



Distr.: General
4 August 2011



联合国
环境规划署

Chinese
Original: English

**拟订一项具有法律约束力的全球性汞问题文书
政府间谈判委员会
第三届会议**

2011年10月31日-11月4日，内罗毕
临时议程*项目3

拟订一项具有法律约束力的全球性汞问题文书

石油和天然气行业的汞排放情况

秘书处的说明

1. 为拟订一项具有法律约束力的全球性汞问题文书政府间谈判委员会在2011年1月24至28日于日本千叶市举行的第二届会议上，要求秘书处在顾及其他事项之外，编制关于石油和天然气行业汞排放情况的资料，供委员会第三届会议审议。
2. 按照这一要求，秘书处呼吁有关国家政府、相关非政府组织以及各行业机构提交相关资料。本说明附件一中概括介绍了现有资料，包括已提交的资料和现有的公共领域资料。本说明编写过程中所用资料的参考文献载列于附件二中。
3. 汞几乎遍布于包括石油和天然气在内的所有化石燃料中，并以污染物的形式存在。根据秘书处为编制本报告所汇编和评估的资料，在同一地理区域内部以及不同区域之间，石油和天然气中的汞含量相差极大。为本报告编制而评估的多项研究指出，部分差异可能是由于采样和分析技术不统一而造成的。地理结构不同也可能是造成某些差异的原因。但这无法解释所有的差异，因为即使在同一油田或气田中，汞含量水平仍然相差悬殊。整体而言，尽管部分报告值明显偏高，平均汞含量仍相对较低。近期研究指出，美国石油和天然气部门的汞排放量为国内燃煤汞排放量的5%，而加拿大石油和天然气部门的汞排放量则低于国内人为汞排放总量的4%。由于汞含量之间相差悬殊，与含汞量较低的地区相比，含汞量相对较高的地区需要对石油和天然气部门加大控制力度。根据目前现有数据，全球大量石油和天然气的生产、炼制和使用会造成汞的大量排放，尽管这些数值仍明显低于燃煤产生的汞排放量。

* UNEP(DTIE)/Hg/INC.3/1。

4. 出于防止腐蚀、催化剂中毒和产品污染等操作目的以及卫生和安全方面的考虑，目前已要求在生产天然气和用于制造化学品的原料时，进行脱汞处理。现已存在多项控制技术，用于在石油和天然气加工过程中减少汞排放量。该部门的汞回收量有助于汞的总体供应，这一问题或应引起委员会的考虑。根据现有资料，部分国家要求将含汞废物作为危险废物，通过无害环境的方式予以处理。但不清楚这一做法是否已在全球推广。关于可排放至环境中的物质的法规监管措施，包括有关污染物含量的政府限制措施，已采用废物（例如在初步分离油、气、水时产生的采出水）处理方式，降低汞含量。这些监管措施带来了环境效益，包括减少沉积物、水以及水生生物中的汞含量。一些国家政府正在制定或已经制定了“零排放”方案，并设定了更为严格的报告要求，加大了行业监测力度。通过实施监督，可以加强对汞排放的了解，并从整体上减少污染。然而，控制汞排放也许会导致更多回收的汞进入供应链。含汞废物在这一环节中经过处理，用于提取汞。

5. 根据现有资料，尽管石油和天然气中的汞含量整体不高，但由于石油和天然气的生产、炼制以及使用量较大，可能导致汞排放量在国内总排放量中占据较高比例。因此，委员会不妨考虑，是否应建议采取具体措施，控制石油和天然气生产、加工、输配以及使用过程中的汞排放量，将这一工作纳入减少人为汞排放的整体活动之中。有鉴于此，委员会不妨关注是否存在适合石油和天然气部门的控制措施。此外，一些国家政府已经达成了保护环境免受汞排放污染的要求，这表明该部门存在有效可行的控制方法。在考虑管理汞排放的可行方法时，委员会不妨广泛考虑各项政策方案。最新修订的谈判草案文本载于文件 UNEP(DTIE)/Hg/INC.3/3 中，该草案提供了委员会可建议在石油和天然气部门中适用的汞排放控制方案。

附件一

关于石油和天然气部门汞排放情况的资料

背景资料

6. 一般认为，石油和天然气部门涉及石油和天然气勘探以及开采的各项活动。石油炼制可作为该部门中的组成部分或一个独立但相关的行业。世界很多地方都在开采石油和天然气，包括陆地和近海地区。其中部分地区同时生产石油和天然气，有些则仅生产天然气。据估计，2007年的石油产量约为每天8400万桶，其中石油输出国组织的成员国约生产3400万桶，非成员国生产5000万桶。2008年的天然气产量约为31,000亿立方米，以俄罗斯联邦和美国的产量为首。

7. 在石油和天然气勘探、开采以及炼制过程之外，一些分析研究还考虑了最终产品中石油和天然气燃烧产生的汞排放量。无论如何，石油和天然气的燃烧和消费都将导致大量的汞排放。2007年北美地区的石油消费量估计约为2500万桶，亚洲非经济合作与发展组织（经合组织）成员国的消费量为1700万桶，欧洲经合组织成员国的消费量为1500万桶，亚洲经合组织成员国为800万桶，中美洲和南美洲的消费量为600万桶，中东地区600万桶，欧洲和欧亚地区非经合组织成员国为500万桶，非洲地区则为300万桶。据报告，天然气的消费量大约可满足全球23%的能源需求。

