

文章编号:1671-8879(2013)06-0036-06

运营早期沥青混凝土路面表层透水状况

李海青¹, 高璇², 杨建国^{3,4}

(1. 内蒙古大学 交通学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2. 中交通力建设股份有限公司, 陕西 西安 710075;

3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

4. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

摘 要:为了解运营早期沥青混凝土路面透水状况, 及时发现隐性病害, 改进了室内渗水试验方法, 采用 AC-20 型和 AM-20 型混合料成型目标空隙率分别为 4%、6%、8%、10%、12% 和 14% 的车辙板试件。通过车辙板渗水试验和碘钨灯照射试验, 研究了沥青混凝土路面空隙率与透水性、沥青混凝土路面表面温度与透水性之间的相关性, 并通过工程实例应用, 验证了这种相关性。研究结果表明:除太阳辐射、集料岩性、周围环境等自然因素外, 沥青混合料空隙率成为雨后天晴条件下影响路表温度最主要的因素之一; 车辙板试件的渗水系数随空隙率增大而呈线性增加, 当空隙率大于 9% 时, 渗水系数出现急剧增大; 不同饱水量车辙板试件经碘钨灯照射后的温差, 与照射时间之间呈现出先增加, 然后逐渐减小并逐步趋于零的变化规律。可为沥青混凝土路面隐性病害研究提供借鉴, 也为预防性养护时机的确定提供决策依据。

关键词:道路工程; 沥青混凝土路面; 隐性病害; 预防性养护; 空隙率; 红外测温技术

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Permeability of asphalt concrete pavement surface during early stage

LI Hai-qing¹, GAO Xuan², YANG Jian-guo^{3,4}

(1. School of Transportation, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, Inner Mongolia, China;

2. Zhongjiao Tongli Construction Co Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China;

3. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China;

4. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to know about permeability of asphalt concrete pavement during early stage and find the recessive disease, permeability test in the laboratory was improved. AC-20 and AM-20 were used to make rut test piece with air voids of 4%, 6%, 8%, 10%, 12% and 14% respectively. Based on permeation and illumination test by using iodine-tungsten lamp, correlation between volume of air voids and permeability, temperature of road surface and permeability were studied. Besides, the correlation was verified by application. The result showed that air voids of asphalt mixture is one of the main factors contributing to road surface temperature in the fine day after rain except solar radiation, aggregate lithological characters, environment and other natural factors. Permeability coefficient shows linear increase with air voids of rut test piece and increases

收稿日期:2013-08-02

基金项目:交通运输部重大科技专项项目(2011 318 221 360)

作者简介:李海青(1969-),女,内蒙古呼和浩特人,讲师,工学博士,E-mail:iafn@foxmail.com。

dramatically when air void is larger than 9%; after illumination by iodine-tungsten lamps, difference in temperature of rust test piece increases firstly, then decreases and tends to zero lastly with illumination time. This paper can provide reference for recessive study of asphalt concrete pavement, and basis for time decision-making of preventive maintenance. 2 tabs, 5 figs, 13 refs.

Key words: road engineering; asphalt concrete pavement; recessive disease; preventive maintenance; volume of air voids; infrared temperature measurement technology

