



Distr.: General
11 November 2011

Chinese
Original: English

控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约

缔约方大会

第十次会议

2011年10月17日-21日，哥伦比亚，卡塔赫纳

临时议程*项目3(b)(一)

与执行《公约》有关的事项：

科学和技术事项：技术指导

技术指导

秘书处的说明

增编

废旧充气轮胎无害环境管理技术准则

由巴西政府牵头的小型闭会期间工作组编制了文件 UNEP/CHW.10/6/Add.1。缔约方大会第十次会议在该文件所载的草案基础上，修正并通过了废旧充气轮胎无害环境管理技术准则。该技术准则最终版的案文载于本文件附件。

* UNEP/CHW.10/1。

附件

废旧充气旧轮胎无害环境管理技术准则

（2011 年 10 月 31 日修订，最终版）

目录

定义

一、 导言.....	7
A. 背景和范围	7
B. 轮胎的一般特性	7
1. 结构：轮胎组成成分和技术术语的定义.....	7
2. 轮胎成分	8
3. 轮胎的物理特性.....	10
C. 轮胎生命周期的各个阶段	11
1. 旧充气轮胎.....	12
2. 翻新的轮胎.....	13
3. 废弃充气轮胎.....	13
D. 对健康和环境的潜在风险	13
1. 对公共健康的风险.....	13
2. 环境风险.....	14
二、 《巴塞尔公约》的相关规定.....	19
A. 一般规定	19
B. 与轮胎有关的规定	20
三、 无害环境管理指导.....	21
A. 一般考虑因素	21
1. 《巴塞尔公约》	22
2. 无害环境管理废物的核心绩效要点.....	23
B. 立法和监管框架	24
1. 越境转移要求.....	24
C. 废旧充气轮胎的管理方法	25
1. 一般考虑因素.....	25
2. 环境管理系统.....	26
3. 国家废旧充气轮胎管理制度.....	26
D. 防止产生并最大限度地减少废物	27
E. 收集、运输和储存	27
F. 无害环境处置	30
1. 翻新.....	36
2. 常温/低温回收.....	37
3. 脱硫和回收.....	39
4. 工业品和消费品.....	40
5. 土木工程.....	43
6. 热解.....	44
7. 协同处理.....	45

8. 发电厂的协同焚化.....	48
参考文献.....	50
附录一 公共卫生文献	55
附录二 沥滤文献	58
A 部分：关于已审查的轮胎沥滤实地考察的摘要.....	58
B 部分：将材料用作工程用途的可滤取决定因素（在联合王国适用）	61
注	62
附录三 文献记录的轮胎火灾.....	63

定义

废气排放系统	用于抽取生产或消耗过程中产生的气流或微粒流，以便在排入大气前去除污染物的系统。
常温减小体积	在正常室温或高于室温条件下机械地减小体积。
人工草皮	用于填充合成场地的轮胎颗粒，用于形成主要的运动地面。
回填	用废料重新填充已挖掘地区，以便为安全起见改善斜坡，或作为塑造景观的填料，或堆在填埋场。
沥青改性剂	改性沥青一般使用传统的防水介质沥青，并用无规聚丙烯（APP）、苯乙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物（SBS）、合成橡胶或其他试剂加以改性，形成统一的基质，以改善沥青的物理特性。
碎片	机械加工的结果，将报废轮胎打碎、撕裂或撕碎，形成大小为 10-50 毫米的不规则碎片。
土木工程应用	在建筑项目中使用完整的、捆扎的、碎块状的、碎条状的或碎片状的废弃轮胎进行回填。
低温轮胎回收	在低温下使用液氮或商业制冷剂使橡胶脆化，从而对轮胎进行回收利用。
碎块	机械加工的结果，将报废轮胎打碎、撕裂或撕碎，形成>300 毫米的不规则碎片
脱硫产物	导致交联减少的脱硫过程的产物。橡胶改良可以是一种脱硫产物。
脱硫	导致交联减少的橡胶处理。
报废轮胎	废弃轮胎的另一种名称。
超细颗粒（碳素制品）	通过不同标准筛子的团块、小球或小球碎片。
超细粉末	橡胶加工的结果，目的是获得<500 微米的细致分布的微粒，包括经表面改性的粉末。
颗粒	橡胶加工的结果，目的是减小其体积，以获得 0.8 毫米至 20 毫米的细致分布的微粒。
其他轮胎	包括农用越野车和飞机所使用的轮胎。
粉末	橡胶加工的结果，目的是减小橡胶体积，以获得小于 0.8 毫米的细致分布的微粒。
热解	橡胶在无氧条件下的热分解过程，通过化学方法使其分解成石油、天然气和煤焦。气化是一种在有少量氧气的条件下发生的热解过程。
翻新	泛指使用新材料替换磨损胎面来翻修旧轮胎。翻新还可能包括维修最外层的侧壁面，和替换胎冠帘布层或缓冲层。
橡胶改良	对硫化过程进行处理而产生的橡胶，处理方式使橡胶再次具有了某些原有特性。与原始橡胶相比，改良橡胶在品质上略

	为逊色。
废轮胎	废弃轮胎的另一种名称。
碎条	机械加工的结果，将报废轮胎打碎、撕裂或撕碎，最终形成任一面都为 20-400 毫米的不规则碎片
切碎	通过机械加工（包括低温操作），将轮胎打碎、撕裂或撕碎成任一面都为 20-400 毫米的不规则碎片。“初步切碎”通常指将报废轮胎切碎、粉碎或打碎，同时使加工后的材料在整体上保持与报废轮胎相同的组成。
毒性滤除程序	在美国用以确定指定金属和有机物质沥滤水平的检测。
轮胎回收	任何将废弃轮胎重新加工成用于任何用途的产品、材料或物质的处理过程。不包括能量回收，或将轮胎重新加工成用作燃料或回填作业的材料。
旧轮胎	经过任何类型的使用和/或磨损的轮胎。
废弃轮胎	已处置的、计划处置的、或国家法律规定要求处置的轮胎。
完整轮胎应用	利用未经物理或化学处理的完整废弃充气轮胎建造声音屏障、临时道路或固定体等项目

一、 引言

A. 背景和范围

1. 鉴于旧轮胎及废弃充气轮胎会对人类健康和环境造成潜在有害影响，《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》的缔约方审议了在确定和管理这些轮胎中遇到的困难。相应地，还编制了关于界定和管理旧轮胎的技术准则。这些准则由公约缔约方大会在第 V/26 号决定中通过，其第一版于 2000 年 10 月出版，后于 2002 年 11 月再次印发。
2. 在准则出版后的七年里，许多国家又收集了关于废旧充气轮胎的其他知识和经验，与最初的准则版本相比，它更为全面地讨论了技术、经济和环境因素。因此，缔约方大会通过了第 VIII/17 号决定，对准则内容进行订正和更新，以便协助国家主管机构在其本国境内对废旧充气轮胎实施无害环境管理。
3. 根据巴塞尔公约缔约方大会第 VIII/17 号、第 IX/14 号和第 BC-10/6 号决定，以及巴塞尔公约不限成员名额工作组第 VI/3 号和第 VII/6 号决定，经修订的技术准则为无害环境管理废旧充气轮胎提供了指导。

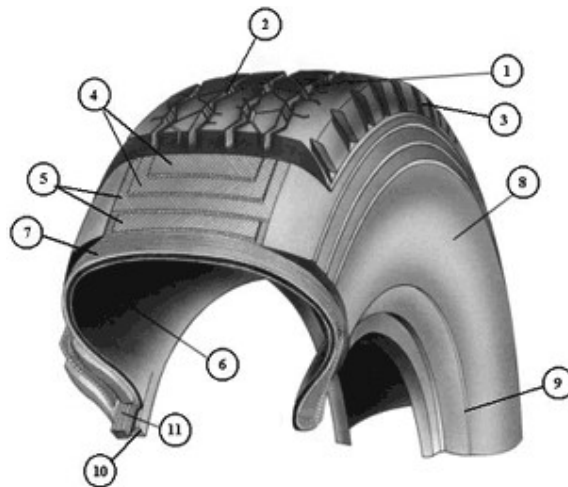
B. 轮胎的一般特性

1. 结构：轮胎组成成分和技术术语的定义

4. 轮胎由多个部分组成，包括不同类型的钢和橡胶化合物。当前准则中列出的成分定义只为向废旧轮胎管理人员提供一般信息。国际标准和条例，包括联合国欧洲经济委员会发布的针对新轮胎的标准和条例提供了更详细的定义。
5. 轮胎的主要组成成分以及消费者可用以确定其特性的技术术语如下文的图一所示。

图一

轮胎的成分



注：

1. 轮胎结构的最常见类型有斜交（正交）轮胎、带束斜交轮胎和子午线轮胎。
2. 所有出售的轮胎中有近 80%为子午线轮胎。

3. 轮胎胎侧显示了一系列信息，这些信息因国家立法和制造商的不同而有所变化，可便于用户买到适合自身需求的轮胎。

- (a) **“胎面” (1)** 是指充气轮胎与地面接触的部分；
- (b) **“胎面花纹沟” (2)** 是指胎面花纹中相邻条纹或区块之间的间隔空间；
- (c) **“轮胎胎侧” (3)** 是指充气轮胎胎面和被车辆所覆盖区域之间的部分；
- (d) **“帘布层” (4, 5)** 是指被平行帘线覆盖的一个“橡胶”层。在子午线轮胎中，它的作用是固定轮胎；
- (e) **“帘线” (6)** 是指构成充气轮胎帘布层面料的线绳；
- (f) **“胎体” (7)** 是指充气轮胎除胎面和轮胎胎侧最外层橡胶以外的结构部分，轮胎充气后该部分将支撑负载；
- (g) **“断面宽度” (8)** 是指已充气的轮胎在装配到特定尺寸的车辆上时，轮胎胎侧的外侧直线距离，不包括因贴标签（标记）、装饰或保护性条带或条纹而出现的加高；
- (h) **“带束层” (9)** 应用于子午线轮胎或带束斜交轮胎，是指胎面下由一种或多种材料构成的一个或多个层面，主要铺设在胎面的中心线方向以便在环绕方向控制胎体；
- (i) **“胎圈” (10)** 是指充气轮胎嵌入轮圈并使轮胎固定在轮圈上的外形和结构部分；
- (j) **“胎圈包布” (11)** 是指胎圈上保护胎体使之避免与轮辋产生摩擦或磨损的材料。

2. 轮胎成分

6. 新轮胎的组成成分如表 1 所示，轮胎制造中所使用的材料见表 2。

表 1 汽车和卡车轮胎的主要成分 (%)

材料	汽车(%)	卡车(%)
橡胶/弹性材料	45	42
碳黑和硅石	23	24
金属	16	25
纺织物	6	
氧化锌	1	2
硫磺	1	1
添加物	8	

资料来源：汽车轮胎：欧洲轮胎和橡胶制造商协会的生命周期评估¹和卡车轮胎制造商提供的资料

1 欧洲一般汽车轮胎生命周期评估。Préconsult for ETRMA, 2001。

7. 不同的服务条件是指，与汽车轮胎相比，卡车轮胎所含的天然橡胶比合成橡胶多。

表 2

轮胎制造中所使用的材料

材料	来源	应用
天然橡胶	天然橡胶主要来自巴西橡胶树的树液。	一般来说，天然橡胶目前在汽车轮胎和卡车轮胎的所有弹性材料部分中分别占 30%–40%和 60%–80%。
合成橡胶	所有合成橡胶均来自石化产品。	一般来说，合成橡胶在汽车轮胎和卡车轮胎的所有弹性材料部分中分别占 60%–70% 和 20%–40%。
钢丝帘线和胎圈钢丝，包括涂层材料和活性剂、铜/锡/锌	这种钢材是优质品，因其高质量要求，世界上仅有少数厂家能够生产。	钢材被用于为轮胎提供刚性和强度。
加固面料	涤纶、人造丝或尼龙	用于为汽车轮胎的胎体提供结构强度。
碳黑、非结晶硅	碳黑来自石油库存。非结晶硅来自硅和碳酸钠，其来源既可能是天然的，也可能是合成的。	碳黑和硅石具有耐久性以及抗磨损和抗开裂性能。
氧化锌	锌是经开采得到的矿石，也可能来自回收的锌，经过加工，生产出氧化锌。	氧化锌主要添加用作硫化活性剂。经过硫化过程，氧化锌在轮胎中以结合锌的形式存在。
硫磺（包括化合物）	这是经开采得到的矿石，也可能从天然气或石油中提取出来。	硫化过程的主要添加剂
间苯二酚甲醛		粘合系统的组成部分，用于将橡胶粘接到纺织纤维，并提高橡胶和黄铜镀金钢带之间的粘附力。
油类 芳香油， MES 油（净化的特殊芳香油）， 环烷油， TDAE 油（净化的特殊芳香油）， 石蜡油		

材料	来源	应用
其他添加剂和溶剂： 杂环化合物， 苯二胺衍生物， 苯酚稳定剂， 亚磺酰胺， 胍基衍生物， 噻唑， 二硫代磷酸盐， 秋兰姆， 二硫代氨基甲酸盐， 硫脲， 其他	合成或天然来源。	其他添加剂用于各种橡胶化合物，以改变处理和制造过程，以及最终产品的特性。抗老化剂、加工助剂、加速剂、硫化剂、软化剂和填充料。
再生橡胶	从废弃轮胎或其他橡胶产品中回收而来。	在制造新橡胶产品和翻新材料时用于某些橡胶化合物。

资料来源：改编自 2001 年《废弃轮胎的国家处理办法》；欧洲轮胎和橡胶制造商协会，2001 年；《关于轮胎材料和轮胎的磨损颗粒的知识状态报告》，ChemRisk Inc，2008 年 7 月 30 日。

3. 轮胎的物理特性

8. 轮胎因其成分和用途不同，在重量上也会有所变化。表 3 载列了三种最常见分类的信息。

表 3

按类别分列的轮胎平均重量

轮胎类别	平均重量 (千克)	个/吨
乘用车	6.5–10	154
厢式车（包括 4 x 4）	11	91
卡车	52.5	19

资料来源：Hylands 和 Shulman，2003 年

9. 根据德国水泥业的报告，旧轮胎在协同焚化中产生的热值是 26 兆焦/千克（德国水泥协会，2008 年）。²这一数值获得了德国联邦环境机构（2006 年）³ 的确认，该文件列出旧轮胎作为二次燃料的平均热值为 25.83 兆焦/千克。

10. 表 4 载列了有关各种燃料的能值和二氧化碳排放量的信息。

表 4

各种燃料的能值和二氧化碳排放量

² VDZ (2008)。

³ UBA (2006)。

燃料	能量（百万千焦/吨）	排放量（千克 CO ₂ /吨）	排放量（千克 CO ₂ /百万千焦）
轮胎	25–35	2,72	85
碳	27	2,43	90
石油焦	32.4	3,24	100
柴油	46	3,22	70
天然气	39	1,989	51
木材	10.2	1,122	110

资料来源：促进可持续发展世界商业理事会（促发世商会），2005 年——各种燃料的二氧化碳排放系数。

11. 热值和其他参数取决于轮胎的来源（汽车/卡车）、使用比率（剩余橡胶）、物理方面（是不是碎片），并因国家和制造商各异而不同。

12. 轮胎不会自燃，因此根据《巴塞尔公约》附件三特性 H4.1-4.3，不被归类为可燃物。由大不列颠及北爱尔兰联合王国⁴的建筑研究所利用轮胎包所开展的工作得出以下结论：

(a) 最低着火温度为 182° C，点燃时间为 182° C 的温度持续 65.4 天之后；

(b) 短期自燃仅在持续接触 350° C 的温度 5 分钟或 480° C 的温度 1 分钟后发生。

13. 然而，必须指出的是，自然现象（例如闪电，如果轮胎没有得到妥善存放）和人类的蓄意行为（例如纵火、气球等）可能产生有助于轮胎燃烧的条件。鉴于轮胎着火会产生很高的热量，一旦发生就很难控制。本准则附录三提供了一份废弃轮胎库发生过的火灾清单。

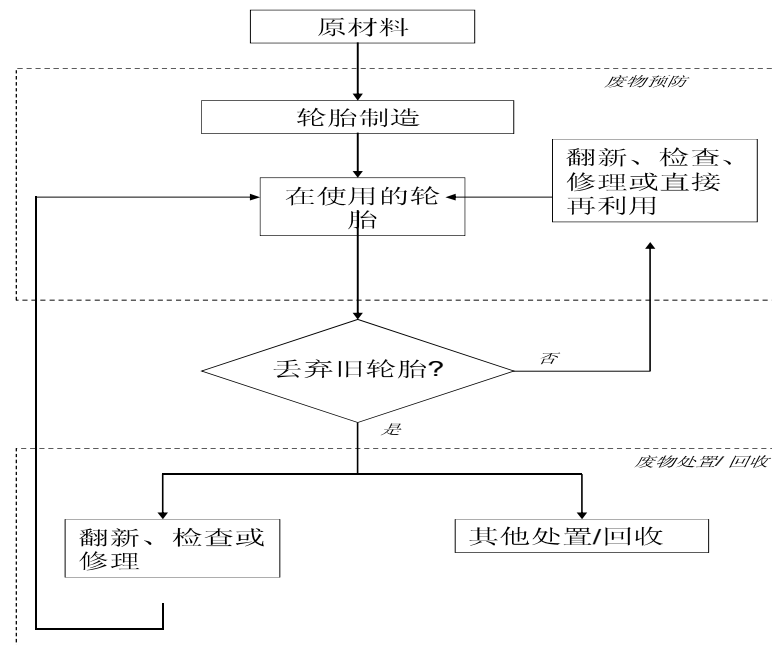
C. 轮胎生命周期的各个阶段

14. 图二显示的是轮胎生命周期中从获取原材料到制造、使用和处置的各个阶段。尤其可以看出，既可以在预防阶段翻新轮胎，作为一项再利用措施；也可以在废物回收/处置阶段进行翻新，在这个阶段，可以对废弃的轮胎进行翻新或其他无害环境处置。因而，在两个阶段翻新轮胎都可以提高轮胎的有效寿命。

图二

轮胎生命周期的各个阶段

4 HR Wallingford (2005)。



1. 旧充气轮胎

15. 有些国家允许重新出售部分磨损的旧轮胎用于原始用途。不过，值得指出的是，购买旧轮胎时务必十分谨慎，因为会有风险。此类轮胎可能来自发生过事故、因遭遇坑洼或其他障碍物而损坏过的车辆，没有经过适当的压力校准，或维修不当。

16. 部分磨损的旧轮胎可以不经进一步处理再次使用。此类轮胎的来源包括：

- (a) 为出售的二手车配备的轮胎，或来自报废车辆的轮胎；
- (b) 用于应用要求较低的旧（过时）轮胎；
- (c) 除达到使用年限之外的其他原因而替换掉的轮胎，如车主配备了一套高性能轮胎或新轮毂。

17. 联合王国制定了有关旧轮胎销售和分销的法律，作为 1994 年机动车轮胎安全条例的一部分。有关销售和分销旧轮胎的要求如下：

- (a) 轮胎外部任何方向上都不得有超过 25 毫米或断面宽度 10%、或深至帘布层或帘线的切口；
- (b) 轮胎上不得出现因结构断裂或损坏而引起的任何外部硬块、隆起或撕裂现象；
- (c) 轮胎内部或外部均没有裸露帘布层或帘线；
- (d) 当轮胎充气达到设计的最高压力时，不得出现任何上述缺陷；
- (e) 原始胎面花纹上的任何沟槽都应清晰可见；

