联合国

环境署

UNEP/MC/COP.5/8

关于汞的水俣公约

Distr.: General
18 July 2023

Chinese
Original: English

关于汞的水俣公约缔约方大会
第五次会议
2023 年 10 月 30 日至 11 月 3 日，日内瓦
临时议程*项目 4 (e)

供缔约方大会审议或采取行动的事项：
汞的释放

汞的释放：通过关于控制相关来源释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见（第九条）

秘书处的说明

一、 导言

1. 关于汞的水俣公约缔约方大会根据《公约》第九条第七款，在关于汞释放问题的 MC-4/5 号决定中通过了关于释放清单编制方法的指导意见，[1] 同时一并依照第九条第七款，请由缔约方大会同样在关于汞释放问题的 MC-2/3 号决定中设立的技术专家组，制定关于控制相关来源释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见草案，以期予以通过。

2. 由 Cristián Enrique Brito Martínez（智利）[2] 和 Bianca Hlobsile Mkhatshwa-Dlamini（斯威士兰）共同主持的技术专家组在缔约方大会第四次会议之后的闭会期间举行了七次在线会议。

3. 为支持专家组的工作，秘书处邀请缔约方和利益攸关方至迟于 2022 年 7 月 15 日提交关于控制相关来源产生的汞释放的国家法规或行业规范的现有资料。7 个缔约方和 1 个利益攸关方提交了资料，这些资料已发布在公约网站上。[3]

* UNEP/MC/COP.5/1。

[1] UNEP/MC/COP.4/30。

[2] Brito先生在闭会期间从智利政府离职。

[3] 提交资料的有巴西、哥伦比亚、欧洲联盟、日本、挪威、乌干达和美利坚合众国以及经济合作与发展组织。所提交的资料可在公约网站上查阅：www.mercuryconvention.org/en/meetings/cop5#sec1563。

4. 专家组编写了指导意见草案和一份技术参考文件，后者载有帮助使用指导意见的补充技术信息。这两份文件已于 2022 年 12 月 23 日发送给各缔约方并发布在公约网站上，供各方在 2023 年 2 月 17 日前提交评论意见。收到了 4 个缔约方和 7 个利益攸关方的评论意见。[4] 技术专家组完成了载于本说明附件一的指导意见草案终稿。技术参考文件载于 UNEP/MC/COP.5/INF/11 号文件。公约网站上发布了一份评论意见汇编，其中解释了在编制指导意见草案和技术参考文件过程中参考这些评论意见的情况。[5]

5. 缔约方大会在 MC-4/5 号决定中还请秘书处汇编缔约方就关于释放清单编制方法的指导意见的使用情况提交的意见和建议，供第五次会议审议。秘书处在执行秘书 2023 年 3 月 1 日的信函中邀请缔约方提交相关资料。在编写本文件时尚未收到任何资料。

二、 建议缔约方大会采取的行动

6. 缔约方大会不妨根据《关于汞的水俣公约》第九条第七款审议并通过关于控制相关来源释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见。相关的决定草案载于本说明附件二。

[4] 提交评论意见的有阿根廷、欧洲联盟及其成员国、泰国和美利坚合众国以及阿法拉伐集团公司、照明和汞回收商协会、Atium、国际矿业与金属理事会、国际牙科材料制造商协会、消除污染物国际网络和 Oasis。

[5] 评论意见和解释汇编可在公约网站上查阅：www.mercuryconvention.org/en/meetings/cop5#sec1563。

附件一

根据《关于汞的水俣公约》第九第七款[通过]关于控制相关来源汞的释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见[草案]

1. 导言

1.1. 指导意见的目的

1. 本文件载有关于最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见，旨在协助缔约方履行《关于汞的水俣公约》（以下简称《公约》）第九条规定的义务。第九条涉及控制以及于可行时减少未在《公约》其他条款中涉及的相关点源向土地和水中释放汞和汞化合物。

2. 本指导意见依照《公约》第九条要求编写[并通过]。未规定强制性要求，亦未试图增加或减少缔约方根据第九条所承担的义务。在确定最佳可得技术时，各缔约方将根据第二条第二款所载最佳可得技术的定义考虑其国情，该定义明确提到考虑到某一特定缔约方或该缔约方领土范围内某一特定设施的经济和技术因素的情况。我们认识到，由于技术或经济原因，本指导意见所述的一些控制措施可能并非所有缔约方均可得以采用。会按照《公约》第十三和第十四条的规定，提供财政支持、能力建设、技术转让和技术援助。

1.2. 指导意见使用说明

3. 本指导意见包括五节。第 1 节介绍了指导意见，并提供了关于《水俣公约》涉及汞向土地和水中释放问题的一般信息；第 2 节提供了一些跨领域信息，包括在选择和实施最佳可得技术和最佳环境实践方面的考虑因素；第 3 节提供了关于一般适用于许多来源类别的通用释放控制技术的一般信息；第 4 节述及针对某些特定来源类别的技术；第 5 节述及对汞释放的监测。

4. 在一份单独的参考文件（UNEP/MC/COP.5/INF/11）中提供了补充技术信息，包括关于处于试验阶段的新兴技术的信息，但该文件不是正式指导意见的一部分。

1.3. 汞的化学形态

5. 汞是一种元素，也可以各种化学形态存在。《公约》涉及元素汞和汞化合物，但仅限于汞及其化合物被人为排放或释放的情况。无机汞化合物包括氧化物、硫化物或氯化物等。在本指导意见中，“汞”一词既指元素汞，也指汞化合物，除非上下文明确表示指代某种特定形态。这与关于释放问题的第九条的范围一致，该条涉及控制并于可行时减少向土地和水中释放通常表述为“总汞”的汞和汞化合物。

