

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.04.043

基于系统聚类的沥青路面车辙养护区域划分

吴永海

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:随着陕西省道路建设的高速发展,很多道路已经进入了养护期。陕西省道路病害中,车辙尤为严重。陕西省南北跨度大,气候环境差距明显,为了在养护决策时针对车辙病害采用不同的养护措施,调查了陕西省10个市的累年月平均最高气温,并将其换算为路表7.5 cm处的温度。对此温度进行系统聚类,将陕西省的10个市划分为3个区域,可为车辙养护提供参考。

关键词:车辙;沥青路面;养护区域划分

中图分类号: U418

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)04-0154-04

0 引言

近年来,我国经济水平得到了飞速发展,基础设施建设逐步完善,全国道路总里程逐年攀升。与此同时,陕西省道路建设突飞猛进,通车里程大幅增长。前期修建的道路已经出现各种病害,这些道路急需养护维修,因此,养护部门养护任务艰巨。同时,交通量迅速增长,以及通车早期重载、超载现象严重,车辙情况也严重^[1]。沥青道面对温度较为敏感,高温情况下易产生车辙病害。在高温条件下,车轮荷载反复作用下产生的剪应力超过沥青混合料的抗剪强度,使流动变形不断积累形成车辙。因此,在荷载作用一定的情况下,需要考虑温度对车辙的影响。陕西省南北跨度较大,气候环境、水文、地质环境等条件差异明显,使不同区域的沥青路面产生不同的病害,路面使用性能衰变也呈现不同的规律。对于车辙,由于不同地区环境不同,因此车辙的情况也不尽相同。因此,其车辙养护必须根据不同地区需要进行确定。而如何在有限的养护资金下,优先对车辙严重的地区进行养护,并采用相应的措施,便显得尤为重要。因此,在道路性能预测、评价和养护决策之前,首先应对不同区域进行划分。

1 基本原理

1.1 系统聚类的原理

聚类分析是一种逐步合并的“物以类聚”的统计描述方法。其原理与常规的“非此即彼”不同,即不预

收稿日期: 2021-06-21

作者简介: 吴永海(1988—),男,本科,工程师,从事道路与桥梁工程工作。

先设定严格的划分标准,而是把每个对象作为样品,并根据对象的性质和分类目的选定一些能客观反映样品间亲疏关系的量。然后把这些量按照空间距离性质相似的原则将各个样品逐步合并,形成层次分明的各个部分。最后通过谱系图表达出各层次的关系和属性特征^[2]。

系统聚类分析法是在分析时将 n 个样品各自作为单独的一类。这 n 类之间的空间距离就是 n 个样品间的空间距离。通过选定的量计算出空间距离最近的两个类型并进行合并。此时总类别减少为 $n-1$ 。然后继续该操作,合并下一空间距离最近的两个类型,直至所有样品都合并为一类。这一归类过程可通过一张聚类树状图表示出来。此时就可以根据距离临界值,得到分类数和最终分类结果。在确定最终分类时,若分类过于详细,不仅工作量过大,还在一定程度上失去了分类的意义。若分类过于简略,又容易丢失关键信息。因此,需要通过某种参数评价分类数目的合理性。轮廓系数通常被用来对聚类效果进行评价,并给出两者的关系。当该值越大时,聚类效果越好。

1.2 系统聚类的具体步骤

假设有 n 个样品数,每个样品都由 m 个特征变量数构成,对每个样品测出所有的特征变量值,结果可以列为一个数据矩阵,如式(1)所示:

$$X = (X_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: X_{ij} 为特征值, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; n$ 为样品个数; m 为指标个数。具体步骤如下:

(1)计算空间距离 d_{ij} 。采用欧氏距离(euclidean distance)计算系统聚类法中各样品间的距离。欧式距离计算公式为:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

这 n 个地区构成 n 类,则矩阵 G 为:

$$G = \{X_i\} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: X_i 为各地区。

n 个地区两两之间的空间距离 d_{ij} 为:

$$d_{ij} = \sum_k |x_{ik}^* - x_{jk}^*| \quad (i, j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

