

基于沥青损伤等效的沥青混合料火烧评价方法研究

范倩^{1,2}, 李浩^{1,2,3}, 马健萍¹, 何伟杰^{1,2}

(1. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420; 2. 广东交科检测有限公司; 3. 长安大学 公路学院)

摘要: 高等级沥青路面突发火烧事故后, 社会关注度高、交通影响大, 而现行规范暂无沥青混合料的火烧评价方法, 评价、处置火烧问题尤为困难。该文参照沥青常规老化后指标的变化规律及合格性的评判标准, 进行了汽油包裹沥青、汽油包裹部分沥青混合料、汽油与沥青混合料分离 3 种燃烧机制的合理性对比分析, 并基于沥青损伤等效原理建立了沥青老化数据库。研究表明: 标准的室内火烧试验方法应采用汽油与沥青混合料分离的燃烧机制, 能准确模拟沥青路面真实火烧情况, 且能定性评价不同火烧时长对沥青混合料的影响; 通过对比火烧后沥青指标与沥青老化数据库的映射关系, 可定量评价火烧对沥青混合料的影响; 将建立的沥青混合料火烧评价方法应用于某高速公路火烧案例, 表明该评价方法适用性较好。

关键词: 道路工程; 沥青路面; 沥青损伤等效; 火烧评价; 三大指标

伴随高速公路路网的日趋完善、交通量的快速增长, 广东省每年都会出现十几起因油品泄漏而引发的沥青路面火烧次生灾害。事故发生后, 社会关注度高、交通影响大。然而, 现行规范暂无火烧对沥青路面使用性能影响的评定方法, 沥青路面火烧后的处置是困扰道路管理者的一大难题。

在此背景下, 李浩提出以油蚀度研究沥青路面油蚀机理, 并建立了沥青混合料油蚀试验方法和评价体系; 李善强研究了不同温度下柴油对沥青路面的影响; 曹晓峰开展了柴油对沥青路面的长期性能影响研究; 黄克旺开展了煤焦油对沥青混凝土路面的影响研究, 并对处治效果进行了评价; 谭振宇开展了柴油泄漏对沥青路面使用性能的影响研究; 何伟杰依托广东省某高速公路火烧案例, 开展了火烧对沥青路面使用性能的影响研究, 研究结论表明: 火烧对沥青路面的影响机理主要在于老化, 但室内试验考虑因素少、试验方法不成体系、火烧机理阐述不充分。综上所述, 现有研究主要集中于油品泄漏对沥青路面的影响研究, 火烧虽有涉及, 但研究不够深入, 理论依据不充分, 评价方法未形成体系, 不能指导工程应用。

该文在现有研究基础上, 参照沥青常规老化后指标的变化规律及合格性的评判标准, 开展不同燃烧机制下试验方法的合理性对比分析, 以确定标准的室内火烧试验方法; 并基于沥青损伤等效原理建立沥青老

化数据库, 通过对比火烧后沥青指标与沥青老化数据库的映射关系, 定量分析火烧对沥青混合料的影响。

1 火烧试验方法的建立

基于现有研究成果, 结合笔者近几年处理火烧事故的工程案例经验可知, 火烧对沥青路面的影响主要在于老化。因此, 火烧试验方法的确定参照沥青常规老化后指标的变化规律及合格性的评判标准, 开展不同燃烧机制下试验方法的合理性对比分析, 以确定标准的室内火烧试验方法。

1.1 试验方案设计

遵循室内试验模拟应尽量接近沥青路面真实火烧的原则, 设计了 3 种不同的室内试验方案, 3 种方案均以汽油引燃沥青, 但其主要区别在于沥青燃烧机制的差异: 方案 1 为汽油包裹沥青燃烧; 方案 2 为汽油包裹部分沥青混合料燃烧; 方案 3 为汽油、沥青混合料分离, 汽油仅作为燃烧源。火烧试验方案设计的合理与否参照沥青老化后指标的变化规律及合格的评判标准进行评判, 将 3 种方案火烧后沥青的性能指标(软化点、针入度、延度)与其老化后的性能进行对比, 以确定最优的室内火烧试验方法。

1.2 试验结果分析

方案 1: 常温下将固态沥青和汽油直接混合予以

收稿日期: 2020-01-13(修改稿)

基金项目: 交通运输部建设科技计划项目(编号: 2014 318 J23 150); 广东省交通运输厅科技项目(编号: 科技-2012-02-009)

