

# 沥青路面预防性养护决策指标体系分析

曹明明<sup>1</sup>, 岳建洪<sup>2</sup>, 陈金蓉<sup>2</sup>, 张洲洋<sup>2</sup>, 陈阳<sup>2</sup>, 黄晚清<sup>1</sup>, 唐永涛<sup>3</sup>

(1.四川省交通勘察设计院有限公司, 四川 成都 610041; 2.四川成渝高速公路股份有限公司, 四川 成都 610021; 3.成都理工大学 环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 通过对高速公路沥青路面进行预防性养护,可延长沥青路面使用寿命,保持高速公路的服务水平。文中以国内外已有沥青路面维修养护触发指标和标准值为依据,依托成渝(成都—重庆)高速公路所属 3 条高速公路近期沥青路面技术状况检测数据,提出典型路段预防性养护决策指标体系,对该决策体系的应用进行简单阐述并对其适应性进行分析。

**关键词:** 工程管理;高速公路;沥青路面;预防性养护;决策指标体系

**中图分类号:** U415.12

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2021)01-0140-04

沥青路面在使用初期,其各项使用性能衰减较缓慢,在一个或几个性能指标超过一定范围后,路面使用性能衰减迅速增大,服务水平迅速降低。因此,在适当的时机选择合适的维修养护方式非常重要。美国 SHRP 研究表明,沥青路面在运营寿命周期内实施 3~4 次预防性养护,可增加 10~15 年使用寿命。目前确定路面最佳预防性养护时机的方法主要有两类,其中一类为路面状况触发法,该方法以路面技术状况为基础,当路面技术状况下降到预定标准时采取预防性养护措施。该方法较简单,可操作性强,不需借助复杂的计算程序,但养护时机选择的主观性和片面性很强,其实质是确定沥青路面预防性养护决策指标和对应标准值。该文在梳理国内外沥青路面维修养护触发指标的基础上,提出适应于典型路段的沥青路面预防性养护决策指标体系,并依

托成渝(成都—重庆)高速公路所属 3 条高速公路部分路段 2019 年路面技术状况检测结果,将其应用于典型路段沥青路面预防性养护决策中。

## 1 沥青路面维修养护触发指标

不同公路等级,不同养护部门,不同养护项目,不同养护时期,对公路技术状况指标最低可接受值存在一定差异,即养护控制指标、养护触发值均存在差异。表 1 为国外部分地区对沥青路面预防性养护决策指标的选取,表 2 为国内部分规范及文献采用的沥青路面养护决策指标的标准值。

各地规范中,沥青路面养护触发指标均采用了 *PCI*,多将 *PSSI* 作为检验指标;部分文献中除公路技术状况指标 *PSSI*、*PCI*、*RQI*、*RDI*、*SRI* 和 *PQI* 外,还引入了 *CR* 等微观指标。如《上海市公路沥青

表 1 国外沥青路面预防性养护决策指标

地区	决策指标	标准值	表征的路面性能
美国蒙大拿州	路面结构状况指数 <i>SCI</i>	$SCI > 60$	结构强度
	路况指数 <i>ACI</i>	$66 < ACI \leq 90$	路面平整度
	养护控制指数 <i>MCI</i>	$56 < MCI \leq 94$	路面损坏状况
美国俄亥俄州	路面服务能力指数 <i>PSI</i>	$PSI \geq 3$	结构强度
	路面状况等级 <i>PCR</i>	$75 < PCR \leq 85$	表面损坏状况
加拿大安大略公路局	路面状况指数 <i>PCI</i>	$65 < PCI \leq 85$	路面损坏状况
美国明尼苏达州	现时服务能力等级 <i>PSR</i>	$PSR > 3.1$	路面平整度
	路表等级 <i>SR</i>	$SR > 2.7$	表面损坏状况
	路面使用性能指数 <i>PQI</i>	$PQI > 3.0$	路面结构状况
	路面行驶质量指数 <i>RQI</i>	$RQI < 54$	路面平整度
美国密西根州	破坏指数 <i>DI</i>	$DI < 30$	表面损坏状况
	车辙深度 <i>RD</i>	$RD \leq 25$	路面车辙状况
日本	养护管理指数 <i>MCI</i>	—	—

