

附件 3

含汞废物处理处置污染防治可行技术指南

(征求意见稿)

编制说明

环 境 保 护 部

项目名称：含汞废物处理处置污染防治可行技术指南

项目统一编号：43.3.2

编制单位及成员：

环境保护部环境保护对外合作中心 方莉、吴建民、孙阳昭、
韩絮

中国科学院高能物理研究所 陈扬、冯钦忠

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.....	31
2 任务背景.....	31
3 指南编制的原则、方法和法律依据.....	32
3.1 编制原则.....	32
3.2 编制方法.....	32
3.3 法律依据.....	32
3.4 指南的使用.....	33
4 主要工作过程.....	33
4.1 工作进度安排.....	33
4.2 工作实施内容.....	34
5 国外环境技术管理体系及技术现状分析.....	34
5.1 巴塞尔公约对含汞废物管理和处置要求.....	34
5.2 国际主要发达国家和地区含汞废物管理状况.....	35
5.3 国际主要发达国家和地区含汞废物处理处置技术发展状况.....	39
5.4 国外含汞废物管理和处理处置技术总体评估.....	42
6 指南主要内容.....	44
6.1 含汞废物来源及主要环境问题.....	44
6.2 主要含汞废物类别筛选.....	47
6.3 主要含汞废物行业管理、处理处置技术现状.....	52
6.4 含汞废物处理处置污染防治技术.....	60
6.5 含汞废物处理处置可行技术确定原则与评估.....	63
6.6 含汞废物处理处置可行技术.....	68
7 可行技术指南实施环境效益与经济技术分析.....	76
7.1 环境效益分析.....	76
7.2 经济效益分析.....	76
8 指南实施建议.....	77

1 任务来源

为贯彻《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》、《危险废物经营许可证管理办法》、《重金属污染综合整治实施方案》、《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》以及其它重金属管理领域的法律、法规和标准,有效防治汞污染,促进涉汞行业可持续发展,环境保护部对外合作中心和中国科学院高能物理研究所共同承担《含汞废物处理处置污染防治可行技术指南》的编制工作,项目合同编号2012-ZN-006。项目的起止时间为2012年-2013年。

2 任务背景

汞及其化合物因具有生物毒性、生物累积性、持久性、长距离传输性等特征,已成为中国乃至全球的优先控制污染物。我国是汞的生产、使用和排放大国,汞生产量和使用量分别占全球生产量和使用量的60%左右,汞的生产和使用造成含汞废物的排放。我国《国家危险废物名录》将含汞废物列为HW29类危险废物,涉及天然原油和天然气开采、贵金属矿采选、印刷、基础化学原料制造、合成材料制造、电池制造、照明器具制造、通用仪器仪表制造和多种来源共9个行业16类含汞废物,包括工艺过程废气、废水处理产生的粉尘、残渣、废液和污泥等,以及部分使用后的废弃产品。

国际上对含汞废物的管理也日渐关注,巴塞尔公约对含汞废物实施环境无害化管理,并起草了含汞废物环境无害化管理技术导则,对涉汞行业含汞废物处理处置及回收BAT/BEP技术做了阐述;联合国环境规划署也将含汞废物的管理列入国际化学品管理战略方针(SAICM);联合国环境署理事会第二十五届会议在2009年2月20日第25/5号决定中商定,拟订一项具有法律约束力的汞问题文书,目前公约谈判阶段已完成,并命名为水俣汞公约,含汞废物也包括在公约实质性条款中。

近年来,我国尽管汞在工业和商业上的应用已经比过去有所减少,但是含汞废物产量大且增长迅速,处置率低,以荧光灯为例,年产量近70亿只,废弃量每年约1亿只,处置率小于10%,相对于欧盟30%,瑞典70%很有差距,急需进行环境无害化处理。截至2012年,我国可处理含汞废物的机构共11家,其中专业处理废氯化汞触媒机构3家,可处理废旧含汞荧光灯机构4家,处理垃圾、污泥和废渣企业4家。含汞废物种类多样,在技术应用过程中,不同技术类型、不同处理效果和不同价位的处理设备差异较大,且我国目前含汞废物处理技术还不完备,部分含汞废物缺乏有效的处理技术。因此如何妥善解决含汞废物安全处置问题,已成为我国重金属污染控制领域的新课题,而如何更好规范含汞废物处理技术的选择和应用行为,已经成为当前环境管理部门面临的重要挑战。

我国《重金属污染综合防治规划(2011-2015)》获得国务院正式批复,在加强重金属污染防治的大背景下,编制《含汞废物处理处置污染防治可行技术指南》将是重金属污染防治的重要组成部分,对完善我国重金属污染防治技术管理体系,同时对于推进履行巴塞尔公约

及汞公约谈判提供技术支持。

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) 坚持科学性和实用性相结合的原则。通过对多种含汞废物处理处置及污染防治技术调研，针对各种含汞废物处理处置工艺及设备水平、资源利用水平、污染物产生指标、回收利用指标和环境管理水平，并进行各种工艺成本效益分析，筛选不同含汞废物处理处置污染防治可行技术，使指南具有科学性、指导性和可操作性。

(2) 坚持因地制宜和可操作性的原则。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、可行收的环境风险水平、可操作性、社会可接受性、可持续性、生态友好性等，确定切实可行的可行技术标准和选择依据。

(3) 坚持清洁生产和循环经济原则。实施含汞废物处理处置全过程清洁生产，提高汞回收利用利用率，从而降低和减轻污染物末端治理的压力，提高环境污染防治和管理水平，降低环境风险。

(4) 坚持与国际公约的规定和要求相结合的原则。切实融合巴塞尔公约、国际汞公约针对含汞废物管理和处理处置的具体要求，推进中国履约进程和对国际的承诺，并切实贯彻执行我国履约规划所提出的既定目标。

3.2 编制方法

在项目的实施过程中，课题组能够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，从推进实现含汞废物可持续环境管理的角度出发，深入研究国内外在含汞废物管理和处置方面的先进经验以及国际公约对含汞废物管理的基本要求，并对中国目前的含汞废物政策、法规、标准体系进行深入地研究和分析，在此基础上结合中国的实际国情，开展含汞废物处理处置污染防治可行技术指南的研究，另外，结合含汞废物全额项目的开展完成相关基础性研究工作，进而在以上工作基础上编制完成含汞废物处理处置污染防治可行技术指南。

3.3 法律依据

本指南是根据下列有关环境保护的法律、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
- (10) 《危险废物经营许可证管理办法》
- (11) 《国家危险废物名录》
- (12) 《产业结构调整指导目录》
- (13) 《关于加强电石法生产聚氯乙烯及相关行业汞污染防治工作的通知》（环发[2011]4号）

3.4 指南的使用

3.4.1 法律定位

含汞废物处理处置污染防治可行技术指南是指导性文件，是含汞废物处理处置和管理达到国家政策要求和污染物排放标准后更高的环境管理要求。含汞废物处理处置污染防治可行技术指南具有明显的时限特征，随着社会的不断进步需要定期更新。

3.4.2 适用范围

本指南适用于废汞触媒、含汞冶炼废渣、废旧荧光灯及含汞废化学试剂等含汞废物的处理处置企业，温度计、血压计生产废渣、含汞废水处理污泥、含汞废气处理废活性炭等可参照执行，不适用于汞矿尾矿、燃煤电厂、水泥生产等行业产生粉煤灰、飞灰等的处理处置。

4 主要工作过程

4.1 工作进度安排

2012年1月—4月：系统分析国内外含汞废物管理和处理处置技术，尤其是国际公约、欧美等发达国家在含汞废物BAT/BEP方面的具体做法和经验，并结合中国当前技术和管理体系现状，进一步细化现有技术路线和思路，为编制符合中国环境技术管理体系需要的BAT指南提供技术和条件；

2012年5月—6月：结合现有典型含汞废物处理技术，对其所涉及的污染控制环节进行深入的研究和分析，并提出具体的污染控制技术路线和具体要求。

2012年7月—9月：开展含汞废物处理处置技术评价指标体系和评价方法研究，为BAT技术的选择提供条件，同时开展典型含汞废物处理处置设施运行性能测试研究，为含汞废物技术应用环节的BEP的应用以及BAT的落实提供条件。

2012年10-12月：完成BAT指南初稿的编制。

2013年1-3月：完成指南文本及编制说明征求意见稿。

2013年3月：提交征求意见稿。

4.2 工作实施内容

本项目实施初期，课题组系统评估了发达国家的含汞废物处理处置技术、管理和经济政策，明确了国外含汞废物管理体系以及含汞废物领域推进建立含汞废物处置污染防治可行技术的对策与措施；调研了国内含汞废物处理处置技术及相关政策，并进行了评估，明确了中国在推进采用可行技术方面的基础条件和差距；全面研究了巴塞尔公约、国际汞公约以及美国、欧盟、日本等国家/地区在含汞废物领域推进采用最佳可行技术的实际经验和具体做法，为含汞废物处理处置污染防治可行技术指南的编制提供了基础。

本项目课题组为使研究成果与现行法律、法规体系更好衔接，系统回顾了我国含汞废物领域的法律、法规和标准体系；为使项目研究成果更具有针对性，到铜仁、天津、杭州、北京、沈阳、株洲、宜兴等含汞废物处置设施进行了实地调研，了解含汞废物处理处置设施建设、运行及管理状况，以使含汞废物处理处置污染防治可行技术指南编制工作能够结合我国含汞废物处置的实际需求，更具有可操作性。

在项目的实施过程中，课题组围绕含汞废物处理处置污染防治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提供了基础和条件。

5 国外环境技术管理体系及技术现状分析

5.1 巴塞尔公约对含汞废物管理和处置要求

巴塞尔公约针对含汞废物提出了环境无害化管理（ESM）的技术导则，其中包含汞及其化合物，其核心目标是实现危险废物的环境无害化管理，保护人类健康和尽可能地减少危险废物对环境的危害。

巴塞尔公约在Draft technical guidelines on the environmental sound management of mercury wastes研究成果中将含汞废物分为十大类，包括：（1）燃料的使用，如燃煤电厂、石油和天然气工业等；（2）初级金属产品，如产品汞生产过程、有色金属冶炼等；（3）其他矿物产品中含有的杂质汞，如水泥制造、造纸等；（4）工艺过程汞的有意使用，如氯碱生产、VCM生产等；（5）产品中汞的有意使用，如体温计、血压计、电子开关、电池、光源、油漆等产品；（6）其他产品/工艺的有意使用，如牙科汞齐、实验室设备等；（7）二次金属产品中金属的回收使用，如汞的回收再利用、有色金属回收等；（8）废物燃烧，如一般废物或市政废物的焚烧、危险废物焚烧、医疗废物焚烧、污泥焚烧等；（9）废物处置/填埋和废水处理，如垃圾填埋等；（10）殡葬业焚烧。同时，将产生含汞废物的原因分为四大类，包括工业仪器和产品中添加汞、废水处理过程、原生矿物质的热处理过程以及人工和小型炼金。

巴塞尔公约对含汞废物的环境无害化管理提出了BAT/BEP要求，并指出BAT技术要求采用的是当前最先进、最有效的，不仅是技术经济可行、环境友好，而且是可靠的实用技术。

而技术不仅仅是指单纯的技术，还要包括设计、建造、维护、运行和淘汰在内的各种方式，同时还应考虑到当地的技术经济条件、文化背景等因素；在含汞废物管理方面，提出从以下方面进行，包括：含汞产品的淘汰、含汞废物的识别和清单建立、消费习惯、含汞废物进出口管理、含汞废物产生者登记、处理处置设施授权、处理处置设施监测、员工培训、汞泄漏应急措施、责任和赔偿、处罚措施等。

5.2 国际主要发达国家和地区含汞废物管理状况

5.2.1 欧盟含汞废物管理现状

废物预防与管理是欧盟《第六个环境行动计划》中4个主要优先领域之一，其主要目标是减少经济活动中废物产生量。欧盟的目标是通过新的废物预防行动、资源有效利用、鼓励朝可持续消费方式以显著降低垃圾产生量。至2010年，将废物的处置量在2000年的基础上减少20%，至2050年，减少50%，尤其是减少危险废物的产生量。

欧盟管理废物的方法是基于废物预防、循环与回收利用和提高最终的处置与监控3项主要原则。因此，欧盟关于废物管理的法律制定也是以此为依据的。

欧盟废物管理方面的标准（指令和条例）可分为4类：①废物框架标准；②废物经营管理指令；③特殊废物指令；④其它相关指令（图1）。

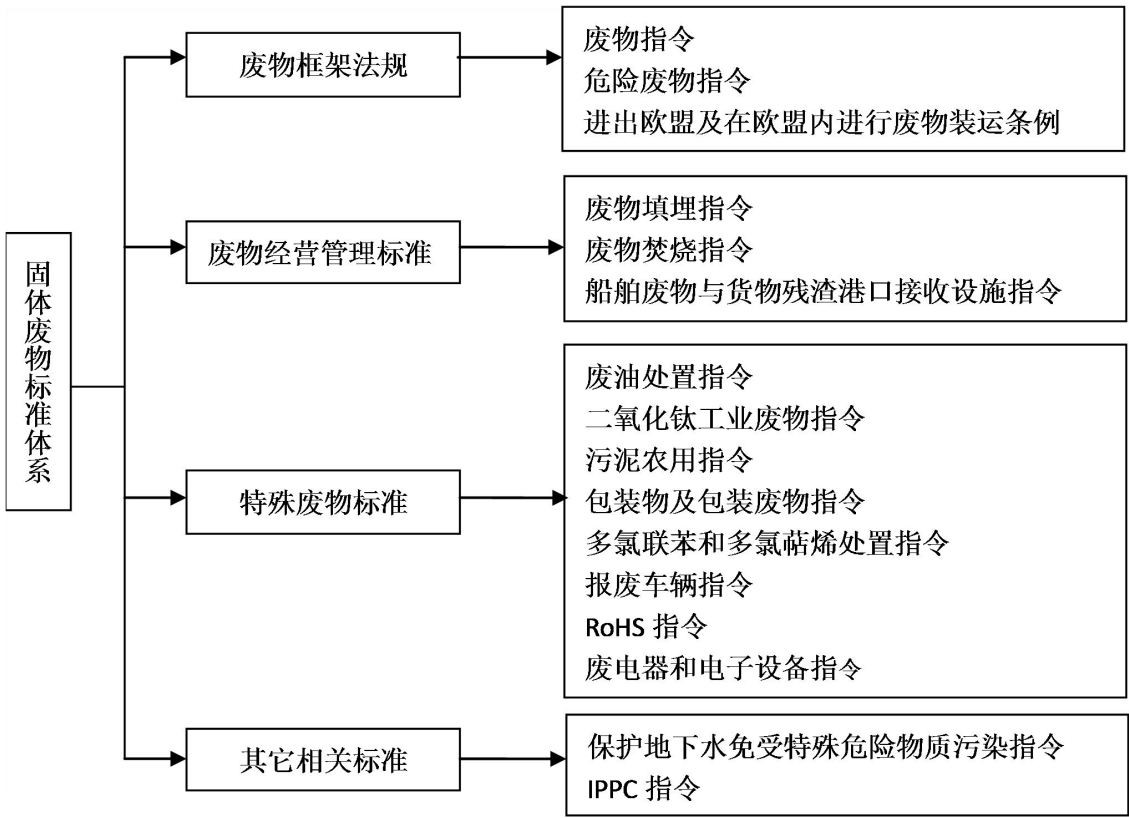


图1 欧盟固体废物标准体系

① 欧盟废物框架标准

欧盟废物框架标准包括以下3项：A.关于危险废物的91/689/EEC指令、B.废物2006/12/EC指令、以及C.关于进出欧盟及在欧盟内进行废物装运的监管与控制的理事会第259/93号条例。

② 废物经营管理标准

欧盟现有的废物经营管理标准包括：A. 关于废物填埋的1999/31/EC指令，B. 关于废物焚烧的94/67/EC和2000/76/EC指令，C. 关于船舶废物与货物残渣港口接收设施的2000/59/EC指令等3项。

③ 特殊废物标准

特殊废物标准由：A.关于废油处置的75/439/EEC指令，B.关于二氧化钛工业废物的78/176/EEC指令，C.关于环境保护、尤其是污泥农用时保护土壤的86/278/EEC指令，D.关于包装物及包装废物的94/62/EC指令，E.关于多氯联苯（PCBs）和多氯萜烯（PCTs）处置的96/59/EC指令，F.关于报废车辆的2000/53/EC指令，G.关于限制某些危险物质在电器和电子设备中使用（RoHS）的2002/95/EC指令，H.关于废电气和电子设备（WEEE）的2002/96/EC指令，I.的2006/21/EC，以及 J.关于含危险物质的电池和蓄电池的91/157/EEC指令等10项指令构成。

