

零汞行动——概况

执行摘要

目录

第 1 章 简介

- 汞天然存在于环境中，以大量形态出现。最为人们熟知的就是它的元素形式，一种有光泽的银白金属——在室温下呈液态。如果未被密封，室温下，金属汞会蒸发形成汞蒸汽。汞蒸汽无色无味。在更高的温度下，液态金属汞中会排放出更多蒸汽（UNEP 2002）。
- 汞是一种重金属，是地球的组成元素，在地壳中的平均含量约 0.05 mg/kg，具有显著的地域差异。汞还以极低的水平存在于整个生物圈内。植物对汞的吸收也许可以说明汞出现在化石燃料如煤炭、石油、天然气中的原因，因为我们通常认为这些燃料是由组织残余经由地质转换形成的（UNEP 2002）。
- 元素汞为人们所知已经几千年了，它作为唯一的一种液态金属一直很吸引人，已经被应用于许多利用其独特性质的产品和工艺中。汞在室温下呈液态，它是良好的电导体，具有高密度及高表面张力，可随着压力和温度的变化在整个液体范围内均一延展/收缩，并且对微生物（包括病原体）和其他害虫都具有毒性，因此是一种可用于许多用途的优良材料（UNEP 2002）。
- 附录 1: 汞的特性

1.1 汞的形态（元素形态，无机形态，有机形态）

- 纯的形态是“元素”汞或“金属”汞（也表示为 Hg^0 ）（UNEP 2002）。
- 自然界中很难发现纯的液态金属汞，更多的是以化合物和无机盐的形态出现。汞可以单价汞或二价汞的形式和其它化合物结合（也可分别表示为 Hg(I) 和 Hg(II) 或 Hg^{2+} ）（UNEP 2002）。
- 被排放出的汞的化学形态（或类型形成）随着来源类型和其他因素而不同。由于不同的汞的类型有不同的毒性，这也改变了对人类健康和其他生物有机体环境的影响（UNEP 2002）。
- 还有一点值得一提的是，汞的类型会影响到：
 - 其中，汞在环境区间内及环境区间之间（包括大气和海洋）的传输；
 - 表现出的物质有效性——如果汞和易吸收材料紧密结合，就不易被吸收（例如，进入有机体的血流）；
 - 有机体内部对组织有毒性影响的传输——比如穿越肠膜或血脑障壁；
 - 汞的毒性（部分原因是由于上述内容）；

- 汞在组织——及其排泄物——中的积累、生物改造、解毒（UNEP 2002）。

1.1.1 元素形态 (金属, Hg^0)

- 大气中的元素汞可转化成无机汞形式，是一条重要的放射性元素汞沉积的途径。
- 作为一种元素，汞无法被分解或降解成无害物质。汞可以在不同的形态间转换，在循环时形成各种形态，但是它最简单的形态是元素汞，本身对人类和环境就是有害的。一旦汞从隐藏在地壳中的矿石或化石燃料及矿物沉积中释出，并进入大气，非常容易转变，可在地表和大气之间循环。人们认为地表土壤、水体和底沉积物是主要的生物圈汞槽（UNEP 2002）。

1.1.2 无机形态 (Hg^+ , Hg^{2+})

- 某些汞盐（如 HgCl_2 ）很不稳定，不能作为大气气体而存在。但是，这些无机（或二价）汞气体的水溶性和化学反应使其比元素汞更快从大气中沉积。这样就导致这些二价汞气体在大气中存在的寿命远远短于元素汞气体（UNEP 2002）。

1.1.3 有机形态

- 当汞与碳结合时，这种化合物形态被称为“有机”汞化合物或有机金属汞。很可能有许多有机汞（如二甲基汞、苯汞、乙基汞及甲基汞）；但是，到目前为止，在环境中微生物和自然过程产生的最常见的有机汞化合物是甲基汞（UNEP 2002）。
- 甲基化是改变和转换汞的复杂过程的产物（USGS 2000）。
- 甲基汞可在环境中由微生物代谢形成（生物过程），比如由某种细菌、经过不涉及有机体的化学过程（非生物过程）形成。尽管，通常认为它在自然界中的形成主要是由于生物过程（UNEP 2002）。
- 虽然历史来源已经存在，重要的直接人为的（或者人类造成的）甲基汞来源目前尚未可知。但是，间接地，由于其他形态的转换，人为排放是形成自然界中所发现的甲基汞水平的因素（UNEP 2002）。
- 由于在许多可食的淡水鱼、海水鱼及海洋哺乳动物中，甲基汞能够增长（生物累积及生物放大作用）至周围水体中含量的几千倍，它具有特殊的利害关系（UNEP 2002）。

1.2 自然来源对人为来源

- 汞排放入生物圈，可以四种形式聚集：
 - a) 自然来源——由于地壳中天然存在的汞的自然聚集而排放，比如火山运动和岩石风化；
 - b) 目前从有意用于产品和工艺的人为（与人类活动相关）排放，都是由于生产、泄漏、消耗产品的处理或焚化过程中的释出，或者其他形式的释出，诸如化石燃料——尤其煤炭，其次天然气和石油——的原料及其他萃取的、处理的、重复利用的矿石中汞杂质的聚集；
 - c) 先前沉积在土壤、沉积物、水体、垃圾及废物/残渣堆中的历史人为汞排放的重聚集。
- 虽然有些来自地壳的汞的天然排放，但是人为来源仍然是排放入大气、水及土壤中的汞的主要促成因素（UNEP 2002）。
- 碱性和金属处理、煤炭和医疗及其他废弃物焚化以及金和汞的开采极大促进了一些地区的汞的积累，

但是大气沉积是绝大部分地表上汞的优势来源。汞曾经在大气中广泛散布且循环几年以上，这说明汞的广泛分布（USGS 2000）。

- 已知对全球汞循环的理解，当前的排放加入到生物圈的全球汞池中——持续聚集、沉积于地表和水表，并重复聚集的汞。作为一种元素，汞是永久存在的——它不能在环境中降解成较小毒性的物质。唯一从生物圈内去除汞的长期汞槽是深海沉积，从某种程度上说，还有受控制的垃圾，这些地方以物理—化学方法将汞固定，并通过人为的或自然的（气候的和地理的）使其不受干扰。这也意味着，即使汞的人为排放被逐步消除，某些汞浓度的减少——与环境改进有关——只会缓慢出现，极有可能超过几十年以上或者更久。但是，在那些很受当地或整个地区来源影响的特殊的地方或区域，环境改进可能会出现地更快（UNEP 2002）。
- 大气汞沉积（汞从空气向陆地和海洋流动）的来源既是半球的或全球的，也是局部的、地域性的。一些大型的研究已经支持了这样的结论，在多数地方，除了当地来源（比如氯—碱产品、煤燃烧和废物焚化设备），全球大气中汞的一般背景浓度都是促成汞负担的重要因素。同样，实质上，所有地方的来源形成了背景浓度——生物圈中的全球汞池——多数都体现了累积数十年以上的人为排放。另外，洋流是长距离汞传播的媒介，海洋是全球循环中重要的动态汞槽（UNEP 2002）。

1.2.1 自然界来源

- 汞的一些形式天然存在于环境中。环境中发现的汞最常见的天然形势是金属汞、无机汞盐（即硫化汞（ HgS ）、氯化汞（ HgCl_2 ）及氧化汞（ HgO ）及有机汞化合物甲基汞（UNEP2002）。
- 大气中汞的自然界来源包括火山、汞的地质沉积以及从海洋中挥发、从土壤及水体表面蒸发。尽管所有的岩石、沉积物、水体及土壤中都天然地存在很少但不定量的汞，但是科学家已经发现当地的矿点和含大量汞的温泉。
- 天然汞排放不在我们的控制之内，必须视作我们当地和全球居住环境的一部分。但是，由于它的确对环境中的汞含量起作用，必需将这一来源谨记在心。在世界的某些地区，地壳中的汞浓度自然升高，并且促成这些地区当地的及区域性的汞浓度。
- 尽管更近的成果已经强调人为原因的重要性，已发表的自然界对人为排放评估仍然显示有重大差异。目前正在尝试直接测量自然界的排放。虽然如此，获得的信息仍然表明自然界来源不超过总排放的50%。
- 除了自然界来源排放，汞还能够从水体和土壤表面再排放。这个过程大大增加了汞在环境中的总存留时间，并且使确定确切的自然汞排放变得非常困难（UNEP 2002）。

1.2.2 人为来源

- 人为汞排放的重要来源实例

汞杂质的使用造成的排放：

- 燃煤动力及产热（大气排放最大的单一来源）
- 其他化石碳燃料的产能（如，石油产品）
- 水泥产品（石灰中的汞）
- 森林大火
- 海洋蒸发

- 采矿及其他涉及原始及再生矿石的提炼和处理的冶金活动，如以下金属产品
 - 钢铁
 - 锰铁
 - 锌
 - 金
 - 其它有色金属

有意的汞提炼及使用的造成排放：

- 汞矿开采
- 小规模金、银矿开采（汞合过程）
- 氯-碱产品（即无机汞废物）
- 显影处理
- 荧光灯、各种仪器及牙齿汞合金填料的使用
- 含汞产品的生产，如：
 - 温度计
 - 压力计及其他仪器
 - 电器及电子开关

废物处理、焚化等（来自杂质和汞的有意使用）造成的排放：

- 废物焚化
- 纸浆工厂（即杀黏菌剂）
- 工业溢流、渗漏及排放
- 垃圾
- 焚烧
- 墓地（排放到土壤） (Clarkson 2002, UNEP 2002, DEH 2004)

- 化石燃料（尤其是煤）的定点燃烧及废料焚化造成的排放约占人为来源的大气排放总量的 70%左右（UNEP 2002）。
- 目前，大气中存在的汞有很大比例是由于多年人为活动排放造成的。尽管最近的研究（Munthe *et al.*, 2001）显示人为活动约略通过 3 中的环境因子提高了大气中汞的总体水平，但总的大气负荷的天然构成仍然难以估测（UNEP 2002）。
- 大气中的人为排放多数以气态元素汞的形式。这使其能够与气团一起传输很长的距离。空气排放的剩余部分是以气态二价化合物（比如 HgCl_2 ）的形式或者与排放气体中的粒子结合。这些类型在大气中的存在期要比元素蒸汽短，约 100 到 1000km 内就会经过湿法或干法的过程沉积下来。然而，汞的类型之间的重要转换可能会在大气传输期间出现，这将会影响传输距离（UNEP 2002）。
- 有迹象表明，全球平均起来，汞的人为排放已经导致现在的沉积速度比工业化前时代高出1.5到3倍。工业地区内及其周围的沉积速度在过去200年间增加2到10倍（UNEP 2002）。

1.3 大气

- 碱及金属处理、化石燃料燃烧、医学及其他废物焚化及金和汞矿开采极大的提高了某些地区的汞浓度，但是大气沉积是绝大多数地区中最主要的来源（USGS 2000）。

- 汞蒸汽是一种化学上很稳定的单原子气体。一旦存在于大气中，汞就会被广泛散布（USGS 2000）。元素汞在大气中的存在期范围在几个月到一年左右。这使得半球范围的传输成为可能，因此任意大陆上的排放也可以促进其他大陆上的沉积（UNEP 2002）。在大气层商埠，汞蒸汽经尚未完全了解的过程氧化成水溶性离子汞，水溶性离子汞随雨水返回到地球表面。汞的全球循环使汞分布在这个星球最偏远的地区（Clarkson 2002）。
- 大气沉积包含了汞的三种主要形式，尽管无机二价汞（HgII）是优势形式。一旦存在于地表水中，汞就进入复杂的循环过程，在这个过程中可从一种形式转换成其他形式（USGS 2000）。
- 另外，类型形成对于汞排放入空气的可控性非常重要。举例来说，一些控制装置（如湿法除尘器）可适度拦截无机汞化合物（如氯化汞）的排放，然而对于多数排放控制装置来说，元素汞的捕获量往往很低（UNEP 2002）。
- 举例来说，类型形成是排放至空气中的汞自来源的传输距离的决定性因素。吸附于粒子的汞及离子（如二价）汞化合物主要落在来源附近的地面上及水中（局部到地域性距离），而元素汞蒸汽可在半球/全球范围内传输，使得汞排放成为全球关注的问题。另外一个例子就是所谓的“两极日出汞损耗发生频率”，元素汞到二价汞的转换受太阳活动增加及冰晶出现的影响，造成3个月内汞沉积的大幅增长（约3月到6月）（UNEP 2002）。
- 将甲基汞暴露于日光（尤其紫外光）有完全消毒作用。日光可将甲基汞分解成 Hg（II）或 Hg（0），能离开水生环境，以气态形式重新进入大气中（USGS 2000）。
- 在一些国家和地区，局部及地区性的汞沉积已影响汞浓度水平很多年，过去几十年间也已采取措施减少国家的排放。但是，汞排放仍然在大气及海洋中散步很远的距离。这意味着即使是汞排放量最少的国家以及远离密集的人类活动的地区，也有可能受到不利影响。例如，在远离任何重要来源的北极已经观察到了高度汞暴露（UNEP 2002）。

第 2 章 汞的数据及统计

2.1 全球汞现状

- 尽管在西班牙开采的地层中汞含量代表性地高达 12-14%，但通常开采的汞矿石中含汞约 1%。虽然已知 25 种主要的汞矿石，不过事实上已被采集用于汞的冶炼的仅有一种沉积物，就是朱砂。汞以硫化汞（注砂矿）的形式开采。历史上，朱砂的沉积物就已经是金属汞商业采矿的来源矿石。金属形式从加热矿石至 540℃ 以上可从硫化汞提炼出金属形式。这种方法使矿石中的汞蒸发，之后收集蒸汽并冷却形成液态金属汞（UNEP 2002）。
- 汞天然存在于煤和其他化石燃料中，也存在于象用于水泥生产的石灰这种矿物和土壤（如进行酸化处理的耕种土壤）以及包括如锌-、铜-及金矿在内的金属矿。目前认为燃煤发电是全球大气汞排放唯一的最大来源（Pacyna and Pacyna, 2000）。这是由于全球耗电量增加，也是汞的有意使用造成的排放在许多工业化国家中正在逐渐减少的缘故（UNEP 2002）。

无烟煤生产前 10 位 (2004e)

中国	1956 公吨	俄罗斯	210 公吨
美国	933 公吨	印度尼西亚	129 公吨
印度	373 公吨	波兰	100 公吨
澳大利亚	285 公吨	哈萨克斯坦	83 公吨
南非	238 公吨	乌克兰	62 公吨

全球无烟煤消费量

	1984	1994	2004e
世界	3066 公吨	3541 公吨	4646 公吨

选择区域总体估测

欧洲	17%	12%	8%
FSU	18%	10%	6%
北美	22%	23%	21%
亚太	38%	50%	60%

- 全球钢铁总产量 66%以上依赖于煤的能源输入 (WCI 2005b)。

● 粗钢产量

1994	1996	1999	2001	2002	2003	2004
725.1 公吨	750.0 公吨	789.0 公吨	850.2 公吨	903.8 公吨	968.3 公吨	1000 公吨

主要钢铁生产国家

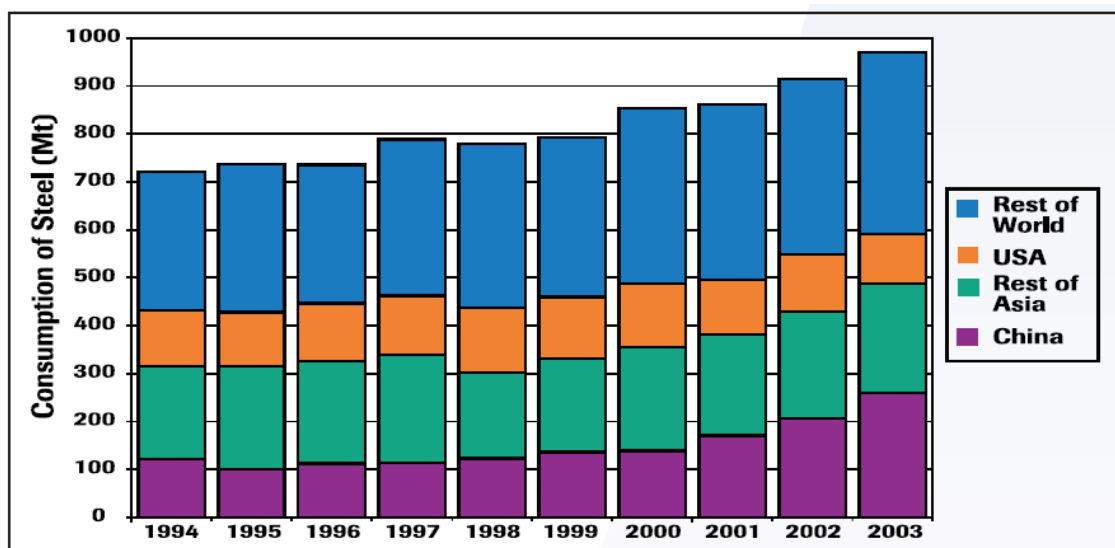
中国	220.1 公吨	德国	44.8 公吨
日本	110.5 公吨	乌克兰	36.9 公吨
美国	93.7 公吨	印度	31.8 公吨
俄罗斯	62.7 公吨	巴西	31.2 公吨
南韩	46.3 公吨	意大利	26.8 公吨

中国钢铁产量在 2000 年到 2003 年之间增长 73%——中国占全球钢铁产量 23%左右 (WCI 2005b)。

- 2003年全世界消耗粗钢约970公吨，而2002年则为915公吨 (WCI 2005b)。

● 主要粗钢消费国家

中国	258.2 公吨	美国	103.9 公吨	日本	77.0 公吨
南韩	47.2 公吨	德国	37.5 公吨	意大利	33.6 公吨



(WCI 2005b) Consumption of Steel 钢铁消费量 Rest of World USA 美国 Rest of Asia China 中国

- 不管是按来源还是按国家，获得的排放总量都有很大的不确定性。对不同的重要来源排放到空气中的汞所做最有效的评估见下表。

表 1- 1995年许多人为来源的全球大气汞排放（公吨），其他媒介排放在此未作说明 *1.

