

Study on the Influence of Freeze-Thaw Cycle on Crack Growth of Asphalt Pavement

Shaowei Wu, Congzheng Wang, Qifan Zhang, Dejuan Qiang, Hou da Zhu

School of Transportation, Jilin University, Changchun Jilin
Email: 530508591@qq.com

Received: Jan. 7th, 2019; accepted: Feb. 6th, 2019; published: Feb. 13th, 2019

Abstract

In order to improve the performance of asphalt pavement and reduce the impact of freezing and thawing on cracks and even on the health of asphalt pavement, the research team selected Changchun City as the representative to investigate the road crack conditions and analyze the relationship between crack indicators under natural conditions, and established a three-dimensional crack evaluation system with width, depth and length as variables to investigate the annual temperature of Changchun City, determine the freezing and thawing cycle temperature and cycle, establish a freeze-thaw test, and use the control variable method to discuss the influence of initial crack width, depth and length on the growth of crack under freezing and thawing, and establish an index of crack width expansion ratio identify, predict and evaluate the fracture. The results show that the crack width expansion ratio increases with the initial width of the crack, the initial length of the crack, and the initial depth of the crack increase. The crack width, depth and length can be used to infer the crack width expansion ratio, and then the crack can be forecasted to be used for crack maintenance predictions.

Keywords

Three-Dimensional Crack Evaluation System, Freeze-Thaw Cycle, Crack Width Expansion Ratio, Maintenance Forecast

冻融循环对沥青路面裂缝生长的影响研究

武少威, 王丛征, 张启帆, 强德娟, 朱厚达

吉林大学交通学院, 吉林 长春
Email: 530508591@qq.com

收稿日期: 2019年1月7日; 录用日期: 2019年2月6日; 发布日期: 2019年2月13日

摘要

为了提升沥青路面的使用性能,降低冻融对裂缝乃至对沥青路面健康状况的影响,课题组选取长春市为代表,实地考察道路裂缝状况,分析自然条件下裂缝各项指标之间的关系,建立以宽度、深度、长度为变量的三维裂缝评价体系。调查长春市年气温状况,确定冻融循环温度及循环周期,设立冻融试验,利用控制变量法分别讨论裂缝初始宽度、深度和长度对裂缝在冻融作用下的生长情况的影响,建立了裂缝宽度扩展比指标,对裂缝进行鉴别、预测和评价。结果表明:裂缝宽度扩展比随裂缝初始宽度的减小、裂缝初始长度的增大,裂缝初始深度的增大而增大,利用裂缝宽度、深度和长度可推知裂缝宽度扩展比,进而可对裂缝进行预测,可用于裂缝养护预测。

关键词

三维裂缝评价体系, 冻融循环, 裂缝宽度扩展比, 养护预测

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

沥青路面,作为一种半刚性路面,相较于水泥混凝土路面有诸多的优势,例如易于机械化施工,弹性较好,行驶舒适性更高,无需养护等。但沥青也有一些不利的方面,其中,温度稳定性差是一个主要的缺点,使得沥青混凝土路面在低温环境下弹性降低,脆性升高,导致沥青路面在冬天温度应力,外部荷载等作用极下极易开裂。原生裂缝产生后,在裂缝处会有应力集中现象,致使裂缝快速生长,对沥青路面健康状况造成非常不利的影

响。沥青路面裂缝在冻融作用下扩展的影响主要有温缩效应和冰劈效应。Mathew 和 Krishna Rao [1]提出在分析冻融循环时应考虑水的渗透作用,丁立[2]等人建立冻融劈裂水损害试验,对冻融进行了进一步的研究,在国内外学者的共同努力下[3],沥青路面冻融循环对裂缝生长方面的研究日趋完善。

本文针对冻融循环对沥青路面已有裂缝生长进行研究,以长春市为例,对长春市沥青路面裂缝作粗略调查,建立冻融循环试验,以裂缝宽度扩展比作为裂缝生长的研究指标,利用控制变量法对裂缝长、宽、深三个内因进行分析,建立裂缝生长预测模型,进而可粗略对裂缝的生长进行预测及控制。

2. 沥青路面自然裂缝分析

此部分主要研究的是裂缝宽度、深度之间的关系,如若裂缝宽度和深度之间存在着类似的一一对应的函数关系,那么对裂缝的研究就将降低一个维度,将问题难度降低,因此课题组对室外道路上的裂缝宽度深度数据进行了采集,并将宽度深度数据作为变量进行拟合。

