

基于灰色关联分析法的辽宁省厂拌冷再生路面使用性能指数影响因素

杨彦海,张 东,杨 野

(沈阳建筑大学交通工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 探究厂拌冷再生技术应用于道路下面层累计当量轴次 N_e 、年平均气温和年平均降雨量对路面使用性能指数 PQI 的影响程度,为厂拌冷再生路面养护对策的制订提供参考依据.方法 采用《辽宁省普通公路沥青路面厂拌再生技术后评价研究》提供的路面损坏状况指数、路面行驶状况指数,根据《公路技术状况评定标准》(JTG H20—2007)及《高速公路养护质量检评方法》的计算方法获得 PQI 值.运用 MATLAB 软件,基于灰色关联分析法,对辽宁省 5 个气候区内的典型乳化沥青厂拌冷再生干线公路的路面使用性能指数 PQI 进行相关因素影响分析.结果 PQI 与每条车道累计当量轴次 N_e 、年平均气温和年平均降雨量之间的灰关联度分别为:气候Ⅰ区 0.578 0,0.731 2,0.553 6;气候Ⅱ区 0.638 4,0.730 3,0.556 0;气候Ⅲ区 0.619 5,0.772 2,0.584 6;气候Ⅳ区 0.710 1,0.699 4,0.538 9;气候Ⅴ区 0.814 7,0.857 6,0.710 7.结论 年平均气温对 PQI 的影响最大,累计当量轴次 N_e 次之,年平均降雨对 PQI 的影响最小.

关键词 道路工程;厂拌冷再生;路面使用性能指数;灰色关联分析法;气候分区

中图分类号 TU279.7⁺1

文献标志码 A

Influencing Factors of Pavement Performance Index of Central Plant Cold Recycling Based on Grey Correlation Analysis in Liaoning Province

YANG Yanhai, ZHANG Dong, YANG Ye

(School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: In the situation that the central plant cold recycling technology is applied to the underlying layer of the road, in order to explore the influence of the cumulative equivalent single axle lode N_e , the annual average temperature and the annual average rainfall on the pavement performance index PQI of the central plant cold recycling and to provide reference for the formulation of main-

收稿日期:2017-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51478276);辽宁省自然科学基金项目(2016010630-301);辽宁省公路科技创新重点科研项目(201708)

作者简介:杨彦海(1972—),男,教授,博士,主要从事路面结构与材料、道路施工与养护技术方面研究.

tenance countermeasures of central plant cold recycling pavement. Based on the Highway Performance Assessment Standards and Expressway Maintenance Quality Evaluation Standards, the *PQI* value was calculated by using the “Pavement Damage Status Index and Road Driving Status Index” provided by the Research and Research on the Post-Evaluation Research of the Common Road Asphalt Pavement Plant Mixing Technology in Liaoning Province. Based on the gray correlation analysis, the relevant factors of the pavement performance index *PQI* of the typical emulsified asphalt plant mixed cold reclaimed trunk road in five climate regions of Liaoning Province was analyzed by MATLAB software. Results show that the grey correlation between *PQI* and cumulative equivalent single axle lode *Ne*, annual mean temperature and annual average rainfall are: climate zone I 0.578 0, 0.731 2, 0.553 6, climate zone II 0.638 4, 0.730 3, 0.556 0, climate zone III 0.619 5, 0.772 2, 0.584 6, climate IV area 0.710 1, 0.699 4, 0.538 9, climate V area 0.814 7, 0.857 6, 0.710 7. The annual average temperature has the greatest impact on *PQI*, followed by the cumulative equivalent axis *Ne*, and the annual average rainfall has the least effect on *PQI*.