作者简介: 范倩, 女, 硕士, 工程师。

燃烧,再测试火烧后沥青的三大指标,并与原样沥青常规老化后的指标进行对比。其中,沥青选用 SBS 改性沥青和 70# 基质沥青,沥青(按质量计)与汽油(按体积计)的比例为 1:1(100 g:100 mL)和 1:3(100 g:300 mL);燃烧以自然熄灭为终止条件。

原样沥青老化前后三大指标及合格标准如表 1 所示,其中,老化后合格标准参照 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》制定,对于 70# 基质沥青,根据残留针入度比不小于 61% 计算得到老化后针入度为不小于 38.4(0.01 mm),对于 SBS 改性沥青,根据残留针入度比不小于 65% 计算得到老化后针入度为不小于 28.6(0.01 mm);同时,规范分别给出了 70# 基质沥青、SBS 改性沥青老化后的延度为不小于 6 cm(10 ℃)、不小于 15 cm(5 ℃)。

方案 1 试验结果如表 2、3 所示。

表 1 原样沥青老化前后三大指标及合格标准

项目	软化点/℃	针入度/(0.1 mm)	10 ℃延度/cm	5 ℃延度/cm
原样 70# 基质沥青	48.0	63.0	21.0	—
常规老化	51.0	43.0	6.3	—
老化后合格标准	—	≥38.4	≥6	—
原样 SBS 改性沥青	91	44	—	31.9
常规老化	87	36	—	20.0
老化后合格标准	—	≥28.6	—	≥15

表 2 方案 1:70# 基质沥青试验结果

样品	燃烧时间/min	软化点/℃	针入度/(0.1 mm)	10 ℃延度/cm
1:1	3	47.5	74	>100
1:3	8	43.5	92	>100

表 3 方案 1:SBS 改性沥青试验结果

样品	燃烧时间/min	软化点/℃	针入度/(0.01 mm)	5 ℃延度/cm
1:1	4	63.0	50	37.0
1:3	9	59.5	61	42.3

由表 1、2、3 可得:对 70# 基质沥青而言,常规老化后的软化点升高、针入度及延度均下降;对 SBS 改性沥青而言,常规老化后的软化点、针入度及延度均下降,而火烧后两种沥青的软化点均下降,针入度及延度

均升高。

对于基质沥青和改性沥青而言,方案 1 设计的火烧试验结果与老化的作用截然相反,试验结论与文献[7]相差较大,也不符合实际情况。

出现这种结论的原因在于:方案 1 固态沥青和汽油直接混合,其燃烧机制为汽油包裹沥青燃烧。汽油燃烧后,固体沥青表面温度骤然上升,温度场由表及里逐步传递,沥青逐渐由固态转化为液态;与此同时,温度升高,分子活动加剧,沥青和汽油的相似相溶反应加剧,大量沥青会逐步溶解至汽油中。温度升高导致沥青形态的转变和相似相溶的耦合作用,沥青与汽油的接触界面会积累大量的沥青—汽油混溶物,待汽油燃烧殆尽,混溶物中的汽油不足以维持燃烧时,燃烧自动终止。

从燃烧过程可见,燃烧后的回收沥青中混溶有大量的汽油,这部分汽油与沥青已经融合,并形成了一种新的混溶物。测试延度和针入度所取的样品中含有大量的混溶物,因汽油液态的存在,导致软化点试验结果偏低、延度和针入度的试验结果明显偏大,从而出现与文献[7]截然相反的结论。

在方案 1 的基础上,优化、改进试验方案,形成方案 2:室内试验设计并定制了圆柱形的火烧桶,火烧桶采用不锈钢材质,耐高温,内径 φ250 mm,外径 φ260 mm,高 250 mm,桶底采用凹槽设计,便于存有一定量的汽油以维持燃烧;往桶中加入预先计算好质量的汽油,然后将成型的标准马歇尔试件(1 组 4 个试件)放置于桶底,汽油浸泡试件底部 1 cm。燃烧到预定时间,通过砂石灭火。将燃烧后的沥青混合料进行抽提、回收,并与原样沥青常规老化后的指标进行对比。

沥青的选用同方案 1,混合料选择 70# 基质沥青混合料 GAC—25 和 SBS 改性沥青混合料 GAC—16。试验结果如表 4、5 所示。

表 4 方案 2:GAC—25 基质沥青混合料试验结果

燃烧时间/min	软化点/℃	针入度/(0.1 mm)	10 ℃延度/cm
10	48.5	48	7.3
20	51.5	44	6.5

表 5 方案 2:GAC—16 改性沥青混合料试验结果

燃烧时间/min	软化点/℃	针入度/(0.1 mm)	5 ℃延度/cm
10	66.5	40	23.2
20	68.5	35	16.0

由表 4 可得:对基质沥青混合料 GAC-25 而言,火烧后回收沥青的软化点升高、针入度及延度均下降,三大指标变化规律与表 1 中的 70# 基质沥青常规老化规律相似;由表 5 可得:对 SBS 改性沥青混合料 GAC-16 而言,火烧后沥青的软化点、针入度及延度均下降,三大指标变化规律与表 2 中的 SBS 改性沥青常规老化规律相似。

