

文章编号: 1002-0268 (2004) 04-0001-03

沥青混合料高温稳定性影响因素分析

朱洪洲, 黄晓明
(东南大学, 江苏 南京 210096)

摘要: 沥青路面车辙是多因素综合作用的结果。本文从混合料角度分析了影响沥青混合料高温抗车辙性能的因素, 并通过不同因素条件下沥青混合料高温车辙试验, 分别以动稳定性和总变形量作为参考序列, 对影响因素进行灰关联分析。研究认为, 沥青混合料空隙率和矿料 4.75mm 筛孔通过率对于混合料高温稳定性有重要影响。
关键词: 沥青混合料; 高温稳定性; 车辙试验; 灰关联分析
中图分类号: U414.75 **文献标识码:** A

Analysis of Affecting Factors on Thermal Stability of Asphalt Mixtures

ZHU Hong-zhou, HUANG Xiao-ming
(School of Transportation, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China)

Abstract: The rut depth of asphalt pavement is effected by many factors. In this paper, the affecting factors on thermal stability and rut-resistance property of asphalt mixtures are discussed. Based on the wheel rutting test for different type asphalt mixtures at high temperature, gray correlation degree between each factor and dynamic stability and total plastic deformation was analyzed respectively. The results show that percent air voids in asphalt mixtures and the percentage of 4.75mm sized aggregate passing through the screen have great influence on asphalt mixtures thermal stability and rut-resistance property.
Key words: Asphalt mixes; Rut-resistance property; Wheel rutting test; Gray correlation analysis

沥青路面车辙是在行车荷载反复作用下产生竖向变形的累积。由于其直接影响路面平整度, 降低了路面使用性能和服务质量, 已成为沥青路面的主要损坏现象之一^[1]。车辙是多因素综合作用的结果, 如重轴载车辆、渠化交通及过高的路表温度等都是导致沥青路面出现车辙的重要原因。从工程设计和施工角度而言, 减少沥青路面车辙的较实际的途径是设计抗车辙性能好的沥青混合料。本文从混合料角度分析了影响沥青混合料高温稳定性的因素, 并通过不同类型沥青混合料高温车辙试验, 运用灰关联分析方法研究各影响因素的相对显著程度, 为沥青混合料的设计和施工提供依据。

1 沥青混合料高温稳定性影响因素分析

1.1 沥青性质

沥青的物理性质对混合料抗车辙性能有影响。在

一定温度和加载速率下, 沥青粘度越大, 混合料的粘滞阻力也越大, 抗剪切变形能力越强, 沥青混合料抗车辙性能越好。沥青粘度随温度变化而变化, 沥青的温度敏感性越低, 则形成的沥青混合料相应具有更好的高温稳定性能, 这种关系已被一些快速加载试验所证实。在下面的分析中, 选择沥青针入度和软化点表征沥青高温性能。

1.2 沥青用量

沥青用量太低, 沥青混合料难以压实, 使其抗车辙能力差; 而沥青用量过多, 沥青混合料中自由沥青增多, 也影响其高温稳定性。美国 WestTrack 环道试验表明: 高沥青含量 (OAC + 0.7%) 对应了最大的车辙, 同时低沥青含量的混合料抗车辙能力比最优沥青含量的混合料差^[2]。也有研究认为用马歇尔方法确定的最佳沥青用量比用于控制车辙的最佳沥青用量高 0.3% ~ 0.5%^[1]。

1.3 集料级配

集料级配决定了矿料颗粒间嵌挤力的大小及混合料密实程度，直接影响沥青混合料的高温稳定性。研究表明，在最佳沥青含量时，中粒式沥青混凝土车辙最小，细粒式次之，粗粒式车辙最大。WestTrack 环道试验也得出了相似的结论。由此可见，单纯增大矿料粒径不一定能改善混合料高温稳定性，关键是形成良好的骨架嵌挤结构，并保持一定密实度。一般认为 4.75mm 筛孔通过率是影响沥青混合料结构组成形态的重要因素。矿粉与沥青形成沥青胶结物，其组成结构对沥青混合料高温稳定性也有影响，因此将矿粉用量也作为分析因素之一。

1.4 空隙率

空隙率较大的沥青混合料容易产生压密变形，增加其密实度可增加矿料颗粒间的接触压力，从而提高其抗车辙能力。但当空隙率低于某临界值时，继续减小空隙率，反而会使沥青混合料抗车辙能力降低。对于临界空隙率，WestTrack 环道试验认为接近 4%，也有研究表明，当空隙率为 8%左右时，车辙最小^[5]。

