

行业发展 SPECIAL REPORT

废轮胎胶粉在公路工程中的应用及前景展望

孙长军¹, 王旭东², 李美江²

(1. 唐山市交通局, 河北 唐山 063000; 2. 交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 本文介绍了废轮胎胶粉在公路工程中应用的国内外现状, 橡胶粉用于沥青和混合料对其路用性能改善效果, 指出橡胶粉用于筑路的优势是显著的。同时根据我国当前的情况, 提出了废旧橡胶粉用于道路工程还需要解决的几个相关问题。

关键词: 废轮胎; 胶粉; 公路工程

1 前言

随着我国人民生活水平的提高和经济建设的发展, 汽车工业飞速发展, 汽车保有量逐年迅速增加。我国将面临目前国外发达国家早已遇到的大量废旧轮胎的处理问题。据统计, 我国的废旧轮胎 2002 年达 8000 万条, 并将以每年 12% 的速度增加, 到 2005 年将达到 1.2 亿条, 到 2010 年将达到 2 亿条。大量的废旧轮胎将会带来严峻的环保问题。将废旧轮胎加工成橡胶粉是国际上通用的废旧轮胎再生处理方法, 其中废轮胎胶粉应用在公路行业中是废旧轮胎处理的主要途径之一。

同时, 从 1988~2003 年底的 15 年中, 我国建成了 3 万多 km 的高速公路。根据国家的规划, 到 2030 年我国将建成 8.5 万 km 的高速公路网。因此, 我国目前正处在以高速公路为代表的公路建设的快速发展期。改善路面使用性能, 延长路面使用寿命, 节约建设投资, 是我国公路行业所面临的紧迫问题。应该看到, 我国幅员广阔, 气候和自然环境十分复杂, 加之超载运输现象十分普遍, 对公路路面, 特别是沥青混凝土面层提出了较高的技术要求。将废旧轮胎橡胶粉用于公路建设是解决当前面临问题的有效途径之一。

2 国内外应用现状

废旧轮胎橡胶粉在公路行业中特别是在沥青和沥青混凝土中的研究、应用在国际上已有比较悠久的历史。国际上最早的橡胶沥青文献见于

1843 年的英国专利。现代意义上的橡胶沥青混合料首先出现在上世纪的 40~60 年代的美国。美国橡胶回收公司(Rubber Reclaiming Company)在上世纪 40 年代首先采用干拌法的生产工艺, 生产了 Ramflex TM 橡胶粉沥青混合料, 美国专家 Charles McDonald 则首先采用湿拌法的生产工艺, 在 60 年代生产了 Overflex TM 橡胶沥青混合料。国际上橡胶粉在公路上使用的领域主要有: 橡胶沥青、橡胶(粉)沥青混凝土、橡胶粉改性乳化沥青、橡胶粉在基层中的使用、橡胶粉排水性材料。

2.1 国外现状

从上世纪六七十年代以来, 美国、瑞典、英国、法国、比利时、澳大利亚、日本、南非、印度等国家先后开展了橡胶沥青和橡胶粉沥青混凝土的应用研究。并通过立法和技术推广, 极大地促进了废旧轮胎在道路工程中的利用。

上世纪 90 年代, 全美每年大概废弃 2.35 亿条汽车轮胎, 其中小车轮胎约 2 亿条, 以各种状态堆积的轮胎数量大致为 20~25 亿条。迫于轮胎带来的环境压力, 美国通过了 1991 年联邦地表协调联运效率法案(ISTEA)1038 条款(要求在路面工程中逐步增加回收橡胶的用量), 同时, 大多数州启动了相关立法程序, 极大地促进了废旧轮胎在道路工程中的利用, 橡胶粉用于公路建设进入了新阶段。截止到 1993 年, 有 27 个州研究了橡胶颗粒改性沥青及混合料, 而总计 38 个州在沥青

混合料中使用过回收橡胶颗粒。据统计,到 1997 年的 6 年间,公路行业共消耗废旧轮胎橡胶粉 8000 万 t,大约 4 亿条废旧轮胎。美国应用废旧轮胎橡胶粉较多的州有:亚利桑那州、加利福尼亚州、佛罗里达州、德克萨斯州等。

1990~1993 年,弗吉尼亚州用 McDonald 法(掺量约 18%)和 Rouse 法(掺量 5%~10%)建设了 5 段试验路。在经过最长 4 年的行车作用后性能检测表明,添加橡胶粉的路段对比比路段的车辙要明显小、抗滑性能略强,但抗裂方面并没有很大的区别。