2.1. 沥青路面裂缝产生原因分析

沥青路面裂缝产生的因素有很多,内因角度诸如沥青材料材料特性、粗集料级配、混合料组成结构、混合料配合比、结构组成和形式等;外因诸如荷载、温度等。以下分类介绍各种裂缝的产生原因[4]。

2.1.1. 横向裂缝

横向裂缝的产生主要是由于温度引起的热胀冷缩或是基层的裂缝反射到道路面层，进而形成的贯通或非贯通的裂缝。

① 温度裂缝：主要是由于沥青材料是温度的不良导体，外部温度骤降，路面表面温度下降，体积收缩，而内部降低较小。温度应力反复作用而形成原生裂缝，之后再次有应力作用时，会产生应力集中效应，裂缝急速生长，形成从表面向下开展的上款下窄的裂缝；

② 反射裂缝：由于道路基层经常采用半刚性材料作为基层，例如水泥稳定碎石和二灰稳定碎石，并非理想弹性体，其具有一定强度刚度的同时也具有一定的塑性。在外部荷载的作用下，荷载由面层传递到基层，对基层产生一定程度的破坏，产生一些原生的断裂缝，进而从基层反射到面层，形成的从基层向上开展的下宽上窄的裂缝；

③ 设计不当导致的裂缝：由于道路在施工过程中，实际施工成果与设计之间存在偏差，由于监督不力等各种原因导致的面层过薄而产生的裂缝。

2.1.2. 纵向裂缝

此类裂缝大多是由于或是基层土压实度不满足条件导致基础不均匀沉降、荷载、操作等引起的，有以下分类[5]：

- ① 软土地基不均匀沉降引起的纵向裂缝；
- ② 基层与面层之间的粘结性不良，导致路面面层张拉形成的拉裂缝；
- ③ 由于施工不当，基层土压实度不够，地基不均匀沉降，或是路面一侧弯沉形成的纵向裂缝。

2.1.3. 龟裂与网裂

此类裂缝大多是由于路面水的下渗，使得水对路基产生一定的损害，提高了基层土含水率，降低了干密度，进而使基层土的抗压强度和抗剪强度降低，地基承载力不足，在荷载作用下导致沥青面层产生龟裂和网裂。

2.2. 裂缝分析

由于裂缝成因及发育状况，以及外部环境条件的影响，裂缝的长度、宽度、深度之间的关系并不确定，本研究对裂缝的研究选取宽度、深度、长度三个变量，建立三维裂缝评价体系。

3. 冻融循环试验

3.1. 冻融循环影响裂缝开展的原因分析

经研究，课题组认为冻融循环影响裂缝开展主要是由于以下三点：温缩效应，冻胀作用，冰劈效应。

冰劈效应是指由裂缝及孔隙进入到沥青混合料内部的水由于温度降低，冻结成冰，其体积会增大9%左右，从而对限制其体积膨胀的沥青混合料产生很大的压力。这种力通常被称为冰劈力。冰劈力会在很大程度上加快裂缝的开展[6]。

冻胀作用主要发生于路面下的土体中，可分为两种类型：没有外来水补给的封闭型冻胀和水源充足的开敞型冻胀。当土体有外来水源补给时，土颗粒表面自由水冻结，进而使得结合水膜逐渐变薄，结合水压力增大，致使周围弱结合水由水膜较厚处向水膜较薄处移动，致使毛细水不断上升，导致冰体积增大，冻胀力进而也会增大。因此开敞型冻胀往往会在土体中形成很大的冻结区，对路面裂缝开展的影响远大于封闭型冻胀[7]。

温缩效应主要是指沥青路面本身，沥青混合料在冻融循环过程中的热胀冷缩效应，在温度降低时，

路面整体结构体积收缩, 沥青材料产生拉应力, 当拉应力大于材料的承载能力极限时也会使路面产生裂缝。本文主要研究的是冻融循环对在沥青路面裂缝开展的影响, 冰劈效应为主要影响因素[8]。

3.2. 冻融试件

课题组通过调查长春市沥青的选择[9], 及常用配合比调查[10], 选用的沥青车辙板的参数如下:

稳定性较好的 SMA-13 间断级配沥青混合料、油石比为 5.8% 集料粒径为 13 mm、最大公称粒径为 13.2 mm、最大粒径为 16 mm、SBS 改性沥青、矿料采用玄武岩(玄武岩纤维的掺杂比例为 0.3%~0.4%)。