以上分析了影响沥青混合料高温稳定性的内部因素，在对沥青混合料高温稳定性进行试验研究和评价时，还需考虑不同试验条件的影响。综上所述，本文选取沥青针入度 $P_{(25^{\circ}\text{C}, 100\text{g}, 5\text{s})}$ 、沥青软化点、沥青用量、集料 4.75mm 筛孔通过率、矿粉用量、沥青混合料空隙率作为影响沥青混合料高温稳定性的主要因素进行研究。

2 沥青混合料高温稳定性评价

2.1 试验材料

试验采用几种国内常用品牌沥青，其技术性质见表 1。集料均为石灰岩，各项性能指标符合规范要求。为了便于比较分析，选择 6 种级配类型，如表 2 所示，具有广泛的代表性。

沥青混合料车辙试验结果 ^[9]											表 3
试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
级配	A	A	B	B	C	D	D	D	E	F	
沥青	I	II	I	II	II	III	III	III	III	III	
沥青针入度 $P_{(1/10\text{mm})}$	49	53	49	53	53	92	92	92	92	92	
沥青软化点 ($^{\circ}\text{C}$)	49	58	49	58	58	49.9	49.9	49.9	49.9	49.9	
沥青用量 (%)	5.3	5.0	5.1	4.9	5.6	3.7	4.2	4.7	4.0	4.0	
4.75mm 筛孔通过率 (%)	63.9	63.9	54.7	54.7	40	52	52	52	40	23	
矿粉用量 (%)	5.6	5.6	5.6	5.6	8.5	6	6	6	4	5	
沥青混合料空隙率 (%)	3.8	3.7	3.0	3.1	3.0	5.2	3.8	2.9	6.8	13.9	
动稳定度 (次/mm)	2779	4725	1890	3780	4974	2520	867	382	3150	818	
60min 变形量 (mm)	3.61	2.84	3.22	2.67	1.77	5	9.5	20	3.0	11.5	

沥青技术性质				表 1
指 标	编 号			
	I	II	III	
针入度 $P_{(25^{\circ}\text{C}, 100\text{g}, 5\text{s})}$ (1/10mm)	49	53	92	
延度 $D_{(15^{\circ}\text{C}, 5\text{cm/min})}$ (cm)	> 100	36	> 100	
软化点 T_{ReB} ($^{\circ}\text{C}$)	49	58	49.9	

注：II 为 SBS 改性沥青。

矿料级配组成											表 2
编号	通过下列筛孔（方孔筛，mm）的质量百分率（%）										备注
	26.5	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075		
A	100	100	98.3	63.9	44.1	26.4	15.3	8.2	5.6		AC-13
B	100	98.5	82.9	54.7	42.6	26.1	15.3	8.2	5.6		AC-20
C	100	100	95	40	32	21.3	14.5	10.9	8.5		SMA-13
D	100	100	83	52	41	22	16	11	6		AC-16I
E	100	100	75	40	26	13	9	6	4		AC-16II
F	100	100	95	23	17	11	9	7	5		OGFC

2.2 高温车辙试验

车辙试验是评价沥青混合料高温抗车辙性能的最直观、最有效的方法。通过马歇尔试验确定沥青混合料最佳沥青用量，然后以最佳沥青用量下混合料密度作为控制标准，用轮碾仪制成 30cm×30cm×5cm 试板，在 60℃条件下进行车辙试验^[3]。为了考查不同沥青用量的影响，还对 D 级配最佳沥青用量 ±0.5% 的混合料进行了试验。表 3 列出了不同沥青混合料的动稳定度和 60min 总变形量。

3 灰关联分析

灰关联分析是一种系统分析方法，可以在不完全的信息中，对所要分析研究的各因素，通过一定数据处理，在随机的因素序列中找到其关联性，提炼出影响系统的主要因素、主要特征和因素间对系统影响的差别^[4]。灰关联分析步骤包括：确定数据列，生成处

理数据列，计算求差序列，计算灰关联系数，计算灰关联度和优势分析。下面分别以动稳定性和总变形量作为参考序列，对上述影响因素进行灰关联分析。

3 1 以动稳定性为参考序列

按灰关联分析方法，首先对表 3 所示试验结果进行初值化处理，计算求差序列，最终计算各因素灰关联系数和灰关联度如表 4 所示。图 1 为各因素的灰关联度的直观对比。由图 1 可以看出各影响因素对沥青混合料动稳定度的影响大小依次为：沥青混合料空隙率→4. 75mm筛孔通过率→沥青软化点→沥青针入度