表 2 国内沥青路面养护决策指标

规范或文献	评价指标及标准值
交通运输部《“十三五”公路养护管理发展纲要》	高速公路总体技术状况指数 $MQI > 92$ , $MQI$ 优等路率达到 90% 以上, 平均路面使用性能指数 $PQI > 92$
JTG 5421—2018《公路沥青路面养护设计规范》	高速公路预防性养护技术标准值 $PCI$ 、 $RQI$ 、路面车辙深度指数 $RDI$ 、路面抗滑性能指数 $SRI$ 分别为 90、90、80、75, 修复养护技术标准值 $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 分别为 85、85、80
JTG 5142—2019《公路沥青路面养护技术规范》	高速公路网级沥青路面技术状况指数 $PQI < 90$ 时, 合理安排养护计划, 并采取综合养护措施; 高速公路每个基本单元的 $PQI$ 、 $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 和 $SRI$ 分别小于 80、80、80、75 和 75 时, 安排日常维修、养护或改扩建, 恢复沥青路面技术状况
湖北省公路沥青路面预防性养护规范	沥青路面预防性养护的宏观路况指标采用路面结构强度系数 $SSI$ 、 $RQI$ 和 $PCI$ , 其中 $SSI$ 和 $RQI$ 为检验指标, $PCI$ 为判断指标; 对于一、二级公路, $SSI$ 为 0.82~1.0、 $RQI$ 为 80~100、 $PCI$ 为 82~92 时进行预防性养护
北京市沥青路面预防性养护技术规范	高速公路在路面结构强度指数 $PSSI \geq 90$ 、 $PCI \geq 90$ 时适宜进行预防性养护
河南省高速公路沥青路面预防性养护技术规范(2014)	沥青路面预防性养护条件为 $90 \leq PCI \leq 95$ 、 $90 \leq RQI \leq 95$ 、 $80 \leq RDI \leq 90$ 、 $85 \leq SRI \leq 95$
河南省普通公路沥青路面预防性养护技术规范(2017)	一级公路沥青路面预防性养护控制值为 $80 \leq PQI \leq 92$ 、 $82 \leq PCI \leq 92$ 、 $82 \leq RQI \leq 92$ 、 $70 \leq RDI \leq 90$ 、 $80 \leq SRI \leq 90$ 、 $PSSI > 85$
上海市公路沥青路面预防性养护技术规范(2007)	沥青路面预防性养护的宏观路况指标采用 $PSSI$ 、 $RQI$ 和 $PCI$ , 其中 $PSSI$ 和 $RQI$ 为检验指标, $PCI$ 为判断指标; 对于高速公路, $PSSI$ 为 85~100、 $RQI$ 为 90~100、 $PCI$ 为 85~95 时进行预防性养护
河北省高速公路沥青路面预防性养护技术规范(2017)	高速公路沥青路面养护标准值为 $PSSI \geq 80$ 、 $PCI \geq 80$ 、 $RQI \geq 80$ 、 $RDI \geq 70$
四川省公路沥青路面预防性养护技术规范(2017)	沥青路面预防性养护条件为 $PSSI \geq 85$ 、 $PCI \geq 85$ 、 $RQI \geq 80$ 、 $RDI \geq 80$ 、 $SRI \geq 85$
四川省高速公路车辆通行费收费标准与工程和服务质量挂钩管理办法	$MQI$ 、 $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 中任意一项处于良以下, 即低于 80 分, 未按期完成整改的, 依法暂停收取车辆通行费
广西壮族自治区高速公路沥青路面预防性养护技术指南	沥青路面养护质量标准: $PSSI \geq 80$ 、 $PQI \geq 92$ 、 $PCI \geq 90$ 、 $RQI \geq 90$ 、 $RDI \geq 80$ 、裂缝率 $CR \leq 2\%$ 、裂缝修补率 $\geq 80\%$
文献[7]	路面控制指标满足要求即 $PSSI \geq 80$ 、 $PCI \geq 80$ 、 $RQI \geq 80$ 、 $RDI \geq 60$ 的前提下, 采用 4 个单值触发指标, 分别为 $CR > 1\%$ 、车辙深度 $RD > 10$ mm、功能性破损 $> 0.6\%$ 、横向力系数 $SFC < 40$ , 其中一个达到触发标准, 即采取预防性养护措施
文献[8]	高速公路预防性养护性能指标的最低可接受水平为 $70 \leq PCI \leq 90$ 、 $2 \text{ m/km} \leq \text{国际道路平整度指数 } IRI \leq 5 \text{ m/km}$ 、 $73 \leq SRI \leq 90$
文献[9]	高速公路沥青路面预防性养护的宏观路况标准为 $82 \leq PSSI \leq 100$ 、 $80 \leq PCI \leq 100$ 、 $80 \leq RQI \leq 100$ 、 $70 \leq RDI \leq 100$ 、 $80 \leq SRI \leq 100$ 、 $78.4 \leq PQI \leq 100$