Key words: road engineering; central plant cold recycling; pavement quality or performance index; gray correlation analysis; climate zone

随着我国交通基础设施的投入加大,干线公路已从初期建设逐步向运营养护期转变. 根据公路使用过程中路况的调查和评价,选择恰当的养护方法,投入合理的资金,可确保公路路面养护持久性与连续性. 对于交通量较小、技术标准较低的公路,在兼顾经济性的情况下,厂拌冷再生技术被应用于路面下面层. 目前,国内外对于厂拌冷再生路面的路况指标影响因素研究较少,因此笔者选取辽宁省 5 个气候区^[1-4]的 5 条干线公路,应用灰关联分析方法^[5-6],将累计当量轴次 *Ne*、年平均气温、年平均降水量作为影响因素,研究 3 个影响因素对路面使用性能指数 *PQI* 的影响程度,以期为制定厂拌冷再生道路养护方案提供参考.

1 基于气候分区典型路段选取

笔者选取辽宁省 5 个气候区(见图 1)的本桓线(碱厂—大洼岭)、黑大线(新东方—施家桥)、大盘线(分水岭—析木)、京沈线(绕阳河—双庙)、大锦线(曙欢道—光辉台)5 条干线公路为典型路段. 其中 5 条路线使用年限及路面结构相近,且在下面层均采用厂拌冷再生技术,同时筑路材料产自辽宁省,不考虑使用年限、路面结构及材料类型的影响.

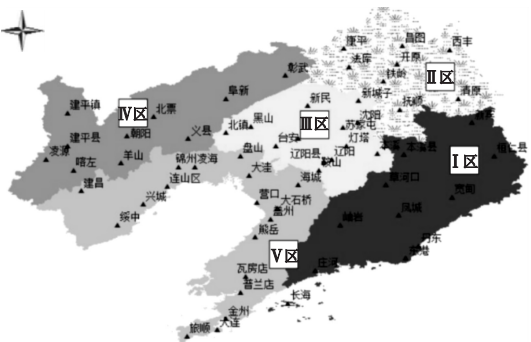


图 1 辽宁省气候分区

Fig. 1 Climate Division in Liaoning Province

2 路面使用性能指数的确定

目前,国内以公路状况技术指标 *MQI* 作为评定道路路面状态的指标, *MQI* 一般由《公路技术状况评定标准》(JTG H20—2007)和《高速公路养护质量检评方法》作为评定依据,但二者对 *MQI* 的内容及评定有所差异. 各指标的权重如表 1 所示.

表 1 *MQI* 各分项指标权重

Table 1 *MQI* sub-item indicator weights

评定依据	<i>PQI</i>	<i>SCI</i>	<i>BCI</i>	<i>TCI</i>
公路技术状况 评定标准	0.70	0.08	0.12	0.10
高速公路养护 质量检评方法	0.65	0.10	0.15	0.10

由表1可知, PQI 是 MQI 的核心内容.因此,笔者将 PQI 作为冷再生道路路况的评测重点, PQI 的计算方法为

$$PQI = w_{PCI}PCI + w_{RQI}RQI. \tag{1}$$

式中: PCI 为路面破坏状况指数; PQI 为路面行驶状况指数; w_{PCI} 为 PCI 在 PQI 中的权重,

按辽宁省地方标准取值0.6; w_{RQI} 为 PQI 在 PQI 中的权重,按辽宁省地方标准取值0.4.

根据《辽宁省普通公路沥青路面厂拌再生技术后评价研究》,笔者选取5条干线公路的 PCI 和 PQI 值如表2所示.