(f) 原始胎面花纹沟在轮胎整个宽度及外周长上的深度必须至少为 2 毫米。

18. 目前正开展研究，为轮胎安装称为无线电频率识别装置的电子芯片，以记录有关轮胎使用状况的信息。如果能够证明这些装置的效率，则可以证明其能有效确定旧轮胎重复利用的确切参数。

2. 翻新的轮胎

19. “翻新”一词指更换轮胎已磨损的表面。翻新过程被认为是一种提高轮胎有效寿命的办法，可以考虑作为废物管理层级中的一项再利用措施。有关翻新技术的更多信息载于本准则第三章 E 节。

20. 若翻新的是此前已废弃的轮胎，则翻新作业属于废物回收。若翻新的是尚未丢弃的旧轮胎，则翻新作业属于废物预防。在这两种情况下，通过翻新均可以使轮胎得到再利用，并延长其有效寿命。

3. 废弃充气轮胎

21. 废弃充气轮胎可翻新再利用，或通过切割、切碎或碾碎进行回收，然后用于多种用途，如鞋类、运动场表面和地毯，还可制成燃料，用于能源回收。

D. 对健康和环境的潜在风险

22. 轮胎的组成部分没有危险特性，因而本质上没有危害。然而，如果管理或处置不当，就可能对公共健康和环境造成潜在风险。

23. 鉴于旧轮胎分解所需的时间不确定，因此它们不具有生物降解性。旧轮胎是占用大量物理空间、难以压缩、收集和消除的废物。除了视觉影响，处置不充分还会阻断水道、小溪和雨水排水道，造成径流形式变化。这些变化会导致侵蚀、水流淤塞，并造成洪水水位不断上涨。

24. 由于轮胎容易积蓄热量，又呈开放式结构，因此如果将轮胎堆叠在一起，会因为人为纵火或闪电等意外起因而增加火灾风险。轮胎一旦着火，火势将难以控制或扑灭。轮胎大火可能燃烧几个月，产生烟、油和沥滤液有毒污染物，影响土壤、水道和空气。⁵在垃圾填埋场，轮胎会占据宝贵的空间、存在火灾风险、难以生物降解，而且经常凸露到地表，给填埋场管理带来了一系列新的问题。⁶正是因为这个原因，欧洲联盟禁止通过填埋的方式处置轮胎。⁷

25. 有关公共健康方面的更多详细信息载于附录一。

1. 对公共健康的风险

26. 如果管理不当，废弃充气轮胎会成为啮齿动物理想的生存场所，也是传播登革热和黄热病的蚊虫的繁殖场所，在热带和亚热带地区尤其如此。轮胎的圆环形状，加上其不透水性，使得水分和其他垃圾（如腐烂的树叶）得以长时间地保存其中，从而成为蚊虫幼虫生长的绝佳场所。与其他繁殖场所相比，轮胎的相对重要性仍不为人所知，可能取决于当地情况。应当指出，这些幼虫还

⁵ 英国健康保护局，《化学品危险及毒物报告 8》（2003 年）（《英国化学品危险报告》）

⁶ 第 1999/31/CE 号指令。

⁷ 第 1999/31/CE 号指令提及了轮胎在垃圾填埋场处理轮胎的问题，并支持本段论述。

在其他人造容器中繁殖，如废弃的塑料食物容器、土罐、金属桶和家用蓄水的混凝土水箱。

27. 废弃轮胎尤其可能促进登革热和黄热病的主要病媒埃及伊蚊和白纹伊蚊的繁殖，这两种疾病会危害热带地区的数百万人口。在温带地区，三列伊蚊和黑须伊蚊等种类则更为普遍。

28. 旧轮胎的运输不仅会传播原本活动范围有限的蚊虫，而且还导致非本土物种的引入，通常这种情况更难控制，因而会增加疾病风险。特别是白纹伊蚊的快速传播，在很大程度上是由旧轮胎国际贸易导致的。

29. 白纹伊蚊（亚洲虎蚊或丛林日间蚊）最早于 20 世纪 80 年代后期通过从亚洲进口旧轮胎而进入美利坚合众国的东南部。该物种迅速沿南北运输路线传播，又由货物和人口的迁移推波助澜，在一些地区甚至替代了当地的蚊虫物种。白纹伊蚊向北传播最远至芝加哥，但在美国北部的冬季无法存活，从未在加拿大发现。⁸

30. 这一实例表明，废旧轮胎不加控制的累积和不当传输造成了蚊虫传播疾病的真正风险。从事废旧轮胎运输和管理的公司应该认识到这一点，并以减少疾病传播的方式处理轮胎。附录一提供了有关这些疾病及公司可采取措施的进一步信息。

31. 世界卫生组织出版物《登革出血热：诊断、治疗、预防和控制》⁹关于病媒监测和控制的第 5 章指出，最有效的病媒控制手段是环境管理。这包括规划、组织、实施和监督活动，以修改或操控环境因素，从而防止或减少病媒传播和人、病媒、病原体之间的接触。促进此类接触的一个主要原因是，城市地区的废物往往没有收集，而是在居住区附近丢弃。此外，旧轮胎还经常被人们用于种花、压载屋顶、制造儿童玩具。这些轮胎可能随后成为蚊虫的繁殖场所。填充、掩盖或收集轮胎用于回收或处置，有时是监测和控制病媒的手段。这表明提高认识并为轮胎的收集和管理建立一个健全的功能性系统是很重要的。

2. 环境风险

32. 本准则第三章 E 节讨论了多种轮胎处理技术和方法的环境影响，以及对轮胎的无害环境处置。该节涉及与轮胎有关的潜在环境风险，还讨论了生态毒性、沥滤和失控火灾的潜在影响等更为跨领域的问题。本准则附件介绍了相关技术和主要环境问题，并提出了避免这些问题的方法。

(a) 生态毒性

33. 难以评价废旧轮胎的生态毒性。与轮胎相关的生物毒性涉及轮胎使用造成的颗粒、不受控制的倾倒以及处置作业。关于轮胎的毒性及其对人类健康的风险，不同研究得出了截然不同的结论。鉴于轮胎由多种物质组成，受评价的轮胎类型、受评估的化学品以及评价方法等很多参数都会影响研究结果。关于轮胎生物毒性的科学知识还存在缺口。以下研究介绍了其中一些结论。

8 Health Canada。

9 世卫组织，第二版（1997 年）。

34. 1995 年，按照国际标准化组织的标准 ISO 8692、ISO 6341 和 ISO 7346，在法国里尔的巴斯德研究所对从带有藻类（羊角月芽藻和甲壳动物：大型水蚤及斑马鱼）的轮胎胎体获得的橡胶粉末的使用进行了一些研究。法国里昂的巴斯德研究所进行了一项补充研究，称为：“*按照 ISO11268/1 确定急性毒性——观察轮胎橡胶粉末对位于特定底土中的蚯蚓所产生的影响*”。这些检测均未发现有毒性。

35. 2003 年，Birkholz 在加利福尼亚¹⁰ 利用从轮胎处置场得到的橡胶碎屑进行检测，发现这些橡胶碎屑对细菌、无脊椎动物、鱼类和绿藻具有毒性。三个月后对新的样本进行检测，结果显示之前检测中发现的毒性降低了 59%。

36. 除急性毒性或短期毒性外，还应考虑长期研究。长期调查表明，有些类型的轮胎，如芳香油含量高的轮胎，可能在特定情况下在水生环境中沥出大量的多环芳烃，¹¹ 从而影响林蛙等物种的种群动态。¹²

37. 2005 年，Wik 和 Dave 开展了一项研究，以调查是否可以根据 ISO 6341 使用大型水蚤毒性测试的办法对汽车轮胎的环境贴标进行筛选测试。考虑的背景问题是轮胎磨损颗粒对水生生物的潜在毒性作用，这有别于第 33 段提到的各项有关利用人造草皮系统沥滤化学品的研究。该研究测试了 12 只随机抽选的汽车轮胎对大型水蚤造成的毒性，尤其是高芳烃油所造成的毒性。他们将轮胎胎面的橡胶磨成碎块，模拟轮胎磨损产生的材料。大型水蚤接触测试轮胎的时间分别为 24 小时和 48 小时，结果显示所有轮胎都对其产生了毒性；接触不同的轮胎后产生的毒性差异达两个数量级。鉴于这一差异是在测试 12 只随机抽选的轮胎后发现的，市场上所有轮胎之间的总体差异程度应该大得多。夏季和冬季的毒性差异非常大。¹³

38. 此前的研究表明，轮胎胎面的颗粒对水生物种有毒，但很少有研究使用沉淀物——即环境中可能的轮胎磨损颗粒库来评价此类颗粒的毒性。该研究利用沉淀淘析物（分别为 100、500、1000 或 10,000 毫克/升轮胎与路面的磨损颗粒）评估了轮胎与路面的磨损颗粒对假梯、大型水蚤及鲦鱼的急性毒性。在标准测试温度条件下未发现浓度反应，中等有效浓度/半数致死浓度值大于 10,000 毫克/升。在进一步的测试中，为了让化学品从轮胎基质中排放出来、以更好地了解哪些环境因素会影响轮胎与路面的磨损颗粒的毒性，他们通过加热获取了淘析物。然后，分别用含沉淀和不含沉淀的淘析物对大型水蚤进行了测试。结果发现，仅高温沥滤的轮胎与路面的磨损颗粒淘析物具有毒性，最低中等有效浓度/半数致死浓度值为 5,000 毫克/升。为了确定受热沥滤液中潜在的有毒化学成分，对沥滤液开展了毒性认定评价研究和化学分析。通过结合沥滤液毒性认定评价与化学分析（液相色谱法/质谱分析法/质谱分析法，以及电感耦合等离子体/质谱分析法），确定锌和苯胺是候选毒物。然而，鉴于中等有效浓度/半数致死浓度值较高，且毒性观测条件有限，应该可以认定，在急性接触情况下，轮胎与路面的磨损颗粒对水生生态系统造成的风险较低。

10 California Integrated Waste Management Board (CIWMB), 2007。

11 Stephensen, Eiríkur *et al* (2003)。

12 Camponelli, Kimberly M. *et al* (2009)。

13 Wik A, Dave G (2005)。

(b) 沥滤

39. 轮胎沥滤产生的液体可能污染现场和周边地区的土壤、地表水和地下水。新西兰环境部¹⁴根据专门文献及其经验查明了可能影响沥滤率和/或土壤、地表水和地下水中轮胎沥滤化合物浓度的几个因素。

40. 其他研究表明，从用于填充人工草皮系统的回收汽车轮胎中沥出的重金属和邻苯二甲酸盐、多环芳烃等有机化学品远远小于荷兰的土壤和地表水质量限值。沥出锌是一个例外。溶解有机碳和有机氮似乎最初快速减少，随后降低到最小值，不同物质所需时间不同。在检测期间，发现颗粒中极低的多环芳烃浓度与空白样品（没有表面的砾石层）中的浓度相同；与环境中的（普遍存在的）污染浓度对应。附录二介绍了为研究轮胎沥滤而开展的实地调查。

41. 近期有三项研究调查了将轮胎颗粒用于填充人造赛场的环境影响。¹⁵这些研究调查了填充材料混合物中发现的元素和化学物质，尤其是利用旧轮胎制成的填充材料。使用的物化参数非常详尽，共有四十二项：氰化物总量、苯酚指数、碳氢化合物总量、16 种多环芳烃、有机碳总量、铝、砷、钡、镉、钴、铬、铜、汞、钼、镍、铅、铈、硒、锡、锌、氟化物、硝酸盐、氨、氯化物、硫酸盐、pH 值及传导性。这些研究得出结论，渗透的物化结果表明了潜在污染物质的动力学模式，与原地或实验室测试中使用的颗粒类型无关。经分析可检出，从颗粒表面及其聚合物基体中有痕量物质或化合物溶解，其浓度随时间的推移而下降。在蒸渗试验和洗脱试验中，测得的个别物质、溶解有机碳和有机氮的浓度最初减少速度非常快，随后放缓，直至最小值，不同物质所需的时间不同。根据目前的研究，在历经一年的实验之后，42 项物化参数以及生态毒理学测试表明，经过人工草皮的水，无论是用于填注原始颗粒弹性体或旧轮胎弹性体，在中短期内都不会影响水源。

42. 2007 年，Wik 开展了一项研究，采用了新办法来确认轮胎接触水后沥滤的有毒成分。他配制了含有不同轮胎添加剂的橡胶配方，生成了这些橡胶样本的水沥滤液，并根据标准毒性测试办法，用沥滤液对大型水蚤进行了测试。该研究的结果表明，轮胎橡胶选用的化学品添加剂会严重影响沥滤液的毒性，在今后开发轮胎用橡胶时应考虑这一点，以降低其潜在环境影响。

43. 在评估人工草皮锌沥滤液的长期影响方面，INTRON 集团在 2008 年和 2009 年开展的三项研究提供了有用的信息。¹⁶其中一项研究旨在回答这样的问题：橡胶填充剂中沥滤的锌是否在长期内会对环境造成风险，并因为橡胶的老化而导致锌排放增加？这项研究由 SGS INTRON 集团实施，由荷兰国立公共卫生和环境研究所 (RIVM) 的 Verschoor 和 Cleven 进行审查。研究结果表明，由人工草皮、橡胶填充剂、熔岩亚表层及砂基层组成的体育系统将在 60 多年后超过现行《荷兰土壤质量法令》中规定的限值；而仅由人工草皮、橡胶填充剂及熔岩亚表层组成的体育系统在 7-70 年后即可超过该限值。2008 年的监测结果表明，废水和雨水中锌的浓度都很低。雨水和废水中锌的浓度没有系统性的差异。根据这些新的发现，INTRON 集团总结认为，在使用 7 年后，锌不会穿透衬层。这与 2009 年在实验室开展的锌吸收测试结果一致，在该测试中，

14 MWH (July 2004)。

15 Aliapur *et al* (2007)。

16 INTRON report A845090/R20090029, “Adsorption of zinc to synthetic turf underlays”, (2009)。

根据砂层的实际吸收能力更新了计算结果，而未以前研究中使用的理论吸收能力为依据。7年后，仍没有证据表明橡胶填充剂会以锌沥滤的方式造成风险；研究表明，在合成草皮运动场的技术寿命（15年）内，只要开展无害环境管理，因锌沥滤造成的环境风险非常有限。

44. 根据目前的研究，经过一年的试验，在生态毒性测试中确定的42项物化参数结果显示，从由颗粒状原始弹性材料或旧轮胎颗粒填充的人工草皮中流过的水不太可能在中短期影响水源。¹⁷

45. 部分有关旧轮胎沥出化学品潜在作用的文献总结认为相较于地下水和地表水水质及水生环境，旧轮胎在中性环境条件下对道路底土或地表水的影响可忽略不计。¹⁸

46. 轮胎不会自燃。但是，一旦燃起，不论是因纵火或是偶然原因，轮胎堆积体的构成将影响火灾的速度和方向。当完整轮胎的堆积体发生火灾，如果气囊允许持续燃烧的话，火势常常会蔓延至堆积体中部。发生在轮胎碎片或碎条堆积体中的大火往往会在堆积体表面扩散。

47. 燃烧过程会产生多种分解产物，包括：

- (a) 灰烬（通常含有碳、氧化锌、二氧化钛、二氧化硅、镉、铅和其他重金属）；
- (b) 硫化物；
- (c) 多环芳烃；
- (d) 芳香油；
- (e) 碳和氮氧化物；
- (f) 微粒；
- (g) 各种轻馏分芳香烃（例如甲苯、二甲苯、苯等）。

48. 燃烧分解产物是非常广泛的，并且因以下因素而有所不同：

- (a) 轮胎类型；
- (b) 燃烧率；
- (c) 轮胎堆积体的大小；
- (d) 环境温度；
- (e) 湿度。

49. 有些燃烧分解产物，特别是不完全燃烧的产物是持久性有机污染物。对此类物质无意排放的削减或消除是由《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》附件C第5条控制的。

50. 在法国，橡胶制造商协会开展了若干实地试验，以确定储存轮胎的仓库（有喷洒装置及无喷洒装置）火灾中的烟的成分。¹⁹表5列出了烟的成分。

¹⁷ Aliapur *et al* (2007)。

¹⁸ Literature study on substances leached from shredded and whole tyres (published June 2005 by the European Association of the Rubber Industry (BLIC))。

表 5

轮胎火灾中烟的成分

成分	无喷洒装置的仓库中的排放量 (克/千克燃烧的轮胎)	有喷洒装置的仓库中的排放量 (克/千克燃烧的轮胎)
二氧化碳	1450	626
一氧化碳	35	42
一氧化二氮	0.9	0.75
一氧化氮	3.2	1.6
二氧化硫	15	4
氰酸	4	0.6
盐酸	未检测到	2
全部未燃烧的有机物(包括苯和甲苯, 按甲苯当量计)	23	61
粉尘	285	20
金属(全部), 包括铝和锌 >99%	31.9	22.74
多环芳烃(全部)	0.0633	0.093
多氯联苯(全部)	2.66×10^{-4}	2.16×10^{-5}
二恶英/呋喃(全部)	6.44×10^{-7}	1.9×10^{-7}
需寻找但没有检测到的成分(低于分析检测限值)	甲醛盐酸、氢溴酸、丙烯醛、氨、锡	甲醛、氢溴酸、丙烯醛、氨、锡

51. 在经喷洒装置控制后, 火灾产生的温度较低, 会排放更多的一氧化碳和未燃烧的有机物。其他物质的排放量较低, 尤其是粉尘从烟中洗掉了。多氯联苯、二恶英和呋喃的观测浓度一般与环境空气中的观测浓度具有可比性。轮胎的大量库存或轮胎单独填埋场可能与之有所不同。

52. 不加控制的轮胎火灾会对空气、水和土壤产生重大环境影响。

(一) 空气污染

53. 露天轮胎焚烧会排放出黑烟、二氧化碳(加重温室效应)、易挥发的有机化合物和危险的空气污染物, 如多环芳烃、二恶英、呋喃、盐酸、苯、多氯联苯、砷、镉、镍、锌、汞、铬和钒。²⁰

19 Incendie dans un entrepôt de stockage de pneumatiques équipé d'une installation sprinkler. Impact environnemental sur l'air et sur l'eau. SNCP 2007。

20 Reisman, Joel I. (1997)。

54. 此类污染物的沥滤液可能随着降水而导致土壤和水污染。这种情况可以通过两种不同的大气过程发生，即所谓的洗脱和雨洗。在前一个过程中是粘附在一起并随雨水落下的小粒子，而在后一个过程中是直接受降雨影响的较大粒子。

(二) 水污染

55. 焚烧销毁 100 万个轮胎会产生 20 万升径流油，因为轮胎的燃烧会导致橡胶的热解，产生油类分解废物。这些油类废物不但具有很高的污染性，而且非常易燃。除油体径流导致的问题外，如果用水来灭火，则废物还可能被水流带走，或通过渗透土壤而到达地下水或邻近河流。其他燃烧残余物，如锌、镉和铅，也可能被水冲走。有些情况下还会存在砷、苯、汞、铜、二恶英、多氯联苯和多环芳烃等污染物。

