



Distr.: General

20 July 2015

Chinese

Original: English

---

**控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约****缔约方大会****第十二次会议**

2015年5月4日—15日，日内瓦

议程项目 4(b) (一)

**与执行《公约》有关的事项：****科学和技术事项：技术准则****技术准则****关于对由汞或汞化合物构成、含有此类物质或受其污染的废物实行环境无害化管理的技术准则****秘书处的说明**

控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约第十二次缔约方大会通过了，基于 UNEP/CHW.12/5/Add.8 文件中含有的技术准则草案制定的关于由汞或汞化合物构成、含有此类物质或受其污染的废物实行环境无害化管理的技术准则的第 BC-12/4 号决定。该技术准则由日本政府制定，并与制定含汞废物环境无害管理技术导则的小型闭会期间工作组进行磋商。该技术准则在考虑了截至 2015 年 3 月 21 日所收集的来自缔约方和其他国家的评论（参见文件 UNEP/CHW.12/INF/8）的基础上，被进一步修订。被通过的该技术准则的最终版本载于本说明附件。

## 附件

关于对由汞或汞化合物构成、含有此类物质或受其污染的废物实行  
环境无害化管理的技术准则

最终修订版（2015年5月15日）

## 目录

缩写和简称.....	5
测量单位.....	7
一、 导言.....	8
A. 范围.....	8
B. 有关汞的资料.....	9
二、 《巴塞尔公约》的相关条款及国际联系.....	10
A. 巴塞尔公约.....	10
1. 一般条款.....	10
2. 与汞相关的条款.....	11
B. 国际联系.....	12
1. 《关于汞的水俣公约》.....	12
2. 环境署全球汞伙伴关系.....	15
3. 《鹿特丹公约》.....	16
4. 《重金属议定书》.....	16
5. 《国际化学品管理战略方针》.....	16
三、 环境无害化管理指导.....	17
A. 一般考虑因素.....	17
1. 《巴塞尔公约》.....	17
2. 经济合作与发展组织.....	18
3. 汞的生命周期管理.....	18
B. 立法和监管框架.....	19
1. 废物生产者登记.....	19
2. 减少并逐步淘汰产品及工业流程中的汞.....	19
3. 越境转移要求.....	20
4. 处置设施的授权与检查.....	22
C. 识别和清单.....	22
1. 识别汞废物的来源.....	22
2. 清单.....	26
D. 取样、分析和监测.....	27
1. 取样.....	28
2. 分析.....	29
3. 监测.....	30

E.	防止产生并最大限度地减少废物.....	31
1.	在工业工艺中防止产生并最大限度地减少废物.....	32
2.	防止并最大限度地减少添加汞的产品所产生的废物.....	34
3.	生产者延伸责任.....	36
F.	处理、分离、收集、包装、贴标、运输和储存.....	36
1.	处理.....	37
2.	分离.....	38
3.	收集.....	40
4.	包装和贴标.....	42
5.	运输.....	42
6.	储存.....	42
G.	环境无害化处置.....	45
1.	回收作业.....	46
2.	不进行汞或汞化合物回收的作业.....	51
H.	减少来自废物热处理和废物填埋的汞排放.....	61
1.	减少来自废物热处理的汞排放.....	61
2.	减少来自填埋场的汞排放.....	63
I.	受污染场地的补救处理.....	64
1.	识别受污染场地和应急行动.....	64
2.	环境无害化的补救处理.....	65
J.	健康和安全.....	66
K.	应急行动.....	67
1.	应急行动计划.....	67
2.	关于汞或汞化合物溢漏的特殊考虑因素.....	68
L.	认识和参与.....	68
	<b>Annex: Bibliography.....</b>	<b>72</b>

## 缩写和简称

ASGM	手工和小规模采金业
ASTM	美国测试与材料协会
AOX	可吸附有机卤化物
BAT	最佳可得技术
CCME	加拿大环境部长理事会
CEN	欧洲标准化委员会
CETEM	矿物技术中心（巴西）
CFLs	紧凑型荧光灯
CH <sub>3</sub> Hg <sup>+</sup> or MeHg <sup>+</sup>	甲基汞， 通常称为甲基水银
Cl	氯
EMS	环境管理系统
EN	欧洲标准
EPA	环境保护局（美国）
EPR	生产者延伸责任
ESM	环境无害化管理
FAO	联合国粮食及农业组织
GEF	全球环境基金
GMP	全球汞项目
HCl	盐酸
HF	氢氟酸
Hg	汞
HgCl <sub>2</sub>	氯化汞
HgO	氧化汞
HgS	硫化汞或辰砂
HgSO <sub>4</sub>	硫酸汞
HNO <sub>3</sub>	硝酸
IAEA	国际原子能机构
IATA	国际航空运输协会
ICAO	国际民用航空组织
IIED	国际环境与发展学会
ILO	国际劳工组织
IMERC	州际汞教育和削减信息交换所
IMO	国际海事组织
ISO	国际标准化组织
J-Moss	日本特定物质标识（日本 JIS C 0950 标准，“用于标示电 气和电子设备中含特定化学物质的系统”）
JIS	日本工业标准
JLT	日本标准溶出试验
JSA	日本标准协会
LCD	液晶显示器
LED	发光二极管
MMSD	采矿业、矿产和可持续发展（IIED/WBCSD 项目）
MSW	城市固体废物
NEWMOA	东北废物管理官员协会

NGO	非政府组织
NIP	国家实施计划
NIMD	国家水保病研究所
NOx	氧化氮
OEWG	不限成员名额工作组（《巴塞尔公约》）
OECD	经济合作与发展组织
OSPAR	《保护东北大西洋海洋环境公约》
QA/QC	质量保证/质量控制
PAC	粉状活性炭
PACE	计算机设备行动伙伴关系
PBB	多溴联苯
PBDE	多溴联苯醚
PCB	多氯联苯
PM	颗粒物
POPs	持久性有机污染物
PRTR	污染物排放与转移登记
PVC	聚氯乙烯
RoHS	欧盟议会和理事会 2011 年 7 月 8 日通过的 2011/65/EU 关于限制电气电子设备中的有害物质的指令（RoHS 指令）
SAICM	《国际化学品管理战略方针》
SETAC	环境毒理学和化学学会
SO <sub>2</sub>	二氧化硫
SOP	标准操作程序
SPC	硫磺聚合物水泥
S/S	稳定化和/或固化
TCLP	毒性特性溶出程序
TOC	总有机碳量
TS	技术规范
UNDP	联合国开发计划署
UNECE	联合国欧洲经济委员会
UNEP	联合国环境规划署
UNIDO	联合国工业发展组织
VCM	单体氯乙烯
WBCSD	世界可持续发展商业理事会
WEEE	报废电气和电子设备
WHO	世界卫生组织

## 测量单位

$\mu\text{g}$	微克
mg	毫克
g	克
kg	千克
mg/kg	毫克每千克；百万分率质量 (ppm)
L	升
$\text{m}^3$	立方米
$\text{cm}^3$	立方厘米
$^{\circ}\text{C}$	摄氏度

## 一、 导言

### A. 范围

1. 本准则根据控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约缔约方大会第 VIII/33 号、第 IX/15 号、第 BC-10/7 号、第 BC-11/5 号和第 BC-12/4 号决定，及巴塞尔公约不限成员名额工作组第 VII/7 号和第 OEWG-9/4 号决定，就对由汞<sup>1</sup>或汞化合物<sup>2</sup>构成、含有此类物质或受其污染的废物（以下简称“汞废物”）实行环境无害化管理提供指导。本文件替代巴塞尔公约缔约方大会第十次会议通过的关于对由元素汞构成的废物及含汞或受汞污染的废物实行环境无害化管理的技术准则。

2. 根据《巴塞尔公约》第 2 条第 1 款（“定义”），“废物”是指“根据国家法律的规定而处置的、或将要处置的、或要求进行处置的物质或物品”。本准则涵盖以下汞废物<sup>3</sup>（更多示例载于表 3）：

A：由汞或汞化合物构成的废物（如因氯碱设施停用而产生的过量汞、从含汞或汞化合物或受汞或汞化合物污染的废物或被指定为废物的汞或汞化合物剩余库存中回收的汞）；

B：含汞或汞化合物废物（如添加汞的产品）；

B1：添加汞的产品<sup>4</sup>废物，此类产品很容易向环境中排放汞，包括在破裂后排放汞（如水银温度计、荧光灯）；

B2：除 B1 所述废物外的添加汞的产品废物（如电池）；

B3：对 A、B1、B2 或 C 中所列的含汞废物进行处理而产生的含汞或汞化合物的废物；

C：受汞或汞化合物污染的废物（如采矿流程、工业流程或废物处理流程中产生的残留物）。

3. 本准则着重关注被归为危险废物的汞废物。

---

<sup>1</sup> “汞”指元素汞 (Hg(0))，化学文摘社编号 7439-97-6（参见关于汞的水俣公约第 2 条 (d)（以下简称“水俣公约”））

<sup>2</sup> “汞化合物”指由汞原子和其他化学元素的一个或多个原子构成、且只有通过化学反应才能分解为不同成分的任何物质（参见水俣公约第 2 条 (e)）。

<sup>3</sup> 水俣公约第 11 条第 2 款，汞废物是指，含量超过公约缔约方大会规定的关于由汞或汞化合物组成、含有汞或汞化合物、或是被汞或汞化合物污染的废物的相关阈值。这一定义不涵盖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。

<sup>4</sup> “添加汞的产品”指含有有意添加的汞或汞化合物的产品或产品组件（参见水俣公约第 2 条 (f)）。

## B. 有关汞的资料<sup>5</sup>

4. 汞被广泛用于各种产品，如测量仪器（气压计、湿度计、压力表、温度计、血压计）、开关和继电器、荧光灯、电池、化妆品、农药、生物杀虫剂、局部抗菌剂和牙科汞合金，并被用于多种加工工艺，如用于生产氯碱、乙醛、氯乙烯单体、甲醇钠、甲醇钾、乙醇钠或乙醇钾、聚氨酯及添加汞的产品。

5. 汞还可能是原材料提炼或生产流程的副产品，如石油天然气提炼和有色金属生产。汞是全球公认的危险污染物<sup>6</sup>。汞排放和释放可能来自人类行为（即人为原因），但也有可能来自火山爆发和森林火灾等自然来源。汞一旦被排放或释放到环境中，就会滞留在大气（汞蒸气）、土壤（离子汞）和水体（甲基水银（ $\text{MeHg}^+$ 或 $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ）中）。释放或排放到环境中的部分汞会主要由于生物可利用汞的生物放大作用而进入食物链中。

6. 不当处理、收集、运输或处置汞废物会导致汞排放或释放；一些处置技术也会造成汞排放或释放。

7. 从1932年到1968年，含汞废水被排入了日本的水俣湾（日本环境省，2002年）；在柬埔寨，1998年发生了非法倾倒受汞污染的废物的事件（Honda等人，2006年；国家水俣病研究所，1999年）；在南非，Thor Chemicals公司造成了汞污染（Lambrecht，1989年）。在这几起案例中，含汞或汞化合物或受汞或汞化合物污染的废物都未得到环境无害化处理，此类案例不胜枚举。

8. 《关于汞的水俣公约》（以下简称“《水俣公约》”）的条款旨在减少汞的供应和需求。但如果汞的供应仍维持在目前的水平上，那么随着全球越来越多地淘汰添加汞的产品及使用汞的工艺，最终将产生过量的汞。此外，在今后几年，对荧光灯等一些添加汞的产品的使用量预计会增加；此类产品目前被用于

<sup>5</sup> 关于汞的化学属性、来源、在环境中的行为、对人类健康构成的风险及污染等更多资料来自若干来源（见下文的参考书目）：

- 关于化学属性：日本公共卫生协会，2001年；Steffen，2007年；世卫组织，2003年；Spiegel，2006年；劳工组织，2000年和2001年；Oliveira，1998年；Tajima，1970年。
- 关于人为排放来源：环境署，2008年a；零汞工作组，2009年；
- 关于汞在环境中的行为：日本公共卫生协会，2001年；Wood，1974年；
- 关于对人类健康的风险：Ozonoff，2006年；Sanbom和Brodberg，2006年；Sakamoto等人，2005年；世卫组织，1990年；Kanai和Endou，2003年；Kerper等人，1992年；Mottet等人，1985年；Sakamoto等人，2004年；Oikawa等人，1983年；Richardson，2003年；Richardson和Allan，1996年；Gay等人，1979年；Boom等人，2003年；Hylander和Meili，2005年；Bull，2006年；世卫组织，1972年、1990年、1991年、2003年和2008年；日本公共卫生协会，2001年；加拿大职业卫生和安全中心，1998年；Asano等人，2000年；环境署，2008年。
- 关于汞污染：日本环境省，1997年和2002年；Amin-Zaki等人，1978年；Bakir等人，1973年；Damluji和Tikriti，1972年；环境署，2002年；Lambrecht，1989年；GroundWork，2005年；密歇根大学自然资源与环境学院，2000年；Butler，1997年。

<sup>6</sup> 水俣公约序言提到，鉴于汞可在大气中作远距离迁移、亦可在人为排入环境后持久存在、同时有能力在各种生态系统中进行生物累积、而且还可对人体健康和环境产生重大不利影响，此种化学品已成为全球性关注问题。

取代白炽灯（这是走向低碳社会战略的要求之一）以及液晶显示器的含汞背光灯泡。确保环境无害化管理各类废物——尤其是汞废物，对于大多数国家来说都是至关重要的。

## 二、 《巴塞尔公约》的相关条款及国际联系

### A. 巴塞尔公约

#### 1. 一般条款

9. 《巴塞尔公约》旨在保护人类健康和环境免受危险废物及其废物生成、管理、越境转移和处置过程中产生的不利影响。

10. 根据《公约》第2条第4款，“处置”指本公约“附件四所规定的任何作业”。附件四包括两类作业：可能导致资源回收、再循环、再生、直接再使用或替代使用的作业（R作业），及不会产生这种可能的作业（D作业）。

11. 第4条（“一般义务”）第1款确立了缔约方应遵循的程序：缔约方在行使权利禁止危险废物或其他废物进口处置时，必须向其他缔约方通知其决定。第1款(a)项规定：“各缔约方行使其权利禁止危险废物或其他废物进口处置时，应按照第13条的规定将其决定通知其他缔约方。”第1款(b)项规定：“各缔约方在接获按照以上(a)项发出的通知后，应禁止或不许可向禁止这类废物进口的缔约方出口危险废物和其他废物。”

12. 第4条第2款(a)-(e)项及(g)项载列了与实施环境无害化管理、最大限度地减少废物、减少越境转移，以及采取能降低对人类健康和环境的不利影响的废物处置做法相关的关键条款：

“各缔约方应采取适当措施，以：

- (a) 考虑到社会、技术和经济方面，确保将其境内产生的危险废物和其他废物减至最低限度；
- (b) 确保提供充分的处置设施对危险废物和其他废物实施环境无害化管理，且不论处置场所位于何处，应尽可能将这些设施设在其本国境内；
- (c) 确保在其境内参与危险废物和其他废物管理的人员采取必要措施，防止在管理危险废物和其他废物的过程中造成污染，并在这类污染产生时，尽量减少其对人类健康和环境的影响；
- (d) 确保根据危险废物和其他废物的环境无害化和高效管理，将这类废物的越境转移减至最低限度，且在进行此类转移时，应保护人类健康和环境免受此类转移可能产生的不利影响；
- (e) 允许向属于缔某一经济和/或政治一体化组织成员、且已立法禁止进口任何危险废物或其他废物的某一缔约方或一组缔约方国家（尤其是发展中国家）出口此类废物；或者，如果有理由相信此类废物不

会按照缔约方大会第一次会议决定的标准获得环境无害化管理，也不允许向上述国家进行此种出口；”

“(g) 如果有理由相信危险废物和其他废物无法获得环境无害化管理，防止此类废物的进口。”

## 2. 与汞相关的条款

13. 第 1 条（“本公约的范围”）界定了《巴塞尔公约》涵盖的废物类型。第 1 款第(a)项载列了确定某一“废物”是否属于《公约》规定的“危险废物”的程序，包括两步程序：首先，所涉废物必须属于《公约》附件一（“应加控制的废物类别”）中所列的某一类别；其次，所涉废物必须至少具有《公约》附件三（“危险特性的清单”）中所列述特性之一。

14. 附件一所列废物应具有附件三中所列的一种或多种危险特性，包括类别 H6.1 “毒性（急性）”，H11 “毒性（延迟或慢性）”，H12 “生态毒性”；除非经“国家测试”证明不具有此种危险特性。在所涉危险特性得到全面界定之前，国家测试对于确定附件三所列某一特定危险特性可能十分有用。目前正在根据《巴塞尔公约》，针对附件三中所列的一些危险特性拟定指导文件。

15. 附件八中所列清单 A 介绍了那些“依照《公约》第 1 条第 1 款第(a)项被界定为具有危险性的”废物，但“把这些废物列入附件并不意味着不可以采用附件三[危险特性]来证明某一废物不具有危险性”（附件一，(b)项）。附件九中的清单 B 涵盖了“那些不属于《公约》第 1 条第 1 款(a)项涵盖范围的废物，除非它们含有附件一中所列物质、且其含量导致其具有附件三所列特性”。

16. 按照第 1 条第 1 款(b)项的规定，“任一出口、进口或过境缔约方的国内立法确定为或视为危险废物的不包括在(a)项内的废物”均受到《巴塞尔公约》管制。

17. 表 1 列出了《巴塞尔公约》附件一和附件八中载列的汞废物。

表 1：《巴塞尔公约》附件一和附件八中载列的汞废物（重点补充）

直接提及汞的条目	
Y29	具有以下成分的废物： <b>汞；汞化合物</b>
A1010	金属废物和由以下任何物质的合金构成的废物： ..... - <b>汞</b> ..... 但不包括名录 B 明确列出的废物。
A1030	其成分或污染体为以下任何物质的废物： ..... - <b>汞；汞化合物</b> .....

A1180	具有以下特点的废弃电气和电子组件或废料 <sup>7</sup> ：含蓄电池和清单 A 中列出的其他电池、 <b>汞开关</b> 、阴极射线管玻璃及其他活性玻璃，以及多氯联苯电容器等部件；或因受到附件一列成分（如镉、 <b>汞</b> 、铅、多氯联苯）污染而具备了附件三所列的任一特点（请注意名录 B 中的相关条目 B1110） <sup>8</sup>
<b>与可能含汞或受汞污染的废物相关的其他条目</b>	
A1170	混杂废电池，但不包括名录 B 所列电池的混合物。名录 B 未明列但含有附件一成分而使其具有危险性的废电池
A2030	废催化剂，但不包括名录 B 所列废物
A2060	煤发电厂产生的其附件一成分含量使其具有附件三危险特性的粉煤灰（注意名录 B 的有关条目 B2050）
A3170	生产卤化链烃（如甲基氯、二氯乙烷、氯乙烯、亚乙烯基氯、烯丙基氯和表氯醇）产生的废物
A4010	从药品的生产和制作中产生的废物，但不包括名录 B 所列废物
A4020	临床废物和有关的废物；即医疗、护理、牙科、兽医或类似活动产生的废物和医院或其他设施在检查和医治病人过程中产生的废物或研究设施产生的废物
A4030	从生物杀伤剂和植物药物的生产、配制和使用中产生的废物，包括不合格、过期、或不适用于原定用途的杀虫剂和除草剂
A4080	具有爆炸性的废物（但不包括名录 B 所列此类废物）
A4100	用于清除工业废气的工业污染控制设施产生的废物，但不包括名录 B 所列此类废物
A4140	成分为或含有相当于附件一类别的并具有附件三危险特性的不合格或过期 <sup>9</sup> 化学品的废物
A4160	名录 B 未列入的用过的放射性碳（注意名录 B 的有关条目 B2060）

## B. 国际联系

### 1. 《关于汞的水俣公约》

18. 2013 年 10 月 10 日通过的《水俣公约》的目标是保护人类健康和环境免受汞及其化合物排放的影响。为实现其目标，《水俣公约》旨在：

- (a) 减少汞的供应，控制汞的国际贸易；
- (b) 减少各种产品、生产工艺以及手工和小规模采金对汞的需求；
- (c) 减少汞向空气、水和土地的排放与释放；
- (d) 确保对汞及汞化合物实行环境无害化临时储存；
- (e) 确保汞废物的环境无害管理，并对受污染场所采取补救措施；
- (f) 促进能力建设、技术援助和技术转让，包括通过具体的财务和其他方面的安排。

19. 《水俣公约》第十一条（汞废物）对与废物相关的问题规定如下：

<sup>7</sup> 此条目不包括发电过程中产生的废组件。

<sup>8</sup> 多氯联苯的浓度为 50 毫克/千克或更高。

<sup>9</sup> “过期”指未在生产商建议的期限内使用。

1. 就《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》缔约方而言，《巴塞尔公约》的相关定义适用于本公约所涵盖的废物。对于那些不属于《巴塞尔公约》缔约方的本公约缔约方而言，则应以这些定义为指导，用于本公约所涵盖的废物。

2. 就本公约而言，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，予以处置或准备予以处置或按照国家法律或本公约之规定必须加以处置的下列物质或物品：

- (a) 由汞或汞化合物构成；
- (b) 含有汞或汞化合物；或者
- (c) 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。

3. 每一缔约方均应采取适当措施，以使汞废物：

- (a) 得以在虑及在《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》下制定的指导准则、并遵照缔约方大会将依照第 27 条以增列附件的形式通过的各项要求的情况下，以环境无害化的方式得到管理。缔约方大会在拟订这些要求时应虑及缔约方的废物管理规定和方案；
- (b) 仅为缔约方在本公约下获准的某种允许用途、或为依照第 3 款(a)项进行环境无害化处置而得到回收、再循环、再生或直接再使用；
- (c) 《巴塞尔公约》缔约方不得进行跨越国际边界的运输，除非以遵照本条以及《巴塞尔公约》的条款进行环境无害化处置为目的。在《巴塞尔公约》对跨越国际边界的运输不适用情况下，缔约方只有在虑及相关国际规则、标准和准则后，才允许进行此类运输。

4. 在酌情审查和更新第 3 款(a)项所述及的指导准则时，缔约方大会应寻求与《巴塞尔公约》的相关机构密切合作。

5. 鼓励缔约方酌情相互合作，并与相关政府间组织及其他实体合作，开发并保持全球、区域和国家对汞废物实行环境无害化管理的能力。

20. 下述第 21-27 条刊载了《水俣公约》与汞废物有关的其他规定。

21. 《水俣公约》第 3 条第 5 款(b)项规定“各缔约方均应当采取各种措施，确保只要缔约方查明氯碱设施的退役过程中出现过量的汞，便应当依照第十一条第三款第一项中所阐明的环境无害化管理准则对之加以处置，而且所采用的处置方式不得导致汞的回收、再循环、再生、直接再使用或用于其他替代用途；”。

22. 《水俣公约》第 4 条第 1 款提出了“每一缔约方均应采取适当措施，不允许在针对附件 A 第一部分所列添汞产品明确规定的淘汰日期过后生产、进口或出口此类产品，除非已在附件 A 中具体规定了例外情况，或所涉缔约方已依照第

6 条登记了某项豁免。”附件 A 第一部分规定，截至 2020 年，添汞产品的生产、进口或出口均应禁止（淘汰日期）。下表 2 列出了这些添汞产品。附件 A 不涵盖下列产品：

- (a) 民事保护和军事用途所必需的产品；
- (b) 用于研究、仪器校准或用于参照标准的产品；
- (c) 在无法获得可行的无汞替代品的情况下，开关和继电器、用于电子显示的冷阴极荧光灯和外置电极荧光灯以及测量仪器；
- (d) 传统或宗教所用产品；以及
- (e) 以硫柳汞作为防腐剂的疫苗。

表 2：《水俣公约》附件 A 第一部分所列添汞产品（第 4 条第 1 款管制的产品）

电池，不包括含汞量低于 2%的扣式锌氧化银电池以及含汞量低于 2%的扣式锌空气电池。
开关和继电器，不包括每个电桥、开关或继电器的最高含汞量为 20 毫克的极高精确度电容和损耗测量电桥及用于监控仪器的高频射频开关和继电器。
用于普通照明用途、不超过 30 瓦、单支含汞量超过 5 毫克的紧凑型荧光灯。
下列用于普通照明用途的直管型荧光灯： (a) 低于 60 瓦、单支含汞量超过 5 毫克的直管型荧光灯（使用三基色荧光粉）； (b) 不超过 40 瓦、单支含汞量超过 10 毫克的直管型荧光灯（使用卤磷酸盐荧光粉灯）。
用于普通照明用途的高压汞灯。
用于电子显示的冷阴极荧光灯和外置电极荧光灯中使用的汞： (a) 长度较短（≤500 毫米），单支含汞量超过 3.5 毫克； (b) 中等长度（>500 毫米且≤1500 毫米），单支含汞量超过 5 毫克； (c) 长度较长（>1500 毫米），单支含汞量超过 13 毫克。
化妆品（含汞量超过百万分之一），包括亮肤肥皂和乳霜，不包括以汞为防腐剂且无有效安全替代防腐剂的眼部化妆品 <sup>1/</sup> 。
农药、生物杀虫剂和局部抗菌剂。
下列非电子测量仪器，其中不包括在无法获得适当无汞替代品的情况下、安装在大型设备中或用于高精度测量的非电子测量设备： (a) 气压计； (b) 湿度计； (c) 压力表； (d) 温度计； (e) 血压计。

<sup>1/</sup> 意在把含有痕量汞污染物的化妆品、肥皂和乳霜包含在内。

23. 《水俣公约》第 4 条第 3 款规定“各缔约方均应按照附件 A 第二部分中所列规定针对该附件中所列添汞产品采取相关措施”。附件 A 第二部分规定“缔

约方在采取措施以逐步减少牙科汞合金的使用时，应考虑到该缔约方的国内情况和相关国际指南，并应至少纳入措施清单中的两项。”

24. 《水俣公约》第 5 条第 2 款规定“各缔约方均不得允许在附件 B 第一部分中针对所列各种生产工艺明确规定的淘汰日期过后，在上述工艺中使用汞或汞化合物，除非该缔约方根据第 6 条的规定登记豁免”。附件 B 第一部分列出了汞或汞化合物作为催化剂用于氯碱和乙醛的生产。此外，第 5 条第 3 款规定“各缔约方均应按照附件 B 第二部分的规定，采取措施限制在其中所列生产工艺中使用汞或汞化合物”。附件 B 第二部分列出了氯乙烯单体的生产，甲醇钠、甲醇钾、乙醇钠或乙醇钾，以及使用含汞催化剂进行的聚氨酯生产。减少或控制使用汞或汞化合物的制造或生产过程中的汞排放或释放，可能会要求将处理过程中捕获和产生的残余物以及受汞或汞化合物污染的物质视作废物，妥善管理。

25. 《水俣公约》第 8 条第 3 款规定“拥有相关来源的缔约方应当采取措施，控制汞的排放”。“相关来源”指属于公约附件 D 所列类别中的一个来源。附件 D 所列的相关来源包括垃圾焚烧设施、燃煤电厂、燃煤工业锅炉、有色金属生产当中使用的冶炼和焙烧工艺以及水泥熟料生产设施。第 8 条第 4 款规定“对于新来源而言，每一缔约方均应要求在实际情况允许时尽快、但最迟应自本公约开始对其生效之日起 5 年内使用最佳可得技术和最佳环境实践，以控制并于可行时减少排放”。第 8 条第 5 款规定“对于现有来源而言，每一缔约方均应在在实际情况允许时尽快、但不迟于自本公约开始对其生效之日起 10 年内，在其国家计划中列入并实施下列一种或多种措施，同时考虑到其国家的具体国情、以及这些措施在经济和技术上的可行性及其可负担性：

