



联合国  
环境规划署

Distr.: General  
19 October 2010

Chinese  
Original: English



拟定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  
第二届会议

2011年1月24-28日，日本，千叶  
临时议程\*项目3

拟定一项具有法律约束力的全球性汞问题文书

《查明可能受到汞暴露危害的人口指南》文件执行概要

秘书处的说明

1. 在2010年6月7日至11日召开的第一届会议上，拟定一项具有法律约束力的全球性汞问题文书的政府间谈判委员会要求秘书处在第二届会议上向其提供以下资料：

(a) 有关评估和追踪汞的健康影响及确定易受影响人群的各项指标的报告，包括在试点项目背景下开发设计一个可持续的提高认识和宣传方案；

(b) 有关协调汞机体耐受量测量系统的资料，始于为委员会第二届会议而开展的试点范围，并可能在余下的谈判过程中扩展。

2. 联合国环境规划署（环境署）技术、工业和经济司化学品处与世界卫生组织（世卫组织）一起制订了一份题为《查明可能受到汞暴露危害的人口指南》的文件，提供了与上述资料请求相关的信息。文件旨在通知各国汞污染的潜在健康影响，并在必要时协助查明可能处在危险中的特定亚人群。文件描述了用来估算汞暴露的方法，包括生物监测以及使用食用鱼类和鱼类含汞量之数据的方法。它还介绍了在暴露预测中有用的各种环境模型，概括介绍了对一些特定暴露情景的汞暴露评估，包括职业暴露和其他热点暴露。

3. 本说明的附件含有指南文件的执行概要，按照环境署和世卫组织提交的原文复制，没有经过正式编辑。全文仅有英文，文件名为：UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/INF/3。

\* UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/1。

## 附件

### 《查明可能受到汞暴露危害的人口指南》： 执行概要

#### 第一章——引言

1. 联合国环境规划署（环境署）理事会在其第 22 届会议上要求环境署与其他合适的组织合作与磋商，推动和开展技术援助和能力建设活动，以支持各国针对汞污染采取行动。环境署理事会在 2005 年 2 月召开的第 23 届会议上强化了这一要求。在那次会议上，理事会还鼓励政府根据世界卫生组织（世卫组织）和联合国粮食和农业组织（粮农组织）的指南以及其他文件，促进和提高评估和风险沟通方法，这将让市民能够根据风险和益处信息做出保护健康的膳食选择。

2. 环境署理事会在 2007 年 2 月召开的第 24 届会议上，认识到为了应对汞构成的各种挑战还需要开展一系列的活动，包括替代产品和技术；技术援助和能力建设；制订国家政策和法规；数据收集、研究和信息提供，同时铭记需要向发展中国家和经济转型国家提供援助。

3. 本《查明可能受到汞暴露危害的人口指南》旨在通知那些关切汞污染之潜在健康影响的国家，并在必要时协助查明可能处在危险中的特定亚人群。文件描述了已经采用的汞暴露评估方法，包括生物监测以及使用食用鱼类和鱼类含汞量数据的方法。它还描述了在预测汞暴露中有用的各种环境模型。另外，文件还概括介绍了对一些特定暴露情景的汞暴露评估，包括职业暴露和其他“热点”暴露。

4. 该文件还可被用作开展有关汞暴露的研究或调查的参考依据。根据研究的性质，利益相关者在不同研究阶段的参与是很重要的，尤其是对当地社区而言。这包括评估和解决环境问题的过程。对于涉及生物监测的研究，与社区磋商以及考虑道德和保密问题是至关重要的。

5. 在制订本指南文件时，考虑了由粮农组织/世卫组织食品添加剂问题联合专家委员会编制的相关会议报告和专著，作为关于鱼类和其他食品中的汞和甲基汞的部分国际建议。本文件由环境署、世卫组织与粮农组织联合发布。

#### 第二章——健康风险的背景与概述

##### 风险分析范式

(a) 世卫组织/粮农组织所述的风险分析范式由三部分组成：风险评估、风险管理和风险沟通。风险评估和风险管理各包含四个步骤（图 1）。整个过程在风险管理人的指导下开展，风险管理人被授予了代表社会管理健康风险的主要责任。根据初步信息，风险管理人根据危险识别，决定是否在考虑了其他风险优先次序和可用资源的基础上开展全面风险评估。关于食品安全，风险管理人应该知道，世界贸易组织的《实施卫生与植物卫生措施协议》要求各国确保其

食品安全措施要基于人类健康风险评估，并考虑到相关国际组织（此例为粮农组织和世卫组织）制订的风险评估技术。

## 风险评估

(b) 化学品的人体健康风险评估通常是为了估算由于暴露于某些化学品（例如汞）而在个体、亚人群或人群中产生不利健康影响的可能性的研究。风险评估由四个主要步骤组成：1) 危害识别；2) 危害特征描述，包括剂量——反应评估；3) 暴露评估；以及 4) 风险特征描述。危害识别是审查相关的毒理学、生物学和化学信息，以识别在不同暴露情景下与污染物相关的不利健康影响。流行病学和动物研究是审查信息的一部分。危害特征描述通常包括一个剂量——反应评估，它明确了在动物或人类研究中观察到的暴露程度（或剂量）与观察到的不利健康影响量级之间的关系。这通常表示为对应于一系列剂量的量化不利健康影响指标。

