二手物品的危害

废弃泡沫塑料制品中的阻燃剂

加利福尼亚州新颁布的家具标签和易燃性标准有望给不想接触阻燃剂的人们提供一个市场化的解决方案。 ©Jason Schneider

2015年1月1日，加州实施了美国第一部规定部分包含聚氨酯泡沫塑料的产品必须标签表明是否含有阻燃化学物的法规。家具行业专家预测，不含阻燃剂的沙发、椅子和其他软垫家具或产品将会受到客户和大型采购商的欢迎，同时，新的标签法SB1019也会对其他州产生影响，就如同加州的易燃性标准促进了阻燃剂在其他州甚至其他国家的使用。著名家居品牌奎恩佰瑞（Crate and Barrel）、宜家（IKEA）和乐至宝（La-Z-Boy）据说都已在销售或将会销售不添加阻燃剂的家具。

接受本文采访的环境化学家、科学家和公共卫生专家均认为，对于消费者而言新的标签法规是一大进步。“消费者应该始终有权利知道产品中有什么，无论这个产品是消费品、食物还是其他东西，”美国国立环境卫生研究院（NIEHS）的主任Linda Birnbaum说。

实际上，加州新的标签法规和支持性的易燃性标准（即TB117-2013）提供了一个基于市场的方案来解决美国阻燃剂暴露普遍的问题并同时保证消防安全。有了这些新的法规，要避免暴露的消费者就可以不接触这些阻燃剂。长远来看，这些法规会逐渐降低聚氨酯泡沫塑料中阻燃剂暴露的健康风险。

然而，并不是对所有人群同等有益；处理废旧家具和其他泡沫塑料产品的方式可能在不同程度上影响弱势地区人们的阻燃剂暴露和健康。而且，如何处理这些物品可能影响阻燃剂的环境排放量。

加州水资源控制局、有毒物质控制部、CalRecycle以及加州废物回收机构的工作人员均表示，目前为止，联邦或加州尚无针对这些问题的法规或要求。许多非该研究领域的人并不会监测或控制室外环境中的阻燃剂，弗吉尼亚海洋科学研究所高级环境科学家Mark La Guardia说道。La Guardia以及其他被采访的人都认为这个问题应该得到重视。

对消防安全的需求

聚氨酯泡沫塑料有很多特点使它成为需要缓冲性能的产品的首选。它具有质量轻、无声、无味以及防霉和不易引起其他常见过敏源的特点，并且易于塑形和切割。

但同时它也易燃。近40年来，家具制造商在聚氨酯泡沫塑料中加入阻燃剂，从而通过加州原先的易燃性标准TB117要求的明火测试。1970~2004年，美国和加拿大使用了大约46000公吨五溴联苯醚（一种商业用途的多溴联苯醚混合物，PBDEs），主要用于家具。杜克大学环境分析化学家Heather Stapleton曾经检测过这些物质，据她介绍，阻燃剂使用量巨大，即使二十多年后，一个旧沙发中五溴联苯醚的质量仍占沙发软垫中泡沫塑料的4%。

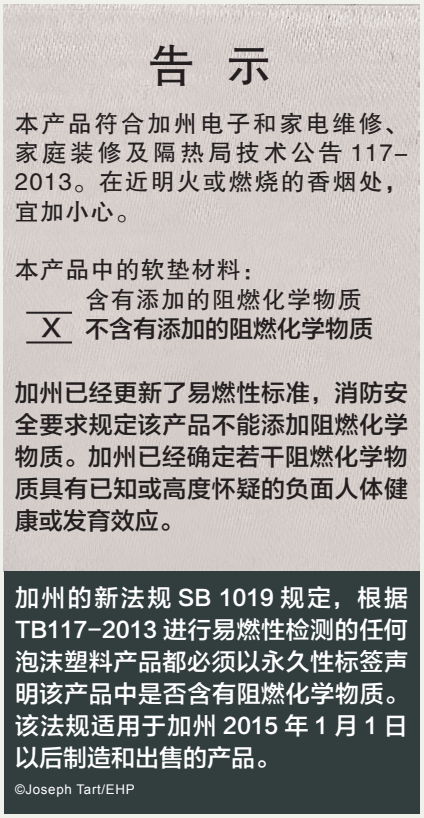
由于人们越来越关注五溴联苯醚成分（同系物）的不良效应，2014年美国企业逐渐停止该商品的生产，同年欧盟下令禁止生产。2009年，《关于持久性有机污染物斯德哥尔摩公约》（Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants）也禁止该化学品，美国签署了但并未批准。