8. 经确定，化石燃料的开采和使用是造成全球环境汞排放的一项主要因素。汞在沉积物和沉积岩中分布广泛，含量各异；汞也可能存留于密封层中，由于部分密封层中含有化石燃料，汞可能存留其中，并且浓度有所增加。原油中的汞包括在石油中溶解和悬浮的挥发性元素汞，以及非挥发性的汞化合物，其中可能包括硫化汞的悬浮颗粒。这为石油运输和采样带来了挑战。由于挥发性汞会损害管道和储存容器，因此需要在石油的处理、储存和处置过程中采取预防性措施。如果挥发性汞在供应环节和炼制过程中接触到硫，则将其形态产生重要影响。例如硫化氢和其他活性硫化物可与汞发生反应，生成硫化汞。由于硫化汞在水和碳氢化合物中的挥发性和溶解性较低，因此将保持固体形态，并降低危害性。

9. 天然气中的汞多为元素汞，但少数可能以有机复合物的形式存在。与石油中的情况相似，天然气中的汞同样使运输、储存和处理过程面临问题。石油或天然气的开采、炼制、处理、储存、运输以及最终使用过程会导致汞排放，其来源包括：初步分离油、气、水时产生的采出水；火炬气；以及设备排气。

10. 由于汞形态分析的方法和技术的灵敏度有限，难以诠释历史数据，影响了目前对汞的反应行为的认识。

11. 联合国环境规划署（环境署）于2002年11月发布了《全球汞评估》。评估指出，尽管在化石燃料中，煤燃烧向环境中排放的汞含量最高，但其他化石燃料的燃烧也同样造成了汞排放。评估对少数国家的石油和天然气燃烧以及煤燃烧情况进行了估测，指出在这些国家中，石油和天然气的汞排放量为燃煤汞排放量的11%至14%。

12. 天然气中的汞含量应在加工程序之前减少至10微克/立方米($\mu\text{g}/\text{m}^3$)或更低，以防损害热交换器或其他设备。生成的副产品汞或回收的汞可能会向市场

供应：尽管不会直接排放至环境中，但如果使用不当，或者存留在处置不当的产品中，日后仍会排放到环境中。1995年，荷兰从国内的天然气污泥和废物中回收了6吨¹汞，从进口废物中回收了85吨。欧洲联盟每年从天然气中回收约20至30吨汞。

13. 环境署汞排放识别和量化标准工具包旨在帮助各国制定汞排放清单。工具包认识到，石油和天然气的开采、炼制和使用会造成汞在所有环境介质中的排放，并指出原油中的汞浓度范围为0.010-30 ppm，列举了石油产品作为燃料燃烧时关于使用控制设备、替代燃料和烟道气清洗情况的范例。工具包还指出，天然气中的汞浓度范围为0-300 µg/m³，该数据与若干研究结果的报告数值相同。

14. 环境署关于减少汞的主要用途和排放量的指南指出，石油的开采、炼制和使用过程会造成汞在大气、土地和水中的大量排放，并产生副产品汞和含汞污泥。燃料中的汞浓度以及燃料的燃烧量应成为主要考虑因素。例如在用于发电的石油燃烧过程中，烟道气清洗系统将在主要降低二氧化硫和硝酸盐的排放量的同时，采用与燃煤发电站相似的方式，减少汞排放量。指南指出，通过比较原油与其他若干精炼产品中的含汞量，可发现石油炼制过程中会造成大量汞排放。指南还指出，截至发布之日（2006年6月），目前尚未采取任何具体措施，处理这些排放问题。

15. 指南还指出，天然气的开采、炼制、清洗和使用会造成汞在所有环境介质中的排放。近海开采天然气时，气体净化步骤也可能在近海进行，并可能就地排放。鉴于天然气中的汞会带来许多问题，因此在出售或使用天然气之前，应清除其中的多数汞，将其作为副产品予以回收和销售，或作为危险废物进行处理。秘书处为筹备2008年在内罗毕召开的汞问题不限成员名额特设工作组第二次会议，编制了一份关于全球汞供应情况的报告。²该报告估计，天然气清洗和有色金属开采作业目前每年可为全球汞供应量提供410至580吨副产品汞，尤其在要求减少大气汞排放的情况下，其中可回收的汞多达1100至1400吨。

16. 环境署编制了一份排放报告³，供理事会在其第二十五届会议上审议。该报告估计，石油燃烧的汞排放量约为燃煤排放量的10%。报告认为，原油中的汞浓度因石油来源不同而有所差别。根据1987年发布的一份估测报告，该浓度范围为0.01-30 ppm，而2005年发布的修订版则将其修改为0.01-0.5 ppm。

一、石油和天然气行业的汞排放情况：地理分布

17. 应秘书处要求，部分国家政府已提交了关于石油和天然气行业汞排放情况的资料，可于秘书处网站获取。⁴进一步信息来源于公共文献的搜索结果，以及行业机构和非政府环境组织提交的资料。相关信息现列举如下：首先是有关具体国家的信息，该信息按照字母排序，分国家作了介绍；其后是关于石油和

1 此处“吨”指公吨。

2 UNEP(DTIE)/Hg/OEWG.2/6/Add.1。

3 UNEP/GC.25/INF/26/Add.1。

4 请登录网址

www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC3/tabid/3469/Default.aspx，点击“提交”键。

天然气行业汞排放情况的整体信息。本报告编制过程中所使用的信息来源清单载于本报告附件二中。

澳大利亚

18. 据估算，2006年澳大利亚石油炼制和燃烧所产生的汞排放量均为101公斤。这两个部门的汞排放量各占年度总排放量的0.7%，而发电厂每年燃煤产生的汞排放量为2271公斤，占总排放量的14.8%。黄金冶炼是澳大利亚汞排放的最大来源，每年排放7642公斤汞，占年度总排放量的49.7%。目前尚未提供关于其他介质中汞排放量的信息。