(c) 在暴露评估中，对个体或群体通过不同途径（摄入、吸入、皮肤接触或经胎盘/子宫内暴露）暴露于一个污染物（或多个污染物）的程度、持续时间、频率和量级进行评估。暴露可通过测量各种作为生物标志物的人体组织（例如毛发、血液、尿液或指甲）中的污染物水平或运用各种数学模型并输入数据（例如设施释放信息、鱼的汞含量、膳食结构等）来进行评估。风险特征描述综合了危害识别、危害特征描述（尤其是剂量——反应）以及暴露评估，以描述给定人群的健康风险的性质和量级。一旦完成风险特征描述，其结果及其他信息随后可被用于确定优先次序、制定战略和方案，以保护那些可能受到危害的人口。

(d) 虽然文件的关注范围是鱼类中的甲基汞，但制定的原则也可应用于鱼类中的其他污染物（例如二噁英和多氯联苯[PCB]）。为了对受其他污染物污染鱼类进行全面风险评估，需要从其他资料和来源获得评估这些污染物的指南和信息。

## 环境中的汞

(e) 汞（化学符号：**Hg**）是一种存在于大气、水和土壤中的天然元素。它通过自然过程和人为过程分布在整个环境中。汞被发现有多种无机和有机形式，持久地存在于环境之中。汞的三种主要形式包括：a) 元素汞（化学符号：**Hg<sup>0</sup>**）；b) 离子汞（也称之为无机汞，化学符号为 **Hg (II)** 或 **Hg<sup>2+</sup>**），在自然界中以 **Hg (II)** 汞化合物或溶液中的复合物形式存在；c) 有机汞，其中最重要的是甲基汞（化学符号：**MeHg**）。

(f) 虽然汞存在潜在风险，但由于其独一无二的特性，它仍继续在全球被用于各种产品和工艺之中。例如：汞是唯一在室温下以液态存在的金属。元素汞用在个体和小规模采金和采银业；氯碱生产；氯乙烯单体的生产和产品中（例如：用于压力测量与控制的压力计、温度计、电气开关、荧光灯泡以及牙科汞合金填充物）。汞化合物用在一些电池、药品、油漆中，并用作实验室试剂和工业催化剂。汞能够在生产和使用过程中、或含汞产品或废弃物处置后释放到空气、水和土壤中。汞也会在自然过程中被释放（例如火山喷发或从某些土壤中浸出）。

(g) 环境署 2006 年《关于汞供应、贸易和需求信息的报告》显示，汞的需求和使用在小规模采金业中最高，其次是氯乙烯单体生产、氯碱生产以及用在电池、牙科汞合金、测量和控制装置、照明、电气和电子装置等产品中。

(h) 正如在环境署 2002 年《全球汞评估》中所描述的一样，使原料（例如燃料和胚料）中的汞杂质发生移动的各种工业源也会释放汞到环境中去。此类源头包括燃煤发电厂、有色金属冶炼厂和水泥生产厂，这些都位列汞排放最高的地方。这些排放造成了环境污染和人类暴露。任何设施导致的排放程度和暴露水平取决于多种因素，包括燃料或原料中的汞含量、控制装置带来的排放、烟囱高度、运行规模以及其他因素。

### 暴露途径

(i) 汞是一种生物累积和通过食物网生物放大的、有毒的、持久性污染物。人们主要通过饮食，尤其是食用淡水鱼、海鱼以及其他以鱼为食的动物（例如海洋哺乳动物）而暴露于甲基汞的。人们可能在职业活动中通过吸入环境空气或因牙科汞合金而暴露于元素汞和无机汞。在生产或工艺中使用汞或汞化合物、或将汞或汞化合物加入到产品中的地方会发生职业暴露。已经有来自氯碱厂、汞矿、基于汞的小型采金和采银业、精炼厂、温度计和血压计厂、汞处理方法不当的牙科诊所以及汞基化学品生产的职业暴露报告。由于使用某些皮肤美白霜和香皂、一些传统药物中含汞、在文化实践中使用汞、以及家里、学校或其他场合各种意外的汞溢出，也会发生元素汞或无机汞暴露。使用硫柳汞（乙基汞硫代水杨酸钠）作为一些疫苗和其他药品的防腐剂可能会导致对其他形式的有机汞的微量暴露。

### 健康影响

6. 所有人都暴露于某种低汞水平。决定不利健康影响之发生和严重程度因素包括：汞的化学形式；剂量；被暴露人的年龄或发育阶段（胎儿被认为最容易受到伤害）；暴露持续时间；以及暴露途径（吸入、摄入和皮肤接触）。当鱼或海鲜被汞污染时，膳食结构会加大食鱼人群的暴露。

7. 汞和汞化合物毒性的主要目标是神经系统、肾脏和心血管系统。人们普遍认为正在发育的器官系统（例如胎儿神经系统）对汞的毒效最为敏感。胎儿大脑的汞含量显得明显高于母体血液中的含量，胎儿正在发育的中枢神经系统目前被认为是让人担忧的主要系统，因为它显得最为敏感。其他可能受到影响的系统包括呼吸系统、肠胃系统、血液系统、免疫系统和生殖系统。

