

ICS 93.080

CCS P 66

团 体 标 准

T/CCTAS 89—2023

高速公路沥青路面预防养护工程设计指南

Guidelines for preventive maintenance engineering design of highway
asphalt pavement

2023-12-19 发布

2023-12-31 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 总则 | 2 |
| 5 调查、检测与评价 | 2 |
| 6 路段选择 | 3 |
| 7 预防养护方案设计 | 3 |
| 7.1 预防养护技术分析 | 3 |
| 7.2 预防养护工程方案确定 | 4 |
| 8 原路面病害处治方案 | 5 |
| 8.1 一般规定 | 5 |
| 8.2 裂缝处治 | 5 |
| 8.3 龟裂、块裂处治 | 5 |
| 8.4 车辙处治 | 6 |
| 8.5 坑槽处治 | 6 |
| 8.6 其他病害处治 | 6 |
| 9 材料组成设计 | 6 |
| 附录 A (资料性) 效益费用比计算方法 | 7 |
| A.1 效益费用比 | 7 |
| A.2 养护效益 | 7 |
| A.3 费用现值 | 7 |
| A.4 残余值 | 8 |
| 附录 B (资料性) 高速公路沥青路面预防养护设计示例 | 9 |
| B.1 基本信息 | 9 |
| B.2 调查、检测与评价 | 9 |
| B.3 路段选择 | 12 |
| B.4 预防养护方案设计 | 12 |
| B.5 原路面病害处治方案 | 18 |
| B.6 材料组成设计 | 18 |
| 参考文献 | 19 |

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广州市北二环交通科技有限公司、中交第一公路勘察设计研究院有限公司、越秀交通基建有限公司、哈尔滨工业大学、重庆交通大学、华南理工大学，广东菊兰新型材料科技有限公司、中交云南高速公路发展有限公司、河南交院工程技术集团有限公司、天津航大中璟科技有限公司、黑龙江省交投工程建设有限公司、中交一公局集团有限公司、中交公路养护工程技术有限公司、山东省高速养护集团有限公司、黑龙江省交通规划设计研究院集团有限公司、黑龙江道弘科技发展有限公司。

本文件主要起草人：李晓东、龙翔、李刚、陈敬松、雷宇、王争军、柯文豪、胡甲科、姚跃凯、曹海波、徐伟龙、何木、陈团结、吴健波、王艳、车思亮、郑倩倩、张磊、邹桂莲、何小兵、欧毕华、钟勇云、王琼、高贵朋、荆运蕾、王立英、王景辉、耿义、刘文奎、涂明、陈虎飞、胡永涛、司永明、曹峰、许尚江、刘凤涛、陈柯、徐兰钰、郑弘、刘励焯、付元坤、付廷军、刘鹏、战昂。

高速公路沥青路面预防养护工程设计指南

1 范围

本文件提出了高速公路沥青路面预防养护工程设计的总则、调查、检测与评价、路段选择、预防养护方案设计、原路面病害处治方案、材料组成设计的建议。

本文件适用于指导高速公路沥青路面预防养护工程设计，其他等级公路参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
JTG 5142 公路沥青路面养护技术规范
JTG/T 5142-01 公路沥青路面预防养护技术规范
JTG 5210 公路技术状况评定标准
JTG 5421 公路沥青路面养护设计规范
JTG/T 5521 公路沥青路面再生技术规范
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
JTG H10 公路养护技术规范
JTG H30 公路养护安全作业规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沥青路面预防养护 asphalt pavement preventive maintenance

为防止病害发生或轻微病害扩展、减缓路面使用性能衰减、提升服务功能而预先主动采取的路面养护措施。

[来源：JTG/T 5142-01-2021，2.1.1]

3.3

裂缝间距 transverse crack spacing

贯穿整车道沥青路面横向裂缝的平均间距，以m计。

3.3

网裂面积率 alligator or block cracking area rate

沥青路面龟裂、块裂病害面积占调查面积的百分比，以百分数计。

3.4

修补面积率 repair area rate

沥青路面修补的面积占调查面积的百分比，以百分数计。

4 总则

4.1 应做好沥青路面状况调查，路面病害成因分析及评价。

4.2 应遵循因地制宜、经济实用、施工高效、节能环保的原则，积极采用新技术。

4.3 宜采用一阶段施工图设计，应包含调查、检测与评价、路段选择、预防养护方案设计、原路面病害处治方案、材料组成设计等内容，可按图1所示的流程进行。



图 1 沥青路面预防养护设计流程

4.5 预防养护方案应根据调查分析和专项检测结果选择与确定。

4.6 沥青路面预防养护技术可分为封层类、罩面类和就地热再生，不同预防养护技术的适用性应符合下列规定：

- a) 封层类可用于需改善路面抗滑、渗水、路面轻度松散麻面、沥青老化的沥青路面；
- b) 罩面类可用于需预防或修复部分病害、改善抗滑、路面渗水的沥青路面；
- c) 就地热再生可用于需预防或修复部分病害、恢复表面功能的沥青路面。

4.7 进行预防养护前，应对原路面病害进行处治。

5 调查、检测与评价

5.1 应搜集、调查分析养护路段下列历史资料：

- a) 养护路段路面结构数据；
- b) 近3年交通量及荷载组成数据；
- c) 历次养护路段及措施等数据；
- d) 近3年路面技术状况检测数据；
- e) 所在区域气候和温度数据；

f) 所在区域常用的预防养护技术措施、实施效果及材料单价信息。

5.2 应对养护路段进行路面技术状况专项检测与评价，专项检测与评价应符合下列要求：

- a) 检测指标应包括路面结构强度指数（PSSI）、路面破损状况指数（PCI）、路面车辙深度指数（RDI）、路面行驶质量指数（RQI）、路面抗滑性能指数（SRI）、路面磨耗指数（PWI），路面抗滑性能指数和路面磨耗指数可二选一；
- b) 路面技术状况检测与评价应符合JTG 5210的规定；
- c) 原路面渗水、材料性能试验应结合沥青路面病害特点及采取的预防养护技术确定；
- d) 宜以1000m为评价单元，对路面专项检测结果进行分车道评价。

6 路段选择

6.1 路面技术指标 $PSSI \geq 80$ 、 $PCI \geq 85$ 、 $RQI \geq 85$ 、 $RDI \geq 80$ ，且符合下列规定时宜进行预防养护。

