



联合国
环境规划署

Distr.: General
4 December 2007

Chinese
Original: English

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
第三次会议
2007年11月19-23日，日内瓦

持久性有机污染物审查委员会第三次会议工作报告

增编

商用五溴二苯醚风险管理评价

在其第三次会议上，持久性有机污染物审查委员会根据文件 UNEP/POPS/POPRC.3/9 所载草案，通过了关于商用五溴二苯醚的风险管理评价。下文即经修正的风险管理评价案文。该案文未经正式编辑。

商用五溴二苯醚

风险管理评价

持久性有机污染物审查委员会第三次会议通过

2007年11月

目 录

执行摘要	5
1. 导言	6
1.1 该拟议物质的化学特性	6
背景	6
该拟议物质的化学特性	6
1.2 审查委员会关于附件 E 信息的结论	6
1.3 已经采取的国家或区域控制行动	7
2. 生产、使用和释放	7
2.1 生产和使用的浓度水平和趋势	7
总需求量和生产	7
2.2 商用五溴二苯醚的使用	8
2.3 未来全球阻燃剂的需求量	9
2.4 商用五溴二苯醚和使用商用五溴二苯醚的产品生产过程中的扩散	10
2.5 含有商用五溴二苯醚的产品使用期间的扩散	10
室内设备	10
室外设备	10
2.6 含有商用五溴二苯醚的废物的扩散	11
商用五溴二苯醚生产过程中产生的废物	11
含有商用五溴二苯醚的产品制造过程中产生的废物	11
当含有商用五溴二苯醚的产品成为废物时	11
垃圾填埋和焚化过程中的释放	12
2.7 回收利用和拆卸活动中的扩散	12
电气和电子废物回收厂	12
车辆拆卸	13
建筑物和其他建筑的拆除	13
3. 与风险管理评价有关的概要信息	13
3.1 可能的控制措施	13
可能的控制措施的效力和效率	14
废物处理	14
3.2 关于替代物的信息（产品和流程）	15
聚氨酯泡沫中商用五溴二苯醚的替代物	15
聚氨酯泡沫中商用五溴二苯醚的非化学替代物	16

电器和电子设备中商用五溴二苯醚的替代物	16
纺织品中商用五溴二苯醚的替代物	16
3.3 执行可能的控制措施对社会的影响	16
淘汰商用五溴二苯醚的效益	16
淘汰商用五溴二苯醚的成本	17
成本和效益比较	18
4. 信息综述	19
4.1 评价概要	19
4.2 风险管理战略要素	19
结论声明	20
参考资料	22

执行摘要

商用五溴二苯醚（C-PentaBDE）是一种溴化阻燃剂（BFRs）的混合物，主要是五溴二苯醚（PentaBDE）和四溴二苯醚（TetraBDE）的异构体。溴化阻燃剂是一组抑制或阻止有机材料燃烧的溴化有机物。商用五溴二苯醚一直以来几乎只用于生产家具、家庭和车辆室内装潢和包装材料之用的柔性聚氨酯泡沫塑料和用于壳体 and 电子设备的非泡沫聚氨酯。有时候它们也会在纺织业和工业中得到专门应用。四溴二苯醚和五溴二苯醚的化学和物理特性造成在环境和人体内的广泛散布，同时有证据表明其具有毒性。基于这些原因，商用五溴二苯醚的成分在世界上的许多地区引起了关切。

一些产品组在消防安全方面有国家和国际标准。比如，这适用于电器、工业包装、装饰家具、窗帘、家用电器和电缆。这些标准明确说明了所需要的阻燃特性，但并没说明使用何种阻燃剂。至目前为止，溴化阻燃剂被认为是最为有效的阻燃剂。目前，普遍的做法是将这些物质替换成不含溴的阻燃剂或改变产品的设计，这样便无须再继续使用阻燃剂。

在环境中检测到高浓度水平的商用五溴二苯醚成分。它们具有极强的毒性，并被证明是持久性和易在生物体内积累的有机污染物。因此，它们对后代构成了潜在的风险。野生生物和人体内的浓度也大大上升（RPA, 2000年）。这些调查结果使世界上的一些地区开始对商用五溴二苯醚进行主动和规范性的淘汰。由于这是一个全球性的越境问题，应当考虑淘汰商用五溴二苯醚的全球行动。

一些国家报告称，他们将在管理五溴二苯醚商业混合物方面存在问题。将个别同源物如主要成分、BDE-47和BDE-99，或是各类四溴和五溴二苯醚（各类都有确定的成员）列入《公约》项下受管制物质的清单符合现有五溴二苯醚同源物的国家立法，并将便利对扩散生产和使用的国家监测和控制。有建议认为，也应该考虑将六溴二苯醚列入清单，它只占商用五溴二苯醚很小一部分。由于六溴二苯醚是商用八溴二苯醚的组成部分，在评价八溴二苯醚管理选择办法时需考虑将六溴二苯醚列入清单的问题。

结论和建议

在起草载于《公约》附件F的本风险管理评价之前，对商用五溴二苯醚风险简介进行了评价，并得出结论，由于该混合物组成成分的特性，其在经过远距离环境迁移之后，有可能对人类健康和环境造成严重不利影响。

依据《公约》第8条第9款的规定，委员会建议缔约方大会考虑如上所述，将2,2',4,4'-四溴二苯醚（BDE-47，化学文摘社登记号：40088-47-9）和2,2',4,4',5-五溴二苯醚（BDE-99，化学文摘社登记号：32534-81-9）以及商用五溴二苯醚中的其它四溴和五溴二苯醚（为执行目的，以BDE-47和BDE-99作为标记）列入《公约》附件A。

1. 引言

1.1 该拟议物质的化学特性

背景

2005 年，挪威建议将商用五溴二苯醚列入《斯德哥尔摩公约》附件 A 下的持久性有机污染物，挪威负责本风险管理评价的起草工作（附件 F）。

商用五溴二苯醚（C-PentaBDE）是一种溴化阻燃剂（BFRs）的混合物，主要是五溴二苯醚（PentaBDE）和四溴二苯醚（TetraBDE）的异构体。溴化阻燃剂是一组抑制或阻止有机材料燃烧的溴化有机物。商用五溴二苯醚主要用于生产家具、家庭和车辆室内装潢和包装材料之用的柔性聚氨酯泡沫塑料和用于壳体 and 电子设备的非泡沫聚氨酯。有时候它们也会在纺织业和工业中得到专门应用。由于其主要组成部分即四溴二苯醚和五溴二苯醚的异构体的化学特性和毒性及其在环境和人体内的广泛散布，商用五溴二苯醚在世界上的许多地区引起了关切。

该拟议物质的化学特性

商用五溴二苯醚（C-PentaBDE）系指溴化二苯醚同源物，其主要组成部分为 2,2',4,4'-四溴二苯醚（BDE-47 化学文摘社编号 40088-47-9）和 2,2',4,4',5-五溴二苯醚（BDE-99 化学文摘社编号 32534-81-9），与该混合物的其他组成部分相比浓度最高。六溴二苯醚（HexaBDE）也可以构成商用五溴二苯醚的很大部分。北美和欧洲地区所使用的商用五溴二苯醚含有 4-12% 的六溴二苯醚。

五溴二苯醚的编号方法与多氯联苯（PCBs）中使用的编号方法是一样的（Ballschmiter 等人，1993 年）。全称术语多溴二苯醚（polybromodiphenyl ether）的缩略词是 PBDE，它涵盖了所有溴化二苯醚的同族元素。溴化二苯醚有时缩略为 BDE。

1.2 审查委员会关于附件 E 信息的结论

《斯德哥尔摩公约》附件 E 要求编制风险简介，以评价此种化学品在经过远距离环境迁移之后，是否会对人类健康和/或环境造成严重不利影响，因此有必要采取全球行动。2006 年，拟订并通过了一份关于商用五溴二苯醚的风险简介（环境规划署，2006 年）。持久性有机污染物审查委员会得出以下结论：

