

环境中轮胎磨耗颗粒的产生及影响

Anna Wik, Göran Dave

(Department of Plant and Environmental Sciences, University of Gothenburg, Gothenburg 46140530, Sweden)

中图分类号: TQ330.7⁺2; X783.3 文献标志码: B 文章编号: 1006-8171(2014)09-0528-11

消费产品和货物释放的污染物已经成为当今西方国家占支配地位的污染源。高速公路径流是水中沉积物、金属和碳氢化合物的主要来源,并且来自英国的研究数据表明,估计水中污染物总量的10%~12%来自高速公路径流。每条轿车轮胎在磨坏之前平均行驶40 000 km,在其使用期间约30%的胎面胶被磨耗掉进入环境中。胎面胶含有范围广泛的各种化合物,并且一些化合物能溶入水中,对水中生物产生毒性。最初研究对象是轮胎沥出物毒性,目的是评估与轮胎作为人工鱼礁使用相关的风险性。其他研究重点是与轮胎粉碎物作为填料使用相关的潜在环境问题。一些最近研究引起了人们对轮胎磨耗危害的重视。由于橡胶材料形状和尺寸不同,与轮胎磨耗颗粒相关的风险性完全不同于橡胶材料在其他应用领域中使用相关的风险性,导致从材料中渗出的潜在化合物不同,析出历程也明显不同。

本文总结和重点回顾了现有关于环境中轮胎磨耗颗粒产生的相关知识,并描述了其生态毒理效应,这些知识也被用来进行最初的风险评估。

1 胎面胶组分

各种各样的橡胶化合物在轮胎工业中被广泛应用。胎面胶主要由丁苯橡胶(SBR),顺丁橡胶(BR)和天然橡胶(NR)与炭黑或者白炭黑(作为补强助剂/填料)、油(作为软化剂和增塑剂)和硫化剂的共混物组成。在硫化过程中,相邻高分子链间形成交联网络和主要硫化键,轮胎被赋予理想的尺寸、形状和胎面设计。硫化体系要求既有促进剂提高交联速度和交联密度,又有活性剂来活化促进剂。氧化锌和硬脂酸或者硬脂酸锌都被

广泛地用作活性剂。常用的有机促进剂是次磺酰胺类和噻唑类促进剂。苯甲酸和N-亚硝基二苯胺等防焦剂有时需要被用来防止橡胶焦烧,并减缓硫化进程。二元胺和石蜡等抗降解剂被用来防止橡胶在氧气、臭氧、热或者其他因素作用下降解。表1示出了典型轮胎胎面胶中不同化合物的大概配比。当然,还有范围广泛的不同化学产品可以被用作防护剂和加工助剂,因此不同轮胎胎面胶的组成不同。

表1 轿车轮胎胎面胶组分

组分/助剂	成分	用量/份
橡胶	合成橡胶(SR)和NR	40~60
补强剂(填料)	炭黑和白炭黑	20~35
操作油/增容油	矿物油 ¹⁾	15~20
硫化体系		
硫化剂	硫黄	1
活性剂	氧化锌	1.5
	硬脂酸	1
促进剂	次磺酰胺类和噻唑类	0.5
防护剂	抗氧化剂和抗臭氧剂	1
加工助剂	塑解剂、增塑剂和软化剂	<1

注:1)主要采用多环芳烃(PAHs)含量高的芳烃油(HA-油),但越来越多地被MES和TDAE替代。

相关文献报道的每条轮胎磨耗速率为0.006~0.09 g·km⁻¹。来自英国的一个评估显示,轮胎1年中每米的磨耗总量为140 g。轮胎的实际磨耗速率取决于一系列因素,如驾驶风格、天气以及轮胎和道路特征等。轮胎在城区行驶时的磨耗速率比在高速公路上行驶时高好几倍,这是由于在城里加速、制动和转弯次数增多。因此,虽然城市行驶里程只占轮胎行驶里程的一小部分,但是轮胎的主要磨耗仍发生在城市。不同国家关于向环境中排放的轮胎磨耗颗粒的年度数据如

下:英国 5.7×10^7 kg(1999 年),德国 6.0×10^7 kg(1998 年),意大利 5.0×10^7 kg(2004 年),瑞典 1.0×10^7 kg(2003 年),丹麦 7.3×10^6 kg(2002 年),美国 5.0×10^8 kg(1978 和 2004 年)。大部分磨损橡胶以相对较大的颗粒形式释放出,沉积在道路上或者道路附近。轮胎磨损颗粒形状和形态复杂,且呈多孔性。利用裂解气相色谱-质谱法分析 12 条不同轮胎制动印痕上的橡胶以及轮胎中橡胶,发现其组成不同。在轮胎样品中发现的几个峰在制动印痕样品中没有发现,表明这些化合物或者在制动过程中丢失或者在制动后没有存留。

通过空气传播的轮胎磨损颗粒不足 5%,以气态形式扩散的磨损橡胶不足 1%。

2 环境中轮胎磨损颗粒的产生

2.1 轮胎标志

环境中几种轮胎组分被作为轮胎橡胶的标志。SBR 是轿车轮胎中最常用的橡胶,并被几位研究者用作环境中橡胶磨损颗粒的标志。全球生产的 SBR 中有 70% 以上被用于生产轮胎,这意味着其他橡胶产品所占的比例较小。轮胎工业所消耗的 NR 占全球 NR 总消耗量的 75% 以上, NR 是载重轮胎最常用的橡胶。苯并噻唑(BTs)也被用作轮胎橡胶的标志。虽然 BTs 被广泛用作防冻产品的抗腐蚀剂、杀虫剂以及摄影的光敏剂,但其用量最大的是被用作硫化促进剂。防冻产品是道路环境中 BTs 的可能来源,但是据评估,来自防冻产品的 BTs 只有轮胎释放的 BTs 总量的 0.000 4%~4%。本工作讨论的 BTs 包括 2-(4-吗啉基二硫代)苯并噻唑(24MoBT)、苯并噻唑(BT)、2-羟基苯并噻唑(HOBT)和 N-环己基-2-氨基苯并噻唑(NCBA)。中国华南三角洲输入河流中的 24MoBT 主要来自于轮胎磨损颗粒,但对于 BT,则其他来源比轮胎磨损颗粒更重要。因此,24MoBT 可能比 BT 更适合用作轮胎磨损颗粒的标志。需要注意的是,在最近 20 年内,含有 24MoBT 的硫化促进剂的使用量已经大幅降低。轮胎磨损颗粒是城市地区锌的主要来源,此外,镀锌道路设施也可能是路边锌污染物的重要来源,这使锌较少用作轮胎磨损颗粒的标志。Fauser