④ 其它相关标准

其它相关废物的标准包括综合污染预防与控制指令（IPPC，96/61/EC）。欧盟内部建立了以《综合污染防治指令》（IPPC，1996/61/EC）为核心、以许可证管理为手段的环境管理体系，制定了操作性很强的各工业行业最佳可行技术指南(BREF)，还专门制定了《欧洲汞共同战略》来全面防治汞污染。特别值得指出的是，欧盟对含汞商品、产品限制采取了越来越严厉的措施，欧盟《报废电器电子设备指令》（WEEE）、《电气、电子设备中限制使用某些有害物质指令》（RoHS）已明令禁止含汞电池的进口，要求电子、电器产品中在2006年7月1日后不得超标含有包括汞在内的六种有毒有害物质，并计划在2009年10月颁布禁止医疗器械含汞的法令。REACH规定年产量超过1t的企业需进行注册，并对汞的监测进出了具体要求（未含化妆品和食品）。

表 1 欧盟 BREFs 中与含汞废物处理处置及污染防治技术相关内容

行业	目的	技术		技术适用性	实施时间
废物处理	回收汞	物理化学法（预处理+热处理）		石油天然气工业污泥、电池、催化剂、活性炭、温度计、牙科废物、废旧荧光灯、含汞土壤等	2006 年
废物焚烧—减少汞排放措施	减少烟道气汞排放	初级技术	废物分类	混合废物	2006 年
		二级技术	氧化为 HgS 等稳定形态，经洗涤进入废水 活性炭等吸附剂中加入硫磺直接去除	含汞烟道气中汞的进一步去除	

	含汞废水处理	絮凝沉淀	络合物和硫化物的添加可进一步去除汞	含汞废水中汞的进一步去除	
氯碱生产	减少汞使用	转换为其他技术			2001 年

欧盟《大型燃烧装置的最佳可行技术参考文件》建议汞的脱除优先考虑采用高效除尘、烟气脱硫和脱硝协同控制的技术路线。采用电除尘器或布袋除尘器后加装烟气脱硫装置，平均脱除效率在75%(电除尘器为50%，烟气脱硫为50%)，若加上SCR装置可达90%，燃用褐煤时脱除效率在30%~70%。

欧盟BAT 文件在实施的过程中，定期进行评审，根据所依据法令和法规的变化随时保持更新，以保证与科学技术的同步发展，并根据BAT执行经验的反馈，对BAT限值进行修正。环保部门鼓励发展和引入能满足BAT要求的新技术和改进的技术，从而有利于整个环境质量的持续提高。因此企业经营者必须保证与生产活动相关的最佳可行技术的随时更新。

1996年9月24日，欧盟委员会指令96/91/EC 要求建立能够在各成员国之间实现综合污染防治和管理排污许可证的立法，提出建立最佳可行技术（BAT）体系。到2004年，欧盟的BAT 体系已经基本建立完成，并在各行各业建立起相应的参考性文件，开始发挥其指导作用。

5.2.2 美国含汞废物管理现状

美国ResourceConservationandRecoveryAct(RCRA)规定涉及到含汞产品的处理和回收，含汞的废弃物被确定为危险物品，其存放、运输等应符合有关部门的规定。现在已将含汞废物归属按普通废料的规定，比RCRA关于危险物品的管理条款要求有所放松，各州建立专门的收集规划。1995年环境保护协会提出了《普通废物垃圾的管理办法(UWR)》，其目的是减少城市固体垃圾中危险物品的数量，促进或方便一些常规危险物品的回收和安全处理，减少针对这些废物管理上的工作量。普通垃圾是指那些通常废弃的生活用品和几乎无利用价值的物品，虽然在存放、运输和回收方面对普通废物垃圾的管理没有严格的标准，但在最后的处理或再生利用方面应完全按照危险物品的规定，要求在对垃圾焚烧或堆肥处理前，将电池/荧光灯等从垃圾中分拣出。美国含汞废物相关法规见表2。

表 2 美国汞污染防治废物和产品领域相关标准

法规名称	发布时间	发布机构	总体目标
固体废物焚烧规则 (40 CFR 第 129 部分)	1990 年	美国环保署	规定了有关 EPA 大型和小型生活垃圾焚烧炉，包括感染性废物在内的医疗废物焚烧炉，以及工业固废燃烧炉的大气排放标准。
含汞资源回收和保护法案的汞测试方法(7470A—7474)	1994 年	美国环保署	在执行资源保护与恢复法案(RCRA)的规定时使用该办法检测汞。
危险废物鉴别条例 (40CFR 第 261 部分)	2010 年	美国环保署	固体废物的分类是基于作为危险废物危险废弃物特性和/或 EPA 研制开发的废物名单上的危险废物。一旦被确认为是危险废物,必须

法规名称	发布时间	发布机构	总体目标
			符合所有适用的联邦法规有关的管理。40CFR 第 261 部分危险废物鉴别条例。
土地批准和土地处理限制规定(40CFR 第 268 部分)	2005 年	美国环保署	规定了在填埋处理前废物含汞必须达到的处理标准,以减少危险废物填埋造成的汞污染。
通用废物条例(40CFR 第 273 部分)	2005 年	美国环保署	对于某些废物全方位收集要求,包括含汞电池、农药、灯具、和温控器。 在个别州,可以修改普通废物条例和添加普通废物名录,因此可以更精确的应用该规定。

在含汞产品方面,美国也针对如电池、荧光灯中汞的使用和废弃做了系列规定。美国是在废旧电池回收领域内立法相对最多、最细的一个国家,其立法主要针对镉镍电池、小型密封铅酸电池以及所有其他种类蓄电池、含汞电池等。其有关电池中涉汞法规如表3所示。

表 3 美国电池中汞使用限制有关法规

序号	相关法规	主要相关内容	颁布机构及年份
1	限制电池中汞含量的规定	除了扣式电池之外,电池中的汞含量不超过电池重量的 0.025%	1989 年末至 1991 年初
2	《含汞电池和可充电电池管理办法》	A、禁止销售有汞碱锰电池(扣式碱锰电池允许含汞量为每只电池不超过 25mg); B、禁止销售含汞碳锌电池; C、在美国禁止使用扣式氧化汞电池; D、禁止销售任何氧化汞电池,除非该电池的制造商明确标示电池回收处,电池回收点必须经联邦、州、当地政府管理部门的批准,许可从事接收和回收处理废旧电池。	联邦政府 1996 年
3	《普通废物垃圾的管理办法(UWR)》	增加了含汞灯具的内容,普通废物垃圾包括废旧电池、温度计和农药	环境保护协会 1995 年制定 1999 年修订

美国电器制造商协会《自镇流紧凑型荧光灯汞含量限值》中规定了 0-25 w 总汞含量 $\leq 5\text{mg/只}$ 、25-40w 总汞含量 $\leq 6\text{mg/只}$ 的限值;部分州要求经销商向消费者收取废物回收费用,以用于废旧荧光灯的处理。美国荧光灯回收一般通过项目开展,实行生产者延伸责任制。

5.2.3 日本含汞废物管理现状

汞存在于化石燃料燃烧、金属冶炼以及废物焚烧处置设施产生的粉尘和污泥等介质中,为了确保实现上述废物的安全处置,在废物的无害化处置管理方面,日本建立了相应的标准限值,在汞等有毒有害物质含量超过一定的限值后应进行特殊管理并应按照危险废物进行管理和处置。对于实施该类废物处置的填埋场要与公共水域和地下水通过混凝土或隔离墙隔断,以确保水体不受污染。需特殊管理工业废物的判定标准如表4所示。

表 4 需特殊管理工业废物的判定标准

废物特性	汞的浓度
------	------

灰、粉尘、矿渣、污泥(废酸和废碱除外)	烷基汞：不得检出 汞：0.005mg/L(溶出试验)
废酸、废碱以及废酸、废碱的处理物(废酸或废碱)，灰、粉尘、矿渣、污泥的处理物(废酸或废碱)	汞：0.05mg/L (废酸或废碱中汞浓度)

在含汞产品方面，日本也对针对如电池、荧光灯中汞的使用和废弃做了系列规定。日本在废弃电池的收集和回收方面做得较好，早在1993年开始回收废旧电池，二次电池的回收率较高，例如铅酸蓄电池目前已全部回收，并有成熟的处理方法，其它二次电池的回收率也已达到84%。一次电池的回收率仍较低，仅有20%左右，但是日本在一次电池方面已实现无汞化，对环境污染的程度相对较轻。

日本有关电池政策法规如表5所示。

表 5 日本电池中汞使用限制有关法规

序号	相关法规及要求	主要相关内容	颁布年份
1	《节能法》与《再生资源法》	明确镉镍电池和干电池由消费者回收至再生处理企业的三个渠道：通过分类收集后由地方自治体集中移交；电池的销售商、生产商转交；由配套电器大销售商和服务中心转交。从而完善了回收渠道。	1993 年
2	《资源回收利用法》	规定必须回收二次电池，但是没有法律要求回收一次干电池。	2001 年

5.3 国际主要发达国家和地区含汞废物处理处置技术发展状况

(1) 现有库存的汞污染控制技术

库存汞的主要风险与其在全球市场的销售和分配结果息息相关。为避免风险及将来可能出现的污染，瑞典所采取的战略是不对汞进行循环利用，而是最终以安全且对环境无污染的方法进行处理。

美国则制订了一套方法系统地评估、排列和选择解决方法，该方法包括环保成效、巨灾风险、是否需要更改规章制度、执行因素和成本等，并提出利用商业软件包建立一套权重分配系统，即认为某项标准的重要程度高于另一标准。最后，根据这些标准对11种储存和处理汞元素的方法进行了评估。表6给出了初步评估结果，从中可以看到各种解决方法的评估结果并作出比较。

表 6 11 种解决方法评估结果汇总

解决方法	排名(1000 分数)					
	综合		不考虑成本		只考虑成本	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名
稳定/聚合后以 RCRA 许可的方式填埋	137	1	99	5	217	1
用硒化物处理后以 RCRA 许可的方式填埋	123	2	66	9	217	1
在 RCRA 的标准许可建筑物中储存汞元素	110	3	152	2	126	5
稳定/聚合后以 RCRA 许可的方式进行单一填埋	103	4	92	7	135	3
在 RCRA 许可的坚硬建筑物中储存汞元素	95	5	173	1	44	6

解决方法	排名(1000 分数)					
	综合		不考虑成本		只考虑成本	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名
用硒化物处理后以 RCRA 许可的方式进行单一填埋	94	6	74	8	135	3
在矿洞中储存	81	7	140	3	44	6
稳定/聚合后储存在有土堤的混凝土地堡中	70	8	108	4	42	8
稳定/聚合后储存在矿洞中	63	9	97	6	42	8
用硒化物处理后储存在有土堤的混凝土地堡中	62	10	a*	a	A	a
用硒化物处理后储存在矿洞中	61	11	A	a	A	a
评估的解决方法数量	11	—	9	—	9	—
合计	1 000	—	1 000	—	1 000	—
平均分(总分除以解决方法数量 9 或 11)	91	—	111	—	111	—

注：阴影表示排名最高的解决方法；*这几种方法进行了综合评估，但因得分较低，并未进行“只考虑成本”和“不考虑成本”的分项评估；RCRA：《资源保护和回收法》。

(2) 含汞盐泥汞污染处理处置技术

20世纪70年代前后，各国对盐泥中汞回收处理技术做了大量的研究工作，发达国家主要采用维持淡盐水中的游离氯量在38~42 mg/L范围之内的方法，大大降低汞在精制过程中的沉淀量，使盐泥中含汞量低于20 mg/kg。处理后的含汞盐泥加入汞的固定剂和水泥砂浆固型化处理后埋入地下或投入深海。

(3) 废旧荧光灯处理技术

发达国家主要通过湿法、高温气化法、直接破碎分离及切端吹扫分离等技术处理废旧荧光灯。

① 湿法技术

湿法技术是利用水封保存防止汞蒸气污染空气的特点，通过水洗脱离玻璃上的残留荧光粉，对汞进行高效率的回收。该技术需对产生的含汞废水进行处理，在荧光灯管回收利用的早期处理中使用较多。

② 高温气化技术

高温气化技术是利用高温能彻底有效地回收废弃荧光灯管中的汞，且比水洗法费用低10~15%的处理技术，高技术运行成本较高。

③ 直接破碎分离技术

直接破碎分离技术是将灯管整体粉碎洗净干燥后，经焙烧、蒸发并凝结回收粗汞，再经汞生产装置精制得到供荧光灯用汞。该技术工艺结构紧凑、占地面积小，但荧光粉纯度不高，较难被再利用。

④ 切端吹扫分离技术

切端吹扫分离技术是将灯管的两端切掉，再吹入高压空气将含汞的荧光粉吹出后收集，然后通过加热器回收汞，其生成汞的纯度为99.9%。该技术可有效分类收集再回收利用稀土荧光粉，但投资较大。

(4) 含汞废旧电池处理技术

对于含汞电池，国际上通行的处理方式大致有两种：固化深埋、回收利用，而回收利用技术又分为热处理技术、湿处理技术和真空热处理技术。

① 固化深埋

如法国一家工厂就从中提取镍和镉，再将镍用于炼钢，镉则重新用于生产电池。其余的各类废电池一般都运往专门的有毒、有害垃圾填埋场，但这种做法不仅花费太大而且还造成浪费，因为其中尚有不少可作原料的有用物质。

② 热处理技术

瑞士有两家专门加工利用旧电池的工厂，巴特列克公司采取的方法是将旧电池磨碎，然后送往炉内加热，这时可提取挥发出来的汞，温度更高时锌也蒸发，它同样是贵金属。铁和锰熔合后成为炼钢所需的锰铁合金。该工厂一年可加工2000t废电池，可获得780t锰铁合金，400t锌合金及3t汞。另一家工厂则是直接从电池中提取铁元素，并将氧化锰、氧化锌、氧化铜和氧化镍等金属混合物作为金属废料直接出售。不过，热处理的方法花费较高，瑞士还规定向每位电池购买者收取少量废电池加工专用费。

③ 湿处理技术

马格德堡近郊区正在兴建一个“湿处理”装置，在这里除铅蓄电池外，各类电池均溶解于硫酸，然后借助离子树脂从溶液中提取各种金属，用这种方式获得的原料比热处理方法纯净，因此市场上售价更高，而且电池中包含的各种物质有95%都能提取出来。湿处理可省去分拣环节(因为分拣是手工操作，会增加成本)。马格德堡这套装置年加工能力可达7500t，其成本虽然比填埋方法略高，但贵重原料不致丢弃，也不会污染环境。

④ 真空热处理法

德国阿尔特公司研制的真空热处理法还要便宜，不过这首先需要在废电池中分拣出镍镉电池，废电池在真空中加热，其中汞迅速蒸发，即可将其回收，然后将剩余原料磨碎，用磁体提取金属铁，再从余下粉末中提取镍和锰。

(5) 废物焚烧汞污染防治技术

城市垃圾、危险废物焚烧汞排放控制技术如表4所示。然而，在含汞产品使用的地方，提倡含汞废物的单独收集和处理极有可能是限制汞排放最有效的举措。废物焚烧汞污染防治技术及除汞效率如表7、表8所示。

表 7 废物焚烧汞排放防治技术

领域	现有可行技术	新兴技术
城市垃圾、医疗和危险废物焚烧	单独收集、处理含汞废物 含汞产品替代 吸收剂喷射 烟气脱硫技术 碳过滤层 内含添加剂的湿式除尘器 硒过滤器 ESP 或 FF 前活性炭喷射 活性炭或焦炭过滤器	重金属挥发加工 水冶处理+玻璃化 城市废物焚烧 PECK 混合加工

领域	现有可行技术	新兴技术
	SCR 脱硝技术 水泥窑中废物与回收燃料共同焚烧 水泥窑现有可行技术 燃烧装置中废物与回收燃料共同焚烧 避免汞作为二级燃料高级组分进入 二级燃料气化 活性炭喷射 燃烧装置的现有可行技术	