加拿大

19. 加拿大环境部在2007年发布了一份报告，报告进行了综合的调查研究，包括在多个实验室内开展仔细采样和重复分析工作。报告测量了32种石油中的汞浓度，以确定在加拿大炼制的原油中的平均汞浓度，其中包括加拿大本国石油和进口石油。总汞的体积加权平均值约为每公斤油2.6微克（以重量计，相当于2.6 ppb）。加拿大本国石油的汞浓度较低，其中东部石油的平均汞浓度为1.1 µg/kg (1.1 ppb)，西部为1.6 µg/kg (1.6 ppb)。与之相比，进口石油的汞浓度为4.5 µg/kg (4.5 ppb)。原油中的汞浓度范围为0.1-50 µg/kg (0.1-50 ppb)，低于文献中记载的数值。根据报告中的数据，汞浓度与硫含量和石油密度之间并无紧密联系。据加拿大环境部估测，2002年加拿大石油加工和使用过程中可能产生的年度汞排放量上限为197-250公斤。环境部指出，该数值不包括加工前期可能产生的汞排放量，例如石油开采、处理或运输过程中的排放量。

20. 早期的一份报告估算了加拿大天然气中的汞排放总量。该报告指出，1999年天然气产量为5.9万亿立方英尺（约为1700亿立方米）。管道天然气中的汞含量在不足0.02 µg/m³和0.1 µg/m³之间浮动。井口天然气中的汞含量最高约为2.3 µg/m³。若假定该数值为所有天然气中的含汞量，每年天然气生产率为1670亿立方米，则加拿大天然气生产过程中产生的汞约为217公斤。如果根据平均测定值，降低该假定值，则产汞量应为每年13.6公斤。

21. 根据两次研究的结果，加拿大石油和天然气产业每年排放的总汞量估计为210-470公斤。

克罗地亚

22. 克罗地亚政府指出，从石油和天然气部门排放收集的800公斤汞均储存在莫尔韦，作为危险废物进行管理并出口国外。

欧洲联盟

23. 一份题为“汞流动和剩余汞的安全固存”的报告指出，必须在天然气加工过程前清除其中的汞，以免损害设备，包括与工厂中的金属形成汞齐，由于汞齐的相对性质较弱，容易产生腐蚀。汞还能使催化剂受污染而失效，并在钢管壁形成沉淀，导致该设备成为危险废物。从天然气中清除的汞通常以含汞污泥的形式被收集和回收。荷兰于2002和2003年分别从污泥中回收了约14吨和18吨汞。2002和2003年过滤产生的汞分别约为7吨和6吨。据估算，欧洲联盟天然气生产过程中的年产汞量约为26吨。

德国

24. 德国政府指出，从德国北部二叠纪沉积中开采出的天然气的含汞量高达 $4,500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在天然气的不同生产阶段中，均可以排放或提取汞。石油和天然气的混合物在穿过钻井口后，混合物中的气体压力减小，温度降低，迅速析出金属汞，此时生成的汞数量最多。污泥或泥浆中的含汞浓度各异，活性炭过滤器中也可能含有汞。目前一般在真空设备中对污泥和泥浆进行脱汞处理。2009年，德国北部的天然气生产过程中共收集了 9 吨金属汞。

印度尼西亚

25. 印度尼西亚的部分天然气藏中含有汞，气田作业的过程中可能会产生含有废物的汞。印度尼西亚没有汞回收设备；生产商需要自行负责废物管理工作。据估计，一个天然气田每年约生产 680 公斤元素汞，其中废催化剂中最多含有 36 公斤汞，活性炭中有 0.12 公斤，污泥中有 0.05 公斤。已回收的元素汞被用于实验室，以开展研究或作为废物进行处理，废弃催化剂则运往其他国家处理。含汞废物储存在持有特殊执照的设施内，其操作规范遵循特别技术指导，以履行遵守和监督检查方案。

挪威

26. 在石油和天然气的近海开采作业中，每年向海水排放的汞总量略低于 20 公斤，2003 年向大气排放的量约为 15 公斤，到 2009 年增长至略低于 20 公斤。钻井作业和采出水是汞排放的两大主要来源。水、气、油的初步分离过程会产生采出水。在老油田中，油藏的水含量相对较高，采出水的含量也因此偏高。然而其中的汞浓度十分稀薄，过去十年中，采出水每年排放的汞含量约为 8 公斤。采出水中的汞含量每年需接受两次核查。现在，每年钻井作业的汞排放量低于 10 公斤。过去由于在钻井液中使用重晶石，致使排放量相对较高，在使用钛铁矿和含汞量较低的重晶石作为替代后，重金属的汞排放量有所下降。天然气燃烧、涡轮机中的天然气使用以及发动机中柴油燃烧产生的汞排放，是造成大气汞排放的主要原因。近海作业时，仅在出于安全考虑的情况下允许燃烧天然气。利用排放因子，可以明确天然气和柴油在近海时的汞排放量。

27. 挪威的石油和天然气部门同样拥有一系列地面设备。在天然气加工过程中，通过过滤脱汞，可确保产品符合规格。此外，还可根据需要进行更换含汞过滤器，并采用无害环境的方式将使用后的过滤器作为危险废物进行处理。天然气站每年排放的汞总量为 1-1.5 公斤。而炼油厂的汞排放量过于稀少，难以测量，只能利用排放因子进行估算。由于炼油厂会对接收到的原油中的汞含量加以控制，在使用新的石油来源前开展评估，并可以含汞量过高为理由，拒绝使用某类石油，因此炼油厂的汞排放量几近为零。