路面预防性养护技术规范》采用  $PSSI$ 、 $RQI$  和  $PCI$  作为宏观状况指标,  $PSSI$  和  $RQI$  作为检验指标,  $PCI$  作为判断指标; 微观指标采用轻微裂缝、麻面、轻微车辙、轻微泛油和磨光。该规范采用的微观指

标过于繁杂, 难以在道路养护中一一进行识别量化, 操作难度大。广东省初步判断预防性养护指标采用  $PSSI$ 、 $PCI$ 、 $SFC$ 、 $IRI$ 、 $CR$  和  $RD$ , 辅助指标采用路面渗水系数、老化程度和松散程度等(条件许可

时),而这3项辅助指标很难在养护决策过程中获取,实际意义不显著。部分地方标准中将CR作为预防性养护的微观控制指标,虽然很难在一个路段中对病害逐个区分,以确定预防性养护方案,毕竟每种预防性养护方案都具有最小的施工长度要求,但裂缝病害是路面各类病害初期的最早征兆,可用于辅助选取沥青路面预防性养护方案。因此,对裂缝病害进行分类后采用一定量化指标表示,可作为预防性养护触发指标。

## 2 典型路段沥青路面养护决策指标体系

鉴于RQI和RDI的规律性并不好,为便于分析,在RQI、RDI、路面结构强度和抗滑性能(作为检验指标)满足要求的前提下,采用PQI、PCI(作为判断指标)作为沥青路面养护阈值,同时加入CR。

检验指标RQI、RDI、路面结构强度和抗滑性

表3 沥青路面预防性养护条件

	值域范围	养护类型
$PCI \geq 92$	$RQI \geq 85$ 且 $RDI \geq 85$	SRI 或 $PWI \leq 75$ 微表处、薄层罩面等预防性养护
且 $PQI \geq 92$	$RQI < 85$ 或 $RDI < 85$	— 4~5 cm AC-13 或 SMA-13 等罩面
$PSSI \geq 80$	$85 \leq PCI < 92$ 或 $RQI \geq 85$ 且 $CR \leq 2\%$	— 微表处、薄层罩面等预防性养护
	$85 \leq PQI < 92$ 或 $RQI < 85$ 或 $CR > 2\%$	— 4~5 cm AC-13 或 SMA-13 等罩面
	$80 \leq PCI < 85$ 或	—
	$80 \leq PQI < 85$	— 4~5 cm AC-13 或 SMA-13 等罩面

注:PWI为路面磨损指数。

结合相关文献研究结果,建议加入衰减速率指标。PCI为90~95时,如衰减速率大于3,则宜进行预防性养护;PCI为85~90时,如衰减速率大于2,则应进行预防性养护。但由于收集数据的衰减规律并不显著,后续分析中未考虑衰减速率指标。

## 3 典型路段沥青路面维修养护建议

依托成渝高速公路所属3条高速公路部分路段2019年路面技术状况检测结果进行分析。

### 3.1 高速公路A

高速公路A下行K1848+000—K1861+000段、K1932+000—K1942+000段2019年沥青路面技术状况检测结果见图1。

下行K1848+000—K1861+000段在2019年采用就地热再生进行了处治,该路段PQI、PCI、RQI、RDI、PBI(路面跳车指数)、PWI分别为96.4、99.1、94.5、97.8、100和86.7,路面技术状况指标测值较好,尚未达到路面养护条件,可暂不进行预

