



关于持久性有机污染物的 斯德哥尔摩公约

持久性有机污染物审查委员会
第八次会议
2012年10月15-19日，日内瓦

持久性有机污染物审查委员会第八次会议工作报告

增编

六溴环十二烷风险管理评价增编

在其第七次会议上，持久性有机污染物审查委员会在其第 POPRC-7/1 号决定中，通过了六溴环十二烷风险管理评价（见 UNEP/POPS/POPRC.7/19/Add.1）。在其第八次会议上，委员会在其第 POPRC-8/3 号决定中通过了上述风险管理评价的增编（见附件）。该增编文本未经正式编辑。

附件

关于六溴环十二烷及其在发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯中用途的替代品的额外资料

1. 引言

1. 2010 年，持久性有机污染物审查委员会第六次会议评价了六溴环十二烷风险简介(UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2)并得出结论，六溴环十二烷由于其长期环境飘移可能对人类健康和环境产生重大不利影响，因而需要采取全球行动。

2. 持久性有机污染物审查委员会第七次会议通过了六溴环十二烷风险管理评价(UNEP/POPS/POPRC.7/19/Add.1)，并根据《公约》第 8 条第 9 款决定，建议缔约方大会审议在《公约》附件 A、B 和/或 C 中增列六溴环十二烷。委员会邀请编制了风险管理评价的六溴环十二烷问题特设工作组进一步收集关于六溴环十二烷的资料，并商定将审查额外资料，并将在第八次会议上审议是否明确规定《公约》的附件和可能的豁免，以便缔约方大会在增列六溴环十二烷时加以审议。

3. 委员会在第 POPRC-7/1 号决定中邀请缔约方和观察员向秘书处提交有关下列事项的资料：

(a) 六溴环十二烷的化学替代品，尤其是在发泡聚苯乙烯或挤塑聚苯乙烯泡沫的应用中的替代品，包括其可得性、成本、效用、效率以及对健康和环境的影响，尤其是其作为持久性有机污染物的特性；

(b) 六溴环十二烷的生产和使用，尤其是与发泡聚苯乙烯或挤塑聚苯乙烯泡沫的应用相关的生产和使用；

2. 对资料要求的回应

4. 有 26 个缔约方和国家观察员提交了资料（阿根廷、阿塞拜疆、巴西、保加利亚、柬埔寨、喀麦隆、加拿大、中国、德国、危地马拉、印度尼西亚、爱尔兰、以色列、意大利、基里巴斯、拉脱维亚、马里、墨西哥、摩纳哥、缅甸、荷兰、挪威、波兰、罗马尼亚、泰国和美利坚合众国）。另外，有 6 个非政府观察员（大湖解决方案、Green Chemicals Srl 公司、国际消除持久性有机污染物联盟、PS Foam Industry 公司、挤塑聚苯乙烯泡沫协会和两个行业协会——挤塑聚苯乙烯泡沫绝缘板协会（欧洲化学品工业协会的下属部门）与欧洲塑料制造商协会）以及持久性有机污染物审查委员会的前成员 Ian Rae 提交了资料。所有已提交的资料公布在《公约》的网站上。

2.1. 六溴环十二烷的化学替代品

5. 各缔约方和观察员在回应中确定了六溴环十二烷在发泡聚苯乙烯、挤塑聚苯乙烯、高抗冲聚苯乙烯及纺织品应用中的若干化学替代品。这些替代品列于下文表 1 和表 2。该资料基本按收到的原文呈现，并分别尽可能予以核查。根据持久性有机污染物审查委员会关于替代品的指导，“更安全的替代品”是指能够降低对人类健康和环境的潜在危害的替代品，或者未显示已达到附件 D 中将一种化学品列入《公约》持久性有机污染物之下的筛选标准的替代品。关于下列部分替代品的现有健康和安全的资料非常有限。

6. 溴化聚合阻燃剂仅可用于为聚苯乙烯泡沫提供阻燃性能，不可用于六溴环十二烷的其他用途。
7. 美国环保局正在评估六溴环十二烷及其在发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯用途中的替代品。利益攸关方也在为该报告提供危害和效用资料，该报告将公布在 <http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/hbcd/index.htm>。
8. 美国环保局目前正在评估十溴二苯醚的替代品，并将发布一份关于此物质及其替代品使用情况的报告。参见：
<http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/decaBDE/index.htm>。

