利用废胶粉改善沥青路面性能的研究

李洪烈
（沈阳再生胶总厂 110044）
李荣波
（沈阳市政设计院 110015）

摘要 利用废胶粉作为筑路沥青的改性剂，能明显提高沥青的低温变形能力，降低脆性温度，提高软化温度。用橡胶沥青铺设的路面，可防止和减少路面冬季开裂、夏季粘软等现象的发生。

关键词 废胶粉，沥青路面

随着国民经济的发展，废的橡胶制品日趋增多，这部分资源如不能回收利用，不仅造成资源浪费，还将成为社会工业垃圾，污染环境。据有关部门统计，每年废弃旧轮胎、旧胶鞋和废橡胶工业制品将近 100 万 t，而回收利用做再生胶的才 20 万 t，用于其它制品的也为数不多。为把这部分资源充分利用起来，开发新的应用领域势在必行。根据国外资料介绍，美国利用废胶粉作为热混沥青的添加剂用于筑路已有 20 年历史了，在 1982—1986 年间，已试铺 210 多个路段，这种路面热稳定性能和防冻性能都比较好，并可减少维修费用。在英国、日本等国家，运动和休闲场所对废胶粉的需求正在与日俱增。国内废胶粉用于筑路的研究也早有尝试，在 1982—1986 年，江西、四川等地都试铺了胶粉沥青路面，经过十几年高负荷运行的考验，对于减少反射裂缝和提高路面热稳定性均有良好效果。因此，化学工业部把废胶粉用于筑路的研究，列入再生胶行业“八五”期间重点开发项目。

我们在经过调研考察后，认为利用废胶粉作为筑路沥青的改性剂，解决东北地区沥青路面冬季开裂问题更有现实意义。1992 年沈阳再生胶总厂与沈阳市政设计研究院签署了联合开发协议，通过大量室内试验取得满意效果，并于 1993 年 10 月在市区交通量较大的繁华的崇山路立交桥引桥上进行了试铺，经过一个冬春季的重载大交通量的考验，有明显的效果，1994 年初通过市科委组织的技术鉴定。

国产筑路石油沥青低温塑性差，低温延度差。这种沥青路面，当温度降低时，面层收缩，基层限制收缩产生温度应力，当温度应力超过面层容许拉应力和收缩变形时，面层开裂。另外地表水通过裂缝渗透到道路基层和路基上，遇冬季气温下降或夜间变冷冻结膨胀，使裂缝增大，致使路面早期破损。

国产 100# 石油沥青软化点低，夏季路面粘软，受外力碾压和冲击时出现拥包和车辙而破坏，南方地区尤为严重。另外它与石料的粘附力较低，受行车作用的冲击，路面易产生脱落和飞石现象。耐老化性能也较差。

由于上述各种原因，国内沥青混凝土路面在当年冬季或 1—2 年内，产生收缩裂缝，继而发展到网裂和脱落，使路面过早破坏，难以适应当前和长远交通对路面的要求，这就需要加入改性剂来提高和改善石油沥青的某些路用性能。

橡胶是一种高分子弹性体，它在很宽的温度范围内均具有良好的弹性和延伸性能。采用硫化橡胶来改善和提高沥青的路用性能，比用纯天然橡胶或合成橡胶有益又经济。

1　试验

1.1　原材料的选择

(1)沥青。胜利100#道路石油沥青，其基本性质：针入度　115 10^{-1}mm；软化点　44 C；延度　55cm；密度　1.02Mg·m^{-3}。

(2)废胶粉。采用3种废胶粉进行试验。①由废轮胎带1/3胎面胶的胎体和胎侧，混合加工粉碎成废轮胎胶粉，去掉纤维，细度为24目；②由废胶鞋底去掉纤维，加工成鞋底胶粉，细度为24目；③由废橡胶工业制品加工粉碎成硬杂胶粉，细度为22目。

(3)活化剂。采用活化剂420作为加速橡胶增塑降解的引发剂。

1.2　工艺

硫化橡胶在沥青中的分散和结合比生胶难得多，采用简单的物理混合是达不到补强和改性的目的的。为了使橡胶在沥青中均匀分散和充分结合，首先必须将橡胶硬颗粒进行降解和塑化，使之产生塑性和粘性，再使沥青中某些组分渗透到橡胶分子中去，进行膨胀和增塑。这需要在特定的反应釜内，经过高温搅拌和填加活化剂、软化剂等才能实现。

室内试验采用5L的铝锅，用电炉加热，将定量脱水沥青于锅内加热熔融，开动搅拌机进行连续搅拌，加入所需量的胶粉和活化剂，继续升温到反应温度，调整搅拌转速在100—200r·min^{-1}，保温到无明显橡胶颗粒为止。