8. 对神经系统（尤其是正在发育的神经系统）的影响似乎是元素汞和甲基汞暴露后观察到的、最敏感的毒理学终点，而对肾脏的损害则是无机汞化合物暴露的关键终点。

## 易感人群

9. 一般有两组易感亚人群，即对汞的影响更为敏感的人群和暴露在更高汞含量下的人群。由于正在发育的神经系统的敏感性，胎儿、新生儿和儿童尤其易受汞暴露的伤害。除了子宫内的暴露外，新生儿也会因为被污染的母乳而受到进一步的暴露。因此，新妈妈、孕妇以及可能怀孕的女性应特别注意甲基汞的潜在危险。患有肝病、肾病、神经系统疾病和肺病的个体遭受汞的毒性影响的风险也更大。

10. 另一个遭受汞的毒性风险更大的亚人群就是那些因食用鱼和海鲜而暴露于更高甲基汞水平的人群（例如：休闲钓鱼人、维持生计的渔夫以及经常食用大量鱼和海鲜的人）。除了鱼和贝类外，食用海洋哺乳动物（例如海豹和鲸鱼肉（肌肉和器官）的人，其暴露水平也很高。

11. 用牙科汞合金补牙的个体要比那些没有用牙科汞合金补牙的个体更多地暴露于元素汞。其他暴露水平可能高于平均水平的人群为具有较高职业暴露水平的工人、使用各种含汞消费品（例如一些皮肤美白霜和香皂）、含汞的传统民族药品、或将汞用于文化和宗教目的的个体。

## 参考值

12. 根据风险评估和其他考虑，几个国家和国际组织已经制定了甲基汞或汞日摄入或周摄入的参考值，根据现有数据和研究估计该参考值是安全的（或对健康没有可察觉的风险）。甲基汞暴露的参考摄入水平为每周每千克体重 0.7 至 2 微克甲基汞（微克/千克体重）。为避免汞金属吸入和无机汞化合物的摄入暴露，其参考值也已经制定。

13. 粮农组织/世卫组织食品添加剂问题联合专家委员会（也评估了食品供应中的化学污染物）已经确定了暂行的容许周摄入量（PTWI）为汞总含量每千克体重 5 微克，甲基汞为每千克体重 1.6 微克。暂行的容许周摄入量是人一生中每周都可食用而不会对健康造成可察觉风险的物质质量，用作食品污染物（例如具有累积特性的重金属）的终点。它的值代表了对于食用其他有益健康的营养食品不可避免会带来的那些污染物的、允许的人体每周暴露量，以保护人群中最易受到伤害的那部分人群。关于甲基汞，正在发育的胎儿被认为是最敏感的亚人群，而神经发育是最敏感的结果。

14. 美国环保署已经制订了每天每千克体重 0.3 微克氯化汞和每天每千克体重 0.1 微克甲基汞的参考剂量（RfD）、以及每立方米 0.3 微克元素汞的参考浓度（RfC）。参考剂量（或参考浓度）是人类（包括敏感亚人群）可能终身都没有非致癌性有害影响的、可察觉风险的、每日暴露量估计值（不确定性跨度可能是一个数量级）。它不是风险的直接估计量，而是一个衡量潜在影响的参考点。随着暴露量越是高于参考剂量（或参考浓度），不利健康影响的可能性也就越大。

15. 由于食用鱼类是大部分人群暴露于甲基汞的主要途径，许多政府都对在市场上销售的鱼类中的汞和/或甲基汞的最大允许含量提出了建议或法律限制。例如：食品标准法典委员会指南给出的值是非食肉鱼 0.5 毫克甲基汞/千克，食肉鱼 1 毫克甲基汞/千克。美国食品和药物管理局设定的长须鲸和贝类干预水平

为 1 毫克甲基汞/千克。欧洲共同体允许每千克鱼类产品中有 0.5 毫克汞（有一些例外），日本允许每千克鱼中最多可含 0.4 毫克汞（或 0.3 毫克甲基汞）。

16. 有些政府和其他组织也在考虑了食用鱼类的益处和风险的基础上，就食用一定种类和数量的鱼类提出了膳食建议，以帮助限制暴露量。通常这些建议提供了对各种人群（如孕妇或垂钓者）而言或安全、或可能有害的食用鱼类的数量、种类和频率指南。

### 风险特征描述

17. 风险特征描述是风险评估过程的最后一步。它整合了危险识别、剂量—反应和暴露评估的信息，合成了有关潜在风险的整体描述。风险特征描述旨在将风险评估的结果告知风险管理人和其他受众。它也介绍了危害特性描述和暴露评估的变化性、不确定性和局限性。风险特征描述提供了风险评估的概要，它可用来和其他合适的信息一起在风险管理人考虑风险管理方案时为其提供信息。关于鱼类中的甲基汞，其风险特征的应用将在为风险管理人提供指南的第七章中进一步讨论。