- a) $SRI/PWI < 75$ ，需改善路面抗滑。
- b) $RQI = 85 \sim 90$ ，需改善路面平整度。
- c) $PCI = 85 \sim 90$ ，需修复路面部分病害。
- d) 裂缝间距为15~50m，需修复路面部分病害。
- e) 网裂面积为0.5~1.8%，需修复路面部分病害。
- f) 修补面积为4~10%，需修复路面部分病害。
- g) 路面渗水为200~400ml/min，需改善路面渗水。
- h) 沥青老化（15℃延度下降程度） $\leq 20\%$ ，需改善路面老化。

6.2 预防养护路段应由性质相似的评价单元合并而成，并考虑施工最小长度、交通组织等要求。

7 预防养护方案设计

7.1 预防养护技术分析

7.1.1 根据路面状况，预防养护技术宜按表1进行选择。

表 1 预防养护技术适用的路面状况

| 指标 | 预防养护技术 | | | | | | | |
|-------|---------------------------|-----|------|------|------|------|-------|---|
| | 封层类 | | | 罩面类 | | | 就地热再生 | |
| | 含砂雾封层 | 微表处 | 复合封层 | 薄层罩面 | 超薄罩面 | 封层罩面 | | |
| 路面破损 | × | △ | √ | √ | √ | √ | √ | |
| 路面不平整 | RQI 为 85~90 | × | × | × | △ | × | △ | √ |
| 抗滑损失 | SRI/PWI 小于 75 | × | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 路面渗水 | 渗水系数 200~400ml/min | √ | √ | √ | √ | √ | √ | △ |
| 沥青老化 | 15℃延度下降 程度 $\leq 20\%$ | √ | √ | √ | △ | △ | △ | √ |

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

7.1.2 不同预防养护技术适用的交通荷载等级应符合表2的规定。

表2 不同预防养护技术适用的交通荷载等级

| 交通荷载等级 | 预防养护技术 | | | | | | |
|------------------|--------|-----|------|------|------|------|-------|
| | 封层类 | | | 罩面层 | | | 就地热再生 |
| | 含砂雾封层 | 微表处 | 复合封层 | 薄层罩面 | 超薄罩面 | 封层罩面 | |
| 极重 (N≥50) | △ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 特重 (N=19.0~50.0) | △ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 重 (N=8.0~19.0) | △ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 中 (N=4.0~8.0) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 轻 (N<4.0) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |

注1: N ($\times 10^6$, 辆) —设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量。
注2: √—适用, △—可用。

7.1.3 不同预防养护技术预期使用年限应符合表3的规定。

表3 不同预防养护技术预期使用年限

| 预防养护技术 | 封层类 | | | 罩面层 | | | 就地热再生 |
|------------|-------|-----|------|------|------|------|-------|
| | 含砂雾封层 | 微表处 | 复合封层 | 薄层罩面 | 超薄罩面 | 封层罩面 | |
| 预期使用年限 (年) | 2 | 2~3 | 3~4 | 4~6 | 3~4 | 5~8 | 2~4 |

注: 交通荷载等级高时宜靠下限取值, 交通荷载等级低时宜靠上限取值。

7.1.4 应综合考虑技术、环境、经济、交通等因素分析适用的预防养护技术, 初拟的预防养护方案不宜少于三个。

7.2 预防养护工程方案确定

7.2.1 应基于寿命周期理念, 采用效益费用分析方法, 遵循效益费用比最大的原则确定预防养护工程方案。

7.2.2 预防养护工程方案确定应包含分析期使用性能预测和效益费用比计算, 分析期宜为5年。

7.2.3 使用性能预测应按预防养护路段开展。

7.2.4 使用性能预测指标应根据路面状况选择, 当路面状况为破损、渗水、沥青老化时, 使用性能预测指标可选择PCI。

7.2.5 使用性能预测模型应根据历年技术状况变化趋势和交通量变化情况, 结合当地经验确定, 也可根据历年路面使用性能变化情况通过JTG 5421附录C.2.5确定, 不同使用性能预测模型应符合下列规定。

- 修正S曲线模型适用于路面使用性能衰减先慢后快, 后期通过加强养护使用性能衰减变慢的路段;
- 负指数模型适用于路面使用性能早期衰减很快, 中后期逐渐减慢的路段;
- 分阶段折线模型适用于不同阶段路面使用性能变化不同的路段。

7.2.6 使用性能预测应符合下列要求:

- 使用性能预测应包含未实施预防养护的路面使用性能预测和实施预防养护的路面使用性能预测;
- 未实施预防养护的路面使用性能应逐年预测, 模型参数可根据近3年路面技术状况检测数据采用规划求解等数学分析方法确定;
- 实施预防养护的路面使用性能应逐年预测, 模型参数可根据预防养护技术实施后路面使用性能达到的水平、预防养护技术使用期末路面使用性能水平采用规划求解等数学分析方法确定;

- d) 预防养护技术实施后路面使用性能达到的水平可根据预防养护技术预期使用年限、交通量及实际工程经验综合确定，也可按表4的规定确定；

表4 预防养护技术实施后路面使用性能达到的水平

| 预防养护技术 | | 指标 | |
|--------|-------|-----|-------------|
| | | PCI | RQI、SRI、PWI |
| 封层类 | 含砂雾封层 | 98 | 97 |
| | 微表处 | 98 | 97 |
| | 复合封层 | 98 | 97 |
| 罩面类 | 薄层罩面 | 99 | 98 |
| | 超薄罩面 | 99 | 98 |
| | 封层罩面 | 99 | 98 |
| 就地热再生 | | 99 | 98 |

- e) 预防养护技术使用期末路面使用性能水平可与预防养护技术实施前原路面的使用性能水平一致。

7.2.7 应选择分析期效益费用比最大的预防养护工程方案，分析期效益费用比计算参见附录A。

8 原路面病害处治方案

8.1 一般规定

- 8.1.1 预防养护实施前原路面病害应根据JTG/T 5142-01确定是否需要处理。
- 8.1.2 应根据病害类型、成因及病害程度，从技术、经济、施工和环境等方面综合确定原路面病害处治方案。
- 8.1.3 原路面病害处治范围、深度应与预防养护方案匹配。

8.2 裂缝处治

- 8.2.1 对于轻度横向裂缝或纵向裂缝，采用热沥青或密封胶灌缝。
- 8.2.2 对于重度横向裂缝，扩槽回填上面层沥青混凝土，扩槽宽度应按照裂缝所在的行车道宽度控制，最小长度宜为2m。
- 8.2.3 对于重度纵向裂缝，扩槽回填上面层沥青混凝土，扩槽最小宽度宜为2m，最小长度宜为6m，避免将铣刨线置于轮迹带下。
- 8.2.4 铣刨后下承层如存在裂缝等病害，采用密封胶灌缝或贴缝带封缝，灌缝、贴缝用材料技术要求应符合JTG/T 5142-01的规定。