大韩民国

28. 2007 年发布了一份关于大韩民国汞含量情况的研究报告，对燃料中的汞含量进行了调查。在汽车燃料中，汽油中的汞含量约为 $0.571 \mu\text{g}/\text{L}$ ，柴油为 $0.185 \mu\text{g}/\text{L}$ ，液化石油气为 $1.23 \mu\text{g}/\text{L}$ 。根据车辆类型不同，汞排放量略有浮动：汽油车辆的排放量为每小时 0.07-2.5 微克，柴油车为每小时 0.1-1.9 微克，液化石油气车辆则为每小时 0.7-6.1 微克。该研究报告还按居住地进行划分，分析了人体血液中的汞浓度。除居住地点外，该报告不提供任何有关个人的信息。调查发现，居住地点距离交通繁忙地段 50 米以内的个人，其血液中的汞

浓度约为 4.55 $\mu\text{g/L}$ ；距离交通繁忙地段 300 米以外的个人，其血液浓度则为 3.84 $\mu\text{g/L}$ 。报告指出，目前汽车内尚无任何特定设备，用于减少汞排放量。此外，由于汞排放集中在地面，会对人体造成直接辐射，可能引起当地关注。报告没有估算大韩民国燃料使用过程中的汞排放总量。

俄罗斯联邦

29. 根据俄罗斯联邦环境保护、技术和原子能监督局以及丹麦环境保护署为北极理事会编制的相关资料，俄罗斯联邦原油中的汞浓度范围为 8-360 $\mu\text{g/kg}$ 。该地区其他国家的汞含量均与之相近，其中以乌克兰的汞含量最高，达到 1,150 $\mu\text{g/kg}$ 。报告假定，该地理区域内所有国家的原油中的平均汞含量为 300 $\mu\text{g/kg}$ 。然而，由于该数值的估测是以含汞量较高的原油为依据，因此它代表了极端不利情况下的最高含汞量水平。报告建议，应对俄罗斯的主要油田展开分析，以获取更为准确的估测值。

30. 气田中的汞浓度在不足 0.1 $\mu\text{g/m}^3$ 和 70 $\mu\text{g/m}^3$ 之间浮动，浓缩物中的汞浓度则在不足 65 $\mu\text{g/kg}$ 和 623 $\mu\text{g/kg}$ 之间变动。

31. 报告在估算俄罗斯联邦石油开采过程中汇集的汞总量时，假定平均汞浓度为 180 $\mu\text{g/kg}$ ，每年总产量为 3.36 亿吨石油，从而估算得出，俄罗斯每年产生 61 吨汞。尽管分离过程的第一阶段会清除大多数汞，但具体清除的数量以及这些汞的最终归宿却不得而知。炼制过程中，石油中存留的汞含量估计约为 32 吨。报告估测，生产出的燃料中约含有 3.4 吨汞。与之相比，2002 年因燃煤造成的向大气中排放的汞总量约为 14.3 吨。

32. 在天然气中，天然气冷凝物的汞含量约为 1.4 $\mu\text{g/m}^3$ ，天然气冷凝液中含量为 270 $\mu\text{g/kg}$ ，不稳定冷凝物中为 470 $\mu\text{g/kg}$ 。用于消费的天然气中汞含量很低，仅为 0.05 $\mu\text{g/m}^3$ 。据估计，天然气和气体凝析油每年产生的汞含量为 2-10 吨。汞容易凝结在天然气管道壁上，常与管道材料形成汞齐，从而在管道末端产生极为少量的汞。这些汞可能残留在管道内，或者在管道开启或损毁时，排放至环境中。火炬气每年排放的汞量约为 65 公斤，天然气的使用过程中也可能造成极少量的汞排放。

南非

33. 据南非政府估计，炼油厂每年要处理约 1810 万吨原油，排放约 160 公斤汞。与之相比，各行业汞排放量共计 20 吨，据估计其中约 9.75 吨来自燃煤电厂。由于石油消费量增加，人们认为日后来自原油的汞排放物将会增多。

泰国

34. 在一项关于泰国一家天然气加工厂中汞归宿的研究中，天然气中汞含量为 10-25 $\mu\text{g/m}^3$ ，在天然气、冷凝液、采出水和污泥中均发现了汞。在加工过程中，约 65% 的汞留在了污泥中，其中一些作为汞元素被回收。28% 的汞留在了冷凝液中（浓度为 500-800ppb），4% 留在了采出水中（30-800 ppb），还有 3% 留在了经过处理的天然气内。该工厂位于近海，污泥和采出水经过处理后通过深井灌注进行处置。

35. 通过分析海水、河水、沉积物和水生物种，对泰国环境中的汞含量做了测试。石油和天然气的开采、生产和加工并非环境中汞的唯一来源，许多行业都向环境媒介排放了汞。由于未获得这些行业的具体信息，人们将该测试看作是调查环境中汞的总体含量的有效机制。

36. 在距海岸 100、500 和 2500 米进行的测试中，2001（90 ng/L）、2002（80 ng/L）和 2003 年（88 ng/L）的汞含量差别不大。均符合 100 ng/L 的环境标准。河水中的汞含量为 0.05-1.5 µg/L，低于 2 µg/L 的标准规定。1998 年进行的沉积物测试显示，汞含量为 0.005-2.135 mg/kg 干重，1999 年为 0.003-0.827 mg/kg 干重。1998 年，少量测试样品的含汞量超过了 1 mg/kg 的澳大利亚和新西兰标准水平。截至 2001 年，经测试的沉积物中的汞含量从低于 0.10 mg/kg 干重到 0.35 mg/kg 干重不等，平均值为 0.23 mg/kg 干重，2002 年东部沿海的含量为 0.21-4.96 mg/kg 干重。其他区域含量较低，测试的所有沉积物中，汞含量均低于许多国家的质量指导标准。