废物填埋的投资与维护成本相对较低，因此，可实施填埋防治，限制汞排放，这亦将有益于其它危险废物的管理。

表 8 废物焚烧汞脱除技术及投资运作成本

领域	排放防治技术	汞减排率(%)	年度成本 (2008 年度 美元/公吨废物)		
			年度投资成本	年度运作成本	年度总成本
废物焚烧流程	加入碱的湿式除尘器(WSC)-排放防治效率“中等”	20	0.12	0.08	0.20
	废物分离-排放效率“中等”	60	0.60	0.60	1.20
	干式 ESP-优化改装	70	1.84	6.99	8.83
	ESP+湿式除尘器+加入石灰的活性炭+FF-优化改装	99	2.31	2.48	4.79
	两阶段除尘器+湿式 ESP-优化改装	90	2.31	1.82	4.13
	原始活性炭喷射(SIC)+FF-优化改装	80	2.19	4.02	6.21
	原始活性炭喷射(SIC)+文丘里除尘器+ESP-优化改装	95	5.25	6.15	11.40
	原始活性炭喷射(SIC)+加入石灰浆的文丘里除尘器+烧碱+FF-优化改装	99	5.78	7.08	12.86

废物焚烧烟气中汞污染的减排措施，一是利用废物焚烧烟气常规净化设施如除尘、脱硫和脱硝设施脱除烟气中的汞；二是利用二噁英脱除设施协同脱除烟气中的汞，二噁英脱除技术如活性炭喷射技术同时也适合于脱除烟气中的汞。

5.4 国外含汞废物管理和处理处置技术总体评估

5.4.1 国外含汞废物管理总体评估

(1) 含汞废物分类管理

对含汞废物进行分类管理是国外主要国家地区的共同做法。如美国对危险废物的管理依据危险废物特征、产生者、利用处置设置等方面进行分类管理。

危险废物特征分类：危险废物特征又依据类别、风险等级、形态、产生源以及管理方式等对危险废物进行分类。根据产生来源和风险度，美国RCRA将危险废物分为特性废物、普遍性废物、混合废物和名录废物4类。如废电池、废灯具等列入普遍性废物类。

产生者分类：少数产生量大的产生者产生了大部分的危险废物，产生量不同其环境风险和应承担的环境责任也不同。美国EPA根据每月危险废物产生量及危害程度，将产生者分为大源、小源、有条件豁免小源三类实施差别化管理。

利用处置设施分类管理：在确保环境安全前提下，RCRA鼓励危险废物回收利用。对处置设施的设计、选址、建设等也制定了严格的管理要求，实施许可证制度。

（2）重点废物优先管理

美国2006年制定并实施了国家废物最小化计划，制定了31中优先控制化学物质作为减量目标，汞是其31中优先控制化学物质中的一种。欧盟利用风险评价方法对危险废物从浓度和毒性大小两方面进行危险废物风险评估，在此基础上确定废物优先管理浓度标准。挪威1997年发布的政府白皮书提出至2010年消除或者尽可能减少30种危险化学品的排放，汞列入其优先消减化学品名单，消减目标为60%。

在含汞废物管理方面，各国针对不同的含汞废物实施更加明细化、具体化、针对性强的管理，如美国、欧盟等国家地区均出台实施了电池、灯具等汞含量限量要求，并实施回收管理。

5.4.1 国外含汞废物处理处置技术总体评估

综合以上国外现有的含汞废物处理处置技术及污染防治技术分析，国外含汞废物处理处置及污染防治技术有以下特点：

（1）处理处置技术资源化

汞是一种资源，含汞废物处理处置过程中首先要考虑资源的回收利用，如美国RCRA规定鼓励危险废物的回收利用。废旧荧光灯直接破碎、切断吹扫技术以汞的回收为主，热处理法处理废电池技术中，也以金属包括汞的回收为主。

（2）处理处置技术的发展

国外含汞废物处理处置技术早起以填埋为主，随着国外禁汞限汞的开展，一些落后的涉汞工艺已淘汰，含汞废物数量有所减少，同时产品中汞含量也逐步降低，对处理处置技术的要求也提高，技术也逐步成熟，到目前以自动化的资源回收技术为主。

（3）处理处置过程的污染控制

含汞废物处理处置过程中的污染控制是减少含汞废物危害的主要环节，其他废物处理处置末端废气、废水中汞的污染防治多用于含汞废物处理处置，一些含汞废物处理处置设施末端搭载废气处理设施，降低废物处置环节产生二次污染风险，如废旧荧光灯MRT技术搭载活性炭吸附废气装置等，以达到废气排放标准的要求。

（4）生命周期和全过程管理

国外含汞废物管理实施生命周期和全过程管理理念，从产品设计阶段即考虑减少废物产生量及其危害，对产生含汞废物的生产工艺、过程、运输、贮存等中间环节加以监管，降低环境风险，如欧盟管理废物的方法是基于废物预防、循环与回收利用和提高最终的处置与监控3项主要原则。

（5）风险管理

降低环境风险是危险废物管理的主要目的之一，国外发达国家含汞废物管理中也贯穿这

一理念，包括含汞废物生命周期和全过程管理的实施，力争把潜在的环境风险降到最低，保证含汞废物处理处置过程的环境安全性，避免产生二次污染等。

6 指南主要内容

6.1 含汞废物来源及主要环境问题

6.1.1 含汞废物的来源及分类

目前中国总的汞消费量大概在1000t左右，约占世界总量的50%，中国也是目前几乎唯一开采汞矿的国家，PVC生产是中国最大的有意用汞行业，大部分PVC生产采用乙炔法生产，需要使用大量含汞触媒（催化剂）（许多国家已经采用乙烯法，在生产过程中并不需要汞触媒）。其次还包括电池、血压计、温度计、光源、牙科材料等。中国已经成为世界上最大的汞生产国和消费国。中国主要用汞行业及汞使用情况如图2所示。

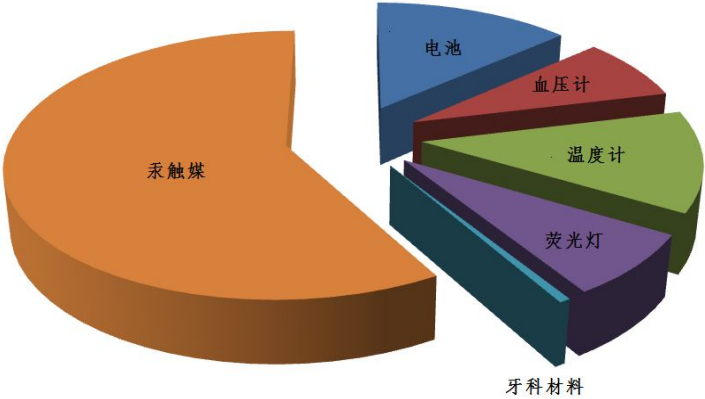


图 2 中国主要用汞行业及汞使用量

汞作为工业活动无意产生的副产品，在环境中的排放量也值得关注。汞排放到空气、水和土壤中，但只有排放到大气中的汞可以进行定量估算，以2010年数据为例，年度汞在大气中的排放量全球约为1960t。燃煤锅炉和燃煤电厂是最大的大气汞排放源，总计超过50%。大气排放源还包括有色金属冶炼、水泥生产、钢铁生产等。中国作为汞生产、使用和排放大国，几乎包括UNEP《汞排放定量定性估算工具包》中所有的11大类59小类排放源。主要用汞产品或者涉汞工艺为乙炔法PVC生产、体温计、电池、血压计和电光源，此外仪器仪表、试剂生产等也使用汞。涉汞行业影响面广，涉及采选矿、燃煤、钢铁、有色、水泥、化工等国家支柱产业。

含汞废物主要来自工业制造、生活垃圾、医疗垃圾等领域。工业制造领域的含汞废物主要包括聚氯乙烯生产过程中所产生的废汞触媒；生活垃圾中的含汞废物主要来自废弃荧光灯、体温计、含汞电池等。医疗垃圾中的含汞废物主要来自水银血压计、水银体温计、口腔科用银汞齐、部分品种中药和实验室试剂等。

不同的地区含汞废物来源不同，不同来源汞废物的数量亦与不同国家和地区的生活方

式、经济发展水平相挂钩，来源不同，其产生的排放量亦不相同。含汞废物来源情况如表9所示。

表 9 不同含汞废物来源

工业制造	除电池、蓄电池外的含汞废物；生产、配制、供给和使用中产生的含汞废物；盐及其溶液、金属氧气物的生产、配制、供给和使用中产生的含汞废物
	不同交通运输方式的废旧车辆(包括非公路作业机)，废旧车辆拆解与车辆维护中产生的含汞废物、含汞零件
	天然气净化与运输过程中产生的含汞废物
生活垃圾	含汞电池、电灯和电子设备
	含汞建筑废物
	荧光灯、节能灯及其它照明产品含汞废物
医疗垃圾	人体护理、疾病诊断、治疗或预防过程中产生的含汞废物，如牙科治疗过程产生的汞齐合金废物

我国2008年颁布实施的《国家危险废物名录》中也对含汞废物的种类进行了界定（见表10）。

表 10 《国家危险废物名录》中含汞废物种类

编号	废物种类
071-003-29	天然气净化过程中产生的含汞废物
092-001-29	“全泥氰化-炭浆提金”黄金选矿生产工艺产生的含汞粉尘、残渣
092-002-29	汞矿采选过程中产生的废渣和集(除)尘装置收集的粉尘
231-007-29	使用显影剂、汞化合物进行影像加厚(物理沉淀)以及使用显影剂、氨氯化汞进行影像加厚(氧化)产生的废液及残渣
411-001-29	含汞温度计生产过程中产生的废渣
261-051-29	水银电解槽法生产氯气过程中盐水精制产生的盐水提纯污泥
261-052-29	水银电解槽法生产氯气过程中产生的废水处理污泥
394-003-29	含汞电池生产过程中产生的废渣和废水处理污泥
261-054-29	卤素和卤素化学品生产过程产生中的含汞硫酸钡污泥
261-053-29	氯气生产过程中产生的废活性炭
265-001-29	氯乙烯精制过程中使用活性炭吸附法处理含汞废水过程中产生的废活性炭
265-002-29	氯乙烯精制过程中产生的吸附微量氯化汞的废活性炭
397-001-29	含汞光源生产过程中产生的荧光粉、废活性炭吸收剂
900-022-29	废弃的含汞催化剂
900-023-29	生产、销售及使用过程中产生的废含汞荧光灯管
900-024-29	生产、销售及使用过程中产生的废汞温度计、含汞废血压计

除以上来源外，燃煤、钢铁冶炼、有色金属冶炼、水泥等行业也会产生含汞废物，科研、实验用化学试剂的废弃产生的废试剂也是含汞废物的来源之一，且浓度较高（见表11）。

表 11 其他来源含汞废物

来源	主要含汞废物类型	汞含量（mg/kg）
燃煤电厂	脱硫石膏	--
	粉煤灰	0.1
钢铁冶炼	含汞冶炼废渣	--
有色金属冶炼	含汞冶炼废渣	--
水泥生产	窑灰	1.33
废含汞化学试剂	瓶装液态试剂	一般浓度较高

6.1.2 含汞废物的特性及危害

汞及其衍生物有机汞，因具有持久性、易迁移性、高度的生物富集性和高生物毒性等特性，作为一种重要的有毒环境污染物，可在大气和食物链中持久存在，并可远距离迁移。汞污染和损害主要有三个特点：第一，汞污染来源种类众多，涉及多种环境介质；第二，汞在环境中可通过大气和河流/洋流两种介质长距离传输，其长距离传输和远距离沉降特征，使得汞的局地排放可能造成跨界污染，成为区域性环境问题，甚至对整个全球环境造成影响，成为全球问题；第三，汞能在一个微小剂量下对人体健康造成损害，并且会通过影响微生物作用对环境造成损害。汞污染的持久性，生物累积性和生物扩大性，使得汞对环境和人体健康构成极大威胁。

含汞废物是危险废物的一种，因其具有毒性被列入国家危险废物名录。含汞废物产生源广泛，工艺过程以及产品使用后废弃均可产生，含汞废物的堆放经雨水洗涤和径流的作用，汞将转移到土壤和水体中，使环境受到污染。环境中的金属汞和二价离子汞等无机汞在生物特别是微生物的作用下会转化成甲基汞和二甲基汞。甲基汞在汞化合物中毒性最大，是一种具有神经毒性的环境污染物，主要侵犯中枢神经系统，可造成语言和记忆能力障碍等。其损害的主要部位是大脑的枕叶和小脑，其神经毒性可能与扰乱谷氨酸的重摄取和致使神经细胞基因表达异常。

除含汞废物本身存在的潜在环境危害外，含汞废物处理处置过程中还可能产生二次污染。含汞废物处理处置过程中产生含汞废水、废气，如处置不当，对处理处置设施所在地水体、大气存在一定环境风险；有色金属冶炼废渣中还可能含有铅、铜等金属，在含汞废物处理过程中回收汞的同时要保留其他有色金属，即可回收金属资源又降低其可能对环境造成的危害。

6.2 主要含汞废物类别筛选

根据含汞废物的来源，对含汞废物进行归类整理，含汞废物主要包括以下种类：添汞产品生产过程废渣（含汞温度计、含汞光源、含汞电池），采选矿废渣粉尘（黄金、汞矿），涉汞工艺废水处理污泥，废水、废气治理产生废活性炭，废汞触媒，生产、销售及使用过程中产生的废旧荧光灯、温度计、血压计、含汞电池，燃煤电厂产生脱硫石膏、粉煤灰，钢铁冶炼废渣，有色金属冶炼废渣，水泥生产窑灰等。从废物特征、产生量、分布以及处理处置技术角度进行全面的调研、分析和评估（见表12）。

表12 含汞废物综合分析一览表

含汞废物种类	来源	全国产生量	分布特征	汞形态	汞含量	现有处理处置技术	现有处理处置能力	相关管理要求
含汞温度计生产过程废渣	含汞温度计生产	无统计数据 错误！未找到引用源。	主要分布在华东、山东、陕西等地，江浙一带较集中	单质液态汞	——	国内尚无此类技术	无	属于危险废物
含汞光源生产过程废渣	含汞光源生产	7000万只不合格荧光灯 错误！未找到引用源。	大多分布在东南沿海的江苏、浙江、上海、福建、广东等地	单质液态汞、汞齐	约5mg/只荧光灯	国内有湿法和干法处理技术，干法包括切断吹扫技术、直接破碎技术	湿法处理能力：1500t/a 干法处理能力：10台	属于危险废物
含汞电池生产过程废渣	含汞电池生产	无统计数据 错误！未找到引用源。	含汞电池生产企业数量多、规模小、分布广	化合态为主	一般含汞量小于0.0001%	国内无技术应用实例，国外早起有热处理技术等	无	属于危险废物
牙科汞齐	牙科治疗	量很小，具体数量无统计	分布广泛，主要存在于牙医诊所	金属汞齐，较稳定	质量分数超过50%	无处理技术，一般可参照含汞光源固汞采取蒸馏技术处理	无	未列入危险废物
汞矿采选废渣	汞矿采选	量大，主要为历史遗留	主要分布于贵州、陕西、重庆、湖南等有汞矿开采地区	多以硫化汞存在，较稳定	较低	目前主要是矿坑回填；有部分历史遗留废渣在堆存	无	属于危险废物
黄金采选废渣	黄金采选	——	——	——	——	——	——	汞法炼金已列入产业淘汰目录
废水处理污泥（水银电解槽法生产氯气、	涉汞工艺废水处理	数量较少	主要存在于涉汞企业	单质汞及汞无机化合	——	脱水后冶炼蒸馏	处理含汞冶炼废渣的技术可处理此类废物	属于危险废物

含汞废物种类	来源	全国产生量	分布特征	汞形态	汞含量	现有处理处置技术	现有处理处置能力	相关管理要求
含汞电池生产过程、卤素和卤素化学产品生产)				物				
废水、废气处理废活性炭	涉汞工艺废水、废气处理	数量较小	主要存在于涉汞企业		——	蒸馏法	处理冶炼废渣及废汞触媒的技术可处理此类废物	未列入危险废物，但是实际涉汞工艺产生按危险废物处理
废汞触媒	生产PVC厂家	2009年全年产量约7000吨	电石法PVC生产企业	主要为氯化汞	约3-5%	主要有冶炼蒸馏法、化学活化法和控氧蒸馏法	约25000t/a	属于危险废物
废旧荧光灯	荧光灯生产、销售及生产过程产生	生产约7000万只；使用约XX万只。	荧光灯生产企业，大多分布在东南沿海的江苏、浙江、上海、福建、广东等地。使用单位量大面广	单质液态汞、汞齐	约5mg/只灯	国内有湿法和干法处理技术，干法包括切断吹扫技术、直接破碎技术	约1.8亿只	属于危险废物，但是家庭使用源豁免
废温度计、血压计	温度计、血压计使用过程产生	水银体温计2008年产量1亿多支，约50%以上出口；水银血压计产量约380万台	主要分布在华东、山东、陕西等地，江浙一带较集中	单质液态汞	体温计单位产品平均含汞量约1.13g；血压计平均含汞量一般为20~30g	目前处置方式：自行填埋、堆存或循环利用；交有资质机构进行处理。	处理冶炼废渣的技术可处理此类废物	属于危险废物，但是家庭使用源豁免
废干电池	干电池的生产、销售	2008年糊式锌锰电池产量约	使用分布广泛	氯化汞、单质汞	一般含汞量小于0.0001%	早期填埋处理	——	废电池污染防治技术政策规定现

