

IPEN

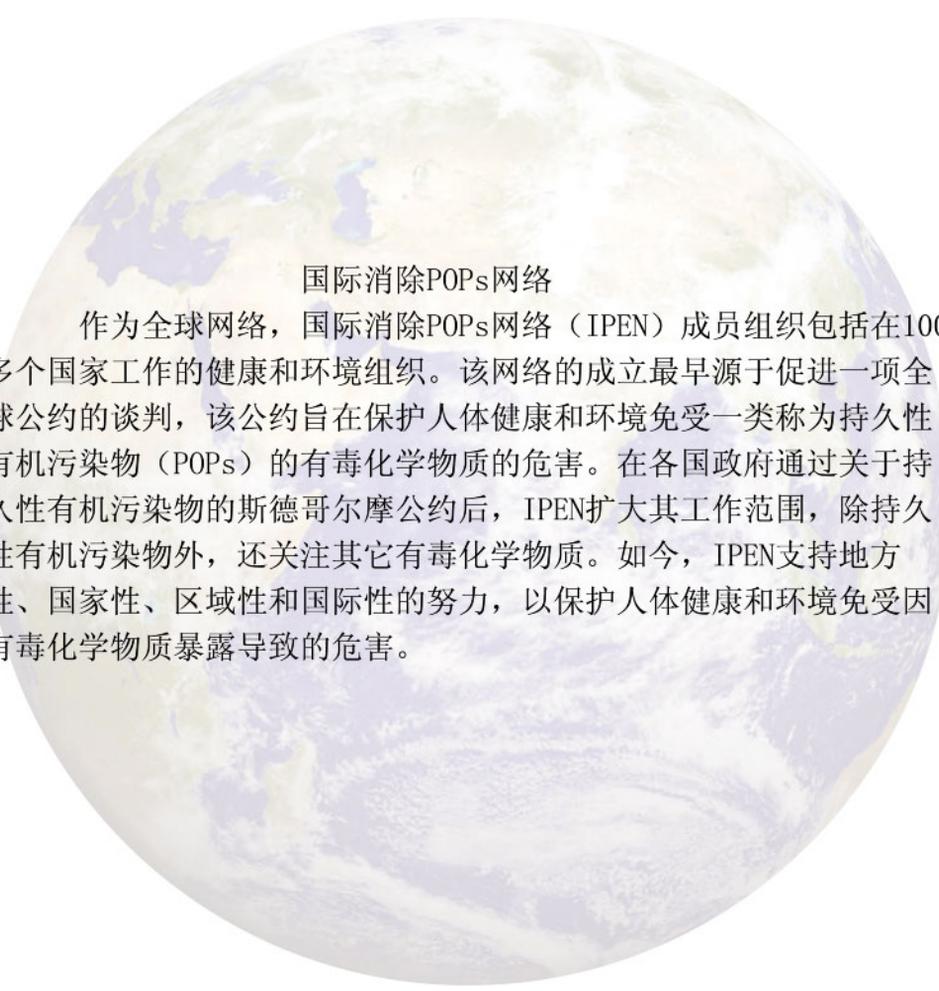
INTERNATIONAL POPs
ELIMINATION NETWORK



汞污染NGO指南

作者：杰克 温布格
(Jack Weinberg)
高级政策顾问
国际消除POP_s网络 (IPEN)





国际消除POPs网络

作为全球网络，国际消除POPs网络（IPEN）成员组织包括在100多个国家工作的健康和环境组织。该网络的成立最早源于促进一项全球公约的谈判，该公约旨在保护人体健康和环境免受一类称为持久性有机污染物（POPs）的有毒化学物质的危害。在各国政府通过关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约后，IPEN扩大其工作范围，除持久性有机污染物外，还关注其它有毒化学物质。如今，IPEN支持地方性、国家性、区域性和国际性的努力，以保护人体健康和环境免受因有毒化学物质暴露导致的危害。

本手册的再印需经IPEN允许，且仅限于非商业用途。

AAP	美国儿科学会
ALMR	美国照明和汞再循环产业协会
AMDE	大气汞耗尽事件
APCD	空气污染控制设备
ASGM	手工作坊和小型金矿开采
BAT	最佳可行技术
BPOM	印尼食品和药品控制机构
CDC	美国疾病控制预防中心
CFL	紧凑型荧光灯
COP	缔约方大会
CSO	公民社会组织
EMEA	欧洲药品评价局
EPA	(美国)环境保护署
EPR	生产者责任延伸制
FAO	联合国粮农组织
FDA	美国食品和药物监督管理局
FGD	烟气脱硫系统
GAIA	全球焚化炉替代联盟
GC	联合国环境规划署理事会
GEM	气态单质汞
HCWH	无害医疗
HID	高强度气体放电灯
IARC	国际癌症研究机构
IPEN	国际消除 POPs 网络
LCD	液晶显示器
LED	发光二极管
LNG	液化天然气
MSDS	化学品安全说明书
NGO	非政府组织
PAN	农药行动网络
POP	持久性有机污染物

PTWI	暂定每周可耐受摄入量
PVC	聚氯乙烯
RGM	活性气态汞
RoHS	关于限制在电子电器设备中使用某些有害物质的指令
S/S	固化/稳定化
SCR	选择性催化还原
TGM	总气态汞

目录

1 前言.....	5
2. 环境中汞的简介	8
3. 汞和甲基汞的毒性影响.....	13
3.1 单质汞和无机汞盐.....	14
3.2 甲基汞	15
3.3 甲基汞的环境影响.....	19
4. 汞污染.....	21
4.1 急性汞污染和水俣病.....	21
4.2 受汞污染的鱼	23
4.3 受汞污染的水稻.....	29
5. 汞进入环境的途径.....	31
6. 汞供应.....	37
6.1 汞矿.....	37
6.2 有色金属提炼产生的副产品单质汞	40
6.3 天然气所含单质汞.....	41
6.4 汞循环利用和回收.....	42
6.5 减少汞供应的必要性.....	44
7. 故意来源：产品所含汞.....	46
7.1 医疗设备所含汞.....	46
7.2 含汞开关.....	49
7.3 电池所含汞.....	52
7.4 荧光灯所含汞	56
7.5 其它含汞灯.....	62

7.6 测量设备所含汞	65
7.7 牙科用汞合金所含汞	66
7.8 含汞农药和杀菌剂	69
7.9 实验室和学校里的汞	72
7.10 化妆品所含汞	74
7.11 药品所含汞	76
7.12 文化产品、传统医药和珠宝所含汞	85
8. 故意汞源：开采和工业生产工艺所含汞	88
8.1 手工作坊和小型金矿中的汞使用	88
8.2 氯碱生产所含汞	91
8.3 用于化学生产的汞催化剂	97
9. 非故意汞源	102
9.1 燃煤电厂	102
9.2 其它化石燃料燃烧	114
9.3 水泥生产	117
9.4 金属开采和提炼	121
10. 汞废物和受污染场地	126
10.1 产品废物	126
10.2 汞加工和副产品废物	129
10.3 土壤和水所含汞	129
10.4 单质汞的长期存储	132
11. 建立全球汞控制条约	138
11.1 全球汞评估报告	138
11.2 汞控制条约谈判决议	140
12. 有效的全球汞控制条约之谈判	142
13. IPEN 关于全球汞条约之见解	144
14. 结论	149

1. 前言

本手册介绍了有毒环境污染物汞，提供了关于汞污染及其对人体健康和环境所造成的危害方面的信息。同时，本手册介绍了汞污染的主要来源，呼吁在地区、国家及全球层面上，公民社会应竭力控制向环境释放汞的人类行为。本手册尤为关注目前开展的旨在建立全球汞控制公约的政府间讨论和谈判，鼓励非政府组织（NGO）和其它公民社会组织(CSO)参与公约进程。

汞为一种全球污染物，当被释放至环境中，该物质会随着气流而蒸发、迁移，而后返降于地面，有时降落于初始源头附近，有时为远离源头之处。汞进入水环境后，通过微生物，转化成甲基汞。即使在低剂量时，甲基汞这种汞化合物也比单质汞更具毒性。

环境中的甲基汞成为食物链的组成部分。小型水生生物通过其周边环境摄入甲基汞。反过来，它们又被鱼类和其它较大水生生物所食。其结果便是，甲基汞得以生物放大，在该类污染物不断进入食物链的上端时，进行大幅蓄积。海洋哺乳类动物、鸟类和其它动物因其食用鱼类而受到甲基汞高度污染。通常，在体积较大和生命较长的动物体内汞的蓄积较高。经常食鱼的人群或动物也会充分受到甲基汞污染，对其健康造成危害。母亲会将蓄积在其体内的汞传输至处于发育期的胎儿。胎儿、婴儿和儿童尤易因汞污染而受到危害。

多年来，关于汞污染对人体健康和环境危害的科学知识不断增长，许多政府已采取一些举措—在其管辖范围内—控制向环境释放汞的工业和其它人类活动。然而，由于汞为一种全球污染物，仅凭一国的国家政府行为难以保护本国人民和环境免受汞污染造成的危害。认识到这点，2009年，各国政府同意启动政府间公约的谈判，旨在筹备一项具有法律约束力的全球

汞控制公约。筹备具法律约束力的全球汞文书政府间谈判委员会的首次会议于 2010 年 6 月在瑞典斯德哥尔摩召开。谈判目标是对公约终稿达成共识，以便能及时在 2013 年召开的外交大会上通过一项新的全球汞公约。

本手册的出版旨在鼓励全球公民社会组织并使其参与旨在控制汞污染的地区性、国家性和国际性行动，内容包括这些组织在旨在提高选民和广大公众汞意识的项目和活动中可使用的信息。本手册确认了汞污染的诸多来源，并针对污染源控制提出建议。同时，本手册概括了为了成功地将汞污染充分降至最低以保护人体健康和环境，全球汞控制公约所必须纳入的各种规定，鼓励各国公民社会组织积极进行宣传，确保各国政府通过、批准和完全履行一项具有有效性和保护性的汞控制公约。

本手册面向的读者为非政府组织和公民社会组织的领导者和成员，这些组织关注或应该关注保护公众健康和环境使其免受汞污染造成的危害，包括公众健康和环境倡导组织、医药和职业医疗组织、受汞暴露潜在影响的社区和选民代表、工会和其它。作为面向非政府组织读者的手册，本手册为以化学品为主题的系列手册之四。¹其它系列手册如下：

- *NGO 指南之国际化学品管理战略方针*
- *NGO 指南之持久性有机污染物*
- *NGO 指南之国际化学品管理战略方针和有害农药*

所有这些手册旨在鼓励非政府组织和公民社会组织开展活动、计划和项目，以期望建造一个有毒化学品暴露不再成为危害人类健康和生态环境之重要来源的世界。

本手册和其他系列手册由国际消除 POPs 网络（以下简称 IPEN）提供。作为全球网络组织，IPEN 拥有 100 余个国家内

¹ 这一系列手册提供多种语言版本，详情见 IPEN 网站 <http://www.ipen.org/campaign/education.html>。

700 多家公益组织、健康和环境非政府组织。该网络建立的起因源于推动一项全球公约的谈判，该公约旨在保护人类健康和环境免受持久性有机污染物（POPs）这类有毒化学物质危害。其后，随着各国政府通过了《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，IPEN 将其使命从控制持久性有机污染物扩充至其它有毒化学物质，如今大力支持地区性、国家性、区域性和国际性行动，保护人类健康和环境免受所有有毒化学物质暴露导致的危害。

感谢瑞典环保局和瑞士联邦环境办公室和其它 IPEN 的资助方为本手册提供财政支持。文中所表达的观点并非必为 IPEN 资助方的观点。

同时，感谢在繁忙之际为本手册提供信息和对本手册部分内容或全文进行审查的人士。尤为感谢艾瑞克·尤兰姆(Eric Uram), 乔伊·迪冈齐 (Joe DiGangi), 艾伦·沃特森(Alan Watson), 和彼得·奥利斯(Peter Orris)。以下人士亦对本手册做出了贡献：比约·比勒尔(Björn Beeler), 玛丽安·劳艾德-史密斯(Mariann Lloyd-Smith), 奥尔加·斯伯兰斯加亚(Olga Speranskaya), 理查德·高蒂维斯(Richard Gutierrez), 费尔南多·毕加拉罗(Fernando Bejarano), 拉维·阿格瓦尔(Ravi Agarwal), 金德里奇·佩特里科(Jindrich Petrlik), 艾娃·克吕梅尔(Eva Kruemmel), 费德里昂(Fede de Leon), 曼尼·卡隆佐(Manny Calonzo), 萨莱尔·侯赛因 Shahriar Hossain, 安间武(Takeshi Yasuma), 莉莲·科拉(Lilian Corra), 羽芸·伊斯马瓦提(Yuyun Ismawati), 艾哈迈德·贾法里(Ahmed Jaafari), 吉尔伯特·库艾保沃(Gilbert Kuepouo), 瓦莱丽·丹尼(Valerie Denney)及其他人士。手册中如有差错仅为作者本人之误。

杰克·温布格
(Jack Weinberg)
2010 年 10 月

2. 环境中汞的简介

汞是一种自然元素，它的化学符号为 Hg，该缩写源自希腊语 hydrargyrum，意指液体水银。在纯粹形式下，汞为一种银白色金属，在标准温度和压力之下为液体。在不同语境中，纯汞通常称为水银、金属汞或液态汞，但其更为常见的称谓是单质汞。

由于单质汞有着较高的表面张力，当释放至环境中时，便形成小且结构紧凑的球型液滴。虽然液滴本身呈稳定状态，但与其它金属相比，汞具有较高的蒸气压，从而导致汞蒸发。在室内环境中，汞能迅速地变为一种吸入性危害。在室外，单质汞蒸发而后进入大气。²

作为一种元素，汞不是人为创造的产物，也无法被破坏。通过火山喷发，汞释放至环境中，通常以汞盐如硫化汞的形式自然地显现于地壳中。在未受污染土壤中，汞的存在量非常小，平均浓度约为 100ppb。岩石中所含汞的浓度为 10 和 20000ppb 之间。³ 出于某些目的，许多不同形式的人类活动使得汞脱离地壳，导致汞向一般环境释放。

朱砂矿石在人体的使用会产生单质汞，其中含有高浓度的硫化汞。同时，单质汞也是铜、金、铅和锌等金属开采和提炼

² "Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste, and Water," U.S. EPA Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 2007, <http://www.epa.gov/tio/download/remed/542r07003.pdf>.

³ "Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Mercury and Mercury Compounds," U.S. Environmental Protection Agency, 1997, <http://www.epa.gov/ttnchie1/le/mercury.pdf>.

的副产品。汞也能通过再循环作业进行回收，有时可从天然气或其它化石燃料中去除。

据估计，全球环境中近三分之一的汞为天然汞，近三分之二汞源自工业行为和其他人类活动而释放至环境中。⁴除火山喷发外，汞的自然来源还包括岩石和土壤的风化。自工业时代开始以来，世界范围内大气、土地、湖泊、溪流和海洋中的汞量增长的因子为 2 和 4 之间。⁵其结果是，我们环境中的汞浓度非常之高，极具危险性。

一些人类活动会向环境释放汞。汞存在于化石燃料、金属矿石和其它矿石中。当煤燃烧时，其中的许多汞进入环境中。开采和提炼金属矿石以及水泥制造也会向环境释放汞。不论人们在何时故意生产和使用汞时，许多汞都将最终挥发至大气中。目前最大的汞故意使用是源自手工作坊和小型金矿矿工。有时汞化合物也用作化学品生产和其它工业生产工艺中的催化剂或原料。最后，汞及其化合物存在于无数种消费品和工业产品中。

当汞进入空气中，它随风而行，最终返降于地面。在空气中，汞能够在返降于地面之前进行短途或长途迁移；它甚至可以穿行全球。对于部分降落至海洋或土地的汞而言，它会再次挥发；会再次随风迁移而后降落于它处的地面。降落在地面和不挥发的汞会附着于有机物。有些沉积在泥炭或土壤中。其余的最终排向小溪和河流，而后进入湖泊和海洋。在水生环境中，单质汞可能会附着于沉积物中，而后随着洋流和河流迁移。有些汞在水柱中保持溶解状态。在水生系统中，天然存在的微生物能够将汞转化为甲基汞，在低剂量时，甲基汞这类有

⁴ U.S. Environmental Protection Agency, http://www.epa.gov/mercury/control_emissions/global.htm.

⁵ Health Canada, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-smmt/pubs/contaminants/mercur/q1-q6_e.html.

机金属化合物较纯汞更具毒性。甲基汞成为水生植物链的一部分，进行生物蓄积和生物放大，而后通过迁徙物种进行迁移。

大气中的汞

大气中的汞多数呈气态，但有些汞附着于颗粒物。气态汞多数为单质汞，少量氧化为汞化合物如氯化汞和氧化汞。

纯汞蒸气，亦称气态单质汞（GEM），具有很低的水溶性，在大气中非常稳定，存留时间为六个月至两年。这种稳定性使得单质汞能够进行长距离的迁移，导致气态单质汞浓度相当一致。但是，在工业更为发达的北半球地区其大气中气态单质汞浓度高于南半球地区。

大气中气态的汞化合物通常被视为活性气态汞（RGM）。活性气态汞化合物比气态单质汞化合物更具化学活性，多数具水溶性。与气态单质汞相比，活性气态汞在大气中的稳定性低得多，雨水或其它沉淀形式会使其从大气脱离，称为湿沉降。通过一种称为干沉降的过程，活性气态汞也能不经降水便从大气中脱离。

活性气态汞在大气中的存留时间非常短。附着于颗粒物的汞在大气中的存留时间也相对较短，经过湿沉降和干沉降也能使其迅速脱离。

由于气态单质汞该气体的水溶性不高，降水形式不能有效地将其从大气中去除。但可以通过各种机制使得气态单质汞沉降，这些机制为调查的持续课题。一些研究将气态单质汞沉降与大气表层的光化学反应联系起来。某些研究表明气态单质汞的干沉降会出现在林冠上，这是大气中气态单质汞的一种重要

的下沉表现。另有项研究发现在特定条件下，气态单质汞能够从海洋边界上空大气中脱离。^{6,7,8}

据文献报告，已出现一种称为大气汞耗尽事件(AMDE)的较新现象。针对加拿大北极高纬度地区的研究发现每年春天，在极地日出期间，大气中的汞浓度急剧下降，同时，地面空气中的臭氧会耗尽。在北极和南极地区都曾出现过大气汞耗尽事件。这些耗尽事件可能是由于海洋源头的臭氧和卤素化合物之间的低层大气中光化学反应导致，尤其是氧化溴。在此过程中，臭氧被破坏，大气中的单质汞被氧化而后转变为活性气态汞化合物。据估计，每年北极地区因大气汞耗尽事件导致此类活性汞的沉积量达 300 公吨。显然，该结果是北极地区汞沉积量的双倍或更多，其数量超过了在没有出现这些春季耗尽事件时的汞沉积量。另外，这些大气汞耗尽事件的汞沉降以生物可利用氧化汞化合物的形式出现。^{9,10,11}大气汞耗尽事件的发现有助于进一步解释为何北极地区居民因甲基汞暴露所受的影响与其地区活动不成比例。

⁶ X. W. Fu et al., "Atmospheric Gaseous Elemental Mercury (GEM) Concentrations and Mercury Depositions at a High-Altitude Mountain Peak in South China," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, <http://www.atmos-chem-phys.net/10/2425/2010/acp-10-2425-2010.pdf>.

⁷ E.-G. Brunke et al., "Gaseous Elemental Mercury Depletion Events Observed at Cape Point During 2007–2008," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, <http://www.atmos-chem-phys.net/10/1121/2010/acp-10-1121-2010.pdf>.

⁸ "Fact Sheet: Mercury—A Priority Pollutant," Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2005, <http://www.amap.no/documents/index.cfm?action=getfile&dirsub=/Fact%20Sheet%20-%20ACAP&FileName=FINAL%20-%20merc%20post%20corrections-101205%20screen.pdf>.

⁹ A. Steffen et al., "A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry in the Atmosphere and Snow," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, <http://www.atmos-chem-phys.org/8/1445/2008/acp-8-1445-2008.pdf>.

¹⁰ Jens C. Hansen et al., "Exposure of Arctic Populations to Methylmercury from Consumption of Marine Food: An Updated Risk-Benefit Assessment," *International Journal of Circumpolar Health* 64:2, 2005.

¹¹ Laurier Poissant et al., "Critical Review of Mercury Fates and Contamination in the Arctic Tundra Ecosystem," *Science of the Total Environment* 400, 2008, 173-211.

目前，仍在持续进行着大气中气态单质汞所含汞沉积在土地和水流中所通过的机制方面的调查。

单质汞的某些特性

特性	值
原子量	200.59
原子序数	80
熔点	-38.87°C
沸点	356.58°C
25°C 时的蒸气压	2×10^{-3} mm Hg
25°C 时的水溶解性	20-30 $\mu\text{g/L}$
美国化学文摘登记号 (CAS)	7439-97-6
质量	13.5336 gm/cc

3.汞和甲基汞的毒性影响

关于汞具有毒性的认识至少可追溯至公元一世纪，当时罗马学者普林尼（Pliny）认为汞中毒是奴隶中所患的一种疾病，他指出受汞蒸气污染的众多矿山对罗马市民造成不健康影响。¹²

在流行文化中，汞中毒曾与《爱丽丝梦游仙境》中的疯帽匠联系在一起。十九世纪，英国制帽工业的工人频繁出现神经系统病症，例如易怒、害羞、失落、颤抖和口齿不清。暴露于汞化合物硝酸汞这种当时广泛用于毡帽制作的化学物质，导致这些病症的出现，许多人认为这些中毒的工人为英语俗语“疯如制帽匠”(mad as a hatter)的来历，是“疯帽匠性格”之说产生的出处。¹³

汞的职业暴露问题不仅存在于过去，如今许多行业的从业人员同样面临着该问题，例如汞矿；氯碱生产；温度计生产；荧光灯；电池和其它含汞产品；金、银、铅、铜、镍等的开采和提炼；牙科领域。在手工作坊和小型金矿上的成百万从业人员所遭受汞暴露的范围最大。这些矿工使用单质汞将金从废石中分离，而其工作条件通常不受控制或者控制不佳。其结果是，矿工、其家庭成员和社群受到高度暴露。

神经系统对所有形式的汞极为敏感。甲基汞和金属汞蒸气尤其伤害性，因为这些形式的汞更容易进入大脑。高度暴露于金属汞、无机汞或有机汞会对大脑和肾脏造成永久性损害，甚至在母体暴露数月之后，仍会影响处于发育的胎儿。这些有害

¹² 大英百科全书在线 (Encyclopedia Britannica Online), 2010年2月20日, <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/424257/occupational-disease>。

¹³ "NIOSH Backgrounder: Alice's Mad Hatter and Work-Related Illness," U.S. National Institute for Occupational Safety and Health, March 2010, <http://www.cdc.gov/niosh/updates/upd-03-04-10.html>.

影响会通过母体传输至胎儿，包括大脑损伤、精神发育迟滞、失明、癫痫和丧失说话能力。受汞污染的儿童可能会出现神经、消化系统问题和肾脏损伤。成人暴露于汞会出现如下病症：易怒、害羞、颤抖、视力或听力的变化以及记忆问题。短期高度暴露于金属汞蒸气可能会导致肺损伤、呕吐、恶心、腹泻、血压升高或心率加速、皮疹和眼部发炎。¹⁴

由世界卫生组织（WHO）和联合国环境规划署(UNEP)联合发布的一本指导性文件中提及如下内容：

“针对汞及其化合物毒性的主要目标是神经系统、肾脏和心血管系统。普遍认同的观点是处于发育期的器官系统（如胎儿神经系统）对汞的毒性影响最为敏感。胎儿脑部汞暴露水平似乎大大高于母体血液中的水平，胎儿处于发育期的中枢神经系统因其表现出最大的敏感性，而被视为应引起关注的主要系统。其它受影响的系统包括呼吸系统、消化系统、血液系统、免疫系统和生殖系统。”¹⁵

3.1 单质汞和无机汞盐

吸入汞蒸气会导致人们因纯单质汞而中毒。近 80%的吸入汞蒸气被呼吸道或通过鼻窦吸收，而后进入循环系统，分至周身各处。¹⁶吸入式慢性暴露即使是低剂量已显示会对工人造

¹⁴ "ToxFAQs for Mercury," Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999, <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html#bookmark05>.

¹⁵ "Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure," UNEP DTIE Chemicals Branch and WHO Department of Food Safety, Zoonoses, and Foodborne Diseases, 2008, p.4., <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingmaterialToolkits/GuidanceforIdentifyingPopulationsatRisk/tabid/3616/language/en-US/Default.aspx>

¹⁶ Wikipedia entry on mercury poisoning, M.G. Cherian, J.G. Hursh, and T.W. Clarkson, "Radioactive Mercury Distribution in Biological Fluids and Excretion in Human Subjects after Inhalation of Mercury Vapor," *Archives of Environmental Health* 33, 1978: 190-214.

成影响，如出现颤抖、认知能力受损和睡眠受干扰等问题。¹⁷在许多工业场所都存在单质汞蒸气。同时，它也存在于使用含汞产品的医院、牙科诊所、学校以及家庭等处。因吸入这些汞蒸气而产生的暴露表现出重大风险。

另一方面，液体形式的单质汞与多数的无机汞和有机汞化合物不同，因为当人们因摄入或通过皮肤接触而暴露时，它不容易被吸收至人体。动物数据显示，经由肠胃吸收的摄入性单质汞不足 0.01%。因吞咽金属单质汞而中毒的现象不常见。¹⁸

另一方面，无机汞盐具有很强的毒性和腐蚀性。急性暴露于无机汞盐会导致肠胃的腐蚀性伤害，也会导致严重的肾损伤。如果摄食汞盐或通过皮肤接触汞盐，身体对其的吸收率为摄入量的 10%，危害各种器官系统，包括中枢神经系统。无机汞盐的身体吸收率较单质汞的吸收率高出许多，但是低于有机汞化合物的吸收率，如甲基汞，一旦摄入甲基汞，肠胃将完全吸收其。¹⁹

3.2 甲基汞

甲基汞(CH_3Hg^+)为汞的一种形式，主要在鱼类、贝类、鸟类和食用它们的哺乳类动物体内产生汞污染。当人摄入甲基汞时，肠胃对其的吸收比对无机汞的吸收要彻底的多。²⁰

¹⁷ 关于汞中毒的维基百科条目, C.H. Ngim, S.C. Foo, K.W. Boey, and J. Keyaratnam, "Chronic Neurobehavioral Effects of Elemental Mercury in Dentists," *British Journal of Industrial Medicine* 49 (11), 1992;

和Y.X. Liang, R.K. Sun, Z.Q. Chen, and L.H. Li, "Psychological Effects of Low Exposure to Mercury Vapor: Application of Computer-Administered Neurobehavioral Evaluation System," *Environmental Research* 60 (2), 1993: 320-327.

¹⁸关于汞中毒的维基百科条目, T.W. Clarkson and L. Magos, "The Toxicology of Mercury and Its Chemical Compounds," *Critical Reviews in Toxicology* 36 (8), 2006: 609-62.

¹⁹ Barry M Diner et al, "Toxicity, Mercury," eMedicine, 2009, <http://emedicine.medscape.com/article/819872-overview>.

²⁰ 同上。

环境中汞转化为甲基汞的方式有着诸多不同，研究者们正在对它们进行积极调查。生物甲基化的一项重要过程是通过溶解氧水平较低的水域中生存的细菌进行。在淡水和咸水中，则会出现于河口和湖底的沉积物中。²¹当汞从大气降落至洋面时，也会在海洋中形成甲基汞，并输送至海洋深处，在那里，自然生成的细菌会分解有机物，同时也会将汞转化为甲基汞。²²一旦进入环境，当较大生物食用较小生物时，甲基汞便会进行生物累积和生物放大。

甲基汞与金属汞不同，因为当人食用了受甲基汞污染的食物后，肠胃迅速将其吸收至血液中，通过血液它易进入成人、儿童或者处于发育期胎儿的大脑。在大脑中，甲基汞进行蓄积，慢慢地转化为无机（单质）汞。²³

2000年，美国环境保护署请美国国家科学院和美国国家工程院的国家研究委员会进行了一项关于甲基汞毒性影响的研究。该研究发现，处于甲基汞暴露最大风险的人群是在怀孕期间食用或即将怀孕前大量食用鱼类和海鲜的妇女产下的儿童。人们发现，该群体儿童的暴露足以导致以下儿童数量的增加：必须为留校而艰难努力、参加补习班或特殊教育的儿童。²⁴值得注意的是，这些研究发现当儿童因暴露于污染物而遭受这些神经功能障碍时，从测量终身受益的角度来看，在其未来生活中，成功的几率通常会减少。如此这般的障碍不仅危害遭受暴

²¹甲基汞定义,美国地质调查局(USGS),

<http://toxics.usgs.gov/definitions/methylmercury.html>。

²² *A New Source of Methylmercury Entering the Pacific Ocean*, U.S. Geological Survey, http://toxics.usgs.gov/highlights/pacific_mercury.html.

²³ "Toxicological Effects of Methylmercury," The Committee on the Toxicological Effects of Methylmercury, the Board on Environmental Studies and Toxicology, and the National Research Council, 2000, p.4,

http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9899#toc.

²⁴ 同上, 第9页。

露的个体及其家庭，而且会对社会造成累积影响，因为学费将增加，对受影响个体的关心也需更多，国家生产力会下降。²⁵

- **神经性影响**

与已经发育完全的神经系统相比，处于发育期的神经系统对甲基汞的毒性影响更为敏感，虽然成人和胎儿的大脑都易受危害。²⁶ 产前暴露会干扰大脑和其它地方正处于发育的神经元，对于处于发育期的中枢神经系统会造成潜在的不可逆损伤。母亲因长期食用鱼类而造成暴露后，其所生婴儿可能在最初的数月表现正常，但可能在日后表现出细微神经终端缺陷，例如智商缺陷；不正常的肌张力；运动功能、注意力和视觉空间能力的损失。²⁷

因甲基汞暴露导致的发育神经毒性影响方面的证据确凿，有着强大的数据基础，包括多种人类研究以及动物和体外测试显示的实验证据。人体研究包括对急性高剂量暴露以及慢性低剂量暴露两方面的评估。²⁸

- **心脏疾病和高血压**

研究者发现食用受甲基汞污染的鱼与心脏病风险存在关联。一项针对渔民的研究发现每天鱼摄入量超过 30 克的人，其患心脏病或心血管疾病死亡的风险为两倍或三倍。同时也对职业暴露人群的血压进行了评估。²⁹

- **免疫系统影响**

²⁵ Philip Landrigan et al., "Environmental Pollutants and Disease in American Children," <http://ehp.niehs.nih.gov/members/2002/110p721-728landrigan/EHP110p721PDF.PDF>.

²⁶ *Toxicological Effects of Methylmercury*, p. 310.

²⁷ 同上，第 17 页。

²⁸ 同上，第 326 页。

²⁹ *Toxicological Effects of Methylmercury*, p.18, 309-10.

职业暴露研究显示汞暴露会影响人体免疫系统。体外研究和动物研究显示汞会对免疫系统产生毒性，产前甲基汞暴露会对处于发育期的免疫系统产生长期影响。各项研究显示甲基汞暴露会破坏免疫系统，增加患传染性疾病或自身免疫紊乱现象的易感性。³⁰

- **癌症**

两项研究发现汞暴露与急性白血病存在关联，但因研究人群范围较小并缺乏对其它风险因素的控制，所以这些调查结果力度有限。雌性白鼠的实验也表明汞暴露与肾脏肿瘤存在关联。同时研究显示汞会导致染色体损伤。在可利用的人类、动物和体外实验数据基础上，国际癌症研究机构（IARC）和美国环境保护署将甲基汞列为可能性（环境保护署 C 类）人类致癌物。³¹

- **生殖影响**

目前尚未充分评估甲基汞暴露对人类造成的生殖影响。然而，一项关于伊拉克小麦污染事件中 6000 余人暴露于甲基汞的临床症状和结果的评估发现怀孕几率下降（减少 79%），它提供了启示性证据，证实了甲基汞会对人类生殖力造成影响。动物研究包括非灵长类动物方面的工作发现了生殖问题，包括受孕率的降低、胎儿早亡、和死胎。³²

- **对肾脏影响**

金属汞和甲基汞也都对肾脏产生毒性。曾有研究观测过人体摄入处于暴露水平汞的各种有机形式后造成的肾损伤，这些汞也会影响神经系统。动物研究也描述了对肾脏的甲基汞诱导毒性。³³

³⁰ 同上，第308页。

³¹ 同上，第308页。

³² 同上，第309页。

³³ 同上，第18、309页。

3.3 甲基汞的环境影响

与对人体毒性研究相比，关于甲基汞污染生态影响方面的研究相对较少。但是，我们的确知道在鱼体呈各种蓄积程度的甲基汞可能危害这些鱼类和摄入这些鱼的动物。食鱼的鸟类和哺乳类动物通常比水生生态系统中的其它动物更易暴露于甲基汞。同样，那些捕食食鱼动物的食肉动物会处于危险。根据美国环境保护署的一份报告，在鹰、水獭以及濒危佛罗里达黑豹体内发现了甲基汞，针对该报告的分析显示一些高度暴露的野生动物物种正遭受甲基汞的危害。甲基汞暴露对野生动物的影响包括死亡、生育率下降、生长缓慢以及影响生存的异常发育和行为方式。另外，环境中的甲基汞程度可能会改变鱼类的内分泌系统，影响它们的发育和生殖。^{34,35}

对于鸟类，当鸟蛋中的汞浓度为 0.05~2.0 毫克/千克时，汞暴露便会干扰生殖。在加拿大，某些物种的蛋已处于该范围，其它一些物种蛋中的汞浓度持续上升，日趋接近该水平范围。过去的 25 年间，在加拿大北极和格陵兰岛的一些区域，环斑海豹和白鲸体内的含汞量已增长 2 至 5 倍。³⁶ 另有迹象表明，处于较暖水域的食肉型海洋哺乳动物可能也面临风险。在一项关于香港驼背豚数量的研究中，汞被认定为一种特定的健康危害物质。³⁷

³⁴ "Environmental Effects: Fate and Transport and Ecological Effects of Mercury," U.S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/hg/eco.htm>.

³⁵ "Poisoning Wildlife: The Reality of Mercury Pollution," National Wildlife Federation, September 2006, <http://www.nwf.org/nwfwebadmin/binaryVault/PoisoningWildlifeMercuryPollution1.pdf>.

³⁶ F. Riget, D. Muir, M. Kwan, T. Savinova, M. Nyman, V. Woshner, and T. O'Hara, "Circumpolar Pattern of Mercury and Cadmium in Ringed Seals, *Science of the Total Environment*, 2005, p. 351-52, 312-22.

³⁷ "Global Mercury Assessment: Summary of the Report," chapter 5, UNEP, 2003, <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Summary%20of%20the%20report.htm#Chapter5>.

