

基于沥青路面检测指标的服役性能衰变规律研究

吴志勇¹, 岳建洪², 陈金蓉², 张洲洋², 陈阳²

(1.四川省交通勘察设计研究院有限公司, 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)

摘要: 探究沥青路面使用性能衰变规律是编制路面养护规划的基础,是道路科学养护决策的具体表现。文中以国内外已有沥青路面衰变规律理论和模型为依据,依托成渝地区 3 条高速公路连续多年沥青路面性能指标检测数据,对沥青路面服役性能衰变规律进行研究。结果表明,各沥青路面性能指标采用反 S 形函数拟合具有更好的相关性;局部维修能减缓路面状况指数 PCI 的衰减速率,但对抗滑性能衰减的影响小。

关键词: 工程管理;沥青路面;检测指标;服役性能;衰变规律

中图分类号:U415.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)03-0162-05

由于高速公路养理论不成熟,常因养护时机不当或采用的养护方案不合理造成养护资金分配未能有效匹配地区路网养护,达不到期望效果。要在适当的时机选择合适的维修养护方式,就需要了解和掌握沥青路面使用性能的衰变特征,建立与其相关性好的性能衰变模型,通过该模型确定沥青路面养护时机。该文在梳理现有沥青路面衰变规律理论和模型的基础上,依托成渝地区 3 条高速公路部分路段多年检测数据,对分项指标采用合适的衰变规律模型进行拟合,分析沥青路面服役性能的衰减特征,为沥青路面预防性养护决策提供依据。

1 现有沥青路面衰变规律模型

随着评价方法及评价指标的应用,沥青路面使用性能评价模型被提出并不断更新发展。日本针对不同用户提出了不同的模型,对管理者提出了路面养护管理指数 MCI 评价模型,对道路使用者提出了简易的线性舒适性指数 RCI 模型;美国陆军建筑

研究工程所开发的 PAVER 系统首次采用扣分法建立路面破损评价模型,用于路况评价和预测;加拿大提出路面使用性能指数 PQI,其值为路面状态(裂缝等)指数 CI、乘车舒适性指数 RCI、路面结构适用性评级指数 SAR 的加权和,并以平整度指数 IRI 和路面状况指数 PCI 为指标建立了路面使用性能衰变方程。借鉴国外研究成果,中国根据各地区的实际情况提出了许多预测模型,如北京模型、广东模型、天津模型、交通科研所潘玉利博士提出的基于回归的路面使用性能评价模型。

以实测数据为基础的经验统计模型是当前路面性能预测的主流形式,其中最易于管理者应用的是路面使用性能衰变方程。各种衰变模型均以路面逐年历史检测数据为基础,借助一定的数据分析工具,采用相关数据方法拟合或分析得到。总体而言,沥青路面使用性能衰变规律可归结为凹形、凸形、反 S 形和直线形,分别采用多项式、指数、反 S 和直线等曲线形式表示(见图 1、表 1)。

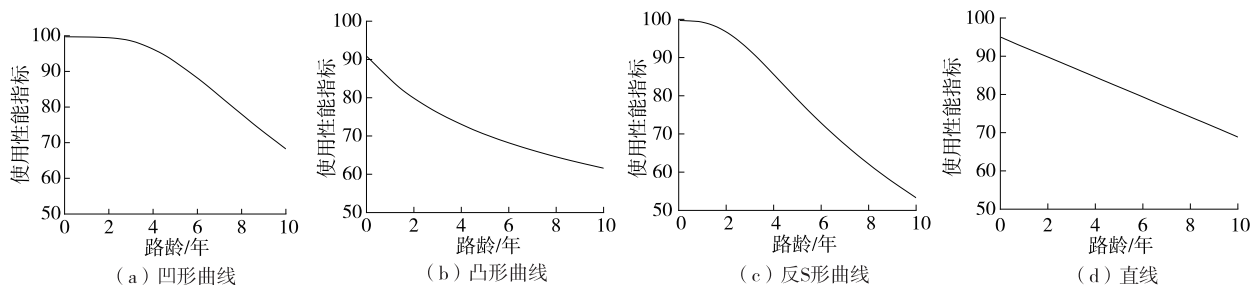


图 1 路面技术状况衰变规律

表 1 路面技术状况衰变规律曲线特征

曲线类型	特点
凹形曲线(先快后慢)	沥青路面出现早期破坏后,根据病害特征采取一定的养护维修措施,路面各项性能指标得到提升,衰变速率减小
凸形曲线(先慢后快)	通车初期,路面使用性能下降缓慢,路面各项性能指标值较好;随着运营时间的延长,加上路面未进行相关养护,路面各项性能指标衰变速率显著增大
反 S 形曲线	通车初期,路面各项性能指标值较好,衰变速率较小;随着运营时间的延长,加上路面未进行相关养护,路面各项性能指标衰变速率显著增大;路面各项性能指标衰变至一定程度后,采取一定的养护维修措施,使路面使用性能衰减速率减小
直线形曲线	自通车伊始,路面使用性能衰减速率近似呈直线均匀下降

