

欧盟 WEEE 指令实施——含溴化阻燃剂塑料的机遇

文摘:

溴用作今天塑料工业可得到的一些最有效的阻燃剂的高分子链节。溴化阻燃剂 (BFRs) 在广泛的电子电器设备 (EEE) 中用于防止意外着火危险。为了符合 WEEE 指令, 工业有责任提出解决方案以环保方式处置废弃塑料。在本文中, EBFRIIP (欧洲溴化阻燃剂工业委员会) 愿意与大家分享有关处置含溴化阻燃剂方面的机遇。

2004 年 8 月 14 日欧盟报废电气电子设备 (WEEE) 指令 (2002/96/EC) 必须转化成国家法律。含溴化阻燃剂的塑料的报废选择方案——包括回收、再循环和处置——将变得非常重要。本文将概括介绍现有的解决方法如机械回收和几种热处理方法。本文还将提供目前为止收集到的有关国家层面上的实施的信息, 不同成员国和地区的实施方案将有所不同。WEEE 指令要求单独处理含溴化阻燃剂的塑料。这意味着要求机械方法回收分选出这些塑料。对于闭环回收, 如复印机行业中的含溴化环氧低聚物的 ABS 或 TBBPA 塑料, 这是更实际的解决方法。开环回收 (如电视机后板) 就更复杂。由于分选成本高而且不同塑料的数量较少, 所以这种作法经常是不经济的, 所以热处理变成首选的技术。在去年, 对几种处理 WEEE 塑料的热工艺进行了评价。对原料回收包括溴回收 (BSEF, PWMI-日本)、共燃 (Tamara/FZK) 和铜溶炼 (Boliden/瑞典) 的试验已经表明不需要分选, WEEE 塑料的总量均可以容易地以环境安全、经济可行的方式进行处理。

进一步研究了溴对“废物变能量”工厂的锅炉部件腐蚀的影响。本研究得出的结论: 3% 的 WEEE 塑料可与城市固体废物 (MSW) 共同燃烧, 而不产生额外的腐蚀。这相当于目前焚烧操作的 WEEE 塑料的 15 倍以上。

1.引言:

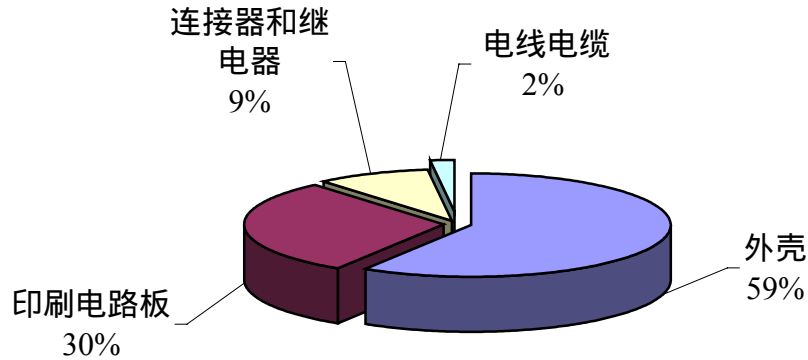
EBFRIIP (欧洲溴化阻燃剂工业委员会) 成立于上个世纪 80 年代中期。它的成员是欧洲市场的主要溴化阻燃剂制造商。EBFRIIP 在总部设在布鲁塞尔的欧洲化学工业联邦 (Cefic) 的法规和指导下运作, 还下设欧洲阻燃剂协会 (EFRA), EFRA 代表所有大型欧洲阻燃剂生产商。EBFRIIP 的作用是欧洲内溴化阻燃剂工业在关键问题上 (如着火安全、生态标签、电子废物和风险评估) 的主要代言人。近年来, 对于改变我们生活并为这种快速变化提供支持技术的新发展而言, 塑料已经变得很重要。塑料使用量在逐年增加, 相应的塑料废物也在增加。尽管在西欧产生的废物总量中塑料废物不到 1%, 但欧盟通过在不同的行业 (包装、汽车、电气电子设备) 采取不同的立法措施已将重点放在塑料回收和再利用上。还将通过计划中的建筑废物指令对其进行补充。

欧盟委员会目前正在改变它在废物管理上的战略。尽管欧盟立法要求回收塑料包装, 而且对于其它被规定的废物流 (ELV和WEEE) 中的塑料也将要求这么做, 但目前还没有欧盟对其它重要应用场合 (如建筑材料) 的塑料的回收。此外, 目前有一种讨论, 通过着重于给定材料 (如塑料) 而不是具体的报废产品 (如WEEE) 的新举措, 来分段补充欧盟废物政策。