开发了一种方法来分析用作轮胎橡胶标志的可提取有机锌(Extr. Org. Zn),其被用作不同环境中轮胎橡胶的标志。溢出的机油被看作是可提取有机锌的唯一干扰源。除了轮胎磨损外,被用于不同地质工程领域的轮胎胶粉可能是上述提到的某些化学标志在特定场合的一个重要来源。这在回收利用废旧轮胎被用于沥青的地区尤其重要。

当前研究对道路周围环境中关于轮胎标志的可用数据进行了综合分析。以报道的环境中轮胎标志的浓度及其在胎面胶中的浓度为基础,可以计算出对应环境中轮胎磨损颗粒的浓度。表 2 总结了综合分析的结果。如果轮胎浓度已经被作者计算出,则列在表中。此外,以给出的对应报告中轮胎标志浓度为优先基础可以计算出环境中轮胎磨损颗粒的浓度,或者在作者没有指出轮胎橡胶中所用轮胎标志的情况下,可以采用 Kumata 等给出的 24MoBT 浓度或者 Rogge 等给出的 BT 浓度来计算。使用化学标志来计算环境中轮胎磨损颗粒的浓度时需谨慎。其中一些化学标志在从橡胶中释放出后容易降解。因此,使用这些化学标志计算轮胎磨损颗粒的浓度可能会导致估计不足。另一方面,从其他潜在源释放的化学标志可能导致轮胎磨损颗粒的浓度估计过量。此外,不同轮胎中各种化学标志的浓度发生变化。轮胎中化学标志的浓度是通过对市场上少量轮胎进行分析得出大部分情况下化学标志的平均浓度。对轮胎磨损颗粒浓度的估计,提供了关于不同环境中轮胎磨损颗粒的产生相对一致的描述。

2.2 道路灰尘和土壤

不同研究中报道的不同化学标志的最高浓度反映的道路灰尘中轮胎颗粒浓度范围为 $0.7 \sim 210 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。道路灰尘中轮胎磨损颗粒采用电子扫描显微镜、特征分析法和 X-射线光谱法确定。与隧道外收集的道路灰尘相比,隧道内收集的道路灰尘中轮胎磨损颗粒的浓度更高。这可能与隧道外其他物质的高稀释有关。此外,研究表明,道路灰尘中轮胎磨损颗粒的浓度随着取样点与道路距离的增大而降低,距离道路 30 m 处收集的灰尘中没有轮胎磨损颗粒存在。

不同研究所得的土壤中轮胎磨损颗粒的最高浓度表明,轮胎磨损颗粒的浓度范围为 $0.6 \sim 117$

表 2 不同环境中采用不同化学标志测试、估计和报告的轮胎磨损颗粒的最大浓度

场所/类型	浓度 ¹⁾	化学标志	国家/地区	参考文献
道路尘埃/(mg·kg ⁻¹)				
路面	72 000	锌	美国	Hopke et al(1980)
隧道内	2 700	SBR/NR	日本	Saito(1989)
隧道外	2 100	SBR/NR	日本	Saito(1989)
路旁 20 m 处	900	SBR/NR	日本	Saito(1989)
路面	35 000	BT	美国	Rogge et al. (1993)
路面	1 100	HOBT	美国	Reddy and Quinn(1997)
路面	700	SBR	丹麦	Fauser et al. (1999)
隧道内	210 000	24MoBT	日本	Kumata et al. (2000)
隧道外	124 000	24MoBT	日本	Kumata et al. (2000)
路面	56 000	NCBA	日本	Kumata et al. (2002)
土壤/(mg·kg ⁻¹)				
距道路 0 m	24 000	SBR	美国	Pierson and Brachaczek(1974)
距道路 8 m	1 000	SBR	美国	Pierson and Brachaczek(1974)
距道路 0 m	117 000	24MoBT	美国	Spies et al. (1987)
距道路 0 m	600	Extr. Org. Zn	丹麦	Fauser(1999)
距道路 30 m	100	Extr. Org. Zn	丹麦	Fauser(1999)
距道路 0 m	4 500	SBR	美国	Cadle and Williams(1978)
距道路 30 m	0	SBR	美国	Cadle and Williams(1978)
雪/(mg·L ⁻¹)	563	BT	德国	Baumann and Ismeier(1998)
道路径流/(mg·L ⁻¹)				
	87	HOBT	美国	Reddy and Quinn(1997)
	93	24MoBT	日本	Kumata et al. (1997)
	97	BT	德国	Baumann and Ismeier(1998)
	12	24MoBT	日本	Kumata et al. (2000)
	179	24MoBT	日本	Kumata et al. (2002)
	92	24MoBT	美国	Zeng et al. (2004)
河水/(mg·L ⁻¹)				
	1.6	24MoBT	美国	Reddy and Quinn(1997)
	3.6	NCBA	日本	Kumata et al. (2000)
	0.5	24MoBT	中国	Ni et al. (2008)
废水排放物/(mg·L ⁻¹)				
	1	BT	美国	Zeng et al. (2004)
下水道污泥/(mg·kg ⁻¹)				
	43 000	锌	欧洲	本研究
沉淀池水/(mg·L ⁻¹)				
	2.3	24MoBT	美国	Reddy and Quinn(1997)
沉淀池水沉积物/(mg·kg ⁻¹)				
	350	24MoBT	美国	Reddy and Quinn(1997)
沉淀物/(mg·kg ⁻¹)				
	155 000	24MoBT	美国	Spies et al. (1987)
	400	HOBT	美国	Reddy and Quinn(1997)
	3 900	24MoBT	日本	Kumata et al. (2002)
	11 000	Extr. Org. Zn	瑞典	Wik et al. (2008)
空气/(μg·m ⁻³)				
	11	SBR	美国	Cardina(1974)
	0.5	SBR/NR	美国	Cadle and Williams(1978)
	2.2	SBR/NR	韩国	Lee et al. (1989)
	7.0	BT	日本	Kim et al. (1990)
	6	SBR	美国	Pierson and Brachaczek(1974)
	5.3	NCBA	日本	Kumata et al. (2000)
	5.8	Extr. Org. Zn	丹麦	Fauser et al. (1999)
植物				
耆草/(mg·kg ⁻¹)	4 000	Extr. Org. Zn	丹麦	Fauser(1999)

