

Study on Preventive Maintenance Index and Measures Decision-Making of Asphalt Pavement of Expressway

Chen Yan^{1*}, Zhenxiang Zhu¹, Yan Li¹, Jiangtao Lin^{2#}, Liang Fan²

¹Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan Shandong

²Key Laboratory for Road Structure and Material of Shandong Province, Shandong Transportation Institute, Jinan Shandong

Email: uk_yan@126.com, #linjiangtaokeyan@126.com

Received: Jan. 27th, 2020; accepted: Feb. 12th, 2020; published: Feb. 19th, 2020

Abstract

Preventive maintenance of pavement can prolong the service life of pavement, improve the quality of road service and prolong the period of intermediate or major repairs. The determination of preventive maintenance index and the decision-making of corresponding measures are the advance of implementing preventive maintenance. Based on the Shandong Province highway detection data and the research status of preventive maintenance indicators at home and abroad, this paper discusses the selection principles of preventive maintenance indicators. It is reasonable to select PCI, RQI, RI and anti-skid performance indicators as preventive maintenance indicators, and their respective ranges are studied. Finally, according to the overall analysis data, the existing project validation and the existing research data, the preventive maintenance index system suitable for Shandong area is put forward. Under the premise of PSSI > 80, the index system regards PCI value of pavement condition damage index as the first standard, RQI, RDI and SFC as the second index, and the second index is the judgment standard under meeting the first standard.

Keywords

Expressway, Asphalt Pavement, Preventive Maintenance, Pavement Technical Index, Sliding Resistance

高速公路沥青路面预防性养护指标及措施决策研究

闫晨^{1*}, 朱振祥¹, 李燕¹, 林江涛^{2#}, 樊亮²

*第一作者。

#通讯作者。

¹山东高速股份有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东省道路结构与材料重点实验室, 山东 济南

Email: uk_yan@126.com, "linjiangtaokeyan@126.com

收稿日期: 2020年1月27日; 录用日期: 2020年2月12日; 发布日期: 2020年2月19日

摘要

路面预防性养护可以达到延长路面使用寿命、提高道路服务质量、延长中修或大修期限的目的, 而预防性养护指标的确定及相应措施决策是实施预防性养护的前提。本文依据山东省高速公路检测数据以及国内外对于预防性养护指标研究状况, 对预防性养护指标的选取原则进行了论述。分析认为, 选取路面PCI、RQI、RI及抗滑性能指标作为预防性养护指标是合理的, 并且对上述指标范围进行了研究。最终依据整体分析数据、已有工程验证及现有研究资料, 最终提出适用于山东地区的预防性养护指标体系。在PSSI > 80的前提下, 该指标体系以路面状况损坏指数PCI值作为第一类标准, 以RQI、RDI及SFC为第二类指标, 第二类指标是在满足第一类标准下的判断性标准。

关键词

高速公路, 沥青路面, 预防性养护, 路面技术指标, 抗滑性能

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

预防性养护是在道路发生结构性破坏之前或路面病害发生初期, 对其采取的养护措施。它可以阻止道路病害向深层次发展, 从而达到延长路面使用寿命、提高道路服务质量、延长中修或大修期限的目的[1]。预防性养护理念引进我国已经近 30 余年, 目前对于其大致思路已经基本达成共识, 即首先, 需要选择合适的路面, 即需要确定预防性养护指标体系, 以判断区别预防性养护与其他养护需求; 其次, 需要选择合适的措施, 即需要确定综合路况、环境、工程技术、经济等多重因素条件下的预防性养护措施; 最后, 确定预防性养护实施的最佳时机[2]-[7]。

当前国外众多的研究者, 通过路面使用性能的功能性建立了预防性养护指标体系, 整体基本概括为渗水性能、路面抗滑、车辙、沥青老化及平整度等指标[8] [9] [10] [11] [12], 部分地区也已经形成自己的预防性养护指南或标准, 但是由于不同地区路面不同的结构类型和交通特性以及相关分析数据的匮乏, 导致沥青路面预防性养护具有不可移植性, 因此关于预防性养护时机及相应指标的触发值争议巨大, 目前都尚未形成统一的认识。实际上, 一方面大家都认识到预防性养护的重要性, 另一方面又没有相关统一标准及依据对预防性养护指标及触发值确定进行明确说明; 加之, 预防性养护是指在路面良好的情况下进行的养护, 这就导致在现行公路养护评定及管理制度、资金分配及理念等一系列问题下, 极大限制了预防性养护技术在我国的应用与发展, 上述矛盾导致现在高速公路养护依旧以大中修养护占据绝对比例, 致使路面错过最佳养护时期, 给国家造成重大的经济与社会损失。基于上述现状, 本文在相应研究基础上, 依据山东省高速公路路网级检测数据及预防性养护试验段性能跟踪情况, 对适用于山东地区高