微生物活动对陆地食物链至关重要，最近研究显示，在欧洲大面积土地和可能在世界上许多有着同样土壤特征的其它地方，微生物活动减少，这源于汞。³⁸

与全球气候变化存在关联的水平面上升可能也对汞甲基化和其在鱼体内的蓄积造成影响。例如，有迹象表明在小且温暖的湖泊以及许多遭受洪灾的新地区，甲基汞的形成有所增加。³⁹

³⁸ 同上

³⁹ 同上

4. 汞污染

水俣病是一种严重且通常致死的疾病，它是因高度暴露于甲基汞而致，与某些工业生产工艺和汞污染废物产生的急性汞污染的热点地区相关。但是，汞污染也会对远离工业或其它当地汞源的地区人体健康和环境造成危害。在世界所有地区，池塘、溪流、河流、湖泊以及海洋中的鱼类和贝类普遍受到甲基汞污染，其浓度会对摄入这些鱼类和贝类的人群，尤其是将鱼类和贝类视为蛋白质主要来源的人群造成严重的健康缺陷。

4.1 急性汞污染和水俣病

最为著名的急性汞污染例证发生在日本水俣湾沿岸渔村。智索株式会社（Chisso）为一家位于海湾附近的化工厂，在乙醛和氯乙烯生产中将硫酸汞和氯化汞用作催化剂。该厂的废水排入水俣湾，同时含有无机汞和甲基汞。甲基汞主要为乙醛生产过程的副产品。⁴⁰ 甲基汞在海湾的鱼类和贝类以及食用这些鱼类和贝类的人们体内蓄积。该事件的结果是出现了一种汞中毒的新形式，现称为水俣病。⁴¹

水俣病患者们诉说感觉消失以及手脚无知觉的痛苦。他们在跑步或行走时总会绊倒，出现视觉、听力和吞咽的障碍，死亡人数占很大比例。该疾病于 1956 年首次得以诊断。至 1959 年，出现一宗有力案例说明该疾病是由水俣湾鱼类与贝类体内所含的高浓度甲基汞所致。

⁴⁰ “Environmental costs of mercury pollution,” Lars D. Hylander et al, Science of the Total Environment, 2006,
http://www.elsevier.com/authoried_subject_sections/P09/misc/STOTENbestpaper.pdf.

⁴¹ “Minamata disease,” Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Minamata_disease and “The Poisoning of Minamata,” Douglas Allchin,
<http://www1.umn.edu/ships/ethics/minamata.htm>

自智索工厂于 1932 年开始使用乙醛生产工艺以来，便持续向水俣湾排放汞，直至 1968 年停止使用该生产方式。该工厂氯乙烯生产中持续使用汞催化剂，直至 1971。然而，1968 年后，工厂的废水转而排入一个特殊用池。⁴²

根据一份环境健康期刊中登载的近期评论，在充分严肃地考虑其困境之前，水俣病受害者需要克服法律和政治对于要求提供具有说服力文件的固守。这与科学界的诸多失败结合在一起，他们对甲基汞诱发健康影响的致因理解因狭隘的病例定义和化学形态的不确定性而受到限制。该文章作者指出，虽然早在 1952 年已经知道甲基汞会产生发育神经毒性，但是研究者们仍花费了 50 年以了解处于发育期的神经系统对于重金属如甲基汞的易受害性。另外，与几乎所有环境健康新研究相关的一般不确定性使得就人们症状致因达成科学共识推迟了数年，这相应地导致了在污染源最终得以阻止前的长期拖延，也导致了对于受害者赔偿决议拖延的时间更长。⁴³

尽管多数受害者最初在确保赔偿方面经历困难时期，但至 2009 年底，2271 名受害者得到官方认证，1 万余名民众收到了资金赔偿。另有部分遭受暴露民众仍为获取充分赔偿进行斗争。⁴⁴ 在水俣病首次诊断 50 多年后的 2010 年 5 月，针对那些未确认的水俣病患者，日本政府采取了补救措施并承诺将做进一步努力。当时的日本首相鸠山由纪夫参加了水俣 54 周年纪念日，并为政府未能阻止此次本国最大工业污染事件导致的疾病而道歉。在演讲中，首相表示希望日本为出台一项旨在阻止

⁴² 汞污染环境成本，上文所引。

⁴³ Grandjean, P., Satoh, H., Murata, K. Eto, K., (2010). Adverse effects of methylmercury: environmental health research implications. *Environ Health Perspect* 118(8): 1137-1145
<http://ehp03.niehs.nih.gov/article/fetchArticle.action?articleURI=info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.0901757>.

⁴⁴关于水俣病的信息可见水俣病毒害网站（the Poisoning of Minamata），Douglas Allchin, <http://www1.umn.edu/ships/ethics/minamata.htm>.

未来汞中毒的国际公约做出积极贡献，并提议称其为水俣公约。⁴⁵2010年6月，在筹备具法律约束力全球汞文书的政府间谈判委员会的首次会议上，日本政府代表重申该项提议，并提出主办谈判后的外交会议，通过新公约。

1965年在日本新潟县 Agano 河盆地再次爆发了水俣病，另一家使用硫酸汞催化剂和类似工艺生产乙醛的化学公司将废水排放至 Agano 河。在此次疾病爆发中，日本政府证实 690 名民众患病。

另一个水俣病的例证发生于 20 世纪 70 年初的伊拉克，由于摄入了用甲基苯处理过的小麦，当时估计 1 万民众死亡，10 万民众遭受严重和永久性脑损伤。⁴⁶另一起中毒事件发生在加拿大格拉西-纳罗斯（Grassy Narrows），1962 年至 1970 年位于安大略省德莱顿（Dryden）一家氯碱厂以及纸浆和造纸厂排放汞，导致原住民中毒。⁴⁷

急性汞污染的事件不断发生，虽然有的不甚为人所知，影响并未如此严重。根据水俣病主要的世界级专家马萨祖米·哈拉达（Masazumi Harada）：“亚马逊、加拿大和中国已经因汞中毒而受到影响，但是对于水俣病而言，很少患者是在最初便表现出严重性。患者明显受到了汞的影响，但在其体内含量低，或者仍处于该疾病的初级阶段。”⁴⁸

4.2 受汞污染的鱼

⁴⁵ "Hatoyama Apologizes for Minamata; At Memorial Service, Says Redress Not End of Matter," *The Japan Times*, May 2, 2010, <http://search.japantimes.co.jp/cgi-bin/nn20100502a1.html>.

⁴⁶ Arne Jernelov, "Iraq's Secret Environmental Disasters," <http://www.project-syndicate.org/commentary/jernelov3/English>.

⁴⁷ "Grassy Narrows Protests Mercury Poisoning," CBC News, April 7, 2010, <http://www.cbc.ca/canada/toronto/story/2010/04/07/tor-grassy-narrows.html>.

⁴⁸ Asahi Shimbun, "Interview with Masazumi Harada," Asia Network, http://www.asahi.com/english/asianet/hatsu/eng_hatsu020923f.html.

急性汞污染只是污染影响中的部分内容，在世界各处的海洋、湖泊、河流、池塘和溪流都发现广泛分布的汞污染，其程度令人担忧。

如前所述，汞主要通过空气直接沉降和通过汞污染土壤上的排水进入水体。一旦进入水生环境，相当一部分汞便通过天然存在于这些生态系统中的微生物而转化为甲基汞。而后，这些微生物被小型水生生物捕食，小型水生生物相应地被鱼类和贝类捕食，而更大的鱼类、鸟类、哺乳类和人类便食用这些鱼类和贝类。

甲基汞位于食物链的底端，当大型生物捕食小型生物时，进行蓄积和生物放大，这种生物放大的结果是，在某些鱼类体内，甲基汞浓度可以达到鱼类栖息水域中汞背景浓度的 100 万倍(10^6)的范围水平。⁴⁹

水体汞污染非常普遍，位于严重汞污染源如大型燃煤发电厂、水泥窑、矿场、废物倾倒处、氯碱设施、纸浆和造纸工厂和其它大型工业源的顺风处或下游处的水体通常所受汞污染更大。然而，即使在远离这些重要汞污染源的北极地区，研究者也发现了在许多社群中人们饮食中的汞摄入量超过既定的国家指南，他们发现了对儿童神经系统的危害和相关行为影响的证据。⁵⁰美国地质调查局(USGS)的一项研究提取了全美国 291 处溪流中的捕食性鱼类作为样本，研究者发现在提取的样本中，

⁴⁹ Health Canada, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/mercur/q47-q56_e.html.

⁵⁰ Arctic Monitoring and Assessment Programme, "Executive Summary to the Arctic Pollution 2002 Ministerial Report," <http://www.amap.no/documents/index.cfm?dirsub=/AMAP%20Assessment%2002%20-%20Human%20Health%20in%20the%20Arctic>.

每条鱼体内都含有汞，27%的样本超过美国环境保护署含汞量为0.3微克/克湿重的人体健康标准。⁵¹

许多政府针对市场上销售的鱼体所含汞和/或甲基汞的可允许最大值提供了建议、指南，或者法律限制。然而，并不是所有既定的指南都得以执行，许多非政府组织认为这些指南过于宽容，不足以保护公共健康。在某些案例中，渔业已经成功阻止了政府机构旨在建立更为严格标准所作出的努力，他们声称这样做将影响销售。

国际食品法典委员会由联合国粮农组织和世界卫生组织建立，旨在设定国际公认的食品安全标准，该委员会设定了在非捕食性鱼体和捕食性鱼体中甲基汞的指导性水平分别为0.5微克/克和1微克/克。美国食品和药物监督管理局（FDA）将每克鱼类和贝类甲基汞行动水平设定为1微克，这大大高于美国环保署的人体健康标准。欧洲共同体允许渔业产品中甲基汞的含量为0.5微克/克（某些例外）。日本鱼类含汞量限值为0.4微克/克，或者甲基汞含量为0.3微克/克。⁵²加拿大食品检验局针对商业销售用途鱼的含汞量指导性水平是0.5微克/克湿重，加拿大卫生部建立了针对鱼类频繁消费者0.2微克/克湿重含汞量的指导性水平。⁵³

通常，大型捕食性鱼类组织中的甲基汞含量最高；较大型鱼和鱼龄较大的鱼比体型较小和鱼龄较短的鱼更易受到污染。

⁵¹ Barbara C. Scudder et al., "Mercury in Fish, Bed Sediment, and Water from Streams Across the United States, 1998-2005," U.S. Geological Survey, 2009, <http://pubs.usgs.gov/sir/2009/5109/pdf/sir20095109.pdf>.

⁵² "Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure," UNEP DTIE Chemicals Branch and WHO Department of Food Safety, Zoonoses, and Foodborne Diseases, 2008, p. 4, <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf>.

⁵³ Lyndsay Marie Doetzel, "An Investigation of the Factors Affecting Mercury Accumulation in Lake Trout, *Salvelinus namaycush*, in Northern Canada," <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-01022007-094934/unrestricted/LyndsayThesis.pdf>.

鱼体中的甲基汞易于附着于组织蛋白，而非脂肪组织。因此，对受污染鱼进行修剪或去皮并不能减少鱼片中的含汞量。烹饪也无法降低鱼体中的甲基汞含量。⁵⁴

由美国环保署与食品和药物监督管理局共同起草的一份指南文件表明近乎所有的鱼类和贝类都含有汞，某些鱼类和贝类中的含量可能会危害胎儿或幼童正处于发育的神经系统。当然，这种风险取决于他们所摄入的鱼类和贝类数量以及含汞量程度。该指南文件建议孕妇、哺乳期的母亲、即将怀孕的妇女以及幼童完全避免摄食含汞量高至无法接受程度的主要鱼类，如鲨鱼、旗鱼、鲭鱼和方头鱼。文件进一步建议，这些人群每周低汞含量鱼的摄食量不应超过 12 盎司（340 克）。平均而言，这意味着这些人群每周鱼的摄食次数不应超过两次。该指南文件最后建议这些人群应查看关于当地所捕获鱼安全性的当地公告，如果无法获取可靠信息，应将每周当地鱼的摄食次数减为一次。⁵⁵

但该指南文件同时建议日常饮食中不应完全弃食鱼类和贝类，除却汞污染因素，鱼类和贝类为富有丰富营养的食物源，它们含有高质的蛋白质和其它重要营养物质以及低饱和脂肪，含有对营养而言非常重要的 ω -3 脂肪酸。⁵⁶ 健康专家通常建议食用含汞量低且 ω -3 脂肪酸高的鱼类。

遗憾的是，鱼类消费的建议会造成混乱，很难遵循。鱼体含汞量呈现各种不同，其影响因素可为：鱼种、捕获鱼的地点、鱼大小、捕获年的时间段和其它考量因素。在高度工业化

⁵⁴ 同上，第8页。

⁵⁵ "What You Need to Know About Mercury in Fish and Shellfish: Advice for Women Who Might Become Pregnant, Women Who are Pregnant, Nursing Mothers, and Young Children," U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Environmental Protection Agency, March 2004, <http://www.epa.gov/waterscience/fish/advice/advisory.pdf>.

⁵⁶ 同上。

国家，因素则进一步复杂化，市场上和菜单上的鱼可能是从距离半个地球之远的另一端运至。然而，在富裕国家，多数妇女和儿童可以选择，通过摄食其它富含蛋白质食物进行替代，可将每周鱼消费次数控制在两次以内但同时保持营养饮食。然而，对于世界上许多人而言，严格限制鱼消费不具现实性。

在工业国家，如美国、加拿大和其他国家，一些当地土著居民和贫苦人们捕获当地的鱼类和贝类（某些情况下为食鱼的鸟类和哺乳类），其蛋白质的主要来源依赖于这些食物。通常他们无法负担或可能缺乏渠道获取好且具有营养性的替代物。在发展中国家，依靠鱼类的人群甚至更大。居住在岛屿、沿海地区、内陆河道和其它地方的人们的传统饮食便高度依赖鱼类获取营养。联合国粮农组织（FAO）估计⁵⁷鱼类能为29亿人提供至少15%的人均动物蛋白摄入。另外，在一些小岛屿发展中国家以及孟加拉国、柬埔寨、赤道几内亚、法属圭亚那、冈比亚、加纳，印度尼西亚和塞拉利昂这些国家，鱼类平均为当地人提供50%甚至更多的动物蛋白。联合国粮农组织报道鱼类在中北美洲、欧洲、非洲和亚洲提供的动物蛋白消费比例分别为近8%、超过11%、约19%和近21%。（未提供南美洲鱼类消费的数据总结。）该报告还指出实际消费量可能比提供的数据大得多，因为官方统计并未记录自给性渔业。

即使考虑到摄食大量受汞污染鱼类和贝类所造成的负面健康影响，对于许多人而言，严格限制其鱼类消费仍可能为不好的选择或本不应视为一种选择。有些人如果减少鱼类消费，那将会面临饥饿问题。对于另外一些人而言，针对鱼类消费可提供的主要替代食物为高糖低蛋白。通过如此食物来限制鱼类消费可能导致肥胖、糖尿病、心脏病和其他疾病的增加。对于获取有营养替代食物受限的群体，从平衡角度考虑，鱼类消费的

⁵⁷ "The State of World Fisheries and Aquaculture," Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008, p. 9, 61, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0250e/i0250e.pdf>.

健康益处与汞暴露造成的健康风险相比，可能得不偿失。这些群体人员将持续遭受甲基汞暴露产生的健康后果，直至国际行动在减少鱼类汞污染方面取得重大成功。相应地，如果不采用和有效实施一项综合汞控制公约，将难以取得重大成功。另外，对于许多土著居民和其他群体而言，继续将鱼类作为其传统食物是源于重要的文化和社会背景。

北极地区居民所受汞影响

居住在北极地区的人们尤易受到汞暴露，尤其是土著居民。当地气候无法种植在世界其它地区被视为主食的谷物或蔬菜。由于这些居民常居于偏远地区，在商店购买食物的成本过高，尤其是健康易腐食物。因此，他们几乎没有选择，为了生存，日常饮食不仅严重依靠鱼类，而且还摄食那些捕食鱼类的哺乳类动物和鸟类。居住在高度工业化国家遥远北部地区的北极土著居民其生活在许多方面与发展中国家的多数人民类似。

因纽特人居住在加拿大北部的北极沿岸地区、格陵兰地区、阿拉斯加（美国）和楚科奇（俄罗斯）。当地居民的传统主食为海洋哺乳类动物。一项关于居住在加拿大努纳武特地区因纽特学前儿童的汞暴露研究发现近 60%的儿童汞摄入量超过世界卫生组织于 1998 年针对儿童制定的暂定每周可耐受摄入量（PTWI）水平，该每周可耐受摄入量规定每周甲基汞摄入量为 1.6 微克/千克体重。该研究调查的所有儿童其平均汞摄入量是每周 2.37 微克/千克体重的甲基汞摄入量，33.37%的汞摄入源自摄食白鲸皮（皮脂），25.90%源自摄食独角鲸皮，14.71%源自摄食环斑海豹肝脏，10.60%源自鱼类摄食，6.02%源自摄食驯鹿肉，4.59%源自摄食环斑海豹肉。这些源头在当地儿童汞摄入总量中所占的比例超过 95%。⁵⁸

⁵⁸ "Mercury Hair Concentrations and Dietary Exposure Among Inuit Preschool Children

其它北极土著居民因甲基汞暴露所受的影响也与当地发展不成比例。土著阿萨巴斯卡人聚居的村庄位于整个北美北极地区，多为沿大湖地区。诱捕、狩猎和捕鱼仍为他们维持生计的重要方式。在夏季，各个家庭经常离开村庄以寻找大型的鱼营。⁵⁹居住在挪威、瑞典、芬兰和俄罗斯科拉半岛地区萨米人的传统生计包括半游牧驯鹿放牧、沿海捕鱼、毛皮诱捕和牧羊。⁶⁰有研究显示极地日出的大气汞耗尽事件导致了北极苔原大量的生物可利用汞化合物的沉积，放大了苔原食物网中的汞。该事件与水生甲基汞污染使得甲基汞大幅蓄积在以上地区居民和北极其它地区居民的传统食物中。⁶¹

4.3 受汞污染的水稻

近来的大量研究调查了中国一些内陆地区的汞污染状况，在这些地区，多数居民鱼的摄食量少，但所居住地区环境中却存在大量的汞排放现象。⁶²研究者表示稻田土为将汞转化为甲基汞的细菌提供了合适的环境。因此，他们认为水稻可能会吸收稻田中产生的甲基汞。该研究调查了主要依靠当地农产品为食的农民，并得出结论，在这些人群中 95%的甲基汞暴露源自水稻。

in Nunavut, Canada," Tian W. et al, *Environ Int.* 2010,

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20673686>

⁵⁹ Tricia Brown, *Athabasca*, LitSite Alaska,

<http://www.litsite.org/index.cfm?section=Digital-Archives&page=People-of-the-North&cat=Native-Peoples&viewpost=2&ContentId=2648>.

⁶⁰关于萨米人的维基百科 (Wikipedia) 条目,

http://en.wikipedia.org/wiki/Sami_people。

⁶¹ "Critical Review of Mercury Fates and Contamination in the Arctic Tundra Ecosystem," 上文所引。

⁶² Hua Zhang et al., "In Inland China, Rice Rather Than Fish Is the Major Pathway for Methylmercury Exposure," *Environmental Health Perspectives*, April 2010,

http://ehp03.niehs.nih.gov/article_fetchArticle.action;jsessionid=F7154FD5C22DD646D5200FC587451A05?articleURI=info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.1001915.

对于多数研究对象而言，因摄食水稻而造成的甲基汞暴露低于目前认定的每周可耐受摄入量，研究者得出结论这些人可能面临低风险。然而，一些居住于汞矿附近的研究对象其因摄食水稻而导致的甲基汞暴露远远超过认定的每周可耐受摄入量，因此，被视为存在潜在的健康风险。

研究者表示水稻不含鱼体内微量营养素，这种营养素能够增强神经系统发育，可能会抵消一些汞暴露造成的危害。他们得出结论目前基于鱼类消费制定的甲基汞暴露指南可能不足以保护那些因以水稻为基础的饮食结构而遭受暴露的人群。因此，他们呼吁对因摄食水稻而暴露于低剂量甲基汞的孕妇之健康影响进行研究。

该研究的作者们强调这种担忧的紧迫性，提出水稻是世界半数余人口的重要主食。仅亚洲，便有 20 多亿人口通过水稻和其副产品获取 70% 的日常饮食能量。因此，他们得出结论不仅在中国，而且在其它国家和地区，如印度、印度尼西亚、孟加拉国和菲律宾应迫切开展相关研究，这些地区在全球水稻生产的占有率很高，而且水稻为当地居民的主食。⁶³

⁶³ 同上。

5.汞进入环境的途径

汞通过几种不同途径进入环境。一些汞通过自然过程进入环境，如火山喷发、地热活动和含汞岩石的风化。然而，现今全球环境中存在的多数汞是通过人类活动进入环境。将汞释放至环境中的人类活动成为汞的人为来源。一旦汞进入水生或陆地环境，便能够挥发，重新进入大气。

汞的人为来源分为三大类：

- **故意来源：**当有意决定制造含汞产品或运行使用汞的工艺时，便会产生这些来源。含汞或汞化合物的产品包括荧光灯、某些温度计、电池和开关，以及其它类似产品。小型金矿是使用汞的一种非工业工艺，此工艺将单质汞用于捕捉金沙石混合物、沉积物、土壤或其它颗粒物中的金。工业工艺的例证包括将汞化合物用于催化剂的化学制造厂，尤其是在氯乙烯单体生产和将单质汞池用作电解中阴极的氯碱厂。
- **非故意来源：**焚烧或加工含有汞这种不必要杂质的化石燃料、矿石或矿物质。比如，燃煤电厂、水泥窑、大型金属开采和提炼以及煤炭、石油、油页岩和焦油砂的化石燃料提取。用于含汞废弃产品和废物的处置方式焚烧和填埋也会向环境中释放汞，被列为非故意来源。
- **导致汞迁移的活动：**燃烧或砍伐森林亦或是大面积淹水的人类活动会产生这些来源。森林中的生物质和有机表面土壤通常含有从大气中降落的汞。燃烧或砍伐森林——尤其是寒带和热带森林——会向大气中返释大量的这种

汞。⁶⁴大型水坝工程会淹没大面积地区，导致生物质和表面土壤中的汞更易转化为甲基汞而后进入水生食物链。⁶⁵引起上游水位波动的小型水坝也存在问题。在交替暴露于空气的海岸线繁茂生长的细菌会产生甲基汞，当小型水坝的闸门开启或关闭时，水会对其进行覆盖。⁶⁶

研究者曾尝试估算不同种类人为来源释放至环境中的汞总量。然而，研究者可利用的数据缺乏完整性和准确性。要区别汞的自然来源（因火山活动或岩石风化而进入环境）和因人为来源进入环境随后沉积至水中或地面的汞的重新活动和再释放，这尤为困难。

由于这种困难，关于大气中汞自然来源的多数公布的估算实际上将之前因人类活动而进入环境的汞的再释放纳入了总量。⁶⁷这使得关于全球环境中自然来源产生的汞数量所公布的许多估计值过大，它会无意识地增强如此印象：火山和岩石风化释放的汞量占全球大气汞总量的较大比例。而实际并非如此。如果将源自人类活动而进入环境中的汞的再排放计为全球所有大气汞排放总量的原因，那么关于大气中人为汞排放总量的估值将可能大大高于目前公布的估值。

⁶⁴ "Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment," AMAP and UNEP, 2008, p. 7, http://www.chem.unep.ch/mercury/Atmospheric_Emissions/Technical_background_report.pdf.

⁶⁵ "James Bay Dam, Electricity, and Impacts," The Global Classroom, American University, <http://www1.american.edu/ted/james.htm>.

⁶⁶ Kristen Fountain, "Study Links Mercury to Local Dams, Plants," *Valley News*, 2007, <http://www.briloon.org/pub/media/ValleyNews1.10.07.pdf>.

⁶⁷ N. Pirrone et al., "Global Mercury Emissions to the Atmosphere from Anthropogenic and Natural Sources," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/10/4719/2010/acpd-10-4719-2010-print.pdf>.

要计算不同人为来源导致的全球汞污染比例也非常困难。2008，联合国环境规划署（UNEP）公布的《全球大气汞评价》⁶⁸中确认了将汞释放至环境的各种人类活动，并针对许多来源提供了排放数据。这些排放数据被频繁引用为这些不同来源产生的全球汞污染比例的指标。例如，反复被提及的燃烧化石燃料——主要为煤——是汞污染最大的来源，占人为来源导致的全球汞排放总量的45%，手工作坊和小规模金矿开采（ASGM）为汞污染的第二大来源，估计占全球总排放的18%。⁶⁹

然而，各种来源导致的这些及其它汞排放估值会被误解，因为报道的大气排放估值仅基于直接释放至大气中的汞测量，并未考量释放至废物、土壤和水中的汞，即使该汞随后挥发进入大气。这些排放估值也没有考量与来源相关的其它未测汞释放。一个来源实际所释放的汞可能大大超过报道的汞排放。

排放估计数据可能被误解

关于某个特定来源导致的全球大气排放所报告的比例通常作为一个指标，用以衡量该来源导致的全世界汞污染量。例如，当看到燃烧化石燃料占人为来源导致的全球大气汞排放总量的45%时，很自然会得出结论：45%的全球汞污染问题源自燃烧化石燃料，但这也许是误导性的结论，原因如下：

- 1) 大气汞排放的有些来源其相关数据甚少或者没有。这些来源产生的全球大气汞排放的影响可能被大大低估。

⁶⁸ "The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transfers," UNEP Chemicals Branch, 2008, http://www.chem.unep.ch/mercury/Atmospheric_Emissions/UNEP%20SUMMARY%20REPORT%20-%20CORRECTED%20May09%20%20final%20for%20WEB%202008.pdf.

⁶⁹ 同上。

- 2) 某些来源产生的大气汞排放量的测量比其它来源容易。那些较难测量的来源所产生的全球大气汞排放量可能被低估。
- 3) 某些汞来源如产品中的汞有着复杂的生命周期。很难将产品生命周期所有点出现的大气汞排放都全面地纳入这些来源相关的排放估算中。
- 4) 某些汞来源释放大量的汞至土壤、水和废物中。释放至这些介质的汞通常并未纳入全球大气排放总量中。然而，除了释放至大气中的汞外，释放至介质的汞会频繁污染水生生态系统，并增加全球汞污染总量。另外，许多释放至这些介质的汞日后会挥发而后进入大气。很难将二次大气排放全面地纳入与排放始源头相关的全球大气排放估计中。

低估来源的极端例证是氯乙烯单体（VCM）生产。似乎没有数据可说明氯乙烯单体生产导致的大气汞排放，因此，联合国环境规划署估计汞至大气的人为排放量为 1930 公吨，⁷⁰这其中氯乙烯单体生产导致的全球大气汞排放量为零。然而，与多数其它故意排放来源相比，氯乙烯单体生产中使用的汞更多。充分的常识使我们有理由推测氯乙烯单体生产为全球汞污染的重要来源，但如果采用联合国环境规划署的全球大气排放估值，很显然会得出错误结论转而认为氯乙烯单体生产造成的汞污染在世界汞污染总量的比例为零。

手工作坊和小型金矿占人为汞排放量 18% 的这一论断是基于联合国环境规划署的以下估算：大气中人为汞排放总量为每年 1930 公吨以及手工作坊和小型金矿活动在全球范围内产生 350 公吨汞排放。然而提供该数据的报告还估计手工作坊和小型金矿活动每年消耗 806 公吨汞。⁷¹因此必须考虑手工作坊和小型金矿活动两值之间差额的去向（余下的 456 公吨）。

⁷⁰ 全球大气汞评估之技术背景报告，上文所引。

⁷¹ 全球大气汞评估：来源、排放和迁移，上文所引。

该总额中部分可被回收。（但手工作坊和小型金矿活动中回收的多数汞将被矿工再次使用，可能不会显示在该部门的汞消费估算中。）手工作坊和小型金矿活动产生的 850 吨汞中的很大部分几乎可以确认为释放至环境中。未纳入官方大气排放估计的多数汞释放至水里、地面、废物中或者无法计数。许多汞日后会从水或陆地重新释放至大气，虽然这可能将不被计为大气排放。这说明手工作坊和小型金矿活动在全球汞污染中所占比例可能大大超过常引用数据 18%。

同样，多数其它故意使用汞的来源产生的大气排放相对比这些来源汞使用量估值要小，如联合国环境规划署“全球大气汞评价之技术背景报告”中的以下表格所示：

72 据来源分类，全球汞消费估值与全球大气汞排放估值对比

来源分类	全球汞消费 (公吨)	全球大气汞排放 (公吨)
手工作坊和小型金矿	806	350
氯乙烯单体生产	770	00
氯碱厂	492	60
电池	370	20
牙科用汞合金	362	26
测量和控制设备	350	33
照明	135	13
电气设备	200	26
其它	313	29
合计	3,798	557

72 表格数据源自上文所引技术背景报告。

当使用汞时设想汞会去往它处是合乎情理的。可以肯定的是，在某些情况下，部分使用后的汞日后会被再收集或者回收，或得以负责任地处置。这些数量可以且应该被量化。然而，通常那些在使用后但未计算在内的汞应被假定为占全球汞污染总量的部分比例。

在联合国环境规划署估算的年大气汞排放总量 1930 公吨中，估计 65%（近 1250 公吨）源自汞使用的三种非故意来源：45%来自化石燃料燃烧、10%来自金属生产（不包括金矿），10%来自水泥生产。⁷³相反，联合国环境规划署估计故意使用汞的来源释放至大气的汞量只有 557 公吨。然而，报告称，据估计故意使用汞的产品和工艺每年汞使用量为 3800 公吨。这说明这些故意来源使用的汞只有 15%释放至大气。那余下的 85%去往何处？这当中，许多自然是进入环境，造成全球汞污染。

例如，当电池、荧光灯泡或其它含汞产品被送至倾倒处或垃圾填埋场时，许多汞随着时间的推移释放至大气和其它环境介质中。当燃烧或焚烧汞时，汞释放速度加快，即使是现代滤网也难以将其捕获。氯碱厂和氯乙烯单体生产当然也会释放更多汞至环境中，高出官方提供的大气排放估值。

故意来源使用的多数汞几乎可以肯定最终存留于环境中，许多汞最终随着全球大气进行循环。要想使人为汞排放的报告数据合乎逻辑，唯有得出此结论：故意来源释放至环境的汞在全球汞污染总量所占比例比联合国环境规划署提供的排放数据所显示的要大得多。另外，由于联合国环境规划署的许多数据源自政府，反映了多数政府收集大气汞排放和其它环境释放数据的方式，非政府组织将努力严格审查本国政府提供或使用的汞排放和释放方面的数据。

⁷³ "The Global Atmospheric Mercury Assessment," UNEP, 上文所引。

6. 汞供应

几乎所有含汞或使用汞或汞化合物的产品或工艺都依靠单质汞供应。

6.1 汞矿

至古代以来，人们已开采一种天然存在的红色或红褐色矿石，称为朱砂，它含有大量的硫化汞。据报告首次大型朱砂开采始于 3000 多年前的秘鲁安第斯山脉。早在公元前 1400 年，便在如今秘鲁万卡约镇附近发掘了朱砂矿石。该矿石被碾碎制成红色颜料，称为朱红。朱砂的现场开采其起始年代远早于印加文明的兴起，并一直持续到现代。朱红不仅运用于印加文明，而且在其它古代文明中，某些地区将之用于仪式中的人体着色和金器装饰，如丧葬面具。⁷⁴ 在古代中国和印度也有着从朱砂中提炼朱红的记录。在古罗马时期，凯旋的将军面部会涂上朱红。⁷⁵

在空气下加热朱砂，会产生单质汞，而后从蒸气状态冷凝单质汞。^{*}该工艺的历史至少可追溯到公元前 200 年，古希腊、罗马、中国和印度都掌握了如何通过该方式生成单质汞的方法。⁷⁶ 另有证据显示，在首次与欧洲人接触之前，印加人已学会了如何生成单质汞。⁷⁷

⁷⁴ John Roach, "Mercury Pollution's Oldest Traces Found in Peru," National Geographic News, May 18, 2009, <http://news.nationalgeographic.com/news/2009/05/090518-oldest-pollution-missions.html>.

⁷⁵ 关于朱红的维基百科 (Wikipedia) 条目, <http://en.wikipedia.org/wiki/Vermilion>。

^{*} 发生的反应其化学方程式为: $\text{HgS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Hg} + \text{SO}_2$

⁷⁶ "Mercury: Element of the Ancients," Dartmouth Toxic Metals Research Program, <http://www.dartmouth.edu/~toxmetal/metals/stories/mercury.html>.

⁷⁷ "Mercury Pollution's Oldest Traces Found in Peru," 上文所引。

世界上已知最大的朱砂矿石储存地位于西班牙的阿尔马登（Almadén）矿山。2000多年前，该地区便开始了开采和提炼作业。阿尔马登矿山的汞为腓尼基人和迦太基人所用，而后罗马人将之用于金银的汞齐化和精选。罗马学者普林尼首次在其著作《自然的历史》中详述了该工艺。⁷⁸

过去的500年间，关于阿尔马登矿山和其它矿山运作的数据皆可循。自公元1500年，在阿尔马登矿山和其它矿山中开采的朱砂和其它矿石所生成的单质汞量近100万公吨，1925年以前已生产了半数—50万公吨。将汞从西班牙运至其美洲殖民地的海运持续了250年，它们用于金银开采，多数汞运至如今墨西哥境内。⁷⁹

早期世纪的金银开采

16世纪至18世纪，最大规模的汞使用是用于拉丁美洲金银的生产，这导致了大量汞释放于全球环境中，这些金银多数被运回西班牙和葡萄牙，从而为西欧快速的经济扩张提供了重要因素。

19世纪，北美经历了汞矿开采热潮，加利福尼亚、加拿大北部和阿拉斯加地区的淘金矿工使用汞。金矿生产为北美经济扩张做出了重要贡献。19世纪，在澳大利亚和其它国家也

⁷⁸ Luis D. deLarcercda, "Mercury from gold and silver mining: a chemical time bomb?" Springer 1998.

⁷⁹ Hylander, L.D. Meili, M., (2003). 500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions. *The Science of The Total Environment* 304(1-3): 13-27, http://www.zeromercury.org/library/Reports%20General/0202%20Hg500y_STE03Larsgleobalemissions.pdf.

出现了黄金热潮。早期世纪金银开采中使用的大量汞残留在环境中，持续成为危害源。^{80,81}

开采汞矿石和将其提炼为单质汞的作业会向大气中释放大量的汞蒸气，然后成为汞污染直接且重要的来源。一项研究发现在中国一座废弃汞矿周边的大气汞浓度高出区域背景场地几个数量级。⁸² 一项关于摄食汞矿和冶炼厂附近区生长水稻的人体汞暴露研究发现了高度暴露，即使与锌冶炼厂和重煤工业的区相比，其汞浓度也颇高。⁸³ 加州研究者检测到在一条流经一座长期废弃汞矿的河中含有大量的汞。该结果和其它汞矿的初步结果说明弃用汞矿是水体中汞污染的重要来源，它们也将相应地持续成为大气汞排放的来源。⁸⁴

近年来，多数世界上主要汞矿已因单质汞需求减少而关闭，环境压力也是迫使其关闭的原因之一。1990年，美国最后一座汞矿关闭，位于斯洛文尼亚伊德里亚(Idrija)的一座大型汞矿于1995年关闭，西班牙的阿尔马登矿于2003年停止开采和加工初级汞矿石。目前，北美或西欧已不再运营初级汞矿，也不会重新启动运营。世界其它汞矿中多数也已关闭，包括于2004年底停止运营的位于阿尔及利亚的一座重要汞矿。^{85,86}

⁸⁰ Charles N. Alpers et al., "Mercury Contamination from Historical Gold Mining in California," U.S. Geological Survey fact sheet, 2005, <http://pubs.usgs.gov/fs/2005/3014/>.

