



关于持久性有机污染物的  
斯德哥尔摩公约

Distr.: General  
8 November 2011

Chinese  
Original: English

---

持久性有机污染物审查委员会

第七次会议

2011年10月10-14日，日内瓦

持久性有机污染物审查委员会第七次会议工作报告

增编

六溴环十二烷风险管理评估

持久性有机污染物审查委员会在第七次会议上按照文件 UNEP/POPS/POPRC.7/5 载列的经修正的草案，通过了一份六溴环十二烷风险管理评估。风险管理评估案文载于本增编附件。案文未经正式编辑。

附件

# 六溴环十二烷

风险管理评估

2011年10月14日

## 目录

执行摘要.....	4
1.   导言.....	5
1.1 拟议物质的化学特性.....	5
1.2. 审查委员会关于附件 E 资料的结论.....	7
1.3. 数据来源.....	8
1.4. 各国际公约管辖下该化学品的现状.....	8
1.5. 各国或各区域采取的任何控制行动.....	8
2.   与风险管理评估有关的资料摘要.....	9
2.1. 查明可能的管制措施.....	10
2.2. 可能管制措施在实现风险降低目标方面的功效和效率.....	11
2.3. 替代（产品和工艺）的相关资料.....	14
2.3.1 发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯（EPS/XPS）.....	16
2.3.2 高抗冲聚苯乙烯塑料领域六溴环十二烷的替代物.....	20
2.3.3 纺织品背面涂层中六溴环十二烷的替代物.....	20
2.4. 关于实施可能的管制措施对社会的影响的资料摘要.....	21
2.4.1. 健康问题，包括公共健康、环境健康和职业健康.....	21
2.4.2 生物区系（生物多样性）.....	22
2.4.3 经济方面，包括生产者和消费者的成本和效益以及成本效益的分配.....	22
2.4.4 可持续发展方面的进展.....	24
2.5. 其他考虑因素.....	24
3.   信息综述.....	25
3.1 风险简介资料摘要.....	25
3.2 风险管理评估资料摘要.....	25
3.3 拟议风险管理措施.....	26
4.   结论声明.....	27
参考资料.....	28

## 执行摘要

1. 2008 年挪威提议将六溴环十二烷（HBCD；亦称 HBCDD）作为持久性有机污染物备选物质。2010 年，持久性有机污染物审查委员会第六次会议决定，由于六溴环十二烷在环境中具有长程飘移潜力，可能对人类健康和环境产生重大不利影响，因此有必要采取全球行动。联合国欧洲经济委员会《远距离越境空气污染公约》（远距离越境空气污染）执行机构审议了六溴环十二烷问题，以期符合持久性有机污染物议定书定义的关于持久性有机污染物的标准。
2. 中国、欧洲、日本和美国都生产六溴环十二烷。目前已知每年年生产量大约为 28,000 吨（中国为 9,000 至 15,000 吨，欧洲和美国为 13,426 吨）。现有资料显示，六溴环十二烷的使用量可能正在增加。市场上六溴环十二烷的主要使用者在欧洲和中国。
3. 六溴环十二烷作为阻燃添加剂，用以延缓车辆、建筑或物品使用期内以及材料贮存期间的着火现象并减缓随后的火势发展。六溴环十二烷的主要用途是阻燃性发泡及挤塑聚苯乙烯绝缘和建筑泡沫塑料，其他用途体现在纺织品应用、电气和电子器材（高抗冲聚苯乙烯/HIPS）中。在纺织品中，六溴环十二烷用于室内装潢和其他室内纺织品，包括汽车应用的背面涂层。总的来说，尚不清楚全球进出口的六溴环十二烷阻燃物品的数量。
4. 生产、制造、加工、运输、使用、处置、储存或密封过程中以及处置该物质或含有该物质的产品，都可能出现六溴环十二烷释放到环境中的情况。制成品使用，例如安装隔热板、使用阻燃纺织品或阻燃产品使用过程中风化和磨损的点源排放和扩散释放，都可能释放六溴环十二烷。几项研究表明，室内空气和房屋灰尘以及新旧车的车内灰尘中存在六溴环十二烷。含有六溴环十二烷的物质或产品的非受控燃烧和焚化，可能释放副产品多溴化二噁英和呋喃。
5. 现有评估预计，生产和使用期间环境中六溴环十二烷的排放量少于产品和废物的排放量。据估计，发泡及挤塑聚苯乙烯所造产品在安装使用过程中排放到室内空气中的六溴环十二烷数量很少，尽管消费者在使用含六溴环十二烷的产品过程中的估计排放量还远不能确定。
6. 含六溴环十二烷的材料造成的排放可能将对环境造成长期影响。绝大多数生产的六溴环十二烷都制成了各种产品，主要是建筑和建筑行业中使用的（挤塑及发泡）聚苯乙烯。尚未评估这些物品今后可能造成的排放。据称建筑领域聚苯乙烯泡沫塑料的使用期为 30-50 年。六溴环十二烷在隔热板和建筑、建筑物施工过程中的使用正在增加，发泡及挤塑聚苯乙烯导致的排放量今后可能会更大；尤其是从 2025 年左右起，因为越来越多的含六溴环十二烷阻燃发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的建筑物将要翻新或拆除。这种更替在全球不同地区将各不相同，持续时间从 10 到 50 年不等。
7. 含有六溴环十二烷的废物包括生产废料、隔热板、建筑物和装修废料，以及电子和电器产品、纺织品和运输设备等其他应用中产生的废料。尚不清楚含有六溴环十二烷的制成品在使用期结束后，在多大程度上进行填埋处理、焚化、留在环境中或者回收。形成市政废料的废物可能进行填埋处理或焚化。在发展中国家，含有六溴环十二烷及其他有毒物质的电器和电子器材的回收条件，通常会向环境产生相对较高的六溴环十二烷释放量，造成相对较高的现场污染和工人暴露。露天焚烧和垃圾场是含有六溴环十二烷的物品和电子废物的常见归宿。
8. 淘汰六溴环十二烷可包括阻燃剂替代品、树脂/材料替代品和产品再设计。市场上已经出现化学替代品，用以取代高抗冲聚苯乙烯和纺织品背面涂层中的六溴环十二烷。人们认为，当前非卤化的化学替代品可能更有利于环境和健康。目前市场上没有无需改造设备

的替代化学品适用于所有发泡/挤塑聚苯乙烯生产加工过程，不过 2012 年替代品应可以变得商业化。此外，不同利益攸关方通力合作，正在几个地区研发其他化学品，但聚苯乙烯泡沫塑料行业能逐步采用确定的替代品前仍需要一些时间。市场上还有几种商业化的替代材料，可将其作为阻燃发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的替代品。这些包括苯酚泡沫塑料、玻璃棉毡和岩棉毡、多孔玻璃、泡沫玻璃以及可能含岩棉、玻璃纤维、纤维素或聚胺脂泡沫塑料的松散充填物。一些国家用的另一种替代品是使用不含阻燃剂的发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯，同时采用其他建筑技术和热障。不过这个办法可能受到国家建筑规范的制约。

9. 拟议的控制措施是将六溴环十二烷列入《公约》。为了准许六溴环十二烷的某些具有时限的关键用途，可以对六溴环十二烷在发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯中的用途予以特定豁免，并说明生产条件和此类用途的条件。在逐步采用无需改造设备的化学替代品时，这种名单将有效地结束六溴环十二烷在高排放性纺织品应用和在高抗冲聚苯乙烯中以及在发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯中作为阻燃剂的用途。高抗冲聚苯乙烯存在广泛的替代品。

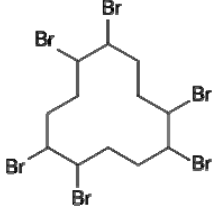
## 1. 引言

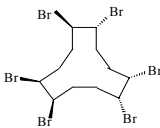
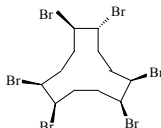
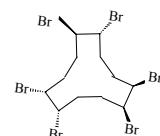
10. 2008 年 6 月 18 日，挪威作为《斯德哥尔摩公约》缔约方呈递了将溴化阻燃剂六溴环十二烷（HBCD；又称“HBCDD”）列入《公约》附件 A 可能持久性有机污染物的提案（UNEP/POPS/POPRC.5/INF/16）。

### 1.1 拟议物质的化学特性

11. 六溴环十二烷是一种白色的固体物质。生产商和进口商以两种不同名称提供了该物质的资料：六溴环十二烷（化学文摘社编号 25637-99-4，欧共体编号 247-148-4）和 1,2,5,6,9,10-六溴环十二烷（化学文摘社编号 3194-55-6，欧共体编号 221-695-9）。六溴环十二烷在两种名称下提名。六溴环十二烷的化学结构式为带有 Br 原子的环状结构（见表 1）。该化合物的分子式为  $C_{12}H_{18}Br_6$ ，其分子量为 641 克/摩尔。视制造商和所采用的生产方法而定，商品六溴环十二烷由 70-95% 的  $\gamma$ -六溴环十二烷和 3-30% 的  $\alpha$ -和  $\beta$ -六溴环十二烷组成（欧洲联盟委员会，2008 年；北欧部长理事会（NCM），2008 年）。这些立体异构体每种都有各自特定的化学文摘社编号，即： $\alpha$ -六溴环十二烷，化学文摘社编号：134237-50-6； $\beta$ -六溴环十二烷，化学文摘社编号：134237-51-7； $\gamma$ -六溴环十二烷，化学文摘社编号：134237-52-8。表 2 列出了关于六溴环十二烷化学特性的其他信息，还可在《关于六溴环十二烷的风险简介》（UNEP/POPS/POPRC.6/INF/25）中的补充资料中找到更多信息。

表 1：关于六溴环十二烷化学特性的信息

化学结构	
<p>六溴环十二烷的化学结构式<sup>1</sup>：</p> <p><sup>1</sup> 1,2,5,6,9,10-六溴环十二烷的化学结构式，即：化学文摘社编号 3194-55-6。值得注意的是，该物质也采用化学文摘社编号 25637-99-4，尽管从化学角度看是不正确的，因为该编号没有指明溴原子的位置。作为附加信息，下文给出了构成 1,2,5,6,9,10-六溴环十二烷的非对映异构体的结构和化学文摘</p>	

<p>社编号，尽管这些非对映异构体在技术产品中总是以混合物形式出现。</p>			
<p><b>市售六溴环十二烷的手性成分</b></p>	 <p><math>\alpha</math>-六溴环十二烷， 化学文摘社编号： 134237-50-6</p>	 <p><math>\beta</math>-六溴环十二烷 化学文摘社编号： 134237-51-7</p>	 <p><math>\gamma</math>-六溴环十二烷 化学文摘社编号： 134237-52-8</p>

**表 2：化学特性**

<p><b>化学特性</b></p>	
<p><b>化学名称：</b></p>	<p>六溴环十二烷和 1,2,5,6,9,10-六溴环十二烷</p>
<p><b>欧共体编号：</b></p>	<p>247-148-4； 221-695-9</p>
<p><b>化学文摘社编号：</b></p>	<p>25637-99-4； 3194-55-6</p>
<p><b>国际理论化学与应用化学联盟名称：</b></p>	<p>六溴环十二烷</p>
<p><b>分子式：</b></p>	<p><math>C_{12}H_{18}Br_6</math></p>
<p><b>分子量：</b></p>	<p>641.7</p>
<p><b>商品名称/别名：</b></p>	<p>Cyclododecane（十二烷），hexabromo（六溴环）；HBCD；Bromkal 73-6CD；Nikkafainon CG 1；Pyroguard F 800；Pyroguard SR 103；Pyroguard SR 103A；Pyrovatex 3887；Great Lakes CD-75P™；Great Lakes CD-75；Great Lakes CD75XF；Great Lakes CD75PC（压缩）；死海溴品有限公司 Ground FR 1206 I-LM；死海溴品有限公司 FR 1206 I-LM；死海溴品有限公司 Compacted FR 1206 I-CM。</p>
<p><b>立体异构体及商业产品的纯度：</b></p>	<p>视生产商而定，由于生产方法不同，技术级六溴环十二烷由大约 70-95%的 <math>\gamma</math>-六溴环十二烷和 3-30%的 <math>\alpha</math>-和 <math>\beta</math>-六溴环十二烷组成（欧洲联盟委员会，2008 年）。这些立体异构体每种都有特定的化学文摘社编号。Heeb 等人（2005 年）还在市售六溴环十二烷中发现了另外两种立体异构体 <math>\delta</math>-六溴环十二烷和 <math>\epsilon</math>-六溴环十二烷，浓度分别为 0.5%和 0.3%。此类杂质目前被视为非手性杂质。根据同一个作者，1,2,5,6,9,10-六溴环十二烷具有六个立体基因中心，因此理论上可以形成 16 种立体异构体。</p>

12. 六溴环十二烷自 1960 年代底开始投入全球市场。据报道中国、欧洲、日本和美国都生产六溴环十二烷。目前已知每年年生产量大约为 28,000 吨（中国：2010 年为 9,000 至 10,000 吨；2009 年欧洲和美国溴科学与环境论坛成员公司的生产量为 13,426 吨）。没有日本的生产数据。也没有收到其他国家的任何生产数据。

13. 根据缔约方和观察员的回应，欧洲和中国目前似乎是六溴环十二烷的主要消费者和使用者。根据 2001 年行业报告的全球需求量，欧洲的使用量超过市场总量的一半（总量为 16,500 吨，欧洲占 9,500 吨）。截至 2002 年，全球六溴环十二烷总需求量增长了 28% 以上，达到 21,447 吨，2003 年又略增至 21,951 吨（溴科学与环境论坛，2006 年）。据报道，美国 2006 年六溴环十二烷生产和进口总量介于 4,540 吨到 22,900 吨之间（美国环保局，2010 年）。2006 年欧盟的六溴环十二烷使用总量估计为 11,580 吨左右。欧盟内部的六溴环十二烷需求量大于生产量，预计 2006 年欧盟的净进口量约为 6,000 吨（欧洲化学品管理局，2009 年）。日本当局已经报告其 2008 年和 2009 年国内六溴环十二烷的生产和进口总量分别为 2,844 吨和 2,613 吨。若干其他国家当局报告了以纯化合物或产品形式进口六溴环十二烷的情况；加拿大（100-1,000 吨），澳大利亚（<100 吨），波兰（每年从中国进口 500 吨），以及乌克兰（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。当前资料表明，六溴环十二烷的使用量可能正在增加（欧洲化学品管理局，2009 年，UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。