8.3 龟裂、块裂处治

- 8.3.1 对于轻度龟裂或块裂，铣刨重铺中、上面层沥青混凝土。铣刨宽度为行车道宽度，长度宜按照病害区域往两侧各延伸3m。铣刨后下承层如存在龟裂、块裂病害，可按照中度龟裂处治方法继续处治。
- 8.3.2 对于中度龟裂，铣刨重铺沥青面层。铣刨宽度为行车道宽度，长度宜按照病害区域往两侧各延伸3m。铣刨后基层如存在松散等病害，可按照重度龟裂处治方法继续处治。
- 8.3.3 对于重度龟裂或块裂，铣刨重铺沥青面层和基层。铣刨宽度为行车道宽度，宜按照病害区域往两侧各延伸3m。
- 8.3.4 铣刨面及修补形状呈矩形，层间设台阶，横向台阶宽度应为20cm，纵向台阶宽度应为1m。当龟

裂或块裂病害分布间隔小于10m时，应视为一处病害进行处治。

8.4 车辙处治

8.4.1 应根据路面技术状况专项检测与评价结果，结合采用的预防养护方案确定车辙处治方案。

8.4.2 采用封层类预防养护技术的路段，轻度车辙铣刨重铺原路面上面层，重度车辙铣刨重铺原路面中上面层。

8.4.3 采用罩面类预防养护技术的路段，轻度车辙可不处治，重度车辙铣刨原路面上面层。

8.4.4 采用就地热再生的路段，车辙可不处治。

8.4.5 铣刨宽度为单车道宽度，铣刨长度为车辙长度。

8.5 坑槽处治

8.5.1 坑槽应按照“圆洞方补，斜洞正补”的原则开凿至坑底稳定部分，深度不得小于原病害的最大深度，坑槽较深时应按沥青面层分层开挖，层间台阶宽度不小于20cm；

8.5.2 最小铣刨面积应为 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，尽量避免将铣刨线置于轮迹带下。

8.6 其他病害处治

8.6.1 波浪拥包、松散、泛油等其他病害应根据病害类型及成因采用铣刨重铺的方式。

9 材料组成设计

9.1 应根据沿线料场分布和材料性能检测结果，结合当地工程应用经验，合理选择材料。

9.2 应根据工程特点、材料供应情况、预防养护方案，按JTG/T 5142-01、JTG/T 5521等相关规范的规定，提出原材料技术要求、混合料配合比设计要求及施工工艺要求。

附录 A
(资料性)
效益费用比计算方法

A.1 效益费用比

效益费用比按式A.1计算：

$$BCR = \frac{E_i}{PWC_i} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

BCR—效益费用比。

E_i —预防养护实施后路面使用性能指标 i 的养护效益，

PWC_i —预防养护技术的费用现值。

A.2 养护效益

预防养护实施后路面使用性能指标 i 的养护效益 E_i 用效益面积来表征，按式 A.2 计算：

$$E_i = \int_{x_1}^{x_2} |Q_s(i) - P_s(i)| dx \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$Q_s(i)$ —实施预防养护后路面使用性能指标 i 的曲线方程；

$P_s(i)$ —未实施预防养护的路面使用性能指标 i 的曲线方程；

x_1 —实施预防养护的时间（年份）；

x_2 —路面分析期末（年份）。

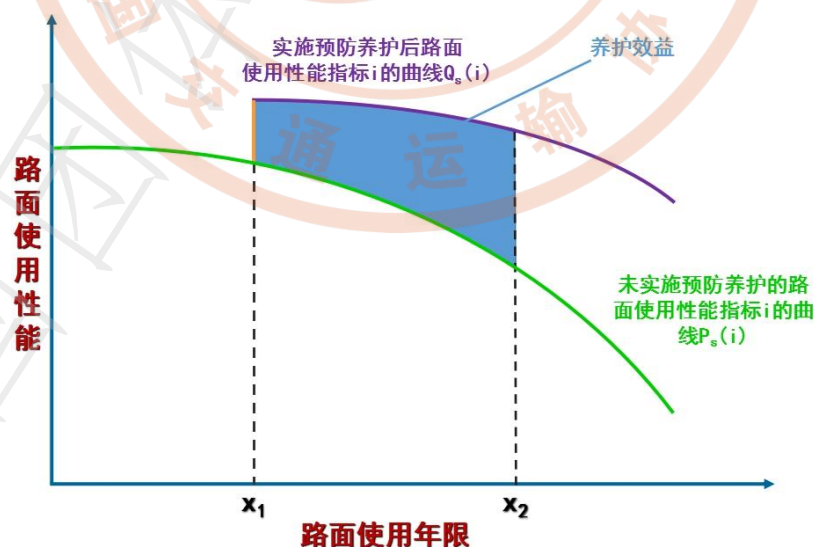


图 A.1 预防养护效益示意图

A.3 费用现值

预防养护技术的费用现值 PWC_i 按式 A.3 计算：

$$PWC_i = \frac{c_i}{(1+r)^n} - SV_i \times \left(\frac{1}{1+r}\right)^N \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- c_i —预防养护技术的费用成本，元/m²；
- r —贴现率，根据区域经济发展水平合理选择，在缺乏经验数据的情况下，可参照公路工程项目可行性研究中所采用的贴现率指标值。
- n —预防养护实施年份距分析期初始年份的时间长度（年）；
- N —分析期（年）；
- SV_i —预防养护技术在分析期末的残余值。

A.4 残余值

预防养护技术在分析期末的残余值 SV_i 按式 A.4 计算：

$$SV_i = C_i \times \left(1 - \frac{L_N}{L_E}\right) \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

- L_N —预防养护技术在分析期内已经使用的年数（年）；
- L_E —预防养护技术的预期使用年限（年）。

附录 B
(资料性)
高速公路沥青路面预防养护设计示例

B.1 基本信息

某高速公路2018年1月通车运营，双向四车道，全长8km，沥青混凝土路面，交通荷载等级为重。

B.2 调查、检测与评价

B.2.1 资料收集

B.2.1.1 路面结构

该高速公路沥青路面结构为4cmSBS改性AC-13C+6cmAC-16+8cmAC-20+30cm水泥稳定碎石+20cm低剂量水泥稳定碎石+20cm级配碎石，路面总厚度为78cm。