2. 塑料和着火安全：

着火安全对所有由于使用电或载流而产生热的设备都是一个重要的考虑因素。塑料来源于化石燃料，因而保留了它们的一些性质。特别地，塑料暴露于明火时可以点燃。为了保证某些电设备的安全，塑料工业已经开发出含添加剂（称为阻燃剂）的塑料，使塑料更安全些。使用的阻燃剂的类型既取决于塑料的类型也取决于设备需满足的安全标准。所以，有多种不同的阻燃剂用于塑料中。欧盟塑料和阻燃剂工业一直致力于开发满足电气电子设备所要求的高安全标准的阻燃塑料。在这种开发中特别重点放在技术和环境问题上。为了保证消费品安全，电气电子行业所用的所有塑料中约12%含有阻燃剂，主要包括电视机外壳、电脑显示器和箱体。在办公设备中，仅有比例相当小的塑料是用阻燃剂处理的，即那些用在接近高热或高压区域的部件[1]。某些电子部件也含有阻燃剂，如连接器和印刷电路板。图1概括了阻燃剂在电气电子设备中的使用。

图1: 使用溴化阻燃剂的电气电子部件



Source: BSEF internal information

3. WEEE指令 (2002/96/EC)

《报废电气电子设备指令》目的在于通过机械回收、原料回收和能量回收提高 WEEE 的回收及再利用。指令要求在欧盟将大多数电气电子设备从未分选的废物中分离出来。然后将这种电子废物在制造商的资金责任下进行收集、回收和再用。所有已经被单独收集的 WEEE 将必须送交到专业的处理和回收。如果不是单独收集的，则不需要送交到 WEEE 指令规定的专业处理和回收工艺。然而，仍需要按照一般废物管理控制进行管理。WEEE 指令要求在 WEEE 回收、能量回收或处置之前，含溴化阻燃剂的塑料要单独处理。实际上，在许多欧盟国家，对 WEEE 都要求将所有阻燃塑料分离出来。例如，在丹麦，对此已经有了法律要求。

到 2006 年 12 月 31 日，指令要求每个居民每年至少从一般废物流中单独收集 4 千克 WEEE。除这种收集的 WEEE 以外，到 2006 年 12 月 31 日，“IT 或通讯设备”（电脑、传真机、电话、复印机、打印机）和“消费设备”（电视、收音机）的制造商必须回收（即回收加上能量回收）最少每个电器平均重量的 75%，而再用及回收部件、材料和物质达到最少每个电器平均重量的 65%。这意味着通过焚烧、熔炼或原料回收，来自塑料部分的能量可占到能量回收的 10%。单独收集的 WEEE 在被送到进一步加工和回收/再利用之前，必须对其进行处理，而

WEEE 指令对处理建立了标准。这包括除去某些有害物质（如铅、汞）和含有这些物质的元件。此外，还必须除去所有液体和某些项目如印刷电路板。而这种处理只能由经过正当授权的处理厂进行。指令对增加机械回收的要求对于含溴化阻燃剂的塑料是个优势，因为，在回收过程中，机械回收提供的稳定性高。单独处理含溴化阻燃剂塑料的要求也便于含溴化阻燃剂塑料的回收和再利用，因为有非常广泛的经测试的回收再利用技术。

欧盟成员国必须在 2005 年 8 月 13 日前建立起电气电子废物收集设施。各成员国已经开始着手法律文件工作。如前面所述，电气电子制造商或回收商在 2006 年 12 月 31 日前必须达到收集的电气电子废物的回收再利用目标。为了保证以后的 WEEE 满足可回收性和可再利用性的新要求，则现在必须采取行动，才能赶上 2006 年的最后期限。回收并不意味着“收集”；回收是一个废物管理的词汇，它包括如机械回收、焚烧回收能量、熔炼过程的原料回收以及合成。回收还有一个具体的意思，意味着材料重新处理成一种新材料，如将废钢屑熔炼成新钢产品，将废玻璃熔炼成新玻璃，或将废塑料熔炼成新塑料。

那么再利用和回收目标之间的差异是什么？可能最好通过一个例子来说明。第一类设备（大型家用电器）的回收和再利用/再用目标分别是 80%和 75%。这个目标仅适用于废物是单独收集的。如果已经收集了 100 吨废冰箱、废洗衣机、滚筒干衣机，则必须回收或再用 75 吨。还有五吨（才能构成 80 吨）可再用或回收，或焚烧回收能量。