表2 典型路段 PCI 和 PQI 值
Table 2 PCI and RQI data in typical section

典型 路段	桩号	年份	PCI	RQI	典型 路段	桩号	年份	PCI	RQI
本桓线	K78 + 000 ~ K78 + 090	2013	87.3	71.8	大盘线	K111 + 000 ~ K112 + 000	2015	93.6	94.5
		2014	79.7	84.7			2016	89.2	85.3
		2015	95.0	95.0			2013	64.5	66.2
		2016	64.3	92.7			2014	70.7	75.0
本桓线	K80 + 000 ~ K81 + 000	2013	87.3	71.8	大盘线	K112 + 000 ~ K113 + 000	2015	95.3	94.7
		2014	49.9	86.2			2016	90.6	87.8
		2015	100	94.8			2013	64.8	91.8
		2016	92.5	95.8			2014	69.1	91.3
本桓线	K81 + 000 ~ K82 + 000	2013	48.2	85.8	京沈线	K715 + 866 ~ K717 + 000	2015	85.4	95.2
		2014	48.2	90.8			2016	77.2	95.6
		2015	100	95.9			2013	62.2	69.9
		2016	92.2	96.4			2014	59.9	64.5
黑大线	K453 + 167 ~ K454 + 000	2013	89.4	92.7	京沈线	K717 + 000 ~ K718 + 000	2015	93.7	90.6
		2014	71.1	95.3			2016	71.7	79.9
		2015	68.5	92.0			2013	69.6	93.5
		2016	57.3	94.5			2014	64.5	93.2
黑大线	K454 + 000 ~ K455 + 000	2013	92.0	92.2	京沈线	K718 + 000 ~ K719 + 000	2015	90.6	95.6
		2014	95.4	94.5			2016	79.9	95.8
		2015	92.1	91.9			2013	68.6	84.9
		2016	95.0	93.8			2014	73.9	77.6
黑大线	K455 + 000 ~ K456 + 000	2013	54.3	56.2	本棉线	K55 + 000 ~ K56 + 000	2015	95.0	95.0
		2014	70.7	54.0			2016	91.7	95.6
		2015	90.3	94.7			2013	64.0	87.4
		2016	91.1	87.7			2014	96.3	92.1
大盘线	K110 + 699 ~ K111 + 000	2013	58.0	69.2	大锦线	K56 + 000 ~ K57 + 000	2015	88.3	95.8
		2014	66.6	69.5			2016	81.6	94.9
		2015	87.0	88.1			2013	64.4	64.4
		2016	89.2	85.3			2014	93.8	93.8
大盘线	K110 + 699 ~ K111 + 000	2013	64.3	69.2	大锦线	K57 + 000 ~ K58 + 000	2015	88.2	88.2
		2014	71.8	68.0			2016	82.9	82.9

3 灰色关联分析基本理论

灰色关联分析为因素统计方法之一^[7-8],其核心内容是计算各因素的关联度.

(1) 设 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \cdots, x_i(k), \cdots, x_i(n))$ 为因素 X_i 的行为序列, D_i 为序列算

子,且满足:

$$X_i D_1 = (x_i(1) d_1, x_i(2) d_1, \cdots, x_i(n) d_1),$$

其中初值化算子 D_1 , 原像 $X_i, X_i D_1$ 称初值像.

$$x_i(k) d_1 = \frac{x_i(k)}{x_i(1)}, x_i(1) \neq 0 (k = 1, 2, \cdots, n). \tag{2}$$

(2) 设 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k), \dots, x_i(n))$ 为因素 X_i 的行为序列, D_2 为序列算子, 且满足:

$X_i D_2 = (x_i(1) d_2, x_i(2) d_2, \dots, x_i(n) d_2)$, 其中初值化算子 D_2 , 原像 $X_i, X_i D_2$ 称初值像.

$$x_i(k) d_2 = \frac{x_i(k)}{\bar{X}}, \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_i(k), k = 1, 2, \dots, n.$$

(3)

(3) 设 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k), \dots, x_i(n))$ 为因素 X_i 的行为序列, D_3 为序列算子, 且满足:

$X_i D_3 = (x_i(1) d_3, x_i(2) d_3, \dots, x_i(n) d_3)$, 其中初值化算子 D_3 , 原像 $X_i, X_i D_3$ 称初值像.

$$x_i(k) d_3 = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)}; k = 1, 2, \dots, n.$$

(4)

通常初值化方法适合数据呈增长趋势的情况, 经处理后可使增长趋势更显著, 但是数据无明显升降趋势时更宜采用均值化方法^[9]. 灰关联度的计算式为

$$r_{oi} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{oi}(k).$$

(5)

式中: 曲线 y_i 对 y_0 的关联度为 r_{oi} , 序列与比较序列之间的关联度越小, 则参考序列与比较序列之间关系相对疏远^[10]. 结合以上理论编程灰关联程序.

