

灰熵法分析研究马歇尔特征值 对沥青混合料高温稳定性的影响

刘志前, 刘星宇

(山东交通职业学院 公路与建筑学院, 山东 潍坊 261206)

摘要: 沥青混合料的高温稳定性是影响沥青路面路用性能的一个主要因素, 在实际工程中往往由于高温稳定性不好而导致路面发生不同程度的病害。基于灰熵分析法, 讨论了马歇尔特征值对沥青混合料的影响程度, 研究认为马歇尔稳定度、VMA 和油石比对于沥青混合料的影响显著, VFA 和 VV 次之, 毛体积密度最小, 这为沥青混合料的设计提供科学的依据。

关键词: 高温稳定性 灰熵法 马歇尔特征值

中图分类号: U416 217 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2010)04-0100-04

0 引言

随着沥青路面在我国高等级公路上的大量使用, 沥青路面已经遍布我国大江南北, 但是纵观近些年修建的重载交通的高等级公路, 沥青路面往往在较短的时间内就会产生严重的破坏, 如车辙、水损害等, 远远没有达到道路的设计年限。改善沥青混合料的路用性能, 提高沥青路面的施工技术水平和质量控制, 延长路面的使用寿命, 已经成为我国公路行业要急需解决的问题。

沥青混合料的高温稳定性能, 实际上是抵抗车辙反复压缩变形及侧向流动的能力, 通常所说的沥青混合料高温特性的“高温”条件是指在使用过程中受到交通荷载的反复作用, 容易产生车辙、推移和拥包等永久范围的温度范围。道路使用实践表明^[1], 在通常汽车荷载条件下, 永久变形主要表现在夏季气温高于 25~30℃, 即沥青路面的路表温度达到 40~50℃以上, 已经达到或超过道路沥青软化点温度的情况下产生, 且随着温度升高和荷载加重, 变形也越大。在许多国家, 高速公路路面维修、罩面的原因中, 车辙的比率高达 80%, 可见沥青路面高温稳定性问题的严重性。在通常情况下, 矿料级配的贡献率占到 60%, 沥青结合料则提供 40% 的抗车辙能力^[2]。因此, 沥青混合料高温性能及其指标的研究成为了道路工程领域的重要课题。目前评定沥青混合料高温稳定性的指标主要有以下几个方面: ①经验法评述, 包括: 高温抗压强度与软化系数法、马歇尔法、三轴剪切法; ②高温抗剪切评价; ③沥青混合料永久变形评价方法, 包括: 蠕变、车辙试验、简单剪切试验等; 其中, 我国常规的评价高温稳定性的指标是马歇尔法的稳定度和流值, 以及车辙试验的动稳定性和车辙深度。

1 灰色关联熵分析法

灰色关联分析是一种系统分析方法。灰色关联是指事物之间的不确定关联, 或系统因子之间, 因子对主行为之间的不确定关联。通过灰色关联分析就可以找出各种影响因素与系统的发展态势之间的关系, 从而分辨出哪些是主要因素、起推动性作用的因素, 哪些则是次要因素, 对系统的发展没有什么影响。

灰色关联分析是对系统变化发展态势的定量描述和比较的方法。变化发展态势的比较, 依据空间理论的数学基础, 按照规范性、偶对称性、整体性和接近性的原则, 确定参考序列(母序列)和若干比较数列(子序列)之间的关联系数和关联度。灰关联分析(关联度分析)的目的就是寻求系统中各因素间的主要关系、找出影响目标值的重要因素, 从而掌握事物的主要特征, 促进和引导系统迅速而有效地发展。

收稿日期: 2010-07-28

作者简介: 刘志前 男 1981 年出生 助教

1.1 灰熵

设灰内涵数列 $X = (x_1, x_2, \dots, x_r)$, $\forall i, x_i \geq 0$ 且 $\sum x_i = 1$, 称函数 $H_{\odot}(X) \triangleq - \sum x_i \ln x_i$ 为数列 X 的灰熵, x_i 为属性信息。

