

第 6 章 中国汞管理专题

第 1 章 背景

汞^①具有持久性、生物蓄积性和毒性，且即使在非常低的浓度水平下也会对人体健康以及水陆生态系统造成影响。

汞是一种长期存在于大气中且具有全球迁移性的环境污染物。与其他重金属不同，汞的特性（室温下是液态，具有易挥发性，在大气和水体中具有更强的迁移性）客观要求应采取切实可行的风险管理措施以降低其对环境和人体健康所带来的风险。

专栏一：北极圈

北极监测和评估计划（AMAP）研究表明，即使在北极这样高纬度地区也可检测到汞。

许多工业过程（如燃煤电厂、有色金属冶炼等）都会无意排放汞；同时，很多产品生产[如聚氯乙烯（PVC）、医疗器械、荧光灯、电池和牙科填充材料等]过程中都会使用汞。因此，应采取综合性的污染防治措施实施汞污染控制。汞对局地、区域和全球所带来的环境和人体健康风险，也客观要求需要通过参与国际行动推进汞减排^②。

汞有几种不同的化学形态：包括元素汞、有机汞和无机汞。其中有机形态的甲基汞毒性最强，主要是在环境中通过微生物活动形成，可在有机体中蓄积，进而在整个食物链中形成生物累积和放大。人体对汞暴露会引起大脑、神经、肾脏和肝脏损伤，甚至会引起昏迷和死亡。同时，即使低浓度的甲基汞也会对人类（特别是胎儿和儿童）和哺乳类动物的神经发育带来不利影响。

汞的排放源主要分为自然源和人为源。汞可以通过大气和水体长距离迁移，如图 1 所示。排放的无机汞会在特定的环境条件（典型的转化环境是在沉积物和湿地环境中）下转化成甲基汞，从而给环境和人体健康带来更大风险。

① 本报告中提到的汞是指所有形态的汞，包括元素汞、有机汞和无机汞等。
② 联合国环境规划署不限成员名额工作组第一次会议报告附件 1 中提出的战略目标潜在成本和效益的总体定性评估。
2008 年 6 月 30 日。

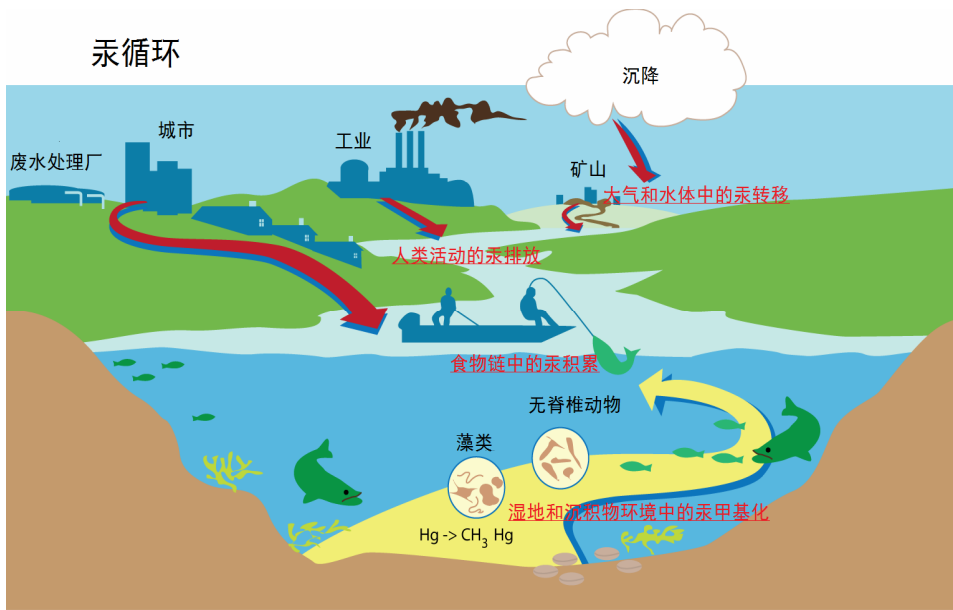


图 1 汞循环示意图^①

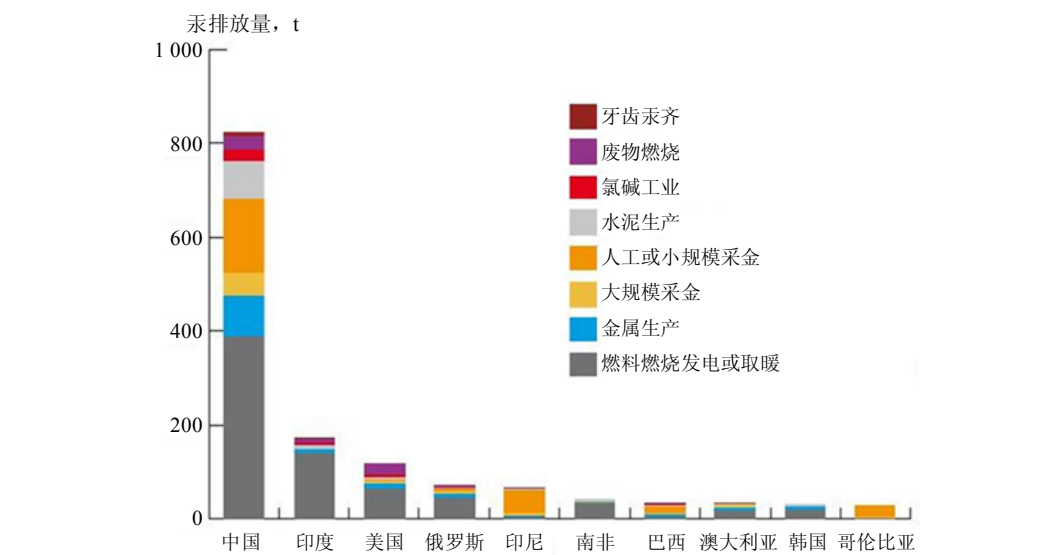
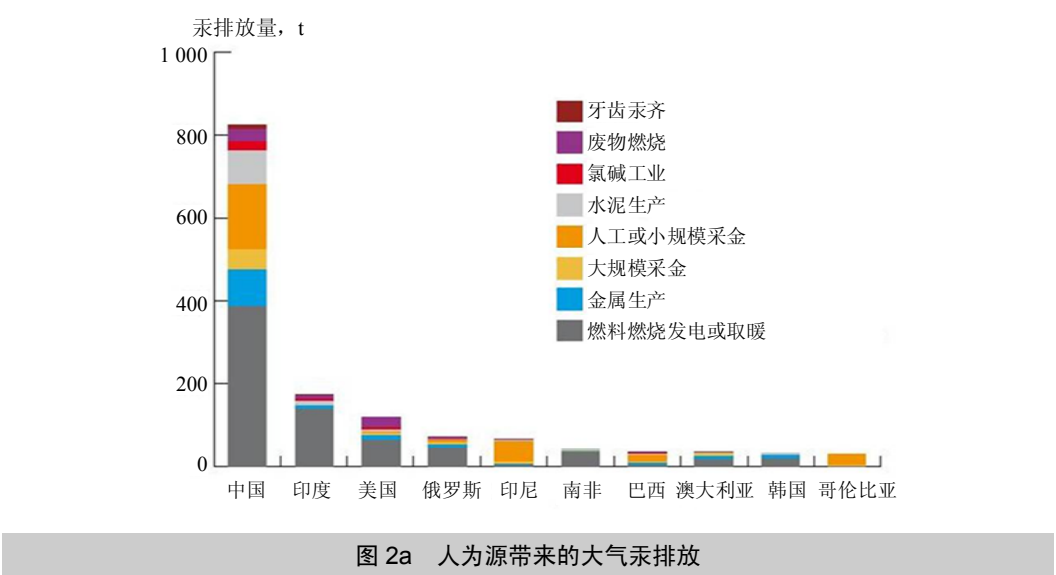
人类对汞的毒性的认识已经长达几个世纪，上世纪 50 年代发生了因为汞的环境暴露对人体健康带来重大影响的事件，即日本的水俣病事件。由于当地工厂将含汞废水排放到水俣湾，致使 2 万多人因食用含有甲基汞的鱼类而中毒。直到水俣病爆发，人们才逐渐认识到胎儿对甲基汞的敏感性，即使具有轻微甲基汞中毒症状的孕妇也会对胎儿的发育造成严重损害^②。上世纪 70 年代在伊拉克有 6 500 人由于食用了用甲基汞浸泡过的种子而中毒，这是甲基汞危害的又一例证。

20 世纪 60 年代末到 70 年代初，对瑞典多个湖泊的研究表明，无机汞在微生物作用下会转化成甲基汞，并在鱼体中蓄积。随后，在欧洲和北美的一些地区也发现了甲基汞的生物累积现象。据美国环保署估算，美国每年约有 30 万新生儿因其在母体子宫内暴露于甲基汞而面临认知能力下降的风险^③。

历史上，北美、欧洲是人为汞排放的主要区域。过去 30 余年，这些地区实施了一系列汞减排行动，使区域大气汞排放得到明显减少。目前，亚洲逐渐成为世界最大的

① United States Geological Survey (USGS) Fact Sheet FS-102-97 by Martha L. Erwin and Mark D. Munn August 1997. available at: <http://wa.water.usgs.gov/pubs/fs/fs.102-97> (accessed Oct 25, 2011)
② Mahaffey KR. Fish and shellfish as dietary sources of methyl mercury and the omega-3 fatty acids, eicosahexaenoic acid and docosahexaenoic acid: risks and benefits. Environmental Research, 2004, 95: 414-428.
③ <http://www.epa.gov/hg/exposure.htm> (Accessed: Sept. 6/2011).

大气汞排放地区，而中国则成为世界最大的大气汞排放国（如图 2a 和 2b 所示）^①。



是个过程，其确定对结果的影响排除其他化的

① The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport. United Nations Environment Programme. Chemicals Branch, DTIE. Geneva Switzerland, December 2008. Page 18. Available at: <http://www.unep.org/hazardoussubstances/LinkClick.aspx?fileticket=Y0PHPmrXSuc%3d&tabid=3593&lague=en-US> (Accessed Oct 25/2011)

针对北极地区的监测和评估研究结果表明, 尽管过去 30 年世界上的某些地方由于人类活动造成的汞排放量逐渐减少, 全球环境中汞浓度仍在增高, 汞对北极的野生动物和人类构成的风险也在增加^①。

汞污染已经成为全球关注的热点、难点和焦点问题。目前, 联合国 140 个成员国正在就拟定一项具有法律约束力的全球性汞问题文书进行谈判, 以减少汞对人体健康和环境的风险。该行动也客观要求中国应在推进经济持续增长的同时, 减少对全球汞排放的贡献, 减少国内汞污染。由于汞特殊的化学性质, 它可以在大气中存在很长时间 (几个月到几年), 并传输到很多偏远的地区。作为汞排放大国, 中国汞减排目标的设定对于全球汞减排至关重要, 中国也因此成为全球汞公约谈判的重要国家。

国际控汞行动要求中国应实施汞减排战略, 推进中国的汞减排与其绿色发展战略相衔接, 这不仅会使中国在保护环境和人体健康方面受益, 也将使中国在国际贸易方面占据主动地位 (例如最近欧盟采取的控汞措施)。

面对这些巨大的挑战, 中国在寻求解决办法的过程中, 证明了其引进创新和先进技术的能力并从中获益。中国已经在清洁能源战略、能源保护和绿色生产体系建设方面取得了显著的成就, 包括中国在应对全球气候变化所作出的庄严承诺, 这些都将为汞污染控制提供直接或间接的帮助。中国应通过技术革新来寻求切实可行的解决方案, 通过系统规划和优化行动计划, 推进汞减排与应对气候变化和其他大气污染物控制工作相衔接, 在推进汞减排的同时, 推进其他重金属污染物的减排, 进而产生良好的协同效益^②。

二、中国汞污染状况

(一) 中国汞污染的现状、趋势和问题

中国用汞的历史可追溯到公元前 1 000 多年, 早在殷商时代就开始使用辰砂 (HgS) 作为颜料。目前中国已经成为世界上最大的汞生产和消费国, 中国汞消费量超过 1 000 t/年^③, 约占世界消费总量的 50%。中国几乎涉及 UNEP《汞排放定量定性估算工具包》^④中所有的 11 大类 59 小类排放源。

中国是目前世界上为数不多仍在开采汞矿的国家之一, 且一定时期内汞仍将在工业生产中持续使用。聚氯乙烯 (PVC) 生产是中国最大的用汞行业, 大部分 PVC 生产采用乙炔法工艺, 该过程需要使用大量的含汞触媒 (许多国家已经采用以石油和天然

① AMAP, 2011. Arctic Pollution 2011. Arctic Monitoring Assessment Program (AMAP), Oslo, Vi+38pp ISBN-13978-82-7971-066-0.