14. 六溴环十二烷作为产品中的阻燃添加剂，用以延缓车辆、建筑或物品使用期内以及材料贮存期间的着火现象并减缓随后的火势发展（溴科学与环境论坛，2010 年，见 UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 的概述）。六溴环十二烷在全球的主要用途是阻燃剂发泡聚苯乙烯<sup>1</sup>及挤塑聚苯乙烯<sup>2</sup>绝缘泡沫塑料（欧洲的六溴环十二烷使用量占 95% 以上），在纺织品应用<sup>3</sup>、电气和电子器材（高抗冲聚苯乙烯/ HIPS）<sup>4</sup>中的使用量较小（溴科学与环境论坛，2011 年，UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 及其参考资料，例如，欧洲化学品管理局，2009 年；经合组织，2007 年；国家生态研究所，2004 年；罗威尔可持续生产中心，2006 年；溴科学与环境论坛，2010 年）。利用《最新清单报告规则》数据，美国环保局发现在美国六溴环十二烷商用和消费量中仅有不到 1% 用于织品、纺织品和服饰（美国环保局，2010 年）。六溴环十二烷用于家居装潢和其他室内织品的纺织品背面涂层，包括运输设备应用方面（日本，2011 年，罗威尔可持续生产中心，2006 年）。瑞典化学品管理局（2006 年）和 UNEP/POPS/POPRC.6/13/ Add.2 号文件还报道了一些其他较小的用途。

15. 根据缔约方、观察者和欧洲化学品管理局（2009 年）给出的答复，阻燃产品领域进出口的六溴环十二烷总量总体上还不清楚。聚苯乙烯泡沫塑料材料通常贴近当地市场，大部分生产主要用于当地消费，而非出口（SWEREA 2010 年，溴科学与环境论坛，2011 年）。

## 1.2. 审查委员会关于附件 E 资料的结论

16. 2010 年 10 月，持久性有机污染物审查委员会第六次会议根据附件 E（UNEP/POPS/POPRC.6/13）评估了六溴环十二烷风险简介草案并通过了该文件（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。持久性有机污染物审查委员会决定，“六溴环十二烷是一种人造物质，不含任何已知天然成分，在许多国家持续使用，包括包含在进口物品和产品中。在所有被调查的区域中，即欧洲和亚洲（日本），六溴环十二烷在环境中的排放量持续上升。六溴环十二烷在环境中具有持久性，在鱼类、鸟类和哺乳动物中有生物积累和生物放大作用。在源区域和偏远区域生物群中测得的含量水平，包括在鸟类和哺乳类等

<sup>1</sup> 0.5-0.7% 六溴环十二烷 w/w（加拿大，欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会呈件，2011 年）。

<sup>2</sup> 0.8-2.5% 六溴环十二烷 w/w（欧洲溴化阻燃剂工业小组，2005 年，挤塑聚苯乙烯泡沫塑料协会和氯化石蜡工业协会、欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会呈件，2011 年）。

<sup>3</sup> 10-25% 六溴环十二烷 w/w（欧洲联盟委员会，2008 年）。

<sup>4</sup> 1-7% 六溴环十二烷 w/w（欧洲化学品管理局，2009 年）。

高营养级生物群中的含量水平，会对人类健康和环境造成重大影响。因此，得出以下结论：六溴环十二烷在发生远距离环境迁移后可能会对人类健康和环境造成重大不利影响，因此需要采取全球行动。”委员会还决定设立一个特设工作组，以便根据《公约》附件 F 编制包括可能的六溴环十二烷管制措施分析在内的风险管理评估文件。

### 1.3. 数据来源

17. 利用缔约方和观察者提交的附件 F 资料编制了本风险管理评估，其中包括使用和生产六溴环十二烷的产业。

18. 十六个缔约方和国家观察员已经呈递了资料（巴西、布隆迪、加拿大、中国、哥伦比亚、哥斯达黎加、捷克共和国、厄瓜多尔、芬兰、德国、日本、尼日利亚、挪威、毛里求斯、罗马尼亚和瑞典）。五名非政府观察员呈递了资料——溴科学与环境论坛、欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会、巴西环境所、挤塑聚苯乙烯泡沫塑料协会和加拿大塑料工业协会和国际消除持久性有机污染物联盟。所有呈文都在《公约》网站上发布。

### 1.4. 各国际公约管辖下该化学品的现状

19. 六溴环十二烷作为一种溴化阻燃剂被列入《保护东北大西洋海洋环境公约》（《奥斯巴公约》）优先管制物质清单。《奥斯巴公约》由十五个缔约方政府和欧洲联盟委员会的代表组成。赫尔辛基委员会（赫尔辛基波罗的海海洋环境保护委员会）还将六溴环十二烷列入特别有害物质清单。

20. 2009 年 12 月，联合国欧洲经济委员会《远距离越境空气污染公约》（LRTAP）执行机构在技术审查（ECE/EB.AIR/WG.5/2009/7）的基础上进行审议，认为六溴环十二烷满足持久性有机污染物议定书中规定的持久性有机污染物标准。2010 年，对可能的六溴环十二烷管理方案做了评估，以便为今后的磋商提供依据。预计 2011 年 12 月将开始进行谈判。

### 1.5. 各国或各区域采取的任何控制行动

21. 欧盟已将六溴环十二烷确定为满足欧盟化学品注册、评估和许可条例第 57 条（d）款规定之 PBT（持久性、生物积累性和毒性）物质标准的高度关注物质（SVHC）（欧洲化学品管理局，2008 年）。2011 年 2 月欧洲化学品管理局根据欧盟化学品注册、评估和许可条例的授权将六溴环十二烷列入物质清单。2015 年生效，未经授权不得再使用六溴环十二烷。为确保替代品可用期间的平稳过渡，聚苯乙烯行业将必须考虑请求欧盟化学品注册、评估和许可条例授权在聚苯乙烯中使用六溴环十二烷，以能够在 2015 年 8 月后继续在欧洲使用六溴环十二烷。目前正在欧盟内部讨论将六溴环十二烷归入生殖毒性物质的分类与标签提案（“统一分类与标签提案”，依据（欧洲联盟委员会）第 1272/2008 号《欧盟物质和混合物的分类、标签和包装法规》（CLP）附件六第二部分“物质名称：六溴环十二烷”第 2 版，2009 年 9 月）（瑞典化学品管理局，2009 年）。乌克兰已根据该物质的健康影响在有害化学品清单中登记备案。欧盟风险评价委员会认为，六溴环十二烷应被归类为怀疑损害生育力和胎儿物质（Repr 2; H361），而且该物质可能会危害母乳喂养的幼儿（Lact. H362）（风险评估委员会，2010 年）。欧盟将六溴环十二烷归为 N:R50/53 类危害环境物质，“对水生生物极具毒性，可能对水生环境造成长期不利影响”。

22. 欧盟《关于报废电子电气设备指令》（2002/96/EC）要求回收和再利用前清除含溴化阻燃剂的塑料和电气电子设备的印刷电路板。



23. 欧盟《建筑产品指令》（第 89/106/EEC 号理事会指令）规定，卫生、健康与环境是须遵守产品标准的领域，同时还做出了其他要求；机械应力及稳定性，火灾时的安全要求，使用安全，噪音防护，能源经济及保温，见《指令》附件 1。这个基本要求承认危险物质国家条例，危险物质指的是建筑产品可能释放或排放到室内空气、土壤、地表或地下水抑或可能造成环境影响的危险物质。该指令适用于建筑物内安装的产品设备，而不是六溴环十二烷生产、拆除或处置阶段。似乎应在产品标准方面考虑将六溴环十二烷列入管制危险物质提示性清单（[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/documents/legislation/cpd/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/documents/legislation/cpd/index_en.htm)）。
24. 乌克兰将六溴环十二烷列入保健部危险因素国家登记册，其中载有乌克兰境内工业目前使用的化学品清单。现有六溴环十二烷注册办法在 2014 年前有效。国家卫生条例委员会负责实施国家化学品风险评估措施和相应的卫生条例。
25. 根据《化学物质及其制造管理评估法》等（通常称为《化学物质管制法》），由于六溴环十二烷的持久性和高生物积累性，日本将六溴环十二烷标为监测性化学物质。2010 年 9 月，日本卫生、劳动和福利部、经济贸易产业省和环境省要求经营生产或进口六溴环十二烷的个人进行鸟类繁殖测试（《经合组织测试准则》206），并根据《化学物质管制法》在 2012 年 3 月底前报告测试结果。
26. 在美国，环保局希望根据《有毒物质管制法》第 5(a)(2)条提出重大新用途规则，以便在消费纺织品中使用六溴环十二烷。正在制定的规则预计会用于机动车辆的纺织品排除在外，而此种纺织品正是美国当前的一种消费者用途。规则还要求人们在生产、进口或加工某些消费纺织品的六溴环十二烷之前 90 天通知环保局，使环保局能够评估预定用途，并视需要在行动前禁止或限制该活动。
27. 挪威环境部目前正在审议六溴环十二烷国家禁令提案（挪威，2011 年）。
28. 加拿大目前正在进行六溴环十二烷风险评估，并将在 2011 年评估结束时考虑采取管制措施。

## 2. 与风险管理评估有关的资料摘要

29. 生产、制造、加工、运输、使用、处置、储存或密封过程中以及处置该物质或含有该物质的产品过程，都可能出现六溴环十二烷释放到环境中的情况。制成品使用期间造成的点源排放或扩散释放，都可能释放六溴环十二烷。含有六溴环十二烷的物质或产品失火、燃烧和焚化，可能释放副产品多溴化二噁英和呋喃。释放取决于燃烧的环境状况，在最先进的焚化炉中释放量很小，不过这种条件并非哪里都具备。
30. 欧盟风险评估（欧洲联盟委员会，2008 年）估计，已知同产品和废物造成的排放相比，生产和使用过程中六溴环十二烷的环境释放量很小，仅占欧盟六溴环十二烷生产和进口总量的 0.1%（总量为 8-9000 吨，其中释放量为 8.7 吨）。不过人们对这种排放造成的一些环境分枝表示担忧。根据欧盟风险评估的提供的数据，99.9% 六溴环十二烷的生产/进口量制成了物品，主要用于建设和建筑领域所使用的聚苯乙烯（挤塑聚苯乙烯和发泡聚苯乙烯），在这些领域这些产品通常具有漫长的使用期。尚未评估这些建筑物今后造成的可能排放（例如，修葺或拆除老旧房舍、道路、铁路和其他建筑物时）。风险评估报告承认，今后可能排放，但没有评估今后排放的方法。该报告还得出结论指出，服务器结束时的排放可能高于生产/制造阶段的排放，除非回收利用所有使用的聚苯乙烯建筑材料，因此风险评估可能严重低估了在具有漫长使用期的物品中使用六溴环十二烷附带的长期危险。
31. 产品会释放六溴环十二烷（欧洲联盟委员会，2008 年；Miyake 等人，2009 年；Kajiwara 等人，2009 年），但与消费者使用产品过程中释放有关的估计数字还远不能确定

（欧洲化学品管理局，2009年）。纺织品中使用六溴环十二烷作为阻燃添加剂可能导致清洗纺织品过程中污染地表水。此外，还可预见使用过程中织品的磨损也会排放六溴环十二烷（欧洲联盟委员会，2008年）。据估计，由发泡聚苯乙烯或挤出聚苯乙烯制成的产品在使用期内向室内空气释放的六溴环十二烷估计极低（欧洲化学品管理局，2009年），但在建筑物中安装隔板则意味着大量扩散排放（SWEREA，2010年；挪威气候与污染管理局，2011年 a；欧洲化学品管理局，2008年）。几项研究显示，室内空气和房屋灰尘（Abdallah 等人，2008年 a 和 b；Abdallah，2009年；Goosey 等人，2008年；Stapleton 等人，2008年；Stuart 等人，2008年；Takigami 等人，2009年 a 和 b）以及新旧车车厢灰尘（Harrad 和 Abdallah，2011年）中存在六溴环十二烷。根据日本递交的呈件（2011年），汽车模型中并未使用六溴环十二烷织品。

32. 日本的物质流量分析还表明，建筑材料造成的排放还将持续数十年，可能成为长期向环境渗漏或挥发六溴环十二烷的污染源，将来拆毁或改建时还会造成更大的释放（Managaki 等人，2009年）。此外，研究中看到的六溴环十二烷存量不断增加，可能会在将来改建或拆毁现有建筑时引起建筑材料回收问题。瑞士的物质流量分析结果也支持这一观点（Morf 等人，2008年）。瑞士的研究也突出了废物管理和填埋场存量作为六溴环十二烷长期释放源的问题。但这些释放源的重要性取决于国家选用的废物管理战略，是对废物进行焚烧，还是非受控或受控填埋处置。

33. 废物处置造成的释放取决于处置方法。含有六溴环十二烷的产品在使用期结束后，可能进行填埋处理、焚化、回收或者就作为废物留在环境中（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。不过尚不清楚在多大程度上对含有六溴环十二烷的终端产品进行填埋处理、焚化、留在环境中或者回收。形成市政废料中的废物可能进行填埋处理或焚化（欧洲联盟委员会，2008年）。含有六溴环十二烷的固体废物可能是加工处理过程中产生的废料、制成品老化和磨损以及试用期结束时产品处置所释放的微粒状物质。填埋场中的产品和材料将风化，主要向土壤、少部分向水和空气中释放六溴环十二烷微粒状物质（欧洲化学品管理局，2009年；加拿大环境部，2010年 b）。焚化过程中还可能形成其他副产品（见下文）。

34. 隔热板是最主要的含六溴环十二烷的废物。聚苯乙烯泡沫塑料的寿命据称为 30-50 年（欧洲化学品管理局，2009年；欧洲塑料工业协会，2009年；SWEREA，2010年）。据了解，该材料大多将用于填埋或焚化处理，不过采用阻燃性隔热板的建筑拆毁后，灰尘中会有一些六溴环十二烷释放量。六溴环十二烷在隔热板和建筑施工过程中的用量不断增加，今后废料中发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯造成的释放量可能会更大；尤其是从 2025 年左右起，因为越来越多的含六溴环十二烷的建筑物将要翻新或拆除。该更替期在全球的不同地区将各不相同，持续时间从 10 到 50 年不等。发泡聚苯乙烯行业在欧洲建筑用隔热市场总量中 35%（www.eumeps.org）。

## 2.1. 查明可能的管制措施

35. 《斯德哥尔摩公约》的目标是保护人类健康和环境免受持久性有机污染物的危害（第 1 条）。可通过将六溴环十二烷列入《公约》来实现这一目标，可能限定六溴环十二烷某些用途的条件。在评估管制措施时，应考虑生产和使用六溴环十二烷过程和含六溴环十二烷物品导致的释放，同时应考虑含六溴环十二烷的物品在使用期结束时废物管理导致的可能排放。

