

文章编号:1671-6833(2014)03-0102-04

沥青组分与黏度的灰关联分析

傅 珍¹, 延西利², 蔡 婷², 马 峰²

(1. 长安大学 材料学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要: 为了明确沥青组分等各因素对黏度的影响关系, 测试了 10 种沥青结合料 4 组分及黏度试验数据, 利用灰关联方法分析了沥青质、芳香分、饱和分、胶质、胶质与沥青质含量之和、胶质与沥青质含量之比等因素对沥青 135 ℃ 和 100 ℃ 下黏度的灰关联度排序结果. 结果表明, 将灰关联方法用于分析各沥青组成成分因素对 135 ℃ 和 100 ℃ 下的黏度影响能获得较好的结果. 各影响因素对沥青 135 ℃ 黏度影响程度的排序由大到小依次为: 胶质、芳香分、饱和分、胶质与沥青质含量之和、胶质与沥青质含量之比、沥青质. 胶质含量对两个温度的沥青黏度均具有较高的影响程度, 沥青质含量影响程度较低. 分析表明, 胶质含量、胶质与沥青质含量之和对沥青在较高温度下的黏度和施工过程中的技术性能具有重要影响.

关键词: 公路工程; 沥青 4 组分; 黏度; 灰关联分析

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1671-6833.2014.03.025

0 引言

黏度是道路石油沥青的重要技术性质, 反映了沥青材料的使用性能, 同时较高温度条件下的黏度还影响沥青混合料的施工工艺性能. 沥青黏度与其 4 组分组成、极性和分子量有关, 由于沥青组成的复杂性, 对其进行精确分离难度较大, 因此习惯上将物理和化学特性相似的化合物作为一个组分进行分离. 目前的研究也反映了沥青组成特性与沥青黏度、粘附性之间的复杂关系^[1-4].

灰关联分析是基于确定序列之间关联程度的目的所进行的度量和分析, 体现序列各个因素属性的内在关联性, 为系统识别、预测、决策、控制提供有用信息和较可靠的依据^[5-6]. 高山松^[7]利用灰色理论分析了沥青蜡含量和沥青组成与其黏度的关系, 认为单个组分与黏度的关联无明确规律性. 高彦丽等^[8]采用灰色关联方法研究了复合改性沥青 4 组分与延度、软化点、针入度及针入度指数之间的关联程度, 认为沥青质与沥青宏观技术性能的关联程度较高. 但以上研究未采用灰关联方法针对沥青组分与黏度进行深入分析.

本研究基于沥青 4 组分分析及黏度试验数

据, 利用灰关联分析法研究沥青质、芳香分、饱和分、胶质、胶质与沥青质含量之和、胶质与沥青质含量之比等因素对沥青 135 ℃ 和 100 ℃ 下黏度的灰关联度排序, 以确定影响黏度的主要因素.

1 沥青性质试验

1.1 沥青基本技术性质

本研究选用我国公路工程中常用的 10 种国产道路石油沥青来研究沥青组分与黏度之间的关系. 为了体现不同品牌同种标号和相同品牌不同标号沥青的性能, 有针对性进行原材料选择. 10 种沥青样品中有 A、B 两类沥青分别为同品牌不同标号沥青, E 类沥青常应用于我国寒冷地区, 选取了两个不同的标号, 分别为 E1 和 E2. 各沥青的基本技术指标如表 1 所示.

1.2 沥青组分

测试了以上 10 种沥青结合料 4 组分数据, 结果见图 1. 从图 1 可以看出, A 沥青具有较低的沥青质含量, 实际工程应用中已表现出较好的高温稳定性和低温抗裂性, 反映出沥青组成成分与使用性能联系的复杂性. 对于 B 沥青, 随着 25 ℃ 针入度值升高, 沥青质含量逐渐减少, 反映了在同种

收稿日期: 2013-11-20; **修订日期:** 2013-12-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51310105032, 51310105031); 中国博士后科学基金资助项目(2013M532001); 陕西省科技攻关项目(2013KW24, 2013kjxx-94); 中央高校基本科研业务费专项项目(CHD2012ZD016, CHD2012JC034).

作者简介: 傅珍(1976-), 女, 河南鹤壁人, 长安大学副教授, 博士, 主要研究方向为道路结构与材料, E-mail: fuzhen524@sina.com.

