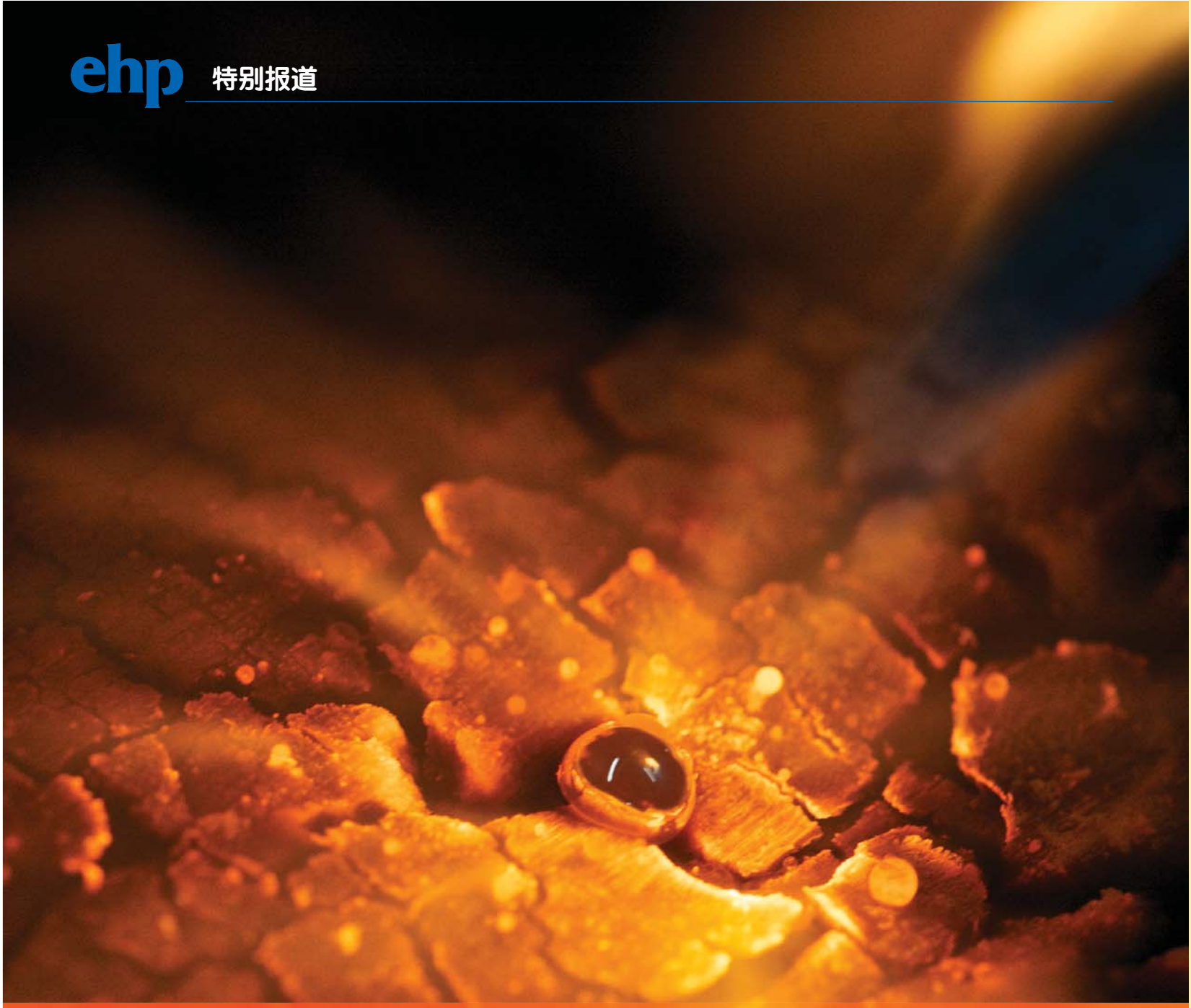


水银与黄金

手工与小型金矿开采中的汞污染

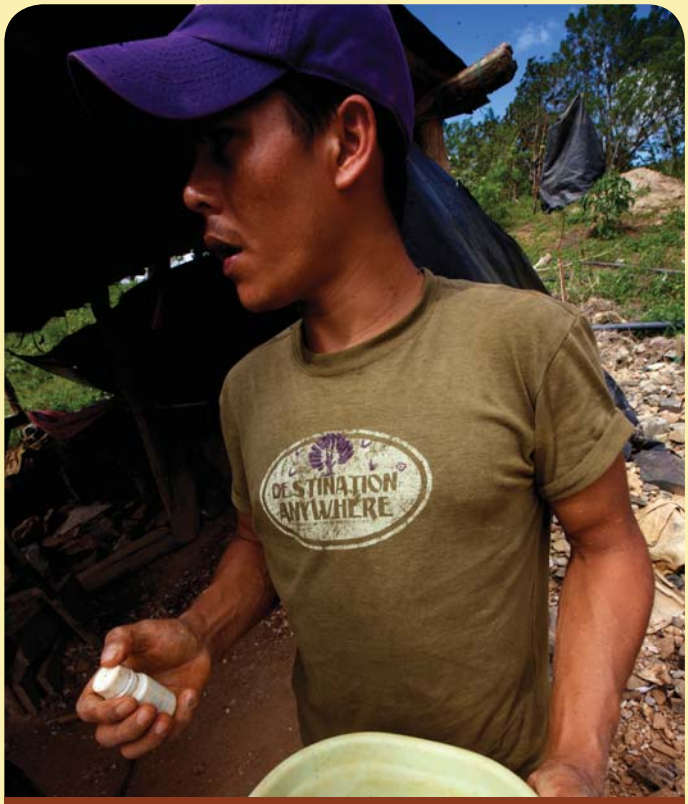
采矿工程师Marcello Veiga于2009年开始在哥伦比亚西北部的安蒂奥基亚省（Antioquia Department）研究空气中的汞污染。在这个冲突频发的山地国家，左派游击队经常与哥伦比亚安全部队发生枪战，这里同时也是手工及小规模金矿开采（artisanal and small-scale gold mining，ASGM）的一个重要枢纽。矿工们把地下或河床中挖出的矿石与汞混合形成汞合金，将黄金提取出来。当汞合金受热时，其中的汞元素蒸发成为一种有毒的烟雾，剩下的则是黄金。

Veiga也是加拿大英属哥伦比亚大学（University of British Columbia）的副教授，他对一种专业作坊——专门加热汞合金并收取一定费用——内部以及周围的空气质量特别感兴趣。由于在野外容易受到抢劫，所以当地矿工会把矿石带到这些专业作坊内进行最终加工。