数列 X 的灰熵 $H_{\odot}(X)$ 与 shannon 熵函数具有相同的结构, 因此数列 X 的灰熵具有与 shannon 熵函数的全部性质: 对称性、非负性、可加性、上凸性、极值性。两者之间的区别在于: ① shannon 熵是一种概率熵, 而灰熵是非概率熵; ② 灰熵具有灰性, 而 shannon 熵具有确定性。灰熵的最大值为 $H_m = \ln r$ 。

1.2 灰关联熵

设 x 为灰关联因子集, $X_0 \in x$ 为主行为列, $X_j \in x, j = 1, 2, \dots, m$ 为参考数列, $R_j = \{r(x_0(k)), x_j(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$, 则映射 $\text{Map } R_j \rightarrow P_j$

$$P_h \triangleq \frac{r(x_0(h), x_j(h))}{\sum_{h=1}^n r(x_0(h), x_j(h))}, P_h \in P_p, h = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

称为灰关联系数分布映射, 映射值 P_h 称为分布的密度值, $\sum P_h = 1$ 。称函数

$$H(R_j) \triangleq - \sum_{h=1}^n P_h \ln P_h \quad (2)$$

为 X_j 的灰关联熵, $E_r(x_j) \triangleq H(R_j)$ H_m 为序列 X_j 的熵关联度, H_m 代表由 n 个元素构成的差异信息列的最大熵^[3]。

2 灰熵法计算沥青混合料高温稳定性的灰色关联度

为了研究油石比、毛体积密度、VV、VMA、VFA、稳定度等特征值对沥青混合料高温稳定性的影响, 采用改性 AC-20 级配范围中值, 试验结果见表 1。主要研究马歇尔特征值对沥青混合料高温稳定性的影响, 故最佳油石比及马歇尔各种体积参数的由来将不再赘述。

表 1 AC-20 马歇尔试验结果

试件 编号	动稳定度 / (次·mm ⁻¹)	油石比 / %	毛体积密度 / (g·cm ⁻³)	空隙率 / %	矿料间隙率 / %	饱和度 / %	稳定度 / kN
1	1 259	3.5	2.392	7.6	13.9	45.3	11.9
2	1 325	4.0	2.415	6.1	13.5	54.8	12.7
3	1 492	4.5	2.449	4.1	12.7	67.7	13.3
4	1 438	5.0	2.432	2.7	12.6	78.6	12.5
5	1 318	5.5	2.425	1.6	12.6	87.3	11.7

把动稳定度为指标作为参考序列, 马歇尔的特征值为比较序列, 用灰熵关联分析法, 确定各个特征值对动稳定度的影响顺序。

2.1 均值化处理

将表 1 作为灰熵分析的原始数列, 对其进行均值变换, 其结果见表 2。

表 2 均值化处理结果

试件编号	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
1	0.921 4	0.777 8	0.987 4	1.719 5	1.064 3	0.678 8	0.958 1
2	0.969 7	0.888 9	0.996 9	1.380 1	1.033 7	0.821 1	1.022 5
3	1.091 9	1.000 0	1.010 9	0.927 6	0.972 4	1.014 4	1.070 9
4	1.052 4	1.111 1	1.003 9	0.610 9	0.964 8	1.177 7	1.006 4
5	0.964 6	1.222 2	1.000 1	0.362 0	0.964 8	1.308 1	0.942 0

2.2 以动稳定度为灰熵关联度计算

(1) 按照灰系数计算公式, 计算出每个影响指标与动稳定度的关联系数, 其结果见表 3。

(2) 根据灰熵关联度密度值的计算公式, 得出灰熵关联密度, 计算结果见表 4。

(3) 由灰熵及灰熵关联度计算公式, 计算得出比较列的灰熵 $H(R_j)$ 分别为: $H(R_{a_1}) = 1.601 857$,

$H(R_{a_2}) = 1.498 455$ $H(R_{a_3}) = 1.576 223$ $H(R_{a_4}) = 1.603 589$ $H(R_{a_5}) = 1.597 713$ $H(R_{a_6}) =$