速公路预防性养护指标及措施选择进行了论述, 为以后制定实施科学的预防性养护提供一定的依据。

2. 数据来源

本次采集数据包括山东省境内京沪高速、京台高速、威乳高速、潍莱高速、青银高速、绕城高速等 11 条高速公路, 数据采集里程按照分车道进行计算, 共计 5244.0 公里, 见表 1。

Table 1. Expressway tested

表 1. 检测的高速公路

序号	高速公路编号	高速公路名称	分车道里程(km)
1	G2	京沪高速	456
2	G3	京台高速	2022
3	G3w	德上高速	68
4	G20	青银高速	528
5	G35	济广高速	36
6	G1511	日兰高速	244
7	G2001	绕城高速	378
8	S11	烟海高速	316
9	S24	威青高速	568
10	S16	荣潍高速	280
11	S38	枣临高速	348
合计(km)		5244.0	

3. 预防性养护指标

3.1. 预防性养护指标选取原则

预防性养护指标是实施预防性养护的前提, 从目前国内外应用情况来看, 主要分为两类: 1) 由路面使用性能综合评价指标组成的指标体系; 2) 由路面使用性能综合评价指标体系和单项性能指标体系组成的指标体系。从实际使用效果来看, 第一类指标简单明了, 但是涵盖面小, 不利于进行预防性养护对策的制定; 第二类指标, 涵盖内容较为全面, 有利于针对性制定预防性养护对策[13]。

良好的预防性养护指标体系应满足以下条件[14]: 1) 具有可测量性, 指标数据可随着路龄的增长持续跟踪观测; 2) 能够反映路面使用性能状况, 特别是实际路用功能; 3) 指标应随着预防性养护措施的应用发生改变。

目前, 我国现行公路状况评定标准[15]包含 5 个分项指标, 它们分别是路面结构强度指数 PSSI、路面状况损坏指数 PCI、路面行驶质量指数 RQI、路面车辙深度指数 RDI、路面抗滑性能指数 SRI, 上述 5 项指标从不同的方面反映了路面的性能水平。RQI、RDI、PCI、SRI、PSSI 等指标作为高速公路日常检测的一部分, 上述数据获取完善、简单、有效。因此, 将上述几项指标作为预防性养护指标是合理的并且可操作性强。本文以高速公路检测数据为基础, 结合已有预防性养护研究成果及试验段跟踪数据情况对各个指标作用、阈值进行论述。

