

环保公益性行业科研
专项经费项目系列丛书

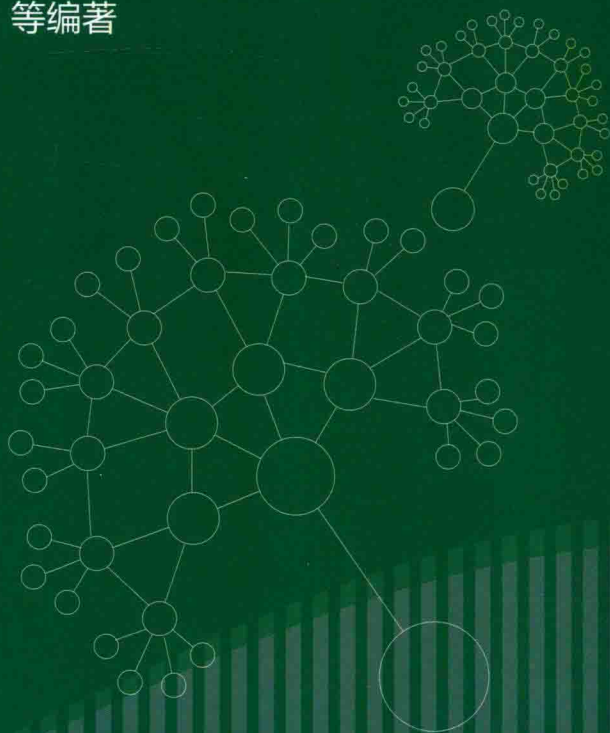
含汞废物特性分析 与处理处置

HANGONG FEIWU TEXING FENXI
YU CHULI CHUZH

张正洁 陈 刚 李宝磊 等编著



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

含汞废物特性分析与处理处置

HANGONG FEIWU TEXING FENXI YU CHULI CHUZH

张正洁 陈刚 李宝磊 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书对我国重点涉汞行业原生汞/再生汞冶炼、铜铅锌冶炼、电石法 PCV 生产、荧光灯管生产、燃煤、水泥、天然气生产、汞试剂生产及其他行业的含汞废物产生特征、理化特征及污染风险特征进行了深入的分析与评估,筛选出各行业典型的含汞废物。在此基础上,系统梳理了这些含汞废物的处理处置技术,综合分析各技术的原理、优缺点和适用性,提出了我国典型含汞废物处理处置技术的发展方向,为我国含汞废物处理处置技术的研究、筛选和应用提供了参考依据,也为我国含汞废物污染防治及履行国际汞公约提供了有力支撑。

本书适用于从事含汞废物处置领域工作的科研人员、生产人员及生态环境保护部门环境管理人员,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

含汞废物特性分析与处理处置/张正洁等编著. —北京: 化学工业出版社, 2018. 12
(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)
ISBN 978-7-122-33234-9

I. ①含… II. ①张… III. ①汞污染-废物-分析②汞污染-废物处理 IV. ①X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 247312 号

责任编辑: 成荣霞
责任校对: 王 静

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 刘丽华

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 装: 三河市延风印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 17¼ 字数 272 千字 2019 年 1 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: 128.00 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： 王开宇

成 员： 禹 军 陈 胜 刘海波

《含汞废物特性分析与处理处置》编写人员

主 编 张正洁 陈 刚 李宝磊

编写人员 (按姓氏汉语拼音排序)

陈 刚 陈 扬 陈 昱 陈巍林 冯钦忠
戴 波 蒋 芳 姜晓明 李宝磊 刘 舒
刘俐媛 路殿坤 祁国恕 邵春岩 佟永顺
王红梅 王俊峰 王良栋 王祖光 张广鑫
张正洁 赵志龙 朱合威 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，生态环境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1362项，各类政策

建议与咨询报告 687 项，授权专利 720 项，出版专著 492 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，生态环境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，可以说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。

中华人民共和国生态环境部副部长

黄润秋

前 言

FOREWORD

汞是国际上公认的有毒有害物质，具有持久性、长距离迁移性和生物毒性，汞及其化合物进入到环境中容易转化为剧毒的有机汞化合物，通过生物富集作用进入人体造成危害。2013年10月包括中国在内世界各国在日本签署通过了《关于汞的水俣公约》，该公约已于2016年4月28日由全国人民代表大会常务委员会第二十次会议批准正式生效。其中对汞废物明确规定了其应以环境无害化的方式得到管理，如汞废物回收、再循环、再生或直接再使用等。