2 典型高速路段沥青路面技术状况衰变模型构建

选取成渝地区多条具有代表性的高速公路,结合历年路面各分项指标(PQI 、 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)实测数据,分别拟合或回归得到各分项指标衰变曲线,研究其衰变规律。

2.1 高速公路 A

高速公路 A 上行 K89+000—K105+000 段 2010—2018 年路面分项指标衰变规律见图 2,拟合方程见表 2,拟合方程的起始年均为 2010 年,含 2015 年再次养护后各指标所拟合的衰变方程。

高速公路 A 通车伊始,交通量逐年增加,重载、超载车辆比重较大,经过多次维修养护,特别是 2009 年大修后,路面使用性能衰减速率整体偏快。根据图 2,路面使用性能指标 PQI 、 PCI 、 RQI 、 RDI 和 SRI 整体呈反 S 形衰变趋势。1) PQI 在 2010—2014 年呈反 S 形变化规律,前期衰减较缓慢,随着通车运营时间的延长,衰减速率显著增大,之后衰减趋势逐年变缓,采用反 S 形函数拟合具有较好的相关度;2015 年左右进行一定养护维修后, PQI 值明

显高于 2014 年,路面使用性能得到一定提升;2015—

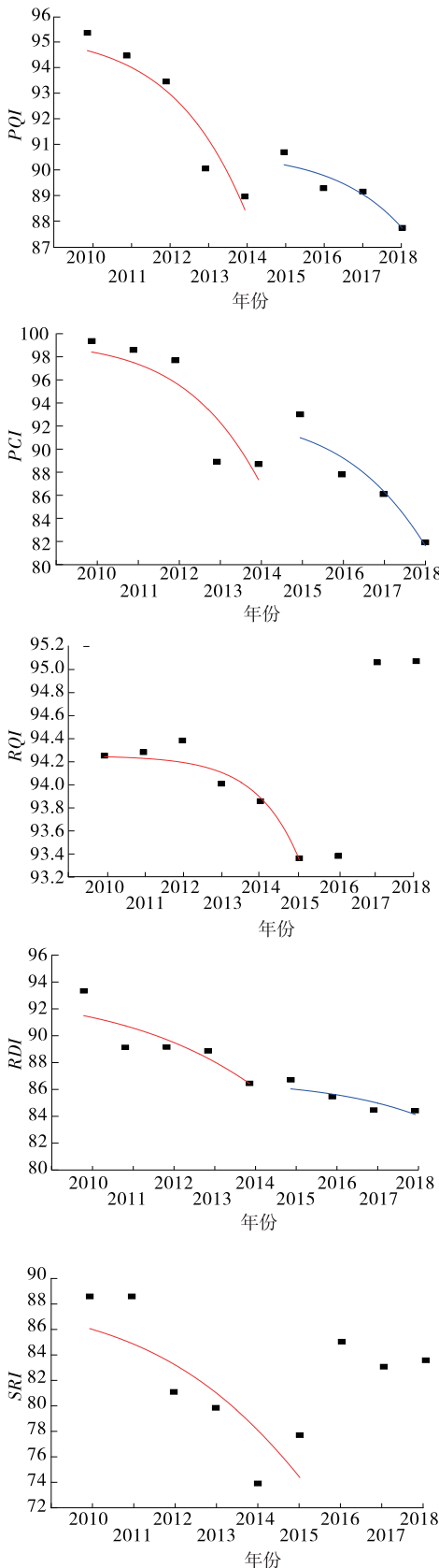


图 2 高速公路 A 上行 K89+000—K105+000 段路面技术状况指标拟合

表 2 高速公路 A 上行 K89+000—K105+000 段
路面技术状况指标拟合方程

评价指标	拟合方程	参数说明
PQI	$PQI = 95.29 - \frac{55.29}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 4.38; k = -0.60$
	$PQI = 90.68 - \frac{50.68}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 7.72; k = -0.62$
PCI	$PCI = 99.37 - \frac{59.37}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 4.13; k = -0.69$
	$PCI = 93.09 - \frac{53.09}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 6.46; k = -0.64$
RQI	$RQI = 94.24 - \frac{54.24}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 8.68; k = -0.92$
RDI	$RDI = 93.18 - \frac{53.18}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 3.34; k = -0.35$
	$RDI = 86.63 - \frac{46.63}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 6.54; k = -0.46$
SRI	$SRI = 88.39 - \frac{48.39}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 2.91; k = -0.40$