“商用五溴二苯醚（C-PentaBDE）是一种人为合成混合物，没有已知的自然产出。因此，可以得出结论，环境中存在商用五溴二苯醚的成分是由于人类活动的原因。远距离迁移是北极这样的远离生产和释放地点的地区存在商用五溴二苯醚的主要原因。五溴二苯醚在环境中慢慢降解，可以在哺乳动物和食鱼鸟中进行生物积累和生物放大。商用五溴二苯醚生产和使用的淘汰已经导致当前阶段使用的削减，但是许多正在使用中的原料，诸如电子设备中的聚氨酯泡沫和塑料，含有能向环境缓慢释放的五溴二苯醚。在此种原料用尽时，释放将加快，特别是在回收和重复使用期间更是如此。尽管在欧洲，人体血液和牛奶以及其他环境物种中的五溴二苯醚浓度水平正在下降，但是，在北美和北极地区，其浓度水平正在上升。根据本风险简介所提供信息，

商用五溴二苯醚由于其组成成分，在经过远距离环境迁移并被证明在一些非人类物种体内具有毒性之后，有可能对人类健康和环境造成严重不利影响，因此有必要采取全球行动。”

1.3 已经采取的国家或区域控制行动

绝大多数发达国家已经采取了一些行动来限制五溴二苯醚的生产和使用。

- 澳大利亚：五溴二苯醚在新商品中得到有效禁止。进口含有溴化阻燃剂的商品不在管理范围之内。
- 欧盟：从 2004 年起，禁止将浓度高于 0.1 % 的五溴二苯醚投放市场并使用（欧盟指令 2003/11/EC）。根据欧盟关于电器和电子设备的危险物质限制，从 2006 年 7 月 1 日起，停止对电器和电子设备的使用。含有五溴二苯醚超过 0.25 % 的产品被丢弃时被归为危险物质。
- 美国：工业从 2005 年起自愿停止了商用五溴二苯醚的生产，其使用在一些州被禁止。美国环保署要求在重新生产作为任何用途的五溴二苯醚之前进行通知和机构审查（见 40 CFR 721.10000 部分规则）。
- 日本：1990 年自愿停止了五溴二苯醚的生产。
- 挪威和瑞士：这两个国家都禁止了生产、进口、出口、销售并使用五溴二苯醚和单位重量含有 0.1% 或以上五溴二苯醚的混合物。含有 0.25 % 以上五溴二苯醚的产品在被丢弃时被归为危险物质。在挪威，禁止回收和回用五溴二苯醚和含有五溴二苯醚的材料。
- 加拿大：不生产五溴二苯醚。2006 年制定了关于制造、使用、销售和进口的条例。加拿大将对含有商用五溴二苯醚的四溴二苯醚、五溴二苯醚和六溴二苯醚的同源物进行实质性的消除。
- 中国：自 2007 年 3 月 1 日起，禁止在电器和电子产品中使用五溴二苯醚。
- 国际公约下化学品的地位列于文件 UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23。

2. 生产、使用和释放

2.1 需加以管理的生产和使用的浓度水平和趋势

总需求量和生产

根据在“溴科学与环境论坛”上提供的关于商用五溴二苯醚的最新可用市场信息，全球总需求量已经从 1999 年的 8,500 吨下降至 2001 年的 7,500 吨。根据《溴科学与环境论坛》（2001 年），估计自 1970 年以来商用五溴二苯醚的累计使用量为 100,000 吨。

表2.1 2001年按地区分列的全球需求总量，公吨和百分比。

	美洲	欧洲	亚洲	世界其他地区	共计	全球使用溴化阻燃剂总量的百分比
五溴 - 混合五溴二苯醚制剂	7,100	150	150	100	7,500	4 %

资料来源：《溴科学与环境论坛》（2001年）。

生产商用五溴二苯醚的国家和地区有以色列、日本、美国和欧盟（Peltola等人，2001年和TNO报告，2005年）。1999年，中国发放了关于含有五溴二苯醚技术混合物的专利。由于产自中国，该技术混合物的各项成分比例与产自欧洲和美国的商用五溴二苯醚不同（即，含有不同比例的同源物）。

美国环境署（2007年）估计，2002年美国的生产和进口在4,500吨和23,000吨之间，但是具体的数字为行业机密。美国最后的商用五溴二苯醚的生产者大湖化学公司（现在的科聚亚公司）于2004年自愿停止了商用五溴二苯醚的生产。在美国淘汰商用五溴二苯醚之前，全球范围内生产的商用五溴二苯醚配方绝大多数用于北美（>97%）。2004年底，每年在美国生产的21亿磅多的柔性聚氨酯泡沫中约有7.5%含有商用五溴二苯醚制剂（华盛顿州，2006年）。

2000年加拿大进行的一项调查结果表明，约有1,300吨含有五溴二苯醚的商业产品进口到加拿大。根据报告的数量，商用五溴二苯醚的进口量最多。

原先的欧盟国家（15个）于1997年停止了商用五溴二苯醚的生产（欧洲联盟，2000年）。在1990年代后半期，欧盟国家（15个）对该物质的使用量逐渐下降，2000年估计为300公吨（仅用于生产柔性聚氨酯的）（欧洲联盟，2000年）。2004年开始在欧盟国家（25个）禁止使用五溴二苯醚。自2006年7月1日起停止了该物质在电器和电子设备中的使用。

以色列的主要生产商“死海溴集团”在其网页上发表了一则公开声明，称它们的产品不含五溴二苯醚，表明该生产商与欧盟的禁令保持一致，而欧盟地区是该公司生产的阻燃剂的一个重要市场。

由于目前欧盟、日本、加拿大、澳大利亚和美国应该没有生产商用五溴二苯醚，剩余的生产将位于世界其他地区。没有汇报关于在中国的生产状况的信息。

没有发现欧盟以外的东欧或大多数亚太地区国家的信息。没有来自非洲或拉丁美洲国家的信息。

2.2 商用五溴二苯醚的使用

尽管发达国家从根本上禁止生产和使用，但是，若不把商用五溴二苯醚列为持久性有机污染物，发展中国家很可能会开始自行生产和使用。根据不同的国家和地区调查和依照《大气污染物的长程飘移公约》进行的提交，商用五溴二苯醚被用于以下几个部门（瑞士环境署，2002年，丹麦环境保护署，1999年，欧盟，2000年，挪威环境保护署，2003年，以及<http://www.unep.org/env/popsxg/6thmeeting.htm>）：

- **电器和电子设备（简称EE设备）：**计算机（Betts, 2006年；Hazrati和Harrad, 2006年）、家用电子产品、办公设备、家用电器和其他载有印刷电路板的器件、塑料外壳和内装塑料部件，比如装有硬质聚氨酯高弹体仪器外壳的小型运行组件。
- **交通运输：**汽车、火车、飞机和轮船使用的纺织和塑料内装饰材料 and 电器组件。
- **建筑材料：**泡沫填充料、绝缘板、泡沫保温材料、管材、壁板和地板、塑料复膜合成树脂等。
- **家具：**装饰家具、家具罩、床垫、柔性泡沫制品。商用五溴二苯醚还可以在以聚氨酯泡沫为基质的各种包装材料中找到。
- **纺织品：**窗帘、地毯、地毯下面的泡沫垫层、帐篷、防水帆布、工作服和防护服等。
- **包装：**商用五溴二苯醚还可以在以聚氨酯泡沫为基质的各种包装材料中找到。

2.3 未来全球阻燃剂的需求量

有迹象表明，如果不对商用五溴二苯醚颁布禁令，其产量和使用量——及其他溴化阻燃剂的产量和使用量——将有所增加。根据一家市场分析咨询公司的预测，全球阻燃剂的需求量将以 4.4% 的年增长率持续增长，预计到 2009 年将达到 210 万公吨，价值约为 43 亿美元（Freedonia Group, 2005 年）。拉动这方面增长的主要因素是亚洲（尤其是中国）、拉丁美洲和东欧发展中国家的经济增长。预计大多数的阻燃剂的需求量都会增长。从全球来讲，需求量最大的将是溴化合物，这主要是由于中国经济的强劲增长。电器和电子设备使用的需求量将增长最快，因为电子电路变得越来越小，配置更加密集的塑料装置将在更高的温度下运行。价值更高的产品将进一步取代对环境较为不利的化合物，尤其在西欧；而在中国，氯化物将开始被溴基和磷基阻燃剂及其他类型的阻燃剂所取代（Freedonia Group, 2005 年）。