含汞废物种类	来源	全国产生量	分布特征	汞形态	汞含量	现有处理处置技术	现有处理处置能力	相关管理要求
	售和使用	为36亿、纸板锌锰电池81亿只，扣式80亿只。约一半以上出口						阶段低汞电池可不集中收集处理
燃煤电厂脱硫石膏、粉煤灰	燃煤电厂	目前，我国粉煤灰的总堆存量已超过10亿t；脱硫石膏的累计对存量已经超过5000万吨	分布广泛，存在于燃煤电厂	石膏中主要为氯化汞、硫化汞	——	以资源综合利用为主	——	无
钢铁冶炼废渣	钢铁冶炼厂	无统计数据	全国钢铁冶炼厂	无机化合物	——	无	——	无
有色金属冶炼废渣	有色金属冶炼厂，如铅锌铜等	——	全国有色金属冶炼厂	无机化合物	与精矿中汞含量有关	冶炼蒸馏法	1500t/年	
水泥生产窑灰	水泥生产厂	无统计数据	全国水泥生产厂	无机化合物	——	无	——	无
废含汞化学试剂	科研机构等	——	分布广泛	有机、无机化合物	较高	固化填埋	12000t/年	无

注：错误！未找到引用源。水银体温计2008年产量1亿多支，50%以上出口；水银血压计产量约380万台

错误！未找到引用源。2011年荧光灯年产量约70亿只，按平均不合格率1%估算，约产生不合格品7000万只。

错误！未找到引用源。含汞电池主要有5种糊式锌锰电池、纸板锌锰电池、碱性锌锰电池、氧化银电池和锌-空气电池。其中2008年糊式锌锰电池产量约为36亿、纸板锌锰电池81亿只，扣式(碱性锌锰电池、氧化银电池和锌-空气电池)80亿只。

从上表可见，我国含汞废物来源广泛，在本指南编制中，拟筛选需要重点控制的含汞废物进行管理，重点依据各种含汞废物的环境风险进行评估筛选，筛选原则如下：

1) 产生数量：根据含汞废物种类产生数量进行分级，优先控制重点产废行业产生量大的含汞废物；

2) 危害程度：不同含汞废物中汞的形态、浓度不同，其对环境的危害程度也有差异，本指南优先控制汞浓度高、毒性大的含汞废物；

3) 处理技术：随着国内外限控汞措施的实施，含汞废物处理处置技术也经历了不同的发展阶段，本指南优先考虑操作性高、环境友好的处理处置技术；

4) 政策要求：结合国内相关法律法规的要求、重金属十二五规划以及公约，优先控制国内外重点关注的涉汞工艺、行业产生的含汞废物。

根据以上原则，从废物产生量、危害程度、处理技术以及相关政策要求四个方面对需重点关注的含汞废物进行筛选，结果如表13所示。

表13 含汞废物控制种类评估筛选

含汞废物种类	废物产生量 ^{错误！未找到引用源。}	危害程度 ^{错误！未找到引用源。}	技术可操作性 ^{错误！未找到引用源。}	政策要求 ^{错误！未找到引用源。}
含汞温度计生产过程废渣	★★★	★★★★★	★	★★★★
含汞光源生产过程废渣	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★
含汞电池生产过程废渣	★★★	★★★	★★★	★
牙科汞齐	★	★	★	★
汞矿采选废渣	★★★★★	★	★	★★★★
黄金采选废渣	——	——	——	★★★★★
废水处理污泥（水银电解槽法生产氯气、含汞电池生产过程、卤素和卤素化学品生产）	★	★★★	★★★	★★★
废水、废气处理废活性炭	★	★★★	★★★	★
废汞触媒	★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
废旧荧光灯	★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
废温度计、血压计	★	★★★	★	★★
废干电池	★	★★	★★	★★
燃煤电厂脱硫石膏、粉煤灰	★★★★	★	★	★
钢铁冶炼废渣	★★★★	★	★	★
有色金属冶炼废渣	★★	★★★	★★★★★	★★★★
水泥生产窑灰	★★★★	★	★	★
废含汞化学试剂	★★	★★★★★	★★★★★	★★

注：错误！未找到引用源。产生数量：★★★★★：大；★★★★：较大；★★★：中；★★：较小；★：小

错误！未找到引用源。危害程度：★★★★★：大；★★★★：较大；★★★：中；★★：较小；★：

小
错误！未找到引用源。技术操作性：★★★★★：高；★★★★★：较高；★★★★：中；★★★：较低；★：低
错误！未找到引用源。政策要求：★★★★★：严；★★★★★：较严；★★★★：中；★★★：较松；★：松

综合评估结果，本指南选择技术可操作性强、产生量大、环境危害性大的含汞废物作为主要控制重点，同时结合考虑国内外政策法规、规划以及公约的情况，选定废汞触媒、含汞冶炼废渣、废旧荧光灯、废含汞化学试剂四类含汞废物作为本指南重点管理的含汞废物。

6.3 主要含汞废物行业管理、处理处置技术现状

6.3.1 废汞触媒

6.3.1.1 含汞触媒使用及废汞触媒产生现状

(1) 聚氯乙烯行业基本情况。聚氯乙烯是五大通用塑料之一，广泛应用于工业、农业、国防、化学建材等重要领域。截至2009年底，我国聚氯乙烯生产企业104家，总产能为1781万t，其中电石法94家，产能为1362万t，占总产能的76.5%。2009年我国聚氯乙烯总产量为915万t，其中电石法聚氯乙烯产量580万t，占总产量的63.4%。

(2) 电石法聚氯乙烯汞使用情况。电石法聚氯乙烯使用的触媒，以活性炭为载体，浸渍吸附10~12%左右的氯化汞制备而成。触媒由于汞升华及触媒中毒等原因活性下降到一定程度后需进行更换，失活的汞触媒成为废汞触媒。目前，我国每吨聚氯乙烯消耗氯化汞触媒平均约1.2kg(以氯化汞的平均含量11%计)，以2009年我国电石法聚氯乙烯产量580万t计算，电石法聚氯乙烯行业使用汞触媒约7000吨，氯化汞的使用量约770t，汞的使用量约570t。

(3) 电石法聚氯乙烯生产过程中的汞流向及排放情况。电石法聚氯乙烯生产过程的汞去向主要是废汞触媒、含汞废活性炭、含汞废盐酸、废碱液等，分别占氯化汞使用总量的36%、8%、51%、5%。目前，废汞触媒和废汞活性炭由有资质的危险废物处理厂家回收处理，氯化汞回收率约75%。

(4) 我国废汞触媒处理处置企业情况。我国现持有环保部颁发的含汞废物处理处置许可证的企业为3家，处置能力分别为15000t、9000t和1500t，总处理能力25500t。

表 14 我国电石法 PVC 行业相关法规要求

序号	相关法规	主要相关内容	颁布机构及年份
1	氯碱(烧碱、聚氯乙烯)行业准入条件	禁止新改扩建烧碱生产装置采用普通金属阳极、石墨阳极和水银法电解槽，鼓励采用 30m2 以上节能型金属阳极隔膜电解槽及离子膜电解槽。鼓励采用乙烯氧氯化法聚氯乙烯生产技术替代电石法聚氯乙烯生产技术，鼓励干法制乙炔、大型转化器、变压吸附、无汞触媒等电石法聚氯乙烯工艺技术的开发和技术改造。鼓励新建电石渣制水泥生产装置采用新型干法水泥生产工艺。产生的废汞触媒、废汞活性炭、含汞废酸、含汞废水等必须严格执行国家危险废弃物的管理规定。	发 改 委 [2007]74 号

2	烧碱/聚氯乙烯行业清洁生产评价指标体系	评价烧碱/聚氯乙烯生产企业的清洁生产水平，为企业推行清洁生产提供技术指导。规定聚氯乙烯生产工艺废水中总汞应小于 2.0×10^{-5} kg/t 聚氯乙烯，权重为 5。	国家发展和改革委员会 2006 年 12 月
3	关于加强电石法生产聚氯乙烯及相关行业汞污染防治工作的通知	到 2012 年，我国电石法聚氯乙烯行业低汞触媒普及率达到 50%，平均每吨聚氯乙烯氯化汞使用量下降 25%，全行业全部实现合理回收废汞触媒；到 2015 年，全行业全部使用低汞触媒，每吨聚氯乙烯氯化汞使用量下降 50%，废低汞触媒回收率达到 100%；高效汞回收技术普及率达到 50%；盐酸深度脱吸技术普及率达 90% 以上；采用硫化钠处理含汞废水(包括废盐酸、废碱液等)的普及率达 100%。	环境保护部环发[2011]4 号

6.3.1.2 废汞触媒处理处置技术

在中国，针对电石法聚氯乙烯生产产生的废汞触媒主要采用以下含汞废物污染控制技术：通过利用废汞触媒为原料，火法冶炼回收再生汞；以废汞触媒为原料，化学活化、回收生产“再生汞触媒”；控氧干馏法回收废触媒 HgCl_2 及活性炭工艺。控氧干馏法也即高效回收 HgCl_2 技术，已被列为电石法聚氯乙烯生产清洁生产推荐技术。

蒸馏法回收处理工艺先通过化学浸渍利用化学方法使氯化汞脱离汞触媒，再通过焙烧、冷凝等工序获得金属汞（图3）。目前应用此方法处理的国内企业有2家，均在贵州省铜仁市。

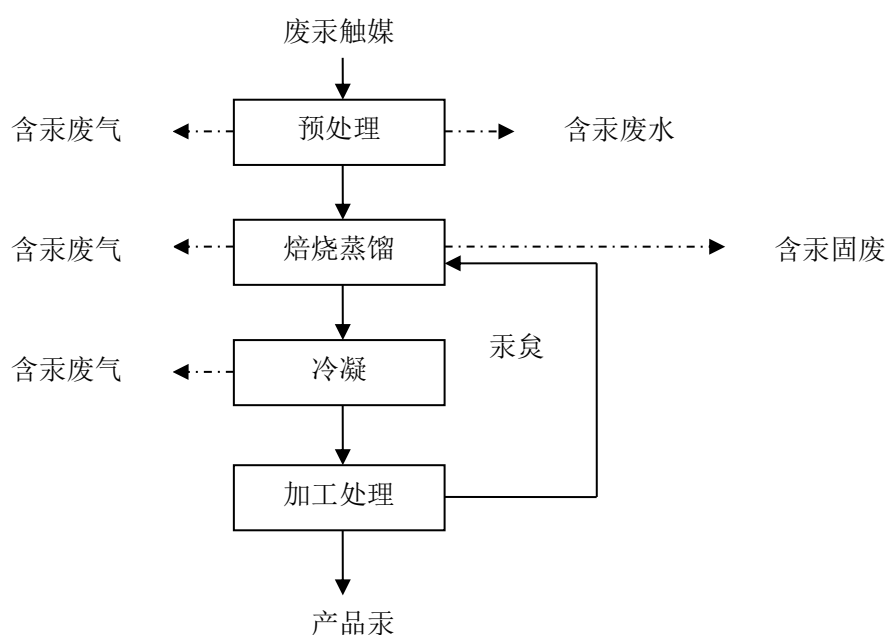


图3 废汞触媒蒸馏法处置工艺及产污节点

控氧干馏法回收废触媒 HgCl_2 及活性炭工艺即高效汞回收技术，是利用 HgCl_2 高温升华且其升华温度低于活性炭焦化温度的原理，在负压密闭和惰性气体气氛环境下，通过干馏实现 HgCl_2 和活性炭同时回收（图4）。该工艺不仅可实现氯化汞和活性炭的资源综合利用，还可有效避免回收过程中的汞流失，使氯化汞的回收率大于90%。适用于电石法生产PVC废汞触媒的处理，采用密闭循环回收，在运行中对环境不会造成污染。目前该技术属于宁夏金海创科化工科技有限公司所有，工程总投资约6500万元，年处理能力6000吨。处置前含汞废活性

炭含汞在3.5%左右，处置后含汞废活性炭汞含量在20mg/kg以下。

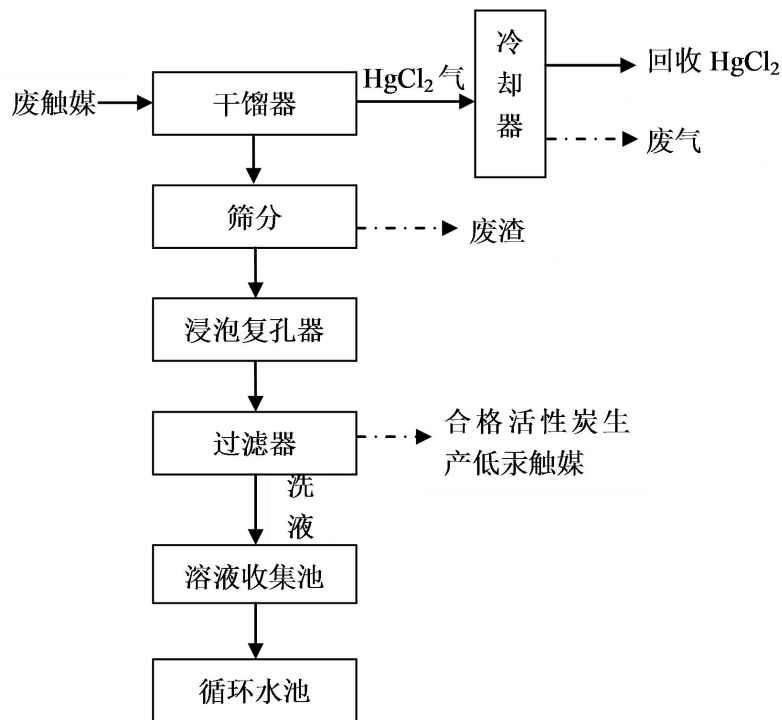


图 4 废汞触媒控氧干馏法处置工艺流程及产污节点

化学活化法是在不分离废汞触媒中的活性炭和氯化汞的前提下，使用化学方法使活性炭重新活化，并消除积炭和催化剂中毒，然后再根据氯化汞触媒产品中的氯化汞含量要求补加适量的助剂和活性物质氯化汞，使其实现再生。其工艺过程为：先通过手选(或机选)和筛分将废汞触媒中的机械夹杂物(如铁屑、螺丝、石块、木块等)和碎细的废汞触媒除去，然后置于活化器内进行化学活化，再按正常的汞触媒生产工艺进行生产。

6.3.1.3 废汞触媒处理处置污染防治技术

低汞触媒是目前国内推广的一种清洁生产工艺，含汞三废产生量较小，汞触媒生产行业产生的含汞三废主要来源于中汞和高汞触媒生产。

含汞废水——浸渍和液-固分离工序产生的废水、车间地面和设备冲洗废水等。处置方式：化学沉淀处理后作为冷凝用水回用。

含汞废气——干燥和筛分工序产生的废气。处置方式：净化处理后排放。

含汞固废——筛分后废弃的汞触媒、废气处理产生的底灰和废水处理产生的污泥。处置方式：填埋、堆存、回收再利用或交由资质企业进行处理。

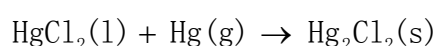
6.3.2 含汞冶炼废渣

6.3.2.1 含汞冶炼废渣的产生及管理

本课题中所指废渣包括金属冶炼含汞烟尘，含汞温度计生产过程中产生的废渣、装置收集的粉尘，含汞废活性炭等。

有色金属冶炼烟道收尘渣含汞化合物成分比较复杂，主要以硫化汞、硫化亚汞、氯化亚汞、汞齐及单质游离汞等形式存在，随冶炼金属的不同部分含有一定量的铅(1-3%)锌(15-20%)或一定量的铜(5%)左右，铅锌冶炼主要是铅锌，炼铜则主要含铜，对于这类含汞废物的处理，必须根据其成分、含量和酸度的不同，加入不同量的烧碱和石灰进行处理。

