

# 高速公路沥青路面中长期养护规划设计探讨

林萌蕾 王 雨 陆 韬

(浙江省交通集团检测科技有限公司 杭州 310030)

**[摘 要]** 我国高速公路已进入建养并重阶段,路面养护的及时性和科学性对维持良好的路面使用性能具有重要的意义。高速公路养护规划设计是一项复杂的系统性工作,通过基础信息分析,采用有损无损相结合的方式开展现场诊断,分析路面病害成因。为研究路面自然衰减规律,文章优化了路面损坏状况指数(PCI)计算方法,并根据历年性能衰减规律预测规划期内的路面使用性能,以制定合理的养护目标,明确养护路段和养护时机。最后,采用全寿命经济分析方法对养护方案进行经济效益比选,确定养护措施以及养护规划方案。

**[关键词]** 高速公路;沥青路面;中长期养护规划;全寿命经济分析

## 0 前言

随着公路事业的快速发展,高速公路正逐渐由建设高峰期转向持续养护期,面对高速公路网巨大的养护需求,必须彻底改变单一的被动养护局面,防患于未然,因此要树立预防性、主动性和有针对性的先进养护理念,逐步采取先进的路面检测技术,应用高性能的路面质量评估系统,建立包括各种公路信息的数据库,以便对路面现状和使用性能做出正确评价,预测今后公路的退化程度,制定预防性、主动性修复养护对策和计划。而合理的养护规划对于延长沥青路面使用寿命,降低公路全寿命周期养护成本具有十分重要的意义<sup>[1-2]</sup>。

而目前高速公路沥青路面存在养护方式单一、养护不及时、养护方案缺乏科学性、系统性、针对性等问题,加之养护经费的限制,无法充分发挥路面养护的作用<sup>[3]</sup>。为此,本文结合某高速公路沥青路面养护规划设计<sup>[4]</sup>,对高速公路沥青路面中长期养护规划技术进行系统性研究,探讨养护规划的编制方法。

## 1 基础信息及分析

高速公路建养情况、交通量、公路技术状况等基础资料的分析、预测,是路面养护措施、

养护路段选取的基础,为确定养护时机,制定养护对策提供了依据。

### 1.1 建养历史

某高速公路全长约85公里,建设时序共分两期,分别于2008年、2012年建成通车,设计时速100km/h。路面结构为4cmAC-13C+6cmAC-20C+8cmAC-25C 沥青混凝土,基层、底基层分别为35cm、18cm 水稳砂砾和20cm、34cm 水稳碎石。

历年养护效果表明,Novachip 改善了路面使用性能,但处治后路面病害发展较为迅速;SMA-13 罩面对提升路况指标、抑制裂缝发展等方面具有良好的应用效果,可作为后期罩面的推荐方案。

### 1.2 交通量

交通量及轴载数据是路面养护规划设计中最重要的基础动态参数之一,为养护路段划分提供数据基础。由某高速公路收费站采集的交通量数据可以反映出各断面流量有所差异,二期路段交通量明显高于一期。而对交通量数据进行预测,发现交通荷载等级逐年增加,公路服务水平随之变差<sup>[5]</sup>。

### 1.3 路况现状

路面技术状况检测及历年数据对比分析,

收稿日期:2021-07-01

作者简介:林萌蕾(1993-),女,硕士研究生,主要从事路面检测及技术研究工作。

为路面养护方案设计提供数据支撑，为制订路面养护规划提供参考依据。

首先，对路况现状进行表观性能状况研究，采用路面破损、车辙、平整度数据，依据《公路技术状况评定标准》(JTG5210-2018)<sup>[6]</sup>对其进行分析，结果见表1。

其次，对表观检测结果中等级较低路段进

行现场诊断，诊断采用有损、无损相结合的方式。首先通过探地雷达检测路面结构完整性与路面厚度，当识别出疑似内部缺陷时，于相应部位进行路面取芯验证，确定其内部结构状况及病害发展原因，如图1所示。