注:1)对固体样品,浓度指干重。

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。研究中分析的大部分土壤试样是在道路边收集的,其组分可能与道路灰尘试样的组分没有太大差别。土壤中轮胎磨损颗粒的浓度随着取样点与道路距离的增大而迅速降低,距离道路 30 m 处轮胎磨损颗粒的浓度降幅大于 80%。距地表 3 cm 处土壤中轮胎磨损颗粒的浓度比表层土中轮胎磨损颗粒的浓度低约 40 倍。Cadle 和 Williams 估计,释放到路边的轮胎颗粒有 6 个月的聚集时间。由于土壤中轮胎颗粒降解慢,其可能被径流和风带到更远处。

由于轮胎磨损主要发生在城市,这些磨损下的橡胶可能最终汇集到污水处理厂的淤泥中。污水淤泥可能被用作农业土壤,成为土壤中轮胎橡胶的一个来源。Block 估计,一个污水处理厂锌总量的 16% 来源于轮胎磨损颗粒。假设污水处理厂淤泥中锌浓度为 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,相当于欧洲污水处理厂推荐锌浓度的上限,胎面橡胶中锌质量分数为 0.015,由此推算淤泥中轮胎磨损颗粒浓度为 $42.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.3 道路径流和受纳水

相关研究报道了道路径流中不同 BTs 的最高浓度,表明轮胎磨损颗粒浓度范围可能为 $0.3 \sim 197 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。Kumata 等分析风暴 3 个阶段中 24MoBT 浓度发现,在风暴过程中 24MoBT 浓度降低 2 倍以上,这表明道路径流中轮胎磨损颗粒的冲刷效应。以 24MoBT 和 HOBT 浓度为基础,5 个不同处的径流试样中轮胎磨损颗粒浓度为 $41 \sim 87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,而以 BT 浓度为基础,轮胎磨损颗粒浓度则降低 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这与 Zeng 等的研究结果一致,在风暴开始时以 24MoBT 浓度为基础,径流中轮胎磨损颗粒浓度为 $34 \sim 92 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;以 BT 浓度为基础,径流中轮胎磨损颗粒浓度为 $1.9 \sim 4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。径流中 BT 的浓度可能比 24MoBT 和 HOBT 低,这是由于 BT 更容易挥发。Baumann 和 Ismeier 报告中 BT 浓度高,相应的轮胎磨损颗粒浓度为 $40 \sim 97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。他们还分析了雪中 BT 浓度,发现与之对应的的轮胎磨损颗粒浓度为 $563 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这意味着轮胎磨损颗粒在雪中能聚集,则雪融水中轮胎磨损颗粒浓度高于正常道路径流。

有关受纳水中轮胎标志浓度的报道极少,表

明受纳水中轮胎磨损颗粒的浓度一般很低。Kumata 等发现在风暴过程中河水中 NCBA 和 24MoBT 达到可检浓度,而正常河流中 NCBA 和 24MoBT 的浓度低于检出限度。风暴河流中轮胎磨损颗粒浓度范围为 $0.2 \sim 3.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。Reddy 和 Quinn 发现了河水中 BT 的浓度较低或者低于检出限度。他们的研究与 24MoBT 最高浓度对应的轮胎磨损颗粒浓度为 $1.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。他们还分析了高速公路沉淀池水,发现与 HOBT 的最高浓度相对应的轮胎磨损颗粒浓度为 $6.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。一年中从 8 条河流出口处提取的水试样中 24MoBT 浓度所对应的轮胎磨损颗粒浓度范围为 $0.09 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。欧盟关于风险评估的技术指导文件(The European Union Technical Guidance Document, EU TGD)推荐评估受纳水稀释的稀释因数为 10。以有关受纳水中轮胎化合物的少量报告为基础,在评估受纳水中轮胎磨损颗粒浓度时使用该默认值看来是合理的。确定了道路径流中轮胎磨损颗粒浓度为 $0.3 \sim 179 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,从而可以推测表层水中轮胎磨损颗粒浓度范围为 $0.03 \sim 17.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。实测表层水中轮胎磨损颗粒浓度为 $0.09 \sim 6.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,在预测范围内。雪融水中轮胎磨损颗粒浓度预测峰值为 $56.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2.4 沉淀物

以现有研究中不同轮胎标志的最高浓度为基础,估计沉淀物中轮胎磨损颗粒浓度范围为 $0.3 \sim 155 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,Spies 等分析 5 个不同场所沉淀物中 24MoBT,得出与 24MoBT 浓度对应的轮胎磨损颗粒浓度范围为 $0 \sim 155 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,轮胎磨损颗粒最高浓度出现在距离重型交通运输桥梁 400 m 内。Kumata 等分析接收高速公路径流的 3 条河流沉淀物中 24MoBT 浓度,发现与 24MoBT 浓度对应的轮胎磨损颗粒浓度范围为 $<0.6 \sim 3.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。Reddy 和 Quinn 对河流、滞留池和海湾沉淀物中 BTs 进行了分析,发现河流和滞留池沉淀物中轮胎磨损颗粒浓度分别为 0.38 和 0.33 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而海湾所有试样中 BTs 浓度均低于其可检限度。

大部分关于沉淀物中轮胎磨损颗粒浓度的评估是以沉淀物中 BTs 浓度为基础的。由于 BTs

是水溶性的,其不可能在沉淀物中聚集,因此这些评估可能偏低。沉淀物中有 BTs 可能表明其与橡胶和/或混入径流水中快速沉积的橡胶颗粒结合牢固。Wik 等分析了 18 条道路径流滞留体系中的可提取有机锌,发现与可提取有机锌浓度对应的轮胎磨损颗粒浓度范围为 0.15(及以下)~ $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,可提取有机锌浓度最高的为接收桥梁(年平均日流量为 12 500 辆车)桥面径流的 2 个滞留池以及从 2 个下水道出入孔接收的道路(年平均日流量为 10 000 辆车)径流。推测桥上可提取有机锌浓度高的原因是其陡坡,可能是通过陡坡导致橡胶磨损速度增大。因此颗粒浓度大于 $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 很可能发生在交通繁忙的路段以及驾驶模式导致橡胶磨损速度增大的地方。Voparil 等研究表明,被繁忙交通路段环绕的地方的沉淀物中橡胶质量分数可高达 0.15。这些研究不包括任何分析数据,Spies 和 Kumata 等的研究也是如此。

总之,文献调查显示沉淀物中轮胎磨损颗粒浓度可以累积。在交通繁忙地段以及驾驶模式导致橡胶磨损速度增大的地方,沉淀物中的轮胎磨损颗粒浓度可以高达 $155 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.5 空气