2018 年进行了局部修补等养护,其衰减速率小于 2010—2014 年。2) *PCI* 的衰减过程与 *PQI* 指标变化过程相似,前 3 年衰减速率较小,2015 年左右进行一定养护维修后,*PCI* 值得到一定提升。但 2015—2016 年出现衰减,整体养护后 *PCI* 衰减速率较大,2015 年该路段采取的养护措施并不能从所收集的资料中得到体现。3) *RQI* 指标在 2010—2012 年变化较平缓,2012—2015 年缓慢下降,但其衰减速率小于 *PQI* 和 *PCI*。4) *RDI* 值从 2010 年的 93.18 衰减至 2014 年的 86.37,下降明显;2015—2018 年从 86.63 下降至 84.36,衰减较平缓,2015 年左右实施的养护维修对车辙状况的改善并不显著。5) *SRI* 指标在 2010—2014 年衰减幅度较大,2015 年左右实施的养护维修对路面抗滑性能的改善作用较小。综上,2015 年左右实施的养护维修对 *PCI* 的改善较明显,但对 *RQI*、*RDI* 和 *SRI* 等指标的改善有限。2015 年左右进行的养护维修可能为局部病害整治或局部段落的铣刨换铺。

2.2 高速公路 B

高速公路 B 上行 K1854+000—K1868+000 段 2010—2018 年路面分项指标衰减规律见图 3,拟合方程见表 3。

对高速公路 B 上行 K1854+000—K1868+000 段的 *RQI* 和 *RDI* 指标采用多项式进行拟合,未表现出明显的变化规律;其余各指标均呈现反 S 形衰变趋势,其中 *PCI* 指标衰变规律最显著,以 *PCI* 指