通过实地调查长春市裂缝数据, 详见 1.2 实地裂缝统计, 确定裂缝的宽度、深度, 长度由于道路裂缝较长, 车辙板难以模拟, 选择可实现的长度值, 采用控制变量法, 开出如下裂缝:

① 控制 4 条裂缝长为 10 cm、深度为 10 mm 一定, 开出宽度分别为 3 mm、5 mm、7 mm, 9 mm 的裂缝;

② 控制 4 条裂缝长为 10 cm、宽度为 5 mm 一定, 开出深度分别为 8 mm、10 mm、12 mm 的裂缝, 其中 6 mm 宽的裂缝由于开缝误差较大, 已舍去;

③ 控制 4 条裂缝宽度为 5 mm、深度为 10 mm 一定, 开出长度分别为 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 的裂缝。

3.3. 确定冻融循环实验温度及周期

通过调查长春气温, 筛选出一年内最高气温零上, 最低气温零下的气温, 分别将最高气温和最低气温做平均, 得出冻融循环实验温度: 零上温度+7℃、零下温度-5℃。同时将这些气温下每日温度作统计, 得出温度为零上的平均时间和温度零下的平均时间, 将此作为冻融循环的时间, 以 24 小时为一个周期, 既冰冻 16 小时, 融化 8 小时。

在气候调查过程中, 项目组还发现, 长春全年平均降水量为 570.3 mm 在左右, 降水偏多且降水强度较大, 阵性降水较多[11], 因此课题组决定在冻融循环试验中采用有水源补给的冻融循环, 既在每次冰冻之前在车辙板上洒足量的水, 以保证车辙板处于浸透状态, 以模拟路面积水未完全下渗, 排水状态不畅的情况。

4. 冻融作用对裂缝扩展的影响因素分析

4.1. 试验分析

由之前的调查, 得到了长春一年内发生冻融月份的平均零上温度和平均零下温度, 进而确定了冻融的实验温度和循环周期。以 24 小时为一个冻融周期, 每次冰冻之前在裂缝内洒入一定量的水, 以保证冻胀效应有足够的水源作为补充, 模拟现实条件下路面积水的情况。课题组运用游标卡尺对裂缝的宽度和深度进行测量, 游标卡尺精度为 0.02 mm, 本实验在裂缝上选取三个点, 每次测量取三个点测量值的平均值作为最后的测量值。冻融循环实验进行至裂缝稳定为止。

裂缝扩展比换算公式:

$$\eta_n = \frac{d_n - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1)$$

其中 η_n 表示第 n 次冻融循环后裂缝的扩展比, d_n 表示第 n 次冻融循环后裂缝的绝对宽度, d_0 为裂缝初始宽度。

为保证实验数据真实有效, 具有说服力, 课题组在实验过程中保持人、机、料、法、环五大因素恒定, 既人——试验测量人员固定, 均为同一人测量; 机——实验所用机械(冰柜、游标卡尺)为同一器械,

如图所示；料——试验所用车辙板的材料属性相同，具体材料参数参考本文 2.2 冻融试件；法——试验方法固定，冻融温度及周期时间恒定，进行并联试验，将车辙板同步进行冻融循环；环——试验环境场所固定。

以下将冻融数据结果按控制变量的方法，对单个因素进行讨论分析。

4.2. 裂缝宽度因素对裂缝扩展的影响

由于裂缝宽度会影响裂缝中水的含量，进而会影响冻胀力和冰劈效应的大小，因此，本研究控制裂缝长度为 10 cm，深度为 10 mm，宽度分别取 3 mm、5 mm、7 mm 和 9 mm，分别在车辙板上开出四条裂缝，将车辙板进行 13 次冻融循环，测量出每次冻融循环后裂缝的绝对宽度，数据如表 1，将绝对宽度换算为裂缝宽度的扩展比，以便将不同初值的裂缝之间作比较，数据见表 2。将四组数据绘制成折线图，置于同一坐标系下，如图 3。

Table 1. Absolute widths of cracks of different widths after propagation

表 1. 不同宽度裂缝扩展后绝对宽度表

裂缝宽度 (mm)	冻融次数/次												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	3.02	3.13	3.17	3.30	3.43	3.51	3.56	3.60	3.75	3.77	3.77	3.79	3.76
5	4.98	5.02	5.08	5.28	5.39	5.53	5.61	5.72	5.74	5.75	5.72	5.74	5.73
7	7.03	7.17	7.25	7.36	7.50	7.69	7.76	7.80	7.89	7.92	7.88	7.89	7.90
9	9.01	9.10	9.20	9.29	9.37	9.44	9.48	9.54	9.55	9.63	9.66	9.69	9.65