洲名	固定燃烧	有色金属生产 *5	生铁及钢生产	水泥生产	废物处理 *2	工艺金矿开采 *4	总计, 来源定量 *3
欧洲	186	15	10	26	12		250
非洲	197	7.9	0.5	5.2			210
亚洲	860	87	12	82	33		1070
北美洲	105	25	4.6	13	66		210
南美洲	27	25	1.4	5.5			60
澳大利亚及大洋洲	100	4.4	0.3	0.8	0.1		100
总计, 来源定量, 1995 *3,4	1470	170	30	130	110	300	1900 + 300
参考文献:	Pirrone <i>et al.</i> (2001)	Pirrone <i>et al.</i> (2001)	Pirrone <i>et al.</i> (2001)	Pirrone <i>et al.</i> (2001)	Pirrone <i>et al.</i> (2001)	Lacerda (1997)	

1 注意，由于还未作最新的全球评估，该表未包括水生及陆地环境中的排放——以及其他来源的大气排放。对这一问题的描述见第 6 章。

2 清单作者估计不足，见表 6.10 注释。

3 指该表涉及的来源总量，不是已知的所有来源。总计只是大概，因此可能没有精确总结。

4 估测的工艺金矿开采排放针对的是 20 世纪 80 年代末/20 世纪 90 年代初的情况。新的参考资料 (MMSD, 2002) 表明工艺金矿开采的汞消费——因此也是最有可能的汞排放——可能比这里提出的更高。

5 排放汞的有色金属生产，包括汞、锌、津、铅、铜、镍。

(UNEP 2002)

2.1.1 汞的市场来源

- 全球市场上可获得的汞从许多不同来源供应，包括（排列不按重要性）：

- 原生汞矿产（意即提炼自地壳矿石）：
 - 或指采矿活动的主要产品，
 - 或指开采或精炼其他金属（如锌、金、银）或矿物的副产品；
- 精炼天然气回收原生汞（在市场上销售时实际上是一种副产品，但在所有国家均未上市销售）；
- 含汞历史尾矿的再生或二次采矿；
- 从使用过的产品及工业生产过程中的废料回收再生汞。大量汞（“汞池”）被“存储”在社会上仍在使用和“被使用者束之高阁”的产品中；
- 政府储备库存或者存货的汞；
- 私人储备（如氯-碱及其他工业中使用的汞），其中一些可能稍后返回市场（UNEP 2002）。

原生汞的连续采矿

- 尽管全球汞消费下降（全球需求量低于 1980 年水平的一半）、竞争资源供应及低价格，许多国家中仍然有汞矿生产。最近几年，西班牙、中国、吉尔吉斯斯坦及阿尔及利亚在这一活动中占主导地位，一些矿为国家所有。下表提供了自 1981 年以来记录的全球汞的主要产量。也报告了中国、俄罗斯（西伯利亚）、外蒙古、秘鲁及墨西哥的小规模、工艺汞矿。可能这种生产满足了当地对汞、经常是对工艺金矿开采的强烈需求——不管是否合法。这种汞生产要求有易得到的汞矿及廉价劳动力，尽管在全球商品市场上可得到低价汞。

时期	1981-1985	1986-1989	1990-1995	1996	1997	1998	1999	2000
记录的年全球主要产量 (公吨)	5500-7100	4900-6700	3300-6100	2600-2800	2500-2900	2000-2800	2100-2200	1800

大量再生汞供应品可能上市销售

- 由于欧洲和其它地区正在取代并结束以汞为基础的氯-碱生产，大量汞已经上市销售。市场分析显示，每年 700-900 公吨再生汞（相当于约记录的主要生产的 30%）自 20 世纪 90 年代中期以来已经在全球上市销售，其中多数来自于氯-碱生产设备。

2.2 中国汞的现状

- 煤是国家最丰富的资源之一，使用起来最便宜而且最为便利，也是全球最污染环境的能源，为近70%的中国工业提供动力（Schmidt 2002），也最为廉价（WHO 2001）。
- 煤的燃烧仍然是全国空气污染的主要来源（WHO 2001）。
- 尽管最近有所改观，但全世界空气污染最严重的10个城市中有9个都在中国，并且根据世界资源研究所 1999年11月的报告《城市空气污染对儿童的威胁：全球环境卫生指标》（Schmidt 2002），与恶劣的空气情况紧密联系的呼吸道疾病是儿童及成人中死亡的主要原因，
- 中国每年从发电厂和其它来源排放约495吨汞。由于迅速的经济增长及工业扩张，预计接下来2到5年间排放量每年会增长20-30吨。仅中国的汞排放计划的年增长量就大于目前美国发电厂总排放量的一半（Pombo&Gibbons 2005）。

- 中国报告了以下有关国内来自燃煤的汞排放的内容：根据研究信息，煤的平均汞含量为0.038-0.32mg/kg。20世纪90年代中期，来自燃煤的汞排放总量每年约为296-302.9公吨，包括大气中的213.8公吨及灰烬和煤渣中的89.07公吨。从15个省、市采集的煤中有机汞的平均含量为0.037mg/kg，占汞的18.1%。燃煤的飞尘中有机汞的平均含量为0.045mg/kg，占灰烬中总汞的28.1%。从1978年到1995年，汞排放平均每年增长4.8%。”（Comments from China, comm.-19-gov）（UNEP 2002）。
- 煤的储备量约为8,600亿吨。1996年，中国总共生产了140亿吨原煤。煤占中国初级能源总消耗量的75%，而日本只占17%，世界平均水平为27%（WHO 2001）。
- 煤有好几种类型，比如无烟煤、烟煤及炼焦厂烟煤。但是中国煤的质量很差，尤其在西南地区。煤有约25%的灰烬，平均值为17.6%。含高硫的煤主要分布于中国西南地区，比如四川、重庆及贵州，最高硫含量分别约为6.26%、4%及4.6%（WHO 2001）。
- 1998年，中国北部每平方千米的工业及居民煤消费量在7个地区中最大。但是每户居民煤消费量最高的地区是西南地区。工业用煤占总的煤使用量的三分之二；仅工业锅炉就消耗30%。这些锅炉通常效率很低，并通过低烟道排放细小颗粒和SO₂。使用污染环境的锅炉的产业位于人口密集的都市地区，使这些地区的居民暴露于极大的危险之中（WHO 2001）。
- 大体上约74%的中国居民生活在空气质量不合乎标准的地区（中国环境状况报告 2002，国家环保局 2003）。除了周围大气环境，许多人尤其妇女，在室内也会面临空气污染（WHO 2001）。

目前已有显示，每个省的每户煤消耗量数据也与慢性肺病（COPD）、肺癌及铅中毒的死亡率有重要联系，表明由于做饭和取暖目的造成的室内健康危险（WHO 2001）。空气污染和疾病之间很难达到和谐（WHO 2001）。

2.2.1 氯-碱生产及残留的汞

- Qi等人（2000）报道，汞排放（包括中国氯-碱工厂排放废水中的汞）已经从1977年以前的500-1400g汞/吨氢氧化钠产品显著下降至1997年的160-180g汞/吨氢氧化钠产品，但是仍然比其他一些国家要高得多。特别是，1997年的中国每吨产品排放量比同期OSPAR高出4倍多（包括汞废水，根据相关条例进行存储或处理）。但是，中国多数氯-碱工厂使用隔膜处理，不使用汞，并且计划在中国更换或停用剩余少数汞极氯碱设备（我们所知仅一台，为天津化学制品公司所有，每年可生产5万公吨氯）（UNEP 2002）。

2.2.2 作坊式采矿

- 中国汞矿产业几乎独集中在中国西南部，主要在贵州省。20世纪90年代期间，中国的汞产品每年约500到800公吨不等（Gunson & Veiga 2004）。
- 据说在中国，批准成立私人企业之后，某省自1992年以来开了200多个小型矿。根据Yshuan（私人信件，Lacerda, 1997a），这就促使金的产量提高10%。这也许可以作为Sznoppek&Goonan（2000）及Scoullas等人（2000）所指出中国相对地大量引入汞的一个解释。但是，过去二十年间，中国的权力机构已经禁止所有工艺金（及汞）矿开采（UNEP 2002）。

第3章

生态效应

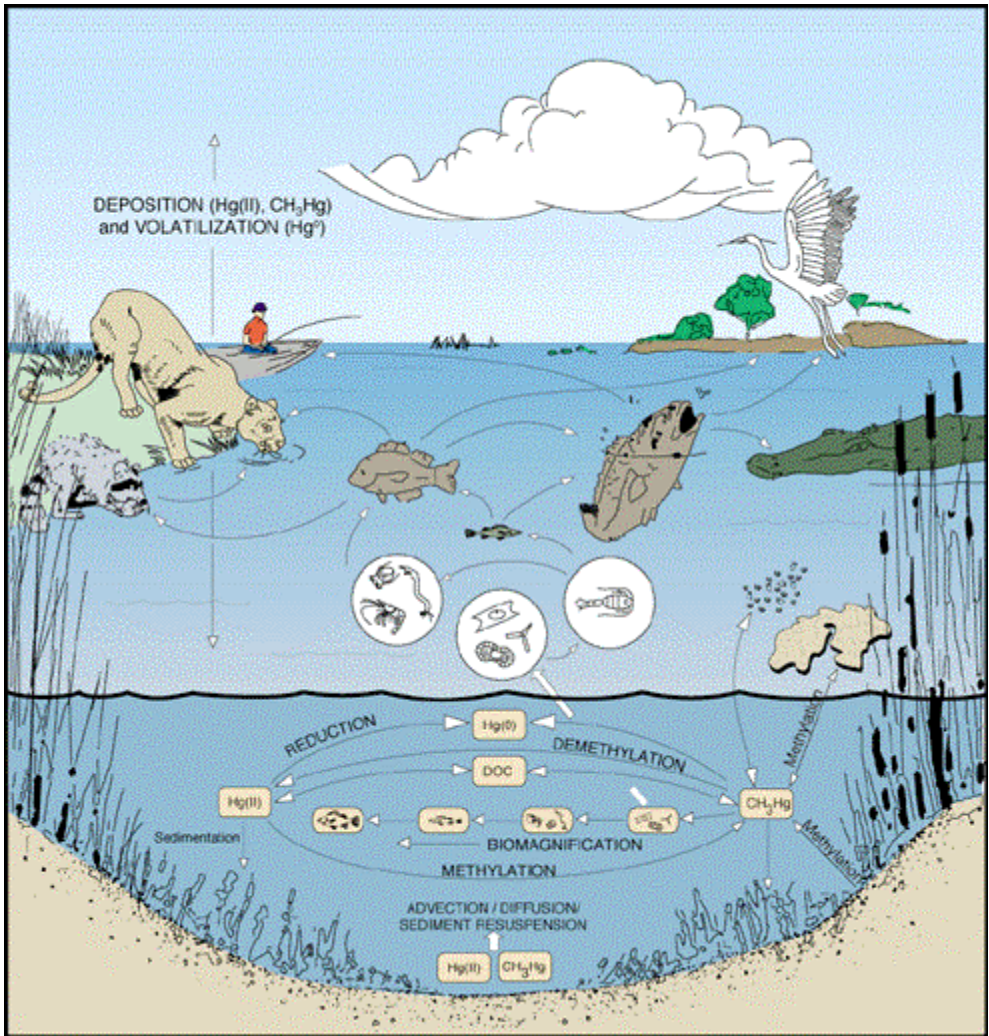
背景

- 汞对环境的影响中一个非常重要的因素就是它可以在生物体内累积，并沿着食物链富集。尽管所有形式的汞在一定程度上都可以累积，但是甲基汞被吸收和累积的程度要比其他形式高得多（USGS 2000）。
- 无机汞也可以被吸收，但是一般吸收的速度比甲基汞慢，吸收的效率比甲基汞低（UNEP 2002）。
- 汞进入食物链的确切机制很大程度上仍未可知，可能在生态系统之间有所不同。某些细菌早期起到重要作用。环境中处理硫酸盐（ SO_4^{2-} ）的细菌吸收无机形式的汞，并通过代谢过程将其转变成甲基汞。无机汞到甲基汞的转化很重要，因为甲基汞的毒性更强，因为生物体需要更加相当长的时间降解甲基汞。这是水生食物链中的第一步。这些含甲基汞细菌可能被食物链中更高的一级吃掉，或者细菌可能将甲基汞排泄到水中，浮游生物迅速吸收，同样也会被食物链中更高的遗迹吃掉。有无动物累积甲基汞要比降解掉它快得多，在食物链每个连续的等级中动物都会吸收更高浓度的甲基汞。这样，甲基汞的少量环境浓度可以很容易地累积到鱼（如梭子鱼、鲈鱼）、以鱼为食的野生动物（如水獭）以及人的潜在有害浓度。即使在离点来源很远的地方大气沉积速度很缓慢，汞的生物放大作用也会在这些水生食物链中的顶级消费者体内造成毒性效应。”（USGS 2000, Clarkson 2002）
- 非食肉性的小型鱼类中的汞浓度最低，沿着食物链向上可以增加许多倍。水生食物网的等级比陆生食物网多，陆生食物网中，食肉性野生动物很少相互为食，因此水生的生物放大作用可代表性达到更高的值（UNEP 2002）。除了食物中的浓度，其他因素也会影响汞的生物放大作用。其中最重要的就是汞甲基化细菌（如，硫酸盐还原剂）甲基化和去甲基化的速度。结合所有这些因素，对于由水生生物生产、并累积、滞留的甲基汞，甲基化的净速度对其数量有强烈影响。水生环境中的一些参数影响汞的甲基化，从而影响其生物放大作用。虽然关于汞的生物累积和生物放大作用一般了解很多，但是这个过程非常复杂，涉及到复杂的生物地球化学循环和生态相互作用。因此，尽管可以观察到累积/放大作用，但是鱼类中汞的生物放大作用的程度还是很难通过不同的点进行预测（UNEP 2002）。
- 水生食物网的顶级为食鱼种类，如人类、海鸟、海豹及水獭。大型的野生动物种类（如鹰、海豹）捕食同为捕食者的鱼类，如鳟鱼和鲑鱼，而小型的食鱼野生动物（如翠鸟）则倾向于捕食较小的饵料鱼，一项研究已经发现这些饵料鱼中汞的组织水平更高（US EPA, 1997）。

生物累积和生物放大作用

术语**生物累积**指生物体内生物（其他生物体）和非生物（土壤、空气及水）来源的金属随着时间的净累积。

术语**生物放大作用**指一些重金属（及其他一些存留物质）随连续营养等级而逐渐增多——意指涉及捕食者相对于被捕食者的组织集中度（AMAP, 1998）。



(USGS 2000)