能作为前置条件,若路面结构强度或抗滑性能不满足规范要求,而其他指标均符合相关要求,则对其进行专项处治。研究选取的3个路段中,受测试条件、路况特征等影响,RQI和RDI逐年衰减规律性并不强,暂将其作为检验条件,要求其符合相关要求,否则根据路段其他指标特征和病害特征选取处治方案。根据JTJ 5421—2018《公路沥青路面养护设计规范》中养护方法选取的触发值,结合四川省高速公路和成渝高速公路的养护类型,形成表3所示触发条件(除SRI或PWI外,其余均以公里为评价单元,RQI、RDI和CR结合10或20 m评价单元,根据形成原因、严重程度和段落的连续长度采用日常养护、预防性养护或功能性修复措施等予以处治;除以公里为评价单元,筛选SRI或 $PWI \leq 75$ 段落外,可以10 m为评价段落,筛选相对连续的段落采用预防性养护措施恢复其抗滑性能)。

防性养护。但就地热再生沥青混合料的抗水损坏性能较差,耐久性不足,建议尽快进行加铺罩面。

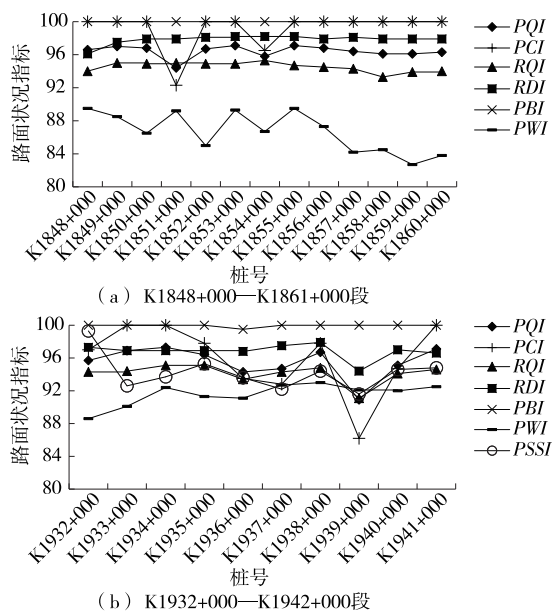


图1 高速公路A下行两路段2019年路面技术状况检测结果

下行 K1932+000—K1942+000 段的  $PQI$ 、 $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 、 $PBI$ 、 $PWI$  分别为 95.5、96.0、94.1、96.8、100 和 91.6,  $CR$  为 0.079%, 沥青路面技术状况指标测值较好。但该路段加铺 4 cm AC-13C 罩面后已运营近 4 年, K1939+000—K1940+000 出现了车辙和各种裂缝病害,  $85 \leq PCI < 92$ , 局部段落  $PCI$  已出现明显衰减, 局部有裂缝类病害, 建议对病害严重段落进行微表处、薄层罩面等预防性养护, 资金允许时可加铺 4~5 cm AC-13 或 SMA-13 等罩面。