37. 鱼体内的汞含量为 0.003-0.063mg/kg 湿重，低于泰国公共卫生部规定的 0.5mg/kg 湿重的标准。测试的虾和软体动物样品同样也低于标准水平。在 1995 年的近海测试中，有的超过了这一标准。然而 1996 到 1998 年间，该水平下降至标准以下。1998 年在近海采集的组织样品中，汞含量为 0.023-1.57mg/kg 湿重，其中有两个样品含量超标。基于这些结果，可以得出结论，人类健康面临着某种威胁。2001 年，鱼体组织内的汞含量有所下降，检测到的最高浓度为 0.51mg/kg 湿重。

38. 泰国已设立坚定的废物管理目标，包括实施零排放方案，同时，石油和天然气操作人员正在使用处理系统。正在实施一个广泛的监测方案，用以衡量清理技术的成效。人们认识到，需要更多有关渔业消费模式的信息，以便更准确地确定鱼体组织内可接受的含汞量。

39. 1990、1993 和 1996 年在一个石油平台周围进行的污染测试中几乎未显示任何重大污染的迹象。海水中的汞含量与先前水平相当，但平台周围沉积物中的浓度局部有所增加，在 500 米内达到了先前水平。尽管在平台周围，鱼体内的含汞量略有增加，其水平仍然低于联合国粮食及农业组织规定的 0.5 µg/g 湿重的标准。作为废物处理策略，受汞污染的污泥被重新灌入枯竭的油层，采出水会在清除汞和其他污染物后排放。尽管采出水也可以与污泥一起重新灌入井内，但在该项技术广泛使用前，需要消除人们对可能发生交叉污染或表面发生泄露的顾虑。

美利坚合众国

40. 美国环境保护署在 2001 年 9 月发布的一份报告中对石油和天然气生产、加工及燃烧所排放的汞（包括气体、固体废物和废水排放）进行了评估。报告指出，根据评估进行的估算为可能涉及的数量提供了一个粗略的初步设想。这些估算的依据为以往的汞浓度估算值以及最新的生产量或活动数据。报告指出，无法对原油中全部汞的浓度进行统计处理，部分是因为分析数据中的不确定性，另一个原因则是没有对文献中报告的许多数据来源进行很好地记录。

41. 报告确定了加工过程中排放汞的各个阶段。主要固体废物在钻井过程中产生，但生产和维护过程中也会产生一些固体废物。石油和天然气加工产生的固体废物可放入储备坑中储存，可以在处置前凝固。在储备坑中进行储存后，一些固体可以被分解，稀疏地进入土壤。需要定期对土壤成分进行监测，一旦污染达到一定程度，就不应再投放更多废物。一些商用设备将接收石油和天然气加工所排放的固体废物。越来越多的钻井废物被重新利用或回收，在经过处理和清除杂质后，被重新用于其他井内的钻井作业。钻井产生的废物同样也被用于填埋场覆盖材料、路基建设、稳固堤坝和其他油井的填充和废弃作业。

42. 在开采过程中，液态烃、天然气和水被分离。在井口，汞可能同时呈现溶解和悬浮状态，接下去呈现何种状态将取决于物理、化学和动力学因素。所有离子态的汞都应进入水相，而元素和有机形态的汞则应进入液态烃部分。悬浮状态中汞的分布将取决于微粒大小以及悬浮物质是否溶于水或脂类。附在大颗粒上的汞能够在水相中被清除，或作为污泥在清洗过程中进行清除。在分离过程中，胶态汞将通过液态烃保留。将汞分离至气相的过程非常复杂，原因是在分离器内停留的时间过短，无法实现真正的平衡。

43. 在运输中，液体（如石油）中的汞一般不易流失。在天然气生产中，气体（其是湿气）可与钢管发生反应，导致腐蚀，形成富汞层附于钢管表面。

44. 在提炼过程中，许多不同的阶段可能都有助于石油或天然气的脱汞。在脱盐阶段，用水清洗石油以去除可溶盐，这可去清除悬浮和离子态的汞。在蒸馏过程中，原油中温度较高部分的汞含量下降。过滤后的原油中不含悬浮的硫化汞。未过滤的原油中，硫化物也并未广泛分布，因为在初级蒸馏阶段，悬浮的硫化汞颗粒总是留在底部，在真空蒸馏阶段，又与重油和焦炭混合在一起。石油焦中汞的平均含量约为 50ppb，且汞多以硫化汞或硒化汞的形式存在。炼油厂废水一般含汞量很低，约为 1ppb。

45. 在天然气加工过程中，污染物通过深冷分离或液化的方法进行清除。前者可能导致汞的冷凝。天然气脱汞对于安全操作至关重要，因为任何出现在天然气中的冷凝的液态汞都可能腐蚀铝制热交换器。

46. 石油和天然气生产和加工部门向废水、固体废物流或空气排放物中释放汞，这是它们可能对环境造成汞污染的主要途径。采出水可能被排放至环境中或重新灌入井中。在美国，石油和天然气生产和加工产生的废水通常要通过许可方案进行管理，以保护地下和地表水资源。

47. 根据 2004 年的估算，因近海勘探和钻井作业，墨西哥湾每年将流入 0.8 吨汞。得出这一数据的基础是，钻孔冲洗液中使用的重晶石中汞的最高浓度（1ppm），以及有关油井下钻一英尺所排放的重晶石的数据。2001 年美国环境保护署报告通过获取已汇编出版的有关废水中汞浓度的信息估算出汞的浓度，并结合 1999 年前后的估计生产率，粗略估算出了美国石油、天然气生产和提炼废水中的含汞量。据估计，每 5000 亿公升的水中含汞约 1ppb，也就是说，美国每年会有约 250 公斤来自石油和天然气生产的汞进入水生环境。在经过提炼的废水中，汞的含量更加难以估算。然而，按照汞含量少于 1ppb 的估算值，以每年生产 15 亿桶计，每年经提炼的废水含汞约 250 公斤。