② 脱硫脱氮装置可以同时脱汞, 产生协同效益。燃煤行业采取节能或者清洁能源替代措施可以减少燃煤过程中的汞排放。

③ 关于汞的使用数据由于来源繁多, 数据具有一定的不确定因素。

④ www.chem.unep.ch/mercury/toolkit or www.unep.org/hazardoussubstances/mercury/publications - Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases; revised level 2; March 2010.

气为原料的乙烯法工艺，不使用汞触媒）。含汞产品生产是汞的另一主要消耗源，涉及到医疗器械（温度计和血压计）、电池和荧光灯生产等行业，如图 3 所示。如不采取有效的限汞措施，汞的消耗量还将继续增加。

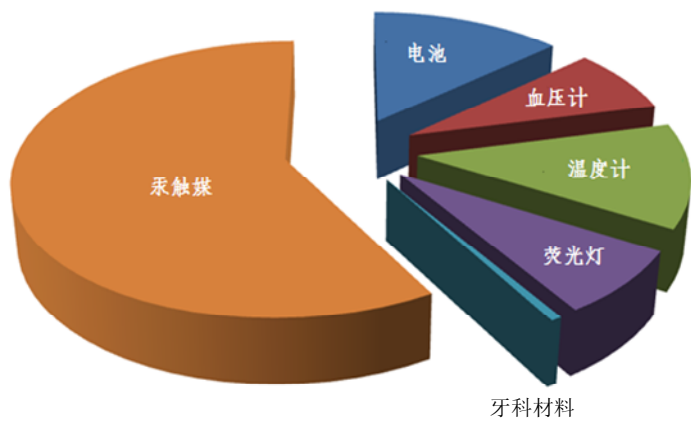


图 3 2007 年中国主要用汞行业及汞使用量^①

中国也曾发生过因工业用汞而造成的汞污染事件。20 世纪 70 年代，中国东北第二松花江和河北省蓟运河流域曾发生过严重的汞污染事件，时至今日，汞矿和冶炼区附近地区（如贵州地区）的水体、土壤和大米中仍可检测到较高浓度的汞。

汞排放到环境中的量很大，主要是工业活动所产生的副产物。汞可以排放到大气、水体和土壤中，但目前只有排放到大气中的汞可以进行定量估算。

过去的几十年中，由于工业化和城市化的快速发展使得中国排放到大气中的汞持续增加。2007 年中国大气汞排放量估算至少为 643 t^②。正如前面内容所提到的^③，这些估算仍然存在着一定的误差范围，但随着污染物排放数据的增加这种情况会有所改善。虽然针对这些汞排放数据仍会存在争议，但汞在大气中可以长期停留的特性决定了很大一部分汞将从中国转移到下风向国家，这也引起了其他国家的关注^④。

尽管排放到大气中的汞来源众多，但燃煤工业锅炉和燃煤电厂共同构成中国最大的大气汞排放源，占大气汞排放总量的 50% 以上，如图 4 所示^⑤。大气汞排放的其他主要排放源是有色金属冶炼和水泥生产。

① 数据来源：中国汞管理专题政策研究组. 2011.
② 数据来源：汞管理专题政策研究组. 2011.
③ Wu Y., Wang SX, Streets DG et al. *Trends in anthropogenic mercury emissions in China from 1995 to 2003*. Environmental Science & Technology, 2006, 40, 5312-5318.
④ Mason R.P. Sheu G.R. *Role of the Ocean in the Global Mercury Cycle*. Global Bio- Chem Cycles. 2002, 16 (4): 1093.
⑤ 数据来源：中国汞管理专题政策研究组. 2011.

专栏二：大气排放

近一半排放的汞在当地沉降，另一半汞则迁移到其他地方。汞在迁移过程中化学和物理形态会发生改变。在局地层面，汞主要随干颗粒物沉降，而在全球层面主要随雨雪沉降¹⁸。

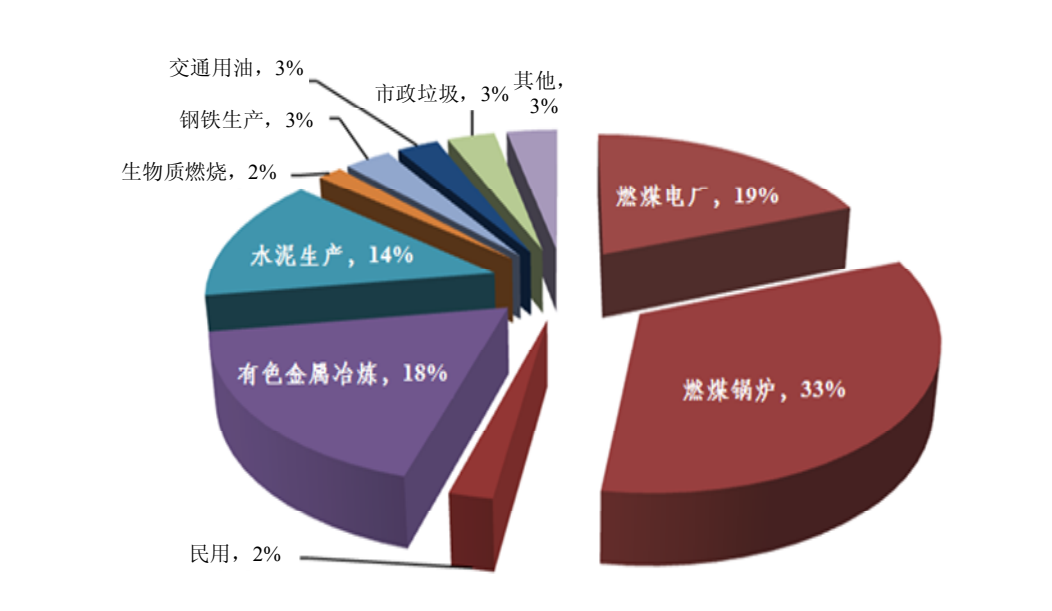


图 4 2007 年中国主要行业大气汞排放量^①

中国局地汞污染严重，特别是废弃汞矿、老旧高污染冶炼和有色金属冶炼厂附近地区。除此之外，其他无意排放汞的行业（如燃煤、有色金属生产）也加重了局地、区域和全球环境的汞污染负荷。

(二) 中国汞污染对人体健康的影响

人体的汞暴露主要是通过饮食摄取甲基汞。从全球范围来说，甲基汞主要通过食用鱼类和海洋生物摄取。但是在中国，因地区和饮食习惯的差异造成不同的汞暴露方式。在沿海地区，鱼类和海产品是重要的汞暴露源；而在内陆地区，尤其是汞矿周边地区，稻米是主要的汞暴露源^②。

中国普通居民与其他吃鱼较少的特殊职业人群相比，汞暴露水平基本相当，居住

① 同上。
② H Zhang, XB Feng, T Larssen, *et al.* Bioaccumulation of methylmercury versus inorganic mercury in rice (*Oryza sativa* L.) grain. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44: 4499-4504.

在汞污染场地附近以当地作物为生的居民、以鱼类和其它海产品为主要食物的渔民及其家庭,以及从事采矿、冶炼和 PVC 行业的职业暴露工人等小部分特殊职业人群可能会暴露在高浓度的含汞环境中。另外,值得一提的是食用大米造成汞暴露的风险仍存在较大的不确定性,这个不确定性主要是由于缺乏食用大米产生汞暴露的剂量-反应数据。

中国人体汞暴露的数据很少,但在贵州进行的一些研究表明,除了污染严重的汞矿地区,贵州的估算汞摄取水平通常很低。由于很多种植大米的污染场地存在大米汞暴露,需要进一步研究暴露途径并与人体生物监测相联系(特别是孕妇),以便进一步分析其对人体健康的潜在影响。由于是基于食用鱼类的基础数据,人体可承受的大米中的汞限值仍存在不确定性。目前也没有关于含汞稻米对人体健康影响的数据。

血液、头发、尿液和母乳常用于评估人体汞暴露。头发是较为简单且不需要侵入式采样的汞暴露评估媒介,可以给出汞暴露的时间信息(通常 1 cm 头发可以研究 1 个月的饮食暴露情况)。国内一项针对沿海地区的研究表明^①,在其采集的 659 位个人头发样品的汞浓度平均值为 0.83 $\mu\text{g/g}$,数值范围从 0.03~8.7 $\mu\text{g/g}$ 。57%样品的汞浓度低于美国环保署的参考剂量值^②,13%样品汞浓度高于 WHO 设定的每日最高摄取剂量阈值^③。

由于饮食习惯的差异,中国不同地区人口的发汞浓度会有差别。如中国舟山群岛和浙江沿海地区的渔民及其家人经常吃鱼,它们为高汞暴露人群,其平均发汞浓度高于 WHO 提供的每周最高汞摄取剂量阈值^④,与其他国家经常吃鱼地区人口发汞浓度的监测数值接近(包括马来西亚、科威特、哥伦比亚、加拿大的渔民以及日本居民^⑤)。

有报道表明,生活在贵州汞矿区工人的发汞浓度也很高^{⑥,⑦}。这些工人不仅要受到气体汞的职业暴露,还会通过食用污染过的大米而受到食物汞暴露^⑧。

同时,与其它气体和灰尘形式的有毒物质一起,其它行业的工人也会遭受汞的职业暴露。高危行业通常包括采矿和冶炼行业,这些行业通常在生产过程中用到汞或者

① XJ Liu, JP Cheng, YL Song, et al. *Mercury Concentration in Hair Samples from Chinese People in Coastal Cities*. *Journal of Environmental Sciences-China* 2008, 20: 1258-1262.

② Mercury study report to congress. *A Hair Concentration of 1 $\mu\text{g/g}$ Corresponds to US-EPA's Reference Dose for MeHg Exposure*. EPA-452/R-97. US Environmental Protection Agency, 1997.

③ The FAO/WHO Expert Committee on Food Additives value for provisional tolerable weekly intake is 1.6 $\mu\text{g/kg}$ body weight/week, corresponding to 2.2 $\mu\text{g/g}$ in the hair.

④ Hair concentrations were 5.7 and 3.8 $\mu\text{g/g}$, respectively, for men, 2.3 and 1.8 $\mu\text{g/g}$ for women, and 2.2 and 1.7 $\mu\text{g/g}$ for children;

JP Cheng, LL Gao, WC Zhao, et al. *Mercury Levels in Fisherman. and Their Household Members in Zhoushan, China: Impact of Public Health*. *Science of the Total Environment* 2009; 407: 2625-2630.

⑤ Comparison between available data from Chinese populations and other countries provided in a background document from Prof. Thorjorn Larssen and Yan Lin. Thorjorn.larssen@niva.no (June 2011)

⑥ YF Li, CY Chen, L Xing, et. al. *Concentrations and XAFS Speciation in Situ of Mercury in Hair from Populations in Wanshan Mercury Mine Area, Guizhou Province*. *Nuclear Techniques*, 2004, 27: 899-903.

⑦ P Li, X Feng, G Qiu, et. al. *Mercury Exposure in the Population from Wuchuan Mercury Mining Area, Guizhou, China*. *Science of the Total Environment*, 2008, 395: 72-79.

⑧ XY Wang, YF Li, B Li, et al. *Multielemental Content in Foodstuffs from Wanshan (China) Mercury Mining Area and the Potential Health Risk*. *Appl. Geochem.*, 2011, 26 (2): 182-187;

成为最终产品的一部分。以 VCM/PVC 行业为例，该行业工人由于他们与诸多有毒物质接触的工作环境应受到特别关注。

(三) 中国涉汞行业污染防治状况

1. 燃煤行业

中国是世界上最大的煤炭消费国，占能源生产总量的 75%。燃煤行业包括燃煤电厂和工业锅炉。在这两个行业中，燃煤电厂是最大的煤炭消耗行业，但由于工业锅炉较少采取大气污染控制措施而成为重要的大气汞排放源。中国煤炭中的汞含量一般在 0.15~0.20 μg/g，但区域和煤质的不同决定了汞含量的差异。煤炭中汞成分的客观存在以及中国以煤炭为主的能源结构，使以燃煤电厂为代表的煤炭行业成为中国汞污染的最大排放源，如图 5 所示。

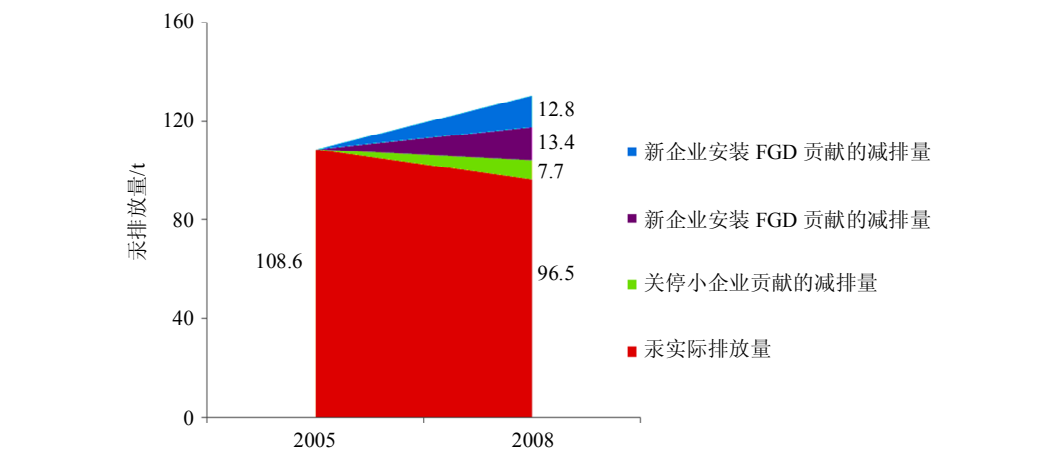


图 5 2005 年—2008 年期间采取二氧化硫控制措施的汞协同减排效果^①

(1) 燃煤电厂

2007 年中国燃煤电厂耗煤 13.3 亿 t，占全国煤炭消耗总量的 42%。预计到 2020 年，燃煤电厂的耗煤量会增加一倍。如果不采取进一步的污染控制措施将加倍汞的排放。但汞减排可以采取控制其他污染物排放措施，通过协同控制的方式予以推进解决。汞的协同减排效果如表 1 所示。

“十一五”期间（2005—2010），中国加大了对 SO₂ 的控制力度，在燃煤电厂强制安装烟气脱硫装置。2005 年，中国仅有 10% 的燃煤电厂配备烟气脱硫装置，而到 2009 年这一数字已上升到 71%。尽管能耗和煤炭消耗持续增加，这些措施仍然实现了一定的 SO₂ 减排，同时作为协同效益，也实现了一定程度上的汞减排。燃煤电厂中实现 SO₂

① 数据来源：中国汞管理专题政策研究组. 2011.