### 第三章：通过生物监测评估暴露

18. 估算汞暴露的方法包括测量毛发、血液和尿液中的汞含量，这被视为“生物监测”的形式。在这些组织中测得的汞含量可是各种类型的汞暴露的极好指标，但该测量值的有效性、有用性和含义取决于汞暴露的形式、组织测量的类型以及其他因素。

19. 本章介绍了各种协议的考虑因素，包括取样方法、问卷、健康评估以及组织测量（附录 A、B、C、D、E、F）。研究必须要经过周密的设计，以提供科学有效的结果。选择一个代表性样本是很重要的，良好的历史（例如医疗、职业、家庭、膳食信息）和健康评估（例如神经学测试）是汞暴露人群研究的重要组成部分。所有的汞暴露源都应当在可行的范围内加以明确。各种道德问题也需要考虑在内。

#### 选择研究人群

20. 为了选择代表性样本，了解社区的社会经济和人口状况是很重要的。获得社区的统计学代表性样本通常是首选的方法。一个要考虑的重要决策就是包含在研究中的个体数量和类型。所选样本的大小可能由多种因素决定，包括成本、统计功效、人员、研究设施以及其他因素。取样过程可以是随机取样、判断取样或可能基于其他方法。

#### 生物标志物

21. 通过测量各种人体组织（例如毛发、血液、尿液或指甲）中的污染物水平可对暴露进行估计。这些污染物和/或其代谢物（也称为生物标志物）的测量可用作人类暴露评估的工具以及监测个体和群体中汞暴露的监视工具。几个汞暴露生物标志物与不利健康影响之间已经有了明确的关系。

22. 在评估暴露的某个生物标志物的适宜性时，重要的是考虑以下几个因素：（1）该生物标志物与各种形式的汞的剂量（或外部暴露）相关性如何；

(2) 该生物标志物与目标组织中的汞浓度相关性如何；(3) 该生物标志物随时间的变化性与目标组织中有效剂量随时间变化之间的相关性如何；(4) 鉴于已知人群的文化特性，哪类生物标志物最适合；(5) 哪类技术可用于样本收集和汞测量；以及(6) 样本收集中程序的侵袭性。以下生物介质可用作人体中汞暴露的生物标志物：毛发、血液、脐带血和脐带组织、尿液、指甲与母乳。

23. 因为金属可能存在不同的有机和无机形式，所以分析生物样本中的汞是复杂的。因此，通常在分析前把样本中所有形式的汞都还原成它们的元素状态。样本必须采用洁净、适当的设备和技术来采集，以避免污染和样本损失。本章介绍了一些适用于各种生物组织的具体技术。

24. 有一些分析方法可用来确定汞浓度，具体分析方法的选用由多种因素决定（例如：各国的分析法规和指南、检测限、实验室技术、分析设备的可得性、需要的精度以及汞形态的形成是否理想）。无论将要采用什么分析方法，重要的是认真控制/确保所获得数据的质量，包括同时确定合适的经过认证的参考物质。

25. 血液中出现汞表示最近或目前正暴露于汞。人体血液中的汞含量与食用被甲基汞污染鱼类之间存在直接的关系。如果搜寻的是最近的暴露信息，那么脐带血和脐带组织也可被认为是值得收集的生物标志物样本。汞出现在尿液中一般表示无机汞和/或元素汞暴露，收集是非侵入性的。尿液汞含量通常被认为是最近暴露于无机汞或元素汞蒸汽下的最佳测量值，因为尿液中的汞含量被认为最接近于肾脏中的汞含量。环境研究已经使用母乳来评估各种化学品的母体暴露，审查了对母乳喂养婴儿的潜在暴露。

26. 虽然毛发和血液都能用来记录甲基汞暴露，但通常首选毛发，因为毛发是一种简单的、综合的、非侵入性的样本。一旦汞融入到毛发中，就不会再回到血液中，因此它是一个良好的甲基汞暴露长期标记物。毛发中的大部分汞是以甲基汞的形式存在的，尤其是在食用鱼类的人群中。毛发在形成过程中吸收了甲基汞，显示了与血液中汞含量的相对直接关系，提供了一种准确而可靠的甲基汞摄入量测量方法。

27. 一旦测量了一个身体部位（例如血液、毛发或尿液）中的汞含量，大约的平均日剂量（或暴露量）就能使用多种外推因子或转换因子计算得出了。但在进行这样的转换时，应铭记使用这些外推因子的局限性、不确定性和人口变化性。尽管如此，毛发和血液中的汞含量与汞（尤其是甲基汞）的日平均剂量（或摄入量）之间的定量关系还是可以相当好的看出来。例如：一个孕妇日平均甲基汞摄入量为每天每千克体重 0.1 微克（0.1 微克/千克/天），估计会导致毛发汞浓度约为 1 微克/克，脐带血汞浓度约为 5 到 6 微克/升，血液中的汞浓度约为 4 到 5 微克/升。该关系通常是线性的，或直接成比例的。