(三) 土壤污染

56. 焚烧后仍存留于土壤中的残余物可以通过两种方式发挥影响，即由液体分解物渗透土壤而引起直接污染，以及由灰烬和其他未燃残余物沥滤而引起逐步污染。这些主要是由当地的降水和水体渗透造成的。

二、《巴塞尔公约》的相关规定

A. 一般规定

57. 于 1992 年 5 月 5 日生效的《巴塞尔公约》规定，只有在相关危险废物或其他废物的转移和处置无害于环境时才允许废物的越境转移（出口、进口或过境）。

58. 《巴塞尔公约》第 2 条（“定义”）第 1 款对废物的定义是“处置的或打算予以处置的或依照国家法律规定必须加以处置的物质或物品。”本条第 4 款对处置的定义是本公约“附件四所规定的任何作业。”第 8 款将危险废物或其他废物的无害环境管理定义为“采取一切可行措施，确保危险废物或其他废物的管理方式将能保护人类健康和环境，使其免受此类废物可能产生的不利影响”。

59. 第 4 条（“一般义务”）第 1 款规定，各缔约国行使其权利禁止危险废物或其他废物进口处置时，应将其决定通知其他缔约国。第 1 款(a)项指出，“各缔约国在行使其权利禁止危险废物或其他废物进口处置时，应按照第 13 条的规定将其决定通知其他缔约国。”第 1 款(b)项指出，“各缔约国在接获按照以上(a)项发出的通知后，应禁止或不准向禁止这类废物进口的缔约国出口危险废物和其他废物”。

60. 第 4 条第 2 款(a)项至(e)项及(g)项包含了《巴塞尔公约》关于无害环境管理、最大限度地减少废物以及各种可以减少对人类健康和环境不利影响的废物处置做法的重要规定。相关的规定为：

各缔约方应采取适当措施，以便：

- (a) 确保将其国内生产的危险废物和其他废物减至最低限度，同时考虑到社会、经济和技术方面；
- (b) 确保提供充分的处置设施，以从事危险废物和其他废物的无害环境管理，不论处置场所位于何处，均应尽可能将这些设施设在本国领土以内；

- (c) 确保其领土内的危险废物或其他废物管理人员视需要采取必要的步骤，以防止在此类管理工作中产生危险废物和其他废物的污染，并在产生这类污染时，尽量减少其对人类健康和环境的影响；
- (d) 确保在符合危险废物和其他废物的无害环境管理和有效管理下，将这类废物越境转移减至最低限度，并且应在进行此类转移时，保护环境和人类健康免遭此类转移可能产生的不利影响；
- (e) 禁止向属于某一经济一体化和/或政治一体化组织而且在法律上完全禁止危险废物或其他废物进口的某一缔约国或一组缔约国，特别是发展中国家，出口此类废物，或者，如果有理由相信此类废物不会按照缔约方第一次会议决定的标准以无害环境方式加以管理时，也禁止向上述国家进行此类出口；
- (g) 在有理由相信危险废物和其他废物将不会对无害环境的方式加以管理时，阻止此类废物的进口。

B. 与轮胎有关的规定

61. 第 1 条（“本公约的范围”）界定了需遵守《公约》规定的废物类别。该条款(a)项提出了确定“废物”是否属于应遵守《公约》规定的“危险废物”的两步骤进程：首先，废物必须属于《公约》附件一所载类别之一（“应加以控制的废物类别”）；其次，废物必须至少具备《公约》附件三所列特性之一（“危险特性的清单”）。

62. 其中一个重要因素是，缔约方不受《公约》中所列危险废物（和其他残留物）定义的制约。各缔约国可根据其国家立法自由决定其是否将特定废物视为《公约》所认定的“危险废物”。因此，各国需告知秘书处其国家立法的内容，再经由其通知《公约》其他缔约方，禁止进行此类废物的越境转移。

63. 轮胎本身不属于《公约》附件一第一部分所列的任何一种废物流类别（第 Y1–Y18 类），虽然其中含有该附件所列元素或化合物。然而，它们存在于橡胶化合物中，或作为一种合金元素存在，如表 6 所示。

表 6

轮胎中所含的附件一成分

公约成分	化学名	备注	含量（%重量）	含量*（千克）	附件三的适用性
Y22	铜化合物	金属加固材料的合金成分（钢丝帘线）	约 0.02%	约 0.14 克	钢材的组成部分：以附件九第 B1010 项所列的不易碎散的金属件形式存在。未表现出附件三中的任何特性。
Y23	锌化合物	留存于橡胶基质中的氧化锌	约 1%	约 70 克	完整的轮胎未表现出附件三 H1 – H12 中的任何特性。仅在锌沥出时评估了 H13，未超出阈值（见第三章）

Y26	镉	痕量水平， 是氧化锌的 镉化合物伴 随物质	最高 0.001%	最多 0.07 克	未达到使废物拥有附件三所列特性的数量
Y31	铅化合物	痕量水平， 是氧化锌的 伴随物质	最高 0.005%	最多 0.35 克	未达到使废物拥有附件三所列特性的数量
Y34	酸溶液或 固态酸	硬脂酸，固 体形态	约 0.3 %	约 21 克	由于天然脂肪酸性极低，不属于附件一 Y34 条款中所述的危险酸性物质。
Y45	有机卤化 合物， 不 包 括 《公约》 附件一内 提到的物 质	卤素丁基橡 胶	卤素含量最 高 0.10 %	卤素含量最多 7 克	未显示附件三中的特性

64. 《公约》附件一所列废物被假定具有附件三中的一种或多种危险特性，可能包括 H11 “毒性（延迟或慢性）”、H12 “生态毒性”和 H6.1 “毒性（急性）”，除非它们通过国家检验没有显示出此类特性。在全面界定危险特性前，国家检验可能是用于确定附件三所列的某种危险特性的有用办法。目前正在为《公约》制订有关附件三中各项危险特性的指导文件。

65. 《公约》附件八清单 A 对废物的描述是“表现出《公约》第 1 条第 1 款 (a)项规定的危险特性，” 尽管“某种废物被指定列于附件八，但仍可利用附件三（危险特性）来证明其是无危险废物”（附件一，(b)项）。附件九清单 B 列出了一些废物，它们“不在《公约》第 1 条第 1 款(a)项规定的废物之列，除非它们所含附件一物质的数量足以使其显示出附件三的特性”。

66. 如第 1 条第 1 款(b)项所述，“任一进口、出口或过境缔约方的国内立法确定为或视为危险废物、但不包括在(a)项内的废物”也需遵守《公约》的规定。

67. 附件九第 B3140 项与废弃充气轮胎有关，但不包括用于附件四 A 类活动的轮胎。一些国家已禁止进口废旧轮胎。

三、 无害环境管理指导

A. 一般考虑因素

68. 目前，无害环境管理是一个宽泛的政策概念，还没有通用的明确定义。然而，《巴塞尔公约》以及经济合作与发展组织（经合组织）核心绩效要点

（见下文三个分节）中适用于废旧轮胎的无害环境管理条款为国际社会指明了方向，为不同国家及各行业部门开展的无害环境管理工作提供了支持。

1. 《巴塞尔公约》

69. 《巴塞尔公约》第 2 条（“定义”）第 8 款将危险废物或其他废物的无害环境管理定义为“采取一切可行措施，确保危险废物或其他废物的管理方式将能保护人类健康和环境，使其免受此类废物可能产生的不利影响”。

70. 第 4 条（“一般义务”）第 2 款(b)项要求各缔约方采取适当措施“确保提供充分的处置设施，以从事危险废物或其他废物的无害环境管理，不论处置场所位于何处，均应尽可能将这些设施设在本国领土以内”；第 2 款(c)项要求各缔约方“确保其领土内负责危险废物或其他废物管理的人员视需要采取必要的步骤，以防止在此类管理工作中产生危险废物和其他废物的污染，并在产生这类污染时，尽量减少其对人类健康和环境的影响。”

71. 《公约》在第 4 条第 8 款中规定，“拟出口的危险废物或其他废物必须以无害环境的方式在进口国或其他地方处理”。本技术准则意在提供在废旧轮胎方面更加准确的无害环境管理定义，包括适当的处理和处置方法。

72. 关于《巴塞尔公约》所管辖废物无害环境管理技术准则编制事宜的 1994 年框架文件列出了各国在其废物管理战略中所应用的原则，其中应强调以下几条原则：

(a) **源头削减原则：**应从数量和造成污染的可能性上最大限度地减少废物的产生。这一点可通过适当的程序和设施加以实现；

(b) **综合生命周期原则：**物质和产品的管理方式应当是使其在生产、使用、重复利用和处置过程中的环境影响最小化；

(c) **预防原则：**当有科学依据（即便很有限）认为物质、废物和能量排放到环境中有可能对人类健康和环境造成伤害时，则应在考虑采取行动和不采取行动的成本和收益后采取预防措施；

(d) **邻近原则：**对危险废物的处置应尽可能地靠近其来源地，同时承认某些废物的环境和社会无害管理可在远离废物来源地的处置设施中进行；

(e) **最少越境转移原则：**应将危险废物的越境转移减少至符合无害环境和有效管理的最低限度；

(f) **污染者付费原则：**潜在的污染者应采取措施避免污染，而那些造成污染的人要为解决因污染而产生的问题付费；

(g) **主权原则：**各国在制订废物管理国家政策时要考虑到各自的政治、社会和经济状况。例如，根据国内环境立法，各国可以禁止进口危险废物。

73. 在本准则中，“处置”一词被认为是《巴塞尔公约》附件四规定的任何作业方式，它也包含在“定义”条款的文本中，包括 A 节和 B 节。有人指出，某些国家使用其他定义，例如“处置”指各项作业本身，而“回收”则包括回收、循环利用、回收利用、直接重复利用或替代用途作业。

74. 考虑到对轮胎而言，不可能将旧轮胎的材料转移到新轮胎中，因此，与纸张、金属、塑料和玻璃不同，不可能从轮胎中获得具有与轮胎生产所用原始材料特性十分相似的材料，所以本准则中没有将“闭环回收”一词作为可能的处置作业。为了在干湿道路上实现最优化牵引，以相对较低的成本确保长期的

使用寿命、低滚动阻力、驾驶舒适、操纵灵敏及良好的性能，轮胎所使用橡胶材料具有非常复杂的特殊性质。遗憾的是，目前可用的再生产品在性能上没有改善，并且更加昂贵。关于汽车轮胎，有些影响对耐久性和滚动阻力（与燃料消耗有关）而言非常不利。因此，这些消费后再生材料的数量必定很少。²¹

75. 上文所述的 1994 年框架文件阐释了若干与废物无害环境管理有关的重要原则。为实现废物的无害环境管理，框架文件建议满足一系列法律、体制和技术上的条件（无害环境管理标准），特别是：

- (a) 建立监管和执法基础设施，以确保遵守可适用的条例；
- (b) 核准场地或设施以及设定适当的技术和污染防控标准，以便以提议的方式处理危险废物，特别要考虑到出口国的技术水平和污染防控；
- (c) 管理危险废物的场地或设施必须酌情配备操作人员，以监测这些活动的影响；
- (d) 如果监测发现危险废物的管理已导致不可接受的释放量，则采取适当行动；
- (e) 参与危险废物管理的人员必须具备相关能力，而且必须在这一领域受过充分培训。

76. 无害环境管理也是公约缔约方大会第五届会议通过的《1999 年巴塞尔无害环境管理宣言》的一个主题。《宣言》呼吁各缔约方在考虑社会、技术和经济问题的同时，增进和加强努力与合作，以便通过预防、最大限度地降低、循环利用、回收和处置《公约》所管辖危险和其他废物等手段，以及通过进一步减少《公约》所管辖危险和其他废物的越境转移来实现无害环境管理。

77. 《宣言》指出，许多活动应以此为背景来展开，包括：

- (a) 鉴定和量化各国生产的各类废物；
- (b) 采用避免或最大限度地减少危险废物的产生并降低其毒性的最佳实践方法，如利用更加清洁的生产方法或做法；
- (c) 提供经授权对废物特别是危险废物进行无害环境管理的场地或设施。

2. 无害环境管理废物的核心绩效要点

78. 2004 年 5 月，经合组织理事会通过了有关以无害环境方式管理废物的理事会第 C (2004)100 号²²建议。根据该建议，废物管理设施，包括回收设施应当遵循此类设施所在国的法律框架、条例和行政做法，以及适用的国际协定、原则、目标和标准，适当考虑保护环境、公众健康和安全的需要，并且在一般情况下，应以有助于实现可持续发展的更广泛目标的方式开展活动。具体来说，在考虑了企业规模，特别是中小型企业的情况、废物类型和数量、作业性质和国内立法后，废物管理设施需要满足下述核心绩效要点要求：

- (a) 配备适用的环境管理系统；

21 California Environmental Protection Agency (United States), “Integrated Waste Management Board, Increasing the Recycled Content in New Tyres 21” (2004)。

22 经合组织（2004 年）。

- (b) 采取充足的措施来保护职业和环境健康与安全；
- (c) 配备恰当的监督、记录和报告方案；
- (d) 配备合适和充分的人员培训方案；
- (e) 配备恰当的应急计划；
- (f) 配备适当的关闭计划和后续处理计划。

更多信息可查阅建议实施指导手册，²³其中包括核心绩效要点。

B. 立法和监管框架

79. 《公约》各缔约方应审查其国家监管、标准和程序，以确保全面履行《公约》义务，包括与废旧轮胎越境转移和无害环境管理有关的义务。

80. 在执行立法时，应授权各国政府颁布具体的规则和条例，以便检查和执行并确定对违反行为的处罚。立法将定义无害环境管理，并要求遵循各项无害环境管理原则，确保各国履行旧轮胎无害环境管理的规定，包括本准则所述的旧轮胎无害环境处置。

1. 越境转移要求

81. 在符合无害环境管理要求的前提下，危险废物和其他废物应在产生国加以处置。只有在下列情况下才允许此类废物的越境转移：

- (a) 如果越境转移是在不危害人类健康和环境的情况下进行的；
- (b) 如果对出口的管理是以进口国或其他地方的无害环境方式进行的；
- (c) 如果出口国缺乏以无害环境和有效的方式处置所涉废物的技术能力和必要设施；
- (d) 如果所涉废物是进口国重复利用或回收行业所必需的原材料；或
- (e) 如果所涉的越境转移是根据各缔约方决定的其他标准进行的。

82. 根据《公约》第 6 条，危险废物和其他废物的任何越境转移必须有出口国的事先书面通知以及进口国的事先书面同意，在某些情况下还需过境国的书面同意。各缔约方应禁止出口危险废物和其他废物，如果进口国禁止进口此类废物。《公约》还规定，应以公认的通知格式提供关于拟议越境转移的信息，并且已核准的托运应随附从越境转移起始点到处置点的转移文件。此外，可以越境转移的危险废物和其他废物必须按照国际规则 and 标准进行包装、标注和运输。²⁴

83. 相关各国已同意的危险废物和其他废物越境转移无法完成时，如没有达成其他协议，则出口国应确保将所涉废物运回出口国加以处置。在非法运输（如第 9 条第 1 款的定义）的情况下，出口国应确保将所涉废物运回出口国加以处置，或根据《公约》的规定进行处置。

²³ 经合组织（2007 年）。

²⁴ 在这方面，应利用《联合国关于危险品运输的建议》（《示范条例》）（欧洲经委会，2003 年 a——见附件五，“参考文献”）或更新版本。

84. 根据《公约》第 11 条，公约缔约方和非缔约方之间不允许进行危险废物和其他废物的越境转移，除非存在双边、多边或区域安排。

C. 废旧充气轮胎的管理方法

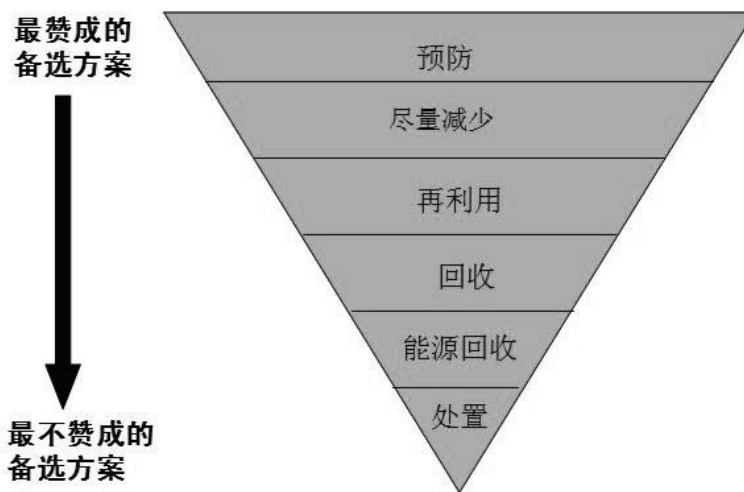
85. 虽然目前轮胎作为消费品，是各国经济的重要组成部分，但是处置不当可能会影响环境和人体健康。由于废物的产生不可避免，所以必须实施健全的管理系统，以最大限度地减少废物的产生，同时最大限度地重复和循环利用，以及回收废弃轮胎的能源和材料。

1. 一般考虑因素

86. 《巴塞尔公约》规定，各缔约方须确保以无害环境的方式管理危险废物及其他废物。在此方面，被广泛接受的、用于确保废物管理系统更具可持续性的指导原则是废物管理做法层级，该层级中的优先措施是开展预防废物生成和再利用工作，次要措施是再循环和其他回收作业，最后才是处置。在制定废物预防和管理法律和政策过程中，应按下文图 3 所显示的废物管理层级排列优先次序，以防止对环境和人类健康造成不良影响。

图三

废旧轮胎管理层级



87. 第三章 C 节介绍了预防和尽量减少废物的措施。第一章 C 节及本节等章节则讨论了废物再利用问题。第三章 E 节介绍了无害环境处置，可分为以下几类：

- (a) 翻新；
- (b) 常温/低温循环利用；
- (c) 回收/脱硫（化学品）；
- (d) 消费品与工业品；
- (e) 土木工程；
- (f) 热解；
- (g) 协同处理；

(h) 协同焚化；

88. 由于当前用于处理废旧充气轮胎的所有其他工艺均会产生不利环境影响，因此不属于无害环境工艺。

2. 环境管理系统

89. 环境管理系统由一套流程和做法组成，可帮助一个组织降低环境影响并提高作业效率。此类系统是一项可以改善环保业绩的工具，包括组织结构、规划，以及制定、执行和维持环保政策所需的资源。建立了这样的系统，各组织就可以通过配置资源、分配责任、持续评价各项做法、程序和流程，一以贯之地应对环境问题。在很多情况下，建立这样的系统可以节约成本，减少因环境问题带来的损失。

3. 国家废旧充气轮胎管理制度

90. 当前用于管理废旧充气轮胎的制度包括下述各项制度。表 7 列出了一些国家所采用的废旧轮胎管理制度。

(a) 生产者责任

91. “生产者延伸责任”是一项环境政策办法，指的是将生产者对某产品的责任延伸到该产品生命周期的消费后阶段。“生产者”指某个品牌的所有者或进口商，但不包括包装商，也不包括未清晰确定品牌所有者的情况，例如：在涉及电子产品的情况下，生产商（及进口商）会被视为生产者（经合组织，2001 年 a）。生产者延伸责任方案将管理报废产品的责任转移到第一次将产品投放市场及城市以外地区的生产者一方，并利用激励措施让生产者在设计产品时考虑到环境因素，这样，处理和处置废弃产品的环境成本算进了产品的成本中。生产者延伸责任可以通过强制性办法、谈判或自愿的方式实施。收回方案也许是生产者延伸责任的一部分（见第(b)节）。