B.2.1.2 近3年交通量

近3年交通量如下表B.1所示。

表 B.1 某高速公路近3年交通量

| 年份 | 小客车 | | 中型车 | | 大型车 | | 汽车列车 | | 合计 (辆) |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| | 交通量 (辆/日) | 车型比 例 (%) | 交通量 (辆/日) | 车型比 例 (%) | 交通量 (辆/日) | 车型比 例 (%) | 交通量 (辆/日) | 车型比 例 (%) | |
| 2022年 | 32736 | 81 | 2909 | 7 | 1879 | 5 | 2673 | 7 | 40197 |
| 2021年 | 37276 | 87 | 2520 | 6 | 1151 | 3 | 1840 | 4 | 42787 |
| 2020年 | 45062 | 86 | 2619 | 5 | 1221 | 2 | 2536 | 5 | 51439 |

B.2.1.3 历年养护路段及措施

该高速公路自通车以来，沥青路面主要以日常养护为主。

B.2.1.4 近3年路面技术状况检测数据及评价结果

该高速公路近三年路面技术状况检测数据及评价结果如下表B.2所示。

表 B.2 某高速公路沥青路面近3年路面技术状况

| 年限 | 起止桩号 | 上/ 下行 | PSSI | | PCI | | RQI | | SRI | | RDI | |
|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 |
| 2020年 | K0~K1 | 上行 | 99.78 | 优 | 99.05 | 优 | 92.82 | 优 | 95.61 | 优 | 96.71 | 优 |
| | K1~K2 | 上行 | 97.16 | 优 | 99.38 | 优 | 92.02 | 优 | 95.83 | 优 | 96.22 | 优 |
| | K2~K3 | 上行 | / | / | 98.35 | 优 | 93.60 | 优 | 95.84 | 优 | 97.02 | 优 |
| | K3~K4 | 上行 | / | / | 98.65 | 优 | 94.62 | 优 | 95.36 | 优 | 97.13 | 优 |

表 B.2 某高速公路沥青路面近 3 年路面技术状况（续）

| 年限 | 起止桩号 | 上/ 下行 | PSSI | | PCI | | RQI | | SRI | | RDI | |
|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 |
| 2020 年 | K4~K5 | 上行 | / | / | 99.30 | 优 | 92.21 | 优 | 93.88 | 优 | 96.32 | 优 |
| | K5~K6 | 上行 | / | / | 100.00 | 优 | 93.85 | 优 | 93.20 | 优 | 96.12 | 优 |
| | K6~K7 | 上行 | / | / | 98.02 | 优 | 94.32 | 优 | 92.56 | 优 | 94.38 | 优 |
| | K7~K8 | 上行 | / | / | 99.33 | 优 | 94.14 | 优 | 93.78 | 优 | 95.32 | 优 |
| | K0~K1 | 下行 | / | / | 94.13 | 优 | 91.15 | 优 | 90.83 | 优 | 91.88 | 优 |
| | K1~K2 | 下行 | 92.31 | 优 | 94.44 | 优 | 92.35 | 优 | 91.04 | 优 | 91.41 | 优 |
| | K2~K3 | 下行 | / | / | 92.15 | 优 | 93.9 | 优 | 92.05 | 优 | 92.18 | 优 |
| | K3~K4 | 下行 | 92.10 | 优 | 93.74 | 优 | 92.88 | 优 | 92.59 | 优 | 92.28 | 优 |
| | K4~K5 | 下行 | / | / | 92.37 | 优 | 93.56 | 优 | 92.16 | 优 | 92.51 | 优 |
| | K5~K6 | 下行 | / | / | 95.04 | 优 | 92.14 | 优 | 91.51 | 优 | 91.32 | 优 |
| | K6~K7 | 下行 | / | / | 95.36 | 优 | 92.35 | 优 | 93.26 | 优 | 91.48 | 优 |
| K7~K8 | 下行 | 94.83 | 优 | 94.40 | 优 | 92.41 | 优 | 93.07 | 优 | 90.55 | 优 | |
| 2021 年 | K0~K1 | 上行 | / | / | 99.72 | 优 | 93.90 | 优 | 93.25 | 优 | 96.79 | 优 |
| | K1~K2 | 上行 | / | / | 97.84 | 优 | 92.93 | 优 | 95.65 | 优 | 96.43 | 优 |
| | K2~K3 | 上行 | 98.50 | 优 | 98.85 | 优 | 93.76 | 优 | 94.32 | 优 | 96.74 | 优 |
| | K3~K4 | 上行 | / | / | 94.32 | 优 | 93.61 | 优 | 95.16 | 优 | 96.52 | 优 |
| | K4~K5 | 上行 | 95.32 | 优 | 97.79 | 优 | 93.33 | 优 | 92.15 | 优 | 96.21 | 优 |
| | K5~K6 | 上行 | / | / | 99.79 | 优 | 93.86 | 优 | 92.35 | 优 | 96.08 | 优 |
| | K6~K7 | 上行 | / | / | 98.56 | 优 | 93.56 | 优 | 92.03 | 优 | 94.56 | 优 |
| | K7~K8 | 上行 | / | / | 99.16 | 优 | 92.54 | 优 | 92.18 | 优 | 95.21 | 优 |
| | K0~K1 | 下行 | 93.60 | 优 | 94.77 | 优 | 90.87 | 优 | 88.56 | 良 | 91.96 | 优 |
| | K1~K2 | 下行 | / | / | 92.97 | 优 | 91.65 | 优 | 90.86 | 优 | 91.61 | 优 |
| | K2~K3 | 下行 | 92.47 | 优 | 91.56 | 良 | 92.05 | 优 | 91.59 | 优 | 91.56 | 优 |
| | K3~K4 | 下行 | / | / | 91.59 | 良 | 91.91 | 优 | 91.39 | 优 | 91.70 | 优 |
| | K4~K5 | 下行 | / | / | 91.65 | 良 | 91.64 | 优 | 91.51 | 优 | 91.42 | 优 |
| | K5~K6 | 下行 | / | / | 94.84 | 优 | 91.56 | 优 | 90.70 | 优 | 91.28 | 优 |
| K6~K7 | 下行 | / | / | 93.25 | 优 | 91.89 | 优 | 92.68 | 优 | 90.68 | 优 | |
| K7~K8 | 下行 | / | / | 94.23 | 优 | 91.88 | 优 | 92.53 | 优 | 90.44 | 优 | |
| 2022 年 | K0~K1 | 上行 | / | / | 99.19 | 优 | 93.96 | 优 | 91.08 | 优 | 96.72 | 优 |
| | K1~K2 | 上行 | / | / | 97.71 | 优 | 92.98 | 优 | 95.58 | 优 | 96.49 | 优 |
| | K2~K3 | 上行 | / | / | 99.26 | 优 | 93.32 | 优 | 93.56 | 优 | 96.68 | 优 |
| | K3~K4 | 上行 | 92.16 | 优 | 91.18 | 良 | 92.18 | 优 | 94.12 | 优 | 93.29 | 优 |
| | K4~K5 | 上行 | / | / | 97.99 | 优 | 93.04 | 优 | 91.86 | 优 | 95.88 | 优 |
| | K5~K6 | 上行 | 98.32 | 优 | 98.56 | 优 | 93.73 | 优 | 91.07 | 优 | 95.18 | 优 |
| | K6~K7 | 上行 | / | / | 97.32 | 优 | 92.87 | 优 | 91.32 | 优 | 93.27 | 优 |