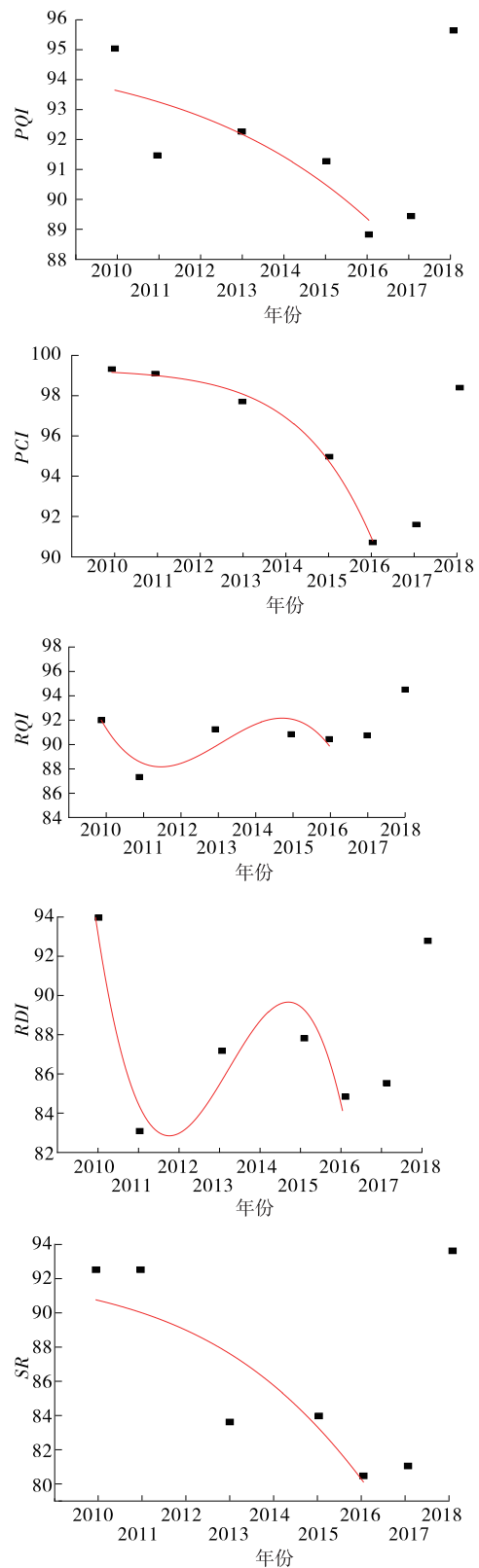


图 3 高速公路 B 上行 K1854+000—K1868+000 段
路面技术状况指标拟合

标作为路面使用性能衰变趋势分析主控指标较合理。从 *PQI*、*RQI*、*RDI* 衰减曲线来看,2012 年左

表 3 高速公路 B 上行 K1854+000—K1868+000 段
路面技术状况指标拟合方程

评价指标	拟合方程	参数说明
PQI	$PQI=94.96-\frac{54.96}{1+e^{\beta+kt}}$	$\beta=3.66;k=-0.25$
PCI	$PCI=99.35-\frac{59.35}{1+e^{\beta+kt}}$	$\beta=5.93;k=-0.69$
RQI	$RQI=92.09-5.44t+2.31t^2-0.24t^3$	
RDI	$RDI=93.98-14.06t+5.42t^2-0.56t^3$	
SRI	$SRI=92.55-\frac{52.55}{1+e^{\beta+kt}}$	$\beta=3.37;k=-0.36$

右应该进行过相关养护维修,但养护历史资料上并未体现。 PQI 指标采用反 S 形衰变函数进行拟合,2010—2011、2015—2016 年表现出明显的衰减趋势,2011—2015 年衰变趋势较平缓。 PCI 指标采用反 S 形函数拟合,2010—2013 年保持较小的衰变趋势,2013—2016 年呈现大幅度连续衰减趋势。 SRI 指标的大幅度衰减出现在 2011—2013 年,2013—2016 年 SRI 变化较平缓。整体而言,该路段除 PCI 指标外,各指标在 2011—2016 年的衰变规律并不显著。

2.3 高速公路 C

高速公路 C 下行 K2149+000—K2167+000 段 2010—2018 年路面分项指标衰减规律见图 4,拟合方程见表 4。

对高速公路 C 下行 K2149+000—K2167+000 段各指标均采用反 S 形函数进行拟合,且各指标的规律性较强,可见,维修养护历程的未知和典型路段的选取对衰变趋势拟合的影响较大。 PQI 和 PCI 指标的衰减曲线变化规律相似,2010—2012 年衰减曲线较平缓,2013—2014 年衰减趋势明显。 RQI 指标在 2010—2016 年变化范围不大,呈现连续下降趋势,且各年衰减幅度基本均衡。 RDI 指标值由 2010 年的 93.43 下降至 2014 年的 87.97,其中 2012 年衰减最明显;2012—2014 年 RDI 基本维持在一个相对恒定的范围。 SRI 指标在 2010—2013 年下降幅度较大,随后衰变较平缓。