48. 汞可以通过燃料最终燃烧、逸散性排放和天然气燃烧排放到空气中。天然气与石油同时生产时会燃烧天然气，与收集和运输相比，燃烧的方法成本较低。据 2001 年环境保护署报告的估算，美国每年井口天然气的燃烧导致了约 7 公斤的汞排放。这尚未包括任何在炼油厂中燃烧的汞。据估计，每年的汞排放总量中，井口释放的逸散性气体中的汞占了约 10 公斤。

49. 假设石油中汞的平均浓度为 10ppb，那么在石油生产、运输和加工过程中，汞排放量不大可能超过 185 公斤。尽管人们意识到提炼过程所产生的固体废物流中会含汞，但其数量仍然难以估计。

50. 2001 年环境保护署报告中的各项研究的调查显示，原油中的汞含量差异很大。一项更为深入的研究分析了 2004 年美国加工的原油，这些原油拥有 170 个不同来源，研究显示汞的平均含量为 7.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，各原油含量由探测最低值

(0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 以下至 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 不等。据估计，美国每年加工的石油中汞的总量不足同期煤炭中汞含量的 5%。在进口石油样品中，亚洲石油平均含量最高，为 220 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。中东石油中汞含量最低，为 0.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，其他地区（非洲、欧洲、南美和北美）的石油中，汞平均含量为 1.3-8.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

51. 环境保护署于 2002 年开展的一项研究显示，炼制后的产品中汞含量有所不同，轻质蒸馏油和燃料油中的含量约为 0.001ppm，汽油和柴油不到 0.005 ppm，石油焦中约为 0.050 ppm。一个用于美国石油生产的质量平衡模型显示，如果汞含量在 0.010 ppm 左右，那么所有原油中的汞含量约为 8.5 吨，炼制产品中的含量约为 7000 公斤。由于估计到 15%左右的炼制产品（如沥青和润滑油）不能用于燃烧，1999 年炼制产品燃烧排放的汞约为 6000 公斤。用于分销的天然气中汞的含量较低。其测量值未超过检测极限：最低 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最高 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。根据 1999 年天然气的燃烧状况，按照这两个极限数据计算，汞的排放量将约为 10-100 公斤。每年燃料油的燃烧很可能释放约 11 吨汞，其中汽油燃烧释放约 0.46 吨，蒸馏油中约 0.21 吨，残油中约 0.16 吨，飞机燃料或煤油中约 0.10 吨。目前尚不清楚其中有多少可以从尾气中获取。

52. 在后来对于美国汞的使用和排放的研究中，人们估计 1996 年美国使用了约 70 亿加仑残油，61 亿加仑蒸馏油，分别用于公共事业、非公用事业和日常生活。估计残油中汞含量为 0.004ppm，蒸馏油中含量为 0.001ppm。据估计，燃烧后向空气排放的汞中，每年公共事业约排放 0.4 吨，非公共事业约为 5-7.7 吨，日常生活则排放约 2.8-3.2 吨。向固体废物中的排放在公共事业部门最为常见，在该部门中空气污染控制更为普遍。据估计，每年公共事业部门的排放量不足 0.55 吨，非公共事业部门不足 0.13 吨，而日常生活中所排放的则微不足道。可以获得关于汞排放以及美国石油炼制行业汞排放的有限数据。

53. 环境保护署的国家排放清单是美国空气排放数据的主要来源。它包括各州、部落和地方政府的环境机构提供的排放数据。环境保护署利用在制定和实施其条例时收集的数据，以及有害物排放清单和其他联邦机构提供的数据，对这些数据进行了补充。为提升数据质量，环境保护署一直在不断地对国家排放清单进行审查。最新的国家汞空气排放估算值来自 2005 年，并且曾被用来制定 2005 年空气中有害物质评估报告。该清单中的汞排放估算值为，每年用作燃料发电的石油产生不足 0.1 吨汞，以及每年用作工业、商业和机构环境中锅炉和加热器燃料的石油产生约 2 吨汞。接下来几个月，环境保护署将在该行业收集新的信息，这些信息涉及污染物的大气排放，包括来自石油炼制行业的汞。

有关石油和天然气中汞含量的其他信息

54. 1995 年在北海，人们发现在德国/荷兰边界附近的天然气中汞含量为 50-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，这一数值在隶属大不列颠及北爱尔兰联合王国的北海中部水域中要低得多，石油中为 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，天然气中为 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。从隶属联合王国的北海北部地区和爱尔兰海水域中采集的石油、冷凝物和水体样品中，汞含量更低，石油为中为 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，天然气中为 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。尽管北海南部水域的汞含量偏高，但生产设备附近水域中汞的含量仍在正常海洋范围之内，为 0.005 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

55. 在东亚一家天然气加工厂，原料气中汞含量为 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，按照其产值计算，估计每年可产生约 220 公斤汞。酸性气体清洗和硫还原每年可清除 22 公斤汞。在干燥工程中，每年又有 3 公斤被清除，冷凝物中每年有 45 公斤被分离。在供销售的天然气中，目前其含汞量最高约为 150 公斤/年。