3.2. 各个指标值域范围确定

3.2.1. PCI 指标范围确定

笔者对山东省内的 11 条高速公路, 共计 5244.0 km 路面破损率检测数据进行统计分析。鉴于山东高

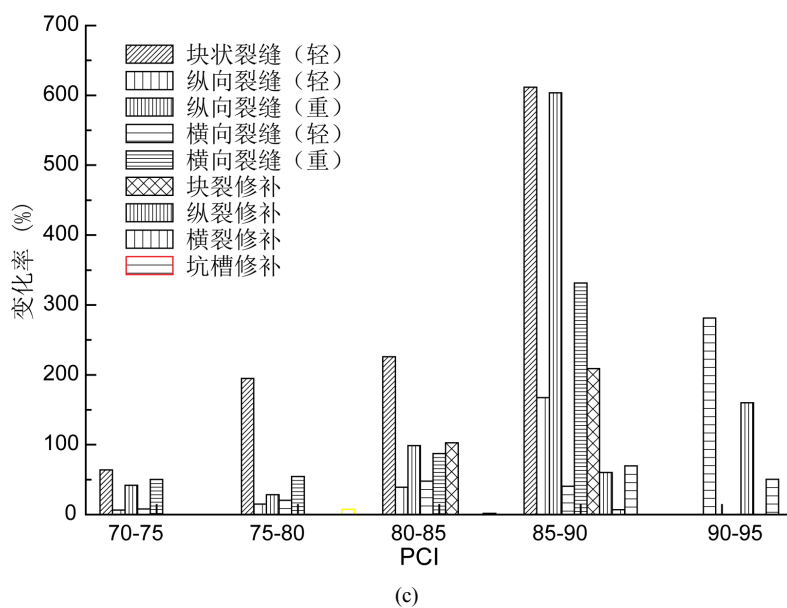
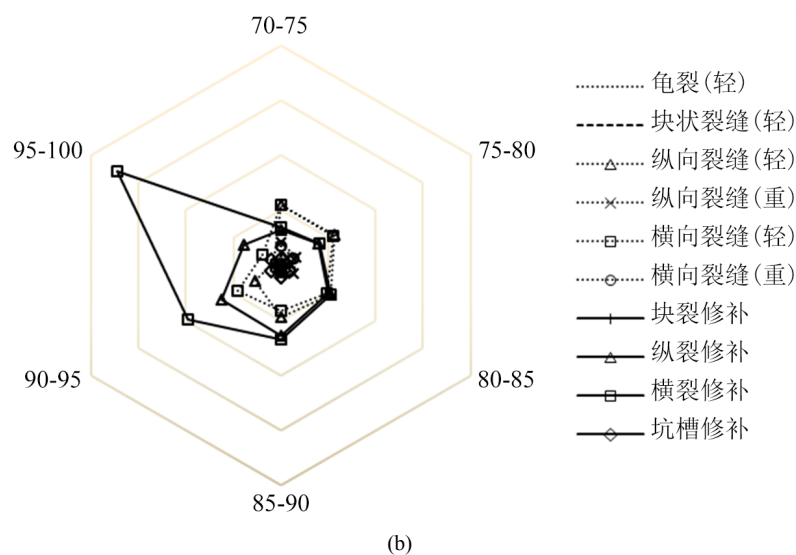
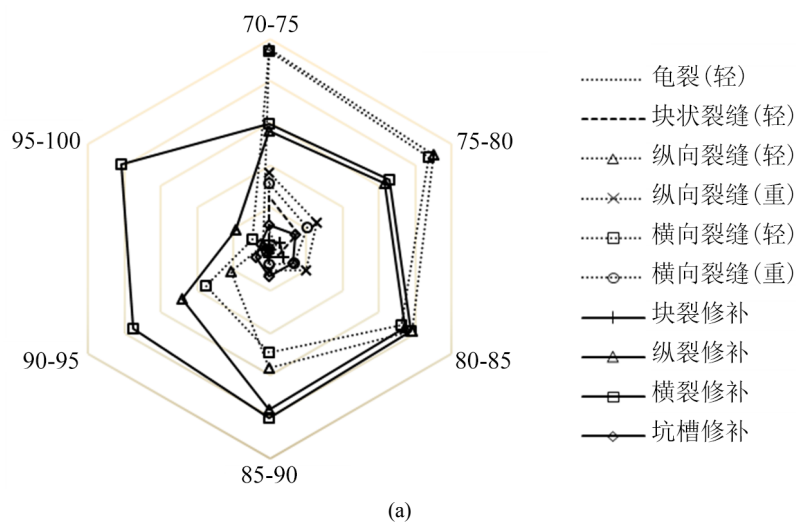
速公路管理养护及预防性养护现状,对于路面 PCI 指标低于 70 或者 PCI 等于 100 的路面不计入统计分析范围,统计分析所用 PCI 数据为 100 m 检测数据。

在分析汇总之前,为下文方便叙述,首先对三个指标进行定义:1) 病害覆盖率:在统计 PCI 值域范围内,发生某种病害的百米段数量与百米段数量的比值,该指标体现某种病害的普遍程度;2) 平均病害种类:在统计 PCI 值域范围内,各个百米段病害种类累计值与百米段数量的比值,该指标体现了路段内病害表现形式的多寡程度;3) 病害种类贡献率:统计 PCI 值域范围内,各个百米段某种病害种类累计值与所有病害种类累计值的比值,该指标体现了某种病害在所统计单元内病害种类数量上所占的比重。上述三项指标都是统计意义上的数量指标,它们与 PCI 指标相互补充,可以从不同的方面反映路面实际状况,汇总数据见表 2。

表 2 显示,路面病害存在类型最多的是纵向裂缝、横向裂缝及相应病害修补,龟裂、坑槽、松散、沉陷、波浪拥包、泛油及修补等病害数量极少;路面平均病害种类随着 PCI 值域的不断减小而增大,PCI 指标处于 95~100 时为 1.2,PCI 指标处于 70~75 时达到 4.5。