以文献中提及的轮胎标志物的最高浓度为基准,道路周围的空气中含有轮胎颗粒浓度为 $0.4 \sim 11 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。大部分研究者认为,空气传播的轮胎颗粒粒子分布呈双峰,即最大和最小磨损颗粒的空气动力学直径分别大于 7 和小于 $1 \mu\text{m}$ 。与此相反, Lee 等认为,空气传播的轮胎颗粒粒子分布不呈双峰,而是单峰。他们研究报告中的数据显示,空气传播的轮胎颗粒粒径小于 $1 \mu\text{m}$ 的占 32%。然而, Fauser 等的研究数据显示,空气传播的轮胎颗粒粒径小于 $1 \mu\text{m}$ 的占 90% 以上。不同研究间有差别可能是由于各自选取试样位置不同造成的,如距离道路远近不同以及道路上方不同高度处。与距离道路 3 m 处相比,距离道路 18 m 处粒径小于 $1 \mu\text{m}$ 的轮胎颗粒增大 40%~50%;较大颗粒的浓度随着与道路距离的增大而降低。Cadle 和 Williams 等没有观察到距离高速公路 30 m 范围的轮胎磨损颗粒浓度有任何降低,然而他们没有区分轮胎磨损颗粒的尺寸。

Kim 等发现道路上方 86 m 处空气中轮胎磨损颗粒浓度是路面正上方经空气传播的轮胎颗粒浓度的 30% 左右。因此,这些研究表明,经空气传播的轮胎颗粒中粒径最小的部分也可能是占比最大的部分,可能被传送到相当远的地方。

2.6 生物利用度

一些研究考查了轮胎磨损颗粒和轮胎橡胶释放的化合物的生物利用度,包括实验室研究和实地调查。将甲壳类动物大型蚤在实验室暴露放置后,发现其内脏中有轮胎磨损颗粒存在,这表明像大型蚤等滤食类生物体可以吸收轮胎磨损颗粒。在接触轮胎沥出物(整条轮胎)的鱼的胆汁中发现羟化 PAHs(主要为 —OH 基)以及 4 类橡胶降解剂(TMQ, IPPD 以及 2 种二苯胺衍生物)。Stone 等发现鱼接触轮胎沥出物(整条轮胎)后,其肝脏或肌肉组织中的锌、有机氯和 PCBs 的浓度没有增大。Kellough 分析接触轮胎沥出物(整条轮胎和切割的部分轮胎)的鱼的肌体组织中所含范围广泛的金属和 PAHs,发现所分析的化合物没有因为鱼接触轮胎沥出物而导致在生物体内有明显积累。与平衡分割模型显示的相反, Voparil 等研究发现粉碎胎面胶中的 PAHs 可溶入海蚯蚓肠道液体,向受污染的沉积物中添加胎面胶材料能提高肠道液体对几种 PAHs 的溶解作用。Fauser 研究发现,在道路周围生长的植物(树叶、苔藓和西洋耆草)可以吸收轮胎磨损颗粒。Spies 等在旧金湾捕获的星斑川鲷肝脏内发现了可能来自于轮胎磨损颗粒的 BTs。总之,这些研究结果表明,对于浮游滤食生物体、底栖生物以及植物,轮胎磨损颗粒是可以被生物利用的,并且从轮胎橡胶中析出的几种化合物进入水中后,能被鱼等水生生物利用。

3 生态毒理效应

化学混合物对水生环境的影响通常通过确定混合物中单一污染物的水平来评估,然后评估与这些特殊污染物相关的危害。另一种常用于废水等的途径是利用生物试验来评估混合物中污染物综合影响导致的危害。当混合物特别复杂且大部分有毒物质不明时,后一种途径特别有用。由于轮胎沥出物是复杂混合物,且关于轮胎沥出物(特

别是轮胎磨损颗粒沥出物)的信息不足,因此这种途径看来是评估轮胎磨损颗粒危害的好方法。下面是关于轮胎沥出物毒性的现有文献总结。

3.1 水中毒性

一些实验室研究调查了轮胎沥出物的急性毒性(见表 3 和 4),这些试验利用鱼、水蚤、桡足动物、十足目动物、细菌和海藻等不同物种作试样。大部分研究发现了急性毒性,除了轮胎沥出物由整条轮胎制备得到的。粉碎橡胶/轮胎胎面胶颗粒的试验发现其沥出物毒性最大。这可能与具有更大比表面积的小颗粒的化合物析出度更大有关,也可能与轮胎不同部分所使用的橡胶配方不同有关。因此研究中危害评估以轮胎胎面胶颗粒

毒性试验结果为基础(表4总结了这些结果)。其中一些研究以质量浓度表示毒性效应浓度,通过橡胶材料渗入水中不同浓度来确定,也有一些研究以百分比表示毒性效应浓度,通过最高浓度稀释法来确定。为了便于对比,以百分比表示毒性效应浓度被换算为质量浓度。

文献中报道的急性效应浓度范围为 50~100 000 mg·L⁻¹。对月芽藻 72 h 的 EC₅₀(半有效浓度)范围为 50~16 400 mg·L⁻¹,对大型蚤 48 h 的 EC₅₀ 范围为 130~53 300 mg·L⁻¹,对网纹蚤 48 h 的 LC₅₀(半致死浓度)范围为 550~5 000 mg·L⁻¹,对斑马鱼(卵)48 h 的 LC₅₀ 范围为 550~10 000 mg·L⁻¹(以上),对非洲爪蟾(胚