36. 淘汰六溴环十二烷可包括阻燃剂替代品、树脂/材料替代和产品再设计（罗威尔可持续性生产中心，2006年）。此外，再次评估不存在或已消除火险等领域应用中的防火安全

要求（例如地下应用，尽管建设期间或建设前材料储存期间也可能发生火灾），这将减少对阻燃隔热材料的需求。还可以减少使用六溴环十二烷或含有六溴环十二烷物品等过程以及废物处理阶段六溴环十二烷的排放量。

37. 在附件 F 过程中，缔约方和观察员查确定了许多六溴环十二烷的用途。对于高抗冲聚苯乙烯和阻燃性纺织品背面涂层的生产，已经有替代品，正为许多国家采用。一些地区正在阻燃性发泡聚苯乙烯生产领域使用替代六溴环十二烷的化学阻燃剂，但这些替代品并非适用于所有生产过程（见第 2.3.1 节）。然而已经广泛使用替代性隔热材料并采用其他建筑方法。这些用途和潜在替代品将在第 2.3 节中做进一步介绍。

38. 如果列明具体豁免或可接受的目的，可要求在生产和制造过程中采取减少排放措施并采用最佳可得技术和最佳环境做法，从而减少环境中六溴环十二烷的排放量。欧洲六溴环十二烷和聚苯乙烯生产商从 2006 年开始实施减少排放方案，旨在消除六溴环十二烷最重要用户的排放（自行控制使用量以减少排放和《自愿控制排放行动计划》）。绝大多数欧洲聚苯乙烯泡沫塑料行业实施了这些风险减少措施（欧洲溴化阻燃剂工业小组，2009 年 a），根据 2010 年自愿控制排放行动纲领进度报告，95%的打包废物是以最佳可得处置技术处理的（《自愿控制排放行动计划》，2011 年）。对会员公司的调查显示，在处置中采用最佳做法将潜在释放总量从 2008 年的 2,017 千克/年，减少到 2009 年的 309 千克/年和 2010 年的 560 千克/年（2010 年有所增加是由于发现并非所有用户都运行有通风系统，故而调查结果和可能排放量方面的结论有所调整）。日本窗帘和百叶窗行业还在漂染过程中发明了混凝-沉降方法，以减少水中六溴环十二烷的排放量（日本，2011 年）。

39. 一旦列入《公约》，还应根据第 6(1)(d)(ii)条引入废物管理措施，以确保以销毁其持久性有机污染物含量或有利于环境的方式（发泡聚苯乙烯、挤塑聚苯乙烯、高抗冲聚苯乙烯、纺织品）。例如，这要求在翻新或拆除建筑时查明含六溴环十二烷的物质，以便利销毁废物中的持久性有机污染物含量，防止导致持久性有机污染物含量回收再利用的其他不合理管理行为。

## 2.2. 可能管制措施在实现风险降低目标方面的功效和效率

40. 将六溴环十二烷列入《公约》将有效减少六溴环十二烷的排放。这要求引进替代建筑技术或隔热材料来实现建筑领域的防火安全，或者行业逐步采用替代物取代六溴环十二烷。在纺织品和高抗冲聚苯乙烯应用方面，市场上已经有替代品，尽管纺织品应用中仍在使用六溴环十二烷。

41. 根据 UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 号文件，含六溴环十二烷的产品使用期内都会发生六溴环十二烷释放。欧盟估计指出，生产和制造领域对环境中六溴环十二烷的释放量相对较少。根据欧洲化学品管理局，2008 年 a，隔热板生产和使用过程（消费量的 95%）与纺织品生产和使用过程（消费量的 2%）中产生的六溴环十二烷估计总释放量处于相同量级。安装和拆除聚苯乙烯泡沫塑料和打包废物过程中的扩散释放，也导致六溴环十二烷释放到环境中。在废物阶段，特别是发展中国家聚苯乙烯泡沫塑料和电子电器设备回收过程中的释放尤为重要。

42. 生产场所领域的控制排放和废物管理技术不足以解决六溴环十二烷正对环境和健康造成的问题，因为使用和机器加工含六溴环十二烷产品过程中的扩散排放和向储水和下水管道系统中的释放，以及变成废物过程中的释放值得高度关注。几项研究显示，住所、办公室和车辆灰尘中存在六溴环十二烷（Abdallah 等人，2008a 和 b；Abdallah 2009 年；Goosey 等人，2008 年；Stapleton 等人，2008 年；Stuart 等人，2008 年；Takigami 等人，2009 a 和 b）。

43. 含六溴环十二烷的回收产品，包括发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯板材，都是作为原生产品以同样方式排放的潜在释放源。根据瑞士物质流分析，回收的六溴环十二烷的比例高于含有其他溴化阻燃剂的物质，预计瑞士发泡聚苯乙烯隔热材料中使用的六溴环十二烷的回收比例由 2005 年的 30% 上升至 2010 年的 60%（Geopartner, 2007 年）。

44. 收回发泡聚苯乙烯过程中如果没有受到其他物质污染，通常就会将其回收。电子产品和车辆中金属或塑料回收再利用也是潜在污染源。欧盟关于废弃电器和电子设备的指令(2002/96/EC)要求在回收和再循环之前，从电气和电子设备中去除含有溴化阻燃剂的塑料和印刷线路板。但这仅仅涉及少量含有废物的六溴环十二烷。各国之间回收量不同，可能差距很大（欧盟 27 国估计 30% 的发泡聚苯乙烯（欧洲化学品管理局，2009 年））。欧洲现在已采用发泡聚苯乙烯回收利用办法，以经济有效的方式回收发泡聚苯乙烯。废物可磨碎与新的聚苯乙烯混合，用其生产新的泡沫塑料产品，或将其融化挤压制成精密的聚苯乙烯。可利用这个办法制造花盆、挂衣钩、木材替代品或硬度适中的聚苯乙烯等物品，以及可制成薄板或盘子等加热成型物品。例如，作为混合塑料废物的一部分，可将发泡聚苯乙烯回收，制成栅栏干和路标（欧洲发泡聚苯乙烯产品制造商，2011 年）。但是，在这些工序中，可能将六溴环十二烷扩散到物品中，正如持久性有机污染物审查委员会之前就回收含五溴二苯醚和十溴二苯醚产品做出的判定，这很难查明。还可将零散不完整的聚苯乙烯重新融化，再用于下水道和土壤治理。发泡聚苯乙烯颗粒废物还用于改善农业和园艺土壤的质地（UNEP/POPS/POPRC.6/10; Vogdt, 2009 年）。

45. 可将管制废物中含六溴环十二烷的物质进行分类，但这通常不具备技术可行性，因为没有技术设备，就无法查明含六溴环十二烷的物质或者这些物质与其他物质混合在一起。作为隔热材料的发泡聚苯乙烯估计使用寿命约为 30-50 年，由于将含六溴环十二烷的发泡聚苯乙烯从其他物质中分离出来困难重重，这可能阻碍收集和回收用过的发泡聚苯乙烯。在欧盟，2007 年含阻燃剂的发泡聚苯乙烯比例占聚苯乙烯需求总量的 60%，而含阻燃剂的挤塑聚苯乙烯比例占挤塑聚苯乙烯需求总量的 92%（欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会，2011 年）。利用将产品或产品部分进行标签分类的办法非常有助于在产品试用期结束时查明含六溴环十二烷的部分并将其分离出来（瑞典化学品管理局，2006 年）。涉及到的数量可能非常可观，特别是 1980 年代以来所使用的绝缘泡沫塑料领域。

46. 目前，欧盟同释放六溴环十二烷到废物中有关的最重要来源是六溴环十二烷阻燃剂纺织品和高抗冲聚苯乙烯（欧洲联盟委员会，2011 年）。在发展中国家，含有六溴环十二烷及其他有毒物质的电器和电子器材的回收条件通常会向环境产生相对较高的六溴环十二烷释放量，造成相对较高的现场污染（Zhang 等人，2009 年）和工人暴露（Tue 等人，2010 年）。露天焚烧和垃圾场是含有六溴环十二烷的物品和电子废物的常见归宿（Malarvannan 等人，2009 年；Polder 等人，2008 年）。

47. 在控制下焚烧是处置含有六溴环十二烷废物的一种途径（欧洲化学品管理局，2009 年；欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会，2011 年）。阻燃剂在分化场所流程中分解。在高温测试设备（>900°C）的一项混烧研究中，泡沫塑料增加物导致焚化炉中原料的溴含量飙升（最高达 6 倍），不过并未极大地影响原料气体的总体毒性或焚化炉的排放量。但是，额外的溴负荷几乎完全释放到原料气体中，而底灰中的含量保持稳定（欧洲塑料制造商协会）。实验证据确认，在某些条件下，焚化六溴环十二烷和含有六溴环十二烷的产品可能导致形成多溴代二苯并二噁英和多溴代二苯并呋喃，包括在最先进的市政固体废物焚烧设备中（欧洲塑料制造商协会；北欧部长理事会，2004 年）。混合溴化和氯化二恶英和呋喃的形成主要是通过从头合成方式，类似于多氯二苯并对二恶英/并呋喃的形成（Shuler 和 Jager, 2004 年）。不过，在最先进的焚化炉中，在超高温下可能销毁含有

六溴环十二烷的废物所形成的多溴代二苯并二噁英和多溴代二苯并呋喃，并通过烟气处理系统控制环境中的排放量。烟气处理系统的焚烧效率和操作条件对于导致的排放具有重要作用，可在受控燃烧条件下高效销毁二噁英（北欧部长理事会，2004年）和溴化阻燃剂（包括六溴环十二烷）（Weber和Kuch，2003年）。但是，失控燃烧和意外火灾、高温分解/气化厂以及焚化炉运作不灵都可能释放溴化副产品（Weber和Kuch，2003年；欧洲化学品管理局，2009年）。Desmet等人（2005年）还记录到，含六溴环十二烷的阻燃性发泡聚苯乙烯在燃烧过程中形成了溴苯酚，已知溴苯酚是可能形成多溴代二苯并二噁英和多溴代二苯并呋喃的先质。这项研究并没有调查研究溴化二噁英和呋喃的组成物，而是指出尽管没有进行测量，但溴苯酚极有可能形成各种溴化二噁英异构物。

48. 未来有望在有些国家里更广泛地采用一流的焚化技术，故而将含六溴环十二烷的物质从垃圾处理厂剔除出去。不过，目前垃圾填埋是废物处置最常用的方式，导致垃圾处理厂中含六溴环十二烷的废物增加。在日本，材料回收者和热能回收者在处置阶段将含有六溴环十二烷的废弃产品（例如发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯以及汽车粉碎残余物<sup>5</sup>）作为一种来源加以利用，以期推动可持续发展。

## 阻燃要求

49. 聚苯乙烯及其共聚物可在火温中解聚，导致释放含高燃料值碳氢化合物的挥发产品。材料的耐火性能还受填充物、涂料、层压材料、色素、染料和其他配合剂的影响。共聚物的易燃性主要通过材料遇到火灾时的内在特征即可燃性、易灭火性、火焰蔓延速度、热释放率和发烟来评估（Weil和Levchik，2009年）。因此，可能需要用阻燃剂处理本身易燃的材料，以符合各国针对具体用途条例规定的这类耐火性能标准。在国家立法中，一般以一般性条款和相对性条款对这些要求做出规定，其中并未要求使用特定的阻燃剂。国际标准化组织、欧洲标准化委员会和美国保险商实验室等标准化机构通常帮助拟定指定的核查标准（瑞典化学品管理局，2006年），以证明达到了要求。

50. 欧洲建筑产品和材料的防火分类系统并未规定建筑产品个别材料的要求，而是规定了成品预定用途过程中耐火性能的要求。但是，通常对无包装的绝缘材料的耐火性能有具体的国家规定，因为不一定非得预测真实火灾情形中材料的表现。

51. 因此，视材料应用和使用状况（例如建筑物中的楼层数量），欧盟各国间必需的阻燃剂也各有不同。以建筑物成分的性能为基础的标准在新的《欧盟建筑产品指令》中发挥着关键作用。还指出，以性能为基础的办法将促使以低成本方式改进防火安全（欧洲发泡聚苯乙烯产品制造商，2011年）。

52. 许多国家都根据建筑材料的耐火性制定了建筑物材料标准或针对地板、墙壁或天花板等建筑部分制定了耐火性能标准（SWEREA研究集团，2010a年；挪威气候与污染管理局，2011a；挪威气候与污染管理局，2011b）。奥地利、加拿大、中国、捷克共和国、丹麦、德国、匈牙利、冰岛、荷兰、斯洛伐克、斯洛文尼亚和瑞士的消防安全条例规定，必须在所有建筑应用中使用阻燃剂，不论其用途如何（德国、欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会，2011年）。此外，仓库中储存中的发泡聚苯乙烯也使用阻燃剂，目的是延缓着火并减缓随后的火势发展。意大利、葡萄牙和联合王国通常使用阻燃性聚苯乙烯泡沫塑料（溴科学与环境论坛，2011年）。联合王国没有阻止使用不含阻燃剂的发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯的正式条例，但根据联合王国塑料行业提供的数据，联合

<sup>5</sup> “汽车粉碎残余物”一系指在从拆除和粉碎车辆上回收金属和其他可再使用材料之后残余的物质。

王国市售的几乎所有的发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯都含有阻燃剂，因为保险业要求这样做。岩棉和玻璃棉等其他不易燃替代物质用于某些必须符合高标准消防安全要求的应用领域。芬兰、挪威和瑞典尽管未做出要求，但某些建筑应用领域可能使用了阻燃性聚苯乙烯泡沫塑料。瑞典和挪威对最终产品的性能做出规定，较之对料位做出更多具体防火要求的国家，这三个国家使用的溴化阻燃剂要少很多（挪威气候与污染管理局，2011年 a）。在瑞典和挪威，行业自发撤回了市场上含六溴环十二烷的产品，这或许是因为可利用其他建筑技术，即便是在发泡聚苯乙烯应用领域。

53. 在美国和加拿大，针对建筑行业所使用的绝缘材料有大量的法规和标准。国家、州、郡和市政一级均可能存在这些法规和标准（罗威尔可持续性生产中心，2006年）。各种建筑规范对建筑物材料最常见的一个要求是 ASTM E 84 性能隧道试验（Weil 和 Levchik，2009年）。根据 UL-94 标准，可将塑料分为五个防火等级。