整体上看,改进后的方案 2 较方案 1 更为合理,规律与常规老化基本相似。但进一步对比组间数据发现:① 两种沥青混合料不同火烧时间后的沥青指标差异不大,体现不出火烧时间对沥青混合料的影响;② 根据表 1 评判标准,对于两种沥青混合料,不同火烧时间后的沥青指标均为合格,不合常理。

原因在于:在沥青混合料中,沥青以薄膜形式包裹集料,采用汽油浸泡沥青混合料的方式,沥青形态的转变和相似相溶的耦合作用虽不如方案 1 强烈,但汽油和沥青直接接触的机制无法避免少量沥青-汽油混溶物的存在,方案 1 已表明混溶物对沥青性质影响极大,回收沥青中少量混溶物的存在对各指标测试数据的影响将覆盖火烧老化机制的影响,导致组间数据差异不大。

在前两次方案的基础上,对试验方案进一步优化和改进,形成方案 3:对方案 2 的火烧桶进行改进,在距离桶底 5 cm 处放置一筛孔为 2.36 mm 的方孔筛网,往桶中加入汽油,汽油表面不超过筛网,且距离筛网至少 1 cm;然后将成型的标准马歇尔试件(1 组 4 个试件)放置于筛网上。燃烧到预定时间,通过砂石灭火。将燃烧后的沥青混合料进行抽提、回收,并与原样沥青常规老化后的指标进行对比。试验所选用的沥青混合料与方案 2 相同,方案 3 试验结果如表 6、7 所示。

表 6 方案 3:GAC-25 基质沥青混合料试验结果

燃烧时间/ min	软化点/ ℃	针入度/ (0.1 mm)	10 ℃延度/ cm
10	54.5	40	5.3
20	58.0	20	0.5

表 7 方案 3:GAC-16 改性沥青混合料试验结果

燃烧时间/ min	软化点/ ℃	针入度/ (0.1 mm)	5 ℃延度/ cm
10	74.5	37	15.8
20	72.0	30	6.0
30	64.0	22	0

由表 6、7 可得:相比于方案 2:① 整体上看,对两种沥青混合料而言,方案 2、3 火烧后的回收沥青与常规老化后沥青三大指标变化规律相同,对基质沥青混合料 GAC-25 而言,火烧后回收沥青的软化点升高、针入度及延度均下降;对 SBS 改性沥青混合料 GAC-16 而言,火烧后沥青的软化点、针入度及延度均下降;② 方案 3 中,两种回收沥青的软化点均大于方案 2,验证了方案 2 中回收沥青中仍残留有少量混溶物的结论;③ 方案 2 中,基质沥青混合料 GAC-25 和改性沥青混合料 GAC-16 火烧 10、20 min 后回收沥青的各项指标仍满足现行规范要求,而方案 3 中,除了改性沥青混合料 GAC-16 火烧 10 min 的回收沥青满足规范要求外,其余均不满足;④ 方案 3 可以反映火烧时间对回收沥青影响的差异性,对 GAC-25 基质沥青混合料而言,虽火烧 10、20 min 的回收沥青都不合格,但火烧 20 min 回收沥青的针入度和延度表现更差,对 GAC-16 改性沥青混合料而言,火烧 10 min 的回收沥青合格,但火烧 20、30 min 的回收沥青均不合格,且火烧 20 min 回收沥青的针入度和延度更差。

综上所述,方案 3(汽油-沥青分离、汽油仅作为燃烧源)所设计的试验方法能够模拟沥青路面真实火烧的情况,且能区分不同火烧时长对沥青混合料的影响,因此,将其作为标准的室内火烧试验方法。

2 沥青损伤等效原理

火烧试验结果表明:火烧对沥青三大指标的影响机理与老化基本一致,但属于定性分析范畴,却不能予以定量,故不能对火烧的影响程度进行准确评价。

基于火烧与老化对沥青的影响机理基本相同的前提,通过开展原样沥青不同老化程度的试验分析,建立沥青老化数据库。如此,沥青老化数据库便和火烧后的沥青指标具有了映射关系。在数据库中查找与火烧后沥青指标相近的样本,这样便可将火烧的影响程度予以量化。其量化的基础便是基于沥青损伤等效原理:假定火烧和老化对沥青影响机理相同,则认定两者作用后造成沥青三大指标相同(相近)的损伤等效。