表 1. 六溴环十二烷在发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯用途中的化学替代品¹

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
乙烯基苯与 1,3-丁二烯的溴 化共聚物 （苯乙烯和丁 二烯的溴化共 聚体） 异名： 溴化聚合阻燃 剂 化学文摘社登 记号： 1195978-93-8	Emerald 3000 FR122P	通过一步法工 艺生产的发泡 聚苯乙烯，可 能也适用于二 步法工艺 以及挤塑聚苯 乙烯	当前的试验规模数量正 被提交给下游用户以供 测试。 工厂规模的生产试验运 作成功。 2012 年科聚亚公司大湖 解决方案提供了商业产 品。 以色列化工集团最近宣 布将在 2014 年前实现商 业化生产（1 万公吨）。 雅宝公司（美国）将在 2014 年提供商业产品。 预计 3-5 年内将充分具备 取代六溴环十二烷的能 力。 另见第 6 段。	未开展任何关于特性的 独立评价。 据行业信息：可能具有 持久性（不可生物降 解）但生物累积潜力较 弱，毒性可能较小。由 于数据匮乏，未就致癌 性作出分级。尚无关于 对鱼类毒性的数据。 另见第 7 段。	已收到存在分歧意见的 资料（见第 17 段）。 已报告的回应如下： 据某制造商消息，预计 含有 Emerald 3000 的发 泡聚苯乙烯产品的制造 成本不会对其相对于其 他产品的成本竞争力产 生显著影响。 一些缔约方预计其成本 高于六溴环十二烷。一 个缔约方提出，使用替 代品的成本比使用六溴 环十二烷高出 90%（发 泡聚苯乙烯）到 120% （挤塑聚苯乙烯）。 对所有泡沫应用中的阻 燃性发泡聚苯乙烯树脂 /产品进行重新认证的 成本独立于各种阻燃剂 间的任意成本差异。加 拿大估计此项成本达数 百万美元。	一名制造商的顾客开展了 试点测试，其测试报告确 认，FR122P 提供了其产品 所必需的消防安全水平。 据报告，所消耗的溴含量 相同时，Emerald 3000 大 致上与六溴环十二烷具 有相同的阻燃效率。 挤塑聚苯乙烯制造商报 告，其功效为六溴环十二 烷的 83%。 热稳定性及与聚苯乙烯的 相容性较高。在温度较高 的加工条件下，需要稳定 该聚合阻燃剂，这与六溴 环十二烷类似。

¹ 关于其他替代品，如替代材料和建筑技术，参见六溴环十二烷风险管理评价(UNEP/POPS/POPRC.7/19/Add.1)。

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
1,1'- (1-甲基亚乙基) 双[3,5-二溴-4-(2,3-二溴-2-甲基丙氧基)苯] 化学文摘社登记号: 97416-84-7	Pyroguard SR-130 SR-130	发泡聚苯乙烯 挤塑聚苯乙烯	美国无商业产品	见第 7 段。		
四溴双酚 A 双(烯丙基醚) 化学文摘社登记号: 25327-89-3	BE 51、FG 3200、Fire Guard 3200、Flame Cut 122K、Pyroguard SR 319 和 SR 319	二步法发泡聚苯乙烯工艺	仅用于二步法发泡聚苯乙烯工艺	该物质是四溴双酚 A 的衍生物(环境协调委员会, 2006 年)。 关于健康、安全与环境特性的资料很少。根据挪威污染控制局(2009 年)审查的资料, 其特性可归纳为低毒性、潜在的免疫毒性、不易水解, 可能无法进行环境降解(详见挪威污染控制局, 2009 年)。		
1,2,5,6-四溴环辛烷 化学文摘社登记号: 3194-57-8	Saytex BC-48 (雅宝公司)	二步法发泡聚苯乙烯工艺 添加型阻燃剂	仅用于二步法工艺 该物质可能已经无法以商业方式获取 无法获取美国或欧盟的产量信息。加拿大非国内物质清单上也列出了该物质, 据报告, 加拿大每年进口 10 吨四溴环辛烷。	英国环境局的报告(Fisk 等人, 2003 年)显示, 四溴环辛烷对水生环境有害(即慢性无可见效应浓度< 0.1 毫克/升, 或急性半数致死浓度<10 毫克/升), 并且存在潜在的持久性、生物累积性、毒性/高持久性、高生		