最后，进行旧路材料性能评估。评价方法见表2。

表1 路况检测结果

| 优等路率   |        |        |        | 单位车道                | 裂缝类单位车道             | 修补率    | 裂缝修补率  |
|--------|--------|--------|--------|---------------------|---------------------|--------|--------|
| PQI    | PCI    | RDI    | RQI    | 病害规模                | 病害规模                |        |        |
| 99.12% | 85.42% | 99.41% | 92.04% | 95.05m <sup>2</sup> | 95.95m <sup>2</sup> | 96.29% | 93.34% |

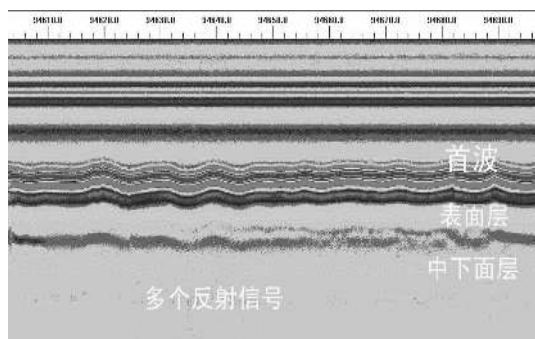


图1 现场诊断 (左: 雷达检测; 右: 取芯验证)

表2 材料性能评价方法

| 旧路材料  | 试验方法           | 评价指标                                      | 结论               |
|-------|----------------|-------------------------------------------|------------------|
| 沥青结合料 | 动态剪切流变、弯曲梁蠕变试验 | 车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 、蠕变速率 $m$ 、蠕变劲度 $S$ | 使用性能、PG 等级不同程度降低 |
| 沥青混合料 | 汉堡车辙试验、小梁弯曲试验  | 变形率、劲度模量 $S_b$                            | SMA-13 的稳定性较好    |
| 粘层材料  | 50°粘结强度与剪切强度试验 | 粘结强度、剪切强度                                 | 建议采用不粘轮乳化沥青      |

综合上述试验检测，各路段表现的病害形式不一，主要为裂缝类、块状修补、车辙等，病害发展程度也有所不同，损坏严重路段病害贯穿整个面层和基层。路面材料性能也呈现不同程度的衰减，因此，无法采取统一的养护方案，需在对路况进行全面调查检测评估的基础上进行了养护规划编制。

## 2 路面使用性能预测分析

路面使用性能直接影响路面的养护对策和养护资金投入，为了在时间和空间上优化分配给定的养护预算，确定最佳养护对策，科学地

选择养护时机以及方案，就需要预测其使用性能随时间的演变和衰减规律。

### 2.1 路面使用性能影响因素及规划单元划分

路面使用性能与很多因素有关<sup>[7]</sup>，本次规划在调研的基础上分析总结了影响沥青路面性能的因素，包括路面的结构特征、交通量状况、气候环境条件、工程建设情况、路龄等直接影响了衰减速率的快慢。

规划着重考虑项目路的特点，重点按交通流量、路龄等重要影响因素，将规划道路拆分成一期、二期两个规划单元子项。

## 2.2 路面使用性能衰减规律分析

路面使用性能的衰变是一个长期复杂的过程,但归纳起来可分为三种基本模式:凹形曲线、凸形曲线、反S形曲线<sup>[8]</sup>。选取每年进行路面大中修养护的高速公路路面使用性能指标进行衰变分析,如图2所示。

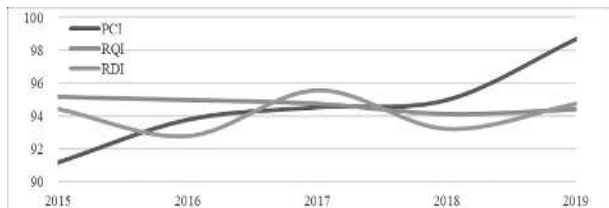


图2 路面使用性能衰变模式

可以看出,RDI衰减趋势呈现反S型,RQI呈现凸型,而PCI却逐年增大。由此可见,路面大中修养护的介入对RDI及RQI的影响较小,其衰减规律符合沥青路面基本衰减模式,而对PCI影响较大。