依据公约规定，含汞废物是指汞含量超过缔约方大会经与《巴塞尔公约》各相关机构协调后统一规定的阈值，并按照相关法律法规需要进行处置的，由汞或汞化合物构成、含有汞或汞化合物、受到汞或汞化合物污染的物质或物品（不包含除原生汞开采以外的采矿作业中的表层土、废岩石和尾矿石）。中国含汞废物主要包括原生汞冶炼产生的汞贫、含汞烟尘，电石法聚氯乙烯生产行业产生的废汞催化剂、含汞活性炭、含汞污泥、含汞盐酸、含汞废碱等，荧光灯管生产或使用过程产生的废旧荧光灯管，有色金属冶炼行业产生的含汞废渣、含汞酸泥、含汞烟尘，燃煤行业产生的飞灰及脱硫石膏等，水泥行业产生的飞灰，天然气开采过程产生的含汞油泥、含汞乙二醇、含汞吸附剂等。以上含汞废物中主要含有氯化汞、氧化汞、金属汞、有机汞等，如果在生产利用过程中发生含汞废物泄漏、汞意外排放等事故及长期的累积排放，均会对人体健康和环境造成极大的危害。

目前我国总的汞消费量超过1800t，已经成为世界上最大的生产国和消费国。我国含汞废物产生量也很大，例如，2015年废汞催化剂产生量约1.272万吨；2016年汞冶炼废物包括蒸馏渣、废汞贫、含汞污泥、冶炼粉尘等，总量为2.16万吨；2016年铜、铅、锌冶炼烟尘产生量分别约为99万吨、83万吨和186万吨。这些含汞废物的汞含量较高，成分复杂，污染特征不明确，缺乏合适的综合利用技术，因此，大多数含汞废物被堆存或填埋处理，而含汞废物的堆存或填埋对周边环境中的土壤、大气和水体造成了二次污染，对生态环境和人体健康产生了严重威胁。

近年来，我国对主要涉汞行业原生/再生汞行业、燃煤行业、水泥行业、有色金属冶炼行业、黄金冶炼行业等的大气汞排放及烟气汞治理进行了

系统的研究，主要从大气汞污染控制角度分析了汞的流向及物料平衡，烟气汞的处置技术及汞污染防治对策和监督管理方案。这些研究对促进我国大气汞污染防治与汞履约具有重要的意义。然而，这些涉汞行业产生的环境问题不仅局限于大气汞的排放，还包括含汞固废、含汞废水及企业周边的含汞土壤污染等，这些都是亟待解决的问题。

2018年中华人民共和国科学技术部发布了国家重点研发计划“固废资源化”重点专项2018年度项目申报指南（征求意见稿），明确提出了中国固体废物源头减量、智能分类回收、清洁增值利用、高效安全转化、智能精深拆解、精准管控决策，以及综合集成示范等内容部署相关基础研究、共性关键技术、应用示范类研究任务，为我国含汞废物的治理提出了明确的方向和任务。本书针对我国重点涉汞行业系统分析了含汞废物的来源、污染特征及行业现状，深入剖析了含汞废物的物理化学性质、毒性及环境风险特征，并在此基础上，系统梳理了我国重点涉汞行业含汞废物处理处置技术，明晰了各类含汞废物处理处置技术的原理、优缺点及适用性，为我国含汞废物风险识别、处理处置技术的筛选和应用提供了参考依据，也为我国含汞废物污染防治及履行国际汞公约提供了有力支撑。

全书共分12章，内容包括：第1章绪论，在介绍含汞废物性质及其危害的基础上，对国外发达国家涉汞法律法规体系进行系统的介绍并借鉴国外发达国家的经验；然后从我国涉汞法律法规、政策标准体系等方面介绍了我国对含汞废物的政策法规体系。本章由陈刚、张正洁、朱忠军、陈昱、李宝磊编写，陈刚统稿。第2章含汞废物特性分析方法，首先介绍含汞废物的采样、制样方法，然后分别介绍含汞废物的物理特性和化学特性的分析方法，针对汞的强挥发性的特点深入剖析现有测试方法的原理、优缺点和适用性，根据实际情况提出合适的分析测试方法，为科学研究、环境检测提供基本方法。本章由冯钦忠、陈巍林、刘俐媛、戴波编写，李宝磊统稿。第3章原生汞/再生汞行业含汞废物特性及处理处置，本章系统梳理和分析了我国原生汞/再生汞行业含汞废物的产污特征、理化特性及毒性，筛选出了行业典型含汞废物，研究了这些典型含汞废物处置技术原理、优缺点及适用性，为我国原生汞/再生汞行业含汞废物处置和管理提供了技术支持。本章由李宝磊、王良栋、路殿坤、佟永顺、王祖光编写，陈刚统稿。第4章荧光灯生产行业含汞废物特性及处理处置，本章在介绍荧光灯生产情况的基础上，分别系统介绍了废旧荧光灯管处置的三种技术：切端吹扫技术、直接破