在多孔隙路面的发源地法国,截止到 1995 年,橡胶沥青多孔隙混凝土累积已经摊铺了超过 100 万 m^2 路面,Alain SAINTON 总结多年的 PAC 路面室内研究和实际应用效果表明:橡胶粉改性 PAC 比普通 PAC 在保持持久排水性能、抵抗重交通、抗剪切和抵抗不良气候影响等方面有明显的优势。

南非的废旧轮胎橡胶粉在公路行业中的应用十分成功:和美国加利福尼亚州一样,拥有历时 20~25 年仍然完好的橡胶沥青路面;应用领域包括混合料、应力吸收层、应力吸收中间层等;基本上已经拥有了一整套橡胶沥青相关的技术指标。据了解,目前南非 60%以上的道路沥青使用橡胶沥青,而且根据他们的经验,认为对于超重轴载的使用环境,橡胶粉沥青混凝土尤为有利。经过近半个世纪的应用,废旧橡胶粉在公路工程中的应用大致经过了 5 个发展阶段:应力吸收层;应力中间吸收层;开级配沥青混凝土;连续级配沥青混凝土;断级配沥青混凝土。经过实践检验和经验总结,当前大多数国家的技术指南中都明确规定橡胶粉应用于断级配沥青混凝土。

2.2 国内现状

相比于国外,国内的研究起步不晚,早在 70 年代末 80 年代初,几乎是与美国在路面工程中使用橡胶粉处于同一时期。但由于早期橡胶粉生产工艺落后,废旧轮胎的环保压力不大等方面的原因,早期的重复研究多,实质性整体性的突破少。

2001 年春,交通部公路科学研究所首次在钢桥桥面铺装中采用了 30%的橡胶粉(相对于沥青用量),该桥面经受了 4 个夏季的超重交通考验,基本保持完好,各项性能指标保持优良。同年由

交通部设立,交通部公路科学研究所主持了交通部西部科研项目“废旧橡胶粉用于筑路的技术研究”,对橡胶沥青及橡胶粉沥青混合料的路用性能及力学特性开展了全面、系统的试验研究。该项目对橡胶粉在沥青混合料中的作用机理以及橡胶沥青、橡胶沥青混合料的力学特性和路用性能进行了试验研究,结合我国实际,提出了路用橡胶粉、橡胶改性沥青和橡胶粉沥青混合料技术标准的建议稿。在广东、山东、河北、四川、贵州等地修筑总长近 30km 的试验路和实体工程,到目前为止应用效果良好。涉及到华南地区、西南地区、轻冰冻地区,三个气候片区,为我国今后在道路工程中大规模推广应用橡胶粉技术奠定了基础。

3 废轮胎胶粉对路用性能的改善

橡胶粉沥青混凝土包括干法和湿法两种方法生产的沥青混凝土。湿法指橡胶粉或颗粒与沥青混炼或混合制成橡胶沥青,橡胶沥青作为粘结剂再与矿料拌和的工艺。干法则是指橡胶粉与基料先行拌和共混后再喷入沥青拌制混合料的工艺。国内外大量的试验结果和应用实践证明橡胶粉对沥青和混合料都有显著的改善效果。本文从橡胶粉对沥青和橡胶粉对沥青混合料的性能改善两方面入手,分析橡胶粉的作用机理和对路用性能的改善作用。

3.1 废轮胎胶粉在沥青中的作用机理及性能改善

由于橡胶粉和沥青的化学成分不相同,且都具有较强的惰性,它们相互接触一般不产生直接的化学反应,橡胶粉与沥青拌和主要是融胀反应。无论通过橡胶粉沥青混合料反算的橡胶粉密度、采用沥青浸渍法检测橡胶粉密度、橡胶沥青性能指标,还是观察其微观照片,都发现橡胶粉的掺入改变了沥青的性能,具有显著的化学作用,但同时也能看到无论采用哪种拌和方式,橡胶粉颗粒在橡胶沥青中都是天然存在的。大量研究成果认为橡胶粉和沥青两种材料是在高温条件下共混,其过程比较复杂,既不能用简单的物理过程来描述,也不能用复杂的化学过程论之。橡胶粉正是在这双重作用下在沥青和沥青混合料中产生作用,使得橡胶粉沥青混凝土表现出与一般沥青混凝土不同的路用性能。