以动稳定性为参考序列的灰关联系数 表 4

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	灰关联度
沥青针入度	1	0. 58	0. 73	0. 76	0. 55	0. 47	0. 36	0. 33	0. 54	0. 36	0. 568
沥青软化点	1	0. 46	0. 58	0. 71	0. 42	0. 80	0. 38	0. 33	0. 79	0. 38	0. 586
沥青用量	1	0. 33	0. 57	0. 47	0. 34	0. 65	0. 44	0. 34	0. 50	0. 45	0. 508
4. 75mm 通过率	1	0. 45	0. 77	0. 54	0. 33	0. 86	0. 54	0. 46	0. 53	0. 90	0. 639
矿粉用量	1	0. 40	0. 59	0. 57	0. 63	0. 74	0. 38	0. 33	0. 53	0. 44	0. 561
混合料空隙率	1	0. 70	0. 94	0. 76	0. 63	0. 79	0. 71	0. 73	0. 72	0. 33	0. 730

3 2 以 60min 总变形量为参考序列

以 60min 总变形量为参考序列的灰关联分析结果见表 5 和图 2。各影响因素对沥青混合料总变形量的影响大小依次为：沥青混合料空隙率→4. 75mm 筛孔通过率→沥青用量→矿粉用量→沥青软化点→沥青针入度。

通过以上优势分析可以看出，各因素对动稳定性和 60min 总变形的影响显著程度并不完全相同。这主要由于动稳定性和总变形量物理意义不同，由动稳定度计算公式可知，其实质是变形趋于稳定时（45 ~ 60min）的变形速率，而总变形量包含了45min前的

以 60min 总变形量为参考序列的灰关联系数 表 5

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	灰关联度
沥青针入度	1	0. 86	0. 94	0. 84	0. 76	0. 79	0. 71	0. 33	0. 64	0. 58	0. 745
沥青软化点	1	0. 85	0. 95	0. 84	0. 77	0. 86	0. 58	0. 33	0. 92	0. 51	0. 762
沥青用量	1	0. 94	0. 97	0. 93	0. 80	0. 77	0. 56	0. 33	0. 97	0. 49	0. 776
4. 75mm 通过率	1	0. 92	0. 99	0. 95	0. 95	0. 81	0. 57	0. 33	0. 92	0. 46	0. 788
矿粉用量	1	0. 91	0. 95	0. 90	0. 68	0. 88	0. 59	0. 33	0. 95	0. 49	0. 769
混合料空隙率	1	0. 93	0. 96	0. 97	0. 89	0. 99	0. 59	0. 33	0. 71	0. 83	0. 821

不论以动稳定度还是总变形量作为参考指标，混合料空隙率和 4. 5mm 筛孔通过率都是较重要的影响因素，其影响显著程度大于沥青结合料性质。由于沥青混合料空隙率主要由集料级配决定，因此要提高沥青混合料高温稳定性，首先应改善混合料级配，关键是使其形成骨架密实结构。

4 结语

(1) 灰关联分析可以在不完全的信息中，分析随

→矿粉用量→沥青用量。

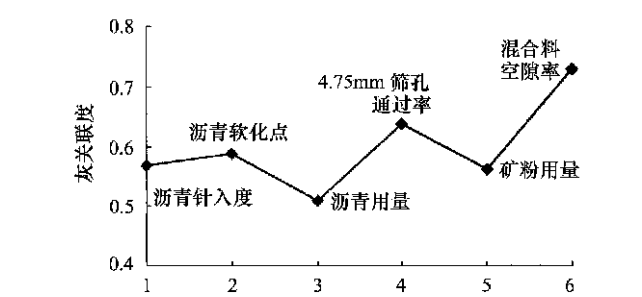


图 1 以总变形为参考序列的因素关联度

变形信息。

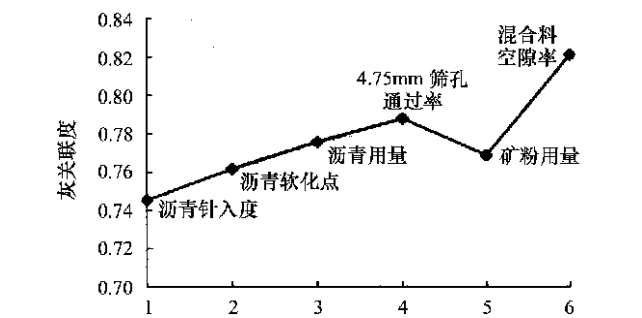


图 2 以动稳定度为参考序列的因素关联度

机因素序列的关联性，发现影响系统的主要因素和因素间对系统影响的差别，因此需要较少的试验量，具有较高实用价值。本文运用灰关联分析方法，研究了沥青针入度 $P_{(25^{\circ}\text{C}, 100\text{g}, 5\text{s})}$ 、沥青软化点、沥青用量、集料 4. 75mm 筛孔通过率、矿粉用量、沥青混合料空隙率 6 因素对沥青混合料高温稳定性的影响显著程度。