DEPOSITION 沉积；VOLATILIZATION 挥发；REDUCTION 缩减；DEMETHYLATION 去甲基化；BIOMAGNIFICATION 生物放大作用；METHYLATION 甲基化；ADVECTION/DIFFUSION/SEDIMENT RESUSPENSION 水平对流/扩散/沉积/重新悬浮；Sedimentation 沉降；Methylation 甲基化

- 甲基汞的生物放大作用对动物和人类都有最重大的影响。鱼类似乎与甲基汞绑定，几乎肉食性鱼类体内累积的汞100%都是甲基汞。鱼类组织中的甲基汞多数都与巯基蛋白族共价结合。这种结合使得降解的半衰期（约2年）很长。因此，甲基汞（相对于无机汞）从一个营养级到下一个更高的营养级有选择性的富集作用（UNEP 2002）。
- 甲基汞很快在鱼类所有物种和食鱼动物中发现。来源似乎是被淡水及海洋水体沉积物中的微生物的生物甲基化的无机汞（Clarkson 2002）。
- 与其它汞化合物相反，甲基汞的在鱼体内的降解非常缓慢。假设环境浓度稳定，由于甲基汞降解缓慢、并且经常发生在鱼类长到更大尺寸时（即鱼类食用量增加并且捕食种类更多）的营养级地位改变使得吸收量增加，给定的鱼类个体内汞浓度趋向于随着年龄增长而增大。因此，较年长的鱼组织中的汞浓度比同类物种较年幼的鱼要高得多（UNEP 2002）。
- 每年仅有 1 克（87.4 英尺荧光灯的汞含量，一只水银温度计的典型含量）空气传播的汞沉积到一个 25 英亩的湖泊，即可以将其中的鱼污染至食用不安全水平（National Wildlife Federation 2000，HCWH

2002a)。

- 历史上，使用有机汞化合物进行农业拌种已造成食种子动物的汞暴露，尤其是鸟类和啮齿类动物（Fimreite, 1970; Johnels *et al.*, 1979, in Pirrone *et al.*, 2001）。继续使用汞包被种子的地方，预计会对陆生环境产生一定影响（UNEP 2002）。
- 在鸟类中，即使汞在蛋中的浓度低到 0.05 到 2.0mg/kg(净重)，也会对繁殖产生不良影响(UNEP 2002)。
- 最新的证据显示，在欧洲大部分地区——可能还有世界上其他具有相似土质的许多地方，汞是使土壤陆生食物链中极为重要的微生物活性下降的原因。防止有机土壤中汞造成的生态效应的初步临界限定为土壤总汞含量 0.07-0.3mg/kg。
- 一旦存在于大气中，汞就能被跨越全球传输，可以通过沉淀作用或干燥沉积作用沉积于湖泊和溪流中（National Wildlife Federation 2000）。在全球范围内，由于汞的长程传输，北极地区最近很受关注。世界上许多国家特定的生态系统和人类居住区、尤其以吃鱼为主的地方发现了相同的食物网特性——及相似的对汞污染食物来源的依赖。
- 极少量的汞就可以造成严重的损害。1克汞就足以污染20英亩湖泊中的所有鱼。1只典型的水银温度计约含0.7克汞（700毫克），但是较大的温度计含量高达3克。短期和长期的汞暴露都可在人类和野生动物中造成严重的健康问题（HCWH 2002c）。

因素

- 在汞经过工业或采矿活动累积的高度污染地区，自然过程可能会掩蔽、稀释或侵蚀汞沉积，使得浓度下降。但是，在许多相对原始的地区，由于大气沉积增加，汞浓度实际上已经增加了（USGS 2000）。
- 伴随全球气候变化的水位上升可能 也与汞的甲基化及其在鱼体内的累积有关系。举例来说，有迹象显示，在小而温暖的湖泊、许多新的淹没地区甲基汞的形成增加。
- 湖泊酸化，象硫这种刺激甲基化的物质的加入，以及新近泛滥的水库或形成的湿地土壤中汞的动员说明增加了汞成为鱼类中一大问题的可能性（USGS 2000）。
- 溶解的有机碳（DOC）浓度及pH对生态系统中汞的最终结果有很大影响。较高的酸度及DOC水平增强了环境中汞的流动性，从而使其更有可能进入食物链（USGS 2000）。

土壤

- 土壤情况有利于无机和有机化合物的形成，这些化合物与有机阴离子形成联合体。这种配位很大程度上控制了土壤中汞的流动性。土壤中的汞多数都与大量有机物结合，只有在接触悬浮土壤或腐殖质时才会从径流中被洗脱出去（UNEP 2002）。
- 直到最近，无机汞仍未被视作土壤空间中效应的主要来源，因为它与土壤颗粒结合，不是很容易被植物或生物体所利用。实际上，气态元素汞通过树叶吸收远比土壤汞（Hg（II））在根部的吸收要有效得多，因此植物受到的影响主要是通过空气（UNEP 2002）。

- 所以，汞在土壤中有很长的滞留期，因而，土壤中累积的汞可能在很长一段时期、可能长达几百年仍会继续排放到水体表面和其他媒介（Pirrone *et al.*, 2001）（UNEP 2002）。
- 在加拿大北极区和格陵兰的一些地区，北极环斑海豹及白鲸体内汞的水平在过去25年内已经增加2到4倍。在较温暖的水域中，食肉性海洋哺乳动物可能也处在危险之中。对驼海豚香港种群的研究中，将汞确认为一项特别的健康危险源，胜过其它重金属（UNEP 2002）。

3.1 案例研究

- 根据香港电视大学开展的一项三年的研究（1996-1998），对东河（80%安全分析报告的饮用水来源）的水样进行检测发现其中重金属水平比国际安全标准要高得多。东河的水质已经由于广东南部的日益都市化而恶化（Mineralysis 2002）。
- 大约 1950-1952 年（早在意识到人类中毒之前），日本就已经发现在鸟类中发现水俣病对神经系统有严重影响，使其飞行非常艰难，还表现出其它极为异常的行为（US EPA, 1997）。家畜（尤其大量食用海产品的猫）中也观察到神经疾病的征候，包括抽搐、痉挛、很反复无常的运动（疯狂奔跑、突然跳跃、撞向目标）（UNEP 2002）。

第4章

健康影响

背景

- 附件 2: 汞的材料安全性数据记录表 (MSDS)
- 汞是一种分布广泛的重金属, 其毒性效应已经过充分证实 (Mineralysis 2002)。
- 汞暴露的健康效应取决于其化学形式 (元素、无机或有机)、暴露的途径 (吸入、摄取或皮肤接触) 以及暴露的程度。液态元素汞和甲基汞的蒸汽比无机汞盐更容易被吸收, 因而能够造成更大损害。只要有可能, 您应该极力减少您在所有形式汞中的暴露 (Health Canada 2004)。
- 所有这三种形式具有不同程度的毒性 (Mineralysis 2002)。汞的毒性取决于它的化学形式, 因此暴露于元素汞、无机汞化合物或有机汞化合物 (特别是烷基化合物, 如甲基汞和乙基汞盐以及二甲基汞) (UNEP 2002)。
- 如果我们呼吸污染的空气、饮用污染的水、食用污染的食物或者皮肤有所接触 (即吸入、摄取或皮肤吸收), 汞就会进入机体内。汞可能通过皮肤被吸收 (DEH 2004, Ingham County 2005)。

4.1 汞的来源

- 汞的来源
 - 老化的汞齐
 - 祛斑霜 (某些)
 - 利尿剂 (某些)
 - 汽油
 - 化妆品 (某些)
 - 药物 (某些)
 - 电池生产
 - 污染的海产品**
 - 杀真菌剂 (某些)
 - 污水
 - 煮饭及家庭采暖*

* 国内大部分地区很普遍

** **Even more toxic is dried delicacies, like shark's fin, scallop (added to many Cantonese dishes), squid and oyster. (30 times more mercury than fresh fish)** (Mineralysis 2002, DEH 2004)

- 户内空气中的汞水平也可由于中央采暖控温装置的泄漏、发生温度计破损其他溢出后使用真空吸尘器而提高。汞蒸汽暴露的其他来源是含有用于延长内部乳胶漆保存期限的汞化合物的油漆中排放汞, 已有报道其水平为 $0.3-1.5\mu\text{g Hg}/\text{m}^3$ (Beusterien *et al.*, 1991)。但是, 正如该报告其它部分所解释的那样, 世界上许多国家已经大大减少了油漆中汞的使用, 因此目前这种来源可能不如 10-30 年前更具普遍性 (UNEP 2002)。
- 汞可以经皮肤吸收。使用或生产汞及其化合物行业 (汞矿开采及精练、化学制品生产、牙科/卫生领域、金属熔炼工) 的工人均有汞暴露的危险。化石燃料发电厂及从事水泥生产的工人如果暴露于气态过程排放中, 可能会被暴露在汞化合物下。消费者食用甲基汞污染的鱼或贝类, 会因暴露于来自使用汞及其化合物的生产和处理设备的空气中, 而暴露于汞及其化合物中。人们也会暴露于来自牙科材料及治疗的汞 (DEH 2004)。

多少汞会引发中毒?

- 汞只有在机体内达到一定水平之后才会导致中毒。其毒性取决于汞相对体重的消耗量。因此, 对于固

定量的汞暴露，婴儿比成人更加危险。不同的专业机构确定汞消耗量的安全水平大约在 0.7-3.3mg 汞/kg 体重/周。美国环保署（EPA）设定最低定点为 0.7mg 汞/kg 体重/周，而世界卫生组织（WHO）则建议 3.3 mg 汞/kg 体重/周。这些水平被认为低于安全上限 10 倍（Immunise Australia Program 2002）。

- 美国环保署推荐的安全吸收水平被作为参考剂量，并被定义为可终身每日吸收而没有不良反应的重大危险剂量。1997年估测的新的参考剂量为**0.1µg甲基汞/kg体重/天**。该剂量意味着仅每周一听7盎司金枪鱼罐头摄取的甲基汞的量就会等于或甚至稍微高于新的限制，这取决于消费者的体重。其他联邦管理机构的方针允许更高水平（National Research Council. Toxicological Effects of Methylmercury. Washington, DC:National Academy Press, 2000）：美国食品及药物管理局（FDA）的方针允许水平等于0.5 µg Hg/kg/天，而毒性物质及疾病登记局（ATSDR）为0.3 µg Hg/kg/天（Clarkson 2002）。
- 机体吸收汞的量——及其形成的毒性程度——随汞的化学形式而定。比如说，摄取的元素汞仅有 0.01% 被吸收，但是甲基汞几乎 100%被胃肠道吸收。汞的生物半衰期为 60 天。因此，即使汞暴露减少，机体负荷还会残存至少几个月以上。元素汞被吸入时最为危险。吸入剂量仅有 25%左右呼出。汞蒸汽可经皮肤吸收，但是吸收水平很低（如，总剂量的 2.2%）。与液态汞的皮肤接触可显著提高生物学水平。这篇文章主要关注元素汞，因为这是护工接触汞暴露的形式——包括仪器事故（Ingham County 2005）。

元素汞

- **元素汞**的健康效应由暴露的时间长短和类型决定。比如说，如果您偶然地吞咽来自破碎的发热温度计的液态元素汞，只有少量汞会被吸收。如果摄取了元素汞，相对来说吸收很缓慢，有可能通过消化系统而不会造成损害（USGS 2000）。
- 元素汞暴露的主要路径是藉由蒸汽的吸入。吸入的蒸汽有 80%左右被肺部组织吸收。这些蒸汽也很容易穿过血脑屏障，已经被充分证实是一种神经毒剂（UNEP 2002）。但是，如果您吸入汞溢出的蒸汽，它会更容易被您的身体吸收，可能导致健康问题。更高浓度的汞蒸汽可对口、呼吸道和肺元素造成损伤，还会由呼吸衰竭导致死亡。长期的低浓度暴露引起症状与甲基汞类似（Health Canada 2004）。
- 元素汞以蒸汽吸收，且毒性很强。汞甚至在室温下就容易蒸发，暴露于蒸汽中可造成人类的中枢神经系统损伤、神经及行为紊乱（Mineralysis 2002, UNEP 2002）。元素汞的肠吸收很低。但是，当它进入污水系统时，就会污染环境（HCWH 2002b）。
- 元素汞可在机体组织内被氧化成无机二价形式（UNEP 2002）。
- 元素汞——从破碎的温度计、荧光灯管及电池中排放的形式——在其蒸汽被吸入很长一段时间内可引起战栗、齿龈炎及兴奋性（Mineralysis 202）。
- 对于普通大众来说，最重要的元素汞蒸汽来源是牙科的汞齐，但是职业暴露可能在某些情况下会超出许多倍（UNEP 2002）。
- 打破汞温度计时，液态的银色金属会散落在地板或地毯上。如果将溢出的汞正确的清楚，打破一支发热温度计是不可能威胁消费者的健康的。但是，如果消费者由于没有察觉温度计破裂或者难以接触到汞（比如因为汞已经渗到地毯里）的原因而没有清除汞，那么汞就会最终蒸发进入空气，在室内空气达到危险的水平。如果消费者试图使用真空吸尘器清除溢出的汞，或者汞被加热，这种危险会增加。狭小、通风不良的房间里重大汞暴露的危险最大（HCWH 2002b）。

无机汞

- 其它常见形式汞的摄取，比如汞盐（如 HgCl_2 ）和一些皮肤病制剂不太可能来自环境来源（USGS 2000）。
- 无机汞可导致肾衰竭和胃肠损伤。汞盐有刺激性，可使唇和舌上生水泡和溃疡。增加暴露的其他症状有皮疹、多汗、过敏、肌肉抽搐、体虚及高血压（Health Canada 2004）。
- 无机汞不能穿越血脑屏障，但可到达肾脏，该器官受损尤其严重（Mineralysis 2002）。
- 对于大多数人来说，饮食是无机汞化合物最重要的来源。但是，对于某部分人群，使用含汞的美白面霜和香皂、出于植物栽培/仪式的目的或在传统药物中使用汞，也能造成可观的无机汞或元素汞暴露（UNEP 2002）。

有机汞

- 来自鱼、海鲜、杀真菌剂及木材防腐剂的有机汞化合物（R-Hg⁺）很容易被活体生物吸收，被认为比无机汞更加危险（Mineralysis 2002）。
- 有机汞化合物中，甲基汞占有特殊的地位，大批的人群都暴露在甲基汞中，它的毒性比其它有机汞化合物更易辨别。有机汞化合物类群中，认为烷基汞化合物（尤其乙基汞和甲基汞）毒性相当类似（历史上也曾用作杀虫剂），而其它有机汞化合物，如苯汞，其毒性更类似于无机汞（UNEP 2002）。
- 烷基化合物，其中到目前为止甲基汞最为重要，暴露的主要来源是饮食，尤其是鱼类及其它海产品（UNEP 2002）。甲基汞在鱼和贝类的组织中会增加，但尤其在肉食性鱼类中，被人类（即其它动物）食用后可能会导致中毒（DEH 2004）。
- 当充分认识到汞及其化合物是高毒性物质、应当谨慎考虑其潜在影响时，关于这些物质、尤其甲基汞毒性如何的争论正在进行。过去十年里的新发现显示，毒性效应也许发生在比先前想象更低的水平，可能全球人群中大部分都会受到影响。由于微妙的毒性效应的机制——以及证实这种效应是否发生——是非常复杂的问题，迄今为止尚未在这个非常重要的疑问上达到完全的理解（UNEP 2002）。
- 为达到甲基汞暴露的正确水平，对于最广泛接受的非致命不良反应（神经发育效应），美国国家研究委员会估测基准剂量（BMD）为脐血中 $5.8\mu\text{g/L}$ 总汞或母亲毛发中 $10\mu\text{g/g}$ 总汞，使用数据来自法罗群岛人类汞暴露研究（Grandjean et al., 1997）。法罗群岛研究中，这个BMD水平是导致子宫内暴露的儿童中神经学行为表现异常（注意力、非文字记忆及语言的发育延迟）的5%流行程度加倍的95%置信区间下限。这些是估测平均每天吸收约 $1\mu\text{g}$ 甲基汞/kg体重/天（ $1\mu\text{g/kg}$ 体重/天）产生的组织水平（UNEP 2002）。
- 汞的安全上限、建议的每周摄取水平是 $1.6\mu\text{g/kg}$ 体重（国际标准）或 $0.7\mu\text{g/kg}$ 体重（US-NRC标准）（Farrar-Hockley 2005）。
- 甲基汞是一种经充分证实的神经毒剂，特别是可能对脑的发育产生不良影响。而且，这种化合物很容易就能穿越胎盘屏障和血脑屏障，因此，妊娠期间的暴露最受关注。同时，一些研究发现甚至甲基汞暴露的一点点增加都可能导致心血管系统的不良反应，从而使死亡率增加。已知全世界心血管疾病的重要性，这些发现尽管尚有待证实，仍然显示甲基汞暴露需要密切关注并追踪调查。另外，照国际癌症研究机构所说，根据他们的综合评价，甲基汞化合物可能是人类的致癌物质（组 2B）（UNEP 2002）。