轮胎的设计寿命一般为 5~10 年,轮胎在使

用 1~2 年后因磨损就报废了,因此废旧轮胎橡胶粉主要的化学成分还是天然橡胶和合成橡胶(如丁苯橡胶、顺丁橡胶),还有硫黄、炭黑、氧化硅、氧化铁、氧化钙等添加剂成分。以上这些成分都是良好的沥青改性剂,能够改善沥青的高低温性能、抗老化性能、抗疲劳性能等作用。试验和应用结果表明,橡胶粉的掺入能显著提高沥青的粘度、弹性恢复、5℃延度、软化点,降低橡胶沥青的脆点,提高沥青的动态剪切水平、低温应力、增大低温变形,降低低温劲度,降低老化前后的指标差异。

3.2 废轮胎胶粉对沥青混凝土作用机理及性能改善

由于橡胶粉用于沥青混合料既有对沥青的改性作用,其颗粒在沥青混合料中又是天然存在的,赋予了橡胶粉沥青混合料良好的抗高温性能、抗老化性能和弹性性能,使得橡胶粉沥青混合料的受力特性也发生了变化。橡胶粉混凝土在承受动载时的动态响应增加,改善了其在承受动态荷载时的受力状态。多年的研究结果和工程实践表明橡胶粉沥青混凝土在降低路面噪声,延缓反射裂缝,减薄沥青路面厚度,抵抗重交通和不良气候方面都有明显的优势。

3.2.1 降噪效果

由于橡胶粉本身的弹性,沥青混合料中掺加橡胶粉后,混合料的弹性明显增加,表现为回弹变形增大,模量减小。改善了沥青混合料应力扩散和应力吸收的效果,赋予橡胶粉沥青混凝土良好的降噪效果。1981 年,比利时科学家在布鲁塞尔首先证明了橡胶沥青混凝土的减噪效果。随后世界各国相继开展了这方面的研究,修筑了大量的试验路。表 1 为一些主要国家的研究结果。表 2 为美国几个州相应的研究结果。西部项目试验路检测结果表明随着车速的升高,降噪效果更加显著。橡胶粉沥青混凝土的行车噪声明显小于 SBS 改性沥青混凝土,且随着车速的增加,这种差异越来越明显,在每小时 80km 时,两者相差 2.5 个 dB,当车速达到每小时 120km 时,相差 5.4dB。

3.2.2 抗高温和重载性能

由于橡胶粉颗粒在混合料中的作用,橡胶粉掺入混合料后,混合料的内摩擦角增大,同时橡胶粉颗粒吸附一定的沥青,降低了混合料的沥青膜

表 1 世界各国使用橡胶沥青混凝土减少噪声的效果

国家	年份	减少噪音水平
比利时	1981	8~10dB(65%~85%)
加拿大	1991	有减噪效果
英国	1998	项目尚未完成
法国	1984	2~3dB/3~5dB
德国	1980	3dB
奥地利	1988	3dB
荷兰	1988	2.5dB

表 2 美国一些州使用橡胶沥青路面的减噪效果

州	城市	年份	减噪效果
亚利桑那	Phoenix	1990	10dB
	Tucson	1989	6.7dB
加利福尼亚	Sacramento	1993	7.7~5.1dB
	Orange	1992	3~5dB
	Los Angeles	1991	3~7dB
	San Diego	1998	项目正在进行
德克萨斯	San Antonio	1992	未提供数据
俄勒根	Corvallis	1994	未提供数据

厚度,粘聚力有所降低。根据材料的抗剪强度的计算公式: $\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$ 。对于超高温环境和重载环境,橡胶粉混合料所体现出的抗剪强度增加机理尤为有利,因为随着混合料的温度增加 c 值将大幅度降低,但 φ 值随温度的升高,变化不大, φ 值的改善对重载高温条件是相当有利的。大量的工程实践也证明橡胶粉混合料有较好的抗高温和重载性能。

3.2.3 减薄路面厚度效果

国外研究还表明,橡胶粉沥青混凝土在用于老路改建工程时,对减少路面的反射裂缝,提高路面的整体承载能力都十分有利,在相同的使用效果前提下,适当使用废旧橡胶粉可减薄沥青混凝土面层的厚度。表 3、表 4 为美国加利福尼亚州橡胶粉沥青混凝土技术指南分别从承载能力和减少反射裂缝角度,提出的橡胶粉沥青混凝土与一般沥青混凝土厚度的对比数据。

表 3 按结构整体强度标准减薄面层厚度 m

DGAC	ARHM-GG	ARHM-GG+SAMI
0.15	0.10	—
0.20	0.10	—
0.25	0.15	0.10
0.30	0.15	0.10
0.35	0.20	0.15
0.40	0.20	0.20
0.45	—	0.20