### 生物监测研究示例

28. 已经对大量人口的汞暴露通过测量血液、毛发和尿液中的汞进行了监测。这些暴露水平中的一些已经与人体健康影响相联系，用于评估每日容许摄入量。一些最有名的生物监测研究针对的是亚马孙河沿岸社区、法罗群岛以及塞舌尔群岛的人口。在多个北极国家开展的一些其他研究测量了人类组织的汞

含量。环境媒介（例如沉积物、大气、水和鱼）中的汞含量也在多个研究进行了测量。

29. 下表提供了在不同国家各个人群中开展的、显示汞和甲基汞暴露生物标志物的多个研究的信息。

**表：汞与甲基汞暴露的生物标志物研究\***

国家	基质	人口	鱼的摄入提高了？	总汞浓度	参考文献
巴西	毛发	7-12 岁的土著儿童	是	14.45 微克/克	Oliviera Santos 等人 (2002)
		14-44 岁的土著女性	是	15.7 微克/克	
加拿大	毛发	土著人	是	4.4 微克/克	Muckle 等人 (2001)
中国	毛发	代表	否	0.42 微克/克	Feng 等人 (1998)
德国	尿液	代表	否	0.4-2.0 毫克/升	Becker 等人 (2003)
日本	毛发	代表	是	1.76-3.37 微克/克	Yasutake 等人 (2003)
西班牙	毛发,	儿童	否	0.8 微克/克	Batista 等人 (1996)
西班牙	血液	代表	是	11-22 毫微克/克	Sanzo 等人 (2001)
瑞典	毛发和血液	孕妇	是	0.35 微克/克 (毛发) 1.3 微克/升 (脐带血)	Bjornberg 等人 (2003)
英国	毛发	孕妇	否	0.19 微克/克	Lindlow 等人 (2003)
美国	毛发	代表	否	0.3 微克/克	Pelizzari 等人 (1999)
美国	血液	16-49 岁的女性	否	1.2 微克/升	Schober 等人 (2003)
美国	毛发	15-45 岁的女性	否	0.4 微克/克	Smith 等人 (1997)
美国	毛发	土著人	是	0.83 微克/克	Gerstenberger 等人 (1997)
美国	血液	高端食鱼者代表	是	14.5 微克/升	Hightower 与 Moore (2003)
美国	毛发	儿童 (1-5 岁)	否	0.12 微克/克	McDowell 等人 (2004)
		女性 (16-49 岁)		0.20 微克/克	

\* 来自世卫组织, 2004

30. 本文件附录 C 给出了几个生物样本的收集和处理协议, 同时提供了作为示例的样本文件格式。

## 第四章：鱼类中的甲基汞暴露评估

31. 风险分析过程包括三个各不相同但又相互关联的部分，即风险评估、风险管理和风险沟通。对于甲基汞，所有这三个部分对于保护消费者及确保消费者食用鱼类的益处来说都很重要。汞的危险特征描述包括参考值的确定，它规定了可能无害的暴露量。

32. 在本章中考虑了暴露评估，因为这可能是一个国家食品安全部门最重要的工作。虽然参考值被认为是“普遍适用的”，因为它们一般适用于所有人群，但根据人群的消费方式以及所食用食品中某个化学物的含量不同，人群暴露可能会有很大的不同。

### 一般方法

33. 估算鱼体中的甲基汞暴露可被风险管理人用作评估易感人群的甲基汞风险、具有成本效益的一个工具，但是在考虑风险管理方案时，还需要记住食用鱼类的更广泛的健康益处及社会、文化和经济考虑。

34. 汞是一种无所不在的污染物，即使没有地方/地区污染点源。正如第二章所描述的那样，普通大众主要是通过饮食、尤其是食用鱼类而暴露于甲基汞。鱼和海洋哺乳动物（例如海豹和一些鲸鱼）体内的汞含量通常要比其他食物或饮用水高得多。在食肉海洋鱼类中，大约百分之九十的汞以甲基形式（甲基汞）存在，但该比例在淡水鱼中要小一些。

35. 然而，所有食用鱼类的人都暴露于某些甲基汞。海洋鱼类、淡水鱼类以及海洋哺乳动物的肌肉组织中都有甲基汞积聚。而且，甲基汞会通过食物网生物放大，这就意味着以食物链顶端生物为食的顶端食肉物种倾向于有更高的甲基汞含量。同样，越大（越老）的个体倾向于有更高的含量。鱼体中的甲基汞与组织蛋白结合在一起，而非沉积在脂肪中；因此，对汞污染的鱼进行修剪或去皮，不会减少鱼肉部分的汞含量。此外，鱼体中的甲基汞含量也不会通过烹饪而降低。

36. 由于鱼体中的汞大部分是甲基汞（至少对于食肉海洋鱼类如此），而且在所消化的鱼肉中大部分甲基汞（大于 95%）易于通过消化道为人体所吸收，所以如果有以下信息，那么甲基汞的暴露（或摄入）情况是能够估算出来的：  
a) 单位时间（例如天或周）内摄入的鱼的种类（即物种）和数量（例如频率和食用份量）； b) 所摄入鱼类的总汞浓度； c) 食用鱼的人的体重。