3 结论

(1) 采用反 S 形函数能较好地拟合 PQI 、 RQI 、 RDI 、 SRI 、 PCI 等路面使用性能指标的衰减特征,

其中 PQI 和 PCI 作为路面使用性能衰变趋势分析主控指标,其衰减曲线变化规律相似。

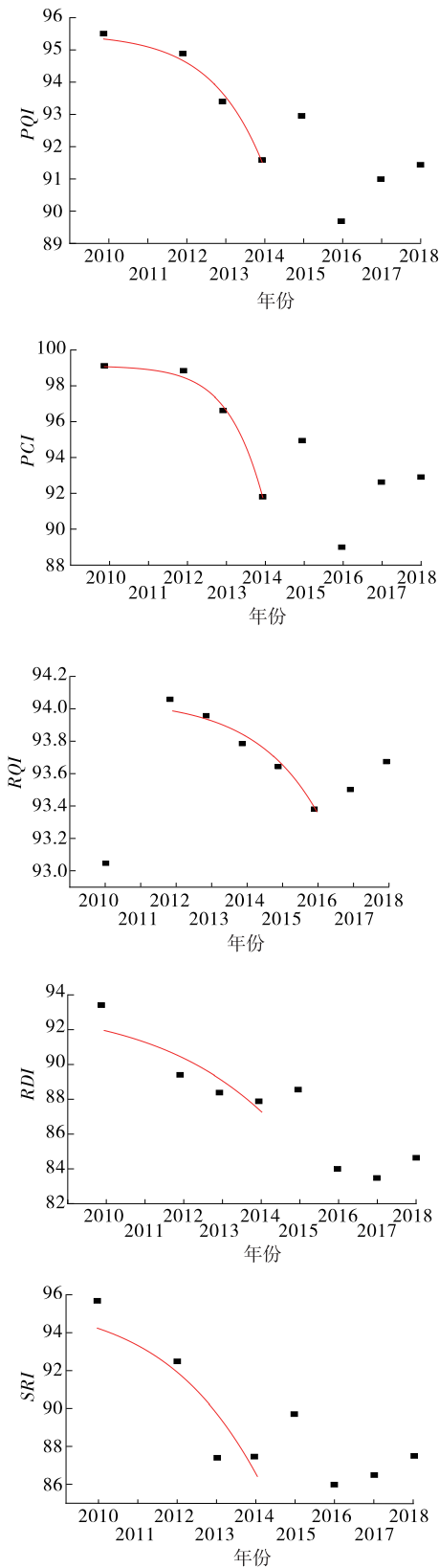


图 4 高速公路 C 下行 K2149+000—K2167+000 段
路面技术状况指标拟合

表4 高速公路C下行K2149+000—K2167+000段
路面技术状况指标拟合方程

评价指标	拟合方程	参数说明
PQI	$PQI = 95.51 - \frac{55.51}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 5.82; k = -0.81$
PCI	$PCI = 99.13 - \frac{59.13}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 7.04; k = -1.27$
RQI	$RQI = 94.06 - \frac{54.06}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 6.64; k = -0.57$
RDI	$RDI = 93.43 - \frac{53.43}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 3.58; k = -0.38$
SRI	$SRI = 95.70 - \frac{55.70}{1 + e^{\beta + kt}}$	$\beta = 3.64; k = -0.50$

(2) 根据路面性能模型,路面性能指标在公路新建初期衰减较慢,在使用后期衰减速率明显增大,与路面实际情况一致。

(3) 局部修补可较大幅度改善 PCI 指标,但对 RQI、RDI、SRI 等指标的影响较小。

(4) 根据路面检测指标的衰减规律可获知既有道路近期采用的养护方式,也可作为后续沥青路面预防性养护方案决策及养护规划制定的重要依据。

参考文献:

[1] 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,2011.

[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] 张金喜,孔祥杰,韩丁丁,等.不同养护模式下的高速公路沥青路面状况指数预测模型[J].北京工业大学学报,2016,42(1):74—80.

[4] 日本水泥混凝土协会.AASHO 道路实验[R].东京:日本水泥混凝土协会,1966.

[5] KARIM Chatti, LEE Doseung. Development of a preventive maintenance strategy for minimizing roughness-related pavement damage[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001, 1769(1): 39—45.

[6] LEE Doseung, KARIM Chatti, GIBERT Baladi. Development of roughness thresholds for preventive maintenance action aimed at reducing dynamic loads[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2002, 1816(1): 26—33.

[7] 玉俊杰.基于预防性养护的高速公路沥青路面使用性能评价和预测模型研究[D].北京:北京交通大学,2010.

[8] 周育名,李金明,李平,等.考虑公路等级的沥青路面性能衰变预测方法[J].中外公路,2019,39(1):34—39.

[9] 曹明明,岳建洪,陈金蓉,等.沥青路面预防性养护决策指标体系分析[J].公路与汽运,2020(1):34—39.

收稿日期:2021—12—01

(上接第152页)

[9] 徐利辉,马蒙,刘维宁.列车动荷载长期作用下圆形隧道衬砌损伤分布特征及演化规律研究[J].工程力学,2020,37(9):144—152.

[10] 张治国,冯驹,张孟喜,等.基于纤维混凝土韧性特征的列车荷载影响下隧道衬砌结构损伤发展分析[J].岩土力学与工程学报,2020,39(12):2483—2504.

[11] 杜建明,高修强,房倩,等.气动荷载作用下高速铁路隧道衬砌结构的疲劳累积损伤及残余寿命计算[J].中国铁道科学,2021,42(5):94—102.

[12] 加武荣.地铁列车振动荷载对下叠并行新建城际铁路盾构隧道的动力响应分析[J].城市轨道交通研究,2021,24(10):96—101+107.

[13] 黄光强,马少坤.交通荷载作用下矩形隧道结构动力响应研究[J].广西大学学报(自然科学版),2021,46(4):866—874.

[14] 罗红星,但路昭,秦雨樵.车辆荷载对浅埋大断面隧道

围岩的影响研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):100—104.

[15] RAKITIN B, XU M. Centrifuge testing to simulate buried reinforced concrete pipe joints subjected to traffic loading [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2015, 52(11): 1762—1774.

[16] 杨宗桦,孙杰,陈士海.地面交通荷载对浅埋隧道的动力响应分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2021,42(3):343—350.

[17] 曾晨,孙宏磊,蔡袁强.简谐荷载作用下饱和土体中圆形衬砌隧道三维动力响应分析[J].岩土力学,2014,35(4):1147—1156.

[18] 黄晓吉,扶名福,徐斌.移动环形荷载作用下饱和土中圆形衬砌隧洞动力响应研究[J].岩土力学,2012,33(3):892—898.

收稿日期:2021—11—17