还有研究结果表明，添加阻燃剂可能最终并没有达到预计的安全水平。美国消费品安全委员会最近进行了一项测试，发现阻燃剂阻止火势蔓延的程度并不一致。《芝加哥论坛报》（*Chicago Tribune*）记者Michael Hawthorne的一个获奖系列作品揭露，某些支持使用阻燃化学物的声明无从查证。

TB117要求软垫既通过明火测试也通过阴燃测试，TB117-2013则侧重于饰面织物能够通过新的阴燃测试。新标准要求制造商不使用化学阻燃物质，但一旦使用，就必须在产品标签上注明。

这一新标准也增加了豁免合规测试的婴儿产品数量——即这些产品不需要表明具有阻燃性。根据新标准，婴儿摇床、增高座椅、汽车安全座椅、换尿布垫、地板游戏垫、高脚椅、高脚椅垫、婴儿摇椅、婴儿背带、床垫、床罩、婴儿座椅、婴儿秋千、学步车、溢乳垫、哺乳枕、护栏边垫、玩耍篮、便携式桌边椅和婴儿推车都无需进行检测。这点很重要，因为最近一项针对加州40家幼托机构的研究显示，部分儿童的五溴联苯醚和其他阻燃剂暴露水平超过该州限定的每日安全摄入量。

时间会证明新标准对火灾发生率和存活率有怎样的影响。然而，作为历来住宅火灾的一大起因，吸烟率在不断下降，而且燃烧的香烟如果被随意丢弃会自动熄灭。



阻燃剂暴露

根据绿色科学政策研究所（Green Science Policy Institute）Arlene Blum的估计，美国现在使用的含阻燃剂的填充产品数以亿计。这一数据中不包括已经在垃圾填埋场的上亿件物品。在8年的时间里，Blum及其同事一直致力于加州易燃性标准改革，并敦促立法者妥善处理含有改性泡沫塑料的废旧物品。

由于阻燃剂与泡沫塑料不产生化学反应，所以能够排放到周围环境中。因此室内空气和灰尘是部分阻燃剂暴露的主要来源。目前，美国国家毒理学计划正在评估五溴联苯醚同系物的致癌性，同行评议计划在2015年6月进行。多项前瞻性美国出生队列研究表明，PBDE的体内负荷每增加10倍，IQ下降4.5~5.5。新家具中的阻燃剂还包括三（1,3-二氯丙基）磷酸酯（TDCPP），加州65号提案中把该物质列为已知能够引发癌症或具有生殖危害。另一种阻燃剂是Firemaster 550®，体外和动物试验表明其与肥胖、焦虑和发育问题相关。还有一种泡沫塑料中用作阻燃剂的化学物是2,2-双（氯甲基）丙烷-1,3-二基四（2-氯乙基）二磷酸酯，但无相关毒理资料。

家里、汽车和婴儿用品的泡沫塑料样本中都检出这些阻燃剂成分。多项研究表明儿童暴露大于成人，其中一项研究发现儿童中TDCPP主要代谢物的水平比母亲高5倍。美国全国健康和营养调查（NHANES）的数据表明，所有美国人的血液中都检出五溴联苯醚同系物，且儿童的水平高于成人。

北美人群体内的五溴联苯醚同系物水平显著高于欧洲人或亚洲人，原因在于美国国内市场要遵守TB117，导致这些产品只在北美制造和使用。北美的采样结果表明，加州居民家中和体内PBDEs平均浓度最高，这可能也是该州易燃性标准导致的结果。

