

文章编号:1672-9331(2017)03-0007-06

# 机场沥青道面表面性能评价及雾封层使用效果

李平<sup>1,2,3</sup>, 翟龙<sup>3</sup>, 张亚飞<sup>3</sup>, 张春喜<sup>3</sup>

(1.特殊环境道路工程湖南省重点实验室,湖南长沙 410004;2.广西交通科学研究院有限公司,  
广西南宁 530007;3.长沙理工大学 交通运输工程学院,湖南长沙 410004)

**摘要:** 为了对机场沥青道面表面性能进行评价,并研究雾封层技术实际使用效果,以西双版纳机场联络道为例,首先通过密度及渗水试验研究其表面泛白机理,然后对施工雷诺雾封层材料前后的抗滑摆值、构造深度和渗水系数进行检测分析,并对其表干性能进行评价。研究表明,道面结构渗水造成集料中碱性物质溶解析出是造成泛白现象的主要原因;原道面抗滑性能良好,但大部分区域已出现渗水现象,尤其离析带上最为明显;距中心标线3 m处的轮迹带抗滑摆值和构造深度均较低,进行道面抗滑性能评价时应重点关注;雷诺雾封层材料具有良好的表干性能,且能有效改善道面抗渗性能,对抗滑影响则较小。

**关键词:** 沥青道面; 机场; 雾封层; 抗滑性能; 抗渗性能; 雷诺雾

中图分类号: U414

文献标识码: A

## Surface performance of airport asphalt pavement and application effect of fog seal

LI Ping<sup>1,2,3</sup>, ZHAI Long<sup>3</sup>, ZHANG Ya-fei<sup>3</sup>, ZHANG Chun-xi<sup>3</sup>

(1.Key Laboratory of Special Environment Road Engineering of Hunan Province, Changsha 410004, China;  
2.Guangxi Transportation Research and Consulting CO. LTD, Nanning 530007, China; 3.School of Traffic  
and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** In order to evaluate the surface performance of airport asphalt pavement, and study the actual application effect of fog seal technology, taken an example of the taxiway of Xishuang Banna airport, firstly the surface white specks mechanism was studied by density and water seepage test. The anti-slide pendulum, texture depth and water permeability coefficient before and after the construction of Rhinophalt fog seal material were analyzed, and its tack-free performance was evaluated. The results show that the seepage of pavement structure causes the dissolution and precipitation of alkaline substances in the aggregate is the main reason of the white specks phenomenon. The original pavement surface anti-slide performance is well, but most areas appeared seepage phenomenon, especially the segregation zone. The anti-slide pendulum value and texture depth of the wheelpath at 3 m away from the center line are lower, and the evaluation of pavement anti-slide performance should be paid more attention. Rhinophalt fog seal material has well tack-free property, and it can effectively improve the anti-permeability performance of pavement, and has little influence

收稿日期:2017-06-02

基金项目:广西科技计划项目(桂科计字[2016]3805-102);特殊环境道路工程湖南省重点实验室开放基金资助项目(kfj130401);湖南省研究生科研创新项目(CX2017B467)

作者简介:李平(1978-),男,山东潍坊人,长沙理工大学副教授,主要从事道路工程方面的研究。

on anti-slide performance.

**Key words:** asphalt pavement; airport; fog seal; anti-slide performance; anti-permeability performance; Rhinophalt

近年来,沥青道面因具有吸震性能好、施工周期短及养护维修简便等优点,在我国机场建设中得到了广泛的应用。由于飞机荷载远高于普通汽车,再加上温湿等环境因素的综合作用,机场沥青道面容易出现松散、微裂缝及渗水等早期病害现象。机场跑道工作的特殊性不允许沥青道面出现严重病害,否则将直接影响飞行安全,因此当出现轻微病害时,应及时采取预防性养护措施。