37. 运用以上信息，个体或群体的甲基汞摄入量能够通过以下基本公式计算得出：

$$\frac{\text{每周摄取鱼量 (千克/周)} * \text{摄取鱼的汞浓度 (微克/千克)}}{\text{千克体重}} = \text{每周每千克体重的甲基汞摄入量 (微克甲基汞/每周每千克体重)}$$

## 筛选法

38. 为了最好地利用资源，风险管理人可能会采用分层次的暴露评估方法。分层法让组织将更具体的评估限定在可能有更高暴露或可能对更低暴露水平更敏感的关键亚人群，（例如孕妇和儿童）。

39. 简单筛选法用作初步暴露估算。这些方法有时会得出远高于实际暴露的估算值，取决于所用的输入数据以及评估中采用的假设。因此，如果估算的化学物质摄入量低于其参考值，一般不需要更精细的评估。但是，如果筛选评估结果超出参考值，则可能有必要做进一步调查。

40. 筛选评估也可以在最初用来估算一般大众的暴露情况，帮助确定最有可能暴露于高水平甲基汞的特定亚人群。本章介绍了一种通过精化估算鱼类和海产品食用量和/或精化估算甲基汞浓度进一步精化暴露评估的过程。

## 消费估计值的精化

41. 对特定人群或亚人群暴露估算的精化遵循与筛选级暴露评估一样的通用原则，但更为复杂，需要更多的数据。在这些情况下，就要收集和评估关于单独鱼类消费模式在人群、尤其是易感人群中更详细的分布信息。然后把消费数据与常食用的鱼类中的汞浓度数据相结合，以估算相关亚人群的暴露值。这可以通过国家膳食调查最好地完成，但采购数据和鱼市销售数据也能有所帮助。

## 浓度估计值的精化

42. 在大部分国家，人类甲基汞暴露的主要来源是通过食用鱼类。但不同鱼种的甲基汞含量各不相同。例如：以鱼为食的鱼（即吃其他鱼的鱼），也叫食肉鱼，更有可能在其肌肉和其他组织中含有更高水平的甲基汞。影响鱼类汞含量的其他因素包括：鱼的年龄、大小、重量与长度。另外，水体的环境特性（例如局部污染、pH 值、还原——氧化潜能以及其他因素）可影响鱼类的汞含量。相关人群或亚人群所食用的鱼中甲基汞含量的特征描述可从相关国家或地区的现有数据库中获得。不同数据组集合的代表数据也可用于汞暴露的初步估算。

## 亚人群暴露估算

43. 对于可能处于风险中的目标亚人群，其汞暴露的估算可能需要收集新的数据（例如亚人群所食用的鱼的品种，包括来自于市场上的鱼，以及这些鱼甲基汞含量的确定）。在一个微型评估或特定现场评估中，把被调查人群鱼类消费率与实际消费的当地鱼中的汞浓度具体测量值相结合，来估算该人群的暴露水平。根据所收集数据的类型，有时可针对被调查人群中的个体和/或亚人群估算汞暴露。

## 第五章：环境暴露模型

44. 汞在环境中的分配和运动是复杂的，由许多环境参数决定。但计算机模型可用来预测排放的汞的环境归趋和迁移，估算其在各种媒介和生物群中的量，以及可能的人类暴露。

45. 本章的目的不是要给出一个全面的模型列表，而是要介绍一些可用的相关模型和一些具有适当参考意义的模型研究。有几个组织正在建立暴露模型（例如美国环保署暴露评估建模中心）。本文举例介绍了由欧盟的欧洲氯碱厂汞排放项目开展的一个氯碱厂周围居民暴露估算的研究。但是，要建立人类汞暴露估算的精确模型，仍有很长的路要走。

46. 运用模型估算暴露情况是人类健康潜在风险评估的一个有用的方法。但是，建模依赖于一系列不确定性程度各异的假设，在开展这些类型的暴露评估时牢记这一点是很重要的。

## **第六章：特定暴露情景评估**

47. 汞“热点”在此处的定义是随着人类（人为）的活动、由于环境中汞的排放增加或汞的甲基化提高而可能发生更高环境污染风险的地区或地点。最常见的人为汞排放源包括工业活动（例如个体和小型采金业、能源生产、氯碱厂）以及废弃物场所（家用和工业）。汞的溢出可导致局部污染。环境的改变（例如砍伐树木或建造水库）也许会改变生态系统，从而导致环境中的汞的甲基化提高。

48. 汞“热点”导致的其他暴露一般可通过考虑对汞和汞化合物的直接暴露（通过吸入、摄入或皮肤接触）以及通过食物对汞（尤其是甲基汞）的间接暴露（采用第四章先前讨论过的方法）来评估。

### **职业暴露评估**

49. 对于在工作场所的可能的汞暴露源应开展筛选评估。筛选评估可包含工作场所调查、工作场所汞含量监测以及健康评估，而且，在许多情况下，它还适合与当地社区一起做。工作场所评估可以基于描述，也可以包括监测。健康评估可以确定是否出现汞中毒的迹象，如果有必要，可以延伸至工人的家人和社区。对实际暴露的监测可利用之前介绍的生物监测工具来完成。尽管工人是评估的主要重点，但应记住：被汞污染的衣物和其他物品也可能导致家庭环境污染。评估完成后，若要求降低汞的职业暴露，应制定一份管理计划。