Table 2. The propagation ratio of cracks of different widths after propagation

表 2. 不同宽度裂缝扩展后扩展比表

裂缝宽度 (mm)	冻融次数/次												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	0.0000	0.0359	0.0478	0.0909	0.1364	0.1603	0.1794	0.1914	0.2416	0.2464	0.2488	0.2524	0.2452
5	0.0000	0.0067	0.0193	0.0595	0.0826	0.1101	0.1250	0.1488	0.1518	0.1540	0.1473	0.1518	0.1496
7	0.0000	0.0190	0.0301	0.0460	0.0660	0.0935	0.1030	0.1083	0.1220	0.1252	0.1199	0.1220	0.1236
9	0.0000	0.0107	0.0217	0.0316	0.0402	0.0484	0.0525	0.0590	0.0607	0.0689	0.0721	0.0758	0.0709

绘制成折线图，如图 1 所示。

观察以上不同宽度下裂缝宽度扩展比关系图，四条曲线均从第一次冻融开始，裂缝开始扩展，在冻胀力和冰劈效应作用下，裂缝的绝对宽度和扩展比逐渐增大，到第 8~9 次冻融后，裂缝绝对宽度和扩展比达到最大，之后趋于稳定状态，基本保持不变。

图中四条长度深度相同，宽度不同的冻融循环曲线，前几次冻融曲线之间偶有交叉，可能与测量等误差有关，但当曲线趋于稳定之后，四条曲线关系清晰明了。

对比四条曲线的稳定状态，裂缝最终扩展比由大到小对应的裂缝初始宽度由大到小依次为 3 mm、5 mm、7 mm、9 mm，其对应的扩展比分别为 24.5%、15.1%、12.2%和 7.2%。由此可以得出，保持其他因素恒定，裂缝在冻融循环作用下，裂缝宽度扩展最终趋于稳定，其稳定值与裂缝的初始宽度有关，裂缝初始宽度越大，裂缝最终扩展比越小。结论也与宽度对冰劈效应的关系相符，宽度越小，冰劈效应的应力强度因子越大[8]。

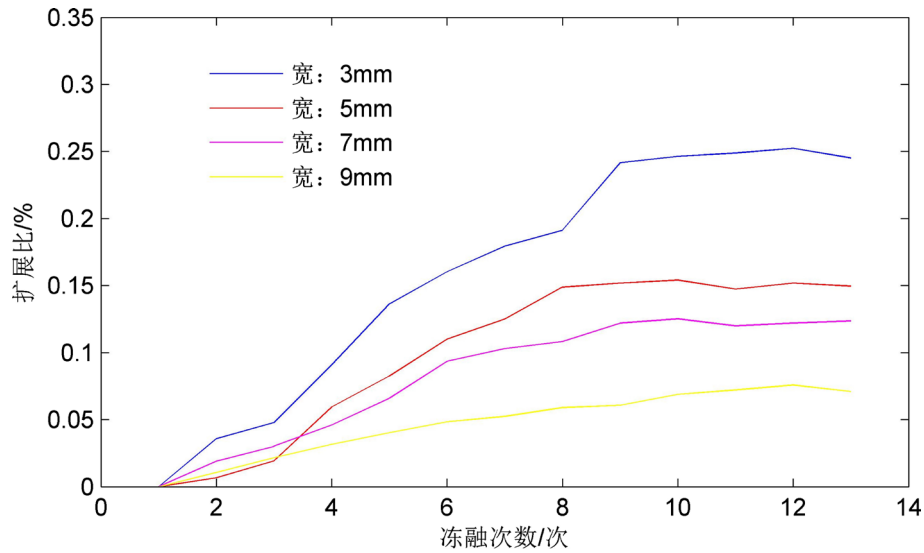


Figure 1. Diagram of extension to width
图 1. 扩展比与宽度关系图

4.3. 裂缝长度因素对裂缝扩展的影响

由于裂缝的长度也会影响裂缝中水的体积，也会对冻胀力及冰劈效应产生影响。在此部分实验中，课题组控制裂缝宽度为 5 mm，深度为 10 mm，在车辙板上分别开四条长度为 5 cm、10 cm、15 cm 和 20 cm 的裂缝。对车辙板同步进行 13 次冻融循环，利用游标卡尺测量出裂缝的绝对宽度，数据如表 3。之后对数据进行处理，利用冻融之后裂缝的绝对宽度和裂缝的初始宽度换算为宽度扩展比，数据如表 4，