(2)在计算出相邻两地区间的空间距离后,可进行合并形成不同的属性梯队,待划分的路段逐渐减少。继续采用式(5)对产生的新类别进行合并,直至达到预期可用于质量评价划分的精度。

$$D_{pq}^2 = \frac{1}{n_p n_q} \sum_{i \in G_p, j \in G_q} d_{ij}^2 \quad (5)$$

式中: D_{pq} 为类 D_p 和类 D_q 间的空间距离; n_p 和 n_q 为类 G_p 和类 G_q 所包含的样品数量。当类 G_p 和类 G_q 合并为 $(G_r = \{G_p, G_q\})$, 且 $n_r = n_p + n_q$, n_r 为 G_r 所包含的样品个数)时, G_r 与其他类 G_s 距离的递推公式为:

$$D_{rs}^2 = \frac{n_p D_{ps}^2 + n_q D_{qs}^2}{n_r} \quad (s \neq p, q) \quad (6)$$

式中: D_{rs} 为类 D_{ps} 和类 D_{qs} 间的空间距离。

(3)通过图谱得到最终划分结果,并用轮廓系数对聚类结果进行评价。在计算轮廓系数时,先考虑在各个分类数 k 下,每个样品分到适当的类中的效率为 s_i , 然后对 s_i 求平均值 \bar{s}_k 。 \bar{s}_k 的值越接近 1, 说明把样本分成 k 类的效果越好。

某个样本 s_i 的计算方法如下:

记 a 为样本 i 与同类别里其余样本的均值间距, 记 b 为 i 与最靠近 i 所在的类别中各样本的均值间距, 则当 $a < b$ 时, $s_i = 1 - \frac{a}{b}$; 当 $a > b$ 时, $s_i = \frac{a}{b} - 1$ 。一般情况下, 第二种情况不会出现。 \bar{s}_k 的取值范围聚类效果关系见表 1。

表 1 轮廓系数与聚类效果关系

轮廓系数 \bar{s}_k	聚类效果
0.71~1.00	聚类效果较高, 可靠度高
0.40~0.71	聚类效果合理
0.26~0.40	聚类效果缺少说服力
≤ 0.25	没有任何实际的分类

1.3 不同深度路面温度换算方法

为了便于养护工作的进行,对陕西省天气特点进

行分析。该省夏日温度高,道路抗高温性相对较差,车辙病害较为严重。李江在长大上坡路段沥青路面抗车辙技术中提到:路面结构内部的剪应力峰值在路表以下 7.5 cm,车辙主要出现在中面层。温度转化常用的方法为美国 SHRP 计划提出按照气候分区确定,该报告指出,路表温度受近路表气温的影响很大,近路表气温又与太阳辐射和对流相关^[3]。但该公式计算较为复杂,后采用 Huber 提出的回归模型,路表温度与空气的换算,可利用纬度建立:

$$T_{surf} = T_{air} - 0.00618 Lat^2 + 0.2289 Lat + 24.4 \quad (7)$$

式中: T_{surf} 表示路表温度, Lat 表示纬度。

该公式规定面层以下 2 cm 处的温度为路面温度,任意深度 d 处的温度表达式如下:

$$T_d = T_{surf} (1 - 0.063d + 0.007d^2 - 0.0004d^3) \quad (8)$$

式中: T_{air} 为最高温度($^{\circ}C$)。

2 陕西省区域划分及气候特点

2.1 陕西省公路自然区划

我国地域辽阔,为便于区别在不同地理环境下对公路工程建设的影响,以便在设计过程中选择合理的参数,并在施工和养护过程中制定科学的措施。我国《公路自然区划标准》^[4]按照重要性和规模可分为两个等级,具体见表 2。

表 2 全国公路自然区划

分级	主要指标	区划个数
一级	按照自然气候、地理、地貌	7 个
二级	在一级区划内,根据水温条件的差异,以潮湿系数为导向,按照道路工程近似性和地表气候差异	33 个二级区, 19 个副区

该标准按照重要性和规模可分为 3 个等级,在这种划分方式中,陕西省区划: III 黄土高原干湿过渡区、IV 东南湿热区和 V 西南潮暖区。二级区划: III 1 陕北典型黄土高原中冻区、III 3 甘东黄土山地区、III 4 黄渭间山盆地轻冻区、IV 1 长江下游平原湿润区、V 1 秦巴山地湿润区。若采用此种区域划分方式,陕西省被划分成 5 个区域。这种划分方式可以为设计与施工提供参考,但并不适用于陕西省路面车辙养护工作。