⁸¹ B.M. Bycroft et al., "Mercury Contamination of the Lerderberg River, Victoria, Australia, from an Abandoned Gold Field," *Environmental Pollution, Series A, Ecological and Biological*, Volume 28, Issue 2, June 1982.

⁸² "Mercury Pollution in a Mining Area of Guizhou, China," *Toxicological & Environmental Chemistry*, 1998,

<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a902600843>.

⁸³ Hua Zhang et al., "In Inland China, Rice Rather Than Fish Is the Major Pathway for Methylmercury Exposure," *Environmental Health Perspectives*, April, 2010, <http://ehp03.niehs.nih.gov/article/fetchArticle.action?jsessionid=F7154FD5C22DD646D5200FC587451A05?articleURI=info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.1001915>.

⁸⁴ Tim Stevens, "Inoperative Mercury Mines Fingered as a Major Source of Mercury Contamination in California Waters," *U.C. Santa Cruz Currents*, 2000, <http://www.ucsc.edu/currents/00-01/11-06/pollution.html>.

⁸⁵ "500 Years of Mercury Production," 上文所引。

根据美国地质调查局，目前主要的汞开采仅仅发生在以下两国：中国和吉尔吉斯斯坦。据估计，2009年，中国汞矿产生了800公吨汞，吉尔吉斯斯坦汞矿产生了250公吨。⁸⁷ 根据中国政府，中国的汞出口量非常少，多数汞用于国内市场。⁸⁸ 相反，吉尔吉斯斯坦的凯达坎（Khaidarkan）矿的生产则主要面向出口市场。⁸⁹ 美国地质调查局估计2009年，所有其它国家的汞矿生产共达139公吨。⁹⁰

6.2 有色金属提炼产生的副产品单质汞

在提炼各种金属矿石时，有时也会产生副产品单质汞。在多数有色金属矿石如锌、铜、铅、金、银和其它矿石中存在微量汞。直至最近，这些矿石中的汞会作为开采和提炼过程中产生的废物流释放至环境中。然而，近年来，一些提炼厂商开始回收其废物中的汞，生产单质汞，在国内或国际市场销售。⁹¹

许多生产厂商被要求采取如此举措是为了符合国家、州级或省级法律法规。在其它情况下，生产厂商可能按规定需符合汞废物处置治理的法律法规，可能已确定从其废物中回收单质汞而后进行销售的成本比根据已批准的处置方式对汞废物进行处置的成本要低。

⁸⁶ "Summary of Supply, Trade and Demand Information on Mercury," UNEP, 2006, <http://www.chem.unep.ch/mercury/HgSupplyTradeDemandIM.pdf>.

⁸⁷ Mercury Statistics and Information, U.S. Geological Survey, 2010, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mcs-2010-mercu.pdf>.

⁸⁸ "Mercury Situation in China," Chinese government submission to the UNEP Mercury Open-Ended Working Group, http://www.chem.unep.ch/Mercury/OEWG1/China_response.pdf.

⁸⁹ "Summary of Supply, Trade and Demand," UNEP, 上文所引。

⁹⁰ Mercury Statistics and Information, U.S. Geological Survey, 上文所引。

⁹¹ "Summary of Supply, Trade and Demand," UNEP, 上文所引。

例如，目前世界上近 35% 的从锌冶炼烟气中去除汞的污染控制系统正在投入运行。⁹² 少数位于南美和北美的大型金矿从废物中回收单质汞而后进行销售。根据一项非常谨慎的估计，2005 年，锌、金、铜、铅和银的提炼厂商在全球范围内回收的汞量达到近 300 至 400 公吨。⁹³ 该估计并未将俄罗斯联邦与吉尔吉斯斯坦境内的凯达坎矿汞开采和提炼设施的一项大合约纳入考虑范围。根据该合约，俄罗斯境内的一家大型锌冶炼厂和其它来源所产生现有污染废物库存将运至吉尔吉斯斯坦进行提炼。据估计，从这些废物中将提取近 2000 公吨的单质汞而后进行销售。⁹⁴

6.3 天然气所含单质汞

天然气中也含有微量汞，当天然气燃烧时，会释放至环境中。在一些地区—包括毗邻北海的国家、阿尔及利亚、克罗地亚和其它国家—天然气中所含的汞浓度尤高，这些地区的加工企业通常对天然气进行汞去除处理。据估计，欧盟范围内，天然气废物中年汞回收量为 20 至 30 公吨。⁹⁵ 其它地区并未提供天然气回收汞的数据。

液化天然气(LNG)生产厂商在进行冷却前去除汞，否则天然气中的汞会损坏天然气液化厂使用的铝热交换器。这通常要求将每标准立方米天然气中含汞量降为 0.01 微克。根据一份关于天然气汞去除设备厂商的市场资料评述，购买该设备的主要原因是为了保护液化下游设备和化学生产厂。除了西欧以外，这些技术并未广泛用于去除居民供热和烹饪或者商业和工业熔炉和锅炉中所销售使用的天然气中的汞。⁹⁶ 关于这类汞对

⁹² 同上。

⁹³ 同上。

⁹⁴ 同上。

⁹⁵ 同上。

⁹⁶ Giacomo Corvini et al., "Mercury Removal from Natural Gas and Liquid Streams," UOP LLC, <http://www.uop.com/objects/87MercuryRemoval.pdf>.

普通天然气消费者的影响或者它在全球大气汞污染总量中所占得比例的了解甚少。

一家天然气汞去除设备的供应商表示根据近年的分析经验，天然气中含汞量范围为从低于可检测的值至 120 微克/每标准立方米。该供应商提供了一项地址不明但显然属欧盟之外设施的典型案例。在该设施中，输入气中含汞量的范围为 25 微克至 50 微克/每标准立方米天然气，输出气的含汞量降低至检测限值之下。通过专有吸附剂，天然气中的汞得以去除，而后这些吸附剂进行再生，去除单质汞，技术公司声称其后可在市场进行销售。⁹⁷ 然而，在西欧外，通过这些技术回收且出售的单质汞并未反映在国际上现有汞供应数据中。

6.4 汞循环利用和回收

多数通过循环利用回收的单质汞源自使用汞或汞化合物的工业生产工艺。某些情况下，回收汞会在工业中再次使用。某些情况下，会流入市场。另在某些情况下，已达成协议力求将市场上流通的回收汞收回，将其进行永久储存处理。

循环利用和回收汞的最大来源是氯碱产业。对于该产业而言，在对盐水进行电解的过程中，会产生氯气和碱（氢氧化钠）。一些氯碱厂使用水银电解法工艺，将汞用于电解阴极。⁹⁸ 水银电解氯碱厂使用大量汞，造成很大污染。值得庆幸的是，近年来的趋势是已淘汰了许多这种水银电解氯碱厂，采用其它无汞工艺。

仅一家水银电解工厂便可含有汞生产使用的成百吨单质汞，甚至其仓库拥有更多汞以补充流失的汞。当停止使用水银电解时，便能回收许多汞。一项自愿协议规定将逐步淘汰西欧水银电解氯碱厂，完成日期商定为 2020 年。一项检验欧洲停

⁹⁷ 同上。

⁹⁸ 该工艺描述可见：http://en.wikipedia.org/wiki/Castner-Kellner_process.

止氯碱水银电解法的研究得出结论，1980年至2000年，从停止使用的汞电池中回收了近6000吨汞。该研究估计，2004年汞清单中近25000吨汞的产生与当时运行的氯碱厂有关联，这些氯碱厂约半数位于西欧。⁹⁹2010年4月，一家欧洲行业协会表示在欧洲14个国家内，仍有39家水银电解氯碱厂运营，总共含8200公吨单质汞。¹⁰⁰

有时，运营的水银电解氯碱厂也回收废物流中的汞。据估计，2005年全世界运营的水银电解氯碱厂其汞回收量为90至140公吨。¹⁰¹

另一种大量使用和回收汞的生产形式是用于生产聚氯乙烯的氯乙烯单体生产，该生产将氯化汞用作催化剂。多数国家并不采用该工艺，然而，4套这种设备被认为运行于俄罗斯联邦，60多套运行于中国。其它国家是否运行类似设备尚未得知。¹⁰²

据估计，中国工厂一年使用的催化剂含有610公吨汞。2004年，该行业估计催化剂原来所含的近半数汞（290吨）得到了循环处理，但却未提供余下半数汞去向的信息。¹⁰³

在含汞产品如含汞温度计、牙科用汞合金、开关、荧光灯和其它类似产品废弃使用后，如对其进行正确管理，是可以进行单质汞回收的。同样，生产含汞产品、生产工艺中使用汞、

⁹⁹ "Mercury Flows in Europe and the World: The Impact of Decommissioned Chlor-Alkali Plants," European Commission Directorate General for Environment, 2004,

<http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/report.pdf>.

¹⁰⁰ "Storage of Mercury: Euro Chlor View," Euro Chlor, April, 2010,

<http://www.eurochlor.org/news/detail/index.asp?id=325&npage=1&archive=1>.

¹⁰¹ "Summary of Supply, Trade and Demand Information on Mercury," UNEP, 2006, p. 32, <http://www.chem.unep.ch/mercury/HgSupplyTradeDemandJM.pdf>.

¹⁰² 同上。

¹⁰³ 同上。

或燃烧或加工汞污染燃料或矿物的工厂所产生的汞污染废物中也可回收单质汞。

6.5 减少汞供应的必要性

1991年至2003年，汞价稳定在一个世纪以来的最低的实际水平，每公斤为4美元至5美元。¹⁰⁴近年来，汞价已大幅上升。在本文撰写之际，伦敦市场一烧瓶汞的现价为1250美元至1450美元。¹⁰⁵这说明每公斤汞的价格为36美元至42美元，与近年的低价相比，大幅增长。汞价如此增长的原因尚不明。可能反映了汞矿关闭和一些政府限制汞出口的行为降低了汞供应的现象，也许反映了由于金价升至新高度后手工作坊和小型金矿汞需求的增长，可能也反映了汞贸易商的囤积现象，他们预测不久将采用一项全球汞控制公约，这将限制未来汞供应。最有可能的是，以上三种因素都起作用。

汞的高价格会使厂商放弃部分汞使用，更易执行旨在消除汞或最小化使用汞的替代品。因此，如果汞价格之高足以阻止汞需求，那么全球汞控制公约的目标将得以最好实施。然而，汞控制制度的一些特点可能会导致汞源的新增或扩大。由于各国政府针对汞排放以及汞污染产品和废物实行了严格控制，这激励了金属提炼厂、回收厂家和其它厂家从废物流和化石燃料中回收单质汞，将这种新回收的汞投入市场。同时，全球汞控制公约也能通过消除、逐步淘汰或减少目前众多的汞使用从而降低全球汞需求。最后，虽然目前一些贸易商因预测未来供应短缺而对汞进行囤积，但这可能只是一个短期现象。考虑到这些原因，在没有具体干预措施的情况下，汞价格可能再次回落，以确保按全球汞需求，限制全球汞供应和保持其受限。

¹⁰⁴ "Summary of Supply, Trade and Demand Information on Mercury," UNEP, 上文所引。

¹⁰⁵ Minor Metal Prices, MinorMetals.com, September 21, 2010, <http://www.minormetals.com>.

为了帮助解决这个问题，欧盟已采用了一项法规，将于2011年3月生效。该法规禁止从欧盟出口金属汞、朱砂矿石、氯化汞、氧化汞以及金属汞与其它物质的混合物。该法规还禁止在所有欧盟国家进行朱砂中单质汞的初级生产。另外，它将所有水银电解氯碱厂回收的金属汞、有色金属开采和冶炼以及天然气清洁过程中产生的汞列为废物。将这类汞列为废物的规定说明在欧盟国家不允许出售或使用所有这些来源产生的汞，必须通过对人体健康和环境安全的方式进行处置。¹⁰⁶

美国也通过了一项解决汞出口问题的法律，该法将于2013年生效，规定除某些情况外，禁止从美国出口单质汞，要求建立指定设施用以长期管理和储存美国国内产生的汞。¹⁰⁷

欧盟和美国的行动朝着一个非常积极的方向发展。在这些措施基础上，将建立一项全球汞控制公约，对于按需设定的汞供应进行渐进式全球限制。该公约应禁止所有初级汞开采以及朱砂矿石中单质汞的生产。应禁止或限制从氯碱厂、金属开采和提炼、工业催化剂、天然气清洁和其它来源中回收汞的商业销售。另外，该公约应规定措施，针对单质汞以及含汞废物，为所有地区的国家或区域永久性安全储存或环境友好处置的建立提供财政和技术支持。

¹⁰⁶ 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; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:304:0075:01:EN:HTML>.

¹⁰⁷ "Mercury Export Ban Act of 2008," Global Legal Information Network, <http://www.glin.gov/view.action?glinID=71491>.

7.故意来源：产品所含汞

大量普通产品中含有汞或汞化合物。在这些产品的生产过程中，经常释放汞至大气中（不论是在作业场所内部或外部），汞经常作为固体和液体废物流中污染物进行释放。在日常使用中，含汞产品经常破损或者释放汞至环境中。对于所有含汞产品而言，在其使用寿命结束后，只有少部分会被回收器用于回收所含的汞。通常，这些废旧产品会被送至焚烧炉、垃圾填埋场或倾倒处。焚烧炉所使用的空气污染控制措施，会导致废旧产品中的汞快速释放至大气中。垃圾填埋场和废物倾倒处也会导致这些产品所含的许多汞释放至大气中，但量较小且速度较缓。无论怎样，产品中的许多汞最终将通过各种方式进入大气。

7.1 医疗设备所含汞

在医院和医疗保健机构中，长期以来使用含汞设备，包括：体温计、血压测量设备（血压计）和食道扩张器。

当这些设备破损时，所含的汞会蒸发，导致医疗保健工作者和病人的暴露。破损设备所含的汞会污染所溢的直接地面和设施的废水排放。这种设备破损的现象很普遍。使用含汞体温计的医院时常报告每年每张病床需更换多个体温计。据一项调查报告，一家拥有 250 张病床的医院仅一年之内便有 4700 个含汞发烧体温计破损。¹⁰⁸

¹⁰⁸ "Market Analysis of Some Mercury-Containing Products and Their Mercury-Free Alternatives in Selected Regions," Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 2010, <http://www.ipen.org/ipenweb/documents/ipen%20documents/grs253.pdf>.

每个体温计的含汞量为 0.5 克至 3 克，¹⁰⁹ 每个含汞血压计设备通常含汞量为 100 克至 200 克。¹¹⁰ 食道扩张器为一长且灵活的管，它能顺着患者咽喉进入食道，从而进行特定的医疗操作。虽然该设备不如体温计和血压测量设备般常见，但每个扩张器的含汞量为 1 千克之多。¹¹¹

许多国家目前已能提供质量佳且经济的替代品以替代含汞体温计、血压测量设备和食道扩张器。人们正在努力逐步淘汰含汞医疗设备，¹¹² 这其中，国际非政府组织无害医疗（HCWH）在许多方面起着重要作用。¹¹³ 无害医疗协同世界卫生组织目前正在领导一项全球行动，力争在 2020 前，实质性地消除含汞体温计和血压计，代之以准确经济可行的替代品。该行动维护着一个世界卫生组织/无害医疗的联合网站，被认为是联合国环境规划署全球汞合作伙伴关系项目的组成部分。

2007 年，欧洲议会通过立法，规定将禁止在欧盟销售新含汞体温计，同时将限制其它含汞测量设备的销售。¹¹⁴ 一些欧洲国家包括瑞典、荷兰和丹麦已禁止使用含汞体温计、血压测量设备和其它各种设备。美国的 13 个州政府已立法规定禁止使用含汞体温计。上千家医院、药店和医疗设备购买商已自

¹⁰⁹ "Thermometers and Thermostats," Environment Canada,

<http://www.ec.gc.ca/mercure-mercury/default.asp?lang=En&n=AFE7D1A3-1#Fever>.

¹¹⁰ Sphygmomanometers, Local Governments for Health and the Environment, <http://www.lhwmp.org/home/mercury/medical/sphygmom.aspx>.

¹¹¹ "Mercury Legacy Products: Hospital Equipment," Northeast Waste Management Officials' Association,

<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/projects/legacy/healthcare.cfm#es>.

¹¹² "The Global Movement for Mercury-Free Health Care," Healthcare Without Harm, 2007, http://noharm.org/lib/downloads/mercury/Global_Mvmt_Mercury-Free.pdf.

¹¹³ 无害医疗（The Health Care Without

Harm）网址：<http://www.noharm.org/>.

¹¹⁴ "EU Ban on Mercury Measuring Instruments," U.K. Office of the European Parliament, 2007, <http://www.europarl.org.uk/section/2007-archive/eu-ban-mercury-measuring-instruments>.

愿停止使用含汞设备，转而使用数字温度计、无液和数字血压测量设备。¹¹⁵ 菲律宾卫生部于 2008 年颁布了一项行政命令，号召全国范围内所有健康设施逐步淘汰含汞温度计。¹¹⁶ 阿根廷卫生部于 2009 年签署了一项决议，指示该国的所有医院和医疗中心购买无汞温度计和血压测量设备。¹¹⁷

然而，在多数发展中国家和经济转型期国家，这项消除含汞医疗设备的运动进展相对缓慢。某些地方对于实施转变其必要性的认识有限。但是，即使淘汰医疗部门含汞设备其必要性的意识有所提高，对于转变而言，仍存在三大障碍：

- 一些医疗专业人员不信任可利用的无汞替代设备
- 准确且经济的无汞设备其市场供应不足
- 缺乏国家、区域或全球层面的标准以及设备认证方案，以确保在全国市场上提供的设备符合公认的精确度和性能标准

作为一项长期战略，世界卫生组织支持所有国家禁止使用含汞医疗设备并代之以有效的无汞替代品之行动。短期而言，世界卫生组织鼓励拥有经济的替代品之通道的各国制定和实施计划以减少含汞设备的使用，使用替代品。在此期间，世界卫生组织同时鼓励医院开展汞清理、废物处理和存储程序。¹¹⁸ 全球汞控制公约将有助于加速和完成在世界范围内彻底消除含汞医疗设备。

¹¹⁵ "The Global Movement for Mercury-Free Health Care," Healthcare Without Harm, 上文所引。

¹¹⁶ Environmental Health News, June 21, 2010, <http://www.noharm.org/seasia/news/>.

¹¹⁷ "Argentina Ministry of Health Issues Resolution Ending Purchase of Mercury Thermometers and Sphygmomanometers in the Country's Hospitals," February 24, 2009, http://www.noharm.org/global/news_hcwh/2009/feb/hcwh2009-02-24b.php.

¹¹⁸ "Mercury in Health Care," WHO Division of Water Sanitation and Health, http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/mercury/en.

7.2 含汞开关

有几种电器开关含汞，包括倾斜开关、浮控开关、温控器、控制电子电路的继电器和其它。¹¹⁹例如，2004年，在美国出售的新开关、温控器和继电器所含的单质汞量近46.5公吨。¹²⁰几乎所有的这些产品都具备好的替代品。

2005年和2006年生效的两项欧盟指令禁止在欧洲国家销售含汞的开关和温控器：废电机电子设备指令(WEEE)和关于限制在电子电器设备中使用某些有害物质的指令(RoHS)。¹²¹美国数个州政府也禁止使用含汞开关和温控器。针对这些措施，许多生产商代以生产开关的无汞替代品。结果，在北美和西欧销售的含汞开关数量大幅减少。关于发展中国家和经济转型期国家含汞开关使用趋势的信息相对较少。

倾斜开关：此类开关包含了一端有电气接点的小管，当有着电接点小管的一端倾斜时，汞即流向另一端，关闭电路。当小管另一端倾斜时，电路出现故障。¹²²

倾斜开关曾普遍用于汽车中，以控制汽车后部行李箱和其它位置的灯。每个开关平均含1.2克单质汞。据估计，2001年美国路面行驶的汽车拥有2.5亿个含汞倾斜开关。¹²³近年来，

¹¹⁹ "What Devices Contain Mercury?" U.S. EPA Software for Environmental Awareness, Purdue University,

<http://www.purdue.edu/envirosoft/mercbuild/src/devicepage.htm>.

¹²⁰ "Mercury Use in Switches and Relays," Northeast Waste Management Officials' Association (NEWMOA), 2008,

<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/factsheets/switches.cfm>.

(注示：最初按磅所记重量已转换为公吨。)

¹²¹ "Understanding RoHS," the ABB Group, 2006,

[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot209.nsf/VerityDisplay/32F49F4B89A16FF4852573A300799DB4/\\$File/1SXU000048G0201.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot209.nsf/VerityDisplay/32F49F4B89A16FF4852573A300799DB4/$File/1SXU000048G0201.pdf).

¹²² 同上。

¹²³ "Reducing and Recycling Mercury Switch, Thermostats and Vehicle Components," Illinois Environmental Protection Agency, 2005,

<http://www.epa.state.il.us/mercury/iepa-mercury-report.pdf>.

几乎所有的汽车制造商已停止在新车上安装倾斜开关。早在 20 世纪 90 年代，瑞典便禁止在汽车中使用倾斜开关。作为回应，欧洲汽车制造商于 1993 年几乎停止使用几乎所有含汞倾斜开关。随后，美国于 2002 年停止使用。¹²⁴ 在全球，几乎所有的汽车制造商现在已停止使用倾斜开关。然而，许多老产品中仍装有含汞开关，当汽车报废时，其中所含的汞将释放至环境中，除非将之去除和正确地处置。

虽然近年来这些使用日趋减少，但许多其它产品仍使用倾斜开关。这些产品包括：洗衣机、烘干机、冰柜、电熨斗、空间加热器、电视机、炉风机限制控制开关、安全和火警系统，新颖的闪光儿童鞋和许多其它类产品。¹²⁵ 倾斜开关也用于工业用途，其中一个开关含单质汞量可达 3.6 千克。¹²⁶ 有时，回转仪和人工地平仪，尤其是航空航天和军事应用中会使用敏感性强的含汞开关。¹²⁷

浮控开关： 此类开关通常用于操作泵和控制液体水平，为圆形或圆柱形浮球，并有一开关与之连接。当浮球在特定高度进行上下变化时，该开关对泵进行开启或关闭的操作。¹²⁸ 一个浮控开关的含汞量少至 100 毫克或多达 67 克。小型浮控开关用于防止地下室浸水的污水泵。大型的浮控开关用于市政污水处理系统、灌溉泵的控制和许多工业用途。同等价格的含汞浮控开关替代品已可提供。¹²⁹

¹²⁴ 同上。

¹²⁵ "Table of Products That May Contain Mercury and Recommended Management Options," U.S. EPA, <http://www.epa.gov/wastes/hazard/tsd/mercury/conprod.htm>.

¹²⁶ "Mercury Use in Switches and Relays," NEWMOA, 上文所引。

¹²⁷ "Mercury Gyro Sensors," Polaron Components, <http://www.coopercontrol.com/components/mercury-gyro.htm>.

¹²⁸ "What Devices Contain Mercury," 上文所引。

¹²⁹ "Mercury Use in Switches and Relays," NEWMOA, 上文所引。

温控器：此类产品用于家庭或其它地方，其用途是控制取暖或降温设备。直至最近，多数温控器仍含有汞。含汞温控器有双金属线圈，能够随着室内温度收缩和膨胀。当线圈收缩或膨胀时，能够激活含汞开关，此开关能接通或关闭电路从而使熔炉、热泵或空调开启或关闭。一个住宅模式温控器所含汞的平均总量近 4 克。工业温控器的含汞量可能更高。¹³⁰

近年来，许多生产商停止使用含汞温控器，代以使用无汞几点或电子温控器。例如，2004 年美国新出售温控器的含汞量(13.1 公吨)与 2001 年新出售温控器的含汞量（13.25 公吨）区别不大。然而，至 2007 年，新出售温控器的含汞量减少了近 75%（降至 3.5 公吨）。¹³¹ 大量含汞温控器被电子温控器取代，这些电子温控器可进行程序化控制，且很快便通过因其所提供消费者的节能效应，证明了其自身的价值。当对含汞温控器进行替代安装电子温控器时，必须谨慎确保正确处理旧温控器。

含汞继电器：该设备开启或关闭电气接点以控制其他设备运行。通过向控制电路提供相对较小的电流，继电器通常用于开启或关闭大的电流负荷。含汞继电器包括水银位移继电器、水银湿簧继电器和水银触点继电器。¹³²

继电器广泛用于不同产品和用途。2001 年全球继电器市场的收入为 46.58 亿美元。继电器的最大使用商为电信、交通和工业自动化产业。同时，继电器还用于笔记本电脑、电脑电源、复印机、充电器、取暖器和烤箱、工业熔炉、街灯和交通信号、手术设备、X 光机、飞机、电压表和欧姆表、机床控制、采矿设备、水池加热设备、干洗设备、电路板、可编程逻辑

¹³⁰ "Fact Sheet: Mercury Use in Thermostats," Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse (IMERC), 2010, <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/factsheets/thermostats.pdf>.

¹³¹ 同上。

¹³² "Mercury Use in Switches and Relays," NEWMOA，上文所引。

辑控制器和许多其它应用。¹³³2004年美国市场新增继电器含汞量为16.9公吨。¹³⁴

除了以上描述以外，还有许多种含汞开关和继电器，包括压力和温度开关、火焰传感开关、磁簧开关、振动开关和其它。关于含汞开关可利用信息多数来自北美和西欧，在这些地区，信息的获取比较容易，这些开关大量已被无汞替代品取代。尚未有准确信息说明在世界其它地区是否存在类似的取代趋势，。

如果不采取措施回收现存产品和设备开关中所含的汞，许多汞最终将进入环境。遗憾的是，目前的趋势是高度工业化国家将本国的电子垃圾输往发展中国家的低收入地区，在这些地区，多数废物处理设备的经营与管理不善，通常会导致当地污染问题。一项全球汞公约能通过加速淘汰全球含汞开关和继电器以及规定或促进电子产品和设备在其使用废弃后能得到更好的管理，从而帮助调整该问题。

7.3 电池所含汞

电池中汞的主要用途是防止氢气积聚，从而避免电池鼓胀和泄漏。汞也用作氧化汞电池中的一个电极。近至20世纪80年代初，电池生产曾是美国国内汞使用的最大来源；每年的汞用量超过900公吨。至1993年，许多电池生产商销售无汞碱性电池，用于多数应用。至1996年，随着规定含汞电池的联邦法律的通过，这便成为了多数电池使用的国家标准。西欧国家制定了类似限制条例。然而，在全球，电池生产中仍持续大

¹³³ "An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products," Lowell Center for Sustainable Production, 2003,

<http://sustainableproduction.org/downloads/An%20Investigation%20Hg.pdf>.

¹³⁴ "Mercury Use in Switches and Relays," NEWMOA, 上文所引。

量使用汞；据报告，2000年电池生产中的汞用量占据全球汞需求总量的三分之一。¹³⁵

根据欧盟的一份报告，2000年在美国和欧盟国家销售电池的总含汞量为31公吨。同年，世界其它地方销售电池中含汞量为1050公吨。¹³⁶联合国报告《汞供应、贸易、需求信息总结》显示2005年新售电池中的全球含汞量下降至300公吨-600公吨。¹³⁷

含汞量最高的电池是氧化汞电池，在该电池中，汞重量占40%。这些电池的价值在于具有高能量密度和均匀电压曲线，曾用于助听器、手表、计算器、电子照相机、精密仪器和医疗设备。¹³⁸然而，我们无法证实在世界范围内仍生产小型氧化汞电池，另一方面，大型氧化汞电池仍有生产，用于军事、医疗和工业设备中，因为稳定的电流和长的使用寿命是这些设备的必需要求。根据欧洲委员会的一份报告，2007年含有2至17公吨汞的氧化汞电池在欧盟国家出售。¹³⁹

除氧化汞电池外，含汞电池使用汞的目的为抑制电池内部的气体形成和防止泄露。世界市场上多数碱性电池已不再含汞，碱性纽扣电池除外。

纽扣电池体积小，用于助听器、手表、玩具、新颖产品和其它小型便携式设备。这类电池中许多含有汞。纽扣电池的主

¹³⁵ "Mercury: Consumer and Commercial Products," U.S. EPA, <http://www.epa.gov/hg/consumer.htm#bat>.

¹³⁶ "Mercury Flows in Europe and the World," 上文所引。

¹³⁷ "Summary of Supply, Trade and Demand," UNEP, 上文所引。

¹³⁸ "Fact Sheet: Mercury Use in Batteries," (IMERC), 2008,

¹³⁹ "Options for Reducing Mercury Use in Products and Applications, and the Fate of Mercury Already Circulating in Society; COWI A/S and Concorde East/West Sprl European for the European Commission Directorate-General Environment, 2008, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/study_summary2008.pdf.

要技术为以下四大类：锌空气、氧化银、碱性锰和锂。锂电池不含汞。另一方面，锌空气、氧化银和碱性锰纽扣电池中汞重量占 0.1%至 2.0%。这些电池中许多经由已装有纽扣电池的产品销售而进入商业领域。例如，2004 年，1700 万蜘蛛侠玩具出现在美国早餐麦片包装中。据估计，仅此一项促销活动就使得 30 千克的汞进入流通领域。¹⁴⁰

锌空气纽扣电池：这类电池中多数用于要求使用高能量电池的助听器。通常这些电池的使用寿命只有数天，助听器使用者一次会购买许多电池进行替换。在一些国家市场已可提供可靠且无汞锌空气电池，价格与含汞电池同等。¹⁴¹

氧化银纽扣电池：这类电池主要用于手表和相机，同时还用于微型钟表、电子游戏、计算器和其它要求均匀放电的产品。日本的三家公司—索尼、精工和日立—于数年前便能提供各种大小型号的无汞氧化银纽扣电池。最近，德国和中国的公司也已开始生产此类电池。一些生产商的无汞氧化银纽扣电池的销售价格与含汞电池的价格同等，但有些其它生产商的销售价格相对较高。无汞氧化银纽扣电池正迅速占领市场份额。¹⁴²

碱性锰纽扣电池：这类电池用于装有纽扣电池的玩具和新型产品中，同时也用于其它产品如相机、计算器、数字温度计和远程控制。据估计，2004 年，中国在碱性锰纽扣电池生产中所使用的汞超过 900 公吨。此类电池是纽扣电池中价格最低的，市场上流行尺寸的电池其大宗价格可为每颗电池 0.10 美元或更少。

¹⁴⁰ "Mercury-Free Button Batteries: Their Reliability and Availability," Maine Department of Environmental Protection, 2009, www.maine.gov/dep/rwm/publications/legislativereports/buttonbatteriesreportjan09.doc.

¹⁴¹ 同上。

¹⁴² 同上。

至少有五家中国生产商能够提供各种大小型号的无汞碱性锰纽扣电池，包括新利达电池实业有限公司、超量电池实业有限公司、松柏电池厂有限公司、柏高电池厂有限公司和深圳金母指电池有限公司。这些公司生产的电池主要销往原始设备生产商，用于终端产品。据一位研究者表示，铋、镉和有机表面活性剂可以用来替代碱性锰纽扣电池中的汞，其技术难度并不大或者无难度。¹⁴³

微型锂电池：与纽扣相比，这类电池形状更似一枚银币，不添加汞。95%的天美时手表使用锂电池，同时，电子游戏，计算器、汽车锁系统、车库开门器和贺卡中也普遍装有锂电池。有人曾建议，在许多应用中，锂电池可以成为含汞纽扣电池很好的替代品。然而，如果采取如此措施，便要求重新设计产品，从而适应不同的物理电池形状，因为锂电池通常比纽扣电池更平更宽。锂电池所需的运行电压也比纽扣电池高，这使其不太适合许多现行的应用。¹⁴⁴

在电池生产期间和废弃后，当中的汞会释放至环境。含汞电池生产导致的汞排放和释放方面的信息尚无法提供，但是数量可能巨大。然而，几乎可以肯定的是，含汞电池向环境释放汞的主要途径出现在电池废弃后。许多国家电池回收率非常低，尤其纽扣电池，多数电池最后的处理方式是进行焚烧、填埋或废物倾倒。这会相应使得电池中的许多汞不久或日后释放至环境中。

近年来，在用无汞替代品取代含汞电池方面取得了切实进展，尤其是针对进入西欧和北美市场的电池。国家性倡导能够加快其它地区的替代，但只有全球汞控制公约能帮助推进世界彻底地淘汰所有含汞电池。

¹⁴³同上。

¹⁴⁴同上。

7.4 荧光灯所含汞

汞用于各种灯具中，增强其工作效率和使用寿命。通常荧光灯和其它含汞灯比白炽灯和其它等同照明形式更具能效，使用寿命更长。¹⁴⁵

到目前为止，荧光灯—包括荧光灯管和紧凑型荧光灯（CFL）—占有含汞灯的最大市场份额。通常荧光灯含汞量少于其它含汞灯，每盏荧光灯平均含汞量已下降。然而，由于荧光灯所占市场份额大，所以，据估计荧光灯在照明所用汞总量中所占的比例近 80%。¹⁴⁶

荧光灯为一种荧光粉涂层的玻璃管，它含有汞，两端处有电极。当有电压时，电极会激发管内的汞蒸气，从而释放出紫外线（UV）能量。荧光涂层吸收紫外线能量，释放出可见光。汞是所有荧光灯的重要组成部分。¹⁴⁷

然而，在许多情况下，紧凑型荧光灯替代白炽灯的确能减少环境中汞的释放总量。原因何在？

煤含有汞，当其燃烧时，便向环境中释放汞，多数国家依靠燃煤电厂获取的电在用电量中所占比例很大。因此，减少用电量可降低燃煤电厂的汞排放。

在一些国家，使用含汞荧光照明也许可在短期内减少全球汞污染

¹⁴⁵ "Fact Sheet: Mercury Use in Lighting," IMERC, 2008,

<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/factsheets/lighting.cfm>.

¹⁴⁶ "The Truth About Mercury in Lamps and Bulbs," Progress Energy CurrentLines,

<http://www2.unca.edu/environment/documents/Mercury%20&%20Lighting.pdf>.

¹⁴⁷ "Fluorescent Lights and Mercury," North Carolina Division of Pollution

Prevention and Environmental Assistance,

<http://www.p2pays.org/mercury/lights.asp>.