WEEE 指令中包括一个电气电子设备类别清单。这些列在指令的附录 1A 中。有十大类产品，从大型家用电器到自动售货机。指令的附录 1B 列出了这些类别内的一些产品例子。然而，这仅仅是一个举例的清单，但还包括其它适合于该类别的产品。

表 1: WEEE 指令覆盖的电气电子设备的类别

| | 类别 | 回收 / 再利用 目标 |
|----|----------------------|-------------|
| 1 | 大型家用电器 | 80% / 75% |
| 2 | 小型家用电器 | 70% / 50% |
| 3 | IT 和通讯设备 | 75% / 65% |
| 4 | 消费类设备 | 75% / 65% |
| 5 | 照明设备 | 70% / 50% |
| 6 | 电气电子工具（大型固定式工业工具除外） | 70% / 50% |
| 7 | 玩具、休闲和运动设备 | 70% / 50% |
| 8 | 医用设备（所有被植入或被感染的产品除外） | 2008 年再定 |
| 9 | 监视和控制仪表 | 70% / 50% |
| 10 | 自动售货机 | 80% / 75% |

生产商可以自己决定他们愿意建立一个“闭环”系统来保证，他们的产品废弃时被返回到他们，然后他们自己进行必要的处理、回收和再利用。然而，这不是法律要求的。生产商责任可以解释为“资金”生产商责任。换言之，生产商必须能够提供一些证据，表明他们对处理、回收和再利用已经单独收集的 WEEE 的资金成本有贡献。此外，生产商还必须建立能够将他们的 WEEE 收回的系统或向这个系统贡献。收回、处理和回收再用 WEEE 的成本必须由生产商来承担。WEEE 主要是以法律条款来阐述的。为此目的，而且还因为这是所谓的“175 条款指令”（非单一市场），所以它为各成员国留下的空间阐述它们自己的解释，并确定它们自己的实施细则。但这样的过程存在着一种危险，在最终操作上可能出现大的分歧，并可能发生欧共体市场的相应的扭曲。然而，欧盟成员国及相关各方都有一个共识，在于它们都想要服务于 WEEE 的环境方面，同时尽可能将成本保持在最低。表 2 列出了时间表。

表 2: WEEE 指令实施的时间表

| 最后期限: | |
|------------------|--------------------|
| 2004 年 8 月 13 日 | 在欧盟各成员国国家层面上实施 |
| 2005 年 8 月 13 日 | 免费回收系统投入使用 I |
| 2006 年 12 月 31 日 | 平均收集目标达到 4 千克/年/人 |
| 2008 年 12 月 31 日 | 欧共体设置新的收集/回收/再利用目标 |

3.1 WEEE 指令——在国家层面上的实施

WEEE 指令基于一些欧洲国家 WEEE 政策的经验。指令中规定了诸如人均收集、处理标准和回收目标的要求，但是在实际中如何运作尚不明确。此外，现有的国家系统是否成功也是不明确的，而且也没经过评价。总之，对于各成员国，WEEE 的实施提供了挑战，需要创新和实用的解决方案。有关 WEEE 塑料上的具体问题，目前为止大多数尚未制订出。塑料和阻燃剂并未被看作是管理者在确保指令的可操作性方面的一个优先问题。这给建议解决方案带来的机遇。

在比利时、荷兰、瑞士、瑞典、丹麦、奥地利和挪威，已经有了国家的 WEEE 收回体系。在这些国家，国家机构正在与回收商协调收回系统。因此，这些国家机构成为沟通的重要目标，可以是其它欧盟国家的例子。在上述欧盟国家的国家机构于 2002 年创立了“WEEE 实施论坛”。该论坛在其成员间交流信息和想法，它的成员是电气电子设备的生产商/进口商。此外，它还向欧盟国家提供从零开始开发收回系统的信息和经验。下面将进一步说明现有的国家系统。注意，在其它（大的）欧盟国家如德国、法国、英国、意大利和西班牙，这样的系统还不存在。