建筑市场将是全球增长第二快的产业。但在中国，排名第二的将是汽车制造业，其次是纺织业，这两个产业都在该国迅速发展。塑料将在一系列广泛产品中继续取代金属和玻璃等其他材料，以降低成本和重量，同时改进产品设计并使生产更具灵活性。塑料的应用已在诸如运输、建材和电子等领域得到推广并不断增长。许多应用领域都要求塑料产品必须具有阻燃性能。因此预计，阻燃剂的总产量将有大约 75% 用于塑料生产（Freedonia Group, 2005 年）。

关于环境的限制性规定各地区不同。在西欧和日本，其次是北美洲，这种规定特别限制氯化物的增长，而氯化物可能会被当作五溴二苯醚的实物替代品。西欧对某些溴化阻燃剂的禁令估计不会充分推广到其他地区（Freedonia Group, 2005 年），但是它将推动世界市场销售的不含被禁物质的电器和电子设备的开发。2005 年在亚洲、欧洲和美国有数十家公司宣布，它们已经或正在开发不含商用五溴二苯醚的电器和电子设备。在亚洲，已有 51% 的电子制造商在制造符合欧盟规定的产品。一些电子公司的官员和产业顾问预计，鉴于难以使产品流分离，因此可以较有把握地估计，在世界市场上销售的大多数电子设备都能在 2005 年以前达到该禁令的要求（Environmental International reporter, 2006 年）。

2.4 商用五溴二苯醚和使用商用五溴二苯醚的产品生产过程中的扩散

商用五溴二苯醚的生产者报告称，五溴二苯醚在生产过程中进入环境的主要路径，是过滤后的废物和被抛弃的材料，它们都是以填埋的方式进行处理，不符合规范。废洗涤液通过废水的排放也可能造成五溴二苯醚的释放（RPA，2000年）。商用五溴二苯醚生产过程中向空气的释放假定为零，或者可以忽略不计（RPA，2000年，van der Gon 等人，2005年）。

模型分析表明，在制造含有商用五溴二苯醚的产品期间的释放与其消费相关释放量相比微不足道。

2.5 含有商用五溴二苯醚的产品使用期间的扩散

TNO（2005年）得出结论，向空气释放五溴二苯醚主要源自于含有作为阻燃剂的物质的产品和设备。

室内设备

有些研究对室内空气中含有五溴二苯醚的灰尘进行了研究，一些研究对人类接触五溴二苯醚的程度进行了检测（环境规划署，2006年）。室内灰尘被认为是人类接触的主要来源之一（环境规划署，2006年）。

商用五溴二苯醚仅用作化学品添加剂。尽管其成分的蒸气压很低，但是，在整个寿命周期期间会由于一些摩擦而从含有该物质的产品中挥发（RPA，2000年）。在释放出去的时候，五溴二苯醚有可能吸附到微粒物质上，而这些微粒（灰尘）可能附在器物表面或室内环境的其他物体表面，或者在房间通风的时候扩散到室外环境（丹麦环境署，1999年）。产品的物理分解也可能增加室内灰尘中的五溴二苯醚。

有些研究针对商用五溴二苯醚被用于纺织品、家具和器具等家用物品中，因此对室内空气中含有五溴二苯醚的灰尘进行了检测（Shoeib 等人，2004年；Stapleton 等人，2005年，以及 Wilford 等人，2005年）。控制室的实验已经从用于家具的聚氨酯泡沫检测到挥发的五溴二苯醚（Wilford 等人，2005年）。但是，Hale 等人（2002年）的工作表明，泡沫的物理分解可能是聚氨酯泡沫中五溴二苯醚的主要释放方式。实验数据显示，四溴二苯醚和五溴二苯醚从电子设备中释放而来，诸如电视机和电脑显示器（丹麦环境署，1999年）。这一点得到最近的一项研究的证实，其中指出商用五溴二苯醚在老式计算机中的使用（Betts 2006年；Hazrati 和 Harrad，2006年）。

在 RPA（2000年）中，在最差的情况下，估计在产品 10 年的预期寿命期间，产品中含有的商用五溴二苯醚中每年通过挥发而释放出去 3.9% 的五溴二苯醚。截至 2000 年，全球每年从家具中新使用的聚氨酯泡沫而释放出去的五溴二苯醚估计为 585–1,053 公吨/年（见文件 UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23，表 2.3）。

室外设备

尽管从室外设备挥发的材料在空气中将会广泛分散开，其密度很低，但是，含有商用五溴二苯醚的聚合物（泡沫）产品的微粒物质可以从含有商用五溴二苯醚的室外设备中释放出去。这些微粒物质主要向城市/工业土壤部分释放（75%），但是也可能被释放到地面水（24.9%）或空气（0.1%）。掺入了作为阻燃剂的商用五溴二苯醚的聚氯乙烯（RPA，2000年）可能被用于以下各种情况中：汽车底漆、天花板材、线圈涂层以及电缆、

电线和鞋底涂层。在欧盟的风险评估中，将产品寿命期内这种物质的释放因子判断为 2-10%，磨损率较高的使用，比如汽车底漆和鞋底涂层，其释放因子也较高。此外还把处置作业过程中的释放率设定为 2%。将这些释放全部考虑在内，欧盟地区该物质的损失量估计为：每年进入土壤 15.86 吨；进入地面水 5.26 吨；进入空气 0.021 吨。现有文献中没有关于全球释放的实际计量数据。

根据来自溴工业的资料，历史上在石油钻井和采矿中使用液压油（以混合物的形式）可以导致向环境释放过量的五溴二苯醚。现有文献中没有关于这些释放的实际计量数据。

2.6 含有商用五溴二苯醚的废物的扩散

商用五溴二苯醚的生产过程，含有商用五溴二苯醚的产品的制造过程，以及含有商用五溴二苯醚的产品最终成为废物等，都可能产生废物。现有文献中关于从含有商用五溴二苯醚的废物中释放的信息比较有限。

商用五溴二苯醚生产过程中产生的废物

据商用五溴二苯醚生产商称，在生产方面主要释放源来自过滤废物和弃料。废洗涤液通过废水的排放也可能造成五溴二苯醚的释放（RPA，2000 年）。采取填埋的方式处理含有商用五溴二苯醚的废物（RPA，2000 年）。在美国，在允许处理危险化学废物的填埋场处置这种废物。在欧洲，五溴二苯醚含量超过 0.25% 的废物归类为“危险废物”来处理。商用五溴二苯醚生产过程中产生的废物可以忽略不计。

含有商用五溴二苯醚的产品制造过程中产生的废物

在这些过程中所丢失的阻燃剂将继续停留在废弃泡沫中。泡沫碎屑通常回收用于制作地毯的弹性垫层（重新粘合），这种应用在美国尤为普遍（欧盟为此向美国出口泡沫碎屑下脚料（每年约 40,000 吨）（RPA，2000 年））。还报告了泡沫碎屑的其他用途，诸如泡沫碎料经粉碎可用作多种用途填充料，比如用于制作汽车座椅或在平板泡沫生产中用作直馏多烷基化合物的添加物。在许多国家，某些泡沫碎屑也有可能被填埋处理，甚或焚化处理。

在印刷电路板的生产过程中，迭层板的相当一部分要被切割掉而成为固体废物，电器和电子设备的生产也是如此。大多数国家现已停止了将商用五溴二苯醚用于生产印制板电路。这种固体废物被送进废物焚化炉一烧了之，如同从建筑材料、纺织品和家具的生产过程中所产生的废物一样。

当含有商用五溴二苯醚的产品成为废物时

在欧盟，管理含有溴化阻燃剂的塑料制品的条例也适用于含有五溴二苯醚的废物。在 2006 年 12 月之前，在此类废物回收和再循环之前，必须将含有溴化阻燃剂的塑料制品分拣出来。在从金属中分拣出来之后，塑料制品的碎片在市政废物焚化炉中被处理或焚毁，但是分离含溴和不含溴的塑料制品的技术正在出现，因此有助于废物管理和可能的回收利用。

废旧汽车在室外存放，然后运到破碎工厂拆卸。一些国家的规定要求将含有五溴二苯醚之类的组件作为危险废物处理。很明显，这种做法对易于拆卸的小型组件来说很容易办到。但是大多数塑料和纺织品组件比较难