表 3 利用不同滤取过程和测试生物的各种研究显示的轮胎沥出液毒性			
滤取过程	测试生物	毒性	参考文献
整条轮胎在海水中浸泡 21~101 d	菱体兔齿鲷	不致命	Stone et al. (1975)
	美洲黑石斑	21 d 不致命,29 d 致命	
整条轮胎或轮胎碎片在湖水中浸泡 30~65 d	虹鳟	96 h 致命	Kellough(1991)
	大型蚤	48 h 不致命	
轮胎碎片在自来水(200 g·L ⁻¹)中浸泡 1~65 d	鲑鱼	96 h LC ₅₀ 为 10%~33%	Goudey and Barton(1992)
	大型蚤	72 h LC ₅₀ 为 12.5%	
	弧菌属细菌	控制光输出 70%	
整条轮胎在稀释水(200 g·L ⁻¹)中浸泡 5~40 d	大型蚤	死亡率 0~100%	Day et al. (1993)
	网纹蚤	死亡率 67%~100%	
	弧菌属细菌	控制光输出 8%~44%	
	鲑鱼	死亡率 0~80%	
	纤回螺菌	没有抑制活性	
	大肠杆菌(TOXI-chromo 测试)	颜色抑制 0~14%	
没有滤取过程信息	全齿复活线虫	不致命	Hall et al. (1993)
	真宽水蚤	死亡率 100%	
轮胎碎片在湖水(4.5~7.5 g·L ⁻¹)中浸泡 31 d	网纹蚤	24 h LC ₅₀ 为 20%	Nelson et al. (1994)
	黑头呆鱼	24 h 不致命	
整条轮胎在水中浸泡 10~14 d	鲑鱼	96 h LC ₅₀ 为 34%	Abernethy(1994)
	黑头呆鱼	96 h 不致命	
	大型蚤	48 h 不致命	
	网纹蚤	48 h 不致命	
胎面碎片在湖水(2.3 g·L ⁻¹)中浸泡 14 d	褐鳟	LT ₅₀ 1.6~57 h	Ahlbom et al. (1996)
轮胎胶粉在稀释水(25 g·L ⁻¹)中浸泡 24 h	大型蚤	48 h EC ₅₀ 为 15%~100%以上	Abernethy et al. (1996)
	鲑鱼	96 h LC ₅₀ 为 27%~77%	
在人工海水(50 g·L ⁻¹)中采用毒性特征沥滤法(TCLP)萃取轮胎碎片	鳕	无可见效应浓度(NOEC)	Hartwell et al. (1998)
		死亡率为 6%~13%	
		NOEC 生长率 6%	
	Palaemonetes pugio	NOEC 死亡率 6%	
		NOEC 生长率 6%	
在人工海水(50 g·L ⁻¹)中采用 TCLP 萃取轮胎碎片	弧菌属细菌	控制光输出 25%~60%	Hartwell et al. (2000)

表 4 轮胎磨损颗粒(胎面颗粒)沥出液对水生生物的毒性

测 试	效应浓度(EC/LC ₅₀)/ (mg·L ⁻¹)	注释	参考文献
绿色藻类月芽藻	470,1 640	从两种滤取浓度得到的沥出液,72 h EC ₅₀	Gualtieri et al. (2005b)
	50~2 800	3 条轮胎的连续沥出液,72h EC ₅₀	Wik et al. (in press)
大型蚤	26 750,53 300	从两种滤取浓度得到的稀释沥出液,48 h EC ₅₀	Gualtieri et al. (2005b)
	300~32 000	12 条轮胎的沥出液,24 h EC ₅₀	Wik and Dave(2005)
	100~2 400	12 条轮胎的沥出液,48 h EC ₅₀	
	60~400	12 条轮胎的沥出液,48 h+2 h 紫外线 EC ₅₀	
	1 200~10 000 以上	25 条轮胎稀释沥出液,24 h EC ₅₀	Wik and Dave(2006)
	300~10 000 以上	25 条轮胎稀释沥出液,48 h EC ₅₀	
网纹蚤	370~7 500	3 条轮胎的连续沥出液,48 h EC ₅₀	Wik et al.
	550~5 000	48 h EC ₅₀	
	50~3 600	9 d 存活 EC ₅₀	
	10~1 800	9 d 年轻/母 EC ₅₀	
斑马鱼卵(子鲈鱼类)	550~10 000 以上	48 h LC ₅₀	
青蛙胚胎(非洲爪蟾)	50 000~100 000	暴露 120 h 后 27%~80%死亡率和 80%~98%畸形幼虫	Gualtieri et al. (2005b)
总体范围	10~100 000	对标准生物 1~9 d 暴露	上述所有文献
预测无效应浓度(PNEC)	3.9	以月芽藻和网纹蚤的长期 NOEC 为基础,除以评估因数 50	本研究

胎) 120 h 的 LC₅₀ 范围 为 50 000 ~ 100 000 mg·L⁻¹。慢性效应浓度利用网纹蚤 9 d 繁殖和存活确定的范围分别为 10~1 800 mg·L⁻¹ 和 50~3 600 mg·L⁻¹。实验室毒性数据的巨大差别可能是由于轮胎间的橡胶配方不同以及试验设计不同,如轮胎沥出物的制备过程不同以及物种的敏感度不同。不同轮胎的急性毒性相差约 2 个数量级,而慢性毒性相差 1 个数量级以上(3 条轮胎连续滤取 6 次的沥液)。对同一轮胎胎面颗粒连续 6 次滤取导致毒性显著降低。但是对 3 条轮胎的一次试验中发现,连续 6 次滤取后对网纹蚤的慢性毒性浓度仍达 140 mg·L⁻¹。上述提到的测试橡胶的尺寸和形状非常重要。在粒子含量高的情况下轮胎磨损颗粒的质量/体积比以及稀释水会影响滤取结果。由于粒子堆集,浓度为 50 g·L⁻¹ 的轮胎磨损颗粒沥出液的毒性比浓度为 100 g·L⁻¹ 的轮胎磨损颗粒沥出液大。轮胎磨损颗粒沥出液浓度较低时(不大于 16 g·L⁻¹),毒性浓度对沥出液浓度有依赖关系。试验中采用的溶液的类型会影响滤取结果及不同化合物的毒性。较高的 pH 值确实会限制如锌等的滤取,和较多有机化合物在极端 pH 值下(2 和 11)比在 pH 值为 8 时溶解更多。4 个不同物种的毒性测试表明,与测试物种和终点相关的毒性差异显著,毒性敏感度从大到小的顺序依次为:网纹蚤 9 d 繁殖>网纹蚤 9d 存活>月芽藻 72 h 生长抑

制=网纹蚤 48 h 失活性>大型蚤 48 h 失活性>斑马鱼卵 48 h 致死。

3.1.1 对水生生物的亚致死效应

很少有研究关注评估轮胎颗粒沥出液对水生生物的亚致死效应。FETAX 化验中显示轮胎颗粒的水沥出液和有机萃取液均有致畸性。虽然 100 g·L⁻¹ 的水沥出液浓度稀释至 1% 时(1 g·L⁻¹)没有发现致畸性,但 50 g·L⁻¹ 的沥出液浓度稀释至 1% 时(0.5 g·L⁻¹)发现了致畸性。因此在颗粒含量高的情况下,致畸物质的析出可能降低,这是由于轮胎颗粒聚集的缘故。如果沥出液是在颗粒含量低的情况下制备的,低浓度条件下也可能产生致畸效应。轮胎有机萃取液浓度大于等于 80 mg·L⁻¹ 时有致畸性,但浓度为 50 mg·L⁻¹ 时无致畸性。当试验采用 Ames 细菌突变分析方法(利用老鼠肝脏微激活系统)时发现了水沥出液的诱变性。最初的轮胎沥出液(5 g·L⁻¹)不会诱导有机体突变,但经 10 : 1 和 100 : 1 稀释后则发现了比例诱变。当利用基于酵母的甾类激素受体基因转录分析法测试时发现轮胎有机萃取液浓度大于 10 mg·mL⁻¹ 时具有抗雌激素和抑孕活性。当联合使用酶联受体反应分析方法和酵母雌激素筛选分析方法测试时发现整条轮胎和部分轮胎的水沥出液(1 条轮胎浸泡在 300 L 水中)具有雌激素活性。水沥出液会导致黑头呆鱼细胞色素 P450 受感应。总之,大部