与汞协同减排的效益如图 5 所示。

“十二五”期间（2010—2015），中国将优先考虑 NO_x 排放控制，并准备在燃煤电厂安装 SCR 等 NO_x 控制设备。SCR 的安装也将进一步减少燃煤电厂汞的排放。

表 1 通过其他大气污染控制措施实现的汞协同减排

控制方法	控制有意污染物排放	汞去除率%
洗煤	颗粒物、SO ₂	30
ESP	颗粒物	29
ESP+WFGD	颗粒物、SO ₂	62
ESP+WFGD+SCR	颗粒物、SO ₂ 、NO _x	66
FF	颗粒物	67
WSCRB	颗粒物	6.5
CYC	颗粒物	0.1

ESP：静电除尘器；WFGD：湿式烟气脱硫；FF：织物纤维；WSCRB：水洗涤；CYC：旋风除尘器。

由于燃煤电厂中的汞主要通过大气污染控制装置从烟气中脱除，但汞最终将进入固体废物，即通过颗粒物控制装置进入飞灰，然后进入 FGD 系统变成石膏。飞灰和石膏都会用于其他行业，比如水泥行业。由于应用了这样的控制措施，此类含汞固体废物的控制措施也将变得越来越重要。

图 5 说明了 2005—2008 年间通过脱硫装置除汞的联合收益。如果没有采取脱硫措施，2008 年的汞排放量将会达到 130.4 t。图中采取的四种不同控制措施使得汞的实际排放量降到了 96.5 t。

2007 年燃煤电厂汞的总排放量预计达到 123.3 t，其中江苏、内蒙古、山东、河南和广东省的排放量最大（分别是 12.4、11.8、10.8、9.9 和 7.5 t）。

（2）工业锅炉

中国有近 55 万台工业锅炉。2007 年工业锅炉的煤炭消耗总量达到 9 亿 6 千万 t，占中国煤炭消耗总量的 30%。如果包括焦炭的使用，工业锅炉的煤炭消耗总量已达到 38%。

目前，中国工业锅炉并未广泛使用大气污染控制设施，且通常只有简易的颗粒物去除装置，这种措施只能去除小部分的汞。因此，工业锅炉的汞排放实际上要高于燃煤电厂。2007 年中国工业锅炉汞排放总量达到 213.5 t，其中山东、河南、山西、河北和贵州是最大的五个排放源（分别是 22.6、20.1、19.4、16.1 和 15.7 t）。

总而言之，2007 年中国燃煤行业汞的总排放量达到了 368.5 t，燃煤电厂占 33%，工业锅炉占 58%，民用占 5%，其他占 4%。可以看出，由于采用了大气污染控制装置，尽管燃煤电厂煤炭消耗量较大，但其汞排放量却低于工业锅炉。

2. 有色金属冶炼

有色金属冶炼行业主要包括锌冶炼、铅冶炼、铜冶炼和金冶炼（其他金属这里不做讨论）。中国锌、铅和铜的产量如表 2 所示。

由于矿石中伴生汞元素，在冶炼过程中将排放汞。冶炼后的含汞物质可以收集起来进行资源再利用，或者进入副产品（如硫酸），或者进入到废水、固体废物和大气中去。

表 2 2010 年中国锌、铅和铜产量 ^①	
金属类别	产量 10 ⁶ t
锌	5.16
铅	4.20
铜	4.57

中国有色金属冶炼行业包括大量的中小型企业。许多中小型企业仍然在使用淘汰落后工艺，造成汞的大量排放。行业的快速发展和污染控制技术落后之间的矛盾成为中国有色金属冶炼行业面临的巨大挑战。2007 年中国有色金属冶炼行业汞的总排放量达到 116 t，其中锌冶炼行业的排放量最大，估计有 50 t 左右。

(1) 锌冶炼

自从 2002 年以来，中国成为最大的锌生产国。落后的中小型冶炼企业经常无视矿石中的汞问题，致使冶炼后汞排放到大气中。大型现代化冶炼企业通常使用矿石中的硫制作硫酸，作为副产品。这样，99%的汞将进入硫酸，而不是排放到大气中。更为先进的企业还具有脱汞和回收装置，可以减少大气汞排放并回收硫酸中的汞。如果硫酸被用作其他用途而出卖，那就很有必要从硫酸中脱汞。各种工艺的汞去除效率如表 3 所示。

表 3 锌冶炼不同工艺技术的脱汞效率				
	除汞+制酸	制酸	不制酸	手工工艺
处理效率 (%)	99.3	98.9	15.2	0

精炼锌矿中的汞含量是汞排放预测的重要参数，其含量会随着矿石的来源差异而有所不同。特别是对于未配备脱汞装置的冶炼企业，锌产品中的汞含量对大气汞排放量的预测起着至关重要的作用。而在现代化锌冶炼企业，由于汞被捕获或者回收，这一点则并不是非常重要。以两个省锌冶炼厂为例，假定锌产量、锌产品中汞含量及汞排放量如表 4 所示。

表 4 两省锌冶炼厂锌产量、锌产品中汞含量及汞排放量			
省份	锌产量 t	汞含量 ppm	汞排放量
A	230 000	500	22
B	780 000	5	1.4

① 中国有色金属协会. http://www.chinania.org.cn/web/website/index_1010030397983910000.htm

举例说明, A 省锌产品中汞含量 500 ppm, B 省锌产品中汞含量小于 5 ppm。A 省生产了 23 万 t 锌, 而 B 省生产了 78 万 t 锌, 尽管 B 省比 A 省多了超过三倍的锌产量, 但汞排放量却很低 (B 省排放 1.4 t, A 省排放 22 t), 这是由于原材料中汞含量的不同和 A 省较为落后的生产设备造成的。

锌冶炼过程汞的总排放量预计约为 50 t, 其中 14% 的排放量来自占生产总量 87% 的大型冶炼企业, 86% 的汞排放来自占生产总量 13% 的小型冶炼企业。因此有必要扩大生产规模, 发展现代化技术, 实现汞减排。

(2) 铜冶炼

2007 年铜冶炼的汞排放量约 10.2 t 左右。各省中, 内蒙古、云南和河北的汞排放量最大。尽管内蒙古的铜产量很低, 铜矿石更高的汞含量和落后的工艺可能是使内蒙古成为主要汞排放源的原因。相比之下, 由于江西使用了先进工艺, 虽然其铜产量很高, 矿石中的汞含量很大, 但汞排放量并不高。

(3) 铅冶炼

2007 年中国铅冶炼行业汞的排放量约 21.0 t, 河南、湖北和安徽是排放量最大的地区。

(4) 金冶炼

2007 年, 黄金产量为 236.5 t。黄金冶炼的汞排放量约为 37.2 t, 其中大规模金冶炼排放量为 5.0 t, 小规模黄金冶炼企业排放量为 32.2 t。

3. 水泥生产

目前中国有大约 4 000 家水泥生产企业, 在未来的五年内预计将通过产业结构调整减少到仅有 500~1 000 家^①。世界有将近一半的水泥在中国生产。由于汞是原料和燃料中的伴生元素 (大部分在煤中), 水泥行业成为主要的汞污染排放源之一^②。2005 年, 中国水泥生产量超过 10 亿 t^③, 2009 年达到 16.8 亿 t。水泥的市场需求在一定时期内还将不断增长。

4. VCM/PVC 行业

PVC 是一种用途广泛的塑料, 从水管、下水管道到塑料玩具和衣物都用到了 PVC。世界上大多数 PVC 的生产以天然气或石油为原料。由于富煤少油, 中国的 PVC 生产主要使用另一种工艺 (电石法), 这种工艺是以煤为原料首先生产 VCM (PVC 生产过程需要 VCM), 在这种以煤为原料的行业, 汞作为一种催化剂用于加速化学反应过程。

电石法 PVC 行业仅在少数 VCM 企业使用了低汞触媒, 但生产过程需要严格的工

① 雷前治. 中国日报, 第 17 版. 2011 年 9 月 21 日。

② http://www.cembureau.be/sites/default/files/Activeity_Report_2010.pdf

③ Opportunities for improving energy and environmental performance of China's cement kilns. Lawrence Berkeley National Laboratory Report (LBNL—60638).

艺条件（温度至少达到 150℃，控制乙炔气量等参数）^①。因投资及成本关系，对小型企业构成巨大挑战。

目前无汞触媒尚未在中国的电石法 PVC 行业实现商业化应用，但中国有很多组织机构正在对此作出巨大的努力来发展以煤为原料的 VCM 生产行业所需的无汞催化剂^②。最近，英荷财团报道称通过对催化剂的试用研究结果证明无汞触媒是可行的^③。如果这种催化剂被证明在商业运行条件下是有效和经济可行的，那么乐观预计这种技术最早可在 2013 年初步实现商业化应用。这种无汞催化剂是以贵金属为基础，因此在催化剂的运输和回收方面仍需注意。

由于在生产过程中产生了大量的废汞触媒、含汞活性炭、含汞盐酸和含汞碱液，却因为技术和经济原因很少对其进行回收，产生了严重的环境风险。处理使用过的汞触媒也引起了其他的问题，诸如工人暴露在高浓度的包括汞在内的活性化学品环境中。

2009 年，中国 104 家 VCM/PVC 企业中有 94 家企业使用电石法工艺。每年 VCM/PVC 行业排放 570~940 t 汞，如图 6 所示。预计到 2012 年，中国的 VCM/PVC 行业产量将达到 1 000 万 t，汞使用量将超过 1 000 t。如今，中国的 VCM/PVC 生产行业已经成为了世界上主要的用汞行业。

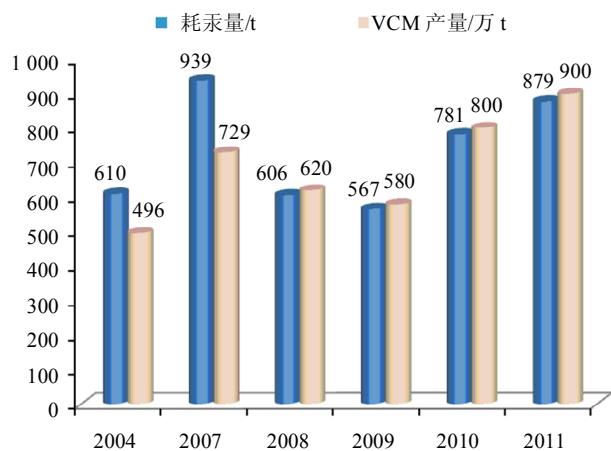


图 6 VCM 行业产量和耗汞量^④

① PVC 行业低汞替代技术的研发和应用.新疆天业集团有限公司.北京. 2011 年 9 月 19 日。
② UNEP Workshop on Feasibility of China’s Mercury-Free Catalyst Research and Development in the VCM Industry. *The Study Development of Chinese Mercury-free Catalyst*. China Petroleum and Chemical Industry Federation and China Chlor Alkali Industry Association. Beijing, September 19, 2011.
③ UNEP Workshop on Feasibility of China’s Mercury-Free Catalyst Research and Development in the VCM Industry. *Mercury Free VCM Catalyst*. Presentation by Johnson-Matthey and Jacobs (copyright). Beijing, September 19, 2011.
④ 刘东升，范红波. 加强汞污染防治促进电石法聚氯乙烯行业健康发展，中国氯碱，2011，4：1-3；营小东，沈英娃，姚薇，等. 我国汞供需现状分析及削减对策. 环境科学研究，2009，22：788-792.