荧光灯管和紧凑型荧光灯的含汞量相对较少，与白炽灯相比，具有很高能效。当众多民众用荧光灯取代白炽灯时，一般会大大减少总用电需求。多数情况下，这种替代能够减少发电厂产生的汞排放，减少量会大于白炽灯本身所含的汞量。该情况可以美国数据为例证。然而，应注意高度工业化国家高度接受情况下所得结论可能并不适用于一些发展中国家和经济转型期国家。

假如用一个 14 瓦紧凑型荧光灯替代 60 瓦白炽灯。该 14 瓦紧凑型荧光灯和 60 瓦白炽灯所产生的照明度近乎相同。在美国，一盏这样的紧凑型荧光灯平均使用寿命约 2 万小时，在平均使用寿命期间，紧凑型荧光灯的用电量为 280 千瓦时，而在相同的使用寿命期间，一枚 60 瓦的白炽灯泡的用电量达 1200 千瓦时。在美国高度接受条件下，用 14 瓦紧凑型荧光灯替代 60 瓦白炽灯，在其使用寿命期间，平均每只能节省 920 千瓦时的用电量。

在美国，普通燃煤电厂产生 1 千瓦时电，排放近 0.0234 毫克汞至大气。如果我们设想一户美国家庭其所有的用电均来自美国普通燃煤电厂，会发现用一盏 14 瓦紧凑型荧光灯替代一枚 60 瓦白炽灯泡平均会使得发电厂汞排放量平均减少 21.5 毫克（同时也会减少温室气体、二氧化硫、氮氧化物和其它污染物排放）。

因为在美国出售的普通 14 瓦紧凑型荧光灯每只所含的汞为 5 毫克或更少。即使这种紧凑型荧光灯所含的所有汞最终都进入了环境，仍能减少近 16.5 毫克的汞排放量（21.5 毫克汞减去紧凑型荧光灯中所含的 5 毫克汞，最后得到 16.5 毫克的汞排放削减量。）^{148,149}在这些条件下，当荧光灯大面积替代白炽灯泡后，汞排放削减总量将相当可观。

¹⁴⁸ "The Truth About Mercury in Lamps and Bulbs," Progress Energy CurrentLines, 上文所引。

另一方面，有些国家的条件可能存在较大差异。例如，在俄罗斯，荧光灯中所含的汞比美国多，许多俄罗斯的荧光灯含汞量为 20 毫克至 500 毫克。俄罗斯专家估计，在用荧光灯目前所含的汞总量近 50 公吨。考虑到烧损率，据估计这些灯每年释放近 10 公吨汞至环境中。¹⁵⁰

在俄罗斯和许多其它国家，电源电压调节不一致，电力消费者会遇到许多尖峰电压的时刻。因此，与电力供应较稳定的其它国家相比，俄罗斯荧光灯的使用寿命更短。¹⁵¹

这些和其它方面的考虑影响了从白炽灯向荧光灯转变产生的利益和成本。例如，煤中含汞量因国家和地区不同而各异，普通燃煤电厂每千瓦时生产所产生的汞量也不相同。同时，燃煤电厂产生的电力供应比例也因地方不同而各异。一些国家拥有较好的系统，能确保在荧光灯废弃后被收集，并且能通过最大程度地减少环境中汞释放的方式进行管理，但是，一些其它国家不具备如此系统。各国荧光灯的相对成本也有所不同。最后，在电价相对较低、荧光灯成本非常高、荧光灯使用寿命缩短的国家，由白炽灯向荧光灯的转变可能导致消费者的净成本而非节省净额。

最后，不同国家和地区的专家可能会对本国逐步淘汰白炽灯代之以荧光灯的可取性得出不同结论。决策的制定涉及大量因素。一方面，专家会考虑气候变化和减少对燃烧煤或其它化石燃料的电厂之电力需求这项措施的重要性，他们会考虑电厂

¹⁴⁹ "Compact Fluorescent Bulbs and Mercury: Reality Check," *Popular Mechanics*, May 2007, <http://www.popularmechanics.com/home/reviews/news/4217864>.

¹⁵⁰ "Mercury Emission Sources in Russia; The Situation Survey in Six Cities of the Country," Eco-Accord Centre, June 2010 <http://www.zeromercury.org/projects/Russian%20Mercury%20sources%20Eng-Final.pdf>.

¹⁵¹ 与俄罗斯一非政府组织领导人的私人信件。

汞及其它污染物排放。另一方面，专家也会考虑其国内市场荧光灯的含汞量和造灯处、开采汞和提炼汞处所出现的汞排放。他们可能也会考虑将含汞产品带进家庭和工作场所更直接的健康和安全因素，以及人们可能会将烧损的荧光灯径直丢弃的可能性。其它考虑因素包括本国荧光灯的平均使用寿命和消费者用荧光灯替代白炽灯的相对成本。

最后，支持淘汰白炽灯代之以荧光灯的人士认识到这并不是令人满意的最终解决方法，仅为短期或中期措施。长期目标是发展和广泛使用能提供好照明、高效节能、无汞、使用寿命长、便宜和无毒的灯。

荧光灯的使用会带来其自身的问题。当荧光灯破碎时，会向室内环境释放有害汞蒸气。同时，如果考虑所有与荧光灯相关的汞污染，我们不仅需要考虑荧光灯中的含汞量和其废弃后产生的污染，同时需要考虑开采这些用于荧光灯的汞所造成的汞污染以及生产荧光灯造成的汞污染。

值得庆幸的是，新型无汞节能灯正处于发展阶段，最具前景的是发光二极管（LED）技术。市场上现正出售 LED 照明，但价格仍相对较高。然而，随着所有新技术的发展，成本有望随着时间而下降。厂商声称进入市场的市售 LED 灯泡不含汞，与白炽灯相比，节约了 77% 的能源，使用时间为其 25 倍，触碰时不烫手，开灯时即能充分发光（不同于荧光灯）。¹⁵² 最终，LED 灯泡或其它新技术自然将能取代白炽灯泡和荧光灯。然而，关于 LED 灯泡的环境和健康影响方面的信息尚不充分，因此有待进一步调查。

¹⁵² "Light Bulb War? New LEDs by GE, Home Depot Compete," *USA Today*, May 10, 2010, <http://content.usatoday.com/communities/greenhouse/post/2010/05/light-bulb-war-new-leds-by-ge-home-depot-compete/1>.

短期到中期内，在许多国家，将使用寿命较长的荧光灯替代白炽灯似乎更具环境有利性。尽管如此，所有的荧光灯管和紧凑型荧光灯（CFL）各有不同。2004年，美国销售的多数荧光灯管的含汞量低于10毫克，但12.5%的含汞量超过50毫克。2004年，美国销售的所有紧凑型荧光灯中有三分之二的含汞量低于5毫克，但有些其含汞量超过10毫克。¹⁵³2006年中国生产的T12荧光灯管的平均含汞量为25毫克至45毫克，T5灯管和紧凑型荧光灯的平均含汞量分别为20毫克和10毫克。¹⁵⁴在印度，多数受欢迎的紧凑型荧光灯其含汞量为3.5毫克至6毫克，但有些含汞量较高，该国政府正着手筹备标准。¹⁵⁵

在西欧，欧洲议会和欧盟理事会已建立一项指令，限制在电气或电子设备中使用汞。规定每只紧凑型荧光灯的含汞量应低于5毫克，每只通用荧光灯管的含汞量应低于10毫克。¹⁵⁶然而，有些其它国家荧光灯中的平均含汞量可能高出许多。

另外，了解一只荧光灯含汞量并不能完全说明其在全球汞污染中所占的比例。有些荧光灯生产商如许多中国厂家，从小型且高度污染的初级汞开采和提炼中获取汞源。一些生产荧光灯的工厂污染控制不善，向室内或室外空气中释放大量的汞蒸气，有的工厂产生大量无法妥善管理的固体和液体废物流。另一方面，有些荧光灯生产商却将污染最小化，从妥善控制的回

¹⁵³ "Fact Sheet: Mercury Use in Lighting," IMERC, 上文所引。

¹⁵⁴ "Improve the Estimates of Anthropogenic Mercury Emissions in China," Tsinghua University, 2006, <http://www.chem.unep.ch/mercury/China%20emission%20inventory%20.pdf>.

¹⁵⁵ "Information on CFL and Its Safe Disposal," Electric Lamp and Component Manufacturers Association of India, <http://www.elcomaindia.com/CFL-Safe-Disposal.pdf>.

¹⁵⁶ "Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council," *Official Journal of the European Union*, http://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/2002_95_EC.pdf.

收作业中获取汞源，这些回收有效地回收了汞，否则这些汞将进入环境中。

缺乏能确保对所使用的含汞荧光灯进行环境友好管理的功能性系统，尤其对发展中国家而言，会给从事废物相关的工人和其社区造成严重威胁，因为他们经常会从弃置在垃圾倾倒处的混合垃圾中拾回废灯，然后在不受控制的条件下进行回收。例如，在菲律宾，政府数据显示 88%的家庭和 77%的商业机构在处置其废荧光灯时，采取家庭废物的处理方式。国际消除 POPs 网络（IPEN）成员菲律宾生态废物联盟进行的关于不正规回收垃圾倾倒场中紧凑型荧光灯的调查工作已引起了决策者们的关注，他们现已明白应采取一项有效机制，从而收集和回收废弃灯，包括实行生产者责任延伸制(EPR)，以遏制不当的处置方式。

该问题不仅存在于发展中国家，美国照明和汞再循环产业协会(ALMR)估计只有 23%的荧光灯得以回收（商业和工业中 30%得以回收，而住宅中仅 5%得以回收）。¹⁵⁷ 欧盟的回收率高出许多，欧共体颁布的废电机电子设备指令便是针对免费回收废弃后电气设备包括荧光灯以及建立收集设施和私人家庭电子废物收集系统所制定的。¹⁵⁸ 加拿大也正在开始实施本国的加拿大全国标准，要求针对不断增加的消费品建立生产者延伸责任制方案。¹⁵⁹

许多不同的系统用于管理和处理废弃荧光灯。包括灯管粉碎机和其它荧光灯回收系统。尚无法提供与这些系统相关的以

¹⁵⁷ "Promoting Mercury-Containing Lamp Recycling: A Guide for Waste Managers," Solid Waste Association of North America, p. 1, <http://www.swana.org/extra/lamp/lropmanualfinal.pdf>

¹⁵⁸ "Waste from Electrical and Electronic Equipment," Citizens Information website, http://www.citizensinformation.ie/categories/environment/waste-management-and-recycling/waste_from_electric_and_electronic_equipment.

¹⁵⁹ "Canada Wide Action Plan for Extended Producer Responsibility," Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009, http://www.ccme.ca/assets/pdf/epr_cap.pdf.

下几个因素的综合数据：因不同的灯管粉碎或回收系统而导致的大气排放总量；工作场所的职业汞暴露、厂区地面和水中的汞污染；异地汞废物转移；不同系统能回收的纯单质汞的数量。某些灯管粉碎和回收系统的运行相对较好，但有些其它的灯管粉碎和回收系统则可能造成高度污染，导致严重的职业和/或社区汞暴露。

一项汞控制公约可以包括以下措施：限制荧光灯中的含汞量；要求更为清洁的灯管生产工艺；提高安全且无污染的灯管回收设施的可利用性；加速发展高质、无汞、节能、经济和无毒照明替代品。

7.5 其它含汞灯

除了荧光灯外，市场上还有许多其它类型的灯管也含汞。这其中，许多被视为高强度气体放电灯（HID），该名称通常适用于几种类型的灯，包括金属卤化物灯、高压钠灯和水银蒸气灯。

高强度气体放电灯与荧光灯的运作方式相似。它们使用一根充满气体的管，管内含有相对较高压力下的金属蒸气。它们拥有两极，当两极间形成电弧时，会产生极高的温度和可见的辐射能量。这些灯管的使用寿命很长，有些发出的光比一般典型的荧光灯还亮许多。为了达到充分的亮度，它们要求相对较长的预热阶段，即使片刻的断电也会导致重新预热——该过程持续数分钟。不同的高强度灯使用电弧流中的不同气体组合——通常为氙气或氙气和汞——这会影响灯管的颜色特征和整体效率。

160

金属卤化物灯：这类灯在其电弧管中使用金属卤化物如碘化钠，在光谱的大部分面积产生光亮。金属卤化物灯的能效高、

¹⁶⁰ "Fact Sheet: Mercury Use in Lighting," IMERC, 上文所引。

色彩还原性好、使用寿命长，通常用于体育场馆、仓库、商场、杂货店和工业环境。同时还用于明亮的蓝色车头灯和水族馆照明，一盏金属卤化物灯中的含汞量为 10 多毫克至 1000 毫克。75%的金属卤化物灯的含汞量超过 50 毫克，三分之一的含汞量超过 100 毫克。¹⁶¹

陶瓷金属卤化物灯：这类灯于近年引进，旨在为白炽灯和卤素灯提供高质、节能的替代品。主要用于重点照明和专卖店照明。与标准的金属卤化物灯不同，这类灯的灯管由陶瓷制成，含汞量较少，同时能以较低成本提供较好的照明质量和色彩一致性。这类灯中含汞量低于 10 毫克的超过 80%，其余的含汞量低于 50%。¹⁶²

高压钠灯：这类灯为一种高效灯源，但颜色泛黄，色彩还原性较弱。作为高能效灯源，它们用于外景、安全和工业照明应用，广泛用于街道照明。高压钠灯发出黄色至橙色的光，由于其色彩还原性较弱，因此主要用于优先考虑高效率和长使用寿命两方面因素的室外和工业应用。几乎所有高压钠灯的含汞量为 10 毫克至 50 毫克。¹⁶³

汞蒸气照明：这种高强度气体放电灯所采用的技术最为久远。由于电弧会产生色彩不佳的蓝色光，因此，多数汞蒸气灯有荧光粉涂层，以改变颜色，稍许改善其显色。汞蒸气灯的光输出较低，是高强度气体放电灯中效率最低的照明灯。因其低成本和使用寿命长，因此主要用于工业应用和室外照明。多数汞蒸气灯的含汞量为 10 毫克至 50 毫克，但 40%含汞量超过 50 毫克，12%含汞量超过 100 毫克。¹⁶⁴

¹⁶¹ 同上。

¹⁶² 同上。

¹⁶³ 同上。

¹⁶⁴ 同上。

冷阴极荧光灯：这类灯为荧光灯管的另一种变化形式，但直径小。冷阴极荧光灯用于大量电子设备中液晶显示器(LCD)的背光中，包括电脑、纯平电视机、照相机、摄像机、收款机、数码投影仪、复印机和传真机。同时还用于汽车仪表盘背光和娱乐系统。与传统荧光灯相比，冷阴极荧光灯的运行需要较高电压。这消除了加热电极的需求，使其效率提高至10%-30%。这类灯拥有不同颜色、高亮度和长使用寿命，其含汞量与其它荧光灯类似。

霓虹灯：这类灯为气体放电灯泡，通常含有低气压下的氖气、氩气和氙气。与荧光灯泡类似，每盏霓虹灯的末端含有一个金属电极。通过电极的电流使氖气和其它气体离子化，发出可见光。氖气释放红光；其它气体释放其它颜色。例如，氙气释放熏衣草色，氦气释放橙白色。光颜色取决于不同气体的混合和灯泡的其它特征。霓虹灯通常有小型工厂手工制作，广泛用于广告、商业展示和装饰。红色霓虹灯不含汞，但其它颜色的霓虹灯每个灯泡的含汞量约为250毫克至600毫克。¹⁶⁵

水银短弧灯：这类灯为球形或稍呈椭圆形的石英灯泡，其中两电极仅相隔几毫米。该灯泡充满了低气压下的氙气和汞蒸气，功率范围为100瓦以下至几千瓦不等。它所发出的光极为集中，用于特殊应用，例如搜救灯、专业医疗设备、光化学、紫外光固化和光谱。该灯的另外一种形式是汞氙短弧灯，它与水银短弧灯类似，但所含的是氙气和汞蒸气的混合物。这些灯通常含汞量为100毫克至1000毫克，其中许多灯的含汞量超过1000毫克。¹⁶⁶

毛细管汞灯：这类灯提供紫外线到近红外范围辐射能量的集中源。它们无需启动或重启时的预热期，能够在几秒钟内达到几乎最亮的程度。毛细管汞灯有着各种电弧长度、辐射功率和安

¹⁶⁵同上。

¹⁶⁶同上。

装方法，用于制作印刷电路板和其它工业应用。同时，还用于紫外线固化—广泛用于丝网印刷过程、CD/DVD印刷和复制、医药制造、瓶/杯装饰和涂层应用。这些灯的含汞量为100毫克至1000毫克。¹⁶⁷

7.6 测量设备所含汞

汞会随着温度和压力均匀地扩张和收缩，该特点使得汞在温度测量和压力测量的科学、医疗和工业设备中得到使用。

欧盟通过了一项针对一些含汞测量设备的限制指令。在欧盟国家市场上禁止所有含汞体温计。其它欲销售于普通大众的含汞测量设备也予以禁止，包括压力计、气压计、血压计（血压测量设备）和其它含汞温度计。历史超过50年的古董设备得以豁免，欧盟委托了进一步研究，研究医疗保健领域和其它职业和工业应用中使用的含汞设备其可靠、安全、技术和经济可行的替代品的可利用性。¹⁶⁸许多美国州政府也通过针对一些含汞测量设备的禁令或限令。¹⁶⁹作为回应，许多生产商撤除了这些设备，增强其高质、具有成本效益和无汞替代品的生产。

温度计和血压计是最常见的含汞测量设备。温度计应用于各种用途，如体温计和其它用于家庭、工业、实验室和商业用途中的温度计。一支温度计的含汞量可能为0.5克至54克。比如，2004年美国销售的所有温度计的含汞量约为2公吨。一个

¹⁶⁷同上。

¹⁶⁸ "Directive 2007/51/EC of the European Parliament and the Council of 25 September 2007 Relating to Restrictions on the Marketing of Certain Measuring Devices Containing Mercury," *Official Journal of the European Union*, March 10, 2007, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:257:0013:0015:EN:PDF>.

¹⁶⁹ "Fact Sheet: Mercury Use in Measuring Devices," IMERC, 2008, http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/factsheets/measuring_devices.pdf.

血压计的含汞量为50克至140克。2004年美国销售的所有血压计的含汞量约为1公吨。¹⁷⁰

由于血压计和其它一些含汞测量设备暴露于空气，所以汞会随着时间通过挥发而消耗。因此，这些设备时常需要补充汞。无汞设备成为这些仪器校对标准的来源，这种现象日益增加，说明无汞电子设备的准确性和耐用性。

其它含汞测量设备如下：

- **气压计：**用于测量大气压（每支含汞量为400克至620克）
- **压力计：**用于测量气压的不同（每支含汞量为30克至75克）
- **干湿球温度计：**用于测量湿度（每支含汞量为5克至6克）
- **流量计：**用于测量气体、水、空气和蒸汽的流量
- **液体比重计：**用于测量液体的具体比重
- **高温计：**用于测量极热材料的温度（主要用于铸造厂）

2004年在美国销售的所有压力计其含汞量略高于1公吨。2004年在美国销售的以上所列其它测量设备中总含汞量为0.1公吨。¹⁷¹

7.7 牙科用汞合金所含汞

牙科用汞合金为牙医使用的一种材料，用于填补因蛀牙引起的龋齿。有时牙科用汞合金填充物也被称作银填充物，因为它们看似银。汞合金为多种金属的混合物，包括单质汞和含有银、锡和铜的粉末合金。就其重量而言，单质汞约占牙科用汞合金的50%。该技术的历史已超过150年。¹⁷²过去，许多牙医使用大量单质汞和金属粉末，进行现场混合。如今，许多牙

¹⁷⁰ 同上。

¹⁷¹ 同上。

¹⁷² "About Dental Amalgam Fillings," U.S. Food and Drug Administration, <http://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DentalProducts/DentalAmalgam/ucm171094.htm#1>.

医购买不同大小的牙科用汞合金胶囊。每粒胶囊中的含汞量从100毫克至1000毫克不等。¹⁷³

汞合金牙科填充物释放微量的汞蒸气，这些蒸气会被吸收进入人体血流中。据估计，牙齿内如有汞合金牙科用填充物，平均每天人体血液中会吸收3~17微克汞。虽然为微量暴露，但却比我们呼吸室外空气中汞所造成的人体平均暴露要高出许多。

¹⁷⁴

关于牙科用汞合金引起的汞暴露所导致的潜在危害性方面的各种研究其结论差异性很大。有些研究发现证据能证明牙科用汞合金所含的汞会导致严重健康损害，包括肾毒性、神经行为改变、自身免疫性、氧化应激、自闭症以及皮肤和粘膜改变。同时还有证据经引用说明低剂量汞暴露与阿尔茨海默氏症和多发性硬化症中间存在关联。一篇支持该观点的科学评述文章的作者们提出争论，认为有些其它牙科用汞合金研究存在严重的条理错误且血液、尿液或其它生物标志物中的汞浓度并不能反映重要器官中的汞负荷。这些作者表示各种实验表明不使用牙科用汞合金能够长久改善大量有关患者的长期抱怨现象。该评述文章得出结论“出于医疗、职业和生态原因考虑，不宜使用牙科用汞合金材料。”¹⁷⁵

然而，其它权威研究却得出不同的结论。例如，美国食品和药物管理局（FDA）审查了可利用的科学证据，以决定牙科用汞合金填充物造成的低剂量汞蒸气是否会造成担忧。根据这项审查，美国食品和药物管理局得出结论，认为牙科用汞合金

¹⁷³ "Fact Sheet Mercury Use in Dental Amalgam," IMERC, 2010, http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/factsheets/dental_amalgam.cfm.

¹⁷⁴ "Mercury," Chapter 6.9 in Air Quality Guidelines, WHO Regional Office for Europe, http://www.euro.who.int/document/aig/6_9mercury.pdf.

¹⁷⁵ J. Mutter et al., "Amalgam Risk Assessment with Coverage of References up to 2005," Institute for Environmental Medicine and Hospital Epidemiology, University Hospital Freiburg, <http://www.iaomt.org/articles/files/files313/Mutter-%20amalgam%20risk%20assessment%202005.pdf>.

填充物对于成人及六岁和六岁以上儿童而言，其使用是安全的。¹⁷⁶随着这项审查后，2009年美国食品和药物管理局更新了其监管牙科用汞合金的法规。新的食品和药物管理局法规将牙科用汞合金列为中度风险类。食品和药物管理局建议应对那些使用牙科汞合金产生汞过敏的患者提出警告。同时，还建议牙科用汞合金的包装材料应包括各种声明，以帮助牙医和患者做出明智的决定。这些声明应包含牙科用汞合金益处和风险相关的科学证据，其中应包括吸入汞蒸气的风险。¹⁷⁷

为了回应使用牙科用汞合金导致的健康和环境担忧，美国和西欧减少了其使用。（世界上其它国家的使用趋势不明。）2007年，挪威环境部长颁布了一项指令，禁止在牙科用材料中使用汞。¹⁷⁸2009年，瑞典效仿，禁止将牙科用汞合金用于儿童，限制成人使用，除非有特殊的医疗理由证明确需使用以及其它治疗方式被认作无效。¹⁷⁹根据可利用的证据，澳大利亚、德国、芬兰、挪威、英国和瑞典已建议牙医尤其应避免妇女怀孕期使用含汞的汞合金填充物。¹⁸⁰

在美国，牙科用汞合金使用已下降。2004年至2007年，美国使用的牙科用汞合金中含汞量降低了50%，从2004年27.5公吨降至2007年15公吨。¹⁸¹

¹⁷⁶ "About Dental Amalgam Fillings," FDA, 上文所引。

¹⁷⁷ "FDA Issues Final Regulation on Dental Amalgam," FDA, July 28, 2009, <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/Pressannouncements/ucm173992.htm>.

¹⁷⁸ "Minister of the Environment and International Development Erik Solhei Bans Mercury in Products," press release, December 21, 2007, <http://www.regjeringen.no/en/dep/md/press-centre/Press-releases/2007/Bans-mercury-in-products.html?id=495138>.

¹⁷⁹ "Dental Amalgam: Prohibition to Use Dental Amalgam," the Swedish Chemicals Agency (KemI), http://www.kemi.se/templates/Page_3151.aspx.

¹⁸⁰ Philippe Hujoel et al., "Mercury Exposure from Dental Filling Placement During Pregnancy and Low Birth Weight Risk," *American Journal of Epidemiology* (2005) 161 (8), p. 734-40, <http://aje.oxfordjournals.org/content/161/8/734.full>.

¹⁸¹ "Fact Sheet Mercury Use in Dental Amalgam," IMERC, 上文所引。

当牙医使用汞合金填充物时，会产生含汞废物，进入污水处理系统和固体废物流。但是，现正出现一种趋势，许多牙科诊所将其诊治过程中产生的汞废物进行收集和回收，有些国家牙科协会已制定了对汞合金废物进行最佳管理的导则。¹⁸²

在许多国家，人死后进行火化是一种普遍做法。在火葬场，牙科用汞合金被蒸发并释放至空气中。关于火葬在全球究竟能释放多少汞至空气中，尚没有良好统计。根据 1995 年美国火葬方面的估计，约 50 万人被火葬，释放了近 1.25 公吨汞至空气中。¹⁸³ 在许多国家，火葬非常普遍，在一些其它国家，这种做法也迅速发展。有些情况下，为了防止汞排放，火葬前会先去除牙科用汞合金。然而，这种做法与文化不相容。对火葬场进行排放控制也能减少汞释放，但会大大增加成本。

我们有着强有力的理由去淘汰牙科用汞合金的使用，代之以更安全的替代品。为了这个目标，我们需要对建议的替代品进行充分评估，旨在确保避免使用影响健康和环境的替代品。

7.8 含汞农药和杀菌剂

无机和有机汞化合物都曾用于众多农药中。这些化合物曾用于种子处理、控制冷却塔以及纸浆和造纸厂中的藻类和泥浆、海洋用漆以及水性油漆和涂料中的添加剂、树木伤口敷料、保护土豆种和苹果籽、面料和洗衣以及其它用途。¹⁸⁴

¹⁸² "Best Management Practices for Amalgam Waste," American Dental Association, 2007,

http://www.ada.org/sections/publicResources/pdfs/topics_amalgamwaste.pdf.

¹⁸³ "Use and Release of Mercury in the United States," U.S. EPA, 2002, p. 64-5,

<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r02104/600r02104prel.pdf>.

¹⁸⁴ "Decision Guidance Documents: Mercury Compounds: Joint FAO/UNEP Programme for the Operation of Prior Informed Consent," 1996,

www.pic.int/en/DGDs/MercuryEN.doc.

在澳大利亚，名为 **Shirtan** 的农药其含汞量为 120 克/升，其形式是氯化甲氧基乙基汞。该农药至今仍被登记作为一种控制甘蔗作物凤梨病的杀真菌剂。¹⁸⁵ 农药行动网络（PAN）在其农药数据库中列出了 79 种含汞农药。¹⁸⁶

关于事先知情的鹿特丹公约规定在接收国事先不知情的情况下，不得向该国出口公约附件三所列化学品，公约对这些化学品中单质汞和汞化合物的农药用途进行了认定。该公约确认了 44 种汞化合物，各国政府对其农药用途进行了限制。这些确认的农药化合物包括无机汞化合物、烷基汞化合物、烷氧烷基及芳香烃化合物。附件还列出了汞化合物形成的形式：液体、可湿性粉剂、颗粒材料、乳胶漆、药剂中间体和可溶性浓剂。¹⁸⁷

由于对人体的毒性、对食物和饲料的污染和对水生生物的毒性，许多含汞农药都已被禁止和限制使用。含汞农药毒性最严重的情况是将汞化合物用于种子处理，这种用途曾被广泛应用于保护种子受真菌侵袭。

首个以汞为基础用于商业用途的种子处理配方为一种称为 **Panogen** 的液体（甲基汞胍）。该产品于 1938 年在瑞典研发，至 20 世纪 40 年代大量投入使用。随后，研发了一种称为 **Ceresan** 的乙基甲基汞粉剂，广泛用于小谷物治理中，使用有机汞化合物其效应高价格低，因此当农民拿来需清理的种子时，许多处理站往往用这种化合物，达到零成本或较小成本的目的。含汞杀菌剂的广泛使用一直持续至 20 世纪 70 年代，由于发生了数起人们因直接食用经处理的谷物或食用摄入经处理

¹⁸⁵ "Shirtan Fungicide from Crop Care," <http://www.fatcow.com.au/c/Crop-Care-Australasia/Shirtan-Fungicide-From-Crop-Care-p18475>.

¹⁸⁶ PAN Pesticides Database: Chemicals Name Search, http://www.pesticideinfo.org/Search_Chemicals.jsp.

¹⁸⁷ "Annex III," Rotterdam Convention, <http://www.pic.int/home.php?type=t&id=29&sid=30>.

谷物动物肉的中毒事件，于是开始实行限制措施。许多国家已禁止使用有机汞杀菌剂，但在一些其它国家仍用于某些用途。

188

1971年，伊拉克巴士拉港口发生了一起严重的农药中毒事件，该事件有时被称作“巴士拉谷物中毒灾难”。一艘满载9万公吨用作种粮的美国大麦和墨西哥小麦的船舶停靠在该港口。作为抗真菌药物，甲基汞用于处理该谷物，防止腐烂。这些谷物本应出售于农民，在其包装袋上印有英文和西班牙语警告提示，然而，对于这座港口城市而言，这两种语言并不广为人知，大量的谷物以食物的形式在当地出售。¹⁸⁹据估计，由于汞中毒，1万人失去了生命，10万人受到严重和永久性脑损伤。

作为农药和杀菌剂，汞仍用于以下用途：

- **油漆添加剂：**有时油漆中会加入苯基汞化合物和醋酸汞，用做防止霉菌生长的杀真菌剂。美国和西欧已不再使用这些油漆，但其它地区仍可能使用。
- **纸浆和造纸厂：**有时在造纸工艺中，会在纸浆中加入用作杀真菌剂或杀粘菌剂的乙酸苯汞。由于纸浆温热且富含营养成分，因此容易长出真菌和粘菌，从而堵塞机器，除非对其进行控制。出于此目的，大量乙酸苯汞被使用。这会污染纸浆厂排放水和纸产品本身。待航运的存储纸浆中也加有乙酸苯汞。对于这种汞用途是否仍存在的的信息很少。

¹⁸⁸ D. E. Mathre, R. H. Johnston, and W. E. Grey, "Small Grain Cereal Seed Treatment," 2006, Department of Plant Sciences and Plant Pathology, Montana State University, <http://www.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/Pages/CerealSeedTreatment.aspx>.

¹⁸⁹

关于巴士拉谷物中毒灾难的维基百科条目：http://en.wikipedia.org/wiki/Basra_poison_grain_disaster.

- 外用抗生素：红汞和硫柳汞酞以及一些其它外用抗生素中含有汞，用于人类和动物包扎伤口。这些抗生素仍在使用，尤其是兽医用途。

7.9 实验室和学校里的汞

在学校和专业实验室里，经常会有单质汞、汞化合物、含汞试剂和含汞设备。

中学出现过许多起因汞污染导致的严重事件。1996年，菲律宾帕拉那克市的圣安德鲁斯学校曾发生了一起较突出的事件。该校学生发现50克汞并玩起汞来，这些汞原本为科学实验所用。结果，约24名学生被送往医院密切监测汞中毒，其中多数为13岁。学校停课数月，当地和国际专家对该幢建筑进行清理和污染清除工作。¹⁹⁰2010年2月，一名学生提起了民事诉讼，控告其老师和学校导致其汞中毒致终身残疾。¹⁹¹

不久，菲律宾教育部颁布了第160号备忘录，重申号召卫生部在医疗设施和机构中淘汰汞和含汞设备。同时，还号召对科学实验室现存的安全措施进行审查，确保学校实验工作中常用的化学品中不含汞。作为国际消除POPs网络（IPEN）成员组织，禁止有毒物（Ban Toxics）为菲律宾的非政府组织，该组织为菲律宾教育部出台该命令起了重要作用。¹⁹²

另一起重要事件于2009年发生在美国亚利桑那州阿瓜弗里亚中学。该校老师当时正使用汞教授密度方面的课程。两名学生在其书桌旁的抽屉里发现了一大瓶汞，于是打开并玩起汞来，而后带了一些汞回家。最终，不仅在学校，而且在车辆、几户家庭和许多学生的个人用品中都发现了汞污染。几百

¹⁹⁰ "There's Something About Mercury," Philippine Center for Investigative Journalism, December 31, 2007, <http://pcij.org/stories/theres-something-about-mercury/>.

¹⁹¹ 与菲律宾一非政府组织领导人的私人信件。

¹⁹² 同上。

名学生和教职员工遭受了汞暴露，清理花费了学区 80 万美元，该校校长辞职。¹⁹³

以上两则故事只是所有常见汞暴露中比较引人注目的两例。中学无需做涉及到用汞的实验和演示，应禁止这种做法。如果学校、实验室或其它设施中已有用汞的历史，即使停止用汞之后，累积的汞也可能存在于排水管或存水弯中，这可能引起人们的担忧。¹⁹⁴

当大学实验室专业的化学家或化学方面高等生在进行汞试验时，也许一些实验室能恰当地使用汞。但是，我们能够和应该消除或大幅减少实验室的汞使用，因为好的替代品能够有效地替代单质汞、汞化合物和含汞设备的多数用途。例如，有时实验室会使用充满汞的仪器以维持反应期间的惰性气体以及提供泄压功能。目前可提供充满矿物油的类似实验设备，实验室应选择该设备。¹⁹⁵ 实验室可以避免多数其它含汞设备和装置。有些实验室使用锌汞齐作为还原剂，但再次需强调的是，通常已具备好的替代品。¹⁹⁶ 在实验室化学品和试剂中也通常含有汞，其中许多已具备好的替代品。

一些医院实验室和其它实验室决定实现实质上的无汞化。欲付诸行动的机构应阅读包装盒标签、化学品安全说明书 (MSDS) 和试剂随附插页。这些能帮助识别试剂中有意添加的汞化合物。但是如果实验室化学品中无意产生的汞其数量低于

¹⁹³ "How School's Huge Mercury Cleanup Unfolded," *The Arizona Republic*, November 29, 2009, <http://www.azcentral.com/arizonarepublic/news/articles/2009/11/29/20091129-mercuryspill1129.html>.

¹⁹⁴ "How Do Schools Become Polluted by Mercury?" Minnesota Pollution Control Agency, <http://www.pca.state.mn.us/index.php/topics/mercury/mercury-free-zone-program/mercury-free-zone-program.html?menuid=&missing=0&redirect=1>.

¹⁹⁵ "The Glassware Gallery: Bubbblers, Lab and Safety Supplies," <http://www.ilpi.com/inorganic/glassware/bubbler.html>.

¹⁹⁶ 关于还原剂的维基百科条目 http://en.wikipedia.org/wiki/Reducing_agent.