92. 生产者延伸责任方案可以实现若干目标，具体因设计而异：(1) 减轻当地政府处置废物、产品或材料的财政负担，在某些情况下，还能减轻其运作负担；(2) 鼓励公司设计可重复利用、可回收、且降低材料消耗（数量和危险性）的产品；(3) 将废物管理成本纳入产品价格；(4) 推动回收技术创新。这可以推动市场反映产品的环境影响（经合组织，2001 年 a）。经合组织若干出版物详细描述了生产者延伸责任方案。

93. 环境主管部门应制定监管框架，规定相关利益攸关方的责任、汞含量及产品管理标准，以及生产者延伸责任方案的组成部分，鼓励相关各方及公众参与。环境主管部门还应负责监测生产者延伸责任方案的绩效（如收集的废物的数量、回收的汞的数量，以及收集、回收和储存成本），并酌情建议作出变更。所涉产品的所有生产商都应承担责任。不允许出现无本获利者（不承担分内责任的生产商），否则其他生产者将被迫承担与其产品的市场占有率不相称的费用。

(b) 税收制度

94. 在这一制度中，生产者或消费者向政府支付税金。各州负责制定废弃轮胎收集和处置制度，例如可通过承包给作业公司并由税收基金付款等方式落实该制度。

95. 举例来说，在美国，由各州的机构而非联邦政府负责监控废弃轮胎管理。大多数州对轮胎销售征收消费税，以支持各州管理废弃轮胎。一些州划拨

了大量资金来实施废弃轮胎方案，而有几个州则通过自由市场来开展收集和最终处置废弃轮胎的工作。

(c) 自由市场制度

96. 在自由市场制度中，轮胎的最后使用者负责处置或回收轮胎。此外，立法可确定要实现的目标，但是不一定规定由谁来负责这一进程。因此，该链条所涉所有人员均可根据市场条件自由雇用工人，并遵照立法开展工作。

表 7

各国采用的轮胎收集和分类管理制度

生产者责任制	税收制度	自由市场制度
欧洲（比利时、捷克共和国、芬兰、法国、希腊、匈牙利、意大利、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、西班牙、瑞典）和土耳其	欧洲（丹麦、拉脱维亚和斯洛伐克）	欧洲（奥地利、德国、爱尔兰、瑞士和联合王国）
巴西、哥伦比亚	加拿大（所有省份）和美国（大部分州）	美国（某些州）
加拿大（部分省份）、以色列和南非		澳大利亚

C. 防止产生并最大限度地减少废物

97. 应将防止和减少废物产生作为优先事项，以延长轮胎的使用寿命，从而降低废物产生的速度。

98. 为此，应遵循轮胎制造商建议的校准和维护准则与工艺，而且主管机构应发起提高认识活动。除宣传道路安全和油耗问题外，此类活动旨在让公众了解让轮胎保持良好状态的重要性（例如保持轮胎最佳充气压力），这将延长轮胎的寿命。使用铁路和水路等替代运输模式，可能有助于最大限度地减少废弃充气轮胎的数量，在已拥有此类网络的国家尤为如此。

99. 不论发达国家还是发展中国家，在废旧轮胎方面仍然面临着各种难题，这表明，一个国家需要管理的轮胎数量越少越好。

D. 收集、运输和储存

100. 轮胎的收集、运输和储存是管理进程中的重要阶段。收集轮胎需要考虑到不同轮胎生产地的后勤和规划。还有必要向市民宣传以无害环境方式处置轮胎所能产生的惠益。

101. 为通过无害环境的方式管理旧轮胎，应从生产地收集轮胎并将其运输到储存地。

102. 在可能的情况下，在收集时应进行预先切割，以提高重量/体积比率来降低运输成本。

103. 将旧轮胎从各个生产地运输到分类设施会产生额外的成本负担，在收集点和分类点相距甚远的情况下尤为如此，因为轮胎在运输卡车中占据了大量的空间。运输过程中的安全问题是另一个需要考虑的因素，需要严格遵守储存和包装规则。

104. 由于轮胎收集是一项物流工作，必须从成本或环境的角度加以优化。可根据所使用的经济和法律模型来实施各种优化工作。两种重要的优化类型是：

- (a) 一次收集的轮胎数量越多越好（可能包括数个站点）；
- (b) 收集过程中要将人工处理降至最低限度。

105. 在可行的情况下，使用特殊容器来收集轮胎通常是最佳的方式，既可以保证一次收集最大数量的轮胎，也可大幅减少所需的人力资源。

106. 分类是区分可翻新的旧充气轮胎、可用于其他用途的旧充气轮胎，以及废弃轮胎的必要过程。分类过程需要在有顶棚的设施内并由专门的工作人员实施。储存也是收集过程中的一个关键问题。若整个翻新流程的管理得到良好控制，则可将储存视为轮胎加工链下一步骤开始前的过渡阶段，而非一个固有的阶段。

107. 为使轮胎储存不危害人体健康或环境，储存设施需要满足各项具体要求，在很多情况下，这些要求属于有关该问题的国家条例的组成部分。目前有很多关于通过减少单位面积的储存数量和安装合适设备来预防主要风险的建议（具体例子可参见表 9）。

108. 例如，国际消防长官协会、橡胶产业协会和美国国家消防协会于 2000 年发行的联合出版物中提出了针对此问题的一些准则。

109. 在选择轮胎储存地并在运作该场地时应考虑以下要求：²⁵

- (a) 选择适当场所；
- (b) 通过落实防火要求并采取缩小焚烧范围的措施，预防并最大限度地降低火灾风险（例如，设定两个轮胎储存场地之间的最短距离）；
- (c) 尽量减少沥滤液的产生（例如，覆盖轮胎堆）；
- (d) 尽量减少土壤和地下水的沥滤液污染（例如，通过压实的粘土表面）；
- (e) 在一些国家，避免和控制蚊虫及其他疾病病媒的繁殖也可以最大限度地减少对公众健康的影响（还可参见本准则 D 节和附录一）。

110. 表 9、表 10 及图四提供了有关本准则建议的临时储存场地最佳设计做法的资料。表 10 还对比了私人协会及在轮胎再加工行业有着 20 多年经验的专家所提供的资料。²⁶

111. 尽管在储存时间方面，这一研究没有得出结论，但是它建议仅在必要时加以储存，而且储存时间越短越好。

表 9

临时储存轮胎的最佳做法

标准	国际消防长官协会、橡胶产业协会和美国国家消防协会准则	专家 ²⁷
储存时间	NR	NR

25 MHW (July 2004)。
26 同上。
27 专家：Michael Playdon 和 Columbus McKinnon，2004 年 2 月。更多信息可查阅专家简历。

轮胎堆放体最大体积	高 6 米/长 76 米/ 宽 15 米	高 4.5 米 /长 60 米 /宽 15 米
堆放体斜面	NR	如正常堆放，斜面为 300 个 如搭接堆放，斜面为 900 个 (见图 3)
储存场所的间隙	堆放体边缘到周边栅栏有 15 米的距离 从堆放体向外辐射 60 米内不应有植被、 瓦砾和建筑物	堆放体边缘到周边栅栏有 15 米的距离
防火隔离带	堆放体之间有 18 米的距离	堆放体底部之间有 15 米的距离
场所选择	避免湿地、洪泛平原、沟壑、峡谷、坡地、 梯度表面和电力线	NA
地表或衬里	最好是平坦场所； 混凝土或压实的粘土表面； 无沥青或草木	压实的地区
覆盖	N/R	无效
径流	储存和保留	在堆放体周围设置土堤以便尽可能减少消防用水的径流
点火源	300 米范围内无露天焚烧。 60 米辐射范围内无焊接或其他发热装置	NA
供水	轮胎面积>1400 立方米，63 升/秒（6 小时） 储存面积>1400 立方米，126 升/秒	NA
其他消防资源	现场的泡沫材料、化学品、填充土， 以及重型设备/材料的进入通道	NA
燃料动力车辆	车上的灭火器	NA
设施周边	栅栏，高度> 3 米且带有闯入者监控系统	NA
信号	可看到规章和时间	NA
安全	合格的工作人员	NA
应急车辆进入通道	保养良好且随时待命。 净宽>18 米，高 4 米	NA

进入点的大门 上下宽度均为 6 米。关闭时上锁 NA

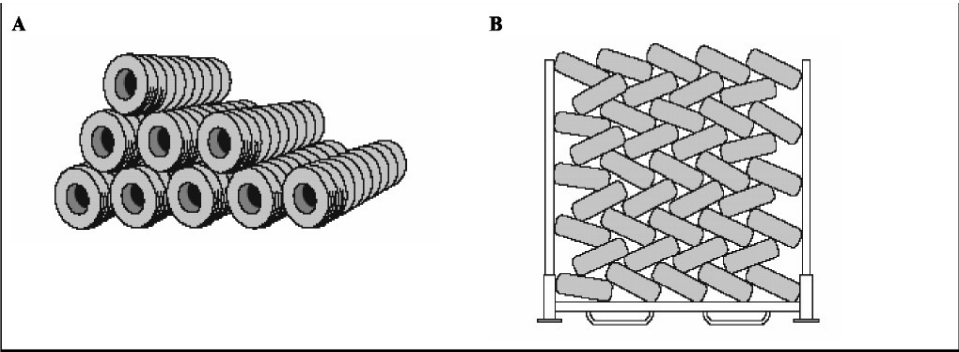
N/R，无建议；NA，未提问
资料来源：“废轮胎火灾的预防和管理”，国际消防长官协会、标准化测试方法委员会、美国国家消防协会，2000 年

图四展示了两种最常见的轮胎堆放法。

图四

最常见的轮胎堆放法

A：捆绑式/ B：搭接式



资料来源：美国国家防火协会，2003 年——第 230 号标准：储存消防标准

表 10

堆放体之间的最小空隙

裸露面 尺 寸 (米)	轮胎堆放体高度（米）						
	2.4	3	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1
7.6	17.1	18.9	20.4	22.3	23.5	25.0	25.9
15.2	22.9	25.6	28.3	30.5	32.6	34.4	36.0
30.5	30.5	35.4	39.0	41.8	44.5	47.2	50.0
45.7	30.5	35.4	39.0	41.8	44.5	47.2	50.0
61.0	30.5	35.4	39.0	41.8	44.5	47.2	50.0
76.2	30.5	35.4	39.0	41.8	44.5	47.2	50.0

资料来源：美国国家防火协会，2003 年——第 230 号标准：储存消防标准

E. 无害环境处置

112. 本准则介绍的各项方法阐明了当前正在使用或研制的最重要的无害环境处置备选方案和应用，遵循减少、重复利用、回收利用和能源回收的废物管理层次。表 11 列出了无害环境处置技术的部分益处和缺点，而表 12 列出了与无害环境处置技术相关的问题，以及预防和控制这些问题的办法。

表 11
无害环境处置方法的益处和缺点

处置方法	应用/产品	益处	缺点
翻新	翻新轮胎	由于翻新延长轮胎的寿命并使用很多原来的材料和原结构，其结果是与生产新轮胎相比，能减少所使用材料和能源。翻一个新轮胎所需的能源约为 400 兆焦耳，而生产一个新轮胎则需要 970 兆焦耳。	在硫化过程中来自溶剂、结合剂和橡胶化合物的挥发性有机化合物是主要的关切领域。异味可能也是某些领域中的一个问题。该过程产生大量废物。在翻新之前从旧轮胎移除的橡胶通常作为橡胶粉出售以用于其他用途。
土木工程	填埋场工程	➤ 轻质、低密度填充材料； ➤ 良好的道路承载能力； ➤ 与沙砾相比成本较低； ➤ 对劳动力的要求不高；	➤ 可能的金属和碳酸氢盐沥滤； ➤ 轮胎中的钢丝帘线可穿刺衬里； ➤ 轮胎的可压缩性； ➤ 增加火灾风险；
	轻质或排水填充	➤ 与其他替代办法相比单位重量降低； ➤ 灵活，具有良好的道路承载能力； ➤ 良好的排水性；	➤ 可能的金属和碳酸氢盐沥滤； ➤ 当泥土覆盖厚度不合适时，会产生竖向承载下的变形； ➤ 难以压实（需要使用 10 吨以上的压路机，6 道次，300 毫米高）
	侵蚀防控	➤ 低密度，并且允许以自由浮动结构作为波屏障； ➤ 轮胎包重量轻，易于处理； ➤ 耐久性；	➤ 在洪水条件下轮胎应安全地固定以防止移动； ➤ 轮胎可维护残骸（需维护）； ➤ 随着时间的推移，锚在波浪作用下移动，使轮胎的结构不安全； ➤ 水的作用力和轮胎的浮力使得在水面之下定位任何永久性保护十分困难； ➤ 最后，轮胎本身变成了废物。
	隔热	➤ 低导热系数； ➤ 总成本低于传统材料；	➤ 可压缩； ➤ 相对较新的产品，生产者需要说服建筑业其适宜性；
	噪声屏障	➤ 重量轻，因此可以用在传统材料被证明过于沉重的地质薄弱地区； ➤ 无排水并且持久；	➤ 需要监测以避免瓦砾的积累； ➤ 视觉影响；
工业品和消费品	橡胶改性混凝土	➤ 弹性较低，减少了脆性破坏； ➤ 吸收能量的能力增强，使其适用于防撞栏等； ➤ 适合低承重结构； ➤ 可以通过研磨以及水泥再次混合进行再加工；	➤ 相对较新的产品，生产者需要说服建筑业其适宜性；

处置方法	应用/产品	益处	缺点
	火车和电车钢轨底座	➤ 与木材相比寿命更长（橡胶底座的寿命为 20 年，木材或沥青底座的寿命为 3 至 4 年）； ➤ 无害环境； ➤ 更好地与道路齐平； ➤ 在分级压载下使用碎片和碎条作为振动阻尼层；	➤ 比传统材料更昂贵； ➤ 相对较新的产品，生产者需要说服建筑业其适宜性；
	户外运动场地表面材质（马术、曲棍球和足球）或人工草皮	➤ 防滑； ➤ 抗冲击力强； ➤ 耐久； ➤ 弹性大； ➤ 易于维护； ➤ 不依赖于灌溉；	➤ 造成锌沥滤增加的风险
	游乐场和运动场表面	➤ 光滑且厚度一致； ➤ 抗冲击力强； ➤ 耐久； ➤ 不易出现裂缝； ➤ 可有多种颜色；	➤ 造成锌沥滤增加的风险
	道路应用的改性沥青	➤ 耐久性提高； ➤ 表面弹性； ➤ 所需维护减少； ➤ 抗变形和裂缝的能力增强； ➤ 抵抗低温下产生裂缝的能力加强； ➤ 帮助减少道路噪声； ➤ 苯乙烯-丁二烯-苯乙烯等原始材料的替代品 ➤ 在全球升温潜能值、酸化和累积的能量需求方面，记录有重要的环境益处；	➤ 在混合期间，对环境变化非常敏感，即需要专门知识； ➤ 在潮湿天气中难以应用； ➤ 当环境温度或表面温度低于 13 °C 时不适用； ➤ 由于排放，可能引起职业健康问题； ➤ 与传统沥青不同，无法再加工。
	室内安全地板	➤ 防滑； ➤ 抗冲击力强； ➤ 耐久； ➤ 有多种颜色可供选择； ➤ 易于维护；	➤ 与常规替代品相比更昂贵； ➤ 颜色有限； ➤ 市场有限；
	集装箱班轮	➤ 可能与其他包装材料一同使用的问题；	➤ 与常规替代品相比更昂贵；
	输送带	➤ 可能作为超市收银台的输送带；	➤ 与常规替代品相比更昂贵； ➤ 不能用于输送带需承受巨大压力的地方，因为它可能会出现故障；
	鞋类	➤ 防水； ➤ 寿命长； ➤ 通过改变鞋底厚度，可以改变在鞋类中的应用；	➤ 与常规产品相比，制造成本更昂贵；

处置方法	应用/产品	益处	缺点
	地毯衬垫物	➤ 易于使用； ➤ 可回收利用； ➤ 节约自然资源；	➤ 工业生产有限；
	瓦片	➤ 外观仿似传统瓦片； ➤ 耐久（美国和加拿大瓦片担保 40 至 50 年） ➤ 更轻； ➤ 长期成本较为低廉；	➤ 工业生产有限；
	地板	➤ 有弹性； ➤ 防滑； ➤ 抗冲击力强； ➤ 易于维护； ➤ 可回收利用；	➤ 工业生产有限；
	活性碳（碳黑）	➤ 保留了原始材料；	➤ 因为需要热解，因此过程昂贵； ➤ 能源消耗非常高； ➤ 低级活性碳； ➤ 仍处于研究阶段；
	牲畜垫	➤ 寿命长； ➤ 易于消毒； ➤ 可回收利用； ➤ 从长远来看是较为廉价的替代品；	➤ 与常规垫子相比，制造成本更昂贵； ➤ 市场潜力未知；
	热塑性弹性体	➤ 与典型弹性体材料相类似的特性；	➤ 现有场地非常有限
热解	热解	➤ 重复利用热解的副产品（石油和天然气）；	➤ 因为由轮胎引起的作业问题而使能力有限； ➤ 现有场地非常有限； ➤ 处理过程产生的污泥含有金属和其他废物，现存放于废弃的矿井中，引发环境问题；
协同处理	替代燃料和/或原料（例如水泥窑或炼钢）	➤ 高热值； ➤ 潜在体积大； ➤ 回收能源和钢铁；	➤ 需要特殊的监控设备来控制排放； ➤ 需要一个系统来提供分离的废物/轮胎碎片； ➤ 增加含锌过滤灰和/或熟料；
协同焚化	用于发电厂的替代燃料	➤ 回收能源； ➤ 可能能够从灰烬中回收金属；	➤ 需要测量设备来控制排放； ➤ 增加含锌过滤灰和/或底灰。

参考：改编自Questor Centre（2005 年）、Hylands & Shulman（2003 年）以及 Aliapur（2007 年）。

表 12

有关无害环境处置方法的问题，以及预防和控制这些问题的办法

处置方法	问题	预防和控制方法
翻新	➤ 产生橡胶残留物；	
常温/冷冻磨碎	➤ 噪音、粉尘；	➤ 排气系统； ➤ 就高品质原料结合常温 and 冷冻回收； ➤ 工作区设计配有声屏障；
脱硫/回收	➤ 液体污水； ➤ 废气排放；	➤ 水再循环系统； ➤ 废气和空气处理系统；
工业品和消费品用途	➤ 产生橡胶残留物；	
土木工程用途	➤ 沥滤液； ➤ 废气排放； ➤ 职业问题； ➤ 火灾；	➤ 当直接用于土壤时，采用其他非沥滤或防渗材料； ➤ 使用个人防护设备； ➤ 限制使用数量；
热解	➤ 废气排放； ➤ 危险残留物； ➤ 液体污水；	➤ 空气和水处理系统； ➤ 危险废物无害环境管理技术；
协同处理	➤ 存在废弃排放超过法定限值的风险；	➤ 监测关键的进程参数并使其保持稳定，如同源原料混合、燃料供给； ➤ 常规剂量和过剩氧气； ➤ 排放控制设备在 200 °C 以下运行 ➤ 过程控制优化，包括以计算机为基础的自动控制系统； ➤ 现代化的燃料供给系统； ➤ 在可能的范围内，通过预热和预煅烧将燃料能源降至最低； ➤ 意外关闭的预防措施。