在中国，国家发改委、工信部和环保部颁布了一系列的文件和通知来减少该行业的用汞量，确定的未来几年目标如下：

到 2012 年，中国电石法聚氯乙烯行业低汞触媒普及率达到 50%；

到 2015 年，全行业全部使用低汞触媒，每吨聚氯乙烯氯化汞使用量下降 50%，废低汞触媒回收率达到 100%^{①, ②}；

到 2020 年，实现无汞触媒的工业化示范和推广应用，逐步实现电石法聚氯乙烯行业无汞化^③。

随着近期 VCM/PVC 行业的快速发展，该行业应寻找机会从电石法转为乙烯法生产工艺，并增加投资促进低汞和无汞工艺转变。

5. 含汞产品

含汞产品包括医疗器械、牙汞齐、荧光灯和电池等，该行业的主要问题是含汞废物的管理和处置。目前，中国大部分含汞废物随生活垃圾进入填埋场，缺乏有效的回收处理体系，增加了汞带来的环境风险。

(1) 医疗器械

医疗器械中用汞的主要是血压计和温度计。每年生产超过 10.7 亿只温度计，其中 50%用于出口，每年生产 260 万支血压计，其中 20%用于出口。如表 5 所示。

表 5 医疗器械中的耗汞量						单位：t
行业	生产	1995 ^④	2000 ^⑤	2004 ^⑥	2007 ^⑦	2008 ^⑧
医疗器械	温度计	40.4	100	179	210~233	109
	血压计	15.7	50~60	95	86~98	118
牙科材料	牙汞齐	6	5~6	6	5~6	-
总计		62.1	155~166	280	301~337	227

(2) 荧光灯

含汞灯主要以节能灯为代表，目前照明行业正在持续努力减少每盏节能灯中汞的注入量，但在某种程度上，全球节能灯的市场需求量却在不断增长。无疑诸如 LED 灯

① 工业和信息化部.《聚氯乙烯行业清洁生产技术推行方案》，2010. <http://www.dhp.gov.cn/upload/2011/3/2412262376.pdf>

② 工业和信息化部.《关于印发电石法聚氯乙烯行业汞污染综合防治方案的通知》，2010. <http://baike.baidu.com/view/3717369.htm>

③ 中国石油和化学工业协会，中国氯碱工业协会.《电石法聚氯乙烯行业汞污染综合防治规划》. <http://wenku.baidu.com/view/4188021ba8114431b90dd883.html>

④ 国家环境保护总局. 面向 21 世纪的环境保护政策与重大环境管理问题研究[M]. 北京：中国环境科学出版社，2001，229.

⑤ 五个涉汞行业的调查结果。

⑥ 菅小东，沈英娃，曹国庆. 中国电池生产用汞量调查分析及削减对策，环境科学与管理，2008，33（10）：10-16.

⑦ 同上。

⑧ 中国医药材料协会（CAMDI），<http://www.camdi.org/>

等无汞替代产品的需求量将不断增长，并且成为技术发展的方向。然而目前替代产品的应用仍然有限，并且价格昂贵。

中国是世界上荧光灯生产厂家最多的国家，约有 500~600 家荧光灯生产企业。2000—2010 年，产量从 10 亿只增长到 67 亿只，如图 7 所示，占全球总产量的 80%^①。在 67 亿只荧光灯中，55%用于出口。最近有关该行业的信息表明，该行业在 2008 年生产了 48 亿只荧光灯，共用汞 78.2 t^②。

中国荧光灯生产包括以下三种工艺过程：

- a) 小规模工艺使用人工注汞，每支灯管的注汞量范围在 20~60 mg。
- b) 国家级的工厂使用自动注汞，每支灯管的注汞量范围在 10~20 mg。
- c) 注汞的最佳可行技术是通过汞奇玻璃胶囊加上专门的玻璃分离工艺，每支灯管的注汞量范围在 3.5~5 mg。

近年来，政府与行业协会致力于使生产工人将荧光灯的汞含量控制在 5 mg 以内，但该目标至少到 2013 年才能实现^③。在这样的减排情况下，该行业的汞减排量可以达到 35 t。除此之外，中国将在民用、商用和工业用途上生产大量的荧光灯，为此政府与行业联合确立了 10 mg/支的汞限值。但目前并未很好的了解这些部门的生产水平和汞的使用信息^④。

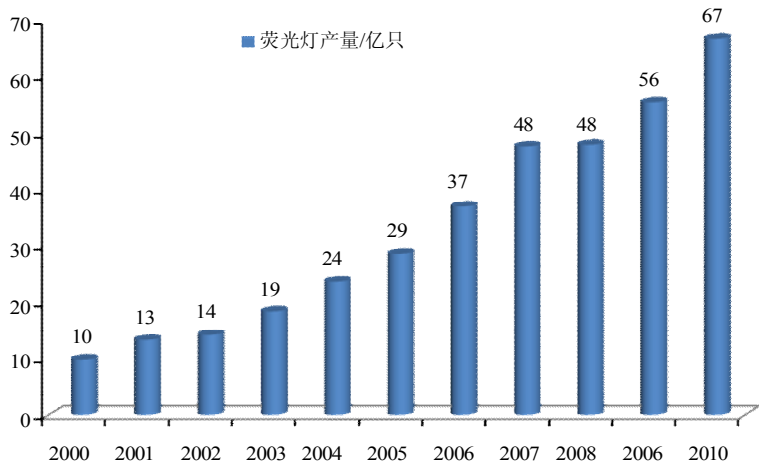


图 7 2000—2010 年中国荧光灯产量

① 数据来源：中国汞管理专题政策研究组. 2011.
② 涉汞行业清单调查报告，2008，环保部化学品中心。
③ 数据来源：中国汞管理专题政策研究组. 2011.
④ 数据来源：中国汞管理专题政策研究组. 2011.

(3) 电池

尽管许多国家均采取措施解决电池污染问题，使该行业中汞的使用量持续下降，但电池中汞的使用问题仍需关注。

2000 年前，中国电池中汞的使用量很高，但由于国内外管理要求以及客户需求，中国的电池生产商已经逐步采用低汞技术。但如图 8 所示，每年大量的低汞电池（上百亿只）仍然需要消耗大约 140 t（工信部，2009）^①到 200 t（化学品登记中心，2008）^②的汞，高于其他国家。在同一时期，390 亿只电池有 56%用于出口^③。

工业和信息产业部 2010 年 11 月公布的《电池行业重金属污染综合防治方案（征求意见稿）》^④要求电池行业在 2013 年淘汰落后的大于 5 ppm^⑤的碱锰纽扣电池的生产。该规划同时要求在 2015 年电池行业要减少用量 80%。

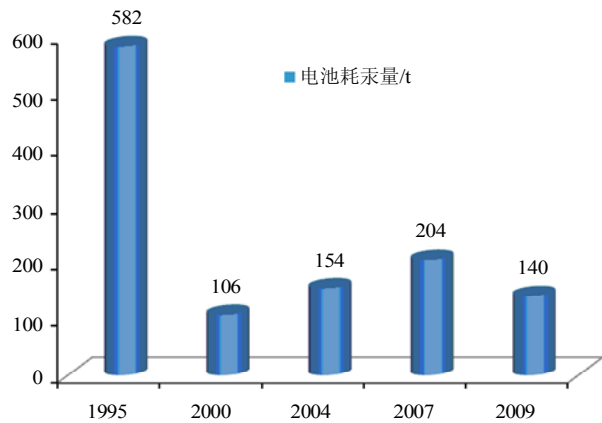


图 8 中国电池行业用汞量

6. 汞矿开采

中国是世界上仅有的两个仍在生产原生汞的国家之一。中国原生汞主要用于国内。中国各行业用汞主要来源于采矿、进口和回收。事实上，中国每年仍进口几百吨汞以满足国内使用需求。

目前国内仅有一个（大型合法的）汞矿开采区域（陕西旬阳），但该汞矿的开采已接近枯竭，并将在几年内停止生产。国家资源的耗竭使中国的用汞企业面临两难选择，但这将促使这些行业努力寻找汞的替代品；同时也将给政府带来压力以放松进口限制

① <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/13505234.html>
② 环保部化学品中心. 菅小东, 沈英娃, 曹国庆. 中国电池生产用汞量调查分析及削减对策. 环境科学与管理. 2008, 33 (10): 10-16.
③ 涉汞行业清单调查报告, 2008, 环保部化学品中心。
④ <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/13505234.html>
⑤ 5 ppm 被认为为汞的环境背景值，将该数值可以视为产品不含汞的目标值。

或者鼓励进口。无论哪种出路,已经关闭的汞矿区都将是中国主要的问题,无论是汞矿开采过程中产生的汞污染还是尾矿库崩塌都会对当地居民造成威胁,在中国已经发生了几起类似事件^①。汞矿开采过程中汞排放还导致了其周边地区稻米中甲基汞含量过高,周边村庄的孕妇食用高甲基汞含量的稻米会严重损伤其胎儿的智力发育。专题组运用成本-效益评估法(CBA)评估了贵州汞矿开采对周边区域居民的健康影响,经评估,每年有2000多新生儿因为甲基汞暴露而导致智商严重受损,这将对他们将来的生活造成严重影响,这些健康损失的货币化价值为1421万元(388万元~2454万元)^②。

(四) 中国汞污染防治管理状况

1. 汞污染防治管理体系

近年来,中国不断推进汞等重金属污染防治管理体系建设,内容涉及政策、法规、技术指导文件以及汞污染监测方法等,其适用性、严格程度以及实施状况值得关注。环保部逐步建立和开发了与重金属污染防治有关的技术政策、最佳可行技术导则和标准等,其中相关环境标准已有20余个,包括具有强制性的污染物控制标准。相关行业标准近20个,内容涵盖诸如电池和荧光灯生产活动的汞的生产、消费、处置等环节。

2011年2月,国务院通过了《重金属污染综合防治规划(2011—2015)》,重点关注汞、铅、镉、砷和铬等重金属污染防治。该规划提出:“到2015年,集中解决一批危害群众健康和生态环境的突出问题,建立起比较完善的重金属污染防治体系、事故应急体系和环境与健康风险评估体系,解决一批损害群众健康的突出问题;进一步优化重金属相关产业结构,基本遏制住突发性重金属污染事件高发态势”。该规划的实施,标志着重金属污染防治将作为当前和今后一个时期环境保护的重点工作。

总体来看,尽管我国已经建立了相应的政策、法规和标准,但是同国外发达国家相比,中国的汞管理还处于初步阶段,管理体系还较薄弱,缺乏系统性和针对性。如何结合国内现有基础和特点,借鉴国外发达国家的汞污染防治和管理方面的经验,建立高效的汞污染防治管理体系至关重要。

2. 汞污染防治的政府责任分工

(1) 国家层面

全国人大环境与资源保护委员会负责开发、评估和制定相关环境法律。

在全国人大以下,环境保护部是最高环境保护管理机构,负责相关环境政策和规划的制定。环保部负责政策、法规和标准从制定到执行以及国际公约谈判和实施等事宜。环保部被授予可协调其他部委解决相关的环境问题的权利。主要的部委包括国家发展改革委员会、卫生部、工业和信息化部 and 食品与药品监督管理局等。

① 国家安全生产监督管理总局文件(安监总办(2007)165号)有关贵州铜仁汞矿尾矿库溃坝事件的通报, http://www.chinasafety.gov.cn/2007-08/08/content_256102.htm

② 数据来源:中国汞管理专题政策研究专题组. 2011.