### **汞“热点”评估**

50. 有一种采金工艺涉及湿矿石与金属汞的混合。汞与泥浆中的金或银发生化学结合。然后把剩余的泥浆冲洗掉，留下汞——金（或汞——银）合金，接着通过加热释放出汞，留下大部分金和/或银。个体开采黄金是许多国家的主要收入来源，汞合是其首选的提取方法。但是，如果不采取合适的控制技术，这个过程会导致矿工及其家人的高度汞暴露，同时造成严重的环境污染。

51. 汞直接用于许多产品的制造中，也可能会在许多过程中间接释放。一些重要的汞排放源包括燃煤发电厂、水泥生产、其他以汞为副产品的采矿活动、氯碱生产以及许多产品的制造。在这些源头中，有些可能会导致工人的直接暴露，也可能导致紧邻排放源的周围区域汞含量升高，从而导致该区域人口的更高暴露。

52. 工业过程或家用都能生成含汞废弃物。这些废弃物丢弃不当会导致局部区域污染，造成一个“汞废弃物场址”。由于汞释放到土壤、空气和水中，生活在这些汞废弃物场址附近的人会暴露在更高的汞含量下。随着节能荧光灯泡的使用增多，这些灯泡的处置成为潜在的严重汞污染源。虽然每个灯泡所用的汞量很小，但今后几百万只灯泡处置的累积影响需要国家和政府来解决。

53. 另一个环境污染源是采矿废弃物，尤其是除了用汞，还用了氰化物来提取黄金的历史性尾矿废弃物。来自废弃物场址的释放可污染当地鱼种，从而导致当地社区的暴露水平上升。

### 其他暴露情景

54. 汞在传统上曾被用于特定的宗教仪式，导致周围环境中的高汞含量。另外，在世界许多地方流行的皮肤美白霜含汞，一些民间药物也含汞，有些可能还包括直接服用汞。

55. 砍伐树木通常会导致侵蚀加剧。土壤在水道中的沉积会造成汞在这些水域的释放与甲基化，从而导致鱼类中的高汞含量。在通过燃烧清除树林的地方，更多的汞会被释放到环境中。因此，住在树木砍伐区下游的人群可能存在食用含汞高的鱼的风险。

56. 用含汞的牙科汞合金补牙已有 100 多年的历史了。通过吸入和摄入，患者的低水平汞暴露会升高。牙医和牙科工作人员也会暴露于汞。牙科汞合金中的汞会通过牙科诊所的废弃物以及火葬场的空气排放而进入环境中。

57. 硫柳汞在多剂量液体疫苗的保存中用作防腐剂。在人体内，硫柳汞转换为乙基汞，它在化学上与甲基汞不同。尤其是，乙基汞可很快排除，半衰期不到一周。

58. 水库在初次蓄水后汞含量会相当高，这可能会导致当地鱼群极高的汞含量。这种高含量在初次蓄水后长达 40 年的时间内都可以观察得到。

## 第七章：鱼中甲基汞的风险管理

### 风险管理人的决策树

59. 本章旨在讨论因食用鱼类而引起的甲基汞潜在风险。甲基汞的其他饮食来源未涉及，但一般认为与鱼类相比微不足道。同时还应注意的是：无机汞也是一种食品污染物，但由于与甲基汞相比毒性较低，因此无机汞暴露被认为不太重要。因此，食物中的无机汞也没有进行讨论。决策树中的有些步骤使用了第三章和第四章中介绍的技术和方法。此处介绍的七个步骤是决策树框架的组成部分，能够引导风险管理人以统一而符合成本效益的方式确定因食用鱼而存在甲基汞风险的人口。该方法采用越来越详细的暴露评估，来更好地描述风险特征。因此，本文件第七章旨在指导风险管理人更好地理解鱼中甲基汞构成的风险、制订适宜的干预策略，以便使食用鱼的益处实现最大化的同时将风险降至最低。

60. **步骤 1**——在管理由鱼中甲基汞构成的潜在风险时，第一步就是要评估鱼类作为当地人群的蛋白质和其他养分来源的重要性。因为鱼是人类暴露于甲基

汞的主要途径，所以可从许多来源获得该人群食用鱼类的信息。这个初始阶段可包括一个初步调查，以确定人口中的不同亚人群食用鱼类的频率和鱼的种类。注意：如果食用了海洋哺乳动物，它们对于汞暴露的贡献也应包含在评估中。

61. **步骤 2**——在实施全面暴露评估前，可先用人的毛发进行生物监测调查，以确定甲基汞暴露水平。对于每周食用一次或多次高汞含量鱼类的幼儿和育龄女性、以及经常食用鱼类的人来说，这将是重要的。通过分析混合毛发样本中的总汞浓度能够对暴露进行评估。使用毛发是确定食用鱼类人群甲基汞暴露的一个无侵袭性、相对便宜又足够精确的程序。