- 汞在环境中能从一种形式转变成另外一种。甲基汞暴露通常是藉由摄取；在肠道内吸收，在运送到机体各处。它很容易就能进入脑，在脑中可能会存留很长一段时间。在孕妇体内，还能穿越胎盘进入胎儿体内，在胎儿的脑和其它组织中积累（Health Canada 2004）。这对发育中的胚胎损害尤其大，比成人敏感 5-10 倍（USGS 2000）。甲基汞还可以通过母乳传给婴儿（Health Canada 2004）。
- 世界卫生组织（WHO）1995 年一项研究表明汞在人体中积累的主要来源来自食物。肉中汞的浓度可达到鱼和海产品中的水平，但是由于肉存储无机汞，仅有 10% 停留在机体里。鱼和海产品保留甲基汞，其中高达 90% 可存储在机体组织中。
- 甲基汞比其他形式的汞吸收更容易、排泄更缓慢（USGS 2000）。
- 由于汞天然存在，并且在环境中很普遍，我们所有人都暴露于低水平的汞。暴露的程度取决于食用的海产品中发现的甲基汞浓度以及食用的量。一般来说，我们的身体在 1 到 3 个月内会排除这些微量的汞（Pombo & Gibbons 2005）。
- 记住机体能够而且确实随着时间除去汞，这很重要。因此，如果人们许多月定期食用大量含高水平汞的鱼类，他们仅高于安全水平（DHS 2004）。

鱼类

- 鱼类在世界上很多地区是人类饮食非常重要的组成部分，提供不易替代的营养物质（如蛋白质、 ω -3 脂肪酸及其他）。汞是对这种食物供应的主要威胁。当然，如果其它所有因子相等，对于消费者，含有低甲基汞水平的鱼本身就比较较高甲基汞水平的鱼健康的多（UNEP 2002）。
- 食用鱼或长链 ω -3 多聚不饱和酸对所有人都有益，上至老人下至胎儿。定期食用鱼类对心脏病患者和不同类型癌症、包括乳腺癌、前列腺癌及子宫癌患者均有益处。另外，食用鱼类对患阿兹海默症和 2 型糖尿病的病人也有好处，可降低心脏病发作的危险，促进婴儿眼睛和脑的发育，减轻风湿性关节炎的症状，可能还会减缓乳腺癌及其他形式癌症的恶化（Pombo & Gibbons 2005）。
- 由于害怕伤害未出生的孩子，误传实际上已经使得鱼从育龄期妇女的饮食里减少或甚至排除。我们已经知道鱼是蛋白质、 ω -3 多聚不饱和酸及其它重要营养物质的重要来源。含鱼类在内的平衡饮食已为人所知，可以显著降低分娩前的危险、减轻分娩负担，对儿童的生理及智力发育也有正面影响（Pombo & Gibbons 2005）。
- 人们几乎完全藉由食用水生食物链顶端受污染的鱼和野生动物暴露于甲基汞。国家研究委员会在 2000 年关于甲基汞的毒性效应的报告中指出，最高危人群是食用大量鱼和海产品妇女的子女。该报告进一步估测，每年有超过 60,000 个由于子宫内甲基汞暴露而有不良神经发育影响危险的孩子出生。美国环保署在 1997 年提交给议会的汞研究报告中总结，汞也可能对食用大量被汞污染的鱼的一些成人和野生动物种群造成危险（USGS 2000）。
- 大多数食品中汞浓度常低于检测范围（通常 20 ng Hg/g 鲜重）（US EPA 1997）。鱼和海产品是最主要来源，主要以甲基汞化合物的形式，占总汞容量的 70-90% 或者更多。一些鱼类体内汞含量比其它鱼更多。不同种类的鱼的可食用组织内的正常汞浓度范围很广，一般从 0.05 到 1.400 mg/kg 鲜湿重，由水的

pH和氧化还原电压、鱼的种类、年龄、位置、生境、食物及大小决定。食肉性鱼类（捕食其它鱼类）体型较大，位于食物链顶端，因此容易含更多的汞（US EPA 2001a, DHS 2004）；比如说，king mackerel、梭子鱼、鲨鱼、旗鱼、大眼狮鲂、梭鱼类、scabbard及枪鱼，还有海豹和toothed whales，所含平均浓度最高。虽然大金枪鱼的汞水平典型地与其它大型食肉性鱼类相似，但是数据显示罐头金枪鱼中的水平通常低得多。这主要是由于通常用于罐头金枪鱼的金枪鱼都是比较小的（US EPA 2001）。

- 使用鱼粉作为供人类食用的家禽及其它动物的饲料，可能会导致汞水平上升。在德国，家禽含0.03-0.04 mg/kg。牛可以在瘤胃中使汞脱甲基，因此，牛肉和牛乳中汞的含量非常低（UNEP 2002）。
- 现有数据显示，汞存在全球各处（尤其鱼类中），其浓度足以对人类和野生动物产生不良影响。这些水平已经使得许多国家在消费报告（对于鱼类、有时候也有海洋哺乳动物）警告人们，特别是敏感人群（像孕妇和年幼的孩子），限制或避免食用出自各种水体的特定种类的鱼。适当食用鱼类（含低水平汞）不太可能造成关注的暴露。但是，食用较高量受污染的鱼类或海洋哺乳动物的人可能接受高度的汞暴露，并因此处于危险之中（UNEP 2002）。
- 肉食性鱼类，比如鲨鱼、旗鱼、新鲜的和冷冻的金枪鱼（非罐装）含较高水平的汞，仅应偶尔食用。如果按照Health Canada消费指南，食用鱼类的健康效益大过汞暴露的危险。如果您是成年人，限制您食用这些鱼类不超过每周一餐。孕妇、育龄期妇女以及年幼的孩子，尤其应该谨慎，限制他们食用这些鱼类不超过每月一餐（Health Canada 2004）。
- 澳大利亚饮食指南建议每周吃1到2餐鱼（~150g 鱼/次）有益健康。有一条好消息，FSANZ已经发现大多数种类的鱼，所有人群每周吃2-3次是安全的。仅有几种鱼，FSANZ建议饮食中应加以限制——尖嘴鱼（旗鱼/broadbill和枪鱼）、鲨鱼/flake、orange roughy及鲶鱼。FSANZ建议孕妇、计划怀孕的妇女及年幼的孩子继续食用多种鱼类作为健康饮食的一部分，但是限制某些种类的食用。孕妇、计划怀孕的妇女及年幼的孩子应当限制摄取鲨鱼（flake）、broadbill、枪鱼、旗鱼，不超过每两周一次，在这两周中不食用其它鱼类。对于orange roughy（也当作sea perch出售）和鲶鱼，建议食用不超过每周一次，在这周内不食用其它鱼类（FSANZ 2004）。

症状

- 神经系统对所有形式的汞都非常敏感。暴露于高水平的任意形式汞中都可永久性损伤脑、肾脏及发育中的胎儿。对脑功能的影响会导致兴奋性、胆怯、抖动、视觉或听力及记忆问题方面的改变。高度暴露于汞蒸汽可能会导致胸痛、呼吸困难以及可致死的肺液增多（肺水肿）。甲基汞和汞金属蒸汽尤其有害，因为有更多汞到达脑部。长期暴露可能会使视觉浑浊。与氯化汞接触可使皮肤烧伤，永久性损伤眼睛。公害可以在机体内累积（DEH 2004）。
- 汞影响人类脑部、脊髓、肾脏和肝脏。它会影响感官、视觉、味觉及行动的能力。它可使手指和脚趾有麻刺的感觉，嘴巴周围麻木，tunnel vision。长期的汞暴露可导致症状日渐恶化，引起人格变化、精神恍惚及昏迷（HCWH 2002d）。
- 对于元素汞和无机汞化合物，已经在以下方面看到其影响：低分子量蛋白质排泄、与甲状腺功能有关的酶、自发流产率、genotoxicity、呼吸系统、胃肠（消化）系统、肝脏、免疫系统及皮肤（UNEP 2002）。
- 吸入1-3 mg/m³达2-5个小时可导致头痛、流涎症、口内的金属味、打寒颤、咳嗽、发烧、抖动、腹部绞痛、腹泻、恶心、呕吐、胸部紧固、呼吸困难、疲劳或肺部发炎。症状可能会延迟几个小时发作（Ingham

County 2005)。

- 实际上，在科学事实证明汞的毒性很久之前，就有证据显示汞中毒会造成神经损伤。19世纪80年代，制帽人在羊毛制毡过程中接受汞暴露。Lewis Carroll的爱丽丝梦游仙境中的“疯狂的制帽人”奇怪、难料的行为就是对因汞中毒“疯狂”的制帽人的描画(HCWH 2002b)。因此，“象制帽人一样疯狂”的词语就来自于毡帽生产中因汞的使用而出现的这些症状(Ingham County 2005)。
- 在孕妇体内，汞能穿过胎盘，通过阻碍脑和神经系统正常发育来影响胎儿发育。胎儿脑中的汞水平约为母体血液的5到7倍(Cernichiari *et al.* 1995)。受影响的孩子表现为智力低下、听力受损、协调能力差。他们的语言和运动技能可能会迟滞。由于汞对发育中胎儿的这些威胁，象美国这样的国家，联邦政府建议怀孕或可能怀孕的妇女不要食用被汞污染的鱼(HCWH 2002d)。
- 发育中的中枢神经系统对甲基汞比成年人的更敏感。妊娠期间暴露于高水平甲基汞的婴儿中，临床照片可能无法与其它因素引发的脑瘫区别，主要的模式为头小畸型、反射亢进及明显的运动和智力损伤，有时还伴随失明和耳聋(Harada, 1995; Takeuchi and Eto, 1999)。在较轻微的案例中，精神性运动和智力损伤及永久病理反射的影响可能仅在发育后期明显(WHO/IPCS 1990, NRC 2000, UNEP 2002)。
- 儿童的发育中神经系统对甲基汞尤其敏感。影响包括I. Q.下降、行走和说话迟滞、缺乏协调、失明和惊厥。成人中，极端的暴露可引发诸如人格变化、震颤、视觉改变、耳聋、肌肉协调和感官缺失、记忆力损失、智力损伤、甚至死亡(Health Canada 2004)。
- 对一个暴露于来自鱼的甲基汞的人群进行研究后，也发现和心血管系统疾病发生率上升相联(Salonen *et al.*, 1995; Rissanen *et al.*, 2000)。动物研究中有genotoxicity及影响免疫系统和繁殖系统的证据(UNEP 2002)。
- 多数有关汞的有害影响的科学信息都是基于非常缓慢地从机体排出的甲基汞的已知影响。汞中毒可能是急性的，但是通常是由甲基汞的重复、慢性暴露造成的。在人类中，大抵是由于食用了受污染的食物(主要是鱼)。汞中毒影响中枢神经，症状诸如呆滞、缺乏食欲、体重下降、震颤、记忆力损失、睡眠干扰及心理混乱。还可以导致牙龈发炎、牙齿松动及皮疹(Immunise Australia Program 2001)。
- 甲基汞毒性很强，神经系统是它主要的目标组织。成人中，最初的效应是非特定症状，如 paresthesia, 麻木或“发麻”的感觉是最低剂量时出现的最早症状。随着暴露增加，人可能会不舒服、视力模糊，出现诸如视野同中心压缩、耳聋、构音障碍(=语音显著模糊、缓慢且很难发音(并理解))的征兆。有构音障碍的人可能还有控制定调、响度、节奏及语音音质的问题，共济失调(=Wobbliness。由于脑无法调节身体姿势并调节肢体运动的力度和方向造成的不协调、不稳定(Harada, 1995)(UNEP 2002)。
- 儿童中的汞暴露可导致一种严重中毒形式，称为肢端痛。肢端痛显示为四肢疼痛、手、足及鼻子刺痛并脱皮、兴奋性、发汗、快速心跳及缺乏灵活性(Ingham County 2005)。
- 慢性汞负荷的临床症状
 - 行为变化
 - 头昏眼花
 - 脱发
 - 肌无力
 - 抑郁
 - 疲劳
 - 失眠
 - 皮炎
 - 牙龈疾病
 - 过敏反应或哮喘

(Mineralysis 2002)

- 特定的症状包括震颤、情绪不稳、失眠、神经与肌肉变化及头痛。慢性效应包括中枢神经系统影响、肾脏及甲状腺损伤及出生缺陷（UNEP 2002）。另外还猜测有基因损伤（Ingham County 2005）。高度暴露还会造成死亡。
- 神经系统影响：这些是成年人暴露中慢性汞暴露最严重的影响，因为它们一致而且显著。一些元素汞溶于血液中，可能还被运送穿越血/脑屏障，氧化并存留于脑组织中。慢性汞暴露的神经系统症状包括：兴奋性增加、精神不稳定、易哭、手足轻微震颤及人格变化（Ingham County 2005）。
- 肾脏影响：肾脏损伤包括尿中蛋白增加，高剂量暴露可能会导致肾衰竭（Ingham County 2005）。
- 出生缺陷：来自甲基汞的神经损伤。轻微暴露的表现包括发育中重大事件的延迟、肌肉伸缩性及腱反射改变及智力低下（Ingham County 2005）。

检测

- 血或尿中汞的体负荷测定在急性中毒案例中是唯一有用的。由于重金属在机体组织中迅速沉积，在慢性低水平暴露的案例中，金属水平测定很难指示机体负荷。组织矿物分析（TMA）能够测定慢性暴露的程度（Mineralysis 2002）。
- 汞已经在人类毛发法医研究中、由于饮食的原因、在毒性和卫生保健工作中以及出于调查污染和未污染地区中的环境浓度的目的被测量。头发中的汞浓度与血液中汞的量成比例、因此应当反映金属的机体负荷，这一设想已经充分研究证实。不仅有可能估测汞的机体负荷，知道了头发的生长速度，概括过去几个月汞的机体负荷也是可行的。
- 甲基汞在生长的头发中大量累积。一旦吸收进入机体，甲基汞就通过发根周围的血液进入毛囊。头发中的浓度与同时的血液浓度成比例，但要高 250 倍左右。他们还和目标组织——脑中的浓度成比例（Cernichiari *et al.*, 1995）。成束头发的纵向分析可概括过去血液和脑的水平（Amin-Zaki *et al.*, 1974）。头发和血液被用于成人和胎儿脑中甲基汞的生物指示媒介（后面的案例中，母体头发或脐血）（Clarkson 2002, Mineralysis 2002）。

4.1 案例研究

- 1953 年发生在日本水俣湾的一件悲惨且臭名昭著的事件，突出了无机汞作为水体污染物的危险性，该事件中工业化乙醛生产的无机汞副产品直接排放入当地海湾，并被海湾底部厌氧污泥中的微生物甲基化。1960 年，有机甲基汞最终在当地人食用的海产品中检测出来。这次中毒侵袭了 397 名村民，致使 68 人死亡、22 例严重的出生缺陷。汞中毒有时仍然被称作水俣病（Mineralysis 2002, UNEP 2002）。
- 集体食物中毒已经在世界各地发生，在这些地方有机金属汞（短链烷基汞）化合物被用作杀真菌剂来处理种子谷粒（尤其是谷类作物）。处理过的谷粒不应作为食物使用，但如果用于饲养牲畜，肉就会被污染。1971 年-1972 年冬天，当这些含汞的杀真菌剂用于处理谷粒时，大规模的这种中毒事件就这样发生在伊拉克乡村。该事件涉及 6000 人，造成 500 人死亡。流行病学追踪调查显示多达 40,000 个个体可能已经中毒（Mineralysis 2002, UNEP 2002, Clarkson 2002）。
- 1999 年-2000 年，对美国一个约 1700 名妇女的典型群体进行研究，8%左右的妇女血和头发中的汞浓度