表 B.2 某高速公路沥青路面近 3 年路面技术状况（续）

| 年限 | 起止桩号 | 上/ 下行 | PSSI | | PCI | | RQI | | SRI | | RDI | |
|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 |
| 2022 年 | K7~K8 | 上行 | 97.16 | 优 | 98.12 | 优 | 93.44 | 优 | 91.96 | 优 | 93.88 | 优 |
| | K0~K1 | 下行 | / | / | 93.30 | 优 | 90.03 | 优 | 85.52 | 良 | 90.93 | 优 |
| | K1~K2 | 下行 | / | / | 91.88 | 良 | 90.87 | 优 | 89.84 | 良 | 90.71 | 优 |
| | K2~K3 | 下行 | / | / | 90.32 | 良 | 91.67 | 优 | 91.53 | 优 | 90.32 | 优 |
| | K3~K4 | 下行 | / | / | 90.61 | 良 | 91.57 | 优 | 91.12 | 优 | 90.65 | 优 |
| | K4~K5 | 下行 | 95.21 | 优 | 90.46 | 良 | 90.15 | 优 | 90.58 | 优 | 91.12 | 优 |
| | K5~K6 | 下行 | 93.76 | 优 | 92.70 | 优 | 90.64 | 优 | 90.51 | 优 | 90.45 | 优 |
| | K6~K7 | 下行 | / | / | 93.56 | 优 | 90.64 | 优 | 91.59 | 优 | 90.03 | 优 |
| K7~K8 | 下行 | / | / | 92.26 | 优 | 91.78 | 优 | 91.58 | 良 | 90.20 | 优 | |

B.2.1.5 所在区域气候和温度数据

该高速公路所在区域属于南亚热带季风气候区，长夏无冬，温差小，年平均气温22.4℃；最热月平均气温28.6℃，最冷月平均气温14.4℃，极端最高气温38.2℃，极端最低气温0.9℃。区域内湿润多雨，年平均降水量1788.9mm。全年主导风向为东北风，平均风速1.9m/s，最大风速20m/s。

B.2.1.6 所在区域常用的预防养护技术、实施效果及材料单价信息

该高速公路所在区域沥青路面常用的预防养护技术中，封层类主要有微表处，罩面类主要有超薄磨耗层以及就地热再生，其中微表处约50元/m²，超薄磨耗层约68元/m²，就地热再生约78元/m²，微表处、超薄磨耗层、就地热再生在区域内高速公路沥青路面的实施效果较好，能够改善现有沥青路面的路面破损、平整度及路面抗滑性能。

B.2.2 路面技术状况专项检测

该高速公路2023年沥青路面专项检测及评价结果如下表B.3所示。

表 B.3 某高速公路沥青路面技术状况专项检测结果

| 起止桩号 | 上/下行 | PSSI | | PCI | | RQI | | SRI | | RDI | |
|-------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 | 检测 结果 | 评价 结果 |
| K0~K1 | 上行 | 96.76 | 优 | 93.23 | 优 | 92.15 | 优 | 90.86 | 优 | 95.32 | 优 |
| K1~K2 | 上行 | 96.18 | 优 | 96.54 | 优 | 92.12 | 优 | 94.32 | 优 | 95.46 | 优 |
| K2~K3 | 上行 | 97.45 | 优 | 98.76 | 优 | 92.18 | 优 | 92.78 | 优 | 94.36 | 优 |
| K3~K4 | 上行 | 92.15 | 优 | 90.78 | 良 | 91.86 | 优 | 93.56 | 优 | 92.78 | 优 |
| K4~K5 | 上行 | 94.56 | 优 | 95.89 | 优 | 92.15 | 优 | 91.56 | 优 | 94.32 | 优 |
| K5~K6 | 上行 | 97.16 | 优 | 97.32 | 优 | 92.78 | 优 | 90.56 | 优 | 94.75 | 优 |
| K6~K7 | 上行 | 96.34 | 优 | 92.12 | 优 | 91.05 | 优 | 91.87 | 优 | 92.54 | 优 |
| K7~K8 | 上行 | 96.54 | 优 | 97.60 | 优 | 92.78 | 优 | 91.32 | 优 | 92.56 | 优 |

表 B.3 某高速公路沥青路面技术状况专项检测结果（续）

| 起止桩号 | 上/下行 | PSSI | | PCI | | RQI | | SRI | | RDI | |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | 检测结果 | 评价结果 | 检测结果 | 评价结果 | 检测结果 | 评价结果 | 检测结果 | 评价结果 | 检测结果 | 评价结果 |
| K0~K1 | 下行 | 93.40 | 优 | 93.10 | 优 | 90.00 | 优 | 93.65 | 优 | 90.18 | 优 |
| K1~K2 | 下行 | 92.18 | 优 | 91.32 | 良 | 90.56 | 优 | 91.64 | 优 | 90.15 | 优 |
| K2~K3 | 下行 | 91.67 | 优 | 88.42 | 良 | 86.12 | 良 | 86.54 | 良 | 85.33 | 良 |
| K3~K4 | 下行 | 90.56 | 优 | 89.21 | 良 | 85.18 | 良 | 86.35 | 良 | 85.16 | 良 |
| K4~K5 | 下行 | 94.25 | 优 | 86.52 | 良 | 85.03 | 良 | 85.34 | 良 | 89.34 | 良 |
| K5~K6 | 下行 | 92.68 | 优 | 92.12 | 优 | 90.03 | 良 | 92.36 | 优 | 89.67 | 良 |
| K6~K7 | 下行 | 92.15 | 优 | 92.58 | 优 | 90.32 | 优 | 91.24 | 优 | 90.00 | 优 |
| K7~K8 | 下行 | 92.56 | 优 | 91.18 | 良 | 90.56 | 优 | 90.36 | 中 | 90.50 | 良 |