6. 汞释放的化学形态各不相同，取决于来源类型和其他因素。汞一旦释放到土地和水中，在某些情况下可能会转化为甲基汞或乙基汞等有机化合物，这是汞毒性最大的形态。

1.4. 《水俣公约》涉及汞释放问题的情况

7. 《水俣公约》（第一条）的目标是保护人体健康和环境免受汞和汞化合物人为（向空气）排放和（向土地和水中）释放的危害。《公约》涉及汞和汞化合物从供应来源到贸易、使用、排放、释放、储存和废物管理以及受污染场地管理的生命周期。汞和汞化合物可在生命周期的各个阶段释放到土地和水中，而《公约》中涉及这些阶段的一些条款也涵盖了此类释放。

8. 第九条“适用于控制，以及于可行时，减少相关点源向土地和水中释放通常表述为‘总汞’的汞和汞化合物”。“相关来源”是指“由缔约方所确定的、未在公约其他条款中涉及的任何重大人为释放点源”。第九条要求各缔约方不迟于本公约对其开始生效之日起 3 年内、并于其后定期查明相关的点源类别。缔约方大会在其关于汞释放问题的 MC-4/5 号决定中，邀请缔约方审议关于释放清单编制方法的指导意见（UNEP/MC/COP.4/30）中所载的潜在相关点源类别清单。

9. 存在相关来源的缔约方有义务根据第九条采取措施控制释放。

第九条第四和第五款

4. 那些相关来源的缔约方应采取各种措施控制其释放，并可制定一项国家计划，列明为控制释放而采取的各种措施及其预计指标、目标和成果。任何计划均应自本公约对所涉缔约方开始生效之日起 4 年内提交缔约方大会。如果缔约方依照第二十条制定了一项实施计划，则所涉缔约方可把依照本款制定的计划列入这一执行计划之中。

5. 相关措施应当酌情包括下列一种或多种措施：

（一） 采用释放限值，以控制并于可行时减少来自相关来源的释放；

（二） 采用各种最佳可得技术和最佳环境实践，以控制来自各类相关来源的释放；

（三） 订立一项同时对多种污染物实行控制的战略，以期在控制释放方面取得协同效益；

（四） 采取旨在减少来自相关来源的释放的其他措施。

10. 各缔约方应确定对自身而言释放量显著、因此应加以控制的释放情况。向水体排放废水，无论是直接排放到水体中还是通过异地废水处理厂或普通排放管道间接排放到水体中，均可被视为向水中的大量释放。向土地排放废水或在受控封存区以外的土地上存放含汞物品可被视为向土地的大量释放。

1.5. 本指导意见涵盖的汞释放源

11. 如第 1.4 分节所述，为支持缔约方采取措施控制其已查明的相关点源的释放，本指导意见涉及潜在的相关点源类别。表 1 列出了潜在相关点源类别和《公约》其他条款中未涉及、但已被列入关于释放清单编制方法的指导意见的释放来源，同时还注明了本指导意见中介绍最佳可得技术和最佳环境实践的对应小节和分节的信息。

12. 《公约》其他条款中专门涉及、因而本指导意见未涵盖的点源包括单体氯乙烯生产（包含在关于使用汞或汞化合物的生产工艺的第五条中）、聚氨酯生产（包含在第五条中）、手工和小规模采金业（第七条）以及汞废物（第十一条）。

表 1
潜在相关点源类别清单

环境署汞释放识别与量化工具包中的来源类别		《水俣公约》其他条款中未涉及的释放来源 [a]	本指导意见的相关小节和分节
来源类别：5.1 提取和使用燃料/能源			
5.1.1	大型发电厂的燃煤	储煤、洗煤和空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节以及关于燃煤所致释放的第 4.2 分节
5.1.2	其他燃煤	储煤、洗煤和空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节以及关于燃煤所致释放的第 4.2 分节
	煤炭开采 [b]	湿法工艺（如煤炭浮选和洗煤）向土地和水中释放	关于燃煤所致释放的第 4.2 分节
5.1.3	矿物油——开采、精炼和使用（石油）	储油、炼油和空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节以及关于石油和天然气所致释放的第 4.3 分节
5.1.4	天然气——开采、精炼和使用	天然气开采和精炼作业向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节以及关于石油和天然气所致释放的第 4.3 分节
5.1.6	以生物质为燃料的发电和供热	空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
来源类别：5.2 原生金属生产			
5.2.1	汞开采和初加工	开采和选矿作业向土地和水中释放	关于原生汞金属生产的第 4.4 分节
5.2.3–5.2.8	汞以外有色金属开采、选矿、冶炼和焙烧	收集的矿山废水、选矿作业、空气污染控制系统、相关的冶炼和焙烧作业以及工艺残渣向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节以及关于有色金属生产所致释放的第 4.5 分节
5.2.9	原生有色金属生产	与焦炭生产相关的空气污染控制系统、煤焦油加工作业、生铁生产和工艺残渣向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
来源类别：5.3 其他含杂质汞的矿物和材料生产			
5.3.1	水泥熟料生产	空气污染控制系统向土地和水中释放；水泥窑粉尘等工艺残渣的处置作业可能造成的向土地释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
5.3.2	纸浆和纸张生产	空气污染控制系统和工艺残渣向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
5.3.4	其他矿物和材料	化肥生产、染料、颜料和其他化学品向土地和水中释放	可考虑第 3 节中的技术
来源类别：5.4 工业工艺中汞的有意使用			
5.4.1	使用汞技术的氯碱生产	生产工艺和受污染的工厂向土地和水中释放	关于氯碱生产的第 4.6 分节