4 应用 Matlab 软件对 PQI 灰关联分析

4.1 影响沥青道路使用状况的相关因素

道路使用状态调查分析的前提是要明确其影响成分. 华涛等^[11]认为交通量的大小为引起路面破坏的重要原因; 在降雨量较大或有较大温差的地区, 道路结构易被破坏. 李金龙等^[12]认为引起路面功能减弱与结构破坏的直接原因为交通因素; 年平均气温是影响路面车辙和开裂的主要因素; 年平均降水量的影响主要在于路基和路面被水的影响. 侯超平等^[13]认为交通量的增加和路面的损坏呈正比. 胡苏娜^[14]认为交通荷载的重复作用对沥青道路进行碾压, 造成沥青道路的结构性能降低; 沥青材料受环境因素影响时其性质会产生变化, 使路面性能降低.

根据参考文献[15-18], 在使用年限、路面结构及材料类型相近的情况下, 笔者将每条车道累计当量轴次 Ne 、年平均气温和年平均降雨量作为影响变量, 其中平均气温和年平均降雨量选取考虑到气候区划, 分别选取辽宁省 5 个气候区的干线公路上的相关数据.

4.2 基于灰关联分析法 PQI 影响因素分析

4.2.1 气候Ⅱ区典型路段 PQI 影响因素分析

本桓线 K78+000~K113+317 中 K78+000~K84+000 数据如表 3 所示. 表中 PQI 是根据 PCI 、 RQI 值及式(1)计算获得.

表 3 本桓线 K78+000~K84+000 数据
Table 3 The K78+000~K84+000 data of Ben Huan

桩号	年份	PQI	$Ne/次$	年平均气温/ $^{\circ}C$	年平均降水量/ mL
K78+000~ K78+090	2013	79.92	847 530	7.77	40.70
	2014	82.53	1 166 175	7.36	66.40
	2015	95.00	1 301 590	7.84	66.65
	2016	81.10	1 263 630	9.34	33.17
K80+000~ K81+000	2013	79.92	847 530	7.77	40.70
	2014	64.40	1 166 175	7.36	66.40
	2015	97.94	1 301 590	7.84	66.65
	2016	93.80	1 263 630	9.34	33.17

续表

桩号	年份	<i>PQI</i>	<i>Ne</i> /次	年平均气温/℃	年平均降水量/mL
K81 + 000 ~ K82 + 000	2013	63. 24	847 530	7. 77	40. 70
	2014	65. 20	1 166 175	7. 36	66. 40
	2015	98. 35	1 301 590	7. 84	66. 65
	2016	93. 90	1 263 630	9. 34	33. 17
K82 + 000 ~ K83 + 000	2013	64. 92	847 530	7. 77	40. 70
	2014	64. 80	1 166 175	7. 36	66. 40
	2015	98. 18	1 301 590	7. 84	66. 65
	2016	96. 30	1 263 630	9. 34	33. 17
K83 + 000 ~ K84 + 000	2013	64. 73	847 530	7. 77	40. 70
	2014	57. 20	1 166 175	7. 36	66. 40
	2015	97. 99	1 301 590	7. 84	66. 65
	2016	93. 80	1 263 630	9. 34	33. 17

运用 MATLAB 采用灰关联分析法^[19]得到以下关联度:0. 578 0,0. 731 2,0. 553 6. 可知对于气候Ⅰ区 *PQI* 的影响效果排序为:年平均气温,*Ne*,年平均降水量. 并且气候Ⅰ区 *Ne* 和年平均降水量的关联度均小于 0. 7,即

相对而言这两种影响因素对于 *PQI* 的影响较小.

4. 2. 2 气候Ⅱ区典型路段 *PQI* 影响因素分析
黑大线 K453 + 167 ~ K472 + 260 中 K453 + 167 ~ K458 + 000 数据如表 4 所示.