54. 在澳大利亚，材料耐火性能方面的正式要求非常低，并不一定非得使用阻燃性发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯。不过看上去似乎使用发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯而非其他材料，那么就是自愿采用阻燃性材料（挪威气候与污染管理局，2011年 b）。

55. 阻燃性高抗冲聚苯乙烯方面的要求取决于应用。电视机生产可能是高抗冲聚苯乙烯的最大应用领域，在美国这要求执行比 UL-94 V-0 分级，这个要求比欧洲要求更为严格。要符合 UL-94 V-0 要求，含有的阻燃剂和氧化铋须大约为 10%W/W。高抗冲聚苯乙烯通常在 220-230°C 条件下加工处理。普通级的六溴环十二烷在这些温度下不够稳定，因而青睐热量更稳定的溴化合物。不过，市面上有用于高温用途的稳定版六溴环十二烷（Weil 和 Levchik，2009年）。

56. 纺织品阻燃要求主要是在工作服、公共机构的内饰、公共机构及商用地毯、运输工具、军服和寝具领域。联合王国（BS 5852 标准）和加利福尼亚州（美国）都有软体家具易燃性法规。2007年7月1日起联邦关于生产或进口床垫的明火测试要求开始生效。尚不清楚六溴环十二烷是否适用于这个范畴，因为通过这个要求有许多替代办法，包括利用条纹棉布下的各种隔绝层（Weil 和 Levchik，2009年）。

57. 挪威气候与污染管理局（2011年 a 和 b）更详细地探讨了消防安全条例。

### 2.3. 替代（产品和工艺）的相关资料

58. 持久性有机污染物审查委员会得出结论，六溴环十二烷的远距离环境迁移后，可能会对人类健康和环境造成重大不利影响因此需要采取全球行动（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。要减少对人类健康和环境造成的影响，必须将各种应用中六溴环十二烷的使用量降至最低。任何六溴环十二烷风险降低战略都应当以减少或消除六溴环十二烷的释放和排放量为目标或目的，同时考虑到附件 F 的指示清单，包括可能的控制措施和替代品的技术可行性以及这些物质及其持续生产和使用的风险和收益。在审议任何降低此类风险的战略时，都必须审议替代品在所涉部门的可用性。在这方面，使用其他化学品或非化学替代品来取代六溴环十二烷必须考虑以下因素：

- 技术可行性（应用目前已有的或今后有望开发出的替代技术的可行性）
- 成本，包括环境成本和健康成本
- 风险（替代品的安全性）
- 替代品在所涉部门的可用性和可得性

59. 根据缔约方和观察员递交的呈件，目前由于一些国家的具体消防安全要求，绝缘物，具体指阻燃性绝缘材料需符合能效要求。但是，安全要求并未认定必须使用的任何具体阻燃剂物质或阻燃剂物质组合，制造商必须做出这个选择。

60. 对于使用了六溴环十二烷的多数应用来说、技术上可行的替代品已经商业化，针对一站式的发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯生产目前短期内存在无需改造设备的化学替代品。替代品包括阻燃剂替代、树脂/材料替代和产品再设计。其中几个替代品不含卤素，随后的评估认为这是更有利于环境和健康的替代品（欧洲化学品管理局，2009年；SWEREA 研究集团，2010年；挪威气候与污染管理局，2010年）（表3）。但是，这些替代品也可能意味着需考虑到其他风险，例如其他有害物质或灰尘（罗威尔可持续性生产中心，2006年；挪威气候与污染管理局，2011年c）。

61. 研究化学替代品时还应将添加剂阻燃剂和受共价制约、较少释放到环境中的那些化学品区分开来。此外，还应考虑树脂/材料本身的易燃性，并且应把非易燃性绝缘材料作为替代建筑技术。

62. 以下给出了不同战略以及六溴环十二烷替代品的可用性和可得性的讨论结果，同时概述了技术上可行和市场上可买到的替代品（表3）所有国家均禁止其中一些替代品，例如十溴二苯醚。进一步信息还可查阅丹麦环境保护局（2010年）、SWEREA 研究集团（2010年）、挪威气候与污染管理局（2011年a）和挪威气候与污染管理局（2011年b）。

**表 3.** 使用六溴环十二烷的技术可行性和商业替代品总表（依据 SWEREA 研究集团，2010年和附件 F 呈件）。

物质	应用	化学替代品	替代材料和产品再设计技术
发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯	地基、墙壁和天花板的隔热。 地面平台、停车平台等。	目前所有生产过程和地区在市场上没有无需改造设备的替代化学品  两道工序的发泡聚苯乙烯生产过程可不使用六溴环十二烷而是利用另一种阻燃剂。	不含阻燃剂而是利用热障发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯。  聚异氰脲酯泡沫塑料，包括改进的聚氨基甲酸酯泡沫塑料。 苯酚泡沫塑料。  可能含有岩棉、玻璃纤维、纤维素或聚胺脂泡沫塑料的（纤维棉毡或纤维卷）毯子。  多孔玻璃、泡沫玻璃。  聚酯棉胎。  可能含有岩棉、玻璃纤维、纤维素或聚胺脂泡沫塑料的疏松充填物。  反射性隔热系统。

物质	应用	化学替代品	替代材料和产品再设计技术
高抗冲聚苯乙烯	电子产品的外壳。 电线部分。	十溴二苯醚。 三(三溴新戊基)磷酸酯/三氧化铋 四溴双酚 A 双醚-二溴丙基醚/三氧化铋。 2,4,6-三(2,4,6-三溴苯氧基)-1,3,5 三嗪/三氧化铋 乙烷-1,2-双(五溴苯基)/三氧化铋。  双乙(四溴邻苯二甲酰亚胺)/三氧化铋	利用含阻燃剂的磷加工成的聚苯醚/高抗冲聚苯乙烯或聚碳酸酯/丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物
纺织品背面涂层	防护服。 地毯。 窗帘。 装饰性织品。 帐篷。 公共交通工具(如汽车、火车、飞机等)内部装潢。 其他工艺纺织品。	十溴二苯醚，十溴二苯基乙烷，乙撑双四溴邻苯二甲酰亚胺，氯化石蜡，聚磷酸铵	本身不易燃的材料：羊毛。  本身具有阻燃性的纤维：人造纤维、聚酯纤维、芳族聚酰胺和其他合成纤维织物。  含聚磷酸铵的其他纺织品。  具有膨胀体系的纺织品。

### 2.3.1 发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯 (EPS/XPS)

63. 六溴环十二烷最广泛应用于聚苯乙烯绝缘泡沫塑料生产。可利用其他阻燃剂、绝缘材料或不含阻燃剂但达到同等防火安全水平的建筑技术淘汰发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯中使用的六溴环十二烷。

64. 在没有火灾隐患的地方，首先要考虑避免使用六溴环十二烷和其他阻燃剂。这些用途包括在两面不易燃墙面，例如石头或混凝土之间以及建筑物地基和土壤之间安装绝缘材料。可由终端产品制造商进行这些设计调整（罗威尔可持续性生产中心，2006 年；挪威气候与污染管理局，2011 年 c）。并按照建筑法规要求进行营销。此外，阻燃剂发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯可用于其他地下应用，例如地面防霜以及承重能力差的基土上建造道路/铁路/桥梁。当今此类用途见诸于欧盟、斯堪的纳维亚、美国、加拿大、日本、泰国和牙买加（欧共体，2011 年；发泡聚苯乙烯，2011 年）。2004 年，挪威停止使用阻燃剂发泡聚苯乙烯次甲基二愈创木酚，此后再也没有出现过偶发性发泡聚苯乙烯火灾(Aabye 和 Frydenlund, 2011 年)。由于在建筑工地进行了监测，建造了围栏并谨慎使用切割和电焊设备，确保了防火安全。

#### 发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯应用领域无需改造设备就可代替六溴环十二烷的化学替代品

65. 根据附件 F 资料，在挤塑聚苯乙烯生产和绝大多数常见的“一步式”发泡聚苯乙烯生产过程中（目前欧洲和北美大部至少都采用这种办法），在商业性或技术可行性上没有无需改造设备就可替代六溴环十二烷作为阻燃剂的化学替代品。2011 年 3 月，有人宣布发现了用于发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的六溴环十二烷的一种替代品(Emerald 3000)。在“一步



式”生产过程中，在聚合前将所有添加剂在苯乙烯溶液中混合。在其他“两步式”加工过程中，第一步是在没有阻燃剂添加剂和戊烷的情况下将熔珠聚合，第二步则是加入可能的阻燃剂和戊烷。在“两步式”加工过程中，阻燃剂须能够渗入做好的熔珠中。聚合后只有少量六溴环十二烷渗入熔珠中，因此必须使用其他阻燃剂。

66. 全欧洲和北美大部分聚苯乙烯生产商都采用“一步式”加工过程，在这个过程中目前市面上没有能够替代六溴环十二烷且符合技术（泡沫塑料特征、环境概貌）和性能标准（即测试中延缓着火并减缓随后的火势发展）的替代品。根据六溴环十二烷产业的数据，单纯的苯乙烯聚合物，如高抗冲聚苯乙烯、发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯，需要溴化阻燃剂来达到理想的消防安全标准。聚苯乙烯行业正与阻燃剂生产商联合寻求六溴环十二烷的替代物。同时美国环保局也正与业界讨论以新的替代物取代聚苯乙烯泡沫塑料中的六溴环十二烷，但尚未向公众提供结果。

67. 正如上文所指出，2011年3月，Great Lakes Solutions 宣布将逐步增加苯乙烯和丁二烯（Emerald™ 3000）阻燃剂溴化共聚物的生产量，该产品由美国陶氏化学公司开发（陶氏化学公司，2011年），分子量高，适合发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯。不过，预计行业全面转向这项技术还需几年时间。根据行业危害评估，这个共聚物具有持久性，但不具有生物积累性或毒性。美国环保局面向环境设计方案将对用于挤塑聚苯乙烯和发泡聚苯乙烯的六溴环十二烷替代品进行风险评估。

68. 北美的两个生产设施和欧洲可能的其他设施都采用“两步式”加工过程。尚不清楚“不含六溴环十二烷聚苯乙烯”加工过程中目前使用什么，但过去至少使用了四溴环辛烷和二溴乙基二溴环己烷（罗威尔可持续性生产中心，2006年）。对这些物质的环境或健康影响仍有顾虑。

69. 日本的发泡聚苯乙烯行业的目标是2012年底前取代生产过程中的六溴环十二烷，生产挤塑聚苯乙烯的行业正重新研究六溴环十二烷的含量和产品中需要六溴环十二烷的情况，以此努力减少六溴环十二烷的使用量（日本，2011年）。

### 使用阻燃剂泡沫聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯的替代物

70. 还可用其他绝缘材料替代建筑物绝缘所使用的阻燃性发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯泡沫塑料，根据挪威气候与污染管理局（2011年b），这些材料同样满足绝缘和消防安全要求，防潮、同样精密或比阻燃性发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯更柔韧。据称这是一个比单纯替代阻燃剂更复杂的办法，因为它对产品总成本和性能具有更大的影响（罗威尔可持续性生产中心，2006年）。

71. 发泡聚苯乙烯的性能使其尤其适合外墙、平顶、地板和夹层部分的绝缘。全世界所使用的一般性绝缘材料中阻燃性发泡聚苯乙烯关键用途方面技术上可行的替代品已经实现商业化。替代材料包括聚异氰脲酯泡沫塑料、苯酚泡沫塑料、绝缘卷材、玻璃纤维、泡沫玻璃、聚酯棉胎、绵羊毛和反射性隔热系统，包括金属薄片、薄膜或壁纸（SWEREA 研究集团，2010年），还包括绝缘产品，如聚氨酯泡沫塑料以及可在施工过程中灌入、喷洒或吹入建筑结构的疏松充填绝缘物。但是，在这些材料中还可使用对环境和健康可能具有影响的阻燃剂（例如硼酸）。疏松充填绝缘物包括纤维、泡沫塑料或其他材料的微粒（美国能源部，2010年）。这些微粒形成绝缘材料，可适用于任何空间，且不影响任何结构或部分。这个适应能力是疏松充填绝缘物适合翻新以及难以安装其他类型绝缘物的地方。用于疏松充填绝缘的最常见材料类型包括纤维素、玻璃纤维和矿棉（岩棉或渣棉）。所有这些材料都是利用可回收的废料生产的。纤维素主要用回收的新闻纸制造。大多数玻璃纤维含有20%–30%的回收玻璃。矿棉通常由75%的工业回收物生产而成。还可用蛭石或珍珠岩

等材料生产疏松充填绝缘物。泡沫玻璃、珍珠岩和木丝隔热板被认为在所有关键用途领域上已同发泡聚苯乙烯一样技术成熟，多层板除外。市场上的不同材料都具有不同的隔热性能和不同用途领域，要求独特的安装办法（美国能源部，2010年；挪威气候与污染管理局，2011年b）。在消防性能上也各有千秋，但具有能够作为阻燃性发泡聚苯乙烯满足同样甚至更高的消防安全要求的替代品（挪威气候与污染管理局，2011年b和2011年c）。

聚异氰脲酯泡沫塑料包括使用磷酸三（一氯丙基）酯（TMCPP、TCPP）和磷酸三（氯乙基）（TCEP）等化学阻燃剂的氨基甲酸乙酯泡沫塑料。欧盟对磷酸三（一氯丙基）酯进行了风险评估（欧洲化学品管理局，2008年），确定工人暴露其中的危险。磷酸三（氯乙基）生产过程中使用了环氧乙烷（一种致癌物），磷酸三（氯乙基）似乎是一种生殖毒物，在北极发现其可以远距离迁移，加州环境健康危害评估办处认为磷酸三（氯乙基）是一种致癌物。根据罗威尔可持续性生产中心（2006年），由于生产聚异氰脲酯绝缘产品过程中使用了氯化物和溴化物阻燃剂，由于其对健康的影响不能青睐这些替代品。

苯酚泡沫塑料用于屋顶、空心板和地板绝缘。常用其粘合玻璃纤维制成绝缘产品。人们对其用途有一个顾虑，即可能利用甲醛这种人类致癌物生产酚醛树脂单体。甲醛被国际癌症研究机构（癌症机构）列为已知的人类致癌物（罗威尔可持续性生产中心，2006年）。生产场所必须考虑到这一点，并利用现有的控制排放技术和安全限制保护工人。不过，根据挪威气候与污染管理局（2011年c）提供的资料，如果有其他替代品，也可不利用甲醛生产酚醛树脂单体。