表 11 和表 12 的批注

- 1. 上文列表尚不详尽，但说明了最重要的处理备选方案以及正在使用或正在开发的应用。
- 2. 上文提及的所有应用都需要从报废轮胎中取得原料，不论是碎片、碎条，还是微粒。执行减小体积和处置的流程时需要安装足够的设备，以应对可能以其他方式发生的环境和职业健康问题。需要时还应安装足够的安全和控制设备。
- 3. 作为一般性安全建议，必须强制使用个人面罩、防护帽、钢加固靴、手套、护目和护耳用具，以确保工人的健康和安全。
- 4. 下面提及的两个标准包含了关于所有应用和作业程序的详细资料。强烈建议在作出任何关于无害环境处置方法的决定时应参考这些标准。

(a) 《将废轮胎用于土木工程应用的标准做法——名称D-6270 – 98》，（2004 年再次批准），美国试验材料学会（美国试验与材料学会国际组织）；

(b) 《由报废轮胎产生的材料：基于其尺寸规格和杂质的分类规范及其尺寸规格和杂质的测定方法》，2010 年 4 月，CEN/TS 14243:2010。

113. 最普遍的回收技术是回收利用和能源回收。也有用于不进行回收的轮胎处理技术。

114. 需要铭记，在大部分情况下，报废和/或废弃轮胎管理条例及经济状况将决定有关废弃轮胎流动的管理方式。

115. 在当前世界能源形势下，废弃充气轮胎被视为替代燃料。可将完整或切碎的报弃充气轮胎作为替代燃料。由于操控的改善和容积的减少，大部分用途都可使用切碎的轮胎。切碎的轮胎便于运输，因此能优化运输方法（重量比：0.5 吨/立方米）；在运输能力相同的情况下，若运送完整轮胎，则可运输的数量要少很多（重量比为 0.15 吨/立方米，约为上述重量比的三分之一）。这会直接影响运输需求，进而影响成本。切碎轮胎的生产还最大限度地降低了为蚊虫提供繁殖地的风险。

116. 可利用水泥窑来回收报废轮胎中的能源，这很重要，因为该行业正在废物市场寻找替代燃料。水泥窑的技术正得到日益改进，以便将切碎的报废轮胎作为替代能源使用。

117. 在同样的背景下，除了利用水泥窑中回收轮胎外，发电厂也渐渐开始将切碎的废弃充气轮胎作为替代燃料使用。只有在配备了充足减排设备的装置中才能利用废弃充气轮胎产生能量。

118. 橡胶微粒或橡胶粉末等用轮胎生产的材料的用途越来越多，在废弃轮胎管理中占有很大比重。使用此类次生原料的市场潜力很大并有上升趋势。这些材料的生产流程通常从粉碎开始，然后是研磨，以获得较小的微粒。在生产流程中，还分隔并回收了轮胎的其他组成部分，特别是金属。

119. 微粒和橡胶粉末可用于多种用途：人工运动场（人工草皮）的填充物和平面轧辊；声学防护；养殖奶牛使用的橡胶地毯；儿童专用软操场；以及橡胶沥青。用橡胶沥青铺设路面需要消耗大量橡胶粉末，此种路面拥有良好的特征和属性。

120. 由于轮胎中含碳，因此适合替代电弧炉或铸造窑中的无烟煤。这种装置大部分都能使用切碎的轮胎，不需要碾成微粒。目前正在运用各种水平的技术来回收轮胎材料，包括将轮胎简单切割成粗条和碎片，以进行能源回收或回填的技术，以及高度复杂、完全自动化的工厂。

121. 第一代回收设施经常因产生粉尘、噪音以及大量废料而遭到批评，而利用最佳可得技术的最新资本密集型全自动化工厂则符合最严格的排放和健康条例，并能回收橡胶微粒、橡胶粉末和钢材。回收产品均匀、清洁，因此能替代新轮胎生产中的新胶和钢材。

122. 表 11 显示了卡车和汽车轮胎的研磨橡胶、钢材、纤维和废料的数量。

表 11 废轮胎中可重复利用的产品

产品	卡车轮胎	汽车轮胎
研磨橡胶	70%	70%
钢材	27%	15%
纤维和废料	3%	15%

资料来源：根据 Reschner（2006 年）改编

1. 翻新

123. 下文将描述三种翻新工艺：顶翻新、肩翻新和全翻新。

(a) 顶翻新系指移除原胎面并替换新胎面的工艺；

(b) 在肩翻新工艺中，原胎面也被移除，但该工艺使用的新胎面覆盖了部分轮胎胎侧，因而大于顶翻新后的新胎面；

(c) 在全翻新工艺中，原胎面被移除，新胎面从轮胎一侧延伸到另一侧，其橡胶层覆盖了所有轮胎底部区域及轮胎胎侧。

124. 应由遵守法律法规的且经认证的公司按照技术规范中设定的严格条件进行翻新。

125. 某些情况下，制定轮胎翻新标准是为了控制轮胎的可翻新次数。根据联合国条例第 108 条（有关批准生产用于机动车辆及其拖车的翻新充气轮胎的统一规定）和第 109 条（有关批准生产用于商用车辆及其拖车的翻新充气轮胎的统一规定），载客汽车轮胎仅可翻新一次，而卡车和飞机轮胎因结构更为坚实，在满足质量标准的前提下，翻新次数可更为频繁（卡车轮胎通常最多可更新 4 次，飞机轮胎可最多翻新 10 次）。此外，应当考虑原外胎的寿命，不得超过 7 年。

126. 出于安全原因，有些国家禁止翻新机动车辆轮胎。为满足安全标准，只有具备翻新资格的公司才能翻新轮胎，翻新轮胎还须经过认证，以确保达到安全和质量标准。因此，消费者必须从遵循翻新制度规定的公司购买翻新轮胎，并对轮胎作出认证。

127. 一般来说，翻新轮胎会对环境产生积极的影响。与制造新轮胎相比，翻新轮胎所需消耗的材料和能源要少得多，其他影响也会成比例减小。许多作者已宽泛地公布了有关翻新所能节约的能源和材料的数据。翻新使用轮胎中的大部分橡胶和所有的面料和钢材。据报告，翻新工艺消耗的能源低于制造新轮胎所需的能源，虽然实际的减少量取决于翻新的类型（热翻新、冷翻新或重新制模）。根据与轮胎有关的估计数值，若采用合适的技术，翻新将具有降低能源和温室气体总排放的巨大潜力，同时还能降低废弃轮胎的制造数量。²⁸

128. 轮胎翻新对环境有益，因为其能最大限度地减少废物的生成量，并提高轮胎的使用寿命，从而推迟其处置时间。从废弃轮胎生成的角度来看，必须指出轮胎的翻新是有次数限制的。从长期来看，使用低质量外胎可能会导致国家废弃轮胎总数上升。

²⁸ 《废弃轮胎的国家处理办法》(2001)。

129. 翻新能避免使用原材料生产新轮胎，延长轮胎的有效寿命，推迟将轮胎作为废物加以处置的时间。尽量减少废物的例子包括公务车辆使用翻新轮胎，并开展定期技术检查，以提高旧轮胎的翻新可能性。

2. 常温/低温回收

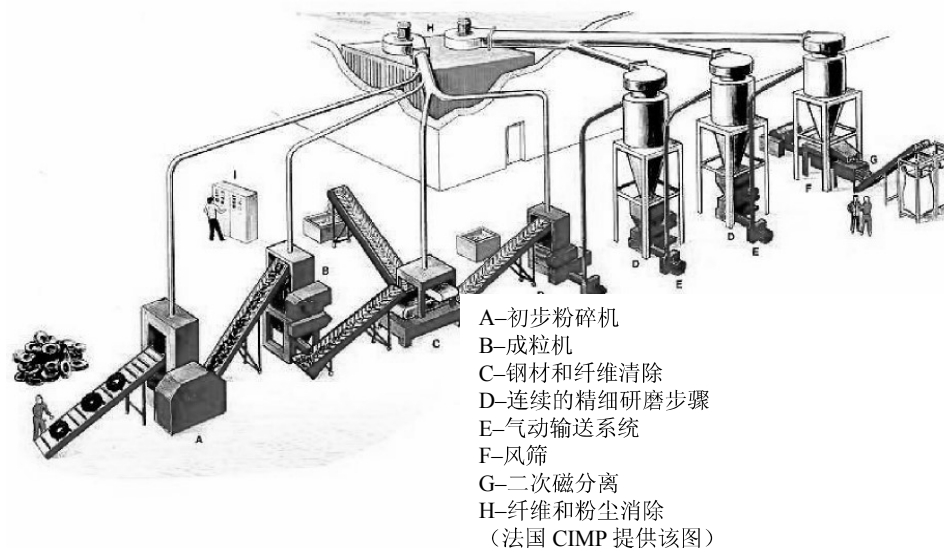
130. 旧的完整轮胎可以用于其它用途，但大多数回收程序利用的是研磨轮胎，因为研磨橡胶随后可用于各种用途。轮胎视其最终用途，可做不同程度的切碎或研磨。

131. 图 5 为一家典型的常温废弃轮胎回收处理厂的示意图，其中包含各种步骤和控制系统。这一过程被称为“常温”，原因是所有减少体积的步骤都是在常温或接近常温的环境中进行的，即不需要通过通过冷却来使橡胶变得易碎。

图五

常温废弃轮胎处理厂示意图

常温报废轮胎回收处理系统实例



资料来源: Reschner (2006 年)

132. 在这一工厂布局中，轮胎经过了以下几步作业：

- (a) 轮胎首先在初步粉碎机中被加工成 2 英寸（50 毫米）的碎片；
- (b) 然后轮胎碎片进入成粒机，碎片被分解成大小在 3/8 英寸（10 毫米）以内的颗粒；
- (c) 通过磁力清除钢材料，通过震动筛和风筛的结合清除纤维碎片；
- (d) 通过连续的研磨步骤获得适当的体积，通常在 10 到 30 目（0.6-2 毫米）之间。

133. 可在大型全自动化的加工厂里进行常温回收，这些加工厂的当前产量为每年 65,000 吨/投入，接收所有类型的充气轮胎（包括乘用车、货车、卡车和土方车）。除了可直接在炼钢厂进行熔化的钢碎片外，工厂还生产高均匀度和

高纯度的橡胶微粒和橡胶粉末。工厂生产的所有橡胶微粒大小均可控制在 10 目（2.0 毫米）以内。

134. 常温回收会产生噪音和粉尘，而且能源消耗密集（120-125 千瓦时/吨）。为保障工人的健康和安全，所有机器设备上必须配备适当的通风系统、消防系统和应急分离点。应强制使用钢加固靴、手套、护目和护耳用具，再加上防护帽。还应为研磨橡胶提供适当的储存场所。这一场所应避免日照。

135. 这些措施将会影响与系统运行和维护有关的成本。关于工人的健康和安全，应首先采用集中防护措施，其次是个个人防护。

136. 轮胎回收过程被称为低温工艺，因为该过程利用液氮将完整轮胎或轮胎碎片冷却到 -80°C 以下。在这一温度以下，橡胶会变得像玻璃一样易碎，然后通过碾压和研磨减小体积。这种体积的缩减有助于研磨以及钢和纤维的析出，从而形成更加纯净的最终产品。

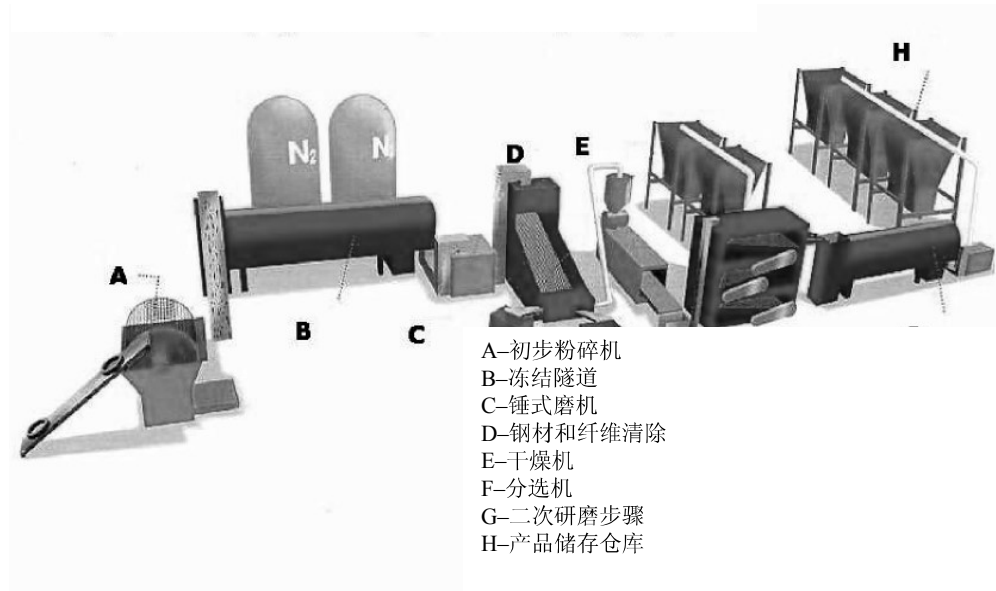
137. 主要缺陷在于成本，因为这一过程是从轮胎碎片开始的。换言之，除了最初研磨的成本外，还有与高成本液氮有关的费用。此过程还规定了作业安全程序，以预防与工作有关事故。

138. 图六说明了这一低温工艺。

图六

低温废弃轮胎回收

低温报废轮胎回收处理系统实例



资料来源：Reschner（2006 年）

139. 低温加工如下所述：

- (a) 首先在初步粉碎机中将轮胎加工成 2 英寸（50 毫米）的碎片；
- (b) 2 英寸的（50 毫米）轮胎碎片在连续运转的冻结隧道中被冷却到 -120°C 以下；
- (c) 在锤式磨机中，将碎片打碎成大小不一的微粒；

- (d) 清除钢材和纤维；
- (e) 烘干材料；
- (f) 将材料划分为规定大小的微粒；
- (g) 得到细目橡胶粉末。

140. 表 12 对比了常温回收系统和低温加工的参数。

表 12

常温回收与低温回收的比较

参数	常温	低温
作业温度	常温，最高 120° C	低于-80° C
减小体积原则	切割、撕裂、剪切	打破低温脆化的橡胶碎片
微粒形态	多孔、粗糙、高比表面	平整、光滑、低比表面
微粒尺寸分布	相对狭小的微粒分布，每一步研磨只能减小有限体积	在一个加工步骤中实现广泛的颗粒分布（从 10 毫米到 0.2 毫米）
液氮消费	暂缺	每公斤轮胎投入需 0.5 - 1 公斤液氮

资料来源：Reschner（2006 年）

141. 可将常温回收与低温回收相结合，通过一种能确保高纯度的特殊低温技术，将常温生产的橡胶微粒进一步加工成 80 目（0.2 毫米）以内的细粉，使粉末能用于精密应用，如用于新轮胎的橡胶化合物。

142. 表 13 显示了根据大小功能对轮胎产品进行分类时所使用的术语。

表 13

消费后轮胎处理：材料体积

材料体积	最小 (毫米)	最大 (毫米)
粉末	0	1
颗粒	1	10
胶屑	0	40
碎片	10	50
碎条（小）	40	75
碎条（大）	75	300
碎块	300	½ 轮胎

资料来源：SR 669 HR Wallingford 报告，2005 年

3. 脱硫和回收

143. 回收是一个利用机械过程、热能和化学品使轮胎橡胶转化到能够被混合、处理和再次脱硫的状态的程序。这一过程的原则是脱硫，包括分裂化学网络的分子间键，如碳硫(C-S)和/或硫硫(S-S)。这些分子间键使得轮胎具有耐久性、弹性和耐溶剂性。回收的橡胶用于制造需求和用途有限的产品，因为其机械性能要低于原始橡胶。

144. 脱硫涉及减小体积和分裂化学键，可通过成本和技术完全不同的三种处理方式来实现：化学、超声波、微波。²⁹

145. 化学脱硫是一个成批处理过程，体积被减小的微粒（10 到 30 目）与试剂混合在一个反应器中，里面的温度大约是 180° C，压力为 15 帕。一旦反应结束，产品会被过滤和烘干，以去除不想要的化学混合物，经包装后用于商业目的。

146. 在超声波处理中，将体积被减小的橡胶微粒（10 到 30 目）加入一个储料器，然后送进压出机。压出机以机械的方式推拉橡胶。这一机械过程的目的是加热橡胶微粒并使其软化。当软化的橡胶通过压出舱输送时，橡胶暴露在超声波能量中。热力、压力和机械咀嚼足以实现不同程度的脱硫。

147. 微波处理过程将热能快速、均匀地应用在废物橡胶上。但是，所有用于微波处理的硫化橡胶在结构上必须是足够极性的，这样才能够以适当的比率吸收微波能量，从而实现脱硫。微波脱硫的唯一合理应用是在主要包含极性橡胶的化合物中，这就限制了微波处理的应用。例如，美国全球资源公司发明了一项技术，可以让废弃充气轮胎等以石油为基础的材料在特别选定的频率接受微波辐射，并保证充足的辐射时间，以便将材料分解成石油和熔化气体的混合物。³⁰

148. 可利用的关于脱硫环境影响的资料仅限于化学和超声波处理。在这两种情况下，确实出现大气污染物和液体污物的排放。

149. 2004 年公布的报告列出了从轮胎翻新作业的硫化区域和轮胎翻新挤压作业中产生的约 50 种有机化合物的排放，包括苯、甲苯和庚烷。还有一种可能性，即硫化氢和二氧化硫将通过硫化氢的氧化而释放。因此，在处理过程中，需要分别通过过滤器和气体洗涤器来控制排放和去除二氧化硫。关于因洗涤而产生的液体污物，应当在其排放到水体中之前加以适当处理。

150. 表 14 提供了关于脱硫橡胶成本和生产能力的信息。

表 14

生产脱硫橡胶的估计成本

项目	化学工艺	超声波工艺
能力（千克/小时）	34	34
资本成本（103 美元）	166	163
运营和维护费用（103 美元）	172	136

资料来源：Calrecovery Inc. “加利福尼亚综合废物管理委员会”——2004 年

4. 工业品和消费品

151. 近些年来，橡胶粉末和微粒的工业和消费市场急剧增加。目前，其用途非常广泛，并且运用范围正在日益扩大，包括人工草皮、操场和运动场表面、沥青和改性沥青、室内安全地板、集装箱班轮、输送带、汽车垫、鞋类、地毯

29 Calrecovery Inc. (2004)。

30 Gert-Jan van der Have (2008)。

衬垫物、瓦片、地板、活性炭、牲畜垫和热塑性弹性体。下文简要介绍了各项最重要的用途。

(a) 人工草皮

152. 橡胶微粒通过以下两种方式用于人工草皮：作为人造运动场地的填充物，以及用于生产弹性垫，既可现场进行施工，也可预制。一个标准人工草皮球场包含 100-130 吨橡胶微粒填充材料。若添加一块弹性垫，则还要消耗 60-80 吨橡胶微粒。