过去十年的研究表明，社会经济地位较低的人群和有色人种的室内阻燃剂暴露程度异常高。这些研究均使用具有全美代表性的NHANES数据，研究结果表明贫困线以下的非白种加州人五溴联苯醚同系物水平达到有史以来最高值。最近，一些在美国东西两岸的研究表明，母亲学历低（加州）和社会经济地位低（北卡罗来纳州）与儿童体内部分五溴联苯醚同系物和其他阻燃剂水平高相关。还有研究表明，加州和俄亥俄州6~8岁不同种族女童的PBDEs体内负荷较低与看护人教育程度较高相关。同时，该研究发现黑人女童的体内负荷最高。研究人员还发现，低收入人群住房灰尘中阻燃剂水平较高。有关低收入人群体内或家中新型阻燃剂水平的文献较少。

尚无硬数据能够解释阻燃剂暴露的差异，乔治华盛顿大学环境与职业健康系的副教授Ami Zota说道。对废旧或廉价家具（多见于低收入家庭）中改性泡沫塑料的物理风化和瓦解作用，很可能释放出更多阻燃剂到室内

环境中。Zota说，住房质量、通风率和每平方英尺的居民数也可能起到一定作用。

迄今为止的研究表明，十年前五溴联苯醚从市场撤出的举措，对该化学物的人体体内负荷产生着积极的影响。2011年，一项针对加州36名孕妇的研究显示，她们血脂中五溴联苯醚同系物的平均水平比3年前相似人群的平均水平低39%。此研究作者之一Zota介绍，这两组人群来自同一诊所，该诊所主要面向低收入地区，而且3年前这组人群的水平达到孕妇的历史最高。

但也有一些研究人员担心，用这项基于市场的方法来减少家具和婴儿产品中的阻燃剂，所惠及经济劣势人群的速度最为缓慢，随着他们体内负荷的增加，导致他们的经济地位更加落后。“就阻燃剂长期暴露来看，不富裕的人购买新家具的可能性更小，并会继续使用老旧破损的家具，”加州大学伯克利分校公共卫生学院的环境健康科学家Asa Bradman说。他指出，通常室外空气污染物暴露越多、住宅距离污水处理厂和垃圾填埋场越近，贫困导致的压力水平越高，就会随之带来这些迥然不同的暴露。

以市场的方法来减少泡沫塑料物品中的阻燃剂，所惠及低收入人群的速度极为缓慢；不富裕的人更有可能继续使用内置泡沫塑料已经损坏的老旧产品。这种经济状况可能解释了低收入家庭的室内灰尘中阻燃剂水平更高的研究结果。

©Rob A. Johnston/Walkabout Wolf Photography/Getty

改性物品的处理

从家具行业和制造商处获得的资料显示，家具通常会转手3个主人，每位主人平均使用10~15年，Blum说。这意味着含有五溴联苯醚和其他阻燃剂的沙发可能会被使用了几十年。加州大学伯克利分校公共卫生学院环境研究与儿童健康中心主任Brenda Eskenazi坦言，她很担心如果她送给二手店的填充家具发生破损，那会让她良心备受谴责。

“我仍在使用被污染的沙发，”她说。如果她捐赠的是一件非常好但含有阻燃化学物的沙发，“除了没有能力购买一件新沙发的人，还有谁会去选这个？”她问。

Blum表示了类似的顾虑。“在我研究这个问题的整整八年中，一直有人问我们会如何处理这些毒沙发。”她说。

La Guardia认为市政部门处理沙发这种大物件的方法促使人们将其转手继续使用。“在部分城市和城郊地区，将旧沙发搬到垃圾场需要付费，而慈善机构可以免费上门搬走旧沙发，并将其出售。”他介绍道。垃圾场的收费导致了人们非法丢弃旧家具。