锌冶炼过程释放的汞主要来自于锌精矿。在高温焙烧过程中，锌精矿中的汞绝大部分都会进入烟气中。进入烟气中的汞，在后续的烟气处理过程又会进入到收尘、污酸和硫酸等介质中。我国有炼锌厂采用Boliden-Norzink方法脱除烟气中汞，其除汞工艺是一个连续的气体洗涤过程，在脱汞反应塔内用酸性 HgCl_2 溶液洗涤烟气，溶液中的 Hg^{2+} 与烟气中的 Hg^0 发生快速反应，生成不溶于水的 Hg_2Cl_2 晶体。一部分 Hg_2Cl_2 用 Cl_2 重新氯化制备成浓 HgCl_2 溶液，将之加入洗涤液中补充 Hg^{2+} 离子损失，多余部分经沉淀处理后回收。脱汞反应方程式如下所示：



该方法对烟气中汞有较高的脱除率，有研究显示冶炼厂脱汞塔对烟气中汞的脱除效率在83-92%之间变化。清华大学在对某锌冶炼厂回收汞、电除雾湿尘、烟气净化污酸和硫酸中含汞量平衡分析显示，其分别占总汞排放的39.6%、27.3%、18.4%和13.7%，只有1%左右的汞会进入大气中。

铅锌冶炼烟道收尘渣中金属主要以锌、汞、铅为主，呈酸性，汞含量约4-6%。在提取其中的汞的同时，要保留原渣中其他金属成分，便于资源的综合利用。另外，烟道收尘渣呈细粉状，粒度在150目左右，直接焙烧热传递效果不好，不透气，不利于汞的挥发。因此在回收冶炼过程中首先应将烟道收尘渣中和至中性，除去酸性物质，并将金属的盐反映成氧化物，另外，还要防止含汞废渣在高温下结块。在冶炼铅锌矿时，部分企业在烟道中增加了一套汞捕集装置，通入氯气，将冶炼烟气中的汞转化成氯化亚汞的形式富集沉降下来，得到以氯化亚汞为主的含汞烟道废渣。

在燃煤烟气处理过程中，一部分烟气中的汞由于各烟气净化设备的协同去除作用，从烟气进入燃煤副产物，包括锅炉底灰、除尘飞灰、脱硫石膏及脱硫废水。电厂燃煤中的汞约有60%以上进入粉煤灰和脱硫石膏中。我国脱硫石膏主要用于资源再生，因此本课题中含汞废物不包括脱硫石膏。

6.3.2.2 含汞冶炼废渣处理处置技术

目前我国仅有一家持有环保部颁发的含汞废渣冶炼回收汞企业—贵州银湖化工厂，其年处理能力1500t。

目前我国含汞废渣主要采用蒸馏法处理，先将含汞废渣进行化学预处理，再将其置于蒸馏炉内，加热使汞挥发，经冷凝回收金属汞（图5）。该技术成熟度高，针对废渣中汞的形态可采取不同的预处理方法，可高效回收废渣中金属汞。对于含有不同有价金属的废渣，可保留原渣中除汞外其他金属成分，便于资源的综合利用。适用于金属冶炼含汞烟尘，含汞废

活性炭等的处理处置。也可用于处理含汞温度计生产过程中产生的废渣、装置收集的粉尘。

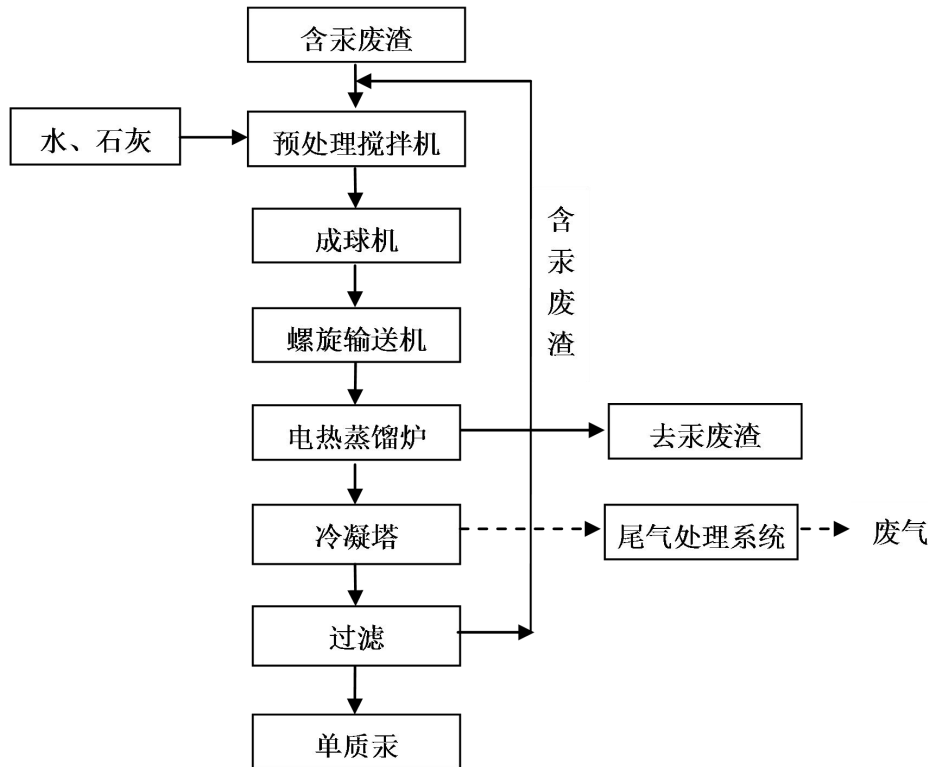


图 5 含汞废渣蒸馏法处置工艺及产污节点

对于使用部分炼锌厂采用Boliden-Norzink方法脱除烟气中汞，其废渣中主要成分为 Hg_2Cl_2 ，需要对其进行氧化处理：将含氯化亚汞废渣加入反应釜中，加入过量10%的盐酸和少量硝酸，通入蒸气加热，加热温度80-90℃，将氯化亚汞氧化为氯化汞再进行后续处理。

6.3.3 废旧荧光灯

6.3.3.1 荧光灯生产机废旧荧光灯产生现状

我国是全球主要的荧光灯生产基地，生产荧光灯的企业约500-600家，大多分布在东南沿海的江苏、浙江、上海、福建、广东等地，大部分为中小企业。2000年到2011年生产量从约10亿只增长到约70亿只(见图3)，已占到世界总产量的80%。随着全球能源和气候问题的日益突出，国际上淘汰白炽灯活动的持续开展，荧光灯还将在一定时期内保持增长趋势。2010年我国荧光灯生产行业年总产值约300亿元人民币，约占全年GDP万分之八，估计行业涉及从业人员30万人左右，全年出口量约为37.3亿只，占总产量的56%，出口额约35亿美元。目前，我国生产的荧光灯每只平均含汞约5mg。

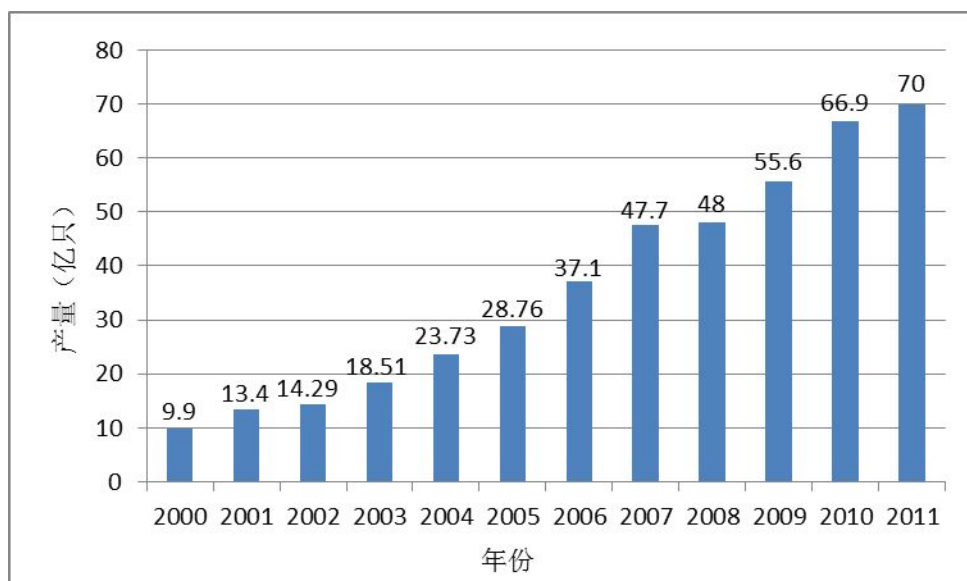


图 6 我国 2000-2010 年荧光灯产量

我国对荧光灯中汞使用的管理也日趋严格，国家发改委2008年发布实施的《照明电器产品中有毒有害物质的限量要求》(QB/T2940-2008)规定了紧凑型荧光灯中汞含量不超过5mg/只，直管荧光灯中汞含量不超过10毫克/只；《荧光灯含汞量的测定方法》(GB/T23113-2008)中规定了荧光灯汞含量测试的方法；2011年4月19日，国务院批转的《关于进一步加强城市生活垃圾处理工作的意见》指出要推进垃圾分类工作，稳步推进废弃含汞荧光灯等有害垃圾单独收运和处理工作，对《国家危险废物名录》豁免的家庭荧光灯的分类回收管理提出了要求。

我国荧光灯管使用量巨大，废弃荧光灯管如不进行有效回收，不仅会造成汞资源的巨大浪费，同时也会造成严重的环境污染。近几年，随着荧光灯市场结构的变化，荧光灯产品向着更加节能、环保的方向发展，但只有采用科学的处理技术、建立高效的回收体系，才能实现资源化利用汞资源和防止环境污染的目标。

根据我国荧光灯产量及国内市场使用量可估算我国年废弃的荧光灯约10亿只，荧光灯生产企业及大宗用户使用荧光灯被列为危险废物，但是我国目前回收及处理处置能力有限。根据统计，我国目前采用湿法处理废弃荧光灯企业一家，目前我国荧光灯生产企业及危废处置中心拥有进口的干法处理设备约10台。

6.3.3.2 废旧荧光灯处理处置技术

目前，废弃荧光灯管的处理方法主要有加硫填埋法、焚烧法和回收利用法见表15。

表 15 废弃荧光灯主要处理方法

处理方法	优点	缺点
加硫填埋法	形成 HgS 固化物，方法简单，处理时间短	不能有效解除汞的毒性
焚烧法	处理时间短，处理成本低	汞气化造成二次污染

6.3.4 废含汞化学试剂

废含汞化学试剂主要来源为用于科研性质的过期的或变质的汞盐类化学试剂产品。含汞化学试剂属于危险化学品，按照《危险化学品安全管理条例》进行管理。废弃后的化学试剂因含高浓度的汞或汞化合物，危害很大，但其产生量不大。废含汞化学试剂目前比较成熟的处理方法为湿法回收处理和固化填埋法。废含汞化学试剂处理处置主要采用湿法处理技术，根据不同废含汞化学试剂性质，采用过滤、蒸馏等提纯方法对其中含汞化学试剂进行回收。湿法回收处置废含汞化学试剂，处置成本低，处置过程中产生二次污染小，资源再生利用率最高。但其处理处置产品如汞及其汞盐的交易需要具有危险化学品经营资质，湿法处理工艺流程如图8所示。

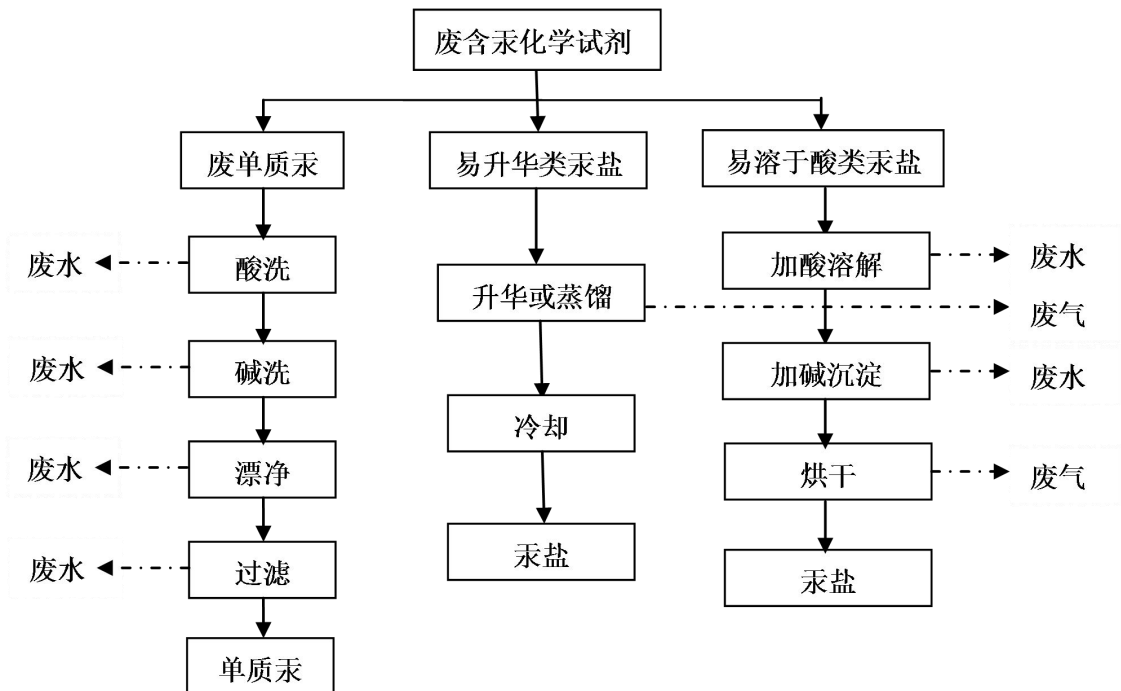


图8 废含汞化学试剂湿法处理技术工艺及产污节点

废含汞化学试剂固化填埋技术，是以水泥固化为主、药剂为辅的综合稳定化处理工艺。将化学试剂、稳定药剂以及水泥按比例混合，经混合搅拌槽搅拌后，砌块成型并进行安全填埋。经固化处理后所形成的固体，应具有良好的抗浸出性、抗渗性、抗干湿性、抗冻融性，同时具有较强的机械强度等特性。废含汞化学试剂固化填埋技术由稳定化、成型、养护、安全填埋工艺单元组成。适用于所有废含汞化学试剂的处理处置。但是废含汞化学试剂需按危险废物标准进行填埋，一是造成资源浪费，不符合废物优先资源化的原则，二是填埋容易造成渗滤液等二次污染。

6.4 含汞废物处理处置污染防治技术

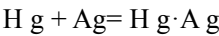
6.4.1 大气污染防治技术

6.4.1.1 活性炭吸附

活性炭吸附技术是利用活性碳内部孔隙结构发达、比表面积大、吸附能力强的特性对汞进行吸附，也可以活性炭为基炭，加入与汞有强亲和力的元素，为了提高吸附效率，如载银活性炭和载硫活性炭等。

载银活性炭法在废旧荧光灯处理处置含汞废气末端治理中应用比较普遍。载银活性炭处理含汞废气，是利用不易氧化的金属银与汞有很强的亲合力，而生成汞齐合金的原理，使废气中的汞得到净化处理。

普通的金属银的表面积较小，吸汞能力有限。为弥补其不足，利用活性炭作为银的载体，而制得的一种载银活性炭新材料。由于活性炭具有极大的表面积，当银以可还原盐类溶液形态浸渍于活性炭的网孔表面上，然后在适当工艺条件下，利用还原气氛吸附于活性炭网孔表面上的银离子还原成极其微小的金属银粒(<25nm)，当与汞蒸汽接触时，迅速而定量地结合成汞齐合金：



载银活性炭治理含汞废气从微观结构形貌分析显示，属于以银微粒为核心逐步向外扩展的多分子物理吸附过程。在一定条件下，又能完全相互分离，Hg以汞蒸汽从活性炭表面分离并排出，不仅使载银活性炭得到再生，恢复其吸附性能，又可以直接回收金属汞，使空气中的汞污染得到彻底的治理。载银活性炭对净化处理含汞废气具有独特的性能，可以有效回收金属汞，消除二次污染。