环境署汞释放识别与量化工具包中的来源类别		《水俣公约》其他条款中未涉及的释放来源 [a]	本指导意见的相关小节和分节
来源类别：5.5 有意使用汞的消费品			
5.5.1–5.5.9	含汞产品的制造	未列入《公约》附件 A 的产品类别及低于附件 A 中汞含量限值的产品类别的制造作业向土地和水中释放	可考虑第 3 节中的技术
来源类别：5.6 其他有意的产品/工艺用途			
5.6.1	牙科汞合金填充物	向水中释放，例如牙科诊所安放新填充物或进行旧填充物钻孔造成的释放（注：缔约方可以（但非必须）根据第四条处理这类释放。）	可考虑第 3 节中的技术
5.6.3	实验室化学品和设备	排放到废水中的含汞和汞化合物的试剂	可考虑第 3 节中的技术
来源类别：5.7 生产再生金属（次级金属生产）			
5.7.1	生产再生汞（“次级生产”）	空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
5.7.2	生产再生黑色金属（铁和钢）（其中包括回收报废车辆）	空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
	旧工业设备的再利用或回收 [c]	在拆除工厂、石油钻井平台等设施时回收受汞污染的设备（如管道、储罐、热交换器）可能导致释放	可使用针对氯碱生产的所述技术
来源类别：5.8 废物焚化			
5.8.1–5.8.4	废物焚化	与危险废物、医疗废物、市政废物/工业废物和污水污泥焚烧炉相关的空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节以及关于废物焚化所致释放的第 4.7 分节
来源类别：5.9 废物弃置/填埋和废水处理			
5.9.1	受管制的垃圾填埋场/弃置场	垃圾填埋场渗滤液向水中释放	可考虑第 3 节中的技术
5.9.5	废水系统/处理	工业和市政污水处理过程中产生的释放/经处理的废水； 焚烧残渣/污泥时，空气污染控制系统会产生释放/废水	可考虑第 3 节中的技术； 关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节
来源类别：5.10 火葬场和墓地			
5.10.1	火葬场	空气污染控制系统向土地和水中释放	关于空气污染控制系统所致释放的第 4.1 分节

[a] 根据第九条第二款，“释放”是指汞或汞化合物向土地或水中的释放，“相关来源”是指由缔约方所确定的、未在公约其他条款中涉及的任何重大人为释放点源。缔约方大会在关于汞的释放的 MC-3/4 号决定中指出，“废水属于《公约》第九条规定的范围，但此外缔约方还可以根据第十一条对废水进行控制”。

[b] 未列入环境署工具包。因此这些来源没有编号。

[c] 未列入环境署工具包。因此这些来源没有编号。

2. 选择和实施最佳可得技术和最佳环境实践时的考虑因素

2.1. 关于最佳可得技术的一般性考虑

13. 《公约》第二条中“最佳可得技术”一词的定义是缔约方选择过程的依据。

第二条第二款

（二）“最佳可得技术”系指在考虑到某一特定缔约方或该缔约方领土范围内某一特定设施的经济和技术因素的情况下，在防止并在无法防止的情况下减少汞向空气、水和土地的排放与释放以及此类排放与释放给整个环境造成的影响方面最为有效的技术。在这一语境下：

1. “最佳”系指在实现对整个环境的高水平全面保护方面最为有效；
2. “可得”技术，就某一特定缔约方和该缔约方领土范围内某一特定设施而言，系指其开发规模使之可以在经济上和技术上切实可行的条件下，在考虑到成本与惠益的情况下，应用于相关工业部门的技术——无论上述技术是否应用或开发于该缔约方领土范围内，只要该缔约方所确定的设施运营商可以获得上述技术；以及
3. “技术”系指所采用的技术、操作实践，以及设备装置的设计、建造、维护、运行和退役方式。

14. 在分析最佳可得技术时，要考虑到若干因素，包括所涉设备和设施的使用年限、所采用的工艺、工艺变化、非水质环境影响（包括能源需求）以及采用这些技术的成本。最佳可得技术还可以包括改变工艺或实施内控。最佳可得技术应当在技术上和经济上可以实现，在有关缔约方的管辖范围内合理可行。

15. 选择和实施最佳可得技术的过程预计将包括以下一般步骤：

(a) 第 1 步：确定有关来源或来源类别的信息。这可以包括但不限于关于相关工艺、投入物料、原料或燃料的信息，以及关于实际或预期活动水平的信息，包括生产量。其他相关信息可包括设施的预期使用年限（这一点在审查现有设施时可能尤其重要）以及与控制其他污染物相关的任何要求或计划；

(b) 第 2 步：确定防止汞向废水中释放或从废水中去除汞的全部备选方案，以及与所审查来源相关的此类技术的组合，包括本指导意见第 3 节（关于控制释放的通用技术）和第 4 节（关于针对特定释放来源的技术）中所述的技术；

(c) 第 3 步：确定技术上可行的备选控制办法，同时考虑到适用于该部门内特定类型设施的技术以及可能影响技术选择的任何物理或操作限制因素；

(d) 第 4 步：考虑到本指导意见中提到的性能水平，从第 3 步确定的技术中选择最有效的控制技术，以消除并在可行的情况下减少汞释放，并实现对人类健康和环境的高水平总体保护；