在反应器内，在高温和活化剂的作用下橡胶和沥青能够成为均匀一体，当然要反应适度，即保持一定的温度和时间，不能使橡胶失去结聚性、弹性和延伸性能，更不能使沥青老化。

2　结果与讨论

2.1　室内试验

1992年9—12月份，我们对轮胎胶粉、鞋底胶粉和硬杂胶粉进行了不同掺配比例的室内试验，由于目前国际上对橡胶改性沥青还没有专门配套检验方法和标准，因此，仍采用沥青的有关试验方法和标准来评价橡胶沥青的基本性能。

2.1.1　橡胶沥青的流变性

橡胶沥青的针入度、软化点、延度如表1所示。

常温实验结果表明，随着胶粉掺量的增加，橡胶沥青的针入度、延度逐渐降低，软化点逐渐升高。

表1　橡胶沥青的流变性能

项　目	橡胶沥青								
	废轮胎胶粉，%			废鞋底胶粉，%			硬杂胶粉，%		
	10	15	20	10	15	20	10	15	20
针入度，10^{-1}mm	110	65	44	110	64	64	59	50	61
软化点，C	53	58	59	48	49	52	47	50	48
延度(25 C)，cm	14.5	15.0	12.1	12	14.5	15	14.4	13.5	10

针入度指标与沥青中重组分(石蜡)和杂质含量有关，而橡胶沥青的针入度降低，是由于粘度增大而造成的。常温下延度下降，我们认为有利于路面的高温稳定性，不致于受外力作用产生大的变形。沥青掺胶粉后软化点提高10—15 C，这对提高路面的高温稳定性是非常重要的，可以避免在炎热夏季路面出现粘软和拥包等现象，对解决南方地区夏季路面流淌问题有重要意义。

2.1.2　橡胶沥青的低温性能

橡胶沥青的低温延度、脆性温度有明显改善。实验结果如表2所示。

从表1和2中看出，沥青中加入废胶粉，虽然使沥青的常温延度降低，但低温延度有明显提高。在掺量相同的情况下，掺废轮胎胶粉的沥青的低温性能较好。

表 2 橡胶沥青的低温性能

项 目	沥青	橡胶沥青								
	胜利 100#	废轮胎胶粉,%			废鞋底胶粉,%			硬杂胶粉,%		
		10	15	20	10	15	20	10	15	20
延度(5℃),cm	1.0	5.5	6.0	6.0	5.7	5.0	6.5	5.0	5.3	7.0
脆性温度,℃	−6	−9.3	−12.3	−11.5	−7.7	−7.5	−8.8	−9.5	−7.7	−8.7

低温延度增大,表明在低温时具有较大的变形能力,可以缓解路面受外力作用或基层应力反射到面层的开裂与破损,有利于沥青混合料的低温抗裂性。脆性温度下降,这对于减轻路面冬季开裂,提高沥青混凝土的低温稳定性是非常重要的,对解决东北地区冬季路面易开裂具有现实意义。实验中还发现,未掺废胶粉的沥青达到脆性温度时,试件全部碎裂,并与试模全部脱落。而橡胶沥青达到脆性温度时,仅出现微细裂纹,温度继续下降,裂纹没有明显增大。

2.1.3 橡胶沥青粘度及粘着性

橡胶沥青的粘度和与石料间的粘着性得到提高。我们用旋转粘度计测得结果见图 1。

从图 1 中可以看出,沥青中加入废胶粉后粘度增加,尤其是温度较低时,粘度显著增加,废胶粉掺量越大,粘度提高越多。

由于橡胶沥青的粘度较高,所以它与石料间的粘着性也得到增强,有助于防止沥青与石料的分离和脱落。用水煮法测得的橡胶沥青的粘着性级别:胜利 100# 沥青为 4 级;掺用 15%废轮胎胶粉、废鞋底胶粉和硬杂胶粉者均为 5 级。

2.1.4 橡胶沥青的老化性能和加热损失

由表 3 可见橡胶沥青的加热损失与原沥青相比较小,按沥青加热损失检验规则,将橡胶沥青加热到 160℃,保温 5h,老化性能变化结果见表 3。加热前后针入度变化较小,说明橡胶沥青的抗老化能力增强,掺 15%废轮胎胶粉的橡胶沥青的抗老化能力较掺其它两种胶粉的橡胶沥青强。