1 609 022

最后由灰熵计算出灰熵关联度, 马歇尔特征值的灰熵关联度见图 1 所示。

表 3 灰关联系数

试件编号	ξ_{a_1}	ξ_{a_2}	ξ_{a_3}	ξ_{a_4}	ξ_{a_5}	ξ_{a_6}
1	0.000 367	0.000 429	0.000 166 7	0.000 368 1	0.000 310 9	0.000 457 8
2	0.000 416	0.000 468	0.000 246 6	0.000 431 5	0.000 364 8	0.000 441 9
3	0.000 406	0.000 416	0.000 354 8	0.000 385 6	0.000 419 1	0.000 475 2
4	0.000 436	0.000 141	0.000 237 3	0.000 416 7	0.000 384 3	0.000 448 3
5	0.000 304	0.000 146	0.000 199 1	0.000 510 2	0.000 269 1	0.000 473 2
列和	0.001 929	0.001 605	0.001 204 1	0.002 093 1	0.001 743 1	0.002 296 2

表 4 灰熵关联密度

试件编号	P_{a_1}	P_{a_2}	P_{a_3}	P_{a_4}	P_{a_5}	P_{a_6}
1	0.190 546 3	0.267 264 4	0.138 442 9	0.175 846 5	0.178 374 9	0.199 419 8
2	0.215 488 1	0.291 601 1	0.204 752 3	0.205 823 2	0.209 006 5	0.192 313 4
3	0.210 612 1	0.258 884 2	0.294 185 4	0.183 794 3	0.240 174 2	0.206 856 3
4	0.225 893 1	0.091 125 3	0.197 162 6	0.195 827 2	0.218 294 3	0.195 285 1
5	0.157 461 1	0.091 125 2	0.165 461 3	0.238 712 3	0.154 151 3	0.206 129 4

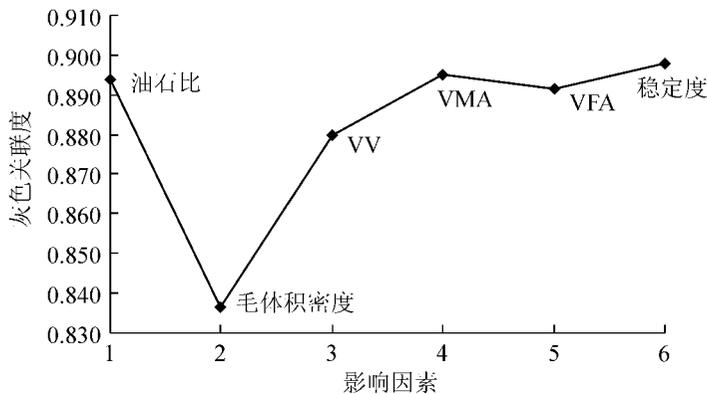


图 1 不同因素的灰熵关联度

3 马歇尔特征值对沥青混合料的高温性能影响分析

在灰熵关联度排序中, 马歇尔稳定度居于最主要位置, 证明马歇尔稳定度与路面的车辙量之间有重要的相关关系。但是仅有很高的马歇尔稳定度并不能保证沥青路面不产生车辙, 尤其是对某些以骨料嵌挤作用为主体的混合料, 如 SMA、OGFC、沥青碎石混合料、贯入式、表面处治等等, 有些几乎不能成型试件, 浸水就散。有的即使能作马歇尔试验, 因为它对于马歇尔试验的受力模式并不合理, 稳定度也很低, 但是恰恰相反, 这一类混合料的高温稳定性可能反而较好但是对于同一类型的混合料, 例如最常用的密级配沥青混凝土, 在合理的沥青用量范围内, 稳定度高了说明高温时的内聚力较大, 总还是好的。