以分离，所以这些材料的最终结局是成为从破碎机出来的废物，通常被填埋处理。

垃圾填埋和焚化过程中的释放

含有五溴二苯醚的聚合泡沫微粒可以从填埋场渗出至土壤、水域或地下水。但是，目前还不能评估这种过程的重要性。欧盟地区每年处置的和送去填埋或焚化处理的五溴二苯醚总量估计约为 1,036 吨（RPA，2000 年）。鉴于此种物质的物理化学特性（在水中的可溶性低，辛醇-水分配系数高），据认为不大可能从填埋场渗出大量含有五溴二苯醚的液体，因为该物质对土壤的吸附性很强（RPA，2000 年）。但是，挪威的甄选研究发现了在填埋场渗出液方面值得关注的五溴二苯醚浓度水平（Fjeld 等人，2003 年和 2004 年）。

在市政废物焚化炉的温度下，几乎所有阻燃剂都会被摧毁，但根据其他有机成分的经验，可能有微量成分从焚化炉释放出来（丹麦环境署，1999 年）。关于对市政固体废物焚化炉焚化情况的研究，在设施附近的空气中检测到上述背景以气态和颗粒形式存在的不同浓度水平的五溴二苯醚。这些浓度水平高于五溴二苯醚的本底水平（Agrell 等人，2004 年；Law，2005 年；ter Schure 等人，2004 年）。

在含有商用五溴二苯醚的物品焚烧过程中，可能释放出溴化二苯并-对-二噁英和二苯并呋喃之类有潜在毒性的产物（丹麦环境署，1999 年），如同在焚烧含有氯化材料的废物期间可能产生其氯化类似物一样。同时，在现代经营良好的废物焚烧炉中用来管理氯化二噁英和二苯并呋喃扩散的技术被认为也足以控制溴化和溴/氯混合物的扩散（经合组织，2001 年），这些物质可以在露天焚烧含有商用五溴二苯醚的材料和一些其他燃烧过程中释放出来（欧盟，2000 年）。

2.7 回收利用和拆卸活动中的扩散

电气和电子废物回收厂

在电器和电子设备回收厂，回收利用的通常是金属，有时候是塑料制品组件。但是永远不会是聚氨酯泡沫，因为它最后成为废物碎片，可以被焚烧以进行能源回收。

对电器废料堆中拆卸的FR2 印刷电路板进行化验分析的结果表明，所使用的五溴二苯醚当中有 35% 属于商用五溴二苯醚。为进行估计，假定老式电器中的 FR2 迭层板有 25% 是用五溴二苯醚工业用混合物处理过的（瑞士环境署，2002 年）。

Prevedouros 等人（2004 年）根据文献资料的数据对 1970 年至 2000 年间欧洲地区五溴二苯醚的生产、消费和大气排放进行了估计。研究结果显示，2000-2005 年间在欧洲废弃的电器和电子产品中五溴二苯醚的流量范围在每年 17-60 公吨的水平上。瑞士在一个现代化再循环工厂对此流量进行的一项实验研究得出的估计数高于文献研究得出的估计数。该研究承认，绝大多数生产商和进口商不具有关于他们销售产品中化学化合物成分的资料（瑞士环境署，2002 年）。

在 Morf 等人（2005 年）的研究中，电器和电子设备中的五溴二苯醚平均含量估计为 34 毫克/千克。电器和电子设备中塑料部分的含量最高，为 125 毫克/千克。如果在回收过程中没有像现代化工厂那样安装有效控制空

气污染装置的设施，可能会有大量携带五溴二苯醚的灰尘流量被释放到环境中去。在安装有排气过滤装置的工厂发现，近 65% 的五溴二苯醚将会被收集（Morf 等人，2005 年）。

对回收厂工作条件的研究已经在室内空气中检测到五溴二苯醚的浓度水平，并指出，五溴二苯醚也可以作为回收厂的离散扩散物而传播。一份关于瑞士国家物质流量的分析研究报告了五溴二苯醚、八溴二苯醚和十溴二苯醚以及四溴双酚A（TBBPA）的寿命周期流量分析结果。报告的几位作者得出结论，废弃的电器和电子设备是排在汽车破碎残渣和建材废料之前的最大来源（瑞士环境署，2002 年）。

车辆拆卸

根据一份关于瑞士溴化阻燃剂的流量分析报告，1998 年生产的汽车塑料制品中，五溴二苯醚的含量估计为 0.044 克/千克，而在 1980 年生产的汽车塑料制品中，五溴二苯醚的含量为 0.089 克/千克。这些含量是指汽车中除了电器和电子塑料制品组件以外的塑料总重量中所含有的商用五溴二苯醚。截至 1980 年代末期，所有的不饱和聚酯树脂都 100% 地用含溴阻燃剂进行了处理，主要是十溴二苯醚，同时还有商用五溴二苯醚和四溴双酚A。

汽车回收利用的第一步是在粉碎机里被碎裂，将金属与其他原料相分离，然后进行回收。塑料组件最后成为碎片，被叫作“fluff”。驱散扩散的条件可被假定为与电器和电器设备回收厂的一样。

建筑物和其他建筑的拆除

在瑞士，1990 年代生产的聚氨酯泡沫绝缘泡沫中有 5% 被用于建筑行业，并含有 220 克/千克的商用五溴二苯醚（瑞士环境署，2000 年）。

有迹象表明，在聚氯乙烯（PVC）塑料板材中也使用商用五溴二苯醚。在瑞士所进行的流量分析表明，1990 年以聚氯乙烯（PVC）塑料板材为原料生产的产品中有 5% 被假设含有商用五溴二苯醚。商用五溴二苯醚的含量估计为 49 克/千克的聚氯乙烯（PVC）板材。可以假设经尘埃传播的五溴二苯醚是在进行拆毁活动期间释放的，但是关于这种释放程度的信息十分稀少，不足以确定这些释放量。

3. 与风险管理评价有关的概要信息

3.1 可能的控制措施

原则上可以实施一些控制措施来减少商用五溴二苯醚的使用和/或减少因使用该物质而对环境产生的影响，不过，其中大部分措施都不在《斯德哥尔摩公约》范围之内。这些措施包括工业自愿承诺、生态标签计划、各种经济工具以及押金-退还制度。

若能得以有效实施，禁止/限制生产和使用商用五溴二苯醚或该商业混合物的主要成分将会是一项有效的措施。一些国家已经采取了此种行动。旨在减少产品中溴二苯醚浓度水平的标准将非常有效果（RPA，2000 年）。这些标准可以被用来确保以环境友好的方式进行废物处理。通过将商用五溴二苯醚的成分列入《斯德哥尔摩

公约》、进而对生产和使用该混合物实施全球禁令能最好地实现风险管理。由于存在所有商用五溴二苯醚使用的更为合适和环境友好的替代物，禁令将覆盖所有的行业。禁令将消除来自商用五溴二苯醚生产过程中的扩散，并消除生产和使用新产品中的商用五溴二苯醚所释放的溴二苯醚。一个重要的考虑因素是，仅仅一个禁令将不会影响已经在使用的产品释放商用五溴二苯醚。一个国家报告，需要对用于军事航空的商用五溴二苯醚进行豁免，因为缺少满足消防特殊要求的替代物。

各种针对生产和废物处理设施的控制措施将确保一个安全的工作环境和良好的制造做法、削减向环境释放量的末端治理、关于产品废物处理的条例等等。这些措施可以被适用于生产商用五溴二苯醚的工厂、使用商用五溴二苯醚作为其生产原料的工厂以及废物处理设施。如果合理设计并执行，这将是一个减少来自所涉排放源释放量的有效工具。

可能的控制措施的效力和效率

选择针对商用五溴二苯醚的其余用途和生产必须考虑的一个事实是，大多数发展中国家已经停止了商用五溴二苯醚的生产。不过，仍需采取行动以保护人类健康和环境免遭商用五溴二苯醚成分释放与扩散的影响。应当按照下列标准对进一步减少风险的可选办法进行审查（RPA，2000年）：

- **效力：**该措施必须针对重要的危险影响以及风险评估所确定的暴露路径，必须能够减少需要被限制在合理时期以内的风险。
- **实用性：**该措施应该是可以实施的、可以执行并且易于管理的。重点应放在可以利用现有基础设施开展的普遍措施。
- **经济影响：**该措施对生产商、加工者、使用者和其他各方的影响应该越小越好。
- **可监测性：**应该可以开展监测，以评估风险减少是否成功。