通过现场调查发现，该高速公路沥青路面病害相对较少，路面典型病害为横向裂缝、坑槽、龟裂等。

B.3 路段选择

根据该高速公路沥青路面表B.3专项检测结果，按照6.1的规定，选择预防养护路段，路面状况技术指标及预防养护路段选择桩号如下表B.4所示：

表 B.4 某高速公路沥青路面预防养护路段选择

| 路段 | 检验指标 | 判断指标 | 专项检测结果 | 触发技术指标 |
|----------|-------------------------------|---|--|--------|
| K2~K3 下行 | $85 \leq \text{PSSI} \leq 90$ | $85 \leq \text{PCI} \leq 90, \text{RQI} > 80$ | $\text{PSSI}=91.67, \text{PCI}=88.42, \text{RQI}=86.12$ | PCI |
| K3~K4 下行 | $85 \leq \text{PSSI} \leq 90$ | $85 \leq \text{PCI} \leq 90, \text{RQI} > 80$ | $\text{PSSI}=90.56, \text{PCI}=89.21, \text{RQI}=85.18,$ | PCI |

B.4 预防养护方案设计

B.4.1 预防养护技术分析

根据选择的预防养护路段路面状况、交通荷载等级，按照7.1.1、7.1.2的规定，预防养护技术可以选择封层类中的微表处和复合封层，罩面类和就地热再生。结合项目区域内常用的预防养护技术及实施效果，初拟三种预防养护方案即微表处、超薄磨耗层和就地热再生。根据7.1.3的规定，微表处预期使用年限取3年，超薄磨耗层预期使用年限取4年，就地热再生预期使用年限取3年。

B.4.2 预防养护工程方案确定

按照7.2.1的规定，基于寿命周期理念，采用效益费用分析方法，遵循效益费用比最大的原则确定该高速公路K2~K4下行的预防养护工程方案。

B.4.2.1 使用性能预测

(1) 分析期确定

根据7.2.2规定分析期取5年即2023年~2027年。

(2) 使用性能预测指标的选择

根据7.2.4规定，路面使用性能预测指标选择PCI。

(3) 使用性能预测模型的选择

通过分析发现K2~K4下行段近3年PCI的衰变规律为先慢后快，根据7.2.5规定，性能预测模型采用修正S曲线模型。

(4) 使用性能预测模型参数的确定

根据7.2.6的规定，未实施预防养护的使用性能预测模型参数采用excel中的规划求解工具求解，如下表B.5所示。

表 B.5 K2~K4 下行段未实施预防养护的使用性能预测模型参数

| 段落 | 2020 年 | 2021 年 | 2022 年 | 专项检测 | α_0 | α_1 |
|----------|--------|--------|--------|-------|------------|------------|
| K2~K3 下行 | 92.15 | 91.56 | 90.32 | 88.72 | 0.0808 | 0.1710 |
| K3~K4 下行 | 93.74 | 91.59 | 90.61 | 89.21 | | |
| 平均值 | 92.95 | 91.58 | 90.47 | 88.97 | | |

根据7.2.6的规定，实施预防养护的使用性能预测模型参数根据微表处、超薄磨耗层和就地热再生三种预防养护技术实施后路面使用性能达到的水平、预防养护技术使用期末路面使用性能水平采用excel中的规划求解工具求解。其中，根据7.2.6表4的规定，2023年采用微表处时PCI为98，采用超薄磨耗层、就地热再生时PCI为99，使用期末PCI取该段实施预防养护前原路面的PCI，如下表B.6所示。

表 B.6 K2~K4 下行段实施预防养护的使用性能预测模型参数

| 段落 | 2023 年 | 2026 年 | 2027 年 | α_0 | α_1 |
|-------|--------|--------|--------|------------|------------|
| 微表处 | 98 | 88.97 | - | 0.0007 | 0.6348 |
| 超薄磨耗层 | 99 | - | 88.97 | 0.0003 | 0.6652 |
| 就地热再生 | 99 | 88.97 | - | 0.0001 | 0.8293 |

(5) 使用性能预测

分析期内沥青路面未实施预防养护的PCI预测模型如下式B.1所示：

$$PCI = \frac{100-40}{1+0.0808 \times e^{0.1710 \times T}} + 40 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

根据式B.1预测K2~K4下行沥青路面分析期内未实施预防养护的PCI，其中预测模型中T根据本项目通车运营时间（2018年）和分析期时间（2023年~2027年）确定。K2~K4下行沥青路面分析期内未实施预防养护的路面PCI预测结果如下表B.7所示。

表 B.7 K2~K4 下行段分析期沥青路面未实施预防养护的性能预测结果

| 路面技术指标 | 专项检测 | 2024 年 | 2025 年 | 2026 年 | 2027 年 |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| PCI | 88.97 | 87.34 | 85.55 | 83.59 | 81.37 |

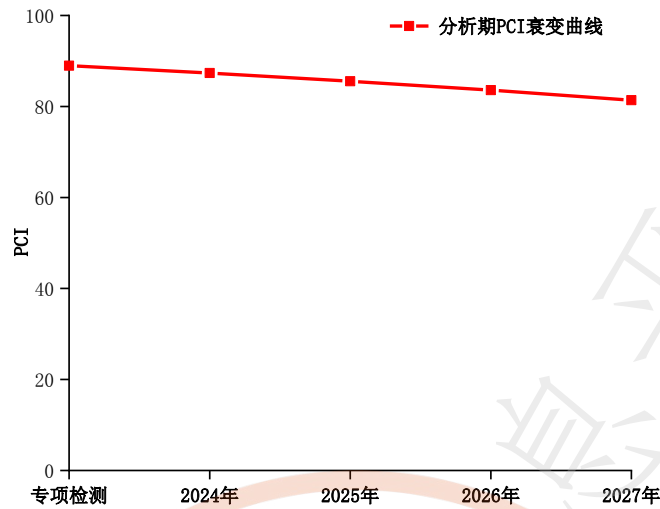


图 B.1 K2~K4 下行段分析期沥青路面未实施预防养护 PCI 预测图

分析期沥青路面实施微表处的PCI预测模型如下式B.2所示：

$$PCI = \frac{100-40}{1+0.0007 \times e^{0.6348 \times T}} + 40 \dots\dots\dots (B.2)$$

根据式B.2预测K2~K4下行沥青路面分析期内实施微表处的PCI，其中预测模型中T根据本项目通车运营时间（2018年）和分析期（2023年~2027年）确定。K2~K4下行沥青路面分析期内实施微表处的路面PCI预测结果如下表B.8所示。

表 B.8 K2~K4 下行段分析期沥青路面实施微表处路面 PCI 预测结果

| 路面技术指标 | 专项检测 | 2023 年 | 2024 年 | 2025 年 | 2026 年 | 2027 年 |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PCI | 88.97 | 98.05 | 96.43 | 93.59 | 88.96 | 82.09 |