环境保护部直接参与环保政策的制定，为解决环境问题，有权调配其他部委。国家一些部委和国务院相关部门共同参与国家环境管理，譬如国家发展和改革委员会、卫生部、工业和信息化部、国家食品和药物管理局在基础设施建设（包括环境影响评估）与管理、产业政策、人类健康、食品和药品执行国际协定等环境保护相关的汞管理方面发挥不同的作用。

跨部门的环保管理体系正在逐步建立，但需要进一步发展。更广泛的社会汞管理手段有待开发。

（2）地方层面

环保部负责监督各省、市和县的环境保护工作。地方环境保护部门将在相应的层次执行国家和省市环保法律、法规和标准，以确保污染控制工作的开展。自从 2008 年由国家环境保护总局更名为环保部以来，环境保护部门将实现垂直管理。这个改变将会逐步实现，但是很多地方仍然执行着国家和地方政府共同管理的机构模式。

地方其他部分在环境保护方面也扮演重要角色，如市政府办公厅、规划局、工业局、财政局和建设部门等。如果加层面一样，地方层面也建立相应的协调机制，推进以环保部门为核心，其他部门相配合的管理机制。

（3）行业协会

中国有许多不同的行业协会，如中国煤炭协会、中国有色金属协会、中国电池协会、中国照明协会、中国石油与化工联合会等，分别在其行业范围内推进相关工作的开展。

汞污染防治是一个复杂的系统工程，涉及的领域和行业繁多而且各具特色。因此，应基于涉汞行业特点，加强落实，建立更为高效的目标和责任管理体系。

四、汞管理国际经验借鉴

发达国家通过采取多种不同的战略方法，针对不同涉汞行业的具体特点，在不影响经济发展的前提下减少人类活动造成的汞污染。

（一）实施分类管理，建立明确的汞减排目标

以美国为例，针对不同的涉汞行业建立相应的汞减排目标并推进其实现（美国针对不同涉汞行业实施的汞管理）。随着近期大部分法规的执行，电厂行业到 2015 年将达到 2005 年水平 78% 的汞减排量^①、^②。

① <http://epa.gov/mercury/pdfs/FINAL-Mercury-Roadmap-6-29.pdf>

② <http://www.federalregister.gov/articles/2011/05/03/2011-7237/national-emission-standard-for-hazardous-air-pollutants-from-coal-and-oil-fired-electric-utility>

专栏三：美国针对不同涉汞行业实施的汞管理

美国采取了一系列汞污染控制措施。汞在清洁空气法案下进行初步控制，通过包括 NESHAP（国家危险大气污染物排放标准）等一系列法规和标准管理危险大气污染物。

1990—2005 年，美国主要通过控制大型汞排放源来推进汞减排工作的开展，如生活垃圾、危险废物、医疗废物、氯碱生产等。随后 10 年，美国将重点关注小型排放源，旨在通过努力实现基于 1999 年 20% 的汞减排。通过上述努力美国的汞排放从 1990 年的 220 t 减少到 1999 年的 113 t，10 年间汞排放减少了 45%。

最近在 2011 年 5 月的联邦公报中提出的电厂空气有毒有害物质标准（NESHAP）基于 2005 年的 53 t 汞排放量，预测 2015 年 11 t 的汞排放量，减排 78%。

1970—2010 年，加拿大通过一系列强制措施实现了 90% 的汞减排^①：1）关闭企业；2）加强立法；3）建立新的排放标准；4）制定导则；5）实施有毒物质自愿减排/消除计划^②；6）建立环境实践；7）实施强制性污染防治计划；8）建立国家污染排放清单等^③。

从协同控制方面，加拿大政府目前正在致力于开发减少燃煤电厂温室气体排放的法规，并将于 2015 年 7 月 1 日生效^④。其目标在于向低污染物排放和零排放转变，如采用再生能源、高效天然气、火力发电的碳捕获和储存。提出的措施不仅旨在推进温室气体减排，同时将推进汞等大气污染物减排。根据该法规，基于 2005 年的排放水平，燃煤电厂将在 2020 年实现 40% 的汞减排，2030 年实现 65% 的汞减排，2050 年实现 96% 的汞减排。

挪威致力于减少汞等污染物造成的危害，提出了 2020 年前持续减排目标，以消除因汞等物质对人类健康和环境造成的危险。

2008 年，挪威颁布了新产品用汞的禁令，仅有少数的实现免责条款。该禁令用于含汞产品的生产、进出口和产品进入市场等方面，是基于对人类和环境的综合风险评估以及对无汞产品替代的可行性评估提出的。另外，挪威是首个禁止牙汞齐填充材料用汞的国家。总之，挪威在减少和消除汞污染方面做出了很多努力^{⑤、⑥}。

① Risk management strategy for mercury. Environment Canada and Health Canada. October 2010 http://www.ec.gc.ca/doc/mercure-mercury/1241/index_e.htm (Accessed August 30, 2011).
② <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=4A577BB9-1>
③ <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=4A577BB9-1>
④ Risk management strategy for mercury. Environment Canada and Health Canada. October 2010. http://www.ec.gc.ca/doc/mercure-mercury/1241/index_e.htm (Accessed August 30, 2011).
⑤ <http://www.klif.no/no/Publikasjoner/Publikasjoner/2010/Juni/Reducing-and-eliminating-mercury-pollution-in-Norway--The-mercury-problem/>
⑥ <http://www.klif.no/no/Publikasjoner/Publikasjoner/2011/Februar/Reducing-and-eliminating-mercury-pollution-in-Norway-pa-kinesisk/>

2005 年，欧盟发布了包括减少汞排放、供应和需求，应对汞暴露的 20 项措施在内的汞战略^①。该战略基于自 1990 年来欧盟颁布的诸多针对汞使用和排入大气和水体的法规和法令，包括含汞测量装置的限制法令和将于 2011 年执行的汞出口禁令。近期还将出台安全贮存的新规定。欧盟汞战略是针对包含欧盟在内的全球汞污染的综合污染防治规划。

欧盟从 1990 到 2009 年间，实现了 67% 的汞减排，其中 2009 年欧盟的 27 个成员国实现大气汞减排 73 t，实现汞减排最多的成员国依次是波兰、西班牙、意大利和英国，总计 38 t。

(二) 实施环境保护部门牵头，多部门参与的跨部门协作机制

汞污染排放源的复杂性和多样性决定了各国在推进汞污染防治工作中应实施多部门参与，共同推进汞污染控制的总体态势和格局。汞污染防治需要不同政府部门、行业以及公众等多方参与。

高效的跨部门合作有赖于明确的确定各方角色和分工。在具体组织分工方面，一般都由环境保护行政主管部门总体负责，其他部门根据其特定管理范围参与相关工作（见美国各部门的责任分工^②）。公众可因其居住、职业或者敏感性等因素，参与相关决策。

专栏四：美国各部门的责任分工

在美国，环保署主要致力于制定涉及空气、水和土壤的相关标准，通过制定污染源的排放标准或者环境介质的环境标准等来控制污染源的汞排放，减少汞排放将造成的环境风险；美国食物和药品管理局主要负责管理化妆品、食品和牙科产品当中的汞，职业安全健康管理局主要负责管理工作环境中的汞暴露。

对于像中国这样规模较大的国家或地区，应特别确保中央和地方层面在行动及标准方面的一致性和协调性，这是一个巨大的挑战。在加拿大，国家和省级/区域政府在环境保护方面都有司法权，联邦、省和区域都可以制订政策，在其各自所辖区域内实施监督。加拿大通过制定国家标准，推进在政策层面和操作层面的协同管理。加拿大国家标准在推进汞减排方面发挥了重要的作用^③。

① EU emission inventory report 1990 - 2009. EEA Technical Report No. 9/2011.
② Note: All three accessed on Sept 7/2011.
<http://www.fda.gov/food/foodsafety/product-specificinformation/seafood/foodbornepathogenscontaminants/methylmercury/ucml15644.htm>; <http://www.epa.gov/hg/>; <http://www.osha.gov/SLTC/mercury/index.html>
③ Risk management strategy for mercury. Environment Canada and Health Canada. October 2010 http://www.ec.gc.ca/doc/mercure-mercury/1241/index_e.htm (Accessed August 30, 2011).

(三) 加强立法管理创新，推进全过程管理

在汞污染控制管理方面，发达国家一般都是通过加强和完善立法体系以控制汞排放、限制汞使用，进而减少汞暴露。这些国家通常使用标准的全过程管理方法推进立法工作，如图 9 所示。这些国家也不断加强立法创新，通过采用全过程管理方法推进立法管理工作，并通过开展环境风险评估、成本效益分析以及法规影响评估等方法推进对政策问题的正确识别和分析，确保社会、经济和环境协调发展。

有关汞研究的美国国会报告^①描述了美国环保署在政策制定初期开展的重要工作。

上述管理工具包括了从强制到自愿等手段，包括市场驱动和信息管理等，旨在改变产业及消费者的行为，如图 10 所示。上述过程需要熟悉风险和技术措施的技术专家与经济和政策领域的专家协作，以便更好的评估所将采取行动的社会和经济影响^②。

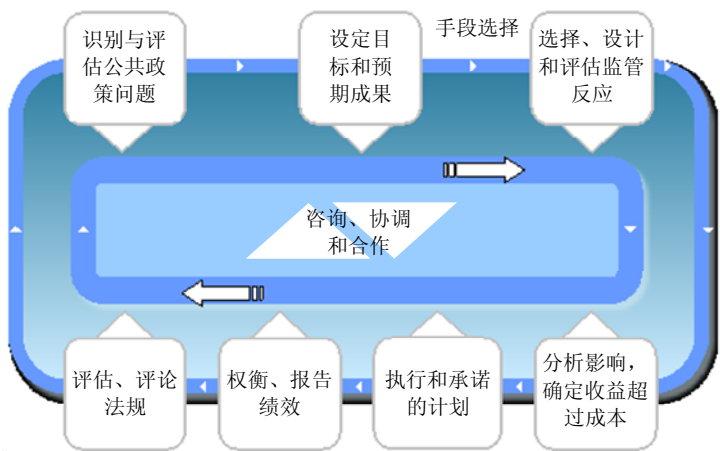
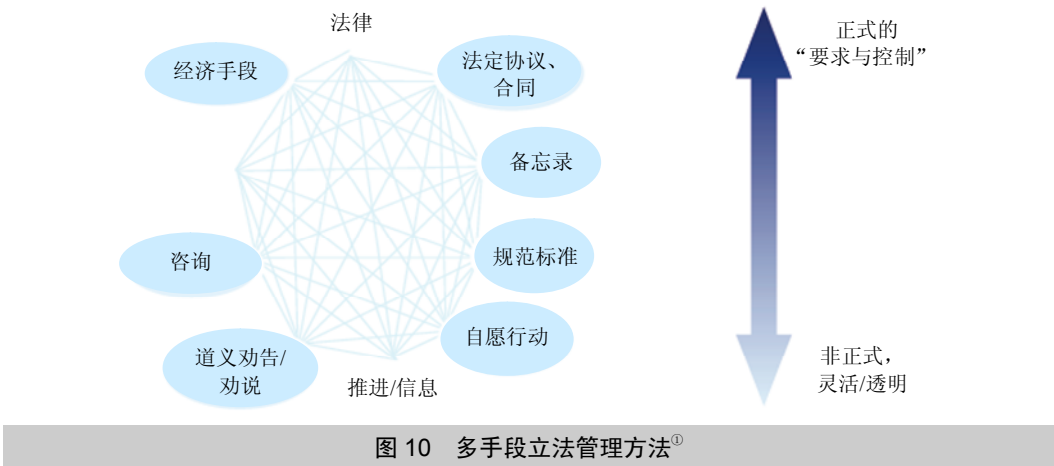


图 9 法律法规的全生命周期方法^③

专栏五：美国汞研究国会报告：1997

美国环保署于 1997 年向国会提交了一份汞研究报告。报告提出了一系列有效控制汞排放的战略方法，包括：污染防治措施、产品替代、工艺改造和材料分离，清洁煤技术、替代技术和烟气处理技术。除此之外，环保署还提供了在建议获得批准的情况下所涉及的相关成本、立法以及投资影响等内容。

① <http://www.epa.gov/hg/report.htm>
② Environment Canada uses an internal guidance document (Instrument Choice Framework for Risk Management under the Canadian Environmental Protection Act(1999) – March 2009) based on a document published by the Treasury Board of Canada Secretariat on *Assessing, Selecting and Implementing Instruments for Government Action* (<http://www.tbs-sct.gc.ca/ri-qr/documents/gi-lld/asses-eval/asses-eval00-eng.asp>). Accessed: Sept.14/2011.
③ Courtesy of Treasury Board of Canada Secretariat.



上述工作的开展有赖于采取多种创新的方法推进，例如采用强制性、公开性的污染源污染物排放清单^② ③。对于一个开放的经济环境，公众披露将成为一种重要的环境管理手段而产生强有力的执法效果^④。严格的强制汞排放报告制度将为中国提供更为确凿的数据以支持国家决策的制定（如决定减排量或者采取某种措施可能产生的影响等）和国际谈判。针对汞的排放报告体系也可扩展应用到其它重金属和优先控制污染物中去。

在经济措施方面，美国针对燃煤电厂采取了总量控制和排污交易管理体系推进汞减排^⑤。在这样的体系下，不能满足新排放标准要求的排放企业可以购买通过设备升级改造而实现排放标准要求的生产商的排放权。

但由于法律原因这个行动并没有成功^⑥，虽然总量控制与排污交易制度是一个可行的汞管理方法，美国环保署也确实想建立这样的体系。然而，这种方法被反对者们称为“毒品交易”而引起争议。如果总量控制和排污交易制度得以严格执行，则可以从总体上减少污染物排放，而且是在不同的地方可以有不同的减排水平（减排量少的企业可以从减排量多的企业购买排污权），但很难向特定区域的居民解释为什么要让他们

① Figures 9 & 10. Courtesy of Treasury Board of Canada Secretariat.
② Pollutant release and transfer registers as a reporting mechanism for mercury release and transfers. UNEP (DTIE)/HG/INC.2/INF/6 12 January, 2011 accessed November 19, 2011 at: http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/INC2_INF6_PRTR.pdf
③ <http://acts.oecd.org/Instruments/ShowInstrumentView.aspx?InstrumentID=44&InstrumentPID=41&Lang=en&Book=False>. (Accessed: Sept 7/2011).
④ Archon Fung and Dara O'Rourke. Reinventing environmental regulation from the grassroots up: explaining and expanding the success of the toxics release inventory. Environmental Management Vol. 25, No. 2, pp. 115-127.
⑤ <http://www.epa.gov/air/mercuryrule/> (Accessed: Sept 7/2011).
⑥ [http://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/68822E72677ACBCD8525744000470736/\\$file/05-1097a.pdf](http://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/68822E72677ACBCD8525744000470736/$file/05-1097a.pdf) (Accessed: Sept 7/2011).