(e) 第 5 步：确定哪些技术可在经济和技术上可行的条件下实施，同时考虑到成本和效益以及有关缔约方确定的设施运营者是否能够获得这些技术。应当指出，为新设施和现有设施选择的备选方案可能不同。还应考虑到对这些技术进行良好维护和操作控制的要求，以便长期保持所达到的性能水平。

2.2. 性能水平

16. 本指导意见第 3 和第 4 节载有关于实施这些章节所述汞释放控制技术的设施所达到的性能水平的信息（如有此类信息）。这些信息不应理解为就第九条第二款第六项中定义的释放限值提出建议，该定义为“针对源自某一点源所释放的、通常表述为‘总汞’的汞或汞化合物的浓度或质量”确定的限值。第九条第五款在缔约方可选择适用于其相关来源的措施清单中列入了释放限值。如果缔约方选择采用限值，则应考虑与第 2.1 分节中所述与最佳可得技术相关的因素相类似的因素。

2.3. 最佳环境实践

17. 《公约》第二条也定义了“最佳环境实践”一词。

第二条第三款

（三）“最佳环境实践”系指采用最适宜的环境控制措施与战略的组合。

18. 正确维护设施和测量设备对于有效实施控制和监测技术十分重要。受过适当培训并具备工艺重要性意识的熟练操作员对于确保良好的性能不可或缺。经营设施的各级人员的认真规划和投入以及行政控制和其他设施管理做法也将有助于保持性能。

19. 建立和运行环境管理系统是有助于控制释放的良好做法。环境管理系统是一种管理作业环境方面的结构化方法，通常包括以下方面：审查公司的环境目标；分析环境风险、公司的环境影响和相关法律要求；制定环境目标和指标，以减少对环境的影响并确保满足法律要求；制定实现这些目标和指标的方案；监测和衡量在实现目标方面取得的进展；确保员工的环境意识、对国家环境法律的了解和能力；审查系统的运行情况并不断加以改进。

2.4. 审议技术和实践的成本与效益

20. 分析各种技术和实践的成本与效益是确定最佳可得技术和最佳环境实践的一项重要内容，分析时应考虑到缔约方或设施的经济和技术因素。实施控制汞释放的措施通常会涉及到一些成本。可能产生与安装控制技术相关的基本建设成本，或者运行和维护设施的成本增加，或者两者兼而有之。与特定设施有关的部分成本示例载于相关的技术参考文件，其中提供了可靠的资料。但是，实际成本可能取决于设施的具体情况；因此，所引用的数字只应被视为可能的成本支出的大致规模。针对每个具体案例，均需获得有关设施的具体信息。很明显，成本一般由设施的运营者承担，而效益则由整个社会获得。

2.5. 跨介质影响与多污染物控制技术

21. 许多控制汞向土地和水中释放的技术都会产生固体废物，如污泥、沉淀物或废离子交换树脂。如果此类废物符合《公约》第十一条第二款规定的汞废物定义，缔约方应采取适当措施，以无害环境的方式对其进行管理，避免二次汞污染。

22. 控制汞向空气排放的技术也可能具有跨介质影响。关于控制汞排放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见包括了对这种跨介质影响的考虑，本指导意见还涉及对空气污染控制系统所致释放的控制。

23. 有一些技术可用于控制一系列污染物的释放，如悬浮颗粒物、包括汞在内的金属和有机污染物。例如，汞的硫化物沉淀也会降低水中其他金属的浓度。应考虑采用能够同时控制几种污染物的技术的优势，以实现共同效益。在审议控制释放技术时，应考虑这些技术在控制汞和其他污染物方面的效率以及是否有任何潜在的不利后果等因素。例如，在特定情况下，可能有必要评估处理助剂的潜在释放以及处理介质或设备再生过程中释放的污染物。

3. 控制释放的通用技术

24. 大多数控制汞向土地和水中释放的技术都涉及从废水中去除汞，其中汞溶解在废水中、吸附在悬浮颗粒上或存在于悬浮颗粒的矿物基质中。第 3.1 至 3.7 分节描述了从废水中去除汞的技术，而第 3.8 分节则涵盖了其他形态的汞释放。

25. 控制释放可始于去除悬浮颗粒物的工艺，例如重力分离。溶解的汞可以通过沉淀和吸附等技术去除，而去除吸附在土壤或固体废物上的汞首先涉及通过物理、化学或热处理将汞与吸附材料分离（也称为解吸）。

26. 可以通过多种技术、利用物理化学和生物处理来去除废水中所含的汞。去除技术可以还原或氧化汞，使其更容易被吸附技术或使用微生物的生物处理技术去除。

27. 第 3 节提供了适用于第 1.5 分节所列所有相关来源类别的控制技术的一般信息。与特定个别部门有关的其他信息见第 4 节。

3.1. 去除固体成分

28. 如果悬浮颗粒的矿物基质中含有汞，则需要采用分离技术来避免汞的迁移或释放。合适的分离或澄清技术包括：

(a) 重力分离（砂砾分离、沉降）

(b) 凝聚与絮凝

(c) 浮选

(d) 离心分离

(e) 过滤。

29. 一些从废水中去除被溶解或吸附的汞的技术要求废水尽可能不含固体成分，因此通常必须经过上游过滤。例如，吸附剂活性表面通常易于堵塞和阻塞，并且进行离子交换时，进料中的悬浮颗粒通常应小于 50 毫克/升以防止堵塞。堵塞和阻塞也是过滤中的一个重要问题，在过滤系统的维护中需考虑这一问题。