碎技术和湿法处置技术，明确了各自的技术产污特征，对普通荧光粉、稀土荧光粉特性进行了分析，同时也对荧光粉回收技术进行了介绍。本章由姜晓明、王红梅、刘俐媛、王俊峰编写，李宝磊统稿。第5章铜铅锌冶炼行业含汞废物特性及处理处置，本章在主要介绍了铜、铅、锌冶炼行业含汞废物产污流程及产污特征的基础上，分别介绍了三个行业冶炼含汞废物汞分布特征。同时也对铜、铅、锌冶炼行业含汞废物特性进行了系统分析，并介绍了各自特征污染物处理处置技术。本章由张正洁、李宝磊、路殿坤、赵志龙编写，张正洁统稿。第6章电石法生产PVC含汞废物特性及处理处置，本章在主要介绍电石法生产PVC含汞废物产污流程及产污特征的基础上，进一步介绍了废汞催化剂、废汞活性炭、含汞盐酸、含汞废碱等含汞废物汞分布特征。同时也对废汞催化剂、含汞盐酸、含汞废碱、含汞污泥等含汞废物特性进行了系统分析，并明晰了各自特征含汞废物处理处置技术。本章由张正洁、王俊峰、李宝磊编写，张正洁统稿。第7章燃煤行业含汞废物特性及处理处置，本章在主要介绍燃煤行业含汞废物产污特征的基础上，系统介绍了粉煤灰和脱硫石膏中含汞废物的处理处置及汞的释放。本章由陈扬、刘俐媛、李宝磊、朱合威编写，陈刚统稿。第8章水泥行业含汞废物特性及处理处置，本章在主要介绍水泥生产行业含汞废物产污流程及产污特征的基础上，系统介绍了飞灰、脱硫粉尘等含汞废物汞分布特征。同时也对飞灰、脱硫粉尘等含汞废物特性进行了系统分析，并对特征含汞废物资源化利用技术进行了介绍。本章由祁国恕、刘舒、张广鑫编写，张正洁统稿。第9章天然气行业含汞废物特性及处理处置，本章在主要介绍天然气开采行业含汞废物产污流程及产污特征的基础上，系统介绍了含汞油泥、含汞乙二醇、含汞污泥等含汞废物汞分布特征。同时也对含汞油泥、含汞乙二醇、含汞污泥、含汞吸附剂等含汞废物特性进行了系统分析，并明晰了主要特征含汞废物处理处置现有技术及新技术。本章由陈扬、陈刚、冯钦忠、蒋芳编写，张正洁统稿。第10章废含汞化学试剂特性及处理处置，本章在主要介绍汞试剂分类的基础上，明晰了主要废汞试剂处理处置工艺及产排污节点。本章节由张正洁、李宝磊、王良栋、朱合威编写，张正洁统稿。第11章其他行业含汞废物特性及处理处置，本章主要介绍了钢铁生产、垃圾焚烧行业涉汞过程产污节点及汞物质流分析，也对行业典型特征含汞废物的特性进行了系统分析，进一步明晰了各自特征含汞废物处理处置工艺技术。本章由邵春岩、李宝磊、刘舒、戴波、张广鑫编写，陈刚统

稿。第12章含汞废物环境管理，本章主要介绍了含汞废物处置设施的运行管理和监督管理。本章由陈扬、陈刚、刘俐媛、李宝磊编写，陈刚统稿。

本书主要适用于汞污染防治研究人员，各级相关部门管理人员及从事相关涉汞行业的企业管理人员，同时也可作为生产一线人员培训教材及教学参考。

本书的编写得到了中华人民共和国生态环境部公益项目“含汞废物处置过程污染特征与污染风险控制技术研究”（201509054）项目组的积极支持，得到了沈阳环境科学研究院、中国科学院北京综合研究中心同志们的大力支持，同时得到了北京矿冶研究总院、生态环境部环境保护对外合作中心、中国科学院城市环境研究所、中国环境科学研究院、中国环境科学学会、中国氯碱工业协会、中国石油和化学工业联合会、贵州银星集团、江苏盐城环保科技城重金属防治中心、河南豫光金铅集团公司等的协助与支持，在此一并表示衷心的感谢。该书的顺利出版，也应该感谢化学工业出版社各位编辑的辛苦付出。