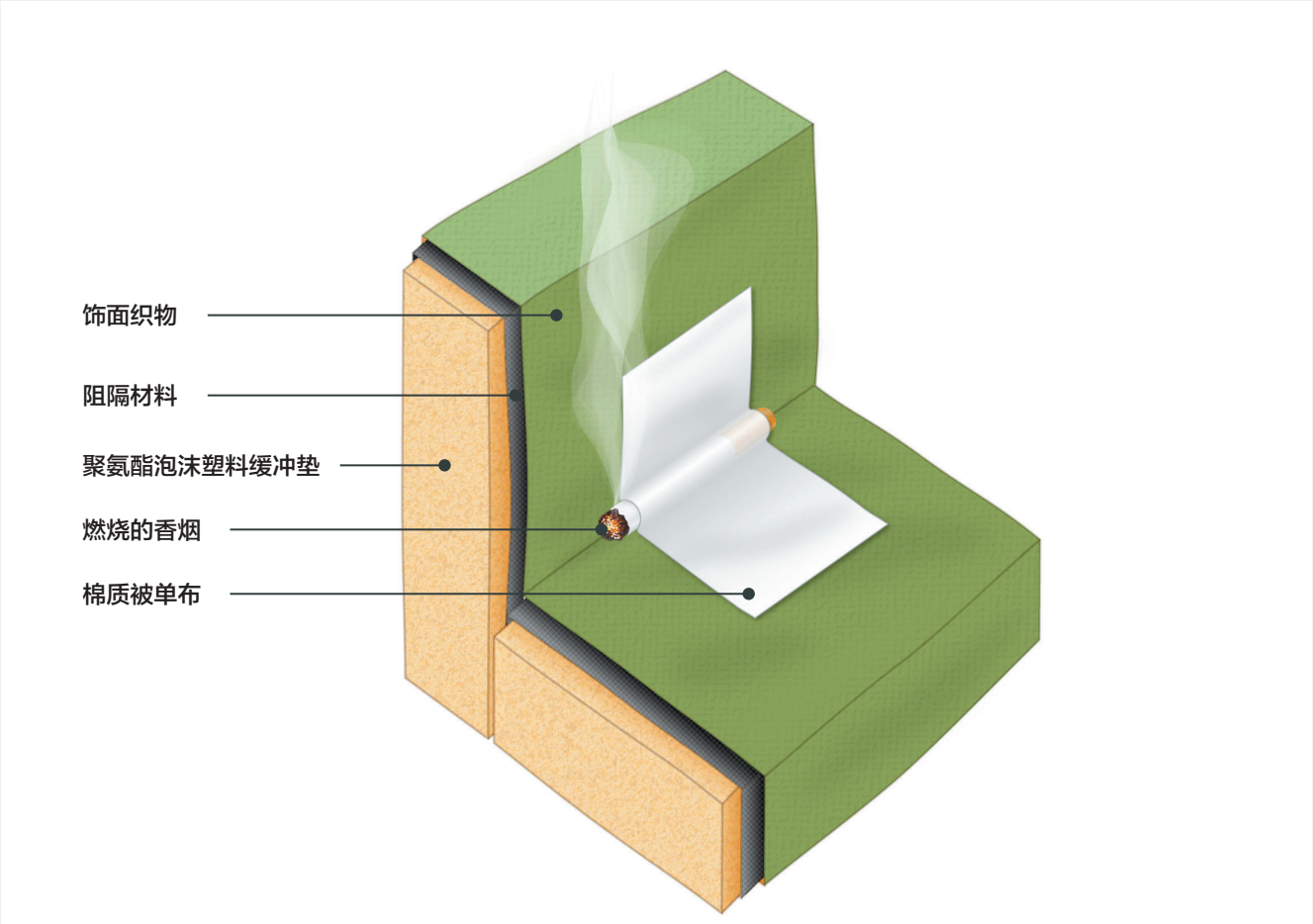
目前，处理旧家具和其他泡沫塑料产品的主要方式是垃圾填埋。由于美国有50%的垃圾最终被送到垃圾填埋场——据美国环境保护署（EPA）估计2012年共计约1.35亿吨——这些地点可能已经成为美国阻燃剂的一大仓库。