- (a) 控制并于可行时减少源自相关来源的排放的量化目标；
- (b) 采用控制并于可行时减少来自相关来源的排放限值；
- (c) 采用最佳可得技术和最佳环境实践来控制源自相关来源的排放；
- (d) 采用针对多种污染物的控制战略，从而取得控制汞排放的协同效益；以及
- (e) 减少源自相关来源的排放的替代性措施。”

这些汞排放控制措施和做法可能产生受汞或汞化合物污染的固体废物。

26. 最后，《水俣公约》第十二条规定“各缔约方均应努力制定适宜战略，用以识别和评估受到汞或汞化合物污染的场地”以及“缔约方大会应针对污染场地的管理问题通过指导意见”。受汞污染场地的修复活动可能产生汞废物。

## 2. 环境署全球汞伙伴关系

27. 环境署理事会第 25/5 III 号决定要求环境署执行主任酌情与各国政府、政府间组织、利益攸关方及全球汞伙伴关系开展协调，作为国际汞行动的一部分，继续开展并加强目前在若干领域的工作。全球汞伙伴关系目前已经确定了八项

优先行动（或伙伴关系领域）。<sup>10</sup> 其中一项伙伴关系领域是由日本环境部于 2008 年牵头发起的汞废物管理伙伴关系领域。此外，伙伴关系领域根据废物流识别和归类各项国家级项目，创建了汞废物领域相关专家名单。

### 3. 《鹿特丹公约》

28. 《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》附件三载列了“包括无机汞化合物、烷基汞化合物和烷氧烷基及芳基汞化合物在内的汞化合物”。附件三中列出了因健康或环境原因而被禁用或严格限用的化学品（在至少两个区域内），这些化学品需遵循事先知情同意程序。

### 4. 《重金属议定书》

29. 2012 年修正的《1979 年远距离越境空气污染公约》1998 年关于重金属的议定书的目标是控制人为排放容易通过大气进行越境长程飘移、且很可能对人类健康或环境产生不利影响的重金属，其中包括汞。该议定书要求各缔约方针对固定源采取最佳可得技术，并对某些固定源设定排放限值，从而将目标重金属的排放量削减至 1990 年（或 1985 至 1995 年间的某一年）水平以下。还要求该议定书的各缔约方制定并保存受控重金属的排放清单。《议定书》附件七列出了针对含汞电气部件、测量仪器、荧光灯、牙科汞合金、农药、涂料和电池的产品管理措施建议，包括采取替换、尽量减少、贴标、经济激励措施、自愿协议、收集方案、回收或处置措施。

### 5. 《国际化学品管理战略方针》

30. 《国际化学品管理战略方针》（《化管战略方针》）包括一个部长声明（《国际化学品管理的迪拜宣言》）、一份总体政策战略以及一份全球行动计划。该方针的《全球行动计划》工作领域 14 特别提到了汞问题，如：“汞及其他引起全球关切的化学品；大量生产或使用的化学品；广泛使用的化学品；以及其他在国家一级引起关切的化学品”；提出了该工作领域降低风险的特定活动，并指出需要进一步采取行动并审查科学信息。2006 年设立了落实《化管战略方针》各项目标的快速启动方案，以支持发展中国家、最不发达国家、小岛屿发展中国家及经济转型国家初步实施能力建设和实施活动（环境署，2006a）。截至 2014 年 2 月，已在快速启动方案下实施了七个项目，其中涵盖汞问题内容，如尽量减少汞使用数量以及编制汞产品库存清单、汞释放清单和汞开采场地清单的活动（环境署，2014 年 a）。

---

<sup>10</sup> 欲了解更多资料，请参阅

<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/GlobalMercuryPartnership/tabid/1253/language/en-US/Default.aspx>

### 三、 环境无害化管理指导

#### A. 一般考虑因素

31. 环境无害化管理是一个宽泛的政策概念，不同国家、组织及利益攸关方对这一概念的理解和执行都不尽相同。巴塞尔公约及经济合作与发展组织（经合组织）开发的关于危险废物环境无害管理的国际指导文件及核心绩效要素，有助于利益相关者实施包括汞废物在内的危险废物的环境无害化管理。

#### 1. 《巴塞尔公约》

32. 根据《巴塞尔公约》第 2 条第 8 款，“危险废物或其他废物的环境无害化管理”是指，采取一切可行步骤，确保危险废物或其他废物的管理方式将能保护人类健康和环境，使其免受这类废物可能产生的不利后果。

33. 《公约》第 4 条第 2 款第(b)项要求，每一缔约方均应采取适当措施，“确保提供充分的处置设施用以从事危险废物和其他废物的环境无害化管理，不论处置场所位于何处，在可能范围内，这些设施应设在本国领土内”；该条第 2 款第(c)项要求，每一缔约方应“保证在其领土内参与危险废物和其他废物管理的人员视需要采取步骤，防止在这类管理工作中产生危险废物和其他废物的污染，并在产生这类污染时，尽量减少其对人类健康和环境的影响”。

34. 《公约》第 4 条第 8 款要求，“拟出口的危险废物或其他废物必须以对环境无害化的方式在进口国或他处处理。公约所涉废物的环境无害化管理技术准则应由缔约方在其第一次会议上决定”。本准则旨在针对汞废物的范畴，更精确地提供环境无害化管理的定义，包括定义适当处理和处置汞废物流的环境无害化管理方法。

35. 2013 年巴塞尔公约第十一次缔约国大会通过了*危险废物和其他废物环境无害管理框架*。该框架就环境无害化管理涵盖的内容达成了共识，并确认了支持和促进实施环境无害化管理的工具和战略。该框架旨在为各国政府和参与危险废物和其他废物管理工作的其他利益攸关方提供实践指导，并构成迄今为止最全面的环境无害管理指南，为巴塞尔公约下通过的各项技术准则提供补充。

36. 在《巴塞尔公约》中，环境无害化管理是多项条款（参见上文第二节第 A 部分第 1 项）及以下宣言的主题：

(a) 1999 年《环境无害化管理的巴塞尔宣言》，该宣言由巴塞尔公约缔约方大会在其第五次会议上通过，呼吁各方为实现环境无害化管理加倍努力并增进合作，具体措施包括防止产生、尽量减少、再循环、回收和处置受《巴塞尔公约》管制的危险废物和其他废物，同时考虑到社会、技术和经济方面的各种关切事项，以及进一步减少受公约管制的危险废物和其他废物的越境转移。

(b) 《关于防止、尽量减少和回收危险废物及其他废物的卡塔赫纳宣言》，该宣言由巴塞尔公约缔约方大会在其第十次会议上通过，重申了《巴塞尔公约》是指导危险废物和其他废物环境无害化管理及其处置的主要全球性法律文书。

37. 已经在巴塞尔公约计算机设备行动伙伴关系下制定了针对计算机设备的环境无害化管理标准建议。

## 2. 经济合作与发展组织

38. 经合组织通过了一项关于环境无害化管理废物的建议，其内容包括适用于废物回收设施的环境无害化管理准则的多项核心绩效要素，包括：在收集、运输、处理和储存前的绩效要素；以及在储存、运输、处理和处置有关残留物之后的绩效要素（经合组织，2004年）。

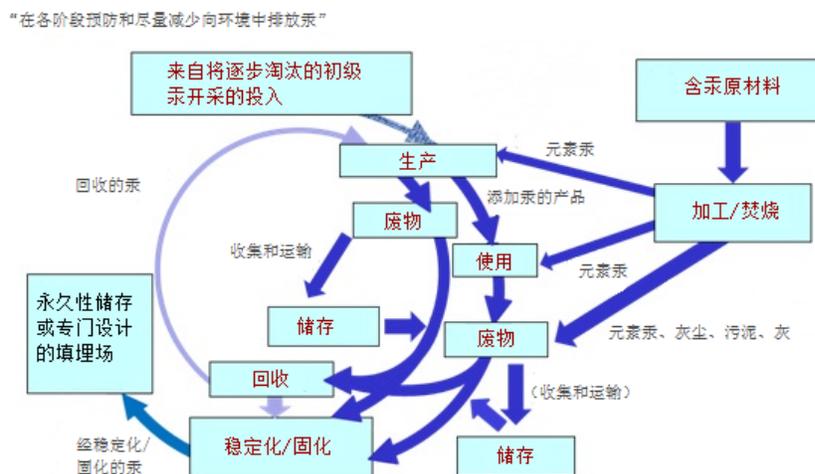
39. 欲了解更多资料，请参阅关于执行经合组织废物环境无害化管理建议的指南手册（经合组织，2007年）。

## 3. 汞的生命周期管理

40. 生命周期管理的概念是促进汞废物环境无害化管理的有用方法，也为分析和 管理各项产品和服务的可持续性性能提供了框架。全球的公司都在使用这一概念，比如来减少产品的碳、原材料及水等方面的足迹，改善产品的社会经济成效，从而确保提高价值链的可持续性（环境署和环境毒理学和化学学会，2009年）。在对汞实施生命周期管理时，应分析以下阶段的绩效：添加汞的产品及其他使用汞的产品的生产；产品的使用；废物的收集和运输；以及废物的处置。

41. 在对汞实施生命周期管理时，必须将减少产品及工艺中使用的汞作为优先事项，以减少这些产品和工艺中产生的废物中的汞的含量。使用添加汞的产品时，应特别注意防止汞排放或释放进入环境中。含汞废物应得到处理，以便以环境无害化的方式回收汞或固定汞。当对汞进行回收时，回收的汞在永久性储存场地或特别设计的填埋场稳定化或固化之后，应对其进行处置；或者，可以将其作为尚没有或无法获得无汞替代品的产品的投入，或在需要很长时间才能取代添加汞的产品 的情况下加以使用。这种再利用将有助于减少初级开采中新产生的汞。可将汞废物进行储存，待作进一步处理或处置，或待出口到其他国家进行处置（见下图1）。

图 1：汞管理的基本概念



42. 废物管理涵盖对汞来源的隔离、收集、运输、储存及处置（如回收、固化、稳定化、永久性储存和在特别设计的填埋场进行处置）。当一国政府计划收集汞废物时，还需要规划随后的废物管理措施，如储存和处置措施。

## B. 立法和监管框架

43. 《巴塞尔公约》缔约方应审查其国内控制措施、标准及流程，确保履行了《公约》所规定的义务，包括与汞废物的越境转移及环境无害化管理相关的义务；如果还是水俣公约的缔约方，则应进一步检查这些控制措施、标准及流程，确保履行了该公约规定的与废物有关的义务。

44. 各国政府应通过开展立法执法工作，出台特定的规章，并确定对违规行为的惩罚措施。针对危险废物的立法还应根据《巴塞尔公约》界定危险废物，以及危险废物下的汞废物。立法可以界定什么是环境无害化管理，并要求遵守环境无害化管理原则，从而确保各国遵守关于汞废物环境无害化管理的条款。下文将讨论满足《巴塞尔公约》及其他国际协定要求的监管框架需具备的特定组成部分及特点。<sup>11</sup>

### 1. 废物生产者登记

45. 要促进汞废物的环境无害管理，其中一项必要办法是设立监管框架，对此类废物的生产者实施登记。登记册应列出大规模汞废物生产者，如发电站、工业设施（如使用汞电池技术的氯碱厂、使用某种汞催化剂的单体氯乙烯生产设施，或熔炼厂）、以及医院、医疗诊所、牙医和牙科诊所、研究机构、汞废物收集设施，等等。建立汞废物生产者的登记册有助于确定这些汞废物的来源、类型及各种类型的数量，以及各类废物生产者使用的添加汞的产品的数量。

46. 登记规定汞废物生产者提供的信息包括：名称、地址、负责人、企业类型、产生的汞废物的数量和类型、此类废物的收集计划、将要移交的收集设施以及处置的方式。废物生产者应向当局（中央政府或地方政府）转交并定期更新此类信息。根据登记的废物的数量和种类，缔约方可以制定废物库存计划。

47. 在将废物安全转交收集设施或处置设施前，汞废物生产者应负责防止向环境中排放和释放汞，同时应严格遵守旨在管理此类废物的国家和地方规定；且在处理此类废物造成任何环境或健康损害的情况下，负责作出适用法律所要求的补救和赔偿。

### 2. 减少并逐步淘汰产品及工业流程中的汞

48. 减少并逐步淘汰产品及工业流程中汞的使用是减少向环境中排放和释放汞的最有效办法之一。

49. 《水俣公约》各缔约方应为根据该公约相关条款（见上文第 22 至 24 段）开展减少及逐步淘汰方案和措施制定并执行立法或监管框架。要实施逐步淘汰方

---

<sup>11</sup> 关于《巴塞尔公约》监管框架的进一步指导，可参阅以下文件：《关于管理及控制危险废物越境转移及其处置的国家立法范本》（环境署，1995 年），《巴塞尔公约执行手册》（环境署，2015 年）及《巴塞尔公约：控制制度指南》（环境署，2015 年 b）。

案，其中一个办法是通过立法和规章确定一个截止日期，在此截止日期后，不得再生产、出口和进口含有汞或汞化合物的产品，工艺中不允许使用汞或汞化合物，除非在技术上或实际上无可行替代品或是有豁免。此办法将要求汞产品及添加汞的产品的生产者以及进口方和出口方遵守要求，开始制定逐步淘汰汞的方案。

50. 欧洲议会及理事会 2003 年 1 月 27 日关于限制在电气和电子设备中使用某些危险物质的第 2002/95/EC 号指令，即“RoHS 指令”，是逐步淘汰汞在某些产品中的使用的规章范例。RoHS 指令限制汞和其他物质在电气和电子产品中的使用，对于目前尚无可行替代品的若干产品（如某些类型的添加汞的灯泡）给予了豁免，自该指令于 2006 年 7 月 1 日生效以来，大多数含汞电气和电子设备已被逐步淘汰出欧洲联盟市场。“RoHS 指令的修订版”，即“RoHS 2 指令”，已于 2011 年 5 月通过，并在 2011 年 7 月 21 日开始实施。

51. 来自欧洲联盟的另一个例子是，欧洲议会及理事会关于电池及蓄电池和废旧电池及蓄电池的第 2006/66/EC 号指令，该指令规定，不管是何种类型的电池，也无论是否安装在电气设备中，只要汞含量超过总重量的 0.0005%，都不得投放市场。该禁令对于汞含量低于总重量 2%的纽扣电池的豁免在 2015 年 10 月 1 日前有效，在指令第 4 条规定的禁止使用日期前依法投放到市场上的电池和蓄电池仍可在市场上销售，直到库存耗尽。）（欧盟，2006 年）。

52. 挪威已全面禁止在产品中使用汞，以确保在存在替代品的情况下不在产品中使用汞。<sup>12</sup>挪威既禁止生产、进口、出口、销售或使用含汞或汞化合物的物质或药剂，又禁止生产、进口、出口或销售经加工过的添加汞或汞化合物的固体产品。这将减少市场上添加汞的产品的数量，同时减少因疏忽而未作为危险废物得到处理的产品向环境中排放汞。

53. 加拿大的产品含汞规定禁止制造和进口含有汞或汞化合物的产品，对技术上或经济上没有可行替代品的基本用途（如某些医学、研究应用和牙科用银汞合金）实行豁免。

### 3. 越境转移要求

54. 按照《巴塞尔公约》，附件一类别 Y29 成分中含汞或汞化合物的废物列出的汞废物是危险废物，除非它们经过国家测试不具有附件三（危险特性清单）中的任何属性。

<sup>12</sup> 挪威产品法规（第 2 章：管制物质、制剂和产品，第 2.3 节：汞及汞的化合物）非官方英文版本可见：

<http://www.miljodirektoratet.no/en/Legislation1/Regulations/Product-Regulations/Chapter-2/>

该法规规定了以下特殊豁免：

- 根据在挪威实施的欧洲联盟法规，允许在包装、电池、某些汽车部件以及某些电气和电子部件中有限地使用汞（具体规定了浓度限值）。
- 汞或汞化合物含量不超过总重量的 0.001%的物质/配剂及经处理的固体产品。
- 硫柳汞作为防腐剂用于疫苗。

这些规定不适用于为开展分析和研究使用的产品。然而，该禁令适用于分析和研究中使用的汞温度计。

55. 若公约某缔约方制定了禁止进口汞废物的国家法律,并根据第 4 条第 1 款(a)项报告了此禁止信息,则其他缔约方应禁止或不准向该缔约方出口此类废物。此外,若某进口国未禁止进口汞废物,如无该进口国对于该笔特定进口交易的书面允许,缔约方应禁止或不准此类废物的出口。

56. 《水俣公约》第十一条第三款第三项也含有关于汞废物越境转移的条款(见上文第 19 段)。

57. 必须将危险废物及其他废物的越境转移控制在最低限度内,并开展环境无害化管理,保护人类健康和环境免受任何可能因此类转移而造成的不利影响。仅在满足以下条件时,才允许此类废物的越境转移:

(a) 出口国不具备技术能力及必要的设施,不具备能力或合适的处置场地来以环境无害化的高效率方式处置此类废物;

(b) 进口国要求进口此类废物作为再循环或回收工业的原材料;或者

(c) 此类废物的越境转移符合各缔约方决定的其他标准。

58. 在对危险废物及其他废物实施任何越境转移前,都必须书面通知全部所涉国家(出口国、进口国,在适用情况下还包括过境国)的主管部门。此通知必须载列《公约》所要求的各项声明及资料,并以进口国接受的语言撰写。在对危险废物及其他废物实施任何越境转移前,必须事先获得进口国、出口国及在适当情况下还包括过境国的书面同意,并出具一份确认函,确认存在具体规定出口国及处置设施的所有者必须实施环境无害化管理的合约。若进口国禁止进口危险废物及其他废物,则各缔约方必须禁止出口此类废物。《公约》还要求,除了提供有关任何货物的资料,还必须提供一份涵盖越境转移起始点至处置点的转移文件。缔约方大会第 III/1 号决定包括一项尚未生效的公约修正,内容为禁止附件七所列的经合组织和欧盟国家及列支敦士登向非附件七所列的国家出口危险废物,部分国家已根据该决定实施了国家禁令。

59. 应按照国家规则和国际标准对越境转移的危险废物和其他废物实施包装、贴标和运输(联合国欧洲经济委员会,2007年)<sup>13</sup>。

60. 若危险废物和其他废物的越境转移获得了所涉国家的同意,但根据合同条款无法完成这项工作,且无法作出替代安排来以环境无害化管理的方式对其实施处置,则出口国必须确保出口者将所涉废物运回国内。这项工作必须在进口国向出口国和秘书处发出通知后 90 日内完成,或在所涉国家商定的其他期限内完成(第 8 条)。若越境转移属于非法贩运(定义如第 9 条第 1 款),则出口国必须确保将所涉废物运回其国内进行处置,或根据《公约》条款加以处置。

61. 若属于缔约方的进口国或过境国提出要求,则必须对越境转移的危险废物或其他废物提供保险、担保书或其他保证。

<sup>13</sup> 见如联合国《关于危险货物运输的建议书》(规章范本)第 18 次修订版(联合国,2013)

62. 公约缔约方与非缔约方之间不得进行危险废物或其他废物的越境转移，除非所涉各方作出了《公约》第 11 条所要求的双边、多边或区域安排。已向秘书处报告的现有双边和多边协议刊载于巴塞尔公约网站上。<sup>14</sup>

63. 值得注意的是，自 2011 年 3 月 15 日起，（欧共体）第 1102/2008 号条例已禁止欧洲联盟出口金属汞和特定汞化合物及混合物（欧盟委员会，2010b）。类似地，2008 年颁布的汞出口禁令规定，从 2013 年 1 月起美国严格限制汞的出口。

#### 4. 处置设施的授权与检查

64. 应在实施环境无害化管理的设施中处置汞废物。

65. 大多数国家制定了法律或针对具体部门的规定，要求废物处置设施必须获得批准或运营许可证才能开展作业。各类批准或运营许可证可能附有特定的条件（设施的设计和作业条件），必须满足了这些条件，批准或许可证才能生效。也许有必要增加对汞废物的具体要求，以满足环境无害化管理的要求，遵守《巴塞尔公约》的具体要求，并考虑到有关最佳可得技术的建议和准则，如最佳可得技术准则、《斯德哥尔摩公约》最佳环境做法临时指导、欧洲联盟制定的最佳可得技术参考文件（被称为“BREFs”）以及世界氯理事会和欧洲氯组织<sup>15</sup>制定的氯碱部门准则。应定期审查各项批准书和运营许可证，并在必要情况下进行定期更新，以通过采取改良技术或新技术提高职业和环境安全。

66. 独立的主管部门或技术检查协会应定期检查处置设施，以核实其是否遵守许可证上列出的要求。如果有证据表明存在处置设施不遵守许可证要求的情况，法律应允许主管部门开展特别检查。

#### C. 识别和清单

67. 为了采取有效行动来防止、最大限度地减少和管理汞废物，缔约方需要识别汞废物产生的来源，并确定这些废物中汞废物的量和汞浓度。

##### 1. 识别汞废物的来源

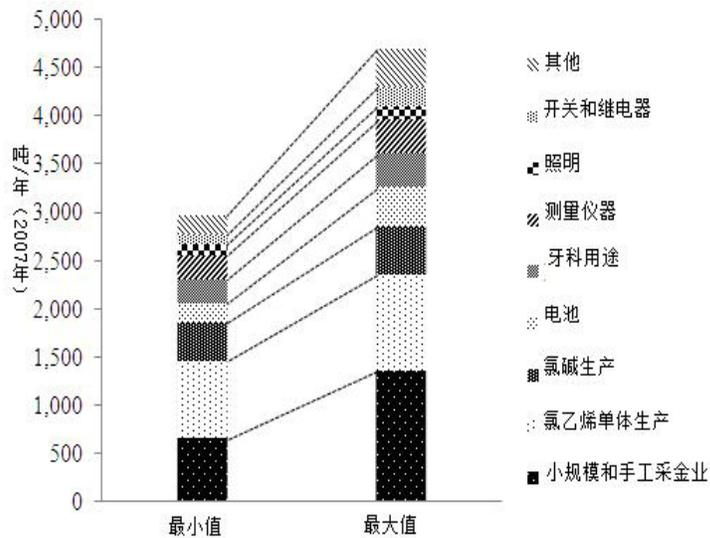
68. 尽管各国汞废物产生的来源各不相同，但就全球而言，汞废物的主要来源包括使用汞或汞化合物的工业流程及废弃的汞设备。汞排放的其他主要来源是自然资源的使用或加工（如有色金属矿石加工和煤燃烧）。图 2 按用途显示了估算的 2007 年全球使用汞的情况。使用最多的领域是手工和小规模采金业，其次是氯乙烯单体/聚氯乙烯生产和氯碱生产。汞还被用于电池、牙科银汞合金、测量仪器、灯具以及电气和电子设备等产品，尽管各国这些用途类别中的汞含量各不相同。2007 年全球汞使用总量为 3,000 吨至 4,700 吨（Maxson，2010 年）。

<sup>14</sup> 双边协议见 <http://www.basel.int/Countries/Agreements/BilateralAgreements/tabid/1517/Default.aspx>，  
 多边协议见 <http://www.basel.int/Countries/Agreements/MultilateralAgreements/tabid/1518/Default.aspx>。

<sup>15</sup> 请参阅汇编：

<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/PrioritiesforAction/ChloralkaliSector/Reports/tabid/4495/language/en-US/Default.aspx>。

图 2：2007 年全球的汞使用估计数量（Maxson, 2010 年）



69. 下表 3 总结了汞废物的来源、类别和示例。

70. 应当指出，在一些国家，表 3 所列的部分工业来源（来源 1、2、3、4 和 7，使用汞的生产工艺除外）既不使用汞，也不产生汞废物。工业工艺取决于国家的技术和社会条件，这些因素将决定是否使用不含汞的工艺。

表 3：汞废物的来源、类别和示例（环境署，2002 年；2005 年；2006 年 b；2006 年 c）

来源	类别*	废物类型示例	评论意见
<b>1. 提取和使用燃料/能源来源</b>			
1.1. 发电站燃煤	C	烟道气清理残留物（飞灰、颗粒物、废水/污泥等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>在底灰和烟道气清理残留物中的积累。</li> </ul>
1.2. 其他燃煤	C		
1.3. 矿物油的提取、精炼和使用	C		
1.4. 天然气的开采、精炼和使用	C		
1.5. 其他化石燃料的开采和使用	C		
1.6. 以生物质为燃料的发电和供热	C		
<b>2. 初级（原生）金属生产</b>			
2.1. 汞的初级提取和加工	C	熔渣	<ul style="list-style-type: none"> <li>汞矿石的火冶处理</li> </ul>
2.2. 金属（铝、铜、金、铅、锰、汞、锌、初级黑色金属、其他有色金属）的开采和初级加工	C	尾矿、开采加工残留物、烟道气清理残留物、废水处理残留物	<ul style="list-style-type: none"> <li>工业工艺；</li> <li>矿石的热处理；以及</li> <li>汞齐化。</li> </ul>
<b>3. 杂质汞的生产工艺</b>			

来源	类别*	废物类型示例	评论意见
3.1. 水泥生产	C	加工残留物、烟道气清理残留物、污泥	• 原材料和燃料的高温冶金处理，同时产生杂质汞
3.2. 纸浆和纸张生产			• 原材料的燃烧，同时产生杂质汞
3.3. 石灰生产和轻质结块窑			• 原材料和燃料的煅烧，同时产生杂质汞
<b>4. 工业生产中汞的有意使用</b>			
4.1. 采用汞技术的氯碱生产	A/C	受汞污染的固体废物、废电极、加工残留物、土壤	• 汞电池； • 汞回收单元（蒸馏）。
4.2. 乙醇化物（如甲醇钠、甲醇钾、乙醇钠或乙醇钾）、连二硫酸酯和超纯氢氧化钾溶液的生产	A/C	受汞污染的固体废物、废电极、加工残留物、土壤	• 汞电池； • 汞回收单元（蒸馏）。
4.3. 以氯化汞(HgCl <sub>2</sub> )作催化剂的氯乙烯单体生产	A/C	加工残留物、废催化剂	• 汞催化剂加工
4.4. 以硫酸汞(HgSO <sub>4</sub> )作催化剂的乙醛生产	A/C	废水、废催化剂	• 汞催化剂加工
4.5. 采用汞化合物和/或催化剂的其他化学品及药物的生产	A/C	加工残留物、废水、废催化剂	• 汞催化剂加工
4.6. 下文 5 中涉及产品的生产	C	加工残留物、废水	
<b>5. 有意使用汞的产品和应用</b>			
5.1. 含汞的温度计及其他测量仪器	B1	使用过的、废旧的或破损的产品	• 汞
5.2. 含汞的电气和电子开关、接触器和继电器			• 气态汞； • 磷光粉吸附的二价汞。
5.3. 汞光源			• 汞、氧化汞
5.4. 含汞电池			
5.5. 抗微生物剂和杀虫剂	B1	库存的过期的杀虫剂、受汞污染的土壤和固体废物	• 汞化合物（主要是氯化乙基汞）
5.6. 涂料	B1	库存的过期的涂料、受汞污染的固体废物、废水处理残留物	• 醋酸苯汞及类似的汞化合物
5.7. 人用和牲畜用的药物	B1	库存的过期药物、医疗废物	• 硫柳汞； • 汞化氯； • 硝酸苯汞； • 汞溴红等。
5.8. 化妆品和相关产品	B2	库存的化妆品和相关产品	• 碘化汞； • 白降汞等。
5.9. 牙科汞合金补牙剂	B2/C	库存牙科汞合金、废水处理残留物	• 汞、银、铜及锡的合金
5.10. 血压计和测压表	B1	使用过的、废旧的或破损的产品	• 汞
5.11. 实验室化学品和	A/B1/B2/C	库存的实验室化学品和设	• 汞；