绝缘卷材是一种技术相当成熟的替代材料。通常由玻璃纤维或岩棉制成，可镶嵌在立柱、托梁和横梁之间。宽度上适合壁柱或楼盖搁栅之间的标准间距。整卷可手工切割修剪，使其不同的间距。垫层不带或带有阻燃饰面。绝缘物将裸露在外的地方铺有带有特殊阻燃饰面的棉胎。

多孔玻璃和泡沫玻璃可用于某些发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯绝缘应用领域，例如暖和的屋面系统、停车场、屋顶平台、通风幕墙、室内隔热、工业环境中的地板隔热、地面和周边隔热。它们具有闭孔结构，由不含粘合剂的回收玻璃制作而成。其不同荷重的浓度各不相同，不会导致失火。这些产品还具有防水性能。

玻璃纤维是一种人造玻璃纤维。具体而言是利用特殊设备将疏松充填绝缘物吹入或喷射进位置。可用其堵塞壁孔和形状不规则区域。

反射性隔热系统包括镶嵌在立柱、托梁和横梁之间的金属薄片、薄膜或壁纸，常用来防止屋顶应用领域由上向下的热流。常见材料包括箔面纸、箔面聚乙烯气泡、薄面塑料薄膜和箔面硬纸板。

其他常用的绝缘材料包括可镶嵌在立柱、托梁和横梁之间的聚酯棉胎和绵羊毛。

72. 玻璃纤维、玻璃棉和矿棉被认为是人造玻璃纤维。它们同样具有职业性健康影响。这些纤维停留在空气中时可导致眼睛、鼻子、喉咙和肺部疼痛。动物研究显示，经常吸入含人造玻璃纤维的空气可导致肺炎和囊状纤维变性（有毒物质与疾病登记署，2004年）。建筑工人已可利用防护服和设备（面具、护目镜和手套等）来避免接触和吸入纤维而导致的疼痛。这样做仅在工作环境中具有重要作用，因为纤维材料建造在墙壁内，用于建筑物的地基和天花板以及拆除和修葺过程中。此外，可利用小批量的胶订机将玻璃纤维制成棉胎，这可能含有酚醛树脂，已知这种具有危害性的化学物质会在多年的绝缘过程中缓慢释放废气。

73. 取代建筑和施工领域的六溴环十二烷还可辅助以产品再设计，即借助技术办法以及改变建筑和施工做法。许多国家都是用非阻燃性发泡聚苯乙烯隔热板，同时辅助以其他建筑

材料，防止发泡聚苯乙烯着火（挪威气候与污染管理局，2011年 a）。产品再设计的例子包括利用防火材料和其他策略将产品与热源分隔开并减少热源。这些设计变化可由终端产品制造商实施（罗威尔可持续性生产中心，2006年）。利用热障可能在不适用阻燃性发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯的情况下实现消防安全。热障指的是将建筑物内部同绝缘材料分开的防火覆盖物或涂层。例如，可将这些绝缘材料放在两面不易燃墙面，例如石头或混凝土以及建筑物地基和土壤之间（罗威尔可持续性生产中心，2006年；挪威气候与污染管理局，2011年 c）。可在外墙、地板或屋顶平台等建筑物中采取技巧（挪威气候与污染管理局，2011年 c）。屋顶的发泡聚苯乙烯和金属屋面之间设计热障。在绝缘材料直接接触地面的应用中，无需阻燃性泡沫塑料，因为混凝土板和绝缘材料之间一般都有挤塑泡沫塑料，绝缘材料受到防火保护（挪威气候与污染管理局，2011年 c）。热障材料包括：石膏板、石膏或水泥灰泥、珍珠岩板、喷射式纤维素、使用矿棉或石膏涂料和选定类型的胶合板。目前国内和商业建筑施工中普遍使用所有这些材料（罗威尔可持续性生产中心，2006年；SWEREA 研究集团，2010年）。

74. 热障须遵守各国具体的建筑规范要求（SWEREA 研究集团，2010年），目前芬兰、挪威、瑞典和西班牙使用热障，这些国家的建筑规范公布了国家消防安全要求。同时考虑到技术方面和办法，例如热障的使用以及如何建筑施工中进行隔热，这些国家的建筑规范具体规定了可用那些绝缘产品以及用于哪类建筑物。因此，即使使用阻燃性发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯也可能实现消防安全。但是，须指出，由于技术标准和建筑规范（SWEREA 研究集团，2010年）和政策，短期内热障的使用并非在所有国家都具有可行性。此外，一些国家现行的消防安全条例规定，处于储存和运输安全，必须在发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯中使用阻燃剂，不论其用途如何。

75. 替代绝缘材料/技术具有的特征可能有别于挤塑聚苯乙烯和发泡聚苯乙烯，或多或少适用于某些特定用途（例如耐吸水、耐机械负荷（抗压强度高）和寿命周期内结构完整）（欧洲化学品管理局，2009年；美国能源部，2010年）。根据递交的呈件，发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯可用的替代绝缘材料可用于所有用途，一个例外是北美的某些潮湿或冻结/融化应用领域要求使用挤塑聚苯乙烯（挤塑聚苯乙烯协会/加拿大塑料工业协会，2011年）。使用替代绝缘材料/技术还可能涉及不同的环境问题，例如运输过程中能源成本增加，并且可能遇到一系列自身独特的健康和/或环境风险，而多数情况下对此尚不了解。如果不包括向外部环境的释放，任何特定绝缘材料的健康影响在工作环境都非常重要，因为绝缘材料建造在墙壁、地基和天花板内。还必须考虑到建筑物修葺、翻新和拆除过程中暴露于绝缘材料下的情况。挪威最近的一项报告对几种替代材料的环境和健康影响进行了评估，结论指出替代品含有的化学品比六溴环十二烷存在的问题少，因为没有一种被卤化或归类为持久性、生物积累性和毒性或持久性有机污染物（挪威气候与污染管理局，2011年 c）。但是，用于聚氨酯硬质泡沫塑料的几种替代阻燃剂化学品为卤化物质。

76. 用其他材料取代发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯绝缘物可进一步影响整个产品的成本和性能，并可能进一步要求在建筑施工期间采取不同的办法。但是，瑞典和挪威目前使用的大多数发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯都不含六溴环十二烷，这种建筑实践表明可以在合理的成本范围内实现建筑材料和建筑物的消防安全，而无需使用六溴环十二烷，也无需在很大程度上改变传统的建筑和施工技术。根据对挪威阻燃性发泡聚苯乙烯的替代品的分析结果，由阻燃性发泡聚苯乙烯转向其他绝缘材料不会削弱消防安全，替代品总体上能够像阻燃性发泡聚苯乙烯那样满足同样甚至更高的要求。替代品，包括带有热障的非阻燃性发泡聚苯乙烯通常具有更好的耐火性能，能够满足冷热气候中绝大多数应用领域要求的绝缘性

能和防潮性（挪威气候与污染管理局，2011年c）。根据挪威气候与污染管理局（2011年c）提供的数据，最便宜的替代品的价格约为阻燃性发泡聚苯乙烯同等价格的30%左右。

### 2.3.2 高抗冲聚苯乙烯塑料领域六溴环十二烷的替代物

77. 高抗冲聚苯乙烯中并未广泛使用六溴环十二烷，因此有理由认为这个应用领域已经有替代性阻燃剂（表3）。它主要用于V-2级高抗冲聚苯乙烯中，其中脂肪族溴化阻燃剂比芳族溴化阻燃剂更为有效。Decabromodiphenyl oxide（醚）即十溴二苯醚由于成本低，溴含量高，被广泛应用于高抗冲聚苯乙烯（Weil和Levchik，2009年）。还用于电线绝缘。不过，由于顾虑到其对人类健康和环境的影响以及脱溴生产化合物五溴二苯醚和八溴二苯醚（UNEP/POPS/POPRC.6/2），不建议用其替代六溴环十二烷（欧洲联盟委员会，2002年；美国环保局，2010年）。欧盟引进了《有害物质限用指令》（RoHS和WEEE指令）淘汰了电子设备领域所使用的十溴二苯醚。在美国，行业自愿承诺2013年前大部分用途退出十溴二苯醚。在挪威，2004年禁止生产、进口、出口、销售和使用按重量计算含0.1%或更多十溴二苯醚的物质和制剂。

78. 可作为高抗冲聚苯乙烯所使用六溴环十二烷的其他化学品包括与三氧化铋（ATO）一起使用的各种溴化阻燃剂。这些化学品包括三(三溴新戊基)磷酸酯、四溴双酚A双醚（2,3-二溴丙基醚）（TBBPA-DBPE）、2,4,6-三(2,4,6-三溴苯氧基)-1,3,5-三嗪、乙烷-1,2-双(五溴苯基)和双乙(四溴邻苯二甲酰亚胺)。

79. 市场上也有高抗冲聚苯乙烯的替代材料，因此绕过了为六溴环十二烷找到化学替代品这个问题。更具体地讲，在电子产品中可用各种替代材料取代高抗冲聚苯乙烯，包括聚碳酸酯/丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物（PC/ABS）、聚苯乙烯/聚苯醚（PS/PPE）和聚苯醚/高抗冲聚苯乙烯（PPE/HIPS<sup>6</sup>）的混合物，而无需使用阻燃剂，或使用非卤化的磷系阻燃剂（巴西，2011年；丹麦环境保护局，2010年）。有机芳基磷化合物、间苯二酚双(联苯磷酸酯)、双酚A双(联苯磷酸酯)、聚合联苯磷酸酯、磷酸二苯基甲苯酯、磷酸三苯酯（瑞典化学品管理局，2006年）似乎需要混合添加剂，以防止磷化合物转移到高抗冲聚苯乙烯表面。要求高抗冲聚苯乙烯的磷替代品必须在较高浓度中使用（欧洲化学品管理局，2009年）。多聚物混合物广泛应用于含有或不含阻燃剂的电子设备中，具有较高的冲击强度，本身具有耐火性，因为在加热时它们形成了一种隔热木炭泡沫塑料表层（丹麦环境保护局，2010年）。

### 2.3.3 纺织品背面涂层中六溴环十二烷的替代物

80. 六溴环十二烷作为阻燃剂，用于皮面家具、交通工具室内坐垫、布匹、护墙板、床垫套布，以及卷帘等室内织品的背面涂层（罗威尔可持续性生产中心，2006年；欧洲化学品管理局，2009年；SWEREA研究集团，2010年）。纺织品应用领域六溴环十二烷的具体浓度高于其他应用中的浓度，在聚合物中占6%至15%（欧洲化学工业理事会/欧洲阻燃剂协会，2006年；欧洲联盟委员会，2008年）。由于六溴环十二烷比较昂贵，公司只有发现仅六溴环十二烷符合性能需求时才会用六溴环十二烷（欧洲化学品管理局，2008年b）。

81. 如果材料本身不易燃，或者易燃性不高，可避免在纺织品中使用阻燃剂。因此，可利用羊毛等一些天然材料作为家具的绝缘材料（挪威，2011年；SWEREA研究集团，2010年）。其他本质上是阻燃剂的材料包括含磷添加剂的人造丝、聚酯纤维和芳族聚酰胺（Weil和Levchik，2009年）。还有几个化学品可作为纺织品应用中六溴环十二烷的替代

<sup>6</sup> PPE/HIPS：聚苯醚和高抗冲聚苯乙烯混合物

品且无需改造设备。关于纺织品背面涂层，六溴环十二烷的化学替代品包括十溴二苯醚、十溴二苯基乙烷、双乙（四溴邻苯二甲酰亚胺）、氯化石蜡和聚磷酸铵（欧洲化学品管理局，2009年；挪威气候与污染管理局，2011年a）。上面介绍了关于十溴二苯醚的担忧。长链氯化石蜡对人类而言是生殖有毒物质，显示对肝和肾具有慢性毒性，并且可能是致癌物质（欧洲化学品管理局，2009年）。对不同的纺织品，也可在背面涂层中使用聚磷酸铵（APP）。

82. 还可利用膨胀体系实现纺织品的消防安全（挪威气候与污染管理局，2010年）。膨胀指的是形成作为绝热材料的多孔炭质层。一般而言膨胀体系是碳源形成炭质层、释酸化合物与分解化合物相结合产生发泡气体进而形成多孔炭质层的过程（Weil 和 Levchik，2009年）。这种泡沫塑料的厚度比原来所用的背面涂层厚 10-100 倍，并借助其低导热性隔绝了基底材料，使膨胀体系能够有效减少易燃性和烟气释放（瑞典化学品管理局，2006年）。与纺织品应用有关的几个膨胀体系进入市场已有 20 年，并成功彰显了其巨大的潜力。膨胀体系包括使用膨胀性石墨浸渍泡沫塑料、表面处理和聚合物材料的隔离技术（SWEREA 研究集团，2010年）。膨胀体系可能不能用于含溴化剂背面涂层的纺织品。

83. 根据日本递交的呈件，新车型中所使用的汽车应用织品中已经取代了六溴环十二烷。但是，一段时间内仍供应含六溴环十二烷的织品，因为旧车型备件中将继续使用这些织品（日本，2011年）。

## 2.4. 关于实施可能的管制措施对社会的影响的资料摘要

84. 由于斯德哥尔摩公约持久性有机污染物审查委员会在风险简介中认定六溴环十二烷具有持久性、生物积累性和毒性以及有可能远距离迁移，故而期待消除六溴环十二烷对全球可持续发展带来的积极影响。如果不控制六溴环十二烷的生产、使用和废物管理，让其继续或增长，那么环境，包括人类和动物中六溴环十二烷的含量将可能继续增加，即使是在远离生产和使用的地方。

### 2.4.1. 健康问题，包括公共健康、环境健康和职业健康

85. 利用其他阻燃剂、材料或建筑技术将生命、人员和财产损失和意外火灾造成的有害排放减至最低,这一点非常重要。

86. 预计全球规模的六溴环十二烷管制性削减或消除措施将为人类健康和环境带来有利影响。在人类血液、血浆、母乳和脂肪组织中发现六溴环十二烷。目前所知的主要暴露来源是受污染的食物和灰尘。执行管制措施将可能确保养殖鱼（野生鱼类）等农产品、牛奶/奶制品和各种肉类产品中六溴环十二烷的含量将减少。短期来看，由于禁令正彻底消除或减少灰尘中六溴环十二烷的含量，预计将对室内环境具有最积极的影响。这导致的一个积极结果是减少人类，尤其是儿童（有迹象显示他们吸食的灰尘高于成人）通过食物和灰尘暴露于六溴环十二烷中的风险。这还将减少发展中国家在工厂中生产阻燃性发泡聚苯乙烯或参与回收电子电气设备的工人暴露于六溴环十二烷中的风险（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。