载硫活性炭也是利用硫与汞的亲合力，生成硫化汞，从而使废气中的汞得到净化处理，其成本低于载银活性炭。

6.4.1.2 空气冷凝+活性炭吸附技术

由于汞极易挥发，所以单纯依靠冷凝法来净化含汞废气，无法达到国家排放标准。因此，冷凝法净化回收金属汞常作为吸收法的前处理，适于净化回收高浓度的汞蒸气。该工艺流程简单，易管理。

工艺流程： 冷凝器(空气冷凝)作为一级净化设备，活性炭吸附器则作为二级净化设备，经过先冷凝后吸附的二级净化后，尾气含汞浓度达到国家排放标准。

工艺操作指标： 冷凝-吸附法净化含汞废气的工艺操作指标如表16所示。

表 16 冷凝-吸附法工艺操作指标

工艺条件				空气流中含汞浓度		净化效率 (%)
气量(m³/h)	冷凝温度 (°C)	空床速度 (m/s)	真空度 (133.32Pa)	净化前 (mg/m³)	净化后 (mg/m³)	
1000-1300	20-30	0.2-0.5	450	150	2	98.7
1000-1300	20-30	0.2-0.5	450	205	未检出	~100

1000-1300	20-30	0.2-0.5	450	345	5	98.5
-----------	-------	---------	-----	-----	---	------

6.4.1.3 溶液吸收法

吸收法常用高锰酸钾或次氯酸钠溶液，高锰酸钾可迅速将汞蒸气转为氧化汞沉淀，次氯酸钠可迅速将汞蒸气转为汞离子并与氯离子生成氯汞络离子。该方法的净化效率较高，但都存在自分解和汞的二次处理问题。该方法一般适用于与其他方法联合使用。

6.4.1.4 袋式除尘技术

袋式除尘技术在冶炼蒸馏法产生废气处理中可能有应用，也用于燃煤锅炉末端处理。

袋式除尘器通过设置障碍物实现烟气中粉尘的分离。当烟气通过袋式除尘器时，烟气中固体颗粒物被编织布捕获。袋式除尘器对于去除粗、细粒子，都可以取得高收集效率，可有效处理宽浓度范围的物料，收集的粉尘可在工艺中再使用。袋式除尘器的除尘总效率大于99.5%，最高可达99.99%。含汞废气治理可行技术主要技术指标如表17所示。

表 17 含汞废气治理主要技术指标

可行技术	可行工艺参数	污染物削减及排放	技术适用性
载银活性炭吸附	活性炭网孔表面上的银离子还原成极其微小的金属银粒(<25nm)	可实现废气达标排放	应用于废旧荧光灯处理处置装置末端
空气冷凝+活性炭吸附	气量 1000-1300 m ³ /h, 冷凝温度 20-30℃, 空床速度 0.2-0.5 m/s, 真空度 450Pa	去除率大于 98.5%	适用于冶炼蒸馏炉末端含汞废气的处理
碱液(高锰酸钾)洗涤+活性炭吸附	可串联多节活性炭吸附, 每节活性炭 200kg	可使废气中汞含量降至 ppm 级	适用于冶炼蒸馏炉末端含汞废气的处理
袋式除尘	烟尘粒度≥0.1, 烟气过滤速率 0.2 ~ 1.0m/min, 设备阻力 1200~2000Pa, 允许操作温度≤250℃, 允许烟气含尘量 50g/m ³	袋式除尘器的除尘总效率大于 99.5%, 最高可达 99.99%。烟尘排放浓度可低于 20mg/Nm ³	袋式除尘器初投资较低, 约 400~1500 人民币/m ² , 费用的高低主要取决于滤袋材质的不同。运行费用高, 主要来自更换滤袋的费用及风机电耗。

6.4.2 水污染防治技术

含汞废物处理处置产生的废水先中和处理后, 再经过常规物理(吸附、絮凝)和化学(药剂沉淀)处理, 处理后废水返回循环使用, 不排放。

6.4.2.1 絮凝沉淀法

絮凝沉淀法是在含汞废水中加入絮凝剂(石灰、铁盐、铝盐等), 在pH值为8-10的弱碱性条件下, 形成氢氧化物絮凝体, 对汞有絮凝作用, 使汞共沉淀析出。该方法可使出水含汞浓度降到0.05-0.1mg/L, 除汞效率约为90%。该法通常产生大量含水率高的污泥, 不利于汞的回收。该方法适用于处理含汞量较低和浑浊度较高的废水, 或用来对浑浊的高含汞量废水做澄清预处理。

6.4.2.2 硫化沉淀法

含汞废水中加入硫化钠处理，由于 Hg^{2+} 与 S^{2-} 有强烈的亲合力，能生成硫化汞沉淀而去除溶液中的汞。该技术是应用最多的一种沉淀处理法，加盐酸将pH值调至5，再加 Na_2S 或 NaHS ，调pH值至8-9，去除率可达99.5-99.9%，出水含汞浓度可降到0.05mg/L以下。该技术工艺流程短，设备简单，原料来源广泛，处置费用低。该方法不足：(1)在硫化物过量较多时会形成可溶性汞硫络合物；(2)硫化物过量程度的监测较困难；(3)处理后出水的残余硫产生污染问题。该技术适用于含汞废物处理处置过程中产生的高浓度含汞废水的处理。

6.4.2.3 活性炭吸附法

该方法能有效吸附废水中的汞，但价格昂贵，且只适用于处理低浓度的含汞废水。废水中含汞浓度高时，可先进行一级处理，降低废水汞浓度后再用活性炭吸附。该方法出水汞含量可将至0.01-0.05mg/L。回收汞后活性炭可再生并重复利用。该方式适用于低浓度含汞废水的处理，便于与其他含汞废水技术组合使用。

6.4.2.4 金属还原法

金属还原法是根据电极电位理论，利用铁、铜、锌、铝、镁、锰等电极电位低的金属（屑或粉）从废水中置换汞离子。铁、锌处理含汞废水较好，价格低，反应快。铁粉适用于处理酸度为3-5%含汞的含汞废水，锌还原的有效pH值范围为5-10，铜屑还原多用于酸度较高的溶液，出水含汞均可降至0.05mg/L。该方法适用于处理成分单一的含汞废水，其反应速率较高，可直接回收金属汞，但脱汞不完全，需和其他方法结合使用。

表 18 含汞废水治理技术主要技术指标

可行技术	可行工艺参数	污染物削减及排放	技术适用性
絮凝沉淀法	pH 值为 8-10 的弱碱性条件	出水含汞浓度降到 0.05-0.1mg/L，除汞效率约为 90%	适用于处理含汞量较低和浑浊度较高的废水，或用来对浑浊的高含汞量废水做澄清预处理
硫化沉淀法	pH 值 8-9，硫化物不能过量	去除率可达 99.5-99.9%，出水含汞浓度可降到 0.05mg/L 以下	适用于高浓度含汞废水的处理
活性炭吸附	投放量根据废水中汞浓度而定	出水含汞浓度可降到 0.01-0.05mg/L	适用于低浓度（一般不超过 5mg/L）含汞废水的处理
金属还原法	铁粉适用于处理酸度为 3-5%含汞的含汞废水，锌还原的有效 pH 值范围为 5-10	出水含汞均可降至 0.05mg/L	适用于处理成分单一的含汞废水，直接回收金属汞，但脱汞不完全，需和其他方法结合使用。

6.4.3 固体废物污染防治技术

含汞废物属于危险废物，处理后根据其处理后主要成分需区别对待。达到一般固体废物要求的，可按照一般垃圾处理，或进行资源综合再利用，仍属于危险废物的，需按照危险废

物要求管理并进一步处理处置。

6.4.3.1 一般固体废物综合利用及处理处置技术

含汞废物处理后经鉴定属于一般固体废物的，可按照一般工业废物处置场进行永久性集中贮存。

有再利用价值的固体废物，应首先考虑综合利用：

- 1) 焙烧后的废汞触媒存放于专用堆存场所，鼓励技术创新进行综合利用；
- 2) 废旧荧光灯处理后所得金属、玻璃和荧光粉等进行资源再利用，或者按照生活垃圾处置。

6.4.3.2 危险废物综合利用及处理处置技术

对于危险废物，按有关管理要求进行安全处理处置。无金属回收利用价值的危险固体废物，应按照危险废物相关规定安全处置。

- 1) 汞回收处理后的冶炼废渣仍含有铅等重金属的，应进一步交由具有资质的处置机构回收处置；
- 2) 废气、废水吸附用活性炭经鉴定属于危险废物的，按照危险废物进行处置，进一步蒸馏回收汞或者按照危险废物相关规定安全处置。

6.4.4 噪声污染控制技术

噪声污染主要从声源、传播途径和受体防护三个方面进行防治。尽可能选用低噪声设备，采用设备消声、隔振、减振等措施从声源上控制噪声。采用隔声、吸声、绿化等措施在传播途径上降噪。

6.5 含汞废物处理处置可行技术确定原则与评估

6.5.1 含汞废物处理处置可行技术确定原则

- 1) 含汞废物处理处置污染防治可行技术的选择应根据我国现阶段国民经济的发展水平，体现适用性、经济性、稳定性的原则。
- 2) 鼓励含汞废物处理处置企业污染防治新工艺和新技术的开发和利用，促进我国含汞废物处理处置企业整体污染防治水平的提升。
- 3) 促进含汞废物处理处置企业的清洁生产、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。

6.5.2 含汞废物处理处置污染防治可行技术指标体系构建

中国目前进行的国际汞公约谈判的实质是减少汞排放，选择可行的含汞废物处置技术，以便实现保护人体健康和保护环境的目的。根据国际汞公约谈判以及国内外含汞废物管理和处置实践要求，要从根本上解决含汞废物的管理和处置问题，推进含汞废物可持续管理进程，

其管理和处置应符合以下几方面标准：中国目前含汞废物管理和处置的最终目标是要建立既满足国际公约要求，有符合中国国情的含汞废物处置技术和管理模式，最终实现可持续环境管理。含汞废物处置有多种技术路线，如何推进一项含汞废物处置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技术的选择问题。应综合国际公约以及国际组织关于含汞废物处置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)：是指采取的废物处置技术和管理能力能够确保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，重点为环境影响情况。
- 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，并同时考虑了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。

针对技术选择的考虑因素问题，美国和欧洲的含汞废物都在其处置技术选择时，需要考虑的因素应包括：废物处置能力、处置废物的类型、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、职业安全与健康、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，对含汞废物处置技术选择过程中所涉及的影响因素进行分析和总结，得出含汞废物处置技术选择考虑的指标体系，如表 19 所示。

表19 含汞废物处置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	处置规模适宜性	与地方规划规模的适应性
		A2	处置效果有效性	与地方配套设施匹配性
		A3	处置废物适用性	与地方废物类型和配套设施互补性
		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	处置设施的易操作性	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 POPs、其他重金属等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

序号	考虑范畴	编号	选择指标	重点考虑因素
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	利考虑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 19 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-处置规模适宜性：指含汞废物处置系统在规定时间内所能处置废物的量。

A2-处置效果有效性：指处置含汞废物所能达到的处置效果、减容减量毁形程度及后续处置要求。

A3-处置废物适用性：指处置技术对各种含汞废物类型的适用范围。

A4-系统配置完备性：指处置设施应具备的全套设备和单元情况。

A5-单元设计先进性：指各个处置单元的先进程度。

A6-自动化控制水平：指处置设施对相关工况参数和运行参数实现制自动化控制的程度。

A7-设施安全性指标：含汞废物处置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 etc 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：通常用处置单位废物量所消耗的能源量来衡量处置系统能耗性能。

A10-处置设施的易操作性：主要体现在处置操作难易程度、操作强度大小及操作时间长短等。

A11-监管手段可实现性：主要结合处置技术水平，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：各种含汞废物处置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：指处置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，排放物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：指在处置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，如机械性损伤、热表面烫伤、辐射、化学性伤害及病原体感染等。

B4-对周围居民环境影响风险：指处置活动对周围居民健康危害的可能性大小。

B5-生态环境影响风险：指在含汞废物处置活动中产生或排放的有害物对处置单位所在地的土壤、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。通常用单位废物量处置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：指公众根据对含汞废物处置方式和工艺技术的认知，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：指所选用的处置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：针对备选含汞废物处置技术，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，这此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，含汞废物处置工程技术方案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，基于中国含汞废物处置设施所存在的问题，正如前面所陈述的那样，中国现在运行的处置设施在推进其应用方面还存在着较大的差距，尤其是中国在应对国际汞公约谈判，加严二噁英、重金属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。

6.5.3 含汞废物处理处置可行技术评估与筛选

中国对于含汞废物处理处置技术方面应用较晚，对于废汞触媒、含汞废渣、废旧荧光灯管、废化学试剂在技术、运行费用、投资等方面的对比分析如表 20 和 21 所示。

表20 含汞废物处理方法对比分析

序号	项目	废含汞触媒			含汞废渣	废旧荧光灯管			废化学试剂	
		蒸馏法	控氧干馏法	化学活化法	蒸馏法	加硫填埋法	湿法回收	干法回收	湿法处理	固化填埋
1	技术原理	将 HgCl_2 转化为 HgO ，置于蒸馏炉内，加热使之分离为汞蒸气，冷凝回收金属汞	利用 HgCl_2 高温升华且其升华温度低于活性炭焦化温度的原理，在负压密闭和惰性气体气氛环境下，通过干馏实现 HgCl_2 和活性炭同时回收	用化学方法使活性炭重新活化，并消除积炭和催化剂中毒	将含汞废渣进行化学预处理，再将其置于蒸馏炉内，加热使汞挥发，经冷凝回收金属汞	加入硫化物生成硫化汞稳定物	通过水洗脱离玻璃上的残留荧光粉，对汞进行回收	回收荧光粉，洗净干燥后，经蒸馏回收汞	根据不同废含汞化学试剂性质，采用过滤、蒸馏等提纯方法对其中含汞化学试剂进行回收	采用固化填埋技术，是以水泥固化为主、药剂为辅的综合稳定化处理工艺
2	技术可靠性	可有效回收汞	可有效回收 HgCl_2 和活性炭	满足再利用要求	可有效回收汞	会造成资源浪费	可有效回收液态汞	可有效进行资源再利用	可有效进行资源回收利用	可安全填埋处置
3	技术成熟度	国产设备成熟	国产设备成熟	国产设备成熟	国产设备成熟	技术简单易行	国产设备成熟	依靠进口	技术简单易行	国产设备成熟
4	设备要求	负压，耐高温、	负压，耐高温	耐腐蚀	负压，耐高温	对填埋场要求较高	负压，密闭	负压，耐高温	耐腐蚀	负压下操作
5	适用范围	废汞触媒回收汞	形态、机械性能较好的废汞触媒	形态、机械性能较好的废汞触媒	适用于金属冶炼含汞烟尘等固体废物	所有荧光灯	使用液汞荧光灯	所有荧光灯	高浓度含汞化学试剂	所有含汞化学试剂
6	技术优点	成熟度高，可有效回收废汞触媒中金属汞	可同时回收 HgCl_2 和活性炭	简单易操作	成熟度高，针对废渣中汞的形态可采取不同的预处理方法	简单易行	国产设备，投资较小	结构紧凑、占地面积小	成本低、易操作	易操作
7	技术缺点	自动化程度低	投资较大	自动化程度低、二次污染风险大	自动化程度低	资源浪费	会产生二次污染	投资较大	自动化程度低	不能资源综合利用、投资大
8	作业方式	间歇作业	连续作业	间歇作业	间歇作业	间歇作业	连续作业	连续作业	间歇作业	间歇作业
9	操作要求	人员定额较多	自动化程度高	自动化程度低	人员定额较多	人员定额少，自动化程度低	人员定额少，自动化程度高	人员定额少，自动化程度高	人员定额少	人员定额少，自动化程度高
10	污染物排放	含汞废气、废水回用	含汞废水、废气、废渣	含汞废气，废水回用	含汞废气，废水回用	固废	含汞废水	少量含汞废气	含汞废水	含汞废气，固废
11	占地面积	较大	较大	较大	较大	较大	较小	较小	较小	较大
12	运行维护	蒸馏炉、煤气发生炉，耐温，维护较复杂	立式干馏塔，耐温，维护较复杂	维护不善易产生二次污染	蒸馏炉、煤气发生炉，耐温，维护较复杂	填埋后运行维护成本较高	重点预防废水产生二次污染	简单，设备可靠性高	简单	相对简单