加州没有对垃圾填埋场中家具处理进行限制。因为PBDEs不作为有害废弃物，所以没有规定必须填埋在有害废弃物垃圾填埋场，该州的有毒物质控制部对其处理亦无监管，有毒物质控制部的发言人Russ Edmondson说道。据接受本文采访的加州官员介绍，加州也没有规定要检测垃圾填埋场排放的空气或水中是否存在任何阻燃剂。

挥发性阻燃剂

垃圾填埋场的有毒物质暴露对负面健康效应的贡献程度仍然未知。然而，有证据表明阻燃剂的确从垃圾填埋场渗出。欧洲某垃圾填埋场附近的空气中阻燃剂和其他持久性化合物的水平较高，同时，对尼加拉瓜垃圾填埋场附近居住或在其中工作的人进行调查发现PBDEs暴露水平非常高。也有研究表明五溴联苯醚同系物能够通过渗滤液从垃圾填埋场渗出。

印第安纳大学公共与环境事务学院的研究人员发现，在五大湖周围远



以前加州的易燃性标准要求塑料泡沫能够通过 12 秒的明火测试。新标准 TB117-2013 要求家具成分能够通过升级的阴燃测试。该测试将一支点燃的香烟置于受检材料的表面。如果多个样品均在距离着火点 1.8 英寸以上的任何方向出现烧焦，则判定该材料不合格。新标准强调通过阻止外部材料的点燃来防止内部泡沫塑料的燃烧。TB117-2013 不禁止使用化学阻燃剂。然而，并不需要使用阻燃剂来通过测试；很多适用于饰面的织物本身就具有阻燃性，或者制造商可以在饰面织物和泡沫塑料之间放置具有阻燃性的阻隔材料。

©janewhitney.com

程采样点收集的空气样本中五溴联苯醚同系物水平较高，垃圾填埋场可能是来源之一。当远程采样点阻燃剂浓度升高时，芝加哥和克里兰夫周围的阻燃剂水平下降。印第安纳大学的研究团队负责人Ron Hites强调，其团队需要更多数据来确认浓度是否的确在升高。他认为，如果这种趋势得以确认，那么垃圾填埋场将作为潜在的暴露来源被研究。

苏黎世瑞士联邦理工学院（ETH Zurich）的Martin Scheringer说，其他用于聚氨酯泡沫塑料的阻燃剂，如TDCPP和一些Firemaster 550的成分，比取而代之的五溴联苯醚更容易挥发，所以从垃圾填埋场迁移出的可能性更大。与五溴联苯醚的主要成分四溴联苯醚相比，TDCPP在水中的溶解性至少大1000倍。

受访的研究人员一致认为，所有这些领域都需要进行更多的研究。弗吉尼亚海洋科学研究所的Rob Hale获得了美国EPA及美国国家海洋和大气管理署的资助，研究在何种情况下不同聚合物（包括聚氨酯）中的阻燃剂可能析出渗进水中。该研究将有助于了解垃圾填埋场内发生的情况，他说。

Scheringer说，数十年以来的监测显示，诸如杀虫剂DDT和多氯联苯等化合物具有与PBDEs类似的化学特性，能够挥发和到处移动，甚至长距离移动，不过其高分子量可能限制其转移并使其留在原处。他说，这表明将会有一定比例的五溴联苯醚和其他阻燃剂从垃圾填埋场中迁移出来。Scheringer和瑞典毒理学科学研究中心和斯德哥尔摩大学的Åke Bergman对此意见一致，即便比例很小，但考虑到化学物的使用量，迁移出的量可能非

常可观。对居住在垃圾填埋场附近或下风向的居民而言，另一个可能的暴露途径是通过食用家中种植的食物，Scheringer补充道。

没有对含聚氨酯泡沫塑料的产品进行妥善处理是阻燃剂释放到环境中的另一种途径。Hale说，一件被丢弃的家具可能是阻燃剂排放到当地环境中的一个主要来源。“如果一件家具被丢弃，而泡沫塑料降解并包含阻燃剂，那么它被释放到当地环境中的可能性非常大，”他说。“如果这件家具完好无损并且很快被人捡走，那么在几天之内它还成不了一大污染源。”