87. 尽管在很大程度上缺乏关于六溴环十二烷对人类的毒性的资料，但胎儿和婴儿都是可能遭受风险的易感群体（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2，风险评估委员会，2010年），动物研究中已观察到由于六溴环十二烷的神经内分泌毒性和发育毒性更表明了这一点。淘汰或消除六溴环十二烷使北极土著居民尤其受益，他们以传统的当地食物为生，暴露于六溴环十二烷的风险比其他社区更高。《公约》序言中承认持久性有机污染物会对北极生态系统和土著社区造成特殊影响。

88. 在发展中国家，淘汰物品和废物中的六溴环十二烷对于减少以下方面的暴露接触非常重要，即环境和野生生物暴露、人类通过污染的食物和水的接触，以及回收利用处理过程中工人的直接接触或垃圾处理地和含有六溴环十二烷废物的露天焚烧造成的暴露（Malarvannan 等人，2009 年；Polder 等人，2008 年；Tue 等人，2010 年；Zhang 等人，2009 年）。

89. 消防安全条例的总体益处是科学家对阻燃剂的需求表示质疑，他们表示，阻燃剂可能增加有毒气体和烟尘的释放量，而这是多数火灾死亡和受伤的原因（《环境与健康展望》，2010 年）。意外火灾和焚烧阻燃废物过程中含六溴环十二烷或其他卤化阻燃剂的材料燃烧可能增加一氧化碳、溴化氢等酸性气体和溴化及氯化二噁英和呋喃的排放量，导致火灾废物的毒性增加（卤化阻燃剂，2010 年）。因此，如果可通过其他途径实现防火安全，减少阻燃物质总量可减少公众和消防员的健康风险。

#### 2.4.2 生物区系（生物多样性）

90. 淘汰六溴环十二烷对于避免增加已处于危险的野生生物中六溴环十二烷的数量很重要。六溴环十二烷被认为对水生生物极具毒性。在点源附近和背景浓度水平较高的地区，对海洋哺乳动物和鱼类存在不良效应风险。生物区系中测得的浓度水平高于欧盟六溴环十二烷风险评估中的二次效应 PNEC 值 5 毫克/千克湿重（欧洲联盟委员会，2008 年）。经研究断定，背景浓度水平较高的欧洲地区或者局部点源附近的鸟类体内的浓度水平接近不良效应极限浓度。通过捕获的美洲红隼最近获得的初步数据表明偏远地区的野生鸟类也存在着生殖和发育效应风险，进一步表明了关注的必要（UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2）。

#### 2.4.3 经济方面，包括生产者和消费者的成本和效益以及成本效益的分配

91. 许多利用六溴环十二烷的应用都有经济上可行的替代材料和技术。不含阻燃剂的发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯，可用于多个应用领域，对制造商成本并不高。生产商建议在建筑和建筑物中用其他材料替代发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯隔热板，以提高隔热和热性能、耐火性，甚至阻燃性（挪威气候与污染管理局，2011 年 c；欧洲发泡聚苯乙烯产品制造商，2011 年 b）。斯堪的纳维亚市场上以不含阻燃剂的聚苯乙烯为主。这是为了贯彻消防条例，该条例要求不利用阻燃剂处理，通过其他办法达到同等保护水平，进而更少地依赖阻燃剂（SWEREA 研究集团，2010 年）。

92. 对于已基本上或没有广泛使用淘汰六溴环十二烷的地区（例如，根据附件 F 呈件和用途数据，斯堪的纳维亚和大部分发展中国家）而言，淘汰六溴环十二烷的成本很低。在其他地区，其影响将取决于淘汰六溴环十二烷时是否具备其他阻燃剂。对大量生产和使用六溴环十二烷阻燃性发泡聚苯乙烯隔热板的地区（尤其是欧洲）影响更大。由于目前发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯没有可用的其他化学阻燃剂，在没有淘汰过渡期的情况下消除六溴环十二烷将影响所有地区阻燃性发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的生产。不过，发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯已有大量替代性材料和产品再设计办法（表 3）。因此，认为对生产者的成本影响不大，转向其他阻燃剂、替代性材料和设计办法将激励一些生产商（挪威气候与污染管理局，2010 年）。

93. 淘汰六溴环十二烷的成本对多数发展中国家而言应有限，因为欧洲、美国和中国是六溴环十二烷的主要消费者。在不具备无需改造设备的化学替代品的情况下禁用六溴环十二烷可对欧洲的发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯产业乃至该行业的职工产生消极影响（欧洲塑料工业协会/欧洲挤塑性聚苯乙烯泡沫绝缘板协会，2011 年）。上述威胁包括苯乙烯供应变化以及同中小型企业竞争力有关的问题。在美国和加拿大，六溴环十二烷禁令将至少对一个应用领域造成困难，在该领域阻燃性挤塑聚苯乙烯是建筑规范建议并接受的唯一产

品（挤塑聚苯乙烯 A/加拿大塑料工业协会，2011 年）。不久在将市场上可以买到用于发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯的无需改造设备就可替代六溴环十二烷的化学替代品并逐步引进这些替代品（陶氏化学公司，2011 年；BASF，2011 年）。

94. 在若干国家中，使用不含阻燃剂的发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯而非阻燃性发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯将要求调整政策，改变执行的消防安全标准。这需一段时间，但认为成本不高。在欧盟，已经倡导统一消防安全条例标准，六溴环十二烷被列入有害物质提示清单，意味着建筑和建筑物中应避免将其用来防火。这同时也大大推动着消防条例的变革（挪威气候与污染管理局，2010 年 a）。

95. 关于无需改造设备的化学替代品，在从一种阻燃剂转向另一种时必须考虑两类成本（SWEREA 研究集团，2010 年）：

转换成本指的是调整成本，换言之即研发工作或设备更换成本。生产和加工设备可能需要投资新设备，从而转用其他阻燃剂。很难估算这个费用，其通常包括未成功找到有效阻燃剂替代物的研发工作成本。产品寿命周期开始就开始产生这种成本。

运营反映了阻燃剂（原）材料成本的价格。此外，生产其他阻燃剂化学品所需新加工程的日常运营费用可能各有不同。为确保经济可行性，阻燃剂必须方便加工处理且高效，因此要具备大量生产的条件。生产成本严重依赖于原材料的成本，但这种依赖性程度视阻燃剂而有所不同。

96. 在缺乏最新消防安全标准（例如以性能为基础）和技术，要求不添加化学阻燃剂的情况下，聚苯乙烯行业可能需要时间来适应新的阻燃剂替代品。因此，一定时限内在聚苯乙烯泡沫塑料中豁免使用六溴环十二烷将减小经济影响。尽管如此，来自消费者和国家立法机构的压力已经迫使行业转向不太危险的阻燃剂（SWEREA 研究集团，2010 年）。

97. 根据第 6(1)(d)(二)条，应通过以下方式处置含六溴环十二烷的产品（发泡聚苯乙烯、挤塑聚苯乙烯、高抗冲聚苯乙烯、纺织品），即销毁产品中持久性有机污染物的含量或义无反顾地转用其他替代品，因此这些产品没有表现出持久性有机污染物的特点，否则要以有利于环境的方式处置。对占据全球六溴环十二烷消费主导地位的发达国家而言，六溴环十二烷（建筑物和物品）相关的特殊废物管理和处置方式可能成本高昂。需要管理的废物量取决于淘汰六溴环十二烷花费的时间。据估计，欧盟 1988 年至 2010 年消费了约 170,000 吨六溴环十二烷，到 2017 年（考虑所有应用领域）预计含六溴环十二烷的废物的总量约为 2,300 万吨。<sup>7</sup>其中，2010 年前处理的废物不足 100 万吨，预计到 2050 年欧盟每年建筑和拆除部门须处置的六溴环十二烷将超过 5,000 吨（欧洲联盟委员会，2011 年）。按照目前的使用率，欧盟新阻燃性产品中每年增加约 10,431 吨六溴环十二烷，全球至少增加 28,000 吨，而今后这些产品都将变为废物。根据附件 F 呈件的资料，发展中国家对商品进口的六溴环十二烷的数量和应用了解不多，只了解一般性资料。

98. 为方便可能的特定豁免和使用，要求在生产六溴环十二烷过程中采取减排措施并使用最佳做法，从而减少六溴环十二烷向环境的排放量。欧洲六溴环十二烷和聚苯乙烯生产商倡导的减排方案的成本高度依赖于企业的行动（溴科学与环境论坛，2011 年）。

99. 关于纺织品背面涂层和高抗冲聚苯乙烯，已经在使用几种替代品，说明替代品在经济上是可行的。然而六溴环十二烷行业对膨胀体系的经济可行性表示质疑。在欧洲，如果用其他溴化阻燃剂代替六溴环十二烷，按照其生产水平，那么所有替代 EEE 中高抗冲聚苯乙烯所用六溴环十二烷的总增量成本估计为 100-1000 万欧元/年，如果用不含非卤化阻燃剂的

<sup>7</sup> 估计认为 2013 年至 2017 年消费量持续下降，2017 年消费量将为零。

聚合物代替，则每年增量成本为 500-2,500 万欧元/年。由于替代品市场扩大，今后几年成本可能减少（丹麦环境保护局，2010 年）。

100. 在受控废物焚烧的情况下，控制措施以及采用最佳可得技术/最佳可用做法来解决焚烧造成的其他副产品问题，这同样减少了六溴环十二烷和溴化二噁英和呋喃造成的副产品排放。对行业而言，没有增加任何成本。

101. 鱼，尤其是肥胖的食肉鱼处于食物链的高端，是人类感染其中的一个重要来源（Polder 等人，2008 年；Thomsen 等人，2003 年）。在所有膳食样品中，据报道鱼类中六溴环十二烷的浓度最高（高达 9.4 纳克/克 wt w）（Knutsen 等人，2008 年；Remberger 等人，2004 年；Allchin 和 Morris，2003 年）。因此，淘汰六溴环十二烷对鱼类和水产养殖具有积极影响，并总体惠及消费者。渔业和水产养殖业是全球的一个重要产业，因此鱼类污染从经济上讲可能不利于整个产业。

#### 2.4.4 可持续发展方面的进展

102. 控制化学品带来的风险是促进社会可持续发展的一个重要方面。增强对火灾的了解有助于做出更好的决策，从而确保提供高度保护，远离火灾和危险物质（瑞典化学品管理局，2006 年）。转向环境较友好型阻燃剂或非化学替代品（替代材料/产品再设计）是一个更加可持续的办法，因为这意味着对健康和环境的危害更小。长远来看，这意味着社会发展和绿色经济发展的成本更低，避免了危险化学品相关的成本（废物管理成本、健康下降，调整污染场地的成本等），鼓励产业部门进行可持续生产和使用。当局和产业联合采取措施，共同推动可持续利用阻燃剂。Green Flame™ 是一个发生火灾时在评估产品的同时评估环境和健康质量的自动系统（[www.sp.se/en/index/services/greenflame](http://www.sp.se/en/index/services/greenflame)）。系统面向各种产品，并为设计出执行更佳应用标准的产品的制造商提供奖励。Green Flame™ 系统的宗旨是向拥有能力并决心开发出消防安全和环境质量大为改进的产品的公司提供竞争性奖励。

#### 2.5. 其他考虑因素

103. 美国环保局召集多边利益攸关者伙伴关系探索六溴环十二烷更安全的可能替代物对人类健康和环境的影响。此外，美国环保局综合风险信息系统目前正拟定六溴环十二烷的毒理审查。

<http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/hbcd/index.htm>

<http://www.epa.gov/iris/index.html>

104. 欧洲联盟委员会资助一个对具体溴化阻燃剂的替代办法进行案例研究的项目。虽然并未将六溴环十二烷纳入，不过项目打算提供有关其他阻燃剂的生产、应用、环境安全和生命周期评估方面的综合数据集。

<http://www.enfiro.com/index.html>

105. 欧洲行业自愿采取行动减少六溴环十二烷排放量的情况请访问：

<http://www.bsef.com/our-substances/hbcd/voluntary-emissions-reduction-programme-vecap-and-secure>

<http://www.vecap.info/>

106. 来自特里尔大学弗劳恩霍夫分子生物学与应用生态学研究所和柏林自由大学的一个小组对 2007-2016 年全欧洲鱼类、鸟蛋和悬浮微粒物质中的溴化阻燃剂六溴环十二烷进行监测。欧洲化学工业理事会的一个部门小组“六溴环十二烷行业工作组”为项目提供赞助

[http://www.ime.fraunhofer.de/fhg/Images/summary\\_environmental\\_HBCD\\_monitoring\\_in\\_European\\_fish\\_new\\_tcm279-177322.pdf](http://www.ime.fraunhofer.de/fhg/Images/summary_environmental_HBCD_monitoring_in_European_fish_new_tcm279-177322.pdf)



107. 欧洲、北美和亚洲都具有六溴环十二烷监测方面的信息。为跟进潜在行动的有效性，应将六溴环十二烷加入目前的持有性有机污染物监测活动。

### 3. 信息综述

#### 3.1 风险简介资料摘要

108. 市售溴化阻燃剂六溴环十二烷具有脂溶性，对颗粒物质亲和力强，水溶性低。视制造商和所采用的生产方法而定，工业六溴环十二烷由 70-95% 的  $\gamma$ -六溴环十二烷和 3-30% 的  $\alpha$ -和  $\beta$ -六溴环十二烷组成。

109. 在生物区系内，已经发现六溴环十二烷在较高营养级的生物富集、生物积累和生物放大。高浓度区域现已确定在欧洲、日本和南中国近海水域，靠近六溴环十二烷的生产现场、含有六溴环十二烷的产品制造现场，以及包括回收、填埋或焚化等流程的废物处置现场。

110. 六溴环十二烷在空气中具有持久性，会发生远距离迁移。发现六溴环十二烷在北极等偏远地区也有广泛分布，那里大气和高等食肉动物中的浓度有所升高。

111. 六溴环十二烷被认为对水生生物极具毒性。在点源附近和背景浓度水平较高的地区，对海洋哺乳动物和鱼类存在不良效应风险。生物区系中测得的浓度水平高于欧盟六溴环十二烷风险评估中的二次效应 PNEC 值 5 毫克/千克湿重（欧洲联盟委员会，2008 年）。经研究断定，背景浓度水平较高的欧洲地区或者局部点源附近的鸟类体内的浓度水平接近不良效应极限浓度。

