉排放 /182
 - 10.1.5 镉的产量及进出口贸易 /182
- 10.2 有意用镉的主要产品和工艺 /184
 - 10.2.1 镍镉电池 /184
 - 10.2.2 颜料 /187
 - 10.2.3 电镀工业 /187
 - 10.2.4 聚氯乙烯制品生产 /188

第 11 章 镉污染防控措施 /189

- 11.1 镉污染防治技术 /189
 - 11.1.1 低镉原材料的使用 /189
 - 11.1.2 镉替代产品和技术 /189
 - 11.1.3 镉污染排放控制 /192
 - 11.1.4 含镉废物管理实践 /204

- 11.1.5 土壤镉污染修复技术 /211
- 11.2 我国现行管控措施 /219
 - 11.2.1 我国镉环境管理政策 /219
 - 11.2.2 管制名录 /220
 - 11.2.3 行业准入条件 /221
 - 11.2.4 清洁生产标准 /223
 - 11.2.5 环保技术规范政策 /223
 - 11.2.6 行业标准及食品卫生标准 /224
 - 11.2.7 其他政策 /227

第四篇 汞污染及控制

第 12 章 原生汞生产及污染控制 /230

- 12.1 原生汞行业现状 /230
- 12.2 政策管理措施 /230

第 13 章 添汞产品生产及替代技术 /232

- 13.1 添汞产品行业现状 /232
- 13.2 添汞产品的替代产品 /232
 - 13.2.1 电池 /232
 - 13.2.2 电光源 /233
 - 13.2.3 体温计 /234
 - 13.2.4 血压计 /235
- 13.3 政策管理措施 /236

第 14 章 用汞工艺及污染控制 /238

- 14.1 用汞行业现状 /238
- 14.2 汞污染控制技术 /238
 - 14.2.1 源头控制技术 /238
 - 14.2.2 过程控制技术 /239
 - 14.2.3 末端治理技术 /240
- 14.3 政策管理措施 /241

第 15 章 大气汞排放控制 /243

- 15.1 排放汞行业现状 /243
- 15.2 汞排放控制技术 /244

- 15.2.1 燃煤电厂和工业锅炉 /244
- 15.2.2 有色金属冶炼行业 /244
- 15.2.3 水泥生产 /245
- 15.2.4 废物焚烧 /246
- 15.3 政策管理措施 /247

第 16 章 含汞废物处理处置 /248

- 16.1 管理政策 /248
 - 16.1.1 相关规划 /248
 - 16.1.2 政策法规 /249
 - 16.1.3 相关标准 /250
- 16.2 管理现状 /250
 - 16.2.1 含汞废物包装、储存、运输及处置要求 /250
 - 16.2.2 信息收集管理现状 /251

附录一 规范性文件 /253

- 1.1 国家危险废物名录（2016 年版）（摘录） /253
- 1.2 环境保护综合名录（2015 年版）（摘录） /256
- 1.3 汞污染防治技术政策 /258
- 1.4 废电池污染防治技术政策 /262
- 1.5 铅蓄电池生产及再生污染防治技术政策 /264
- 1.6 国家鼓励的有毒有害原料（产品）替代品目录（2016 年版）（摘录） /266
- 1.7 高风险污染物削减行动计划 /268
- 1.8 《关于汞的水俣公约》生效公告 /270
- 1.9 铅锌冶炼工业污染防治技术政策 /273
- 1.10 铅蓄电池行业准入条件 /276
- 1.11 再生铅行业规范条件 /280