Table 3. Absolute widths of cracks of different lengths after propagation
表 3. 不同长度裂缝扩展后绝对宽度表

裂缝长度 (cm)	冻融次数/次												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	4.93	4.98	5.03	5.09	5.16	5.22	5.27	5.33	5.39	5.38	5.38	5.39	5.39
10	4.96	5.04	5.12	5.15	5.25	5.32	5.38	5.42	5.45	5.50	5.51	5.49	5.50
15	4.99	5.09	5.20	5.31	5.38	5.43	5.48	5.53	5.60	5.62	5.59	5.60	5.61
20	5.00	5.13	5.29	5.46	5.49	5.52	5.60	5.65	5.67	5.70	5.73	5.72	5.73

Table 4. The propagation ratio of cracks of different lengths after propagation
表 4. 不同长度裂缝扩展后扩展比表

裂缝长度 (cm)	冻融次数/次												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	0.0000	0.0104	0.0206	0.0328	0.0470	0.0591	0.0693	0.0814	0.0934	0.0918	0.0918	0.0942	0.0942
10	0.0000	0.0153	0.0314	0.0383	0.0567	0.0727	0.0838	0.0919	0.0979	0.1080	0.1100	0.1060	0.1080
15	0.0000	0.0194	0.0414	0.0634	0.0774	0.0874	0.0975	0.1081	0.1215	0.1255	0.1195	0.1215	0.1235
20	0.0000	0.0254	0.0571	0.0918	0.0968	0.1042	0.1191	0.1303	0.1340	0.1390	0.1445	0.1427	0.1445

绘制出裂缝宽度扩展比随冻融次数变化的折线图，如图 2。
绘制成以下折线图。

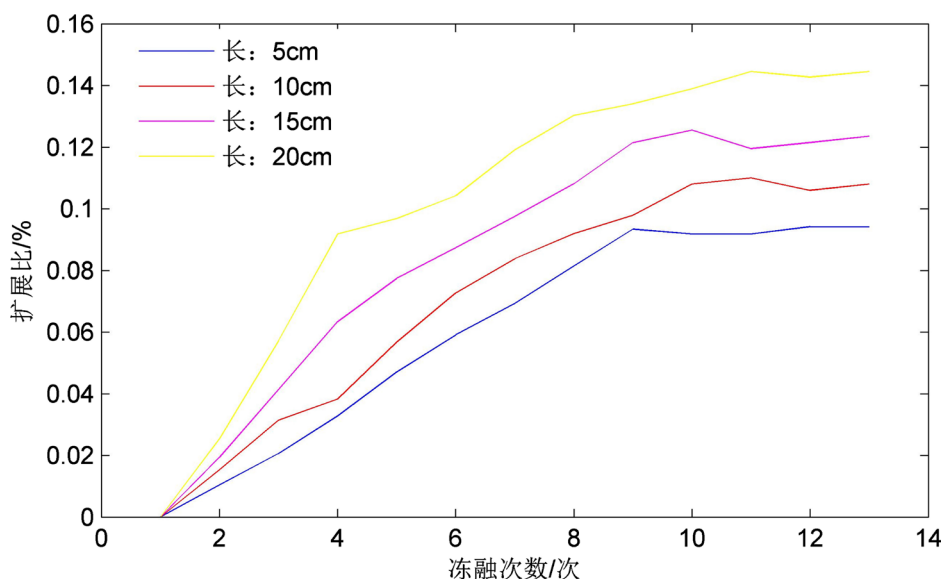


Figure 2. Diagram of extension to length
图 2. 扩展比与长度关系图

观察上图四条初始宽度、深度相同，长度不同的曲线，与图曲线相似，随着冻融次数的增加，裂缝宽度扩展比逐渐增大，至第 9~10 次冻融循环后，裂缝达到稳定状态，裂缝宽度及扩展比保持恒定。

对比四条曲线，长度为 20 cm 的裂缝最终扩展比稳定值最大，约为 14.3%，其次是长度为 15 cm 的裂缝，其最终扩展比为 12.3%。10 cm 长的裂缝最终扩展比稳定在 10.8%，而 5 cm 的裂缝扩展比最小，稳定在 9.4%。由此可得出结论，当外部因素以及裂缝的宽度和深度恒定时，裂缝扩展比稳定值与裂缝初始长度呈正相关。