112. 对日本鹌鹑和美洲红隼的实验室研究数据表明：在环境相关剂量下六溴环十二烷可能会引起蛋壳变薄、产蛋量下降、禽蛋质量降低和雏鸟健康度下降。六溴环十二烷还对水生生物具有极高的毒性。在哺乳动物中，研究已经显示了生殖、发育和行为效应。在了解六溴环十二烷毒性方面的最新进展包括更好地了解六溴环十二烷干扰下丘脑——垂体——甲状腺轴（HPT）的潜力以及干扰正常发育、影响中枢神经系统的潜能。

113. 现有研究证明六溴环十二烷在啮齿动物胃肠道中吸收良好。在人类血液、血浆和脂肪组织中发现六溴环十二烷。从 1970 年代到 2000 年的人类母乳数据显示：这期间六溴环十二烷的浓度水平已有所升高。人类母乳中的六溴环十二烷浓度水平反映了六溴环十二烷的市场消费量。

#### 3.2 风险管理评估资料摘要

114. 中国、欧洲、日本和美国都生产六溴环十二烷。目前已知每年年生产量大约为 28,000 吨。六溴环十二烷的主要市场在欧洲和中国。

115. 六溴环十二烷自 1960 年代开始投入全球市场。六溴环十二烷作为阻燃添加剂，用以延缓车辆、建筑或物品使用期内以及材料贮存期间的着火现象并减缓随后的火势发展。六溴环十二烷的主要用途是阻燃型发泡及挤塑聚苯乙烯绝缘和建筑塑料，在纺织品应用、电气和电子器材（高抗冲聚苯乙烯）中的使用量较小。纺织品中将六溴环十二烷用于室内装潢和其他室内纺织品，包括汽车应用的背面涂层。

116. 许多国家已经限制六溴环十二烷或正评估其风险。已有许多其他阻燃剂来代替高抗冲聚苯乙烯和纺织品背面涂层中的六溴环十二烷。就发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯而言，2011 年宣布发现了一种称为 Emerald 3000 的替代化学品；预计 2012 年开始投入商业性生

产。但是，由于生产过程和产品需要优化，大部分行业须获得新产品认证，因此预计整个行业转而使用其他阻燃剂还需要几年时间。

117. 由于国家具体的消防安全要求，一些国家需要阻燃性隔热材料。在一些国家，已经有效淘汰了六溴环十二烷。在这些国家，消防安全条例并未要求必须以阻燃剂处理，通过技术可行、已商业化的其他替代品达到同样的消防安全水平。

118. 市面上已经有不同材料六溴环十二烷的技术可行、商业化的替代品。替代品包括阻燃剂替代、树脂/材料替代和产品再设计。

119. 在其寿命周期所有阶段都可能向空气、水、土壤和沉降物中释放六溴环十二烷；生产、制造、加工、运输、使用、处置、储存或密封过程中以及处置该物质或含有该物质的产品过程都可能出现六溴环十二烷释放到环境中的情况。制成品使用期间的点源排放或扩散释放都可能释放六溴环十二烷。在欧盟，预计生产和使用过程以及终端产品造成的环境中六溴环十二烷的释放量很少。终端用途向废水和地表水中的释放量主要来自纺织品涂层。但消费者使用产品过程中的估计释放量还远不能确定。

120. 担忧含六溴环十二烷的废物是因为垃圾处理厂和其他地方含六溴环十二烷的废物日益增多可能成为长期向环境排放六溴环十二烷的污染源。如果将其列入《公约》，含六溴环十二烷的库存和废物将受第 6 条制约，必须以有利于环境的方式进行管理。六溴环十二烷废物包括生产废物、废弃的隔热板、建筑和翻新废料，以及其他不常用应用领域，如电子电器产品和纺织品产生的废物。建筑物的重建或拆除使人们担忧已安装的含六溴环十二烷的建筑材料今后将继续排放六溴环十二烷，除非未来数十年管理适当。由于目前仍继续使用六溴环十二烷，今后变为废物的材料数量将继续增加。

121. 含六溴环十二烷的产品和物品通常在变为废物时进行回收。这可能导致六溴环十二烷污染产品，而这难以确定。在发展中国家，含有六溴环十二烷及其他有毒物质的电器和电子器材的回收条件通常会向环境产生相对较高的六溴环十二烷释放量，造成相对较高的现场污染（Zhang 等人，2009 年）和工人暴露（Tue 等人，2010 年）。露天焚烧和垃圾场是含有六溴环十二烷的物品和电子废物的常见归宿（Malarvannan 等人，2009 年；Polder 等人，2008 年）。

122. 在控制下焚烧是处置含有六溴环十二烷废物的一种途径。如果失控起火（意外火灾），在较低温度下或运转失灵的焚化炉中混烧，有可能形成多溴代二苯并二噁英和多溴代二苯并呋喃（欧洲化学品管理局，2009 年）。不过在许多国家中，垃圾填埋是目前废物处置最常用的方式，导致垃圾处理厂中含六溴环十二烷的废物增加。

### 3.3 拟议风险管理措施

123. 拟议管制措施是将六溴环十二烷列入《公约》，为允许在特定时间限制内使用六溴环十二烷的关键用途，可对发泡聚苯乙烯和挤塑聚苯乙烯中六溴环十二烷用途予以具体豁免，同时说明生产和使用六溴环十二烷的条件。在逐步采用无需设备改造的化学替代品时，这种清单可在高排放性纺织品应用和广泛存在替代品的高抗冲聚苯乙烯领域以及在发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯领域有效终结六溴环十二烷作为阻燃剂的用途。至于阻燃型发泡聚苯乙烯/挤塑聚苯乙烯的化学替代品，仍然显然需要一些时间来测试、验证、定性、生产能力调整和实现商业化，才能够达到平稳过渡。因此需要几年时间才能将满足市场需要的充分数量的六溴环十二烷的替代品投入商业生产。

124. 将依据此种有意生产的六溴环十二烷的持久性有机污染物的特性，将该物质列入《公约》，并将发出明确信号，必须淘汰六溴环十二烷的生产和使用。这个名单可能对按照当前用途需逐步引进其他物质或方法的国家具有影响。

125. 含六溴环十二烷的库存和废物将受第 6 条的制约。

#### 4. 结论声明

126. 认为，由于六溴环十二烷的远距离环境迁移后，会对人类健康和环境造成重大不利影响，因此需要采取全球行动；

127. 编制了风险管理评估并研究管理办法；

128. 持久性有机污染物审查委员会建议斯德哥尔摩公约缔约方大会根据《公约》第 8 条第 9 款考虑列明同六溴环十二烷<sup>8</sup>有关的管制措施并将其列入《斯德哥尔摩公约》。

---

<sup>8</sup> “六溴环十二烷”系指六溴环十二烷(化学文摘社编号：25637-99-4)、1,2,5,6,9,10-六溴环十二烷(化学文摘社编号：3194-55-6)、及其主要非对映异构物、 $\alpha$ -六溴环十二烷(化学文摘社编号：134237-50-6)、 $\beta$ -六溴环十二烷(化学文摘社编号：134237-51-7)以及 $\gamma$ -六溴环十二烷(化学文摘社编号：134237-52-8)。

## 参考资料

**Formats for submitting information specified in Annex F of the Convention pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention are available for review on the Stockholm Convention website: [www.pops.int/poprc](http://www.pops.int/poprc)**

Brazil 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Burundi 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Canada 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Colombia 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, March 2011.

China 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Costa Rica 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Czech Republic 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Ecuador 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Finland 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Germany 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Japan 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, March 2011.

Nigeria 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Norway 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Mauritius 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Romania 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Sweden 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

[BSEF] 2011. Bromine Science and Environmental Forum (BSEF). Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

PlasticsEurope/Exiba 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

Instituto do Meio Ambiente (IMA) Brazil 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

[XPSA/CPIA] Extruded Polystyrene Foam Association (XPSA) and Canadian Plastics Industry Association (CPIA). Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

[IPEN] International POPs Elimination Network 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, January 2011.

**其他参考材料：**

[Aabye, R, Frydenlund, T.E.] 40 years of experience with the use of EPS Geofam blocks in road construction. Presentation by Norwegian Public Road Administration and Geo Con at 4th International Conference on Geofam Blocks in Construction Applications. Lillestrøm, 6–8 June 2011.

Abdallah MA, Harrad S. Personal exposure to HBCDs and its degradation products via ingestion of indoor dust. *Environ Int.* 2009;35(6):870-6.

Abdallah MA, Harrad S, Covaci A. Hexabromocyclododecanes and tetrabromobisphenol- A in indoor air and dust in Birmingham, U.K: implications for human exposure. *Environ Sci Technol.* 2008a;42(18):6855-61.

Abdallah MAE, Harrad S, Ibarra C, Diamond M, Melymuk L, Robson M, Covaci A. Hexabromocyclododecanes in indoor dust from Canada, the United Kingdom, and the United States. *Environ Sci Technol.* 2008b;42(2):459-64

Allchin CR, Morris S. Hexabromocyclododecane (HBCD) diastereoisomers and brominated diphenyl ether congener (BDE) residues in edible fish from the rivers Skerne and Tees, U.K. *Organohalogen Compd.* 2003, 61, 41-44.

**[APME] Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), European Extruded Polystyrene Insulation Board Association (Exiba), European Isocyanate Producers Association (Isopa) (no date). Co-combustion of Building Insulation Foams with Municipal Solida Waste. Summary report. Authors: Vehlow, J., Mark, F.E. 4 p.**

**[ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2004. Synthetic vitreous fibers. Division of Toxicology ToxFAQs. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts161.pdf>**

[BASF] 2011. BASF supports new polymeric flame retardant. Press release 5 April 2011. 3 p. <http://www.basf.com/group/pressrelease/P-11-230>

[BFR] 2010. Brominated Flame Retardants in Products: Results of the Swiss Market Survey 2008. Authors: Bantelmann, E., Ammann, A., Näf, U., Tremp, J. Abstract at BFR 2010 conference. 4 p.

**[BFRIP] Brominated Flame Retardant Industry Panel 2005. HPV Data Summary and Test Plan for Hexabromocyclododecane (HBCD). CAS No.3194556. <http://www.epa.gov/hpv/pubs/summaries/cyclodod/c13459rt.pdf>**

**[BSEF] Bromine Science and Environmental Forum. About Hexabromocyclododecane (HBCD). 2006. <http://www.bsef.com/our-substances/hbcd/about-hbcd/> (accessed January 2008).**

**[BSEF] Bromine Science and Environmental Forum. About Hexabromocyclododecane (HBCD). 2010. <http://www.bsef.com/our-substances/hbcd/about-hbcd/> (accessed June 2010).**

[BUWAL] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 2004. Bromierte Flammschutzmittel in Kunststoffprodukten des Schweizer Marktes. Authors: Kuhn, E., Arnet, R., Känzig, A. and Frey, T. 53 p.

[CEFIC/EFRA] European Chemical Industry Council. European Flame Retardants Association 2006. Flame Retardants Fact Sheet. Hexabromocyclododecane (HBCD). 3 p. <http://www.cefic-efra.com/Objects/2/Files/HBCDFactsheet.pdf>

[CEFIC/EFRA] European Chemical Industry Council. European Flame Retardants Association. Flame Retardants Fact Sheet. Ammonium Polyphosphate (APP). 4 p. <http://www.cefic-efra.com/Objects/2/Files/APPFactSheet.pdf>

**[DEPA] Danish Environmental Protection Agency 2010. Inclusion of HBCDD, DEHP, BBP, DBP and additive use of TBBPA in annex IV of the Commission's recast proposal of the RoHS Directive, COWI A/S. Danish Ministry of Environment, Environmental Project No. 13172010. Authors Maag J, Brandt K, Mikkelsen S, Lassen C. 87 p.**

**[DIOXIN] 2010a. PBDEs and their replacements: Does the benefit justify the harm? Dioxin 2010, 1-6. Authors: Blum, A., Shaw, S. & Birnbaum, L.**

- [DIOXIN] 2010b. PBDE, HBCD and other non-PBDE flame retardants in car dust sampled in the Czech Republic in 2009. Dioxin 2010. Authors: Stavelova M, Kalachova K, Pulkrabova J, Hradkova P, Kovar M, Demnerova K, Hajslova J.**
- Desmet K, Schelfaut M, Sandra P. 2005. Determination of bromophenols as dioxin precursors in combustion gases of fire retarded extruded polystyrene by sorptive sampling-capillary gas chromatography-mass spectrometry. J Chromatogr., A 1071(1 2):125–129.**
- [DOW] DOW Chemicals 2011. Dow Announces Development of a New Polymeric Flame Retardant Technology for Polystyrene Foam Building Insulation Products. Press release 29 March, 2011. Available at <http://www.dow.com/news/corporate/2011/20110329b.htm>**
- Dumler R, Thoma H, Lenoir D, Hutzinger O. 1989. PBDF and PBDD from the combustion of bromine containing flame retarded polymers: a survey. Chemosphere 19(12):2023–2031.**
- [EC] 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](http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/existing-chemicals/risk_assessment/REPORT/decabromodiphenyletherreport013.pdf)
- [EC] European Commission. Risk assessment hexabromocyclododecane, CAS-No.: 25637-99-4, EINECS No.: 247-148-4, Final Report May 2008. 492 pp. [http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documents/Existing-Chemicals/RISK\\_ASSESSMENT/REPORT/hbcddreport044.pdf](http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documents/Existing-Chemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/hbcddreport044.pdf)**
- [EC] European Commission. Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs. FINAL REPORT 25 March 2011 (Update 13 April 2011). 841 p.  
[http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP\\_Waste\\_2011.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP_Waste_2011.pdf)
- [ECB] European Chemicals Bureau 2008. TRIS(2-CHLORO-1-METHYLETHYL) PHOSPHATE (TCPP). CAS No: 13674-84-5; EINECS No: 237-158-7; Summary Risk Assessment Report. Ireland (lead) and United Kingdom. 20 p. <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/risk-assessment/SUMMARY/tcppsum425.pdf>**
- [ECHA] (European Chemicals Agency) 2008. Member state committee support document for identification of hexabromocyclododecane and all major diastereoisomers as a substance of very high concern. 43 pp. Available at: [http://echa.europa.eu/chem\\_data/authorisation\\_process/candidate\\_list\\_table\\_en.asp](http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp)**
- [ECHA] European Chemicals Agency 2009. Data on Manufacture, Import, Export Uses and Releases of HBCDD as well as Information on Potential Alternatives to Its Use. December 1, 2009. [http://echa.europa.eu/doc/consultations/recommendations/tech\\_reports/tech\\_rep\\_hbcdd.pdf](http://echa.europa.eu/doc/consultations/recommendations/tech_reports/tech_rep_hbcdd.pdf)**
- [EHP] San Antonio statement on brominated and chlorinated flame retardants, Environ Health Perspect 118:516 – 518 (2010). Authors: DiGangi J, Blum A, Bergman A, de Wit CA, Lucas D, Mortimer D, Schecter A, Scheringer M, Shaw SD, Webster TF (2010)**
- [EMPA] Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology 2010. RoHS substances in mixed plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. Final Report September 17, 2010. Authors: Wäger,P., Schlupe, M. and Müller, E. 99 p.**
- [Environment Canada]. Draft Screening Assessment Cyclododecane, 1,2,5,6,9,10-hexabromo- Chemical Abstracts Service Registry Number 3194-55-6. Environment Canada. Health Canada. August 2010a. 114 p.**
- [Environment Canada]. Risk Management Scope for Cyclododecane,1,2,5,6,9,10 – hexabromo- (Hexabromocyclododecane; HBCD). Environment Canada. Health Canada. August 2010b. 12 p.