雾封层是一种常用的预防性养护技术,其具有填补微小裂缝和表面空隙以及延缓沥青老化等功能<sup>[1,2]</sup>,近年来在我国公路沥青路面和机场道面中得到广泛应用。蒋志军<sup>[3]</sup>根据雾封层特点对其适用范围进行了研究,发现其能有效封闭宽3 mm以内裂缝;许海雁<sup>[4]</sup>对雾封层有效处理深度进行了研究,发现其渗透深度可达6 mm;曾德亮等<sup>[5]</sup>对水性环氧树脂改性乳化沥青雾封层应用效果进行了研究,发现其能有效提高路面抗渗性能,且能使松散细集料得到有效固结;陈忠等<sup>[6]</sup>研究了雾封层对沥青路面抗滑性能的影响,发现其施工后路面摩擦系数略有降低,但后期随着行车荷载的磨损作用会逐渐恢复;李炜光等<sup>[7]</sup>采用特种SBS改性乳化沥青并添加渗透剂、还原剂及抗剥落剂等材料制备新型雾封层材料,并对其养护效果进行了研究,发现添加剂能与原道面沥青产生化学反应,使得雾封层材料的抗渗水性、耐久性及与原路面的粘结性得到了提高;杨波<sup>[8]</sup>研究了再生雾封层对老化沥青性能的影响,发现其三大指标得

到明显改善;范斌卫<sup>[9]</sup>对雾封层材料的长期使用性能进行跟踪观测,发现施工完成1年后其表面固结及封水功能等仍良好。

现有研究涉及雾封层材料对沥青路面抗滑、抗渗和老化性能的影响及其使用耐久性等,但研究对象基本着眼于公路沥青路面,对其在机场道面这一特殊结构与荷载作用条件下应用效果的研究较少。为此,作者以西双版纳机场联络道为例,从外观、抗滑及抗渗等方面对原道面性能进行评价,并研究雷诺锋雾封层材料表干性能及其对道面表面性能的影响,以利于其在机场预防性养护中的应用。

## 1 雾封层施工

### 1.1 工程概况

本研究依托西双版纳嘎洒国际机场进行试验研究,其道面采用SMA沥青混合料,目前跑道及联络道均出现了不同程度的泛白、松散及渗水现象,急需进行养护。为了给跑道施工提供依据,作者在其联络道上设置试验段进行雾封层施工,并对施工前后的道面表面性能进行检测分析,以评价雾封层使用效果。

### 1.2 原材料

使用英国产雷诺锋材料进行雾封层施工,其主要由天然岩沥青及石脑油等有机化工材料组成,用量为0.42 L/m<sup>2</sup>,主要技术指标如表1所示。

表1 雷诺锋雾封层材料主要技术指标

Table 1 Main technical specifications of Rhinophalt fog seal material

项目	物理状态	气味	闪点	沸点/℃	气体压力 (25℃)/kPa	气体密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	水溶性	比重 (20℃)	挥发量/ %	蒸发率/ %
实测	粘性液体	淡淡的石油 溶剂气味	>24℃ (3级)	130~166	5.07	0.995	不溶于水	0.84	55~70	0.35

### 1.3 施工工艺

雾封层应在天气晴朗、风速较小的情况下进行施工,其主要施工流程如下。

#### 1) 原道面清扫。

施工前应使用机场清扫车对原道面进行清扫,彻底清除道面掉粒及尘土等杂物。

#### 2) 标线防污。

为防止雾封层施工污染道面标线及航道灯

等,施工前应使用胶带对其进行覆盖,待施工完成后再进行清除。

### 3) 雾封层喷洒。

由于本研究仅在联络道上施工试验段,面积较小,不适宜采用雾封层车进行施工,因此采用手推热熔划线机进行雾封层材料喷洒,其一次性施工宽度为 25 cm。喷洒前应先试喷确定合适的喷头高度、角度及行走速度等,以保证雾封层材料用量符合要求。

### 4) 道面构造重构。

由于雾封层材料的施工会造成道面构造深度下降,从而影响其抗滑性能,因此施工完成 1 h 后使用机场清扫车对其表面构造进行重构。具体为使用清扫刷头在干燥条件下摩擦雾封层表面,次数为 9 遍(即往返同一位置 9 次)。

## 2 原道面表面性能评价

### 2.1 道面外观

调查发现,联络道表面局部存在明显的泛白现象(如图 1 所示)。为分析泛白产生机理,使用无核密度仪对泛白区及其附近非泛白区密度进行检测,结果如图 2 所示。



图 1 联络道泛白现象

Fig. 1 Taxiway white specks phenomenon

由图 2 可知,泛白区密度明显低于非泛白区,这可能是由于道面结构发生了渗水现象,水分渗入结构内部将集料中碱性物质溶解,而水在飞机轮载反复作用下使结构层内部形成连通空隙并将集料溶解物带出表面聚集,与空气中二氧化碳反应后形成碳酸钙类白色物质。此时,由于道面结构空隙率增加,其介电常数也随之下降低,因而密度降低。为进一步验证这一结论,选取几个代表性