(2) 分析结果表明，各影响因素对沥青混合料动稳定度的影响大小依次为：沥青混合料空隙率→4. 75mm 筛孔通过率→沥青软化点→沥（下转第 8 页）

浆、沥青膜剥落、混合料松散等早期病害。

因此，上述两种级配类型都不适用于河南夏季炎热、冬季寒冷、重载车辆较多的高速公路。在这种情况下，河南省采取了如下的措施：①在混合料设计中增加粗矿料的含量，或限制剩余孔隙率，使矿料间形成空间骨架，提高混合料的内摩阻力；②采用较高级稠度的沥青，提高稳定度；③控制粉胶比，在充分发挥矿粉与沥青形成粘结剂作用的同时，减小沥青用量；④对重交通路段，在表面层掺加 SBS 改性剂或沥青混凝土加强筋（博尼维）。

6 加强沥青路面的防水、排水设计

虽然将沥青面层设计为 I 型密级配，但从郑漯、安新、许漯等高速公路来看，部分路段依然出现水损害现象。经调查分析后认为，面层设计时的孔隙率在 3%~6%，实际常在中值以下；压实度标准为 96%，现场孔隙率在 9.5%左右，成为一个储水的层次，也就不难理解沥青面层在冻融循环、重车碾压的情况下出现唧浆、沥青膜剥落、混合料松散等早期水损害现象。为加强沥青混凝土面层的不透水性，应加强压实度和现场孔隙率的控制。表面层的压实度 $\geq 98\%$ ，现场孔隙率 $< 6\%$ ；中、下面层的压实度 $\geq 97\%$ ，现场孔隙率 $< 7\%$ 。沥青各层间设置改性沥青防水粘结层。

在做好防水设计的同时，必须考虑面层内渗入水的排出问题。河南省的做法是：

(1) 在基层与面层间设置改性沥青防水层，该层由 2.4kg/m^2 SBS 含量 5% 的改性沥青和 $4\text{m}^3/1000\text{m}^2$ 粒径在 16~19mm 单一粒径的碎石组成，沥青及碎石采

用洒（撒）布车进行，要求碎石撒布后露黑的面积在 40%左右，摊铺沥青面层时，高温沥青混合料进入碎石与碎石间隙中，使沥青膜融化，碾压密实以后，膜上撒布的白碎石全部变为沥青碎石，嵌入下面层底部，形成一个整体。

(2) 在路肩设置边缘排水设施。由于采用 SBS 改性沥青防水层不但可以防止水向基层渗透，而且下渗水可在防水层表面向边缘排水渗沟汇集，最终通过排水管排出路基。

7 加强施工、管理和监督

(1) 加强施工人员的培训、教育，严格各层施工质量，防止路面不均匀现象。

(2) 严格质量检验，对不满足质量要求的，监理坚决不予认可；同时监理人员要对部分施工方提供的虚假数据引起足够的重视。

(3) 加强材料管理，减小集料颗粒组成的变异性。

(4) 沥青混凝土拌和厂的堆料场地应硬化处理，保证集料清洁。

(5) 除气候良好、运距很短以外，在将沥青混合料直接送入摊铺机之前，应再次拌和混合料，防止出现温度离析。

参考文献：

[1] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防 [M]. 北京：人民交通出版社，2001.
[2] 张登良. 沥青混凝土路面 [M]. 北京：人民交通出版社，2001

(上接第 3 页) 青针入度→矿粉用量→沥青用量；对沥青混合料总变形量的影响大小依次为：沥青混合料空隙率→4.75mm 筛孔通过率→沥青用量→矿粉用量→沥青软化点→沥青针入度。这主要由于动稳定度和总变形量包含信息不同。

(3) 与沥青结合料性能相比，集料级配性质对沥青混合料高温稳定性有更大影响。因此应注重改善混合料级配，使其形成骨架密实结构，以获得抗车辙能力强的沥青混合料。

参考文献：

[1] 黄晓明，吴少鹏，赵永利. 沥青与沥青混合料 [M]. 南京：东

南大学出版社，2002：207—226
[2] 李闯民，李宇峙. 浅析重复荷载作用下的沥青路面车辙因素 [J]. 公路交通科技，1999 (3)：6—9.
[3] 交通部公路科学研究所. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 (JTJ052-2000) [S]. 北京：人民交通出版社，2000. 345—351.
[4] 傅立. 灰色系统理论 [M]. 北京：科学技术文献出版社，2000. 185—194.
[5] 郝培文，吴徽，张登良. 不同沥青用量与级配组成对沥青混合料抗车辙性能的影响 [J]. 西安公路交通大学学报，1998 (3)：199—202