来源	类别*	废物类型示例	评论意见
设备		备、废水处理残留物、实验室废物	• 氯化汞等。
5.12. 聚氨酯弹性体	B2/C	有缺陷的和超量的产品废物、使用过的或报废的产品	• 含有汞化合物的弹性体废物
5.13. 手工和小规模采金业来源的松质金/金生产	C	烟道气残留物、废水处理残留物	• 金的热处理； • 工业工艺。
5.14. 汞金属在宗教仪式和民俗中的使用	A/C	固体废物、废水处理残留物	• 汞
5.15. 其他产品用途、汞金属用途及其他来源	B1/B2/C	库存、废水处理残留物、固体废物	• 采用汞的红外探测半导体； • 探针和坎特尔式管； • 教育用途等。
<b>6. 二级金属生产</b>			
6.1. 回收汞	A/C	回收过程中的漏溢物、开采加工残留物、烟道气清理残留物、废水处理残留物	• 拆解氯碱设施； • 从天然气管道所用汞电度表中回收； • 从血压计、温度计及其他设备中回收。
6.2. 回收黑色金属	C		• 切碎； • 熔化含汞材料。
6.3. 从电子废物（印刷电路板）中回收金	A/C		• 汞； • 热加工。
6.4. 回收其他金属，如铜和铝	C		• 其他添加汞的材料或产品/组成部分
<b>7. 废物焚烧</b>			
7.1. 城市固体废物的焚烧	C	烟道气清理残留物、废水处理残留物	• 添加汞的产品和加工废物； • 大批量材料（塑料、纸张等）和矿物中的天然杂质汞。
7.2. 危险废物的焚烧			
7.3. 医疗废物的焚烧			
7.4. 水处理污泥的焚烧			
<b>8. 废物堆放/填埋和废水处理</b>			
8.1. 受控的填埋场/堆放场	C	废水、废水处理残留物、受汞污染的固体废物	• 添加汞的产品和加工废物； 大批量材料（塑料、锡罐等）和矿物中的天然杂质汞。
8.2. 部分受控的分散堆放			
8.3. 工业生产废物的不受控本地处置			
8.4. 一般废物的不受控倾倒			
8.5. 废水系统/处理		废水处理残留物、泥浆	• 已消费产品和加工废物中有意使用的汞； • 大批量材料中作为人为产生痕量污染物的汞。
<b>9. 火化和殡葬</b>			
9.1. 火化	C	烟道气清理残留物、废水处理残留物	• 牙科汞合金补牙剂

来源	类别*	废物类型示例	评论意见
9.2. 殡葬		受汞污染的土壤	

\*A: 由汞或汞化合物构成的废物；B: 含汞或汞化合物的废物；C: 受汞或汞化合物污染的废物。

71. 有关添加汞的产品的更多详细信息（如具体产品的名称和制造商）可从下列来源获得：

(a) 环境署（2008年）：*关于主要含汞产品和工艺及其替代品和在改用无汞产品和工艺方面的经验的报告*。请参阅：

[http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents\(g7\)/English/OEWG\\_2\\_7.doc](http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents(g7)/English/OEWG_2_7.doc);

(b) 欧盟委员会（2008年）：*减少产品和应用中对汞的使用的备选方案，以及已在社会上流通的汞的归宿*。可参阅：

[http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/study\\_report2008.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/study_report2008.pdf);

(c) 环境署全球汞伙伴关系——含汞产品伙伴关系领域。报告和出版物请参阅：<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/InterimActivities/Partnerships/Products/tabid/3565/language/en-US/Default.aspx>;

(d) 罗威尔可持续生产中心（2003年）：*关于含汞产品替代品的调查*。请参阅：[http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector Specific- Information/Docs/lcspfinal.pdf](http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector%20Specific-Information/Docs/lcspfinal.pdf)；和

(e) 州际汞问题教育与削减信息交换所的添加汞的产品数据库。请参阅：<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/notification>。

## 2. 清单

72. 清单是一项识别废物并对其进行定量和定性的重要工具。国家清单可用于：

(a) 为已生产、流通/交易或使用中的添加汞的产品、商品汞、含汞副产品及汞废物设定数量基准；

(b) 设立信息登记册以协助安全和管制检查；

(c) 获取草拟汞的生命周期管理计划所需的准确信息；

(d) 协助编制应急计划；以及

(e) 追踪减少和逐步淘汰汞方面的进展。

73. 在识别汞废物的来源及类型后，应使用因具体工艺而异的信息和数量来估算某一既定国家（或地区、社区等）已识别的不同类型废物来源所产生的废物数量（环境署，2005年）。

74. 在某些情况下，为估算汞废物产生的数量收集必要数据是一项非常困难的工作，尤其是在缺乏数据的发展中国家和经济转型国家，特别是涉及小规模设施的情况。在不可能开展实际测量的情况下，可通过问卷调查来收集数据。

75. 应利用巴塞尔公约框架下的《关于制定危险废物国家清单的方法指南》（环境署，2015年d）汇编汞废物清单。试行过先前版本的方法指南，包括巴塞尔公约东南亚区域中心所制定的危险废物国家清单试点项目，巴塞尔公约东南亚区域中心的最终报告可作为实用的参考。<sup>16</sup>

76. 也可以利用《汞排放识别与定量工具包》（环境署，2013年）。有两个版本的工具包，相应地可以从两个层面制定清单（即简化和综合）。该工具包旨在帮助各国开发汞排放的国家清单，为国家和区域汞清单的一致开发提供标准化方法和附随数据库。它已在多个国家（环境署，2008年c）和全环基金资助的项目中得到应用。

77. 与生命周期管理方法一致，废物中的汞排放到环境中可能经过的渠道或途径也应予以识别。鉴于汞排放到环境中的潜在风险，汞废物的各种不同类型应根据优先行动次序进行排列。随后应收集有关尽可能减少排放的可能措施的信息，特别是关于涉及大批量汞以及具有较高汞排放风险的汞废物来源和类型的信息。然后必须就下述因素评价各项措施：尽可能阻止排放到环境中的汞的数量、行政和社会成本、技术和设施的可得性、社会的可接受性，等等。

78. 在一些国家，《污染物排放和转移登记册》被用于收集关于废物中具体汞含量以及汞在每一设施中的转移情况的数据（Kuncova等人，2007年）。该《登记册》中的数据已公布。<sup>17</sup>

#### D. 取样、分析和监测

79. 取样、分析和监测是管理汞废物的关键组成部分。废物取样、分析和监测应由经过培训的专业人员按照精心设计的计划方案进行，使用国际上接受的或国家批准的方法并在该方案持续时期内都应以同样的方法开展。这些工作应采用严格的质量保证和质量控制措施。取样、分析或监测工作中的错误，或者对标准操作程序的偏离，都会造成无意义的数字，甚至是损坏整个方案的数字。因此，各缔约方应酌情开发标准确保实行取样、监测和分析方法的培训、规章制度及实验室能力，并确保加强这些标准。

80. 由于取样、分析和监测有许多原因，也由于存在众多不同物理形态的废物，因此存在许多不同的取样、分析和监测方法。尽管本文件不会专门讨论这些方法，但接下来三节会审议取样、分析和监测中涉及的关键要点。应根据现有的（或缺乏的）汞在不同类型废物中的含量的信息，设置废物测试优先顺序（如，鉴于废汞灯中汞含量的重要信息容易获取，则废汞灯的测试不太可能作为高优先级）。

81. 若要获得关于实验室良好做法的信息，经合组织关于妥善的实验室实践的系列出版物（经合组织，多年）可作为有用的参考；若要了解关于一般性方法考虑要素，环境署/世卫组织《面临汞接触风险的人口识别指南》提供了有益信息，

<sup>16</sup> 请参阅“菲律宾危险废物国家清单试点项目”（2006年12月）：  
<http://www.berc-sea.org/?content=publication&cat=2>。

<sup>17</sup> 例如，捷克共和国的《污染物排放和转移登记册》（可登陆 <http://www.irz.cz> 查阅），收集了汞及汞化合物从废物转移到环境介质的具体数据，以及如何处理汞废物的数据

可以参考。<sup>18</sup>由环境署和全环基金合作开展的一个项目正在制定关于汞全球监测的进一步指导，该项目还在尝试建立一个操作性汞实验室的在线数据库。<sup>19</sup>

## 1. 取样

82. 任何取样活动的总体目标都是为了获取可用于确定目的样本，如场地特征、管制标准的遵守情况或拟议处理处置方法的适宜性的确定。这一目标应在开始取样前就确定下来。设备、运输和可追溯性方面的质量达标是不可或缺的。

83. 开始取样活动之前，应设立并商定（针对基质的和针对汞的）标准取样程序。这些程序包括以下要点：

(a) 将要取样的数量、取样频率、取样项目的持续时间以及对所用取样方法的描述（包括设定的质量保证程序，如采用适当的取样容器<sup>20</sup>和空白域，并使用监管链程序）；

(b) 产生汞废物的地点或场地的选取；取样时间和日期（包括描述和地理定位）；

(c) 确定取样人员和取样过程中的各种情况；

(d) 充分描述样本特征——贴标；

(e) 在（分析之前的）运输和储存过程中保护样本的完整性；

(f) 取样人员与分析实验室开展密切合作；

(g) 适当培训取样人员。

84. 取样应遵守具体的国家法律（如果有的话）或国际条例、标准。在没有此类条例的国家，应任命称职的人员。取样程序包括下列步骤：

(a) 为对每一后续汞分析的基质取样而制定一套标准操作程序；

(b) 应用设计完善的取样程序，如国际标准化组织（标准化组织）、欧洲标准化委员会（欧标委员会）、美利坚合众国环境保护局（美国环保局）、全球环境监测系统和美国试验与材料学会编制的程序；以及

(c) 设立质量保证和质量控制程序。

85. 如要成功执行取样方案，应采取上述所有步骤。同样，文件记录应完整、严格。

86. 汞可以在液体、固体、气体和生物群中取样：

<sup>18</sup> 请参阅：

[http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/IdentifyingPopnatRiskExposuretoMercury\\_2008Web.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/IdentifyingPopnatRiskExposuretoMercury_2008Web.pdf)

<sup>19</sup> 制定一项人类汞接触情况和环境中汞含量全球监测计划（全环基金，ID 5409）

<sup>20</sup> 汞会渗透聚乙烯瓶，因此不应使用。详情请参考 Parker 等人，2005 年。

## (a)液体:

- (i) 倾倒场和填埋场的沥滤液;
- (ii) 从漏溢物中收集的液体;
- (iii) 水 (地表水、饮用水和工业污水);

## (b)固体:

- (i) 由汞或汞化合物构成、含汞或汞化合物或是受汞或汞化合物污染的产品和制剂的库存;
- (ii) 工业来源及处理或堆放过程产生的固体 (飞灰、底灰、污泥、蒸馏釜底油、其他残留物、衣物等);
- (iii) 容器、设备或其他材料 (清洗或擦拭样本), 包括收集擦拭样本时所用的组织或纤维;
- (iv) 土壤、沉积物、碎石、水处理污泥及堆肥;

## (c)气体:

- (i) 汞废物处理设备中的空气 (室内);
- (ii) 经处理的汞废物向空气中释放的汞;
- (iii) 废物焚烧炉的烟道气;

## (d)生物群:

- (i) 生物材料 (血、尿和头发, 尤其是通过工人健康监测获得的);
- (ii) 动植物。

87. 在环境与人类监测方案中, 可能包括以下生物基质和非生物基质:

- (a) 植物材料和粮食;
- (b) 人类毛发、尿液、指甲、母乳或血液;
- (c) 空气 (环境空气、湿或干的沉积物, 或者可能是雪)。

## 2. 分析

88. 分析是指提取、净化、分离、识别、定量并汇报相关基质中汞的浓度。为了获得有意义、可接受的结果, 分析实验室应当具备必要的基础设施 (房舍) 和在基质及汞种类方面经过证实的经验 (例如, 成功参与过实验室间对比研究和外部能力测试计划)。

89. 实验室获得标准化组织 17025 认证或其他独立机构所提供标准的认证很重要。获得高质量结果的必备标准包括：
- (a) 明确使用的各项分析技术；
  - (b) 维护分析设备；
  - (c) 核实所用的全部方法（包括内部方法）；以及
  - (d) 培训实验室人员。
90. 汞分析一般在专门的实验室进行。为进行筛选，测试工具包可被采用，并被用于实地工作。
91. 对于汞分析而言，不存一种单一的分析方法。不论是针对汞总含量还是汞的化学形态，国际标准化组织（标准化组织）和欧洲标准化委员会都已制定出国际层面上的各种汞基质的分析方法，美国（美利坚合众国环保局）和日本的标准协会也制定了相关的国家方法。表 4 列出了分析废物、烟道气及废水中的汞的方法一些示例。大部分内部方法均由上述方法演变而来。跟所有的化学分析一样，实验室只能使用经过验证的方法，并使用质量保证/质量控制计划对绩效进行评估。
92. 此外，应设立实验室存储、处理和准备样本的程序及接受标准，如均质化。
93. 分析测定包括下列单项步骤：
- (a) 提取；
  - (b) 净化；
  - (c) 利用感应耦合等离子体质谱仪、原子荧光光谱仪、原子吸收分光光度法和紧凑型仪器等适当的探测设备来识别；
  - (d) 根据要求进行定性并汇报；以及
  - (e) 按规章制度汇报。
- 3. 监测**
94. 《巴塞尔公约》第 10 条（“国际合作”）第 2 款(b)项要求各缔约方“合作监测危险废物管理对人类健康与环境的影响”。监测方案应说明危险废物管理活动是否按其设计发挥了作用，并应探测活动引起的环境质量变化。
95. 通过监测方案获得的信息应用于确保妥善管理不同类型的危险废物，识别与汞排放或接触有关的潜在问题，并确定对管理方法的修正调整是否合适。设施管理人员可通过执行监测方案查明问题，并采取适当措施予以补救。
96. 应当指出，针对某些类型的汞监测，许多连续性汞测量系统可以从商业渠道获得。此类监测可能是国家或地方法律所要求的。

表 4：废物、烟道气和废水中的汞的化学分析

目标		方法
废物	确定废物中汞的流动性	欧洲标准 12457-1 至 4：废物描述——沥滤——关于颗粒废物材料和污泥的沥滤的遵守规定情况测试（欧洲标准化委员会，2002 年 a）
		欧洲标准 12920：废物描述——按具体情况确定废物沥滤性能的方法（欧洲标准化委员会，2006 年）
		欧洲标准 13656：废物描述——使用氟化氢、氮（硝酸）和氯化氢（盐酸）酸性混合物进行微波消解，以便随后测定废物中的主要成分（欧洲标准化委员会，2002 年 b）
		欧洲标准 13657：废物描述——进行消解，以便随后测定废物中主要成分的王水可溶比例（欧洲标准化委员会，2002 年 c）
		技术规范 14405：废物描述——沥滤性能测试——上流渗滤测试（欧洲标准化委员会，2004 年）
		美国环保局方法 1311：毒性特征沥滤程序（美国环保局，1992 年）
	测定废物中汞的浓度	欧洲标准 13370：废物描述——洗脱液分析——测定硝酸、交替氧化酶、可溶性、汞、酚指数、总有机碳量、易释氰离子、氟离子（欧洲标准化委员会，2003 年）
		欧洲标准 15309：废物和土壤描述——利用 X 射线荧光测定主要成分（欧洲标准化委员会，2007 年）
		美国环保局方法 7471B：固体或半固体废物中的汞（人工低温蒸汽技术）（美国环保局，2007 年 d）
		美国环保局方法 7473：采用热分解、汞齐化及原子吸收分光光度法测量固体和溶液中的汞（美国环保局，2007 年 e）
美国环保局方法 7470A：液体废物中的汞（人工低温蒸汽技术）（美国环保局，1994 年）		
烟道气	确定汞的总含量	欧洲标准 13211：空气质量——固定来源排放——人工测定总汞浓度的方法（欧洲标准化委员会，2001 年） *这一方法测定汞的总含量（即金属汞/元素汞+汞离子）。
		欧洲标准 14884：空气质量——固定来源排放——测定总汞量：自动测量系统（欧洲标准化委员会，2005 年）
		日本工业规格 K 0222：分析烟道气中的汞的方法（日本标准协会，1997 年）
		美国环保局方法 0060：测定烟囱排放中的金属（美国环保局，1996 年）
	确定汞的化学形态	美国试验与材料学会 D6784-02（2008 年）：燃煤固定来源所产生烟道气中的元素汞、氧化汞、颗粒结合汞和总汞的标准测试方法（安大略湿法）（美国试验与材料学会国际组织，2008 年）
废水	确定汞的总含量	标准化组织 5666：1999 年：水质量——汞测定（标准化组织，1999 年）
		标准化组织 16590：2000 年：水质量——汞测定——汞齐化浓缩法（标准化组织，2000 年）
		标准化组织 17852：2006 年：水质量——汞测定——原子荧光光谱测定法（标准化组织，2006 年）

#### E. 防止产生并最大限度地减少废物

97. 防止产生并最大限度地减少汞废物是对此类废物实行环境无害化管理的首要步骤。《巴塞尔公约》第 4 条第 2 款呼吁各缔约方“确保将危险废物及其他废物的产生……减少至最低限度”。废物预防应该是任何废物管理政策的优先选

择，以便减少废物管理的需求，使环境无害化管理资源能够得到更为高效的使用。下面第 100 到 122 段提供了防止和减少重要汞废物源中汞废物的方法信息。

98. 《水俣公约》第 5 条要求缔约方逐步淘汰在氯碱和乙醛生产工艺中使用汞，限制在氯乙烯单体生产、甲醇钠、甲醇钾、乙醇钠或乙醇钾以及使用含汞催化剂进行的聚氨酯生产中汞的使用（详见本准则第 24 段）。

## 1. 在工业工艺中防止产生并最大限度地减少废物

99. 若干工业工艺正在使用汞；然而，鉴于手工和小规模采金业、氯乙烯单体生产以及氯和苛性钠（氯碱）生产工艺使用大量的汞，本节仅讨论与这三方面有关的防止产生和最大限度地减少废物的措施。

### (a) 手工和小规模采金业

100. 目前已存在若干无汞技术：如重量法和综合无汞法。如果缺乏可行的替代方法，则应采用能够形成无汞技术的临时解决方案。这些解决方案包括汞的收集和回收技术，如蒸馏器和通风橱，汞的重新活化技术，以及避免诸如整矿汞齐化等密集使用汞的工艺。临时解决方案的详情可参见以下文献：

(a) 全球汞项目（2006 年）手工和小规模采金工人培训手册，工发组织，维也纳，奥地利，请参阅：

[http://http://communitymining.org/attachments/221\\_training%20manual%20for%20miners%20GMP%20Marcelo%20Veiga.pdf?phpMyAdmin=cde87b62947d46938306c1d6ab7a0420](http://http://communitymining.org/attachments/221_training%20manual%20for%20miners%20GMP%20Marcelo%20Veiga.pdf?phpMyAdmin=cde87b62947d46938306c1d6ab7a0420);

(b) 矿业可持续发展项目（2002 年）：手工和小规模采矿业，联合国及其他组织关于矿业与可持续发展的文件；

(c) 环境署（2010 年）：全球手工和小规模采金业论坛报告。请参阅：  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/GlobalForumonASGM/tabid/6005/Default.aspx>;

(d) 环境署，不同日期：全球汞伙伴关系的报告和出版物。请参阅：  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/PrioritiesforAction/ArtisanalandSmallScaleGoldMining/Reports/tabid/4489/language/en-US/Default.aspx>;

(e) 美国环保局（2008 年）：关于建造供金店使用的汞收集系统的手册。请参阅：<http://www.epa.gov/oia/toxics/asgm.html>。

101. 手工采矿者及其家庭和采矿作业的周边社区应接受相关教育：汞的接触风险与相关的健康危险；以及手工和小规模采金业使用汞造成的环境影响。

102. 一旦他们提高对手工和小规模采金业使用汞造成的环境和健康风险的认识，即应提供关于防止产生废物的技术和系统的培训。

### (b) 氯乙烯单体生产

103. 氯乙烯单体生产所用的乙炔工艺使用汞化氯作为催化剂。有可能通过以下两个主要类别的方法防止并最大限度地减少氯乙烯单体生产中产生的汞废物：

(a)替代性的无汞制造方法；以及(b)在工艺过程中更好地管理汞，并捕捉汞的环境排放。

104. 无汞的氯乙烯单体制造，利用多种无汞方法来制造氯乙烯单体，最普遍的做法是使乙烯氧氯化（技术评估办公室，1983年）。虽然无汞方法在世界各地得到广泛应用，但一些国家仍继续采用乙炔工艺，因为在煤价较乙炔便宜的地方，这种方法的成本要低得多（Maxson，2011年）。乙炔工业无汞催化剂的开发，引发了对氯乙烯单体制造中无汞催化剂的开发（通过 Johnson Matthey），包括在配方中使用金，该工艺正在准备商业化。这在经济上是可行的，可直接替换现有的氯乙烯单体反应器的催化剂。<sup>21</sup>

105. 建议采取以下措施减少受汞污染的废物产生：更好地管理汞，并实行环境控制以捕捉汞排放；开发和应用汞含量低的催化剂；改革技术以防止汞化氯的蒸发；防止催化剂中毒；以及延缓碳沉积以减少汞的使用。捕捉汞排放的环境控制措施包括：在汞去除器中利用活性炭来吸附汞，使用脱酸系统如发泡和碱塔；回收并再利用含汞污水；收集含汞污泥；以及从含汞的蒸发物质中回收汞；改进催化剂回收者和生产者的排放控制。更多信息可参考“关于减少聚氯乙烯碳化物生产中对汞的使用和排放的项目报告”（中国环境保护部，2010年）。

### (c) 氯碱生产

106. 随着氯碱工厂中汞槽工艺被无汞工艺取代，氯碱工厂的汞排放和汞废物将被消除。无汞的氯碱生产采用的是膜片或膜工艺。在这两种工艺中，膜工艺的成本效益较高，因为其所需的总电力投入较少（Maxson，2011年）。尽管汞槽工艺正被逐步淘汰，但截至2012年，仍有40个国家75家工厂使用该工艺。这些氯碱工厂2012年所产生的固体废物达到163465吨（环境署全球汞伙伴关系，2013年）。2010年，汞槽氯碱设施占全球氯碱生产能力的10%左右。日本从1986年不再使用汞槽工艺。2013年初，欧洲氯生产能力的28%依赖于汞槽技术。欧洲氯制造商自愿致力于在2020年以前替换或关闭所有的氯碱汞槽工厂（欧洲氯组织）。美利坚合众国在1996年有14家使用汞槽工艺的设施，到2012年减少到2家（氯气学会，2009年；环境署全球汞伙伴关系，2013年）。

107. 氯碱工厂所产生的受汞污染的废物包括：水处理、海水处理和碱处理所产生的半固体污泥、气体处理所产生的石墨和活性炭、蒸馏产生的残留物以及沉降池或集液槽中收集的汞。除了监测可能发生的泄漏和开展良好的内务操作，还可以通过减少汞蒸发、改善对汞排放的控制、从废水中回收汞、以及从烟道气和碱处理中回收汞，来减少汞废物的产生。更多信息可参考以下文件或网站：

(a) 欧盟委员会。2013年。《欧盟委员会根据欧洲议会及理事会关于工业排放的第2010/75/EU号指令实施2013年12月9日关于确立氯碱生产最佳可得技术结论的决定》（第2013/732/EU号决定）。

(b) 全球汞伙伴关系氯碱部门报告和出版物。请参阅：

<sup>21</sup> 参见 [http://www.matthey.com/innovation/innovation\\_in\\_action/vcm-catalyst](http://www.matthey.com/innovation/innovation_in_action/vcm-catalyst).

<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/GlobalMercuryPartnership/ChloralkaliSector/Reports/tabid/4495/language/en-US/Default.aspx> (该网站包含超过 20 条氯碱行业准则)。

## 2. 防止并最大限度地减少添加汞的产品所产生的废物

108. 引进无汞替代品和禁用添加汞的产品是防止汞废物产生的重要方法。根据《水俣公约》，自 2020 年起禁止生产、出口和进口特定添加汞的产品（见上文第 22 段）。

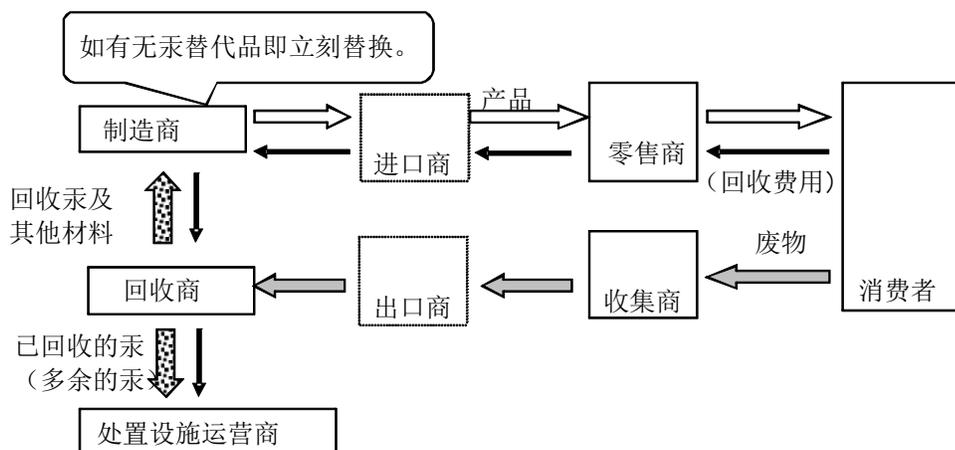
109. 如果在可预见的未来不存在无汞替代品，那么作为过渡措施，设定产品中汞含量最大值也有助于减少含汞产品领域汞废物的产生。可通过绿色采购促进以无汞或减少汞的替代品取代添加汞的产品。

110. 仍在添加汞的产品的场所最好能设立汞利用的安全封闭系统。应通过下列手段防止废物流的汞污染：

- (a) 使用无汞产品；
- (b) 对产品中的汞含量设定最高限值；以及
- (c) 设立采购标准，购买无汞产品和低汞含量。

111. 含汞废物应与其它废物分离并予以收集，在可行的情况下应从废物中回收汞，并将其再用于生产过程（替代初级汞），或以环境无害化的方式处置（见图 3）。“生产者延伸责任”方案可以作为有效手段来鼓励生产无汞产品或低汞产品，并鼓励收集此类废弃产品。其它手段可包括折价回收已使用的含汞产品。

**图 3：汞利用的封闭系统**



### (a) 无汞产品

112. 替换产品中的汞取决于替代品功效或性能、替代品成本和产品整体成本、替代品对环境及人类健康的影响、技术、政府政策和规模经济等因素。目前已有多种无汞替代品。有关无汞替代品的详细信息参见下列出版物：

- (a) 含汞产品替代品的清单（环境署，2014 年 b）；

(b)取代医疗行业中的含汞温度计和血压计的技术指南（世卫组织，2010年）；

(c)关于主要含汞产品和工艺、及其替代品和改用无汞产品和工艺方面的经验的报告（环境署，2008年b）；以及

(d)减少产品和应用中对汞的使用的备选方案，以及已在社会上流通的汞的归宿（欧盟委员会，2008年）。

## (b) 设定产品中汞含量的最大限值

113. 在添加汞的产品可以被逐步淘汰之前，应对其设定汞含量限值。该限值可以减少生产阶段单位产品对汞的使用，从而减少整个产品生命周期内所排放的汞，包括意外释放或破损所致的汞排放量，同时减少需要专门进行汞管理的废物中汞的总数量。《水俣公约》设定了缔约国必须遵循的某些特定产品中汞含量限值（见上文第22段）。

114. 根据公众环境/汞管理计划，可通过立法（见下文第三节第B部分第2项中的示例）或行业的自愿行为，设定产品中的汞含量限值。如前所述，欧洲联盟对电池和荧光灯都提出了限定汞含量的法律要求，美利坚合众国的几个州对电池中的汞含量做出了要求。在日本，相应的行业协会设定了荧光灯中汞含量的限值，日本政府已在绿色采购政策中将这此限值用作荧光灯的选择标准。在加拿大，*产品含汞法规*设定了荧光灯管及其他类型灯管中的汞含量限值。