因此,本项目对PCI进行优化:

$$PCI = 100 - 15 * \left( 100 * \frac{A_1}{A} \right)^{0.412}$$

式中, $A_1$ 为计算单元内现有病害面积与大中修路段原有病害面积之和( $m^2$ ); $A$ 为路面调查面积( $m^2$ )。

重新计算PCI后,进行自然衰变模式确定,其衰变趋势类似凸形曲线。

## 2.3 路面使用性能预测

综合典型预测模型特点<sup>[8]</sup>,结合上述路面使用性能衰减模式,选用负指数模型来预测路面使用性能衰变趋势。

——负指数曲线的模型: $PCI = ae^{-bt}$

形成如图3所示预测结果,预测结果作为养护路段和养护时机选择的参考。

## 3 养护规划方案

### 3.1 规划目标

规划基于路面使用性能和养护现状,结合相关政策<sup>[9]</sup>,制定规划目标:改善路面性能,消灭不合格路段,控制合格不达标里程比例。规划各项指标均不低于省、部级纲要目标值,即PQI达到94以上,优等路率96%以上。

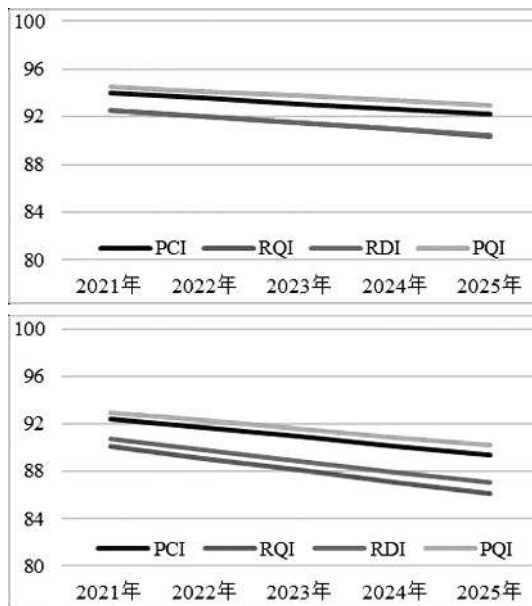


图3 某高速公路路面使用性能衰减预测值统计  
(上:一期,下:二期)

## 3.2 养护决策方法

路面使用性能评价和预测为养护决策提供了理论依据和数据支撑。规划中采用决策树法<sup>[10]</sup>建立项目级养护决策体系,如图4所示。

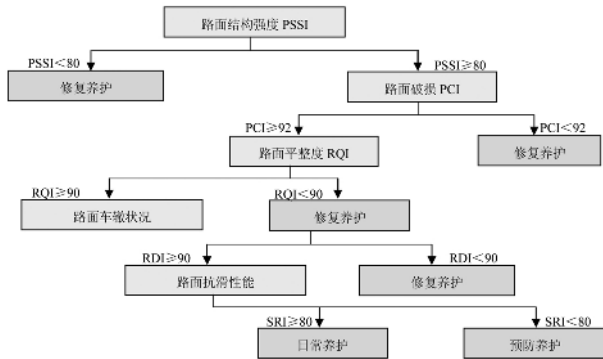


图4 养护决策体系

根据高速公路历年周期性养护特点,在方案的选取上,根据不同的路面性能状况,选择经济合理的养护措施。

预防养护措施<sup>[11-12]</sup>:冷拌冷铺封层类施工后,易出现集料颗粒松散、层间粘结不足等现象,尽管其经济性优于热拌热铺类,但长期使用性能偏低。建议规划期内预防养护以超薄磨耗层为主,设计厚度可根据路况择优选择。对于大桥特大桥面受自重荷载的限制,可依据桥

面沥青铺装层的情况,选择厚度较薄的极薄磨耗层。

修复养护措施:SMA型具有骨架密实的特性,在抗水损、抗滑、抗车辙、减少噪声等方面性能显著,结合SMA罩面使用情况,推荐在规划期内主要采用SMA型进行加铺罩面,在交通量较小的路段可采用AC型进行加铺罩面。

### 3.3 养护规划方案

根据交通量、路面技术状况及病害发展趋势预测,确定养护路段、养护时机后,再综合考虑年度资金计划,施工方便等因素,提出三种养护规划方案:

(1) 方案一:以预防养护和修复养护相结合的方式,对于修复养护需求路段在2021年进行铣刨重铺,加铺罩面采用耐久性能更好的SMA-13,对预防养护路段在2022-2025年进行超薄磨耗层加铺。匝道路面在规划期内根据路面破损情况,按需进行铣刨重铺处治,表3中为暂估量。

表3 方案一规划期内每年养护里程统计表

| 年份   | 铣刨重铺<br>(km) | 加铺罩面<br>(km) | 预防性养护<br>(km) |
|------|--------------|--------------|---------------|
| 2021 | 8.7          | 23.0         | 0             |
| 2022 | 13.8         | 18.6         | 2.0           |
| 2023 | 13.0         | 14.4         | 8.0           |
| 2024 | 13.6         | 10.4         | 11.1          |
| 2025 | 12.0         | 10.4         | 14.6          |

(2) 方案二:与方案一基本类似,加铺罩面采用4.5cm改性AC-16C混凝土,尽管AC-16在抗高温性能和耐久性没有SMA-13突出,

但施工的方便(级配的控制、施工的温度等)都强于SMA-13。

(3) 方案三:充分考虑规划期后的路面整体性能,对预防养护需求的路段在规划期内主要采取SMA-13加铺罩面,见表4。

表4 方案三规划期内每年养护里程统计表

| 年份   | 铣刨重铺<br>(km) | 加铺罩面<br>(km) | 预防性养护<br>(km) |
|------|--------------|--------------|---------------|
| 2021 | 8.7          | 23.0         | 0             |
| 2022 | 13.8         | 20.6         | 0             |
| 2023 | 13.0         | 22.4         | 0             |
| 2024 | 13.6         | 21.6         | 0             |
| 2025 | 12.0         | 25.0         | 0             |

## 4 全寿命经济分析

全寿命周期成本分析<sup>[13-14]</sup>,主要是基于某个合理的基础经济指标,对2个或2个以上的备选方案进行比较,选出能在使用年限内提供必需的性能且成本最低的方案,即寿命周期成本最低。本次各方案的效益成本分析周期为5年。由于缺乏相关数据,为了简化分析过程,采用计算成本费用代替PVC值。

分析中路面残值(SV)<sup>[15]</sup>表示各项养护措施在设计年限末期剩余的成本,根据下式进行计算( $L_A$ 、 $L_E$ 分别为已承受、可承受交通轴载作用次数; $C_r$ 为养护措施的修建费用)。

$$SV = (1 - \frac{L_A}{L_E}) C_r$$

### 4.1 专项养护费用的比较

根据养护费用的单价以及方案实施时间,得到分析期内各比选方案的成本,如表5、表6。

表5 分析期内修复性养护成本比较

| 方案  | 合计    | 2021年 | 2022年 | 2023年 | 2024年 | 2025年 | 残值(万元) | 修复养护成本(万元) |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| 方案一 | 13959 | 3317  | 3284  | 2756  | 2374  | 2228  | 3620   | 10340      |
| 方案二 | 17435 | 3225  | 3421  | 3547  | 3511  | 3730  | 3725   | 13710      |
| 方案三 | 17885 | 3317  | 3504  | 3636  | 3598  | 3830  | 6284   | 11601      |

表6 分析期内各方案的预防性养护成本比较

| 方案  | 合计   | 2021年 | 2022年 | 2023年 | 2024年 | 2025年 | 残值(万元) | 修复养护成本(万元) |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| 方案一 | 2856 | 0     | 160   | 640   | 890   | 1166  | 1755   | 1101       |
| 方案二 | 2856 | 0     | 160   | 640   | 890   | 1166  | 1755   | 1101       |
| 方案三 | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0          |



## 4.2 日常养护费用的比较

规划中沥青路面日常养护费用以 2.5 万元/km 基数为准, 预防养护、修复养护后日常养护费用分别以 1.8 万元/km、1.2 万元/km 基数为准。日常养护费用年增长率按交通量同比增长考虑, 得到分析期内各方案的日常养护费用 (表 7)。