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				物累积性。由于健康、安全与环境方面的信息很难获得，因此无法开展进一步分析。		
2,4,6-三溴苯基烯丙基醚 化学文摘社登记号： 3278-89-5	Pyroguard FR 100、 Great Lakes PHE-65、 Bromkal 64-3AE	二步法发泡聚苯乙烯工艺		被提议列为 120 种高产量化学品之一，其结构与已知北极污染物相类似（Brown 和 Wania, 2008 年）。 有可能发生生物累积和进行长程飘移，因为在北极地区海豹的脂肪和大脑中均发现了该物质（Von der Recke 和 Vetter, 2007 年）。		
四溴双酚 A 双（2,3-二溴丙基醚） 化学文摘社登记号： 21850-44-2 可与二异丙苯一起作为挤塑聚苯乙烯的常用增效剂，与过氧化二异丙苯一起作为发泡聚苯乙烯的常用增效剂	STARFLAME PS SAM 54： 挤塑聚苯乙烯母粒 STARFLAME PO SAM 55： 挤塑聚苯乙烯母粒 GC SAM 55 E：发泡聚苯乙烯粉末混合物	发泡聚苯乙烯 挤塑聚苯乙烯	仅在实验室范围内用于制造发泡聚苯乙烯，尚未广泛使用。但是所有原料均可在全球范围内购买，因此报告称可立即对 GC SAM 55 E 进行大规模商业生产。 挤塑聚苯乙烯的替代品已投入商业使用。	根据挪威污染控制局（2009 年）的审查结果，该物质毒性较低。未观测到内分泌影响，但是很可能会抑制雌二醇磺基转移酶，并在结合血浆蛋白——转甲状腺素蛋白方面与甲状腺素展开适度竞争。 该物质被大鼠胃肠道吸收的数量很小，但是被吸收的物质在肝脏累积并缓慢地进入新陈代谢。 无法根据现有信息评估	根据制造商提供的信息，在发泡聚苯乙烯的应用中，该物质的成本与六溴环十二烷溶剂相当（成本约为 6.5 欧元/千克）。 在挤塑聚苯乙烯的应用中，该物质的成本略高于六溴环十二烷溶剂。	阻燃性能比六溴环十二烷低 20%-30%。据报告，该物质具有良好的热稳定性、易分散、可与聚苯乙烯相容、不溶于水、易溶于甲苯和二甲苯。

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				<p>其环境持久性（华盛顿州，2006年）。根据挪威污染控制局（2009年）和制造商提供的信息，该物资的生物降解程度低，但似乎容易水解。在生物累积方面，华盛顿州（2006年）和挪威污染控制局（2009年）报告了相反的结论。该物质的制造商预计其不会发生生物累积。</p> <p>美国国家毒理学计划认为该物质可能具有潜在致癌性。无论是否经过代谢活化，该物质在鼠伤寒沙门氏菌菌株中的致突变活性均呈阳性（美国国家毒理学计划，2002年）。</p> <p>比利时和英国的研究人员还在室内灰尘中发现了该物质（Ali 等人，2011年）。</p>		

表 2. 高抗冲聚苯乙烯和纺织品中六溴环十二烷的替代品

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
乙烯双（四溴邻苯二甲酰亚胺） 化学文摘社登记号： 32588-76-4	BT93、 BT93W、 BT93WFG、 Citex BT 93、 Saytex BT93 和 Saytex BT93W	高抗冲聚苯乙烯 添加型阻燃剂	存在商业产品且应用广泛 主要用于高抗冲聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、热塑性聚酯、聚酰胺、三元乙丙橡胶、橡胶、聚碳酸酯、乙烯共聚物、离聚物树脂和纺织品。	现有数据不充分，无法对该物质进行全面环境评估。已报告的少数几项研究显示，该物质不易生物降解，不会发生生物累积，并且具有较低的水生毒性（丹麦环保局，2007年）。有迹象表明，该物质对哺乳动物的毒性较低。 欧盟现有和新化学物质技术委员会认为该物质具有很高的持久性。然而根据该物质的分子特性，其不符合生物累积标准，未被列为高持久性、高生物累积物质。根据目前该物质仅有的一项水生毒性研究，其发生急性毒性效应的浓度远高于其在水中的溶解度估计值。文献中未提到该物质的长期无观测效应浓度值。要评估其是否符合毒性标准，还需获取更多生态毒理学数据（Pakalin 等人，2007年）。		技术上可行且应用广泛
十溴二苯醚 化学文摘社登记号： 1163-19-5	SAYTEX 102E FR-1210 DE-83R	高抗冲聚苯乙烯 纺织品	技术上可行且应用广泛 自 2000 年开始，很多制造商已逐步淘汰其用途。	根据《加拿大环境保护法》第 64(a)条标准，十溴二苯醚与属于同一类别的其他多溴二苯醚一样（四溴二苯醚至十溴二苯醚），被认为具有毒性。关于该物质的《科学状况报告》发现，该物质会转化为具有持久性和生物累积性能的物质。 持久性有机污染物审查委员会得出结论，根据越来越多的有关高度溴化的同系物（包括十溴二苯醚）的潜力研		技术上可行且应用广泛