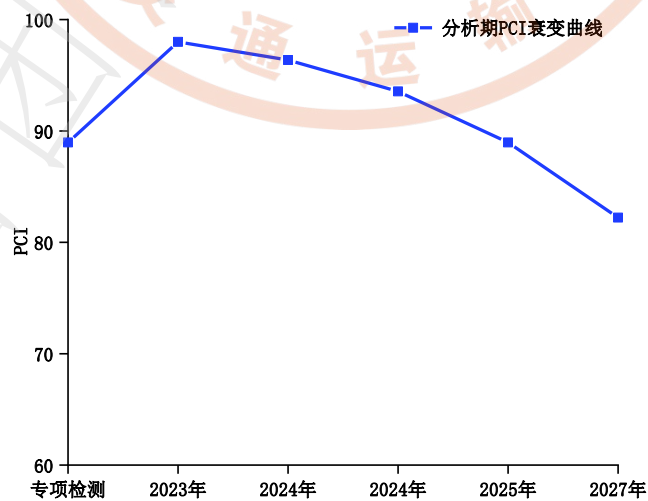


图 B.2 K2~K4 下行段分析期沥青路面实施微表处 PCI 预测图

分析期沥青路面实施超薄磨耗层的PCI预测模型如下式所示：

$$PCI = \frac{100-40}{1+0.0003 \times e^{0.6652 \times T}} + 40 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

根据式B.3预测K2~K4下行沥青路面分析期内实施超模磨耗层的PCI，其中预测模型中T根据本项目通车运营时间（2018年）和分析期（2023年~2027年）确定。K2~K4下行沥青路面分析期内实施超薄磨耗层的路面PCI预测结果如下表B.9所示。

表 B.9 K2~K4 下行段分析期沥青路面实施超薄磨耗层路面 PCI 预测结果

| 路面技术指标 | 专项检测 | 2023 年 | 2024 年 | 2025 年 | 2026 年 | 2027 年 |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PCI | 88.97 | 99.07 | 98.22 | 96.63 | 93.77 | 88.96 |

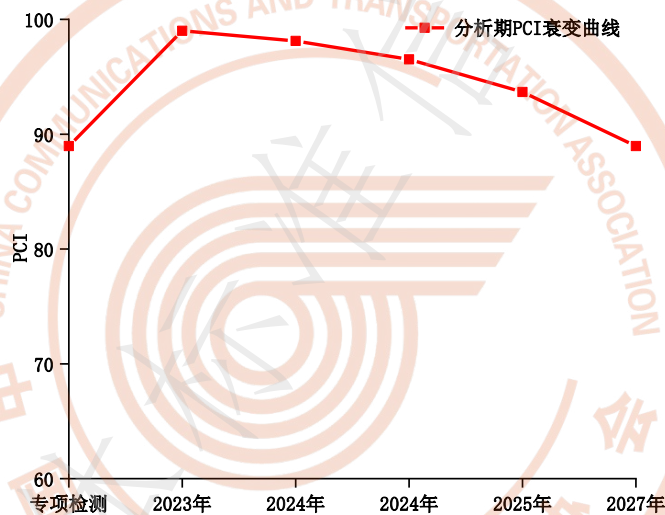


图 B.3 K2~K4 下行段分析期沥青路面实施超薄磨耗层 PCI 预测图

分析期沥青路面实施就地热再生的PCI预测模型如下式所示：

$$PCI = \frac{100-40}{1+0.0001 \times e^{0.8293 \times T}} + 40 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

根据式B.3预测K2~K4下行沥青路面分析期内实施就地热再生的PCI，其中预测模型中T根据本项目通车运营时间（2018年）和分析期（2023年~2027年）确定。K2~K4下行沥青路面分析期内实施就地热再生的路面PCI预测结果如下表B.9所示。

表 B.10 K2~K4 下行段分析期沥青路面实施就地热再生路面 PCI 预测结果

| 路面技术指标 | 专项检测 | 2023 年 | 2024 年 | 2025 年 | 2026 年 | 2027 年 |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PCI | 88.97 | 99.01 | 97.74 | 94.81 | 88.97 | 81.08 |

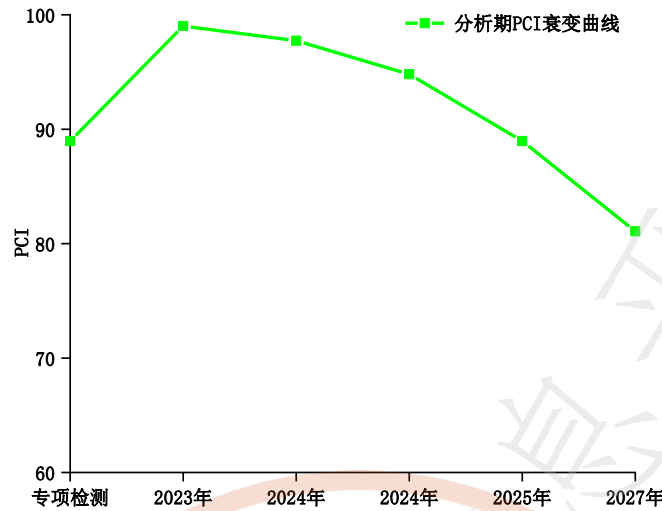


图 B.4 K2~K4 下行段分析期沥青路面实施就地热再生 PCI 预测图

B.4.4.2 全寿命周期效益费用计算

采用附录A中式A.2和式A.3分别计算采用微表处、超薄磨耗层和就地热再生时分析期的养护效益和费用现值。

(1) 微表处

分析期养护效益按照附录A中式A.2计算，具体如下所示：

$$\begin{aligned}
 E_i &= \int_{x_1}^{x_2} |Q_s(i) - P_s(i)| dx \\
 &= \int_{2023}^{2027} \left[\left(\frac{100 - 40}{1 + 0.0007 \times e^{0.6348 \times T}} + 40 \right) - \left(\frac{100 - 40}{1 + 0.0808 \times e^{0.1710 \times T}} + 40 \right) \right] dT \\
 &= \left[(98.05 + 96.43) \times \frac{(2024 - 2023)}{2} + (96.43 + 93.59) \times \frac{(2025 - 2024)}{2} + (93.59 + 88.96) \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{(2026 - 2025)}{2} + (88.96 + 82.09) \times \frac{(2027 - 2026)}{2} \right] \\
 &\quad - \left[(88.97 + 87.34) \times \frac{(2024 - 2023)}{2} + (87.34 + 85.55) \times \frac{(2025 - 2024)}{2} \right. \\
 &\quad \left. + (85.55 + 83.59) \times \frac{(2026 - 2025)}{2} + (85.59 + 81.47) \times \frac{(2027 - 2026)}{2} \right] \\
 &= 369.05 - 341.69 \\
 &= 27.36
 \end{aligned}$$