因此,该节基于沥青损伤等效原理,对上节采用的 70# 基质沥青及 SBS 改性沥青进行不同老化时间、温度下的薄膜烘箱加热试验及 PAV 压力老化试验。70# 基质沥青和 SBS 改性沥青老化数据库分别如表 8、9 所示。

表 8 70# 基质沥青老化数据库

老化条件		软化点/ ℃	25 ℃ 针入度/ (0.1 mm)	10 ℃ 延 度/cm
薄膜 加热	163 ℃, 老化 5 h	51.0	43	6.3
	163 ℃, 老化 10 h	56.0	32	4.1
	180 ℃, 老化 10 h	57.5	23	2.2
	PAV 压力老化	59.0	19	0

表 9 SBS 改性沥青老化数据库

老化条件		软化点/ ℃	25 ℃ 针入度/ (0.1 mm)	5 ℃ 延 度/cm
薄膜 加热	163 ℃, 老化 5 h	87	36	20.0
	180 ℃, 老化 5 h	79	33	15.3
	163 ℃, 老化 10 h	78	33	13.9
	180 ℃, 老化 10 h	76	28	5.3
PAV 压力老化		67	23	2.1

基于沥青损伤等效原理,在表 8 中查找与表 6 中基质沥青不同火烧时间指标相近的样本,通过比对,可以看出基质沥青混合料火烧 10、20 min 的性能分别与原样沥青 163 ℃ 老化 10 h、180 ℃ 老化 10 h 的样本较为接近。

同理,在表 9 中查找与表 7 中改性沥青不同火烧时间指标相近的样本,通过对比发现:① 火烧 10 min 后的 SBS 改性沥青与 180 ℃、老化 5 h 后的性能接近;② 火烧 20 min 后的 SBS 改性沥青与 180 ℃、老化 10 h 后的性能接近;③ 火烧 30 min 后的 SBS 改性沥青与 PAV 压力老化后的性能接近。

由此可见,基于沥青损伤等效原理,建立火烧后沥青指标与沥青老化数据库的映射关系,通过对比,可定量地评价火烧的影响程度。

3 沥青路面火烧实例调查分析

2017 年,广东省某高速公路通车不到 3 个月,长约 200 m 的某路段遭受因汽油泄漏而引发的火烧事故,火烧事故持续了 40 min。原路面结构为 5 cm GAC-16+6 cm GAC-20+8 cm GAC-25,上、中面层均为相同的 SBS 改性沥青,下面层为普通沥青。

通过现场钻芯取样,室内抽提、回收沥青、三大指标试验,得到火烧后的沥青指标如表 10 所示。

表 10 回收沥青三大指标试验结果

层位	火烧程度	软化点/ ℃	25 ℃ 针入 度/(0.1 mm)	5 ℃ 延 度/cm
上面层	未火烧	68.5	31	11.2
	火烧	63.5	22	4.8
中面层	未火烧	70.0	33	12.9
	火烧	70.0	30	11.7

由表 10 可得,整体来看,火烧造成了上面层沥青指标出现较大幅度的下降,火烧对沥青路面的影响主要在上面层,对中面层的影响较小。其中,上面层改性沥青混合料 GAC-16,火烧后沥青的软化点、针入度及延度均下降,与所设计的火烧试验方案 3 结果一致,进一步验证了火烧试验方法的可行性。

此外,建立上、中面层 SBS 改性沥青老化数据库,如表 11 所示。

表 11 上、中面层 SBS 改性沥青老化数据库

老化条件		软化点/ ℃	25 ℃ 针入度/ (0.1 mm)	5 ℃ 延 度/cm
原样 SBS 改性沥青		80.5	51	28.9
	163 ℃, 老化 5 h	77.5	43	18.9
薄膜	180 ℃, 老化 5 h	73.5	38	14.7
加热	163 ℃, 老化 10 h	73.0	37	10.8
	180 ℃, 老化 10 h	73.5	30	6.6
	PAV 压力老化	68.5	25	4.6

将表 10 中指标与表 11 进行比对,未火烧路段沥青指标的下降,主要是由于施工期高温及运营期氧化等造成,而上面层经历 40 min 火烧后的指标与 PAV 压力老化后较为接近。根据 Superpave 研究成果,PAV 压力老化条件相当于沥青路面正常使用 5~10 年的老化条件。故可定量判定,对于该新建高速公路上面层,该次火烧事故缩短了其 5~10 年的使用年限。