153. 作为填充材料使用时，橡胶微粒替代了新材料，如三元乙丙橡胶和热塑性弹性体，被用于开展足球、美式橄榄球和曲棍球等接触性运动的场地的草皮。自 2001 年以来，全球年度增长率高于 25%，而且该数字有望继续以两位数增长。

154. 由于人造足球场草皮的性能好，便于球员发挥，维护费用低，不依赖于水以及社会反响积极（生产价格适中），人造足球场草皮受到了国际足球联合会的强烈推荐。

(b) 操场和运动场

155. 作为儿童操场、跑道及其他运动场的表面铺设材料，橡胶微粒表现出了明显的弹性和吸音性能。橡胶微粒与聚氨酯混合，上层通常会被染色。欧洲联盟已颁布了公共游乐场表面弹性的强制性标准（EN 1177）。

(c) 橡胶改性混凝土的应用

156. 橡胶改性混凝土提高了对冲击力的吸收，减少了裂缝。在巴西开展的工程集中于橡胶改性混凝土在公路壁垒修筑和其他混合了传统混凝土、橡胶集料和玻璃纤维的产品中的应用。

157. Hylands 和 Shulman（见脚注 29）以及 Questor 中心（2005 年）的著作讨论了工业和消费者产品生产中的其他用途。它们包括：

- (a) 运动场地表面；
- (b) 室内安全地板；
- (c) 游乐场地面；
- (d) 集装箱班轮；
- (e) 输送带；
- (f) 汽车垫；
- (g) 鞋类；
- (h) 地毯衬垫物；
- (i) 瓦片；
- (j) 地板；
- (k) 活性炭（碳黑）；
- (l) 牲畜垫；
- (m) 热塑性弹性体。

(d) 道路应用

158. 美国、西欧和巴西已将从废弃轮胎中获得的成粒状材料用于橡胶改性沥青的开发。生产橡胶沥青有两个主要的处理过程，即湿处理和干处理。³¹

159. 在干处理过程中，橡胶粉末被直接添加到沥青中，造成橡胶和沥青之间产生反应。这种工艺适用于高温混合铺设项目和表面处理。

160. 在传统湿处理过程中，橡胶粉末被用作沥青改性剂。在将粘合剂添加到集料中之前先将橡胶粉末与沥青混合。湿处理理想的微粒体积在 0.6 到 1.5 毫米之间。应在压缩前将材料加热到 149–190°C。这使得处理过程与传统沥青相比花费更高，并且在生产和应用过程中都有可能排放出有毒物质。事实证明，湿处理的物理特性优于干处理。

161. 橡胶沥青尚未得到广泛采纳，也没有对其环境影响进行过全面分析。橡胶沥青还要有更高的初期投资。在欧洲，只有 1% 的橡胶微粒被用于公路路面铺设。这帮助回收了欧洲产生的 1% 废弃轮胎中的四分之一。美国国会 1991 年开始要求联邦资助的项目使用橡胶沥青，但在五年后，由于对环境和公众健康问题的关切而撤销了这一要求。³²虽然美国的许多州在其公路项目中使用了橡胶沥青，但关于橡胶沥青对环境和工人健康影响的研究仍在继续。³³现在，通过橡胶沥青这一用途，处置了 2% 的轮胎废物。³⁴

162. 近些年来，利用回收橡胶粉末和新材料（一种半结晶辛烯聚合物）生产的沥青改性剂已进入市场，替代了苯乙烯-丁二烯-苯乙烯等传统新沥青改性剂，并以相同价格水平销售。这些新改性剂的优势在于能避免如下问题：在生产和应用中排放毒性物质、产生其他环境影响、不适用于现有的道路建筑设备、压实温度高、路面光滑以及回收沥青过程中的排放问题等。³⁵

163. 上文所提及的美国国家职业安全卫生研究所报告得出结论，即橡胶沥青产生的烟雾不会超过安全卫生管理机构设定的暴露限值。³⁶虽然排放和烟雾的成分会有变化，但它们是从基质沥青中产生的，而不是从橡胶中产生的。在所有情况下，排放和烟雾都在美国各许可和监督管理机构设定的限值内。

164. 最近一份同行审评的生命周期评估研究也显示，与在水泥窑中共同焚化轮胎的设想方案相比，回收轮胎并用于新一代改性沥青的设想方案将在全球升温潜能、酸化和累计能源需求等方面产生巨大的环境惠益（美国存管信托公司和海德堡能源环境研究所，2008 年）。³⁷

165. 使用橡胶沥青费用极其昂贵，且并非总能达到美国各州制定的标准。一些州尚未就轮胎橡胶的沥青用途制定标准。在那些已常规使用橡胶沥青的各州，该用途中使用轮胎的百分比从 10%-85% 不等。对废弃轮胎而言，其在道路铺设方面的应用是一种具有成本效益的有益用途，且此类用途的市场前景光

31 Caltrans. January 2003。

32 Intermodal Surface Transportation Efficiency (1995)。

33 美国交通运输部，联邦公路管理局，橡胶屑改性剂。

34 Sheerin, John (2004)。

35 FABES (2006)。

36 National Institute for Occupational Safety and Health (2001)。

37 DTC and IFEU (2008)。

明。轮胎橡胶是一种极好的沥青材料添加剂，除减少裂化外，它能减少因沥青材料老化而产生的硬化，延长了铺设道路的使用寿命。

5. 土木工程

166. 美国试验与材料学会标准 6270/1998B 以及欧洲技术规格标准化委员会的 14243:2010 中提及了废轮胎的土木工程应用。

167. 废弃轮胎的具有十分广泛的土木工程用途，通常替代土壤或沙等建筑材料。它们也可用作路基和筑堤等建筑项目中的集料、化粪池系统排疏板、填充材料和填埋场应用。

168. 一些国家已制定并在应用关于土木工程应用的政策准则、标准做法和可滤取决定因素。美利坚合众国田纳西州政府制定的政策准则描述了适用于旧轮胎的土木工程应用。

169. 美国试验与材料学会国际组织制定了关于废轮胎在土木工程应用中用途的标准（标准 ASTM 6270/1998B），该标准为检测加工轮胎或完整的废轮胎的物理特性、设计考虑因素、施工做法和沥滤液生成潜力提供指导，以便于用轮胎替代传统土木工程材料，例如石材、砂砾、土壤、沙、轻质集料或其他填充材料。

170. 英格兰和威尔士环境局为噪声屏障、填埋场加固等用于土木工程应用的材料（见本准则附录二第 B 部分）制定了可滤取决定因素，并为所用材料的化学性质设定限值。

(a) 填埋场工程

171. 废弃轮胎在填埋场工程中的应用应该是临时性的，不得作为永久功能单位的一部分，因为这意味着很有可能形成一个隐藏的废物填埋场，并且万一填埋场发生火灾会带来不可接受的风险。废弃轮胎在填埋场工程中的临时应用包括：

- (a) 沥滤液收集；
- (b) 土工布的保护层；
- (c) 填埋场覆盖物的排水层；
- (d) 填埋场瓦斯抽放系统的填充；
- (e) 填埋场的日常覆盖；
- (f) 临时道路；
- (g) 填埋场运料路中的轮胎捆。

172. 这些用途使用完整轮胎、切割轮胎（最大 300 毫米）、轮胎碎条（50—300 毫米）和轮胎碎片（10—50 毫米）。轮胎等级的选择取决于橡胶处理和运输的成本、其可用性以及设施场地的环境要求。它还取决于填埋场项目的类型及其法律规定。

(b) 轻质填装制品和土壤加固

173. 轮胎在各种工程项目中被当作轻质填装制品使用，例如用于支护结构后及筑堤中、整体式桥台的回填、边坡修补和稳定、部分取代挖掘的集料、砂砾和集料填充的金属筐，具体取决于项目。这些用途中使用的是完整轮胎、切割

轮胎（最大 300 毫米）、轮胎碎条（50—300 毫米）和轮胎碎片（10—50 毫米）。

(c) 侵蚀控制

174. 轮胎的耐久性和稳定性使它们具有侵蚀防控项目所需的理想特性。轮胎已被用于沿海和河流侵蚀防控项目，以便吸收流水形成的能量，既包括潮汐流也包括河溪流，以及由降雨而产生的能量。废弃轮胎还被用于填充，以实现侵蚀沟和小峡谷的环境改造，以及用于建设侵蚀控制屏障，由此而成为侵蚀景观的一部分，并且将在以后再次种植植被。

(d) 噪声屏障

175. 轮胎被用于修筑噪声屏障以降低公路的噪声水平。噪声屏障是用完整轮胎、碎条轮胎或垫子以及用橡胶胶屑做成的特殊垫子筑成。目前，正在开发用于此目的的各种轮胎屏障。

(e) 隔热

176. 带状碎块、碎条和碎片被用作隔热材料。轮胎的热阻系数大约是砂砾的 7 或 8 倍。在温带气候或极低温国家，轮胎可被用于隔离道路和街道结构，包括用在沥青之下，以减少因霜冻所导致的开裂，还可用作管线建设的填充物，特别是水管。用轮胎建成的公路边排水渠不会在极其寒冷的冬天冻结。

177. 经证实，将废弃轮胎碎条作为道路建筑的轻质填装材料是废弃轮胎的另一种有益用途，如土壤松软地区的伐木公路。³⁸这些轮胎为轻质材料，在铺设松软地面时具有相当大的优势，因为其对于下伏土的压力比自然集料小。³⁹

6. 热解

178. 热解是在无氧或氧气浓度极低不会引起燃烧情况下的热降解过程。

179. 部分热解技术产生低能值的油类（与柴油相比）、合成气（低热性能）、碳黑、焦炭和钢材。通过现代技术可以在稀薄的空气对轮胎中的塑料进行热降解，但会产生在粘度和热值方面能与柴油和汽油燃料直接相比的油类。

180. 通过这些技术取得的合成气，其热值与丙烷相当，热性能极佳。能生产出优质高强度钢材，用于重新制造新轮胎钢丝。

181. 此过程中的某些工艺所产生的热解焦炭商业价值很低，因为它是由轮胎制造所使用的各种类别碳黑的混合物构成的。因此，最终产品并不具有与轮胎制造所使用的原始碳黑相同的特性。现代技术能生产与原始碳黑相当的焦炭。

182. 在部分情况下，有必要通过减小微粒体积来改良热解焦炭，以开发新产品。共振分解从热解焦炭中产生出超细的碳素制品。在共振分解过程中，焦炭颗粒经历了多重高能冲击波，因此可立即生成初级微粒平均直径为 38 纳米的含碳聚合物和块状物，直径范围在 100 纳米到 10 微米之间。⁴⁰

38 美国环境保护局-废物-资源养护-常见废物和材料-废胎。

39 Reid, J. M., and M. G. Winter (2004)。

40 Karpetsky, Timothy (2001)。

183. 另一种可能性是将热解焦炭用作活性碳。通常会用蒸汽激活碳焦炭，而蒸汽通常是该工艺产生的副产品。

184. 与其他所有工艺一样，质量低的热解工艺可能会带来风险。为从热解中回收的钢材等材料可能会受到了碳污染，因而许多金属加工处理商并不需要。通常情况下，回收的钢材还处在一种缠结的大体积状态，使得处理和运输非常困难并且费用高。

185. 美国尚未证实热解是一种经济上可行的操作方式。虽然该国已做了 30 多次尝试，但在全面操作时从未成功过；投资者损失了数百万资金，各州不得不开展费用高昂的清理活动。热解工艺会产生危险的垃圾热解油，必须进行相应管理。

186. 热解工艺通常通过热分解进行，并能回收柴油和汽油等效油类、丙烷等效气体、钢材和精制碳黑等可重新用于生产新产品的材料。

7. 协同处理

187. “协同处理”是指废物材料在工业处理过程中的应用，如水泥、石灰或炼钢。它可能涉及能源回收以及从废物中进行材料回收。⁴¹本节只涉及水泥窑的协同处理。关于水泥窑的协同处理的进一步详细信息载于关于水泥窑无害环境协同处理的技术准则。

188. 关于轮胎在水泥窑中的应用的研究没有就协同处理对危险物质检测水平的影响得出一致结果。因此，是否准许轮胎在水泥窑中协同处理，应依据个案加以考虑，因为其安全取决于良好作业惯例以及所使用轮胎和窑炉的特性。

189. 在欧洲，水泥行业回收大量废物来替代传统矿物燃料和/或原材料。只要进行妥善处理，个别废物成分能够达到水泥厂环保再利用的要求。

190. 轮胎现在已是水泥窑的既定补充燃料，这一用途使得能源可从废弃轮胎中回收，并替代矿物燃料的使用。相关国家主管部门负责管理这一处理过程，并将其视为一个可接受的方案，前提是要遵守指定过程控制和进入标准，并达到相关立法的要求（在欧洲联盟，这些要求都在第 2000/76/EC 号废物焚化指令中做了规定）。

191. 协同处理是一种从垃圾中回收能源和材料的方式，能部分用于在水泥熟料的生产中替代燃料和原材料。基本上，熟料燃烧处理过程自身的特性就决定了可采用“废物变能源”和材料回收的环保做法。废物利用的基本处理过程的特性总结如下：

- (a) 回转窑内最高温度约为 2,000° C（主要燃烧系统，火焰温度）；
- (b) 在温度 1,200° C 以上的回转窑内，气体保留时间约为 8 秒；
- (c) 回转窑烧结带的材料温度约为 1,450° C；
- (d) 在回转窑内氧化气氛；
- (e) 在温度高于 850° C 的二级燃烧系统内，气体保留时间为 2 秒以上；在分解炉内，保留时间相应更长，温度也更高；
- (f) 二级燃烧系统和/或锻烧炉内的固体温度为 850° C；

41 Holcim, GTZ (2006)。

- (g) 由于高温下足够长的保留时间，负载变化的耗尽条件一致；
- (h) 由于高温下足够长的保留时间，破坏了有机污染物；
- (i) 吸收气态成分，如氟酸、盐酸和碱性反应物上的二氧化硫；
- (j) 对颗粒吸附态重金属有很强的保留能力；
- (k) 在温度范围内对废气的保留时间短，抑制了多氯二苯并对二英与多氯二苯并呋喃的从头合成；
- (l) 将燃料和废物的矿物部分作为熟料充分加以利用，不考虑热值的大小，同步进行材料回收（如，作为原料的一部分）和能源回收；
- (m) 由于在熟料槽中充分利用了材料，因此没有生成特定产品的废物；但是，欧洲一些水泥厂通过将非挥发性重金属的化学矿物纳入熟料槽的方式来处理水泥粉尘。

(a) 质量要求

192. 废物质量稳定很重要。需要通过质量保证系统来保证废物燃料的特性。通常来说，作为燃料和/或原材料的废物必须给水泥窑带来热量和/或材料附加值。因此，与煤炭（18.6–27.9 兆焦耳/千克）相比，其具有相当高的热量值（25~35 兆焦耳/千克），因此非常具有吸引力。

193. 作为原材料和/或燃料在水泥窑中使用的废物材料必须达到不同的质量标准，因为燃料灰会完全进入熟料中，而且还必须尽量减少对熟料成分的不利影响和废气排放。

(b) 排放

194. 《斯德哥尔摩公约》附件 C 第二部分罗列了焚烧危险废物的水泥窑，它们是有可能形成大量多氯二苯并对二英、二苯并呋喃、六氯苯和多氯联苯并向环境中释放这些物质的工业来源。

195. 在 2007 年公约缔约方大会上通过的有关《斯德哥尔摩公约》第 5 条和附件 C 的最佳可得技术准则修订草案和最佳环保做法临时指南提及了这一问题并提供了有价值的信息。准则中声明：

窑炉中的燃烧过程可能会导致形成并排放《斯德哥尔摩公约》附件 C 中载列的化学品。此外，储藏场所可能会产生排放。采用精心设计的工艺条件并安装适当的主要处理设施后，焚烧危险废物的水泥窑应以如下方式运作：尽量大幅减少附件 C 载列的化学品的形成和排放，使废气中的多氯二苯并对二英和多氯二苯并呋喃的浓度小于 0.1 ng I-TEQ/Nm³（含氧量为 10%），具体浓度取决于洁净燃料、废物进料、温度和灰尘清除等因素。应酌情使用额外二级措施来减少此类排放。

196. 但是，科学及工业研究基金会根据 1990 年至 2004 年有关多氯二苯并对二英和多氯二苯并呋喃的 1,700 份测量结果得出结论认为，大部分水泥窑能达到 0.1 ng TEQ/Nm³ 的排放水平。这一数据说明了发达国家和发展中国家水泥窑的排放情况，这些水泥窑使用了广泛的燃料资源，包括危险废物和轮胎燃料。⁴²加拿大环境部长理事会得出了类似的结论，称“水泥部门的可得测试数据表

42 Foundation for Scientific and Industrial Research (2006)。

明水泥窑排放的二恶英和呋喃低于 80 皮克/立方米，只有一个例外。截至目前，80 皮克/立方米是依据现有技术和可行性而制定的加拿大国家标准中的最低排放限值”。⁴³

197. 有关将废物作为原料和/或燃料（包括使用废弃充气轮胎作为燃料）的不同排放水平的一系列数据以及减排最佳可得技术，可参见有关水泥、石灰和氧化镁制造的最佳可得技术参考文件。⁴⁴

198. 但数份有关水泥窑协同处理轮胎所致排放的研究报告的数据较有争议。就排放生成而言，轮胎燃料的支持者认为，通过采用工艺优化措施、改进和优化炉窑系统，并利用流畅稳定的窑烧工艺，协同处理轮胎和其他危险废物与传统的煤炭燃烧没有区别。此外还必须应用设计精良和维护良好的现代减排技术。

(c) 监测和衡量减排技术

199. 过程控制和监测对于保持低排放量非常必要。为控制排放，可以安装某些额外的环保设备。需要采用特别的控制和加工措施以维持环保、安全和质量标准。根据所使用废物的类型及特性，需要将水泥窑的投料点纳入考虑，因为燃料投入水泥窑的方式会影响排放。

200. 与水泥生产有关的主要环境问题是向空气的排放以及能源使用问题。向空气的排放包括在水泥制造过程中产生的粉尘、氧化氮、氧化硫、一氧化碳、总有机碳、多氯二苯并对二英和多氯二苯并呋喃及金属的排放。

201. 如果监测表明某次测试燃烧超过了法定排放量，则应停止燃烧，直到查明并纠正不稳定的原因。只有当测试燃烧的数据表明协同处理不会给环境带来额外风险时，才应该允许长期进行轮胎燃烧。欧洲水泥部门开展的调查总结认为它很少是多氯二苯并对二英/多氯二苯并呋喃排放的重要来源，因为：

(a) 若应用主要措施，欧洲联盟的大部分水泥窑可符合 0.1 ng I-TEQ/Nm³ 的排放水平；

(b) 使用废物作为主燃烧器、窑尾或预分解炉的燃料和原材料似乎不会影响或改变持久性有机污染物的排放。（88，挪威科学与工业研究基金会，2006 年）]。

202. 可以采取将多氯二苯并对二英和多氯二苯并呋喃的排放最小化并遵守 0.1ng I-TEQ/Nm³ 的排放水平。这些措施包括流畅稳定的窑烧工艺，按照接近进程参数设置点的方式操作，这有利于所有的窑炉排放和能源使用。可通过应用以下措施实现：