德国已经完成了法规的第一稿。德国不想学习荷兰的收集系统，因为它是垄断经营，因而较昂贵。可以理解，德国的实施将覆盖少量的 WEEE 塑料的废弃选择方案（包括机械回收大部件和能量回收、混合塑料废物的水泥焙烧和熔炼）有一种可能性，在计算回收目标时，进入回收或再利用过程的材料 100% 都可以算在内（基于输入的计算），即使并不是所有材料都被回收了。英国预计可以很轻松地满足人均 4 千克的收集目标，因此它可能会将材料回收限制于金属，而其它材料进入填埋场。英国对欧盟的填埋指令有一项例外，因此，英国将继续处置诸如塑料等的有机材料直到 2015 年。我们也收到建议，英国正在评价分离的要求，它可能把这一点解释为不要求单独预破碎。为了起草实施法令，法国环保部咨询了 UIC（法国化学联盟）及其它相关各方。法国在附录 II 中对分离要求仍没有具体的观点。意大利通过实施法规，并已经与国内的行业协会进行了标准咨询。意大利对指令附录 II 的分离要求没有提出任何具体的观点。

很可能每个欧盟成员国将采纳一种不同的系统，对电气电子工业而言非常复杂而且成本高。因此，有必要尽可能多地协调各国的系统。各国的地理条件间的差异同样也支持了这一点。欧盟的北部，冬天时的热量是更重要的，因此能量回收将起较大的作用。这也反映到先进的焚烧炉的数量和能力上。例如，德国运作了接近 60 个“废物变能量”的市政固体废物焚烧炉，在德国，WEEE 塑料与市政固体废物的共燃是可能的。

3.2 西欧现有的回收系统

下表概括了欧洲已经建立了收集回收系统的六个国家所管理的 WEEE 的种类，按照现有的国家立法规定。

表 3：西欧的回收系统

| WEEE 回收系统 | 奥地利 | 比利时 | 荷兰 | 挪威 | 瑞典 | 瑞士 |
|-----------|-----|-----|----|----|----|----|
| 大/小型家用电器 | X | ● | ● | ● | ● | X |
| IT 和通讯设备 | | ● | ● | ● | ● | ● |
| 消费类设备 | | ● | ● | ● | ● | ● |
| 其它 | | X | X | X | X | |

其它： 照明设备、电气电子工具、玩具、休闲和运动设备、医用设备、监控和控制仪表、自动售货机

● =全部 x = 部分

4. WEEE 塑料的目前实际状况和技术解决方案

塑料的废弃管理有多种选择方案，从填埋到机械回收、焚烧到废塑料用在其它热及再利用过程（如水泥焙烧或熔炼）中最后到其它目前正在开发的工艺。

不同国家的现有收集系统都是针对已经废弃的电气电子设备。这是通过当地的市政收集点（在 OEM 的支持下）进行的，在许多国家 OEM 已经对 WEEE 的收集负责了。设备被手工拆解：将玻璃和大部件分离出来。那些可能存在潜在危害的元件也要分离出来。塑料通常与金属一起破碎，用于回收金属本身。含有金属（如铜 8%）的塑料废物流代表了不同热过程的输入废物流。当机械回收证明是不实际的，这些过程可能都是优选的回收路径了。只要还没立法，工业就将寻求最经济的解决方案。在许多欧盟成员国填埋仍然代表最便宜的处置方案。超过 90% 的废物流被填埋。用废物替代水泥焙烧过程的燃料可能是另一种方案。然而大部分来自家庭的电气电子废物最终都进入了家庭废物焚烧炉。

在拆解过程中，手工将印刷电路板分离出来，并破碎，因为它们含有有价值的贵金属。Boliden [2]已经对电气电子塑料废物进行了一些全规模试验。许多熔炼厂已经安装并调节的气体清洁装置，使二恶英和呋喃及其它污染物的排放量低于欧洲的排放量。这些试验表明，把当地社区的这种塑料废物作为替代燃料来处理是可能的。最后，试验清楚地显示出，如果工业过程是在适合的技术和卫生标准下进行的，则溴化阻燃剂没有增加二恶英/呋喃的排放量。Rönnskär 熔炼厂每年回收电子废物超过 35000 吨，含有基础及贵金属及电子产品需要的其它物质。Boliden 已经检查了工人血液中的排放物、熔渣、重金属和 PBDE，以及工厂周围的排放成分，结论是电子废物可以进行大规模处理，而不会引起任何环境及健康和安全问题。