4.4. 裂缝深度因素对裂缝扩展的影响

裂缝的深度决定了路面积水在沥青面层中的浸入的深度，进而也会导致水体积的变化，使冰劈效应增大。与之前对比试验类似，控制裂缝长度为 10 cm，宽度为 5 mm，分别在车辙板上开了 3 条深度为 8 mm、10 mm 和 12 mm 的裂缝。连续进行 13 次冻融循环后，裂缝扩展趋于稳定，用精度为 0.02 mm 的游标卡尺测量裂缝绝对宽度，取三个点的测量平均值为最终测量值，数据如表 5，利用公式 1 换算成的裂缝扩展比数据如表 6，绘制出冻融次数与裂缝扩展比的关系曲线如图 3。

Table 5. Absolute widths of cracks of different depths after propagation
表 5. 不同深度裂缝扩展后绝对宽度表

裂缝深度 (mm)	冻融次数/次												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	5.02	5.13	5.23	5.46	5.56	5.69	5.78	5.80	5.82	5.82	5.81	5.83	5.82
10	4.99	5.17	5.34	5.48	5.56	5.68	5.83	5.93	5.94	5.96	5.94	5.95	5.96
12	5.03	5.17	5.37	5.60	5.73	6.03	6.22	6.35	6.37	6.38	6.39	6.37	6.40

Table 6. The propagation ratio of cracks of different depths after propagation
表 6. 不同深度裂缝扩展后扩展比表

裂缝深度 (mm)	冻融次数/次												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	0.0000	0.0220	0.0412	0.0865	0.1071	0.1332	0.1511	0.1538	0.1593	0.1580	0.1559	0.1600	0.1580
10	0.0000	0.0370	0.0700	0.0973	0.1141	0.1375	0.1693	0.1887	0.1907	0.1946	0.1907	0.1926	0.1946
12	0.0000	0.0277	0.0684	0.1148	0.1400	0.2000	0.2368	0.2639	0.2677	0.2697	0.2716	0.2684	0.2735

绘制成折线图:

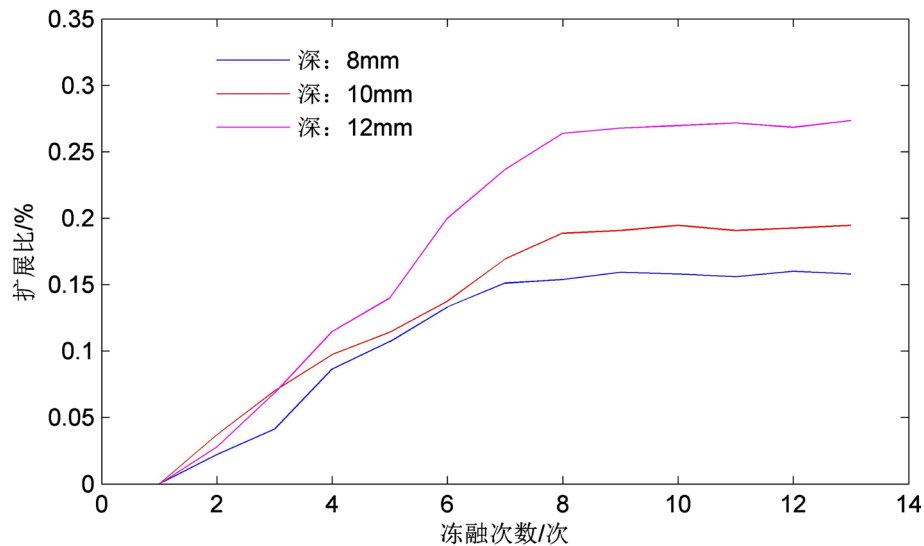


Figure 3. Diagram of extension to depth

图 3. 扩展比与深度关系图

由于一条裂缝在开缝处理过程中偏差较大, 舍去后剩下三条曲线。单独分析一条曲线, 规律同之前实验结论, 裂缝扩展比随冻融循环的增加而增大, 冻融循环至第 8 次左右, 裂缝扩展稳定, 之后趋于不变。

将四条曲线对比分析, 裂缝扩展比稳定值与裂缝的初始宽度有关, 试验中初始深度为 12 mm 的裂缝扩展比最大, 约稳定在 27.0%, 初始深度为 10 mm 的裂缝次之, 扩展比稳定在 19.3%左右, 初始宽度 8 mm 的裂缝最终扩展比最小, 约稳定在 15.8%。由此可见, 裂缝扩展比稳定值与裂缝初始深度也有关系, 初始深度越大, 最终扩展比越大。与理论相符, 水渗入沥青面层越深, 冰劈效应越显著[12]。