0 引言

美国学者长期调查后认为:残留空隙率太小时易泛油,发生车辙,降低抗滑能力,4%时沥青混凝土路面耐久性最好^[1]。然而,由于施工过程中材料离析、温度离析和碾压离析,常导致局部空隙率过大,沥青面层透水严重^[2-4]。雨雪水将长时间滞留在空隙内,动水冲刷作用导致沥青膜逐渐脱落;空隙增大了沥青与空气的接触面积,加速沥青老化;较大的空隙率还降低了沥青与矿料的协同作用^[5-8]。根据作者对内蒙古、甘肃、陕西、河南等4个省(自治区)近3年新建公路的调研发现,不少沥青混凝土路面开放交通2~3年后局部路段即发生严重的唧浆、坑槽和表面松散等病害。文献[9]将这些早期破坏归因于局部空隙率过大导致路面透水严重,并称之为隐性病害。这种隐性病害在沥青混凝土路面运营早期发展速度缓慢,破坏程度较轻,不易被发现。国内外对这种隐性病害的无损检测方法主要有:激光构造深度法、无核密度法、铺砂法、地震法等。现有文献没有专门针对路面透水状况的评估指标及方法,工程界常用空隙率、构造深度等指标间接反映路面离析程度。检测和评价未考虑外界因素,特别是没有考虑导致路面损害的最主要因素之一——水。评价结果仅反映了沥青混凝土路面自身的施工缺陷,并不能从本质上反映空隙是否连通,也无法揭示路面透水性的程度。另外,工程上常用渗水仪检测路面透水情况,但这种方法属单点检测,代表性差,检测效率低,且干扰交通。作者依托交通运输部重大科技专项“新一代公路基础设施维护关键技术、重大装备与示范(一期)”,研发了基于无损测量和非接触式红外测温技术的沥青混凝土路面透水状况检测设备,该项技术已取得国家发明专利。建立了沥青混合料空隙率与路面透水性之间的关系以及路面表面透水状况与路面表面温度之间的内在联系,并引入温差度、降雨量等指标评价沥青混凝土路面透水状况。旨在为确定沥青混凝土路面预防性养护的时机

以及提出预防性养护措施提供必要借鉴和参考。

1 不同空隙率对沥青混凝土路面透水性的影响

一般空隙率越大,路面渗水系数越大,结构层蓄水能力越强。沥青混合料空隙率与沥青饱和度、矿料级配密切相关。当采用的油石比增大时,沥青混合料平均的空隙率逐渐减小。故可通过改变沥青混合料的级配或油石比,制作不同空隙率的沥青混合料试件,测试和评价不同空隙率下试件透水能力。

1.1 试验方案

考虑到简易渗水试验在计量水体积时存在误差,且试件与试模间隙渗水严重,为了封闭周围渗水,室内试验对日本道路公团渗水试验方法进行了改进^[10],采用石蜡封闭马歇尔试件,橡胶轮胎禁锢试件周围,然后进行马歇尔试件渗水试验。如果渗水系数满足要求,则按照试验所确定的配合比,采用轮碾法制作300 mm×300 mm×50 mm板块状试件模拟路面实际状况,进行车辙板渗水试验。

试验采用SK-70沥青,矿料母岩为石灰岩,设定不同的目标空隙率分别为4%、6%、8%、10%、12%和14%。根据规范(JTG F40—2004)可知,仅采用一种路面结构形式不能在合理的油量范围内使用混合料空隙率涵盖4%~14%的范围。因而,拟采用AC-20型混合料设计4%、6%的目标空隙率;AM-20型混合料设计8%、10%、12%和14%的目标空隙率。

1.2 试验结果

整理得到的试验结果(下页图1所示)表明:①在相同级配情况下,沥青混合料的空隙率随油石比的增大而减小;②车辙板试件的渗水系数随空隙率增大而呈线性增加,当空隙率大于9%时,渗水系数出现急剧增大。从试验结果看,沥青混合料的空隙率和渗水系数之间有良好的相关性。空隙率和渗水系数的主要区别在于:空隙率是对混合料全部空隙的反映,而渗水系数反映的是混合料内部空隙连通