115. 为了减少荧光灯中汞的量，制造商各自研发技术，在每一个荧光灯中注入特定量的汞，以便所含的最低必要数量的汞能充分满足灯具所需的性能。在灯具中注入精确数量的汞的方法如：使用汞合金、汞合金芯块、汞合金环和汞胶囊来取代注入汞（日本环境省，2010年）。

116. 从紧凑型荧光灯及其他类型添加汞的灯具的整个生命周期来看，使用汞合金定量给料可能比使用汞更具环境和性能优势。汞定量给料方法的优点在于最大限度地减少了在制造、运输、安装、储存、回收和处置、尤其当灯具破损时工人和消费者对汞蒸汽的接触以及汞在环境中的排放。另外，这种精确的定量给料方法使得制造商能够生产汞含量较低（两毫克或更少）并且满足高效率、长寿命等重要性能要求的紧凑型荧光灯。

## (c) 采购

117. 应鼓励无汞产品采购方案，以防止废物产生并推广使用无汞产品和低汞产品。采购做法应在可能的情况下以采购无汞产品为目标，实际操作上或技术上没有添加汞产品的替代品的少数情况除外，或以采购汞含量最低的产品为目标。

118. 大量使用添加汞的产品的用户，如政府机构和医疗设施，可发挥重大作用，通过实施绿色采购方案来刺激对无汞产品的需求。在一些情况下，可利用金融激励措施鼓励实施绿色采购方案。例如，美国的一些州已经对购买无汞温度计给予了补助。

### 3. 生产者延伸责任

119. 生产者延伸责任的定义为“一种环境政策方法，规定生产者对产品的责任应延伸至产品生命周期的消费后阶段”。“生产者”<sup>22</sup>是品牌所有者或进口商（包装情况除外），在品牌所有者未明确的情况下，例如电器产品，其制造商（和进口商）会被认为是生产者（经合组织，2001年a）。生产者延伸责任方案将对产品废弃管理的责任从地方政府和纳税人转移到生产者，为生产者创建激励措施，在其产品设计中纳入环境考虑因素，确保产品成为废物时的环境无害处理和处置的成本反应在产品成本中。生产者延伸责任可通过强制或自愿，或是强制与自愿的结合来实施。“回收”收集方案可以纳入到生产者延伸责任方案（参见第F节，3，(b)，d）。

120. 生产者延伸责任方案因其设计而异，可以实现多项目标：(1) 减轻了地方政府处置废物/产品/材料的财务负担和（在个别情况下）业务负担；(2) 鼓励公司设计可以再利用、再循环、并减少使用材料的数量和危险性；(3) 把废物管理成本纳入产品价格；(4) 推动回收技术的创新。这样生产者延伸责任制可以促进形成产品价格反映环境成本的市场（经合组织，2001年a）。有关生产者延伸责任计划的详细介绍可参见经合组织关于该问题的一些出版物。<sup>23</sup>

121. 在采用生产者延伸责任方案时，环境主管部门应建立管理框架，规定相关利益攸关方的责任、产品管理标准以及生产者延伸责任方案的所有组成部分，并鼓励相关缔约方和公众参与其中。环境主管部门还应监测生产者延伸责任方案的绩效（例如，所收集废物的数量、所回收汞的数量以及收集、回收和储存产生的费用），并视需要提出改进建议。落实生产者延伸责任方案的责任应由产品的所有生产者分担，不允许出现“搭便车者”（即没有承担生产者延伸责任的生产者），以避免其他生产者被迫承担与其产品市场份额不成比例的生产者延伸责任费用。

122. 例如，在欧洲联盟，包括紧凑型荧光灯在内的荧光灯都必须符合欧洲议会和欧盟理事会2012年7月4日2012/19/EU指令关于废物电气和电子设备的要求。该指令规定了生产者有对含汞等物质的电器和电子设备的废弃物进行管理的生产者延伸责任。其他示例有欧洲联盟针对电池的生产者延伸责任方案，大韩民国针对荧光灯和电池的生产者延伸责任方案。<sup>24</sup>

#### F. 处理、分离、收集、包装、贴标、运输和储存

123. 在处置汞废物过程中，处理、分离、收集、包装、贴标、运输和储存的程序与处置其他类型的危险废物的程序类似。然而，由于汞的物理和化学特性使其在环境中极易移动，汞废物的环境无害管理要求采取更多预防措施和处理技术。

<sup>22</sup> 欧洲联盟第2008/98/EC号指令规定任何专业开发、制造、加工、处理、销售或进口产品的自然人或法人须承担生产者延伸责任。

<sup>23</sup> 可参阅：<http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/extendedproducerresponsibility.htm>。

<sup>24</sup> 可参阅：[http://eng.me.go.kr/content.do?method=moveContent&menuCode=pol\\_rec\\_pol\\_rec\\_sys\\_responsibility](http://eng.me.go.kr/content.do?method=moveContent&menuCode=pol_rec_pol_rec_sys_responsibility)。

124. 本节为采取最妥当的办法处理汞废物提供了具体技术指导，但废物产生者仍须咨询并遵守适用的国家和地方要求。就危险废物的运输和越境转移而言，应参考下列文件以确定具体要求：

- (a) 环境署，2015 年 a。《巴塞尔公约》实施手册；
- (b) 国际海事组织，2014 年。国际海运危险货物规则；
- (c) 国际民用航空组织，2013 年。危险货物安全空运技术守则；
- (d) 国际航空运输协会，2014 年。危险货物条例手册；以及
- (e) 联合国，2013 年。联合国运输危险货物建议书：示范条例。

125. 针对特定产品的汞废物的处理、分离、收集、包装、贴标、运输和储存指导可查阅以下内容：

- (a) 环境署，2010 年。医疗设备：有关医疗设施中汞废物的清理、临时或立即储存和运输指南；
- (b) 世界卫生组织，2010 年。牙科修复材料未来使用情况（第六章、汞合金废物的最佳管理做法）；和
- (c) 灯管回收推广计划，未注明日期。荧光灯和含汞灯（镇流器）生产者和操作者培训模块（一小时版）。

126. 关于汞废物的危险特性及相关风险的信息应被收集和分析，以便计划对该类废物的适当管理，例如，参照并遵守关于含有的化学品的指示以及相关的安全数据表。关于贴标和保证，应酌情考虑联合国化学品全球统一分类和标签制度（GHS）。

## 1. 处理

127. 处理汞废物的人员应特别注意防止汞蒸发和漏溢到环境中。汞废物应放置在不透液气的容器中，容器上要贴有明显标志，指示其中含有“有毒”的汞。经过特殊设计的钢制容器最适合处理此类废物，因为汞会与其他多种金属，包括锌、铜和银形成合金。汞蒸汽会渗透部分塑料，所以应尽可能避免使用塑料容器。

128. 终端用户应以安全方式处理和防止以下添加汞的产品废物发生任何破裂或损坏：荧光灯、温度计和电气和电子仪器。涂料和杀虫剂等添加汞的产品废物应以安全方式处理，不得排入水槽、厕所、雨水管道或其他降雨径流收集系统。添加汞的产品的废物不得与任何其他废物混合。如果这些废弃产品意外破损或漏溢，则应采取清理程序（见下文第三节第 K.2 部分）。

129. 处理受汞污染的废物的人员不得将其与其他废物混合。受汞污染的废物应放置于密封容器中，防止排入环境。

## 2. 分离

130. 分离和收集汞废物是环境无害化管理的关键因素，因为此类废物如果未经分离即作为城市固体废物轻易处置，废物中的汞则可能因填埋或焚烧而排入环境中。

131. 根据国家法律要求，工业汞废物应区别于符合相关国家法规的工业设施中产生的其他废物，作为危险废物进行管理。对此类废物进行区分管理，有利于进行适当的处理，能在不稀释汞含量的情况下，从汞废物中提取汞，或稳定废物使其得到合理处置。与其他废物混合会稀释废物中的汞，可能降低处理成效，或可能不当地减少汞浓度，使其低于《水俣公约》第十一条第二款所设的阈值，从而使废物不能得到妥当管理。

132. 对汞废物、尤其是来自家庭、商业和研究机构的添加汞的产品废物制定和实施收集方案时，应考虑到下列事项：

- (a) 向汞废物的所有潜在持有者宣传该方案、定点仓库和收集的时间段；
- (b) 为收集方案留出充足的时间以完成对方案中的所有汞废物的收集；
- (c) 在收集方案中尽量纳入对所有汞废物的收集；
- (d) 为需要重新包装或做好安全运输准备的汞废物的持有者提供可接受的容器及安全运输材料；
- (e) 设立简便、廉价的收集机制；
- (f) 确保将汞废物运送至仓库的人员和仓库工人的安全；
- (g) 确保仓库经营者使用的是已被接受的处置方法；
- (h) 确保该方案及各项设施符合所有适用的法律要求；以及
- (i) 确保汞废物与其他废物分离。

133. 根据国家或地方立法，对含汞产品贴标有助于保证对报废的添加汞的产品进行适当分离，然后予以环境无害化的处置。生产者应在添加汞的产品的制造阶段执行贴标制度，以促进收集和回收方案中对需要特殊处理的含汞产品的识别。<sup>25</sup> 贴标可能需要遵守国家知情权条例，要求对产品中出现的有毒化学成分的名称和特性进行披露。添加汞的产品的贴标制度还可能要求标签含有正确使用的说明，以及鼓励回收和适当处置的废物管理指示。

134. “添加汞的产品”贴标制度有助于实现下列目标：<sup>26</sup>

<sup>25</sup> 例如，可登陆：[www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm](http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm) 查看准则，并可登陆 <http://www.digitaleurope.org/Services/MecuryFreelogo.aspx> 查看标签计划。

<sup>26</sup> 例如，可登陆 [www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm](http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm) 查看关于这四个要点的准则（美国东北部废物管理官员协会，2004年）。根据日本的《推广有效利用资源

- (a) 在购买时即告知消费者该产品含有汞且需要在报废时予以特殊处置；
- (b) 在处置时识别出添加汞的产品，以便将其区别于将要填埋或焚烧的废物流，从而得到回收；
- (c) 告知消费者该产品含有汞，使消费者获得引导其寻找更安全的替代品的信息；以及
- (d) 促进公众对产品中含有有毒物质的知情权。

135. 制造商可通过在产品标签上使用汞的国际化学符号“Hg”来指示添加汞的产品。例如，美国部分州销售的添加汞的产品必须附有这一标志<sup>27</sup>。在欧洲联盟，根据第 2006/66/EC 号指令添加汞的电池上必须印有这一化学标志（欧洲联盟，2006 年）。在国际贸易中的添加汞的灯具包装标签上使用类似的标志可以促进全球对含汞灯具的认识。以地方语言提供额外信息可以进一步解释这一标志的含义。

136. 美国国家电气制造商协会灯具部门主张，对添加汞的灯具实行全国或全球统一贴标是有效且经济地分销节能型灯具的必要步骤<sup>28</sup>。2010 年 7 月 19 日，美国联邦贸易委员会公布了一条规则<sup>29</sup>，要求自 2011 年 7 月 19 日起，紧凑型荧光灯、发光二极管灯及传统白炽灯的包装使用新标签，以帮助消费者选择能满足其照明需求的最高效灯具。对于添加汞的灯具，包装和灯具本身都将附有以下披露标签：<sup>30</sup>

**图 4：产品标签示例（荧光灯，左为包装标签、右为产品标签）**



137. 若添加汞的产品被出口至其他国家，在这些产品成为废物后，当地的消费者、用户和其他利益攸关方可能无法识别或理解产品上的外文标识。在这种情

法》，制造商和进口商必须为任何含铅、汞、镉、六价铬、多溴联苯和/或多溴联苯醚的产品（个人计算机、空调、电视机、冰箱、洗衣机、微波炉和家用烘干机）贴上有 J-Moss 认证标识的标签([http:// home.jeita.or.jp/eps/200512jmoss/orange.jpg](http://home.jeita.or.jp/eps/200512jmoss/orange.jpg))。

<sup>27</sup> 请参阅：<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm>。

<sup>28</sup> 请参阅：

<http://www.nema.org/Policy/Environmental-Stewardship/Lamps/Documents/Labeling%20White%20Paper%20Final%2010%2004.pdf> 和

<http://www.nef.org.uk/energysaving/lowenergylighting.htm>。

<sup>29</sup> 《电器标签规定》，75 Fed. Reg. 41696（2010 年 7 月 19 日）。

<sup>30</sup> 请参阅 <http://www.ftc.gov/os/2010/06/100618lightbulbs.pdf>（最后访问时间为 2011 年 5 月）。欲了解关于回收等方面的信息，请参阅 <http://www.epa.gov/cfl/cflrecycling.html>。

况下，进口方、出口方、生产商或负责产品标签的国家机构应确保使用适合本地的产品标识，和/或用当地的语言做出标识。

### 3. 收集

#### (a) 收集由汞或汞化合物构成的废物

138. 由汞或汞化合物构成的废物，如关闭氯碱设施汞槽产生的废物，在经错误处理后可能造成的危害方面与其他汞废物存在差异。相比其他汞废物，汞或汞化合物组成的废物可能大量产生，使安全收集变得更加困难。大量的汞必须妥善包装并储存在适当的容器后，方能运输至指定的储存或处置设施。<sup>31</sup>

#### (b) 收集添加汞的产品废物

139. 添加汞的产品废物在成为废物后，应区别于其他废物单独进行收集，尽可能防止多破损或污染。由于源自家庭的此类废物与公司、政府、学校和其他组织等来源的此类废物的产生量不同，因此建议对这两类来源的废物分开收集。

140. 如下所述，收集家庭产生的如上表 2 所述的添加汞的产品废物时有三种备选方案。汞电池可与其他类型的电池一起收集

#### (一) 废物收集站或收集仓库

141. 将含汞废物丢弃在专门设计的容器中并置放于废物收集站或仓库，防止将含汞废物与其他废物混合起来。含汞废物应由当地政府或其他主管单位授权的收集人员专门进行收集。

142. 应在废物收集站提供储存含汞废物的盒子或容器，方便公众使用。应使用着色且有标记的废物容器来专门储存含汞废物，如荧光灯、含汞温度计和含汞电池等。专用的容器应统一着色，并附有同样的标识，以提高公众意识。通过得当的盒子设计和提供收集程序的书面文字说明，可防止荧光灯和温度计的破损。灯管和紧凑型荧光灯可用不同的容器存放。对于紧凑型荧光灯而言，重要的是必须通过安装柔软的挡板或隔断来减少灯泡的“自由下落”。另外，一个小小的空盒子也能要求用户将废旧灯泡小心地放在盒内，不造成损坏。减少灯具破损的另一种备选方案是要求消费者将荧光灯交给合格的收集站工作人员。如果灯泡被打碎，则应立即将被影响区域通风，通知工作人员进行清理工作。<sup>32</sup>可以在室外设灯具废站，尽量减少灯具破碎情况下工人的接触。

<sup>31</sup> 美国能源部在以下网址提供了有关安全处理和储存汞的详细指南：

<http://energy.gov/em/services/waste-management/waste-and-materials-disposition-information>。

<sup>32</sup> 见美国环保局《清理破碎的紧凑型荧光灯》，可参见：

<http://www.epa.gov/cfl/cflcleanup.html>；汞政策项目，2008 年，《认识紧凑型荧光灯破碎带来的汞风险》，请参见：

[http://mpp.cclearn.org/wp-content/uploads/2008/08/final\\_shedding\\_light\\_all.pdf](http://mpp.cclearn.org/wp-content/uploads/2008/08/final_shedding_light_all.pdf)；以及德国环境保护局，请参见：<http://umweltbundesamt.de/energie/licht/hgf.htm> (德语)。

## （二） 在公共场所或商店收集

143. 含汞废物，尤其是使用过的荧光灯、自动调温器、汞电池和温度计可通过专门设计的收集工具或在公共场所或商店进行收集，如市镇大厅其他公共建筑物、电器商店、购物大厦和其他零售店，但前提是在这些场所提供了适当的收集容器。应设计符合废物形状特征的单独的含汞废物收集盒子或容器，以减少废物破损。为携带含汞废物专门设计的容器经验证能够存储破碎灯泡中的汞蒸气时，这些容器才能在公共收集地点使用。<sup>33</sup> 消费者应无偿将废弃的荧光灯、汞电池、自动调温器和汞温度计送至回收地点。授权的收集员，如市里的收集员或私营部门的收集员（如生产厂商委托的收集员），应将废物统一收集放置在收集盒或容器内。

144. 应监控收集含汞废物的盒子和容器，确保没有将其他类型的废物置于其中。这些盒子或容器上应作出标识，放在能被监控的区域，如建筑物内，通风良好的区域或是户外隐蔽且受保护的区域。

## （三） 由工作人员挨家挨户进行收集

145. 也许可以由授权的工作人员挨家挨户收集某些含汞废物，如含汞的电子废物。为了确保地方收集人员能高效地收集这些废物，往往需要特别安排或法律机制，例如，政府或其他机构、添加汞的产品的生产商可能需要对含汞废物的地方收集工作做出安排。

## （四） 商业协会协调的收集

146. 从企业和商业实体收集添加汞的产品废物，可通过企业或商业协会采取高效办法来实施。例如在日本，东京医学协会为不再使用的汞温度计和血压计设立了一个临时收集系统，在一个月的收集期内收集了数千个此类设备。在收集期内，鼓励医学机构的各个成员将这些设备带到一个指定的当地协会分支机构，并为这些设备的运输和处置划拨特定费用。东京医学协会与当地协会的分支机构及废物运输和管理者协作，确保这些设备的有效收集和处置。规模经济和有效的运输安排使得该系统的运输价格更低，医学机构的各成员都能从中受益。

## （五） “收回” 收集方案

147. “收回” 方案是指为了将废物流中的已使用或废弃的产品转用于再循环、再利用、翻新，以及在一些情况下回收而制定的诸多方案。“收回” 方案通常是由私营部门（例如，制造商和零售商）开展的自愿性倡议，为消费者提供把使用过的产品返还至购买地点或其他一些指定设施的机会。有些“收回” 方案对消费者提供财政激励措施，另一些可能是由政府授权或经营的（例如废瓶子计划），还有一些还可能为处置或回收活动提供部分资金。一般来说，“收回” 收集方案侧重于被广泛使用的消费者产品，如电池、开关、恒温器、荧光灯及其他添加汞的产品（Honda, 2005 年）。

<sup>33</sup> 参见 Glenz 等人，2009 年。

148. 在日本，生产者通过“光明安心”服务（松下公司，2009年）和日立照明服务包（日立公司，2006年）中的商业设施租赁系统来收集和回收使用过的荧光灯。

**(c) 收集受汞或汞化合物污染的废物**

149. 设计污水处理厂和废物焚烧炉时，通常都包含收集水处理污泥、灰和残留物质的设备，其中可能含有微量的汞和其他重金属。焚烧炉中的汞空气污染控制设备可能会增加所收集的飞灰中的汞浓度。如果这些废物中的汞浓度超过危险废物的标准，则应单独收集这些废物。

**4. 包装和贴标**

150. 在将汞废物从生产场地或公共收集点运至废物处理厂的过程中应得到妥善包装和贴标。运输的包装和贴标常由国家危险废物或危险物品运输立法机构负责监管，首先应对这些事项进行磋商。如果没有立法或法律没有提供充分指导，则应当咨询国家政府、国际航空运输协会、国际海事组织和联合国欧洲经济委员会发布的参考资料。已制定的废物适当标识和鉴定方面的国际标准，可以参考以下材料：

(a) 联合国，2003年。全球化学品统一分类和标签制度（每两年进行修订和改进）；和

(b) 经合组织，2001年。化学物质和混合物对人类健康和环境危害统一综合分类制度。

**5. 运输**

151. 必须以环境无害化的方式运输汞废物，以避免出现意外溢漏；应追踪汞废物的运输直至到达最终目的地。在进行运输之前，应制定应急计划，以便尽量降低可能发生的溢漏、火灾和其他可能的紧急状况造成的环境影响。在运输期间，应根据《联合国运输危险货物建议书：示范条例》（“橘皮书”）对汞废物进行标识、包装和运输。

152. 在各自国家运输废物的公司应有运输危险材料和废物的证明，而且运输人员应具有符合国家和地方立法要求的处理危险材料和废物的资质并获得相关认证。运输公司应管理汞废物，以便防止破损、释放到环境中，并防止接触水分。

153. 可从国际空运协会、海事组织、联合国欧洲经济委员会和国际民航组织获取有关安全运输危险材料的指南（见上述第124段）。

**6. 储存**

**(a) 废物产生者储存待收集的含汞废物**

154. 含汞废物被收集起来进行处置前，应由废物产生者暂时储存在其场地。在含汞废物被交至废物收集站或收集设施前，或是在被收集方案或承包商收集前，含汞废物应得到妥善存储，远离其他废物。散装废料的储存方法应尽量减少汞向环境排放，包括在可行情况使用封闭容器，防渗混凝土（带径流控制垫）或

盖上防水布。国家标准或法规规定废物产生者只能将废物储存一段时间，一旦条件成熟，应立即将其送至厂区外进行适当处置。

155. 家庭的含汞废物，主要是荧光灯和其他灯具、添加汞的电池和温度计，应在适当包装（如使用与废物形状相一致的产品包装或盒子）后临时储存一段时间。在处理过程中破损的汞设备应立即清理，在收集起来进行进一步管理前应将清理材料储存在室外。<sup>34</sup> 含汞的液体废物（如涂料和农药）应保存在原装容器内，并确保盖子密封。容纳含汞废物的容器和包装不应与其他废物混合存放；应对容器和包装进行标识并存放在干燥和安全的地点，如仓库或其他人少的场所。

156. 除了上述第 154 和 155 段列出的指南外，包括政府、企业和学校在内的大规模汞用户还需制定储存大量含汞废物的计划。若无法使用原装盒子或包装，则需购买专门为储存含汞废物设计的容器（如荧光灯容器）。储存含汞废物的容器或盒子应标有日期和相关标识，并储存在干燥的地方。建议使用与工作区域隔离开的单独区域或房间或是不对外开放的区域来储存此类废物。这些区域不应与工作区域或公开区域共享同一个建筑通风系统，应具备单独的通风系统，或向户外直接通风。联合国开发计划署针对医疗机构产生的汞废物制定的指南<sup>35</sup> 提供了这方面的详细建议，同样适用于产生含汞废物设备的许多商业机构。

## (b) 储存待处置作业的汞废物

157. 在处置设施中储存汞废物还应尽量减少汞向环境中排放的可能。

### (一) 储存设施的技术和操作考虑因素

158. 在选址和设计方面，原则上储存设施不应建在任何可能敏感的地点。敏感地点包括河漫滩、湿地、地下水、地震多发区、喀斯特地形区域、不稳定地形区域和气候状况不利且与土地使用不协调的区域，以防止汞排放和可能接触人类和环境的风险。然而，这种地点限制可能不适用于技术设计和法律要求对储存设施进行环境无害化管理的情况。储存区域设计时应确保设施的安全，并确保设施不会与汞产生不必要的物理或化学反应。储存设施的地板上应涂有抗汞材料，防止意外泄露和溢出的汞出现渗流和渗透。储存设施应装有火灾预警和灭火系统，并应是负压环境，防止汞排放逃逸至建筑物外部。储存区域的温度应在可行的情况下尽可能地降低，最好维持在 21 摄氏度的恒温。汞废物的储存区域应有明显的警告标志（粮农组织，1985 年；美国环保局，1997 年 b；环境署，2015 年 c；美国能源部，2009 年）。

159. 在具体操作方面，储存设施应上锁，以防止盗窃和非法进入。只有在识别汞废物类型、了解汞的特殊危害和此类废物的处理方式等方面接受充分培训的人员方可接触汞废物。建议所有类型的汞废物的储存场所均不应储存其他液体废物或材料。应编写储存在储存场地的废物完整清单，并在加入或移除其他废

<sup>34</sup> 材料应当储存在室外，因为很多常用的容器（如塑料袋）会渗透汞蒸气。见缅甸州环保局，2008 年。

<sup>35</sup> 联合国开发计划署（全球环境基金全球卫生保健废物项目），有关医疗设施中汞废物的清理、临时或立即储存和运输指南。可参阅：  
<http://www.gefmedwaste.org/guidance-documents>。

物后及时更新清单。应定期检查储存场所，着重关注破损、泄露、溢出和退化情况。清洁和净化工作应迅速开展，同时应通知相关政府部门，并符合国家法律和法规（粮农组织，1985年；美国环保局，1997年b）。

160. 在设施的安全方面，应针对各场地制定具体的流程，以落实储存汞废物的安全规定。应制定可行的应急计划，最好包括多项程序，并在发生意外泄露和其他紧急事件时立即实施。保护人类健康和环境不受影响是重中之重。如果发生紧急情况，应有负责人员，可在必要的情况下授权修改安全程序，以方便应急响应人员能尽快采取行动。必须确保储存地点足够安全，且能进入该区域（菲律宾共和国环境管理局，1997年；环境署，2015年c；美国能源部，2009年）。

## **(二) 储存由汞或汞化合物构成的废物的特殊考虑因素**

161. 容器应结构坚固，能够以环境无害化的方式储存由汞或汞化合物构成的废物。容器应符合以下要求：(1)容器未受之前储存的材料损害，而且不含有会与汞发生负面反应的材料；(2)容器的结构完整性未受损害；(3)容器未受太多腐蚀；以及(4)容器应有保护性质的涂层（涂料）防止发生腐蚀。汞容器的合适材料包括碳钢和不锈钢，在常温下这些不会与汞发生反应。此类容器的内部表面无需保护性涂层，但前提是要存储的汞符合纯度要求，而且容器中没有水。所有碳钢容器的外部表面都应有保护性涂层（如环氧树脂涂料和电镀），这样钢不会暴露在空气里。涂层应尽量避免涂料起泡、脱皮和开裂。每个容器上都应标出汞废物的供应商名称、废物的来源地、容器编号、毛重、放入汞的日期，并应贴有表明容器含有腐蚀性材料的“腐蚀”标签（美国能源部，2009年）。此外，标签上还应注明容器是否符合相关技术要求（关于密封度、压力稳定性、抗冲击能力、受热反应）。

162. 储存由汞或汞化合物构成的废物的容器不能直接放在地上，应向上放置于地上的货盘上。储存区域的走道应足够宽敞，方便检查人员、装卸机器和应急设备通行。存储设施的地面应涂有环氧树脂基涂层并轻度着色以方便检测液体汞。需定期检查地面和地面涂层，以确保地面没有裂缝且涂层完好无损。地面不应嵌入任何排水沟或水管，可以利用斜坡和下接圆形出水口的敞口水槽（避免汞聚集在水槽盖下方）来帮助收集泄露物。存储设施墙壁的建筑材料应选择吸收汞蒸气的材料。很重要的一点是必须包括备用系统，防止发生汞的意外排放（美国能源部，2009年；世界氯理事会，2004年）。

163. 储存由汞或汞化合物构成的废物时，应尽可能保持该废物中汞含量的纯度，避免发生任何化学反应和容器降解的情况。建议汞含量大于重量的99.9%。有关净化技术的内容，参加下文第三节第G部分第1(b)项。

## **(三) 储存受汞或汞化合物污染的废物的特殊考虑因素**

164. 应把容器中的液体废物置放于封闭式容器或有围沿和防漏的区域。考虑到储放的物品在容器中占据的空间，液体容器的最大容积至少应是所储存的液体废物总量的125%。