(a) 过程控制优化，包括以计算机为基础的自动控制系统；

(b) 利用现代化的燃料供给系统；

(c) 通过预热和预煅烧将燃料能源的使用降至最低，将现有的窑炉系统配置纳入考虑；

(d) 仔细挑选并控制投入窑炉的物质：如果可行的话，挑选并使用硫磺、氮、氯、金属和挥发性有机物含量低的同源原料和燃料。

43 Canadian Council of Ministers of the Environment (2004)。

44 European Commission, May 2010。

203. 为尽量减少多氯二苯并对二英和多氯二苯并呋喃重新形成，采取以下主要措施非常重要：

- (a) 将窑炉废气在没有预热的湿法长窑和干法长窑中迅速冷却到 200 °C 以下。在预热器窑和预分解窑中，这一特征已经内化；
- (b) 限制烟道气在 300 摄氏度至 450 摄氏度区间的停留时间和氧气含量；
- (c) 如果废物中含有机材料，则限制或避免将其作为原材料混合物的一部分；
- (d) 在开始和结束阶段不供给废物燃料；
- (e) 监测关键的进程参数并使其保持稳定，即同源原料混合、燃料供给，常规剂量和过剩氧气。⁴⁵

204. 有关氧化氮、氧化硫、一氧化碳、总有机碳、多氯二苯并对二英、多氯二苯并呋喃和金属等物质减排的最佳可得技术的进一步信息，可查阅水泥工业最佳可得技术的参考文件。⁴⁶ 但这一解决方案遭到了质疑，主要原因有以下两点：

- (a) 将轮胎用于能源开发减少了将其作为高附加值产品用于其他用途的可能性。应根据废物处理层级进行评估。显然，在能够实现轮胎的再次利用或材料回收的情况下，这些备选办法是首选的，但始终应以生命周期的方法进行评估，将废物处理替代途径和自然资源的替代纳入考虑；
- (b) 对燃烧过程中潜在排放的关切。

205. 欧洲联盟方面，第 2000/76/EC 号废物焚化指令规定，从 2008 年起执行更低的排放限值。其结果是达不到低排放限值的水泥窑将停止使用。这些更为严格的限制将对利用湿法工艺的水泥窑产生很大影响，这些水泥窑处理了约 20% 的用于水泥工业的废轮胎。

206. 另一个反对将石油焦等传统化石燃料用作燃料的因素与二氧化碳的排放有关，这一因素也变得日益重要。目前，水泥工业所产生的排放量当中约有 40% 来自于化石燃料的燃烧。据预测，到 2020 年，水泥的需求将在 1990 年的水平上增长 180%。作为水泥可持续发展倡议的一部分，水泥工业的目标是尽管需求量有所增长，仍将排放量保持在 1990 年的水平。这意味着将削减约 40% 的二氧化碳排放量。⁴⁷

8. 发电厂的协同焚化

207. 根据 Menezes，⁴⁸ 焚化是在 800 °C 到 1,300 °C 高温下的热氧化过程，用以消除有机废物，减小体积和毒性。不论为何目的而进行焚烧，都必须根据立法严格执行排放控制。

45 世界促进可持续发展工商理事会/科学及工业研究基金会，“水泥工业中持久性有机污染物的形成和排放”。2006 年 1 月。

46 European Commission, May 2010。

47 气候变化/最终报告 8 / 2002 年 / 第 24 页——巴特爾研究院/世界可持续发展工商理事会。

48 Menezes (2006)。

208. 在焚化过程中严格控制诸如燃烧温度、停留时间、湍流（表示氧气和废物的混合程度，应达到最佳化以增进分子分解）、氧气浓度和微粒直径等各种变量是至关重要的。

209. 工厂焚烧弹性体（如轮胎或其他物质）应使用最先进的技术，以避免因聚合物中所用的不同种类和浓度的添加剂而产生多种排放物。由弹性体焚烧产生的气体具有很高的毒性，因此需要加以处理。二恶英、呋喃和多环芳烃都是焚烧过程的副产物，由于这些物质对人类健康和环境会造成严重危害，需要进行特殊控制。除轮胎外，煤炭和石油等燃料的焚烧也可能会产生大量具有潜在危害的物质，这意味着焚烧过程必须在适合的焚烧条件和排放控制下进行，以符合所有适用条例。

210. 例如，焚化是一项需要大量资金投入且面临公众强烈反对的技术。许多工厂都经历了运转上的问题，妨碍了可靠的电力供应。焚烧属于资本密集型技术。用其他固态燃料替代现有焚烧单位中的一部分轮胎燃料，通常需要对合适的计量设备进行有限投资，以控制轮胎燃料的添加率。很少有系统是专门针对废弃轮胎的焚烧的，当这些系统用于发电时需要大量资金，主要是因为其经济规模相对较小。由于其中一些工厂主要利用木材和其他可再生能源为系统供能，已经面临经济可行性问题。

211. 许多焚化装置因为这些问题而被关闭，包括 Gummi-Mayer（德国）、Sita-Elm Energy（联合王国）和 Modesto tyres（加利福尼亚）。仍在继续运转的有 Exeter（美国）、Marangoni（意大利）和 Ebara（日本）。

参考文献

- ALIAPUR et al. (2007). Environmental and health assessment of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf. ALIAPUR, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), Fieldturf Tarkett, EEDEMS.
- BORGES, Sonia Marta dos Anjos Alves, "Importância Epidemiológica do Aedes albopictus nas Américas", Master's Thesis, Faculdade de Saúde Publica, São Paulo, 2001.
- California Environmental Protection Agency (US), "Integrated Waste Management Board, Increasing the Recycled Content in New Tyres 21" (2004).
- California Integrated Waste Management Board – CIWMB, 2007. "Evaluation of Health Effects of Recycled Waste Tires in Playground and Track Products ". Contractor's Report to the Board. January, 2007.
- Calrecovery Inc. – "Evaluation of Waste Tyre Devulcanization Technologies", December 2004 <http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/Tires/62204008.pdf>.
- Caltrans. Asphalt Rubber Usage Guide. "Materials Engineering and Testing Services-MS #5." Office of Flexible Pavement Materials. January 2003. http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/pubs/Caltrans_Asphalt_Rubber_Usage_Guide.pdf
- CAMPONELLI, Kimberly M. et al. - Impacts of weathered tire debris on the development of *Rana sylvatica* larvae. *Chemosphere* 74 (2009) 717-722.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2004). Status of Activities Related to Dioxins and Furans Canada-wide Standards. www.ccme.ca/assets/pdf/d_f_2004_sector_status_rpt_e.pdf.
- CHESTER, G. Moore & Carl J. Mitchell, "Aedes albopictus in the United States: Ten-Year Presence and Public Health Implications", *Emerging Infectious Diseases*, Volume 3, No. 1 (1997). <ftp://ftp.cdc.gov/pub/EID/vol3no3/adobe/moore.pdf>.
- Climate Change /Final Report 8 / 2002 /Pg 24 - Battelle Institute / World Business Council for Sustainable Development.
- Directive 1999/31/CE.
- DTC & IFEU 2008: Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: recycling in asphalt and incineration in cement kilns. Executive summary.
- Environmental Health Practitioner, "Biting Back", quoting Jolyon Medlock, Health Protection Agency, UK, when referring to the dissemination of *Aedes albopictus* in the United States. December 2004, at 368-371. http://shop.cieh.org/ehp/public_health/articles/biting_back.htm.
- ETRMA – "Lifecycle assessment of an average European car tyre". Préconsult for ETRMA, 2001.
- European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries. May, 2010. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download_CLM.cfm
- FABES 2006: Emission study on asphalt with 'Road+'. Investigation Report. FABES 2005: Migration Study on Asphalt Modified with Rubber. Heiden Labor 2007: Untersuchungsbefund. (Emissions from recycled rubber modified asphalt).
- FIGUEIREDO, Luiz Tadeu Moraes, "Dengue in Brazil: Past, Present and Future Perspective", *Dengue Bulletin*, World Health Organization, Volume 27, p. 25, at 29 (2003); World Health

Organization, Case Fatality Rate (%) of DF/DHF in the South-East Asia Region (1985–2004) (2004).

Foundation for Scientific and Industrial Research (SINTEF). (2006). Formation and Release of POPs in the Cement Industry: 2nd Edition. Prepared for the World Business Council for Sustainable Development – Cement Sustainability Initiative.
http://www.wbcsd.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation_release_pops_second_edition.pdf.

Gert-Jan van der Have, Recycling International, April 2008, p. 40-43.

Health Canada, on http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/media/advisories-avis/_2001/2001_75-eng.php.

Health Protection Agency (UK), Chemical Hazard and Poisons Report 8 (2003) (“UK – Chemical Hazard Report”).

Holcim, GTZ - 2006.

HR Wallingford. “Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering - Guidance for planning, implementation and maintenance”. March 2005.
<http://www.aircrafttyres.com/images/Hergebruik%20banden.pdf>.

HYLANDS, K.N. Shulman, V. “Civil Engineering Applications of Tyres”. Reporting VR 5. Viridis. 2003. Copyright® <http://www.viridis.co.uk/>.

Impact environnemental sur l’air et sur l’eau. SNCP 2007. “Incendie dans un entrepôt de stockage de pneumatiques équipé d’une installation sprinkler”. The study can be found on http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat_sprinkle.pdf. The publication on the same subject for installations without sprinkler installation can be found on http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat_non_sprinkle.pdf.

Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, § 1038(d), Pub. L. 102-240, 105 Stat. 1914 (1991); NHS Designation Act of 1995, § 205(b), Pub. L. 104-59, 109 Stat. 588 (1995).
<http://owr.ehnr.state.nc.us/ref/35/34652.pdf>.

INTRON 2008: Follow-up study of the environmental aspects of rubber infill. A laboratory study (perform weathering tests) and a field study. Rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf.
<http://www.syntheticurfCouncil.org/associations/7632/files/Environmental%20Study%20Report-FieldTurf-2007.pdf>.

INTRON et al. (2007) - “Environmental and Health Risks of Rubber Infill: rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf.”

KARPETSKY, Timothy. “Resonance disintegration produces ultrafine carbon products from pyrolysis char for use in printing inks”, Paint India vol. 51, no12, pp. 73-80, 2001.

KENNEDY, Donald & Marjorie Lucks, “Rubber, Blight, and Mosquitoes: Biogeography Meets the Global Economy”, Environmental History, Volume 4 at 369 (1999)
http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3854/is_199907/ai_n8871885/print.

KOBAYASHI, M. et al., “Analysis of Northern Distribution of Aedes albopictus (Diptera culidae) in Japan by Geographical Information System”, Journal of Medical Entomology, Volume 39, No. 1, at 9 (2002).
<http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/esa/00222585/v39n1/s2.pdf?expires=1213041982&id=0000&titleid=10266&checksum=478931A74C1B3266EC5E097FF28C6C3E>.

Literature Study on substances leached from shredded and whole tyres (published June 2005 by BLIC – European Association of the Rubber Industry).

Marwood, C., Kreider, M., Ogle, S., Finley, B., Sweet, L., Panko, J. "Acute aquatic toxicity of tire and road wear particles to alga, daphnid, and fish". Ecotoxicity. 2011.

MENEZES, "Evaluation of the Emissions from the Thermal Degradation of Tires". 2006 – Rio de Janeiro.

http://fenix2.ufjf.br:8991/F/NKH1811JC51JABCEP5X6DQ59UMF15M1EE11KIIIEAMK2XN71AQE-01259?func=short-0&set_number=851764.

Müller, E. (2007). Investigations into the behaviour of synthetic surfaces exposed to natural weather conditions. Swiss Federal Office of Sport BASPO, BASF, Qualifloor, Gezolan AG, Institut für Sportbodentechnik, Swiss Federal Office for Environment BAFU, Lörrach, Office of Water Conservation and Waste Management, WALO.

MWH. July 2004. Ministry for the Environment. "End-of-Life Tyre Management: Storage Options Final Report for the Ministry for the Environment".

<http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/end-of-life-tyre-management-jul04/end-of-life-tyre-management.pdf>.

Wik A, Dave G (2005) Environmental labeling of car tires—toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method. *Chemosphere* 58:645–651

Wik A (2007) Toxic components leaching from tire rubber. *Bull. Environ Contam Toxicol* 79:114–119.

National Approach to Waste Tyres, 2001

(<http://www.environment.gov.au/settlements/publications/waste/tyres/national-approach/pubs/national-approach.pdf>).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Department of Health and Human Services, "Crumb-Rubber Modified Asphalt Paving: Occupational Exposures and Acute Health Effects" vi (2001). http://www.asphaltrubber.org/ari/Emissions/NIOSH_2001.pdf.

O'SHAUGHNESSY VO, Garga VK. (2000) "Tire-Reinforced Earthfill". Part 3: Environmental Assessment. *Canadian Geotechnical Journal* 37: 117-131. https://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/RPAS/RPViewDoc?_handler_=HandleInitialGet&journal=cgj&volume=37&calyLang=fra&articleFile=t99-086.pdf&secure=true (<http://ieg.or.kr:8080/abstractII/M0203701008.html>).

OECD (2004): Draft Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management (ESM) of Waste. C(2004)100.

[http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C\(2004\)100](http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C(2004)100).

OECD (2007); Guidance manual for the implementation of the OECD recommendation C92004)100 on environmentally sound management of waste.

<http://www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf>.

Ohio Department of Natural Resources, "Recycling Tyres : Problems with wasting scrap tyres: Disease" Center for Disease Control and Prevention, *Aedes albopictus* Infestation – United States, Brazil, Morbidity and Mortality Weekly Report, 8 August 1986.

Questor Centre – "New Products Incorporating Tyre Materials", Investment Belfast, 2005. <http://www.investmentbelfast.com/downloads/Full%20Circle%20Final%20Report.pdf>.

Recyc-Quebec. 2001-2008 "Program for the Emptying of Scrap Tire Storage Sites in Québec - Normative Framework" (http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzzzzzzzcn_pro182.pdf).

REID, J M and M G Winter (2004). "The Use of Post-Consumer Tyres in Civil Engineering". *Used/Post Consumer Tyres*, Editors MC Limbachiya and JJ Roberts, 195-202. London Thomas

Telford. <http://www.northerntyre.com/01%20The%20Use%20of%20Post-Consumer%20Tyres%20in%20Civil%20Engineering.PDF>.

REISMAN, Joel. I. "Air Emissions from Scrap tyre Combustion". United States National Risk Management Environmental Protection Research Laboratory. Agency Cincinnati, OH 45268. November 1997.

RIAZ AK, Ahmed S. (2001) "Recycling of Shredded Rubber Tires as Road Base in Manitoba: A Case Study". 2001 An Earth Odyssey. University of Manitoba, Canada.

Scrap Tire Recycling in Canada: From Scrap to Value/Recyclage des pneus hors d'usage au Canada :

La transformation des pneus hors d'usage en produits à valeur ajoutée
http://www.catraonline.ca/pdf/Recyc_2006_Pneus.pdf.

SHEEHAN, P.J. et al (2006) - "Evaluating The Risk To Aquatic Ecosystems Posed By Leachate From Tire Shred Fill In Roads Using Toxicity Tests, Toxicity Identification Evaluations, And Groundwater Modeling".

SHEERIN, John, Chair of Scrap tyre Committee of Rubber Manufacturers Association, "Markets & Trends in the US Scrap tyre Industry", presentation at a meeting of the Canadian Rubber Association, 20 October 2004, at slides 13, 23

SINTEF – "Formation and Release of POPs in the Cement Industry (Second Edition)". World Business Council on Sustainable Development Foundation for Scientific and Industrial Research (SINTEF). January, 2006.

SIQUEIRA, João Bosco et al., "Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever, Brazil, 1981-2002", Emerging Infectious Diseases, Center for Disease Control and Prevention (US), Volume 11, No. 1 (2005).

Solari, Alfredo. BID America, <http://www.iadb.org/idbamerica/index.cfm?thisid=1403>.

Specialist: Michael Playdon, Columbus McKinnon, February 2004.

<http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/end-of-life-tyre-management-jul04/html/table8-1.html>.

STEPHENSON, Eirikur et al., Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 22, No. 12, pp. 2926–2931, 2003.

TEXEIRA, Maria da Glória. "Dengue and dengue hemorrhagic fever epidemics in Brazil: What research is needed based on trends, surveillance and control experiences," Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 15, Pg 1307 -1315, 2005.

Tyres in the Environment, at § 4.4 ("The properties of the recycled rubber are not as good as the virgin material, as it has already been vulcanized. The use of recycled rubber limits the properties of the final product .. [and causes] a one-percent reduction in the properties of the final product for every one-percent of substitution ...").

U.S. Environmental Protection Agency – Wastes – Resources Conservation – Common wastes & Materials – Scrap Tires
http://www.epa.gov/osw/conservation/materials/tires/civil_eng.htm#roads.

UBA (2006) Einsatz von Sekundärbrennstoffen (UBA texte 07-06)
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3011.pdf>.

United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods (Model Regulations) (UNECE, 2003a – see annex V, Bibliography) or later versions should be used.

University of Rhode Island, Office of Mosquito Abatement Coordination, Mosquitoes, "Disease and Scrap Tyres".

US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Crumb Rubber Modifier.

VDZ(2008) Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2007. http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/Umweltdaten/Umweltdaten2007_d_Final_WEB.pdf.

WHO Dengue Fact Sheet.

WHO, 2nd edition, 1997; can be found on <http://www.who.int/topics/dengue/en/>.

World Business Council on Sustainable Development / SINTEF, "Formation and Release of POP's in the Cement Industry". January, 2006.

http://www.wbcsd.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation_release_pops_second_edition.pdf.

World Health Organization, "Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever". (2002)" ("WHO Dengue Fact Sheet") <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>.

World Health Organization, "Guidelines for Treatment of Dengue Haemorrhagic Fever in Small Hospitals" ix (1999) http://www.searo.who.int/LinkFiles/Dengue_Guideline-dengue.pdf

YAMAGUCHI, E. "Waste Tyre Recycling", Master of Engineering Project, University of Illinois, Urbana-Champaign , October 2000 , <http://www.p2pays.org/ref/11/10504/>.

Källqvist, T. (2005). Environmental risk assessment of artificial turf systems. Norwegian Institute for Water Research: Oslo.

Verschoor, A. J. (2007). *Leaching of zinc from rubber infill on artificial turf (football pitches)-RIVM report 601774001/2007. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Holland.*

Zhang, J. J., Han, I. K., Zhang, L., & Crain, W. (2008). Hazardous chemicals in synthetic turf materials and their bioaccessibility in digestive fluids. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 18(6), 600-7.