表21 各种技术投资成本分析

废物处置技术		投资运行成本		
		设备投资(万元)	污控设备投资(万元)	运行成本
废汞触媒	蒸馏法	860-1500	520	约 10000 元/t
	控氧干馏	3500	850	——
	化学活化	该技术投资小，运行成本低，二次污染风险大		
含汞废渣	蒸馏法	总投资 320	50	约 40000 元/t
废旧荧光灯	加硫填埋	技术造成资源浪费，已基本淘汰		
	切端吹扫	该技术一次性投资大，设备总投入约 800 万元，含尾气净化系统。处置能力 1500 支/h。		运行成本主要为电耗，每吨废物约 800 Kwh。
	直接破碎	该技术一次性投资大，设备总投入约 850 万元，含尾气净化系统。处置能力 130 万支/a。		
	湿法	一次性投资相对较小，设备总投资约 250 万元	污染控制设备投资约 50 万元，处置能力约 5000t/a	运行成本约 2800 元/t 废物
废含汞化学试剂	湿法处理	投资较小、量小的情况下可实验室操作		较低
	固化填埋	稳定处理、固化成型装置设备总投资约 485 万元。运行已耗电为主，电耗约 136Kwh/吨废物，水耗约 2 吨/吨废物，砂子 20 吨/吨废物，水泥 4 吨/吨废物。如为单质汞需稳定药剂 1.5 吨/吨废物。		稳定药剂硫脲约 2 万元/t

6.6 含汞废物处理处置可行技术

根据含汞废物可行技术体现适用性、经济性、稳定性的原则，鼓励新工艺以及资源高效利用的原则，本指南确定以下处理处置技术为含汞废物处理处置可行技术，见表22。

表 22 含汞废物处理处置可行技术

含汞废物	处理处置可行技术
废汞触媒	蒸馏法
	控氧干馏法
含汞废渣	蒸馏法
废旧荧光灯	切端吹扫
	直接破碎
	湿法处理
废含汞化学试剂	湿法处理

6.6.1 废汞触媒处理处置

6.6.1.1 蒸馏法

1) 技术原理

蒸馏法是指将废汞触媒进行化学预处理，使得 HgCl_2 转化为 HgO ，然后再将其置于蒸馏炉内，加热使之分离为汞蒸气，经冷凝回收金属汞。现有蒸馏炉包括燃气节能蒸馏炉和煤热列管式蒸馏炉两种，其在燃料使用和加热温度上有差异。蒸馏法处理技术成熟度高，可有效回收废汞触媒中金属汞，适用于任何形态、浓度废汞触媒中汞的回收处理。

2) 可行工艺流程

蒸馏法处理废汞触媒可行工艺流程如图9所示。

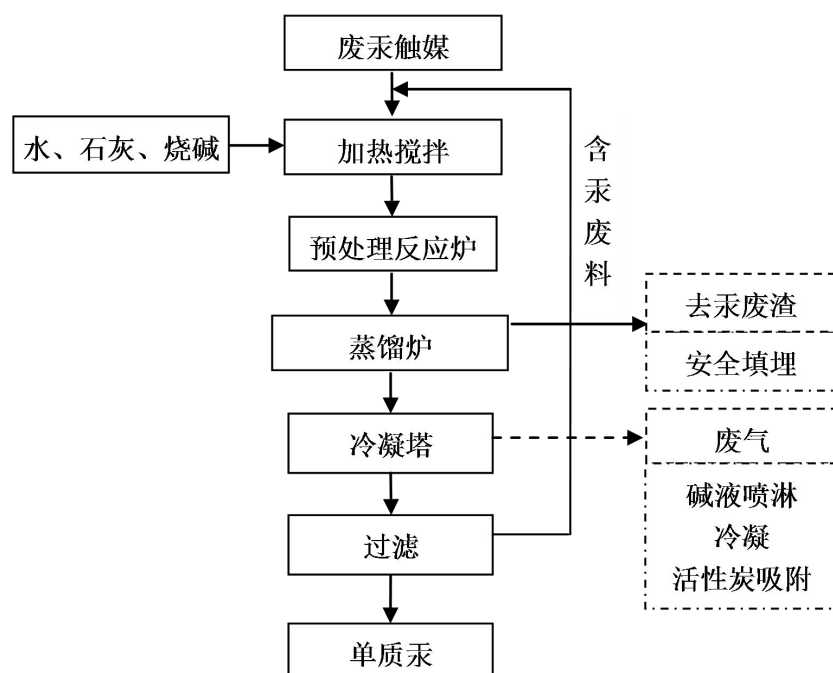


图 9 蒸馏法处理废汞触媒可行工艺流程

3) 可行工艺参数

蒸馏法回收汞工艺可行工艺参数：预处理反应时间大于2h，反应温度80-100℃；焙烧蒸馏反应时间大于8h，燃煤列管式蒸馏炉温度控制在800-1000℃之间，燃气节能蒸馏炉温度控制在700-800℃之间。

4) 污染物消减及排放

蒸馏法回收汞废汞触媒中的汞回收率可到97%以上，含汞废气处理系统可回收废气中约90%汞，经多级处理后可达到《危险废物焚烧污染控制标准》的要求。处理后的废渣需鉴定，属于一般废物的按照一般废物进行管理，属于危险废物的，按照危险废物管理。

5) 二次污染及防治措施

废汞触媒焙烧蒸馏处理过程产生的污水经处理后回用，固体残渣优先考虑资源再利用，或在指定填埋场进行安全填埋，活性炭经鉴定属于危险废物的，按照危险废物进行处理。

6) 技术经济适用性

经企业调研，目前两家典型焙烧蒸馏法处理废汞触媒企业投资对比如表23所示。

表 23 废汞处理蒸馏法处理技术经济适用性

企业	工程总投资	设备总投资	处置能力	污染控制设备投资	运行成本
企业 A	1700 万元	860 万元	9000t/a	520 万元	10000 元/t
企业 B	4500 万元	1500 万元	15000 t/a	大于 500 万元	10000 元/t

6.6.1.2 控氧干馏法

1) 技术原理

废汞触媒控氧干馏技术特指控氧干馏法回收废触媒 HgCl_2 及活性炭工艺，是利用 HgCl_2

高温升华且其升华温度低于活性炭焦化温度的原理，在负压密闭和惰性气体（如氮气）气氛环境下，通过干馏实现 HgCl_2 和活性炭同时回收。该工艺可实现氯化汞和活性炭的资源综合利用，还可有效避免回收过程中的汞流失，氯化汞的回收率达到90%。适用于电石法生产PVC废汞触媒的处理，采用密闭循环回收，在运行中对环境不会造成污染。

2) 可行工艺流程

控氧干馏法处理废汞触媒可行工艺流程如图10所示。

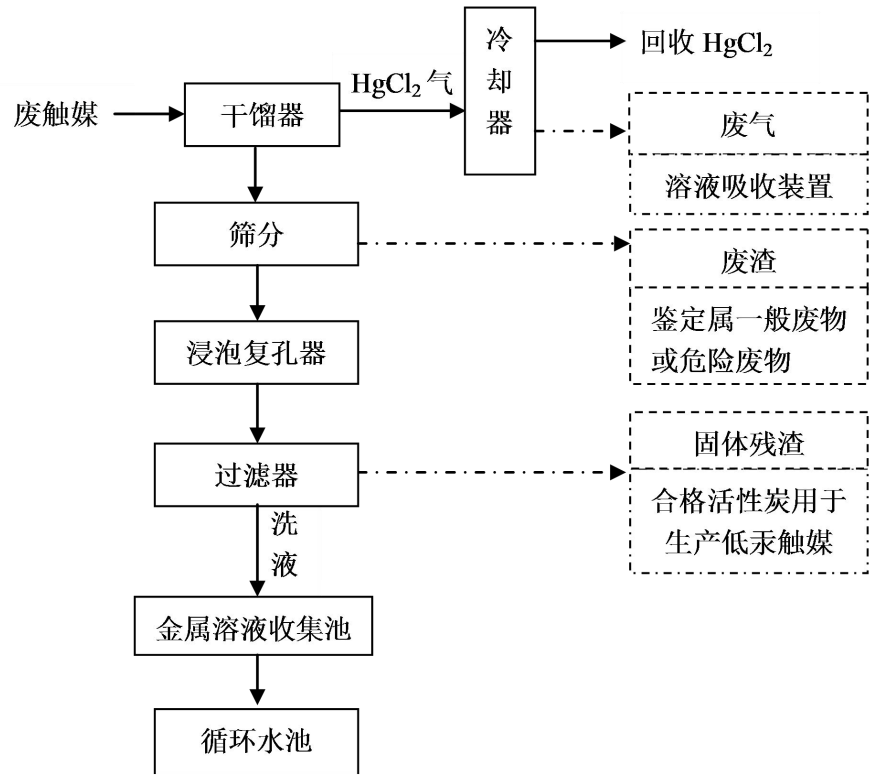


图10 控氧干馏法处理废汞触媒可行工艺流程

3) 可行工艺参数

含汞量为4%左右的废触媒一次性加料 9m^3 ，间歇式操作，6h为一个周期。

4) 污染物消减及排放

控氧干馏法回收废汞触媒中的汞回收率可到90%以上，废气经处理排放浓度低于 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。处置后含汞废渣汞含量在 $20\text{mg}/\text{kg}$ 以下，需鉴定后根据其废物类别进行管理。

5) 二次污染及防治措施

控氧干馏法废水可回用，不外排环境；处理后产生废渣经鉴定属于危险废物的，交由具有危险废物处理资质的机构处理。

6) 技术经济适用性

该技术投资较大，运行成本较高，适于与汞触媒生产设施同时投资建设运行。

6.6.2 含汞冶炼废渣处理处置

1) 工艺原理

含汞废渣处理技术通常采用冶炼蒸馏法处理，先将含汞废渣进行化学预处理，再将其置于蒸馏炉内，加热使汞挥发，经冷凝回收金属汞。冶炼蒸馏法技术成熟度高，针对废渣中汞的形态可采取不同的预处理方法，可高效回收废渣中金属汞。对于含有不同有价金属的废渣，可保留原渣中除汞外其他金属成分，便于资源的综合利用。适用于金属冶炼含汞烟尘、废渣等的处理处置。

2) 可行工艺流程

蒸馏法处理含汞冶炼废渣可行工艺流程如图11所示。

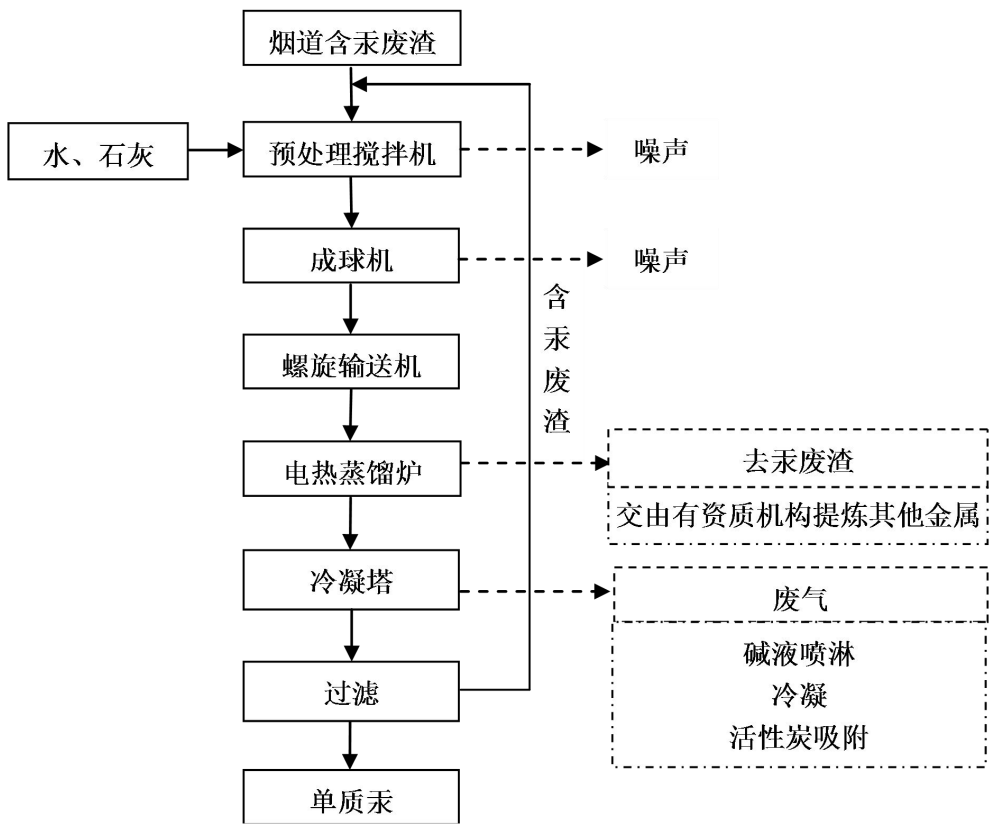


图 11 蒸馏法处理含汞冶炼废渣可行工艺流程

3) 可行工艺参数

蒸馏过程中温度控制在650-700℃，既保证废渣中含汞化合物全部挥发，又保留铅、锌等成本基本不变。

4) 污染物消减及排放

蒸馏法回收含汞废渣中的汞回收率可到97%以上，含汞废气处理系统可回收废气中约90%汞，可达标排放。

5) 二次污染及防治措施

含汞冶炼废渣处理过程产生的污水经处理后回用，处理后残渣含有其他贵金属的交由具有资质的单位处理，活性炭按照危险废物进行处理。

6) 技术经济适用性

经企业实际调研，现有国内案例工程总投资860万元，设备总投资320万元，装置占地面积3200m²，装置处置能力1500t/a，污染防治设置投资50万元，运行成本40000元/t废渣。

6.6.3 废旧荧光灯处理处置

6.6.3.1 切端吹扫工艺

1) 技术原理

切端吹扫分离技术是指先将直管荧光灯的两端切掉，再吹入高压空气将含汞的荧光粉吹出后收集，然后通过蒸馏装置回收汞。该技术可有效分类收集再回收利用稀土荧光粉，其生成汞的纯度为99.9%，但投资较大。适用于直管荧光灯的处理处置。但是回收稀土荧光粉再利用对荧光粉品质要求较高，不适用于社会源回收荧光灯的处理。可针对企业品牌单独处理。

2) 可行工艺流程

切断吹扫技术处理废旧荧光灯可行工艺流程如图12所示。

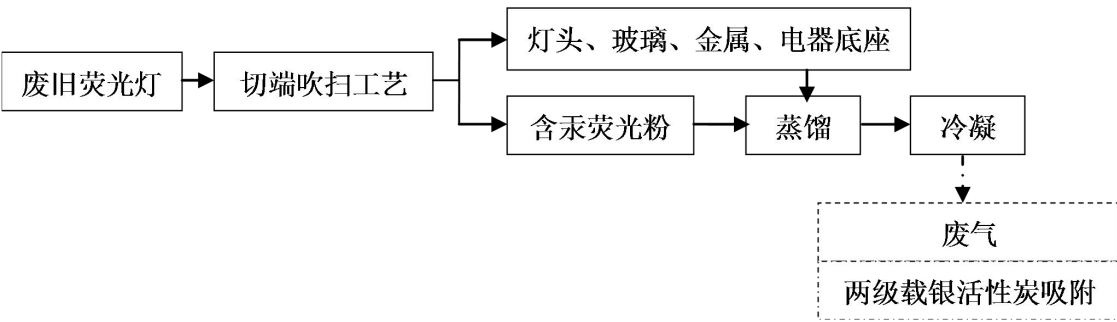


图12 切端吹扫技术处理废旧荧光灯可行工艺流程

3) 可行工艺参数

压缩空气6.5×105Pa/min，约250L/min；维持负压约0.9个大气压，蒸馏时间为12~16h；蒸馏罐温度将维持在350~675℃

4) 污染物消减及排放

处理过程在负压下进行，废气经载银活性炭吸附后达标排放，无废水排放。

5) 二次污染及防治措施

切端吹扫工艺处理产生不可综合利用废物按生活垃圾进行处置，活性炭按危险废物进行处置。

6) 技术经济适用性

根据企业实际调研，该技术设备需进口，一次性投资大，设备总投入约800万元，处置能力1500支/h。运行成本主要为电耗，每吨废物约800 Kwh。

6.6.3.2 直接破碎工艺

1) 技术原理

直接破碎分离技术是指将灯管整体粉碎洗净干燥后，经蒸馏回收汞。该技术工艺结构紧凑、占地面积小、投资省，但荧光粉纯度不高，较难被再利用。适用于所有规格荧光灯的处理处置。