56. 一份报告显示，德国北部的天然气中汞含量高达 $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，非洲和美国的水平就低得多。在同一份报告中，一些原油样品中汞的含量极高(30 ppm)，但大部分仍低于 0.010 ppm。在炼制的产品中，液态石油气中汞的浓度低于 10ppb，汽油中含量约为 0.22-3.2ppb，柴油中为 0.4-3ppb，石脑油中为 3-60ppb，石焦炭中为 250ppb。这表明，石油和天然气中的汞含量较低。

57. 另一份研究指出，烃类油藏中汞的含量正在增加，原因是越来越多的位置更深、温度更高的储油层投入使用，并且低温加工天然气的方法的应用日益普遍。人们意识到汞的含量将成为一个问题，同时他们也更加注重健康、安全和环境问题。人们注意到，在不同的地质环境中都发现了汞，尤其是位于地表 1 公里处的低温矿化地带。特别是，火山岩、变质岩、热液或消耗性岩石中汞含量往往更高。人们越来越了解，地质结构往往与含汞量关系密切，这使得人们现在得以更准确地预测汞的含量，在此之前，人们根据火山构造、油层中的二氧化碳含量、地势和其他因素进行估算。这可能有利于规划深井探测并在加工过程中实施所需的控制。

二、 应对石油和天然气部门汞问题的各项措施，包括控制技术以及国家、区域控制

58. 已开发出对潮湿和干燥气体均有效的脱汞流程，发生毛细凝结（或冷凝液体过量吸附材料）的风险不大。在开采点附近（例如从原料气中）进行脱汞处理，可能更为可取，这样可以将意外排放的机会降至最低。但是在这些情况下，原油必须相对清洁，不然会存在固体物质污染清洗设备的危险。固定床吸附剂是自带系统，可以最大限度地节省工厂操作人员的精力。回收已使用的吸附剂，可避免汞排放到环境中。专用脱汞系统在天然气加工设备和生产化学品原料的设备中更为常见，在燃料生产中安装该系统则较为少见。可用的系统包括脱汞吸附剂床，其特点在于使用活性化合物覆盖底层，并用吸附剂床保留稳定的汞化合物。在处理气体时，硫能够发挥作用，但处理潮湿气体或液体时可能需要金属硫化物系统。处理含汞液体时，使用碘化浸渍碳、金属硫化碳或氧化铝、银或加氢金属硫化物可能是有效的方法，包括可有效去除有机汞。

59. 也可以通过使用吸附装置（如 HgSIV 装置）去除从天然气流中的汞，它们是分子筛产品，分子筛珠或颗粒外表面含银。这些既可以作为独立的装置使用，也可以与现有的烘干燥装置结合，以获得无汞干气。一些已安装的装置可以将汞含量由原料气中的 $25-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 减少至低于检测限 ($0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 输出。

60. 一些生产国已经实施了石油和天然气行业监管措施以应对汞的排放问题。许多国家的政府限制和规范汞的排放，要求各公司对在所有产生的废物流和商用销售的产品负责。采出水近海排放受到限制，并可能要求对水进行处理，如过滤和化学处理。许多部门(包括开采、加工和使用部门)要求使用控制技术，对石油和天然气进行脱汞处理，以应对腐蚀、催化剂中毒和健康与安全问题的。

61. 在挪威，生产地点对气体进行燃烧需特别批准，但出于操作安全考虑要求进行燃烧的情况除外。加拿大于 2003 年报告，实施监测和管理方案后，排放量减少了 70%。在一些国家，各项措施已得到落实，旨在减少气体燃烧，从而减少汞的排放，这些措施包括液化天然气供出口或现场使用天然气的各种方案。在尼日利亚，一些设施正在使用原本将被燃烧或排放以操作平台设备的天然气来生产水泥和化肥，以及可作为汽车燃料使用的气体。有人指出，这些活

动原本将使用额外的、可能含汞的燃料来源，所以，即使没有采用额外排放控制措施，它们也可以减少汞的总排放。在某些情况下，公司正将天然气重新注入井中，而不是将其排放。虽然这个过程需要额外的成本，但由于井内压力增加，可能会促进石油生产。

62. 印度尼西亚和泰国均落实了广泛的监管措施，以尽量减少向环境中排放汞。这些措施包括：检查和履约机制，以确保环境中的汞含量不超过规定的标准。

63. 美国已对石油和天然气行业的固体和液体废物的允许用量做出了控制，其主要依据为汞和其他重要物质的污染程度，以及对环境可能造成的影响。

64. 在一次产业论坛上，一项由独立顾问于 2008 年开展的研究建议，石油和天然气加工设施中的汞管理应以详细的风险评估为基础。研究表明，如果液体中汞含量小于 5 ppb（气体小于 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），那么应被视为风险较低，建议重点监测汞的总含量，以确保其数量不会增加，同时关注该过程中的已知热点。如液体中汞含量在 5-100ppb 之间，可能有必要确定含汞物种。如果超过 75% 的汞呈现元素状态，工人就应采取保护措施以避免其被吸入或被皮肤吸收，同时监测工作应更加频繁和细致。对于汞含量超过 100 ppb 的高风险来源，需要观测具体的形成过程，并进行频繁监测和严格控制。在这种情况下，环境保护更加困难。

附件二

在编制本报告过程中使用的资料

ACAP, 2005 Assessment of mercury releases from the Russian Federation. Prepared for the Arctic Council by the Russian Federal service for Environmental, Technological and Atomic Supervision and the Danish Environmental Protection Agency, 2005.

Advanced mercury removal technologies. Hydrocarbon Processing. Houston, December 2010.

Boatman, M.C. (2004) Estimate of annual metric tons of mercury discharged with barite. Online at: <http://www.gomr.mms.gov/homepg/regulate/environ/mercury.html>.

Carnell, P.J.H., Openshaw, P.J. Mercury distribution in gas processing plants. Johnson Matthey Catalysts, Billingham, Cleveland, United Kingdom.