情况。因而,当渗水系数过大时,将使沥青混凝土路面严重渗水,导致路面水损害。

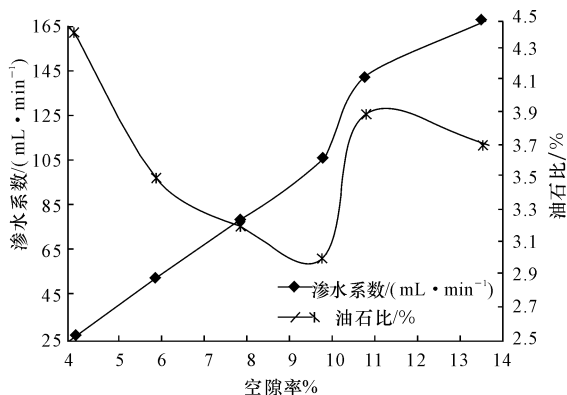


图1 车辙板渗水试验结果

Fig. 1 Result of permeability test of rut board

2 影响路表温度的不确定因素

由于施工过程中的离析、路表降水以及交通荷载作用,路面表面透水状况在沥青混凝土路面运营早期即呈现出不均匀性。降雨后,路面表层含水状况不同,局部空隙率大的地方比空隙率小的地方蓄水相对较多。由于水分蒸发会降低路表温度,雨后天晴时,如果测得了路表温度,则路表温度场直观地反映了路表结构层的蓄水状态。值得指出的是,除了沥青混合料空隙率外,路表温度还受太阳辐射、集料岩性、道路环境等因素的影响。

2.1 太阳辐射热

受大气、地形、时刻等因素影响,太阳辐射度表现出各向异性。文献[11]根据 98 个地方 10 年的气象资料,绘制了中国路表温度等值图,研究了沥青混凝土路面表面温度的日温变化规律。德国德累斯顿工业大学学者构建了路面温度场预估模型,认为沥青混凝土路面表面温度分布主要受气温、太阳辐射、一天中不同时间段和一天中温度幅值的影响^[12]。图 2 为采用 TM-207 型阳光辐射量仪和温度计,对某高速公路(113.52°E, 35.18°N) 2012 年 7 月 27 日当天 7:00~19:00 太阳辐射度、空气温度及地面温度的测量结果。从图 2 可见,空气温度变化幅度较路表温度小,路表温度起伏与太阳辐射度变化情况趋势类似,而且变化幅度较大。太阳辐射度在 13:00 前后达到 1 000 W/m²,路表温度也达到最高值 55.7 °C。

2.2 集料岩性及其他因素

沥青混凝土路面表面温度还与集料岩性(矿物成分、结构、空隙率、热传导率)、沥青混合料空隙率、

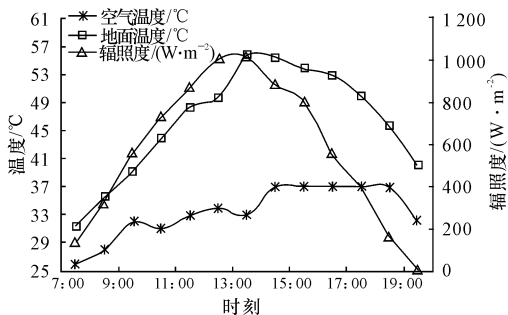


图2 太阳辐射度及地表温度变化曲线

Fig. 2 Solar irradiance-land surface temperature change curve

及道路环境(周边植被、广告牌等)有关。文献[13]通过研究发现,岩石的热传导率会随温度升高而缓慢增大,认为岩石热传导率与矿物颗粒粒径之间呈抛物线。集料岩性对路表温度的影响看似复杂,但对路面而言,当路线较短时,通常路面石材来源相同,在同样的太阳辐射下,集料岩性对路表温度的影响可忽略。反之,在筑路石材来源不一时,应根据施工记录区别对待。

从以上分析可知,除太阳辐射、集料岩性、周围环境等自然因素外,沥青混合料的空隙率成为雨后天晴条件下影响路表温度最主要的因素之一。因而,可以利用雨后沥青混凝土路面表面的温度分布,判断沥青混凝土路面的透水特征。

3 沥青混凝土路面透水性及路表温度相关性室内试验

为模拟雨后天晴路表温度变化,需要解决 2 个重要问题,一是热源的选择,二是车辙板密封工艺。通过对烘箱、石英灯、白炽灯等多种热源的对比,认为碘钨灯光效高、亮度大、寿命长,结构紧凑,故选定碘钨灯来模拟太阳辐射,并对其照射高度、功率等进行特殊设计。为了模拟路面透水情况,实现水可从试件表面渗入而不从试件旁边渗出,需要对试件密封。考虑到材料必须耐 70 °C 高温,且不能改变路面内部结构,选用铝箔纸和黑蚂蚁密封胶密封试件周围。