Table 2. Statistics of pavement diseases
表 2. 路面病害统计情况

项次	项目(个)	PCI 值域					
		70~75	75~80	80~85	85~90	90~95	95~100
1	百米段数量	470	1107	2566	4626	9469	7759
2	龟裂(轻)	41	40	78	85	89	16
3	龟裂(中)	0	0	2	0	0	0
4	龟裂(重)	0	0	1	0	0	0
5	块状裂缝(轻)	117	168	132	73	21	3
6	块状裂缝(重)	5	6	4	0	0	0
7	纵向裂缝(轻)	450	998	2013	2607	1996	279
8	纵向裂缝(重)	171	284	512	464	135	3
9	横向裂缝(轻)	445	970	1866	2276	3317	713
10	横向裂缝(重)	148	232	348	335	159	17
11	坑槽(轻)	7	19	26	33	11	5
12	坑槽(重)	0	0	0	1	0	0
13	松散(轻)	10	20	21	25	11	6
14	松散(重)	0	1	0	1	0	1
15	沉陷(轻)	0	1	0	1	0	0
16	沉陷(重)	0	0	0	0	0	0
17	波浪拥包(轻)	0	0	0	0	0	0
18	波浪拥包(重)	0	0	0	0	0	0
19	泛油	0	0	0	2	2	0
20	修补	0	0	0	0	0	0
21	龟裂修补	6	11	16	64	66	2
22	块裂修补	19	63	190	169	112	13
23	纵裂修补	265	699	1903	3542	4527	1427
24	横裂修补	281	732	2001	3723	7124	6318
25	坑槽修补	53	157	338	599	723	394
26	病害种类汇总	2018	4401	9451	14,000	18,293	9197
27	平均病害个数	4.5	4.2	3.5	2.9	1.7	1.2



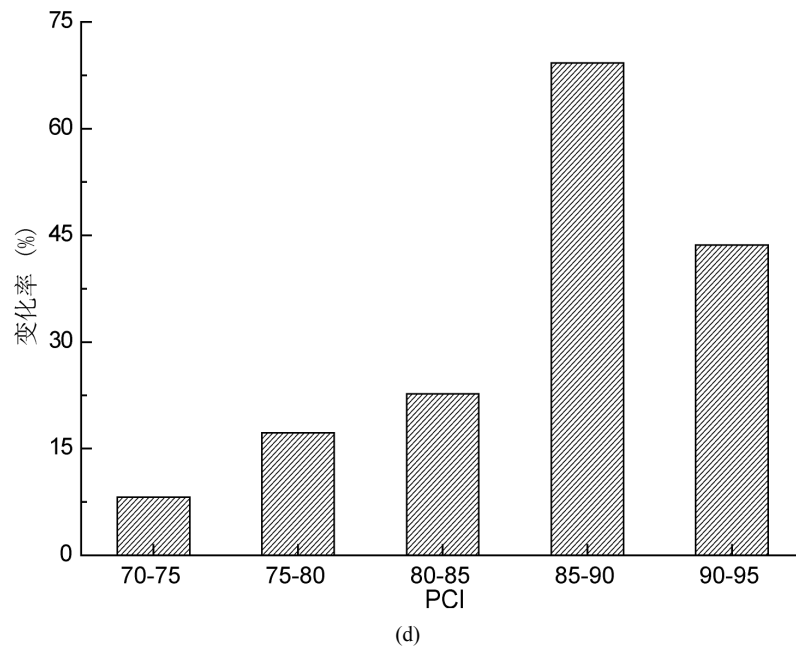


Figure 1. Analysis of relevant parameters of pavement diseases. (a) Radar distribution of disease coverage; (b) Radar distribution of disease contribution rate; (c) Change rate of main disease coverage; (d) Change rate of average disease species
图 1. 路面病害相关参数分析。(a) 病害覆盖率雷达分布图; (b) 病害种类贡献率雷达分布图; (c) 主要病害覆盖率变化率情况; (d) 平均病害种类变化率

图 1(a)显示, 病害种类覆盖率最大是横裂修补、纵裂修补、纵向裂缝(轻)、横向裂缝(轻)等 4 种病害, 纵向裂缝(重)、横向裂缝(重)、块状裂缝(轻)及坑槽修补等相对次之, 其他类型病害最少; 不同的 PCI 值域范围内, 每种病害的覆盖率是不尽相同的, 当 PCI 值域大于 80~85 时, 病害种类覆盖率从大到小依次是横裂修补、纵裂修补、横或纵向裂缝(轻); 当 PCI 值域小于 80~85 时, 病害种类覆盖率依次是纵向裂缝(轻)、横向裂缝(轻)、横裂修补、纵裂修补、纵向裂缝(重)、横向裂缝(重)。

图 1(b)显示, 病害种类贡献率最大的是横裂修补、纵裂修补、横向裂缝(轻)、纵向裂缝(轻)等 4 种病害, 其他类型病害的病害种类贡献率相对很小; 不同的 PCI 值域范围内, 每种病害的种类贡献率也是不尽相同的, 当 PCI 值域大于 80~85 时, 病害覆盖率从大到小依次是横裂修补、纵裂修补、横向或纵向裂缝(轻); 当 PCI 值域小于 80~85 时, 横向或纵向裂缝(轻)、横裂或纵裂修补。