附录一

公共卫生文献

登革热主要通过雨水收集容器（尤其是旧轮胎）中的蚊虫繁殖传播。⁴⁹一个轮胎在一个夏季可以成为数千蚊虫的繁殖地。⁵⁰美国疾病防控中心认为，“可以通过监测、清除滋生地（特别是轮胎）、中断轮胎的州际流散以及在滋生地审慎使用杀虫剂等各种方案控制感染。”消灭蚊虫方案成本高昂，而且只能使问题最小化，而不是解决问题。

一个例子就是白纹伊蚊（也称作亚洲虎蚊或丛林日间蚊）。这一物种在 20 世纪 80 年代中期意外地通过旧轮胎航运从日本运输至西半球。⁵¹自此以后，该物种就在美国数州以及美洲其他国家繁殖，包括阿根廷、巴西、古巴、多米尼加共和国、危地马拉和墨西哥。⁵²因此，这一物种的传播明显得益于各州和国家之间旧轮胎的运输。

运输旧轮胎和废弃轮胎的风险众所周知，加拿大、联合王国和美国的专家以及环保部门也提醒人们注意这些风险。联合王国的一位公共卫生官员在提及白纹伊蚊在美国的传播时，将运输问题的特点概述如下：

“通过轮胎的内部转移，你可以监测到这些蚊虫沿州际高速公路系统运动，这真是非常狡猾。”⁵³

日本在 2002 年一项研究表明，被运送去做最后处置作业的轮胎（这里指水泥窑）也会受到蚊虫的侵扰：

“在蚊虫生存的最北端界线上，位于日本东北部地区东部的东山有一家水泥厂，在那里旧轮胎被用作燃料和原料。这些轮胎通常是从周边大城市运来的，可能也受到了蚊虫的侵扰。事实证明，这种经济活动与白纹伊蚊的传播有着紧密联系。”⁵⁴

美国疾病控制与预防中心一项研究报告称：

“在众多同类昆虫中，白纹伊蚊是一种主要的叮咬害虫，它对至少 22 种虫媒病毒而言都是符合要求的实验室病媒，包括许多具有重大公共卫生意义的病毒。对于在很大程度上依赖人类活动来实现迁移的物种来说，如翻新、回收或其他用途的废弃轮胎的商业转移，传播和主要运输通道之间的假定关系是有可能存在的。在 28 处没有位于州际公路系统但却受

49 世界卫生组织，“登革热和登革出血热（2002 年）”（“世卫组织登革热概况介绍”）。

50 美国俄亥俄州自然资源部（1986）。

51 Yamaguchi, E. (2000)。

52 Borges, Sonia Marta dos Anjos Alves (2001)。

53 “*Biting Back*”, Environmental Health Practitioner (2004)。

54 Kobayashi, M. *et al* (2002)。

到蚊虫侵扰的地方中，有许多都是大型的轮胎翻新公司、其他涉及大量废弃轮胎的企业或非法的轮胎堆积场。”⁵⁵

与登革热流行病有关的数据不容忽视：全世界每年约有 5,000 万人感染该疾病，50 万人住院治疗，1.2 万人死亡。⁵⁶世界卫生组织认为登革热是“最重要的新发热带病毒性疾病”和“主要的国际公共卫生问题”。⁵⁷其症状包括高烧、剧烈头痛、肌肉疼痛和出血，通常随后还伴有肝脏浮肿和血液循环不良。⁵⁸如果不接受治疗，登革出血热的死亡率为 5%至 15%，⁵⁹该疾病是亚洲许多国家婴儿死亡的主要原因，亚洲也是登革出血热的发病源头。

在这方面，巴西是一个典型案例。登革热一度被认为已经消灭，但在 20 世纪 90 年代又重新出现。世界卫生组织称，登革热现已达到爆发性传染病级别。⁶⁰1994 年至 2002 年，此次的登革热疫情在巴西不断恶化，2002 年达到了 79.4 万例的高峰。与以往的地方性疾病流行不同，这一次的疫情扩展到了全国。⁶¹从 2000 年至 2002 年，登革出血热病例增长了 45 倍，⁶²最高死亡率为 4.3%，几乎是东南亚的 8 倍。⁶³巴西所报告的病例占到 1998 年至 2002 年美洲报告病例的 70%。⁶⁴如今，四种登革热血清型中的三种同时在巴西 27 个州的 22 个州传播。⁶⁵这些血清型结合起来增加了并发症和死亡的可能性，因此很令人担忧。由于巴西和其他国家间的航空和航海运输，第四种血清型（DEN-4）也即将出现。自巴西开展了深入的公共认识活动之后，2006 年 1 月至 10 月共报告 280,511 例登革热病例，死亡 61 人。

即便是熏蒸也无法充分有效地消除堆积轮胎中的卵和幼虫。抑制成蚊必须使用成虫杀虫剂，这些都是对环境有害的有毒化学品。此外，杀虫剂通常难以充分渗入堆积轮胎到达蚊虫滋生处。⁶⁶原因是蚊虫主要集中在堆积轮胎的底部，熏蒸触及蚊虫时已无法维持足够高的浓度。因此，蚊虫通常会对杀虫剂产生抗体。根据 Solari（2002 年），⁶⁷熏蒸在抗击登革热方面成本高昂而效果不佳：“熏蒸与政府反应能力有关，即使熏蒸只能杀死成年蚊子，而且在一周之内幼虫便会成长，我们又回到原点。”

因此，旧轮胎的处置就构成了蚊类媒介传播的风险因素，是公共卫生方面的一个问题，就热带国家而言尤为如此。由于旧轮胎还易寄居啮齿动物，导致情况进一步恶化。

55 Chester, G. Moore and Carl J. Mitchell (1997).

56 Texeira, Maria da Glória (2005).

57 世界卫生组织（1999 年）。

58 世卫组织登革热概况介绍。

59 Donald Kennedy and Marjorie Lucks (1999).

60 世卫组织登革热概况介绍。

61 Siqueira, João Bosco *et al* (2005).

62 同上。

63 Figueiredo, Luiz Tadeu Moraes (1985–2004) (2004).

64 Siqueira, João Bosco *et al* (2005).

65 同上。

66 University of Rhode Island, Office of Mosquito Abatement Coordination, Mosquitoes, Disease and Scrap tyres.

67 Solari, Alfredo. BID América.

公共卫生的另一个风险是无管制的轮胎露天焚烧，它将导致对人类健康有害的化学混合物的排放，如一氧化碳、氧化硫、氧化氮、多环芳烃以及持久性有机污染物，如多氯二苯并对二英和多氯二苯并呋喃，六氯苯以及多氯联苯。减少或消除此类物质的意外排放遵循《斯德哥尔摩公约》第 5 条和附件 C 的规定。但如果焚化是在良好控制的条件下进行，如水泥窑中的协同焚化，则另当别论。

附录二

沥滤文献

A 部分：关于已审查的轮胎沥滤实地考察的摘要

下文的表 1 为关于已审查的轮胎沥滤实地考察的摘要。

表 1：已审查的轮胎沥滤实地考察摘要

论文	日期	地点	方法	沥滤特性
Humphrey	1997 年	US	在两年半的时间里收集缅因州地下水位之上的轮胎碎片、地下水或沥滤液，有控制井。	物质< PDWS，物质< SDWS，除了铁和锰。没有检测到有机物。
Horner	1996 年	UK	从伦敦西部有 10 年历史的堆积轮胎存处采取土壤样本。	堆放处底部土壤中的镉、铅和锌含量升高，并随距离呈指数倍下降。
O'Shaughnessy	2000 年	CA	在 2 年的时间里收集轮胎加固的填土、沥滤液，无控制井。	对利用轮胎建造的位于水位线以上的原型试验堤进行的实地监测表明，在过去 2 年里对地下水水质没有产生重大不利影响。 ⁶⁸
Humphrey	2001 年	US	在两年半的时间里收集缅因州地下水位之下的轮胎碎片、沥滤液和下游地下水，有控制井。	在现场发现最高水平的污染，污染在下游近 3 米的地方逐渐减少。现场物质< PDWS。现场物质< SDWS，除了铁、锰、锌和一些有机物。
Humphrey	2000 年	US	在 5 年的时间里收集缅因州地下水位之上的轮胎碎片、沥滤液，有控制井。	PDWS 物质没有改变。现场的铝、锌、氯和硫酸盐没有增加。现场的铁和锰有所增加。现场的有机物水平可以忽略不计。
Riaz ⁶⁹	2001 年	CA	收集马尼托巴道路基底层的碎条轮胎、地下水，无控制井。	现场下方物质< PDWS，现场下方物质< SDWS，除了铝、铁和锰。没有检测到有机物。

参考资料：报废轮胎管理 – MWH，新西兰，2004 年

注：

1. 表中所用的地名缩略语：CA – 加拿大；UK – 联合王国；US – 美利坚合众国。

⁶⁸ O'Shaughnessy VO, Garga VK (2000)。

⁶⁹ Riaz AK, Ahmed S. (2001)。

2. 表中所用的普通缩略语：PDWS，美国一级（健康）饮用水标准；SDWS，美国二级（感官）饮用水标准；GWT，地下水位；GW，地下水。

如第 I/C.2/(b)节所述，各种可能影响轮胎沥滤液化合物在土壤、地表水和地下水中的沥滤率和/或浓度的因素如下：⁷⁰

(a) **轮胎规格：**从完整轮胎中沥滤的速度可能要低于从轮胎碎片或碎条中沥滤的速度。这是由于表面积和体积比率的不同；

(b) **裸露钢材的量：**如果钢材裸露在外（例如在轮胎碎片或碎条中），那么与钢材没有裸露出来的完整轮胎相比，锰和铁的沥滤有可能会更快；

(c) **化学环境：**在酸性环境下，金属的沥滤可能会更快，而在基本环境下有机化合物的沥滤可能更快；

(d) **土壤的渗透性：**如果土壤具有浸透性，则沥滤可能加快；

(e) **到地下水位距离：**到地下水位的垂直距离越远，地下水污染的可能性越小；

(f) **到轮胎储存地距离：**距轮胎储存地下游距离越远，土壤和地下水中污染物的浓度越低；

(g) **与水接触的时间：**轮胎与水接触的时间越长，地下水污染的风险越大；

(h) **通过土壤的垂直水流：**通过土壤的水流越大（例如降雨），污染物稀释的程度越高；

(i) **水平的地下水水流：**地下水水流越大，污染物运移范围越广；以及

(j) **现场沥滤出的化合物：**当钢材裸露在外时，地下水中锰和铁的水平较高。地下水中铝、锌和有机化合物的水平可能升高，土壤中锌、镉和铅的水平可能升高。

在 Sheehan, P.J. 与其他人的一份研究中（2006 年），⁷¹采用了毒性检测、毒性鉴定评价和地下水模型来确定在何种情况下可以使用轮胎碎条作为路基填方，且不会对邻近水体的水生生物造成风险。发现铁、锰和若干其他化学品在轮胎碎条沥滤液中的浓度升高。但是对从水位以上和水位以下的轮胎碎条中收集的沥滤液的研究结果是不同的。研究总结认为，对溶解氧浓度或 pH 值较低的设备而言，地下水模型的结果显示，在各种土壤和地下水条件下，需要更长的缓冲距离（大于 11 米）通过平流和分散过程将沥滤液稀释至无毒水平。

表 2 介绍了有关人工运动场中轮胎颗粒使用的研究，审查了这些颗粒沥滤液对环境的影响。

表 2

有关人工运动场中轮胎颗粒使用的研究

70 同上，MWH. July 2004。

71 Sheehan, P.J. *et al* (2006).

作者	结论
Källqvist (2005 年)	风险评估显示，锌富集对接收人工草皮球场径流的地表水造成显著的局部环境影响风险。此外，预计烷基苯酚和辛基苯酚富集尤其超出所采用的设想方案（在受体中径流以 1 比 10 的比例稀释）中的环境影响限值。预计来自人工草皮系统材料的化学品沥滤将缓慢减少，因此环境影响将在多年时间内发生作用。然而，从普通人工草皮球场沥滤到水中的污染成分总量相对较少，因此预计只会产生局部影响。
Aliapur 等 (2007 年)	- 在现场测试和实验室测试中，过滤液的物理化学结果表明，潜在的污染性物质在动力方面与所使用的颗粒类型无关。分析检测到的微量物质或化合物在表面或颗粒聚合物基体便已溶解，浓度随着时间不断下降； - 历经一年的实验之后，根据目前的研究，已查明的 42 种物理化学参数结果以及生态毒理学测试结果表明，经过人工草皮的水，无论是用于填注原始颗粒弹性体或旧轮胎弹性体，在中短期都不会影响水源。
Intron 等 (2007 年)	重金属和有机化学物（如回收汽车轮胎中的邻苯二甲酸盐和多环芳烃）的沥滤液，作为人工草皮系统的填充物，符合荷兰为土壤和地表水质量设定的限值。锌的沥滤液除外，但预计在 10 年内不会超过限值。
Müller, (2007 年)	E. 在蒸渗实验和洗脱测试中，溶解有机碳和有机氮最初减少速度非常快，随后放缓，直至最小值，不同物质所需的时间不同。一年之后，在试验末期，大部分物质的溶解有机碳和有机氮的数值已降至限值以下； - 颗粒中极低的多环芳烃浓度与空白样品（没有表面的砾石层）中的浓度相同；与环境（普遍存在的）污染浓度对应。
Verschoor (2007 年)	估计 800 毫克/平方米/年的锌负荷水平将会在 3 年内超过《荷兰建筑材料法令》中规定的临界负荷值（2100 毫克/平方米/100 年）。寿命为 10 年的填充物将会超过临界负荷值的 4 倍。超出临界负荷值意味着会给土壤、地表水或地下水带来潜在风险。处理多种“接收”层的接触评估确认了这一点。
Zhang (2008 年)	- 橡胶微粒所含的多环芳烃水平通常超过基于健康的土壤标准，尤其是较新的合成草皮场地。一般而言，多环芳烃水平似乎会随着场地使用年限增加而降低。然而其衰减趋势可能会由于添加新的橡胶微粒来补偿材料损失而变得复杂。 - 橡胶微粒中所含的多环芳烃在唾液、胃液和肠液等人体消化液中的生物可及性较低（即难以溶解）。 - 发现锌含量远远超过土壤限值。 - 根据土壤标准，所有样本中的铅含量（53 毫克/千克）均较低。然而，橡胶微粒中的铅在人体胃液中的生物可及性十分高。对一个人造草纤维样本的分析显示铬含量为 3.93 毫克/千克，稍微有点令人担忧，并显示人体胃液和人体肠液中存在生物可及性较高的铅成分。
Intron 2008 年	橡胶粉风化对人工草皮的技术寿命（10-15 年）的影响不会导致回收汽车轮胎制造的橡胶粉中的锌沥滤超过溶解锌在地表水的阈值或有关向土壤排放锌的《土壤质量法令》中的衍生阈值。

B 部分：将材料用作工程用途的可滤取决定因素（在联合王国适用）

下文的表 2 为将材料用作工程用途的可滤取决定因素（在联合王国适用）

表 2 将材料用作工程用途的可滤取决定因素（在联合王国适用）

用途	化学特性	限值 (微克/升，除非另有说明) *
-填埋场工程	pH 值	5.5–9.5
	传导率	1,000 微秒/厘米
	溶解有机碳	30 毫克/升
-轻质填装制品和土壤	氨	0.5 毫克/升
	砷	10
-加固物	镉	1
	铬（共计）	50
-桥台	铅（共计）	50
	汞	1
-排水系统应用	硒	10
	硼	2000
-地面障碍	铜	20
	镍	50
-噪声屏障	锌	500
	氰化物（无）	50
-隔热	硫酸盐	150 毫克/升
	硫化物	150
-轮胎产品和铺面	硫磺（无）	150
	苯酚	0.5
	铁	100
	氯化物	200 毫克/升
	多环芳烃	0.2
-侵蚀防控（河流及航	如上（如必要）	如上（如必要）
-人工鱼礁		

* 限值是指根据英格兰和威尔士环境局的内部指南，无衬里填埋区内所填埋材料的可接受浓度。

（英格兰和威尔士环境局—— www.environment-agency.gov.uk）

注

用于工程应用的材料，其化学特性的限值取决于现场的具体因素和现场所使用的密封系统的类型。

管理者将采用一种基于风险的方法。一般而言，污染物的浓度应在地方管理指南的规定范围之内。所提供的限值是以环境局提出的限值为依据的，以便确定将受污染材料掩埋在无衬里填埋区的可接受性。

关于确定轮胎是否适合在今后的工程应用中使用，可沥出浓度将发挥部分作用。此外，如果材料的化学分析在这些阈值之下，则有理由推断该材料将适用于指定用途，并且对人类健康或环境没有风险。但是，在开始任何工程之前必须征得管理者的同意，必须符合目前的废物管理许可证制度。

受控水源的污染由联合王国环境管理者负责控制。但是，可能需要从英国环境、食品及农村事务部获得进一步许可，才能将废料置于海中。管理者可要求对上文所列化合物中任何拟用于水系应用的材料进行沥滤性测试，主要是为了保障材料不对地下水、地表水或海洋水域造成伤害。对饮用水供应的潜在影响也受到了关注。

附录三

文献记录的轮胎火灾

下表列出由于轮胎引起的火灾以及与之相关的不利影响。

地点	年份	持续时间	大约的轮胎数量	事件管理	不利的环境影响	原因
联合王国， 罗奇代尔	1972 年 1975 年 4 月 1975 年 7 月	1 天 30 天 10 天	9,000	无报告	供水水库仍然关闭	疑似纵火
美国，弗吉尼亚州，温切斯特，莱茵哈特	1983 年	燃烧 9 个月， 闷烧 18 个月	600-900 万	无报告	回收了 80 万加仑热解油。报告的土壤污染深达 100 英尺。烟柱高 3,000 英尺，有 3 个州报告称出现放射性微粒沉降	疑似纵火
联合王国， 塞尔比	1987 年	80 天	>1,000	无报告	从现场清除了 21 加仑油性沥滤液作为预防措施，将饮用水取水口封闭 2 天	疑似纵火
联合王国， 波厄斯郡	1989 年	14 年	1,000 万	无报告	监测附近溪流中的锌、铁和苯酚水平。含量水平随降雨而增加。黑色浓烟释放出苯、二恶英和微粒	疑似纵火
加拿大 7， 安大略，黑格斯维尔	1990 年 2 月	17 天	1,260 万 ⁷²	1700 人被疏散 ⁷³ ，长期监测仍在进行	70 万升径流油进入土壤。河水被污染（多环芳烃）	疑似纵火
加拿大 7， 魁北克，圣·阿玛布莱	1990 年 5 月	6 天 ⁷⁴	350 万 ⁷⁵	150 人被疏散，1,200 万加拿大元用于现场净化和恢复 ⁷⁶	轮胎燃烧释放出的油体可能污染土壤和水源	纵火为潜在原因
联合王国， 约克郡	1991 年	无可 用数 据	> 1,000	无报告	进入当地溪流的苯酚含量较低	无可 用数 据
联合王国， 康沃尔	1992 年	1 天	无可 用数 据	无报告	在径流水中发现苯酚和多环芳烃	疑似纵火
美国，宾夕法尼亚州， 华盛顿	1997 年 2 月	14 天	170 万	500 名居民被疏散，2 所学校关闭	无报告	疑似纵火

72 Source (**) Scrap tyre Recycling in Canada : From Scrap to Value/Recyclage des pneus hors d'usage au Canada : La transformation des pneus hors d'usage en produits à valeur ajoutée

73 同上。

74 Recyc-Quebec. 2001-2008 Program for the Emptying of Scrap Tire Storage Sites in Québec - Normative Framework。

75 同上。

76 同上。

美国，亚利桑那州，希拉河居留地	1997 年 8 月	7 天	300 万条碎条	对地面污染进行监测	无报告	疑似纵火
联合王国，柴郡	1999 年	不详	500	无报告	径流油污染现场	疑似纵火

资料来源：《化学品危害及毒性司的化学品危害及毒性报告》，2003 年 12 月。