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				<p>究，这些物质会在环境中发生还原脱溴反应，从而导致生成附件 A（第 POPRC-7/1 号决定）中所列的溴化二苯醚。</p> <p>根据欧盟的风险评估报告（欧洲委员会，2002 年），预计十溴二苯醚不会发生生物降解，但不具有生物累积特性或毒性。之后开展的一项审查（Pakalin 等人，2007 年）得出结论，十溴二苯醚不符合毒性标准。</p> <p>然而，有一些迹象表明，若小鼠在大脑发育的敏感阶段接触十溴二苯醚，可能会出现行为障碍（可能是通过新陈代谢）。这种明显的毒性使得顶端捕食者的卵内存在十溴二苯醚这一事实成为一项重大发现，与任何长期风险评估均相关。Pakalin 等人（2007 年）还指出，《欧盟技术准则文件》中提到的常用的预测效应浓度/预测无效应浓度对比方法不适用于这种情况。</p> <p>另见第 8 段。</p>		
<p>十溴二苯乙烷</p> <p>化学文摘社登记号： 84852-53-9</p>	<p>SAYTEX 8010</p> <p>Firemaster 2100</p> <p>Planelon BDE</p>	<p>高抗冲聚 苯乙烯 纺织品 添加型阻 燃剂</p>	<p>存在商业产品且应用广泛</p> <p>十溴二苯乙烷于 20 世纪 80 年代中期开始使用，并在 20 世纪 90 年代初期因作为十溴二苯醚制剂的一种替代物质而具有重要的商业价值。欧洲并不生</p>	<p>现有证据表明，十溴二苯乙烷具有潜在毒性。该物质不易发生非生物降解（如水解），且在有氧条件下，无法在水生环境中发生生物降解（即：按照经合组织测试准则 301C，其生物降解百分比分为 2%）。该物质的持久性与其较低的水溶性有关（0.72 微克/</p>	<p>据某缔约方称，十溴二苯乙烷通常用于高抗冲聚苯乙烯和纺织品中，该物质可发挥比六溴环十二烷更好的效果，</p>	<p>技术上可行且应用广泛</p>

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
	S8010		<p>产十溴二苯乙烷，但在2011年的估计进口量为1000至5000吨，并主要运往德国。十溴二苯乙烷是中国目前第二常用的添加型溴化阻燃剂，每年产量增加80% (http://www.polymer.cn/)。中国至少有两家企业生产十溴二苯乙烷：2006年中国的十溴二苯乙烷产量为1.2万吨 (Xiao, 2006年)。在日本，对十溴二苯醚的消费明显转向十溴二苯乙烷。</p>	<p>升)。(环境局2007年; Pakalin等人, 2007年)。</p> <p>由于十溴二苯乙烷的水溶性较低，其对水生生物的潜在危害相对较小。该物质对哺乳类动物的毒性也较弱 (环境局, 2007年)。十溴二苯乙烷能改变鸡胚中的基因表达方式 (Egloff等人, 2011年)，对大型蚤表现出急性毒性，可降低斑马鱼卵的孵化率，显著提高孵化幼虫的死亡率 (Nakari和Huhtala, 2010年)。</p> <p>在英国开展的一项风险评估中，由于缺乏可靠数据，因此无法得出关于生物累积性的结论 (环境局, 2007年)。最近的信息表明，鱼类体内的十溴二苯乙烷生物累积浓度比十溴二苯醚高出一个数量级，这表示十溴二苯乙烷可在鱼类体内大量累积 (He等人, 2012年)。在猎鹰等捕食型禽鸟类动物体内及其卵中发现了十溴二苯乙烷 (Guerra等人, 2012年)，食鱼水鸟体内也发现了该物质 (Luo等人, 2009年)。在温尼伯湖的一个食物网中，发现十溴二苯乙烷出现生物累积现象 (Law等人, 2009年)。</p> <p>在环境样本中广泛检测到了十溴二苯乙烷：污水污泥、大气、沉积物、鱼类和鸟类，以及住房和办公室内的灰尘 (La Guardia等人, 2012年)。在北欧近期开展的一项筛选研究 (北欧</p>	但其价格却几乎相当。在中国，十溴二苯乙烷已从2011年起基本代替六溴环十二烷用于该用途。	

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				<p>部长理事会，2011年）中，在大气、沉积物、污泥和生物群样本中发现十溴二苯乙烷的比例分别为 100%、50%、100%和 70%。其浓度往往相当于所发现的四溴联苯醚和十溴联苯醚的浓度。</p> <p>在美国（Stapleton 等人，2008 年）、比利时、英国（Ali 等人，2011 年）和瑞典（Karlsson 等人，2007 年）的室内灰尘中也发现了十溴二苯乙烷。在中国，该化学物质是非电子废物回收场地周边人群头发中的主要溴化阻燃剂。经发现，该物质在头发中的含量与灰尘含量之间存在明显关联（Zheng 等人，2011 年），这表明该物质是通过内源途径进入头发的。</p>		
磷酸三苯酯 化学文摘社登记号： 115-86-6		高抗冲聚苯乙烯	存在商业产品且应用广泛	<p>丹麦环保局（2007 年）发布的一份综述指出，磷酸三苯酯对藻类、软体类和鱼类有剧毒作用，其半数致死（效应）浓度值通常小于 1 毫克/升。关于鱼类慢性毒性的两项研究报告称，该物质的无可见效应浓度值介于 0.014-0.23 毫克/升之间，但这两项研究的有效性值得怀疑。一些对于不同鱼类品种的长期研究报告称，该物质的生物浓缩系数值大于 100，并且认为磷酸三苯酯具有潜在的生物累积性。该物质较低的辛醇/水分配系数对数值（介于 4.58-4.67 之间）为这一结论提供了支持。磷酸三苯酯在本质上是可生物</p>		技术上可行且应用广泛