通过以上数据表明以下几点: 1) 统计 PCI 值域范围内, 无论是病害种类覆盖率、病害种类贡献率, 占据绝对比例的是横裂修补、纵裂修补、横向裂缝(轻)及纵向裂缝(轻)等四种病害, 上述四种病害实际皆属于裂缝范畴, 其他病害类型所占比例较小或极少, 即山东地区高速公路病害的表现类型实际相对单一, 多以裂缝范畴的病害形式出现; 2) 以 PCI 值域 80~85 作为分界点, 横、纵裂修补与横、纵向裂缝(轻)数据大小存在明显转换。即, 当 PCI 值域大于 80~85 时, 病害种类覆盖率、贡献率以横、纵向裂缝的修补为主; 当 PCI 值域小于 80~85 时, 病害种类覆盖率、贡献率以横、纵向裂缝(轻)为主, 这一定程度上表明, 路面横向、纵向裂缝的出现速度高于路面裂缝的修补速度。

为进一步分析路面病害的演变情况, 我们将路面主要病害覆盖率的变化率、平均病害种类变化率进行了分析, 结果见图 1(c)、图 1(d), 结合路面病害覆盖率、贡献率等指标, 通过综合分析后得到路面病害演变阶段如下:

- 1) 病害演变阶段 I (90~95), 此阶段为轻微裂缝的发展最迅速阶段: 路面状态良好, 路面病害以横向

裂缝(轻)及相应修补为主,但裂缝种类、覆盖率迅速扩展,平均病害种类由 1.2 提高到 1.7,增加了 43.4%;横、纵向裂缝覆盖率由 95~100 时的 9.2%、3.6%迅速提高到 35.0%、21%,分别提高了 280.4%、483.3%。

2) 病害演变阶段 II (85~90),此阶段为病害种类及严重裂缝发展最迅速阶段:路面状态相对良好,路面病害以横向、纵向裂缝(轻)及相应修补为主,但是其他形式病害加快出现,严重病害种类、覆盖率迅速提高。平均病害种类由 1.7 提高到 2.9,增加了近 69.2%;横向裂缝(重)、纵向裂缝(重)由 90~95 时的 1.4%、1.7%分别提高到 7.2%、10%,分别提高了 415.2%、488.2%,即相对严重病害路面覆盖率迅速提高。

3) 病害演变阶段 III (80~85),此阶段为裂缝处置的转折阶段:路面状况进一步下降,横向、纵向裂缝(轻)及相应修补覆盖率、贡献率基本一致,裂缝的未修补量首次超过裂缝的修补量;严重病害种类进一步提高,横、纵向裂缝(重)、块状裂缝覆盖率分别由 85~90 时的 7.4%、10.2%、1.6%分别提高到 13.6%、20%、5.1%,分别提高了 83.7%、96.1%、218.8%。此时,路面常规的预防性养护技术(表处类)虽然短期可以显著提升路面 PCI 值,但是由于横、纵裂缝(重)等裂缝已经大量形成,裂缝等病害很快反射到表面,效果不佳,此时宜根据裂缝病害成因情况实施就地热再生或铣刨罩面。

综上所述,PCI 指标虽然是一项综合性评价指标,涵盖病害形式众多,但是对于路面预防性养护需求的路段来说,其路面病害的形式实际上是比较单一的,主要以裂缝范畴类病害为主。PCI 指标不同阶段可以明显的反应路面病害发展的复杂程度、严重程度。我们根据各个阶段的病害演变特点及各种预防性养护措施特点提出相应预防性养护指标,见表 3。

Table 3. PCI index and disease development trend

表 3. PCI 指标与病害发展趋势

值域范围	阶段	阶段特点	养护重点	适用预防性养护措施
90~95	I	路面状态良好,轻微裂缝发展最迅速阶段	对于微裂缝的防治	雾封层等涂层类技术
85~90	II	病害种类及严重裂缝类型发展最迅速阶段	对于微裂缝及相对严重裂缝范畴病害的综合防治	微表处、超薄罩面等表处类技术(厚度小于 2 cm)
80~85	III	未处置裂缝的覆盖率、贡献率超过裂缝修补,路面养护效果出现转折	路面整体性能的综合养护	就地热再生、铣刨罩面等

3.2.2. RQI 指标确定

RQI 反映路面为车辆提供快速、安全、舒适和经济性的能力,高速公路对平整度的要求要求高,施工质量好,保证了路面初始行驶舒适性,除非特重交通条件下,其衰减都是较慢的,本文参照目前公路沥青路面养护设计规范[16]要求,将 $RQI > 85$ 作为预防性养护的阈值。