类型的原油和加工工艺时,沥青质含量与针入度和加工工艺之间并不明显. 具有较好的相关性. 而此规律在不同的原油类型

表 1 沥青基本技术指标
Tab.1 Properties of asphalt binders

| 试验项目 | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C | D | E1 | E2 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25 ℃ 针入度/(10 mm ⁻¹) | 73 | 85 | 110 | 90 | 115 | 129 | 102 | 107 | 134 | 152 |
| 15 ℃ 延度/cm | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 |
| 软化点/℃ | 48.5 | 48.5 | 44.0 | 48.5 | 43.0 | 43.5 | 45.0 | 44.5 | 47.5 | 48.5 |
| PI | 0.60 | 1.04 | 0.67 | -1.25 | -0.67 | -1.07 | -0.61 | -1.92 | 0.33 | -0.67 |

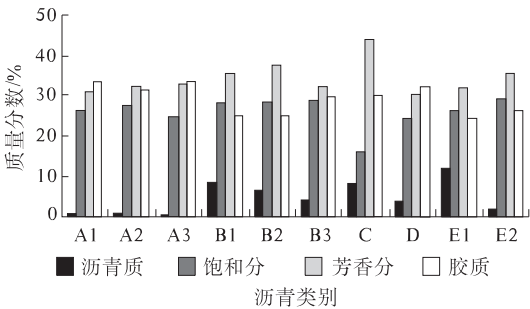


图 1 沥青的 4 组分试验结果
Fig.1 Asphalt components analysis of binders

1.3 沥青黏度

采用 Brookfield 旋转黏度仪测定了 10 种沥青在 135 ℃ 和 100 ℃ 下的表观黏度,如图 2 所示.

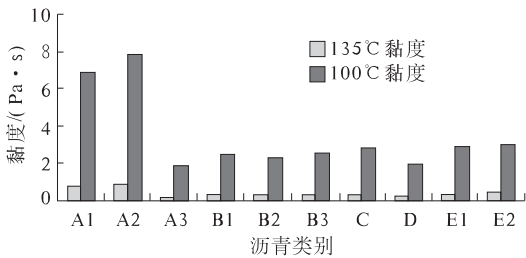


图 2 135 ℃ 和 100 ℃ 黏度试验结果
Fig.2 Viscosity of asphalt at 135 ℃ and 100 ℃

从图 2 可以看出,随着温度的升高,不同种类的沥青黏度都有明显下降的趋势. A1 和 A2 沥青有显著的高黏度值,A3 沥青的黏度值则与其他类别沥青接近. A 类 3 种沥青的 4 组分分析结果差异并不明显,而黏度数值则表现出明显的不同,表明沥青组分并非黏度值的唯一决定因素,沥青组成成分的结构差异也会影响黏度及其他宏观路用性能.

2 灰关联分析

(1)指定原始参考的数据列,设一组离散的原始序列为

$$\begin{cases} x^{(0)}(k), k=1,2,3,\cdots,m; \\ x^{(i)}(k), k=1,2,3,\cdots,m; i=1,2,3,\cdots,n. \end{cases}$$

式中: $x^{(0)}$ 为母因素序列; $x^{(i)}$ 为子因素序列.
(2)由于系统中各因素的物理意义可能不同,导致数据的量纲、数量组均存在明显差异,原始数据序列比较时会影响结果的正确性. 为了保证各因素具有等效性和同序性,需要对原数据进行处理,使之无量纲化和规一化. 在灰关联分析中常用的变换数据方法有均值化处理、区间值化处理和初值化处理. 均值化处理在解决工程问题中用的比较多,采用该方法.

$$\begin{aligned} \text{令其平均值为 } \overline{x^{(i)}(k)} &= \frac{\sum_{k=1}^m x^{(i)}(k)}{m}, k=1, \\ &2,3,\cdots,m; i=1,2,3,\cdots,n. \\ \text{则对 } x^{(i)}(k) \text{ 作均值化处理,得 } y^{(i)}(k) \text{ 为} \\ \begin{cases} y^{(0)}(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}; \\ y^{(i)}(k) = \frac{x^{(i)}(k)}{x^{(i)}(k)}. \end{cases} \end{aligned} \tag{1}$$

其中, $k=1,2,3,\cdots,m; i=1,2,3,\cdots,n$.