3.2. 金属沉淀

30. 沉淀是在水中形成不溶性颗粒物（固体沉淀物）的过程，接下来是从水中分离这些颗粒物的后续过程。这是一种经常用于处理受汞污染的地下水和废水的技术。可能会对其他技术造成影响的水质特性或污染物（如硬度或存在其他重金属）不太会降低这项技术的有效性。使用沉淀技术的系统通常需要熟练的操作员，这意味着这项技术在大规模实施时更具成本效益，因为可以将劳动

力成本分摊到更多净化水上。该项技术可与其他处理技术相互补充，以提高处理效率。结合沉淀与过滤、共沉淀和吸附技术能够实现最佳性能。

31. 沉淀通常涉及调节 pH 值和添加化学沉淀剂或凝结剂，从而将可溶性金属和无机污染物转化为不溶性金属和无机盐。汞去除通常包括改变待处理水的 pH 值，因为在沉淀物质最不可溶的 pH 值水平下，能够最大程度地去除汞。沉淀的最佳 pH 值范围取决于所处理的废物和具体的处理工艺。通常通过澄清或过滤去除沉淀固体。

32. 硫化物沉淀是从废水中去除无机汞的常用技术。可以通过添加硫化物试剂后进行沉淀来去除溶解在废水中的汞离子。在该方法中，调节后的 pH 值范围在 7 和 9 之间，然后通过将硫化物试剂添加到汞离子（Hg^{2+}）水溶液中形成硫化汞，硫化汞具有不溶性，因此能够从溶液中沉淀出来。金属硫化物沉淀过程可能对职业健康产生有害影响。用于沉淀硫化汞的典型化学品是硫化钠和有机多硫化物。简化的化学反应如下：

$$Hg^{2+}（水相）+ S^{2-}（水相）\leftrightarrows HgS（固相）$$

33. 沉淀物通常必须作为污泥加以处置。根据所用的沉淀剂不同，这种废物可能含有重金属的碳酸盐、氟化物、氢氧化物（或氧化物）、磷酸盐、硫酸盐和硫化物。过量使用化学硫化物沉淀剂还会形成可溶性硫化汞物质。汞可在垃圾填埋场所具备的条件下从硫化物淤泥中重新溶解，从而可能导致渗滤液的汞污染和潜在的地下水污染。汞沉淀产生的废水在排放或再利用之前可能还需要进一步处理，例如调节 pH 值。汞的硫化物沉淀可能会在废液中产生残余硫化物，在排放前可能需要进行处理以去除硫化物。

3.3. 通过还原和聚并回收汞

34. 作为预处理，在活性炭吸附等技术之前，可使用羟胺等还原剂将离子汞完全转化成元素形态。然后通过聚并将其去除，并可以回收金属汞。

3.4. 离子交换

35. 离子交换是指去除废水中不需要或有害的离子成分，并用离子交换树脂中更可接受的离子加以替代，这些不需要或有害的离子暂时保存于离子交换树脂中，然后释放到再生或反洗液中。为了通过离子交换去除汞，必须首先用次氯酸盐、氯或过氧化氢等氧化剂将汞氧化成汞阳离子（Hg^{2+}）。

36. 通常不采用离子交换技术来处理汞，因为与共沉淀和硫化物沉淀技术相比，离子交换技术更容易受到介质特性和汞以外污染物的影响。在较小容量系统中以及预处理废液的最终净化工艺中，当汞是唯一需要处理的污染物时，更适合采用吸附和离子交换技术。

37. 离子交换意味着消耗离子交换树脂、再生液、反洗和冲洗用水以及泵用能源。可能还必须添加其他化学物质，例如用于抑制微生物污垢的化学物质。离子交换树脂的再生会产生少量浓酸或盐溶液，其中含有从交换树脂中去除的离子。这种浓缩液必须单独加以处理以去除这些离子——例如，通过沉淀去除重金属。

3.5. 吸附技术

38. 吸附技术已被用于去除地下水和废水中的无机汞。其有效性可能会受到未经处理的水的特性以及其中除汞以外的污染物的影响，其受影响程度较沉淀工艺更高。吸附可以是初级处理方法，但通常用于去除初级处理工艺后残留在废物流中的汞。

39. 在较小容量系统中以及较大容量系统中废液的最终净化工艺中，当汞是唯一需要处理的污染物时，往往更多采用吸附技术。使用吸附技术的小容量系统的运行和维护成本往往较低，并且对操作员专门知识的要求较低。

3.5.1. 活性炭

40. 活性炭是一种具有高度发达的孔隙结构的含碳物质，通常用于从废水中去除有机物质，但也可用于去除汞和贵金属。例如，颗粒活性炭具有很宽的净化效率范围，并且不限于极性或非极性化合物。作为预处理，可先使用羟胺等还原剂将汞离子完全转化成元素形态，随后通过聚并去除并回收金属汞，然后吸附到活性炭上。

41. 粉末活性炭适于吸附的污染物与颗粒活性炭相同。将其添加到待处理的废水中形成浆液，随后通过沉积和过滤等分离工艺加以去除。

42. 当吸附剂的吸附能力耗尽时，可予以更换并随后进行再生（粉末活性炭除外，与其他废水污泥一道处置）。每种吸附剂都有自己的再生方法。但这些方法的共同点是再生操作需要使用能源和（或）化学品。颗粒活性炭可在 750–1 000°C 的高温下热再生。如果颗粒活性炭无法再生，则须将其作为化学废物加以处置并焚化。