1%时，化学品安全说明书通常不予认定。这是因为，如果产品中有害组成部分其浓度低于一定程度时，通常不要求生产商列出这些有害组成部分。但是，实验室和医院可以询问销售代表和生产商关于产品中汞的信息，可以要求出具实验室产品含汞量的分析证明或其它数据。¹⁹⁷

7.10 化妆品所含汞

有时在出售化妆品如面霜、乳液和肥皂时，会承诺使用后能够增亮肤色或去除黑斑。这些产品通常含有汞，其形式是氯化汞和/或氯化氨汞。这两种化合物都具有致癌性。不含汞的亮肤化妆品通常含有对苯二酚(C₆H₆O₂)，该物质同样具有高毒性。¹⁹⁸

通常，一个人皮肤含黑色素越多，肤色越暗。含汞化合物或对苯二酚的化妆品能够通过阻止黑色素的产生达到增亮肤色的效果。但如长期使用，这些产品会产生皮肤斑点，反过来使人加大产品使用量，以淡化这些色斑。许多国家已禁止了含汞化妆品，但仍可作为非处方产品获取。在亚洲和非洲国家，这些化妆品尤其受欢迎。¹⁹⁹

一项研究显示非洲国家的许多女性定期使用这些产品，包括 25% 马里妇女、77% 尼日利亚妇女、27% 塞内加尔妇女、35% 南非妇女和 59% 多哥妇女。2004 年的一项调查显示，38% 的香港、韩国、马拉西亚、菲律宾和台湾妇女表示使用亮肤产品。许多妇女长期使用这些产品，有时长达 20 年。²⁰⁰

¹⁹⁷ "Mercury in Health Care Lab Reagents," Minnesota Technical Assistance Program, <http://www.mntap.umn.edu/health/92-mercury.htm>.

¹⁹⁸ Super Jolly, "Skin Lightening Products ...," Black History 365, http://www.black-history-month.co.uk/articles/skin_lightening_products.html.

¹⁹⁹ 同上。

²⁰⁰ "Mercury in Products and Wastes," UNEP Mercury Awareness Raising Package, http://www.chem.unep.ch/mercury/awareness_raising_package/C_01-24_BD.pdf (note: reference to the actual studies and surveys were not provided in the UNEP document).

1999年，肯尼亚标准局颁布了一项公共告示，告知和教育消费者关于市面出售的一些化妆品所含汞、对苯二酚、荷尔蒙制剂和氧化剂的危害。2004年，印尼食品和药品控制机构（BPOM）针对51种含汞美容护肤产品颁布了警示。许多产品为进口产品，但2006年，警察破获了西雅加达一家小型生产公司制造的200箱含汞化妆品。2005年，纽约市健康及精神卫生保健部发布了一项健康警示，建议纽约人立即停止使用所有标示含有汞成分的面霜和肥皂以及任何在标签未列出成分的化妆品。²⁰¹

国际消除POPs网络（IPEN）中的非政府组织从事的一项研究发现墨西哥国内销售的几种亮肤产品中含有汞。在进行分析的七种产品中，四种含汞量可测，一种含汞量为1325ppm。所有检测的产品都附有成分列单，但全部都未将汞列入成分中。²⁰²

一家芝加哥报纸检测了当地商店销售的亮肤面霜，发现六种产品的含汞量超过了美国联邦法律。该六种产品分别来自中国、印度、黎巴嫩和巴基斯坦，商店里的有些产品特别出售给这些移民社区。五种面霜的含汞量超过6000ppm，其中一种巴基斯坦产品，其含汞量达到30000ppm。该产品为一种白色面霜，产品名为Stillman's Skin Bleach Cream，据报道，该商店主人表示由于这种产品在巴基斯坦颇受欢迎，因此他将之携带至美国。²⁰³

²⁰¹ 同上。

²⁰² "Market Analysis of Some Mercury-Containing Products and Their Mercury-Free Alternatives in Selected Regions," conducted by IPEN, Arnika and GRS, 2010, <http://www.ipen.org/ipenweb/documents/ipen%20documents/grs253.pdf>.

²⁰³ "Some Skin Whitening Creams Contain Toxic Mercury, Testing Finds," *Chicago Tribune*, May 19, 2010, <http://www.chicagotribune.com/health/ct-met-mercury-skin-creams-20100518.0.7324086.full.story>.

到目前为止，2010年，菲律宾食品和药品管理局已禁止23种进口亮肤产品，该局认为这些产品因含有超过规定限值的杂质和污染物而具“迫切危害性、不安全性和危险性”。对于汞而言，可允许阈值为1ppm。

一项2000年欧盟指令规定在化妆品成分中不应含汞，包括肥皂、乳液、香波、皮肤漂白产品（除眼妆保存用途的苯基汞盐以及眼妆的卸妆产品外，其浓度不得超过0.007%重量）。²⁰⁴

虽然许多管辖区已颁布法律禁止使用含汞面霜和肥皂，但多数在执法上存在困难。

几乎没有管辖区禁止在眼妆产品如睫毛膏中使用小量汞化合物，在这些产品中仍广泛使用汞。眼妆产品使用的汞化合物其用途是杀菌防腐，增长产品使用寿命。²⁰⁵虽然有些生产商为了回应消费者需求，去除了某些睫毛膏产品中汞，但多数管辖区仍允许销售含汞化合物的化妆品。明尼苏达州例外，该州1998年即实施了一项法律禁止化妆品中所有故意添加的汞，包括睫毛膏和眼线产品。²⁰⁶

7.11 药品所含汞

医生经常将汞化合物用作药品。

氯化亚汞

至少至16世纪以来，医师已使用氯化亚汞（ Hg_2Cl_2 ）或称甘汞治疗疟疾和黄热病。寄生虫感染患者会得到一种称作蠕虫

²⁰⁴ "Mercury in Products and Wastes," UNEP Mercury Awareness Raising Package, 上文所引。

²⁰⁵ "Mercury... In Your Mascara?" Planet Green, <http://planetgreen.discovery.com/food-health/mercury-mascara.html>.

²⁰⁶ "Mercury in Mascara? Minnesota Bans It," MSNBC, December 14, 2007, <http://www.msnbc.msn.com/id/22258423/>.

巧克力或蠕虫糖果的药剂。²⁰⁷ 经过 19 世纪和 20 世纪早期，许多医生仍继续将氯化亚汞用作导泻和肝兴奋剂。²⁰⁸ 父母经常会给婴儿们服用含氯化亚汞的牙粉。²⁰⁹

20 世纪 50 年代，在美国、英国和其它地方，医生们继续建议使用氯化亚汞，以治疗儿童长牙和便秘问题。由于摄入氯化亚汞引起的汞暴露经常导致一种常见的婴儿和儿童疾病，称为肢痛症或粉红病。20 世纪 50 年代，肢痛症占伦敦医院儿童病房就诊比例的 3%。官方数据记录 1939 年至 1948 年间在英格兰和威尔士有 585 名儿童死于粉红病。²¹⁰ 直至 1958 年，英国药典中才删除氯化亚汞，1967 年版本的 *美国药典和医师药理学 (United States Dispensatory and Physicians' Pharmacology)* 将氯化亚汞列为一种药物而非有毒物。当儿童期间停止使用氯化亚汞时，粉红病几乎会消失。²¹¹

西方之药用氯化亚汞

西方医药传统下的医生会给病人开使用氯化亚汞和其它汞化合物的处方，这种传统一直延续至 20 世纪，下文为 1911 版《大英百科全书》中关于氯化亚汞药理用途的节选内容：

“氯化亚汞具有某种特殊性质，用于医药用途……氯化亚汞以氯化汞的形式发挥着间接作用。氯化亚汞的这种

²⁰⁷ "Unregulated Potions Still Cause Mercury Poisoning," *Western Journal of Medicine*, July 2000, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1070962/>.

²⁰⁸ 哥伦比亚百科全书 (*Columbia Encyclopedia*) 关于氯化亚汞的介绍, <http://www.answers.com/topic/calomel-1>.

²⁰⁹ "The History of Calomel as Medicine in America," The Weston A. Price Foundation, 2009, <http://www.westonaprice.org/environmental-toxins/1446>.

²¹⁰ "Unregulated Potions Still Cause Mercury Poisoning," *Western Journal of Medicine*, 上文所引。

²¹¹ "The History of Calomel as Medicine in America," The Weston A. Price Foundation, 上文所引。

特殊价值是它能够以最安全和最不具有刺激性的方式发挥氯化汞宝贵的特性，不断产生少量新的活性盐……

从外部而言，这种盐（氯化亚汞）与其它汞化合物相比，并没有特别的优点……从内部而言，这种盐的使用剂量不同——成人剂量为 1.5 至 5 格令。这是种非常好的泻药，尤其作用于肠道上部，略微增加肠道分泌。当食道（十二指肠和空肠）上部出现这种刺激行为时，几小时后，服用一剂量含盐水泻剂的氯化亚汞……

“这种盐（氯化亚汞）通常用于治疗梅毒，但与某些其它汞化合物相比，作用可能稍逊。它还可用于熏蒸，患者赤裸，身披毯子，坐于藤椅中，20 格令的氯化亚汞在藤椅上方通过酒精灯挥发，20 分钟内氯化亚汞将被皮肤有效地吸收。”²¹²

红汞

许多国家的药店仍然出售防腐红汞，用于防止伤口感染。这种防腐剂在市场销售时其中文别称为汞溴红、红药水和 2,7-二溴-4-羟基汞荧光黄素二钠(英文名称包括 Merbromine, sodium mercurcescin, Asceptichrome, Supercrome, Brocasept, Cinfacromin)。商业用途的产品通常含有 2% 的汞/溴化合物红汞 ($C_{20}H_9Br_2HgNa_2O_6$)，与水和酒精混合。

由于担心其毒性，美国零售市场已不再出售红汞，但仍可从美国化学供应公司购买到大宗的汞溴红。在澳大利亚和多数其它国家，这种含汞防腐剂仍广泛出售，应用于人类治疗和兽医领域。

传统医药中的汞

²¹² 1911 版本大英百科全书关于氯化亚汞条目，
<http://www.1911encyclopedia.org/Calomel>

朱砂（一种含汞硫化汞的天然矿物质）在中国传统医药中的使用历史长达数千年，曾为各种治疗方法中的成分。有时亦称作“中国红”。根据中国药典，40种含朱砂的传统医药仍在使用。一项研究显示由于朱砂不溶于水，不易被肠胃吸收，因此相对于其它形式的汞，朱砂的毒性较小，但长期服用者仍可能遭受肾脏疾病。然而，该研究作者指出将朱砂纳入传统中医药仍具备充分理由。²¹³一家销售朱砂的网站声称朱砂能使人脑平静，能够治疗烦躁、失眠、多梦、喉咙痛以及溃疡。²¹⁴

过去，氯化亚汞也用于传统中医药，但这已大量地被更为安全的治疗方法取代。如今在中国药典中，并未列出含氯化亚汞口服中国治疗方法。²¹⁵

在印度阿舒吠陀实践以及密宗和悉达炼金术中，有着通过摄入汞达到医疗目的的长久历史。公元六世纪的圣人瓦格哈塔（Vagbhatta）建议用于治疗目的的汞内服。意大利旅行家马克·波罗（Marco Polo）在13世纪后期游历了印度，据称他遇见了因服用汞和硫制成的饮品而寿命长且身体健康的瑜伽士。印度传统医药卡加利（*kajjali*）和拉辛多尔（*rasasindoor*）含有汞和硫的混合物，如今它们仍用于治疗糖尿病、肝病、关节炎和呼吸系统疾病。²¹⁶

据报告，墨西哥的宗教商店仍出售汞胶囊 *azogue*（“水银”-西班牙文），用于消化不良或胃肠炎阻塞（*empacho*-西班牙文，意指墨西哥儿童消化不良）。²¹⁷

²¹³ Jie Liu et al., "Mercury in Traditional Medicines: Is Cinnabar Toxicologically Similar to Common Mercurials?" *Experimental Biology and Medicine*, 2008, <http://ebm.rsmjournals.com/cgi/content/full/233/7/810>.

²¹⁴ Cinnabar (Zhu Sha), TCM China, <http://www.tcm-treatment.com/herbs/0-zhusha.htm>.

²¹⁵ Jie Liu et al., "Mercury in Traditional Medicines," 上文所引。

²¹⁶ Ayurveda Under the Scanner, *Frontline*, April 2006, <http://www.thehindu.com/fline/fl2307/stories/20060421004011200.htm>.

²¹⁷ "Cultural Uses of Mercury," UNEP Mercury Awareness Raising Package, http://www.chem.unep.ch/mercury/awareness_raising_package/G_01-16_BD.pdf.

硫柳汞

硫柳汞源于北美的硫柳汞之名，它是一种含汞化合物，用于放置细菌和真菌生长。该化合物的中文别称为硫柳汞钠, 硫柳汞酸钠, 乙汞硫水杨酸钠, 乙基噻吩酸钠盐（英文名称包括 Merthiolate, mercuriothiolate, ethylmercurithiosalicylic acid, sodium 2-ethylmercuriothio-benzoate），硫柳汞的化学方程式为 $C_9H_9HgNaO_2S$ 。²¹⁸

硫柳汞广泛用于疫苗中，也可用于一些其它的医疗用途，比如皮肤测试、眼鼻滴液和多用途溶液容器如隐形眼镜的容器。还可用于纹身油墨中。²¹⁹2000年前，美国隐形眼镜溶液生产商已自愿停止在其产品中使用硫柳汞。但是，这样做可能持续于其它国家。

有时，医院、临床实验室和制药行业的废物流中含有硫柳汞，这可能使得有必要清理下环境。²²⁰

儿童疫苗中使用硫柳汞已成为颇具争议的问题。

疫苗所含硫柳汞

有些疫苗不含硫柳汞，包括许多单剂量疫苗和所含硫柳汞可能会干扰疫苗功效的疫苗。对于有些疫苗而言，硫柳汞用于生成过程中，但未添加至最终成品中，这些疫苗通常含有微量硫柳汞，每剂少于 0.5 微克。有些其它疫苗在其最终成品中添

²¹⁸ "Exposure to Thimerosal in Vaccines Used in Canadian Infant Immunization Programs," Public Health Agency of Canada, 2002, <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/02vol28/dr2809ea.html>.

²¹⁹ 关于硫柳汞的维基百科条目, <http://en.wikipedia.org/wiki/Thiomersal>.

²²⁰ "Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste, and Water," U.S. EPA Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 上文所引。

加硫柳汞，目的在于防止微生物污染，这些疫苗通常每剂的硫柳汞含量为 10 微克至 50 微克。²²¹

有时在生产中会添加硫柳汞，目的在于防止微生物生长。然而，随着生产技术的改变，在生产过程中添加防腐剂的必要性已降低。在多剂量小瓶疫苗中添加硫柳汞是为了防止在多针头插入同一容器时疫苗受到病原体的污染。例如，儿童在注射受存活葡萄球菌污染的疫苗后死亡，这些疫苗含有防腐剂。英国皇家委员会调查了该事件，建议致病有机物可能生长的生物产品不应在容器中重复使用，除非有足够浓度的杀菌剂（防腐剂）能够阻止细菌生长。如今，多剂量疫苗中使用防腐剂已是国际通行做法。²²²

20 世纪 90 年代末，作为对新立法强制执行和父母担忧的回应，美国食品药品监督管理局开展了一项关于疫苗中硫柳汞的调查。美国食品药品监督管理局发现当婴儿长至六个月时，含硫柳汞疫苗导致其体内的含汞量可能达到 187.5 微克。^{*}1999 年，为了回应这些发现，美国疾病控制预防中心（CDC）和美国儿科学会（AAP）发布了一项联合预警声明。他们敦促制药公司尽快去除疫苗中所含硫柳汞，在此期间，他们要求医生推迟对尚未存在肝炎风险的新生儿注射乙肝疫苗。²²³ 该声明的发布依据是甲基汞和许多其它汞化合物被记录具有神经毒性的预警和证据。然而当时，很少乙基汞相关研究说明婴儿因暴露于疫苗中所含硫柳汞而造成的危害，也没有其它研究能说明这种危害。

²²¹ "Thiomersal and Vaccines: Questions and Answers," World Health Organization, 2006, http://www.who.int/vaccine_safety/topics/thiomersal/questions/en/.

²²² "Thimerosal in Vaccines," U.S. Food and Drug Administration, <http://www.fda.gov/BiologicsBloodVaccines/SafetyAvailability/VaccineSafety/UCM096228#thi>.

* 婴儿可接受的汞量：三剂白喉/百日咳/破伤风的联合疫苗，共 75 微克；三剂乙型流感嗜血杆菌疫苗，共 75 微克；三剂乙肝疫苗，共 37.5 微克。

²²³ Paul A. Offit, "Thimerosal and Vaccines—A Cautionary Tale," *The New England Journal of Medicine*, 2007, <http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp078187>.

1999年，欧洲药品评价局也发布了一项关于儿童疫苗中所含硫柳汞的声明。欧洲药品评价局(EMEA)得出结论，针对当时使用的疫苗，没有证据显示儿童因暴露疫苗中硫柳汞而导致的危害。但欧洲药品评价局也号召采取预警行动，如推动公众使用不含硫柳汞和其它含汞防腐剂的疫苗，促进生产商消除这些防腐剂。²²⁴

关于疫苗中所含硫柳汞的争议一直持续且升级。许多家长相信婴儿暴露于疫苗所含硫柳汞会造成自闭症和其它脑部发育障碍。这似乎是因20世纪80年代至90年代自闭症大幅增长的部分原因所致。另外，对于汞为一种严重神经毒素的认识日益增长，这使得许多家长质疑他们的婴儿注射汞的理由何在。家长团体和其它组织引用研究文献中，他们认为这些研究支持或表明硫柳汞与自闭症之间存在关联。然而，这些说法是存在争议性。²²⁵

医学届广泛拒绝硫柳汞与儿童神经系统疾病存在联系的结论。2004年，美国医药免疫安全审查委员会研究所发布了一项报告，对疫苗与自闭症的因果关系假设进行研究。该报告得出结论，证据有利于证明含硫柳汞疫苗与自闭症之间不存在因果关系。²²⁶同年，欧洲药品管理局人用药品委员会得出结论，认为最新的流行病学研究并未发现使用含硫柳汞疫苗的疫

²²⁴ Gary L. Freed et al., "Policy Reaction to Thimerosal in Vaccines: A Comparative Study of the United States and Selected European Countries," Gates Children's Vaccine Program,

http://www.path.org/vaccineresources/files/thimerosal_decision.pdf.

²²⁵ 关于硫柳汞争议的维基百科条目，

http://en.wikipedia.org/wiki/Thiomersal_controversy.

²²⁶ "Thimerosal in Vaccines," U.S. Food and Drug Administration,

<http://www.fda.gov/biologicsbloodvaccines/safetyavailability/vaccinesafety/ucm096228.htm>.

苗接种与具体的神经发育障碍存在关联。²²⁷ 英国人用药品委员会的立场则是：除了存在过敏反应的小风险，如皮疹或者注射部位局部红肿外，没有证据显示疫苗中硫柳汞的含量会造成神经发育的不利影响。²²⁸ 世界卫生组织全球疫苗安全咨询委员会得出结论：目前尚无证据显示婴儿、儿童或成人因暴露于疫苗中所含硫柳汞而导致体内出现汞毒性。²²⁹

疫苗接种对于预防疾病的重要性有据可查。在一些发达国家，由于担心疫苗接种的副作用，导致疫苗接种率的降低，这使得麻疹和其它疾病爆发并且导致严重并发症的增长。因此，来自对疫苗所含硫柳汞存在争议的公众健康领域和其它领域的重要关注可能会对儿童健康造成严重后果。

许多工业化国家看起来正在向单剂量疫苗使用的方向发展，正在淘汰疫苗中的硫柳汞。由于用单剂量疫苗取代多剂量疫苗存在的挑战，因此，在全球推行以上做法可能需要一段时间。同时，改变经许可疫苗的配方也存在挑战。在生产中用无汞替代品替代硫柳汞或在最终产品中不加入硫柳汞的做法通常要求进行研究和开发，同时要求一项经过一系列临床前和临床试验的许可新程序。²³⁰ 尽管如此，仍取得了一些进展。

²²⁷ Thiomersal— Frequently Asked Questions, Irish Health Protection Surveillance Centre, <http://www.ndsc.ie/hpsc/A-Z/VaccinePreventable/Vaccination/Thiomersal/Factsheet/File.3948.en.pdf>.

²²⁸ "Thiomersal (Ethylmercury) Containing Vaccines," U.K. Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency, 2010, <http://www.mhra.gov.uk/Safetyinformation/Generalsafetyinformationandadvice/Product-specificinformationandadvice/Thiomersal%28ethylmercury%29containingvaccines/index.htm>.

²²⁹ "Thiomersal and Vaccines: Questions and Answers," World Health Organization, 上文所引。

²³⁰ 同上。

根据欧洲非政府组织联盟的一项资料，自 1992 年，丹麦健康系统的国家中心实验室便停止在儿童疫苗中使用硫柳汞。自 1994 年，瑞典儿童疫苗项目便停止在疫苗中使用含汞防腐剂。2004 年英国健康局宣布将停止在婴儿疫苗中使用硫柳汞。²³¹ 在美国，几乎所有常规推荐的婴儿用疫苗都为无汞配方或其配方中的硫柳汞含量低于 1 微克/每剂。流感灭活疫苗除外，该疫苗主要为美国儿科使用，其配方中含有硫柳汞。但该疫苗的其他配方则不含硫柳汞或仅含微量硫柳汞。²³²

发展中国家的情况则大不同，在多数发展中国家几乎没有淘汰疫苗中使用硫柳汞的明显趋势。在许多国家，很难或不可能调动必要的资源为所有婴儿和儿童接种疫苗，这对将有关资源转移至疫苗中硫柳汞淘汰事宜提出了质疑。对于那些本国国内生产含硫柳汞疫苗或进口无硫柳汞疫苗成本大大高于国内生产成本的国家而言，实现无汞替代品替代含硫柳汞疫苗尤为困难。²³³

另一重要的考虑是，用于疫苗接种的疫苗是否提供于单剂量药瓶或多剂量药瓶。在许多情况下，对于多剂量药瓶而言，含有如硫柳汞般的防腐剂非常重要，旨在避免进入药瓶里的多针头受到污染。当使用单剂量药瓶时，防腐剂的使用便并未那么重要。世界卫生组织认为单剂量药瓶疫苗的供应要求大幅增长产能，成本也会很高。同时，世界卫生组织表示，单剂量药瓶要求更大的冷藏空间，会提高运输需求。由于世界卫生组织已确定许多发展中国家的产能不足且疫苗在冷链条件下运输和

²³¹ "Mercury and Vaccines Fact Sheet," Stay Healthy, Stop Mercury Campaign, 2006, http://www.env-health.org/IMG/pdf/Mercury_and_vaccines.pdf.

²³² "Thiomersal and Vaccines: Questions and Answers," World Health Organization, cited above.

²³³ Mark Bigham, "Thiomersal in Vaccines: Balancing the Risk of Adverse Effects with the Risk of Vaccine-Preventable Disease," *Drug Safety*, 2005, <http://adisonline.com/drugsafety/pages/articleviewer.aspx?year=2005&issue=28020&article=00001&type=abstract>.

存储基础设施不足，已得出结论：附加成本和负担使得单瓶剂量疫苗在大多数国家不可行。^{234,235}

即使世界卫生组织和其它机构列出强有力的例证证明无需在发展中世界消除硫柳汞，许多非政府组织和公民社会组织出于长远考虑仍对此颇感不妥。他们意识到在认识因其它有毒物质低剂量暴露导致的人体健康危害方面，全球医学界的反应常滞后。例如，近至 20 世纪 60 年代，医学界还未清楚显示血铅浓度高达 50 微克/分升（1/10 公升）的儿童正遭受有害的铅中毒。如今，人们公认血铅浓度为 5 微克/分升或更低浓度的儿童会遭受有害影响，通过这些历史记忆，有些人发现很难对医学界确认含硫柳汞疫苗与儿童神经发育危害之间不存在已知关联的观点表示放心。

由于很多高度工业化国家已朝着淘汰儿童疫苗中硫柳汞的方向发展，很多非政府组织和其它组织难以接受该目标不适用于发展中国家的双重标准。潜在的发展方式可包括研究能替代硫柳汞的有效无汞防腐剂，研究向发展中国家疫苗生产商可提供的援助，使其能够生产质量好、成本低和无汞的疫苗。全球汞控制公约可以成为促进这些措施和其它措施的工具。

7.12 文化产品、传统医药和珠宝所含汞

汞广泛用于文化和宗教中，在印度教中，汞存在于用于制造宗教文物的材料帕拉德（*Parad*）中。它用于拉美和加勒比海地区一些宗教的仪式中，包括坎多布雷教（*Candomblé*），招魂术，帕罗玛尤贝教（*Palo Mayombé*），萨泰里阿教

²³⁴"Thiomersal and Vaccines: Questions and Answers," World Health Organization, 上文所引。

²³⁵"WHO Informal Meeting on Removal of Thiomersal from Vaccines and Its Implications for Global Vaccine Supply," 2002, <http://www.aapsonline.org/iom/who.pdf>.

(Santería), 伏都教 (Voodoo), 和优鲁巴人圣者敬拜仪式 (Yoruba Orisha)。同时还用于医药、珠宝和其它文化中。²³⁶

人们可将汞放于容器如壶和大锅中, 从而净化空气, 在一些文化中, 人们在家庭地板中洒汞以保护居住者。有些人将汞与水 and 拖把混用以对居住地进行灵意性清扫。有些人则在油灯和蜡烛中加入汞以避邪和带来好运、爱情或钱财; 或者增进其他法术。同时, 人们在随身携带或颈部佩戴的护身符、安甌 (密封小瓶)、小瓶或袋子中放入汞。²³⁷

在印度教传统中, 帕拉德为汞和其它金属的汞齐化产物, 用于制作朝拜所用文物。传统上, 它由银和汞制成, 但如今常使用汞和锡以及微量的其它金属。一项研究发现帕拉德中含汞量达 75%。各种宗教器物由帕拉德制成并销售于印度市场, 包括佩戴于手腕或脖子的珠链、宗教仪式中用于喝牛奶的杯子 (*amrit*), 代表神的雕像 (*Shivling*) 和其它器物。印度许多湿婆神庙拥有许多帕拉德材料制成的雕像, 印度的一家非政府组织有毒物链接 (Toxic links) 的一项研究发现汞会从帕拉德中流至牛奶中, 这可能会导致那些遵从传统宗教仪式使用帕拉德杯喝牛奶或饮用帕拉德器物所吸收的牛奶之人会遭受暴露。^{238,239}

在西方艺术作品中也曾使用汞, 最著名的是西班牙巴塞罗那米罗基金会博物馆的卡尔德汞喷泉。西班牙政府委任美国艺术家亚历山大·卡尔德建造了此喷泉, 以此作为阿尔马登汞矿

²³⁶ D.M. Riley et al., "Assessing Elemental Mercury Vapor Exposure from Cultural and Religious Practices," *Environmental Health Perspectives* 109, no. 8, 2001, p. 779-84, <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1240404&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

²³⁷ "Cultural Uses of Mercury," UNEP Mercury Awareness Raising Package, 上文所引。

²³⁸ 同上。

²³⁹ "Mercury: Poison in Our Neighbourhood," Toxics Link, 2006, <http://www.toxicslink.org/mediapr-view.php?pressrelnum=30>.

于 1937 年世界博览会上展出的纪念碑。该喷泉对近 5 公吨的纯单质汞进行抽送和循环，这与传统用水的做法不同。为了防止参观者触碰汞或吸入烟气，该喷泉被放置于玻璃之后。²⁴⁰

汞珠宝最初制造目的是用于护身符和小饰物，有时在一般市场上也能发现。例如，被认为源自墨西哥的含汞项链开始在美国学校或许其它地方出现。一份报告描绘了珠链、细绳、或皮链和玻璃吊坠形式的项链，其含汞量为 3 克至 5 克。在细窄的玻璃吊坠里可以看见银色液体游动。这些玻璃吊坠形状多样，例如心形、瓶形、剑齿形和辣椒形。除汞以外，有时吊坠中还含有颜色鲜亮的液体。^{241,242}

²⁴⁰ Calder Mercury Fountain, Atlas Obscura, <http://atlasobscura.com/place/calder-mercury-fountain-fundacio-joan-miro>.

²⁴¹ "School Health Alert About Mercury in Necklaces," Oregon State Government Research & Education Services, 2009, <http://www.oregon.gov/DHS/ph/res/mercalert.shtml#look>.

²⁴² Mercury Legacy Products: Jewelry, NEWMOA, <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/projects/legacy/novelty.cfm>.

8.故意汞源：开采和工业生产工 艺所含汞

故意使用汞和释放大量汞至环境的来源主要存在于三大采矿和工业工艺，分别为手工作坊和小型金矿开采、化学生产中汞催化剂的使用和水银分解氯碱厂。

8.1 手工作坊和小型金矿中的汞使用

大型和小型金矿都会向环境中释放汞，然而，大型金矿中多数的汞排放源自金矿石自身所含的汞杂质。另外，小型金矿主购买和使用单质汞，而后在开采和提炼过程中被释放至环境中。在所有汞使用的故意来源中，手工作坊和小型金矿为迄今为止最大的全球汞污染源。这种做法也对矿工及其家庭造成了严重危害，导致地方和区域生态系统严重恶化。

手工作坊金矿矿工试图各自为阵或小团体合作，开采地点为有金矿石的偏远地区。通过分离技术如淘洗对金矿进行精选后，矿工将金、土壤、沙或沉积物的余下混合物与单质汞进行混合以对金进行精选，制造出金/汞合金。矿工按压混合物中多余的汞，从而能相对较快地分离出含金丰富的汞合金。他们加热汞合金，使其释放出汞，留下非常纯的金。通过该工艺，矿主能控制金，决定销售时间。同时，也能将成本降至最低，矿主能够在任何时候获利。

通过手工作坊开采金矿可将专门技能和投资成本降至最低。随着金价升至每盎司 1250 美元而汞价仍相对较低，手工作坊金矿开采变得具吸引力，尤其是极度贫困和失业率高地区以及那些受到经济或环境灾害的人们。小型金矿开采存在于 55 个国家。联合国环境规划署估计全世界有 1000 亿至 1500

亿人直接涉及小型金矿开采，另有 8500 亿至 9000 亿人间接依靠其。小型金矿矿工生产的金量占金矿开采总量的 20%-30%—每年近 500 公吨至 800 公吨。这些开采经常为违法或不受监管，矿工通常非常贫穷且极少认识到汞暴露造成的危害或对此无意识。²⁴³ 在有些国家，手工作坊和小型金矿矿工从事的金矿开采占多数。例如，菲律宾的金开采总量中，75%为个人和小型矿主经营。

据估计，手工作坊和小型金矿开采每年消耗的汞量为 650 公吨至 1000 公吨。这其中，有些汞直接释放至空气中，尤其当未正确存储汞或汞合金分离过程进行汞回收时。其余汞则通过泄露、大意处理和其它方式而流失，最终汞会污染土壤或直接释放至水系统中。受汞污染的土壤也会流至水系统中，其结果是，在手工作坊和小型开采场地周边的生态系统遭受广泛的汞污染。受污染土壤或水系统中的单质汞随后会挥发至空气中，导致全球大气中汞污染。^{244,245}

一些小型开采采用一种称为整矿石汞齐化工艺。矿工在作坊里压碎和碾磨该矿石，加入汞后成为混合物。通常只有小部分的汞能够与混合物中的金结合。在该作坊进行的翻腾作业使其余汞释放至环境中，当在作坊里碾压矿石时，也会使作坊里单质汞滴面积变小。它们变得越来越小，而后被流经作坊的水冲走。在所有金矿开采工艺中，整矿石汞齐化工艺最具污染性，会导致最严重的人体暴露和环境污染。然而，由于汞价比金价便宜，矿工们广泛采用该方法，它能够通过最少人力生产出可销售的金（并且其付薪方式为即做即付）。有几种替代方式能够通过加汞之前精选矿石中的金达到减少汞使用和汞污染

²⁴³ "The Global Atmospheric Mercury Assessment," UNEP, 上文所引。

²⁴⁴ 同上。

²⁴⁵ "Mercury Use in Artisanal and Small-Scale Gold Mining," UNEP Mercury Awareness Raising Package, http://www.chem.unep.ch/mercury/awareness_raising_package/default.htm.

之目的，但是有些技术要求更长时间、更多技能和更大投资。然而，这些方式却能够使用更少汞捕获更多金。²⁴⁶

另一种普遍做法为淘金。陶盘中的水用于收集土壤、沙或沉积物中较重颗粒物，同时洗去较轻颗粒物。然后，矿工将汞加至这些较重颗粒物中，从而分离出其中的金。

矿工通常在明火上放置火铲和金属盘，以加热汞合金和回收金。这种做法，使得汞蒸气直接进入矿工、其家庭成员或其它附近人们所呼吸的空气中。但矿工可使用一种称为干馏的简单工艺，从而减少流失的汞蒸气量。干馏能够捕捉汞蒸气，对其进行冷却，回收单质汞，从而使矿工能对其进行再利用。加热时汞蒸气会从汞合金中逸出，而反应罐（可为玻璃碗、陶器或其它可用材料组成的设备，其数量任意）则会对其进行收集和冷却，使其能够凝结成液态。联合国工业发展组织的一项实地评估发现只需 3.2 美元便能进行有效的干馏。通过这些干馏处理，汞蒸气捕获量可超过 95%，能够使其进行再循环和再利用。遗憾的是，由于单质汞的成本相对较低、对汞蒸气危害意识的缺乏和干馏信息的缺乏，很少小型金矿的矿工使用这种工艺。²⁴⁷

健康调查发现许多矿工体内的含汞量较高，有些矿工汞暴露的程度超过世界卫生组织公众暴露限值的 50 多倍。在某一矿场，近乎一半的矿工表现出不自觉的颤抖，这是汞引发对中枢神经系统损害的典型症状。矿工家庭通常居住在加热汞合金地方的附近。其结果便是导致矿工家庭也经常遭受暴露。²⁴⁸ 据报道在印尼，也可能在其它地方，医疗健康官员对于汞毒性的意识很低，他们可能会将颤抖和其它汞暴露症状视为疟疾或登革热的症状。²⁴⁹

²⁴⁶ 同上。

²⁴⁷ 同上。

²⁴⁸ 同上。

²⁴⁹ 与印尼一非政府组织领导人的私人信件。

由于手工金矿开采场地通常位于远离公众注意的偏远地区，因此这些地方所受的汞污染经常被忽视。即使有意对这些地方进行监测，但由于无法提供移动设备和当地的环境实验室，这项工作仍很难开展。

2010年8月，印尼楠榜省一家原采用汞齐化工艺的中型金矿公司准备转用氰化物工艺，在清理一个含有受汞污染的尾矿的池子时，遭遇雨天，而该公司开池，将尾矿释放至河流当中，导致许多鱼类死亡，该地区居民则将浮于河面的死鱼带回家，其家庭成员摄入了这些鱼。结果，近200人因汞中毒而进行了住院治疗。该公司被罚款并承担了村民们所有健康医疗费用。²⁵⁰

意欲消除或将小型金矿的汞排放降至最低，没有迅速或简单的方式。通常，解决方式取决于矿场所在地的区域性、地区性甚至是地方性。许多国家都曾试图取缔该行为，但通常结果是导致非法采矿的产生。据报告，如果一国取缔通过室外加热汞合金回收金的行为，一些矿工便开始在其居住处内加热汞合金，这使得其所有家庭成员都严重暴露于汞蒸气。2007年，在印尼加里曼丹，许多人在没有正确通风条件下，在室内或金店内加热汞合金。针对此现象，联合国工业发展组织全球汞项目进行了干预，帮助其安装了通风罩。²⁵¹

全球汞控制公约能够在减少小型金矿汞释放方面做出重大贡献。它能够控制汞供应和汞贸易，从而提高汞价，限制小型矿场矿工使用单质汞。这将阻止一些低效率的采矿作业，如整矿石汞齐化。另一方面，使用较少汞或无汞的干馏或其它技术对于矿工而言将会更具吸引力。一项汞公约也能调动资源，从而为小型矿场的矿工和他们的社区提供更好的服务和培训，推

²⁵⁰ 同上。

²⁵¹ 同上。

动采用更少污染性和更具持续性的做法。它能促进对采矿地区当地政府的援助，帮助向愿意采用协同作战方式的矿工团体提供财政支持机会，这种协同作战方式将使用无汞技术或更少污染的做法。在采矿作业中最终淘汰单质汞使用应成为长期目标。然而，该目标的实现可能需要与其它减贫项目的成功联系起来。在某些情况下，居无定所的矿工和其家庭可能需要获取其它生计机会。

8.2 氯碱生产所含汞

氯碱厂所采用的工业工艺为使用电解产生氯气或者其它含氯化合物、碱（又称烧碱或氢氧化钠）或者有时为氢氧化钾和氢气。有些老旧的氯碱厂仍然使用一种称为水银电解的工艺，该工艺具有很大污染性并释放大量汞至环境中。

这些厂使用电解工艺为直流电经过与盐水（卤水）溶液接触的两电极。带正电的阳极电极为石墨或钛；带负电的阴极电极为重量可达数百吨的大汞池。当电流通过电极时，会在阳极产生氯气，从而被排出和收集。这也会在阴极产生一种钠汞合金。随后，汞合金中金属钠与水之间的反应被诱导产生氢氧化钠和氢气，这两者也会在去除处理后得以使用。*

从 19 世纪 90 年代开始至 20 世纪中，水银电解工厂为生产氯和氢氧化钠的主要商业运作。一些水银电解操作仍在世界范围内使用，但多数已被电解或其它无汞工艺替代。这些替代工艺使用隔膜电解或薄膜电解。许多水银电解工厂被关闭或转向无汞工艺的主要原因是源自监管压力，因为有发现证实这些工厂产生大量的汞排放，同时产生汞废水排放和汞污染固体废物

* The overall chemical for the electrolysis of brine is $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2$.