(3)关联系数的计算. 若将经均值化处理后数列记为 $\{x_0(t)\}$,子数列记为 $\{x_i(t)\}$,则在 $t=k$ 时, $\{x_0(t)\}$ 与 $\{x_i(t)\}$ 的关联系数 $\xi_{0i}(k)$ 用下式计算:

$$\xi_{0i}(k) = \left| \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}} \right|. \tag{2}$$

式中: $\Delta_{0i}(k)$ 为 k 时刻两个序列的绝对差,即 $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$; $\Delta_{\max}, \Delta_{\min}$ 分别为各时刻绝对差的最大值与最小值; ρ 为分辨系数,其作用在于提高关联系数之间的差异显著性,取 0.5.

(4)关联度的计算. 灰关联度的计算公式为

$$r_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{0i}(k). \tag{3}$$

式中: r_{0i} 为曲线 y_i 对 y_0 的关联度. 利用灰关联分析方法进行影响因素关联程度分析时,主要参考序列与比较序列之间的关联度越大,说明参考序列与比较序列之间关系越密切,反之亦然.

3 沥青组分与黏度的灰关联分析

为了便于分析组分与黏度的关联性,将 135 ℃ 和 100 ℃ 布氏黏度与 10 种国产道路石油沥青的 4 组分数据绘制于表 2 中.

取分析指标作为参考序列研究沥青组分对其黏度的影响与关联性,因此选择 135 ℃、100 ℃ 布氏黏度作为参考数列 X_0 、 X'_0 . 以沥青 4 组分含量列入指标组并增加胶质与沥青质含量之和、胶质与沥青质含量之比,以此作为比较数列: X_1 (沥青质,%)、 X_2 (饱和分,%)、 X_3 (芳香分,%)、 X_4 (胶质,%)、 X_5 (胶质 + 沥青质,%)、 X_6 (胶质/沥青质). 将表 2 中的数据按式 1 进行均值化处理. 首先进行沥青组成情况对 135 ℃ 布氏黏度的影响分析,按式 $\Delta_{0i}(k) = |Y_0(k) - Y_i(k)|$ 分别求各影响因素均值化后序列与 135 ℃ 布氏黏度均值化后序列的绝对差,最大值为 3.859,最小值为 0. 由式(3)计算得出每个数值的关联系数(ρ 取 0.5),结果见表 3.

按表 3 的灰关联系数,计算得出以 135 ℃ 黏

度为参考因素的每个序列的关联度: $\gamma_{01} = 0.711$; $\gamma_{02} = 0.838$; $\gamma_{03} = 0.843$; $\gamma_{04} = 0.855$; $\gamma_{05} = 0.837$; $\gamma_{06} = 0.744$. 将各组分与黏度的关联度从大到小排序为:胶质、芳香分、饱和分、胶质 + 沥青质、胶质和沥青质含量比、沥青质.

按照上述方法,分析沥青组成情况对 100 ℃ 布氏黏度的影响. 按式 $\Delta'_{0i}(k) = |Y'_0(k) - Y_i(k)|$ 求取 100 ℃ 布氏黏度均值化得到的数据序列,与沥青组成均值化的数据列之间的绝对差,根据结果数据表,得绝对差最大值为 3.746,最小值为 0.008. 取 ρ 为 0.5,计算各关联系数,结果汇总于表 3.

按表 3 灰关联系数,计算得出以 100 ℃ 黏度为参考因素的每个序列的关联度: $\gamma'_{01} = 0.693$; $\gamma'_{02} = 0.815$; $\gamma'_{03} = 0.818$; $\gamma'_{04} = 0.845$; $\gamma'_{05} = 0.823$; $\gamma'_{06} = 0.756$. 将各组分与 100 ℃ 黏度的关联度按从大到小排序为:胶质、胶质 + 沥青质、芳香分、饱和分、胶质/沥青质、沥青质.