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				<p>降解的，研究进一步发现，在有氧和厌氧情况下，该物质可在不同条件的水/沉积物和土壤系统中进行生物降解。磷酸三苯酯的辛醇/水分配系数对数和平均土壤吸附系数对数值都相对较低，这表示该物质在环境中的可获取量和移动性有限。</p> <p>没有发现关于人体急性或重复接触该物质的数据。根据丹麦发布的综述内容，在亚急性和亚慢性的大鼠食物研究中，仅有一项参数受到影响，即大鼠的体重增加速度减缓（丹麦环保局，2007年）。美国环保局（2005年）报告称，磷酸三苯酯具有两个值得关注的特性：该物质具有中度的系统毒性，以及高度的急性和慢性生态毒性。美国职业安全与健康管理局报告称，接触磷酸三苯酯会造成的健康影响是，抑制胆碱酯酶的作用（美国职业安全与健康管理局，1999年）。</p> <p>丹麦环保局（2007年）总结认为，磷酸三苯酯不符合持久性、生物累积性和毒性评估中的持久性和生物累积性标准。</p> <p>在德国，由于磷酸三苯酯对水生生物具有毒性作用，因此人们认为该物质具有环境危害（Leisewitz 等人，2000年）。</p> <p>一项近期研究发现，磷酸三苯酯可能</p>		

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				导致男性精子密度大幅下降，下降比例高达 19%（Meeker 和 Stapleton, 2010 年）。		
双酚 A 双（二苯基磷酸酯） 化学文摘社登记号： 5945-33-5	Fyrolflex BDP	高抗冲聚 苯乙烯 添加型阻 燃剂	存在商业产品且应用广泛	<p>双酚 A 双（二苯基磷酸酯）是三氯氧磷与双酚 A 和苯酚反应生成的化合物，其中可能含有双酚 A 杂质。</p> <p>据华盛顿州（2006 年）称，关于该物质的工业毒性研究结果显示，其对人类的毒性威胁较小，对水生生物的毒性则居于低度到中度之间。目前没有关于该化学品的动物癌症研究，也没有关于潜在人类接触的资料。该化学品并未表现出在环境中持久存在的趋势。无法评估该物质的生物累积性。</p> <p>双酚 A 双（二苯基磷酸酯）的一个降解产物是双酚 A（华盛顿州，2006 年），据加拿大称，该物质符合可能永久改变激素分泌、发育或生殖能力的持久性和毒性标准（加拿大环境部，2008 年）由于双酚 A 双（二苯基磷酸酯）的降解产物双酚 A 可能干扰内分泌，因此在一份欧盟评估草案中，该物质在内分泌干扰属性方面的评分较高（联合研究中心，2011 年）。该评估还发现，双酚 A 双（二苯基磷酸酯）具有高度持久性，其生物累积性居于中度到高度之间，生物浓缩系数值为 300 到 3000 不等，辛醇</p>		技术上可行且应用广泛

化学品	商品名称	声明适用性	可得性	健康、安全及环境特性	成本	效用
				/水分配系数对数值为 4.5-6。		
磷酸二苯甲苯酯 化学文摘社登记号： 26444-49-5		高抗冲聚苯乙烯	存在商业产品且应用广泛	磷酸二苯甲苯酯的特征不明显，但该物质似乎对水生生物具有毒性，且不易发生生物降解（经合组织筛选信息数据集）。 据华盛顿州（2006 年）消息，该物质在水中的半衰期为 4.86 年，生物浓缩系数值为 980，具有中度的急性毒性，并且具有发育和生殖毒性，但无诱变性，且口服毒性较低。		技术上可行且应用广泛
氯化石蜡(C10-13)——化学文摘社登记号： 85535-84-8		纺织品	可获取且应用广泛	氯化程度在 48% 以上的短链氯化石蜡（C10-13 氯代烃）已被提名列为《斯德哥尔摩公约》下的持久性有机污染物，目前持久性有机污染物审查委员会正在审查该物质。 被评估为短链氯化石蜡的氯化石蜡 (C10-13) 符合 1999 年《加拿大环境保护法》中第 64(a) 条标准对毒性的定义以及持久性和生物累积性标准，应彻底消除。在加拿大，此类物质已被纳入 2012 年《部分有毒物质禁用法规》提案(http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/eng/regulations/detailreg.cfm?intReg=87)。	应用广泛	技术上可行且应用广泛
聚磷酸铵——化学文摘社登记号：68333-79-9		纺织品	可获取且应用广泛	几乎无法获得与其特性相关的数据。不存在生物累积数据。该物质在加拿大被列为持久性固有有毒物质。	应用广泛	技术上可行且应用广泛