废物处理

关于商用五溴二苯醚生产和使用的禁令本身并不会影响其组成成分在废物处理期间被释放，在处理期间可能导致出现技术和遗留问题。但是，将一种物质列于《斯德哥尔摩公约》之下意味着禁止回收和重新使用商用五溴二苯醚的储备本身。《公约》第6条规定，废物和储备以一种安全、高效和环境无害的方式进行处理，以便其成分被破坏掉或不可逆转地被转化，同时考虑国际规则、标准和准则。这一条还禁止导致复原、回收、改良、直接使用或交替使用持久性有机污染物原料的处理做法。

将含有商用五溴二苯醚的物品和那些不含该物质的物品相分离是一项特殊的挑战，因为大部分物品没有关于含有何种成分的标注。但是，有关于过去含有商用五溴二苯醚的物品和目前使用何种物品的资料，比如电子产品、纺织品和绝缘材料以及壳体材料。国家有关当局应该开展调查，以获取更多关于成为废物的不同物品中商用五溴二苯醚含量的详细信息。从技术上讲，这一挑战在于分离含溴和不含溴的塑料成分。关于这一领域的技术正在出现，从而协助了废物管理和可能的回收利用，但是这些技术十分昂贵。

关于淘汰现有含商用五溴二苯醚的产品的使用和收集这些产品的目标可以按照《公约》附件 A 或 B 进行审议。由于使用中的含有商用五溴二苯醚的产品储备量很大，国家有关当局可以考虑一些其他的措施来限制其释放。这些措施可以包括成立人们可以将其使用过的产品交付的收集点，以及更加积极地促进并鼓励人们将使用过的产品交到这些收集点。押金-退还制度似乎并不合适，因为已不再允许销售含有商用五溴二苯醚的新产品的销售，其存在也已经成为一个遗留问题。但是，向交付其产品的人们支付费用可以作为一种可选办法，尽管对此种做法的资金来源尚不清楚。

确保在发展中国家妥当地处理含有商用五溴二苯醚废物的原料/物品将是一项特殊的挑战。由于在处理此类废物方面的经验有限，这些国家需要获得这方面的切实帮助和信息以及财政援助，以确保对这一废物进行环境友好的处理。协助将包括如何拆毁含有商用五溴二苯醚的物品、处理其各种成分和最终商用五溴二苯醚环境无害处理的方法。如果被列入《斯德哥尔摩公约》之下，将根据《巴塞尔公约》制定关于商用五溴二苯醚和含有商用五溴二苯醚物品无害废物处理的准则（《斯德哥尔摩公约》第 6 条第 2 款）。

3.2 关于替代物的信息（产品和流程）

随着商用五溴二苯醚在重要市场的逐步淘汰，制造商正在积极地确定其替代物。一些公司，诸如宜家，已经在全球范围内淘汰了所有的商用五溴二苯醚。另一个鼓励开发替代物的因素是一个事实，即许多国家的政府和大公司已经制定出禁止在电子产品中使用五溴二苯醚的绿色采购准则。

一份在美国进行的区域调查表明，一些公司已经提供了关于使用中的商用五溴二苯醚替代物的信息（华盛顿州，2006 年）。在此进程中所确定的替代物列于文件 UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23 表 3.1。文件拟订者尚未对这些替代物对人类健康或环境所产生的影响进行调查。比如六溴环十二烷这种商用五溴二苯醚在涂料和粘合剂中的替代物并不是一种很可取的替代物。由于其化学特性，这种化合物已经在一些国家和地区引起了关切。欧盟对五溴二苯醚的风险评估（2000 年）指出，只有四溴苯甲酸甲酯（TBBE）和氯溴代烷基磷酸酯，特别是聚氨酯硬泡（TCPP），以及磷酸酯，是五溴二苯醚的化学替代物。然而，到那个时候，其他可能已被开发并商业化的替代物也应得到考虑。鉴于有一系列可用的替代阻燃剂，明智的做法将是审查制造过程、评价合成材料的使用，并优先考虑那些构成风险的材料。

聚氨酯泡沫中商用五溴二苯醚的替代物

美国环境保护署的环境设计已经完成了对聚氨酯中商用五溴二苯醚替代物的评估，这份评估于 2005 年 9 月公布（美国环境署，2005 年）。该机构与一些利益攸关方建立了家具阻燃伙伴关系，以评估环境上更为安全的商用五溴二苯醚化学替代物，并对其他提高家具消防安全性能的技术进行调查。主要的美国阻燃化学品制造商查明了 14 种可以作为用于低密度柔性聚氨酯泡沫大规模生产的商用五溴二苯醚代用品的化学配方（见文件 UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23 表 3.2）。已查明的替代物是五溴二苯醚的现成代用化学品，符合泡沫制造厂的现有加工设备，因此，成本-效益较高。这 14 种配方以外的一些化学品目前被用于其他类型的泡沫和低密度的聚氨酯泡沫的利基市场。这些化学品被用于阻燃高密度的柔性聚氨酯泡沫。

各种报告中所建议的可能成为环保且可行的商用五溴二苯醚的替代物的三种用得最为普遍的化学品是三聚

氰胺、磷酸三（1,3-二氯-2-丙基）酯（TDCPP）（或 TCPP）和聚磷酸铵（APP）。以三聚氰胺为原料的阻燃剂目前被用于柔性聚氨酯泡沫、膨胀型涂料（在受热时会膨胀，具有一定程度的阻燃性）、聚酰胺和热塑性聚氨酯。这些阻燃剂在欧洲被有效地用于高密度的柔性聚氨酯泡沫，但是每个单位重量的聚氨酯泡沫需要 30% 至 40% 的三聚氰胺。磷酸三（1,3-二氯-2-丙基）酯是一种经常被用于聚氨酯泡沫配方的氯化烷基磷酸酯。它被用于高密度泡沫，而当轻微灼烧（脱色）不成为一个主要问题时，它被用于低密度的泡沫。APP 是一种添加阻燃剂，目前被用于在柔性和硬性聚氨酯泡沫以及膨胀型叠层、模制树脂、密封胶和胶粘物中提供阻燃。但是，化学品制造商和泡沫制造贸易团体并不认为这可以在大规模意义上作为商用五溴二苯醚的替代物。

聚氨酯泡沫中商用五溴二苯醚的非化学替代物

美国环境保护署还查明了非化学替代物（2005 年）。目前关于阻燃家具的三种可用的替代技术包括屏障技术、石墨浸渍泡沫和表面处理。石墨浸渍泡沫和表面处理的商业用途有限。屏障技术主要被用于床垫的制造，而不是住宅装饰家具，但是可能具有其他作用。

此外，应该指出的是，一些家具设计排除了填充材料的使用，甚至是织物。因此，在评估家具中实现阻燃的替代办法时应考虑设计。

电器和电子设备中商用五溴二苯醚的替代物

截至 2005 年 11 月，一些大制造商都在淘汰所有的五溴二苯醚。由于必须遵守欧盟关于在电器和电子设备中使用包括商用五溴二苯醚在内的危险化学品的禁令，制造公司预期其成本将会增加。在世界上电器和电子设备的生产商当中，有 35% 预计其产品的价格将会上涨 5% 以下，另外的 23% 认为其产品价格将上涨 5% 至 10%，6% 的生产商预计其产品的价格将上涨 10% 以上（Environmental International Reporter, 2006 年）。替代阻燃进程的例子中目前得到利用的有：无溴电路板（索尼）、用于印刷电路板的以磷为原料的阻燃剂（日立）、阻燃塑料制品（东芝）、无卤原料和低压内配线（松下）（挪威环境署，2003 年）。

Leisewitz 等人（2000 年）说，将硼酸锌、氢氧化镁或膨胀石墨用于溴化阻燃剂的替代物应该不会出现什么问题。

纺织品中商用五溴二苯醚的替代物

有用于纺织品的无溴阻燃替代物（见文件 UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23 表 3.3）。其中的一些替代物，比如三氧化铋和硼砂，并不是无害于环境的。还有一些耐用的阻燃原料，比如羊毛和聚酯纤维。一些制造商称，关于在纺织品中商用五溴二苯醚的使用禁令将造成纺织品的质量耐用性下降。