165. 应把固体废物储放在密封容器中，如置放于木桶或圆桶、钢废物容器存储器或专门设计的不会排放汞蒸气的容器中。

## G. 环境无害化处置

166. 根据《巴塞尔公约》附件四 A 和 B 部分的规定，以下处置作业适用于汞废物的环境无害化管理<sup>36</sup>：

- D5 特别设计的填埋场；
- D9 物理化学处理；
- D12 永久储存；
- D13 在进行 D5、D9、D12、D14 或 D15 作业之前先加以掺杂混合<sup>37</sup>；
- D14 在进行 D5、D9、D12、D13 或 D15 作业之前先重新包装；
- D15 在进行 D5、D9、D12、D13 或 D14 作业之前暂时储存；
- R4 金属和金属化合物的再回收/回收；
- R5 其他无机材料的再回收/回收；
- R8 回收催化剂组分；
- R12 交换废物<sup>38</sup>，以便进行 R4、R5、R8 或 R13 的作业；

167. R13 积累 R4、R5、R8 或 R12 作业所用的物质。此外，可在地下设施中进行回填作业，因为这样能充分利用废物自身的结构特性，地下设施中废物的利用可保障采矿安全。<sup>39</sup> 例如，在德国，该流程受《关于地下废物存储的政令》（[http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/underground\\_waste\\_stowage.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/underground_waste_stowage.pdf)）的管制，其中规定的要求同欧盟委员会 1999 年 4 月 26 日通过的关于垃圾填埋的 1999/31/EC 指令一致，包括特别许可程序和监督。

168. 如果第三节第 G 部分第 1 项描述的回收流程已经开展，而且汞随后被送到经过特别设计的填埋场或永久存储场（即 D5 或 D12 作业），则回收流程将归在 D13 和 D9（即搅拌或混合，或物理化学处理）下。另一方面，如果第三节第 G 部分第 2 项描述的不会导致对汞或汞化合物进行回收的流程（如稳定化）已经开始，而且汞废物随后开始进行上述第 166 段描述的“R”作业，则该流程将归在“R”作业下。这两种结论可能并不适用于所有国家。

<sup>36</sup> 第三节第 F 部分第 6 项提供了有关待处置储存作业（R13 和 D15 作业）的资料。

<sup>37</sup> 包括各种预处理，如分拣、碾压、烘干、粉碎、整修或分离。

<sup>38</sup> 废物交换包括预处理作业，除非其他的 R 型作业适用。

<sup>39</sup> 目前仅德国可回填由含汞废物稳定化后产生的硫化汞。

## 1. 回收作业

169. 如图 5 所示，从固体废物中回收汞一般需经过：(1)预处理，(2)热处理，以及(3)净化，如下图 5 所示。为了尽可能降低汞回收过程中的排放，处理设施必须使用密闭系统。整个过程必须在减压环境下进行，以防止汞蒸气释放到处理区域（Tanel, 1998 年）。回收过程中排放的少量空气会通过一系列微粒过滤器和碳床，在这些空气排放到环境中之前吸收汞。

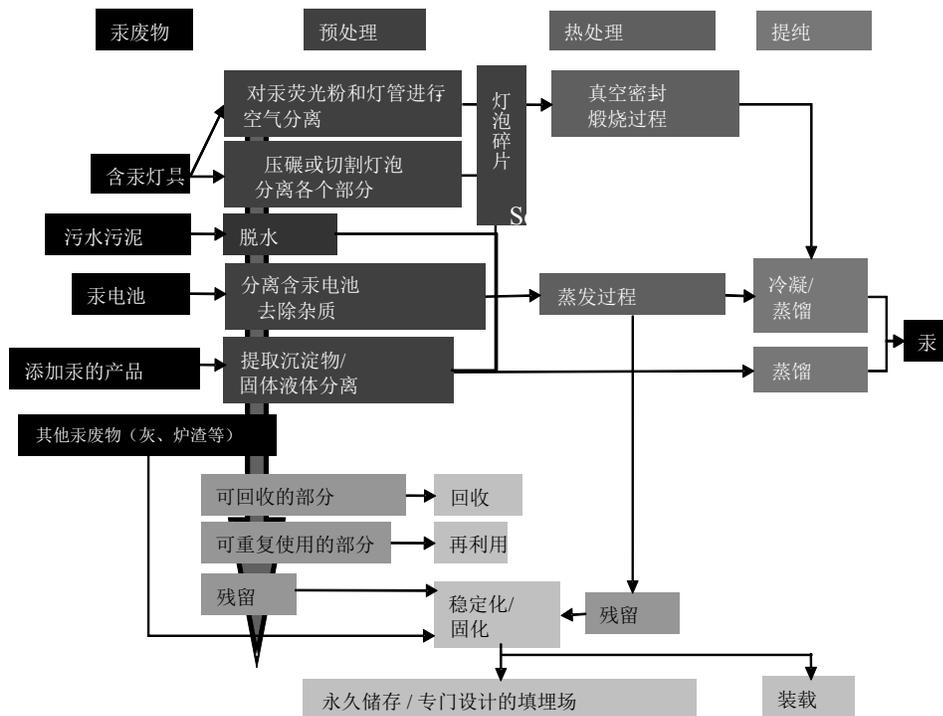
170. 汞废物回收可产生汞排放的示例包括：添加汞的、在受损时易将汞排放到环境中的废弃设备，以及受高浓度汞污染的废物。前者包括含汞测量设备（温度计、血压计和压力计）以及汞开关和继电器等，也可能包括添加汞的灯具。后者包括有色金属熔炉洗涤器的废水处理污泥。美国已制定处理和回收含汞危险废物的具体标准，包括对汞含量大于或等于 260 毫克/千克的废物在进行土地填埋前先进行汞回收（参见美国联邦法规，标题 40（保护环境），268.40 节：处理标准的适用性）。

171. 《巴塞尔公约关于对金属和金属化合物实行环境无害化的再循环与回收的技术准则》（R4）着重关注金属和金属化合物的环境无害化再循环及回收，包括列在公约附件一（“受管制的废物类别”）的汞。可以在具备先进汞回收技术的特殊设施中回收汞废物，尤其是由汞或汞化合物构成的废物。必须指出回收时应遵循适当流程，以防止汞排放到环境中。此外，若回收的汞能被重新利用，则可将其在国际商品市场中出售。是否回收汞<sup>40</sup>主要取决于允许用途的范围，以及商业评价认为金属能否被回收并获利。

---

<sup>40</sup> 参见《水俣公约》第 11 条第 3(b)款。此外，注意到该公约第 3 条第 5(b)款要求不得对氯碱设施退役过程中出现的过量的汞（而不是汞废物）进行回收。

图 5：固体废物中的汞回收流程图（野村兴产株式会社，2007 年）



172. 从废水中回收汞主要是通过化学氧化、化学沉淀或吸附以及各种后续处理程序实现的。温度计、牙医汞合金或使用汞或汞化合物的工业流程中的汞被有意或无意排放至污水中。污水中的汞还有可能来自湿式空气污染控制设备和垃圾填埋和倾倒地场的沥出物，正是在这些场地包括汞温度计在内的含汞废物得到处置或倾倒地。不应将污水中含的汞排放至水生环境中，因为汞会甲基化为甲基汞，并在食物链中产生生物累积和生物放大作用。

173. 汞再循环/再利用之前进行的预处理（R4 作业）被归类在 R12 作业下（参见上述第 166 段），而煅烧、净化、化学氧化/沉淀和吸附则属于 R4 作业。

**(a) 预处理（交换提交进行 R4 或 R13 作业的废物）**

174. 在进行热处理前，会对含汞废物或受汞污染的废物进行处理，以提高热处理的效率。预处理进程除其他外包括通过压碾和空气分离移除含汞材料之外的材料，对污泥进行脱水，以及去除杂质。下表 5 按汞废物类别分类列出了一些预处理作业的示例。

表 5：按废物类型分列的预处理作业示例

废物类型	预处理
荧光灯	<p><b>机械压碾</b></p> <p>在机器中处理添加汞的灯泡废物时，必须按材料类型将灯泡压碾和分解成三个部分：玻璃、端帽、汞和荧光剂的粉末混合物。同时会将灯泡放置在密封的压碾和筛分容器。完成后，容器会自动移除终端产品，以防止交叉污染。端帽和玻璃可在制造业中获得重新利用。但是，应将端帽的金属针移除并进行单独处理，因为其可能含有大量的汞。可以处理汞和荧光剂的粉末，或开展进一步处理以分离汞和荧光剂（野村兴产株式会社，2007年）。</p> <p>压碾的添加汞的灯泡中的玻璃可能含有大量的汞，必须进行热处理或以其他方式进行处理，以移除其中所含的汞，之后才能进行回收（Jang，2005年）或处置。如果玻璃回收的过程中需进行重熔，则重熔装置必须包含空气污染控制设施，专门收集释放的汞（如注入活性炭）。</p> <p>在整个流程中，高性能的废气系统应能防止汞蒸气或灰尘排放到空气中。</p> <p><b>空气分离</b></p> <p>荧光灯的铝端帽（直管、弯管和紧凑型管）是用氢燃烧器切割的。空气从底端进入切割后的荧光灯，可以移除灯具玻璃上吸附的汞和荧光剂（Jang，2005年）。汞和荧光剂被收集在沉淀器中，而玻璃压碾后会用酸清洗，这样玻璃上附着的汞和荧光剂就能完全清理干净。此外，端帽压碾后经过磁选被分解成铝、铁和塑料，方便进行回收利用（神钢环境舒立净股份有限公司，2001年；Ogaki，2004年）。</p>
添加汞的电池	<p><b>去除杂质</b></p> <p>为了从添加汞的电池中回收汞，电池应单独进行收集，并在处理和循环利用前将其储存在适当容器中。如果添加汞的电池与其他类型的电池或废弃电器和电子设备一起收集，则应当将添加汞的电池与其他类型的电池区分开来。进行煅烧处理前，应先移除添加汞的电池中混合和吸附的杂质，可通过机械程序实现这一目标。此外，为有效地开展煅烧程序，必须对添加汞的电池的大小进行机械筛选（野村兴产株式会社，2007年）。</p>
水处理污泥	<p><b>脱水</b></p> <p>水处理污泥中含水量很高（大于 95%）。因此受汞污染的污泥进行热处理前，必须先进行脱水，成为 20%-35%的固体。脱水完成后，将对水处理污泥进行煅烧（野村兴产株式会社，2007年；美国环保局，1997年 a）。提取出的水可能要作为汞废物进行管理。</p>
添加元素汞的废物	<p><b>提炼</b></p> <p>收集添加汞的产品的废物（如温度计和气压计）时尽可能不发生任何损坏。收集添加汞的产品的废物后，应提炼产品中的汞，并进行蒸馏，以在低压环境下对元素汞进行净化。</p>
设备上附着的含汞废物	<p><b>拆解</b></p> <p>含汞废物（如电子开关和继电器）常常附着在电子设备上。因此，在不损坏设备的外部玻璃的条件下，将此类废物从电子设备上移除。</p> <p>采用平板液晶显示器的电脑显示器和电视内设有一个或多个小型照明灯泡，这些灯泡通常位于显示屏的外缘。尽管新技术有时会采用发光二极管代替这些小灯泡，但多数液晶显示器仍使用荧光汞蒸气灯泡。这些汞</p>

废物类型	预处理
	灯泡在搬运和机械处理的过程中经常发生破裂，破裂之后会释放汞蒸气，因此应由人工谨慎清除 <sup>41</sup> ，不应采用机械方式进行切碎等处理，除非切碎机配有必要的污染控制设备可以管理作业中释放的汞并获得许可允许从事该项作业，例如汞处理厂。欲了解详细信息，请参见巴塞尔公约计算机设备行动伙伴关系第 7.3 节：关于报废计算机设备的环境无害化材料回收和循环利用准则（文件 UNEP/CHW.10/INF/23）。关于液晶显示器背光灯泡中汞的进一步资料可参阅“平板显示器回收技术示范”，废物资源行动方案的 2010 年研究报告（可参阅： <a href="http://www.wrap.org.uk">http://www.wrap.org.uk</a> ）。

## (b) 汞或汞化合物的再循环与回收

### (一) 热处理

175. 含汞或受汞或汞化合物污染的废物（如水处理污泥、受污染的土壤和受污染场地的其他废物）的热处理设施需装备汞蒸气收集技术来回收汞（国际锡研究委员会，1998 年；Chang 和 Yen，2006 年）。

176. 热解吸这一过程是指利用直接或间接的热交换，对有机污染物进行高温加热，使其从受污染的固体物质中挥发和分解出来，进而进行收集或销毁。如果应用于汞及其化合物，则建议进行间接热解吸后再收集汞。空气、燃气或惰性气体将充当蒸发化合物的转移介质。热解吸系统使用的是物理分解过程，会将污染物从一个阶段转移至另一个阶段。热解吸系统有两个主要部件，即解吸塔和尾气处理/回收系统。<sup>42</sup>

177. 处理汞废物的蒸发过程包括：回转窑蒸馏和真空热加工。

178. 回转窑蒸馏可以清除和回收废物中的汞，例如可以通过蒸发和回收不含汞产品（如玻璃、铁、有色金属和沸石）来回收矿产工业泥浆、天然气运动产生的泥浆、活性炭、催化剂、纽扣电池和受污染的土壤中的汞。处理过程中将去掉各种污染物、碳氢化合物及硫磺。

179. 回转窑蒸馏处理过程中，废物应能自由移动，通过计量系统的添加漏斗将废物均匀加入回转窑。处理废物时的温度高达 800°C，初始温度应高于 365°C，使废物中的汞蒸发。加入的废物会在回转窑中均衡地移动。废物在回转窑中停留的时间取决于放置在其中的材料，但通常为 30 分钟到 90 分钟。处理在低压环境下进行，以确保系统能安全地运作。必要的情况下会在回转窑中注入氮气，创造惰性环境，确保高度安全。回转窑中的废气将通过热气灰尘过滤器流至两个气体洗涤器，其中会对汞、水和碳氢化合物进行压缩。随后废气会被注入活性炭过滤系统，以进行最后的清理工作。<sup>43</sup>

<sup>41</sup> 参见第三节 J 部分的工人安全预防。

<sup>42</sup> 处理含汞废物的首个大型热解吸设施是为了整改德国 Wölsau 的马克特雷德维茨化学品工厂。作业从 1993 年 10 月开始，包含第一个优化阶段。1993 年 8 月和 1996 年 6 月间成功处理了 5 万吨受汞污染的固体废物。还利用热解吸设备净化捷克共和国拉贝河畔乌斯季陈旧氯碱工厂和净化台北的土壤（Chang 和 Yen，2006 年）。

<sup>43</sup> 参见 <http://www.nqr-online.de/index.php?id=17348&L=1>。

180. 预处理后的废物，例如荧光灯中的汞和荧光剂粉末、压碾的灯泡玻璃、清洁的添加汞的电池、脱水后的水处理污泥以及筛过的土壤，可以在煅烧/蒸馏设施中进行处理，这些设施都有可以回收汞的汞蒸气收集技术。但是必须指出，包括汞和有机物质（包括持久性有机污染物）在内的挥发性金属会在煅烧和其他热处理时产生排放，投入的废物会转变为废气和飞灰。因此必须使用废气处理设施，以捕捉挥发的污染物并防止这些污染物被排放到环境中（参见下文第三节第 H 部分第 1 项）。

181. 真空热加工工艺可以处理温度计、电池（特别是纽扣电池）、牙科汞合金、电器开关和整流器、荧光粉、排气管、压碎的玻璃、土壤、污泥、采矿残留物和催化剂材料等。真空热加工工艺主要包括以下阶段：

(a) 加热放置在特制窑或装料作业中的废物，直到温度达到 340°C 至 650°C 之间，气压达到数毫巴，以蒸发废物中的汞；

(b) 在 800°C 至 1000°C 高温中对含汞蒸气进行热后期处理，这将破坏其中的有机成分；

(c) 收集并冷却含汞的蒸气；

(d) 进行蒸馏，直到产生纯液态汞。

182. 经过真空热加工后的残留物基本上不含汞，可根据其成分进行回收或处置<sup>44</sup>。

## （二） 化学氧化

183. 对废物中的汞和有机汞化合物进行化学氧化处理的主要目的是将汞转化为汞盐，以及破坏有机汞化合物。化学氧化可以有效地处理含汞或受汞污染的液体和水溶性废物，如处理泥浆和尾矿。使用的氧化剂包括次氯酸钠、臭氧、过氧化氢、二氧化氯和游离氯（气）。化学氧化可持续开展，也可在混合槽或塞流反应器中分批进行。会将氧化过程中形成的汞卤化物化合物从废物中分离出来，进行处理并接受酸沥滤和沉淀等后续处理（美国环保局，2007 年 a）。

## （三） 化学沉淀

184. 沉淀主要是使用化学品将易溶解的污染物转换为不能溶解的固体，随后可通过絮凝或过滤得到沉淀或去除。共同沉淀中，目标污染物可能处于溶解、胶质或悬浮状态。溶解的污染物不会沉淀，但会吸附在其他随后沉淀的物质上。胶质或悬浮状态的污染物会与其他沉淀物质融合在一起，或者可通过凝固和絮凝等程序将其去除。去除废水中的汞可通过沉淀和共同沉淀实现。随后将通过净化或过滤去除液体阶段的沉淀/共同沉淀的固体。可从名为“土壤、废物和水中的汞处理技术”报告中了解更多详细信息（美国环保局，2007 年 b）。

<sup>44</sup> 参见 [www.gmr-leipzig.de/gbverfahren.htm](http://www.gmr-leipzig.de/gbverfahren.htm).

#### (四) 吸附处理

185. 吸附材料可通过多种类型的化学作用将汞吸附在表面，其中包括氢键、偶极相互作用以及范德华引力。吸附能力受表面积、孔隙大小和表面化学物的影响。吸附材料通常装在圆柱体中，汞或汞化合物穿过该圆柱体被作为液体废物吸收。如果吸附场所已满，则该圆柱体必须用新介质生成或取代（美国环保局，2007年b）。使用后的吸附材料属于汞废物。

186. 吸附材料包括活性碳和沸石。活性碳是一种碳材料，有多个相互连接的开口，通常有木质（椰子壳和锯屑）、油基或煤状基质。根据形状可以将其分类为粉末状的活性碳和颗粒状的活性碳。市场上有多种活性炭产品可供使用，每种材料都有不同的特点。活性碳可以吸收汞、其他重金属和有机物质（Bansal, 2005年）。沸石是自然生成的硅酸盐矿物，同时也能人工生产。沸石，尤其是斜发沸石，对重金属离子有很强的吸附能力，它的吸附机制是离子交换式的（Chojnacki 等人，2004年）。实践证明离子交换树脂有助于去除河流中的汞，尤其是浓度在1-10微克/升之间。通常利用离子交换应用来处理废水中的汞盐，如氯化汞。离子交换过程包括将合成树脂或矿物树脂等介质加入溶液中，这样加入的金属离子就会转化为介质。阴离子交换树脂可以利用强酸溶液生成，但由于汞盐未得到高度电离且未能从树脂中快速净化出来，因此，要这样生成树脂还是非常困难。因此这种树脂必须进行处置。此外，有机汞化合物不会电离，所以无法使用传统的离子交换技术将其去除。如果使用了备选的树脂，则吸附过程往往是不可逆的，这种情况下树脂应作为危险废物在处置设施中得到处理，而不是进行回收（Amuda, 2010年）。

187. 螯合树脂也是一种离子交换树脂，主要作用是作为聚合物选择性地捕捉和去除溶液中的离子，包括多种金属离子。它是由三维网结构的聚合物组成，其功能小组可以与金属离子发生螯合作用。聚苯乙烯是最常用的螯合树脂，其后是酚醛塑料和环氧树脂。螯合树脂主要用来处理电镀废水，去除其中的汞以及沉降物凝固和中和后残余的其他重金属，或是通过在金属离子浓度较低的废水中形成吸附作用来收集金属离子。汞吸附的螯合树脂可以有效地吸收废水中的汞（Chiarle, 2000年）。

#### (五) 汞的蒸馏——净化

188. 完成废物处理后，收集好的汞将通过蒸馏进行净化（美国环保局，2000年）。经过多次蒸馏，每次蒸馏均可产生更高纯度的汞，最后可以产生高纯度的汞。汞的很多用途中都需要使用高纯度的汞，此外，如要将汞储存多年，高浓度有助于阻止容器和杂质之间的化学反应。

#### 2. 不进行汞或汞化合物回收的作业

189. 在按照 D5 和 D12 操作处置汞废物前，应先对这些废物进行处理，以使其满足处置设施的要求（参见下文第三节第 G 部分第 2(b)项和(c)项的内容）。由汞或汞化合物构成的废物在最终处置前应先进行稳定化和/或固化，最终处置应依照国家和地方法律法规进行。应注意到，大量的最终处置方法正在发展之中，如第 198-203 段所述的方法。开展 D5 和 D12 作业前进行的处理作业属于 D9 作业（参加下文第三节第 G 部分第 2(a)项的内容）。

**(a) 物理和化学处理****(一) 稳定化和固化**

190. 稳定化进程中产生的化学反应可能会通过降低废物组成成分的移动性和有时会改变废物成分的毒性，来改变废物的危险特性。固化进程只会利用添加剂改变废物的物理形态（如从液态转变为固态），而不会改变废物的化学特性（欧盟委员会，2003年）。固化和稳定化适用于由汞或汞化合物构成的废物，以及受汞污染的废物，例如土壤、污泥、灰尘和液体。它可以通过在稳定集群中将物质结合起来或是减少可能降低溶解度和挥发性的化学反应，或是结合这两种方式，降低废物介质中污染物的移动性（美国环保局 2007年 b）。

191. 在美国，仅对低浓度的汞废物（如，汞含量低于 260 毫克/千克的废物）进行稳定化，之后这些废物可能被填埋处理。稳定化引发稳定剂和污染物之间的化学反应，以减少污染物的移动性。

192. 固化包括将污染物物理结合或封闭在稳定的群集。如果废物中存在汞之外的液体，固化主要用于压缩或吸收废物，将其形成固体材料。废物可通过两种方式进行压缩：微型封装和宏型封装。前者是指固化前将废物与包装材料混合在一起；后者是指将包装材料倒至废物周围，形成一个固块（美国环保局，2007年 b）。

193. 一般而言，固化程序包括将土壤或废物与粘合剂混合起来。粘合剂包括波特兰水泥、硫磺聚合物水泥、硫化物或磷酸盐粘结剂、水泥窑灰、聚酯树脂或聚硅氧烷化合物，可用其生成泥浆、浆糊、或其他半液体类的物质，以便最终形成固体状态（美国环保局，2007年 b）。

194. 固化过程可使用以下两种化学品方式处理汞废物（Hagemann，2009年）：

- (a) 化学转换为硫化汞；和
- (b) 汞齐化（使用适当的金属形成固体合金）。

195. 两种方法中，如果硫化汞转化率（起反应的汞所占的比率）接近 100%，则汞的挥发和浸出能被降低到一个可接受的水平。如果不能达到足够高的比率，则汞的挥发和浸出可能会很高，汞合金就是这种情况（Mattus，1999年）。

196. 尽管由汞构成的废物的稳定化和固化的适当技术能减少汞对环境的排放，但这些技术的长期效果并没有得到充分的研究。因此，收集和分析关于这些效果的信息和数据是有必要的。

**硫化汞的稳定化**

197. 稳定化最重要也研究最透彻的一种方法是将汞转化为硫化汞，硫化汞的溶解度远低于大多数汞化合物且挥发性相对较低，因此在环境中更不易移动。可将含汞的废物与元素硫或其他含硫物质混合起来，以形成硫化汞。硫化汞的生产可产生两种类型的物质： $\alpha$ -硫化汞（辰砂）和  $\beta$ -硫化汞（黑辰砂）。与纯的黑辰砂（黑色）相比，纯的辰砂（朱红色）的水溶性较低。硫化汞粉末的密度为 2.5-3 克/立方厘米。

198. 硫化汞生产是将汞和硫在适当的条件下混合一段时间。开始反应阶段需要一些活化能，可通过强有力的搅拌混合物来提供。另外，生产过程中较高的切变率和温度可以支持产生辰砂，而较长的反应时间可支持生成黑辰砂。在有氧条件下长期充分碾磨可以生成氧化汞。与硫化汞相比，氧化汞的水溶性更高，因此应避免在惰性大气环境中或通过添加抗氧化剂（如硫化钠）来生成氧化汞。由于汞和硫之间的反应会发热，因此惰性气体环境可确保安全操作。转变过程进展很快，很容易操作，但**需要**严格控制，以防止汞在转换过程中的挥发性损失。此外，应测试处理残渣，确保硫汞化物转变完成。

199. 汞和硫在气相中的反应也可形成硫化汞。在高温高压的密封容器内，硫和汞的反应也可以形成  $\alpha$  朱砂形式的硫化汞（美国专利：US 7691361 B1，2010年4月10日）。美国正在开发该工艺，还还未有商业应用。

200. 硫化汞极难溶于水且挥发性极低。尽管化学性质非常稳定，不易产生反应，但若长时间暴露在外环境条件下，会转化为其他汞化合物。为保持硫化汞形式，可能需要对硫化汞进行封装与环境隔离开来，在特别设计的填埋场进行处置，或进行永久地下储存，以确保不会转变为其他汞化合物。此外，沥滤液中溶解的有机物质和高浓度氯化物会增加硫化汞的汞排放（Waples 等人，2005年；科学应用国际公司，2002年），因此将汞作为硫化汞处理时不应接触水和其他类型的废物，特别是那些含有机物质和氯化物的废物。此外，由于酸性矿排水系统中以铁氧化菌和硫氧化菌为主的微生物与黑辰砂（ $\beta$ -硫化汞）接触会增加溶解的汞浓度（Jew 等人，2014年），因此将元素汞作为硫化汞处理时可能需要排除或至少抑制这些微生物在特别设计的填埋场或永久地下储存设施中的影响。

201. 作为一种粉状物质，硫化汞的处理应在特定条件下进行，包括稳定化，以避免如灰尘扩散的风险。与汞相比，这种稳定化程序将使体积增加近三倍，并使分子重量增加近 16%。近期一项研究表明，洗脱液的酸碱度值超过 10 时，硫化汞释放的汞将会增加，因此硫化汞的固化应使用碱含量较低的材料（Mizutani 等人，2010年）。

202. 已使用硫对含汞的废物进行大规模稳定化处理，进而形成硫化汞<sup>45</sup>。这一进程在惰性真空环境下在真空搅拌器内部进行，确保安全操作和良好的流程控制。搅拌器分批运作。灰尘过滤器和活性炭过滤器防止从厂房挥发。汞和硫之间的反应是依照化学计量比率进行的。终端产品包括红色的硫化汞。终端产品在 350°C 的高温下可以保持热学稳定。

### 硫磺聚合物稳定化/固化<sup>46, 47</sup>

203. 硫磺聚合物稳定化工艺<sup>48</sup>是在硫磺稳定化基础上增加的一个固化步骤，由于最终产品是独石形态，表面积较小，因此汞蒸发和沥滤的可能性很低。这一

<sup>45</sup> 参见 <http://www.nqr-online.de/index.php?id=17348&L=1>.