分亚致死效应研究是在高于环境中可能产生的浓度下进行的。很明显,轮胎橡胶沥出化合物具有致畸性、诱导有机体突变性和雌激素活性。

3.1.2 有毒成分及特别关注的成分

轮胎颗粒沥出液的毒性可能是由锌和有机化合物导致的。通过添加乙二胺四乙酸(EDTA)以及透过阳离子交换树脂(证明有毒金属存在)可使毒性降低,表明有毒金属的存在。沥出液中锌的浓度与其对大型蚤、黑头呆鱼和网纹蚤的毒性间的浓度依赖关系进一步表明,锌是产生毒性的金属。通过 C18 SPE 柱后轮胎颗粒沥出液的毒性降低表明毒性是由非极性有机化合物引起的。

锌来源于添加到橡胶配方中作为硫化活性剂的氧化锌。随着橡胶颗粒的增多,沥出锌的相对量降低,这是由于粒子堆集导致表面积减小的缘故。锌的沥出也与 pH 值有关,较低 pH 值下有更多的锌沥出。轮胎沥出液中存在范围广泛的有潜在毒性的有机化合物。轮胎颗粒沥出液主要成分为苯并噻唑衍生物、邻苯二甲酸酯、酚类衍生物、碳氢化合物和脂肪酸等。Abernethy 等发现胶粉沥出物中含有几百种不同的有机化合物,且总酚类、芳香胺和树脂酸的浓度较高。

一个关于胎面橡胶(不同组分)有机助剂可沥出性的研究表明,橡胶中含有苯二胺类抗降解剂、苯并噻唑促进剂或者某些操作油,所有沥出化合物均对大型蚤具有毒性。像上述 2.1 节中提到的一样,轮胎磨损颗粒是环境中锌、苯并噻唑及合成橡胶的来源。轮胎磨损颗粒也被认为是高速公路雨水中邻苯二甲酸酯以及道路灰尘、高速公路径流和城区沉积物中 PAHs 的一个主要来源。

3.2 陆地毒性

陆地环境的生态毒性数据非常少。一些研究旨在评估使用轮胎胶粉的盆栽植物,结果表明盆栽的菜豆、菊花、天竺葵属植物、矮牵牛花和凤仙花属植物的长势比普通种植的减弱。试验中最敏感的植物看来是矮牵牛花。生长介质中含有 5% 的轮胎胶粉时矮牵牛花长势减弱,推断生长介质中含有 2% 的轮胎胶粉时矮牵牛花生长就受到损害。研究中用到的轮胎胶粉主要是粗粒子(粒径大于 2 mm)。种植菊花的试验表明,与粗轮胎胶粉相比,精细轮胎胶粉使菊花长势更弱,锌的组织

浓度更高。因此,不能排除使用精细胶粉时,胶粉质量分数低于 0.02 时矮牵牛花生长受影响。在所有上述提到的植物试验中,植物长势减弱是由于锌的毒性。然而,当进行潜在氮化合速率测试时发现,含有轮胎磨损颗粒的土壤的氮化合速率没有降低,氮化合速率通常对锌污染敏感。推测原因是,由轮胎颗粒引起土壤 pH 值升高的协同作用,导致锌的活性及其毒性受到限制。

3.3 健康影响

数个流行病学研究与空气颗粒物污染对健康的负面影响有关。当前某些研究集中在评估空气传播的轮胎颗粒对健康的负面影响的贡献。由于轮胎颗粒中有天然橡胶乳胶蛋白的存在,因此轮胎颗粒被认为是乳胶过敏和哮喘症状增加的一个重要原因,这在以前被认为与空气颗粒物污染有关。然而,也有人认为空气中来自轮胎颗粒的可利用的天然橡胶乳胶蛋白含量太低,对这些健康问题不产生重大贡献。老鼠暴露于有颗粒物空气样品(从欧洲 9 个地点收集)中,大部分老鼠受到收集自交通流量高的地点的空气样品的影响,一部分毒性与轮胎磨损颗粒中的锌有关。人类肺上皮细胞(A549)接触轮胎颗粒有机萃取液后,导致细胞死亡率增加,DNA 受到损伤,细胞形态发生重大变化。此外,轮胎颗粒有机萃取液也可以在 A549 细胞中诱导活性氧物种。Fauser 估计,对一个处于市中心空气中的人来说,其呼吸系统中超细轮胎颗粒的沉积为 $1.09 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ 。考虑到与空气颗粒物污染相关的健康负面影响以及关于轮胎颗粒对这些影响的贡献方面了解不足,对该领域需要展开更多研究。

4 风险特征、风险降低和建议

我们可以确定网纹蚤急性/慢性毒性比,报道的 9 d 存活和 9 d 繁殖慢性毒性值分别为 $50 \sim 3\,600$ 和 $10 \sim 1\,800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。相应地急性毒性值为 $550 \sim 5\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (48 h EC_{50}),急性/慢性毒性比约为 10。这表明,轮胎磨损颗粒的水生毒理学作用像大多数纯化学物质一样会附着在颗粒上。因此,与安全因素相关的普通的危害和风险评估指南是适用的。考虑到缺少数据,在这种情形下采用已确立的安全因素的通用方法看起来

比采用基于物种敏感度分布的化学特定安全因素更为恰当。

我们利用之前研究中涉及的大型蚤和黑头呆鱼长期结果计算无影响浓度(NOECs)。这些NOECs通过计算得到,即源自3条不同轮胎经连续4次沥出后的NOECs的几何平均数。通过对这些NOECs中最低的一个(大型蚤繁殖, $194 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)应用50的安全因数,得到轮胎磨耗颗粒的 $\text{PNEC}_{\text{水}}$ 为 $3.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。预测或实测环境浓度/预测无影响浓度(PEC或MEC/PNEC)比也被称为风险特征比(RCR),可以通过计算得到,作为轮胎磨耗颗粒环境风险的评估数值。与轮胎磨耗颗粒相关的水生生物的RCR为 $0.08 \sim 4.6$,这是基于PEC为 $0.03 \sim 18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以及PNEC为 $3.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在径流浓度高峰期,如雪融化时,RCR会达到14.4。