附录二 标准 /284

- 2.1 环境质量标准 /284
- 2.2 污染物排放标准 /285

参考文献 /289

第一篇

重金属危害及国际管控

第1章

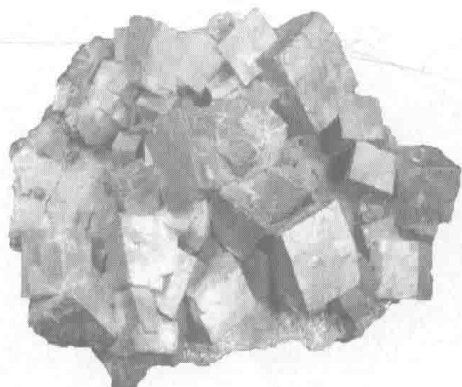
重金属特性及其危害

1.1 存在形式及其化合物

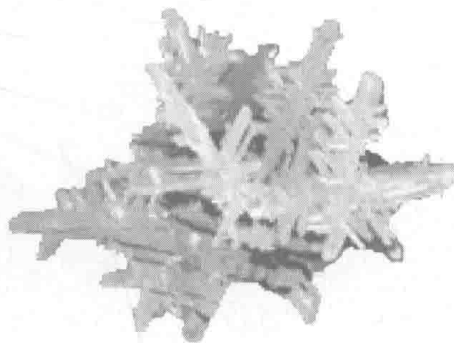
1.1.1 铅的存在形式及其化合物

铅 (Pb) 是化学元素周期表第ⅣA族中的一种金属元素。铅并不是地球上含量特别丰富的元素, 大约占地壳的 0.0013%。自然铅是 ^{208}Pb (51% ~ 53%)、 ^{206}Pb (23.5% ~ 27%)、 ^{207}Pb (20.5% ~ 23%) 和 ^{204}Pb (1.35% ~ 1.5%) 四种稳定同位素的混合物。铅同位素的比例取决于具体的地理沉积结果, 可利用这个线索追踪环境中的铅沉积情况。

铅在地壳中多以硫化物和碳酸盐的形式存在于含铅矿石中, 如方铅矿 (PbS)、白铅矿 (PbCO_3), 如图 1-1 所示。



(a) 方铅矿



(b) 白铅矿

图 1-1 主要铅矿

1.1.2 镉的存在形式及其化合物

镉(Cd)是金属元素,属于元素周期表中的第ⅡB族。镉广泛分布于地壳中,其平均含量为 $0.1\sim 0.2\text{mg/kg}$,属于相对稀有元素。镉在自然界中为分散元素,而非成矿元素,通常不以纯金属的形式存在于环境中,自然界中镉主要与其他硫化矿伴生(约占95%以上),多以复合氧化物、硫化物和碳酸盐的形式存在于锌矿、铅矿和铜矿中,极少以氯化物和磷酸盐的形式大量存在。

镉的独立矿物极为少见,但还是有一些已知的稀有镉矿,如硫镉矿和方硫镉矿(CdS)、硒镉矿(CdSe)、方镉石(CdO)和菱镉矿(CdCO_3)。世界上基本没有以镉为主要产品的矿山,镉仅以其他有色金属(尤其是锌)提取的副产品形式进行生产。

自然界中的镉进入环境后经历了复杂的形态转化过程,风化作用是含镉矿物中的镉进入环境的重要环节。在岩石风化成土的过程中,镉易以硫酸盐和氯化物形式存在于土壤溶液中。在弱氧化环境下,主要的含镉矿物(闪锌矿)被迅速氧化溶解,而镉可以以硫化物(CdS)的形式残留下来,或形成次生 CdS 附着在闪锌矿或其他硫化矿物的表面,但在强氧化条件下,镉可形成 CdO 、 CdCO_3 和 CdSO_4 。

镉在环境中存在的形态很多,大致可分为水溶性镉、吸附性镉和难溶性镉。镉能和氨、氰化物、氯化物、硫酸根离子形成多种络离子而溶于水。在岩石风化成土的过程中,镉易以硫酸盐和氯化物的形式存在于土壤溶液中。镉离子在天然水的pH值范围内即可发生逐级水解而生成羟基络合物与氢氧化物沉淀,同时在水淹条件下土壤中的硫酸根可被还原成负二价硫离子,镉易以硫化镉的形式存在,经过上述过程,镉由可溶态转化为难溶态。

土壤对镉的吸附能力很强,其吸附率取决于土壤的类型和特性。在pH值为6时,大多数土壤对镉的吸附率在 $80\%\sim 95\%$ 之间,并依腐殖质土壤、重壤质冲积土、壤质土、砂质冲积土的顺序递降。镉的吸附率与土壤中胶体的含量,特别是有机胶体的含量有密切关系。此外,碳酸钙对镉的吸附能力非常强。难溶性镉化合物在旱地土壤中以 CdCO_3 、 $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ 和 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 的形态存在,在水田中多以 CdS 的形式存在。土壤中呈铁锰结合态、有机结合态的镉在总量中所占比例甚小。