另一个使用大量贵金属的金属熔炼厂是 Umicore。Umicore[3]在它们的金属熔炼厂中每年处理 250000 吨。典型材料是电视、录相机、台式电脑、手提电脑、服务器和手机。手机中所含的印刷电路板占到整个手机重量的 2%—30%。Umicore 报告，在 75%回收目标中，通过把塑料作为替代燃料回收能量还可实现 10%，另外 65%来自于金属回收过程。由于全球印刷电路板的

数量预计从 2003 年的 90000 百万吨到 2009 年的 156000 百万吨，该过程的重要性随时间而不断增加。该过程提供了许多优点：金属的回收率高达 98%，在任何热过程中可能是最高的回收率；在这种过程中，可回收在大多数电气电子塑料中用作溴化阻燃剂增效剂的锑（浓度为 4%），在其它热过程中这是不可能的。处置电气电子废物塑料的新技术已经存在。这些基础技术被用在来自包装物流的塑料的商业设施中。这些废物中重金属或卤素的含量并不高。所以，需要采用这些过程来处置电气电子废物。

4.1原料回收

尽管，理论上原料回收具有很大的潜力提高塑料废物的回收水平，但实际上，经济上的考虑以及质量及数量恒定不变的塑料废物的可利用性是这种回收方式可行性的关键，在很大程度上这取决于当地的形势。原料回收的一种变形形式是，把塑料作为有色金属回收所必需的化学试剂。这里，塑料不仅仅与金属发生反应，而且它们的能量值也被利用了。根据 JUNG [4] 所作的经济评价，聚合物的潜能值几乎达到 40 MJ/kg，相当于 80 Euro/t。这个研究比较了所有热过程，并表明通过原料回收把塑料转变成燃料或气体，则能量和最终材料的产量很高。特别地，它还是一种清洁工艺，排放量接近零。

对于来自电气电子设备的塑料废物，在水泥焙烧或在炼钢工业中的能量回收可以是一种可能的选择方案。为了实现气化，将混合物放在托板上，但准备工作的成本相对较高。一种清洁的替代方法包括通过热解法生产固体、液体和气态燃料。为了生产传统燃气发生器用的价廉原料，通过机械方法分离金属和矿物质，可提高固体燃料的等级。许多废物流含有木材、含卤素的混合塑料和金属。这些沾有多种物质的废物的焚烧是非常困难的。然而，在这种情况下，热解法是一个吸引人的替代方法。在热解法过程中，所有金属在炭中被回收及分离。然而，在热解法过程中，在卤素、木质素和金属之间发生相互作用。在热解法过程中选择性添加成分可捕获诸如氯和溴以及重金属等元素。如果废物中存在金属或碳酸钙，这些产物可选择性地捕获氯和溴。在废物变能量厂，热解法与直接燃烧相比优势在于，产生的气体量大大减少，这就大大降低了排出气体净化系统的复杂性。此外，进行含塑料的废物的热解法时，需要的电荷准备较少，以至于在固体燃料调节过程中可容易地分离矿物质和金属，而且产生的灰烬较少。这些技术经济上很适合废物的分散处理（小处理厂，废物是在当地拆解的），处理规模小。

以 WEEE 指令的回收要求的观点，需要针对电子器件中所含的溴的技术。有一个欧盟项目，该项目由来自工业、大学和研究中心的 10 个欧洲合作者共同承担，已经开发出一种称为“HALOCLEAN”热解法的工艺。Haloclean 热解法工艺 [5] 的目的是将电子废物中的溴化添加剂从惰性及有价值的材料中分离出来。该工艺基于一个两阶段的热解法，是在座落于德国 Forschungszentrum Karlsruhe 的一间工厂内进行的。已经开发出两阶段热化学处理中试厂，包括两个气密性回转焙烧炉，用于将含卤素的材料如 WEEE 转化成“清洁”的燃料和剩余物（用于贵金属回收）。温度一直在 250 °C 和 450 °C 之间变化。停留时间在 1-4 小时之间变化。根据不同的温度来确定所有产品的溴含量。还研究了热解法中的溴元素。项目目标包括溴回收和无溴油的生产。明年该工艺将被运行半年，作为在德国市场的尝试，运作地点接近一个拆解公司以便进一步实际评价它的结果。