3.1 试验方案

将密封好的试件浸入 20 °C 恒温水槽中饱水 1 h,调节室内温度为(20±1) °C。红外辐射测温仪测试表面不同点的起始温度。用碘钨灯照射试件表面,试件距离热源 60 mm。以后每隔 0.5 h 用红外辐射测温仪测试试件表面温度,直至试件表面温度到 60 °C 左右。将模拟照射试验完成后的试件剥去外包装物,晾干水分,进行渗水试验。将做完渗水试

验的车辙板切成立方体进行密度试验,测量其实际空隙率。目标空隙率为4%、6%的试件用表干法测其毛体积密度,目标空隙率为8%、10%、12%、14%的试件用普通蜡封法进行试验。

3.2 试验结果

试件经连续照射后,试件表面水分蒸发,失水量检测结果如图3所示。结果显示,试件经聚能灯照射后,随着试件空隙率(饱水质量)的增加,试件失水质量呈线性增长,说明失水质量和速度与试件饱水的质量之间相关性较好。

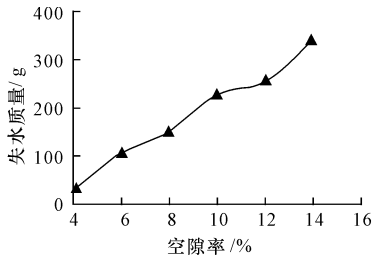


图3 不同空隙率试件经照射350 min后的失水质量情况

Fig. 3 Water loss of different air void specimens under irradiation for 350 minutes

AC设计空隙率为3%~5%,以设计空隙率4%为基准,其他目标空隙率 V (6%、8%、10%、12%、14%)的试件在聚能灯照射下与4%试件的表面温度差变化情况如图4所示。

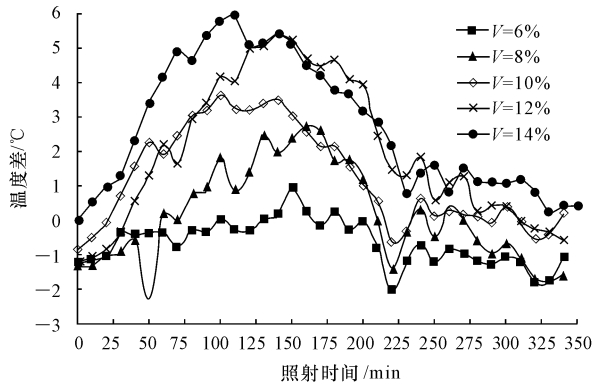


图4 不同空隙率试件表面温度变化趋势

Fig. 4 Change trend of surface temperature of different air void specimens

由图4可以看出:①不同饱水量试件在照射后,透水试件与4%空隙率试件的表面温度差别较大,最大温度差值达5.9℃;②随着透水程度的不断增加,温差规律性逐渐增强;③空隙率为6%的试件与不透水试件相比,温度差值规律性不强,但温差值在-2℃~+1℃之间,可以判定该条件下的试件透水量微弱;④不同饱水量车辙板试件经照射后的温差,呈现先增加后逐渐趋于零的趋势;⑤设计空隙率

不小于8%时,照射一段时间后试件表面将出现2℃以上的温差,可以被通用红外探测设备检测到;⑥照射50~200 min后,透水与不透水试件表面的温差可以达到2℃以上,温差显著,可以作为最佳检测时机的时间参考值;⑦在以上温差表现显著的时段,温差大的代表试件饱水量大,温差小的代表试件饱水量小。