在安蒂奥基亚省的5个城市——塞哥维亚（Segovia）、雷梅迪奥斯（Remedios）、萨拉戈萨（Zaragoza）、埃尔巴格莱（El Bagre）、内奇（Nechi）——共有300多个专业作坊，每一家作坊都是一个无机汞蒸气的排放源，污染着该地区及周围的空气。

安蒂奥基亚省的专业作坊每年可以生产10～20吨纯黄金，所以Veiga已经预料到其空气中的汞浓度会比较高，但是当他看到手提测汞仪的读数有时会飙升到999 $\mu g/m^3$（测量上限）以上时，还是非常吃惊。这几乎是世界卫生组织（WHO）空气质量参考浓度（无机汞蒸气长期暴露参考浓度为1 $\mu g/m^3$）的1000倍，是美国环保署无机汞慢性吸入暴露参考浓度（0.3 $\mu g/m^3$）的3000倍。

专业作坊内的污染最为严重，即使是在休息日期间。但是Veiga在雷梅迪奥斯市的城市广场、当地街区、一家面包店、一所小学的门前监测到的无机汞含量，也高出世界卫生组织空气质量标准的很多倍，监测仪读数介于5～10 $\mu g/m^3$之间。在40个国家从事黄金开采研究长达30年的Veiga说道："这些是我见过最高的汞含量。"