接受高于其他地区的暴露水平。

因可直接受到社会和市场压力所驱动,行业部门在汞管理行动中会产生积极作用。2011年7月汞管理专题政策项目组再加大拿访问期间与加拿大化学、矿业和林业行业协会的领导们进行了交流。受到印度博帕尔危机和其他事件的影响,动摇了公众信心,社会可接受性下降。在此背景下,1985年在加拿大启动了全球化工行业责任关注计划。在该计划影响下,每个成员企业的设备运行都要求开发环境和安全计划,并实现与社区共享,同时还要接受第三方的评估^{①、②}。

基于加拿大国内及国外不断出现的环境损害报告,加拿大矿业协会创立了类似的计划以确保企业社会许可的情况下运行。该计划要求成员企业要设立高于正常管理要求的管理目标,并充分考虑公众对透明环境管理的实际需求,为保护矿区和冶炼厂附近社区的知情权而设立的。

林业协会的成员单位不希望因环境问题而受到政府和市场的攻击,因此他们会首先寻求以改变自己的方式以确保品牌受到影响。一个典型的例子是最近发生在加拿大的北方森林协定的签署。该协议中涉及的行业承诺将采用优质的管理目标以保护森林比例。作为回报,环境组织将终止那些破坏行业形象的媒体宣传和市场活动^{③、④}。

对行业和政府来说,贸易规则驱动是很重要的手段,有利于加强如汞污染等环境问题的管理,如在汞和含汞产品贸易中新颁布的许多规定^⑤。在WTO层面,针对许多国家不采取严格有效的措施来控制温室气体的排放的问题正在持续针对边境税调整问题进行对话^⑥。我们有理由相信,汞污染问题在全球行动的感召下会开展类似的讨论,如北极圈委员会在其2011年北极污染报告中已有类似陈述^⑦。

新法规的建立需要经历从制定到批准的过程,通常需要采用法规影响分析(RIAS)的方法来明晰法规建议会对涉及的行为、消费者以及相关管理领域的影响。CBA是RIAS的重要组成部分,通过采取该方法评估拟定法规可能会对社会、经济和环境带来的影响。在污染防治法规中,CBA分析将表明环境减排的预期效果。在加拿大^⑧、

① <http://www.ccpa.ca/ResponsibleCareHome.aspx>

② <http://www.icca-chem.org/en/Home/Responsible-care>

③ For more information see: <http://canadianborealforestagreement.com> (Accessed: August 15 2011).

④ For more information see: <http://www.canadiangeographic.ca/boreal> (Accessed: August 15 2011).

⑤ Mr. Kees den Herder, an SPS Member from the Netherlands, presented the SPS Team with a large number of WTO restriction notices (for example) by the EU, Korea, and China alerting that those nations/regions were imposing border tariffs and/or import bans on certain mercury-added devices. Sept.4/2011.

⑥ *Climate Change Takes Centre Stage at WTO Environment Committee*. Bridges Trade BioRes. Volume 11 Number 13, 11 July 2011. International Centre for Trade and Sustainable Development. <http://ictsd.org/downloads/biores/biores11-14.pdf> (Accessed: August 30, 2011).

⑦ AMAP, 2011. Arctic Pollution 2011. *Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP)*, Oslo. Vi + 38pp ISBN-13 978-82-7971-066-0 (<http://www.amap.no/>) (Accessed: August 30, 2011).

⑧ <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2011/2011-02-26/html/reg4-eng.html> (Accessed: Sept 7/2011).

美国^①和欧盟国家，CBA 的结果是对公众公开的，应接受公众监督，针对其执行、影响和等都应具备足够的依据。如在污染法规中，欧共体提出建立国家污染排放清单以便为这些影响的评估提供重要的信息^②。

（四）推进产业结构升级，实现绿色经济转型

涉汞行业种类繁多，情况复杂。日本、美国、加拿大、欧盟等通过在氯碱、电池、照明、医疗设备以及用汞药品等行业采取切实可行的禁汞限汞措施，实施绿色采购和引导政策，推进无汞、低汞技术和产品的应用，淘汰落后工艺，推进技术升级。该过程需要采取相应的政策资金措施，如通过税收减免以鼓励清洁生产技术的应用等。

五、中国汞管理战略与行动计划

目前，《重金属污染综合防治规划（2011—2015 年）》已经全面启动，应对汞公约的多边谈判工作正在进行。基于上述背景，提出中国推进汞管理的政策需求。

（一）强化国家顶层设计，建立国家汞管理战略和行动计划

汞管理战略和行动计划的目的是进一步减少汞对人类健康和环境所造成的危害，降低中国对全球汞排放的贡献。该战略和行动计划的内容应包括：

- （1）与《重金属污染综合防治规划（2011—2015）》相衔接，制定 2011—2015 年和 2015 年以后近期和远期的汞减排目标；
- （2）采取更有力的措施降低和防止汞对人体健康和环境造成的影响；
- （3）建立强制性动态国家汞污染排放和转移清单，为环境决策提供支持；
- （4）通过加强与其他战略相衔接，支持重点涉汞行业和社区改善环境绩效，促进清洁生产，实现绿色转型；
- （5）加强汞管理的法律法规体系和执法能力建设；
- （6）建立不断完善的责任分级管理体系，推进在全国范围内有效统一实施；
- （7）逐步建立基于市场的综合性汞管理机制，将其作为强制性措施的重要补充；
- （8）明确科学与技术需求，为实施汞风险管理和控制提供决策支持；
- （9）加强执行能力，确保行动计划执行的全国统一性。

本章后面所列内容是为推进该战略和行动计划的实施所建议考虑的主要内容和行动要求。

① <http://www.epa.gov/ttn/ecas/regdata/RIAs/ToxicsRuleRIA.pdf> (Accessed: Sept 7/2011)。

② <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=4A577BB9-1> (Accessed: Sept 7/2011)。

(二) 建立汞管理动态信息平台，明确汞环境安全风险

国家行动计划需要及时、准确和切实的明晰中国汞在生产、分布、使用、排放、回收和处置方面的汞物质流信息。需要针对主要污染源采取强制性的汞排放监测和报告要求，以便切实反映涉汞行业、重点区域/流域以及重点污染源的信息，建立汞环境风险控制和预警体系，为管理者和科研人员明确汞污染的来源和成因，确定管理措施和开展社会经济影响评估提供依据。该信息平台将为推进中国生命周期和全过程汞管理能力，明确相关风险提供基础，也将为中国开展国际汞行动提供支持。该信息平台的建设应具备如下功能：

(1) 建立一个透明、强制性、国家协调、基于设施并定期更新的汞排放和转移申报体系—可借鉴联合国环境规划署（UNEP）清单方法学和 UNEP^①及经济合作与发展组织（OECD）建议成员国实施的污染物排放及转移登记注册系统^②；

(2) 建立一个包括汞转移到空气、水、土壤和废物流的清单，识别健康和环境风险，确定控制措施的优先顺序；

(3) 建立环境风险信息和预警系统，减少环境风险，做到“早发现、早反应”。

注：该平台所涉及的硬件设施以及相关程序同样可用于其他重金属、持久性有机污染物以及国家关注的其他污染物。

(三) 减少汞污染风险，保护公众健康

基于中国在对汞排放分布以及迁移转化规律等方面认识存在的不足，有必要加强监测和评估能力，针对汞的形态、分子结构以及迁移转化规律进行研究，为开展科学的评估，明确风险提供重要信息。为减少汞污染对人体健康的影响，应针对职业健康防护措施开展公众咨询，减少汞污染对人体健康的影响，主要行动计划包括以下方面：

(1) 加强对环境、食品和人体中汞的监测；

(2) 重新评估大米（和其他作物）、鱼和化妆品等其中汞的限值标准，以便为消费者提供指导；

(3) 加强信息交流，尤其针对受污染地区、食品中汞含量超标地区的人群和其他敏感群体（例如孕妇和儿童）；

(4) 加强对高风险职业（如采矿、冶炼、PVC 生产等）从业人员的职业健康、安全监测及防护措施。

① Pollutant release and transfer registers as a reporting mechanism for mercury release and transfers. UNEP (DTIE) /HG/INC.2/INF/6. 12 January, 2011. accessed November 19, 2011 at: http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/INC2_INF6_PRTR.pdf

② <http://acts.oecd.org/Instruments/ShowInstrumentView.aspx?InstrumentID=44&InstrumentPID=41&Lang=en&Book=False>

(四) 加强对污染场地的风险管理

土壤是汞污染的主要受体，也是汞污染风险扩散的主要场所^①。风险评估和管理应成为污染场地管理的常用工具^②。应坚持预防优先的原则，推进对污染场地的风险管理和控制，主要需求包括：

- (1) 建立透明的国家汞污染场地登记制度，为推进污染场地的识别、评估和分类，确定优先行动，推进污染场地修复和未来土地使用功能定位提供决策依据；
- (2) 建立跨部门的决策机制，明确针对当前和历史遗留汞污染场地实施管理的责任分工和法律管理依据，包括建立污染场地退役和修复的资金机制；
- (3) 在污染场地修复的问题上应遵循优先原则，针对那些对人类健康和环境有重大威胁的污染场地实施优先修复；
- (4) 支持成立新机构，为污染场地的修复要求的提出以及示范项目的开展提供支持；
- (5) 建立汞污染场地的长效监测机制，以保护公众健康和环境安全。

(五) 加大投资规划，推进涉汞行业绿色转型

中国急需推进经济有效的汞替代技术以及汞污染控制技术的引进、开发和应用。中国在国际上做出了“每单位国内生产总值（GDP）减少 40% 温室气体排放的承诺”^③，要求各行业采用清洁生产技术，实施绿色转型战略，推进关闭小企业、禁止小采矿和冶炼，推进含汞废物安全处置，这将有助于保护中国工人和当地居民的健康，有助于建立安全社区，保护全球的竞争力。

中国在环境领域的经济政策较多，但经济手段在汞污染防治方面并未发挥重要作用。诸如环境税的相关条款并未与法律、资金支持和经济机制相协调，汞污染防治以及修复活动的资金机制有待进一步探索。因此实现绿色转型应考虑如下因素：

- (1) 充分考虑城市、乡村和区域差别，推进涉汞行业结构调整；
- (2) 支持汞污染防治技术的引进和商业化，推进清洁生产技术，开展 BAT/BEP^④ /

① Zhang H, Feng XB, Thorjorn L, et al. In inland China, rice, rather than fish is the major pathway for methylmercury exposure. *Environmental Health Perspect*, 2010, 118: 1183-1188.

② Informed by the CCICED Special Policy: Study on soil environmental protection in China, 2010. http://www.sfu.ca/international-development/cciced/pdf/2010_Reportof Soil.pdf

③ 2007 年发布的《中国应对气候变化国家方案》。
http://news.xinhuanet.com/politics/2007-06/04/content_6196300.htm

④ In EU BAT is defines as best available techniques and hence includes BEP (best environmental practice. For a specific sector a BAT reference document (BREF) gives detailed information on available and emerging techniques in the sector. BREFS are available at: <http://eippcb.jrc.es/reference/>

MACT^①示范；

(3) 采用多种经济手段，坚持强制及自愿措施相结合，支持涉汞行业工艺和涉汞产品减少用汞量，鼓励推进产业化创新；

(4) 促进含汞产品替代，加强废物管理和回收利用；

(5) 推进涉汞行业开发多样化的绿色经济战略。

(六) 健全汞管理体系，提升监督执法能力

中国现行的大部分汞污染控制和管理标准及规范滞后于汞污染控制和管理实际需要，农村及西部地区汞污染防治的管理力度薄弱，污染向农村和西部地区转移趋势严重。同时在 OECD《关于中国环境绩效报告（2007）》^②以及《监管报告》^③中提出，中国环境管理体系所面临的最大挑战是管理能力提升问题。因此，中国应针对重点涉汞行业的风险评估和污染控制，系统加强汞污染防治管理能力，推进实现全过程管理，内容涉及可行性技术的选择和应用、清洁生产机制的建立以及监督管理能力提升等。中国完善国内汞管理体系的主要需求包括：

(1) 加强全过程管理，相关思路见第3章图5所示；

(2) 根据 OECD 管理体系评估报告^④及法规决策参考目录^⑤，提高中国法规影响分析能力；

(3) 加强中央对地方的垂直统一管理，确保法规及相关措施执行的一致性和统一性；

(4) 提高监督执法以及事故应急响应能力；

(5) 推进行业自发性汞减排行动，例如国际化工行业发起的以行业为主导的责任保障计划；

(6) 加大对农村及西部地区汞污染防治的管理力度，防止污染向农村和西部地区转移。

① MACT 是美国环保署提出的。“当建立某一行业源的 MACT 标准时，环保署会在现有排放水平上通过清洁生产、设备控制、工作时间和其他方法达到同类污染源的最好性能。这些排放水平作为一个基础，以此来制定新的标准。MACT 标准必须在全行业达到一定的排放控制，至少应达到 MACT 标准线。美国环保署在经济、环境和公众健康影响有新的要求时可以建立更为严格的标准”。<http://www.cdphe.state.co.us/ap/mact.html>

② OECD environmental performance reviews: China, OECD 2007.

http://www.oecd.org/document/24/0,3343,en_2649_201185_38952984_1_1_1_1,00.html

③ OECD reviews of regulatory reform. China. Defining the boundary between the market and the state. OECD 2009. http://www.oecd.org/document/36/0,3746,en_2649_37421_42222884_1_1_1_1_37421,00.html (accessed August 30, 2011).