2.2 陕西省沥青路面使用性能气候分区

在《公路沥青路面施工技术规范》中,沥青路面使用性能气候分区,高温指标采用近 30a 内年最热月的平均日最高气温的平均值,作为反映高温和重载条件下出现车辙等流动变形的气候因子。陕西省在这种划分方法中处于 2-2 夏热冬寒、1-3 夏炎热冬冷。但这种分区主要针对全国气候进行区划,但对

陕西省来说,仅仅划分为两个区域,因此需要对陕西省进行进一步细化。

2.3 陕西省行政区域划分

在陕西省行政区域划分中,将该省的10个市,结合各区域经济、地理等因素,划分为珠陕北、陕南、关中3个区。且陕北年平均气温为7~12℃,关中年平均气温为12~14℃,陕南年平均气温为14~16℃。这种划分为广东省常用的划分方式,但此种划分仅考虑经济与地理位置因素,并没有结合气候等因素,更不适合养护区域划分。

2.4 陕西省气候特点

陕西省地处我国大陆东部中纬度地区,南北狭长,南北气候差异较大,气候总特点是:春暖干燥,降水较少,气温回升快而不稳定,多风沙天气;夏季炎热多雨,间有伏旱;秋季凉爽,较湿润,气温下降快;冬季寒冷干燥,气温低,雨雪稀少。全省年平均气温

为9~16℃,年无霜期为120~210 d,年平均降水量一般在350~700 mm之间。本文调查陕西省10个市的相应气象站的累年月平均最高气温。调查结果见表3。

由表3可知,累年月平均最高气温在7月达到最高,且温度最高的地区为安康,累年月平均最高气温为32.8℃;温度最低的地区为延安,累年月平均最高气温为27.5℃。因此,本文选择7月份的累年月平均最高气温作为后续参考气温。

3 基于系统聚类分析的陕西省沥青路面车辙养护区域划分

3.1 中面层温度计算

为了更好地进行车辙养护区域划分,查询该省10个市的中心纬度,通过7月份的累年月平均最高气温计算中面层的温度。计算结果见表4。

表3 陕西省10个市累年月平均最高气温

单位:℃

月份	榆林	延安	铜川	咸阳	渭南	西安	宝鸡	汉中	商洛	安康
1	0.9	1.7	3.1	4.5	4.6	5.1	5.4	7.1	6.2	8.4
2	3.8	5.1	6.4	8.4	8.6	8.9	8.6	10	8.9	11.4
3	10.4	10.8	11.7	13.9	14.1	14.4	13.9	14.9	13.9	16.5
4	18.6	18.3	18.7	20.6	20.9	21.3	20.8	21.2	20.6	22.6
5	24.5	23	23.7	25.9	26.3	26.5	26	25.8	25.2	27
6	28.5	26.6	27.9	31	31.3	30.8	30.2	28.5	28.9	30.4
7	30	27.5	28.8	31.8	31.9	31.4	31.2	30.1	30	32.3
8	27.6	25.9	27	29.6	30	29.8	29	29.6	28.5	31.7
9	22.9	21.3	22.4	24.8	25.2	24.6	24	24.6	23.9	26.5
10	16.4	15.9	16.8	19	19.3	19.7	18.6	19.1	19	20.6
11	8.1	9.5	10.4	12.1	12.2	12.4	12.5	13.2	13.5	14.5
12	0.9	3.3	4.8	6	6	6.4	6.8	7.8	7.9	9.2

表4 陕西地区气候数据和纬度

地区	榆林	延安	铜川	咸阳	渭南	西安	宝鸡	汉中	商洛	安康
纬度	38.3	35.7	35	34.3	34.5	34.2	34.3	33	33.5	32.7
中面层温度 7.5 cm/℃	40.7	39.2	40.3	42.7	42.7	42.4	42.2	41.6	41.4	43.3

3.2 系统聚类对中面层最高温进行计算

根据10个市7月份中面层温度,构建样本X矩阵为:

$$X = (X_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} 40.7 \\ 39.2 \\ 40.3 \\ 42.7 \\ \dots \\ 43.3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