2.2. 关于六溴环十二烷生产和使用的补充信息

9. 由于六溴环十二烷的前体环十二碳三烯的生产出现问题，六溴环十二烷的可得性最近受到了限制。六溴环十二烷的供应问题可能导致使用六溴环十二烷的行业加快采用替代品的速度。

10. 已收到下列关于生产和进口的新数据：

(a) 中国报告 2011 年生产了 18000 吨六溴环十二烷，其中出口 5,500-6,000 吨。

(b) 墨西哥报告 2011 年进口了 467 吨六溴环十二烷。

11. 已收到下列关于六溴环十二烷使用的新信息：

(a) 目前在北美生产的所有挤塑聚苯乙烯中都含有六溴环十二烷。共有四家制造商。目前使用的浓度为 0.7%-1.0%。

(b) 2006 年美国环保局化学数据报告数据库提供的信息，六溴环十二烷的商业和消费使用总量中，用于制造织物、纺织品和服装的数量不足 1%。
<http://www.epa.gov/iur>

(c) 中国使用的六溴环十二烷中，有 9000 吨用于发泡聚苯乙烯，3000 吨用于挤塑聚苯乙烯。

(d) 波兰报告 2011 年有 364 吨六溴环十二烷用于发泡聚苯乙烯，90 吨用于挤塑聚苯乙烯。

(e) 墨西哥报告 2011 年进口了 467 吨六溴环十二烷。

3. 与风险管理评价相关的概要信息

12. 据估计，2011 年全球六溴环十二烷的产量为 31000 吨，略高于风险管理评估(UNEP/POPS/POPRC.7/19/Add.1)的预计数量，原因是 2011 年中国的产量增加了 20%。

可得性

13. 已开发了一些六溴环十二烷的化学替代品，包括一种用于一步法制备发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的直接替代品。自 2012 年起，可逐渐通过商业途径获得该替代品。美国的两家公司（Chemtura 和 Albemarle 公司）和以色列的一家公司（ICL-IP 公司）将从 2014 年开始供应这一溴化聚合阻燃剂。预期 3-5 年内，这些公司的总产量将足以替代六溴环十二烷的使用。

14. 其他两种溴化阻燃剂（1,1'-（1-甲基亚乙基）双[3,5-二溴-4-（2,3-二溴-2-甲基丙氧基）苯]，化学文摘社登记号：97416-84-7；以及四溴双酚 A 双（2,3-二溴丙基）醚(TBBPA-DBPE)，化学文摘社登记号：21850-44-2，可与二异丙苯一起作为挤塑聚苯乙烯的常用阻燃增效剂，与过氧化二异丙苯一起作为发泡聚苯乙烯的常用阻燃增效剂，如 Starflame/GC SAM）看来适合用来代替发泡聚苯乙烯一步法制备工艺中的六溴环十二烷。但没有信息表明是否可以获得前者，而后者尚不可通过商业途径获得。现已在普及程度较低的二步法发泡聚苯乙烯制备工艺中使用六溴环十二烷的替代阻燃剂。正在测试聚合阻燃剂在二步法发泡聚苯乙烯制备工艺中的适用性。

15. 各类回应中反复强调了目前高抗冲聚苯乙烯和纺织品中六溴环十二烷化学替代品的可得性。六溴环十二烷风险管理评价中已确定替代阻燃材料和制备技术(UNEP/POPS/POPRC.7/19/Add.1)。

过渡时间

16. 在以商业规模供应任何一种替代品后，该行业都将花费一定时间获取聚苯乙烯链和泡沫产品的防火等级资格和再认证。根据加拿大提供的业界信息，完全过渡到一种替代品至少需要五年时间。然而，尽管目前还无法以商业规模获取该聚合阻燃剂，但下游用户一直在对这种替代品进行测试，并且报告了积极的结果。

成本

17. 一些缔约方在回应中表示，该聚合阻燃剂与六溴环十二烷相比成本较高，但却未提供任何财务数据支持该观点。根据该聚合阻燃剂的生产者提供的信息，预期使用六溴环十二烷的该替代品制造阻燃产品不会对发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的成本竞争力产生任何重大影响。仍不清楚阻燃剂是否是影响最终产品（发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯隔热板）价格的一个重要因素。直到可完全通过商业途径获取该聚合阻燃剂时，才可能提供更为确切的成本估值。

18. 就该行业而言，从工厂试验到产品资格认证的过程中会产生额外的一次性成本。然而，这些成本与该替代品无关且一般较低，例如在加拿大，该成本与成百上千万加元的费用相比显得微不足道。