④ OECD reviews of regulatory reform. China. Defining the boundary between the market and the state. OECD 2009. http://www.oecd.org/document/36/0,3746,en_2649_37421_42222884_1_1_1_1_37421,00.html (accessed August 30, 2011).

⑤ The OECD reference checklist for regulatory decision making. OECD 199 <http://www.oecd.org/dataoecd/20/10/35220214.pdf> (accessed August 30, 2011).

（七）提高认识，减少汞的使用和排放，保护公众健康和环境安全

公共信息、环境意识和教育对于减少汞暴露和汞排放是必不可少的，提高认识水平，减少政府、各行业和公众之间对环境影响评价、环境管理措施和科学建议等方面在认识上的差距至关重要，主要需求如下：

- （1）借鉴其他国家和地区相关经验，全面开展汞的现状和认识能力评估^①；
- （2）加强对环境、食品和人体中不同形态汞的监测和评估，明确中国与其他国家在相关研究研究领域的差距；
- （3）基于中国实际，建立和完善针对中国汞与健康影响的剂量-反应关系^②；
- （4）加强对汞排放迁移转化规律及生物地球化学循环效应的认识和理解；
- （5）借鉴其他国家经验，摸清水库建设时淹没土地是否会造成汞的甲基化问题；
- （6）开发和引进创新性的汞减排技术；
- （7）提高公众交流，促进含汞产品的回收利用以及替代产品的使用；
- （8）加强涉汞行业从业人员的职业安全培训（包括管理人员、技术人员和操作人员）。

（八）加强国际合作，并积极支持全球汞运动，消除汞污染

中国在汞管理领域还处于起步和发展阶段，加强国际合作将有利于为制定切实可行的汞公约对策方案，中国目前正在实施应对汞公约谈判的各项准备工作，为更好的支持全球汞行动，消除汞污染提供条件，涉及的主要需求包括：

- （1）加强与国际社会的政策对话和信息交流，促进全球汞战略活动；
- （2）加强与发展中国家和经济转型国家的合作与交流；
- （3）加强在管理、技术、国际贸易、融资、人员和管理能力提升领域的双边交流与合作；
- （4）促进国外最佳汞污染控制技术的引进，带动国内技术的发展，提高汞管理能力；
- （5）关注 WTO 在贸易与环境谈判中与汞相关进展。

① For example:

—AMAP, 2011. Arctic Pollution 2011 (Mercury in the Arctic). Arctic monitoring and assessment programme (AMAP), Oslo, Norway. Vi+38pp. <http://amap.no/documents/>

—The US-EPA mercury risk assessment http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/fedrgstr_activities/A&N%20Hg%20Risk%20Assessment%20TSD!OpenDocument&TableRow=2.2

—Canadian mercury science assessment <http://www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=En&n=1890C965&xsl=articlesseices,viewfull&po=3CEEE8E1#9>.

② The seychelles and the faroe islands.

(九) 改善环境绩效，推进重点涉汞行业汞减排

改善环境绩效，推进重点涉汞行业汞减排是落实汞管理战略和行动计划的关键，基于其对人体健康和环境的影响，中国应优先关注的行业包括：

(1) 主要汞排放源

- 1) 燃煤电厂和工业锅炉
- 2) 有色金属冶炼
- 3) 水泥生产

(2) 用汞工艺和含汞产品

- 1) VCM/PVC 生产（电石法生产工艺）
- 2) 汞矿开采和冶炼
- 3) 含汞废物回收和处置
- 4) 含汞产品
 - ◆ 电池生产
 - ◆ 荧光灯生产
 - ◆ 医疗器械生产

针对上述行业的行动建议将在后面阐述。这些建议可以为进一步与有关行业、其他部委以及利益相关者的全面磋商提供基础，以便形成具有中国特色的管理制度。此外，从总体而言，需要环保部指派专人针对各行业推进战略和行动计划的实施。

1. 燃煤电厂和工业锅炉

中国的资源和能源结构决定着燃煤行业是中国最大的大气汞排放源。另一方面，尽管中国大多数燃煤行业都安装了脱硫和除尘设施，但是成熟的脱汞技术仍然缺乏。燃煤电厂和工业锅炉汞减排的主要需求如下：

- (1) 促进清洁生产：如引进先进的燃煤技术和使用低汞煤^①；
- (2) 通过完善现有设备的稳定性和实用性，同时通过执行 2011 年 9 月 21 日颁布的新的排放标准^②，推进汞与其他大气污染物[SO_x, NO_x, PM]协同减排。同时，开展最佳可行技术研发和示范^③；
- (3) 建立燃煤行业污染防治政策和管理体系，包括全行业监管制度、适宜的汞排放标准^④以及必要的经济激励机制；
- (4) 加大汞污染防治的执行力度，确保汞污染达标排放；

① 可以使用煤洗技术、次级煤提取以及煤浆制备提取技术。

② 设立标准减排坐标 推进火电环保进程—环境保护部吴晓青副部长谈排放标准和火电行业污染治理. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201109/t20110921_217527.htm. (Accessed: Sept. 30/2011).

③ 活性炭喷射以及喷溴等技术。

④ 如现行标准中规定的 30μg/m³ 的汞排放标准限值较松，加严该标准限值可参考美国（1.5 μg/m³）和欧盟（3μg/m³）目前使用的标准限值。

- (5) 关闭小型高污染的工业锅炉，推进向清洁能源转变；
- (6) 加强含汞废弃产品物质流向管理，如对飞灰、脱硫石膏及废水的管理。

专栏六：汞排放标准建议
采用最佳可行技术，中国燃煤电厂的汞排放有望从 2005 年到 2020 年实现显著降低。建议汞排放限值在 2015 年低于 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，到 2020 年低于 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
采用最佳可行技术，中国工业锅炉的汞排放有望从 2005 年到 2020 年实现显著降低。2020 年前，应关闭小于 14MW 的小型低效锅炉，小于 75MW 的工业锅炉汞排放限值可小于 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高于 75MW 的工业锅炉汞排放限值可小于 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

专栏七：产品中汞含量建议
加拿大有色金属冶炼行业最初规定的产品含汞限值锌、镍、铅为 0.2 g/t，铜为 1.0 g/t。针对新建项目设定了更为严格的标准。目前最佳可行技术案例所建议的锌产品中汞的标准限值为 0.01 g/t。

2. 有色金属冶炼行业^①

中国中小型有色金属冶金企业技术水平参差不齐。建议采取以下措施实现汞减排：

- (1) 逐步引进国际 BAT 汞排放标准（见产品中含汞量建议），鼓励国产脱汞技术研发，提高有色冶金行业的环境绩效；
- (2) 促进脱汞技术应用，提高企业汞收集和回收能力；
- (3) 加强有色冶金行业实施汞污染控制核心技术的研发和引进；
- (4) 由于含汞硫酸可能用于肥料等产品制作，建议将含汞硫酸中的汞限值从 10 ppm^②降至 1 ppm，预防汞重新进入食物链中影响人类健康；
- (5) 加大监督执法力度，关闭小型、低效、高污染冶炼企业。加大政府支持力度，推进有色行业结构调整；
- (6) 完善对进入硫酸蒸汽以及其他含汞废物中汞的跟踪管理要求。

3. 水泥生产行业

水泥生产过程中的汞排放高的原因在于原料以及燃煤中含有的汞。目前几乎没有涉及原料中的汞含量的信息。水泥生产行业汞减排建议通过以下措施实现：

^① 特指锌冶炼、铅冶炼和铜冶炼行业。
^② 中华人民共和国国家标准.《工业硫酸》GB/T 534. 2002-09-24.

- (1) 探索汞与其他污染物协同减排措施，包括节能措施和大气污染控制^①，提高汞污染控制技术的有效性；
- (2) 设定行业汞排放限值标准^②，完善行业管理措施^{③、④}；
- (3) 逐步完善含汞石膏、飞灰（燃煤行业副产物）以及其他废物进入水泥生产的管理要求；
- (4) 完善水泥生产原料中汞含量信息，为选择低汞原料提供指导。

专栏八：乙炔法生产工艺
每生产 1 t VCM 需要 1.2 kg 汞触媒

4. VCM/PVC 生产行业

中国 VCM/PVC 生产行业约占 70%的企业依然采用乙炔法生产工艺(使用汞触媒)，汞需求量巨大。VCM/PVC 生产行业汞减排需求如下：

- (1) 基于 2007 年国家产业指导目录，优先选用无汞 PVC 生产工艺，积极推进 PVC 生产从乙炔法向乙烯法转变；
- (2) 加大投资，鼓励乙炔法生产企业实现低汞或无汞生产工艺转变。同时应采取 措施加强对汞进入废物和副产物物质流的跟踪与控制；
- (3) 加强无汞生产工艺和技术的研发工作^⑤；
- (4) 探索向不使用乙炔法生产工艺转变对减少温室气体排放的协同效益^⑥，减少其 他行业温室气体减排压力；
- (5) 加强生产过程全过程控制和管理，建立汞减排的经济激励机制，促进低汞触 媒的回收，探索总量控制和汞使用费问题。

5. 含汞产品

含汞产品涉及到的行业较多，涉及到医疗器械、荧光灯以及电池生产等行业，与 工业和社会生活密切相关，用汞量大。含汞产品生产行业汞减排需求如下：

① 包括颗粒的排放控制技术实现从静电除尘器到袋式除尘器的转变。

② 通过采用最佳可行技术（BAT），能够实现 0.05mg/m³ 的汞排放限值要求。（http://www.environmentagency.gov.uk/static/documents/Business/How_to_Comply_-_Cement_EPR3_01a.pdf）。美国也制定了相应的产品标准，如针对现有源和新源分别设定了水泥含汞量标准，即 55 磅汞/百万吨熟料和 21 磅汞/百万吨熟料；另外，美国针对水泥行业大气功的排放规定了标准限值要求，（www.epa.gov/ttn/atw/pcem/pcemprg.html）- Table1[page 55052]。该标准针对现有源和新源的标准限值分别提出了 10µg/m³ 和 4µg/m³。

③ Management measures are described in the Reference Document on BAT in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries, European Commission, May 2010.

④ 在冷混工艺后段，将替代材料以粉末形式加入，与磨碎后的熟料以及石膏等其他添加剂混合。

⑤ 新型分子筛固汞催化剂和集成式大型氯化流化床反应器。

⑥ 采用乙炔法生产工艺较欧美国采用乙烯法工艺生产过程所排放的 CO₂ 要高出一倍。

- (1) 促进无汞和低汞替代产品的开发和应用；
- (2) 制定含汞产品在生产、进出口以及消费环节的汞含量限值标准；
- (3) 制订行动计划，减少含汞产品的使用，必要时进行产业调整；
- (4) 鼓励通过管理手段，逐步降低含汞产品中的汞含量，使得低汞产品能够达到与高汞含量产品同样的性能要求；
- (5) 开发、引进和推广含汞产品生产行业汞回收技术；
- (6) 实行生产许可证制度，推进生产者责任延伸、清洁生产、循环经济以及行业自发行动，减少含汞产品中的汞含量。

6. 含汞废物的回收和处置

含汞废物包括电池、荧光灯、医疗器械、汞齐^①、汞触媒、尾气净化残余物以及冶炼废渣等。目前大多数含汞废物随城市生活垃圾一起被送往填埋场。尚缺乏有效的含汞废物回收体系以及可行的废物处理设施，环境风险严重。因此，有必要严格执行危险废物管理的有关规定。含汞废物管理和处置的相关需求如下：

- (1) 加强含汞废物回收和处置技术的引进与开发工作；
- (2) 加强含汞废物的收集、储存、回收和处置体系建设；
- (3) 建立严格回收效率以及污染物排放标准，建立切实可行的评价指标体系；
- (4) 推广采用成本效益分析方法，为判断无汞产品的以及含汞废物回收利用的有效性提供技术依据；
- (5) 建立基于市场的含汞废物回收激励机制；
- (6) 提高消费者意识，在社区设立专门的回收点。鼓励政府、回收厂家及社区开发和应用有效的含汞废物回收体系。