3.5.2. 螯合树脂

43. 螯合树脂是指由与特定金属离子形成螯合物（络合物）的官能团构成的树脂。螯合树脂被用于去除汞、铜、锌和镉等有毒重金属，并回收金、铂和钯等贵重金属。

44. 通常使用具有含硫（例如硫醇基团（-SH）和硫脲基团（-NH・CS・NH_2））螯合官能基团的树脂来选择性吸附和去除汞。表 2 显示了某些交换基团的特定性质。在过滤并分离废水中的悬浮物质和不溶性汞化合物颗粒后，在酸性条件下（pH 值约为 2–6）添加少量氯，以使汞完全电离。然后让液体通过装有螯合树脂的反应塔，以吸附和去除汞。由于汞螯合树脂的硫官能团对氯敏感，因此氯的加入量应限制在每升 5 毫克。

45. 螯合树脂的使用寿命比其他吸附剂长，但再生困难且昂贵。因此，当汞浓度较高时，最好使用硫化物方法预先去除大部分汞。

表 2
螯合树脂交换基团和特性

交换基团	被吸附离子	特性
硫醇类	Hg^{2+}	• 可选择性地去除汞
硫脲类	Hg^{2+}、Cd^{2+}、Pb^{2+}、Zn^{2+}、Cu^{2+}	• 对氧化剂敏感，因为螯合官能基团含硫

46. 除汞外，还可吸附贵金属（如金、铂和钯）。

47. 螯合树脂只吸附溶解在水中的汞离子。因此，金属汞等非离子形态的汞需要先通过氧化剂离子化并溶解于水中，才能被螯合树脂吸附。

48. 螯合树脂不能用于处理氧化溶液，因为氧化物质会导致树脂分解。

49. 通常在工艺的最后一步使用螯合吸附塔，因为此时废水中其他潜在冲突成分已被去除。

3.5.3. 其他吸附剂

50. 其他常用的吸附剂包括硫浸渍活性炭、官能化活性氧化铝和介孔载体上的自组装单层。

3.6. 生物处理

51. 与化学处理相反，有机污染物的生物还原涉及通过微生物的新陈代谢进行氧化还原反应。虽然汞是一种无机污染物，但可采用生物处理技术将废水中有害的可溶性汞化合物转化为溶解性较低的形态，然后通过吸附或沉淀等其他技术加以去除。该技术利用缺氧或厌氧条件下的微生物新陈代谢，将氧化态汞还原为元素汞。

52. 生物处理通常在固定化膜生物反应器中进行，使用活性炭作为大型燃烧设施中湿洗净化系统产生的废水的载体。用于去除汞的缺氧/厌氧生物处理与活性炭吸附等其他技术结合使用。一些燃煤发电厂使用缺氧/厌氧生物系统来减少离子汞等某些污染物，并报称这一技术比沉积、化学沉淀或好氧生物处理工艺更有效。但是，与此相反，对氯碱工厂废水中汞的生物处理显示，使用该技术的汞残留浓度高于其他通用减排技术。

53. 与污泥焚化和废气处理相结合的活性污泥系统是另一种减少汞向废水释放的技术。汞很容易吸附在污泥上，因此如果焚化污泥，则需要控制排放气体中的汞。如果不焚化，则需要以无害环境的方式管理污泥，不应将其用于动物饲料或堆肥等。

3.7. 膜过滤

54. 膜过滤可以去除水中的多种污染物。这种技术已在数量有限的全面应用中用于处理被汞污染的废水。在膜过滤之前，可以采用预处理步骤使汞形成沉淀物或共沉淀物，然后通过这项技术更有效地加以去除。

55. 膜过滤法对处理汞很有效，但使用频率较低，因为与其他汞处理技术相比，膜过滤法成本更高，产生的残留物量也更大。此外，它对未经处理的水中的各种污染物和水体特性敏感。悬浮固体、有机化合物、胶体和其他污染物会导致膜污染。

3.8. 控制向土地和水释放的其他技术

56. 向土地和水中释放的重大人为点源可包括废水释放、直接向水中释放或向不受控制的垃圾填埋场释放。第十一条涉及汞废物管理过程中的释放，要求缔约方以无害环境的方式管理该条第二款定义的汞废物，同时虑及根据《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》制定的指导准则。

57. 当汞被有意用于工业工艺或含在原材料或燃料中时，转而使用无汞工艺或含汞量低的原材料或燃料有助于减少汞向土地和水中释放。

4. 针对特定释放来源的技术

4.1. 空气污染控制系统所致释放

58. 潜在相关点源清单中的设施使用的空气污染控制系统包括：

(a) 静电除尘器

(b) 织物过滤器

(c) 湿式颗粒物洗涤器

(d) 湿法烟气脱硫

(e) 干法烟气脱硫

(f) 选择性催化还原。

59. 燃烧设施的所有湿式烟气净化系统都会产生废水，由于所用的燃料和材料，废水中除其他成分外还含有汞。在这种情况下，废水的主要来源之一是大量燃烧设施中用于烟气脱硫的湿式石灰石洗涤器。

60. 用于防止和控制烟气处理厂排放所致汞污染的技术包括沉淀、离子交换和生物处理等。通常用氢氧化物和（有机）硫化物来沉淀去除溶解的金属。虽然氢氧化物不能沉淀汞，但（有机）硫化物可以做到这一点。