VMA 是控制沥青混合料性能的一项重要指标, 是指矿料骨架之间的间隙率, 它是一个综合性指标, 其值为沥青体积百分率与空隙率之和, 其灰熵关联顺序在空隙率与沥青体积百分率之间。

沥青用量对沥青混合料的抗车辙能力有很大影响。沥青用量越大, 游离的沥青越多, 便削弱了矿料之间对高温稳定性起决定作用的嵌挤力, 抗车辙性能愈差。沥青用量过低, 混合料坚硬松散难以压实, 也影响沥青路面的抗车辙能力。美国 Wes Track 环道试验表明: 对于热拌沥青混合料, 最大的车辙与高沥青含量相关, 所谓高沥青含量^[4]是指比最佳沥青含量高 0.7% 的沥青含量; 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, 最优沥青含量并非马歇尔试验确定的最佳沥青含量。

毛体积密度是指压实后单位毛体积内的混合料的质量, 且与 VV 存在一定的关系, 从图中也可以明显的看出二者对于沥青混合料的影响是较小的。虽然这两个指标对于高温性能的影响是很小, 但也不能在今后的工程中忽视二者的存在, VV 对于压实度、耐久性和水稳定性的作用还是很重要的。

4 结论

(1) 根据以上分析可知, 马歇尔稳定度、VMA 和油石比对于沥青混合料的影响显著, VFA 和 VV 次之, 毛体积密度最小。通过找出马歇尔特征值对沥青混合料高温性能影响的主次关系, 可以为有高温性能要求的沥青混凝土的提供优化设计和合理的科学依据, 也为沥青路面由于高温性能不好而产生的各种病害找出了有针对性的解决办法。

(2) 运用灰熵法分析沥青混合料的高温稳定性, 不但可以深入的研究各项指标对其影响的程度, 还可以客服在实际生产过程中由于经验而引起的错误判断, 同时灰熵法推导较为严密, 计算方便。

参 考 文 献

- [1] 卢铁瑞. 道路沥青混合料高温性能评价指标的研究 [J]. 市政技术, 1998(1): 25-31.
 [2] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
 [3] 张岐山, 郭喜江, 邓聚龙. 灰关联熵分析法 [J]. 系统工程与实践, 1996, 6(8): 7-11
 [4] 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, 18(3(B)): 199-202

Gray Entropy Method Analysis of Marshall Eigenvalue Effects on High Temperature Stability of Asphalt Mixture

Liu Zhiqian, Liu Xingyu

(Highway and Transportation Vocational College Shandong Institute of Architecture Weifang 261206 China)

Abstract The high temperature stability of asphalt mixture is a major factor to affect the performance of asphalt pavement. In practical engineering, varying degrees of surface defects often happen because of poor high temperature stability. Based on gray entropy analysis method, the influence of Marshall eigenvalue on the asphalt mixture is studied to provide a scientific basis for the design of asphalt mixture.

Key words high temperature stability; gray entropy law; Marshall eigenvalue

(上接第 99 页)

Study on JQ900A Bridge Construction Machine Passing Tied Arch in Wanning 2nd Bridge

Liu Linsheng

(Fifth Engineering Company, 19th China Railway Bureau Group, Dalian 116000 China)

Abstract The bridge machine JQ900A and the transporting girder vehicle KSC900 passing the Wanning 2nd super large bridge is introduced. The structural behavior is analyzed with Sap2000 and Midas/Civil, and the stress of the top and bottom flange of main beam is calculated. The calculation results show that under every load condition, the anti-cracking safety factors are all larger than 1.1, and the strength safety factors at the maximum bending moment are all larger than 2.2, which indicates that the project is reasonable and feasible.

Key words tied arch bridge; bridge machine; construction project; structural analysis