分别以 135 ℃ 黏度和 100 ℃ 黏度为参考因素,以沥青化学组成、胶质与沥青质之和与胶质和

表 2 沥青黏度指标及其 4 组分分析
Tab.2 Test results for asphalt viscosity and components analysis

| 影响因素 | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C | D | E1 | E2 |
|-------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 135 ℃ 黏度/(Pa · s) | 0.745 | 0.825 | 0.177 | 0.319 | 0.301 | 0.336 | 0.335 | 0.238 | 0.378 | 0.395 |
| 100℃ 黏度/(Pa · s) | 6.864 | 7.773 | 1.902 | 2.500 | 2.293 | 2.505 | 2.83 | 1.988 | 2.921 | 2.974 |
| 沥青质的质量分数/% | 0.56 | 0.68 | 0.30 | 8.42 | 6.62 | 4.13 | 8.19 | 3.74 | 11.91 | 1.77 |
| 饱和分的质量分数/% | 26.19 | 27.48 | 24.65 | 28.16 | 28.44 | 28.78 | 16.17 | 24.36 | 26.40 | 28.96 |
| 芳香分的质量分数/% | 31.07 | 32.41 | 32.78 | 35.44 | 37.54 | 32.18 | 43.85 | 30.43 | 32.10 | 35.56 |
| 胶质的质量分数/% | 33.51 | 31.26 | 33.66 | 25.13 | 24.86 | 29.88 | 30.18 | 32.31 | 24.40 | 26.25 |
| m(胶质 + 沥青质)/% | 34.07 | 31.94 | 33.96 | 33.55 | 31.48 | 34.01 | 38.37 | 36.05 | 36.31 | 28.02 |
| m(胶质/沥青质)/% | 59.84 | 45.97 | 112.20 | 2.98 | 3.76 | 7.23 | 3.68 | 8.63 | 2.05 | 14.83 |

表 3 135 ℃ 和 100 ℃ 下各影响因素的关联系数
Tab.3 Grey relation degree coefficient for each influence factor

| 温度 | 关联系数 | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C | D | E1 | E2 | 灰关联度 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 135 ℃ | ξ_{01} | 0.529 | 0.505 | 0.838 | 0.652 | 0.738 | 0.969 | 0.672 | 0.898 | 0.541 | 0.765 | 0.711 |
| | ξ_{02} | 0.700 | 0.663 | 0.790 | 0.867 | 0.845 | 0.873 | 0.904 | 0.846 | 0.958 | 0.932 | 0.838 |
| | ξ_{03} | 0.673 | 0.638 | 0.788 | 0.888 | 0.846 | 0.947 | 0.811 | 0.866 | 1.000 | 0.970 | 0.843 |
| | ξ_{04} | 0.736 | 0.667 | 0.729 | 0.963 | 0.946 | 0.908 | 0.902 | 0.787 | 0.953 | 0.963 | 0.855 |
| | ξ_{05} | 0.699 | 0.639 | 0.773 | 0.904 | 0.911 | 0.916 | 0.862 | 0.801 | 0.931 | 0.930 | 0.837 |
| | ξ_{06} | 0.811 | 0.874 | 0.333 | 0.741 | 0.763 | 0.777 | 0.738 | 0.882 | 0.693 | 0.825 | 0.744 |
| 100 ℃ | ξ'_{01} | 0.503 | 0.473 | 0.797 | 0.634 | 0.713 | 0.922 | 0.667 | 0.894 | 0.523 | 0.800 | 0.693 |
| | ξ'_{02} | 0.660 | 0.614 | 0.828 | 0.842 | 0.816 | 0.834 | 0.909 | 0.841 | 0.920 | 0.884 | 0.815 |
| | ξ'_{03} | 0.637 | 0.592 | 0.826 | 0.862 | 0.817 | 0.902 | 0.807 | 0.861 | 0.959 | 0.919 | 0.818 |
| | ξ'_{04} | 0.694 | 0.617 | 0.759 | 0.935 | 0.912 | 0.866 | 0.900 | 0.782 | 1.000 | 0.983 | 0.845 |
| | ξ'_{05} | 0.660 | 0.592 | 0.808 | 0.878 | 0.878 | 0.873 | 0.859 | 0.795 | 0.895 | 0.988 | 0.823 |
| | ξ'_{06} | 0.864 | 0.796 | 0.335 | 0.758 | 0.786 | 0.810 | 0.737 | 0.888 | 0.713 | 0.868 | 0.756 |

沥青质之比作为对比因素进行了灰色关联分析,得出了胶质含量对两个温度的黏度具有较好关联程度,表明胶质含量、胶质与沥青质之和对沥青的高温黏度及施工过程中的技术性能具有重要影响.而沥青质含量单个指标相比于其他因素具有较低的关联度,表明沥青质含量单个指标对沥青的高温黏度及施工过程中的技术性能具有较低的影响程度.

