

路面养护措施负指数与 S 形衰变模型拟合研究

刘燕燕¹, 周奇¹, 龙森², 兰勇锋³, 董侨⁴, 姚琳怡⁴

(1.浙江顺畅高等级公路养护有限公司, 浙江 杭州 310051; 2.浙江交通资源投资有限公司;
3.浙江沪杭甬高速公路股份有限公司; 4.东南大学)

摘要:对路面养护性能的评价是进行合理养护规划,实现路面管理系统功能的基础。该文根据实际罩面养护路段的长期性能数据,采用刘伯莹和孙立军路面衰变方程进行拟合,并对衰变方程参数的物理意义进行了分析,对不同养护方法的长期性能衰变规律进行了比较研究。分析结果表明:孙立军方程的鲁棒性更好,对于路面初始性能较低的情况也能够达到较好的拟合效果。对于养护措施的长期性能,两种方程给出了类似的结果,AC-16 初始路面性能较好,而 SMA-13 的抗病害能力相对较好。另外,由于中国当前路面性能评价标准对路面性能水平的打分偏高,尤其对于高速公路。实际工程中不存在路面性能衰变到 62% 的情况,因此孙立军方程的寿命因子偏大。建议采用调整路面评价指标或增加放大系数的方法来提提高孙立军方程的拟合效果。

关键词:路面养护;路面管理系统;性能衰变;路面性能模型

1 研究背景

截止到 2016 年底,中国高速公路通车总里程已达 13 万 km,居于世界第一,公路通车里程达到 469 万 km,其中养护里程达 450 万 km,浙江省高速公路总里程也达到 4 062 km。随着高速公路路网的逐步完善,中国及浙江省的高速公路已经结束了“建设为主”的阶段,正在经历“建养并重”的时期,并最终走向“养护为主”的路网维护阶段。及时的路面养护,可以较低的费用,保持较高的路面服务水平,并延长路面结构的寿命。国外研究表明,长期多次路面养护的费用仅为大修费用的 1/6。因此,研究经济合理的路面养护具有重要的社会与经济意义。

国外一般采用路面管理系统来记录路面性能数据,并在此基础上进行养护分析,执行实际的养护工程。而实现路面管理系统养护分析功能的一个重要基础,就是对路面性能的变化规律进行研究,建立路面性能衰变模型。该文根据浙江省高速公路历史养护记录和路面性能数据,采用两个代表性的路面衰变方程,分析高速公路不同养护方法的性能衰变规律,为进行合理的养护方案选择提供依据。

2 路面性能评价指标

为了评价养护后路面衰变规律,首先要确定合理的衰变指标,根据 JTG H20-2007《公路技术状况评定标准》,以及历史观测数据,确定了 3 个路面性能指标。路面损坏状况指数 PCI 是根据各种病害的严重程度和影响面积加权计算得到的,反映了路面的综合病害情况。路面行驶质量指数 RQI 是根据路面国际平整度指数 IRI 计算得到,反映了路面行驶舒适程度。路面车辙深度指数 RDI 反映了路面的车辙状况。3 个指标的计算方法如下:

$$PCI = 100 - a_0 DR^{a_1} \quad (1)$$

式中: PCI 为路面损坏状况指数; DR 为路面破损率,为各种损坏的损坏面积之和与路面调查面积之和的百分比;系数 a_0 、 a_1 对沥青路面而言分别取 15.00 和 0.412。

$$RQI = \frac{100}{1 + a_0 e^{a_1 IRI}} \quad (2)$$

式中: RQI 为路面行驶质量指数; IRI 为国际平整度指数,路面平整度不仅直接关系到行车舒适性,还间接反映出路面的破损情况及整体技术状况水平,是反映

收稿日期:2018-01-25

基金项目:浙江省交通厅项目(编号:8521002166,7921000088)

作者简介:刘燕燕,女,大学本科,高级工程师,E-mail:48715358@qq.com

路面耐久性的重要参数。参数 a_0 、 a_1 对于高速公路分别采用 0.026 和 0.65。

$$RDI = \begin{cases} 100 - a_0 RD & (RD < RD_a) \\ 60 - a_1 (RD - RD_a) & (RD_a < RD < RD_b) \\ 0 & (RD > RD_b) \end{cases} \quad (3)$$

式中: RDI 为车辙深度指数; RD 为车辙深度; RD_a 为车辙深度参数, 取 20 mm; RD_b 为车辙深度限值, 取 35 mm; a_0 和 a_1 为模型参数, 分别取 2.0 和 4.0。