4 基于路表温度的沥青混凝土路面透水状况评价方法

根据以上试验结果,如果能够检测得到路表温度,便可以根据路表温度与路面透水性之间的关系,确定路面表面局部空隙率较大、渗水严重的区域。

4.1 沥青混凝土路面透水状况检测

利用红外测温仪进行路表温度测试,红外测温仪选用快速热敏电阻型红外调制探头,测温系统包含红外测温和距离标定两部分。红外测温系统是由8组红外探头、调探处理器、温度和背景温度信号滤波电路构成,红外探头布设宽度可覆盖一个车道。距离标定系统是由旋转编码器及其信号调理器构成。两系统采集到的温度和距离信号由录波器传到USB采集器,并存储到计算机中,通过温度信号处理软件,得出沥青混凝土路面不同位置的温度值。

为提高精度,依据黑体辐射定律,采用黑体对红外传感器进行单台、高密度温度间隔的温度特性曲线标定。红外探测器应满足:响应速度小于等于2 ms(以适应车载检测速度为120 km/h);测温误差小于等于±3℃(探测精度);能够适应现场环境温度;具备适应车载颠簸震动的冲击能力。根据温度信号采集频率,设计合理的滤波、放大电路,提高抗干扰性,同时满足后续电路输入电平范围。数据采集设备应满足:输入模拟量范围应该符合温度信号输出模拟量;具备多路输入接口,满足多路采集需要;拥有高采样速率,保证数据采集完整;具有高传输速度,保证采集卡与上位机间有足够高的传输速度,且不丢失数据;能提供丰富的函数调用功能;具有数字输入接口,满足距离计数器采集需要。

软件系统是主要控制红外测温系统快速、连续测试沥青混凝土路面表面温度,同时记录测试过程中影响路面表面的因素,将测得温度数据存储到计算机内;二是将采集到的电压信号转换为温度信号,形成距离-温度色谱。

4.2 沥青混凝土路面透水状况评价

利用前述测试系统,可得到路面表面温度场,然后可依据路表温度的差异来判断位置沥青混凝土路面密实度或者透水能力的大小。为评价路面透水状况,需要选用适当的评价指标和方法。为便于工程应用,引入低温率和透水强度指数 2 个指标进行路面透水状况的评价。

低温率指检测路段路表最低温度和平均温度之差与该段平均温度的百分比,用字母 D 示。许平南高速公路、新郑高速公路、京珠高速公路等多条高速公路沥青混凝土路面现场检测结果表明,低温率越大,沥青混凝土路面空隙率越大,路表透水越严重。因此,结合路面渗水系数比对试验,可根据低温率对沥青混凝土路面透水等级进行划分,见表 1。当透水强度达到Ⅱ级及以上时,应采取必要的预防性养护措施,避免路表长期蓄水和行车动水压力对路面的破坏。

表 1 沥青混凝土路面表面透水等级

Tab. 1 Permeability level of asphalt concrete pavement surface					
低温率 $D/\%$	0~ -5.00	-5.01~ -10.00	-10.01~ -15.00	-15.01~ -20.00	≤ -20.01
透水强度	轻微	一般	较严重	严重	极严重
透水等级	I	II	III	IV	V

为获得检测路段路面整体透水状况,且便于不同路段之间进行对比,引入透水强度指数,其含义为检测路段不同透水等级区域面积占检测路段路面面积的比率,用 W 表示。相应地,透水等级为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级时,透水强度指数分别用 W_I 、 W_{II} 、 W_{III} 、 W_{IV} 和 W_V 表示。

5 工程实例应用

运用车载式红外测温仪对某高速公路进行了现场检测,1 个车道的检测结果见表 2。

根据表 2,可计算得到检测路段的沥青混凝土路面透水强度指数,其中 W_I 和 W_V 为 0, W_{II} 为 62.2, W_{III} 为 32.4, W_{IV} 为 5.4。表明该路 62.2% 的路段路面透水等级为“Ⅱ级”,透水严重程度为“一般”;32.4% 的路段路面透水等级为“Ⅲ级”,透水严重程度为“较严重”;5.4% 的路段透水等级为“Ⅳ级”,路面透水程度为“严重”。“Ⅱ级”及以上路段占整个检测路段的 100%,虽然没有“极严重”的透水区域,但透水范围较大。为验证结果的准确性,采用渗水仪对典型路段渗水系数进行测定,结果如图 5 所示。