注：牙科汞齐^②很容易从牙科废水中去除，可以通过国家牙科协会采取相应行动，为最终消除废物流中的牙科汞齐提供基础。

7. 汞矿开采与冶炼

汞矿的开采与冶炼过程中汞可通过多种途径排放到环境中，会对当地的居民、动植物产生明显的积累效应。汞矿开采与冶炼行业的汞减排需求如下：

- (1) 加强国家层面对该行业的审批、控制和监管工作；
- (2) 基于对人体健康和环境影响，对关闭的汞矿、冶炼厂以及废物堆存点将建立基于风险的管理模式；
- (3) 加强执法和财政支持力度，推进对合法和非法汞矿及冶炼企业的识别、关闭和改造非法汞矿及冶炼企业工作；
- (4) 为了用于修复和保护环境、食物供应和公众健康的基金最优化使用，需要加强权威责任部门在保障安全、应急响应能力方面的合作（如有关尾矿库方面的风险）。

① <http://ec.europa.eu>

② <http://ec.europa.eu>

(十) 统筹兼顾，推进汞和其他重金属污染协同控制

表 6 不同行业预期收益的定性评估					
行业	涉汞程度 ^①	早期行动可能性	健康和环境收益		重金属协同收益
			中国	全球	
燃煤电厂	++				
燃煤锅炉	+++				
有色金属冶炼	++				
水泥生产	++				
VCM/PVC 生产	++++				无
电池生产	++				
温度计	++				无
血压计	+				无
荧光灯	+				无
牙汞齐	+				无
汞矿	++++				
好	较好	最好			

燃煤、有色金属冶炼行业的污染控制措施可以减少汞和其他重金属的排放。关闭小型低效高污染的有色金属冶炼厂将有效防止汞和其他重金属对环境的污染。此外，建立汞污染防治管理制度，强化监管能力，将有助于其他重金属的污染防治。表 6 列出了通过采取本报告中提出的汞污染控制措施可以实现的其他重金属污染物的效益以及协同效益。

五、中国汞管理优先行动建议

在过去 30 年里，中国经济快速增长导致用汞量不断增加，成为全球最大的汞生产、使用及排放国，主要与以下因素有关：（1）随着工业的发展，来自冶炼和燃煤行业的汞排放使中国成为最大的大气汞排放国；（2）PVC 生产行业由于以煤炭而非石油或天然气为原料，需要大量的汞作为触媒剂，因此成为世界上最大的用汞行业；（3）电池、荧光灯、含汞医疗器械产量不断增加，几乎供应全球，废弃的含汞产品将对全球废物流产生重要影响。

中国汞管理的优先行动内容总体包括三个方面：（1）加强管理体系建设，控制汞及其他重金属的使用，包括采取人体健康保护措施；（2）借鉴其他国家经验，建立严

① +不高、++一般、+++较高、++++很高

格且切实可行的目标，减少汞使用和汞污染物的排放；（3）促进开发汞的封闭管理体系，将汞作为资源进行管理，减少并最终消除对汞开采的需求。如本报告提出的建议得到有效实施，中国可望在未来十年实现相应的汞减排及汞需求的减量，如表 7 所示。

表 7 可能的汞减排量估算（t）^①

行业	排放基准线	预期减排量	基准线使用	预期减少使用量
燃煤电厂	123 [2007]	12+37=49（40%）		
燃煤锅炉	213 [2007]	85（40%）		
有色金属冶炼	116 [2007]	111（96%）		
水泥生产	90 [2007]	23+27=50（55%）		
VCM/PVC 生产			780 [2010]	208+286+286= 780（100%）
电池生产			140 [2009]	112（80%）
温度计			109 [2008]	54（50%）
血压计			118 [2008]	40（34%）
紧凑型荧光灯			68 [2010]	35+12=47（70%）
荧光灯			130 [2010]	101（78%）
总计	542	295（55%）	1345	1134（84%）

本报告许多建议的行动也将直接或间接有助于其他重金属的污染控制，汞污染控制管理体系以及能力建设也为实现其他重金属的污染控制对策措施的提出提供支持。国会会开发类似研究项目也可借鉴本报告中提出的战略和行动计划用于其他污染物控制。

（一）及早行动，推进解决影响公众健康的关键环境问题

基于中国汞产生和排放的行业现状，有很多减汞行动可以快速启动，以实现保护人类健康，保护环境的目的。

1. 有色冶炼行业

政府尤其是环境保护部门应积极采取行动，针对落后的中小型高污染冶炼厂通过安装污染控制设备或淘汰落后工艺等措施，减少其所造成的环境污染，保护工人和周围居民健康，实现最大效益的汞减排。同时，这些措施也将有助于减少铅、镉等其他重金属的污染。以锌冶炼行业为例，80%的汞排放来自于 20%产锌量的小型冶炼厂。

2. 燃煤行业

燃煤行业的汞减排应采取以下措施：

（1）通过培训和经济激励措施支持和推进汞污染控制最佳可行技术的应用（如活性炭喷射技术、溴或溴化物添加技术）；

① 相关方法学见专题组总研究报告。另外，汞的使用量数据来源较多，本表中相关数据具有一定的不确定因素。

- (2) 提高能源效率, 提高可再生和替代能源使用, 减少对煤的需求;
- (3) 加大力度推广先进的大气污染控制设备, 实现汞与其他污染物协同控制。

3. 公众健康

卫生、劳动、环境保护、安全和应急部门应密切合作采取如下措施:

(1) 对于高风险人群(如污染场地附近居民), 采取有效措施防止因职业和日常生活所带来的汞暴露。措施包括: 1) 结合监测数据和相关标准, 开展中国膳食状况评估; 2) 建立有效的职业健康与安全防护计划; 3) 对污染场地附近居民提供信息以及安全防护等方面建议和帮助;

- (2) 对于废弃的汞矿污染区域采取隔离措施, 防止汞污染在水体和大气中扩散;
- (3) 加大监督执法力度, 禁止手工小金矿开采以及非法废物处置活动。

(二) 推进重点行业污染控制, 保护环境和人体健康, 促进全球汞减排

未来 10 年, 中国应针对重点涉汞行业加大力度, 推进实施汞减排。

1. 燃煤行业

(1) 在可行的情况下采用燃气锅炉, 逐步淘汰燃煤锅炉, 减少汞污染。鼓励采用先进燃煤工艺技术和低汞煤使用技术。关闭小于 14 MW 的小型低效率工业锅炉。参考国际经验, 装机容量大于 75 MW 工业锅炉可在 2020 年前可以设定 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的排放限值目标, 从而实现 40% 的减排;

(2) 在 2020 年之前, 通过采用先进技术, 中国的燃煤电厂可在 2010 年基础上实现大幅度汞减排。到 2015 年设定小于 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的排放目标是可行的, 到 2020 年设定小于 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的汞排放限值是能够实现的。即使假设这些燃煤电厂每年 10% 的燃煤增长量, 基于 2007 年的水平, 燃煤行业到 2015 年可实现 10% 的汞减排量, 2020 年可进一步达到 30% 的汞减排量。

2. 有色金属冶炼企业

借鉴国外先进技术, 鼓励研发国内创新技术, 逐步加严汞污染物控制标准限值。如对于锌冶炼和铅冶炼, 可以设定 0.2 g/t 的汞含量限值; 对于铜冶炼, 可设定 0.1 g/t 的汞含量限值。采用这样的限值, 伴随着小型高污染冶炼厂的关闭, 有色金属冶炼行业将有望实现汞减排从 2007 年的 116 t 减少到 5 t, 减排率达到 96%。而对于新建冶炼企业, 采用目前的最佳可行技术, 锌实现小于 0.01 g/t 的汞含量限值从现实角度来看是可行的。

对于有色冶炼行业采用制酸工艺生产的副产物硫酸产品, 应加严该类硫酸中汞含量的限值标准, 建议从目前的 10 ppm 加严到 1 ppm, 并加强监督执法工作, 尤其是对于可能用于生产化肥的硫酸副产品的监督管理。

3. 水泥行业

基于北美和欧洲经验, 应采用最佳可行技术和管理措施, 推进节能行动和协同

控汞措施，在水泥行业逐步加严排放标准限值要求。基于 2007 年的排放水平，设定 $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准限值能在 2015 年实现 25% 的汞减排，在 2020 年设定 $4\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准限值可进一步达到 30% 的汞减排。

（三）保护汞资源，减少汞的使用和需求

作为重要的有价值资源，可通过采取闭路循环管理体系，减少和消除生产行业对汞的需求，减少生产过程和产品对汞的需求。

1. VCM/PVC 行业

应优先采取行动，推进采用经济有效的无汞 PVC 生产工艺。2007 年国家发改委颁布的《氯碱行业准入条件》提出，PVC 行业应积极寻求机会推进原料实现从煤炭到石油和天然气的转变^①。

在中国，发改委、工信部和环保部颁布了相关文件以减少该行业的用汞量，明确未来几年行业限汞目标：

（1）到 2012 年，中国电石法聚氯乙烯行业低汞触媒普及率达到 50%；

（2）到 2015 年，全行业全部使用低汞触媒，每吨聚氯乙烯氯化汞使用量下降 50%，废低汞触媒回收率达到 100%；

（3）到 2020 年，实现无汞触媒的工业化示范和推广应用，逐步实现电石法聚氯乙烯行业无汞化。

政府应建立资金机制，加大投资力度，开发切实可行的无汞技术，推进行业向无汞化转变。另外，应加大立法和执法力度，逐步追踪并控制汞进入到 VCM/PVC 行业废物流和副产品。

业界预测，中国唯一的汞矿将在 5 年内枯竭。基于这一特定背景，国家应推动该领域技术革新，并通过制定政策控制措施，实现到 2015 年行业生产不再增加新汞的使用量，以便为实现整个 PVC 行业无汞化的生产提供支持。

2. 建立用汞行业汞的闭路循环

开发用汞行业汞的闭路循环系统，推进汞的回收和利用，消除对新开采汞的需求，从而促进资源节约和减少废物排放。该方法也广泛适用于有色金属冶炼和医疗产品等汞源。应加强危险废物管理相关法规的实施力度，并建立有效的汞回收系统和废物管理制度。

中国也应建立到 2015 年的汞供给总量控制目标，以加速减少对汞矿开采的依赖，并促进 PVC 和其他涉汞行业的技术革新。

3. 完善含汞产品含汞量标准

鼓励含汞产品的生产者使用低汞或者无汞技术：

① http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbgg/2007gonggao/t20071106_170922.htm

(1) 完善法规建设, 逐步要求高含汞产品(如荧光灯)生产商, 推进其含汞产品中汞含量满足国际最低的汞含量标准要求;

(2) 开发和使用无汞、低汞产品, 鼓励替代现有高含汞产品(如医疗器械的免费交换计划);

(3) 采取生产许可制度, 推进生产者责任延伸、清洁生产、循环经济以及行业自愿性措施, 以减少其产品中的汞含量;

(4) 完善回收技术, 促进相关产业发展。

中国应促进《电池行业重金属污染综合防治方案》的制定和实施, 实现到 2013 年淘汰含汞量超过 5 ppm 的碱锰扣式电池, 到 2015 年汞电池行业汞消费从 140 t 的基线数值减少 80% 的目标。

中国政府正在同行业部门计划到 2013 年采用 5 mg 的汞含量限值, 这将比 2010 年基数减少约 35 t 的汞消耗。另外, 针对小于 30W 和大于 30W 的紧凑型荧光灯, 将分别设定 2.5 mg 和 3.5 mg 的标准限值, 实现减少 12 t 的汞消耗。

此外, 中国还生产大量的普通荧光灯用于居民、商业和工业部门。2010 年这种荧光灯生产耗汞约 130 t。对于该类产品, 政府拟设定 10 mg 的标准限值, 这样将减少约 29 t 的汞消耗。

(四) 强化保障措施, 推进无汞绿色经济

健全国家立法和管理体系, 加强保护公众健康、保护环境的知识技能以及加强污染物减排, 绿色技术创新是成功实现汞和其他重金属污染减排行动的重要基础。

1. 立法及管理

(1) 建立公开、透明的动态国家汞排放和转移清单以支持中国的全过程汞及环境风险管理;

(2) 加强汞全过程管理能力建设, 从问题识别和法规影响评估到法规的实施、执行和评估, 也包括基于市场和以行业主导管理手段的应用。实现这些目标也客观要求加强替代技术研发、成本效益分析以及法规影响评估等方面的能力建设;

(3) 加强对主要行业汞减排工作的认识和把握, 环境保护部应建立专门机构负责该项工作的开展;

(4) 加强对汞和其他重金属管理体系建设, 包括建立高效的应急管理和监督执法体系, 防止污染向偏远地区和欠发达区扩散, 防止汞进入食物链而带来的人群暴露。

2. 知识与创新

(1) 加强对食品、人体和环境中汞的监测, 为开展风险评估和环境管理提供基础;

(2) 开发适合中国国情的新技术(如电石法 PVC 行业的无汞触媒技术, 燃煤行业的喷溴、洗煤技术和燃煤替代技术, 小型清洁工业锅炉技术), 并建立相应的技术评估和认证体系;

(3) 加强对公众、政府、行业和医务人员（包括高层领导）的教育，提高意识，提高行动能力。