效用

19. 据报告，所消耗的溴含量相同时，Emerald 3000 大致上与六溴环十二烷具有相同的阻燃效率。根据大湖解决方案提供的信息，Emerald 3000（商品名）浓度需要达到 1.7%才能通过欧洲 E 级阻燃标准测试。因此，该物质的所需数量与聚苯乙烯泡沫中的六溴环十二烷含量（六溴环十二烷重量比 0.5-2.5%）相当。四溴双酚 A 双（2,3-二溴丙基）醚(TBBPA-DBPE)，化学文摘社登记号为 21850-44-2，可与二异丙苯一起作为挤塑聚苯乙烯的常用阻燃增效剂，与过氧化二异丙苯一起作为发泡聚苯乙烯的常用阻燃增效剂（如 Starflame/GC SAM），据报告，该物质的阻燃性能要比六溴环十二烷低 20-30%。

20. 十溴二苯乙烷和其他替代品看来已大规模取代了高抗冲聚苯乙烯和纺织品中的六溴环十二烷，在维持价格不变的情况下取得了更高功效。

健康和环境影响

21. 按照《公约》要求促进使用替代品的目的是保护人类健康和环境。因此，应避免使用其他危险化学品代替持久性有机污染物，而应选择更安全的替代品(UNEP/POPS/POPRC.5/10/Add.1)。

22. 根据化学品安全说明书中的信息和行业危险评估的结果，聚合阻燃剂可能具备持久性，但不具有生物累积性或毒性。然而，目前尚未就其特性开展任何独立审查，也无法获取 1,1'-（1-甲基亚乙基）双[3,5-二溴-4-（2,3-二溴-2-甲基丙氧基）苯]（化学文摘社登记号：97416-84-7）的健康、安全及环境信息。第三种基于 TBBPA-DBPE（化学文摘社登记号：21850-44-2）的化学替代品具有较低毒性且不会发生生物累积。但该物质可能具有致癌潜力，并且尚未彻底研究其持久性。室内灰尘中也发现了该物质。

参考文献

- Ali N, Harrad S, Goosey E, Neels H, Covaci, A. (2011) "Novel" brominated flame retardants in Belgian and UK indoor dust: Implications for human exposure. *Chemosphere* 83 (2011) 1360–1365.
- Brown, T. N. and Wania, F. (2008) Screening chemicals for the potential to be persistent organic pollutants: a case study of arctic contaminants. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 5202-5209.
- Danish EPA (2007) Danish Environmental Protection Agency. Health and Environmental Assessment of Alternatives to Deca-BDE in Electrical and Electronic Equipment, 170 p. <http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2007/978-87-7052-351-6/pdf/978-87-7052-352-3.pdf>
- ECB, 2006. European Chemicals Bureau. European Union Risk Assessment Report. TBBP-A. CAS No: 79-94-7. EINECS No: 201-236-9. Office for Official Publications of the European Communities.
- Environment Agency for England and Wales (2007) Environmental Risk Evaluation Report: 1'1-(Ethane-1,2-diyl)bis[penta-bromobenzene] CAS No: 84852-53-90. Published by Environment for England and Wales Agency. 126 p. <http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/SCHO0507BMOR-E-E.pdf>
- Environment Canada, Health Canada (2008). Screening Assessment for the Challenge Phenol, 4,4' - (1-methylethylidene)bis-(Bisphenol A), Chemical Abstracts Service Registry Number 80-05-7. 111 p. <http://www.ec.gc.ca/ese-ees/default.asp?lang=En&n=3C756383-1>
- Environment Canada 2010. Ecological State of the Science Report on Decabromodiphenyl Ether (decaBDE) Bioaccumulation and Transformation. 155 p. <http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=B901A9EB>
- European Commission 2002. Risk Assessment Report Volume 17 Bis(Pentabromophenyl)Ether CAS No: 1163-19-5 Eines No: 214-604-9 Luxembourg Office for Official Publications of the European Communities. 294 p. http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/existing-chemicals/risk_assessment/REPORT/decabromodiphenyletherreport013.pdf
- Egloff C, Crump D, Chiu S, Manning G, McLaren KK, Cassone CG, Letcher RJ, Gauthier LT, Kennedy SW (2011) In vitro and in ovo effects of four brominated flame retardants on toxicity and hepatic mRNA expression in chicken embryos, *Toxicol Lett* 207:25-33.
- Fisk PR, Girling AE, Wildey RJ (2003). Prioritisation of flame retardants for environmental risk assessment. Environment Science Agency. http://www.ec.europa.eu/environment/waste/stakeholders/industry_assoc/ebfrip/annex2.pdf
- Guerra P, Alae M, Jimenez B, Pacepavicius G, Marvin C, MacInnis G, Eljarrat E, Barcelo D, Champoux L, Fernie K (2012) Emerging and historical brominated flame retardants in peregrine falcon (*Falco Peregrinus*) eggs from Canada and Spain, *Environ Int* 40:179-186.
- He JM, Luo XJ, Chen MY, Sun YX, Chen SJ, Mai BX (2012) Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers and decabromodiphenyl ethane in fish from a river system in a highly industrialized area, South China, *Sci Total Environ* 419:109-115.
- JRC 2011. Discussion on "Hazardous Substances" Criterion Investigation of Request for Derogation. Draft working document. <http://susproc.jrc.ec.europa.eu/imaging-equipment/docs/Ecolabel%20Criterion%20Derogations%20Hazardous%20Substances.pdf>
- Karlsson, M., Julander, A., van Bavel, B., Hardell, L. (2007) Levels of brominated flame retardants in blood in relation to levels in household air and dust. *Environ. Int.*, 33, 62-69.
- KLIF Norwegian Pollution Control Authority 2009. Current State of Knowledge and Monitoring requirements for emerging "new" brominated flame retardants in flame retarded products and the Environment. 114 p. <http://www.klif.no/publikasjoner/2462/ta2462.pdf>
- La Guardia MJ, Hale RC, Harvey E, Mainor TM, Ciparis S (2012) In situ accumulation of HBCD, PBDEs, and several alternative flame retardants in the bivalve (*Corbicula fluminea*) and gastropod (*Elimia proxima*), *Environ Sci Technol* 46:5798-5805.
- Law K, Halldorson T, Danell R, Stern G, Gewurtz S, Alae M, Marvin C, Whittle M, Tomy G (2006) Bioaccumulation and trophic transfer of some brominated flame retardants in a Lake Winnipeg (Canada) food web, *Environ Toxicol Chem* 25:2177-2186.