由于编著者水平有限，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，以便我们下一步工作中改进。

编著者

2018年6月

第 1 章 绪论	001
1.1 含汞废物性质及其危害	001
1.1.1 含汞废物定义及管理要求	001
1.1.2 含汞化合物性质及其危害	002
1.1.3 含汞化合物毒性及其作用机理	004
1.2 我国含汞废物产生情况及管理	005
1.2.1 我国含汞废物产生概况	005
1.2.2 国家汞污染防治相关法律法规	007
1.2.3 典型涉汞行业相关法律法规	012
1.3 国际汞污染防治法律法规	014
1.3.1 《关于汞的水俣公约》生效实施	014
1.3.2 《巴塞尔公约》涉汞污染控制要求	015
1.3.3 国外涉汞法律法规及标准	016
1.4 发达国家含汞废物管理及经验借鉴	021
1.4.1 发达国家汞污染控制及含汞废物管理	021
1.4.2 发达国家含汞废物管理经验借鉴	023
1.4.3 我国含汞废物管理对策	025
参考文献	026
第 2 章 含汞废物特性分析方法	028
2.1 含汞废物采样制样方法	028
2.2 含汞废物物理特性分析方法	029
2.2.1 形貌分析	029
2.2.2 物理相分析	032
2.3 含汞废物化学特性分析方法	033
2.3.1 总汞分析	033
2.3.2 汞形态分析	044
参考文献	046

第3章 原生汞/再生汞行业含汞废物特性及处理处置 048

3.1 行业发展概况	048
3.2 原生汞/再生汞行业含汞废物产污特征	050
3.2.1 含汞废物产污流程	050
3.2.2 含汞废物产污过程汞分布特征	051
3.3 原生汞/再生汞行业含汞废物特性分析	053
3.3.1 含汞废物特性分析方法	053
3.3.2 尾矿渣	054
3.3.3 汞冶炼渣	056
3.3.4 废汞灸	059
3.3.5 含汞污泥	060
3.3.6 含汞土壤	061
3.3.7 含汞废物综合风险分析	063
3.4 原生汞/再生汞行业含汞废物处理处置	064
3.4.1 废汞灸处理处置	064
3.4.2 尾矿渣处理处置	066
3.4.3 含汞土壤处理处置	070
参考文献	073

第4章 荧光灯生产行业含汞废物特性及处理处置 075

4.1 荧光灯生产行业发展概况	075
4.2 含汞废物产污特征	076
4.3 含汞废物特性分析	078
4.3.1 普通荧光粉	078
4.3.2 稀土荧光粉	080
4.4 含汞废物处理处置	081
参考文献	083

第5章 铜、铅、锌冶炼行业含汞废物特性及处理处置 084

5.1 行业发展概况	084
5.2 铜、铅、锌冶炼行业含汞废物产污特征	085
5.2.1 含汞废物产污流程	085

5.2.2	含汞废物产污过程汞分布特征	087
5.3	铜、铅、锌冶炼行业含汞废物特性分析	094
5.3.1	铜、铅、锌冶炼渣	095
5.3.2	铜、铅、锌冶炼粉尘	102
5.3.3	含汞污酸、硫酸及酸泥	106
5.3.4	含汞废物综合风险分析	111
5.4	铜、铅、锌冶炼行业含汞废物处理处置	112
5.4.1	污酸处理处置	112
5.4.2	酸泥处理处置	120
5.4.3	硫酸脱汞	123
	参考文献	125
第 6 章 电石法生产 PVC 含汞废物特性及处理处置		126
6.1	行业发展概况	126
6.2	电石法生产 PVC 含汞废物产污特征	127
6.2.1	含汞废物产污流程	127
6.2.2	含汞废物产污过程汞分布特征	129
6.3	电石法生产 PVC 含汞废物特性分析	130
6.3.1	废汞催化剂、废汞活性炭	130
6.3.2	含汞废酸	132
6.3.3	含汞废碱	133
6.4	电石法生产 PVC 含汞废物处理处置	133
6.4.1	废汞催化剂处理处置	134
6.4.2	含汞废酸处理处置	144
6.4.3	含汞废碱处理处置	145
	参考文献	146
第 7 章 燃煤行业含汞废物特性及处理处置		147
7.1	行业发展概况	147
7.2	燃煤行业含汞废物产污特征	148
7.3	燃煤行业含汞废物特性分析	153
7.3.1	粉煤灰	154