建立了一个示范厂，使用 PC 机的印刷电路板作为输入，黄金含量为 300 克/吨，而溴化阻燃剂中溴含量为 5%，示范厂产生的结果如下。对热解产物（包括油和残渣）进行了分析，发现热解油的成分主要是酚。酚及其替代物的含量达到 8%。但在油中也发现了溴化化合物，大部分是溴苯酚 I 和二溴苯酚。由于第二个工序后溴的含量仍然太高无法将热解油进一步用在诸如酚回收的甲醇合成等化学过程中，这是一种后处理，在这种处理中聚丙烯是必要的。从热解残渣中可以看出，经过两工序热解后，约 45% 的材料留在了残渣中，与过程温度或过程时间无关。残渣中溴的浓度几乎与输入时是相同的，而黄金的浓度却是输入时的两倍。可以看到，电子废物可以转化成气相的溴化氢溴化氢，是几乎脱溴的油和含有浓度更高的贵金属的残渣。所有三个因素都适合进一步使用。

荷兰的能量研究中心 (ECN) [6, 7]为溴工业 (EBFRIP) 进行了一项中试项目, 该项目表明, 通过热过程回收这种溴是可能的。这个阶段气化的工艺过程 (包括热解[550°C]和高温气化[>1230°C]) 被用作一种潜在的选择方案。在ECN的设施Pyromaat中进行了中试试验, 利用共气的“湿”碱性洗涤方法从WEEE的塑料成分中回收了溴化氢 (HBr), 并被溴工业成功地进行了测试。

4.2 能量回收

能量回收是塑料的一个重要回收选择方案, 因为塑料的基础原材料, 来源于石油。尽管在过去, 有许多反对——其中一些反对是出于对旧式的焚烧炉较差的环境性能的担忧——, 今天能量回收得到了更广泛的赞同, 认为是一个环境友好的选择方案。焚烧炉的排放量已大大降低, 燃烧废物回收能量已写入了欧洲法律。除市政废物焚烧回收能量外, 在其它工艺过程中作为替代燃料这种潜力也存在。能量回收同材料回收一道, 在使塑料废物避免填埋方式并使环境收益最大化方面起着重要作用。

今天, 只有少部分的WEEE塑料是利用焚烧炉处理的。在欧洲, 有足够的家庭废物焚烧能力, 能够容纳目前和将来的塑料废物。这种解决方案尤其对生产和处理厂之间的距离特别远而且当地需要一个解决办法 (废物焚烧) 的地区是更具吸引力的。焚烧测试及燃烧研究已经证明, 来自电气电子设备的废物可以被安全地加入到市政固体废物 (MSW) 中以便以环保友好的方式产生能量[8, 9, 10]。为了确定与市政固体废物共燃是否是含溴化阻燃剂的电气电子设备废弃处理的可行的方案, 在德国Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)的一个中试厂(TAMARA)已经进行了电气电子设备与市政固体废物共燃的试验。重量达20%的电气电子设备的塑料废物被添加到市政固体废物中, 并在极端条件下共燃。对燃烧效率、卤素含量和有机卤素化合物的排放等焚烧参数进行了研究。试验已经证实, 重量达3%的电气电子设备的塑料废物可安全地添加到今天的市政固体废物中。PBDD/F或所谓的二恶英和呋喃的形成, 并没有由于含溴废物的存在而改变, 并且在这些过程中排放物保持在排放标准内。试验报告再一次证明, 受控的市政固体废物燃烧可以作为“二恶英的吸收器”, 破坏效率> 95%。

同样也调查了溴的含量增加对燃烧过程的影响。除对二恶英/呋喃排放进行分析外, 还评价了溴对金属挥发、熔渣在道路建筑中的再利用、回收再利用溴的潜力等方面的有利影响。与先前的研究一致的是, 结果表明, 重金属 (如铜、锌、锡、锑) 的挥发由于氯和溴的存在而得到大大提高。金属从燃料床被转移到飞灰中, 金属在飞灰中可被回收。将熔渣从金属中清洗出来, 可再用于道路建筑中。金属被浓缩到飞灰中, 并可进行适当的处置。利用适合的湿洗涤系统, 从燃烧气体中回收WEEE中所含的溴是可行的。如果我们能回收溴, 那么溴可用于生产不同种类的商用溴基产品, 如溴本身、溴化氢或溴化钠。

早期的确认排放量的试验表明, 在焚烧中添加含溴化剂的WEEE并未增加产生的卤素化二恶英/呋喃的总体水平。燃料中溴的增加导致了生成的混合卤化 PXDF/Ds的增加。纯的溴化同类物质是很少见的, 大多数混合卤化同类物质仅含有1或2个溴原子。总之, PXDF/D的总体水平未受到影响。