62. **步骤 3**——如果混合毛发样本中的平均汞浓度比参考值低得多，则不需要进一步的措施。但是，如果任何一组混合样本的平均汞浓度超出了所谓的危险浓度，或者安全边际较窄时，可以分析每个个体的毛发样本。对个体结果的评估将确定存在甲基汞风险的人群，而且如果大部分个体的水平证明有必要，可按以下方式获得有关暴露的更多详细情况。

63. **步骤 4**——如果生物监测结果高，可针对每一个处于潜在风险的组别中的个体估算因食用鱼而引起的总汞暴露，将膳食习惯和食用鱼总汞含量考虑在内。这可以采用分层法进行，对食品消费和浓度估算逐渐精化。鱼类消费的品种、数量和频率可通过对个体的饮食消费调查获得，再用其他信息加以补充。同时还要确定消费者的体重。通常所食用鱼类的平均总汞含量可根据混合样本确定，或可从其他国家的已有数据中获得。

64. **步骤 5**——根据以上数据，可计算出每千克体重每周的总汞暴露估计值，然后可与甲基汞暂行的容许周摄入量进行比较。若暴露量低于参考值，则不需要针对鱼类采取进一步措施，但可能有必要调查汞暴露的其他来源。若计算的总汞暴露量超出了甲基汞参考值，可考虑专门分析混合鱼样本中的甲基汞。

65. **步骤 6**——可专门分析混合鱼样本中的甲基汞，以精化暴露评估。首先应当考虑的是经常食用的鱼种类。对于淡水非食肉鱼，甲基汞与总汞的比率可低至 0.3。但是，对于海洋食肉鱼而言，这个步骤可以省略，因为甲基汞与总汞的比率通常约为 0.9。

66. **步骤 7**——一旦确定了鱼中甲基汞含量，可以用食用鱼的数据乘以鱼的平均甲基汞含量，精确计算因鱼而导致的甲基汞暴露。然后可将摄入值表示为每周摄入量，与甲基汞暂行的容许周摄入量进行比较。如果超出了暂行的容许周摄入量，可按以下方法考虑风险管理干预：

### 方案选择

67. 一般而言，有两种策略可减少公众对于鱼中甲基汞的暴露。一种是利用公众教育来影响处于风险中的人群对鱼类的食用，另一种是使用监管措施降低鱼类的甲基汞水平。通过控制排放来减少环境中的汞也能长期降低甲基汞暴露。

68. 以指导食用鱼类为目的的公众教育策略对于甲基汞暴露的风险管理很重要。这些策略的最终目的是改变消费模式，这样风险人群就能继续吃鱼并享受

鱼的健康益处，同时降低他们的甲基汞暴露。这些策略有赖于有效的风险沟通，将在下面做更详细的介绍。

69. 另一个降低因鱼类引起的潜在甲基汞暴露的风险管理策略包括设置最大可接受浓度极限。粮农组织/世界卫生组织食品标准法典委员会已经设定了甲基汞指导值：大型食肉鱼（例如鲨鱼、剑鱼、金枪鱼和梭子鱼）为 1 毫克/千克；非食肉鱼为 0.5 毫克/千克。对于鱼类中的甲基汞，监管方法在成本和有效性方面有其局限性，靠监管本身也许不能充分减少暴露。

## 风险沟通

70. 成功的风险沟通是有效风险管理的一个先决条件。这既适用于公众教育策略，也适用于监管策略。对于公众教育，风险沟通的根本目的是以明确而容易理解的方式向特定受众提供有关鱼类消费的风险和益处以及汞暴露其他途径的、有意义的准确信息。

71. 在风险沟通计划的早期，一旦确定鱼类中的甲基汞是一个问题，风险沟通者就需要确定其要实现的目标。必须明确识别处于风险中的人群或目标受众。根据具体需求与风险，一个社区可划分成几个部分，不同的部分会收到不同的信息。例如：考虑到对胎儿的神经病学风险，育龄女性、孕妇和哺乳妇女可与其他亚人群分开考虑。

72. 风险管理措施的可接受性与公众对风险的感知密切相关。因此，对于风险沟通者来说，至关重要的是确保风险沟通过程要披露关于一般大众对于与食用鱼相关的汞暴露风险的一般认识有关的信息。经验表明，要达到最佳效果，风险沟通的策略应当根据利益相关者的具体特征和关注点量身定制，为了合适的受众，并考虑文化、社会和经济因素。

73. 关于食用鱼类的风险和益处的沟通应当包括双向对话。风险沟通者必须向外部的利益相关者就甲基汞的风险和管理措施提供明确而及时的信息。如果合适的话，其他污染物（例如 PCB 和二噁英）也应在可行的范围内、在风险评估、风险管理和风险沟通过程中提及。同时还必须提供关于食用鱼类之益处的信息，以及替代食品信息，尤其是以鱼为主要食品的地区。该信息应当以利益相关者容易理解的方式、通过他们能够轻易接触到的媒体进行沟通。

## 监测与评审

74. 一旦实施了风险管理方案，为了确定其是否实现了目标，需要对其进行评估。对于公众教育来说，评估指标是目标受众代表对于关键信息的响应程度。这个评审可以确定能够实施的最终调整或改进。风险沟通者需要确定具体的评估策略，以衡量活动的效果。