4 结论

基于10种沥青结合料4组分分析及其黏度试验,利用灰关联分析法研究了沥青各组分、胶质与沥青质含量之和、胶质与沥青质含量之比等因素对沥青135℃和100℃下黏度的灰关联度排序,明确了影响黏度的主要因素,得出以下结论.

(1)由灰关联分析法所得到的各影响因素对沥青135℃黏度影响程度的排序结果由大到小依次为:胶质,芳香分,饱和分,胶质与沥青质含量之和,胶质与沥青质含量之比,沥青质.

(2)各影响因素对沥青100℃黏度影响程度的排序结果由大到小依次为:胶质,胶质+沥青质,芳香分,饱和分,胶质/沥青质,沥青质.

(3)综合以上135℃和100℃黏度为参考因素的关联度排序结果,表明胶质含量、胶质与沥青质之和对沥青的高温黏度及施工过程中的技术性能

能具有重要影响,沥青质含量单个指标的影响程度较低.

参考文献:

- [1] MOGAWER W S, AUSTERMAN A J, KASSEM E. Moisture damage characteristics of warm mix asphalt mixtures[J]. *Asphalt Paving Technology*, 2011, 25: 491 – 524.
- [2] 马峰,张超,傅珍.纳米碳酸钙改性沥青的DSC分析[J]. *郑州大学学报:工学版*, 2006, 27(4): 49 – 52.
- [3] 宋艳茹,钱沧源,张水燕,等.沥青组分和分子量分布规律[J]. *石油沥青*, 2005, 19(1): 45 – 47.
- [4] 王翠红,宋艳茹,张荣德,等.沥青组分对其粘度的影响[J]. *石油沥青*, 2003, 17(3): 19 – 21.
- [5] 沈珍瑶,杨志峰.灰关联分析方法用于指标体系的筛选[J]. *数学的实践与认识*, 2002, 32(5): 728 – 732.
- [6] 汪群峰,金佳佳,米传民,等.基于灰关联深度系数的评价指标客观权重极大熵配置模型[J]. *控制与决策*, 2013, 28(2): 235 – 240.
- [7] 高山松.沥青组成对其粘度影响的灰色关联分析[J]. *石油沥青*, 2008, 22(2): 66 – 68.
- [8] 高彦丽,李其祥,向东栋,等.复合改性沥青组分与性能的灰色关联分析[J]. *湖北大学学报:自然科学版*, 2011, 33(2): 178 – 181.

Grey Incidence Analysis on Asphalt Component and Viscosity

FU Zhen¹, YAN Xi-li², CAI Ting², MA Feng²

(1. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xian 710064, China; 2. School of Highway, Chang'an University, Xian 710064, China)

Abstract: In order to clarify the influencing relationship of asphalt components and other factors on the viscosity, four – component analysis data and viscosity test data of ten asphalt binders were tested. Based on the grey incidence analysis, the gray correlation degree sort results of asphaltene, aromatics, saturates, resin, total content of resin and asphaltene, the content ratio between resin and asphaltene and other factors on the viscosity at 135℃ and 100℃ were analyzed. The research results showed that satisfactory results can be gotten when grey incidence analysis was used in studying the influence of asphalt components on the viscosity at 135℃ and 100℃. For the viscosity at 135℃, the grey relation sequence of influence factors is that resin content, aromatic content, saturate content, total of resin and asphaltene, ratio between resin and asphaltene, and asphaltene content. The sequence data got by the grey relation degree theory show that the resin content is the principal influence factor for the viscosity at both temperature, while the asphaltene content has a minimum influence. The analysis showed that resin content and total of resin and asphaltene have important effect on the viscosity with higher temperature in construction process and workability of asphalt binder.

Key words: highway engineering; asphalt component; viscosity; grey incidence analysis