泛白区其附近的非泛白区进行渗水系数测定,结果如表 2 所示。

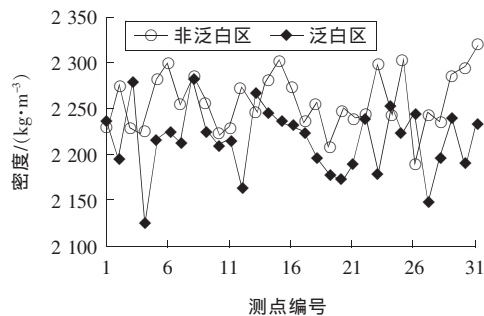


图 2 泛白区和非泛白区密度检测结果

Fig. 2 The test results of density of white specks and non-white specks

表 2 泛白区与非泛白区渗水系数检测结果

Table 2 The test results of water permeability coefficient of white specks and non-white specks  
( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )

测点编号	渗水系数	
	泛白区	非泛白区
1	229	10
2	71	3
3	81	9
4	113	11
5	56	9

由表 2 可知,泛白区渗水系数明显高于非泛白区,其 5 个测点渗水系数平均值较非泛白区高出 102  $\text{mL}/\text{min}$ ,证实了上述猜想正确。

### 2.2 抗滑性能

为评价原道面抗滑性能,在联络道上选择 3 个断面,每个断面 6 个测点,其中,点 1~5 分别布置于距离联络道中心标线 1.5,3,4.5,6,10 m 处,点 6 则布置于大于 10 m 的离析带处(下雨风干后仍存明显水迹处),第 1 断面第 1 测点命名为 1-1,其他依此类推。然后使用摆式摩擦系数测定仪和手工铺砂法分别对其抗滑摆值和构造深度进行检测。

#### 1) 抗滑摆值。

3 个断面共 18 个测点的抗滑摆值检测结果如表 3 所示。由表 3 可知,所有测点抗滑摆值平均值达到 49 BPN,满足《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2—2001)中抗滑性能“优”的评价标准<sup>[10]</sup>,表明原道面抗滑性能良好。

表3 原道面抗滑摆值检测结果

Table 3 The test result of anti-slide pendulum value of original pavement BPN

测点	摆值	测点	摆值	测点	摆值
1-1	54	2-1	48	3-1	49
1-2	46	2-2	45	3-2	47
1-3	49	2-3	47	3-3	56
1-4	49	2-4	48	3-4	51
1-5	48	2-5	51	3-5	50
1-6	45	2-6	50	3-6	50

为了分析道面抗滑摆值横向分布规律,求取3个断面距中心标线同一距离处摆值平均值,并绘制于图3。

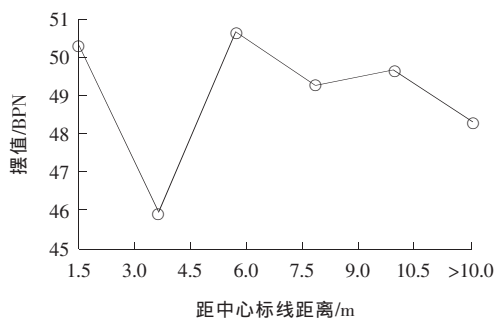


图3 道面抗滑摆值横向分布

Fig. 3 The transverse distribution of anti-slide pendulum value of pavement

由图3可知,距中心标线3 m处抗滑摆值明显低于其他测点。究其原因,是此处处于飞机轮迹带范围,其抗滑性能衰减经受环境及轮胎磨损共同作用,因而下降速率较快。因此,在对机场道面抗滑性能进行评价时,应重点关注此区域。

## 2) 构造深度。

3个断面共18个测点的构造深度检测结果如表4所示。

由表4可知,所有测点构造深度平均值达到1.12 mm,满足《民用机场道面评价管理技术规范》(MHT 5024-2009)抗滑性能分级“好”的标准<sup>[11]</sup>,并满足《民用机场飞行区技术标准》(MH 5001-2013)对新道面平均纹理深度不小于1 mm的要求<sup>[12]</sup>。