3.3 执行可能的控制措施对社会的影响

淘汰商用五溴二苯醚的效益

淘汰商用五溴二苯醚对全球社会的最明显的益处是减少对人类健康和环境的风险，因为其向空气、水和土壤释放的被认为是持久性有机污染物的成分以及在工作场所的释放减少了（环境规划署，2006 年）。五溴二苯

醚主要部分最后达到土壤和沉积物，因为在环境中时该物质被吸附在微粒上面。土壤或沉积物里的五溴二苯醚很容易进入食物链，并在顶层捕食动物脂肪组织中进行生物积累，包括人体脂肪组织。该物质在全球环境中广泛存在。在一些危险物种中检测到了令人担忧的浓度水平。

在世界上各个地区都检测到了五溴二苯醚的浓度水平（环境规划署，2006年）。人类可能的接触途径包括食物、使用含有商用五溴二苯醚的产品，以及与室内空气和灰尘的接触。五溴二苯醚会从母亲转至胚胎和母乳喂养的婴儿。（环境规划署，2006年）在其评估中得出结论，五溴二苯醚有可能会对人类健康和环境产生重大不利影响，应当考虑淘汰商用五溴二苯醚的全球行动（见第1.2章）。继续使用将会带来潜在的巨大成本。

防火不仅对保护人类健康、预防因火灾而导致的社会和经济损失而言十分重要，而且对预防火灾中向环境所释放的毒性原料的扩散也很重要。因此，在很少使用阻燃物质或不太有效的物质的情况下，如果火灾发生频繁的话，会造成损失。但是，据美国环保署称（2005年），可用的替代物具有与商用五溴二苯醚一样的功能。大多数的替代物本身较商用五溴二苯醚而言对环境的危险性要小一些。只有很少的代用产品被归为对环境有害，尽管在许多情况下缺少完成的信息。丹麦环保署（1999年）已经公布了评估可能的替代物的标准。

当像商用五溴二苯醚这样的原料从市场被撤离之后，应该估计其对生态系统和公共卫生损害的减少而带来的成本减少。对环境和健康危害的减少难以量化，但是已经提出了一些建议。污染者付费原则很少得到适用（至少没有管理协助），虽然生产商/使用者应根据这一原则对成本进行内在化，也没有关于避免的损失潜在成本的良好估计。

鉴于上述讨论，淘汰商用五溴二苯醚对人类健康和环境所带来的整体净效益很有可能是积极的。

淘汰商用五溴二苯醚的成本

根据提交的信息，发达国家和发展中国家均已经或正在淘汰商用五溴二苯醚的生产。

商用五溴二苯醚使用者使用替代物或重新设计产品本身以消除对添加剂的需求的增量成本必须得到考虑。每一个受到影响的工厂将拥有自己的一套关于淘汰商用五溴二苯醚的成本，因此很难精确地做出一个整体评估。一些制造商可能必须投资一些新的生产设备，但是对大多数的使用者来说，这可能并不必要，因为有可用的简易替换元件。整体而言，购买许多替代物的成本似乎与购买商用五溴二苯醚的成本相同或略微低一些。但是，对一些替代物而言，如果需要更高含量的话，其相关成本可能会增加（RPA，2000年）。但是，考虑到根据提交的信息，发达国家和发展中国家的大多数制造商已经停止使用商用五溴二苯醚，这些成本应该很小。由于其他地区的现有管理禁令而导致的市场需求的改变以及商用五溴二苯醚的淘汰将要求诸如在关于电器和电子设备的第2.3节中所解释的调整。

将商用五溴二苯醚或其成分列于《斯德哥尔摩公约》将要求各缔约方采取《公约》所载的措施或准则，以处理含有商用五溴二苯醚的废物。对于那些尚未调整其处理商用五溴二苯醚废物做法的国家而言，采取此种措施将需要额外的成本，在发达国家和发展中国家均是如此。除了限制使用技术和特别处理的规定以外，这些措施还可以扩展至，比如说，对废物处理工厂的更新。没有关于已经采取这些措施的国家所承担的成本方面

的数据，也没有关于淘汰商用五溴二苯醚估计成本的可靠数字，但是大多数的研究表明，这些成本很“低”。与这一经济分析相关的一个事实是，大多数发展中国家的使用者已经淘汰了商用五溴二苯醚，且似乎没有遇到什么大的困难。

分析中应包括使用替代物的可能增量成本。少用阻燃物质或不太有效的配方可能造成社会和经济损失，如果火灾发生更为频繁的话。但是，据美国环保署称（2005年），可用的替代物具有与商用五溴二苯醚一样的功能。可以讨论关于商用五溴二苯醚生产商停止生产并最后转向生产其他物质的成本是否应被包括在成本效益的分析报告之中。这些成本可以被认为是由于市场需求变化而导致的一般性生产重组。文献中没有关于生产者的此种重组所带来成本的评估。但是，鉴于大多数生产商已经转向其他物质的生产以及市场对商用五溴二苯醚替代物需求的增长，因为在对商用五溴二苯醚需求最高的地区已经实行了对该物质的淘汰，这一成本应该不高。

国家政府因条例、执行和遵守活动（包括废物管理）而导致的成本应包括在评估当中。这一种类的一些数据由加拿大汇编（加拿大环境部，2006年）。在已经具备监测和控制活动系统的发展中国家，总体的成本可能会很低，但是对于没有这些系统的发展中国家而言，成本可能会很巨大。另一方面，《斯德哥尔摩公约》的实施将需要建立这些系统，从而降低将商用五溴二苯醚列入《公约》的其他成本。

此外，当诸如商用五溴二苯醚这样的材料撤离市场，并且处理了相关的废物和被污染的地点之后，可能会对社会造成某些特定的成本。污染者付费原则¹可以得到适用，但是实际上却很少得到适用。由于五溴二苯醚存在于环境而可能造成的诸如此类的余留问题经常发生，因为最初的“污染者”在许多情况下不能被确定，或者不再经营。然而，污染者付费原则可能成为在这些情况下的一种办法，但是只有当最初的污染者被确定，并且该缔约方的管理框架允许采取此种行动才可以。

成本和效益比较

考虑到商用五溴二苯醚风险简介（环境署，2006年）的各项结论、其在全球范围内广泛出现于生物区和人体中、发达国家和发展中国家为淘汰这种物质而已经或正在采取的行动以及对商用五溴二苯醚替代物的需求有所增加，全球完全淘汰商用五溴二苯醚的整体后果很可能是积极的。总之，如上所述，发达国家淘汰商用五溴二苯醚的费用应该很小。不过，对一些国家而言，专门的废物管理和商用五溴二苯醚的相关处理（库存和物品）成本较高，应考虑应要求向发展中国家提供财政援助和技术援助以解决这方面问题。

¹ 《斯德哥尔摩公约》序言：“重申《关于环境与发展的里约宣言》之原则 16，各国主管当局应考虑到原则上应由污染者承担治理污染费用的方针，同时适当顾及公众利益和避免使国际贸易和投资发生扭曲，努力促进环境成本内部化和各种经济手段的应用。”

4. 信息综述

4.1 评价概要

商用五溴二苯醚主要被用于生产家具、家庭和车辆室内装潢和包装材料之用的柔性聚氨酯泡沫塑料，有时候它们也会被用于（非泡沫）聚氨酯套管和电器和电子设备。它们还在某种程度上被用在纺织业和其他各种工业中得到专门应用。商用五溴二苯醚对人类健康和环境所造成的风险问题已经持久性有机污染物审查委员会于 2006 年 11 月通过的风险简介绍——附件 E 中进行了探讨。

针对一些产品组而言，有一些国家和国际标准。例如，这适用于电气原料、工业包装材料、软垫家具、窗帘、电子家电和电缆。这些标准明确说明了所需要的阻燃特性。一直以来，含溴阻燃剂被认为是为许多种类物品添加耐火性的最为有效的方法。但是，在一些情况下，含溴阻燃剂被不含溴的阻燃剂所替代，或者改变产品的外观设计，这样便不用继续使用化学阻燃剂。