人们使用混合汞法处理贵重金属已经长达几百年。据联合国环境规划署（UNEP）资料显示，手工及小规模金矿开采是当今世界第二大空气中汞污染源，仅次于煤炭燃烧。Veiga指出现在黄金价格已经超过每盎司1600美元（20世纪80年代时还不到500美元），手工及小规模金矿开采业正在崛起，随之而来的则是汞污染问题。



几个世纪以来，矿工们一直使用汞来提取贵重金属颗粒。个体和小规模金矿开采业在2011年使用了大约1400吨汞。这些汞大约有三分之一进入空气中，其余的则进入土壤和水道。

全球性现象

手工及小规模金矿开采的汞用量——2011年估计达1400吨——超过了汞的任何其他用途。手工及小规模金矿开采业平均每年排放大约1000吨无机汞，其中大约三分之一排入空气中，其余的则堆积在采矿废渣（"尾矿"）中，或进入土壤或水道中。一些无机汞进入水生生态系统后，会被微生物转化成有机的甲基汞，并在鱼类体内累积。

无机汞和有机汞均可以引起神经方面的问题。而人们普遍认为甲基汞毒性更大，尤其是对儿童，因为其更容易进入大脑。汞暴露可以引起儿童智商受损、语言发育迟缓以及其他神经发育缺陷。波士顿大学公共卫生学院分管科研的副院长、环境健康系系主任Roberta F. White认为，幼年时期的汞暴露危害最大，因为会损伤整个大脑；而成年后的汞暴露产生的损害则一般局限于小脑、视觉皮层及运动区；对于成年人，汞暴露则可以导致视觉空间障碍，影响执行功能、记忆及情绪。

根据Veiga的数据，大约有1000～1500万人在70个国家从事

All images © 2012 Sean Hawkey

这种手工及小规模金矿开采贸易。童工人数的估计各不相同，例如在非洲萨赫勒地区（African Sahel），他们可以占到30%～50%的劳动力，而在巴西亚马逊河流域的金矿雇用的童工则少得多。

去年，总部位于纽约的非政府组织“人权观察组织”（Human Rights Watch, HRW）的研究人员前往马里进行调查，据称那里有年仅6岁的儿童和成年人一起从事挖矿井、背矿石、粉碎矿石以及淘金砂的工作。在2011年12月的一份报告中，该组织宣称在马里有20000～40000儿童从事黄金开采工作，其中许多童工负责黄金汞齐化工作，以至于长期暴露于汞蒸气中。“这些童工几乎没人知道汞是有毒的，”人权观察组织的高级研究员Juliane Kippenberg说道，“基本上没人对汞烟雾采取预防措施。”

Veiga在野外调查中经常看到孕妇及育龄妇女在加热汞合金，有时侯是因为男人不愿意做。“我在苏丹和男矿工交谈过，他们认为只有女人才能做黄金汞齐化这类的细致工作，”他说道。

来自手工及小规模金矿开采业的汞的健康危害并不局限于工作现场的矿工们，他们的家庭成员也暴露于那些扩散到矿区空气和土壤中的汞元素。此外，采矿作业可以污染水生生态系统，从而使下游社区通过饮食而暴露于甲基汞。

蒙特利尔的魁北克大学荣誉教授Donna Mergler表示，来自手工及小规模金矿开采业的汞可以在大气中穿越到数千英里之外沉淀下来，“因此污染是一个世界性的现象，”她说道。自然资源保护委员会（Natural Resources Defense Council）的高级环境分析师Susan Keane也指出，这就是为什么不能把来自手工及小规模金矿开采业的汞污染简单地认为是一个地区性问题，“这是全球汞污染的一部分。”

为什么要使用汞?