为了分析道面构造深度横向分布规律,求取3个断面距中心标线同一距离处构造深度平均值,并绘制于图4。

表4 原道面构造深度检测结果

Table 4 The test result of texture depth of original pavement mm

测点	构造深度	测点	构造深度	测点	构造深度
1-1	1.06	2-1	1.24	3-1	0.98
1-2	1.10	2-2	1.10	3-2	0.84
1-3	1.10	2-3	1.04	3-3	0.98
1-4	1.32	2-4	1.06	3-4	1.06
1-5	1.17	2-5	1.10	3-5	1.10
1-6	1.41	2-6	1.24	3-6	1.17

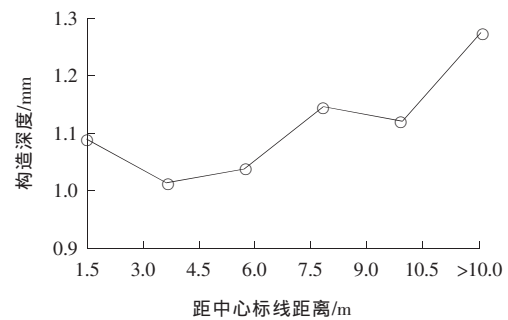


图4 道面构造深度横向分布

Fig. 4 The transverse distribution of texture depth of pavement

由图4可知,距中心标线3 m处构造深度明显低于其他测点,这是因为飞机轮载的压密作用造成的;此外,大于10 m处的构造深度明显较高,这是因为此处测点均处于离析带上,其表面细集料较少所致。

## 2.3 抗渗性能

采用路面渗水仪对3个断面共18个测点的渗水系数进行检测,结果如表5所示。

表5 原道面渗水系数检测结果

Table 5 The test result of water permeability coefficient of original pavement

(mL · min <sup>-1</sup> )					
测点	渗水系数	测点	渗水系数	测点	渗水系数
1-1	0	2-1	0	3-1	8
1-2	4	2-2	10	3-2	3
1-3	0	2-3	38	3-3	0
1-4	12	2-4	20	3-4	17
1-5	20	2-5	16	3-5	11
1-6	2 308	2-6	272	3-6	256

由表 5 可知,道面大部分区域已出现渗水现象,尤其离析带上最为明显,应及时采取预防性养护措施。3 个断面中距中心标线大于 10 m 处离析点渗水系数均值达到 945 mL/min,这是由于其施工过程产生级配离析,此处道面结构中细集料过少,不能形成密实结构,导致空隙率过大所致。其他测点渗水系数均值则为 11 mL/min。

### 3 雾封层使用效果分析

#### 3.1 表干性能

目前,我国大部分机场均为单跑道,其道面雾封层施工仅能在晚上停航后进行,且要求开航前雾封层完全干燥,而两者之间的时间间隔仅为 4 h,甚至更少,故要求雾封层材料施工后能立即干燥并形成强度。工程实践中一般根据经验,即通过“指触法”(使用手指按压雾封层材料,观察其在手指上粘附情况)进行表干评价,间接反映雾封层材料的这一性能。显然,该方法经验性较强,且不同操作人员之间存在较大的误差,也不利于定量评价。为此,作者参照《建筑密封材料试验方法》(GB/T 13477.5—2002)(第 5 部分:表干时间的测定)制作简易雾封层表干时间测试仪<sup>[13]</sup>,其主要由面积为 20 cm×20 cm 的铁板(铁板质量根据上述规范中仪器单位面积压力计算而得)和宣纸组成。试验方法为雾封层材料施工完成 5 min 后将宣纸轻放于其上,然后将铁板轻放于宣纸正上方,30 s 后取下铁板,并于 15 s 内以 90°角匀速揭起宣纸,观察其上雾封层材料粘附情况。根据实际情况调整试验时间间隔(粘附量较少时 1 min 检测 1 次),直到宣纸上不再粘附雾封层材料为止,以此时距施工完成时的时间间隔作为材料的表干时间。

实测结果表明,本研究所用雷诺锋雾封层材料表干时间仅为 8 min(本项目中其他雾封层材料 GOODNER—AMRT 为 67 min、西尔玛为 90 min、STAR—SEAL SUPREME 为 118 min)。显然,其对于停航时间较短的机场雾封层施工具有明显的优势。这是因为它完全由有机化工材料组成,不存在其他乳化沥青还原剂类封层材料需要破乳的情况。