7.3.2 脱硫石膏	155
7.4 燃煤行业含汞废物处理处置及汞的释放	156
7.4.1 粉煤灰	156
7.4.2 脱硫石膏	158
参考文献	159
第8章 水泥行业含汞废物特性及处理处置	161
8.1 行业发展概况	161
8.2 水泥行业含汞废物产污特征	162
8.3 水泥行业含汞废物特性分析	163
8.3.1 水泥行业含汞飞灰物理化学特性	163
8.3.2 水泥行业含汞飞灰汞的来源与富集	164
8.4 水泥行业含汞废物处理处置	165
参考文献	166
第9章 天然气行业含汞废物特性及处理处置	168
9.1 行业发展概况	168
9.2 天然气行业含汞废物产污特征	169
9.2.1 含汞废物产污流程	169
9.2.2 含汞废物汞分布特征	171
9.3 天然气行业含汞废物特性分析	175
9.3.1 凝析油	175
9.3.2 乙二醇	176
9.3.3 含油污泥	177
9.3.4 废汞吸附剂	177
9.3.5 含汞废物综合风险分析	179
9.4 天然气行业含汞废物处理处置	179
9.4.1 凝析油	179
9.4.2 含汞油泥	187
9.4.3 废汞吸附剂	195
参考文献	195

第 10 章 废含汞化学试剂特性及处理处置	197
10.1 含汞化学试剂分类	197
10.2 废含汞化学试剂来源与产生特征	198
10.3 废含汞化学试剂特性	199
10.4 废含汞化学试剂处理处置	201
参考文献	207
第 11 章 其他行业含汞废物特性及处理处置	208
11.1 钢铁冶炼行业	208
11.1.1 行业发展概况	208
11.1.2 含汞废物产污特征	209
11.1.3 含汞废物特性	212
11.1.4 含汞废物处理处置	215
11.2 垃圾焚烧行业	220
11.2.1 行业发展概况	220
11.2.2 含汞废物产污特征	221
11.2.3 含汞废物特性	222
11.2.4 含汞废物处理处置	227
参考文献	230
第 12 章 含汞废物环境管理	233
12.1 含汞废物处置设施运行管理	233
12.2 含汞废物处置设施运行监督管理	236
12.2.1 基本运行条件监督管理	236
12.2.2 设施运行监督管理	237
12.2.3 污染防治设施运行监督管理	239
12.2.4 安全生产和劳动保护监督管理	241
附录	248
附录一 汞污染防治技术政策	248
附录二 《关于汞的水俣公约》生效公告	254
后记	257

第1章 绪论

1.1 含汞废物性质及其危害

1.1.1 含汞废物定义及管理要求

根据《关于汞的水俣公约》中所述，含汞废物系指汞含量超过缔约方大会经与《巴塞尔公约》各相关机构协调后统一规定的阈值，按照国家法律或本公约之规定予以处置或准备予以处置或必须加以处置的下列物质或物品：①由汞或汞化合物构成；②含有汞或汞化合物；③受到汞或汞化合物污染。这一定义不涵盖源自除原生汞矿开采以外的采矿作业中的表层土、废岩石和尾矿石，除非其中含有超出缔约方大会所界定的阈值量的汞或汞化合物。

根据《关于汞的水俣公约》中所述，各缔约方应采取适当措施使汞废物以环境无害化的方式得到管理；汞废物无害化处置而得到回收、再循环、再生或直接再使用；《巴塞尔公约》缔约方不得进行跨越国际边境的汞废物运输（以环境无害化处置目的除外）。

我国明确对《国家危险废物名录》^[1]中 HW29 类中含汞废物应按照危险废物管理制度进行管理。其他没有明确的含汞废物，应当按照国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法予以认定。经鉴别具有危险特性的，属于危险废物，应当根据其主要有害成分和危险特性确定所属废物类别。经鉴别不具有危险特性的，不属于危险废物。