表 4 黑大线 K453 + 167 ~ K458 + 000 数据

Table 4 The K453 + 167 ~ K458 + 000 data of Hei Da

桩号	年份	<i>PQI</i>	<i>Ne</i> /次	年平均气温/℃	年平均降水量/mL
K453 + 167 ~ K454 + 000	2013	90. 67	3 074 030	6. 63	43. 96
	2014	80. 82	2 947 375	6. 13	72. 03
	2015	82. 14	2 399 875	6. 65	85. 47
	2016	72. 20	2 553 905	7. 49	44. 81
K454 + 000 ~ K455 + 000	2013	90. 31	3 074 030	6. 63	43. 96
	2014	94. 67	2 947 375	6. 13	72. 03
	2015	91. 10	2 399 875	6. 65	85. 47
	2016	94. 00	2 553 905	7. 49	44. 81
K455 + 000 ~ K456 + 000	2013	92. 85	3 074 030	6. 63	43. 96
	2014	93. 58	2 947 375	6. 13	72. 03
	2015	90. 36	2 399 875	6. 65	85. 47
	2016	93. 20	2 553 905	7. 49	44. 81
K456 + 000 ~ K457 + 000	2013	92. 23	3 074 030	6. 63	43. 96
	2014	93. 36	2 947 375	6. 13	72. 03
	2015	91. 13	2 399 875	6. 65	85. 47
	2016	93. 00	2 553 905	7. 49	44. 81
K457 + 000 ~ K458 + 000	2013	92. 00	3 074 030	6. 63	43. 96
	2014	93. 99	2 947 375	6. 13	72. 03
	2015	91. 25	2 399 875	6. 65	85. 47
	2016	93. 30	2 553 905	7. 49	44. 81

运用 MATLAB 采用灰关联分析法得到以下关联度:0.638 4,0.730 3,0.556 0. 可知对于气候Ⅱ区 PQI 的影响效果排序为:年平均气温, Ne ,年平均降水量. 气候Ⅱ区 Ne 和年平均降水量的关联度均小于 0.7,即相对

而言这两种影响因素对于 PQI 的影响较小. 相对比Ⅰ区 Ne 的影响程度有所上升.

4.2.3 气候Ⅲ区典型路段 PQI 影响因素分析
大盘线 K110 + 699 ~ K135 + 000 中 K110 + 699 ~ K115 + 000 数据如表 5 所示.

表 5 大盘线 K110 + 699 ~ K115 + 000 数据
Table 5 The K110 + 699 ~ K115 + 000 data of Da Pan

桩号	年份	PQI	Ne /次	年平均气温/℃	年平均降水量/mL
K110 + 699 ~ K111 + 000	2013	44.45	1 139 530	9.23	58.12
	2014	43.73	1 418 755	8.73	78.25
	2015	87.44	2 344 395	9.24	62.04
	2016	95.10	2 402 065	10.58	34.93
K111 + 000 ~ K112 + 000	2013	54.24	1 139 530	9.23	58.12
	2014	70.28	1 418 755	8.73	78.25
	2015	93.98	2 344 395	9.24	62.04
	2016	95.10	2 402 065	10.58	34.93
K112 + 000 ~ K113 + 000	2013	39.17	1 139 530	9.23	58.12
	2014	60.40	1 418 755	8.73	78.25
	2015	93.88	2 344 395	9.24	62.04
	2016	94.90	2 402 065	10.58	34.93
K113 + 000 ~ K114 + 000	2013	49.49	1 139 530	9.23	58.12
	2014	67.90	1 418 755	8.73	78.25
	2015	92.62	2 344 395	9.24	62.04
	2016	95.40	2 402 065	10.58	34.93
K114 + 000 ~ K115 + 000	2013	45.66	1 139 530	9.23	58.12
	2014	60.48	1 418 755	8.73	78.25
	2015	91.86	2 344 395	9.24	62.04
	2016	95.00	2 402 065	10.58	34.93

运用 MATLAB 采用灰关联分析法得到以下关联度:0.619 5,0.772 2,0.584 6. 可知气候Ⅲ区 PQI 的影响效果排序为:年平均气温, Ne ,年平均降水量. 对于气候Ⅲ区 Ne 和年平均降水量的关联度均小于 0.7,即相对而言这两种影响因素对于路面使用性能指数

PQI 的影响较小. 气候Ⅲ区的三个关联度数值在大小上与Ⅱ区相似.