2) 可行工艺流程

直接破碎技术处理废旧荧光灯可行工艺流程如图13所示。

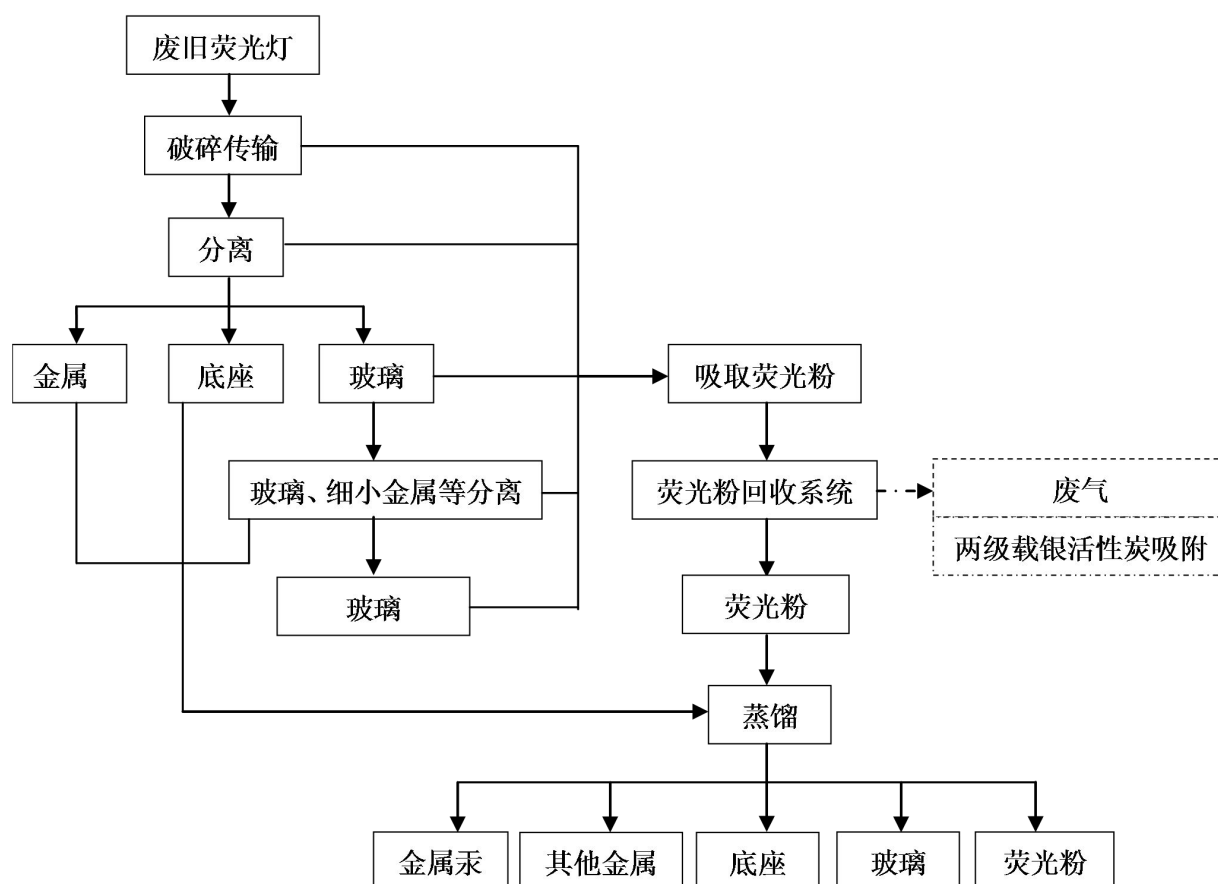


图13 直接破碎技术处理废旧荧光灯可行工艺流程

3) 可行工艺参数

蒸馏罐抽真空1000帕，脉冲注入氮气使蒸馏罐内压力增至 5×10^4 帕；电加热室对蒸馏罐加热至 500°C ，继续用氮气调节蒸馏罐压力至 7×10^4 百帕；蒸馏时间为12~16h；蒸馏罐温度将维持在 $350 \sim 675^\circ\text{C}$ ，加热室温度保持在 825°C ；冷凝器冷凝液主要成分为乙二醇和水的混合液，冷凝温度为 $-6 \sim 5^\circ\text{C}$ 。

4) 污染物消减及排放

处理过程在负压下进行，废气经载银活性炭吸附后排放，无废水排放。

5) 二次污染及防治措施

处理过程中产生的荧光粉可综合利用，不能达到综合利用标准的按照一般固体废物处置。

6) 技术经济适用性

根据企业实际调研，该技术一次性投资大，工程总投资约2800万元，设备总投入约850万元，处置能力130万支/年。

6.6.3.3 湿法处理工艺

1) 技术原理

湿法处置技术是利用水封防止汞蒸气污染空气的特点，通过水洗脱离玻璃上的残留荧光粉，对汞进行回收。该技术需对产生的含汞废水进行处理，在荧光灯管回收利用的早期处理中使用较多。适用于使用液态汞荧光灯的处理处置。

2) 可行工艺流程

湿法处理废旧荧光灯可行工艺流程如图14所示。

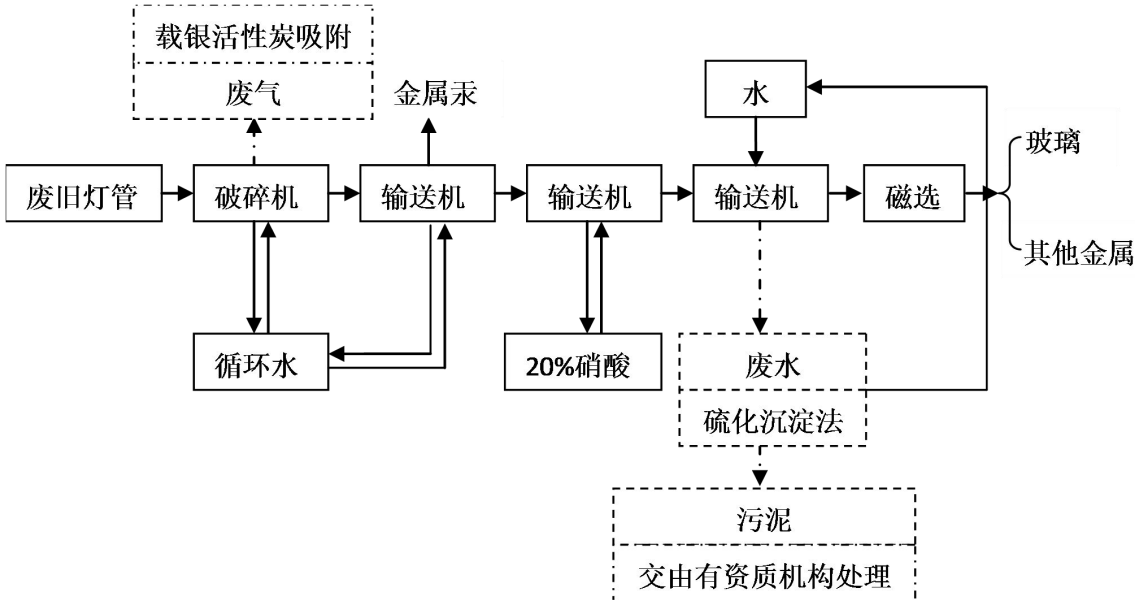


图14 废旧荧光灯湿法处置技术可行工艺流程

3) 可行工艺参数

装置在负压下运行，约0.9个标准大气压。

4) 污染物消减及排放

大气污染物主要破碎、蒸馏过程中产生的汞排放，可通过载银活性炭吸附后达到排放标准；水污染物主要为荧光灯破碎后水洗汞产生，废水硫化沉淀后回用，污泥交由有危险废物处置资质的企业处理。

5) 二次污染及防治措施

湿法处置后产生的污水经处理后回用，污泥交由具有危险废物处理处置资质的单位处理；固体废物为处理后产生的金属和玻璃，可部分资源化处理。

6) 技术经济适用性

根据企业实际调研，此技术为国产研发技术，一次性投资相对较小，设备总投资约250万元，污染控制设备投资约50万元，处置能力约5000t/a，运行成本约2800元/t废物。按处理吨废物计，湿法处置技术消耗水20-30kg、电约50Kwh、硝酸/碳酸氢钠约5kg，活性炭约5kg。

6.6.4 废含汞化学试剂处理处置

依据固体废物优先资源化的原则，本指南推荐湿法处理技术为废含汞化学试剂处理处置可行技术。

1) 技术原理

废含汞化学试剂湿法处理技术，是根据不同废含汞化学试剂性质，采用过滤、蒸馏等提纯方法对其中含汞化学试剂进行回收。湿法回收处置废含汞化学试剂，处置成本低，处置过程中产生二次污染小，资源再生利用率高。适用于废单质汞、废汞盐化学物等废含汞化学试剂的处理处置。

2) 可行工艺流程

含汞废化学试剂湿法处理可行工艺流程如图15所示。

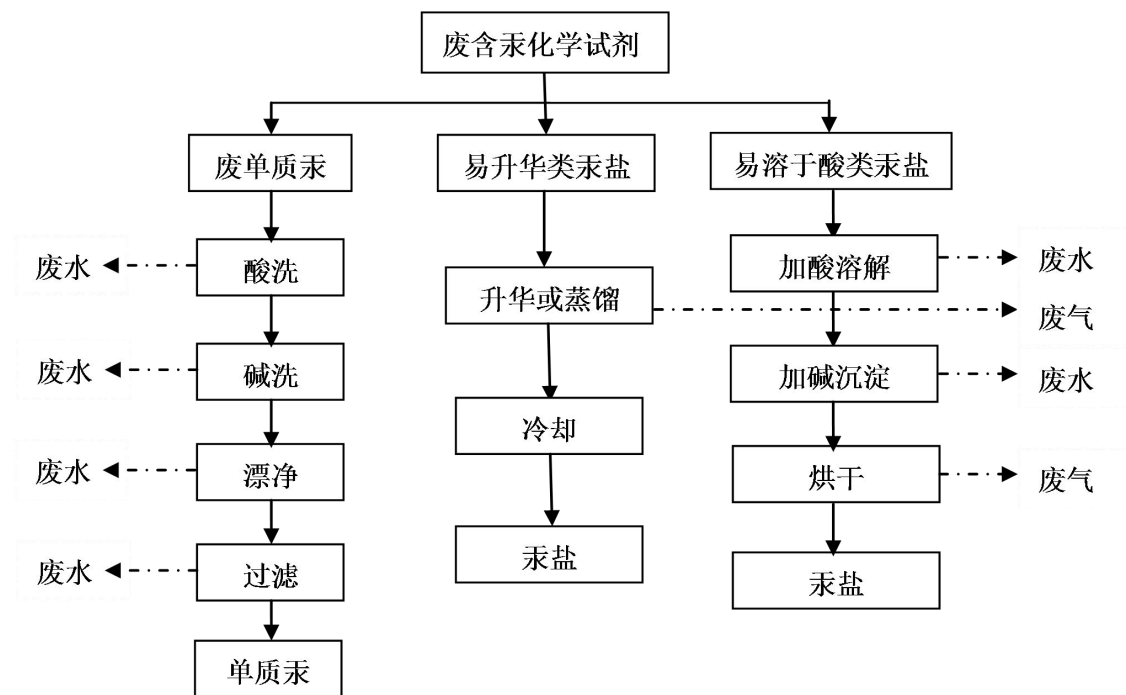


图 15 废含汞化学试剂湿法处理可行工艺流程

注：此工艺废水采用硫化沉淀法处理，废气采用活性炭吸附法处理。

3) 可行工艺参数

因废含汞化学试剂受污染程度不同，需要根据废含汞化学试剂中汞或其化合物浓度确定所用酸碱浓度，少量废试剂可在实验室进行提纯处理。

4) 污染物消减及排放

实验室内提纯，实验室配备空气净化系统；车间内配收尘系统及活性炭吸附设备对车间无组织排放气体进行净化。废水收集后统一净化处理。

5) 二次污染及防治措施

提纯后汞及其化学物可再利用，废水需严格收集处理，降低二次污染的风险。

6) 技术经济适用性

技术投资小，简单易操作，提纯后含汞化学试剂可再使用，但其交易需要具备危险化学品运营资质才可进行。

7 可行技术指南实施环境效益与经济技术分析

7.1 环境效益分析

1) 减少含汞废物处理处置环节汞排放

蒸馏法、控氧干馏法处理废汞触媒、冶炼蒸馏技术处理含汞废渣、湿法、干法技术处理废旧荧光灯管、固化填埋技术处理废含汞化学试剂作为目前中国含汞废物处置技术的重要的技术选择，还将在其处置过程中发挥重要的作用。通过采用可行技术，加强含汞废物处理处置环节环境管理，对于推进汞减排将产生积极的影响，环境效益显著。

2) 推进含汞废物资源化进程

含汞废物资源化是其污染控制的主要趋势，通过推进采用可行技术，对于推进国内资源化技术的研发和应用，全面推进废汞触媒、废旧荧光灯管、含汞废渣以及废含汞化学试剂的控制将会起到积极的推动作用。通过含汞废物资源化，可有效回收重金属汞，用于工业再生生产，同时回收其他具有回收利用的物资，如玻璃、金属等。

3) 完善国内含汞废物管理

通过可行技术指南的实施，完善我国含汞废物的管理，有利于我国重金属十二五规划的推进。同时随着国际汞公约谈判进程的加快，指南的实施也对公约谈判起到技术支撑作用，对于推进公约谈判进程起到积极作用。此外，随着国内外对汞污染问题的重视，今后的工作重点将推进可行技术的应用，对环境效益产生积极的影响。

7.2 经济效益分析

含汞废物处理处置技术因技术种类、处置规模不同投资差别较大，各种技术投资运行成本总结如表24所示。

表 24 各种技术投资成本分析

废物处置技术		投资运行成本		
		设备投资(万元)	污控设备投资(万元)	运行成本
废汞触媒	蒸馏法	860-1500	520	约 10000 元/t
	控氧干馏	3500	850	—
含汞废渣	蒸馏法	总投资 320	50	约 40000 元/t
废旧荧光灯	切端吹扫	该技术一次性投资大，设备总投入约 800 万元，含尾气净化系统。处置能力 1500 支/h。		运行成本主要为电耗，每吨废物约 800 Kwh。

	直接破碎	该技术一次性投资大，设备总投入约 850 万元，含尾气净化系统。处置能力 130 万支/a。		运行成本约 2800 元/t 废物
	湿法	一次性投资相对较小，设备总投资约 250 万元	污染控制设备投资约 50 万元，处置能力约 5000t/a	
废含汞化学试剂	湿法处理	投资较小、量小的情况下可实验室操作		较低

8 指南实施建议

本指南围绕含汞废物处理处置过程中污染防治的实施需要，在对各种含汞废物处理处置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，对于推进含汞废物处理处置设施建设中技术选择、工程设计、工程施工、设施运营、监督管理等方面工作具有重要的指导意义。

含汞废物污染防治可行技术是随着社会的不断进步、含汞废物的管理和处置也将不断的取得进步和发展的必然选择，是多项国际公约对含汞废物管理的共同要求。含汞废物污染防治可行技术应围绕如何更好的实现含汞废物感染控制和污染控制而展开。针对我国含汞废物污染防治可行技术实施提出如下建议：

- (1) 中国应充分结合含汞废物的特性和地方的特点，围绕可行技术和环境实践的要求，选择切实可行的处理处置技术，用于解决区域性的含汞废物管理和处置问题。
- (2) 含汞废物处理处置技术和管理模式的优化要将生命周期管理作为含汞废物管理的基本因素，并将全过程管理理念纳入到含汞废物处置技术的应用过程，切实解决含汞废物处置中的感染性控制和污染控制问题，并将其纳入含汞废物管理和处置实践。
- (3) 指南实施过程中应重点推进含汞废物处理处置全过程清洁生产，提高汞回收循环利用率，从而降低和减轻污染物末端治理的压力，提高环境污染防治和管理水平，降低环境风险。
- (4) 指南的实施应与国际公约的规定和要求相衔接。切实融合巴塞尔公约、跟踪国际汞公约针对含汞废物管理和处理处置的具体要求，推进中国履约进程和对国际的承诺，并切实贯彻执行我国履约规划所提出的既定目标。