超过美国环保署参考剂量（估测的安全剂量）的相应水平。数据显示，暴露在食用鱼类较多的国家，如格陵兰和日本通常会比较高（UNEP 2002）。

- 国家水俣病协会的科学家发表的最新研究，对定期食用鱼类对孕妇和她们未出生的孩子造成威胁的主张提出甚至更多怀疑。1999 年到 2002 年开展的一项研究中，对超过 8,000 个日本人进行汞的头发测量，结果显示约 74% 育龄期妇女（15-49 岁）头发的汞水平超过美国环保署的参考剂量（Yasutake *et al.* 2004）。这就显得尤其有趣，根据国际教育成绩分数，日本孩子一贯比美国孩子得分高。举例来说，日本四年级孩子的数学分数显著高得多。八年级的分数中，日本孩子在数学和科学分数上胜过美国孩子（International Association for the Evaluation of Educational Achievement, *Mathematics (Science) Achievement in the Primary School Years: Third International Mathematics and Science Study*, 1997, Table I.I.; International Association for the Evaluation of Educational Achievement, *TIMSS 1999 International Science Report: Findings from IEA's Repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the Eighth Grade*, 2000, Exhibit I.I. In: Pombo & Gibbons 2005)。大体上，日本孩子教育上胜过美国孩子。这个事实直接削弱了子宫内暴露会对孩子的 IQ 产生负面影响的主张（Pombo & Gibbons 2005）。
- 在中国的工业城市哈尔滨，Feng 等人（1998）发现甲基汞和总汞浓度之间的相关性很低，表明汞暴露主要是以元素汞或无机汞的形式。
- 消费者委员会最近开展了一项关于 12 个不同品牌的“西瓜霜”的重金属浓度的研究，“西瓜霜”是一种治疗口腔溃疡和牙龈发炎的传统中国药物。发现有两个品牌汞水平超过现有限度的 13 倍。由于包装上没有印上清晰描述，消费者常常仅凭个人经验评估其医学可信性。一个人的健康可能因使用过量的汞而受到严重影响（Mineralysis 2002）。
- 1998 年，Dickman 等人（1999）研究了香港男性生育能力与海产品中的汞之间的关系。有证据显示，有生育能力的男性头发的汞浓度随着年龄增长（25-72 岁）而增加。发现汞水平较高的男人是可能为生育能力低下者的两倍。每周食用超过四次鱼类或贝类的人，他们头发中的汞浓度比那些食用鱼类和贝类不那么频繁的人显著高得多。香港之前 5 年不食用海产品的素食者头发中汞的水平最低（1.21 对 3.33 mg/kg 香港非素食者——等于 0.12 对 3.33 mg%）（Mineralysis 2002）。
- 香港儿童的血和头发（即组织）中的汞水平都有所提高，与食用鱼类的频率有关（Ip *et al.* 2004）。

第 5 章 含汞产品及其替代物/代用品

- 汞暴露过去主要是一种职业危险，而不是环境危险。由于塑胶制品、纸张及电池生产中使用汞，最后污水排入湖泊、河流，使得汞已经成为一种环境污染物（Mineralysis 2002）。
- 过去，许多有机汞化合物使用相当广泛，例如用于杀虫剂（其中广泛用于拌种）及一些涂料、医药和化妆品中的生物杀灭剂。虽然在世界上一些地区这些使用已经减少，但是有机汞化合物仍然用于一些用途。比如，某些国家使用汞化合物拌种，使用少量二甲基汞作为一些化学检验的参考标准，以及自 20 世纪 30 年代以来使用硫柳汞（含乙基汞）作为一些疫苗和其它医学和化妆品产品的防腐剂。随着汞对健康和环境潜在影响的了解增加，许多工业国家，尤其过去二十年间，汞的应用（无机汞和有机汞）还有用量都显著减少（UNEP 2002）。
- 然而，某些国家已经废止的用途在世界上其它地区还仍在存在。这些用途里有一些由于对人类和环境的不良影响在许多国家已经被禁止或严格限制（UNEP 2002）。
- 据 Logan 所说，天然气技术比煤作动力效率高出 20% 之多。而且，每使用 300 百亿立方公尺天然气代替煤，二氧化碳排放就下降约 2 千万吨（Schmidt 2002）。

5.1 采矿（如，作坊式金矿）及工业（氯-碱、水泥）应用

- 象提炼黄金的金矿这种环境中，可能会发现较高浓度的元素汞（USGS 2000）。大量液态汞被用于提取沉积于河床中的黄金。用加热的方法使汞从汞齐中蒸发出来时，就会重新获得纯金（USGS 2000）。
- 氯-碱操作中的汞排放只有转换成非汞处理才能被完全消除。当一家公司决定拆除汞电池氯-碱设备并以膜技术替代时，膜电池能效更高这个事实（Fauh 1991）是战略和经济方面必须重视的因素之一（UNEP 2002）。
- 水泥行业需要能量生产水泥，煤炭在全球水泥行业中将保持重要的输入。许多煤炭生产商和水泥工厂经营者已经确定并发展长期的密切关系，供应工厂所需的全部或部分能量需求所要求的煤炭（ACA 2005）。
- 燃煤产物（CCP）比如飞灰通常在水泥制造和建筑行业也有重要作用。飞灰加入混凝土中时，球形颗粒在混合时像滚珠轴承一样运动，提高了水泥的可使用性和流动性，还有水泥混合物的级配曲线（ACA 2005）。但是，含汞的飞灰作为一种污染物不应使用，因为它会缓慢地进入周围环境中。

5.2 电器

- 您曾经想知道为什么一些灯的开关在您开灯的时候没有“咔嚓”声或者您的卷发器要关闭时如何“知道”的？许多常见的家用产品和用具都有汞开关。您可能不会怀疑的产品，比如您的蒸汽熨斗，都有汞倾斜开关。
- 由于这种金属的传导性和液态属性，汞开关被广泛使用。倾斜和浮动开关完全如你想象那样操作。在倾斜开关中，当开关被“倾斜”时，汞随开关滚动完成电路。浮动开关通常用于像浅池泵和小船上的舱底排水泵的水位。当水位上升，开关里面的汞移动完成电路，然后将泵打开或关闭。

- 一个小的电开关可以含3.5 克汞，工业开关含汞可多达8磅（National Wildlife Federation 2000）。
- 购买无汞开关产品的选择受到限制，部分原因是一些产品中缺乏使用汞的认识，还有替代选择的利益问题。然而对于大多数产品来说，都有厂商可以使用的汞开关替代品。比如说，电动、机械及铜珠开关都是可用的（Kuiken 2002）。

5.3 电池

电池（医学用途）

- | | | | |
|-------|------------|---------|-------|
| ■ 警报器 | ■ 血液分析仪 | ■ 自动减颤器 | ■ 助听器 |
| ■ 仪表 | ■ 监控器 | ■ 起搏器 | ■ 泵 |
| ■ 天平 | ■ 自动测量记录传导 | ■ 超声波 | ■ 呼吸器 |

电池（非医学用途）灯

- | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|--------------|
| ■ 荧光灯 | ■ 杀菌灯 | ■ 紫外灯 | |
| ■ 高压气体放电灯(高压钠灯、汞蒸汽灯、金属卤化物灯) | | | (HCWH 2002c) |

5.4 医药产品

举例：

“西瓜霜”—— 一种治疗口腔溃疡和牙龈发炎的传统中国药物。其它含可测量数量汞的中药包括：含汞和砷的丸剂包括：

- | | |
|---------|---------|
| - 安宫牛黄丸 | - 牛黄降压丸 |
| - 大活络丸 | - 牛黄清心丸 |
| - 石斛夜光丸 | - 再造丸 |
| - 大活络丹 | |

(CPCS 2002)

5.5 牙科

- 牙科汞齐填料含元素浓度达 50%（Mineralysis 2002）。
- 来自牙科填料的汞一般不会造成健康危险。但是，有相当少数的人对汞过敏。虽然加拿大卫生部门没有劝告您替换现有的汞牙科填料，不过它还是建议，在填料需要修补的时候，您可能会想要考虑使用一种不含汞的产品（Health Canada 2004）。
- 孕妇、对汞过敏以及肾功能弱的人应当避免使用汞填料。当您怀孕时，不要去移动汞，因为这种移动可能会使您暴露于汞蒸汽中。如果适合的话，孩子的乳牙应该使用非汞材料填补（Health Canada 2004）。

5.6 灯

- 荧光灯的使用是节约能量、减少发电厂汞排放量的一个很好的方法。问题时，每个灯管都含汞，错误地以垃圾掩埋法处理或在焚化炉中焚烧，最终都会使它进入环境中（Inform 2003）。
- 一个典型的灯管由涂有磷光剂涂层、两端有电极的玻璃管组成。当电流通过灯时，灯管中充满电子状态被激发到更高的汞蒸汽。汞被给予电压时，发出紫外线（UV），被涂有磷光剂涂层的玻璃吸收后使其发荧光，并发出可见光。如果没有汞蒸汽产生UV能量，那么就不会有光（Inform 2003）。
- 有些荧光灯只有3.5 mg 汞，但是有些含量高达60 mg。过去20年间，这些灯的汞含量已经稳定下降（Inform 2003）。
- 目前，还没有无汞代用品可以代替荧光灯，这些荧光灯以低耗能著称（Kuiken 2002）。
- 但是，已经有人做了一些工作，减少每个灯所需汞的用量。从每只灯20-40 mg 汞的典型含量，到如今，仅含3 mg 汞的灯也已经上市。不幸的是，这些新式的低汞灯很难和高汞灯在价格上竞争，消费者一般意识不到它们之间的差异（UNEP 2002）。

含汞灯（Kuiken 2002）

产品	汞的来源	替代品
荧光灯：通用直型、U型、紧凑型、高强度紫外灯、灭蚊灯	含汞灯管	低汞灯管 **
高压气体放电灯：汞蒸汽灯、高压钠灯、金属卤化物灯（街灯和泛光灯）	含汞灯管	最近已经开发了高压无汞灯
杀菌灯：热阴极、冷阴极、细线电缆	含汞灯管	无替代品
霓虹灯	含汞灯管	一些红色灯不含汞。其它颜色灯无替代品。

** 某些低汞灯汞含量没有必要特别低。处理过程中加入一种化学物质，与汞结合，并使灯通过TCLP过滤检测。Philips Alto T8灯含3.5mg 汞，比GE和Osram Sylvania的“低”汞T8灯含量低得多，这些灯汞含量为6-9mg 汞。¹

¹ John Reindle, Status of Local, State and Federal Mercury Project Legislation and Laws. 2001–2002 Legislative Sessions, June 28, 2002

5.8 电脑

- 汞在整个电脑中各处都有使用：电路板、电开关及电池（UNEP 2002）。
- 目前没有无汞替代品（Kuiken 2002）。
- 现在市场上有一些替代品。IBM已经开发出一种纯平显示器，这种显示器用软件控制绕轴旋转装置代替显示器背面的汞开关，汞开关启动倾斜后完成电路。另外，台式机的纯平显示器以及用于笔记本电脑的纯平液晶显示器（LCD）靠荧光灯提供背光。OSRAM-Sylvania已经开发了一种用于LCD屏幕的无

汞背光灯，使用氙气代替汞产生光（UNEP 2002）。

5.9 温度计

- 体温计
- Clerget血糖检测温度计
- 加热及冷却系统温度计
- 培育/水浴温度计
- 最小值/最大值温度计
- 美国标准和技术研究院校准温度计
- 锥形（加壳）管温度计 (HCWH 2002d)

- 汞温度计由玻璃制成，大小和稻草差不多，里面有银白色液体。作为照顾病患的第一步，汞发热温度计已经使用了几十年。然而讽刺的是，汞温度计本身对于家庭和社会的健康可能就是一种危险（HCWH 2002e）。
- 汞是一种可伤害人类和野生动物的有毒物质。许多家庭的医药箱中都有一支汞温度计达数年之久，而不会打破它。但是汞温度计很容易打破，而且很难清除。为使其正确发挥作用，使用前汞温度计必须被“甩下来”，这就为破损制造了持续的高发可能。各国的公共卫生部门官员报告了打破的汞温度计调动的稳定流量（仅1998年中毒控制中心就超过18,000例）（HCWH 2002e）。
- 有时汞从破损的温度计溢到地板的裂缝里或渗进地毯。如果汞从温度计中溢出，又没有清除干净，它就会全部蒸发，可能在室内空气中达到危险的水平。一支打破的发热温度计，含0.5到1.5克汞，如果蒸发进入一个狭小且通风不善的空间，足以对健康造成威胁（HCWH 2002d）。举例来说，如果在45m³大小的房间内打破一支汞温度计，汞水平会超出安全水平20倍。
- 市场上可买到几种类型的无汞温度计。包括：
 - 数字式电子温度计
 - 玻璃镓-铟-锡（galinstan）温度计
 - 可弯曲额头及耳道温度计 (UNEP 2002)
- 美国医学协会最近的一份陈述中指出，无汞发热温度计是适当的诊断工具（HCWH 2002c）。
- 已知由替代温度计造成的环境破坏显著小于汞温度计。使用替代温度计引起的主要环境顾虑涉及数字式电子温度计或耳道式温度计中使用的纽扣电池的处理。用于数字式温度计的纽扣电池含汞量远远小于汞温度计——每枚电池约3.5到11毫克汞。当汞温度计或纽扣电池被丢弃并在焚化炉中焚烧时，所含汞多数可能排入大气中，但是，在家中打破的汞温度计，或是在固体废物体系中打破、之后掩埋进垃圾的汞温度计，排放出其中的汞显著多于纽扣电池（HCWH 2002c）。

5.8 硫柳汞

关于疫苗中的防腐剂硫柳汞在中国的状态尚未可知。以下信息是有关澳大利亚和美国等国家的。

- 硫柳汞是一种有机化合物，按重量计算含49.6%的汞。硫柳汞的化学名称说明了它的成分，即邻乙汞硫基苯酸钠。自20世纪30年代以来，就将它极少量地用在疫苗中，作为防腐剂防止细菌和真菌污染（Immunise Australia Program 2001）。但是，美国环保署后来降低了允许安全的长期日常汞吸收量。因此，FDA对硫柳汞的最新评价提出有关可能的健康危险的问题（Clarkson 2002）。
- 时下的争论将疫苗中硫柳汞的使用与孤独症和其他发育障碍联系起来，使得许多家庭怀疑与儿童早期免疫相连的潜在危险是否超过其益处（Fox, M. 2005）。
- 他们发现，从硫柳汞中完全清除汞仅花 8 天多时间，而从血液中清除甲基汞需要 21 天。（Fox, M. 2005）
- “这项研究强调了硫柳汞和甲基汞在机体内反应不同。”杂志的理科编辑 Jim Burkhart 博士说道。（Fox, M. 2005）
- 它被代谢或降解成乙基汞和硫代水杨酸（FDA 2005）。
- 在美国，所有为6岁或更小的孩子常规推荐的疫苗中，硫柳汞已经被去除或者减至微量，除灭活流感疫苗A外，现在还限量供应灭活流感疫苗无防腐剂类型（含微量硫柳汞），在婴儿、儿童和孕妇中使用。硫柳汞主要用于多剂量疫苗（如Hepatitis B、乙型脑炎、流感）中。目前市场上的某些疫苗，比如建议较大的孩子（≥7岁）和成人使用的Td，也明确说明不含硫柳汞或仅含微量。有微量硫柳汞的疫苗每剂含1毫克汞或者更少（FDA 2005）。
- 临床文献中所描述的硫柳汞过敏反应，主要以延迟性的局部过敏反应表现出来，包括注射部位的红肿（Cox and Forsyth 1988; Grabenstein 1996）。这种反应通常比较轻微，仅持续几天。一些作者假设 thiosalicylate 成分是过敏反应的主要决定因素（Goncalo *et al.* 1996）。但是，在临床背景下，一般不可能确定局部反应是由硫柳汞还是疫苗其它成分引发的（FDA 2005）。
- 各种汞的指导方针都是以甲基汞的流行病学及实验室研究为基础，而硫柳汞是乙基汞的衍生物。由于它们是不同的化学物质——乙基汞对甲基汞——预计会有不同的毒性效应。因此，将基于甲基汞的指导方针应用于硫柳汞会有一定不确定性。各种不同的汞指导方针以甲基汞的流行病学的和实验室研究为基础，然而硫柳汞是一个乙基汞的衍生物。因为缺乏乙基汞对甲基汞的毒性比较的可靠数据，FDA认为乙基汞和甲基汞二者的风险评估是等同的（FDA 2005 or Resources Committee ?）。
- Magos 等人直接比较了以管饲法连续5天喂服等摩尔浓度乙基汞或甲基汞的成年雄性和雌性大鼠中乙基汞和甲基汞的毒性（Magos *et al.* 1985）。Magos总结出，乙基汞——硫柳汞中发现的汞的衍生物，神经毒性比甲基汞——各种指导方针基于的汞衍生物要弱得多（FDA 2005）。
- 关于硫柳汞的最后一份数据值得注意。1999年，在最初美国国家疫苗顾问委员会主办的有关硫柳汞的会议上，提出这样的顾虑，即婴儿可能缺乏排除汞的能力。在毕士大的罗切斯特大学及国家海军医学中心进行的最新NIAID资助研究中，MD测量了接受含硫柳汞疫苗作常规免疫的婴儿的血液及其他样本中汞的水平[Pichichero ME, *et al.* Lancet 360:1737-1741 (2002)]。在这些研究中，所有婴儿汞的血液水平没有超过甲基汞的安全指导方针。另外，暴露于硫柳汞的婴儿，血液中汞的清除比预计的甲基汞的清除要快，婴儿在硫柳汞暴露后大便里会排出大量汞，从而将汞从体内清除出去。这些结果显示，硫柳汞和甲基汞运输、代谢以及排泄的方式有所不同。硫柳汞从血液及身体中排除出去的速度似乎比甲基汞更快。NIAID正于布宜诺斯艾利斯进行婴儿人数更多的重复研究，这里仍然给儿童施用含硫柳