表 4 按减少反射裂缝标准减薄面层厚度 m

DGAC	ARHM-GG	ARHM-GG+SAMI
0.15	0.10	—
0.20	0.10	—
0.25	0.15	—
0.30	0.15	—
0.35	0.15~0.20	0.10

注: DGAC 为连续级配密实型沥青混凝土、ARHM-GG 为断级配橡胶粉沥青混合料、SAMI 为应力中间吸收层

从表 3、4 的数据中可以看出,无论是承载能力标准还是减少反射裂缝标准,沥青混凝土中掺加橡胶粉后,沥青面层的厚度可减薄 30%~70%,当沥青结构层中使用橡胶粉改性沥青的应力吸收中间层时,厚度还可以进一步减薄。

开展橡胶粉沥青混合料的应力—应变关系分析,可以发现在动荷载作用下,橡胶粉混合料的应力滞回圈变大,橡胶粉混合料的阻尼变大,说明橡胶粉混合料具有良好吸收和消散行车荷载的能力,增加了沥青混合料的承载能力,减轻了荷载向基层的扩散,进而减轻了基层的承载的压力,从理论上证明了橡胶粉混合料具有减薄路面厚度的作用。

4 有待解决的问题

橡胶沥青和橡胶粉沥青混合料是众多路面材料中的一种或一类,其技术性能的优势是有目共睹的。合理的使用这种材料不仅有利于环保,而且对改善路用性能,延长使用寿命起到积极的作用。为了更广泛地推广这项技术,在当前仍存在一些问

题需要解决。

首先是尽快制定有关的技术标准,其中包括:路用废轮胎橡胶粉的技术标准,橡胶沥青及混合料的设计和施工技术指南等。橡胶粉作为基本原材料,其质量的稳定关系到橡胶粉在公路行业应用的前景。公路行业多年的经验和教训表明,原材料的质量规范化不仅对公路质量起着重要作用,而且对其未来的市场发展有着关键影响。橡胶粉来源于废旧轮胎,而轮胎的种类、配方比较多,因此也就决定了废轮胎胶粉的成分比较复杂,则其对沥青及混合料的性能影响也不尽相同。因此需要从技术和经济两方面的综合评价确定适用于公路的橡胶粉的技术指标。从目前的研究认识看,该指标应包括以下几方面内容:橡胶粉的加工方式;适于沥青及混合料使用的橡胶粉的目数范

围;橡胶粉来源的推荐轮胎;橡胶粉中有效成分的规定;橡胶粉中纤维的合理含量等。由于专业上的局限,路用橡胶粉的技术指标宜由橡胶粉行业与公路行业联合制定。

橡胶沥青是橡胶粉和沥青的共混物,其质量受到橡胶粉质量、沥青质量、橡胶粉的掺加剂量,加工工艺等多方面因素的影响。橡胶沥青作为橡胶粉在道路工程中使用的主要方式之一,橡胶沥青的技术指标既要反应其路用性能又要能成为橡胶沥青质量控制的标准。

橡胶粉使用中的另一个技术关口在于橡胶沥青及混合料的设计施工技术指南的制订。尽管已经开展过混合料指标研究,修筑过大量的试验路和实体工程,总结了施工工艺和技术,但由于我国地域广阔,各地的状况不一样,指南的制定也应根据各地情况,从各地做起。在既有研究成果基础上,根据各地区的交通环境和特点,开展橡胶沥青及混合料的性能的研究,制定有关的技术指标、设计标准、设计施工指南,是当前橡胶粉在道路工程中应用的发展趋势。

以上几个问题是不少路用新材料在使用初期都遇到过的问题。一方面需要加大宣传力度,突出橡胶粉再生利用是个利国、利民、利路,有益于子孙的环保项目;另一方面,由于我国当前对废旧轮胎的环境压力还不够大,废旧橡胶粉市场效益还不明显,需要政府进行相应的政策支持,保证废轮胎胶粉的应用优势;第三是需要科研的推动,尽快进行相关技术标准的制定,改变当前一些单位想用而不知道怎么用的现状;第四是要转变观念,改变当前全国同一个标准,一种材料打天下的现状,根据橡胶粉沥青混合料的特点,有针对性的使用。

5 结语

随着橡胶粉工业化生产的推动,施工工艺和道路材料及路面结构研究的深入,橡胶粉作为一种新型的筑路材料,其应用技术和使用效果在工程实践中逐渐的显示出来。废旧橡胶粉用于筑路是能源再生利用,同时能够降低行车噪声,具有显著的环保效益,对于可持续发展有重要的意义。并且能够改善路用性能,节约建设投资,对我国当前在有限的财力和物力下,修建出优质沥青路面是一种很好的可选方案,具有良好的应用前景。