### 3.2 高速公路 B

高速公路 B 上行 K89+000—K105+555 段、下行 K72+000—K80+000 段 2019 年沥青路面技术状况检测结果见图 2。

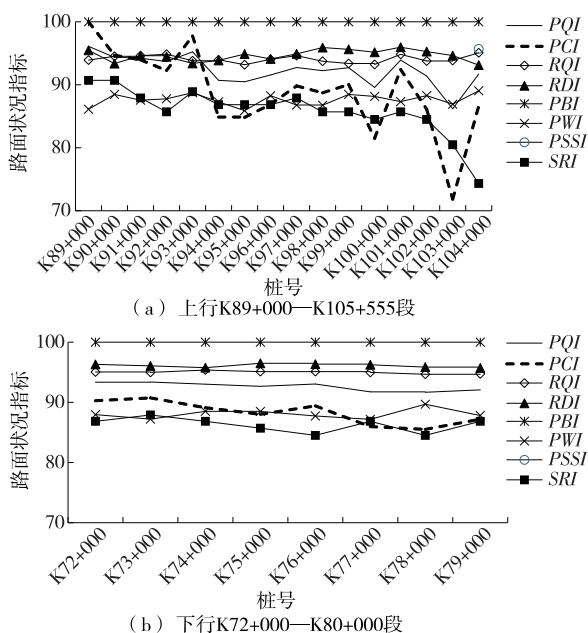


图 2 高速公路 B 两路段 2019 年路面技术状况检测结果

上行 K89+000—K105+555 段的  $PQI$ 、 $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 、 $PBI$ 、 $PWI$  分别为 92.3、88.9、94.1、94.7、100 和 87.6,  $CR$  为 1.065%, 其中 4 km 路段的  $PCI < 85$ , 局部段落仅为 71.85, 建议根据病害和路况技术指标分段落进行养护处治; K94+000—K105+000 存在多个  $PCI < 85$  的段落, 且龟裂、块裂、纵缝和横缝较多,  $SRI$  测值较低, 建议在彻底处治路面原有病害的基础上, 采用 4~5 cm SBS 改性沥青 AC-13 或 SMA-13 等罩面进行处治; K89+000—K94+000 段的  $PCI$  均在 92 以上, 路面病害较少, 可暂不处治。

下行 K72+000—K80+000 段的  $PQI$ 、 $PCI$ 、

$RQI$ 、 $RDI$ 、 $PBI$ 、 $PWI$  分别为 92.6、88.3、95.0、96.1、100 和 88.1,  $CR$  为 0.289%,  $PCI$  多为 85~90, 其余各项指标较好, 建议进行微表处、薄层罩面等预防性养护。

### 3.3 高速公路 C

高速公路 C 下行 K2149+000—K2167+000 段 2019 年沥青路面技术状况检测结果见图 3。

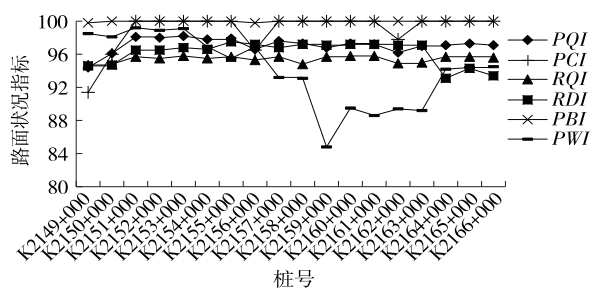


图 3 高速公路 C 下行 K2149+000—K2167+000 段 2019 年路面技术状况检测结果

该路段在 2018—2019 年采用 4 cm 改性沥青 AC-13C 罩面进行了养护,  $PQI$ 、 $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 、 $PBI$ 、 $PWI$  分别为 97.1、99.0、95.4、96.2、100 和 94.1,  $CR$  为 0.322%, 路用性能尚可, 且病害较少, 尚未达到沥青路面养护条件, 可暂不进行预防性养护, 可根据其衰减情况确定后续处治时机和措施。

## 4 结语

裂缝病害是路面各类病害初期的最早征兆, 可用于辅助选取沥青路面预防性养护方案, 对裂缝病害进行分类后采用一定量化指标表示, 可作为预防性养护触发指标。沥青路面养护决策可将  $RQI$ 、 $RDI$ 、 $PSSI$  和抗滑性能作为检验指标,  $PQI$  和  $PCI$  作为判断指标(往往仅以  $PCI$  作为控制指标)。另外, 在数据资料允许的条件下, 可考虑加入  $CR$  和衰减速率指标。  $SRI$  或  $PWI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$  和  $CR$  以公里为评价单元时往往难以选取合理的养护措施, 建议除以 1 km 为评价单元外, 以 10 m 为评价段落, 筛选相对连续的段落合理选取沥青路面养护维修措施。针对典型路段路面技术状况检测数据的不同, 采用上述沥青路面预防性养护决策指标体系可提出较合理的沥青路面维修养护建议。

### 参考文献:

- [1] 袁祖峰. 高速公路沥青路面使用性能预测及预防性养护时机的研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2019.