Bergman极力建议通过对垃圾填埋场监控来确定阻燃剂和其他化学物排放到空气和水中的程度。但他坦言，垃圾填埋场的排放量可能远远低于室内家具中阻燃剂的排放量，因此直接的健康威胁比较低。

寻找解决方案

国家科学基金将在今年(2015年，编者注)下半年资助一个工作组，旨在确定处理和分解泡沫塑料和塑料制品中阻燃剂的方法。加州大学伯克利分校和附近的绿色科学政策研究所（Green Science Policy Institute）——一个科学与政策组织，目前正在规划该项工作，预计科学家、监管机构及已经或正在研发相关方法的公司将参与其中。

劳伦斯伯克利国家实验室的Don Lucas曾参与筹划该工作组，他说目前并没有找到很多选择。他认为基于焚烧或其他热能技术的方法可能是最佳选择，但必须实施严格的控制以避免不必要的副产品。Bergman指出，焚烧在他的祖国瑞典和欧洲其他国家广泛用于城市固体垃圾的管理。

目前的现实状况是大部分美国的家庭、汽车和工作场所中仍然含有阻燃剂，并且很可能是各种阻燃剂的混合。不过研究表明，勤洗手可以减少

消费者的其他选择

对于担心未贴标签的家具和其他泡沫塑料产品中存在阻燃剂的消费者，有两个比较新的方法供选择。第一，任何人都可以“解剖”他们的物品，并通过杜克大学的塑料泡沫免费检测服务了解里面的成分。由此，人们可以决定是否要继续使用这个产品或者处理掉。

在旧金山湾区绿色科学政策研究所实施了第二个方法。2014年该研究所启动了一个试点项目，名为更安全的沙发海绵交换项目，消费者可以用他们的旧家具海绵换取不含阻燃剂的新海绵。Blum说，至今交换所得的旧软垫都保存在仓库中，供海绵合理处理的研究项目使用。

每件软垫的交换成本约为45~95美金。“与五溴联苯醚对儿童智商、癌症、不孕不育和免疫功能的危害所致潜在健康成本相比，这简直微乎其微，”Blum说。她申请了资助来研究以更低的成本将此海绵交换服务提供给低收入人群的策略。但将这个项目推广给售卖二手家具“实际非常困难”，Blum说到，而且她受到诸多阻力。

旧金山湾区的泡沫塑料和饰面专业人士参与了更安全的海绵交换（Safer Sofa Foam Exchange）项目，该项目中消费者可以用旧软垫换取不添加阻燃剂的新海绵。每件软垫的成本约为 45~95 美金，比购买一件新沙发便宜。