汞疫苗。请查看NIH/NIAID疫苗/硫柳汞网站<http://www.niaid.nih.gov/factsheets/thimerosalqa.htm> (FDA 2005)。

更多汞及其替代物/代用品使用实例

类型	产品	汞来源	替代产品
电器（大型）	煤气灶和冰箱 阁楼抽风机 船底排水泵 中央空调 卧式冰柜	汞火焰传感器 倾斜开关（气流/抽风机限制控制） 自动关闭的汞浮控开关 倾斜开关 倾斜开关（顶灯）	电子点火器 替代开关市场上有售 替代开关市场上有售，mfrs正逐步淘汰 替代开关市场上有售 新模式中汞被逐步淘汰
电器（小型）	15分钟停止的蒸汽熨斗 卷发器 门铃 空间加热器 电风琴 液体水平控制系统 商用爆米花机 手机 性能控制汽车 悬挂水平电控系统 保全警报系统 静音壁开关 浅池泵 化妆镜	倾斜开关 倾斜开关（自动关闭） 倾斜开关，发出“叮咚”声 倾斜开关（安全关闭） 非键盘控制开关 安装在浮球、控制杆臂或浅池泵活塞上的倾斜开关 倾斜开关 倾斜开关 倾斜开关 倾斜开关 倾斜开关 汞浮控开关 倾斜开关	替代开关市场上有售 开发1小时定时特征 - 更新的模型，许多都不含汞 多数新的浮球都不含汞——开发磁力干燥簧片开关、视觉传感器或机械开关 替代开关市场上有售 替代开关市场上有售 机械开关 机械开关 机械灯开关 - 机械开关
汽车	前灯 操作室 车盖及行李箱照明	含汞灯泡 倾斜开关 倾斜开关	白炽灯泡 球型开关或机械开关 球型开关
建筑材料	自动调温器	倾斜开关	电子温度计
计算机	笔记本电脑屏幕	背光荧光灯	尽管已有替代技术，但替代物仍不易获取
电子设备	纽扣电池 自动调温器	电池成分 倾斜开关（每个单元1-6个开关）	目前还未有替代品 电子控制恒温器
保健	血压计	含汞的血压装置	无液气压计或电子气压计

实验室使用	试剂	汞是许多化学药品的成分	许多检测已有替代程序或试剂
灯	荧光灯	含汞灯泡	一些无汞替代品正在开发当中 (如, 瑞典的碳灯)
个人护理产品	化妆品	汞用作防腐剂	已有无汞替代品
医药品	<ul style="list-style-type: none"> • 接触透镜溶液和其它含硫柳汞或苯汞硝酸的眼科产品 • 含汞撒利和汞盐的利尿剂 • 具有含汞防腐剂的早期验孕试剂盒 • 汞溴红/水溶液 • 含硫柳汞、苯汞醋酸或苯汞硝酸的鼻喷雾 • 含硫柳汞的疫苗 (主要用于嗜血杆菌、肝炎、狂犬病、破伤风、流感、白喉及百日咳疫苗) • 含汞污染的腐蚀性苏打或氯的清洁剂和去污剂 		
其他	珠宝	将汞装入小瓶或作为开关点亮珠宝	避免购买
	闪光鞋	汞开关	已废止, 避免购买二手货
工业生产过程	PVC产品	汞用作氯-碱处理过程中的催化剂	膜电池处理
矿业生产过程	黄金提取	汞和黄金颗粒一起汞齐化, 以回收	已有无汞方法

(Kuiken 2002, UNEP 2002, HCWH 2002c)

- 多数情况下, 无汞产品的价格与对应的含汞产品是相当的 (Kuiken 2002)。
- 汞已经进入消费者最少想到的产品生产线中, 比如车前灯——新的蓝色前灯为含汞的高亮度放电管。如果没有联邦批准的标签法或彻底的汞禁令, 新产品很可能在消费者或采购官员不知情的情况下被设计出来 (Kuiken 2002)。
- 含汞产品用户使用可行的替代品面临四个主要的障碍。其中包括:
 - 开发及测试的需要, 比如说, 出于安全原因的要求;
 - 较高的成本和竞争;
 - 对替代技术的态度及了解——甚至设备供应商;
 - 国际标准化测量。

第 6 章 政策及管理

背景

- 过去十年, 由于尽力缩减, 北美及欧洲许多主要来源地人为排放已经减少。一些发展中国家在过去十年间, 进入空气的人为排放总量也已经降低。比如说, 1990 年到 2000 年, 加拿大的排放量从 33 公吨减至 6 公吨 (UNEP 2002)。

- 控制这些来源汞排放的特定方法有很大不同，取决于当地环境，但通常归入以下几类：
 - A. “预防措施”，从源头彻底制止汞的某些使用或排放。
 - i. 减少汞矿开采及造成汞排放的原料和产品消费；
 - ii. 将包含或使用汞的产品、工艺和工作以无汞替代品将其取代（或排除）
 - B. “控制措施”，减少（或延迟）某些排放进入环境中
 - i. 通过末端技术控制汞排放
 - ii. 汞的废物管理（UNEP 2002）

这些方法中，非常普遍的类群是许多减少汞排放及汞暴露的特定技术和策略。在不同的国家里，它们是否被应用取决于政府及当地关于可能的危险的优先权、信息和教育、法律体制、执行、执行代价、意识到的益处以及其他因素（UNEP 2002）。

i. 减少造成汞排放的原料和产品消费

- 这是一种预防措施，最常用于含汞的产品及工艺，但是也可能会由于原料使用或发电燃料使用效率提高而采取这种措施（UNEP 2002）。
- 这类措施可能包括替代原料的选择，比如使用天然气代替煤发电、或者使用特殊成分（比如更多的氯）类型的煤，因为燃烧这种类型的煤造成的汞排放比其它类型的煤更容易控制。在一些区域，其它可能的方法可以是使用较微量汞（某些区域的汞浓度似乎相当不同，取决于原料的产地）。但是，这种方法有些局限和潜在的问题。举例来说，在偏好使用低硫原油的情况下，可能某些低汞煤炭的使用花费往往较高，这就有力地降低了所有高汞煤炭的市价，因此可能导致排放控制不那么严格的区域内高汞煤炭消费较多。此外，最近在美国采集的数据显示美国的煤炭供应在汞含量上并没有很大不同（UNEP 2002）。
- 虽然如此，这种针对减少汞排放的预防性措施通常cost effective，除非替代原料昂贵得多或者有其他问题限制这种方法（UNEP 2002）。

ii. 替换包含或使用汞的产品及生产过程

- 用不含汞的产品和生产过程代替包含和使用汞的产品及生产过程可能是影响经济和环境整个汞流动最有力的预防措施之一。它可以充分减少家庭中（并减少意外排放，象破碎的温度计）、环境中、废物流向、焚化装置排放及垃圾中的汞。替代品通常具有成本效益，尤其在市场需求越来越多的时候。这类措施也包括将化石燃料发电厂转成一种非化石技术（UNEP 2002）。
- 但是，设想替代品总是完全的胜利者也是错误的。比如说，节能荧光灯的案例中，在没有不含汞的竞争替代品时，由于目前的电器生产实践，从产品寿命周期的观点通常使用含汞的节能灯比使用不含汞的低效能标准白炽灯更有优越性（UNEP 2002）。

iii. 通过末端技术控制汞排放

- 处理前措施；
- 燃烧限制
- 废气清洁或末端控制
- 通过末端技术、如排气过滤器控制汞排放，可能尤其适于微量汞污染的原料，包括化石燃料发电

厂、水泥生产（其石灰原料产微量汞）、初级原料如钢铁、锰铁、锌、金及其他有色金属的提炼和处理，以及二级原料如钢铁废料的处理。现有的减少燃煤锅炉和焚化炉的SO₂、NO_x及PM的控制技术，虽然还没有用在许多国家中，但也还是控制一定水平的汞。对于燃煤锅炉，减少范围在0到96%，取决于煤的类型、锅炉设计及排放控制设备。平均起来，煤的等级越低，汞的缩减量越低；但是，缩减量也会在给定的煤的等级内改变。另外的汞防治技术尚处于开发及验证中，但是还没有应用于商业。最后，以多种污染物——包括SO₂、NO_x、PM及汞为对象的防治策略，可能是有成本效益的方法。然而，末端防治技术虽然减轻了大气汞污染的问题，但是仍然形成汞废物，这些是未来排放的可能来源，必须被处理掉或者以环境可接受的方式重新利用（UNEP 2002）。

- 高温处理矿产资源，比如化石燃料的燃烧、矿石的煅烧和熔炼、水泥行业中的烧窑，以及废物焚烧和某些化学物质生产，都会使一些挥发性的微量元素排放入大气中（UNEP 2002）。
- 通常认为具有排放控制装置的燃烧设备——一般用于发电或废物焚化——处理掉了燃烧过程中排放的多数或全部汞及其它重金属。但是，汞不像其它重金属，它独特的属性使得许多控制装置难以捕获。然而，有些配备控制装置的设备排除汞确实相当有效（UNEP 2002）。
- 煤和燃料油中的汞浓度主要是随燃料及其来源的类型而改变。煤中的汞可能与煤中所含的有机或无机成分（矿物质）相联。当它与矿物质、如硫化物相联时，通常可用物理的煤清洁技术去除。从煤的有机馏分中去除汞更为困难、昂贵（UNEP 2002）。
- 燃烧系统内的飞灰和其它表层物质能催化或调节汞的氧化反应。影响汞的类型形成的主要因素是燃料（或废物）的成分、燃烧条件及情节方法使用的废气类型（UNEP 2002）。
- 由于为满足发展中国家和发达国家日益增长的能源需求，化石燃料的燃烧也在增加，预计汞排放也会因缺乏控制技术或替代能源而增加。目前已经为燃煤设备和废物焚化炉开发了控制技术，主要目的是处理酸化物质（尤其SO₂和NO_x）和颗粒物（PM）。现有的这种技术可以提供某种程度的汞防治，但是从全球水平的视角来看，目前这些防治仅能减少少量来自这些来源的汞。许多控制在减少元素汞上明显没有其它形式汞有效。优化的汞防治技术正在开发和验证，但尚未在商业上应用（UNEP 2002）。
- 一些国家依赖于控制的废物焚化炉，可减少废物体积，利用与废物原料结合的能量。由于沸点低，多数汞在燃烧过程中因热量排放出去，直接排放入大气，除非这些废气被有效过滤。在一些工业化国家，过去一二十年间已经改良了废物焚化炉上的过滤设备，这也反映在汞排放量减少上（AMAP 2000）。通常，仅有35-85%汞通过过滤保留下来（(Pirrone *et al.*, 2001)，部分仍仍将直接排放到环境中。但是，过滤之后的碳注射剂能够显著增加保留率。接近100%的汞保留是不正常的。从废气中去除掉的汞被留在焚化残渣中，以及某些类型的过滤技术中来自废水处理（刷洗过程）的固体残渣。这些残渣贮存在垃圾中，推论如上所述，或者——根据污染物的成分——用于特殊的建筑用途（路面下或类似的情况）。在某些情况下，这种固体残渣被贮存在特殊的有毒废物沉积物中，另外加盖顶膜消除或减少废物的蒸发作用及沥出液（UNEP 2002）。

C. 废气处理（末端）控制

- 湿法烟气脱硫（FGD）系统
- 干法烟气脱硫系统
- 含汞颗粒排放

- 燃煤发电厂及地方性焚化炉最常配备静电除尘器（ESP）或织物过滤器（UNEP 2002）
- ESP对去除直径大于0.01 μm的所有类型颗粒尤其有效，包括那些在废气中浓缩后的含汞颗粒。含微量元素颗粒大部分被浓缩成两种大小：1）直径 ca. 0.15 μm 及2）直径2到8 μm之间。这两种大小的颗粒中的汞都可以被发现。ESP能够耐受高达720K的运行温度（Pacyna and Pacyna, 2000）。
- **织物过滤器**也被用于燃煤发电厂。颗粒采集效率（不同于汞采集效率）一直很高，甚至直径0.01 μm的颗粒采集效率也超过90%。但是，织物过滤器的耐久力非常依赖工作温度及它们对废气中腐蚀性成分的化学侵袭。废气的温度常超过织物过滤器材质的温度耐受性，因此限制了织物过滤器的应用（Pacyna and Pacyna, 2000）。根据美国的注解，燃煤锅炉中见到的织物过滤器耐受温度在美国可用（UNEP 2002）。
- 一些控制技术可减少超过一种污染物的排放，事实上，大部分已经藉酸雨排放控制推动。比如说，湿式吸尘器可减少SO₂和汞。减少NO_x的技术（选择性催化还原作用，或SCR）也已经被建立，以使元素汞氧化，能在顺喷湿式吸尘器中被有效捕获。将燃煤锅炉改（燃料转变）成烧天然气（简单的循环燃气锅炉或联合循环煤气涡轮），提供了减少SO₂和汞（几乎100%）及NO_x（70%到80%）排放的极大可能。织物滤清袋（FF）和静电除尘器（ESP）控制了细小颗粒和一些汞，而这两种方法结合可充分减少汞排放。这些都是多种污染控制可减少汞排放的例证，然而特殊的汞控制可能在经济上并不可行（NEG/ECP 2000）。
- **废气处理或末端治理**普遍用于治理SO₂、NO_x和PM：SO₂治理包括多种湿式和干式洗尘器；NO_x可通过选择性催化还原反应或选择性非催化还原反应减少；PM可通过织物过滤器（FF）或静电除尘器（ESP）治理。在美国已经有广泛的测试，检测大范围燃煤电站锅炉的这些系统的汞去除性能。平均结果在0到96%之间，取决于上面详述的许多因素。一般来说：一种特定的技术或者技术组合对任何类型煤都可减少一定范围的汞（UNEP 2002）；煤的类型极大地影响了完成的汞治理，从褐煤到亚烟煤再到烟煤，平均去除百分比随着煤的“等级”增加而增加。在任意给定的等级中，可完成一定范围的去除。还要注意，世界上的煤其等级和特点（如硫、灰分）的范围比美国的煤要广得多（UNEP 2002）。
- 迄今为止，研究已显示，最有成本效益的汞治理方法可能是综合的多种污染物（SO₂、NO_x、PM和汞）治理技术。在美国，这些技术中有许多还处在试验性开发阶段，但是还未广泛地全面验证。最近瑞典的经验已经证实了实体大小的废物焚化炉和电站燃烧炉中这种系统的经济还有技术效率（Hylander *et al.*, 2002, as cited in comments from Uppsala University, Sweden）（UNEP 2002）。
- 许多国家已经研究了湿法烟气脱硫（FGD）系统不同水流内汞的传输。这些研究已表明，湿法FGD系统中汞捕获取决于燃烧的煤的等级，以及FGD系统的设计和运转状态。通常PM治理装置（如ESP或FF）在湿法FGD除尘之前。配备除尘器的锅炉捕获汞的数量取决于逆流的PM治理装置吸收的汞以及除尘器吸收的可溶性汞的数量。燃烧烟煤的设备排出的废气比燃烧较低等级煤排出的废气中所含的Hg²⁺水平更高；这种汞在PM治理装置和顺流的除尘器中很容易被吸收。燃烧低等级煤的设备排放气体中的汞往往是Hg⁰，而且这些设备中的汞吸收往往是最低限度的。除尘器的化学反应也必须加以控制，以确保溶于洗尘器液体中的Hg²⁺不会被转变回Hg⁰，并在废气中被重新带走。洗尘器沉淀物也必须以环境可接受的方法进行处理（UNEP 2002）。
- 影响汞的类型形成的主要因素是燃料（或废物）成分、燃烧条件、使用的废气清洁方法类型。煤的等