表 2 路面透水情况检测结果

Tab. 2 Test results of permeability of asphalt concrete pavement surface

检测段落	面积/ m^2	温度差 值/ $^{\circ}C$	低温 率/ $\%$	透水 等级
K639+000~K639+124	465.0	-2.0	-6.2	II
K639+124~K639+379	956.3	-2.9	-9.0	II
K639+379~K639+589	787.5	-1.7	-5.2	II
K653+929~K654+101	660.0	-2.4	-7.2	II
K655+665~K655+945	922.5	-2.8	-8.2	II
K656+231~K656+633	1 507.5	-3.4	-9.9	II
K657+188~K657+588	1 503.8	-5.8	-16.5	IV
K657+588~K658+504	3 435.0	-3.0	-8.5	II
K658+504~K659+872	5 250.0	-5.4	-15.3	III
K660+670~K661+759	4 087.5	-2.9	-8.0	II
K661+759~K662+383	2 261.3	-4.7	-13.6	III
K662+383~K662+982	2 246.3	-1.8	-5.1	II
K663+705~K664+126	1 563.8	-3.7	-10.6	III
K664+366~K664+538	645.0	-4.4	-12.6	II
K664+538~K665+000	1 698.8	-2.0	-5.7	II

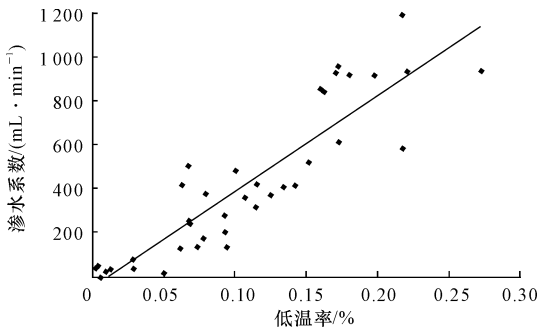


图 5 低温率与渗水系数相关性

Fig. 5 Correlation between low tempture ratio and permeability coefficients

从渗水系数测定结果来看,低温率与渗水系数之间具有较好的线性相关性,利用低温率来表征沥青混凝土路面透水状况是可行的。

6 结 语

(1)由于空隙率不能反映连通空隙的状况,直接采用空隙率反映运营早期路面隐性病害是不合理的。渗水系数能较好地表征路面透水性能,但检测效率低,数据代表性差,该指标可作为沥青混凝土路面隐性病害辅助评价指标或验证指标。

(2)采用改进的渗水试验方法能够较好地模拟路面实际状况。在合理油石比范围内,采用 AC-20 型和 AM-20 型 2 种不同的路面结构形式,可模拟出 4%~14% 之间的沥青混凝土路面目标空隙率。不同沥青混合料空隙率车辙板试件的渗水试验表明,

渗水系数随空隙率增大而呈线性增加,当空隙率大于9%时,渗水系数出现急剧增大。

(3)除太阳辐射、集料岩性、周围环境等自然因素外,沥青混凝土路面表面透水状况是雨后天晴条件下影响路表温度最主要的因素之一。

(4)不同饱水量车辙板试件经聚能灯照射后的温差,与照射时间之间呈现出先增加,然后逐渐趋于0的变化规律。车辙板试件被照射50~200 min后,透水与不透水试件表面的温差可以达到2℃以上,因而,进行路表透水性能的检测应选择最佳观测时机。

(5)工程实例应用表明采用低温率和透水强度指数可以很好地评价检测路段路面透水性能,沥青混凝土路面渗水系数与低温率之间有较好的线性相关性。因此,通过红外测温系统检测和评价沥青混凝土路面透水性能是可行的。

参考文献:

References:

- [1] Gardiner M S. Segregation in hot mix asphalt pavements: NCHRP Report 441 [R]. Washington DC: Transportation Research Board(USA),2000.
- [2] 姜旺恒,张肖宁,李智.基于动水压力模拟试验的沥青混合料水损坏力学机理[J].中国公路学报,2011,24(4):21-25.
JIANG Wan-hen,ZHANG Xiao-nin,LI Zhi. Mechanical mechanism of moisture-induced damage of asphalt mixture based on simulation test of dynamic water pressure[J]. China Journal of Highway and Transport,2011,24(4):21-25. (in Chinese)
- [3] 张东亮.关于沥青混凝土路面渗水试验的思考[J].公路,2011(6):192-194.
ZHANG Dong-liang. Study on permeability of asphalt concrete pavement[J]. Highway,2011(6):192-194. (in Chinese)
- [4] 李东庆,周家作,张坤,等.季节性冻土的水节熟为建模与数值分析[J].中国公路学报,2012,25(1):1-7.
LI Dong-qing,ZHOU Jia-zuo,ZHANG Kun,et al. Modelling and numerical analysis of moisture,heat and stress in seasonal frozen soil[J]. China Journal of Highway and Transport,2012,25(1):1-7. (in Chinese)
- [5] 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.
SHEN Jin-an. Road asphalt and asphalt mixture performance[M]. Beijing: China Communication Press,2001. (in Chinese)
- [6] 王薇,李艳春,扈亚洁,等.沥青路面渗水特性影响因素的灰关联分析[J].武汉理工大学学报,2010,32(14):83-87.
WANG Wei,LI Yan-chun,HU Ya-jie,et al. Grey relation degree analysis on influencing factors of the permeability of asphalt pavements[J]. Journal of Wuhan University of Technology,2010,32(14):83-87. (in Chinese)
- [7] 袁宏伟,习明星,张敬君.沥青路面的渗水性检测方法及其影响因素[J].公路,2002(5):82-86.
YUAN Hong-wei,XI Ming-xing,ZHANG Jing-jun. Examining methods of permeability of bituminous pavement and affecting factors[J]. Highway,2002(5):82-86. (in Chinese)
- [8] 高英,曹荣吉,刘朝晖,等.高速公路沥青路面渗水性能[J].交通运输工程学报,2003,3(3):12-16.
GAO Ying,CAO Rong-ji,LIU Zhao-hui,et al. Permeability of asphalt pavement at expressway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2003,3(3):12-16. (in Chinese)
- [9] 杨建国,刘殿兵,王君,等.半刚性基层沥青混凝土路面隐性病害的评价指标与方法研究[J].兰州交通大学学报,2012,31(6):30-34.
YANG Jian-guo,LIU Dian-bin,WANG Jun,et al. Study on evaluation methods and indexes of recessive Disease for asphalt pavement on semi-rigid base course[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University,2012,31(6):30-34. (in Chinese)
- [10] 张正麒.沥青混合料渗水简化试验与渗透仪试验的对比分析[J].工程建设,2006,38(4):11-13,38.
ZHANG Zheng-qi. Comparison analysis of asphalt mixture water seepage simplifying test and permeameter test[J]. Engineering Construction,2006,38(4):11-13,38. (in Chinese)
- [11] 马正军,谈至明,钱晨,等.全国范围沥青混凝土路面路表温度的分布特征研究[J].公路,2013(3):1-5.
MA Zheng-jun,TAN Zhi-min,QIAN Cheng,et al. Research of distribution characteristics of surface temperature of asphalt concrete pavement in China[J]. Highway,2013(3):1-5. (in Chinese)
- [12] Kayser S. Principles for survey of climatic Influence within the flexible pavement design process [D]. Dresden:Dresden University of Technology,2007.
- [13] 毛丹,陈沅江,吴超.热线法测定散体硫化矿石导热系数[J].金属矿山,2009(4):65-69.
MAO Dan,CHEN Yuan-jiang,WU Chao. Measurement of the thermal conductivity coefficient of sulfide ore by hot-wire method[J]. Metal Mine,2009(4):65-69. (in Chinese)