物，氯碱厂周边地区遭受高度的汞污染。²⁵² 采取替代措施的另一原因则是采用隔膜电解或薄膜电解的氯碱厂比水银电解氯碱厂的效率更高。

另外，水银电解氯碱厂生产的烧碱通常会受到汞污染，含氯化合物也可能受到污染。烧碱用于食品生产中，如玉米糖浆。在市场上销售的玉米糖浆或含玉米糖浆的食品都曾发现含汞。美国氯行业与美国政府达成协议，自愿限制其销售的烧碱中汞量，将其降至 1% 或更低。²⁵³

联合国环境规划署的“全球大气汞评估”估计因氯碱厂导致的全球汞排放量为 60 公吨。但联合国环境规划署的“全球大气汞评估技术背景报告”估计 2005 年水银电解氯碱厂的汞消耗量为 492 公吨。其总量分布如下：

地区	汞消耗量（公吨）
欧盟	175
独联体和其它欧洲国家	105
北美	60
中东国家	53
南亚	36
南美	30
其它	33
Total 合计	492

²⁵² "Compliance with Chlor-Alkali Mercury Regulations, 1986-1989: Status Report," Environment Canada, <http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=E7E0E329-1&offset=4&toc=show>.

²⁵³ Dufault, R., LeBlanc, B., Schnoll, R., Cornett, C., Schweitzer, L., Wallinga, D., et al. (2009). Mercury from chlor-alkali plants: Measured concentrations in food product sugar. *Environmental Health*, 8, 2.

"Study Finds High-Fructose Corn Syrup Contains Mercury," *Washington Post*, January 28, 2009, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/01/26/AR2009012601831.html>.

有些氯碱厂一年中流失的汞量即为其年汞消耗量。由于工艺过程中产生热量和定期维修包括开闭电池容器，工厂中许多汞直接释放至空气中。这其中，有些汞释放至水体或者污染厂区周边土地。其它汞则通过工艺过程流失，进入垃圾填埋场或其它处置设施。有些最终残留于生产的产品或者附着于工厂内的金属材料中。另外，由于单质汞易挥发，工厂中许多汞最终会残留于水、受污染土壤、垃圾填埋场或其它处置设施中，随后挥发和进入空气中。

从历史的角度看，在统计和报告释放至环境中的年汞量方面，氯碱行业的表现甚差。该行业和其监管者都明白直至最近，他们对水银电解氯碱厂所流失汞的数量和途径方面的信息少之又少。²⁵⁴但近年来，有些国家政府对氯碱行业已施加了监管压力，要求其开始淘汰水银电解氯碱厂，在此期间，应更好地防止环境中的汞排放，同时准确计算出现的释放量。现在，有些国家的经营者会报告其年汞消耗量。

根据 2004 年贸易行业报告，美国氯碱厂经营者通过以下方式计算一个工厂一年内的汞消耗量。经营者于 1 月 1 日和 12 月 31 日开展工厂汞清单工作。每项清单记录了清单登记当日工厂氯碱电池中的汞量与工厂仓库汞存量之和。经营者同时还记录了工厂该年所购买的汞量。该年的汞消耗量通过以下方式计算：年初清单汞量+该年购买的汞量-年底清单汞量（消耗量=1 月 1 日清单量+该年购买量-12 月 31 日清单量）。²⁵⁵

在之后的报告中，美国行业贸易协会表明经营者修改了汞消耗量的计算方式，将经营者于异处进行回收和日后再利用所释放的汞计算在内。这些报告出台了一个新名录，称为转移汞

²⁵⁴ John S. Kinsey, "Characterization of Mercury Emissions at a Chlor-Alkali Plant," U.S. EPA, 2002.

²⁵⁵ "Seventh Annual Report to EPA for the Year 2003," The Chlorine Institute, July 2004, <http://www.epa.gov/reg5oair/mercury/7thcl2report.pdf>.

(Mercury Transferred Out)。据定义，该目录为经营者于异处回收所释放、同一日历年间未被收回的汞量。自 2004 年开始，在计算年汞消耗量时，经营者会从该年购买汞量中减去转移汞量。²⁵⁶总而言之，根据美国行业贸易协会，如今经营者按照以下方式计算年汞消耗量：

年汞消耗量等于

- 1月1日清单汞量加上
- 该年购买汞量减去
- 运于异处用于回收和年底未收回的汞量减去
- 12月31日清单汞量²⁵⁷

除计算年汞消耗量外，美国行业贸易协会年报将消耗的汞分为以下三类：

1. 释放至环境中、作为美国有毒物质释放清单 (TRI) 部分内容上报于美国环境保护署(EPA)的汞*
2. 离开工厂存在于产品中的汞 (即存在于工厂销售的碱和氯中)
3. 剩余汞，报告称之为未说明的汞。²⁵⁸

近至美国的 2003 年报便显示，氯碱行业只能统算出当年汞消耗量的一小部分。2003 年，行业贸易协会报道美国氯碱厂消耗了 38 短吨 (34.5 公吨) 汞，经营者仅说明了 8 短吨 (7.25 公吨) 汞的用处，整整 30 短吨 (27.2 公吨) 汞被列为未说明的汞，即美国氯碱经营者仅对 2003 年其消耗的汞量中

²⁵⁶ "Chlor-Alkali Industry 2008 Mercury Use and Emissions in the United States," The Chlorine Institute, August 2009, <http://www.epa.gov/reg5oair/mercury/12thcl2report.pdf>.

²⁵⁷ 同上。

*

有毒物质释放清单为美国环保署创建的公众在线数据库。美国许多工业设施按规定需要向环保署报告有毒化学物质向各种环境介质的释放情况、有毒废物的异地迁移和废物管理的其它事宜。环保署编辑反馈信息，进行网络公开。

²⁵⁸ 同上。

21%的用处做出了说明；对于其余 79%汞的流失，经营者未做任何说明。²⁵⁹

自 2003 年，据报告，美国氯碱行业年汞消耗量大幅下降，有些汞流失量无法说明。这表明具备技术能力的经营者能够对监管压力有所行动，既减少其工厂的汞消耗又能提高其对说明和报告汞流失信息能力。²⁶⁰

氯碱厂受汞污染的土壤

研究者对欧洲水银电解氯碱厂受汞污染土壤的样本进行了检测。一份土壤样本原为工厂电池房底下所挖掘出但被放置外面近三年。经发现，该样本汞污染浓度为 569 ppm (毫克/千克)。另一样本取自水银电解氯碱工厂附近上部土层，经发现，其汞污染浓度为 295 ppm (毫克/千克)。²⁶¹

该研究的作者们提示单质汞具有很强的亲有机物性且紧紧附着于有机土壤上。但他们进一步提示，附着于有机土壤的汞仍可从土壤中释放至大气中，尤其在高温时期。

有迹象表明自 2005 年来，世界范围内运营的氯碱厂数量持续下降，但很难列出仍在运营的所有水银电解氯碱厂名单。2010 年欧洲行业协会声明显示欧洲 14 个国家仍有 39 家水银电解氯碱厂在运营。²⁶² 来自北美一家氯碱领先经营者的 2009 年情况资料说明北美近 13% 的氯碱产品源自水银电解氯碱厂。²⁶³ 世界氯理事会 (WCC) 提交给联合国环境规划署的一

²⁵⁹ 同上。

²⁶⁰ 同上。

²⁶¹ Carmen-Mihaela Neculita et al., "Mercury Speciation in Highly Contaminated Soils from Chlor-Alkali Plants Using Chemical Extractions," *Journal of Environmental Quality*, 2005, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15647556>.

²⁶² "Storage of Mercury: Euro Chlor View," Euro Chlor, 上文所引。

²⁶³ "Caustic Soda Production," Olin Chlor Alkali Products, 2009, <http://www.olinchloralkali.com/Library/Literature/OverviewOfProcess.aspx>.

份报告显示 2007 年，总共有 70 家水银电解氯碱厂在以下国家运营：美国、加拿大、欧洲、俄罗斯、印度、巴西、阿根廷和乌拉圭。²⁶⁴可能有许多其它水银电解氯碱厂仍在世界氯理事会该报告未提及的国家中运营，可能包括一些中东国家、俄罗斯以外的一些独联体国家和印度以外的一些亚洲国家。

全球汞控制公约能针对淘汰所有水银电解氯碱厂设定日程，它要求这些工厂回收的汞不应流向市场，应进行长期存储，针对以前的水银电解氯碱厂场地建立严格的清理要求。

8.3 用于化学生产的汞催化剂

许多年来，含汞催化剂用于工业化学生产中，这些催化剂仍用于氯乙烯单体(C_2H_3Cl)生产中的大型商业用途，该用途仍在增长。另一方面，多数含汞催化剂的工业用途正在减少或者已被淘汰。

如前文所述，由于一家化工厂在化学乙醇生产中将硫酸汞用作催化剂，导致了水俣病。在乙醇的工业生产中已停止使用汞催化剂。

从历史上来看，有机汞化合物曾被视为聚氨酯塑料和多处使用的涂料生产中的催化剂。当含汞催化剂用作该目的时，汞残留物将存留于聚氨酯中。20 世纪 60 年代至 80 年代，美国许多学校在体育馆安装了聚氨酯地板，这些地板通常含有 0.1%~0.2% 汞。仅一家生产商便声称该地板材料的安装量便超过了 2500 万磅（1130 万千克）。这种地板的表面会缓慢释放单质汞蒸气，尤其是破损处。官员们曾测量过某些学校体育馆

²⁶⁴ "Number of Plants and Capacity of Mercury Electrolysis Units in U.S.A./Canada, Europe, Russia, India and Brazil/Argentina/Uruguay," submitted by the World Chlorine Council to UNEP, http://www.chem.unep.ch/mercury/partnerships/Documents_Partnerships/All_documents_Euro_Chlor.pdf.

空气中的汞浓度。一所学校报告在呼吸区每立方米空气中汞蒸气的含量范围在 0.79 微克~1.6 微克汞之间。另一所学校报告每立方米空气中含 0.042 微克~0.050 微克汞。测量结果各有不同，其原因可能为地面大小、地板材料相对破损程度、体育馆通风情况、环境取样设备类型。²⁶⁵

近来，用于聚氨酯生产的无汞催化剂替代品已大量替代用于聚氨酯生产的汞催化剂，这种无汞催化剂以钛、铋和其它材料为基础。²⁶⁶然而，在某些国家或区域可能仍将汞催化剂用于聚氨酯生产，其使用程度并不普遍为人了解。

有些其它的化学物质在历史上也曾通过使用汞催化剂而得以生产，比如醋酸乙烯和 1-氨基蒽醌。²⁶⁷汞催化剂的这些用途和多数其它用途可能已在全球停止使用，但这仍需要验证。

然而，汞催化剂仍用于氯乙烯单体生产中的大型商业用途，该用途仍在增长。氯乙烯单体（VCM）的化学方程式为 C_2H_3Cl ，也称作乙烯，它是聚氯乙烯（PVC）塑料生产中的主要原料。氯乙烯单体的生产以乙炔(C_2H_2)为原材料。乙炔与氯化氢结合，经过氯化汞催化剂，生成氯乙烯单体。在美国，通过乙炔和氯化汞催化剂生产氯乙烯单体的做法最近可追溯至 2000 年。²⁶⁸

²⁶⁵ "Children's Exposure to Elemental Mercury: A National Review of Exposure Events," the U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, February 2009, <http://www.atsdr.cdc.gov/mercury/docs/MercuryRTCFinal2013345.pdf#page=31>.

²⁶⁶ "Catalyst and Method of Making Polyurethane Materials," World Intellectual Property Organization, 2005, <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=GB2004005368&DISPLAY=DESC>.

²⁶⁷ "Mercury Substitution Priority Working List," Nordic Council of Ministers, 2007, <http://www.basel.int/techmatters/mercury/comments/240707hsweden-2.pdf>.

²⁶⁸ Barry R. Leopold, "Use and Release of Mercury in the United States," for U.S. EPA, 2002, <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r02104/600r02104prel.pdf>.

多数国家的氯乙烯单体生产现已不再使用任何汞催化剂，而采用另一种生产工艺。在多数国家，乙炔不用做氯乙烯单体生产中的碳氢原料，而是用乙烯。这两种原料的重要不同之处在于乙烯的生成源自石油或天然气，而乙炔则源自煤炭。

乙烯作为原料曾被认为是氯乙烯单体生产最先进的工艺，这种现象持续至最近。然而，相对煤炭而言，石油和天然气价格上涨。随着该情况的出现，乙炔工艺也变得更具吸引力。尤其在如中国等国家，这些国家高度依赖进口石油但却拥有丰富的煤炭储量且开采劳动成本低。停止建设用乙烯作为原料的新工厂之另一因素为石油价格的大幅波动。将聚氯乙烯工厂设于中国西北部煤矿附近的企业对于获取价格稳定且便宜的稳定供应充满信心。²⁶⁹ 这些考虑不仅使采用汞催化剂的氯乙烯单体工厂在中国迅速增长，而且会用于其它地方，鼓励其它国家和地区进一步扩张该产业。

根据中国国家环保总局（现称中国环境保护部）化学品登记中心提供给非政府组织自然资源保护委员会（NRDC）的信息，2002年中国聚氯乙烯总产量为196.93万公吨，2004年增至309.58万公吨，62处聚氯乙烯生产设施使用了汞催化剂。²⁷⁰ 2006年后该产业进一步扩张的信息尚不得知，但鉴于2002至2004年间快速的增长率，可能仍持续增长。

工厂使用的催化剂其形式为与氯化汞浸渗的活性炭。当安置催化剂时，它们为8%至12%的氯化汞。然而，随着时间的推移，催化剂被耗尽，催化剂中的氯化汞数量减少。当数量降

²⁶⁹ "The Renaissance of Coal-Based Chemicals: Acetylene, Coal-to-Liquids, Acetic Acid," Tecnon OrbiChem Seminar at APIC, 2006, <http://www.tecnon.co.uk/gen/uploads//syezuu55kgu0ok55epcqomjf12052006115942.pdf>.

²⁷⁰ "NRDC Submission to UNEP in Response to March 2006 Request for Information on Mercury Supply, Demand, and Trade," http://www.chem.unep.ch/mercury/Trade-information_gov_stakeholders.htm.

至 5%时，催化剂被取代。催化剂中流失汞的最终流向便不为所知。

271

根据化学品登记中心估计，2004 年经使用随后被取代的催化剂中所含的汞量为 610 公吨。这些废催化剂被送往回收处进行加工处理，能够回收近 290 吨单质汞。²⁷² 这表明，2004 年中国氯乙烯单体生产导致 320 公吨之多的汞释放至环境中。

*

对于使用汞催化剂的氯乙烯单体工厂和对废催化剂进行加工的回收设施所产生的汞排放，国际社会目前尚未有数据。由于筹备报告的专家们没有排放数据，因此联合国环境规划署“全球大气汞评估”认为氯乙烯单体工厂并未向大气中排放汞。这说明联合国环境规划署估计各种源头产生的每年 1930 公吨全球人为汞排放总量中，并未纳入氯乙烯单体生产。

由于在中国使用汞催化剂的氯乙烯单体生产的范围在扩大，随着时间的推移，可能那些未报告的氯乙烯单体生产导致的汞流失会增加。另外，与不使用汞催化剂的氯乙烯生产商相比，使用汞催化剂的氯乙烯单体生产商能够实现原料成本的大幅节约，随着时间的推移，这可能会给其它国家生产商造成压力，使得使用石油和天然气为原料的聚氯乙烯生产转向可能成本较低的乙炔/氯化汞生产工艺。

全球汞控制公约将需直接解决化学品生产中汞催化剂的使用，除氯乙烯单体生产以外，可能各国政府对其它工艺更容易达成立即禁止使用（或者如某些国家仍使用这些工艺中的部分

271 同上。

272 同上。

*

联合国环境规划署“全球大气汞评估之技术背景报告”估计2005年氯乙烯单体生产所耗费的全球汞量达770公吨，该数字在前文也引用过。该估值可能考虑了自2004年来该产业的增长因素。同时，可能没有从所用催化剂存在的汞量中减去所回收的汞量。

工艺应迅速淘汰)的协议,这种做法能够阻止这些工艺未来可能的重现。

然而,意欲达成氯乙烯单体生产中汞催化剂使用控制公约措施方面的协议可能难度较大。当下紧迫的任务是公约应针对汞催化剂使用和氯乙烯单体生产相关汞流失后的最终去处,要求效果更佳的监测和更好的国家报告。理想状态是,应针对氯乙烯单体生产中的用途和工业化学中汞催化剂的所有其它用途,建议淘汰计划的目标,但这可能要求长期的努力。作为过渡步骤,有些建议应促进可用乙炔原料的无汞催化剂替代品方面的研究。其它则建议研究发展能够从煤炭中生成乙烯的新技术,这将能够通过不使用汞催化剂的工艺转而使用较便宜的煤炭便能实现氯乙烯单体的生产。然而,这两种建议都存在问题,原因如下两点。现在全世界在努力控制气候变化,如果温室气体主要排放物煤方面的新技术得以促进,这将与之相左。同时,即使将乙烯用作原料的氯乙烯单体生产避免汞释放,这仍为一种极不清洁的工艺,会产生和释放其它环境污染物如二恶英的。

9.非故意汞源

非故意汞源包括化石燃料的燃烧、清洁和提炼；金属矿石的开采和提炼以及采用高温工艺如水泥生产中含汞材料的使用。根据联合国环境规划署的估计，这些非故意源产生的大气排放在全人为源导致的全球大气汞排放总量中所占比例为65%。

9.1 燃煤电厂

根据联合国环境规划署 2008 年“全球大气汞评估”报告，全球汞排放最大的人为源为化石燃料的燃烧，尤其是煤。该评估预计电厂在全球人为汞排放总量中所占比例为 25%，工业和居民取暖所占比例为 20%。²⁷³ 汞以微量的形式存在于煤中，通常范围为每千克煤中含汞量为 0.01 毫克至 1.5 毫克 (ppm)。²⁷⁴ 然而，每年因电力或取暖需求所燃烧的煤量如此巨大，以至于联合国环境规划署估计 2005 年这些源头产生的煤燃烧释放了 878 公吨汞至大气中。²⁷⁵

煤燃烧和温室气体排放

煤燃烧在全球所有温室气体排放中所占比例近 20%。²⁷⁶ 在全球开展政府间谈判要求采用新的气候变化公约以取代京都议定书的背景之下，目前正在讨论旨在减少煤燃烧的拟议措

²⁷³ "Global Atmospheric Mercury Assessment," UNEP, 上文所引。

²⁷⁴ "Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment," AMAP and UNEP, 上文所引。

²⁷⁵ "Global Atmospheric Mercury Assessment," UNEP, 上文所引。

²⁷⁶ "Coal and Climate Change Facts," Pew Center on Global Climate Change, <http://www.pewclimate.org/global-warming-basics/coalfacts.cfm>.

施。迄今为止，在气候变化谈判中，几个大国政府已表明不愿采用将大大限制其本国煤燃烧的具约束力措施。其中几个国家列出了大力拓展全国发电的迫切需求，而电力发展被视为其国民经济发展战略的重要组成部分。

某些有影响力的国家政府在气候变化谈判背景下继续反对对煤燃烧具约束力的限制规定，意欲让这些国家在汞公约谈判背景期间通过对煤燃烧具约束力的类似限制规定是极不可能的。因此，如果将汞公约谈判视为一个替代场所，希望该场所能确保相关国家政府在准备修改其气候变化谈判姿态之前同意限制燃煤电厂产生的温室气体排放这是不现实的。

但汞公约谈判开辟了第二个场所以开展关于煤燃烧有害影响的知名度颇高的国际讨论，谈判为促进能源效率以及可再生能源资源的保护和拓展创造了另外的机遇。

为了计算使用煤燃烧技术的真实成本，必须将其对全球环境和人类健康的危害纳入成本方程式，包括本手册所强调的对人类健康和环境造成的汞危害，也包括二氧化硫、氮氧化物和燃煤电厂释放的许多其它有毒有害污染物。最后，使用煤燃烧技术的真实成本的计算当然应考虑与温室气体排放和气候变化相关的成本。

当全球机制能够确保这些和所有其它与煤燃烧相关的外部成本内化为煤基能源价格时，才能够取得淘汰煤燃烧技术的成功。当实现了淘汰后，就会明白能源效率干预和替代能源实际上比煤技术更能节约成本。届时，替代品将可在与煤的竞争中胜出并取代之。

虽然汞公约谈判不能成为气候变化预防措施谈判的备用场，但汞公约谈判进程有利于提高煤燃烧相关的健康成本和环境成本方面的公众理解和政府认识。同时，汞谈判对建立具约

束力的措施具有潜在性，这些措施能够强制各国政府—至少在某种条件下和某些议程下—要求其新建或现存电厂符合特定最低能效和/或污染控制标准。污染控制高标准通常会增加成本。此外，该公约可规定如果具成本效益、可利用的、能够消除或将汞排放降至最低的替换技术能满足全国或当地能源需求，应促进或规定这些技术的使用。最后，汞公约应建立机制，为其措施的实施提供财政和技术支持，这些可能对国家气候变化体制下提供的财政和技术支持进行补充。

作为首个近似计算，燃煤电厂释放的汞排放量与产生单位电力所燃烧的煤量有关。当其它条件等同的情况下，更具能效的电厂在产生 1 千瓦时电力所需的煤更少，从而能够比能效较低的工厂在产生每单位电力时排放更少的汞。

提高燃煤电厂效率能够通过以下措施实现，如改善或取代燃炉、优化燃烧、提高锅炉和换热设备的效率、提高电厂运营和维护和其它措施。曾有言论声称在某些情况下，这些方法能够提高电厂一倍以上的效率。经济因素和污染控制法规两者结合也能促成关闭老旧低效的电厂和工业锅炉，并代之以更为有效的设施或替代能源。

清理电厂烟气的空气污染控制设备（APCDs）能够捕获汞和减少排放，这些设备最为常见的捕获随着烟气而升的细颗粒物飞灰。有些也可捕获酸性气体。空气污染控制设备包括静电除尘器、纤维过滤网和烟气脱硫系统。因此，控制汞污染的战略应包括新型空气污染控制设备的使用：电厂应改造现用烟气清洁设备以提高汞捕获能力以及使用附加的烟气清洁设备。电厂也应运用能提高其现用空气污染控制设备汞捕获效率的技术。

空气污染控制设备汞捕获效率受以下几个因素影响。在燃煤电厂燃烧区处于高温时，煤中的多数汞会以气态单质汞形式释放至废气中。这种气态单质汞不易溶于水，空气污染控制设备不能轻易将其捕获。然而有些单质汞会与烟气中其它物质进行化学反应，从而被氧化。被氧化的汞（通常形式为氯化汞）具有水溶性，烟气脱硫系统能够将其捕获。氧化汞也会与烟气中颗粒物产生关联，从而形成颗粒物附着的汞。纤维过滤网和静电除尘器能捕获许多这种附着于颗粒物的汞。^{277,278}

根据烟气中单质汞、氧化汞和附着于颗粒物的汞的相对比例—以及根据所使用的空气污染控制设备成效—烟气中汞去除效率为 24%至 70%。²⁷⁹

烟气中单质汞转化为氧化汞和附着于颗粒物的汞之比例取决于许多因素，包括烟气成分以及所含飞灰的数量和特性。这些因素相应取决于煤的类型和特性、燃烧条件以及锅炉和排热设备的设计。当煤中氯含量相对较高时，烟气中更多的单质汞被氧化；当煤中氯含量相对较低时，更少的单质汞被氧化。因此，在某些条件下，提高该工艺中氯含量能够增加空气污染控制设备的汞去除效率。

另外，飞灰中未燃烧的碳会吸收烟气中的汞，产生附着于颗粒物的汞，其中许多能被空气污染控制设备捕获。然而，有些人支持进行干预，提高飞灰中未燃烧碳的数量，从而提高空

²⁷⁷ S. X. Wang et al., "Mercury Emission and Speciation of Coal-Fired Power Plants in China," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, <http://www.atmos-chem-phys.net/10/1183/2010/acp-10-1183-2010.pdf>.

²⁷⁸ Charles E. Miller et al., "Mercury Capture and Fate Using Wet FGD at Coal-Fired Power Plants," U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2006, http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/coal_utilization_byproducts/pdf/mercury_%20FGD%20white%20paper%20Final.pdf.

²⁷⁹ S. X. Wang et al., "Mercury Emission and Speciation of Coal-Fired Power Plants in China," 上文所引。

气污染控制设备的汞去除效率。²⁸⁰但是如此干预具有降低效率和增加不完全燃烧产品导致的污染风险。最后，当燃煤电厂使用选择性催化还原（SCR）技术以控制氮氧化物时，该工艺也会将单质汞转化为氧化汞，提高空气污染控制设备的汞去除率。²⁸¹

有几项技术能够最大程度地将烟气中气态单质汞向氧化汞和/或附着于颗粒物的汞进行转化，这些技术被推荐用于优化现有燃烧和烟气清洁设备中的汞捕获，包括如下内容：

- 在煤或高温燃烧气体中加入试剂，从而促进单质汞氧化
- 改进燃烧工艺以提高飞灰中未燃烧碳其反应数量，从而提高汞吸收和/或促进单质汞氧化
- 混合煤以改变烟气成分和飞灰特性，从而提高氧化汞和/或附着于颗粒物的汞的形成
- 结合上述步骤²⁸²

源自污染控制设备的回收废物所含汞

当电厂使用空气污染控制设备来去除烟气中的汞时，会产生对这些汞的长远去处产生担忧。有些废物被弃置于垃圾填埋场或倾倒处，在这些地方它们具有大气汞排放或向周边土壤和水系统渗透汞的潜在性。有些厂对现场控制设备排放的汞进行加工，导致当地环境污染和向水道的汞排放。但这些废物中许多被回收，用于建筑材料的生产和其它用途

²⁸⁰ James Kilgroe et al., "Fundamental Science and Engineering of Mercury Control in Coal-Fired Power Plants," U.S. EPA, 2003, http://www.reaction-eng.com/downloads/Senior_AQIV.pdf.

²⁸¹ Charles E. Miller et al., "Mercury Capture and Fate Using Wet FGD at Coal-Fired Power Plants," cited above.

²⁸² James Kilgroe et al., "Fundamental Science and Engineering of Mercury Control in Coal-Fired Power Plants," 上文所引。

美国煤灰协会为一家行业贸易协会和游说团体。根据该协会，煤燃烧产品的销售和使用为一项数十亿美元产业。该协会将电厂副产品如飞灰、底灰、锅炉渣和烟气排放控制和脱硫装置产生的各种残留物定义为煤燃烧产品。²⁸³

烟气脱硫系统(FGD)产生的废物能被回收，用于制造合成石膏。例如，在美国，该废物中 75%被回收和使用。多数用于制造广泛用于室内的建筑材料合成石膏墙板。²⁸⁴ 在一户美国新家墙板中，平均含有 8 吨石膏。近至 2001 年，15%的石膏供应源自煤废物。至 2009 年，源自煤废物中的石膏其使用已经增加了两倍多，现已占据美国所使用石膏总量的一半以上。²⁸⁵

由于烟气脱硫系统的操作温度相对较低，研究发现在其使用过程中，一些挥发性微量元素由气相进行浓缩，从烟气中除去。有人曾建议可以通过这种方式去除烟气中的某些气态单质汞。²⁸⁶ 然而，这说明烟气脱硫系统产生的废物中可能存在单质汞，可能再挥发和释放。

关于由废物制造而成的合成石膏所产生的汞释放，并未有许多数据，但现有数据展示了其问题性。在一家使用从电厂烟气脱硫系统中回收而得的废物制造墙板的工厂中，曾做过多次检测。研究者测量了进厂合成石膏以及出厂石膏中的含汞量，计算了在生产过程中流失的汞。在墙板产品中进行了五项系列检测，这些墙板产品使用源自不同电厂和不同污染控制设备配置的合成石膏。第一次检测报告，在进厂石膏和最终产品之间

²⁸³ Coal Ash Facts, <http://www.coalashfacts.org/>.

²⁸⁴ Charles E. Miller et al., "Mercury Capture and Fate Using Wet FGD at Coal-Fired Power Plants," 上文所引。

²⁸⁵ "Soaring Use of Coal Waste in Homes Risks Consumer Headache," Public Employees for Environmental Responsibility (PEER), 2010, http://www.peer.org/news/news_id.php?row_id=1327.

²⁸⁶ "Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment," AMAP and UNEP, 上文所引。

流失的汞总量为 5%。第二次检测报告显示汞流失总量为 8%。第三次检测报告显示流失总量为 46%。第四次流失总量未有报告，但数量很小。第五次检测报告显示流失汞量 51%。²⁸⁷

检测结果显示在环境中和在使用源自废物的合成石膏制成墙板期间其工作场所中可能存在严重的汞释放。汞还可能在材料送达墙板制造厂之前便已从合成石膏中释放。利用废物制成的合成石膏可能会影响烟气脱硫系统去除汞的成效，因为许多最初已被烟气脱硫系统去除的汞可能在墙板制造之前或期间重新释放至环境中。

以上描述的检测和报告为科学家在一家利用合成石膏制成墙板的领先公司所得结果，相关内容提交给美国环保署。该报告说明接受检测的出厂墙板其含汞量范围高至 0.95 ppm, 低至 0.02 ppm。²⁸⁸ 然而还存在少量关于合成石膏所制成墙板含汞量的独立数据。美国环保署的一项研究报告两个美国制造墙板的检测样本中含汞量分别为 2.08 ppm 和 0.0668 ppm。同样研究发现两个中国制造墙板的检测样本中含汞量分别为 0.562 ppm 和 0.19 ppm。²⁸⁹ 我们需要更多源自废物的合成石膏墙板含汞量的独立数据。

我们缺乏关于安装墙板工人其汞暴露方面的研究。但一项由行业科学家和顾问公布的研究试图显示安装有合成石膏制成墙板房间其室内空气中汞不足以引起担忧。然而该研究并未清楚说明能够证明该结论的方法和结果。该研究报告确实提供一

²⁸⁷ Charles E. Miller et al., "Mercury Capture and Fate Using Wet FGD at Coal-Fired Power Plants," 上文所引。

²⁸⁸ Jessica Sanderson, "Fate of Mercury in Synthetic Gypsum Used for Wallboard Production," USG Corporation, 2008, http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/coal_utilization_byproducts/pdf/42080FinalRpt20080624.pdf.

²⁸⁹ "Drywall Sampling Analysis," U.S. EPA, 2009, linked to <http://www.pharosproject.net/index/blog/mode/detail/record/40>.

些有意思的数据。它分别测量了装有天然石膏墙板样本和合成石膏墙板样本的小房间的汞释放通量。发现对于天然石膏墙板和合成石膏墙板而言，其每天通量分别为为 0.92 ± 0.11 纳克/每立方米和 5.9 ± 2.4 纳克/每立方米。²⁹⁰ 即合成石膏墙板房间中所测的汞通量高于天然石膏墙板房间中汞通量的六倍之多。该结果说明之所以引起关注其可能存在的一个因素。合成石膏汞释放的独立研究将最为有用。

燃煤电厂使用的纤维过滤器和静电除尘器中捕获的飞灰也被使用。根据一家行业贸易协会，每年美国产生飞灰量达 7000 万吨，其中近 45% 随后被回收用于某些用途，电厂经营者尽可能提高回收比例。许多飞灰分成各份额与水泥混合，制成混凝土。工业来源声称汞紧密地附着于飞灰，已制成的混凝土或混凝土混合和干燥过程中能释放的汞非常微小。但是并没有足够的独立数据能支持该声称。也没有关于生产和使用飞灰制成建筑材料所产生全球汞排放总量估值的任何数据。此外，由于全世界范围的电厂经营者引进技术创新以提高其空气污染控制设备的汞捕获效率，灰飞和其它空气污染控制设备残留物中的汞总含量会增长。需要开展工作追踪飞灰所含汞和空气污染控制设备捕获的其它残留物中汞在环境中的最终去处。

电厂将静电除尘器和纤维过滤器中捕获的一些灰飞送至水泥窑，在水泥窑中，飞灰与其它原材料混合，而后加热混合物，温度可高达 1450°C 。在这些高温下条件下，最终飞灰中所有的汞被蒸发，再次释放，而这次是释放于水泥窑烟气中。

²⁹⁰ Scott S. Shock et al., "Evaluation of Potential for Mercury Volatilization from Natural and FGD Gypsum Products Using Flux-Chamber Tests," *Environmental Science & Technology*, March 2009, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802872n#afn3>.