黄金加工中汞的使用有以下几个好处：

- 操作简单，作用迅速。
- 可以由一个人独立操作。
- 可以在大多数野外条件下有效地提取黄金。
- 比大多数替代技术便宜。
- 有利于精密加工。
- 便于小批量矿石的自定义加工。

矿工们往往不了解使用汞所涉及的风险，另外（或者）他们在这个问题上也许没有选择余地。知情的矿工也往往买不起或者找不到更安全的替代品。

汞的毒性和环境命运

手工及小规模金矿开采社区的健康研究相当少而且颇具挑战性，因为其他一些干扰因素都可以影响神经系统功能。很少有研究人员像慕尼黑大学（University of Munich）的儿科医生和流行病学家Stephan Böse-O'Reilly一样在这些研究上付诸这么多努力。

Böse-O'Reilly于2008年发表了一项关于166名9～17岁儿童的研究，这些儿童分别来自津巴布韦、坦桑尼亚以及印度尼西亚的手工及小规模金矿开采区。他发现那些暴露程度最高的儿童出现了汞中毒症状，例如过度流涎、口腔内有金属味及反射异常。此外，汞暴露增加与两项神经系统检查的表现欠佳有关联：一是火柴盒测验，测试儿童需要多长时间才能双手交替着把20根火柴放入火柴盒内；二是铅笔敲击测验，测试儿童可以在10秒钟内用铅笔在一张纸上敲出多少个点来。“这些结果显示，由于小脑受损而导致的共济失调或协调问题，”Böse-O'Reilly说道。

White及其同事也发现，汞暴露与生活在巴西北部手工及小规模金矿开采区附近儿童的神经毒性有关联。他们总共研究了351个年龄在7～12岁的儿童，均来自亚马逊河的一条支流塔帕若斯河（Tapajós River）沿岸的村子里。80%以上的儿童头发汞含量高于10 μg/g，White说超过这个浓度就可能产生神经毒性。对这些儿童运动功能、注意力以及视觉空间功能的测试表明，随着暴露水平的增加而功能呈现递减。

然而研究人员在报告这些研究结果时指出，其他混淆因素例如热带疾病或之前的营养不良都可能影响其结果。此外，另外一项在法属圭亚那进行的神经系统研究（上述研究人员中的一些参与了此项研究），对生活在手工及小规模金矿开采区附近的儿童进行了调查，虽然也发现母亲及其儿童头发中汞含量更高一些，平均达12.7 μg/g，但是其结果却不太具有结论性。这项研究并没有发现神经方面的问题，但是发现在母亲头发汞含量与男性儿童的下肢协调性不佳以及视觉空间功能降低之间呈现出剂量依赖关系。

2009年的一篇关于亚马逊流域居民头发中汞含量的综述文章强调，该地区居民头发汞含量与神经系统异常之间的联系并不容易鉴别。White认为部分是因为在文化、教育、背景健康状况方面的种群差异可以影响神经心理测试，“在

小规模金矿开采的步骤

1）矿工从地下或溪流中挖掘出含金矿石；2）将矿石粉碎并测试含金量；3）将碎矿石投入粉碎机，并将汞添加到粉碎机中和黄金颗粒结合。汞金合金比粉碎的矿石颗粒重，所以沉到底部。而那些在粉碎机中没有接触到汞的黄金颗粒会在被汞覆盖的轧机板上被提取；4）粉碎机底部剩下的矿石颗粒混合物经过洗涤而把汞合金分离出来；5）矿工徒手将过剩的汞从汞合金中挤出（存起来后可以继续使用）或者烧掉；6）用喷灯加热汞合金以去除汞；7）这样生产出来的低纯度“金锭”被送到精炼厂进一步提纯。