<sup>46</sup> 本节包括（西班牙）水银去污染技术中心所提供的信息。更多信息可联系 [info@ctndm.es](mailto:info@ctndm.es) 或查看 <http://www.ctndm.es> 网站。

<sup>47</sup> 美国试验与材料学会第 C1159-98 号文件对硫磺聚合物水泥做出了标准定义。

工艺由两个步骤构成：第一步将元素汞用硫进行稳定化处理，形成 $\beta$ -硫化汞（黑辰砂灰尘：López 等人，2010 年；López-Delgado 等人，2012 年）；第二步，硫化汞在 135 摄氏度的温度下被压缩加入到含硫聚合物基体中，这一步骤增加了对汞的屏蔽，可防止和避免汞释放到环境中，通过减少硫化汞与环境的接触，最大程度地降低硫化汞转换为其他形式的可能性。该工艺能源消耗低、汞排放量少、不使用水、不产生污水，也不产生其他废物。应建立控制系统，防止和避免可能发生的汞排放，并确保工人安全和环境的安全，包括采取工程控制措施以防止可能发生的燃烧或爆炸。

204. 此工艺可实现在独石中保留相对较高的汞含量（约 70%）。该工艺效果显著，操作相对简单，其最终产品极难溶于水、对腐蚀性环境具有较强抵抗力、可抵御冻融循环并具有较高的机械强度。该技术可直接应用于任何纯度的汞废物，无需提前蒸馏，也可在未经任何预处理的情况下直接应用于多种含汞废物（López 等，2010 年；López-Delgado 等，2012 年；López 等，2015）。所有经过稳定化处理和微型封装的最终产品（来自金属汞、锌废物、铝废物、荧光灯粉末）都是紧凑型固体形态，具有与混凝土类似的稳定性和抵抗力。因此该工艺确保彻底消除汞的移动性，并且孔隙率极低，无法渗透，因此最大程度地降低汞释放到环境中的风险。最终成品采用特定的坚硬独石形态，为了方便运输，可将其尺寸调整为所需要的形状。

205. 根据欧盟标准（CEN/TS 14405:2004 和 UNE-EN-12457）进行测试，独石和压碾后样本的沥滤值远低于 0.01 毫克/千克（López 等人，2014 年）。因此，所有经过稳定化处理和微型封装的最终产品均符合欧盟制定的惰性固体废物填埋场接受标准（根据第 2003/33/EC 号决定，浓度低于 0.01 毫克/千克）。

206. 类似技术的另一个示例是用改性硫磺对 $\beta$ 硫化汞做固化处理。第一步是将为 99.9%或更高的汞与硫磺粉混合，形成 $\beta$ 硫化汞；第二步是将改性硫磺与 $\beta$ 硫化汞混合一小时后，在 130 摄氏度的温度下加热一小时，利用改性硫磺对硫化汞进行固化处理。日本沥滤测试（第 13 号）的测试结果显示，经过固化处理的硫化汞沥滤值在 0.0009 至 0.0018 毫克/升之间，低于洗脱测试的标准（0.005 毫克/升）（汞废物环境无害化管理问题审议委员会，2014 年）。

#### 硫化超细水泥的稳定化和固化<sup>49</sup>

207. 使用硫化超细水泥处理汞废物是另一项固化和稳定化技术。使用该技术可得到一种固体基质，确保以氧化物、氢氧化物和硫化物等极难溶性的形式固定汞。该技术可用于商业用途，并已在汞污染水平较低（汞含量 $\leq$ 总重量的 2%）的废物中经过测试。

<sup>48</sup> 已经制定了在西班牙建立工厂以开发本项工艺的项目，并批准了建设预算；预计该工厂将在 2015 年底投入商业运营。

<sup>49</sup> 本节含有水泥国际科技有限公司提供的信息。欲了解更多信息，请联系：info@cementinternationaltechnologies.com，或登陆其网站：[http:// www.cemintech.com](http://www.cemintech.com) 进行咨询。

208. 一旦待处理的受污染材料经过定性，则可确定适合应用这一技术的超细水泥的数量和种类。超细水泥须具备如下特质以使受污染材料中含有的汞充分稳定化和微囊化：

- (a) 应为无机物，所有颗粒都小于一定尺寸（几微米）；
- (b) 应含有汞稳定成分，如碱硫化物；
- (c) 应具有非常好的机械性能，以避免汞的蒸发和沥滤；
- (d) 高炉矿渣比例应超过 60%，波特兰水泥熟料中铝酸三钙成分低于 3%，碱成分低于 0.6%。

209. 处理流程包括将受汞污染废物与确定的硫化超细水泥和水混合；然后将混合物排放入所需模具中，在防水防漏区域待其成熟 24 至 48 小时。最终产品可呈不同的形态：建议将暴露面较少、呈大立方块等形态的产品用于受污染最严重的废物。

210. 该技术已经过测试，包括对从西班牙塔拉戈纳省弗利克斯大坝受污染的污泥中挖掘出的含汞废物进行测试。最终产品应确保高强度和耐久性，能够安全处理和运输。根据 EN 12457-4（欧洲标准化委员会（2002 年 a））标准进行实验，液固质量比为 10:1 得出的沥滤值小于 0,003 毫克/千克，远低于欧盟规定的惰性固体废物垃圾填埋场接受标准（根据第 2003/33/EC 号决定，浓度<0.01 毫克/千克）。最终产品为惰性产品，具有高强度和耐久性，能够进行安全机械处理和运输。

## 汞齐化

211. 汞齐化是指汞在铜、镍、锌和锡等其他金属中溶解和固化，从而产生固体的、非挥发性的产品。这是固化技术中的一个分支。有两种通用的废物汞齐化工艺：水相置换和非水相置换。水相置换工艺把锌或铜等贱金属切成碎粉状，并将其与含溶解汞盐的废水混合在一起；贱金属把汞盐和亚汞盐降解为汞，而汞则在金属中溶解并形成一种固态的汞金属合金，称汞合金。非水相工艺把切成碎粉状的金属与汞废弃物混合在一起，形成一种固化的汞合金。水相置换工艺适用于汞盐和汞，而非水相置换工艺则只适用于汞。然而，其所产生的汞合金中的汞容易挥发和沥滤。因此，汞齐化通常与封装技术结合使用，尽管基于可能的挥发和沥滤的考虑，不宜将其作为处理汞废物的首选方案（美国环保局，2007 年 b）。

## （二） 土壤淋洗和酸提取

212. 土壤淋洗是对受汞污染的土壤和沉积物进行离体处理的一种方法。它是一项基于水的工艺，结合物理颗粒度分离和水基化学分离两种手段来减少土壤中的污染物浓度。该工艺基于一种理念，即大部分污染物容易与体积较小的土壤颗粒（粘土和泥沙）结合，而非较大的颗粒（沙粒和砾石）。物理方法可用于把相对较干净的较大颗粒与较小颗粒分离开来，因为较小颗粒会通过物理过程（压缩和粘着）附着于较大颗粒上。因此该工艺能把与较小颗粒结合的污染物集中起来，以供进一步处理。酸提取也是一项离体技术，通过采用盐酸或硫酸

等提取化学品使污染物溶解于酸中，然后从固体基质中提取污染物。采用水相电解等技术在酸沥滤溶液中回收金属污染物。详细信息参见名为“土壤、废物和水中的汞处理技术”的报告（美国环保局，2007年b）。

## (b) 在特别设计的填埋场中的处置

213. 受汞或汞化合物污染的废物若符合国家或地方条例所规定的特别设计的填埋场接受标准，则可以在受控的填埋场中进行处置。

214. 由汞或汞化合物组成的废物的稳定化和固化所产生的含汞或汞化合物的废物<sup>50</sup>，若符合国家或地方条例所规定的经过特别设计的填埋场接受标准，则可以进入这种填埋场进行处置。填埋场应额外采取各种措施最大限度地减轻汞的释放和汞的甲基化，如通过防止雨水和地下水流入，禁止填埋场地不同类型废物的混合，保存关于废物量和填埋区域的记录，渗滤液的收集，以及对填埋场地的汞和甲基汞排放到如空气和地下水中情况进行长期监测

215. 若干主管部门已为受汞或汞化合物污染的废物的填埋界定了接受标准。根据欧盟的法律，非危险废物填埋场和危险废物填埋场分别只可以接受含沥滤限值为0.2毫克汞/千克干物质和2毫克汞/千克干物质且液固比为10升/千克的废物。根据美国汞废物处理条例，只可处理和填埋汞浓度低的废物（汞浓度高的废物需经返回供进行汞回收）。（根据毒性特征沥滤程序测试）经处理的汞废物的汞沥滤浓度必须低于0.025毫克/升方可进行填埋处置。根据日本法律，经处理的废物的汞浓度低于或等于0.005毫克/升（沥滤试验方法：日本标准化沥滤试验第13号(JLT-13)（第13号环境省通知）），可在工业废物填埋场（渗滤液控制型）进行处置，若汞浓度高于0.005毫克/升，应在危险工业废物填埋场（隔离型）进行处置（见图6）（日本环境省，2007年b）。此外，部分国家严禁在填埋场处置特定的汞废物。

216. 由汞或汞化合物组成的废物的稳定化和固化所产生的含汞或汞化合物的废物，在受控的填埋场中进行处置时，应对稳定化/固化的组合以及这些废物的最终处置方法予以特别考量。硫化汞在火灾温度时能被热分解，也能在250-300°C时被空气中的氧氧化为气态汞和二氧化硫。长期来看，填埋场的密封表面可能会渗入空气。硫化汞可以接触到大气中的氧气，被氧化为汞和硫酸盐。特定地球化学条件下可能形成甲基汞。气态汞和甲基汞都能通过气路（填埋气体）离开填埋场（德国联邦环境局，2014年）。

217. 除了防止火宅，稳定化和固化汞或汞化合物组成的废物的方法、以及填埋场的结构和密封，应与前述机制相对应，确保处置废物中的汞的释放被最小化。

218. 作为汞组成的废物的处置方法的一个选择，日本已经确定了特殊处理和能结合处置这种废物的填埋场类型，即：1) 汞被稳定化为硫化汞，然后固化（如，通过使用第206段所述的改性硫磺）并在渗滤液控制型的工业废物填埋场进行处置，采取额外措施最大限度地减轻汞的排放和甲基化，如通过防止雨水和地下水流入，禁止填埋场中各种类型废物的混合，保存关于废物量和填埋区域的

<sup>50</sup> 汞添加的产品的废物应以除去或回收汞的方式处理。该处理会产生由汞或汞化合物构成的废物，或是被汞或汞化合物污染的废物。

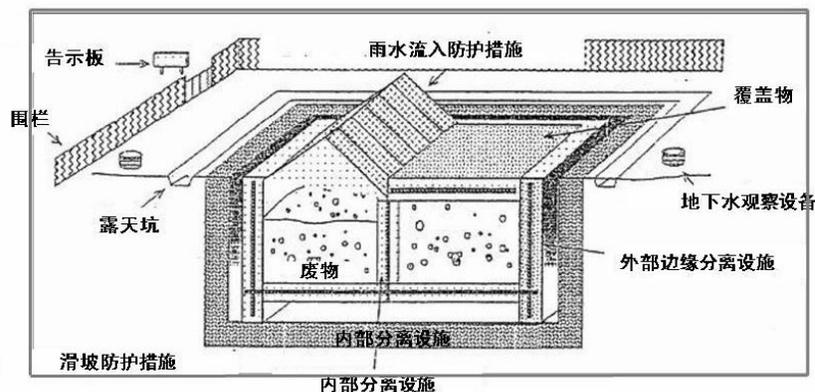
记录；以及 2) 汞被稳定化为硫化汞，经过固化并在隔离型的工业危险废物填埋场进行处置(参见图 6)。这种组合方法的更进一步规范需要更多经验与学习(日本环境省，2015 年)。

219. 特别设计的填埋场是一种处置固体废物的环境无害化系统，是堆放固体废物并使其彼此隔离并与环境隔离的场所。填埋操作的所有方面都应得到控制，以确保在填埋场附近居住和工作的所有人的健康和受到保护，并确保环境的安全(环境署，1995 年 b)。

220. 原则上，在一段特定时期内管控一个填埋场地使其对环境安全是可以做到的，条件是该场地合适并且有正确的预防措施和高效的管理。特别设计的填埋场应符合关于场址、设计和施工、填埋操作和监控方面的具体要求，以防止泄漏和污染环境。此外，选址、填埋设计和施工、操作和监控以及场地关闭和关闭后的维护工作等过程必须进行控制和监管(环境署，1995 年 b)。填埋许可证应包括关于可接受的废物的类型和浓度、沥滤液和气体控制和收集系统、地下水监管工作、现场安全以及场地关闭和关闭后的要求。

221. 应特别注意为了保护地下水资源免受渗入土壤的沥滤液污染而需要采取的措施。应通过在填埋操作阶段结合地理屏蔽方法和底部衬垫系统，以及在场地关闭和关闭后阶段结合地理屏蔽方法和底部衬垫系统来保护土壤、地下水和地表水。应在填埋场内安装沥滤液的排水和收集系统，在沥滤液排放到水系统之前用水泵将其抽取至地表进行处理。此外，应为填埋场的操作阶段和关闭后阶段制定监管程序，从而确定填埋场可能导致的所有负面环境影响并采取合适的补救措施。应考虑到场地、地质以及项目特有的其他因素，再作出关于填埋场发展和衬垫方法的选择。应在特别设计的填埋场的不同方面应用合适的岩土工程原则，例如岩墙、削坡、填埋单元、车道和排水结构(加拿大环境部长理事会，2006 年)例如，填埋场可以用防水和加固的混凝土封闭起来，并盖上屋顶或雨水排放系统等防止雨水流入的设备(见图 6)(日本环境省，2007 年 a)。多种衬垫系统和沥滤液控制系统在不同条件下的有效性已被证实。巴塞尔公约《关于特别设计的填埋场(D5)的技术准则》详细解释了在条件适合的情况下可纳入考虑的几个工程防护系统(环境署，1995 年 b)。

**图 6：特别设计的填埋场示例（工业危险废物填埋场（隔离型））（日本环境省，2007 年 a）**



222. 关于特别设计的填埋场的详细信息参见巴塞尔公约《关于特别设计的填埋场的技术准则》（作业 D5）（环境署，1995 年 b）。

**(c) 在永久储存（地下设施）中的处置**

223. 稳定化或固化后，符合永久储存接受标准的汞废物（处置操作 D12）可酌情永久储存在地下储存设施（如盐岩）中指定地点的特殊容器中。

224. 地下储存技术基于地矿工程，地矿工程使用采掘矿区以及建设棋盘网格式的柱状矿房的技术和方法。<sup>51</sup> 废弃的矿区经过评估和特殊调整即，可用于永久储存稳定化和固化的废物。

225. 此外，地下处置放射性废物的原则和经验可应用到汞废物的地下储存。虽然使用标准的采矿或土木工程技术来采掘一个较深的地下储存处是有可能的，但这受到多种条件限制，包括可利用的地点（例如地表以下或近岸水域）；足够稳定且没有大型地下水流的岩石单位；深度为 250 米-1,000 米。若深度超过 1,000 米，采掘工作在技术上则益发困难，成本也相应更高（世界核协会，2010 年）。

226. 关于永久地下储存汞废物的进一步详情请查阅以下出版物：

(a) 欧洲联盟，2003 年。《地下储存接收废物安全评估》，理事会 2002 年 12 月 19 日 2003/33/EC 决议附录 A，关于根据第 1999/31/EC 号指令第 16 条及附件二制定填埋场接收废物的标准和程序的决定。请参阅：

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:011:0027:0049:EN:PDF>;

(b) BiPRO，2010 年。关于处置金属汞的设施和接收标准的要求。请参阅：[http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro\\_study20100416.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf);

(c) 国际原子能机构，2009 年。地质处置放射性废物：可回收性的技术影响。请参阅：[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf);

(d) 国际原子能机构，2010 年。地质处置放射性废物：可回收性的技术影响。请参阅：[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf);

(e) 拉丁美洲及加勒比汞储存项目，2010 年。拉丁美洲及加勒比长期储存汞备选方案分析和可行性研究。请参阅：

<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/LACMercuryStorageProject/tabid/3554/language/en-US/Default.aspx>;

(f) 亚太汞储存项目，2010 年。亚洲长期储存汞备选方案分析和可行性研究。请参阅：

<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/AsiaPacificMercuryStorageProject/tabid/3552/language/en-US/Default.aspx>。

<sup>51</sup> 例如，德国在危险废物地下储存方面有具体经验。

227. 位于水文地质特征方面较为隔离的盐矿和硬岩层的地下永久储存设施是在一定的地质年代把危险废物与生物圈分离的一种备选方案。所有规划中的地下储存设施应按照相关国家法律展开因具体场地而异的风险评估，这些法律包括欧洲理事会第 2003/33/EC 号决定（欧盟，2003 年）附件中附录 A 所含的关于地下储存区域接受废物的安全性评估条款，其为填埋场接收废物建立了标准和程序。

228. 处置废物时不得出现以下情况：(a)不同废物之间或废物与储存处衬垫之间发生不应有的反应；(b)排放和运输危险物质。操作许可证应界定废物类型，各种类型大致上应并行不悖。应结合人工屏蔽和天然屏蔽（岩石、盐、粘土）来隔离废物，也被称为废物的“多层”处理方法。应定期检查和监测设施，确保容器保持安全和稳定。通常这被称为多屏蔽概念，即废物包装、受控的储存处和地质状况均发挥了屏蔽作用，以防止汞泄漏接触到人类和环境（BiPRO，2010 年；欧洲共同体，2003 年；国际原子能机构，2009 年；世界核协会，2010 年）。

229. 存储设施的布局、密封装置的类型、储存位置和条件、监测、场地的通道条件、存储关闭策略、存储设施的密封和回填以及深度等具体因素会影响汞在主岩和永久储存地层中的表现，这些因素需要与要存储的废物的性质和要使用的储存系统分开考虑。可能用于永久储存汞废物的主岩包括盐岩层和硬岩层（火成岩（例如花岗岩）、变质岩、片麻岩、沉积岩（如石灰岩或砂岩））。（BiPRO，2010 年；欧洲联盟，2003 年；国际原子能机构，2009 年；世界核协会，2010 年）。

230. 为处置汞废物选择永久地下储存场地时应注意以下几点：

(a)用于储存的洞穴或地道应与作业中的矿区以及可能重新开放的矿区完全分离；

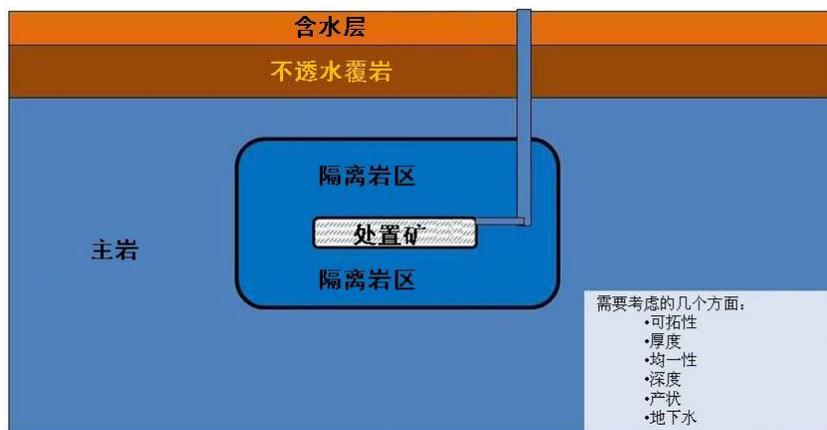
(b)洞穴或地道应位于比地下水区域更深的地质层，或位于由于被不透水岩层或粘土层阻隔而完全与含水层隔离的岩层；和

(c)洞穴或地道应位于非常稳定的且不在地震带范围内的地质层。

231. 为了确保永久储存设施能完全容纳废物，可能会受到处置操作（在地质力学和地质化学方面的）影响的处置矿场及其周边区域应由厚度、均一性、性质和深度合适的主岩（又称隔离岩区）（见图 7）包围。根据基本原则，长期风险评估应能证明地下处置设施在建设、操作和操作后阶段不会引起任何环境退化现象。因此，应使用适当的模式来分析和评估所有技术障碍（例如废物形态、回填、密封措施）；主岩和围岩、覆岩层的活动以及在整体系统中可能发生的事件次序。

232. 若所考虑的主层显示出任何缺陷（例如均一性或厚度不够），可采用多屏蔽系统来补偿主岩所缺失的或不足的屏蔽特性。普遍而言，此类多屏蔽系统由一种或多种可以实现最终目标（即持久地把储存的废物与生物圈隔离开来）的额外屏蔽部分（见表 6 和图 8）组成。

图7：完全容纳的概念（示意）（图片来源：设备和核反应堆安全协会）



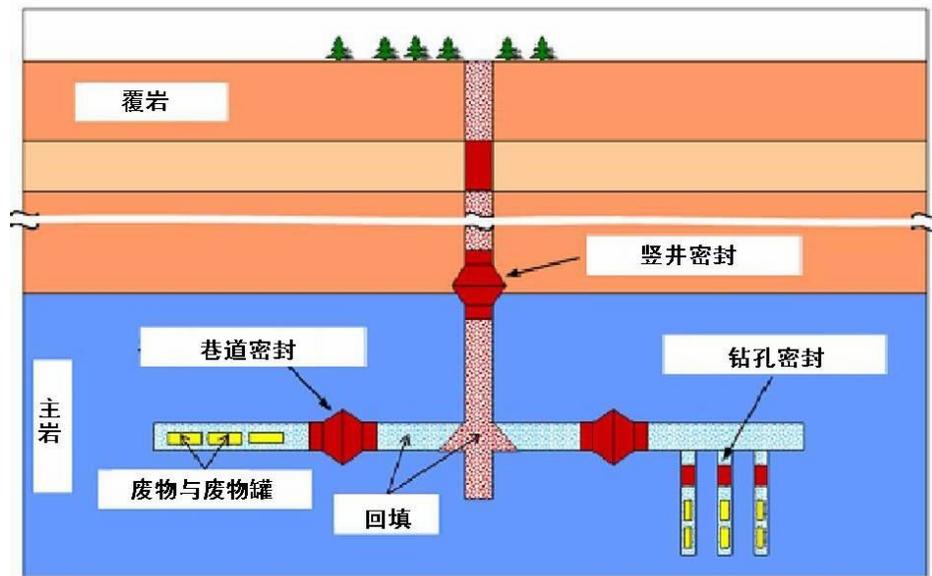
233. 应开展一项长期安全评估（见上）以确定处置系统内多屏蔽系统的需求和屏蔽组件的作用方式。例如，覆盖处置矿场的地质层（“覆岩”）可起到如下效用：

- (a) 避免覆盖层下面的主岩的特性遭到破坏；和/或
- (b) 加强对在特定情况下从处置矿场排放出去的污染物的保存能力。

表 6：多屏蔽系统的可能组成部分及其作用方式示例

屏蔽部分	作用方式示例
废物含量	减少要处理的污染物总量
废物加工	处理废物以降低污染物的可溶性
废物罐	在天然屏蔽生效之前过渡有限的一段时期
回填措施	回填矿区的空隙空间以增强地质力学稳定性和/或提供特殊的地质化学条件
密封措施	若天然屏蔽受到矿场通道的干扰，矿井密封应同样增强地质力学稳定性和/或提供特殊的地质化学条件
主岩	（在理想情况下）完全容纳污染物
覆岩	额外的天然（地质）屏蔽规定，例如通过厚度和性质合适的粘土层覆盖

图 8：多屏蔽系统及其在系统中的布局（示意图）（图片来源：设备和核反应堆安全协会）



234. 普遍来说，上述的地下处置系统（包括所有的标准、要求和最后布局）应根据因具体的废物和场地而异的标准来设计，同时考虑到所有相关条例（例如欧洲联盟，2003 年）。为了让读者大致了解适合作地下储存的不同种类的主岩的深度和厚度，表 7 基于以往经验和当前计划列出了可接受的标准尺寸。

表 7：主岩体的垂直厚度标准值及可能的处置深度（Grundfelt 等人，2005 年）

地质系统		主岩体的厚度	可能的处置深度
主岩	变种		
盐岩	盐丘	达 1,000 米以上	800 米
盐岩	层状盐	约 100 米	650-1,100 米
粘土/粘土岩		达 400 米	400-500 米
粘土层下的岩石		约 100 米	500-1,000 米

## H. 减少来自废物热处理和废物填埋的汞排放

### 1. 减少来自废物热处理的汞排放

235. 只要可能，添加汞的产品的处置应尽量与城市固体废物的处置分开进行。分开收集汞废物可以减少混合城市固体废弃物中的汞总含量，然而 100% 的分开收集率在实际情况中是无法实现的。因此，由于含汞或汞化合物或受汞或汞化

合物污染的废物燃点低，它们可能会燃烧，所以几乎所有废物里的汞均转化为燃烧气体，只有少量汞残留在底灰中。进入废物燃烧单元燃烧气体中所含的大部分汞的形态是元素汞，并在经过燃烧单元时会转化为二价汞，而部分二价汞会转化为飞灰。二价汞被认为是氯化汞；因此，应选择可有效清除此类氯化汞和汞的烟道灰处理设备。此外，未经妥善隔离的废物等可能含汞或受汞污染的废物不应在缺乏烟道气处理设备的情况下在焚烧炉中焚烧(Arai 等人, 1997 年)。应设定汞的排放和排污标准并应监测经处理的烟道气和废水的汞含量水平，以确保尽可能减少汞向环境的排放。真空密封焙烧设施等其他废物热处理工艺也应采用这一做法。

236. 减少废物流中汞含量的首要技术包括以下内容（欧盟委员会，2006 年）：

(a)有效清除废物流中添加汞的产品（例如在将添加汞的废物与其他废物或废水混合之前，先把其中某几类电池和牙科汞合金（使用汞合金分离器）分离出来）；

(b)向废物生产者通告关于分离汞的必要性；

(c)识别和/或限制接收潜在的汞废物；和

(d)在知晓将要接收此类废物时，应控制此类废物的大量接收以避免超出减轻污染系统的能力负荷。

237. 防止汞从废物流排放到空气的二级技术包括烟道气处理。欧洲联盟在工业排放指令（欧洲联盟，2010 年 b）（废止和代替废物焚烧指令(2000/76/EC)）中设立了清理烟道废弃所产生的废水及废物焚烧设施的空气排放标准。规定由清理烟道废气所产生的废水排放的汞及其化合物（以汞(Hg)表示）的排放限值为 0.03 毫克/升，；在一个采样周期（最短 30 分钟，最长 8 小时）内，废物焚烧设施的空气排放限值不能超过 0.05 毫克/立方米汞及其化合物（以汞(Hg)表示）。联合国欧洲经济委员会《1979 年远距离越境空气污染公约》框架下的《1998 年重金属议定书》，根据第 2012/5 号决定修正，规定议定书缔约国废物焚烧的汞排放限值为 0.05 毫克/立方米。

238. 烟道气排放中的汞控制工艺的选择取决于被燃烧物质的氯含量。若氯含量较高，未经处理的烟道气中含有的汞会转化成氧化形态，可储存和捕捉在湿式洗涤器中。在城市废物和危险废物焚烧工厂的正常操作情况下，这些废物的氯含量通常较高，足以确保汞主要呈现氧化形态。如氯化汞等挥发性汞化合物将在烟道气冷却时凝结，并溶于洗涤器的排放物中。添加清除汞的试剂是从该工艺中清除汞的一种方法。应注意在焚烧水处理污泥时，汞排放主要以元素汞形式存在，因为相比城市废物或危险废物污泥的氯含量较低。因此，必须特别注意捕捉这些排放。可以通过把元素汞转化为氧化汞来清除；具体程序为在汞中添加氧化剂，然后把它储存在洗涤器内或直接储存在掺硫活性炭、床炉焦炭或沸石上使其沉积。可以通过絮凝作用清除湿式洗涤器系统中的重金属，包括汞，它们在絮凝剂（聚合电解质）和氯化铁的影响下会形成金属氢氧化物。为了清除汞，还会添加配位剂和硫化物（例如硫化钠、三硫醇）。

239. 可把活性炭注射到传输流系统的气流中，通过把汞吸附在活性炭试剂上，并采用滤袋式过滤器来过滤，以清除烟道气中的汞。活性炭对汞和多氯二苯并

二噁英以及多氯二苯并呋喃具有较高的吸收率。不同类型的活性碳具有不同的吸收率，这可能跟各种碳颗粒的性质以及制造工艺对碳颗粒的影响有关（欧盟委员会，2006年）。含床炉焦炭（一种 1.25 至 5 毫米的焦粉）的固定床过滤器能有效储存几乎所有与烟道气组成部分有关的排放物，尤其是盐酸、氢氟酸、硫的氧化物、重金属（包括汞）。床炉焦炭的沉积作用主要基于吸收和过滤机制。一般而言，焚烧炉应安装烟道气处理设备，用来顺便捕捉氮氧化物、二氧化硫、微粒物质、汞蒸气和颗粒汞。注射粉末活性碳是用于清除焚烧炉和燃煤发电厂中的汞的先进技术之一。被活性碳吸收的汞可以稳定化或固化，从而得以处置（见上文第三节第 G 部分）。