几乎所有用途的商用五溴二苯醚都可以找到合适的替代物。不过，一些替代物质也是有害的，而且，尚未对其中一些替代物的影响进行适当的调查。此外，淘汰商用五溴二苯醚的使用的总体益处被假定为是积极的。淘汰商用五溴二苯醚的成本通常被认为是“很低”，因为大多数发达国家已经不费太多精力就淘汰了商用五溴二苯醚。可利用成本不高的非持久性有机污染物替代物，一些公司将其用做聚氨酯泡沫和电子设备中商用五溴二苯醚的替代物。

4.2 风险管理战略要素

由于溴二苯醚向环境的扩散是一个全球和越境问题，应考虑采取一些淘汰商用五溴二苯醚的全球行动。风险管理最好通过关于各个行业商用五溴二苯醚的生产和使用的全球禁令来开展。考虑到大多数发达国家已经禁止了商用五溴二苯醚的生产，将商用五溴二苯醚的成分列入《斯德哥尔摩公约》附件 A 将是最适当的措施。最后，在商用五溴二苯醚的一些特殊用途（军用飞机、太空服等）中，如果替代物不太有效和/或十分昂贵的话，可以在一定时期内免除对商用五溴二苯醚的禁令。发达国家已经具备了所有的监测和控制能力以及实施禁令所需要的法律工具。因此，主要的执行挑战将是发展中国家如何获得充分的能力。

一些国家已经报告称，他们在管理含有未指明溴二苯醚的商业混合物方面将存在问题。将个别的同源物列入将符合若干国家现有的关于商用五溴二苯醚成分的国家立法，并将促进对释放、生产和使用的国家监测和控制。此外，总有可能找到该混合物成分的一种或其他商业路径，从而避免了将商用五溴二苯醚列入而出现的任何禁令。大多数国家条例针对的都是特定的化合物。因此，将混合物的主要成分（BDE-47 和 BDE-99）或是所有的四溴或五溴二苯醚列入《公约》比将商用五溴二苯醚的商业混合物列入《公约》更为切实。所有含有一种四溴二苯醚或五溴二苯醚异构体的混合物都将在《公约》有所规定，除了当其只以微量出现。《公约》可以对这些被列入《公约》的物质设置较低的限制，这样含有低于这些浓度水平（比如，微量）的混合物将不被包括在内。

根据溴的浓度列入《公约》而不是列入商业混合物的一个特殊理由是，除了五溴二苯醚，工业因自愿措施而

中止生产的低溴五溴二苯醚将重新生产。比如，以前在日本应用的商业混合物“四溴二苯醚”，如果制造商决定生产的话，将不在商用五溴二苯醚的禁止之列，但是，将特定同源物列入清单却会包含这种情况。

目前，商用八溴二苯醚和十溴二苯醚中不含四溴二苯醚或五溴二苯醚，因此，拟议将含有 4 到 5 个溴的溴化阻燃剂列入清单不会产生任何影响（Guardia 等人，2006 年和欧盟，2002 年）。

商用五溴二苯醚含有 12% 的六溴二苯醚。委员会正在审议关于商用八溴二苯醚的全球风险简介，商用八溴二苯醚也含有相当含量的六溴二苯醚。如果六溴二苯醚被认为是一种持久性有机污染物，一种关于商用五溴二苯醚的可选办法是将含有 4 至 6 个溴的溴化阻燃剂列入《公约》。但是，这将对审查委员会尚未进行风险管理评价的商用八溴二苯醚带来影响。

关于甄选商用五溴二苯醚替代物标准的指导的规定应成为消除此种物质风险管理战略的一部分。阻止将商用五溴二苯醚替换成对环境有害的物质至关重要。

禁令将消除因制造商用五溴二苯醚和含有商用五溴二苯醚的产品而造成的扩散。这不会影响使用中产品中商用五溴二苯醚的扩散。不允许回收和回用含有商用五溴二苯醚的产品，如果这将导致对作为新产品组成部分的四溴二苯醚和五溴二苯醚异构体的新使用，因为根据《公约》第 6 条，禁止从事这些活动。可能出现回收和复原，但是只有当新产品不含有四溴二苯醚和五溴二苯醚的特定异构体。当对产品进行处理，以复原其中有价值的原料，诸如其中含有的金属，以及商用五溴二苯醚组成成分被无意释放到环境中，可能需要制定其他的条例。这对回收含有商用五溴二苯醚的电子物件和处理这些物件和其他诸如汽车这样的产品的粉碎厂将尤其重要。在废物碎屑中可以拣选出一些组成成分，但是这对于大多数电器和电子产品来说并不切合实际。因此，新条例可能需要在一些焚化炉和工厂安装控制大气污染的设备，但这对于这些地方而言太过昂贵。但是，大多数发达国家已经制定了其他的限制措施，要求回收和粉碎厂具有废气过滤器。

考虑将四溴二苯醚或五溴二苯醚列入附件 B，并将确定关于淘汰使用含有商用五溴二苯醚的现有特定产品的目标。然而，此种产品的收集将是一项主要的任务，而此种安排的复杂性对此种建议产生了不利影响。但是，将对已有管理制度的国家添加关于努力实现这一目标的段落。当然，一旦将四溴二苯醚或五溴二苯醚列入附件 B，《斯德哥尔摩公约》中关于废物处理的一般性规则就将适用于商用五溴二苯醚。

含有商用五溴二苯醚的废物碎屑将作为危险废物进行处理。联合国欧洲经委会的大多数地区均已经这么做。这将对一些国家和行业造成额外的成本。废物处理的解决办法在很大程度上将取决于当地条件，并被纳入现有的制度和传统，同时考虑《斯德哥尔摩公约》的一般性规则，包括《巴塞尔公约》中关于废物处理的一般性准则，其中包括将诸如多氯联苯、多溴联苯以及“其他类似物”列入附件八。

结论声明

本风险管理说明是根据《公约》附件 F 中所明确说明的内容编制而成，并参考了持久性有机污染物审查委员会于 2006 年通过的风险简介（环境署，2006 年）。

关于商用五溴二苯醚的可用信息包括以商用混合物或特定同源物进行的实验室研究报告以及关于不同同源

物组合的监测数据。除风险简介中概述的信息外，科学文献也提供大量审查意见，介绍了该化学族的整体毒性。

当前的资料涉及到了四溴和五溴二苯醚的同源物，与一般性评估（例如 Canton 等人，2006 年；Huwe 等人，2007 年）似乎是一致的，因为对那些被调查同源物而言，界定持久性有机污染物特性及其相关风险的属性是类似的。因此，鉴于：

- 现有的国家立法人员已经报告了控制商用混合物和执行各项条例所面临的困难；
- 一些研究涵盖了混合物的所有成分；
- 监测工作和生物多样性蓄积研究已证明存在未知的五溴二苯醚（例如 Burreau 等人，2006 年）；
- 没有信息表明该族里存在不具备有针对性信息的同源物或混合物中观察到的持久性有机污染物特性的同源物；而且
- 风险简介中查明的潜在风险水平表明不能只关注混合物中的主要成分，因此，只把 BDE-47 和 BDE-99 列入清单是不够的，

委员会提出，把商用五溴二苯醚风险简介所审查的化学物质列入清单的最好办法就是涵盖有 4 或 5 个溴的所有多溴二苯醚。应当指出的是，本提案是根据对该组化学品的特性进行的专门审查编制的，因此，不应把这种办法广而推及已发现密切相关的同族体、同源物或异构体之间存在重大差异的其他化学族类。

根据《公约》第 8 条第 9 款的规定，委员会建议缔约方大会考虑如上所述，将 2,2',4,4'-四溴二苯醚（BDE-47，化学文摘社登记号：40088-47-9）和 2,2',4,4',5-五溴二苯醚（BDE-99，化学文摘社登记号：32534-81-9）以及商用五溴二苯醚中的其它四溴和五溴二苯醚（为执行目的，以 BDE-47 和 BDE-99 作为标记）列入《公约》附件 A。

参考资料

Agrell, C., A. F. H. ter Schure, J. Sveder, A. Bokenstrand, P. Larsson and B. N. Zegers (2004). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) at a solid waste incineration plant. I: atmospheric concentrations. *Atmos. Environ.* 38, 5139-5148.

Alaee, M., P. Arias, A. Sjødin and Å. Bergman (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of releases. *Env. Inter.* 29, 683-689.