(下转第 147 页)

表 3 拌和关键参数及权重值

关键参数	权重
油石比	0.45
0.075 mm 筛孔通过率	0.20
2.36 mm 筛孔通过率	0.20
4.75 mm 筛孔通过率	0.15

### 3.3.2 拌和质量评价

根据各关键参数指标权重,结合式(3)得到拌和信息化管控质量评分模型为  $BQI = 0.45BSI_{油} + 0.2BSI_{0.075} + 0.2BSI_{2.36} + 0.15BSI_{4.75}$ 。由各关键参数的质量评分得到高速公路沥青混合料拌和施工总评分为 93 分,质量等级为良,该高速公路沥青路面 AC-20C 改性沥青混合料拌和质量稳定性较好。

## 4 结语

以某高速公路沥青路面工程为依托,基于沥青混合料拌和环节信息化智能管控技术,介绍沥青拌和楼信息化管控实施方案;对比分析信息化系统采集数据与室内抽提试验结果,验证信息化数据的准确性;最后分析拌和关键参数统计管理情况,结合专家调查法确定的权重建立沥青混合料拌和质量评价体系。得到如下结论:

(1) 沥青拌和楼通过安装信息化数据采集设备,实时动态分析混合料级配、油石比等指标波动情况,可实现拌和异常数据实时短信预警提示。

(2) 沥青混合料拌和关键参数为油石比和 0.075、2.36、4.75 mm 通过率,各关键参数信息化监管数据与室内抽提试验数据基本吻合,波动范围较小,信息化管控系统采集数据的准确性较高。

(3) 以统计波动率为评价指标建立沥青混合料拌和信息化管控质量评价模型为  $BQI = 0.45BSI_{油}$

$+ 0.2BSI_{0.075} + 0.2BSI_{2.36} + 0.15BSI_{4.75}$ ,该高速公路沥青混合料拌和质量评分为 93 分,评价等级为良,沥青拌和楼生产稳定性较好。

(4) 采用沥青混合料拌和施工质量信息化管控评价体系能直观地评价施工质量,对提高施工质量控制水平可起到支撑作用。

### 参考文献:

- [1] 施炎.沥青路面施工质量信息化控制技术研究[D].南京:东南大学,2017.
- [2] 郑南翔.沥青路面施工过程质量信息化监控系统[C]//中国公路学会养护与管理分会,河南省公路学会.沥青路面养护新材料应用技术研讨会专家文稿.北京:中国公路学会养护与管理分会,2014:162—171.
- [3] 王宣,唐建亚,邢永忠.基于物联网的智能监控系统在沥青路面施工中的应用研究[J].公路交通技术,2017,33(3):23—28.
- [4] 邹波,胡家波,孙承吉,等.信息化动态质量控制技术在高速公路改扩建工程中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2018(5):27—28.
- [5] 董刚,刘义彬,郑南翔.沥青路面施工过程质量信息实时监控研究[J].公路交通科技,2015,32(11):27—32+40.
- [6] 于新,黄晓明.动态控制技术在江苏省高速公路沥青路面建设中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2006(10):37—39.
- [7] 张学金,魏连雨,曹东伟,等.沥青拌合站监控系统在高速公路项目中的应用[J].路基工程,2016(3):181—185.
- [8] 林志杰,唐建亚,郑建.信息化监管系统下的沥青路面施工过程及其分析[J].交通科技与经济,2018,20(3):66—71.

收稿日期:2020—04—21

\*\*\*\*\*

(上接第 143 页)

- [2] 程苏鲁.江苏省高速公路沥青路面预防性养护时机研究[D].南京:东南大学,2012.
- [3] KARIM Chatti,DOSEUNG Lee.Development of a preventive maintenance strategy for minimizing roughness-related pavement damage[J].Transportation Research Record,2001,1769(1):39—45.
- [4] DOSEUNG Lee,KARIM Chatti,GIBERT Baladi.Development of roughness thresholds for preventive maintenance action aimed at reducing dynamic loads[J].Transportation Research Record,2002,1816(1):26—33.

- [5] 任奕,谈至明,柳正华.沥青混凝土路面预防性养护效益计算及参数[J].公路,2006(11):183—186.
- [6] 徐剑,黄颂昌.沥青路面预防性养护理念与技术[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [7] 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.
- [8] 张亮.沥青路面性能预测及预防性养护技术方案选择分析[D].广州:华南理工大学,2012.
- [9] 杨剑勋.重庆市江津区等级公路沥青路面预防性养护体系建立与决策研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.

收稿日期:2020—08—16