级和氯的含量是汞的类型形成及通过不同类型空气污染治理技术加以吸收过程中非常重要的因素。在美国，烟煤往往含相对较高浓度的氯（Cl）。这可以使 Hg^0 氧化成 Hg^{2+} （主要是 HgCl_2 ）。 Hg^{2+} 可吸附于飞灰碳上，并在ESP或FF内被吸收。配备ESP或FF的烟煤煤粉（PC）燃烧锅炉总共可吸收20%到90%以上的汞。这种较高水平的吸收认为和较高的飞灰碳含量有关。但是，飞灰中的碳作为混凝土的副产品可对其使用产生负面影响，对工厂产热绿叶与负面影响。燃烧烟煤的设备、以及配备干法烟气脱硫（FGD）洗尘器或湿法FGD洗尘器的设备，汞吸收水平也很高。相反，低等级美国煤（亚烟煤及褐煤）为碱性，氯的含量相对较低，其飞灰中的碳含量也很低。燃烧低等级煤的工厂排出的废气中，汞往往以 Hg^0 为主。不管这些设备配备了ESP、FF、干法FGD洗尘器还是湿法FGD洗尘器，从这些工厂的废气中吸收的汞往往很低（UNEP 2002）。

- 不同的国家在较大或较小程度上信赖受控的废物焚化，这样可以减少废物体积，并且（最佳地）利用废物的材质中所含能源。由于沸点低，废物中多数汞含量在燃烧过程中蒸发，直接排放入大气，除非派出气体被正确控制。在许多国家，废物焚化炉的排放治理在过去十年中已经被加以改良，反映在汞排放量降低上（AMAP 2000）。在安装控制技术的设备中，Pirrone等人（2001）发现35%-85%的汞通过废气治理去除（UNEP 2002）。
- 从废气中排除的汞被保留在焚化残渣中，对于某些类型的过滤技术，则保留在废水处理（洗尘处理）的固体残渣中。这些残渣一般被送到垃圾填筑地或者——取决于有害物质和其它特征成分——用于特殊的建筑用途（墙板、路基或类似结构）。在某些情况下，这种固体残渣被贮存在特殊的有害废物沉积中，另外加盖隔膜或其它覆盖物排除或减少蒸发和沥出方式的排放（Pacyna and Pacyna, 2000）。

8.3.4 除电站锅炉及焚化炉外工厂产生废气的汞去除

8.3.5 减少氯-碱设备的汞排放

- 去除大量排放的汞的典型装置/技术有：1) 气流冷却，从氢气流中去除汞；2) 除沫器；3) 洗尘器；4) 以活性炭和分子筛吸附。正确使用这些装置可从气流中去除90%的汞（Pacyna and Pacyna, 2000）。

B. 技术措施

- 处理汞废物的技术措施可以在处理前措施和排放控制措施之间分开（UNEP 2002）。

(1) 处理前措施

- 用排放控制技术处理家庭废物、有害废物及医疗废物，禁止或限制汞排放到环境中（UNEP 2002）。

(2) 排放控制措施

- 要求垃圾掩埋场真正获得许可，并为其接受的有害物废物类型进行装备，包括防止汞蒸发或沥出的隔膜、垃圾污水的采集和处理、地下水质量的常规和长期检测、空气排放等等；
- 确保汞废物仅在为有害废物配备的设备中焚化，这些设备中具有最有效技术的粉尘采集器和废气控制，等等；
- 为已处理的汞（即其它）废物的最后处理开发一种设备（或许与邻国联合），这些废物长久以来如此集中或有害，以致不能用其它方法有效处理。
- 唯一真正长期的措施之一就是预防（是汞保持在废物waste stream之外）。一旦出现在waste stream中（如果认为污染治理优先），汞促进了焚化炉的排放控制、焚化炉残渣的特殊处理、垃圾沥出液处理等的需要——所有这些都需要额外支出。甚至那些极力将汞产品从一般的waste stream中分离开的国家，也

已发现很难达到满意的采集率，而且他们已经发觉分离的采集和处理对社会意味着极大的额外支出。因此，对于产品中的汞，将汞的有意使用降到最低限度可能是极想达到的目标。这已经使许多国家的汞替代政策后面的主要驱动力。

- 汞废物处理的另外一项长期措施就是在特殊的设备中作中间存储/限定存储。

iv. 汞废物处理

- 汞废物、包括末端技术回收的残渣，构成了一种特殊类型的汞排放，可能会影响到距离汞的最初来源很远的人群。汞废物处理——上述第四项“治理”措施，包括使废物中汞成分失活、然后以受控的垃圾掩埋法处理，或者以垃圾掩埋法处理之前不进行处理。在瑞典，目前唯一接受的汞废物处理是处理后废物深埋地下的“最后贮存”，尽管这种方法的某些技术层面还未定案（UNEP 2002）。
- 随着更多的汞从更多来源——包括气体过滤产品、氯-碱行业的淤泥、灰烬、炉渣及失活的矿物残渣、还有使用过的荧光灯管、电池及通常不能回收的其它产品中收集到，汞废物处理就已经变得更复杂了。通常低浓度汞在常规垃圾掩埋场是允许的，而一些国家仅允许含较高浓度汞的废物堆放在设计了增强型的排放治理技术以限制汞的沥出和蒸发的垃圾掩埋厂。一些国家里，可以接受的汞废物处理的成本很高，以致许多生产商现在在研究是否有替代品，使他们不必生产并处理汞废物。汞废物处理，正如现在最常采用的那样，依照国家和地方条例，日益要求长期的监督和投资。汞废物的正确处理对减少环境排放很重要，比如那些由于溢出发生的排放（即打破的温度计和压力计造成的排放）或者从某种用途的泄漏长期形成的排放（比如自动开关、牙科汞齐）。另外，假设汞有市场需求，回收含汞产品加以重复利用限制了新汞矿的需要（UNEP 2002）。

8.4.3 汞存货的可靠处理

A. 由Almadén接收

- 为退役氯-碱设备的汞提议的解决方案之一是，将其运送到西班牙的Almadén汞矿，该汞矿已经同意减少它的矿产，改为销售氯-碱汞。一些人感觉对Almadén将这种汞销到哪里或者如何使用还没有充分的控制。

B. 中间存储

- 另外的一项提议是，可以将汞无限期安全储存，直到有封闭的再使用策略或安全的处理。这种选择有项优点，如果确定有一些重要的新需要，汞还可以加以利用。它可能造成一些排放、需要继续付管理费用，并且仍然不是最终的解决方案。但是，如果实施最佳的管理，继续付管理费用以及中间存储场地外的重大排放风险就会小得多。

C. 终端/永久存储

- 从环境的观点来看，汞的终端/永久处理更可取这一论调受到争议。但是，这可以鼓励继续采矿、熔炼原始汞以满足当前的需求。另外还有争论，如果不可能回收、如果未来会出现重要的新（且“封闭的”）用途，沉淀下来的汞可能很难。
- 瑞典已经为剩余的汞和含汞废物的终端存储研究了一条策略。研究这条策略是为了响应如何处置来自消费品、工业以及中间/临时存储中普遍的高水平汞废物里的汞的关注。虽然法律体制需要发展，有关废物处理的多方面技术问题需要解决，以及终端存储设备的定位和设计问题，但是可行的概念已经被研究、提出。这个概念包括建议废物所有者为设备的建造、管理及运行负全责。除了处理前，这项选择的最终成本估计为14-20美元/kg汞。为正确地提出这个数字，该终端存储成本应在将氯-碱设备从汞

处理改为膜处理的预计成本上加6%-10%。

- 终端存储设备的无理要求包括地理稳定性、低水渗性以及没有矿产资源，使之在经济上有或可能有挖掘的可行性。终端存储可能位于被废弃的矿坑，有广为人知的地理和地理水文特征。
- 有一点很重要，就是要注意深埋地下的终端存储的概念，不是作为减少目前排放到环境中的汞或目前的汞暴露的方法提出的。更精确地说，它是作为存储汞废物问题的长期解决方案——根据汞的持久性以及减少汞污染的长期策略的需要而设计的。
- 举例来说，对出售飞灰用于水泥生产的工厂来说，使用活性炭注射剂，会使他们出售这种材料的能力因碳浓度增加而戏剧性降低。对选择使用湿法洗尘器吸收汞的工厂来说，他们出售用于墙板生产的石膏的能力可能会由于汞浓度增加而受到危害。额外的汞防治对副产品使用或残渣处理的可能影响，现在还不确定。
- 在这十年以及之后，采用汞处理的氯-碱设备的转型或停用使得汞大量供应，因为许多欧洲国家迫切要求2010年前逐步淘汰这种方法。仅欧盟，就可将多达13,000公吨额外的汞引入市场（约等于6-12年初级汞产品。为响应汞可能的供应过剩，代表欧洲氯-碱行业的Euro Chlor已经西班牙的Miñas de Almadén签署了合同。合同规定，Miñas de Almadén将从西欧氯-建工厂购买下剩余的工，并代替Almadén需另外开采的汞投放市场。依照这份合同，Euro Chlor的所有欧盟成员已经同意将剩余的汞出售给Almadén，Euro Chlor也相信多数中欧和西欧氯生产商也将签署这份合同。虽然这份合同明确表达了所有成员合理地处理剩余汞问题的努力，一些人还是认为，关于这些汞销往哪里或如何使用仍然没有得到充分控制。
- 同样地，各个政府掌握的汞的大量储备已经变得多余，如果获得有关当局批准，未来会在全球市场上销售。比如说，美国就是这种情形，它储备了4,435公吨汞。自1994年以来，汞的销售已经暂停，等待确定它对环境和市场的可能影响。但是，在那之前，部分储备的销售极大促进了美国国内市场上汞的供应，以及出口。1990-94年，美国政府的销售额相当于美国国内汞需求量的18%-97%（US EPA, 1997; Maxson and Vonkeman, 1996）。
- **废物焚化** - 许多国家，法律规定了许多污染从家庭废物和有害废物焚化设备到大气和废水中分别允许排放的上限，包括汞，对固体焚化残渣处理的详细说明。这种立法可能间接规定了少数排放控制技术的应用，这些技术能够符合排放要求。举例来说，一些国家将废气过滤广泛用于所有废物焚化设备（有害、医疗及家庭废物），阻止了大部分另外排放的汞。
- **固体焚化残渣的使用** - 还有法律规定了，可用于建筑（道路等）的废物焚化和化石燃料燃烧灰烬及炉渣中、还有可用作农田肥料的废水淤泥中的汞——和其它污染的浓度允许上限。
- **废物处理** - 在许多国家，尤其是OECD国家，法律规定了含汞产品及生产过程废物——比如电池、荧光灯管及牙科汞齐滤渣的分类收集和废物处理。这种法规的目的是防止或最小化含汞产品的散播，防止生产过程废物倾卸入环境中，并限制一般家庭废物流（可造成重大汞排放、提高废物处理成本）中含汞废物的数量。

措施/工具

- 最为人所知的**非防治技术**选择包括以下措施：

•**追回计划**：在产品中使用的汞还未消除的情况下，一些州和国家已经立法要求生产商在产品使用寿命到期时将产品追回。

- 消费者可通过坚持追回计划、强制产品标签及正确地重新利用含汞产品生产商施压。比如，在日本，电器回收法规要求生产商在产品使用寿命到期时无偿追回其含汞产品。欧洲议会最近正式通过了两项立法提案，要求生产商在其产品使用寿命到期时承担全部的财政及/或物理责任。他们还正式通过了有害物质限制条例（ROHS），将逐步淘汰电子工业中的有害物质使用，包括铅、汞、六价铬及几类溴化的火焰延缓剂（UNEP 2002）。

•**标准/合格证书**

确保产品符合最低健康及安全要求，并为消费者提供担保。

• **标签**：为更好地告知购买人群，已经立法要求生产商标注含汞产品。

• **处理禁令**：产品可以被丢弃到垃圾掩埋场并焚化的限制，是用来减少排放到环境中的汞的另外一个方法。

• **产品销售和使用禁令**：将汞隔离在环境之外最有效的方法是完全排除它的使用。某些国家已经在这方面领先，限制国内销售的含汞产品数量。（UNEP 2002）

处理措施例证：

焚烧前，将含汞废物的小部分分开，可以减少**地方性及医疗废物焚化炉**的汞排放。比如，在美国，免费的家庭汞废物收集已经非常成功地发现大量含汞产品、甚至成罐的元素汞。同时，分离计划的成功也已在医院部门得到证实，许多医院通过联合的行业-NGO-政府计划，保证避免购买含汞产品。但是，有时广泛实施分离计划很难或者很昂贵，尤其涉及普通民众时。在这种情况下，更好的长期解决方案可以鼓励使用无汞产品代替那些含汞产品。作为一种中期解决方案，分离计划可能会继续，可以将汞从燃烧烟道气中去除。给现有的PM及SO₂控制设备添加碳吸收剂，可相对较好地控制医疗及地方性废物焚化炉的汞排放，但是控制并不是100%有效的，过程中会产生含汞废物（UNEP 2002）；

燃烧前煤清洁、通过增加能源效率减少煤的消耗量、诸如烟道气清洁的末端措施，及/或如果可能的话转成非煤燃料来源，可有效处理**电站及非电站锅炉**、尤其燃煤锅炉的汞排放。其它可能的的方法是，使用汞含量较低的煤。当煤清洁和其它处理前选择可行且划算时，的确能够用来减少汞含量。同时，将吸附剂引入到现有的SO₂及PM控制技术之前，可以达到额外的汞吸收。这些技术正在开发和验证，但是还未投入商业使用。另外，这些方法的副产品可能是未来排放的来源，必须以环境可以接受的方法进行处理或再使用（UNEP 2002）；

水泥、采矿及冶金等行业中**原料或给料的微量污染**造成的汞排放，可以通过末端治理减少，如果可能的话，有时也可以用选择较低微量污染汞的原料或给料的方法（UNEP 2002）。

废钢生产、废钢码、粉碎机及二级钢生产过程中的汞排放，主要由汽车的便携灯及防锁刹车系统（ABS）开关造成；因此，其解决方案包括有效的开关拆卸/收集计划（UNEP 2002）；

给矿工及其亲人作危险性教育，推进某些更为安全、较少或不使用汞的技术，并且可行的话，将设备摆放在正确位置，使矿工可以取浓缩矿石进行最后的精炼加工，这样可以减少**作坊式金矿开采**活动造成的汞排放及健康危害。比如，一些国家已经尝试禁止工艺矿工使用汞，可以鼓励他们使用便利的加工设备，但是这种禁令的执行可能是很困难的（UNEP 2002）；

严格的汞计量程序、防止汞散布的“好管家”措施、正确过滤设备的废气并小心操作、正确处理汞废物，可充分减少**氯-碱**生产过程中的汞排放及职业暴露。有许多特殊的防止办法可以减少汞排放到大气中。美国氯-碱行业发明了一种方法，使用紫外灯显示产品设备的汞蒸汽泄漏，因此泄漏的地方可以被塞紧。设备打开前允许冷却，可减少汞排放到大气中。可以使用持续的汞蒸汽分析仪检测汞蒸汽泄漏，警告工人，以便于采取补救措施。通常公认的长期解决方案是鼓励依次逐步淘汰需要汞的氯-碱生产过程，用无汞技术代替（UNEP 2002）；

涉及含汞的**油漆、肥皂、各种开关应用、自动调温器、温度计、压力计及气压计**，还有**隐形眼镜溶液、医药品及化妆品**的汞排放和暴露，可通过以无汞产品代替这些产品减少（UNEP 2002）。