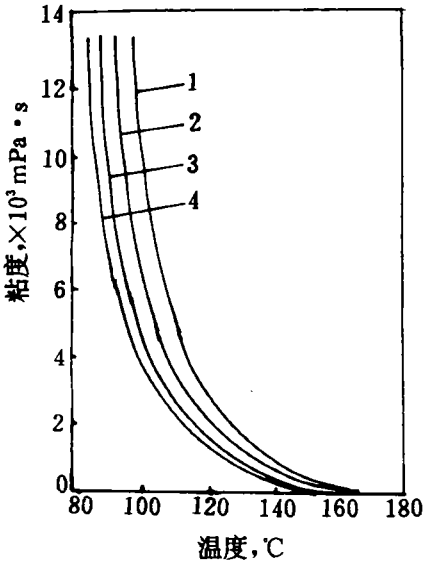

图 1 橡胶沥青粘着性

1—掺 15%废轮胎胶粉;2—掺 15%废鞋底胶粉;3—掺 15%硬杂胶粉;4—100# 石油沥青

表 3 橡胶沥青老化性能

项 目	沥青		橡胶沥青(掺 15%胶粉)					
	胜利 100#		废轮胎胶粉		废鞋底胶粉		硬杂胶粉	
	加热前	加热后	加热前	加热后	加热前	加热后	加热前	加热后
针入度,10^{-1}mm	115	110	65	63	64	61	50	48
软化点,℃	44	48	58	59	49	52	50	53
延度(25℃),cm	55	50	15	13.5	14.5	12	13.5	11
加热前后针入度比,%	87		97		95		96	
加热损失,%	1		0.8		0.9		0.9	

2.2 橡胶沥青混凝土的基本物理力学性能

2.2.1 橡胶沥青混凝土的高温稳定性

目前评价沥青混凝土高温稳定性的常用指标是马歇尔稳定度、流值、孔隙率等指标。在流值、孔隙率满足规定要求的前提下，稳定度值越大，沥青混凝土的高温稳定性越好。

通过马歇尔试验，确定了常规沥青混凝土最佳油石比为 5.3∶100，掺 15%废轮胎胶粉的橡胶沥青混凝土的最佳油石比为 5.1∶100。实验结果表明，分别按上述油石比配成的常规沥青混凝土的稳定度为 6.4kN，橡胶沥青混凝土的稳定度为 8.0kN。说明橡胶沥青混凝土抗高温变形能力增强。

2.2.2 橡胶沥青混凝土的低温抗裂性

橡胶沥青混凝土的低温抗裂性指标，主要有劈裂强度、抗弯拉强度和低温劲度模量。

(1)橡胶沥青混凝土的劈裂强度

掺 15%废轮胎胶粉的橡胶沥青混凝土的劈裂强度实验结果如表 4 所示。

表 4　橡胶沥青混凝土的劈裂强度

温度,℃	胜利 100# 沥青		橡胶沥青	
	劈裂强度 MPa	竖向变形 mm	劈裂强度 MPa	竖向变形 mm
10	3.4	190	4.2	230
0	3.5	167	3.8	216
−10	3.7	173	4.0	207
−20	3.9	105	4.3	153
−30	4.4	132	3.8	146

实验结果表明：①无论是普通沥青还是橡胶沥青混凝土，劈裂强度都随温度的降低而增大，破坏时的竖向变形则随温度的降低而减小；②在温度相同的情况下，掺 15%废轮胎胶粉的橡胶沥青混凝土抗劈裂强度比普通沥青混凝土高，破坏时竖向变形也显著增大，说明橡胶沥青混凝土的低温抗裂性增强。

(2)橡胶沥青混凝土的抗弯拉性能

通过小梁弯拉试验，可获得沥青混凝土的抗弯拉回弹模量、抗弯拉强度两个主要指标。掺 15%废轮胎胶粉的橡胶沥青混凝土的实测结果见表 5。

表 5　橡胶沥青混凝土抗弯拉性能

温度 ℃	胜利 100# 沥青		橡胶沥青	
	弯拉回弹模量,MPa	抗弯拉强度,MPa	弯拉回弹模量,MPa	抗弯拉强度,MPa
10	5178	8.56	5598	6.3
0	11478	8.9	9165	9.1
−10	15801	8.6	13230	8.6
−20	14854	7.9	12125	8.8
−30	29801	10.1	25548	10.0