3.2.3. RDI 指标确定

RDI 是反映路面车辙状态的指标,通常认为当路面车辙深度 $RD \leq 5 \text{ mm}$ 时,不需要进行车辙的修复,此时 $RDI \geq 90$;当路面车辙深度 $\geq 10 \text{ mm}$,即当 $RDI < 80$ 时,高速公路雨天行车危险性较高。因此,目前现行公路沥青路面养护设计规范及部分地方标准将 $RDI \geq 80$ 作为预防性养护的低限阈值[17] [18],但是不同的预防性养护技术对于车辙的处理的效果是不同的,含砂雾封层等涂层类技术不具备处理车辙效果,表处类等其他养护技术一般处理车辙深度在 15~25 mm。

根据上述情况,本文认为应以 RDI 为 90 作为分界值,当 $RDI \geq 90$ 时,适用于进行涂层类预防性养护技术; $RDI < 90$ 时,适用于进行表处类或其他中后期预防性养护技术,具体养护措施需要根据实际车辙深度及养护措施处置效果进行进一步确定。

3.2.4. 路面抗滑性指标

路面抗滑性能指数 SRI 代表了路面行驶安全性，它与路面 PCI、RDI 等指标关联性不大，作为独立指标存在。预防性养护技术之于路面抗滑性能主要考虑两个因素，一种是对路面抗滑功能的恢复，另外一种是在实施后应不降低或不明显降低路面抗滑效果。目前，除涂层类技术外(雾封层为代表)，其他预防性养护措施都具有抗滑功能修复的效果，因此预防性养护抗滑指标的阈值需要结合涂层类技术的效果及特点来进行确定。

2017 年度 7 月，课题组进行了涂层类预防性养护试验段铺筑，包括西尔玛雾封层(陶土、乳化沥青)、star-seal supreme 等 2 种技术；每种类型试验段长度都约为 1000 m，试验段原路面技术状况均为优。2 种表面封层技术都添加了玄武岩砂作为外加剂。施工均为双层施工，施工前后对路面构造深度、摆式摩擦进行了检测，施工两月后进行了路面横向力系数检测，试验结果见图 2、表 4。

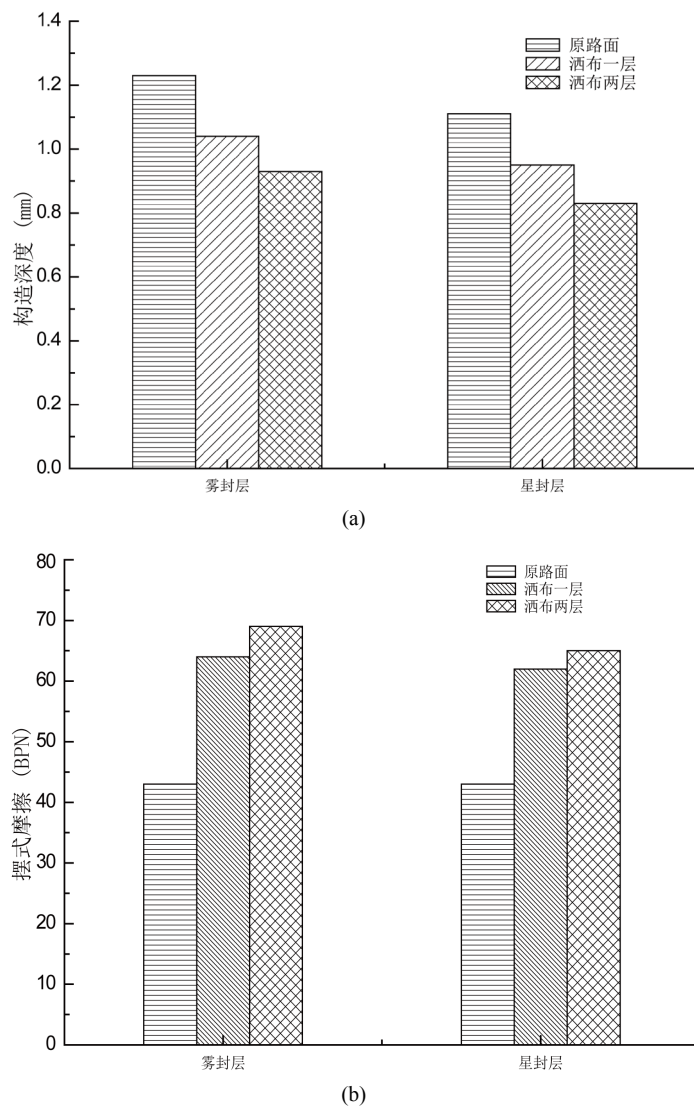


Figure 2. Inspection data before and after construction. (a) Change of coating structure depth; (b) Change of coating type tilting friction

图 2. 施工前后检测数据。(a) 涂层类构造深度变化；(b) 涂层类摆式摩擦变化

Table 4. Change of lateral force coefficient of pavement (100 measured data value)
表 4. 路面横向力系数变化情况(100 测定数据值)