而最初，静电除尘器和纤维过滤器已去除电厂烟气中所含的这些汞。²⁹¹

为了降低废物处置成本，电厂经营者会寻求其煤燃烧产品的各种用途，随着世界上对于燃煤电厂汞排放实行更为严格的规范管理，含有大量汞的飞灰和其它空气污染控制设备残留物的全球供应商将快速增长，同时刺激空气污染控制设备残留物现有市场的扩大和新市场的寻求。

但是空气污染控制设备残留物再利用的做法使得燃煤电厂空气污染控制设备之前捕获的许多汞再次流通。全球汞公约应仔细考虑阻止导致汞再次排放的做法，因为再次排放会导致全球大气汞污染和污染居室和工作场所的室内空气。

地区和全球汞污染

与多数其它汞污染源相比，燃煤电厂的汞排放通常会吸引更多公众和政治注意以及研究。原因之一是控制不善的燃煤电厂其大气排放不仅包括气态单质汞排放而且包括大量经氧化的汞（例如氯化汞和氧化汞）和附着于颗粒物的汞。虽然多数气态单质汞排放能在大气中停留很长时间，但氧化汞和附着于颗粒物的汞在大气中停留的时间短暂得多，它们顺风降落在这些电厂的地面。例如，美国俄亥俄州的研究发现在与降雨（湿沉降）相关的汞中，超过 70%的汞源自当地燃煤电厂。²⁹² 由于电厂中氧化汞和附着于颗粒物的汞中许多会降落于离该电厂相对较近的地面，这往往导致电厂顺风方向的河流湖泊和其中的

²⁹¹ "Cementing a Toxic Legacy?" Earthjustice Environmental Integrity Project, 2008, http://www.earthjustice.org/sites/default/files/library/reports/ej_eip_kilns_web.pdf.

²⁹² Emily M.White, Gerald J. Keeler, and Matthew S. Landis, "Spatial Variability of Mercury Wet Deposition in Eastern Ohio: Summertime Meteorological Case Study Analysis of Local Source Influences," *Environmental Science & Technology* 43, no. 13, 2009, p. 4,946-53, doi:10.1021/es803214h, <http://dx.doi.org/10.1021/es803214h>.

鱼体内所含的甲基汞量增加。当监管机构和公众开始意识到控制不善的燃煤电厂与位于顺风方向河流湖泊中鱼所受甲基汞污染程度增加之间的关联时，便能加强公众和政治压力，以监测和更好控制电厂排放。

另一方面，任何主要释放气态单质汞的人为汞源往往会产生较小范围的局部环境影响。气态环境汞排放往往在大气中停留六个月至两年，通过风传遍整个地球。这些汞最终也会降落于地面。污染源和受污染鱼存活的水体之间的关联性不太明显。因此，对于气态单质汞排放和其最终环境影响之间的关联，通常更缺乏公众和政治理解。对于主要以气态单质汞形式向大气释放汞的人类行为，其影响往往会蔓延全球，而非仅限于当地或区域。因此，需要采取一项全球措施，以全面了解这些排放的影响，只有一项全球措施能有效避免人类健康和环境遭受排放的影响。

燃煤电厂可使用另一项策略来减少汞排放，即汞清洁和其它形式的煤预处理。电厂在烟煤中广泛使用煤清洁技术，以去除采矿残留物和减少灰和硫。据估计，目前常见的烟煤清洁做法能使电厂汞排放去除率达到近 37%。²⁹³ 同时，也讨论和促进了更高级煤清洁和煤处理工艺，这些工艺能实现更高的汞去除率。可引用的例证为 K-燃料技术，这是一项专利技术，利用热和压力对低等燃料进行物理和化学转化，将其转化为低水分高热值的固体燃料。该工艺去除煤中的灰和汞，从而能够潜在性地生成低汞含量和热值增加的燃料。²⁹⁴

在多数情况下，电厂或锅炉经营者决议使用经清洁或处理的煤时是出于经济考虑。例如需要提高可利用煤的燃料效率或

²⁹³ B. Tooleoneil et al., "Mercury Concentration in Coal—Unraveling the Puzzle," *Fuel* 78, no. 1, 1999, p. 47-54, doi:10.1016/S0016-2361(98)00112-4, [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)00112-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-2361(98)00112-4).

²⁹⁴ James Kilgroe et al., "Fundamental Science and Engineering of Mercury Control in Coal-Fired Power Plants," 上文所引。

需要在不大量增加工厂效率或空气污染控制设备方面投资的情况下满足污染控制标准。然而专家意见的划分是依据先进的煤清洁和煤处理工艺比其它潜在的汞控制技术更具经济竞争力的程度。²⁹⁵但一项全球汞公约可能会影响这些经济考量因素：它可能鼓励在该领域其它的研究和发展，甚至可能会激励经营者提高其工厂效率和空气污染控制设备，同时使用经过高级清洁或处理的煤。

经回顾，许多不同技术能用于减少燃煤电厂和工业锅炉的汞排放，包括如下内容：

- 提高电厂和锅炉效率的措施
- 安装和/或更新空气污染控制设备
- 使用各种技术更充分地将烟气中的气态单质汞转化为氧化汞和/或附着于颗粒物的汞
- 清洁、混合或前处理煤
- 替代，即决定用汞污染较少或无汞污染的可替代能源来源替代燃煤电厂

一项汞控制公约能促进研究，从而提高效率和减少上述汞削减技术的价格。另外，它能够促进研究扩大可利用选择范围的方式。最后，在这些技术中，如果有可行技术的话，那么经营者在决定采用何种技术来削减汞污染时，将取决于许多因素。一个重要的因素将会是当地可提供的煤供应之特点和价格，这是因为由于燃烧的煤不同，所以不同汞控制技术的表现各异。其它重要因素包括当地成本和提高设施效率或有效去除烟气中汞的各种技术其可利用性；妥善管理任何生成废物的成本，尤其是汞废物释放或迁移；当地是否具备必要技能以正确选择技术而后有效运用。

²⁹⁵ Charles E. Miller et al., "Mercury Capture and Fate Using Wet FGD at Coal-Fired Power Plants," 上文所引。

然而，多数情况下，在缺乏监管驱动和经济驱动中的一项或两项都缺失的情况下，即使能提供有效的汞控制技术，电厂经营者不会对其进行投资，因为以最低的成本产生电力对于电厂经营者而言极具驱动力。另一方面，一项包括法律约束力措施的全球公约能够将最大污染者目前获取的经济优势最小化，帮助建立于各方而言平等的竞争环境。

但是，如果经营者受到政府政策和法规的驱动，尤其当其明白不遵循政策法规其成本甚至会远高于遵循政策法规的成本时，经营者将会投入资金削减汞排放。另外，如果有合适的激励，即使缺乏具体的具约束力的规定，经营者也将同意应用有效的汞削减技术。这些激励可包括财政或技术支持。或者包括增加技术通道，这些技术能提高工厂运行效率从而减少一个单位能量输出的成本。对于涉及全球汞控制新公约谈判的各国政府而言，其挑战是要针对一揽子措施达成协议，这些措施既包括精心设计和强制执行、具有法律约束力的法规，又包括充分的财政和技术激励，二者合力，将能驱动电厂汞污染全球性重大削减。

这些经协商的一揽子措施将需要协调其相互具竞争性的目标，既积极努力地削减全球汞排放，同时保持甚至加强国家经济发展和减贫目标。要实现二者协调，将需要谈判方辛勤的工作和具创造性的努力，这些谈判方不仅意识到汞污染对人体健康和环境造成的严重危害，而且也意识到许多发展中国家迫切需要增强其通过扩大国家能源发电能力获取可靠电力的途径。

为了达成控制燃煤电厂汞释放的重大协议，可能有必要在一段时期内分阶段实施具约束力和强制执行的控制措施。这些措施其制定形式可类似于关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约中包括的最佳可行技术（BAT）方面的规定。在商定的条件下，这些措施可要求汞公约缔约方政府在本国的燃煤电厂中强制执行和/或推进最佳可行技术的使用。另外，公约最佳可

行技术措施可与公约规定严格联系起来，强调向发展中国家和经济转型期国家提供技术和财政援助，旨在确保各缔约方能在不削弱本国经济发展和减贫目标的情况下，实施公约规定。

至于公约和斯德哥尔摩公约之间，则无需将全面阐述的最佳可行技术定义和指南纳入公约文本。公约可对最佳可行技术进行概念上的定义，责令其缔约方大会(COP)建立最佳可行技术专家组，以筹备起草最佳可行技术指南以求缔约方大会通过，同时阶段性审查和更新指南。这些涉及的最佳可行技术指南可包括各项修订和更新，这些修订和更新的主要内容是强调日程和公约最佳可行技术规定具有法律约束力的条件。

从平行层面而言，缔约方大会也可对支持最佳可行技术指南实施的技术和财政援助的实际可行性进行阶段性审查。审查结果可能与最佳可行技术规定变得具有法律约束力的日程和条件的决议紧密相连。这种双管齐下的方法能够促成通过一项在对燃煤电厂进行重要控制同时不削弱国家经济发展和减贫目标的公约。

在斯德哥尔摩公约中，最佳可行技术指南可补充规定，鼓励那些希望修建新厂或大幅整改现有工厂的经营者考虑采用环境中汞释放较少或无汞的可替代能源技术。如果能将如此规定纳入指南，那么用于援助实施汞公约最佳可行技术规定的技术或财政支持便可用于开展可替代能源技术。

9.2 其它化石燃料燃烧

与燃煤电厂排放估值相比，化石燃料燃烧源产生的汞排放通常所报告的估值不太全面和准确。许多西欧、北美和其它地区政府已要求对其国内燃煤电厂的烟囱气体排放进行广泛的监测，该监测通常包括汞排放测量。因此，许多国家燃煤电厂产生的汞排放的许多数据得以收集。该数据可能促进排放因子的

发展，甚至在电厂烟囱气体监测不普遍的国家，这些排放因子曾用于粗略估算电厂的汞排放。另一方面，除燃煤电厂外，化石燃料燃烧源产生的汞排放估值是在更少的数据和广泛性较小的研究的基础上得出。

居民取暖

据估计，居民和商业取暖、烹饪和其它类似来源煤燃烧所产生的汞排放在全球人为汞排放总量中所占比例近 20%。²⁹⁶ 居民取暖用煤也会向环境中释放温室气体。它会另外释放其它导致当地严重的空气污染和相关的呼吸和其它疾病的有毒污染物。因此，推进和促使用较少污染的居民取暖替代品来替代燃煤熔炉和炉子的措施将不仅能减少全球汞污染总量，而且能帮助减少全球温室气体排放和对当地造成的有害空气污染。

石油产品

提炼和燃烧石油和其产品也会导致全球汞污染。根据一家产业技术提供商，汞为石油的常见成分，石油加工过程通常伴随着含有一些汞的废物流的产生。在该行业中，汞去除系统很常见，它被使用的主要驱动力是为了保护工厂设备和催化剂。没有汞去除系统的工厂会产生受汞污染的污泥、沉积物和其它废物流。在某些地方，加工饲料中的汞浓度很高，但可能无法提供或经济上无法负担正确管理汞废物的处理系统。²⁹⁷

联合国环境规划署“技术背景报告”声称有关原油中汞浓度的数据非常有限，并指出有文献报告原油中汞浓度可高达 30 ppm。但该报告得出结论最佳数据显示原油中的汞浓度其范围往往为 0.01 ppm~0.5 ppm。（通过比较，“技术背景报告”指出煤中的汞浓度其范围往往在 0.01 ppm~1.5 ppm。）“技术背景

²⁹⁶ "Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment," AMAP and UNEP, 上文所引。

²⁹⁷ "Generation and Disposal of Petroleum Processing Waste That Contains Mercury," Mercury Technology Services, <http://hgtech.com/Publications/waste.html>.

报告”表明石油产品燃烧产生的汞排放往往低于煤燃烧产生的汞排放 1 至 2 个数量级，但该结论诚然是基于有限数据基础之上。需要开展更多工作以对大气汞排放和加工石油和其产品的工厂产生的其它释放进行更好的估算，同时还需要估算燃烧石油产品的设施和机动车产生的汞排放。

经页岩和油砂制成的石油产品

以目前的油价，从页岩中制成石油产品的成本昂贵，目前，仅有少部分的油页岩沉积物能用于生产石油产品。目前巴西、中国、爱沙尼亚、德国和以色列都实行通过页岩生产石油产品的做法。²⁹⁸ 没有数据能说明通过页岩生产石油汞释放的信息，但是，对页岩进行加工从而生产石油可能为环境中汞释放的来源之一。油页岩的储量很大，随着油价上升，这些储备在石油生产中的用途可能会越来越多。

一项 1983 年绿河组页岩的研究显示通过页岩生产石油会向环境释放大量的汞。²⁹⁹ 该研究估计每升产品油的生产需要加工 8 至 16 千克的页岩。在页岩中存在微量汞，其浓度为沉积物质特含浓度。在加工过程，页岩被加热至 500⁰C，由于汞的挥发性和其化合物，是有可能调动几乎全部所含的汞。该研究估计一台加工足量绿河组页岩以达每天 800 万吨油生产量的设施每天会产生进 8 千克的大气汞排放。这说明全球汞控制公约应该纳入控制页岩油生产导致的汞排放的规定，以预期未来可能出现更大量页岩油加工的情况。

通过油砂（亦称焦油砂）制成的石油产品其生产可能为汞污染的另一来源。关于此来源产生的汞释放方面的数据很少，但最近一项研究发现证据显示加拿大油砂产业向阿萨巴斯卡

²⁹⁸ 2007 “Survey of Energy Resources,” World Energy Council, http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf

²⁹⁹ “Mercury Emissions from a Modified In-Situ Oil Shale Retort,” Alfred T. Hodgson, et al, Atmospheric Environment, 1984

河及其流域释放了大量的汞。³⁰⁰应该提供更多更好的数据以说明油砂行业和页岩油行业产生的汞释放情况。

天然气

与天然气燃烧相关的汞释放信息也非常少。正如该手册前文所述，通常液化天然气中所含的汞会被去除，因为即使是非常低浓度的汞，也会腐蚀加工过程使用的下游设备。然而，除欧盟外，很少有数据能说明被去除的汞其在环境中的最终去处。

同时，有些国家和地区天然气中汞浓度非常高以至于经营者必须在分送前去除气体中的汞。据报道，在与北海接壤的一些国家、阿尔及利亚和克罗地亚存在这种情况。根据联合国环境规划署“汞供应、贸易和需求信息总结”报告中提供的信息，在某些南美、远东和中东国家以及南非、苏门答腊可能还有其他国家，其天然气中所含汞的程度类似高。据推测，如果不去除这种气体所含的汞便进行分送和使用，将导致严重的汞排放。对于油产品，明确需要联合国环境规划署和其它机构能为此领域提供更多的信息，开展更多的工作。

9.3 水泥生产

根据联合国环境规划署“全球大气汞评估”，每年水泥窑会释放近 189 公吨汞至大气中。这占联合国环境规划署估算的全球人为大气汞排放总量的近 10%。

许多水泥窑中释放的汞为天然存在于用作生产水泥的原料中。这些包括水泥中浓度最高的元素——钙的来源。含有钙的原

³⁰⁰ “Oil sands development contributes elements toxic at low concentrations to the Athabasca River and its tributaries.” Erin N. Kelly and David W. Schindler, et al, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, July 2010, <http://www.pnas.org/content/107/37/16178.full?sid=800be74f-98bb-4117-a945-bb9ec73936b0>

材料包括石灰石、白垩、贝壳和碳酸钙的其它天然形式。原材料来源的另一类别为含有如矽、铝或铁等元素的矿石和矿物。³⁰¹ 这些原材料可能都含有一定数量的天然汞。在进入水泥窑前，这些原材料经过碾磨混合在一起。

许多水泥厂经营者会在这些天然原材料中另外加入大量源自电厂空气污染设备的飞灰。如前文所述，这种飞灰含有汞，这些汞是之前被飞灰产生源头处即燃煤电厂中纤维过滤器或静电除尘器捕获的汞。2005年，据报道39家美国水泥厂经营者将270公吨飞灰混入用于水泥窑的原材料中。³⁰²

除这些原材料外，水泥窑还使用大量的燃料将原材料加热至高温。水泥窑中使用的燃料包括煤、天然气、垃圾填埋场废气和石油精炼火炬气。除了这些主要燃料外，可燃的废材料也经常送至窑中，包括废弃轮胎和有毒废物。³⁰³ 这些燃料也可能含有大量汞。垃圾填埋场废气可能尤其具问题性，因为它可能含有最初通过废弃含汞产品进入填埋场的汞。由于所有用于水泥窑的燃料可能都成为重要的汞源，所以需要更多关于这些燃料含汞量的信息。

这些混合的原材料通常含有飞灰，它们被送至窑中，可加热至1450°C。在这些高温条件下，原材料中的元素溶化，并与其它元素反应生成硅酸盐和其它化合物。水泥窑中产生的材料称为熟料，按重量计算，它含有三分之二或更多的硅酸钙。然后煤渣被碾成细粉末，这便是水泥的主要成分。³⁰⁴

³⁰¹ "Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Mercury and Mercury Compounds," Portland Cement Manufacturing, U.S. EPA, 1997, <http://www.epa.gov/ttnchie1/le/mercury.pdf>.

³⁰² "Cementing a Toxic Legacy?" Earthjustice Environmental Integrity Project, 上文所引。

³⁰³ 关于水泥窑的维基百科条目，http://en.wikipedia.org/wiki/Cement_kiln.

³⁰⁴ 同上。

当水泥窑升至高温时，原材料、燃料和飞灰中的汞便蒸发。空气污染控制设备可捕获水泥窑烟囱中一些汞，但仍有许多汞释放至大气中。

水泥窑污染物名单

水泥窑不仅释放汞和其化合物而且还释放许多其它污染物至大气中。水泥窑释放的主要污染物为温室气体二氧化碳。燃料燃烧和原材料中发生的反应都会产生二氧化碳。

其它水泥窑排放包括如下内容：

- 铅及其化合物
- 铬及其化合物
- 锰及其化合物
- 锌及其化合物
- 镍及其化合物
- 苯、乙苯、甲苯、二甲苯、乙二醇和甲基异丁基酮
- 多环芳烃碳氢化合物
- 二恶英、呋喃和多氯联苯
- 四氯乙烯和二氯甲烷
- 颗粒物排放
- 氮氧化物
- 二氧化硫和硫酸
- 一氧化碳
- 有机结合碳
- 气态无机氯化物如氯化氢
- 气态无机氟化合物^{305,306}

³⁰⁵同上。

³⁰⁶ "Taking Stock: 2003 North American Pollutant Releases and Transfers," Commission for Environmental Cooperation, July 2006, http://www.cec.org/Storage/60/5254_TS03_Overview_en.pdf.

2010年8月，美国环保署最终制定了新法规，将对所有美国水泥窑产生的汞排放进行控制。根据环保署的声明，当这些新规定于2013年充分实施时，美国水泥窑产生的汞排放将减少7.5公吨（1.66万磅）。这将减少目前排放水平的92%。³⁰⁷

该法规设定了水泥窑汞排放限值。在正常操作条件下，新建水泥厂的排放限值为每百万公吨生成熔渣中汞排放量为21磅（9.5千克）。现有厂的排放限值位每百万公吨生成熔渣中汞排放量为55磅（25千克）。经营者将被要求持续监测其汞排放以确保其符合排放限值。只有在执行这些关于汞排放限值的规定（并据推测已符合规定）后，这些新规定才会放宽对水泥窑中飞灰作为给料使用的限制。除了控制汞排放，这些新规定也将控制所有的碳氢化合物、颗粒物、酸性气体、二氧化硫和氮氧化物的水泥窑排放。³⁰⁸至少在德国和奥地利两国，持续监测水泥窑汞排放成为一项具有法律约束力的规定。³⁰⁹

美国环保署估计为了遵循水泥窑新规定，2013年新规定生效后，该行业每年将花费9.26亿至9.5亿美元。另外美国环

³⁰⁷ "EPA Sets First National Limits to Reduce Mercury and Other Toxic Emissions from Cement Plants," U.S. EPA press release, August 9, 2010, <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/e77fdd4f5afd88a3852576b3005a604f/ef62ba1cb3c8079b8525777a005af9a5!OpenDocument>

³⁰⁸ "National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from the Portland Cement Manufacturing Industry and Standards of Performance for Portland Cement Plants, U.S. EPA Final Rule, August 2010, http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr_notices/portland_cement_fr_080910.pdf.

³⁰⁹ "Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries," European Commission, May 2010, ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm_bref_0510.pdf.

保署估计该规定每年将产生 67 亿至 180 亿美元的健康和环境效益价值。³¹⁰

根据美国环保署制定的水泥窑新规定，可作出以下三点观察意见：

1. 大幅减少水泥窑汞排放具有技术可行性。
2. 减少水泥窑汞排放的相关成本非常大
3. 大幅减少水泥窑汞排放所取得的健康和环境效益其价值为减少排放的成本的 7 倍至 20 倍之多。

全球汞控制公约能够也应该促进和要求大幅削减水泥窑汞排放，包括要求持续监测汞排放和逐步严格的汞排放限值。然而，为了让其能被接受，这样的规定可能需要与向发展中国家和经济转型期国家提供充足的技术和财政援助的有效性紧密相连。

9.4 金属开采和提炼

汞及其化合物通常存在于金属生产所用的矿石中，有时其浓度相对高。根据联合国环境规划署所报告的排放估算，工业金矿生产（不包括手工作坊和小型金矿）占人为活动导致的全球汞排放量的 5%至 6%，开采和溶化除金矿以外的金属占总量比例的 10%。根据该报告，汞既不是故意用于开采或生产金属（除金外），在工业金矿开采中故意使用也不是普遍现象。因此，工业开采和提炼操作中汞的故意使用仅产生小部分的汞排放。³¹¹这说明在所有人为汞排放总量中，近 15%来自工业规模金属开采和提炼操作和设施所产生的非故意汞排放。

联合国环境规划署发布的“全球大气汞评估”报告说明导致开采汞释放的其中一个过程是含汞岩石在新暴露后的风化。但

³¹⁰ "EPA Sets First National Limits to Reduce Mercury and Other Toxic Emissions from Cement Plants," U.S. EPA press release, 上文所引。

³¹¹ "Global Atmospheric Mercury Assessment," UNEP, 上文所引。

该报告表示工业开采和提炼导致的主要汞排放源为含汞量高矿石的加工，尤其是在使用高温熔化或热焙烧条件下，加工这些金属矿石。该报告进一步表示熔炉上安装的空气污染控制装置阻止汞排放的方式与空气污染控制装置用于阻止燃煤电厂汞排放的方式相同。³¹²

金、银、铜、铅、锌和汞都往往存在于相同或类似的地质构造中，彼此混合。³¹³ 矿石中含汞量的差异程度很大。根据美国环保署的资料来源，美国的金矿石、锌矿石和铜矿石中含汞量范围通常分别为 0.1 ppm~1000 ppm、0.1 ppm~10 ppm 和 0.01 ppm~1 ppm。³¹⁴ 最近一项研究估计 2002 年至 2006 年，中国主要锌生产设施向大气的汞排放量为 81~104 公吨。³¹⁵ 另一项最近研究发现在中国，装配有污染控制设备如制酸厂和汞回收塔的现代规模生产设施能够大幅减少锌熔炉产生的汞排放。³¹⁶

与其它金属矿石相比，铁矿石的含汞量通常较少。例如，在进行铁矿石开采和加工的美国明尼苏达州，矿石中含汞量的

³¹² 同上。

³¹³ W. Charles Kerfoot et al., "Local, Regional, and Global Implications of Elemental Mercury in Metal (Copper, Silver, Gold, and Zinc) Ores," *Journal of Great Lakes Research*, 2004, http://www.bio.mtu.edu/faculty/kerfoot/jglr_hg_30_sup1_162-184.pdf.

³¹⁴ Alexis Cain, "Mercury Releases from Industrial Ore Processing," U.S. EPA, December 6, 2005, <http://www.epa.gov/bns/reports/stakesdec2005/mercury/Cain2.pdf>.

³¹⁵ Guanghui Li et al., "Mercury Emission to Atmosphere from Primary Zn Production in China," *Science of the Total Environment*, September 2010, http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V78-50KVG3K-3&_user=10&_coverDate=09%2F15%2F2010&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_user=10&_md5=685c0374da431ad9c9b8ebf3acf76710.

³¹⁶ S.X. Wang et al., "Estimating Mercury Emissions from a Zinc Smelter in Relation to China's Mercury Control Policies," *Environmental Pollution*, July 2010, http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VB5-50SSKM6-1&_user=10&_coverDate=08%2F15%2F2010&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_user=10&_md5=8622d6c12c9ef4a5b7ddc9995d345e9f.

检测发现汞浓度低至 0.001 ppm，高至 0.9 ppm，虽然多数经检测的矿石其汞浓度低于 0.32 ppm。铁矿石球团被加热进行处理，以在运往初级钢铁制造设施之前减少矿石中的杂质。据估计，明尼苏达州铁矿石每年产生的汞排放量为 300 千克~350 千克。³¹⁷

然而，在初级钢铁生产中，主要汞排放源并非矿石而是冶金焦炭。焦炭由煤制成，铁制造商用焦炭来减少矿石中的氧化铁，目的是将其转化为金属铁。初级钢铁生产产生的多数汞排放源自煤中的汞，当生产或使用焦炭时会释放。另一方面，二级钢生产不使用铁矿石或焦炭，相反，它通过报废钢如旧汽车和家电来生产钢。但是，二级钢生产会产生大量的汞排放，主要来自含汞开关或其它报废钢中通常含有的电子设备。

金属矿开采为汞污染的重大来源

联合国环境规划署发布的“全球大气汞评估”报告显示金属开采和提炼作业中所产生的全球大气汞排放多数源自熔炉和其它高温矿石提炼工艺，而非开采行为本身。然而，金属矿石开采直接导致的大气汞排放和其它汞污染可能被低估了。

随着该结论得出后，便进行了美国有毒物质释放清单（TRI）2008 年数据的审查，³¹⁸ 该清单囊括了美国 46 处金属矿石开采设施和 143 个熔炉和其它初级金属提炼设施所产生的汞及其化合物的释放和处置的数据。

³¹⁷ Michael E. Berndt, "Mercury and Mining in Minnesota," Minnesota Department of Natural Resources, 2003, http://files.dnr.state.mn.us/lands_minerals/mercuryandmining.pdf.

³¹⁸ 见 <http://www.epa.gov/triexplorer/>。

金属矿石开采数据来自主要从事开发采矿场所或开采金属矿物的所有美国企业，以及主要从事选矿（即准备）的企业，这个过程主要涉及矿石的粉碎、碾磨、清洗、干燥、烧结、精选、煅烧和过滤。

初级金属提炼的数据来自美国所有使用电冶和其它冶金工艺技术熔化或提炼矿石、生铁或废料中的黑色金属和有色金属的企业。³¹⁹

当考虑所列两类设施产生的汞及其化合物产生的大气排放报告数据时（包括点源大气排放和瞬间大气排放），熔化和提炼作业所报告的大气排放数据略高于金属矿石开采设施产生的大气排放数据。据报告，2008年美国金属熔化和提炼作业所产生的大气汞排放量为3.86公吨（8515磅）；2008年美国矿石开采作业产生的汞排放量为2.13公吨（4701磅）。

然而，当我们将以上所列两类设施产生的汞及其化合物的所有废物释放和废物迁移进行比较，情况便改变了。据报告，2008年所有美国金属熔炉和提炼设施产生的汞释放和迁移总量为10.06公吨（2.2174万磅）。另一方面，据报告，2008年所有美国矿石开采设施产生的汞释放和迁移总量为2486.24公吨（548.1215万磅）。换言之，所有美国金属矿石开采作业产生的汞释放和迁移总量几乎为2008年美国所有金属熔炉和提炼设施产生的汞废物和迁移总量的250倍。

这并不意味着金属熔炉和提炼机不是汞污染的重要来源，而仅仅说明金属矿石开采为环境中汞释放的重大但相对却经常被忽略的来源。

319

此为北美产业分类体系（NAICS）第2122和331号法规数据，美国人口局。200NAICS法规中的定义见<http://www.census.gov/eos/www/naics/>。

2008年美国采矿作业几乎向环境中排放了 2500 公吨汞及其化合物，几乎所有都留在了作业现场和释放至土地。所有的汞及其化合物都未送至认证的有害废物填埋场，近 10%送至未经有害废物认证的填埋场。大部分（近 90%）汞及其化合物仅作倾倒处理，据报告数量为 2205.22 公吨（486.1684 万磅）。对于此类废物处理技术的描述“除垃圾填埋外的就地土地处置，包括如废物堆和废物溢出或泄漏的处置等行为。”³²⁰

考虑到美国金属矿石开采仅占全球金属矿石开采总量的小部分且仅美国其一年（2008）倾倒在金属矿石开采场地的废物中所含的汞及其化合物含量便超过了 2200 公吨时，我们发现所有过去和现有金属矿石开采作业中所倾倒的全部开采废物中所含的汞及其化合物的全球总量一定极大。这些倾倒的废物持续受到风化或其它自然进程的影响，一定会导致开采废物倾倒处向大气和水的汞排放以及其它汞释放，这些排放量会很高但却未记录。

全球汞控制公约将需要强调有色金属和黑色金属开采和提炼作业两方面的大气汞排放和其它环境释放。

320

“就地土地处置”定义见<http://yosemite1.epa.gov/oiaa/explorers.fe.nsf/Doc1/Other+Disposal?OpenDocument>。

10 . 汞废物和受污染场地

只要是在产品或工艺中有意使用汞或其化合物，便会产生汞废物。燃烧化石燃料、许多采矿行为以及含汞矿石和矿物的高温处理也会产生汞废物。在许多地方，汞废物直接释放至当地土壤、水体和地下水，产生受汞污染的场地。

10.1 产品废物

在产品废弃后，含汞产品中许多汞会释放至环境中，当产品被焚烧时，汞释放至焚烧炉的烟气中：空气污染控制设备捕获一些汞，但剩余汞释放至大气中。空气污染控制设备捕获的汞有时也会随后释放至环境中。

当含汞产品被送至废物倾倒处或设计的垃圾填埋场时，许多汞会散逸至更为广大的环境中，汞散逸的一个重要途径时倾倒处和垃圾填埋场的燃火。但是，即使在没有火的情况下，倾倒处和垃圾填埋场的一些汞也会挥发而后进入大气。垃圾填埋场中溶性汞化合物回从填埋处释放，而后进入水系统。单质汞和汞化合物都会附着于土壤，会因洪水或其它情况从填埋处迁移至其它地方。

全球焚烧炉替代联盟（GAIA）和其它非政府组织网络开展的“汞政策项目”发布了一项名为“汞量上升：减少因燃烧加汞产品产生的全球排放”报告，该报告估计 2005 年，医疗废物焚烧、加汞产品焚烧、市政废水污泥（和含汞产品）焚烧、垃圾填埋场燃火和露天焚烧含汞产品的废物共向全球环境释放了 100~200 公吨汞。³²¹

³²¹ Peter Maxson, "Mercury Rising: Reducing Global Emissions from Burning Mercury-Added Products," for the Mercury Policy Project, February 2009, http://www.zeromercury.org/International_developments/FINAL_MercuryRising_Feb2009.pdf.

即使在无燃火状态下，含汞产品中的汞也会从倾倒地和垃圾填埋场释放。在通往垃圾填埋场的途中、从垃圾填埋场的工作面（活动部分）、垃圾填埋场废物处理操作过程和作为垃圾填埋场气体中的一种污染物时，这些产品会释放出汞。垃圾填埋场气体多数为甲烷和二氧化碳，它会被燃烧、利用为一种能源来源或直接排放至大气中。³²²

一项研究发现在 200 个用于将废物运往垃圾填埋场的垃圾箱中，20 个含汞量大于背景值 10 倍。在这些垃圾箱中，含汞量达到近 500 纳克/立方米。另一项研究测量了数个垃圾填埋场工作面逆风和顺风处的汞浓度，发现与逆风处汞浓度相比，顺风处汞浓度大幅升高——通常高出 30~40 倍。有些测量发现顺风处含汞量达到了 100 纳克/立方米。研究者还测量了垃圾填埋场气体中的含汞量，发现每立方米的浓度其范围为几百至几千纳克。³²³

一项关于中国一处垃圾填埋场的研究测量了垃圾填埋场气体的总气态汞（TGM），同时测量了垃圾填埋场气体中甲基汞和二甲基汞浓度。该研究发现在垃圾填埋场气体中总气态汞浓度近 665 纳克/立方米，甲基汞和二甲基汞的混合浓度为 11 纳克/立方米。该研究报告进一步说明汞直接从垃圾填埋场土壤中释放，但却未就此进行测量。³²⁴ 另一项中国研究发现垃圾填埋场气体中总气态汞浓度高达 1400 纳克/立方米，计算出从所研究的垃圾填埋场散逸的气体中每年的年均含汞量高达

³²² "Summary of Research on Mercury Emissions from Municipal Landfills," NEWMOA factsheet, 2009, <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/landfillfactsheet.cfm>.

³²³ 同上。

³²⁴ Xinbin Feng et al., "Landfill Is an Important Atmospheric Mercury Emission Source," *Chinese Science Bulletin*, 2004, <http://www.springerlink.com/content/t1k8j12r71k091r5/>.

3300 克。³²⁵ 毫无疑问的是，需要更多地测量经设计的垃圾填埋场和大型废物倾倒处产生的汞排放和释放。

根据联合国环境规划署 2005 年“汞供应、贸易和需求信息总结”的报告，估计产品中使用的汞量如下：³²⁶

2005 年产品用途之汞需求（公吨）

产品	低估值	高估值
电池	300	600
牙科用途	240	300
测量和控制设备	150	350
照明	100	150
电气和电子设备	150	350
其它	30	60
合计	970	1,810

自 2005 年，电池中汞使用已下降，但照明中汞使用却增加。然而，每年新产品中添加的汞量可能保持在 1000 公吨以上。

每个含汞产品的使用寿命都有时间限制，在使用过后，不是被废弃，便是部分或全部回收，进行循环再利用。遗憾的是，通常当电子垃圾被进行回收和循环利用处理时，含汞设备会破碎和/或被加热，这会向操作地和大气中释放汞烟雾。同时，废弃含汞产品中仅有小部分能够通过捕捉产品中的汞以防止其随后的环境释放这一方式得到负责任的管理。

³²⁵ Z.G. Li et al., "Emissions of Air-Borne Mercury from Five Municipal Solid Waste Landfills in Guiyang and Wuhan, China," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, <http://www.atmos-chem-phys.org/10/3353/2010/acp-10-3353-2010.pdf>.