240. 以下文件提供关于减少废物焚烧中的汞排放的更多技术资料：

(a) 联合国欧洲经济委员会，《远距离越境空气污染公约》下的《重金属议定书》和 2013 年关于控制附件二所列来源类别中重金属及其化合物的排放的最佳可得技术指导文件。可参阅：<http://www.unece.org/env/treaties/welcome.html>;

(b) 环境署，2010 年。关于汞来源和排放以及控制措施成本效益分析的研究“环境署第 29 段研究”（文件 UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4），可参阅：<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC2/INC2MeetingDocuments/tabid/3484/language/en-US/Default.aspx>;

(c) 环境署，2002 年。全球汞评估。可登陆 <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/LinkClick.aspx?fileticket=Kpl4mFj7AJU%3d&tabid=3593&language=en-US> 查看该报告；

(d)：欧盟委员会，2006 年。关于废物焚烧最佳可得技术的参考文件。可登陆 <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wi.html>；和

(e) 国家立法，如欧盟关于工业排放的第 2010/75/EU 号指令（欧盟，2010a）；

241. 若采用湿式洗涤器作为烟道气处理方法之一，处理湿式洗涤器产生的废水十分关键。

## 2. 减少来自填埋场的汞排放

242. 减少经特别设计的填埋场中的汞排放，参见上文第 III 部分 G 小结 2（b）部分。下述各段为减少城市固体废物填埋场中的汞排放提供指引。

243. 在无可避免需要填埋处置含汞或汞化合物或受汞或汞化合物污染的废物的情况下（作业 D1），汞从卫生填埋场排放到环境有三种途径：填埋场的工作面、沥滤液和填埋场气体。汞排放的最重要的场所是填埋场工作面和甲烷通风口（Lindberg 和 Price，1999 年）。

244. 填埋覆盖应每天进行，以减少新进入填埋场的废物的汞排放（Lindberg 和 Price，1999 年）。填埋场火灾也可能导致汞排放的增加。万一发生填埋场火灾，应紧急使用土壤覆盖，应随时准备土壤覆盖的材料以及机器（例如自倾货车、推土铲），用于土壤覆盖以达到灭火目的。

245. 据报告，与通过填埋场气体排放的汞相比，通过沥滤液排放的汞数量较少（Yanase 等人，2009 年；Takahashi 等人，2004 年；Lindberg 等人，2001 年）。

可采用沥滤液收集和处理来清除转化为沥滤液的汞，正如处理废物焚烧炉湿式洗涤器中的废水一样。

246. 填埋场应安装填埋场气体捕捉系统以捕捉汞蒸气和甲基汞，从而防止其排放至大气。

## I、 受污染场地的补救处理

247. 受汞污染的场地遍布全球，这很大程度上是由工业活动、初级采矿，包括有色金属采矿和矿石加工、氯生产以及添加汞的产品的生产和不适当处置所导致的。采矿场地的大部分污染是由于使用汞的手工和小规模采金业，在发达国家大部分这种活动已停止，或受到发达国家的条例控制和工程控制，但在发展中国家仍然继续存在。土壤受到汞污染以及有大型尾矿的场地，和大面积受到通过水道和其他因素被迁移的污染物所污染的场地，均是由过往和当前的操作所造成的。

248. 《水俣公约》中有规定要求制定详细的技术指南以解决受污染场地问题（见上文第 26 段）。

### 1. 识别受污染场地和应急行动

249. 可通过以下方法识别对人类健康或环境带来威胁的受汞污染的场地：

- (a) 识别该场地以往的工业活动或其它活动的记录；
- (b) 目测场地条件和随之而产生的污染源；
- (c) 目测已知已使用或排放特别危险的污染物的生产或其他操作；
- (d) 观察因与场地邻近而可能对人类、植物或动物产生的不利影响；
- (e) 显示污染水平的物理结果或分析结果；以及
- (f) 社区向主管部门报告的可疑排放。

250. 受汞污染的场地与其他受污染场地类似，因为汞可通过多种方式接触受体。汞问题尤其棘手，因为汞具有危险的蒸气相，其对动物的可观察影响水平低，而且不同形态的汞（例如汞与甲基汞之间）毒性水平不同。通过结合实地仪器和实验室分析也可较容易地检测汞。受汞污染的场地也可能受到其他污染物的污染。场地评估和补救活动应当考虑所有可能存在现场的污染物，这可能是使场地可供今后使用的最经济有效的方法。

251. 处理被汞污染的场地的首要优先事项是把受体与污染隔离开来，从而尽量减少其进一步的接触。在这方面，处理受汞污染的场地与处理被其他可以移动且有毒的污染物所污染的场地类似。

252. 若被汞污染的场地有居民居住，且面积相对较小，可查阅美国环保局的《汞响应指南》以获得大量关于应急行动的指导意见，该指南旨在处理居民区的中小型汞漏溢情况（美国环保局，2001 年）。

253. 关于因发展中国家的非正式汞使用（例如手工和小规模采金业）而受污染的大型场地，《手工和小规模采金场汞排放的环境和健康评价方案》中概述了相关的紧急处理建议（全球汞项目，2004年）。

## 2. 环境无害化的补救处理

254. 受汞污染的场地的补救行动（如清理措施）取决于多种因素，这些因素包括污染物的类型以及潜在的环境和健康影响。在选择供筛选的处理技术与工艺初始群组，时应考虑以下几点：

### (a) 环境因素：

- (i) 操作时的汞排放量；
- (ii) 污染的源头；
- (iii) 受污染场地的汞的化学状态
- (iv) 需要补救的汞热点的数量、规模和地点；
- (v) 采矿操作时需要考虑例如土壤特性等开采汞的矿体性质；
- (vi) 该场地中汞的甲基化潜能；
- (vii) 来自污染媒介（例如土壤和沉积物）的汞的沥滤潜能；
- (viii) 背景汞污染——与地方来源无关的区域大气汞沉积；
- (ix) 水生系统中的汞流动性；
- (x) 其他污染物的存在情况及其浓度，特别是可采取适用于汞的方法进行处理或部分处理的污染物；以及
- (xi) 地方/国家/联邦对水、土壤和沉积物、空气的清理标准。

### (b) 受体：

- (i) 对水生生物、无脊椎动物和食用植物的生物利用度。
- (ii) 受体（人类、动物和植物）中的汞浓度以显示接触水平。

255. 一旦评估了这些因素，即可对合适的补救技术启动更为全面的分析。根据汞污染严重性、规模、水平和种类，其他存在的污染物，以及受体情况，可以制定一项利用多种技术的补救计划，以有效和高效地减少场地中汞污染的毒性、可得性和数量。关于补救技术的信息，可查阅“受汞污染的场地：补救解决方案审查”（Hinton, 2001年）和“土壤、废物和水中的汞处理技术”（美国环

保局，2007 年 b) <sup>52</sup>。也可查阅关于日本水俣湾（水俣市政厅，2000 年）以及德国马克特雷德维茨附近（北大西洋公约组织现代社会挑战委员会，1998 年）的汞污染的补救案例资料。

## J. 健康和安全

256. 雇主应确保每一位雇员在工作时其健康和受到保护。所有雇主应根据国家法律的规定，酌情购买和保有保险，保单应由经授权的保险商批核，其保险责任范围应能充分覆盖雇员万一在雇佣期间发生由于雇佣而导致的身体疾病或受伤所引起的责任（赔偿）。所有处理汞废物的设施应落实健康和计划，以确保在设施内工作或在设施附近的所有人获得保护。所有设施都应制定此类计划，并应由具有与汞相关的健康风险管理经验且经过培训的健康和安全专业人士制定。

257. 可通过以下几种方法保护参与汞废物管理工作的工人和公众：

- (a) 仅允许获得授权的工作人员进入设施；
- (b) 确保工作人员使用适当的防护设备，从而保证没有超过职业接触危险物质的限值；
- (c) 确保设施的适当通风，以最大限度降低接触挥发性物质或能通过空气传播的物质的风险；以及
- (d) 确保设施遵守所有涉及职业健康和安全的国家和区域法律。

258. 世卫组织已制定了饮用水和环境空气中的汞浓度准则值；0.006 毫克/升无机汞和 1 微克/立方米无机汞蒸气（世卫组织，2006 年；世卫组织欧洲区域办事处，2000 年）。鼓励各国政府监测空气和水以保护人类健康，尤其是监测开展汞废物管理活动的邻近场地。部分国家已制定了工作环境中容许的汞水平（例如在日本，无机汞（硫化汞除外）的容许汞水平值为 0.025 毫克/立方米，烷基汞化合物的容许汞水平值为 0.01 毫克/立方米）；应开展废物管理操作以使工作环境和设施的含汞量符合容许的汞水平，并应设计和执行这些操作以在技术可行的范围内最大限度地减少汞向环境的排放。

259. 应特别关注处理添加汞的产品的场地。在废物流中，添加汞的产品的汞排放会导致接触风险，引起健康关切和多点环境排放。废物收集员、货车司机和垃圾中转站的工人在处理添加汞的产品的废物时可能会短暂性地接触到汞蒸气。在填埋场“工作面”（即倾倒、散布、压缩和填埋废物的活动区）工作的废物管理雇员可能会反复接触到汞蒸气。在填埋场搜寻可回收物品的非正式废物部门人员则可能会常年接触到汞蒸气。腐烂有机废物所产生的甲烷气体的排气口是汞排放和汞接触的另一源头。

<sup>52</sup> 更多资料可查阅美国环保局网站，例如汞处理技术（请参阅：[http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment\\_Technologies/](http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment_Technologies/)）以及政策和指导（请参阅：<http://www.epa.gov/superfund/policy/guidance.htm>）。

260. 处置设施，特别是开展汞回收操作的处置设施，同样面临汞接触的高风险。汞接触呈现高风险的主要活动包括压碎荧光灯，从温度计和气压计等添加汞的产品中提取汞，对含汞或受汞污染的废物进行热处理，以及含有汞或汞化合物的废物的稳定化和/或固化。

261. 应提供关于有效的环境无害化管理及职业健康和安全的雇员培训，还应确保雇员的安全，以防止在进行废物管理时发生汞接触和意外受伤。

262. 雇员所需的基本知识包括：

(a) 汞废物的定义、汞的化学特性及其不利影响；

(b) 如何识别汞废物并与其他废物隔离开来；

(c) 操作安全标准和防止汞接触损害健康；

(d) 防护衣、眼部和脸部保护装置、手套和呼吸保护装置等个人防护设备的使用方式；

(e) 正确的贴标和储存要求、容器兼容性和到期日期要求以及密闭容器要求；

(f) 如何安全处理汞废物，尤其是利用设施中的可用设备来处理含汞的报废产品，例如温度计和气压计；

(g) 利用工程控制来最大限度地减少接触的方式；以及

(h) 若废物中的汞发生泄漏，如何在紧急情况下采取应急行动。

263. 根据国家法律的规定，酌情为工人购买保险和购买雇主责任保险，从而为设施中的工人所发生的意外或受伤作出更好的准备，这一点非常重要。

264. 建议在雇员培训中使用环境署开发的《汞提高认识计划》（环境署，2008年d）。所有培训材料应被翻译成当地语言并向所有雇员提供。

## **K. 应急行动**

### **1. 应急行动计划**

265. 应落实汞废物加工链中各个阶段的应急行动计划（如，生成、储存、运输、处理或回收以及处置）。根据各场地管理的具体的废物管理每个阶段的活动以及物理和社会条件，可以有多种应急行动计划，但一项应急行动计划的主要因素包括识别潜在危险，符合应急行动计划的相关法律，在应急情况下应采取的行动规范，如减缓行动、个人培训计划、沟通目标（如消防处、警察、周边社区、地方政府等）和应急方法，以及应急设备的使用方法和测试频率的规范。

266. 当紧急情况发生时，首要步骤是进行场地调查。负责人可从逆风方向谨慎地接近场地，确保现场的安全并识别危险。标牌、容器标签、船运文件、材料安全数据表、车辆识别图标，和/或了解情况的现场人员均是十分有价值的信息来源。应评估现场疏散的必要性、人力资源和设备的可获得性以及可能采取的

即时行动。为了确保公众安全，应拨打应急机构的电话，还有应把漏溢和泄漏点周边至少 50 米的区域范围隔离起来，以作为一项即时预防措施。万一发生火灾，应使用合适的灭火剂，但不应使用水。若要进一步了解相关信息，《应急指南》（美国运输部等，2012 年）会有所帮助。

## 2. 关于汞或汞化合物溢漏的特殊考虑因素

267. 汞或汞化合物的泄漏主要发生在废弃的添加汞的产品被损坏时。大部分泄露案例似乎与添加汞的玻璃温度计有关，此类温度计很容易被损坏。虽然每一个玻璃温度计的汞含量只有约 0.5-3 克，通常不会导致严重的健康问题，但所有汞溢漏应被视为是危险的，并应谨慎清理。室内空间应充分通风。若发生汞溢漏后有人感到不适，应立即联系医生和/或环境卫生主管部门。

268. 若溢漏量较少且情形简单（如发生在油地毡或硬木地板等无细孔物质或小型的毯子或垫子等可以丢弃的多孔物质之上），则可由个人进行清理。若溢漏量较大，或情形复杂（如溢漏发生在不可丢弃的毯子、内饰上、或者裂纹或裂缝中），则可能需要雇用经过培训的专业人士来收集或清理溢漏。若发生比普通家居产品中的含汞量更多的大型溢漏，应向地方环境卫生主管部门汇报。若不确定是否应将该溢漏归类为“大型”，作为预防措施，应与地方环境卫生主管部门联系。在确定的情况下，无论溢漏规模大小如何，都应寻求称职的专业清理或空气监测人员的协助（加拿大环境部，2002 年）。

269. 在商业活动过程中和家庭中发生的汞溢漏有可能使工人和公众接触到危险的汞蒸气。此外，溢漏具有破坏性且清理费用昂贵。小型汞溢漏的清理程序可参见美国环保局官网（美国环保局，2007 年 c）。

270. 评价汞溢漏的范围和汞散播的程度，以及是否可获得必需的清理资源和专门知识，这对确定何种类型的应急行动适合某类汞溢漏非常关键。在以下几种情况中应寻求专业帮助：

(a) 汞数量超过 2 茶匙（30 毫升）。更大型的溢漏应向主管部门汇报以便进行监督和开展后续工作；

(b) 溢漏地点不明确：若没有人目睹溢漏或难以确定溢漏的范围，则其含量可能较少以致难以检测，必须进行清理；

(c) 溢漏地点的表面为多孔或半多孔材料：如地毯和隔音砖等表面可以吸收溢漏的汞，从而使清理工作无法进行；以及

(d) 发生在排水沟、风扇、通风系统或其他管道附近的溢漏：汞和汞蒸气会从溢漏点快速移走，从而污染其他区域且难以检测。

271. 应尽可能避免溢漏的汞四处扩散（如使用喷水），因为分散后会显著提高汞的蒸发率（世界氯理事会，2004 年）。

## L. 认识和参与

272. 在实施汞废物的环境无害化管理中，公众的认识和参与起着关键作用。公众参与是 1999 年《关于实施环境无害化管理的巴塞尔宣言》和很多其他国际协

定的核心原则。让公众和所有利益攸关方有机会参与与汞有关的法律、政策和方案制定和其他决策过程，这一点非常关键。

273. 1998 年签订的联合国欧洲经济委员会《关于在环境问题上获得信息、公众参与决策和诉诸法律的奥胡斯公约》的第 6、7、8 和 9 条要求开展与具体政府活动中的公众参与相关的具体行动、制定计划、政策和方案以及制定法律，并呼吁公众在环境问题上获得诉诸法律的途径。

274. 在启动收集和再循环含汞废物的活动时，可取的做法是寻求产生含汞废物的消费者的参与和合作。持续地开展提高认识活动是成功收集和再循环汞废物的关键。为公众提供关于此类废物的有害环境管理所引起的潜在问题的信息，以鼓励公众参与设计汞废物的收集和再循环系统，这可以增强消费者关于汞和汞废物的风险的认识。

275. 针对地方社区和公民的公众认识和宣传运动是促进公众参与汞废物环境无害化管理的重要因素。为了提高公民的认识，地方政府等相关主管部门需要启动多种提高认识和宣传活动，以促使公民对保护自己和他人免受汞的（对人类健康和环境的）不利影响产生兴趣。让基于社区的组织参与活动非常重要，因为它们与社区中的居民和其他利益攸关方有密切的关系（Honda, 2005 年）。

276. 通常而言，应根据国家、地方或社区各级的废物管理情况来制定公众认识和公众参与的方案。表 8 为公众认识和参与方案的一个示例。该方案有四个组成部分：出版物、环境教育方案、公共关系活动和风险通报，公民可在公共场合便捷地接触到这些内容（Honda, 2005 年）。

**表 8：公众认识和公众参与方案**

	内容	期望结果
出版物	<ul style="list-style-type: none"> <li>以各种语言和方言简单易懂地解释汞问题的小册子、小型宣传册、传单、杂志、海报、网站等</li> <li>关于如何处置汞废物的指南</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>知识来源</li> <li>解释人们可以如何处理添加汞的产品和处置汞废物</li> </ul>
环境教育方案	<ul style="list-style-type: none"> <li>自愿研讨会</li> <li>社区聚会</li> <li>与其他健康研讨会之间的联系</li> <li>“收回”方案示范</li> <li>科学研究</li> <li>参观设施等</li> <li>电子学习</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高知识</li> <li>分享共同问题</li> <li>提供直接讨论环境问题的机会</li> </ul>
活动	<ul style="list-style-type: none"> <li>“收回”方案</li> <li>无汞产品活动</li> <li>最大限度减少废物活动</li> <li>社区聚会</li> <li>挨门逐户地拜访</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在所有伙伴中实施环境活动</li> <li>向公众呼吁环境问题</li> <li>一对一的沟通</li> </ul>
风险通报	<ul style="list-style-type: none"> <li>普遍生活环境中的汞接触</li> <li>汞接触的安全水平</li> <li>《污染物排放和转移登记册》</li> <li>鱼类消费建议</li> <li>水稻消费建议</li> <li>针对添加汞的产品的汞溢漏的响应</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在适当的情况下，正确理解汞接触的安全和风险水平</li> <li>避免过度反应</li> </ul>

	内容	期望结果
	行动	

277. 作为环境教育方案的一部分，出版物应提供关于汞性质、汞毒性、汞对人类健康和环境的不利影响、与汞废物相关的问题，包括如何管理和避免接触废物中的汞。出版物应被翻译为当地相关语言和方言以确保能高效地把信息传递到目标群体。

278. 关于汞废物的环境教育方案有以下组成部分（Honda，2005年）：

- (a) 对环境和环境挑战的认识提供和敏感度；
- (b) 关于环境和环境挑战建立知识和理解；
- (c) 关切环境的态度以及改善或保持环境质量的积极性；
- (d) 识别和帮助解决环境挑战的技巧发展；以及
- (e) 参与旨在解决环境挑战的活动。

279. 公众参与方案的伙伴概述如下（Honda，2005年）：

- (a) 做环境问题工作的政府官员和工作人员；
- (b) 对环境问题感兴趣且能快速理解信息并向其他人传播的人士：
  - (i) 儿童和学生；
  - (ii) 教师和教授；
- (c) 来自地方社区和团体的领袖和代表；在地方或社区一级的环境领域工作的人士：
  - (i) 在非政府组织工作的人员；
  - (ii) 在中小型企业工作的人员；
  - (iii) 地方生产者、收集者和回收利用者；处理汞废物的处置设施的所有者、操作人员和工人。
- (d) 身处或生活在与废物管理场地或受汞污染场地邻近的人士；
- (e) 地方组织；
- (f) 城市居民；以及
- (g) 企业。

280. 为了确保能最大限度地减少废物收集、运输和处理过程中的汞排放，必须提高相关各方（例如运输、回收和处置人员）关于汞风险的认识。可以通过以下途径实现这一点：研讨会等认识提高活动，这些活动可以提供关于新制度和条例的信息，以及提供信息交流的机会；编制和分发传单；以及通过互联网传播信息。

## Annex to the technical guidelines\*

### Bibliography

- Amin-Zaki, L. et al, 1978. "Methylmercury Poisoning in Iraqi Children: Clinical Observations over Two Years", *British Medical Journal*, vol. 11, pp. 613-616. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1603391&blobtype=pdf>.
- Amuda, O.S. et al, 2010. "Wastewater Treatment Process", in Wang, L.K., Hung, Y.T. and Shammas, N.K., eds., *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment, Volume 2*. CRC Press, New York, USA, p. 926.
- Arai, Norio et al., (ed.) 1997. *Products of Incineration and Their Control Technology* [in Japanese].
- Asano, S. et al, 2000. "Acute Inorganic Mercury Vapour Inhalation Poisoning", *Pathology International*, vol. 50, pp. 169-174.
- Asia-Pacific Mercury Storage Project, 2010. *Options analysis and feasibility study for the long-term storage of mercury in Asia*. Available at: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/AsiaPacificMercuryStorageProject/tabid/3552/language/en-US/Default.aspx>.
- ASTM International, 2008. *ASTM D6784 - 02(2008) Standard Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-Fired Stationary Sources* (Ontario Hydro Method).
- Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal*, 1992. Available at: <http://www.basel.int/text/17Jun2010-conv-e.doc>.
- Bakir, F. et al, 1973. "Methylmercury Poisoning in Iraq", *Science*, vol. 181, pp. 230-241.
- Bansal, R.C. and Goyal, M., 2005. *Activated Carbon Adsorption of Mercury*. In: *Activated Carbon Adsorption*, CRC Press, New York, pp. 326-334.
- BiPRO, 2010. "Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury." Available at: [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro\\_study20100416.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf).
- Boom, G. V., Richardson, M. K. and Trip, L. J., 2003. "Waste Mercury in Dentistry: The Need for Management". Available at: [http://www.ifeh.org/magazine/ifeh-magazine-2003\\_v5\\_n2.pdf](http://www.ifeh.org/magazine/ifeh-magazine-2003_v5_n2.pdf).
- Bull, S., 2006. Inorganic Mercury/Elemental Mercury. Available at: [http://www.hpa.org.uk/chemicals/compendium/Mercury/PDF/mercury\\_general\\_information.pdf](http://www.hpa.org.uk/chemicals/compendium/Mercury/PDF/mercury_general_information.pdf).
- Butler, M. 1997. "Lessons from Thor Chemicals: the Links between Health, Safety and Environmental Protection", in *The Bottom Line: Industry and the Environment in South Africa*, L. Bethlehem, Goldblatt, M. Cape Town, South Africa, University of Cape Town Press, pp. 194-213.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety, undated. *OHS Fact Sheets: Mercury*. Available from: [http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem\\_profiles/mercury.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/mercury.html).
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 2006. *National Guidelines for Hazardous Waste Landfills*. Available at: [http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn\\_1365\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1365_e.pdf).
- Chang, T. C. and J. H., Yen, 2006. "On-site mercury-contaminated soils remediation by using thermal desorption technology", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 128(2-3), 208-217.

---

\* 为缩减成本，未翻译本文件的附件。

- Chiarle, S. and Ratto, M., 2000. "Mercury Removal from Water by Ion Exchange Resins Adsorption", *Water Research*, vol. 34, pp. 2971-2978.
- Chlorine Institute, 2009. "Chlor-Alkali Industry 2008 Mercury Use and Emissions in the United States (Twelfth Annual Report)". Available at: <http://www.epa.gov/region05/mercury/pdfs/12thcl2report.pdf>.
- Chojnacki, A. et al, 2004. "The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale", *Minerals Engineering*, vol. 17, pp. 933-937.
- Committee on consideration of environmentally sound management of mercury waste, working group on mercury recovery and disposal, 2014. "Report on consideration of environmentally sound management of mercury wastes" (in Japanese), p. 67, Reference document No. 3-1.
- Committee on consideration of sound management of mercury waste and Working group on recovery and disposal of mercury], 2014. "Report on consideration of environmentally sound management of mercury wastes"[in Japanese]. Available at: <http://www.env.go.jp/council/03recycle/y039-01b/ref3.pdf>.
- Damluji, S. F. and Tikriti, S., 1972. "Mercury Poisoning from Wheat", *British Medical Journal*, vol. 25, p. 804.
- Environment Canada website, undated. *Spills, Disposal and Cleanup: Cleaning Up Small Mercury Spills*. Available from: <http://www.ec.gc.ca/MERCURY/EN/cu.cfm>. [last updated 2013]
- Environmental Management Bureau, Republic of the Philippines, 1997. *DENR Administrative Order No. 38, Chemical Control Order for Mercury and Mercury Compounds*. Available at: [http://pcij.org/extra/mercury\\_resources/pdf/cco\\_hg\\_DAO%2097-38.pdf](http://pcij.org/extra/mercury_resources/pdf/cco_hg_DAO%2097-38.pdf).
- EPA, 1992. *US EPA Method 1311: TCLP, Toxicity Characteristic Leaching Procedure*.
- EPA, 1994. *US EPA Method 7470 A: Mercury in Liquid Waste Manual Cold-Vapor Technique*.
- EPA, 1996. *US EPA Method 0060: Determination of Metals in Stack Emissions*.
- EPA, 1997a. *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Mercury and Mercury Compounds*. Available at: <http://www.epa.gov/ttn/chiefl/le/mercury.pdf>.
- EPA, 1997b. *Sensitive Environments and the Siting of Hazardous Waste Management Facilities*. Available at: <http://www.epa.gov/osw/hazard/tsd/permit/site/sites.pdf>.
- EPA, 2000. *Section 2 - Treatment and Disposal Options, Proceedings and Summary Report - Workshop on Mercury in Products, Processes, Waste and the Environment: Eliminating, Reducing and Managing Risks from Non-Combustion Sources*. Available at: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/30004HCY.pdf#page=13>.
- EPA, 2001. *Mercury Response Guidebook (for Emergency Responders)*. Available from: <http://www.epa.gov/mercury/spills/index.htm>.
- EPA, 2007a. *Mercury Treatment Technologies*. Available from: [http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment\\_Technologies](http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment_Technologies).
- EPA, 2007b. *Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste and Water*. Available from: <http://www.epa.gov/tio/download/remed/542r07003.pdf>.
- EPA, 2007c. *Spills, disposal and site clean-up*. Available from: <http://www.epa.gov/mercury/spills/index.htm>.
- EPA, 2007d. *US EPA Method 7471B: Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)*.
- EPA, 2007e. *US EPA Method 7473: Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry*.

EPA, 2013. *Manual for the Construction of a Mercury Capture System for Use in Gold Processing Shops*. Available at:  
<http://www2.epa.gov/international-cooperation/manual-construction-mercury-capture-system-use-gold-shops>.

Euro Chlor, 2004. *Code of Practice, Mercury Housekeeping, Environmental Protection 11, 5th edition*. Available at:  
<http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Docs/ENV%20Prot%2011%20Edition%205.pdf>.

Euro Chlor, 2013. "Chlorine Industry Review". Available at:  
<http://www.eurochlor.org/media/70861/2013-annualreview-final.pdf>.

European Commission, 2001. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry*. Available at:  
[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cak\\_bref\\_1201.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cak_bref_1201.pdf).

European Commission, 2003. *Commission Decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/>.

European Commission, 2006. *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. Available from:  
<http://eippcb.jrc.es/reference/wi.html>.