影响裂缝比的因素还有很多, 诸如沥青面层荷载、基层稳定性、含水率及饱和性等[13], 本研究仅针对裂缝的内因进行讨论, 其他因素控制不变, 不予以考虑。

5. 扩展比预测模型

至此课题组猜测, 扩展比与裂缝的初始宽度、深度和长度之间存在着某一函数关系, 为更好阐述其关联性, 建立以下模型。

5.1. 模型假设

- ① 假设冻融循环有水源补充;
- ② 假设裂缝的外部因素保持不变, 例如外部荷载、基础承载力等;

③ 假设试件材料固定，具体参数详见 2.2。

5.2. 模型建立

利用之前冻融试验数据以及相同材料试件的冻融试验数据进行回归分析，因此建立三元回归模型：

$$\eta = a_1 \times l + a_2 \times b + a_3 \times h + c \quad (2)$$

其中 η 为裂缝宽度扩展比， l 为裂缝初始长度， b —— 裂缝初始宽度， h —— 裂缝初始深度， a_1 、 a_2 、 a_3 、 c 为回归系数。

5.3. 模型求解

使用 matlab，利用最小二乘法进行三元模型回归，解得：

$$a_1 = 0.0002, a_2 = -0.0125, a_3 = -0.0031$$

则裂缝扩展比与裂缝初始宽度、深度、长度之间的回归关系为：

$$\eta = 0.0002 \times l - 0.0125 \times b - 0.0031 \times h + 0.2019 \quad (3)$$

5.4. 残差分析

为检验模型的可靠性，并直观的对数据进行分析，课题组利用 matlab 绘制出残差杠杆图，如图 4。

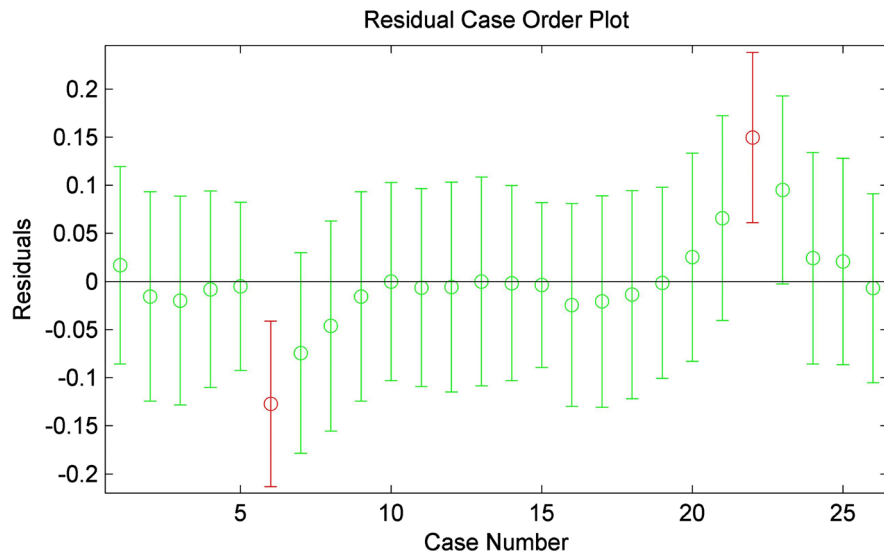


Figure 4. Diagram of model regression residual leverage

图 4. 模型回归残差杠杆图

如图，只有两组数据偏差较大，其余均满足要求，这两组数据可能与测量等实验误差有关。由此可知，模型较为可靠，证明裂缝扩展比与裂缝初始宽度、初始深度、初始长度这三个变量之间存在着函数关系，利用此函数关系可以进行对沥青路面裂缝养护的提醒。

在裂缝冻融预测中，利用裂缝的初始长度，宽度和深度，带入模型中，可近似求出裂缝的扩展比，进而利用扩展比和裂缝的初始宽度换算得到裂缝的实时宽度，给出养护建议。

6. 沥青路面养护决策

根据我国《公路技术状况评定标准》(JTG H20-2007)：沥青路面破损类型分为 11 类、21 项，11

类破损形式分别为：龟裂、不规则裂缝、纵缝、横缝、坑槽、松散、沉陷、车辙、波浪拥包、泛油、修补[14]。

本文主要考虑长春地区冬天冻融循环对道路裂缝影响，而在各裂缝破损类型中，横裂缝是唯一一种受温度影响而产生的裂缝破损，因此在计算路面破损状况指数(PCI)和路面破损率(DR)时只考虑横裂缝的影响，忽略其他损坏类型对 PCI 与 DR 的影响。