³²⁶ "Summary of Supply, Trade and Demand," UNEP, 上文所引。

汞废物和受汞污染地方问题的长期解决方式是阻止、逐步淘汰含汞产品和工艺或者将其使用最小化，严格限制和控制非故意人为汞源。在此期间，需要更好地管理含汞废物。应制定法律规定生产或销售含汞产品的企业在产品使用废弃后将其收回，确保废弃材料能够通过将环境中的汞释放降至最小化的方式得到负责任的管理。尤其是，应制定措施以确保含汞产品在使用废弃后不会被焚烧或露天燃烧，不会被送至倾倒处或垃圾填埋场，从而可能受到填埋场火的影响，不会被送往无法对废物中汞进行正确管理的地方进行电子垃圾再加工。

10.2 汞加工和副产品废物

关于汞加工和副产品废物的相关信息，可参考本手册强调以下内容的章节：汞供应、小型金矿开采、水银电解氯碱厂、生产氯乙烯单体生产中汞催化剂的使用、燃煤电厂、水泥生产、工业规模金属开采和提炼以及其它部分。

有些工业金矿和锌矿开采和提炼作业会回收其副产品废物中的商品等级单质汞。有时也会从氯碱厂废物、氯乙烯单体生产中用过的催化剂中回收商品等级单质汞，在某些情况下，甚至通过小型金矿矿工和金业商人。回收的商品等级单质汞不是用于加工再利用，重新进入市场，便是撤出市场，安置在长期存储设施。

然而更多的情况是，使用汞和非故意产生汞废物的工业或其它工艺并不回收商品等级单质汞，通常在防止汞废物进入环境方面的工作不足。

10.3 土壤和水所含汞

一旦汞污染进入土壤或水中，所有可用于清理和修复的方式便非常昂贵，却不能达到完全满意的效果。在某些情况下，用于清理受污染土壤和水的方式仅仅是将汞转移至另一介质。

例如，一些技术促使汞从土壤或水中挥发至空气中。2007年，美国环保署发布了一份名为“土壤、废物和水中所含汞的处理技术”报告，描述了一些可利用的选择方案。³²⁷

该报告中使用的“土壤”一词包括了土壤（沙、淤泥、粘土和有机物的混合物）、残渣、淤泥、沉积物和其它固相环境介质。“废物”一词包括了工业产生的无害和有害固体废物。“水”一词包括地下水、饮用水、无害和有害工业废水、地表水、矿井排水和渗滤液。以下为美国可利用处理技术的总结：

土壤和废物处理技术

技术	说明
固化/ 稳定化	物理上将污染物结合于或封闭在一个稳定体中，化学上通过将污染物转化为具更少溶解性、移动性和有毒性的形式来减少有害潜在物。
土壤清洗/ 酸萃取	使用某些污染物优先吸收住土壤细微部分的原则。土壤悬浮于水溶液中，细微物从悬浮液中分离，从而减少剩余土壤中的污染浓度。酸萃取使用一种萃取化学药品，例如盐酸或硫酸。
热解吸/ 干馏	使用热和降低的压力，从而挥发受污染介质中的汞，随后通过冷凝将汞蒸气转化为液体单质汞。尾气可能要求通过另外的空气污染控制设备如碳装置进行进一步处理。
玻璃化	高温处理：通过将金属纳入一个化学耐用、耐浸、玻璃体中以减少金属的移动性。该工艺也可能导致污染物挥发，从而减少其在土壤和废物中的浓度。

³²⁷ "Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste, and Water," U.S. EPA Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 上文所引。

该报告说明固化/稳定化工艺为美国用于处理受汞污染的土壤和废物最常用的技术。固化/稳定化(S/S)为商业应用技术，曾用于满足规定的清洁水平。除固化/稳定化外，该报告中所列用于处理受汞污染土壤和废物的技术的使用不及固化/稳定化技术频繁，通常仅用于具体的应用或土壤类型。

该报告的作者们没有提供使用固化/稳定化技术处理的含汞土壤和废物的长期稳定性，他们指出缺乏提供该信息所需的必要数据。

我们当然需要更多的信息，不仅是关于使用固化/稳定化技术处理的汞废物的稳定性，而且更普遍的是，关于与所有汞废物处理技术相关的残留物中含汞量长期来看的最终去处。随着时间的推移，这些残留物会向大气释放汞尾气，这依然为人所担忧。同时仍值得关注的是这些残留物释放的汞进入环境所通过的其它途径。

水处理技术

技术	说明
沉淀/共沉淀	使用化学添加剂 (a) 将溶解的污染物转化为不溶性固体，或 (b) 形成不溶性固体，溶解的污染物能够吸附于上面。然后，通过净化或过滤，这种不溶性固体得以从液相中去除。
吸附	浓缩在吸附剂表面的溶质，从而减少它们在本体液相中的浓度。吸附介质通常被装进一个柱子里。当受污染水通过柱子时，便吸收了污染物。
膜过滤	通过让水通过半渗透屏障或膜，将污染物和水分离。该膜能让一些成分通过，同时阻止其它成分。
生物处理	使用微生物，这些微生物直接作用于污染物种类或创造让污染物从土壤中浸出或从水中沉淀/共沉淀的环境条件。

在以上描述的水处理技术中，沉淀/共沉淀为美国最为常见用于处理汞污染水的工艺。通常，水特性的改变如其酸度(pH)或汞化学特性的改变(从 Hg^{2+} 转化为 Hg^0)能够获取更好去除率。与其它所列的水处理技术相比，这项技术的成效较少受到介质和污染物特性的影响。

当汞为唯一需要处理的污染物时，针对相对较小系统往往使用吸附技术，对于较大系统排放污水而言，它被视为一项抛光技术。膜过滤使用较少，因为它往往比其它汞处理技术产生大量的残留物。生物修复对于试点规模研究而言有限。

10.4 单质汞的长期存储

本手册“汞供应”部分提及欧盟和美国已通过了将禁止单质汞出口的法律法规。在某些情况下，这要求长期的汞管理和存储；在其它情况下，这要求对人体健康和环境安全的汞处置。欧盟法规将所有从水银电解氯碱厂回收的汞和从有色金属开采和冶炼操作以及天然气清洁中回收的汞列为废物类。这意味着在欧盟国家，这些来源产生的商业等级单质汞不能进行出售和使用，相反，必须进行处置。

在美国，出口禁令将意味着需求范围之外的商业等级单质汞的所有供应都需要进行存储。美国汞供应持续来源包括氯碱厂改建或关闭回收的汞、作为金矿开采和某些有色金属提炼副产品回收的汞、产品收集计划回收的汞和其它循环再利用汞。

根据联合国环境规划署评估报告，在拉美和加勒比海地区，开采作业产生副产品汞的不断捕获和汞替代品的不断使用将导致该地区多余的汞。该地区的各国政府认识到必须妥善地

管理多余的汞，将其存储以防止再次进入全球市场。这些政府考虑确定汞优先的环境友好存储解决方案。³²⁸

虽然其它地区如亚洲目前没有显示出汞供大于求的现象。但据预计，在通过全球汞控制公约和其规定生效后，这种情况会改变。因此，预计所有地区将需要使方案到位，以去除市场上过多的汞供应，从而防止过多低廉汞的不当使用，尤其是汞使用立法规定难以生效的部门，例如小型金矿。³²⁹

在有些国家如美国，汞存储的首选方法是地面监控存储。例如，美国军方拥有一个大型的存储处，汞存储于 76 磅的瓶中。这些瓶相应地被密封在不透气的 30 加仑的圆桶中。每个圆桶有 6 个瓶子，每个托板上有 5 个圆桶。在圆桶内，瓶子被分别密封在塑料袋里，由间隔物分开，放在具吸收性的垫子上，该垫子兼做缓冲材料。圆桶放在密封层木制托板的托盘上。为了利于检查和空气监测，这些托板不相叠。³³⁰ 只需符合以下条件，该方式可能足以防止汞从仓库散逸：有足够的维修和检测；仓库不易受到自然灾害的影响，如地震、洪水、气旋风；仓库所在地非战争地带。美国现用的汞存储方法包括存储于吨瓶和塑料瓶中。

欧盟法规呼吁永久或暂时将单质汞存储于适合金属汞处置的盐矿中，或在确定安全和封闭程度与盐矿程度相当条件下，存储于地底深处硬岩层。法规还允许汞在地面上设施临时

³²⁸ "Assessment Report: Excess Mercury Supply in Latin America and the Caribbean, 2010-2050," UNEP Chemicals, July 2009,

http://www.chem.unep.ch/mercury/storage/main_page.htm.

³²⁹ "Development of Options, Analysis and Pre-Feasibility Study for the Long Term Storage of Mercury in Asia and the Pacific," UNEP, February 2010,

http://www.chem.unep.ch/mercury/storage/main_page.htm.

³³⁰ "Background Paper for Stakeholder Panel to Address Options for Managing U.S. Non-Federal Supplies of Commodity-Grade Mercury," U.S. EPA, March 2007,

<http://www.epa.gov/mercury/stocks/backgroundpaper.pdf>.

存储的时间可超过一年，这些设施的装配专门用于金属汞的临时存储。³³¹

对于盐矿中的汞存储，欧盟法规规定废物周边的岩石应作为废物封装的主岩。存储地点必须位于覆盖层不透性岩石层和底层不透性岩石层之间，以防止地下水进入以及液体和气体散逸。操作时，轴和钻孔必须封闭，操作完毕后，必须密封性关闭。如果采矿处正在进行矿产开采，处置的地区必须使用液压防渗坝进行封闭。操作时必须确保主岩的稳定性，必须确保地质屏障无限期的完整性。³³²

欧盟法规还允许硬岩层的汞存储。此被定义为几百米深硬岩石组成的地下存储区，包括各种火成岩如花岗岩或片麻岩、沉积岩如石灰石和砂岩。只要确定这些设施的安全和密封程度与盐矿的程度相等，便可以在这些设施里临时或永久存储汞。其它条件也适用，处置设施必须适合金属汞的处置。必须防止汞向地下水释放和汞蒸气排放。该地方必须能防止气体和液体渗透，其施工必须允许未来维修操作。应该允许废物回收和未来改良措施的实施。应该具有达数千年的长期稳定性。存储地必须位于地下水位面之下，以避免污染物向地下水的直接排放。³³³

其它国家和地区正在考虑长期存储单质汞的方法。

³³¹ "Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury," European Commission, April 2010, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf.

³³² 同上。

³³³ 同上。

联合国环境规划署提供了一份草案纲要报告，并于 2010 年 4 月提交于拉丁美洲和加勒比海地区国家的地区会议，³³⁴ 根据该报告，针对地面上特殊设计仓库的要求包括以下内容：

- 地点必须为不易受到地震、飓风和洪水影响的地方。
- 应考虑一个以上地区。
- 气候干燥地区优先。
- 地点应远离水池或人口集中地区。
- 装汞容器应远离地下水。
- 在包装、装卸、国内运输和温度控制时应防止蒸气排放。
- 应避免地点受地下水和地表水污染。
- 地点应靠近马路或交通基础设施。
- 各个计划应到位，以防止风险和事故。
- 存储应具可逆性。
- 各系统应到位，对空气、防漏、工人血液和尿液进行监测。
- 应对设施进行排放控制。
- 该设施应能对汞蒸气进行永久监测，其敏感度能确保不超过含汞量为 0.02 毫克/立方米的指示性限值。
- 该设施应具有防止和控制溢出的方案。
- 需建立包装标准。
- 建筑物应有防汞密封层，应倾斜于收集贮槽。
- 设施应具有足够的安全措施。
- 不应将汞和其它废物一起存放。
- 每年应进行维修检查和校准监测系统。

³³⁴ "Draft Annotated Outline: Developments of Options Analysis and Feasibility Study for the Long Term Storage of Mercury in Latin America and the Caribbean," UNEP, 2010, http://www.chem.unep.ch/Mercury/storage/LAC_Docs/First%20%20Draft%20report%20feasibility%20study%20Hg%20storage%20LAC%20project%2005-04-10%20parcial.doc

- 应定期对设施进行独立审计。

欧盟专家另外表示，在采取上述地面上存储情况下，仍有汞存留于生物圈中。同时，他们还指出这种存储方式的安全性取决于政治稳定性，上述地面上存储可能不宜为永久解决方案。

该起草报告还讨论了地下处置。地下处置的主要考虑是将废物与地质层的生物圈隔离，在此处预计能保持长时间的稳定。这是地下深处最好的方法。在放于矿内之前，将汞放置于容器中。通过另外设计的屏障和主岩提供的天然屏障，容器能够防止汞泄露和隔离汞。该起草报告说明用于地下处置最常见的岩石或土壤类型包括粘土和盐以及硬岩浆岩、变质岩和火山岩如花岗岩、片麻岩、玄武岩或凝灰岩。深度取决于使用层的类型和覆盖层的隔离能力。

该起草报告确定了关于老矿区地下废物存储的一些要求（不是所有的都相互兼容）

- 应为矿内可利用、未经使用的采掘区，该地区应远离开采密集区并能进行封闭。
- 应保持洞口敞开，矿山经营者没有回填的义务。
- 即使在很长一段时间后，必须保证挖掘洞口稳定和易入。
- 矿必须保持干燥和无水。
- 废物存储洞必须封闭，远离含水层。
- 为了提高安全性和简化汞处理，应将汞稳定化，即进行化学处理，将单质汞转化为硫化汞。
- 汞纯度应在 99.9% 以上，因为杂质会导致水溶性的增加。
- 在汞附近，不应含有氧化剂。
- 由于汞具有很高的蒸气压，设施需要良好的处理和通风系统。

- 废物验收标准将取决于当地法律框架。³³⁵

一次亚洲区域会议也审查了长期汞存储的方案。几家亚洲机构和组织为本次会议筹备的报告考虑了以下三方案：地面上尤其是精心设计的仓库；地下地质层如盐矿和特殊岩石层；出口至国外设施。该报告的作者得出结论，长期汞管理的重要要求是：干燥的大气条件；政治、财政和经济稳定性；安全性；适当的基础设施；和环境安全。³³⁶

报告的作者们建议汞存储设施的建立应联手努力建立富含汞的废物的处理设施。他们提出这将花费大量成本，需要建立特殊机制解决资金成本和法律两方面问题。

亚洲报告的作者们建议拥有沙漠和稳定社会政治环境的国家应考虑主持建立一个地面上存储设施。然而，他们建议亚洲国家不应追求使用地下地质层来存储汞，因为其成本很高且缺乏合适的地址。作者们建议没有沙漠和不具备潜在稳定条件的国家将汞和富含汞的废物出口至拥有安全长期汞存储设施的国家。³³⁷

随着建立全球汞公约谈判的进展，仍将持续讨论如何建立针对多余汞的长期存储设施和/或永久处置设施，认识到在新公约实施及其规定生效后，所有区域对于这些设施的需求将增加。

³³⁵ 同上。

³³⁶ "Development of Options, Analysis and Pre-Feasibility Study for the Long Term Storage of Mercury in Asia and the Pacific," UNEP, 上文所引。

³³⁷ 同上。

11. 建立全球汞控制公约

2009年2月，联合国环境规划署理事会(GC)在肯尼亚内罗毕召开会议，来自150个国家的代表出席，同意成立一个政府间委员会对具法律效力的全球汞控制公约条款进行谈判。理事会进一步同意应于2010年开始就公约文本进行政府间谈判，目的是完成谈判并于2013召开的外交会议上通过公约。

338

关于采取国际行动控制汞污染必要性的政府间争论于很早便开始了。2000年，在美国阿拉斯加州巴罗召开的北极理事会第二届部长级会议讨论了该事宜。北极理事会为政府间论坛，其成员是北极周边八国政府。在巴罗会议上，政府代表们同意八个北极周边国将就北极地区重要的环境事宜紧密协作。各国指出汞释放对于人体健康造成有害影响，会损害具有环境和经济重要性的生态系统，包括在北极地区。为了解决这些担忧，北极理事会呼吁联合国环境规划署开展一项全球汞评估，以此作为采取正确国际行动的基础。同时，理事会表示北极周边国会积极参与评估。³³⁹

11.1 全球汞评估报告

为了回应北极理事会的该要求，联合国环境规划署准备了其“全球汞评估报告”，并于2002年12月发布。³⁴⁰该报告的重要发现如下：

³³⁸ United Nations Environment Programme, Report of the Governing Council, Twenty-Fifth Session, Decision 25/5 Chemicals management, including mercury, <http://www.unep.org/gc/gc25/>.

³³⁹ "Barrow Declaration on the Occasion of the Second Ministerial Meeting of the Arctic Council," http://arctic-council.npolar.no/Meetings/Ministerial/2000/bar_decl.pdf.

³⁴⁰ "Global Mercury Assessment Report," UNEP, <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20Assessment%20report.htm>.

- **汞广泛存在于环境中。**自工业时代开始，环境中汞水平大幅增加，如今，汞存在于全球各种环境介质和食物中（尤其是鱼类），其程度对人体和野生动物造成不利影响。
- **汞具有持久性和全球循环性。**在环境中，汞在空气、水、沉积物、土壤和各种形式生物群之间进行循环。目前的汞排放增加了全球总汞量，全球汞不断被调动、沉积在土地和水中，然后再被调动。环境中的汞会转化为甲基汞，它能够在有机物中累积（生物蓄积），当进入食物链中，开始聚集（生物放大）。鱼体内几乎所有的汞都是甲基汞。
- **汞暴露具有严重影响。**汞对人体健康和全球环境造成各种严重的不利影响。人体汞暴露来源可能为鱼类食用、职业或家庭使用、牙科用汞合金和含汞疫苗。有些人群极易受到汞暴露，最为明显的是胎儿、新生儿和幼童。摄入大量受汞污染鱼或哺乳动物的土著居民和其他人群以及暴露于汞的工人面临风险。在世界许多地方，鱼类是人们日常饮食的重要组成部分，它提供的营养成分通常是其它替代食物源无法提供的。汞污染给该类食物供应造成了重大威胁。有些生态系统和野生动物群体也易受到伤害，包括食鱼的鸟类和哺乳动物、北极生物系统、湿地、热带生物系统、土壤微生物群落。
- **对汞污染控制的干预可成功实现。**可以通过一系列国家、区域和全球层面上减少汞使用、释放和暴露的行动解决汞污染。
- **由于地方和区域行动其自身的不足性，因此需要采取全球行动。**由于汞具有长距离迁移性，即使是汞释放量最小的国家也会遭受不利影响。在远离任何一种重要释放源的北极地区，发现了高浓度的汞。国际水域中的鱼通常会迁徙至偏远和不同地方，当商品鱼被收获后，通常会被出口至

远离其初产地的遥远的其它国家。这使得汞污染成为一个真正意义上全球问题，它影响着全球渔业和鱼类消费者。

- **在欠发达地区，也许汞问题为尤为重要问题。**作为对汞危害意识不断增长的回应，许多发达国家已大幅削减了汞使用，在多数使用中，具有竞争力的替代品已可做商业用途。这降低了按汞供应而定的汞需求，从而保持低汞价。相应地，这鼓励了汞使用的持续和增加，使得欠发达地区的汞技术过时。毫不奇怪的是，这些国家正遭受着不成比例的与汞相关的健康和环境风险。³⁴¹

联合国环境规划署“全球汞评估”报告的最后一章审查了解决汞污染的全球不利影响的选项。其中一项为启动具有法律约束力的汞控制公约的谈判。³⁴²

11.2 汞控制公约谈判决议

2003 至 2009 年，在联合国环境规划署理事会两年一度的会议中，每次都会讨论有关汞的国际行动事宜。对于建立一项全球汞控制公约的支持不断增长。2009 年，参加联合国环境规划署理事会的各国政府通过了第 25/5 号决议，他们同意启动关于一项具有法律约束力的全球汞控制公约的谈判。³⁴³

第 25/5 号决议认识到由于汞具有大气长距离迁移性、环境持久性和生态系统生物蓄积性以及其对人类健康和环境的重要负面影响，它已成为全球关注的化学物质。在决议中，各国政府同意该公约可纳入约束和自愿的方式以及临时行动，以减少人体健康和环境的风险。同时，还同意一些公约义务，规定

³⁴¹ 同上，Summary of Key Findings。

³⁴² 同上，第 11 章。

³⁴³ Proceedings of the Governing Council/Global Ministerial Environment Forum at Its Twenty-Fifth Session, <http://www.unep.org/gc/gc25/Docs/Proceeding-FINAL.pdf>.

对发展中国家和经济转型期国家进行能力建设以及技术和资金援助。该决议具体说明公约应包括以下规定：

- a) 确定公约目标
- b) 减少汞供应和提高环境友好汞存储的能力
- c) 减少产品和工艺中的汞需求
- d) 减少国际汞贸易
- e) 减少大气汞排放
- f) 解决含汞废物和受污染场地的整治
- g) 通过提高认识和科学信息交流增进知识
- h) 提供能力建设以及技术和资金援助的安排应具体化
- i) 强调一致性³⁴⁴

在第 25 /5 号决议中，各国政府还同意不仅政府和区域经济一体化组织能参与政府间谈判委员会，该委员会还应对符合联合国规章的相关政府间和非政府组织公开。

最后，在第 25 /5 号决议中，各国政府同意无需等到汞公约谈判进程结束后才开始国际行动，而应在以下领域继续行动：

- a) 提高汞存储能力
- b) 减少例如源自初级汞开采的汞供应
- c) 在重点国家开展提高意识和试点项目，以减少在手工作坊和小型金矿开采中的汞使用
- d) 减少产品和工艺中的汞使用，提高无汞替代品的意识
- e) 提供最佳可行技术和最佳环境技术、以汞为基础的工艺向无汞工艺转化方面的信息
- f) 加强国家汞清单的发展
- g) 提高公众意识和支持风险方面的沟通
- h) 提供健全汞管理的信息

³⁴⁴ 同上。

12. 有效的全球汞控制公约之谈判

应及时确保就具综合性、坚决性和有效性的全球汞控制公约达成国际协议，如联合国环境规划署理事会所呼吁的于2013年前达成最终商定的文本。然而，要实现该目标，非政府组织和其它公民社会组织扮演着重要的角色。需要非政府组织在本国协助建立汞意识以支持一项强有力和有效的全球公约。非政府组织也可积极影响参与谈判进程的政府代表。

随着各国政府开展全球汞控制公约的谈判，对于公民社会组织和其它组织而言，重要的是应谨记有效的全球汞公约的主要受益方为全世界视鱼类和贝壳类为日常饮食重要构成部分的数十亿人口，尤其是发展中国家和经济转型期国家居民、小岛屿国居民和土著居民。对于这其中的许多人而言，通过严格限制鱼类食物中汞消费来避免有害汞暴露不是一种可行的选择。在这些人群中，儿童在出生前便开始遭受汞暴露，由此受到损害。他们遭受终生神经功能缺损，降低其生活质量。这些日常饮食中依靠鱼类的人们需要协调一致的全球努力，从而大幅降低甲基汞含量。那些依靠鱼类的最不发达国家的政府、小岛屿发展中国家和代表大量人口的其它政府应被视为公约谈判中重要的潜在盟友。欲实现强有力且有效的全球汞控制公约，将需要他们的积极支持和参与。

同时，还应谨记有些全球汞污染的最大来源将很难得以控制。一些国家出台各种计划，大力增加发电，将其视为本国发展战略和减贫计划的重要内容。尽管燃煤电厂为汞污染和温室气体排放的最大来源，然而已经到位的计划使得数个国家至少在短期内仍将持续建造许多燃煤电厂。手工作坊和小型金矿数量也在增长，针对该部门实现汞释放大幅削减的措施其实施难度大、成本高。这说明尽管各国政府已达成协议就全球汞控制公约进行谈判，全球大气汞污染仍可能增长。

可以预见数个国家政府将强烈抵制能够真正在全球范围大量削减源自燃煤电厂和一些其它非故意来源汞排放的公约措施的提议。也可以预见许多国家政府将强烈抵制能确保调动足够的财政和技术资源以使发展中国家和经济转型期国家能够在不削弱国家减贫计划和目标的情况下有效实施必要汞控制措施的公约措施的提议。然而，如果公约仅仅包括控制最大汞源的自愿协议，汞公约谈判将不应视为成功。成功的汞公约谈判应包括控制电厂和其它重要来源的具有法律约束力的措施以及调动充分财政和技术资源以促使公约在发展中世界有效实施的协议。该公约也需要包括以下方面的措施：控制汞供应、需求和贸易；淘汰含汞产品的生产、销售和进出口；解决汞废物和受污染场地。

虽然就控制较大的全球汞源如电厂、小型金矿和其它来源方面而言，如果无法就具法律约束力措施的必要性达成妥协，将产生重要的影响，但也许在以下两方面存在谈判空间：针对具有法律约束力措施设定阶段性日程；以及发展中国家实施具有约束力措施的义务和提供充分技术和财政援助的可行性之间的联系。另外，尽管将电厂和一些其它汞排放源需强制使用最佳可行技术（BAT）纳入公约规定非常重要，但可能无需公约文本中关于最佳可行技术规定的所有重要细节。相反，纳入公约最佳可行技术规定的通用语以及公约文本规定建立专家组制定详细的最佳可行技术指南和实施计划的要求可能即可。专家组为新公约缔约方大会的附属机构，其成员构成将由缔约方大会通过，主要职责是将缔约方大会提出建议，在缔约方大会批准后，其建议方能生效。

为了在设定的时间框架内确保强有力且综合性的汞控制公约，将需要技术性的谈判和强大的公民社会。但我们有理由对其实现持乐观态度。

13. IPEN 关于全球汞公约之见解

通过其重金属工作组、指导委员会和全球大会，国际 POPs 消除网络（IPEN）已通过了一项政策文件“IPEN 关于全球汞公约之见解”，阐明了其观点。³⁴⁵

国际消除 POPs 网络赞成为了保护人体健康和生态系统，该公约应：

- 如其目标所示，在可行的情况下通过消除人为来源和汞释放以保护人体健康、野生动植物和环境免受汞危害
- 尤其应认识到易受害人群，如儿童、育龄女性、土著居民、北极群体、岛屿国和沿海地区居民、渔民、小型金矿矿工、穷人、工人和其他人群
- 具有广泛的涵盖范围，强调整个汞生命周期
- 目的是控制向环境释放大量汞的所有人为汞源和所有人类活动
- 建立一项资金充足和可预见性的财政机制，向发展中国家和经济转型期国家提供新增和额外资源，使其能够在不削弱本国减贫目标的情况下，履行公约义务
- 使用以消除为基础的控制措施，这些措施受限于逐步淘汰含有或使用汞的所有产品和工艺中可能出现的有限且有时间限制的豁免，在此期间，对于剩余产品和工艺建立标准和实行控制
- 减少和最大限度降低汞全球商业需求
- 通过以下方式减少全球汞供应：禁止初级汞开采；对现存汞库存和所有从氯碱厂回收的汞强制执行永久、安全和监控存储；限制对剩余来源产生的汞进行贸易
- 有效控制汞和含汞产品的国际贸易

³⁴⁵ 见<http://www.ipen.org/hgfree>.

- 对含汞及其化合物的废物管理强制执行环境友好解决方案，包括防止汞进入市政、医疗和工业废物流的措施
- 解决现存受汞污染地方的整治和回收问题
- 加快淘汰医疗部门的汞使用
- 推进牙科用汞合金使用的替代品，目标是永久消除该用途
- 禁止含汞农药
- 针对燃煤电厂、水泥窑和其它向环境中释放汞的燃烧工艺，建立最佳可行技术（BAT），商定其逐步应用的日程，目标是在好替代品可行、可利用和可负担的情况下，逐步淘汰这些来源中的任一来源
- 促进使用可再生替代能源，将其用作向环境中释放汞的燃煤电厂的替代品
- 研究有效措施，削减和消除（可行的情况下）金矿中的汞使用
- 最大程度的减少实验室、学校和其它机构中的汞使用；禁止不当使用；纳入汞毒性以及处理学校课程安排所需汞的适当技术方面的信息
- 禁止汞的新增使用
- 促进可持续性、无毒性替代品的研究和发展，以替代含汞或使用汞的产品和工艺，尤其强调解决发展中国家和经济转型期国家的需求
- 确保发展中国家和经济转型期国家不成为汞废物和多余汞供应的倾倒地
- 建立能力建设和技术转让机制
- 要求各方建立和实施国家或区域公约实施计划；将汞供应、来源、废物和受污染处的清单纳入计划
- 确保公民社会积极参与公约的制定和实施，包括参与国家或区域实施计划的制定和实施
- 建立机制以提高、提供和交换以下内容的知识和信息
 - 汞排放、供应和使用
 - 人体和环境汞暴露
 - 环境监测数据

- 汞使用、排放和控制的社会经济影响
- 产品、工艺和其它来源中汞的替代品
- 确保定期更新关于汞的所有科学信息，公众可利用并轻易获取这些信息，确保信息的及时性以及使用适当的格式和语言。
- 建立报告机制，要求缔约方定期更新国家汞清单和汇报其在执行国家或区域实施计划和公约义务方面的进程
- 建立评估公约效力机制，包括环境和人体中汞的全球监测
- 建立和维持全球鱼类监测网络，以评估削减流通于全球环境中汞量的进程，收集有益于政府健康机构针对食鱼人群执行有效的风险沟通和的推广战略方面的必要信息
- 建立有效和可执行的公约遵守规定

除以上所建议的公约规定外，国际 POPs 消除网络另赞成以下其它考虑：

- 汞源的削减和消除应迅速、有序和公证。规定内容可在一定时间内分阶段实现，但不应存在不必要的延误。
- 不应延误削减和消除汞源和汞供应的重要国际行动，不应等至通过全球汞公约和公约生效后。反之，应立即开展具有充足资助的国际汞控制项目。应具备在所有地区进行广泛环境监测的资源，以建立基线和扩大区域相关信息的可利用性。
- 由于汞此全球问题影响世界所有地区，因此所有国家在全球汞公约的谈判和实施上都扮演着重要角色。
- 汞公约及其实施应与其它相关国际文书互补，包括《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》、《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》、《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》、《国际化学品管理战略方针》和其它文书。应发展与这些文书适当的协同作用。

- 汞公约应包括使其内容能够在未来进行扩充从而也对其它有毒金属如铅和镉或者引起类似全球关注的其它污染物进行控制的规定，且不失汞公约的强硬性。
- 所有国家应尽其所能努力实施公约。
- 发达国家应承诺提供充分的新增和额外的财政资源和技术援助，充分地使发展中国家和经济转型期国家履行其公约义务。该公约应规定缔约方大会应审查以下内容：资助程度是否充分、受助方是否有效使用资金以及所采取的行动的结果是否与公约规定相符。
- 公约谈判进程应公开透明。应规定相关的非政府组织和其它公众利益相关方能进行重要参与。
- 汞相关的淘汰转型应通过一个具有计划性和有序性的体制得以推进，该体制旨在将经济和社会成本降至最低，避免中断和混乱。在某些情况下，也许需要向目前依靠向环境中释放汞的活动来维持生计的工人或群体这些特殊群体提供转型援助和/或其它援助。
- 在可能的情况下，汞相关的淘汰和清理责任应与污染者付费原则一致，有责任方应分担成本，尤其应注意私营部门。
- 汞行动应与预防原则一致，应依靠证据权重法，尤其应考虑胎儿、儿童和其它易受害人群的风险。
- 公约应包括《里约宣言》的其它相关原则，包括：发展权（3），发展进程中的环境保护（4），消除贫困（5），最不发达地区的优先权（6），可持续发展的能力建设（9），公众参与（10），污染和其它环境损害受害者的赔偿（13），防止环境倾倒的国家合作（14），环境成本内化（16），妇女拥有重要角色（20），土著居民拥有重要角色（22），和其它。
- 公约实施的监测和监督以及资金筹措应由向公众负责的独立机构进行。

- 专门设施的网络以及区域专门中心的建立应面向含汞废物的收集和管理提供援助。应禁止这些废物于垃圾填埋场和固废倾倒处的处置方式。应建立统一系统，对其收集、运输和处理进行登记和报告。
- 应建立汞的信息交换所机制，应提供相关汞信息的直接通道，纳入关于以下其它内容的信息：实际做法、科学和技术信息和其它能帮助促成有效科学、技术和资金合作以及能力建设的信息。应将公民社会团体视为信息交换所的合作伙伴和重要信息来源。
- 应特别关注小型手工金矿矿工。应促使他们能获取有效且适宜的技术，最大程度的降低汞使用，在可行的情况下，避免汞使用。在经证明显示不切实可行的情况下，公约应促进援助他们确保替代生计项目的建立。
- 该公约应包括促进公众利益、健康和环境利益相关方有效参与公约实施的规定。
- 公约应提供公众信息、意识和教育，尤其是妇女、儿童、工人、小型金矿矿工、穷人、边缘人群和受教育程度最低者。同时也应面向土著居民、北极居民群体、岛国居民、沿海地区居民、渔民和依赖鱼类或其它受汞污染食物获取营养的其它人群。
- 根据需要，应支持关于扩大以下内容的新研究：汞源和汞流向偏远地区的迁移机制。公众应能及时获取政府和个体相关部门关于汞危害、汞来源及含汞产品替代品的数据。
- 还应支持以下内容的新研究：针对含汞产品、依赖汞的工业生产工艺以及其它向环境释放汞的活动开发有效、无毒和经济的替代品。
- 应建立机制，以确认、管理和补救汞污染地区。可以包括对受影响工人及社区的适当补偿。
- 公约应号召缔约方充分重视在建设堤坝和遭遇洪水时，土壤中汞转化为甲基汞所导致的重大健康和环境影响。
- 敏感的检测技术和方法应能便捷地用于鉴定环境介质、食物和人群所遭受的汞污染。

14 结论

数十年来，汞污染会对人体健康和环境造成严重危害这一事实早已为人所知。直至最近，各国政府仍对许多将汞污染降至最低的控制措施有所抵制，如今有望改观。

对于地区性、国家性和全球性汞污染造成的危害不断增长的公众关注度和扩大的科学认识使得许多政府开始采取重要行动，以控制大气汞排放和其它环境汞释放。各国开始针对全球汞控制公约进行谈判，该决议使得非政府组织和其它组织更容易和切实相关地采取行动，解决地方性、国家性、区域性和全球性问题和担忧。对于那些汞问题早已确立为国家环境和政治议程部分内容的国家而言，是如此，对于那些现在刚开始关注汞污染的国家 and 地区来说，也越是如此。

对于以保护公众健康或环境为使命的非政府组织和其它公民社会组织而言，这既是个机遇，又是份责任。同时也为代表受影响选民的组织创造了机遇和提出了责任，这些受影响选民包括将鱼类视为其日常饮食重要组成部分的人们、居住于汞污染设施附近的社群、受到汞暴露的工人和许多其他人群。在目前的政治气候下，针对汞相关问题采取行动会取得很大成功和产生巨大影响。最后，全球汞控制公约谈判期间和其后各国政府考虑批准公约和实施公约时，关于汞污染的公众意识会大大影响他们的行动决策。

汞污染的全球性突显了非政府组织和其它公民社会组织携手开展全球行动以寻求解决方案的重要性。国际消除 POPs 网络 (IPEN) 致力于建设和加强该行动。

IPEN感谢瑞典环保局和瑞士联邦环境办公室和其它IPEN的资助方为本手册提供资助。文中所表达的观点并非必为IPEN资助方的见解。



www.ipen.org/hgfree

IPEN的清汞行动

全球汞污染对人体健康和环境造成危害，其程度令人震惊，面临着对此不断增长的认识，IPEN开展了清汞行动。该行动旨在促进全世界所有区域的全国性和当地非政府组织及公民社会开展行动，从而：

- 提高汞污染和暴露危害的公众意识
- 开展有目标的行动，旨在消除或更好地控制汞污染和暴露的来源
- 促进无汞替代品
- 为政府官员、政治领导人士和意见领袖就通过和执行国家汞控制法律和政策构建支持
- 为通过和国家批准强有力且综合性的全球汞控制条约构建公众和政治支持



working together for a toxics-free future

www.ipen.org • ipen@ipen.org