Ballschmiter, K., A. Mennel and J. Buyten (1993). Long-chain Alkyl Polysiloxanes as Non-Polar Stationary Phases in Capillary Gas Chromatography, *Fresenius' J. Anal. Chem.* 346: 396-402.

Betts, K. (2006). PBDEs and PCBs in computers, cars, and homes. *Environ. Sci. Technol.* 40: 7452.

BSEF (2007). Annex F Questionnaire Responses Submitted by the Bromine Science and Environment Forum (BSEF).

BSEF (2001). Major brominated flame retardants volume estimates. Total market demand by region 2001. Bromine Science and Environment Forum 21 January 2001. www.bsef.com.

Burreau S, Zebühr Y, Broman D, Ishaq R. 2006. Biomagnification of PBDEs and PCBs in food webs from the Baltic Sea and the northern Atlantic Ocean. *Sci Total Environ.* 366:659-72.

Cantón RF, Sanderson JT, Nijmeijer S, Bergman A, Letcher RJ, van den Berg M. 2006. In vitro effects of brominated flame retardants and metabolites on CYP17 catalytic activity: a novel mechanism of action? *Toxicol Appl Pharmacol.* 216:274-81.

Danish EPA (1999). Brominated flame retardants. Substance flow analysis and assessment of alternatives. www2.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-416-3/html/kap04_eng.htm.

Daugherty, M.L. (1982). Chemical hazard information profile draft report: Melamine CAS No. 108-78-1. Office of Toxic Substances, US EPA.

Environment Canada (2006). Regulatory Impact Analysis Statement for proposed Polybrominated Diphenyl Ether Regulations. www.ec.gc.ca/CEPA/Registry/regulations/Detail/Reg.cfm?intReg=108.

Environmental International Reporter (2006). Electronics firms worldwide pledge to meet EU Directive banning use of some chemicals. Vol. 29, No 5.

European Union (2000). Risk Assessment of Diphenyl Ether, Pentabromo derivative (Pentabromodiphenyl ether). CAS Number: 32534-81-9, EINECS Number: 251-084-2. Final report of August 2000, Commissioner of the

European Communities. Rapporteur: United Kingdom.

European Union (2002). Risk Assessment. Report of bis(pentabromophenyl)ether. CAS Number: 1163-19-5, EINECS Number: 214-604-9. Final report. European Chemical Bureau. Volume 17. Appendix G.

Fjeld, E., M. Schlabach, J. A. Berge, T. Eggen, P. Snilsberg, G. Källberg, S. Rognerud, A. Borgen and H. Gundersen (2003). Screening of selected new organic contaminants - brominated flame retardants, chlorinated paraffins, bisphenol A and triclosan. SFT-report 4809/2004.

Fjeld, E., M. Schlabach, J. A. Berge, N. Green, T. Eggen, P. Snilsberg, C. Vogelsang, S. Rognerud, G. Kjellberg, E. K. Enge, C. A. Dye and H. Gundersen (2004). Screening of selected new organic contaminants 2004. Brominated flame retardants, alkylated substances, irganol, diuron, BHT and dicofol. SFT-report 927/2005.

Freedonia Group Inc. (2005): World flame retardants. R154-1365. <http://www.mindbranch.com>.

Hale, R. C., M.J. La Guardia, E. Harvey and T.M. Mainor (2002). Potential role of fire retardant-treated polyurethane foam as a source of brominated diphenyl ethers to the US environment. *Chemosphere* 46: 729-735.

Hazrati, S. and S. Harrad (2006). Causes of Variability in Concentrations of Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Air. *Environ. Sci. Technol.* 40: 7584-7589.

Law, R.J., C. R. Allchin, J. de Boer, A. Covaci, D. Herzke, P. Lepom, S. Morris, J. Tronczynski and C. A. de Wit (2005). Levels and Trends of Brominated Flame Retardants in European and Greenland Environments. *Chemosphere* 64: 187 – 208.

Huwe J, Hakk H, Lorentzen M. 2007. Bioavailability and mass balance studies of a commercial pentabromodiphenyl ether mixture in male Sprague-Dawley rats. *Chemosphere*. 66:259-66.

La Guardia, M.J., Hale R.C. and Harvey, E. (2006) Detailed Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Congener Composition of the widely used Penta-, Octa- and Deca-PBDE Technical Flame-Retardant Mixtures. *Environ. Sci. Technol.* 40(20) : 6247-6254.

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.

Morf, L.S., J. Tremp, R. Gloor, Y. Huber, M. Stengele and M. Zenegg (2005). Brominated flame retardants in waste electrical and electronic equipment: Substance flow in a recycling plant. *Environ. Sci. Technol.* 39, 8691-8699.

Norwegian EPA (2003). Bruken av bromerte flammehemmere i produkter.

Materialstrømsanalyse. (The use of brominated flame retardants in products. A material flow analysis)

TA-1947/2003. (In Norwegian only).

OECD (2001): Report on Incineration of Products Containing Brominated Flame Retardants. [http://www.oilis.oecd.org/oilis/1997doc.nsf/LinkTo/env-epoc-wmp\(97\)4-REV3](http://www.oilis.oecd.org/oilis/1997doc.nsf/LinkTo/env-epoc-wmp(97)4-REV3).

Peltola, J. and Yla-Mononen, L. (2001). Pentabromodiphenyl ether as a global POP. TemaNord 2001, vol. 579. Copenhagen: Nordic Council of Ministers; ISBN 92-893-0690-4: 78 pp.

Prevedouros, K., K. C. Jones and A. J. Sweetman (2004). Estimation of the production, consumption, and atmospheric emissions of pentabrominated diphenyl ether in Europe between 1970 and 2000. Environ. Sci. Technol, 38, 3224-3231.

Prevedouros, K., Jones, K.C., and Sweetman, A.J. (2004). Estimation of the Production, Consumption and Atmospheric Emissions of Pentabrominated Diphenyl Ethers in Europe Between 1970 and 2000. Environ. Sci. Technol. 38: 3224-3231.

RPA (2000). Risk Reduction Strategy and Analysis of Advantages and Drawbacks for Pentabromodiphenyl Ether. Stage 4 Report. Risk & Policy Analysis Limited, London.

SAICM Overarching Policy Strategy 14d, Global Plan of Action Activity 54, 55 (2002). www.chem.unep.ch/saicm%20texts/SAICM%20documents.htm.

Shoeib, M., Harner, T., Ikonou, M. and Kannan, K. (2004). Indoor and Outdoor Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. Environ. Sci. Technol. 38: 1313-1320.

Stapleton, H.M., Dodder, N.G., Offenber, J.H., Schantz, M.M. and Wise, S.A. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers in House Dust and Clothes Dryer Lint. Environ. Sci. Technol. 39: 925-931.

Swiss Agency (2002). Environmentally hazardous substances: Selected polybrominated flame retardants, PBDE and TBBPA – Substance flow analysis. Environmental series No. 338.

ter Schure, A.F.H., C. Agrell, A. Bokenstrand, J. Sveder, P. Larsson and B. N. Zegers (2004). Polybrominated diphenyl ethers at a solid waste incineration plant II: atmospheric deposition. Atmos. Environ. 38, 5149-5155.

TNO (2005). Study of the effectiveness of the UNECE Persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. R 2005/194.

UNEP (2006). Risk profile: pentabromodiphenyl ether. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Persistent Organic Pollutants Review Committee, Second Meeting, Geneva 6-10 November, 2006. UNEP/POPS/POPRC.2/17, Addendum 1.

US EPA (2005). Future Flame Retardant Partnership: Environment Profiles of Chemical Flame-retardant Alternatives for Low Density Polyurethane Foam. Chemical Hazard Reviews, Vols. 1&2. www.epa.gov/dfe/pubs/flameret/ffr-alt.htm.

Van der Goon, D., M. van het Bolscher, A.J.H. Visschedijk and P.Y.J. Zandveld (2005). Study of the effectiveness of the UNECE persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. TNO-report 2005/194.

Washington State (2006). Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Chemical Action Plan: Draft Final Plan, December 1, 2005.

Wilford, B.H., M. Shoeib, T. Harner, J. Zhu and Jones, K.C. (2005). Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Dust in Ottawa, Canada: Implications for Sources and Exposure. *Environ. Sci. Technol.* 39(18): 7027-7035.