61. 可用碳化硅陶瓷膜等膜过滤技术处理湿式洗涤器产生的废水（熔炉烟气冷凝水）。

62. 海水洗涤技术利用海水的固有特性来吸收并中和烟气中的二氧化硫。在烟气海水脱硫之前，在烟气流中注入活性炭并使用袋式过滤器，可减少汞向水中的排放。海水将去除烟气中的可溶性氧化汞，但与石灰石烟气脱硫不同（在该方法中，汞保留于石膏副产品中），海水与从烟气中捕获的汞一起释放到环境中。排放到水中的还有硫酸根离子和氯离子，它们是海水的天然成分。所含物质或者随水流流向大海，或者从水中喷射出来，释放到用于冷却的水曝气池附近的大气中。

63. 织物过滤器等干法减排技术会产生灰尘和灰烬等固体废物。需要以无害环境的方式处置此类废物，以防止汞通过渗滤释放。

4.2. 燃煤

64. 第 4.1 分节所述的针对空气污染控制系统使用的技术可应用于燃煤设施。

65. 为减少污染，包括控制汞排放，通常在燃烧前会对燃料进行预处理。这种预处理可以包括选煤、与另一种燃料混合和（或）使用添加剂。在传统的选煤过程中，从煤炭中去除汞的效果差异很大，取决于煤炭的来源以及煤炭中汞的性质。

66. 湿法选煤会将汞转移到废水中。溶解的汞可以与硫化物一起沉淀，就像在通常用于废水的烟气脱硫技术中一样，但电厂采用的普通技术无法还原溶解性有机碳。

4.3. 石油和天然气

67. 原油和天然气主要由碳氢化合物组成。还含有汞等各种元素，这些元素的浓度因储层、加工阶段和使用方式而异。原油和天然气中以化学形态存在的汞浓度较低，原油中为十亿分之 0.1 至 20 000，天然气中为每标准立方米 0.05 至 5 000 微克。[1]

68. 作为原油和天然气中的天然成分，汞对石油加工系统有害。在气体加工过程中，汞可能会污染和损坏低温热交换器等设备。在化学制造和提炼过程中，汞可能会钝化催化剂，污染工艺化学品（如三甘醇，可在气体工艺中重复使用）并进入废水。

69. 由脱汞系统收集的汞（汞废物）的处置因所用系统的类型而异。脱汞装置最常用的介质是惰性载体材料（如氧化铝）上的金属硫化物或硫浸渍碳。这些可被视为非再生吸附剂。应采用无害环境的方式处置废吸附剂，因此，如焚烧废物，则需要对汞进行冷凝、捕获和处置。

70. 利用汞对金银等贵金属的高亲和力的可再生汞吸附剂使用较少。脱汞装置通过热再生气体进行再生，温度通常在 290°C 左右，根据容量预设时间反复循环。先从主工业生产液流中去除汞并在再生流中加以浓缩。然后，需要从再生流中去除汞。这一步通常通过较小的非再生除汞装置来实现，随后可能需要使用吸附剂适当处理该装置。典型的炼油废水处理厂采用多种技术去除不需要的物质，包括除油、进一步分离油/水/固体、生物处理以及砂滤和（或）超滤等其他处理，然后是活性炭过滤和（或）反渗透除盐。石油工业中还采用硫浸渍碳柱吸附和三氯化铁沉淀等其他技术去除水中的汞。应以无害环境的方式管理污泥、建筑废弃物和其他废物，以防止汞释放。

4.4. 原生汞金属生产

71. 汞矿造成环境问题，因为存在通常被称为“煅烧物”的尾矿，这些尾矿向矿区流域排放富含汞的沉积物。一些矿山的废水通常呈酸性，汞和其他有毒金属含量较高，还会对水质和生物区系造成影响。在回转窑和蒸馏罐中加工主要由朱砂组成的汞矿石，从冷凝系统中回收元素汞。在焙烧过程中，形成了比朱砂更易溶解的汞相，并在煅烧物中富集。矿物学和微量金属元素地球化学的差异反映在矿井废水的成分中。矿井废水排放点的废水中的汞和甲基汞浓度相对较低，但在流经煅烧物并与之发生反应的矿井废水中，这两种汞的浓度会显著增加。

72. 此外，在汞净化过程中会产生废水和污泥，需排放出去进行初级处理（沉积）。溢流会被进一步排至蒸发池。在经过沉积工艺和蒸发池去除液体成分后，富含汞的固体返回到回转窑进行汞提取。冶金作业产生的废水和污泥与工厂的其他工业废液分离，并采用第 3 节和第 4.1 分节中说明的技术进行处理。

4.5. 有色金属生产

73. 汞作为一种微量元素存在于许多有色金属矿石中，这些矿石的开采和加工可能会使汞发生迁移，并排放到大气中或释放到土地和水中。矿石和精矿中

[1] David Lang, Murray Gardner and John Holmes, *Mercury arising from oil and gas production in the United Kingdom and UK continental shelf* (Department of Earth Sciences, University of Oxford, 2012)。

的汞浓度可能因地质条件而异。采矿和选矿过程中产生的尾矿可能使含汞矿物暴露于氧气和水，并发生渗滤，从而导致汞释放到水系或土壤中。

74. 在有色金属生产中，冶金原料的热加工（如熔炼、焙烧和其他高温作业）有可能导致汞向大气排放或向土地和水中释放。熔炼和焙烧过程的主要目的是将矿石中的金属从其天然状态转化为纯金属形态。金属通常以氧化物、硫化物或碳酸盐的形态存在于自然界中，熔炼工艺需要使用还原剂产生化学反应来释放金属。在高温下，汞变得极易挥发，释放到气相中或凝结在加工过程中产生的微粒上。因此，热加工需要使用适当的空气污染控制技术来捕获各种液态或固态的汞。需要以无害环境的方式处理和（或）处置此类废物，以防止汞释放到土地或水中。