All images © 2012 Sean Hawkey

法属圭亚那，教育和疟疾流行都是个问题，”她说道。

同时，手工及小规模金矿开采业在亚马逊河流域的汞污染中占据的份额仍不清楚。塔帕若斯河研究表明，头发中汞含量随着接近采矿点而增高，这表明尾矿构成了主要暴露源。然而，手工及小规模金矿开采区并不是亚马逊流域汞污染的唯一来源，由于亚马逊流域的土壤源自于火山喷发，其汞含量自然偏高，Mergler解释道，而在鱼类及河水中发现的汞大多来自于砍伐森林导致的土壤侵蚀。但她又补充指出“水体和鱼体内的汞含量增加并不是‘自然的’。目前在巴西亚马逊流域尤其是塔帕若斯河沿岸森林砍伐的增加，会对人类健康和环境带来严重后果。”

约翰·霍普金斯大学布隆伯格公共卫生学院（Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health）的博士生Rebecca Adler Miserendino认为，亚马逊地区环境中汞的来源和转运问题持续存在，部分原因是因为沉积物和土壤样品往往不具有特征性。Adler-Miserendino说在她的一份已经提交准备发表的研究成果中，所提供的数据可以帮助解决南美洲关于人为来源与自然来源汞的问题。她拒绝对该数据发表意见，但是强调说对手工及小规模金矿开采区附近汞转运的研究比较欠缺。她还告诫说，亚马逊地区的研究结果，不一定能够推广到世界上地球化学及开采条件有所不同的其他地区，其中包括非洲，目前这类研究尚未在非洲开展。

面临的问题

手工及小规模金矿开采范围各不相同，操作方式也各具特色。有时候村民们无意中发现黄金，有时候是在试验过程中或者误操作时发现黄金，从而引发数千名矿工蜂拥而至，而资源枯竭后则尽数离开。而在其他地区例如亚马逊河流域，金矿则大多是几十年前就建成并一直经营至今。Keane指出，一些国家完全禁止在手工及小规模金矿开采中使用汞，也有的情况下则是采矿本身属于非法，因为矿工们没有土地所有权或者该土地的采矿权。但是贫穷国家往往执法不严，除了警方偶尔围捕矿工以惩前毖后这些个别事件以外，政府很少干预，Veiga说道。

无机汞进入土壤和水道后，厌氧菌将其转化为剧毒的甲基汞。甲基汞可以在水生动物包括鱼类体内积聚，而这些鱼类是许多亚马逊人的主食。甲基汞暴露的现象十分普遍，经常会严重到损害神经系统。

© 2012 Christophe Gin/Corbis

爱丁堡大学（University of Edinburgh）国际发展专业的讲师Sam Spiegel认为，降低汞排放的努力方向应该是通过提供更好的技术来支持矿工以及他们的生计。“这并不意味着立即取缔汞的使用，“Spiegel说道，“而是应该找到更有效率的使用方法。”

联合国环境规划署的政策制定者们赞同其观点。在2011年出版的关于如何在手工及小规模金矿开采中降低汞使用的一本实用指南中，联合国环境规划署推荐了一个两步走的方法：首先是改进操作程序从而减少汞的使用，然后逐步走向无汞技术，在提高或维持矿工收入

的同时保护健康与环境。

这篇报道所采访的联合国环境规划署以及其他信息来源，均认为“全矿汞齐化”（whole-ore amalgamation）是一个主要问题。这种操作程序需要在挖出来的所有矿石中添加汞，因此会产生大量的有毒废物。全矿汞齐化法只能提取黄金含量的三分之一，其余部分则和汞一起流失到尾矿中。南美洲的一些专业作坊利用氰化物将尾矿中的剩余黄金提取出来，Veiga将此过程产生的废物称为“有毒的炸弹”，它们通常被直接排放到环境中。

但是通过基本的分离器或者一些昂贵的工业离心机把矿石汰选后，汞齐化所需的汞可以减少90%，Veiga说道。在联合国工业开发组织（United Nations Industrial Development Organization，UNIDO）的资助下，“全球汞伙伴关系”（Global Mercury Partnership）——政府、非政府、公共及私人部门之间的一种自愿合作模式——已经培训了矿工如何利用现成材料来建造这些设备。例如一些低技术含量的重量分析设备可以把碎矿石以及水的混合泥浆在一种织物表面传送，以提取含金的矿砂。