4.3 机械回收

EBFRIP倡导采用灵活的溴化阻燃剂塑料废物管理方法, 包括技术、环境、经济和区域市场等诸因素的优化平衡, 保证聪明而有效地使用自然资源。电气电子设备使用许多不同种类的塑料, 是为生产高规范产品提供特殊性质而设计的。为了用机械方法回收塑料废物, 必须收集、分类、分离、磨碎、清洗及再加工, 之后它才能与相同类型的原始塑料混合用于模铸新产品、或作为替代物单独用在低端产品中。因而, 对废物流的成分特性的了解是成功回收塑料的关键

标准。由于新原始塑料的成本相对较低，所以只有在有限的几个案例中，总体塑料回收运作才是经济上可行的[11]。

实际经验表明，为了使材料回收可行，必须是均质的塑料而且废物流恒定。由于技术可行性和经济性，回收塑料的市场是有限的。在回收过程中，很容易出现来自不同塑料或其它材料的少量杂质，大大降低了回收塑料的电气、机械性能或安全性。原始塑料通常是价廉的，而且总是比经过收集、拆解、分选、再溶炼后而回收的塑料质量好。

由于2004年8月对五溴联苯和八溴联苯禁止以及2006年对PBB的禁止，EBFRIP不提倡机械回收来自开环废物流的历史的含溴化阻燃剂的塑料。然而，在环闭系统内的回收，在这种系统中电气电子制造商收回自己的废弃设备，那么情况可能完全不同了，为机械回收WEEE含溴化阻燃剂塑料提供了实用机会。几个回收研究表明，含具体溴化阻燃剂的塑料可利用机械方法回收，并且已经证实，如果正确进行回收的话，可以满足德国严格的多溴二苯并二恶烯和PBDD/PBDF限值“二恶英法令”[12]。这些研究结果中的一些还被其它出版物[13]所证实。一项研究十溴联苯/HIPS（耐冲性聚苯乙烯）系统的项目，同样调查了阻燃剂十溴联苯脱溴的可能性。结果发现，该物质并不会向下降解成较低的溴化二苯醚。

此外，还显示出在回收[12]或再利用[14]过程中溴化二恶英/呋喃(PBDD/F)在工作场地的暴露是不必担心的。进一步报告[15]的结果在含具体溴化阻燃剂塑料处理方面也得出了可比的结论。在 Erlangen 大学进行的一项研究中，对比在回收运行过程中挤出及注塑工序的工作场地的状况，没有观察到在第一遍和第二遍回收之间浓度显著增加。在第二遍过程中，注塑场地的数值略有降低。这可能是由于在第一遍回收过程中，损失了可挥发性有机化合物。甚至排出的气体都满足工作场地暴露限值。在任何取样点任何化合物均未超过 50pg ITE/m³ 限值，即使探测的全部限值都包括在计算中[16]。

许多日本的出版物[17, 18, 19, 20]显示，在他们的研究中溴化阻燃剂是经过多次回收试验后唯一符合必需的可燃性标准及物理性质的阻燃剂。甚至经过 5 个回收过程后，回收物仍具有 V-O 分类等级。瑞士国家测试研究所关于八溴联苯/HIPS 的一项研究[21]也证实了经过 5 个回收工序和一个模拟老化过程后仍具有 V-O 等级。机械方法回收需要识别聚合物及其添加剂，以便能够进行分选。现有的“简单快速”的分选方法是通过密度方法（湿悬系统）、干方法（风过滤）、摩擦起电方法和加热转筒方法。利用这些系统，可分选出最常见的塑料，而较重的聚合物（包括含溴化阻燃剂的 PVC 和工程塑料）仍留下了，不需要任何识别系统。通过附加的工序，这些塑料还能进一步分离，达到市场能够进一步使用的回收物质量。可以看到，含溴化阻燃剂塑料的分选已经存在，并分选出多种类型有价值的回收物。此外，还有几种复杂的技术用于塑料和阻燃剂的识别，如红外线、XRF 及其它。这些技术能够识别所用的聚合物和阻燃剂，或者至少是化学元素——如磷或溴。APME [22]已经概括了正在开发或已经在欧洲及其它地区运行的更先进技术的一些例子，如下所列。目前还没有以经济的方式从混合塑料废物中将五溴联苯、八溴联苯和 PBB 分选出来的具体技术。所以，我们建议含有这些物质的历史性废物流不要通过分离、机械方法回收，而是进行原料回收、能量回收或处置。目前，有几种新的识别技术正在开发中，如下：