75. 通过火法冶金和湿法冶金方法生产有色金属会产生各种废液。第 4.1 分节所述技术可用于处理这些废液，去除汞等有毒金属。

76. 可对不可回收或不可再利用的水进行处理，以便将排放到水环境中的最终废液中的污染物（例如金属、酸性物质和固体颗粒）浓度降至最低。为降低水中污染物的浓度，可使用几种技术，如化学沉淀、沉积或浮选、过滤和离子交换。这些技术可以串联或并联使用，具体取决于场地的水管理计划。亦可在工业生产液流与其他废液混合之前先沉降固体和（或）沉淀金属。

4.6. 氯碱生产

77. 根据《水俣公约》第五条和附件 B，将于 2025 年前逐步淘汰汞电池氯碱生产，如缔约方已登记豁免，则将于 2030 年之前淘汰。本分节旨在支持缔约方控制汞向土地和水中的释放，直至汞电池氯碱生产设施完成转变或退役。

78. 氯碱生产中用作电极的汞会排放到空气中或释放到土地和水中。第 3 节所述的技术适用于废水。在代表欧洲氯碱生产商利益的行业协会 Euro Chlor 审查的两个工厂案例中，先对废水进行了联氨处理，然后进行了沉积、砂滤和活性炭过滤工艺处理。

4.7. 废物焚化

79. 废物焚化产生的废液中的汞来自初始废物所含的汞。焚化厂通常会限制待焚烧废物中的汞含量。

80. 第 3 节和第 4.1 分节所述的技术适用于废水。

81. 在使用离子交换分离汞的工艺中，将湿式洗涤器第一酸性阶段产生的废水中的原酸和离子键合金属通入汞离子交换器进行处理。使用树脂过滤器分离汞。然后用石灰乳来中和酸。

82. 采用离子交换和（或）吸附技术的工厂通常能够实现较低的排放水平。从经济性角度来看，据报，离子交换相对于其他技术而言较为昂贵。

4.8. 垃圾填埋

83. 垃圾填埋设施的废水来源包括受污染的雨水径流、渗滤液、垃圾填埋气体冷凝水和场地管理活动（如场地排水、车轮清洗和在硬地进行的活动）产生的废水。

84. 如果不加以适当管控，渗滤液有可能造成严重的地下水和地表水污染。垃圾填埋场的设计应尽量减少渗滤液的产生以及未经处理的渗滤液从填埋场逸出的可能性。渗滤液的量和性质差别很大，并受到废物的性质、堆体压实、填埋场覆盖物的使用和天气（降雨）的影响。

85. 根据《巴塞尔公约》制定的关于对由汞或汞化合物构成、含有此类物质或受其污染的废物实行无害环境管理的技术准则，提供了与废物填埋有关的进一步指导意见。

5. 监测

86. 监测汞向环境的释放是实施最佳可得技术和最佳环境实践的重要组成部分，目的是控制这些汞释放，并保持所用减排技术的高效运行。应根据总体最佳做法，使用经核准或认可的方法对汞释放进行监测。需要从汞释放监测中获得具有代表性的、可靠的和及时的数据，以评价和确保设施中使用的汞释放控制技术的效果。

87. 进行汞释放监测的第一步是通过直接测量废水中的汞浓度或使用间接测量来估计释放量，从而建立性能基线。测量水中汞含量的国际标准——如 ISO 12846[2]和 ISO 17852[3]——已经存在。随后，将按照特定的时间间隔（例如，每天、每周和（或）每月）进行更多的测量，以确定废水中的汞浓度或特定时间点的汞释放量。然后，通过汇编和分析测量数据进行监测，以确定释放趋势和运行性能。如果测量数据表明存在任何令人关切的领域，如与某些工厂运营相关的汞浓度随时间推移而上升或汞释放达到峰值，工厂应迅速采取措施纠正这种情况。

[2] 国际标准化组织标准 ISO 12846:2012 号标准：水质–汞的测定–富集和不富集的原子吸收光谱法。

[3] 国际标准化组织标准 ISO 17852:2006 号标准：水质–汞的测定–原子荧光光谱测定法。

附件二

决定草案 MC-5/[--]：关于控制相关来源释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见（第九条）

缔约方大会，

回顾《关于汞的水俣公约》第九条第七款第一项，根据该条款，缔约方大会应尽快通过关于控制相关来源释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见，同时亦考虑到新的来源与现有来源之间的任何区别、以及尽最大限度减少跨媒介影响的必要性，

*又回顾*缔约方大会第四次会议在其关于汞释放问题的 MC-4/5 号决定中根据《公约》第九条第七款第二项[1]通过的关于释放清单编制方法的指导意见，

*表示赞赏*根据关于释放问题的 MC-2/3 号决定设立、并在关于汞释放问题的 MC-3/4 号决定中被赋予最新任务的技术专家组编写关于汞释放的指导意见的工作，

1. 根据《公约》第九条第七款第一项，*通过*关于控制相关来源释放的最佳可得技术和最佳环境实践的指导意见；[2]

2. *邀请*存在汞释放相关来源的缔约方在根据第九条第四款采取措施控制汞释放和编制相关国家计划（如有）时，考虑到该指导意见；

3. *请*秘书处支持缔约方使用该指导意见，并不断审查该指导意见。

---

[1] UNEP/MC/COP.4/30。

[2] UNEP/MC/COP.5/8，附件。