现假设 x_1 与 x_2 的之间的欧式距离为 D_{12} ,则任意 x_i 与 x_j 之间的距离 D_{ij} 的距离矩阵见表5。

表5 x_i 与 x_j 之间的距离 D_{ij} 的距离矩阵

D_{ij}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
x_1	0	1.45	0.36	2	2.06	1.72	1.55	0.91	0.77	2.61
x_2	1.45	0	1.09	3.45	3.51	3.17	3	2.36	2.22	4.06
x_3	0.36	1.09	0	2.36	2.42	2.08	1.91	1.27	1.13	2.97
x_4	2	3.45	2.36	0	0.06	0.28	0.45	1.09	1.23	0.61
x_5	2.06	3.51	2.42	0.06	0	0.34	0.51	1.15	1.29	0.55
x_6	1.72	3.17	2.08	0.28	0.34	0	0.17	0.81	0.95	0.89
x_7	1.55	3	1.91	0.45	0.51	0.17	0	0.64	0.78	1.06
x_8	0.91	2.36	1.27	1.09	1.15	0.81	0.64	0	0.14	1.7
x_9	0.77	2.22	1.13	1.23	1.29	0.95	0.78	0.14	0	1.84
x_{10}	2.61	4.06	2.97	0.61	0.55	0.89	1.06	1.7	1.84	0

由表5可知, x_4 与 x_5 之间的距离最小为0.06,对应为咸阳与渭南之间中面层温度距离最短,将两者

合并为一类。其次为 x_8 与 x_9 ,其距离为 0.14,对应为汉中与商洛,将两者合并为一类。以此类推,最终得到分类结果,如图 1 所示。

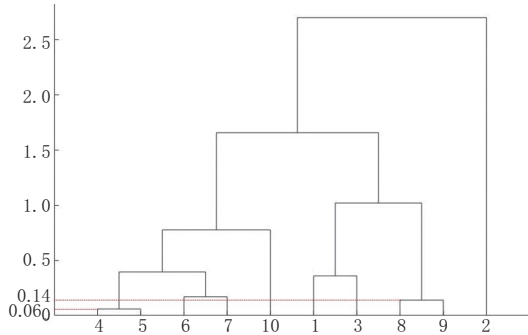


图 1 聚类分析结果

同时得到其轮廓图,如图 2 所示。

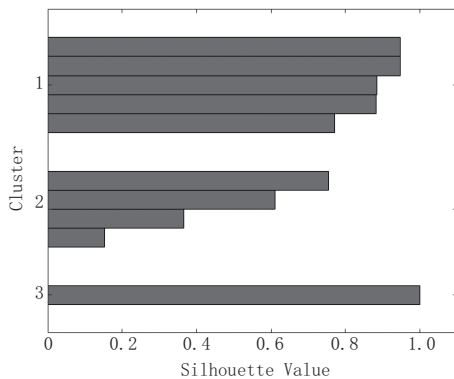


图 2 聚类轮廓图

由图 2 可以看出,当分类数 $k=3$ 时,轮廓系数值大于 0.4,表明聚类效果良好。最终将陕西省 10 个市按照中面层温度聚类,分为 3 个区域。其分类结果见表 6。

由表 6 可知,本文将陕西省 10 个市按照沥青路

表 6 聚类结果

地区	榆林	延安	铜川	咸阳	渭南	西安	宝鸡	汉中	商洛	安康
聚类标签	2	3	2	1	1	1	1	2	2	1

面车辙养护划分为 3 个区域。其中,延安在 3 区域,出现车辙情况概率最小。榆林、铜川、汉中、商洛在 2 区域,出现车辙情况概率中等。咸阳、渭南、西安、宝鸡、安康都在 1 区域,出现车辙的概率最大。

4 结论

本文提出了基于系统聚类分析的陕西省沥青路面车辙养护区域划分,得到以下结论:

(1)传统的公路自然区划和沥青路面使用性能气候分区,范围广,适合全国划分,但不适合陕西省沥青路面车辙养护区域划分。

(2)车辙产生在沥青路面的中面层,将陕西 10 个市的累年月平均最高气温,结合不同城市的中心纬度,转化为中面层温度。

(3)对 10 个市的中面层温度进行了聚类分析,最终将陕西省划分为 3 个区域,可为道路养护部门对车辙的处治提供参考依据。

参考文献:

[1] 云南省交通运输厅工程造价管理局. 养护经费管理的创新之举 云南省公路养护工程造价控制技术 & 政策研究[J]. 中国公路, 2016 (11):122-123.

[2] 何伟杰. 基于系统聚类法的路面使用性能评价研究[J]. 湖南交通科技. 2018, 44(4): 55-58.

[3] 王倩. 持续极端高温时沥青路面养护与管理技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.

[4] JTJ 003—86, 公路自然区划标准[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com