- [EPS 2011] 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications. [http://www.tekna.no/portal/page/portal/tekna/event?p\\_kp\\_id=20775&p\\_backurl=http://www.tekna.no/portal/page/portal/tekna/event&p\\_action=PREVIEW](http://www.tekna.no/portal/page/portal/tekna/event?p_kp_id=20775&p_backurl=http://www.tekna.no/portal/page/portal/tekna/event&p_action=PREVIEW)
- [EUMEPS] European Manufacturers of Expanded Polystyrene 2002. **Building a Better Environment with EPS**. <http://www.eumeps.org/show.php?ID=4469&psid=xwctaave> (Accessed May 2011). 6 p.
- [EUMEPS] European Manufacturers of Expanded Polystyrene 2011. Fire Safe Construction with EPS. <http://www.eumeps.org/show.php?ID=4530&psid=xwctaave> (Accessed May 2011). 18 p.
- [Geopartner] GEO Partner AG Resource Management 2007. **Dynamic Substance Flow Analysis Model for Selected Brominated Flame Retardants as a Base for Decision Making on Risk Reduction Measures (FABRO)**. Final report. Authors: Morf, L., Buser, A., Taverna, R. 165 p.
- Goosey E, Abdallah M, Harrad S. Dust from Primary School and Nursery Classrooms in the UK: Its Significance as a Pathway of Exposure for Young Children to PFOS, PFOA, HBCDs and TBBP-A. *Organohalogen Compd.* 2008; 70: 855-858.
- [Halogenated flame retardants] 2010. Do the fire safety benefits justify the risks? Authors: Shaw SD, Blum A, Weber R, Kurunthachalam K, Rich D, Lucas D, Koshland CP, Dobraca D, Hanson S, Birnbaum L. *Reviews on Environ Health* 25:261 - 305
- Harrad, S. & Abou-Elwafa Abdallah, M. Brominated flame retardants in dust from UK cars-within-vehicle spatial variability, evidence for degradation and exposure implications. *Chemosphere* 2011;82(9):1240-5
- [HBCD Industry Working Group]. Update on research programmes on alternatives to HBCD for polystyrene insulation foams. Submission to ECHA public consultation (2009) and to UNECE (February 2010) 7 p.
- Heeb NV, Schweizer WB, Kohler M and Gerecke AC. Structure elucidation of hexabromocyclododecanes - a class of compounds with a complex stereochemistry. *Chemosphere* 2005; 61: 65-73.
- Heeb NV, Schweizer WB, and Lienemann P. Thermally-induced transformation of hexabromocyclododecane and isobutoxypenta bromocyclododecanes in flame-proofed polystyrene materials. *Chemosphere* 2010; 80(7):701-708.
- [HSDB] Hazardous Substances Data Bank. Comprehensive, peer-reviewed toxicology data for about 5,000 chemicals. <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB> Accessed in June 2011.
- [INE-SEMARNAT] Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Las sustancias tóxicas persistentes en Mexico. Report. Authors: Bremauntz AF, Yarto Ramírez MY, Díaz JC. 2004, 261 pp.
- Kajiwara N, Sueoka M, Ohiwa T, Takigami H. Determination of flame-retardant hexabromocyclododecane diastereomers in textiles. *Chemosphere*. 2009;74(11):1485-9.
- [KEMI] Swedish Chemicals Agency 2006. Survey and technical assessment of alternatives to TBBPA and HBCDD. Author: Posner, S. 43 p. [http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/PM/PM1\\_06.pdf](http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/PM/PM1_06.pdf)
- [KEMI] Swedish Chemicals Agency 2008. Proposal for Harmonised Classification and Labelling Based on the CLP Regulation (EC) No 1272/2008, Annex VI, Part 2. Substance Name: Hexabromocyclododecan. Dossier submitted to the European Commission 2009; 49 pp.
- [KLIF] Climate and Pollution Agency in Norway 2011a. Exploration of management options for Hexabromocyclododecane (HBCD). 18 August 2010 (updated version). Author: Posner, S., Säll, L. 45 p. <http://www.klif.no/no/Publikasjoner/Publikasjoner/2011/Mai/Report-to-the-8th-meeting-of-the-UNECE-Task-Force-on-Persistent-Organic-Pollutants-Montreal-18-20-May-2010-updated-18-August-2010/>

- [KLIF] Climate and Pollution Agency in Norway. 2011b. Assessment of the consumption of HBCDD in EPS and XPS in conjunction with national fire requirements. Authors: Posner, S., Blomqvist, P., Simonson McNamee, M., Thureson, P. 75 p. <http://www.klif.no/no/Publikasjoner/Publikasjoner/2011/Mai/Assessment-of-the-consumption-of-HBCDD-in-EPS-and-XPS-in-conjunction-with-national-fire-requirements/>
- [KLIF] Climate and pollution agency in Norway 2011c. Alternatives to the use of flame retarded EPS in buildings. A report by COWI AS Denmark. Authors: Lasses, C., Maag, J., Hoibye, L., Vesterlykke, M., Lundegaard, T. 97 p.
- Knutsen HK, Kvale HE, Thomsen C, Frøshaug M, Haugen M, Becher G, Alexander J, Meltzer HM. Dietary exposure to brominated flame retardants correlates with male blood levels in a selected group of Norwegians with a wide range of seafood consumption. *Mol Nutr Food Res*. 2008;52(2):217-27.
- Leung, A.O.W., Chan, J.K.Y., Hua Xing, G., Xu, Y., Chun Wu, S., Wong, C.K.C, Leung, C.K.M., Wong, M.H, Body burdens of polybrominated diphenyl ethers in childbearing-aged women at an intensive electronic-waste recycling site in China. *Environ Sci Pollut Res* (2010) 17:1300–1313
- [LCSP] Lowell Center For Sustainable Production. An Overview of Alternatives to Tetrabromobisphenol A (TBBPA) and Hexabromocyclododecane (HBCD). Report prepared for The Jennifer Altman Foundation. University of Massachusetts , 2006. Author: Morose G. 32 pp.
- Managaki S, Miyake Y, Yokoyama Y, Hondo H, Masunaga S, Nakai S, Kobayashi T, Kameya T, Kimura A, Nakarai T, Oka Y, Otani H and Miyake A. Emission load of hexabromocyclododecane in Japan based on the substance flow analysis. 2009. [http://risk.kan.ynu.ac.jp/publish/managaki/managaki200908\\_1.pdf](http://risk.kan.ynu.ac.jp/publish/managaki/managaki200908_1.pdf)
- Malarvannan, G., Kunisue, T., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M., Subramanian, A. & Tanabe, S. 2009. Organohalogen compounds in human breast milk from mothers living in Payatas and Malate, the Philippines: levels, accumulation kinetics and infant health risk. *Environ Pollut*, 157, 1924-32.
- Miyake Y, Managaki S, Yokoyama Y, Nakai S, Kataoka T, Nagasawa E, Shimojima M, Masunaga S, Hondo H, Kobayashi T, Kameya T, Kimura A, Nakarai T, Oka Y, Otani H and Miyake A. Exposure to hexabromocyclododecane (HBCD) emitted into indoor air by drawing flameretarded curtain. [http://risk.kan.ynu.ac.jp/publish/masunaga/masunaga200908\\_3.pdf](http://risk.kan.ynu.ac.jp/publish/masunaga/masunaga200908_3.pdf)
- Morf L, Buser A, Taverna R, Bader HP, Scheidegger R. Dynamic substance flow analysis as a valuable tool - a case study for brominated flame retardants as an example of potential endocrine disruptors. 2008: 62(5):424-431
- [NCM] Nordic Council of Ministers 2004. Emission measurements during incineration of waste containing bromine TemaNord. Nordic Council of Ministers 2004:529 0903-7004 Corporate Author: Nordic Council of Ministers. 55 p.
- [NCM] Nordic Council of Ministers 2008. Hexabromocyclododecane as a possible global POP. Nordic Chemicals Group and Nordic Council of Ministers, Author: Peltola-Thies J. 2008, 91 pp. <http://www.norden.org/en/publications/publications/2008-520>
- [OECD] Organization for Economic Co-operation and Development. SIDS Initial Assessment Profile for Cas. No. 25637-99-4, 3194-55-6, Hexabromocyclododecane (HBCDD). SIAM 24, 19-20 April 2007. Available from: <http://webnet.oecd.org/Hpv/UI/handler.axd?id=ea58ac11-e090-4b24-b281-200ae351686c>
- Polder, A., Venter, B., Skaare, J. U. & Bouwman, H. 2008. Polybrominated diphenyl ethers and HBCD in bird eggs of South Africa. *Chemosphere*, 73, 148-154.
- [RAC] Committee for Risk Assessment RAC. Opinion proposing harmonised classification and labeling at Community level of hexabromocyclododecane (HBCDD). European Chemicals Agency (ECHA), 2010



- [RAC] Committee for Risk Assessment RAC. Annex 1. Background Document to the Opinion proposing harmonized classification and labelling at Community level of Hexabromocyclododecane (HBCDD). European Chemicals Agency (ECHA), 2010.
- Remberger M, Sternbeck J, Palm A, Kaj L, Strömberg K, Brorström-Lundén E. The environmental occurrence of hexabromocyclododecane in Sweden. *Chemosphere*. 2004;54(1):9-21
- Shuler D, Jager J (2004) Formation of chlorinated and brominated dioxins and other organohalogen compounds at the pilot incineration plant VERONA, *Chemosphere* 54:49 – 59
- Stapleton HM, Allen JG, Kelly SM, Konstantinov A, Klosterhaus S, Watkins D, McClean MD, Webster TF. Alternate and new brominated flame retardants detected in U.S. house dust. *Environ Sci Technol*. 2008;42(18):6910-6.
- [Stec A & Hull R.] Fire toxicity. Woodhead publishing Limited, Oxford. 728 p. ISBN 1 84569 502 X
- Stuart H, Ibarra C, Abdallah MA, Boon R, Neels H, Covaci A. Concentrations of brominated flame retardants in dust from United Kingdom cars, homes, and offices: Causes of variability and implications for human exposure. *Environ Int*. 2008;34(8):1170-5.
- [SWEREA] Exploration of management options for HBCDD. Report. Authors: Posner S, Roos S, Olsson E. 2010. 84 pp.
- Takigami H, Suzuki G, Hirai Y, Ishikawa Y, Sunami M, Sakai S. Flame retardants in indoor dust and air of a hotel in Japan. *Environ Int*. 2009a;35(4):688-93.
- Takigami H, Suzuki G, Hirai Y, Sakai S. Brominated flame retardants and other polyhalogenated compounds in indoor air and dust from two houses in Japan. *Chemosphere*. 2009b ;76(2):270-7.
- Thomsen C, Frøshaug M, Leknes H and Becher G. Brominated flame retardants in breast milk from Norway. *Organohalogen compounds* 2003; 64:
- Tue, N. M., Sudaryanto, A., Tu, B. M., Isobe, T., Takahashi, S., Pham H. V. & Tanabe, S. 2010. Accumulation of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in breast milk from women living in Vietnamese e-waste recycling sites. *Science of The Total Environment*, 408, 2155-2162.
- [USDOE] US Department of Energy. Insulation and Air Sealing. Accessed June 2011. [http://www.energysavers.gov/your\\_home/insulation\\_airsealing/index.cfm/mytopic=11510](http://www.energysavers.gov/your_home/insulation_airsealing/index.cfm/mytopic=11510)
- [US EPA] US Environmental Protection Agency. Initial Risk-Based Prioritization of High Production Volume Chemicals. Chemical/Category: Hexabromocyclododecane (HBCD). Risk-Based Prioritization Document 3/18/2008
- [US EPA] US Environmental Protection Agency. Hexabromocyclododecane (HBCD) Action Plan. 12 p. [http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/RIN2070-AZ10\\_HBCD%20action%20plan\\_Final\\_2010-08-09.pdf](http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/RIN2070-AZ10_HBCD%20action%20plan_Final_2010-08-09.pdf)
- [VECAP] Voluntary Emissions Control Action Programme 2011. Annual Progress Report 2010. European Flame Retardants Association (EFRA), the Bromine Science and Environmental Forum (BSEF). 22 p. [www.vecap.info](http://www.vecap.info)
- [VISTA] Vista Analyse AS. Kostnader og konsekvenser av utfasing av stoffer og stoffgrupper m.v. Vista Analyse Rapport 2010/09. Author: Skjelvik, J.M.. 42 p. <http://www.miljogift.no/Portals/0/Sluttrapport%20-%20Kostnader%20og%20konsekvenser%20av%20utvalgte%20tiltak.pdf>
- [Vogdt] F.U. Planung, Konstruktion, Ausführung, Kapitel 15: Umwelt und Gesundheit. Kalksandstein – Umwelt und Gesundheit. Januar 2009.
- Weber R, Kuch B. 2003. Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. *Environment International* 29: 699 -710.

**Weil E.D., Levchik, S.V.. Flame Retardants in Commercial Use or Development for Textiles. Journal of Fire Sciences May 2008 vol. 26 no. 3 243-281**

**Weil E.D., Levchik, S.V.. Flame Retardants for Plastics and Textiles. Practical Applications. Hanser Publications. Munich. 2009. ISBN 978-1-56990-454-1. 297 p.**

Zhang, X. L., Yang, F. X., Luo, C. H., Wen, S., Zhang, X. & Xu, Y. 2009. Bioaccumulative characteristics of hexabromocyclododecanes in freshwater species from an electronic waste recycling area in China. *Chemosphere*, 76, 1572-1578.

---