- COMBident
- LLA Instruments GmbH
- Uni Sort PX 800 TK
- SUREPLAST
- Sliding Spark Method
- Sony Instrument P/ID 22
- Phillips EDAX PV 9100/9500
- MBA X-ray fluorescence
- Basel Convention working
- Helsinki University

结论:

在今后的五年内，欧盟的WEEE和ROHS指令将催化欧盟的回收再利用。WEEE塑料回收再利用的水平在整个欧盟将由于现有基础设施和物流的限制而有所不同。金属熔炼厂的回收不需要分离出WEEE塑料，而这是WEEE的主要出路。由于2004年8月对五溴联苯和八溴联苯禁止以及2006年对PBB的禁止，EBFRIP不提倡机械回收来自开环废物流的历史的含溴化阻燃剂的塑料。然而，在环闭系统内的回收，在这种系统中电气电子制造商收回自己的废弃设备，那么情况可能完全不同了，为机械回收WEEE含溴化阻燃剂塑料提供了实用机会。

参考文献:

- [1] APME (2001): Plastics - A material of innovation for the electrical & electronic industry. Insight into consumption and recovery in Western Europe 2000.- 12 pages, Brussels.
- [2] LEHNER, (2003), BOLIDEN E&HS aspects on metal recovery from electronic scrap.- Sweden, Metal and Energy Recovery Conference.
- [3] VANBELLEN & WESSELDIJK (2003): Precious metals recycling of precious metals from different sources at Umicor
- [4] JUNG & FONTANA (2003): Small scale waste to energy gasification and pyrolysis plants. Substitution fuels from mixed plastics.-
- [5] HORNING & KOCH & SEIFERT (2003): Haloclean and Pydra – a dual staged pyrolysis plant for recycling WEEE.-
- [6] ECN (2000): Implementation of thermal processes for the feedstock recycling of bromine with energy recovery from Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE).-
- [7] BOERRIGTER & OUDHUIS & TANGE (2001): Bromine Recycling from the Plastics Fraction of Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) with Staged Gasification.-
- [8] VEHLow & TANGE & DROHMANN ET AL. (2001): Co-Combustion of WEEE Plastics and MSW in the Karlsruhe TAMARA Pilot Plant for Waste Incineration - Bromine (Br) Recovery and the Effects of Br on Metal Volatilisation.-
- [9] VEHLow & MARK (1997): Electrical and electronic plastics waste co-combustion with municipal solid waste for energy recovery.-
- [10] RADEMAKERS & HESSELING & VAN DE WETERING (2002): Review on corrosion in waste incinerators and possible effect of bromine.- TNO Industrial Technology, Apeldoorn, The Netherlands.
- [11] APME (2003): Plastics – An analysis of plastic consumption and recovery in Europe.- 20 pages, Brussels.
- [12] Drohmann & Tange (2002): End-of-life management of plastics from Electrical & Electronic Equipment containing brominated flame retardants.- Paper given at “Recycling Electrical and Electronic Equipment 5”, London, 3rd December 2002
- [13] DROHMANN (2000): RECYCLING UND ENTSORGUNG VON KUNSTSTOFFEN MIT BROMIERTEN FLAMMSCHUTZMITTELN.- 4. Fachtagung: Kunststoffe, Brandschutz, Flammschutzmittel, SKZ, Mai 2000, Würzburg.
- [14] BOLIDEN (2000): Personal communication.-
- [15] HAUPTVERBAND DER GEWERBLICHEN BERUFGENOSSENSCHAFTEN (1997): Dioxine am Arbeitsplatz.-

- [16] VAN ELDIK & RIESS (1999): Recycling of thermoplastic polymers containing brominated flame retardants.- unpublished project report.
- [17] TOKUSE (1998): Recycling of OA Equipment, BSEF Seminar, Tokyo.
- [18] Ideal resin reclaiming process from office automation equipment.- Nikkei Mechanical, No 542, 11/1999.
- [19] IMAI (2000): Comparative recyclability of flame retarded plastics.-
- [20] IMAI (2000): A practical study to compare recyclability between non-halogen PC/ABS (HIPS) alloy and FR-ABS flame retarded by brominated epoxy oligomer.-
- [21] SIMONSON ET AL (2000): LCA study of flame retardants in TV enclosures.- Interscience.
- [22] APME (2003): Identification of flame-retardants in plastics waste. Short overview on identification methods and instruments.- Working Paper.