#### 3.2 抗滑性能

为了评价雾封层对原道面抗滑性能影响,施工完成后对原道面性能评价时布置的测点再次进行抗滑摆值和构造深度检测。

##### 1) 抗滑摆值。

雾封层材料施工完成后,3 个断面共 18 个测点的抗滑摆值检测结果如表 6 所示。

表 6 雾封层施工完成后道面抗滑摆值检测结果

Table 6 The test result of anti-slide pendulum value of pavement after the construction of fog seal BPN

测点	摆值	测点	摆值	测点	摆值
1-1	51	2-1	45	3-1	46
1-2	44	2-2	42	3-2	44
1-3	47	2-3	45	3-3	54
1-4	48	2-4	46	3-4	49
1-5	46	2-5	50	3-5	49
1-6	43	2-6	47	3-6	47

将表 6 与表 3 进行对比分析发现,雾封层施工后所有测点抗滑摆值平均值为 47 BPN,较施工前下降了 2 BPN,但仍满足《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2—2001)中抗滑性能“优”的评价标准<sup>[10]</sup>;此外,所有测点摆值降低值之间的标准差仅为 0.73 BPN,表明本研究所用雾封层材料喷洒方法施工均匀性良好。

##### 2) 构造深度。

雾封层材料施工完成后,3 个断面共 18 个测点的构造深度检测结果如表 7 所示。

表 7 雾封层施工完成后道面构造深度检测结果

Table 7 The test result of texture depth of pavement after the construction of fog seal mm

测点	构造深度	测点	构造深度	测点	构造深度
1-1	0.98	2-1	1.17	3-1	0.93
1-2	1.10	2-2	0.98	3-2	0.84
1-3	0.98	2-3	1.04	3-3	0.93
1-4	1.17	2-4	0.98	3-4	0.98
1-5	1.04	2-5	1.04	3-5	1.10
1-6	1.32	2-6	1.10	3-6	1.10

将表 7 与表 4 进行对比分析发现,雾封层施工后所有测点构造深度平均值为 1.04 mm,较施工前下降了 0.08 mm,但仍满足《民用机场道面评

价管理技术规范》(MHT 5024—2009)抗滑性能分级“好”的标准<sup>[11]</sup>,并满足《民用机场飞行区技术标准》(MH 5001—2013)对新道面平均纹理深度不小于 1 mm 的要求<sup>[12]</sup>,表明雾封层施工对其影响较小。

### 3.3 抗渗性能

雾封层材料施工完成后,3 个断面共 18 个测点的渗水系数检测结果如表 8 所示。

表 8 雾封层施工完成后道面渗水系数检测结果  
Table 8 The test result of water permeability coefficient of pavement after the construction of fog seal  
(mL · min<sup>-1</sup>)

测点	渗水系数	测点	渗水系数	测点	渗水系数
1-1	0	2-1	0	3-1	0
1-2	0	2-2	0	3-2	0
1-3	0	2-3	0	3-3	0
1-4	0	2-4	0	3-4	0
1-5	0	2-5	0	3-5	0
1-6	405	2-6	203	3-6	196

将表 8 与表 5 进行对比分析发现,雾封层能有效改善机场道面抗渗性能,除去离中心标线大于 10 m 的离析点外,所有测点渗水系数均下降到 0。这是因为雾封层材料渗入道面结构的空隙,起到了密封作用;此外,雾封层对抗渗性能的改善作用随着渗水系数的增加而逐渐增强,施工前后测点 1-6,2-6 及 3-6 渗水系数分别下降了 82%, 25% 和 23%。

## 4 结论

1) 道面结构渗水造成集料中碱性物质溶解析出,是造成跑道和联络道局部泛白的主要原因。此时结构内部空隙率增加,介电常数降低,因而泛白处密度偏小。

2) 原道面抗滑性能良好,但大部分区域已出现渗水现象,尤其离析带上最为明显,应及时采取预防性养护措施。原道面距中心标线 3 m 处的轮迹带抗滑摆值和构造深度均偏低,对其抗滑性能进行评价时应重点关注。