由小梁试验看出，沥青混凝土的抗弯拉回弹模量和抗弯拉强度随温度降低而升高。在同一温度下，橡胶沥青混凝土的抗弯拉回弹模量比普通沥青混凝土低，抗弯拉强度的离散性较大。

(3)橡胶沥青混凝土的低温劲度模量

劲度模量是指在给定温度 T 和加荷时间 t 的条件下的应力 σ 与应变 ε 的比值，即

$$S = \left(\frac{\sigma}{\varepsilon}\right)_{(T,t)}$$

对于某一给定的沥青混合料，在降温速率不变的情况下，劲度模量越低，路面产生的温度应力越小，临界开裂温度则越低，越有利于减少沥青路面的低温裂缝。

通过采用等速加荷及应力松弛试验，实测了橡胶沥青混凝土及普通沥青混凝土低温条件下劲度模量，结果如图 2(图中利用时间来换算温度)所示。

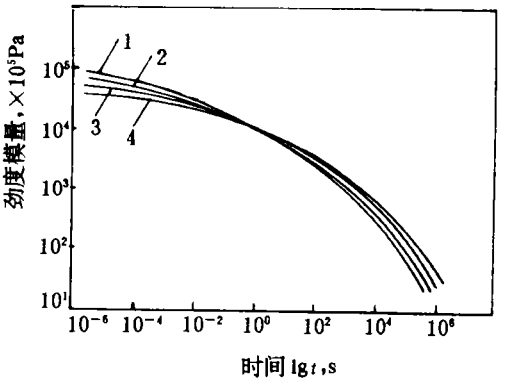

图 2　橡胶沥青的劲度模量

1—掺 15%废轮胎胶粉；2—100# 沥青；3—掺 15%硬杂胶粉；4—掺 15%废鞋底胶粉

实验结果表明，在荷载作用时间较长时（即温度较高时），橡胶沥青混凝土的劲度模量高于普通沥青混凝土；而在荷载作用时间较短时（即温度较低时），橡胶沥青混凝土的劲度模量则低于普通沥青混凝土，也就是说，橡胶沥青混凝土的低温变形能力显著提高。图中掺用外胎胶粉的橡胶沥青变化规律与上述结论不相符，可能是试验误差所致。

通过对橡胶沥青混凝土和普通沥青混凝土所做的低温劈裂、弯拉及应力松弛对比实验发现，橡胶沥青混凝土的低温变形能力显著提高，在某一时间段内的松弛模量减小，因而必将使沥青混凝土的低温抗裂性得到提高，用它铺筑路面对减少冬季低温裂缝，肯定会有明显效果。

2.3 室外橡胶沥青路面的铺筑与观测

按照室内试验确定的橡胶沥青制备工艺我们自行设计了 $5m^3$ 的橡胶沥青反应釜，沥青先用导热油加热到所需温度，再用泵打入到带有保温套和电加热管的反应釜中，按一定的速度搅拌，加入所需量的胶粉和活化剂，调整搅拌速度和温度，进行保温反应到橡胶颗粒被充分塑化降解与沥青成为一体为止。按 5.1∶100 的油石比与砂石等材料拌合，用于市区崇山路立交桥西端引道的路面铺设。此次试验于 1993 年 10 月进行，共试铺长 1300m、宽 8m（两车道）的试验路面，采用机械摊铺面层厚度为 4cm 的橡胶沥青混凝土路面。

实验路交付使用半个月后，现场观测情况如下：①橡胶沥青与石料粘着性好，不易发生粗细骨料分离现象，粗细骨料分布均匀，混合料碾压后即成型，无石子飞散现象，而普通沥青路面出现有大颗粒归堆现象；②橡胶沥青路面较密实，有一定的韧性，碾压后出现一凸包处，工人用镐刨，不脱落，韧性较大；③交付使用一个月后现场观察，普通沥青路面发白发亮，而橡胶沥青路面依然发黑，说明普通沥青路面沥青结冻后开始脱落；④交付使用两个月后观察，普通沥青路面除有明显发白发亮外，还出现有成片成片的沙石游离脱落，随时间延长脱落面逐渐增大，并出现车辙，而橡胶沥青路面仍较完整。

3 结语

橡胶改性沥青及混合料的大量室内外试验研究表明，沥青中加入一定量的废胶粉，能明显提高沥青的低温变形能力，降低脆化温度，提高软化温度，同时用橡胶沥青作粘结料拌制的沥青混合料，其低温变形能力提高，低温劲度模量、抗弯拉回弹模量降低，有利于提高路面的低温抗裂性，防止或减少路面夏季粘软，冬季易开裂等。

通过试验表明，橡胶沥青混合料具有较好的路用性能。对避免路面过早地出现松散、脱落等损坏已初步显示出效果。通过长时间使用对比可证明，橡胶沥青路面可延长使用寿命，具有很大的经济效益和社会效益，并有利于环境保护，减少污染。1994 年又在市区新开的五爱路至浑河大坝间继续扩大试铺 3 万 m^2，质量很好。

收稿日期 1994-10-05

征 订 启 事

《英汉橡胶词汇大全》尚有部分余书，现以每本 16 元的优惠价出售，欲购者请向编辑部索取订单。