4.2.4 气候Ⅳ区典型路段 PQI 影响因素分析
京沈线 K715 + 866 ~ K740 + 000 中 K715 + 866 ~ K720 + 000 数据如表 6 所示.

表6 京沈线 K715 + 866 ~ K720 + 000 数据
Table 6 The K715 + 866 ~ K720 + 000 data of Jing Shen

桩号	年限	<i>PQI</i>	<i>Ne</i> /次	年平均气温/℃	年平均降水量/mL
K715 + 866 ~ K717 + 000	2013	69.59	2 526 530	7.96	49.03
	2014	66.00	3 283 175	7.47	71.23
	2015	89.30	3 526 995	8.03	54.48
	2016	84.60	2 583 105	9.26	31.72
K717 + 000 ~ K718 + 000	2013	73.86	2 526 530	7.96	49.03
	2014	72.70	3 283 175	7.47	71.23
	2015	94.50	3 526 995	8.03	54.48
	2016	81.20	2 583 105	9.26	31.72
K718 + 000 ~ K719 + 000	2013	79.14	2 526 530	7.96	49.03
	2014	76.00	3 283 175	7.47	71.23
	2015	92.60	3 526 995	8.03	54.48
	2016	86.30	2 583 105	9.26	31.72
K719 + 000 ~ K720 + 000	2013	72.99	2 526 530	7.96	49.03
	2014	69.50	3 283 175	7.47	71.23
	2015	94.60	3 526 995	8.03	54.48
	2016	85.40	2 583 105	7.96	49.03

运用 MATLAB 采用灰关联分析法得到以下关联度:0.710 1,0.699 4,0.538 9.气候Ⅳ区 *PQI* 的影响效果排序为:*Ne*,年平均气温,年平均降水量.可知 *Ne* 作为Ⅳ区 *PQI* 的主要影响因素.由于距离彰武县较近的阜新作为辽宁省矿产资源大市,日常有大量载矿

货车在公路上往返,重载可能导致 *Ne* 对于 *PQI* 的影响程度提高.

4.2.5 气候Ⅴ区典型路段 *PQI* 影响因素分析
大锦线 K55 + 000 ~ K69 + 000 中 K55 + 000 ~ K60 + 000 数据如表 7 所示.

表7 大锦线 K55 + 000 ~ K59 + 000 数据
Table 7 The K55 + 000 ~ K59 + 000 data of Da Jin

桩号	年份	<i>PQI</i>	<i>Ne</i> /次	年平均气温/℃	年平均降水量/mL
K55 + 000 ~ K56 + 000	2013	75.15	2 006 770	9.06	49.77
	2014	75.41	3 166 010	8.41	74.71
	2015	95.00	3 369 680	9.16	44.93
	2016	93.30	6 132 730	10.39	31.03
K56 + 000 ~ K57 + 000	2013	73.35	2 006 770	9.06	49.77
	2014	96.84	3 166 010	8.41	74.71
	2015	91.28	3 369 680	9.16	44.93
	2016	86.90	6 132 730	10.39	31.03
K57 + 000 ~ K58 + 000	2013	74.16	2 006 770	9.06	49.77
	2014	92.66	3 166 010	8.41	74.71
	2015	91.29	3 369 680	9.16	44.93
	2016	87.80	6 132 730	10.39	31.03