Carnell, P.J.H., Foster, A. and Gregory, J. (2005) Mercury matters. Hydrocarbon Engineering, December 2005.

Catchpole, S. (2009). Mercury removal in hydrocarbon streams. PTQ Catalyste, 39 – 45.

Chambers, A. and Supeene, G. Potential mercury emissions from natural gas production in Canada, for Mercury Programmes, National Office of Pollution Prevention, Environment Canada, by. October 25, 2002.

Chongprasith, P. et al. Mercury situation in Thailand. Ministry of Natural Resources and Environment.

Corvini, G., Stiltner, J. and Clark, K., Mercury removal from natural gas and liquid streams. UOP LLC, Houston, Texas.

Crippet and Chaos (1997) Mercury levels in natural gas and current measurement techniques. – Gas quality and environmental measurement symposium, Orlando 1992.

Croatia: Information on releases of mercury from the oil and gas sector (follow up from INC2).

CSIR, Presentation on South Africa mercury emissions from point sources in South Africa.

Enhance mercury removal from naphtha. Hydrocarbon Processing. Houston, December 2006.

Environment Canada (2007) Mercury in crude oil refined in Canada. Prepared by Hollebhone, BP and Yang CX, October 2007.

European Commission (2006) Mercury flows and safe storage of surplus mercury. Prepared by Peter Maxson, Director, Concorde East/West Sprl.

Gangstad, A. and Berg, S. (2006) Mercury in crude oil and natural gas – a concern for the oil and gas industry.

Germany (2011) German information on releases of mercury from the oil and gas industry (follow-up on INC2, 24–29(*sic*) January 2011, Chiba; Japan).

Gildert, G., Karavacioglu, H. A. and Carnell P.J.H., 2010 mercury removal from liquid hydrocarbons in ethylene plants. AIChE Paper number 135c, 2010.

Graham, J. (2010) Select trace elemental composition of fuel oil used in the Northeastern United States. EM, May 2010 pp 16-22.

Jong Hyun Won, Jae Young Park, Tai Gyu Lee (2007) Mercury emissions from automobiles using gasoline, diesel and LPG. (2007). Atmospheric Environment 41 (2007) 7547-7552.

Marck, W.S. et al (2004) Mercury in crude oil process in the United States. Mercury Technology Services.

Mercury in hydrocarbon reservoirs. BRMIGAS – NORAD – PETRAD – INTSOR – CCOP. Seminar on stranded gas, including low permeability reservoirs and mercury issues.

Mercury removal from liquid hydrocarbons. Hydrocarbon Asia, Refining Gas Processing and Petrochemical Business Magazine (July/August 2006).

Natural gas flaring and venting: opportunities to improve data and reduce eEmissions. Report to the Honorable Jeff Bingaman, Ranking Minority Member, Committee on Energy and Natural Resources, United States Senate. July 2004. GAO-04-809.

- Nelson, P.F. et al, December 2009 Mercury sources, transportation and fate in Australia. Final report to the Department of Environment, Water, Heritage and the Arts RFT 100/0607.
- North Sea operators plan measures to capture mercury in production. 1999 Oil and Gas Journal.
- Norwegian Climate and Pollution Agency, 25 March 2011. Information from Norway on releases of mercury from the oil and gas sector.
- Pongsiri N (1999) Initiatives on mercury. SPE Prod. & Facilities 14(1) 17 – 20.
- Sani, Rasio Ridho Presentation on management of mercury-containing wastes from oil and gas operations in Indonesia.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2002): *Global Mercury Assessment*. UNEP Chemicals Mercury Programme.
- UNEP (2008) Global atmospheric mercury assessment: sources, emissions and transport, December 2008.
- UNEP(2006) Summary of supply, trade and demand information on mercury.
- UNEP (2005) Toolkit for identification and quantification of mercury releases pilot draft, November 2005.
- UNEP (2006) Guide for reducing major uses and releases of mercury, June 2006.
- Report on current supply and demand for mercury, including projections considering the phase-out of primary mercury mining (UNEP(DTIE)/Hg/OEWG.2/6)
- United States Energy Information Administration (2010) International Energy Outlook, Chapter 2
- United States Environmental Protection Agency (2000) Office of Compliance Sector notebook project: profile of the oil and gas extraction industry. October 2000 EPA/310-%-99-006.
- United States Environmental Protection Agency, Mercury in petroleum and natural gas: estimation of emissions from production, processing and combustion. Prepared for the Office of Air Quality Planning and Standards by the National Risk Management Research Laboratory, Research Triangle Park, NC 27711, September 2001 EPA/600/R-01/066.
- United States Environmental Protection Agency (2002) Use and release of mercury in the United States, December 2002. EPA/600/R-02/104.
- United States Environmental Protection Agency (2005) National air toxics assessment inventory. <http://www.epa.gov/ttn/atw/nata2005/tables.htm>.
- United States National Science and Technology Council, Committee on the Environment and Natural Resources. (2004) “Methylmercury in the Gulf of Mexico: state of knowledge and research needs” June 2004.
- Wilhelm, S. Mark (2001). Estimate of mercury emissions to the atmosphere from petroleum. Environmental Science and Technology, Vol. 35 No. 24.
- Wilhelm, S.M., Liang, L., Cussen, D. and Kirchgessner, D. (2007) Mercury in crude oil processed in the United States. Environmental Science and Technology, American Chemicals Society, 41(13), 4509.
- Wilhem, S.M. et al (2008) Mercury in Southeast Asia produced fluids – holistic approach to managing offshore impacts. International Petroleum Technology Conference, Kuala Lumpur, 3–5 December 2008.
-