没有关于轮胎磨耗颗粒沉积物毒性的相关试验。Reddy和Quinn报道,高速公路沉淀池中的水和沉淀相中24MoBT的浓度分别为2.3和 $350 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。假设轮胎磨耗颗粒沥出的24MoBT相同,并设定沉淀物的密度为 $1.15 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,则可以近似得出沉淀相中的轮胎磨耗颗粒可能是水中轮胎磨耗颗粒的175倍。若假设水和沉积物的毒性是相等的,且考虑经由沉积物摄入时引进一个额外的评估因子10,则 $\text{PNEC}_{\text{沉积物}}$ 被估算为 $6\,825 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (湿重)。通过进一步假设固相占沉积物的10%,且固相的密度为 $2.5 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,则 $\text{PNEC}_{\text{沉积物}}$ 可以被换算为干重,即为 $273 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因此,基于MEC为 $400 \sim 1\,100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干重)、PNEC为 $273 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干重),对沉积物生物的RCR为 $1.5 \sim 40.3$ 。在某些交通繁忙的地段,在流入接收水前没有经过径流水渗滤时,RCR_{沉积物}可以高达568。

由于缺乏陆地生物的生态毒性数据,无法计算土壤的PNEC。但是距离道路远近有明显浓度梯度,这表明对陆地环境的风险限制在靠近道路四周。由于下水道淤泥被金属和有机化合物污染而品质退化,因此其不适合作为土壤肥料。锌和PAHs被认为是特别麻烦的污染物。既然上述提到轮胎磨耗颗粒是淤泥中锌的重要来源,因此不能排除轮胎磨耗颗粒对淤泥品质退化的贡

献。轮胎磨耗颗粒是城区水中PAHs的一个重要来源,因此轮胎磨耗颗粒也可能是下水道淤泥中PAHs的重要来源。然而,轮胎橡胶和下水道淤泥中含相对丰富的PAHs并不表明其贡献这么多PAHs。表5总结了预测或实测的不同环境下轮胎磨耗颗粒浓度及其风险特征比。轮胎磨耗颗粒对表层水和沉淀物中水生生物的风险被预测。欧盟锌风险评估得出结论:道路径流可能导致表层水和沉积物中的锌聚集,使其超出相应的PNEC。轮胎磨耗颗粒是锌的一个重要来源,应该进一步研究交通产生的锌对环境的影响。因此,评估支持当前研究的结论,即与轮胎磨耗颗粒相关的水生生物的RCR可能大于1。与空气传播颗粒相关的风险主要与对人类健康的未知影响有关,这需要进行进一步的评估。

4.1 风险评估的不确定性/可变性及对未来研究的建议

风险评估总是有不确定性。利用评价因子通过试验室单一物种试验产生的影响来外推实际影响涉及一定程度的不确定性。我们确定了一系列的其他可能来源,特别与轮胎磨耗颗粒的风险评估相关。这些来源及其幅值见表6。与测量环境浓度相关的变化可能与所用分析方法不同及用来估计轮胎浓度的化学标志不同有关。但是大部分变化可能是反映不同地方不同浓度的“真实变化”,例如距离道路远近不同。与评估毒性效应浓度相关的变化与上述提到的因素有关,即试验所用轮胎(橡胶配方)不同、物种差别以及试验中所用的沥出液制作过程不同。

由于没有进行对沉积物生物影响的研究,本研究中所有 $\text{PNEC}_{\text{沉积物}}$ 是由 $\text{PNEC}_{\text{水}}$ 推算的。 $\text{PNEC}_{\text{沉积物}}$ 可能过于保守,这是因为相比于分子污染物,轮胎磨耗颗粒可能会有较低的生物利用度。未来关于轮胎磨耗颗粒生态毒理研究的重点应是沉积物毒性。道路上的灰尘颗粒吸收除了轮胎磨耗外的其他来源金属。轮胎胶粉也能吸附水中有机和无机污染物。因此,轮胎磨耗颗粒会改变其他污染物的生物利用度。Voparil等研究表明,沉积物中的轮胎颗粒提高了沙蠅对PAHs的生物利用度。轮胎磨耗颗粒对改变水和沉积物中污染物生物利用度所发挥的作用需要进一步评估。沉

表 5 不同环境基体中轮胎磨耗颗粒的 MES 和 PEC 以及 RCR

基 体	MEC/PEC 范围 ¹⁾	RCR 范围 ²⁾	评价
表层水/(mg·L ⁻¹)	0.03~17.9	0.008~4.6	水生生物潜在风险
	56	14.4	春季径流浓度高峰相关的风险
沉积物/ (mg·kg ⁻¹)	300~11 000	1.3~40.3	沉积物生物潜在风险
	155 000	568	交通繁忙地段及进入水前没有经过径流水渗滤的沉积物生物风险
土壤/(mg·kg ⁻¹)	道路周围:600~117 000		风险可能限于道路周围
	距离道路 30 m 外:≤100		
空气/(μg·m ⁻³)	0.5~11		评价与吸入轮胎颗粒相关的人类健康风险需要开展更多研究

注:1)源自表 2;2)RCR 为 MEC 或者 PEC(前一列)与 PNEC(本研究计算值,水为 3.9 mg·L⁻¹,沉积物为 273 mg·kg⁻¹)的比值。

表 6 轮胎磨耗颗粒危害和风险评估的可变性

来 源	最小~最大	评价
环境浓度 ¹⁾		
道路灰尘/(mg·kg ⁻¹)	200~210 000	1 050 倍范围
道路径流/(mg·L ⁻¹)	0.3~179	600 倍范围
表层水/(mg·L ⁻¹)	0.2~6.4	32 倍范围
沉积物/(mg·kg ⁻¹)	300~155 000	517 倍范围
土壤浓度		
道路周围/(mg·kg ⁻¹)	600~117 000	195 倍范围
距离道路 30 m/(mg·kg ⁻¹)	0~100	100 倍范围
空气浓度/(μg·m ⁻³)	0.4~11.0	28 倍范围
有效浓度		
总毒性/(mg·L ⁻¹)	10~100 000	10 000 倍范围
轮胎成分/(mg·L ⁻¹)	100~10 000 以上	>100 倍范围
物种和终点/(mg·L ⁻¹)	10~10 000 以上	>1000 倍范围
滤取过程/(mg·L ⁻¹)	630(12 条轮胎平均值)~53 300	85 倍范围