制备更有效的汞齐、使用其他材料代替汞齐，以及在废水系统中安装适当的阀门，可以减少**牙科材料**造成的汞排放（UNEP 2002）；有关处理汞齐填料的使用及/或处理的立法提案，美国的一些州已经正式通过法规或与牙科协会合作（Kuiken 2002）。

火葬过程中牙科汞齐造成的汞排放，可能只有火葬前去除汞齐才能减少，这不是普遍事件，或者在火葬场发生这种事时，过滤气体排放。由于废气清洁器对于火葬场来说是一种昂贵的控制技术，在常规牙科护理中用其他材料代替汞齐可能是首选方法（UNEP 2002）。

在**未受控制的含汞产品或废物处理**的情况下，减少由这种事件造成的汞排放，可能要使这些事件为法律所禁止并充分推行法律、提高有害废物设备使用，较长期地，通过一定范围的措施鼓励使用无汞产品或方法代替，减少涉及的汞的数量（UNEP 2002）。

6.1 教育

● 信息及教育措施

- 教育民众正确处理含汞产品；
- 提供征收点，民众可以轻松取走这些分离开的产品；
- 设计一些钥匙指示器，并宣传这些与汞的可靠处理相关的进展（UNEP 2002）。

● 联合国工业发展组织（UNIDO）集中于：

- 清洁技术的职业培训；
- 妇女及妇女企业家的培训，她们在这个部门占了很大份额；
- 通过工场在地方、区域及国际水平上增强意识；
- 提高媒体关注。其中，BBC和CNN已经报到了UNIDO的汞相关活动（UNEP 2002）

● 地方团体加入并致力这项事务至关重要，包括以下要素：

- 团体对这个问题的明确理解；
- 许诺团体财资处理该问题；
- 有关讨论的全部股东会议达成一致；
- 达成一致后，行动计划包括：a) 汞在浓缩/汞齐化步骤中的闭路式利用；b) 在野外，将汞齐放入蒸馏罐内燃烧，在金铺，使用通风橱；c) 在特别建造的沉淀池内处理的材料的限制；
- 同意采用这些措施，即为当前的操作，也为消除未来的问题；

- 对当前的操作，抽取汞污染水平样本、评估风险范围并开展孤立和补救措施，以确保汞的固定及/或回收（UNEP 2002）
- 为了将替代物成功地引入当前的污染事件，需要：
 - 熟悉当地的生产商、以及低技术含量但可有效回收黄金的设备的设计；
 - 论证汞齐的替代
 - 检验新技术的成本效率；
 - 与私人部门合作开发微资金项目（UNEP 2002）
- 还应实施其它更明显的措施，比如：
 - 汞齐化阶段中没有汞泄漏，是整个过程中汞管理的内容；
 - 使用汞齐化容器；
 - 矿石的闭路式处理；
 - 使用曲颈瓶以便于收集汞蒸汽；
 - 在金铺使用通风橱（与碳过滤器一起使用更佳）。（UNEP 2002）

6.3 再循环

- 众所周知，仍在使用中的产品中包含了一个很大的汞“池”，在社会上“处于使用当中”。如果正确地收集、再循环并处理，这个汞池可以满足未来许多年里社会上汞的所有社会需求。在瑞典、荷兰还有丹麦，已经有人尝试对这些汞池进行定量（UNEP 2002）。
- 但是，一定程度上，仍然有合法的汞需求，汞的再使用和再循环取代了原始汞矿的开采和熔炼，这将牵扯到额外的排放，也会使得新汞进入市场和环境中。汞的再使用和再循环比汞矿开采优先考虑——尤其在大量汞储备进入市场的背景下——被通常接受的经济规则复杂化，该经济规则中汞的**过度**供应驱使市场价格降低，反过来又促进了汞的额外使用或浪费。由于这个理由，采取了某种防范，如下所述（UNEP 2002）。

6.5 立法及志愿措施

- **规章/规定措施**
 - 依靠有效的废物收集服务，禁止产品废物及生产过程废物中的汞直接排放到环境中；
 - 确保分类收集和处理，禁止产品废物及生产过程废物中的汞在一般的废物流中与较无害的废物混合；
 - 设置撒于农田上的污水淤泥中允许汞含量的极限值；
 - 限制固体焚化残渣用于道路建设或其它不能确保长期控制的应用当中；
 - 禁止用过的、再循环汞再次出售；
 - 禁止非法的废物倾卸；
 - 禁止任何汞直接或间接流入常规的排水沟或水处理系统、或者任何汞在水中的处理；
 - 禁止或限制汞（及其它有害的）废物穿越国界线的运输；
 - 要求被行业或商业运作定点贮存的任何含汞废物或材料，必须装于密封、不透水的容器中，该机构必须有最后正确处理这些材料的书面计划和日程表；
 - 禁止在地面上处理任何污水淤泥、肥料或者汞含量超过可靠的国际标准的其它材料；

- 适当提出一项环境管理策略，包括可靠的监控及有关汞的规章执行、追踪所有汞的移动（从原料到生产过程到产品到废物）以及定期的独立控制。

(2) 经济措施

- 设置有害废物处理（特殊的焚化、专用的垃圾掩埋场等）的税金及费用，可充分反映可靠地处理这些有害物质社会和环境真正的长期代价。

措施的类型及目的：

产品及使用寿命

- 点来源
 - 防止或限制在生产过程中有意使用汞
 - 防止或限制汞从工业生产过程直接排放到环境中
 - 应用排放控制技术限制化石燃料燃烧和矿物原料处理过程中的汞排放
 - 防止或限制汞从生产过程排放到废水处理系统
 - 防止或限制使用过时的技术，并/或要求使用最有效的技术减少或防止汞排放
- 产品
 - 防止或限制含汞产品在全国销售
 - 防治含汞产品出口
 - 防止或限制已购买的汞及含汞产品的使用
 - 汞作为高体积材料中的杂质出现时，限制其允许的含量
 - 限制商业食品，尤其鱼类里允许的汞含量，提供关于污染鱼类食用的指导（基于同样的或其它极限值）
- 考虑中的汞控制选择
 - 防止或限制在地壳中进行原始汞矿的专用开采
 - 防止或限制销售作为副产品从其它矿物或化石燃料提取物（比如有色金属矿开采活动及天然气清洁）中回收的汞
 - 控制纯汞交易，以便于限制预定的基本使用及可靠的环境安全处理（类似于有害废物的程序）
 - 限制汞作为燃料或其它大批矿物质的杂质时的允许含量（UNEP 2002）
- 国际水平上，有两项有关汞及汞化合物的多边合约（MEA）：
 - 关于危险废物的越境转移及其处置的巴塞尔公约
 - 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
- 这些法律文件控制了有害化学物质/杀虫剂或有害废物贸易。但是，它们不包括直接减少汞的使用和排放的特殊承诺。最近通过的有关化学物质的协议——斯德哥尔摩公约POP不包括汞。另外，许多国际组织都在进行活动，提出汞对人类及环境的不良影响。
- 有三项区域的、法律上捆绑的文书，包括团体减少汞和汞化合物使用的绑定义务：
 - 关于长期跨境空气污染的LRTAP大会及其1998年关于重金属的奥尔胡斯草案（中西欧、加拿大及美国）
 - 关于大西洋东北部海洋环境保护的OSPAR大会
 - 关于波罗的海海洋环境保护的赫尔辛基大会

- 所有这三项文书都成功地在其目标区域中极大地减少了汞的使用和排放。

国家行动

- 许多国家的环境机构意识到汞的不良影响，将其视为高优先级物质。他们知道汞及汞化合物的使用和排放可能造成的问题，因此已经采取了措施限制或防止某些使用和排放。各个国家采取措施的类型包括：
 - 环境质量标准，制定不同媒介如饮用水、水表、空气和土壤以及食品如鱼类中，汞的可接受浓度上限；
 - 环境来源行动及规章条例，控制排放到环境中的汞，包括空气和水的点来源排放限制，推动最有效技术的使用、以及废物处理和限制；
 - 产品控制行动及含汞产品规章条例，这些如电池、化妆品、牙科汞齐、电子开关、实验室化学药品、灯、油漆/颜料、杀虫剂、医药品、温度计以及测量设备；
 - 其它标准、行动及计划，比如有关工作场所汞暴露的条例、要求提供行业中汞的使用和排放情况的信息及报告、鱼类食用建议以及消费者安全措施。
 - 尽管法律是许多国家立法提案的关键组成，汞的安全处理也包括，通过开发并引入更安全的替代品和更清洁的技术尽力减少使用汞的体积、利用津贴支持替代品的尝试，以及与行业或汞的使用者自愿达成协议。许多国家已经通过采取该范围内的措施显著减少汞消耗量，相应也减少了使用和排放。
- 下表列出了实施的一些重要的汞处理及控制措施，与产品及其使用寿命、还有执行状态的指示器有关，基于该报告提交的信息。
- 在一些欧盟国家禁止在测量装置中使用汞：瑞典、挪威、丹麦、法国（Ruzickova 2005）

措施的类型及目的		实施情况
生产及使用阶段		
点 来 源	防止或限制在生产过程中有意使用汞	极少数国家实施全面禁令
	防止或限制汞从工业生产过程（比如氯-碱和冶金行业）直接排放到环境中	在许多国家、尤其 OECD 国家实施
	应用排放控制技术限制化石燃料燃烧和矿物原料处理过程中的汞排放	在一些 OECD 国家实施
	防止或限制汞从生产过程排放到废水处理系统	在一些 OECD 国家实施
	防止或限制使用过时的技术，并/或要求使用最有效的技术减少或防止汞排放	在一些国家、尤其 OECD 国家实施
产 品	防止或限制含汞产品在全国销售	仅在少数国家实施全面禁令。对特殊产品的禁令或限制更为普遍，比如电池、灯、临床温度计
	防治含汞产品出口	仅在少数国家实施
	防止或限制已购买的汞及含汞产品的使用	仅在少数国家实施
	汞作为高体积材料中的杂质出现时，限制其允许的含量	仅在少数国家实施
	限制商业食品，尤其鱼类里允许的汞含量，提供关于污染鱼类食用的指导（基于同样的或其它极限值）	在一些国家、尤其 OECD 国家实施。一些国家使用 WHO 指导方针
使用寿命阶段处理		
依靠有效的废物收集服务，禁止产品废物及生产过程废物中的汞直接排放到环境中		在许多国家、尤其 OECD 国家实施
通过分类收集和/或处理，禁止产品废物及生产过程废物中的汞在一般的废物流中与较无害的废物混合		在许多国家、尤其 OECD 国家实施

措施的类型及目的	实施情况
防止或限制汞从家庭废物、有害废物及医疗废物的焚化炉和其它利用排放控制技术的处理过程排放到环境中	在一些国家、尤其 OECD 国家实施或正在实施
设置撒于农田上的污水淤泥中允许汞含量的极限值	在许多国家实施
限制固体焚化残渣用于道路建设或其它不能确保长期控制的应用当中	在一些 OECD 国家实施
禁止用过的、再循环汞再次出售	仅在少数国家实施

区域性及国际行动

- 显然，由于汞在环境中的持久性，可在空气和水中长距离、跨国界传输，通常在食物链中累积、远离最初排放点，许多国家已经总结出，国家的措施是不够的。有许多例证，这些国家已经在区域、亚区域、国际水平开展措施，确定共同的缩减目标，保证目标区域内的国家协调实施。

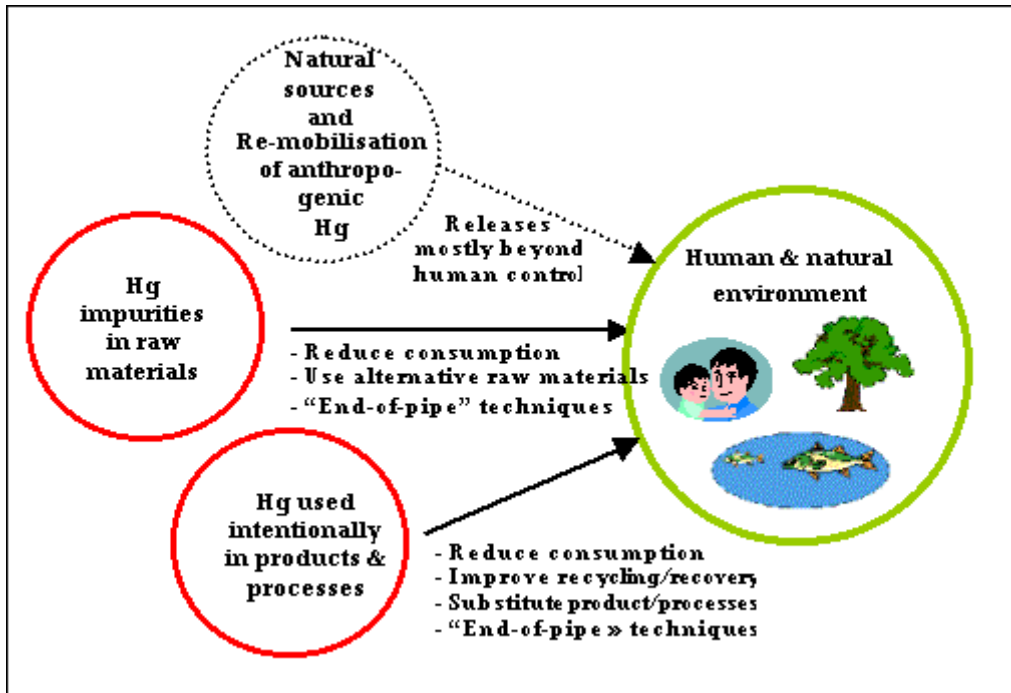
自愿行动

- 还有许多国家/区域性立法提案的案例，有私人企业以**自愿**承诺的形式承担，可以视作政府资助企业行动的补充，并且按照定义，他们受大股东资助，因此有很好的成功机会。所有这些自愿承诺都是对国家法规措施的有用补充，促进了意识提高、信息交换，以及有助于目标区域的缩减目标。比如：
 - (a) 促进含汞产品生产商的自愿承诺，负责担保他们的产品得到适当的操作和废物处理（比如，通过告知及培训使用者、产品追回方案等）；
 - (b) 促进含汞产品使用者（比如医院）的自愿承诺，通过适当的操作和废物处理，减少或消除汞的使用，并限制或避免汞排放到环境中；
 - (c) 在不同的私营部门行业或活动内促进自愿缩减计划，减少并/或消除汞的使用和排放，这样可以激励部门确定并实施适当而有效的解决方案
- (UNEP 2002)

第7章

结论

- 下图展示了汞排放种类，以及可能的控制机制的主要类型。



(UNEP 2002)

Human&natural environment 人类&自然环境

Natural sources and re-mobilisation of anthropogenic Hg 自然资源及认为排放的汞的再运用

Releases mostly beyond human control 排放多数超过人类控制

Hg impurities in raw materials 原料中的汞杂质

-Reduce consumption 减少消耗量

-Use alternative raw materials 使用替代原料

-“末端” techniques “末端”治理技术

Hg used intentionally in products & processes 产品&生产过程中有意使用的汞

-Reduce consumption 减少消耗量

-Improve recycling/recovery 改善再循环/回收

-Substitute product/processes 替代产品/生产过程

-“末端” techniques “末端”治理技术

- 许多国家已经确定需要建立或改进他们国家的汞及汞化合物“数据库”（也就是有关使用和排放、排放源、环境水平及防止和控制选择）。尽管各个国家情况有所不同，但似乎普遍需要有关各种汞环境处理策略因素的信息。同时，具有较久的汞环境处理传统的国家需要继续拓展有关汞的知识库，以改善风险评估，确保有效的风险管理。

- 汞的国家使用、消耗及环境排放总量；
- 监控各种媒介（比如空气、空气沉积、水表）和生物区系（比如鱼类、野生动物和人类）中当前的汞水平，评估汞对人类和生态系统的影响，包括不同形式汞的累积暴露造成的影响；
- 不同空间内汞的传输、转化、循环和结局；
- 用于人类和生态的风险评估的数据和评估工具；
- 与国家形势相应的可能的预防和缩减措施的知识与信息；

- 公众对汞的潜在不良影响和正确的操作及废物处理的意识提高；
- 获得国家、区域及国际水平的汞及其化合物现有信息的适当工具和设备；
- 有害物质——包括汞及其化合物安全处理的能力建设及基础建设，还有个人处理这种有害物质的培训；
- 汞和含汞材料的商业及贸易信息。