4 沥青混合料火烧评价方法

上文分别建立了标准的室内火烧试验方法及火烧定量评价方法,通过总结、归纳可形成如下沥青混合料火烧评价方法。

4.1 试验仪器及材料

(1) 圆柱形不锈钢火烧桶,内径 $\phi 250$ mm,外径 $\phi 260$ mm,高 250 mm,桶底采用凹槽设计,距离桶底 5

cm处设置筛孔为2.36 mm的方孔筛网。

(2) 沥青回收设备:蒸馏装置、高速离心分离器(可装置4个以上的离心管,相对离心力不小于770 g)、离心管(容量250 mL以上)、减压过滤器、油浴加热器(有调温装置,控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$)、烘培皿、烧杯等。

(3) 沥青性能测试设备:软化点试验仪、延度仪、针入度仪。

(4) 汽油:维持沥青混合料试件燃烧。

(5) 砂石:燃烧到预定时间,通过砂石灭火。

(6) 三氯乙烯:溶解沥青,便于回收。

4.2 试验准备

(1) 通过开展原样沥青不同老化程度的试验分析,建立沥青老化数据库。

(2) 按规范规定方法成型标准马歇尔试件。

4.3 试验步骤

(1) 将汽油倒入带筛网的圆柱形不锈钢火烧桶中,汽油不得超过筛网,且以汽油表面距离筛网1 cm为宜。

(2) 将4个试件放置于筛网上。

(3) 将汽油引燃,待达到设定燃烧时间后,通过覆盖砂石将火熄灭,后冷却1 h左右。

(4) 采用JTG E20—2011《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》中规定的阿布森法,将火烧后的沥青混合料进行抽提、回收。

(5) 测试回收沥青的针入度、延度和软化点。

4.4 结果判定

基于沥青损伤等效原理,在沥青老化数据库中查找与火烧后沥青指标相近的样本,通过对比火烧后沥青指标与沥青老化数据库的映射关系,判定火烧对沥青混合料的影响程度。

5 结论

(1) 针对现行规范暂无沥青混合料火烧评价方法、相关研究不充分的现状,通过3种试验方案对比分析,开展了火烧机制合理性研究,确定了汽油—沥青混

合料分离的室内火烧试验方法,且试验结果表明火烧后的回收沥青与常规老化后沥青三大指标的变化规律相同。

(2) 基于沥青损伤等效原理,构建了火烧沥青指标与沥青老化数据库的映射关系,通过对比,可定量地分析火烧对不同沥青的影响程度,进而建立沥青混合料火烧评价方法。

(3) 沥青路面火烧实例调查分析表明,上面层改性沥青混合料火烧后沥青的三大指标均下降,与所设计的火烧试验结果一致。基于沥青损伤等效原理的沥青混合料火烧评价方法可对火烧程度进行评定,从而为道路管理者进一步处置火烧路段提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 李浩,李善强. 沥青油蚀机理研究[J]. 公路工程,2016(3).
- [2] 李善强,李浩. 基于油蚀度的沥青混合料油蚀评价方法研究[J]. 武汉理工大学学报(自然科学版),2015(7).
- [3] 李善强,李浩. 沥青混合料油蚀评价方法研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2016(5).
- [4] 曹晓峰,李浩,李善强,等. 柴油泄漏对沥青混凝土路面的长期影响研究[J]. 公路,2016(5).
- [5] 黄克旺,李浩,李善强. 煤焦油泄漏对沥青混凝土路面的影响及处治效果评价[J]. 公路,2017(4).
- [6] 谭振宇,李浩. 柴油泄漏对沥青路面使用性能的影响[J]. 科学技术与工程,2018(6).
- [7] 何伟杰,李浩,李善强. 火烧对沥青路面使用性能的影响[J]. 公路工程,2018(2).
- [8] 孙斌,范海军,刘坚,等. 浅谈 Superpave 沥青混合料配合比设计的应用[J]. 公路工程,2012(2).
- [9] 徐世法,周朝晖,钱培中,等. Superpave 规范对于改性沥青的有效性分析[J]. 公路交通科技,2003(1).
- [10] 许鹰,许志鸿,张超. Superpave 沥青混合料在重载高温条件下的性能研究[J]. 公路工程,2008(2).
- [11] 高涛涛,张金雷. 不同拌和温度对沥青结合料的耐久性影响研究[J]. 中外公路,2019(3).
- [12] 彭文举,张瑶瑶,编译. 微波与感应加热对沥青混合料自愈特性影响研究[J]. 中外公路,2019(5).