European Commission, 2008. *Options for reducing mercury use in products and applications and the fate of mercury already circulating in society*. Available at:  
[http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/EU\\_Mercury\\_Study2008.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/EU_Mercury_Study2008.pdf).

European Commission, 2013. *Commission implementing decision of 9 December 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions, for the production of chlor-alkali (2013/732/EU)*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu>.

European Committee for Standardization, 2001. *EN 13211: Air quality - Stationary source emissions - Manual method of determination of the concentration of total mercury*.

European Committee for Standardization, 2002a. *EN 12457-1 to 4: Characterization of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges*.

European Committee for Standardization, 2002b. *EN 13656: Characterization of waste - Microwave assisted digestion with hydrofluoric (HF), nitric (HNO<sub>3</sub>) and hydrochloric (HCl) acid mixture for subsequent determination of elements in waste*.

European Committee for Standardization, 2002c. *EN 13657: Characterization of waste - Digestion for subsequent determination of aqua regia soluble portion of elements in waste*.

European Committee for Standardization, 2003. *EN 13370: Characterization of waste - Analysis of eluates - Determination of Ammonium, AOX, conductivity, Hg, phenol index, TOC, easily liberatable CN-, F-*.

European Committee for Standardization, 2004. *TS 14405: Characterization of waste - Leaching behaviour test - Up-flow percolation test*.

European Committee for Standardization, 2005. *EN 14884: Air quality - Stationary source emissions - Determination of total mercury: Automated measuring systems*.

European Committee for Standardization, 2006. *EN 12920: Characterization of waste - Methodology for the determination of the leaching behaviour of waste under specified conditions*.

European Committee for Standardization, 2007. *EN 15309: Characterization of waste and soil - Determination of elemental composition by X-ray fluorescence*.

European Union, 2003. *Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/>

European Union, 2006. *Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu>.

European Union, 2010a. *Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu>.

European Union, 2010b. *Regulation (EC) No. 1102/2008 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2008 on the banning of exports of metallic mercury and certain mercury compounds and mixtures and the safe storage of metallic mercury*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/>.

European Union, 2013. *Directive 2013/56/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 amending Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators as regards the placing on the market of portable batteries and accumulators containing cadmium intended for use in cordless power tools, and of button cells with low mercury content, and repealing Commission Decision 2009/603/EC*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu>.

FAO, 1985. *Guidelines for the Packaging and Storage of Pesticides*. Available at: <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/i/fulltext/fao12/fao12.pdf>.

Gay, D.D., Cox, R.D. and Reinhardt, J.W., 1979. "Chewing Releases Mercury from Fillings", *Lancet*, vol. 1, pp. 985-986.

Galligan, G, Morose, G. and Giordani, J., 2003. "An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products", prepared for the Maine Department of Environmental Protection, Lowell Center for Sustainable Production, University of Lowell, MA. Available at: <http://www.chem.unep.ch/Mercury/Sector-Specific-Information/Docs/lcspfinal.pdf>.

German Federal Environment Agency, 2014. *Behaviour of mercury and mercury compounds at the underground disposal in salt formations and their potential mobilisation by saline solutions*. Available from: <http://www.umweltbundesamt.de>.

Glenz, T. G., Brosseau, L.M. and Hoffbeck, R.W., 2009. "Preventing Mercury Vapor Release from Broken Fluorescent Lamps during Shipping", *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 59, pp. 266-272.

Global Mercury Project, 2004. *Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small -Scale Gold Miners*, GEF/UNDP/UNIDO, Vienna. Available at: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/PROTOCOLS%20FOR%20ENVIRONMENTAL%20ASSESSMENT%20REVISION%202018-FINAL%20BOOK%20sb.pdf>.

Global Mercury Project, 2006. *Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners*, UNIDO, Vienna. Available from: [http://communitymining.org/attachments/221\\_training%20manual%20for%20miners%20GMP%20Marselo%20Veiga.pdf?phpMyAdmin=cde87b62947d46938306c1d6ab7a0420](http://communitymining.org/attachments/221_training%20manual%20for%20miners%20GMP%20Marselo%20Veiga.pdf?phpMyAdmin=cde87b62947d46938306c1d6ab7a0420).

GroundWork, 2005. "Advising and Monitoring the Clean-up and Disposal of Mercury Waste in Kwazulu-Natal, South Africa". Available at: [http://www.zeromercury.org/phocadownload/Whats\\_on\\_in\\_the\\_regions/groundWork\\_Phase\\_one\\_Final\\_Report\\_1006\\_WebVs.pdf](http://www.zeromercury.org/phocadownload/Whats_on_in_the_regions/groundWork_Phase_one_Final_Report_1006_WebVs.pdf).

Grundfelt, B. et al, 2005. "Importance of the multi-barrier concept for the final disposal of radioactive waste" [in German], Kemakta Konsult AB, Bericht, Stockholm. Available at: [http://www.bfs.de/de/endlager/publika/AG\\_3\\_Konzeptgrund\\_Mehrbarrierenkonzept1.pdf](http://www.bfs.de/de/endlager/publika/AG_3_Konzeptgrund_Mehrbarrierenkonzept1.pdf).

- Hagemann, S., 2009. “Technologies for the stabilization of elemental mercury and mercury-containing wastes”, Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit (GRS). GRS Report 252.
- Hinton, J. and Veiga, M., 2001. “Mercury Contaminated Sites: A Review of Remedial Solutions”, NIMD Forum 2001 - Mercury Research: Today and Tomorrow, Minamata City, Japan, National Institute for Minamata Disease, Ministry of the Environment, Japan, pp. 73-84. Available at: [http://www.facome.uqam.ca/pdf/Minamata\\_Forum\\_2001.PDF](http://www.facome.uqam.ca/pdf/Minamata_Forum_2001.PDF).
- Hitachi, 2006. “Corporate Social Responsibility Report”. available at: [http://www.hitachi.com/csr/csr\\_images/csr2006.pdf](http://www.hitachi.com/csr/csr_images/csr2006.pdf).
- Honda S., 2005. “Study on the Environmentally Sound Management of Hazardous Wastes and Other Wastes in the Asia”, postdoctoral dissertation, Tsinghua University, Beijing, China.
- Honda, S. et al, 2006. “Current Mercury Level in Cambodia - with Issue on Waste Management”, NIMD Forum 2006 II: Current Issues on Mercury Pollution in the Asia-Pacific Region, Minamata City, Japan, pp. 91-102. Available at: [http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd\\_forum/nimd\\_forum\\_2006\\_II.pdf#page=98](http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_2006_II.pdf#page=98).
- Hylander, L.D. and Meili, M., 2005. “The Rise and Fall of Mercury: Converting a Resource to Refuse after 500 Years of Mining and Pollution”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 35, pp. 1-36.
- IAEA, 2009. *Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability*. Available at: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf).
- IATA, 2014. *Dangerous Goods Regulations Manual* (55th edition).
- ICAO, 2013. *Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air* (2013-2014 edition).
- ILO, 2000. *Mercurous Chloride*. Available from: [http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0984](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0984).
- ILO, 2001. *Mercuric Oxide*, International Occupational Safety and Health Information Centre.
- IMO, 2014. *International Maritime Dangerous Goods Code* (2014 edition). Available from: <http://www.imo.org/Publications/IMDGCode/Pages/Default.aspx>.
- Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group (ITRC), 1998. *Technical Guidelines for On-site Thermal Desorption of Solid Media and Low Level Mixed Waste Contaminated with Mercury and/or Hazardous Chlorinated Organics*. Available at: <http://www.itrcweb.org/GuidanceDocuments/td-3.pdf>.
- Jacobs and Johnson Matthey, 2011. “Mercury Free VCM Catalyst”, presented at VCM Catalyst Workshop, Beijing, 19 September 2011.
- Jang, M., Hong, S. M. and Park, J. K., 2005. “Characterization and Recovery of Mercury from Spent Fluorescent Lamps”, *Waste Management*, vol. 25, pp. 5-14.
- Japan Standards Association, 1997. *JIS K 0222: Analysis Method for Mercury in Flue Gas*.
- Japan Public Health Association, 2001. *Preventive Measures against Environmental Mercury Pollution and Its Health Effects*, Japan Public Health Association, Tokyo, Japan. Available at <http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/docs/manual.pdf>.
- Jew, AD et al, 2014. “Microbially enhanced dissolution of HgS in an acid mine drainage system in the California Coast Range”, *Geobiology*, vol. 12 No. 1, pp. 20-33.
- Kanai, Y. and Endou, H. 2003. “Functional Properties of Multispecific Amino Acid Transporters and Their Implications to Transporter-Mediated Toxicity”, *Journal of Toxicological Sciences*, vol. 28, pp. 1-17. Available at: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jts/28/1/28\\_1\\_1\\_.pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jts/28/1/28_1_1_.pdf).

- Kerper, L.E., Ballatori, N. and Clarkson, T.W., 1992. "Methylmercury Transport Across the Blood-Brain Barrier by an Amino Acid Carrier", *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, vol. 262, pp. 761-765.
- Kobelco Eco-Solutions Co. Ltd., 2001. "Recycling System for Fluorescent Lamps" [in Japanese], p.45.
- Kuncova, H., Petrlik, J. and Stavkova, M., 2007. "Chlorine Production – a Large Source of Mercury Releases (The Czech Republic Case Study)", prepared by Arnika Association, Prague. Available at: [http://english.arnika.org/files/documents/Mercury\\_CZ.pdf](http://english.arnika.org/files/documents/Mercury_CZ.pdf).
- Lambrecht, B., 1989. "Zulus Get Exported Poison - US Mercury Waste Pollutes Drinking Water in S. Africa", *St Louis Post-Dispatch*, p.26.
- Latin America and the Caribbean Mercury Storage Project, 2010. "Options analysis and feasibility study for the long-term storage of mercury in Latin America and the Caribbean". Available from: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/LACMercuryStorageProject/tabid/3554/language/en-US/Default.aspx>.
- López, F.A. et al, 2010. "Formation of metacinnabar by milling of liquid mercury and elemental sulfur for long term mercury storage", *Science of the Total Environment*, vol. 408 No. 20, pp. 4341-4345.
- López, F.A. et al, 2015. "Mercury leaching from hazardous industrial wastes stabilized by sulfur polymer encapsulation", *Waste Management*, vol. 35, pp. 301-306.
- López-Delgado, A. et al, 2012. "A microencapsulation process of liquid mercury by sulfur polymer stabilization/solidification technology. Part I: Characterization of materials", *Revista de Metalurgia*, vol. 48 No. 1, pp. 45-57.
- Lowell Center for Sustainable Production, 2003. "An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products". Available at: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Docs/lcspfinal.pdf>.
- Lindberg, S.E. and Price, J. L., 1999. "Airborne Emissions of Mercury from Municipal Landfill Operations: A Short-Term Measurement Study in Florida", *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol., 49, pp. 520-532.
- Lindberg, S. E. et al, 2001. "Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA", *Atmospheric Environment*, vol. 35 No. 23, pp. 4011-4015.
- Maine Department of Environmental Protection, 2008. *Maine Compact Fluorescent Lamp Study*. Available from: <http://www.maine.gov/dep/rwm/homeowner/cflreport.htm>.
- Maxson, P., 2010. Personal communication regarding update of a UNEP 2005 mercury trade report.
- Maxson, P., 2011. Personal communication.
- Mattus, C. H., 1999. "Measurements of mercury released from amalgams and sulfide compounds. Oak Ridge National Laboratory", ORNL/TM 13728. Available at: <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/5899-ysqvR6/webviewable/5899.pdf>.
- Minamata City Hall, 2000. "Minamata Disease - History and Message", Minamata Disease Museum, Minamata City, Japan.
- Ministry of Environmental Protection of China, 2010. *Project Report on the Reduction of Mercury Use and Emission in Carbide PVC Production*. Available at: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/VCM%20Production/Phase%20I%20Final%20Report%20-%20PVC%20Project%20Report%20for%20China.pdf>.
- Ministry of the Environment of Japan, 1997. *Our Intensive Efforts to Overcome the Tragic History of Minamata Disease*.

- Ministry of the Environment of Japan, 2002. *Minamata Disease - The History and Measures*. Available from: <http://www.env.go.jp/en/chemi/hs/minamata2002/index.html>.
- Ministry of the Environment, Japan, 2007a. *Guidebook for Waste Management - Case Study of Promoting 3Rs in Japan*, JICA Seminar on Waste Management in Japan, Yokohama International Center.
- Ministry of the Environment of Japan, 2007b. *Waste Disposal and Recycling Measures*. Available from: <http://www.env.go.jp/en/recycle/manage/waste.html>.
- Ministry of the Environment of Japan, 2010. *Lessons from Minamata Disease and Mercury Management in Japan*. Available at: [http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/en\\_full.pdf](http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/en_full.pdf)
- Ministry of the Environment of Japan, 2015. *Japan's policy on the environmentally sound management of mercury wastes (summary) (recommended by the Central Environment Council in February 2015)*. Available at: <http://www.env.go.jp/en/recycle/wm/150413jpmw.pdf>.
- Mizutani, S., Kadotani, K. and Kanjo, Y., 2010. "Adsorption behavior of mercuric compounds on soils under different pH condition" [in Japanese], *Environmental Engineering Research*, Vol. 47, pp. 267-272.
- Mining, Minerals and Sustainable Development project (MMSD Project), 2002. Artisanal and Small-Scale Mining, documents on mining and sustainable development from United Nations and other organisations.
- Mottet, N.K., Shaw, C.M. and Burbacher, T.M., 1985. "Health Risks from Increases in Methylmercury Exposure", *Environmental Health Perspectives*, vol. 63, pp. 133-140. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1568483>.
- National Institute for Minamata Disease (NIMD), 1999. "Mission Report – Investigation into Suspected Mercury Contamination at Sihanoukville, Cambodia", Minamata City, Japan. Available from: [http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd\\_forum/nimd\\_forum\\_1999.pdf#page=134](http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_1999.pdf#page=134).
- Nomura Kohsan Co. Ltd., 2007. Treatment of Mercury-containing Wastes at Itomuka Plant of Nomurakohsan Co., Ltd. Tokyo, Japan.
- The Northeast Waste Management Officials' Association (NEWMOA), 2004. "Mercury-Added Product Fact Sheet". Available from: [http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/FactSheets/factsheet\\_ranges.cfm](http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/FactSheets/factsheet_ranges.cfm).
- North Atlantic Treaty Organization, Committee on the Challenges of Modern Society (NATO/CCMS), 1998. *Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater, NATO/CCMS Pilot Study, Phase II, Overview Report*. Available from: [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- OECD, 2001a. *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments*.
- OECD, 2001b. *Harmonised Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures*.
- OECD, 2004. *Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management of Waste*. Available from: <http://acts.oecd.org/Instruments/ShowInstrumentView.aspx?InstrumentID=51>.
- OECD, 2007. *Guidance Manual on Environmentally Sound Management of Waste*. Available at: <http://www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf>.
- Ogaki, Y., Yamada, Y. and Nomura, M., 2004. "Recycling Technology of JFE Group for Recycle Oriented Society" [in Japanese], *JFE GIHO*, vol. 6, pp. 37-43. Available at: <http://www.jfe-steel.co.jp/research/giho/006/pdf/006-07.pdf>.
- Oikawa, K. et al, 1983. "Respiratory Tract Retention of Inhaled Air Pollutants, Report 1: Mercury Absorption by Inhaling Through the Nose and Expiring Through the Mouth at Various Concentrations", *Chemosphere*, vol. 11, 943-951.

- Oliveira, R.B. et al, 1998. "Methylmercury Intoxication and Histochemical Demonstration of NADPH-Diaphorase Activity in the Striate Cortex of Adult Cats", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, vol. 31, pp. 1157-1161.
- Ozonoff, D.M., 2006. "Methylmercury". Available at: [http://www.ijc.org/rel/pdf/health\\_effects\\_spring2006.pdf](http://www.ijc.org/rel/pdf/health_effects_spring2006.pdf).
- Partnership for Action on Computing Equipment (PACE) Working Group, 2011. *Environmentally Sound Management (ESM) Criteria Recommendations*.
- Panasonic, "Akari Ansin Service" [in Japanese]. Available from: <http://www2.panasonic.biz/es/lighting/akarianshin/index.html>.
- Parker, J. L. and Bloom, N.S., 2005. "Preservation and storage techniques for low-level mercury speciation", *Science of the Total Environment*, vol. 337, pp. 253-263.
- Richardson, G.M. and Allan, M., 1996. "A Monte Carlo Assessment of Mercury Exposure and Risks from Dental Amalgam", *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 2, pp. 709-761.
- Richardson, G.M., 2003. "Inhalation of Mercury-Contaminated Particulate Matter by Dentists: An Overlooked Occupational Risk", *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 9, pp. 1519-1531.
- Sakamoto, M. et al, 2004. "Maternal and Fetal Mercury and n-3 Polyunsaturated Fatty Acid as a Risk and Benefit of Fish Consumption to Fetus", *Environmental Science and Technology*, vol. 38, pp. 3860-3863.
- Sakamoto, M. et al, 2005. "Difference in Methylmercury Exposure to Fetus and Breast-Feeding Offspring", *Korean Journal of Environmental Health*, vol. 31, pp. 179-186.
- Sanborn, J.R. and Brodberg, R.K., 2006. "Evaluation of Bioaccumulation Factors and Translators for Methylmercury". Available at: [http://www.oehha.ca.gov/fish/special\\_reports/pdf/BAF020907.pdf](http://www.oehha.ca.gov/fish/special_reports/pdf/BAF020907.pdf).
- Science Applications International Corporation, 2002. "Technical Background Document: Mercury Wastes Evaluation of Treatment of Bulk Elemental Mercury Final Report". Available from: <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-RCRA-2002-0029-0005>.
- Spiegel, S. and Veiga, M., 2006. "Interventions to Reduce Mercury Pollution in Artisanal Gold Mining Sites - lessons from the UNDP/GEF/UNIDO Global Mercury Project", NIMD Forum 2006 II, Minamata City, Ministry of the Environment, Japan, pp. 1-18. Available at: [http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd\\_forum/nimd\\_forum\\_2006\\_II.pdf#page=8](http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_2006_II.pdf#page=8).
- Steffen, A. et al, C. 2007. "A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry Linking Atmosphere, Snow and Water", *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 7, pp. 10837-10931.
- Tajima, S., 1970. "Studies on the Formation of Methylmercury Compounds. 1. Preparation of Monomercurated Acetaldehyde XHgCH<sub>2</sub>CHO and Formation of Methylmercury Compounds from Monomercurated Acetaldehyde" [in Japanese], *Kumamoto Igakkai Zasshi*, vol. 44, pp. 873-886.
- Takahashi, Nakamura and Mizoiri, Shoji, 2004. "Mercury Behaviour in Chuo Bohatei Sotogawa Landfill" [in Japanese], Annual Report of the Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection 2004, pp. 165-171.
- Tanel, B., Reyes-Osorno, B. and Tansel, I.N., 1998. "Comparative Analysis of Fluorescent Lamp Recycling and Disposal Options", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 25, pp. 82-88.
- The Lamp Recycling Outreach Project, undated. "Training Module (1-hour version) for Generators and Handlers Of Fluorescent and Mercury-Containing Lamps (and Ballasts)". Available at: <http://www.almr.org/1hourtrainingmodule.pdf>.

The Office of Technology Assessment, 1983. "Case Examples of Process Modification - Appendix 5A", in *Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste Control*, The Office of Technology Assessment, Darby, USA, Diane Publishing, pp. 213-217.

The School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, 2000. "Environmental Justice Case Study - Thor Chemicals and Mercury Exposure in Cato-Ridge, Kwazulu-Natal, South Africa". Available from: <http://www.umich.edu/~snre492/Jones/thorchem.htm>.

The Zero Mercury Working Group et al, 2009. "Mercury Rising: Reducing Global Emissions from Burning Mercury-Added Products". Available at: [http://www.zeromercury.org/phocadownload/Mercury\\_in\\_processes/FINAL\\_MercuryRising\\_Feb2009.pdf](http://www.zeromercury.org/phocadownload/Mercury_in_processes/FINAL_MercuryRising_Feb2009.pdf).

United Nations, 2013. *United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods - Model Regulations* (18th revised edition). Available from: [http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev18/18files\\_e.html](http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev18/18files_e.html).

UNDP, 2010. *Guidance on the Cleanup, Temporary or Intermediate Storage, and Transport of Mercury Waste from Health Care Facilities*. Available at: <http://www.gefmedwaste.org/downloads/Guidance%20on%20Cleanup%20Storage%20and%20Transport%20of%20Mercury%20from%20Health%20Care%20July%202010.pdf>.

UNECE, 2003. *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)*. Available from: [http://live.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev00/00files\\_e.html](http://live.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev00/00files_e.html).

UNEP, 1994. *Guidance Document on the Preparation of Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Subject to the Basel Convention*. Available from: <http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/framework.doc>.

UNEP, 1995a. *Model National Legislation on the Management of Hazardous Wastes and Other Wastes as well as on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Other Wastes and their Disposal*. Available at: <http://www.basel.int/pub/modlegis.pdf>.

UNEP, 1995b. *Basel Convention Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5)*. Available at: <http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech-d5.pdf>.

UNEP, 1999. *Report of the Fifth Meeting of the Conference of the Parties to the Basel Convention*. Available from: <http://www.basel.int/meetings/cop/cop5/cop5reportfinal.pdf>.

UNEP, 2002. *Global Mercury Assessment*, Geneva, Switzerland. Available at: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/LinkClick.aspx?fileticket=Kpl4mFj7AJU%3d&tabid=3593&language=en-US>.

UNEP, 2005. *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases*. Available at: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx>.

UNEP, 2006a. *Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)*. Available at: [http://www.saicm.org/images/saicm\\_documents/saicm%20texts/SAICM\\_publication\\_ENG.pdf](http://www.saicm.org/images/saicm_documents/saicm%20texts/SAICM_publication_ENG.pdf).

UNEP, 2006b. *Guide for Reducing Major Uses and Releases of Mercury*. Available at: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector%20Guide%202006.pdf>.

UNEP, 2006c. *Summary of Supply, Trade and Demand Information on Mercury* Geneva, Switzerland. Available at: <http://www.chem.unep.ch/mercury/HgSupplyTradeDemandJM.pdf>.

UNEP, 2008a. *Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport*. Available at: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/LinkClick.aspx?fileticket=Y0PHPmrXSuc%3d&tabid=3593&language=en-US>.

UNEP, 2008b. *Report on the Major Mercury Containing Products and Processes, Their Substitutes and Experience in Switching to Mercury Free Products and Processes*. Available at:

[http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/g7\)/English/OEWG\\_2\\_7.doc](http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/g7)/English/OEWG_2_7.doc).

UNEP, 2008c. *Summary Report on UNEP Mercury Inventory Activities*. Available at:  
[http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/y25\\_14\)/English/OEWG\\_2\\_INF14.doc](http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/y25_14)/English/OEWG_2_INF14.doc).

UNEP, 2008d. *[Mercury] awareness raising package*. Available from:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/ReportsPublications/AwarenessRaisingPackage/tabid/4022/language/en-US/Default.aspx>.

2010a. *Global ASGM Forum Report*. Available at:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/GlobalForumonASGM/tabid/6005/Default.aspx>.

UNEP, 2010b. *Study on mercury sources and emissions and analysis of cost and effectiveness of control measures “UNEP Paragraph 29 study”*, document UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4. Available at:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/Negotiations/INC2/INC2MeetingDocuments/tabid/3484/language/en-US/Default.aspx>.

UNEP, various dates. *Global Mercury Partnership reports and publications*. Available from:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/PrioritiesforAction/ArtisanalandSmallScaleGoldMining/Reports/tabid/4489/language/en-US/Default.aspx>.

UNEP, 2013. *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases*. Available from:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx>. (Revised in 2015)

UNEP, 2014a. *Report on the status of projects funded under the Quick Start Programme as of February 2014*. Available at:  
<http://www.saicm.org/images/SAICM.EB.9.4.rev1%20Report%20on%20projects%20funded%20under%20the%20QSP.pdf>.

UNEP, 2014b. *List of alternatives to mercury-added products*. Available at:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Products/flyer%20final1%20%20mercury-free%20alternatives.pdf>.

UNEP, 2015a. *Manual for the Implementation of the Basel Convention*. Available from: [www.basel.int](http://www.basel.int).

UNEP, 2015b. *Guide to the Control System*. Available from: <http://www.basel.int>.

UNEP, 2015c. *General Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants*. Available from:  
<http://www.basel.int/pub/techguid/tg-POPs.doc>.

UNEP, 2015d. *Methodological guide for the development of inventories of hazardous wastes and other wastes under the Basel Convention*. Available from: <http://www.basel.int>.

UNEP and WHO, 2008. *Identifying Populations at Risk*. Available from:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingmaterialToolkits/GuidanceforIdentifyingPopulationsatRisk/tabid/3616/language/en-US/Default.aspx>.

UNEP and SETAC, 2009. *Life Cycle Management*. Available at:  
<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1208xPA-LifeCycleApproach-Howbusinessusesit.pdf>.

UNEP Global Mercury Partnership, 2013. *Global Inventory of Mercury-Cell Chlor-Alkali Facilities* [last updated in 2013]. Available from:  
<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/GlobalMercuryPartnership/ChloralkaliSector/Reports/tabid/4495/language/en-US/Default.aspx>.

US Department of Energy, 2009. *US Department of Energy Interim Guidance on Packaging, Transportation, Receipt, Management, and Long-Term Storage of Elemental Mercury*. Available at:  
[http://www.mercurystorageeis.com/Elementalmercurystorage%20Interim%20Guidance%20\(dated%202009-11-13\).pdf](http://www.mercurystorageeis.com/Elementalmercurystorage%20Interim%20Guidance%20(dated%202009-11-13).pdf).

U.S. Department of Transportation, Transport Canada, Secretariat of Communications and Transportation of Mexico (SCT), 2012. *Emergency Response Guidebook*. Available from: <https://www.tc.gc.ca/eng/canutec/guide-menu-227.htm>.

Waples, Jacob S. et al, 2005. "Dissolution of cinnabar (HgS) in the presence of natural organic matter", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 69 No. 6, pp. 1575-1588.

WHO, 1972. *WHO Food Additives Series, No.4: Evaluation of Mercury, Lead, Cadmium and the Food Additives Amaranth, Diethylpyrocarbonate, and Octyl Gallate*. Available from: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v004je07.htm>.

WHO, 1990. *Environmental Health Criteria 101: Methylmercury*. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>.

WHO, 1991. *Environmental Health Criteria 118: Inorganic Mercury*. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm>.

WHO, 2003. *Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects*. Available at: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf>.

WHO, 2006. *Guidelines for drinking-water quality, third edition, incorporating first and second addenda*. Available from: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/).

WHO, 2010. *Future Use of Materials for Dental Restoration*. Available at: [http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/2011Dental%20material%20web\\_final%20report%20of%202009%20mtg.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/2011Dental%20material%20web_final%20report%20of%202009%20mtg.pdf).

WHO, 2011. *Replacement of mercury thermometers and sphygmomanometers in health care Technical guidance*. Available from: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/mercury\\_thermometers/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/mercury_thermometers/en/).

WHO Regional Office for Europe, 2000. *Air Quality Guidelines - Second Edition*. Available at: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/123079/AQG2ndEd\\_6\\_9Mercury.PDF](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/123079/AQG2ndEd_6_9Mercury.PDF).

Wood, J.M., 1974. "Biological Cycles for Toxic Elements in the Environment", *Science*, vol. 15, pp. 1043-1048.

World Nuclear Association, 2010. "Storage and Disposal Options". Available from: <http://www.world-nuclear.org/info/inf04ap2.html>.

Yanase R., Hirato, O. and Matsufuji, Y., 2009. "Behaviour of Mercury from Used Batteries in Landfills over 20 Years", *Journal of the Japan Society of Material Cycles and Waste Management*, vol. 20 No. 1, pp. 12-23.