注:同表 2。

积物中轮胎磨耗颗粒的降解率也应是未来研究的主题。

关于轮胎磨耗颗粒水生效应的现场研究是有限的。关于道路径流滞留体系沉积物品质的一个最新研究推断,沉积物中轮胎磨耗颗粒浓度为 11 000 mg·kg⁻¹,化学污染物、沉积物毒性及底栖生物间关系不大。这意味着评估水中轮胎磨耗颗粒对环境的影响时需要进行关于环境效应的综合研究。应该使用适当的化学标志以及沉积物品质试验方法对路径流和雨水接收物开展更多的生态毒理研究,最好结合原位生物鉴定和毒性鉴别评估程序。

4.2 风险降低与风险管理

水生生物风险主要与最初冲刷径流有关,这意味着保护表层水免受轮胎磨耗颗粒产生的毒性时,径流滞留装置很重要。在交通繁忙道路未经径流预先渗滤而直接进入受体水的地方,沉积物生物风险特别高。这意味着像径流滞留装置等处

理系统在某些地方特别重要,如下游桥梁等。需要进行更多研究来评价径流处理系统以及对其进行改进的重要性。例如,由于水流波动,通过池塘和沟渠降低污染物浓度通常难以控制。

改变轮胎橡胶组分及选择恰当的化学助剂可能是降低轮胎磨耗颗粒对环境及人体健康影响的最重要途径。轮胎磨耗颗粒是城区水中 PAHs 的主要来源,这些 PAHs 源自于高芳烃油,在轮胎橡胶配方中这些高芳烃油通常被用作操作油和增塑剂。自 2010 年 1 月 1 日起,在欧盟出售的轮胎被禁止使用这类高芳烃油。据估计用可选择油替代高芳烃油可以使来自轮胎的 PAHs 减少 98%以上。在其他地区,如亚洲拥有世界上增长最快的汽车市场,轮胎仍将继续是 PAHs 的一个主要来源。

在橡胶配方中优化氧化锌添加量能够降低轮胎磨耗颗粒中锌的排放。如果所有轮胎制造商能够使用尽可能纯的氧化锌,则镉(不纯氧化锌中杂

质)的排放也能降至十分之一。此外,轮胎间的毒性也有巨大差别。因此,为了降低轮胎对环境的影响,除了考虑滚动阻力降低燃油消耗量及耐久推迟弃置时间等因素外,开发含更小毒性成分的轮胎可能是需要考虑的最重要的因素。

5 结语

所有环境中均能发现轮胎磨耗颗粒,包括空气、水、土壤/沉积物和生物群。轮胎磨耗颗粒对陆地环境的影响可能仅限于道路周围。对水生生物的风险主要与最初冲刷径流相关,这意味着径流滞留装置对保护表层水不受轮胎磨耗颗粒毒性的影响很重要。在某些重要地方,如下游桥梁等

地方轮胎磨耗颗粒在沉积物中能聚积到很高浓度,改善道路径流处理系统特别重要。未来生态毒理研究的重点应是轮胎磨耗颗粒沉积物毒性。轮胎磨耗颗粒对改变水和沉积物中其他污染物的生物利用度所发挥的作用也需要进一步研究。橡胶磨损的小粒子可以在空气中传播,吸入这些颗粒对人体的影响很不清楚。改变轮胎橡胶配方以及选择更恰当更环保的化学助剂可能是降低轮胎磨耗颗粒对环境和人类健康影响的最重要途径。

(北京橡胶工业研究设计院

赵敏摘译 吴秀兰校)

译自荷兰“Environmental Pollution(www.elsevier.com)”,157,1~11(2009)

TBC 新增 3 个品牌的载重轮胎

中图分类号:TQ336.1;U463.341 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014年6月6日报道:

TBC 批发集团扩大了其最优化和中高品质的中型载重子午线轮胎产品业务,现可为经销商提供住友、赛轮和 Dynacargo 品牌的载重轮胎产品。

住友产品包括住友载重轮胎系列和住友 Select National Account 项目。

住友载重轮胎为 TBC 批发商提供了一项货运业最优化解决方案,这些轮胎以在任何地形条件下高强度使用时性能卓越而闻名。

住友中型载重子午线轮胎系列所用胶料经得住长期磨损,为车队及个体运营者提供了低廉的单位运营成本。

此外,住友 Select National Account 项目覆盖了广阔的市场空间,提供了从传统到宽基 87 个规格的轮胎,包括一个完整的 Smartway 认证系列运输产品。

TBC 还引入了赛轮中型载重轮胎系列产品。

TBC 称,赛轮实现了集技术、革新和质量于一体且价格具有竞争优势的高品质主张。

“赛轮中型载重轮胎瞄准中等品质市场,在可负担价格的基础上提供了优异的性能。”TBC 批发产品营销副主管 Bill Dashiell 称,“赛轮产品已被证实品质优异且具有可翻新性,并且价格合适,

其包括了完整的商用载重轮胎系列,拥有 72 个规格,并包含 Smartway 认证产品。”

此外,TBC 对新的 Dynacargo 中型载重轮胎系列进行了宣传。Dynacargo 轮胎系列包含大部分通用规格,其共有 52 个规格产品供应市场。

“Dynacargo、赛轮及住友轮胎使得 TBC 能够为轮胎经销商提供真正可靠的一站式采购,以赢得价格导向消费者、价值取向消费者,甚至追求轮胎最优化解解决方案的消费者。”Dashiell 称。

(马晓摘译 许炳才校)

一种汽车轮耐温升级的工艺方法

中图分类号:U463.341 文献标志码:D

由洛阳骏腾能源科技有限公司申请的专利(公开号 CN 103847114A,公开日期 2014-06-11)“一种汽车轮耐温升级的工艺方法”,涉及一种汽车轮胎耐温升级工艺方法,该方法包括以下步骤:拆卸车轮;将车轮分解为轮毂和轮胎;清洗处理轮胎内壁;对轮胎内壁喷涂高分子热熔自封密封记忆胶层;装配组合车轮;对车轮充惰性气体;车轮校平衡;安装车轮。该方法中使用的高分子热熔自封密封记忆胶配方为:热塑性弹性体 40~60,增粘剂 34~51,软化剂 5~8,防老剂和/或抗氧化剂 0.5~1.5。通过该方法可使汽车轮胎升级为能在-40~+120℃温度范围内正常运作,且防弹、防爆、抗刺扎的安全汽车轮胎。

(本刊编辑部 马晓)