3) 完全由有机化工原料组成的雷诺锋雾封层材料表干迅速,适用于停航时间较短的机场道面

施工。同时,它能有效改善道面抗渗性能,且改善效果随渗水系数的增大而逐渐增强,而对道面抗滑性能的影响较小。

### 〔参考文献〕

- [1] 陈丰. 沥青混凝土路面预养护材料应用效果初步评价[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.  
CHEN Feng. Preliminary investigation of preventive maintenance materials application in asphalt pavement[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [2] Kebede A A. Asphalt pavement preservation using rejuvenating fog seals[D]. West Lafayette: Purdue University, 2016.
- [3] 蒋志军. 雾封层技术在沥青路面预养护中应用研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.  
JIANG Zhi-jun. Research on the application of the fog seal in asphalt pavement preventive maintenance[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2008.
- [4] 许海雁. 机场道面雾封层技术耐久性研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.  
XU Hai-yan. Research on durability of fog seal technology in airport pavement[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [5] 曾德亮. 水性环氧树脂改性乳化沥青在雾封层养护中的应用[J]. 公路, 2015(2): 212-215.  
ZENG De-liang. Application of waterborne epoxy modified emulsified asphalt in maintenance of fog seal[J]. Highway, 2015(2): 212-215.
- [6] 陈忠. 含砂雾封层技术在沥青路面预防性养护的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2016(2): 80-83.  
CHEN Zhong. Application of fog seal with sand cover in asphalt pavement preventive maintenance[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2016(2): 80-83.
- [7] 李炜光, 郑敏楠, 连城. 新型机场道面雾封层材料性能及施工技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2015(11): 75-78.  
LI Wei-guang, ZHENG Min-nan, LIAN Cheng. Research on properties and construction technology of new material for fog seal coat of airport pavement[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2015(11): 75-78.

(下转至第 20 页)

- 述及抗滑性能评价[J].中国公路学报,2016(2):1-7.
- TONG Shen-jia, XIE Xiang-bing, ZHAO Da-yong. The distribution of the asphalt pavement texture fractal description and anti-sliding performance evaluation[J]. China Journal of Highway and Transport, 2016(2):1-7.
- [8] 冉茂平,肖旺新.基于三维分形维数的沥青路面抗滑性能研究[J].公路交通科技,2016(2):28-32.
- RAN Mao-ping, XIAO Wang-xin. Based on the three-dimensional fractal dimension of the asphalt pavement anti-sliding performance study[J]. Highway Traffic Science and Technology, 2016(2):28-32.
- [9] 王超逸.基于多重分形特征的道路平整度评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- WANG Chao-yi. Evaluation of road roughness based on multi fractal feature[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [10] JTJ 073.2—2001,公路沥青路面施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- JTG F40—2004, Technical specifications for construction of highway asphalt pavement[S]. Beijing: People's Communications Press, 2004.
- [11] 章佩佳,崔通,王永平.基于加速加载试验不同级配的路面抗滑性能研究[J].中外公路,2016(2):58-61.
- ZHANG Pei-jia, CUI Tong, WANG Yong-ping. Based on the accelerated loading test is not at the same level with pavement anti-sliding performance study[J]. Journal of China and Foreign Highway, 2016(2):58-61.
- 
- (上接第12页)
- [8] 杨波.沥青雾封层技术在高速公路路面养护中的应用研究[D].南宁:广西大学,2013.
- YANG Bo. Application research on asphalt fog-seal technology of freeway pavement maintenance[D]. Nanning: Guangxi University, 2013.
- [9] 范斌卫.沥青路面雾封层应用技术研究[D].西安:长安大学,2012.
- FAN Bin-wei. Study on the application technologies of fog seal for asphalt pavement[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [10] JTJ 073.2—2001,公路沥青路面养护技术规范[S].北京:人民交通出版社,2001.
- JTJ 073.2—2001, Technical specifications for maintenance of highway asphalt pavement[S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [11] MHT 5024—2009,民用机场道面评价管理技术规范[S].北京:中国民航出版社,2009.
- MHT 5024—2009, Technical specifications of aerodrome pavement evaluation and management[S]. Beijing: China Civil Aviation Press, 2009.
- [12] MH 5001—2013,民用机场飞行区技术标准[S].北京:中国民航出版社,2013.
- MH 5001—2013, Aerodrome technical standards[S]. Beijing: China Civil Aviation Press, 2013.
- [13] GB/T 13477.5—2002,建筑密封材料试验方法(第5部分:表干时间的测定)[S].北京:中国标准出版社,2002.
- GB/T 13477.5—2002, Test method for building sealants (Part 5: determination for tack-free time)[S]. Beijing: China Standard Press, 2002.