表 7 分析期内各方案的日常养护成本比较

| 方案  | 2021<br>年 | 2022<br>年 | 2023<br>年 | 2024<br>年 | 2025<br>年 | 日常养<br>护费用<br>总计<br>(万元) |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| 方案一 | 411       | 426       | 430       | 432       | 435       | 2134                     |
| 方案二 | 411       | 426       | 430       | 432       | 435       | 2134                     |
| 方案三 | 411       | 425       | 425       | 425       | 426       | 2112                     |

## 4.3 各方案养护总费用比较

规划期各方案专项养护与日常养护成本, 汇总于表 8。

表 8 分析期内各方案的总费用成本情况

| 方案  | 专项养护总成本<br>(万元) | 日常养护成本<br>(万元) | 总投入成本<br>(万元) |
|-----|-----------------|----------------|---------------|
| 方案一 | 11441           | 2134           | 13575         |
| 方案二 | 14811           | 2134           | 16945         |
| 方案三 | 11601           | 2112           | 13713         |

综合三个方案, 在设计寿命期内, 本着技术成熟、经济合理的原则, 通过技术经济综合评价先对需进行铣刨重铺、单面路段进行处治, 再进行预防性养护的方案最优。因此本次推荐采用方案一。

通过上述规划方案的实施, 对规划期内路面技术状况指标的预测结果及衰减情况进行了相应的调整, 验证是否达到规划目标值。

## 5 结语

本文通过项目实践, 对沥青路面中长期养护规划设计内容进行了总结与探讨。提出了有损无损相结合的检测方式分析了路况现状, 掌握了路面损害特征, 为更优的养护方案选择提供了依据; 在指标性能预测中, 优化 PCI 计算方法, 准确反应了路面自然衰变规律, 并基于预测结果确定了养护路段及养护时机。最后, 从全生命周期角度出发, 对规划期内养护成本

进行测算, 确定了设计合理、经济最优的沥青路面养护规划方案。

规划中养护路段的选择是基于路面使用性能预测的结果, 受预测模型精度的影响, 与实际路面技术状况具有一定程度的偏差。建议在规划期内, 应依据每年的实际路况水平, 进行更优的养护科学决策。

## 参考文献

- [1] 沙爱民. 科学养护—我国公路养护的现在和未来—公路养护技术发展趋势 [J]. 中国公路, 2017 (3): 74-77.
- [2] Jorge D., Ferreira A. Road network pavement maintenance optimisation using the HDM-4 pavement performance prediction models [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2012, 13 (1): 39-51.
- [3] 蔡硕果, 徐世法. 高速公路沥青路面中长期养护规划技术与辅助设计系统的研发 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2016, 02 (v. 12; No. 134): 45-50.
- [4] 浙江数智交院科技股份有限公司. 某高速公路沥青路面中长期养护规划 [R]. 2021.
- [5] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [6] JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [7] Steven D. Sehroek, T. H. M., Evaluation of Interstate Work Zone Traffic Management Plans Using Simulation [C], The 79th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington, D. C., revised. 2000: 231-245.
- [8] 孙立军. 沥青路面结构行为理论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [9] 交通运输部公路发〔2016〕96号文件. “十三五”公路养护管理发展纲要. 2016.
- [10] Joseph A. Guerre, William E. Robert. The Ontario Executive Support System—Integrating Pavement and bridge Management System, TRB2005, 2005.
- [11] 吉增晖. 沥青路面预防性养护技术综述与探讨 [J]. 公路, 2015, 60 (12): 56-63.
- [12] 王朝辉, 王丽君, 白军华, 等. 基于时段的沥青路面预防性养护时机与对策—一体优化研究 [J]. 中国公路学报, 2010, 23 (5): 27-34.
- [13] 王茜. 基于生命周期的江苏省高速公路中长期养护规划方案研究 [D]. 东南大学, 2018.
- [14] Wu D., Yuan C. Liu H. A risk-based optimisation for pavement preventative maintenance with probabilistic LCCA: a Chinese case [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2017, 18 (1): 11-25.
- [15] JTG 5142—2019 公路沥青路面养护技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.