序号	雾封层		star-seal supreme	
	实施前	60 d 后	实施前	60 d 后
1	52	50	53	54
2	51	49	53	52
3	53	49	54	51
4	54	50	59	54
5	58	61	59	57
6	58	62	57	59
7	58	61	62	58
8	62	59	62	56
9	62	59	61	58
10	61	64	54	54
代表值(SFC)	57	56	57	55

图 2 显示, 涂层类技术施工后, 路面构造深度均降低, 摆式摩擦系数升高; 两种涂层类技术洒布一层后, 路面构造深度分别降低 15.2%、14.5%, 摆式摩擦系数分别提高 44.8%、47.8%; 洒布两层后, 构造深度分别降低 28.9%、28.4%, 摆式摩擦系数分别提高 59.4%, 51.6%。

表 4 表明, 开放交通 60 天后, 实施涂层类技术的路段其横向力系数已经下降到原路面或相近路段水平。数据表明, 其横向力系数代表值比养护前分别下降了 1、2, 下降百分比分别为 1.7%、3.5%; 现场观测显示, 雾封层、star-seal supreme 材料仍然较好的附着、填充于路面表面及细小缝隙处, 但是最表面的材料已被磨损掉, 致使路面抗滑值恢复到的与原路面基本相当的水平。长安大学王朝辉[19]统计数据显示, 国内雾封层技术实施后, 路面抗滑性能平均降低约 7.3%, 但不同雾封层材料差异明显, 离散性大, 即对抗滑值的影响与材料、施工具有明显关系; 根据上述数据, 我们得到以下结论:

1) 含砂雾封层、star-seal supreme 等涂层类技术, 在开放交通初期可以明显提高路面的抗滑性能, 但是交通开放后, 路面抗滑性能衰减迅速, 直至下降到与原路面或附近未实施路段抗滑水平相当; 涂层类技术主要的作用在于防水、补充缺失的沥青胶浆以及延缓沥青膜的进一步剥落;

2) 在材料及施工质量良好的情况下, 雾封层技术能够很小程度降低路面抗滑性能, 考虑检测误差等因素, 甚至可以认为没有影响。

目前现行公路沥青路面养护设计规范规定路面摩擦性能用路面摩擦系数指数 $SRI < 75$ 作为预防性养护的标准, SRI 指标按式 1 进行计算:

$$SRI = \frac{100 - SRI_{\min}}{1 + a_0 e^{a_1 \cdot SFC}} \quad \text{式 1}$$

式 1 中: SFC 为横向力系数(Side-way Force Coefficient); SRI_{\min} 为标定参数, 采用 35.0; a_0 为模型参数, 采用 28.6; a_1 为模型参数, 采用 -0.105。

按照公式 1, 计算得到对应的路面横向力系数 SFC 为 37, 但是高速公路车辆行驶速度高, 为保证行驶安全性, 路面抗滑性能应满足更高的要求。表 5 为山东地区 4 条典型高速公路路面抗滑值检测数据, 其中 SFC 数据为 95%的置信度下路面横向力系数代表值; 由于每条高速车道数、交通流组成不同, 为有效比较, 表 5 中当量小客车交通量为折算到单车道、单方向当量交通量。结果表明, 在两年时间内各个

高速路面横向力系数 SFC 分别下降了 3、6、8、12，即不同交通量等级条件下路面抗滑代表值下降程度是不同的。因此，不同交通量等级的高速公路，可以设定不同的抗滑阈值。

每一种预防性养护技术都具有相应的预期使用寿命，通常期望涂层类技术的寿命为 1~2 年。结合前文论述的涂层类对路面抗滑的影响，综合考虑目前预防性养护现状及公路技术状况评定标准，本文将交通量较低的高速路面的横向力系数 SFC 阈值定为 45、交通量大路面的阈值系数 SFC 定为 48，其目的是保证涂层类技术应用于路面后，在涂层类技术预期寿命使用期间，路面抗滑性能保持相对良以上水平。

Table 5. Anti-skid attenuation results of expressway pavement

表 5. 高速公路路面抗滑衰减结果

高速项目	当量小客车交通量(辆/日)	2017 年度(SFC)	2019 年度(SFC)	差值
G3(威乳)	4255	58.3	55.1	-3
G1(济莱)	10507	56.2	50.2	-6
G2(绕城)	11682	58.6	50.8	-8
G4(京台)	17333	58.9	47.3	-12

4. 预防性养护指标及方案确定

根据前面论述的内容，本文提出预防性养护指标及对应的养护措施，见表 6。该指标体系首先以路面状况损坏指数 PCI 值作为第一类标准，以 RQI、RDI 及 SFC 为第二类指标，第二类指标是在满足第一类标准下的判断性标准。