续表

桩号	年份	PQI	Ne /次	年平均气温/ $^{\circ}C$	年平均降水量/ mL
K58 + 000 ~ K59 + 000	2013	76. 67	2 006 770	9. 06	49. 77
	2014	96. 55	3 166 010	8. 41	74. 71
	2015	88. 62	3 369 680	9. 16	44. 93
	2016	89. 40	6 132 730	10. 39	31. 03
K59 + 000 ~ K60 + 000	2013	75. 77	2 006 770	9. 06	49. 77
	2014	96. 61	3 166 010	8. 41	74. 71
	2015	87. 72	3 369 680	9. 16	44. 93
	2016	88. 70	6 132 730	10. 39	31. 03

运用 MATLAB 采用灰关联分析法得到以下关联度:0. 814 7,0. 857 6,0. 710 7. 可知气候 V 区 PQI 的影响效果排序为:年平均气温, Ne ,年平均降水量. 气候 V 区 Ne ,年平均气温和年平均降水量的关联度均大于 0. 7,气候 V 区 Ne ,年平均气温,年平均降水量影响因素对 PQI 均有明显影响.

4.3 PQI 灰关联度分析

5 个气候区的灰色关联度如图 2 所示.

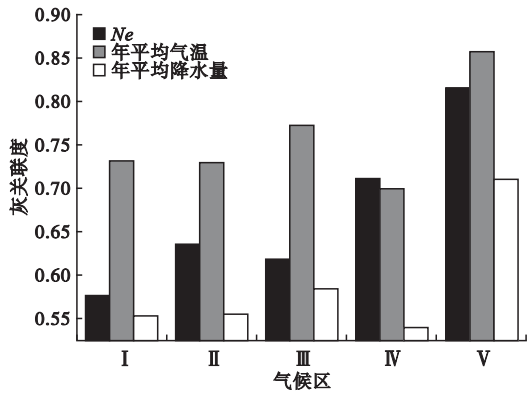


图 2 5 个气候区的 Ne ,年平均气温和年平均降水量的灰色关联度

Fig. 2 Grey correlation of Ne , annual average temperature and annual mean precipitation in five climate zones

由图 2 可知:对于气候 I、II、III 区现累计当量轴次和年平均降水量的关联度均小于 0. 7,即这两种因素对于厂拌冷再生道路路面使用性能指数 PQI 的影响较小;对于气候 I、II、III 区年平均气温相比累计当量轴次和年平均降水量对道路路面使用性能指数 PQI 的影响更大,由于所选路段多为轻交通,交通

荷载对 PQI 的影响反而不如年平均气温的影响明显. 除气候 IV 区外,其他 4 区均以年平均气温作为对厂拌冷再生路面使用性能指数 PQI 的主要影响因素. 气候 IV 区数据选取的是来自阜新市附近的彰武县,由于阜新市作为辽宁省矿产资源大市,日常有大量载矿货车在公路上往返,使其轴载显著增加,重载导致累计当量轴次 Ne 增加.

因此,在交通量为轻度情况下,年平均气温是影响是辽宁省厂拌冷再生道路路面使用性能指数 PQI 的主要因素.

5 结 论

(1) PQI 与 Ne ,年平均气温和年平均降雨量之间的灰关联度分别为:气候 I 区 0. 578 0,0. 731 2,0. 553 6;气候 II 区 0. 638 4,0. 730 3,0. 556 0;气候 III 区 0. 619 5,0. 772 2,0. 584 6;气候 IV 区 0. 710 1,0. 699 4,0. 538 9;气候 V 区 0. 814 7,0. 857 6,0. 710 7.

(2) 辽宁省内的轻交通道路 5 个气候区内年平均气温对 PQI 的影响最大, Ne 次之,年平均降雨对 PQI 的影响最小.