1.1.3 汞的存在形式及其化合物

汞(Hg)能以多种形态存在于自然环境中。一般而言,汞存在的形态可分为金属汞、无机汞和有机汞三大类,如图1-2所示。

金属汞,也称元素汞,用 $\text{Hg}(0)$ 或 Hg^0 表示。金属汞在常温下是有光泽的银白色液态金属,常用作温度计指示液,也可与金、银、锌、锡、铬、铅等金属形成汞齐(也称汞剂)。金属汞沸点低,在常温下会蒸发,产生汞蒸气,且温度越高,蒸发量越大。

由于汞的特殊理化性质,自然界中几乎不存在纯净的液态金属汞,大多数情况下以汞化合物(也称汞盐)的形式存在。根据汞结合元素的不同,汞化合物又可分为无机汞化合物和有机汞化合物。在无机汞化合物中,汞可以以一价或二价形态与其他元素结合,分别用 $\text{Hg}(\text{I})$ 和 $\text{Hg}(\text{II})$ 或 Hg^+ 和 Hg^{2+} 表示。常见的无机汞化合物有硫化汞(HgS)、氯化亚汞(HgCl)、氯化汞(HgCl_2)及氧化汞(HgO)等。这些无机汞化合物除硫化汞是红色,

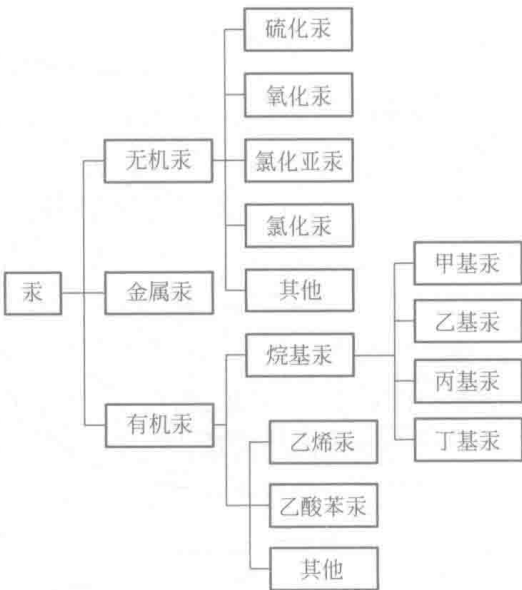


图 1-2 汞的种类

遇光会变黑外，其余大多数无机汞化合物是白色粉末或晶体。天然硫化汞主要以矿石形态存在，是制造金属汞的主要原料，也用作生漆、印泥、印油、绘画、医药及防腐剂等方面。氯化亚汞，又被称为甘汞，曾用于制作泻剂及利尿剂等药物。氯化汞，俗称升汞，可用于木材和解剖标本的保存、皮革鞣制和钢铁锈蚀，是分析化学的重要试剂，还可作消毒剂和防腐剂。氧化汞，亮红色或橙红色鳞片状结晶或结晶性粉末，当粉末极细时为黄色，质重，无气味，露置光线下分解成汞和氧，主要用于电池制造。

有机汞化合物是指汞与烷基、炔基、芳香基、一些有机酸根等结合形成的化合物，多半是由汞取代有机物中的氢、氮、卤素或其他金属原子反应而成。在自然环境中存在着许多有机汞化合物，如二甲基汞、苯基汞、二乙基汞、甲基汞等，目前最常见的是甲基汞。动物、植物、微生物体内常见的有机汞有烷基汞，如甲基汞、乙基汞。此外，还有部分芳香族烃基汞等。与无机汞化合物一样，有机汞通常也是以汞盐形式存在，如氯化甲基汞。

不同形态的汞在自然环境中可相互转化。通过生物或非生物甲基化过程，有机汞和无机汞之间可以相互转化。自然界中的甲基汞也可通过生物和化学途径降解为甲烷和金属汞。

1.2 物理和化学特性

1.2.1 铅的物理和化学特性

铅 (Pb)，原子序数为 82，是所有稳定的化学元素中原子序数最高的。铅是一种软的重金属，具有毒性，是一种有延伸性的弱金属。纯铅是银白色金属，当暴露于空气中会氧化变成蓝灰色。铅密度高 (11.3g/cm³)、延展性好、易熔化、易铸造、强度低，抗酸、能与硫酸发生电化学反应，在空气、水和土壤中的化学稳定性好，并且能减缓声波、电离辐射和机械振动。铅常用于建筑材料、铅酸蓄电池、枪弹和炮弹，焊锡、奖杯和一些合金中也含铅。