Table 6. Preventive maintenance indexes and corresponding treatment measures

表 6. 预防性养护指标及对应处置措施

值域范围				建议养护类型
PCI	RQI	RDI	SFC	
≥90	≥90	≥90	>45 或 48	涂层类
	≥90	<90	<45 或 48	表处类
	85~90	—	—	表处类
	<85	—	—	铣刨或就地热再生
85~90	≥85	—	—	表处类
	<85	—	—	铣刨或就地热再生
<85	—	—	—	铣刨或就地热再生

需要指出的是，实施预防性养护的前提必须是路面强度满足要求，即 PSSI > 80；本文所提供指标为宏观路网级指标，用于路网养护计划、资金分配等决策分析；对于项目级预防性养护工程，还需要结合具体项目情况进行细化，例路面抗滑性能与实际高速公路线型、交通流组成、级配类型及原材料都有直接关系，抗滑性能阈值需要结合预计上述因素进行更为科学的确定。本文在目前已有数据基础上，提供一种预防性养护方案确定的思路与框架。本年度，山东高速股份公司按照该思路与框架进行了路网级预防性养护路段及处置措施的选择，目前调查结果显示，实际养护效果明显。

5. 结论

- 1) 山东地区路面病害覆盖率、贡献率以裂缝类范畴病害占据主导地位，其他病害种类相对较小或极

小。当 PCI 指标处于 90~95 时，微裂缝为发展最迅速阶段；当 PCI 指标处于 85~90 时，病害种类及严重裂缝类型为发展最迅速阶段；当 PCI 指标处于 80~85 时，未处置裂缝的覆盖率、贡献率超过裂缝修补，养护方式出现明显转折。

2) 涂层类技术可以短期内显著提高路面摆式摩擦系数 50%以上，降低构造深度 30%左右；但是抗滑功能维持时间短，在更长的使用期间对路面抗滑值影响程度较小，路面构造深度与路面抗滑性能无直接关系。

3) 路面抗滑性能预防性养护阈值应该根据交通量等级、预防性养护特点等因素综合考虑，可以根据自身特点采用不同的阈值。

4) 参照现行公路沥青路面养护设计规范及已有研究，提出了高速公路预防性养护指标、阈值及相应的养护措施。

基金项目

山东省技术创新项目(201731901168)；山东省交通科技项目(2012Y01)；山东省交通科技项目(2017B22)。

参考文献

- [1] AASHTO (2001) Pavement Management Guide. America Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] 李磊. 沥青路面预防性养护关键指标体系研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [3] 王颖. 浙江高速公路沥青路面预防性养护研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [4] 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.
- [5] 李小川. 高速公路项目级沥青路面预防性养护指标与决策研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2015.
- [6] 王丽君. 沥青路面预防性养护时机与对策一体优化研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2011.
- [7] 张逆. 沥青路面预防性养护关键指标临界范围浅析[J]. 公路交通技术, 2015(4): 72-74.
- [8] 董瑞琨, 孙立军, 彭勇, 等. 基于沥青路面功能性能的预防性养护时机指标[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(2): 292-295.
- [9] 郝孟辉. 高速公路沥青路面使用性能评价预测体系及预防性养护决策技术研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2012.
- [10] 陈英杰. 沥青路面养护路段划分方法研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(22): 5584-5587.
- [11] Chen, Y.J. (2010) Study on Classification Method of Asphalt Pavement Maintenance Section. *Science Technology and Engineering*, 10, 5584-5587.
- [12] 雷宇, 柯文豪, 闫亚鹏. 深圳地区高速公路沥青路面养护行为触发条件分析[J]. 公路, 2017, 62(11): 258-261.
- [13] 姚玉玲, 李学红, 张毕超. 沥青路面预防性养护时机综合评价指标体系[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(5): 48-53.
- [14] 张玉宏, 范正金. 预防性养护决策的相关技术指标与标准研究[C]//中国公路学会. 2013 年全国公路养护技术学术年会论文集. 2014: 1-9.
- [15] 中华人民共和国交通运输部. 公路技术状况评定标准: JTG H20-2007[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 公路沥青路面养护设计规范: JTG 5421-2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [17] 广东省交通运输厅. 广东省高等级公路沥青路面预防性养护技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [18] 河南省质量监督局. 高速公路沥青路面预防性养护技术规范: DB 41/T 894-2014[S]. 北京: 人民交通出版社, 2104.
- [19] 王朝辉, 张廉, 韩晓霞. 中国道路预防性养护封层材料应用进展及评价[J]. 筑路机械与施工机械化, 2018, 35(3): 29-48.