参考文献

[1] 党奇志. 基于灰色理论的旧沥青混凝土路面使用性能综合评价方法[J]. 公路, 2011 (11): 207 - 209. (DANG Qizhi. Composition design and analysis of road performance for central plant cold recycling emulsified asphalt mixture[J]. Highway, 2011 (11): 207 - 209.)
[2] 苗英豪,王秉纲. 中国沥青路面气候影响分区方案[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7 (6) :

- 64-69.
(MIAO Yinghao, WANG Binggang. Zoning scheme of climatic influence for asphalt pavement in China [J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2007, 7(6): 64-69.)
- [3] 聂鹏. 辽宁省沥青路面合理结构类型与区划原理的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
(NIE Peng. Study on regionalization principle and rational structure of asphalt concrete pavement in Liaoning province [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.)
- [4] 杨彦海, 侯博, 姜宏宇. 基于空间插值方法的路面结构设计年平均降水量指标精度研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2016(4): 643-650.
(YANG Yauhai, HOU Bo, JIANG Hougyu. Study on the accuracy of pavement structure design based on spatial interpolation methods [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2016(4): 643-650.)
- [5] 李昌洲, 何晓鸣, 李文文. 灰色系统理论在沥青路面使用性能预测中的应用[J]. 武汉轻工大学学报, 2010, 29(1): 70-73.
(LI Changzhou, HE Xiaoming, LI Wenwen. Application of gray system theory in forecasting the functional performance of bituminous pavement [J]. Journal of Wuhan polytechnic university, 2010, 29(1): 70-73.)
- [6] 胡群芳, 刘文, 李清富. 公路沥青路面使用性能灰色综合评估[J]. 公路交通科技, 2006, 23(1): 16-19.
(HU Qunfang, LIU Wen, LI Qingfu. Synthetic gray evaluation of asphalt pavement performance [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2006, 23(1): 16-19.)
- [7] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
(DENG Julong. Grey system theory tutorial [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1990.)
- [8] 刘震. 灰色关联与预测建模技术及其应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
(LIU Zhen. Grey incidence and grey forecasting models with their application [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2016.)
- [9] WONG C, LIN B, CHENG C. Fuzzy tracking method with a switching grey prediction for mobile robot [J]. IEEE international conference on fuzzy systems, 2001, 1: 103-106.
- [10] JIANG Y, LI S. Gray system model for estimating the pavement international roughness index [J]. Journal of performance of constructed facilities, 2005, 19(1): 62-68.
- [11] 华涛. 高温多雨山区公路沥青路面使用性能评价研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
(HUA Tao. Research on evaluation of asphalt pavement performance in megathermal and rainy mountainous areas [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013.)
- [12] 李金龙. 重庆高速公路沥青路面使用性能评价预测及养护决策优化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
(LI Jinlong. Research on the evaluation and prediction and maintenance optimization decision of expressway asphalt pavement performance in Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2012.)
- [13] 侯超平. 高等级沥青路面使用性能预测模型及预防性养护措施研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
(HOU Chaoping. Prediction model of high grade asphalt pavement performance and research on preventive maintenance measures [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015.)
- [14] 胡苏娜. 高速公路沥青路面使用性能预测研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
(HU Suna. Research on the prediction of highway pavement performance [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015.)
- [15] 齐明. 辽宁省路面预防性养护决策分析与典型技术试验验证[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
(QI Ming. Analysis on preventive maintenance decision and testing validation on typical techniques for pavements in Liaoning province [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.)
- [16] 杨海猛. 普通公路沥青路面预防性养护管理决策研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
(YANG Haimeng. Ordinary highway asphalt pavement preventive maintenance management decision-making research [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014.)
- [17] 张国梁. 预防性养护最佳时机的确定方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
(ZHANG Guoliang. Study on the method of determining optimal timing of preventive maintenance [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.)
- [18] 侯博. 基于气候分区的辽宁省沥青路面典型结构研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2017.
(HOU Bo. Study on the typical structure of asphalt pavement in Liaoning province based on climate zoning [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2017.)
- [19] 刘寅立. MATLAB 数值计算案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
(LIU Yinli. Case study of MATLAB numerical calculation [M]. Beijing: Beihang University Press, 2011.)