分析期费用现值按照附录A中式A.3计算，计算过程中贴现率取4%，微表处预期使用年限为3年，如下所示。

$$\begin{aligned}
 PWC_i &= \frac{C_i}{(1+r)^n} - SV_i \times \left(\frac{1}{1+r} \right)^N = \frac{C_i}{(1+r)^n} - C_i \times \left(1 - \frac{L_N}{L_E} \right) \times \left(\frac{1}{1+r} \right)^N \\
 &= \frac{50}{(1+0.04)^0} - 50 \times \left(1 - \frac{3}{3} \right) \times \left(\frac{1}{1+0.04} \right)^5 \\
 &= 50
 \end{aligned}$$

采用微表处时效益费用比按照附录A中式A.1计算，具体如下所示：

$$BCR_i = \frac{E_i}{PWC_i} = \frac{27.36}{50} = 0.5472$$

(2) 超薄磨耗层

分析期养护效益按照附录A中式A.2计算，具体如下所示：

$$\begin{aligned} E_i &= \int_{x_1}^{x_2} |Q_S(i) - P_S(i)| dx \\ &= \int_{2023}^{2027} \left[\left(\frac{100 - 40}{1 + 0.0003 \times e^{0.6652 \times T}} + 40 \right) - \left(\frac{100 - 40}{1 + 0.0808 \times e^{0.1710 \times T}} + 40 \right) \right] dT \\ &= \left[(99.07 + 98.22) \times \frac{(2024 - 2023)}{2} + (98.22 + 96.63) \times \frac{(2025 - 2024)}{2} + (96.63 + 93.77) \right. \\ &\quad \times \frac{(2026 - 2025)}{2} + (93.77 + 88.96) \times \frac{(2027 - 2026)}{2} \\ &\quad \left. - \left[(88.97 + 87.34) \times \frac{(2024 - 2023)}{2} + (87.34 + 85.55) \times \frac{(2025 - 2024)}{2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (85.55 + 83.59) \times \frac{(2026 - 2025)}{2} + (83.59 + 81.47) \times \frac{(2027 - 2026)}{2} \right] \right] \\ &= 382.63 - 341.69 \\ &= 40.94 \end{aligned}$$

分析期费用现值按照附录A中式A.3计算，具体如下所示。计算过程中，贴现率取4%，超薄磨耗层预期使用年限为4年。

$$\begin{aligned} PWC_i &= \frac{C_i}{(1+r)^n} - SV_i \times \left(\frac{1}{1+r} \right)^N = \frac{C_i}{(1+r)^n} - C_i \times \left(1 - \frac{L_N}{L_E} \right) \times \left(\frac{1}{1+r} \right)^N \\ &= \frac{68}{(1+0.04)^0} - 50 \times \left(1 - \frac{4}{4} \right) \times \left(\frac{1}{1+0.04} \right)^5 \\ &= 68 \end{aligned}$$

采用微表处时效益费用比按照附录A中式A.1计算，具体如下所示：

$$BCR_i = \frac{E_i}{PWC_i} = \frac{40.94}{68} = 0.6020$$

(3) 就地热再生

分析期养护效益按照附录A中式A.2计算，具体如下所示：

$$\begin{aligned} E_i &= \int_{x_1}^{x_2} |Q_S(i) - P_S(i)| dx \\ &= \int_{2023}^{2027} \left[\left(\frac{100 - 40}{1 + 0.0001 \times e^{0.8293 \times T}} + 40 \right) - \left(\frac{100 - 40}{1 + 0.0808 \times e^{0.1710 \times T}} + 40 \right) \right] dT \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left[(99.01 + 97.70) \times \frac{(2024 - 2023)}{2} + (97.70 + 94.81) \times \frac{(2025 - 2024)}{2} + (94.81 + 88.97) \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{(2026 - 2025)}{2} + (88.97 + 81.08) \times \frac{(2027 - 2026)}{2} \right] \\
 &\quad - \left[(88.97 + 87.34) \times \frac{(2024 - 2023)}{2} + (87.34 + 85.55) \times \frac{(2025 - 2024)}{2} \right. \\
 &\quad \left. + (85.55 + 83.59) \times \frac{(2026 - 2025)}{2} + (85.59 + 81.47) \times \frac{(2027 - 2026)}{2} \right] \\
 &= 371.52 - 341.69 \\
 &= 29.83
 \end{aligned}$$

分析期费用现值按照附录A中式A.3计算，具体如下所示。计算过程中，贴现率取4%，就地热再生预期使用年限为3年。

$$\begin{aligned}
 PWC_i &= \frac{C_i}{(1+r)^n} - SV_i \times \left(\frac{1}{1+r}\right)^N = \frac{C_i}{(1+r)^n} - C_i \times \left(1 - \frac{L_N}{L_E}\right) \times \left(\frac{1}{1+r}\right)^N \\
 &= \frac{78}{(1+0.04)^0} - 50 \times \left(1 - \frac{3}{3}\right) \times \left(\frac{1}{1+0.04}\right)^5 \\
 &= 78
 \end{aligned}$$

采用就地热再生时效益费用比按照附录A中式A.1计算，具体如下所示：

$$BCR_i = \frac{E_i}{PWC_i} = \frac{29.83}{78} = 0.3824$$

B.4.4.3 预防养护工程方案确定

根据上述计算结果，采用微表处、超薄磨耗层和就地热再生时的养护效益、费用现值及效益费用比如下表B.11所示。

表 B.11 某高速公路不同设计单元不同预防养护实施方案效益费用比

| 方案 | 分析期养护效益 | 分析期费用现值 | 分析期效益费用比 |
|-------|---------|---------|----------|
| 微表处 | 27.36 | 50 | 0.5472 |
| 超薄磨耗层 | 40.94 | 68 | 0.6020 |
| 就地热再生 | 29.83 | 78 | 0.3824 |

根据7.2.7规定养护工程方案的确定应遵循效益费用比最大的原则，该高速公路采用超薄磨耗层时分析期效益费用比最大，因此该高速公路K2~K4下行段2023年沥青路面预防养护采用超薄磨耗层。

B.5 原路面病害处治方案

本项目路面典型病害为横向裂缝、坑槽、龟裂，处治方案根据8.2、8.3和8.5确定。

B.6 材料组成设计

本项目采用的超薄磨耗层，SBS改性AC-13C、AC-16、AC-20及水泥稳定碎石等材料的原材料、混合料技术要求应符合JTG/T 5142-01、JTG F40的规定。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20001.7 标准编写规则 第7部分：指南标准
- [2] T/CECS G:M10-01 公路养护决策技术规程
- [3] T/CHTS 10094 高速公路养护规划编制指南