©Paul Chinn/San Francisco Chronicle/Polaris

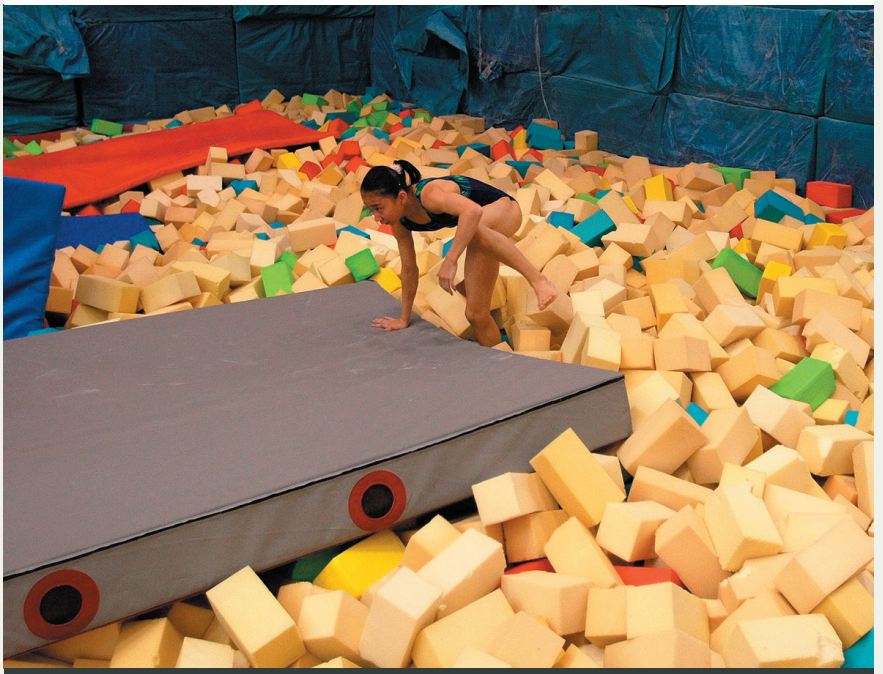
不同暴露的其他来源

波士顿大学公共卫生学院的Courtney Carignan是项目的首席研究员，研究结果显示优秀的体操运动员可能通过训练器材暴露于高水平的阻燃剂。例如，体操运动员训练时铺在着落点的“海绵坑”里面全都是裸露的聚氨酯泡沫塑料，比饰面家具释放阻燃剂的速度更快。Carignan说，使用海绵坑的不仅仅是体操运动员——滑雪运动员、单板滑雪运动员和其他运动员也都使用。海绵坑也是美国随处可见的室内蹦床场所的一个普遍特征。

Carignan认为，基于诸多原因，阻燃剂对于体操运动员而言是一个环境正义问题；她解释道，资金较少的体操馆和学校更加难以更换昂贵的专业器材，且更有可能使用二手坠落防护器材。Carignan创办了非营利性的体操运动员阻燃剂协作组，她通过这个协作组进行网站运行并实施检测项目，以提高体操运动员和健身馆的意识。

弗吉尼亚海洋科学研究所的Mark La Guardia最近完成了4家体操馆空气样本的分析，并且发现那里的器材可以追溯到1996年奥林匹克运动会。检测结果显示，体操馆空气中阻燃剂的水平是体操馆教练家中的数倍之高。“体操馆的业主不知道（器材）里面含有阻燃剂，未来几年也不太可能更换，”La Guardia说。

其他可能受到不同程度泡沫塑料中阻燃剂暴露的人群包括地毯铺设工、泡沫塑料回收工、消防员（暴露于燃烧物品产生的烟雾）以及电子产品拆解和回收工。



“海绵坑”中裸露的海绵块可能比布料包裹的海绵物品更快释放阻燃剂。研究表明，使用专业器材会导致室内训练的体操运动员和其他运动员暴露于极高水平的阻燃剂。海绵坑也成为室内儿童乐园的一大特征。

©0000000

人体暴露于五溴联苯醚同系物和其他阻燃剂。

辛辛那提大学医学院环境健康系的流行病学家Aimin Chen建议，准妈妈们和其他相关人群可使用带高效微粒过滤器的真空吸尘器清扫和使用湿布擦拭家具灰尘，从而减少暴露。非营利性组织环境工作组制定了进一步的建议指南，比如替换变形或损坏的泡沫塑料物品，确保这些物品的表面完好无缺，以及避免使用没有被保护织物完全包裹住的泡沫塑料物品。

还没有明确证实所有这些策略都有助于减少阻燃剂暴露。但即便证实有效，废水、真空袋和抹布仍然会把家里的五溴联苯醚和其他阻燃剂转移到废物堆中，并最终进入环境。因此，Birnbaum、Blum及很多其他受访者强烈建议制造商继续寻找更安全的化学物用于家具和其他具有潜在人体暴露的用途。

Kellyn S. Betts，十多年来一直为*EHP*和《环境科学与技术》（*Environmental Science & Technology*）等刊物撰写有关环境污染物、危害及解决环境问题的文章。

译自*EHP* 123(3):A56–A63 (2016)
翻译：汪　源

***本文参考文献请浏览英文原文**
原文链接
http://dx.doi.org/10.1289/ehp.123-A56