假设除破损状况养护质量标准以外的其他养护质量标准，如强度的养护质量标准等，均满足规范规定，只考虑国家规范中路面破损状况养护质量标准，由国家规范可知[14]：

对于高速公路及一级公路：PCI ≥ 70 时只需进行日常维护，并小修局部破损；PCI < 70 时进行中修罩面。对于二级及二级以下的公路：PCI ≥ 55 时只需进行日常维护，并小修局部破损；PCI < 55 时采取中修罩面措施。

由第 4 章的实验数据分析可得知在冻融循环作用下不同初始宽度、长度以及深度的裂缝的未来生长状况。由冻融循环次数 n 、裂缝初始宽度 d 、初始深度 h 和初始长度 l 可换算出某一时刻的裂缝扩展比，进而换算成裂缝的实时宽度，进一步得到 n 年后的 DR 与 PCI 值，结合道路类型与安全等级可得到需要采取中修罩面措施与日常养护的 PCI 界限。当 n 次冻融循环后，PCI 值刚好小于等于 PCI 界限值时，道路需要进行中修罩面工程进行修补，并对该地区年均冻融循环次数，可对裂缝的养护时间进行预估。

7. 结论

1) 自然状况下裂缝宽度和深度为正相关，但由于裂缝产生原因不同，宽度与深度之间并不是一一对应的关系，因此对裂缝进行研究时，不仅要考虑宽度的影响，还需考虑深度的作用。

2) 在冻融作用的影响下，沥青路面裂缝随着冻融循环的进行而不断增长，当冻融进行到第 8~11 次时，裂缝便不继续生长，而是会达到一个相对稳定的极限状态，裂缝宽度趋于稳定，裂缝扩展比会达到一个极限值，这个极限值的影响因素在内因方面有宽度、深度和长度三项参数。裂缝宽度扩展比会随着初始宽度的增大而减小，随初始深度的增大而增大，随初始长度的增大而增大。

3) 在外界因素确定的情况下，已知裂缝的三个参数可以推测出裂缝的宽度扩展比，根据宽度扩展比和初始宽度换算出之后裂缝某一状态下宽度后，便可根据国家规范判断是否需要养护，由此可近似得到一个养护预测模型。

参考文献

- [1] Mathew, T.V. and Krishna Rao, K.V. (2007) Introduction to Transportation Engineering. Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur.
- [2] 丁立, 刘朝晖, 忠义. 沥青路面冲刷冻融劈裂的水损害试验模拟环境[J]. 公路交通科技, 2006(23): 16-19.
- [3] 苏镇洪, 张洪刚, 仲文亮. 沥青路面抗冻融试验研究现状[J]. 山西建筑, 2012(38): 147-148.
- [4] 赵洪利, 刘庆凤, 巨云贞. 公路沥青路面裂缝的成因与综合处治研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2009, 40(4): 605-608.
- [5] 蒋宏岩, 王金杰, 江明江. 沥青路面病害浅析[J]. 东北公路, 2002, 25(1): 27-28.
- [6] 徐真真, 朱彬, 宋瀛, 曹高尚. 冰劈效应对沥青路面表面裂纹的影响研究[J]. 华东公路, 2015(1): 84-87.
- [7] 钱秀岐, 刘艳丽, 初哲. 土体冻胀的影响分析[J]. 科技创新导报, 2011(31): 41.
- [8] 赵岩荆, 倪富健. 冰劈效应对沥青路面表面裂缝的影响性分析[J]. 公路交通科技, 2011, 28(4): 24-30.
- [9] 刘秀丽, 曾皎峰, 姚馨源. 沥青材料在长春市城市道路设计中的应用[J]. 中国市政工程, 2011(3): 48-49 + 88.
- [10] 毛文斌. 城市道路 SMA 沥青混凝土路面配合比设计与施工技术[J]. 中华民居(下旬刊), 2013(5): 335-336.
- [11] 刘刚, 郑长宇. 长春市气候分析[J]. 长春师范学院学报, 2005(2): 49-52.

-
- [12] 乔国文, 王运生, 杨新龙. 高寒山区岩体冻胀冰劈破坏试验[J]. 山地学报, 2014, 32(5): 579-586.
- [13] 王宏畅, 李国芬, 黄晓明. 高等级沥青路面表面裂缝扩展规律及寿命研究[J]. 公路交通科技, 2007(7): 10-14.
- [14] 武建民. 路面养护管理系[M]. 北京: 人民交通出版社, 2014: 50-105.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org