- Leisewitz, A., H. Kruse and E. Schramm (2000). German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Substituting Environmentally Relevant Flame Retardants: Assessment Fundamentals. Research report 204 08 642 or 207 44 542.
- Luo XJ, Zhang XL, Liu J, Wu JP, Luo Y, Chen SJ, Mai BX, Yang ZY (2009) Persistent halogenated compounds in waterbirds from an e-waste recycling region in South China, *Environ Sci Technol* 43:306-311.
- Meeker JD, Stapleton HM (2010) House dust concentrations of organophosphate flame retardants in relation to hormone levels and semen quality parameters, *Environ Health Perspect* 118:318-323.
- Nakari T, Huhtala S (2010) In vivo and in vitro toxicity of decabromodiphenyl ethane, a flame retardant, *Environ Toxicol* 25:333-338.
- NCM 2011. Nordic Council of Ministers. Brominated Flame Retardants (BFR) in the Nordic Environment. TemaNord 2011:528. Copenhagen. 86 p.
<http://www.norden.org/sv/publikationer/publikationer/2011-528>
- NIEHS (2002). National Institute of Environmental Health Science, Tetrabromobisphenol A bis(2,3-dibromopropyl ether) [21850-44-2]. Review of the Toxicological Literature. November 2002. Available at http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/Chem_Background/ExSumPdf/TBBPA-BDPE.pdf
- OECD SIDS. DIPHENYL CRESYL PHOSPHATE CAS No: 26444-49-5.
<http://www.inchem.org/documents/sids/sids/26444495.pdf>
- Pakalin, S., Cole, T., Steinkellner, J., Nicolas, R., Tissier, C., Munn, C., and Eichenreich, S. (2007) Review on production processes of decabromodiphenyl ether (DecaBDE) used in polymeric applications in electrical and electronic equipment, and assessment of the availability of potential alternatives to DecaBDE). European Chemicals Bureau, Institute of Health and Consumer Protection, Joint Research Centre, European Commission. (EUR 22693 EN).
<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/5259/1/EUR%2022693.pdf>
- Stapleton, H.M., Allen, J.G., Kelly, S.M., Konstantinov, A., Klosterhaus, S., Watkins, D., McClean, M.d. and Webster, T.F. (2008) Alternate and New Brominated Flame Retardants Detected in U.S. house dust. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 6910-6916.
- US EPA 2005, Environmental Profiles of Chemical Flame-Retardant Alternatives. Alternatives for Low-Density Polyurethane Foam. United States Environmental Protection Agency. 153 p.
<http://www.epa.gov/dfe/pubs/index.htm#ffr>
- US OSHA (1999). US Occupational Safety and Health Administration. Chemical Sampling Information, 19 January 1999. http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_274400.html
- Von der Recke R, Vetter W (2007) Synthesis and characterization of 2,3-dibromopropyl-2,4,6-tribromophenyl ether (DPTE) and structurally related compounds evidenced in seal blubber and brain, *Environ Sci Technol* 41:1590-1595.
- Washington State Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Chemical Action Plan: Final Plan, January 19, 2006 Department of Ecology Publication No. 05-07-048, Department of Health Publication No. 334-079 <http://www.ecy.wa.gov/biblio/0507048.html>
- Xiao, 2006. A perspective on the development of brominated flame retardants in China.
http://www.polymer.cn/html/industrynews/200612/15/_2007529102655763.htm
- Zheng J, Luo XJ, Yuan JG, Wang J, Wang YT, Chen SJ, Mai BX, Yang ZY (2011) Levels and sources of brominated flame retardants in human hair from urban, e-waste, and rural areas in South China, *Environ Pollut* 159:3706-3713.