“我们与很多临时社区合作，”联合国工业开发组织的工业开发官员Ludovic Bernaudat说。“如果我们可以教会他们如何在生产更多黄金的同时产生更少的废物，就相当于授人以渔。我们不可能去培训1500万人，但我们培训的那些人可以大范围地传播这些技术。

矿工们也可以使用“蒸馏器”，或简易的排风罩把汞齐化过程中产生的汞排放出去。根据联合国环境规划署的指导文件，使用蒸馏器加热汞合金使得汞蒸气凝结成液体形式，可以将有毒气体排放量减少75%～95%。但是联合国环境规划署也警告说，儿童和育龄妇女不应操作蒸馏器或置身蒸馏场所。

全球性力量

市场的推动力也开始在净化手工及小规模金矿开采中发挥作用。例如，位于英国伦敦的公平贸易基金会（The Fairtrade Foundation）有一个公平贸易及公平采矿项目，可以给予资质认证：证明黄金的提取过程中采用了安全和负责任的操作程序来处理汞和其它有毒物质。该项目的协调员Gemma Cartwright指出，化学物质的使用也降到最低，但是在许多公平贸易项目的矿工们工作的地区，金矿床的类型、地理条件以及有限的资源决定了提炼黄金过程必须使用汞和其它一些有毒物质，别无选择。具有资格认证的工作人员也必须使用个人防护装备。此外，矿场不得雇用年龄在15岁以下的工人，18岁以下的工人不得在危险的工作条件下工作。

联合国环境规划署将很快完成一个关于汞问题的具有法律约束力的全球条约，其中一节是关于手工及小规模金矿开采。2012年6月在乌拉圭的埃斯特角城召开的政府间谈判委员会的第四次会议上，代表们起草了一份声明，呼吁各方减少和消除（在可行的情况下）汞在采矿业及黄金加工中的使用。

该声明还指出，缔约方有义务制定国家行动计划，以减少弱势群体尤其是儿童和孕妇的汞暴露，并采取措施限制那些污染最严重的操作程序例如在住宅区加热汞合金。“我们很高兴地了解到形势已经发展到了这一步，而且国家行动计划将是强制性的，”Kippenberg说道，“但是我们却没有在条约中明确禁止儿童使用汞。”

然而令人权观察组织沮丧的是，美国、加拿大以及欧洲的代表们不愿意采纳拉丁美洲和加勒比海国家提议的一项健康条款。该条款要求进行监测，以确定汞暴露的最大风险人群，而不仅仅是那些在手工及小规模金矿工作的人。该措施还规定，缔结方应该“促进和确保受到汞及其化合物暴露影响的人群享有适当的医疗保障。”

美国代表拒绝在谈判进程内对该条约发表意见。但是Kippenberg指出，代表们声称这项措施将迫使发达国家为医疗保健计划提供资金，从而导致用于减少环境汞暴露的各项资源缩水。该条约预计将于2013年1月完成。

Spiegel指出，在努力应对来自手工及小规模金矿开采业的汞污染时，终究还要考虑到该行业在为数百万人消除贫困方面发挥的作用。对于他们中的很多人来说，如果不使用汞的话，在短期内黄金开采在经济或技术上是不可行的，从而造成了一种平衡环保与经济发展的窘境。

“重要的是我们不应该责怪矿工，”Böse-O’Reilly说道，“解决方案并不是让他们停止开采，而是让他们先减少汞的使用，然后逐步用其它物质取代汞，这对我们所有人都有利。不能让矿工们失去他们迫切需要的工作。”

Charles W. Schmidt，科学硕士，来自缅因州波特兰市的获奖科普作家，为《探索杂志》（*Discover Magazine*）、《科学》（*Science*）以及《自然医学》（*Nature Medicine*）杂志撰稿。

译自*EHP* 120(11): A424–A429 (2012)
翻译：周 江

*本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a424