3 典型路面衰变模型

美国国有公路管理协会 AASHO 于 20 世纪 50 年代, 提出了世界上第一个经验型路面衰变模型, 采用 $y = y_0 + b x^c$ 的形式。Prozzi 和 Hong 在此基础上考虑了交通量增长量、厚度、沥青针入度指数等影响。AASHO 模型建立在试验路加速试验的基础上, 以累计轴次并非时间为变量, 无法考虑交通量、不同路基、环境等因素, 因此移植性不强。随后, 美国空军提出了 Paver 管理系统的预测模型, 考虑了新建加铺层的影响。

3.1 刘伯莹方程

20 世纪 90 年代, 刘伯莹提出了中国首个路面衰变方程, 采用了负指数的形式, 并且以路面服役时间为自变量, 如式(4)所示:

$$PCI = 100e^{-at^b} \quad (4)$$

式中: PCI 为路面综合性能状况指数; t 为路面使用时间; a 和 b 为与衰变速度有关的参数。

该模型认为路面衰变的速度呈负指数的形式, 即路面衰变速度越来越慢。在研究过程中, 通过试算, 对该模型参数的意义进行了深入分析, 发现参数 a 代表了路面的起始状况, a 越大, 路面起始状况越差, 因此可成为起始因子; b 代表了路面平均衰变速率; b 越大, 路面平均衰变速率越大, 可称为衰变因子。

3.2 孙立军方程

路面性能随时间的变化速率并非恒定, AASHO 幂函数或者刘伯莹的指数方程描述了路面衰变规律不断增长或变化的情况。目前, 世界各国的学者越来越多地采用 S 形模型(Sigmoid)来模拟路面衰变。该模型的衰变速率随路面使用时间呈现先增长后减小, 最后又增长的变化。与路面材料的变化规律相符, 因而得到了大量应用。其中, 比较有代表性的是孙立军提出的双参数 S 形模型:

$$PPI = PPI_0 [1 - e^{-(\frac{t}{t_0})^\beta}] \quad (5)$$

式中: PPI 为路面性能指数; t 为路面使用时间; α 为寿命因子, 或者规模参数, 代表了路面性能衰变到 62% 时的时间, 建议取值为 3~15, 参数 α 的变化不影响曲线凹凸形状及衰变速率; β 为衰变模式因子, 一般取值范围为 0.2~1.8, β 较小时, 路面早期损坏较快, β 较大时, 路面性能则衰变得非常缓慢。徐剑利用该模型分析了乳化沥青冷再生养护的长期性能。

4 养护路段衰变规律分析

4.1 衰变方程拟合结果

采用非线性拟合方法建立方程, 通过牛顿迭代法求解拟合曲线, 估计方程参数。图 1、2 分别为不同养护措施以不同路面性能指标为因变量采用刘伯莹方程及孙立军标准衰变方程的拟合结果。两图的结果略有差别, 通过比较, 可以看出:

(1) 两种方程都能够拟合出 36 个养护路段的衰变规律, 但是在刘伯莹方程对 SMA-13 的 PCI 指标的拟合结果中, 由于多个路段的初始值较低, 拟合曲线无法反映出性能随时间的衰变规律。

(2) 对比 3 种不同的养护措施, SMA-13 养护路段的 PCI 衰变速度和程度情况明显优于 AC-13 和 AC-16, 说明 SMA-13 对抵抗病害产生也有显著的效果。

4.2 刘伯莹方程参数分析

图 3 为 3 种养护路段, 不同的路面性能指标, 采用刘伯莹衰变方程的拟合结果。其中, 图 3(a) 为方程起始因子, 反映了路面性能的初始状况, 可以看出 PCI 初始值相对较低, 说明早期病害在第一次观测 (0.5 年) 的时候就已经出现, 3 种养护措施中, AC-16 路面性能初始值略好于 AC-13 和 SMA-13; 图 3(b) 为方程衰变因子, 反映了路面性能的衰变速率, 可以看出 AC-13 的衰变速率相对较快。而 SMA-13 的 PCI 衰变速率最慢。

4.3 孙立军方程参数分析

图 4 为 3 种养护路段, 不同的路面性能指标, 采用孙立军衰变方程的拟合结果。其中, 图 4(a) 为方程寿命因子, 代表了路面性能衰变到 62% 时的时间。该研究中方程的寿命因子很高。主要原因是: 根据中国当前的路面性能评价标准, 路面性能水平的打分偏高。尤其对于高速公路, 实际工程中不存在路面性能衰变到 62% 的情况。徐剑在研究乳化沥青冷再生养护的

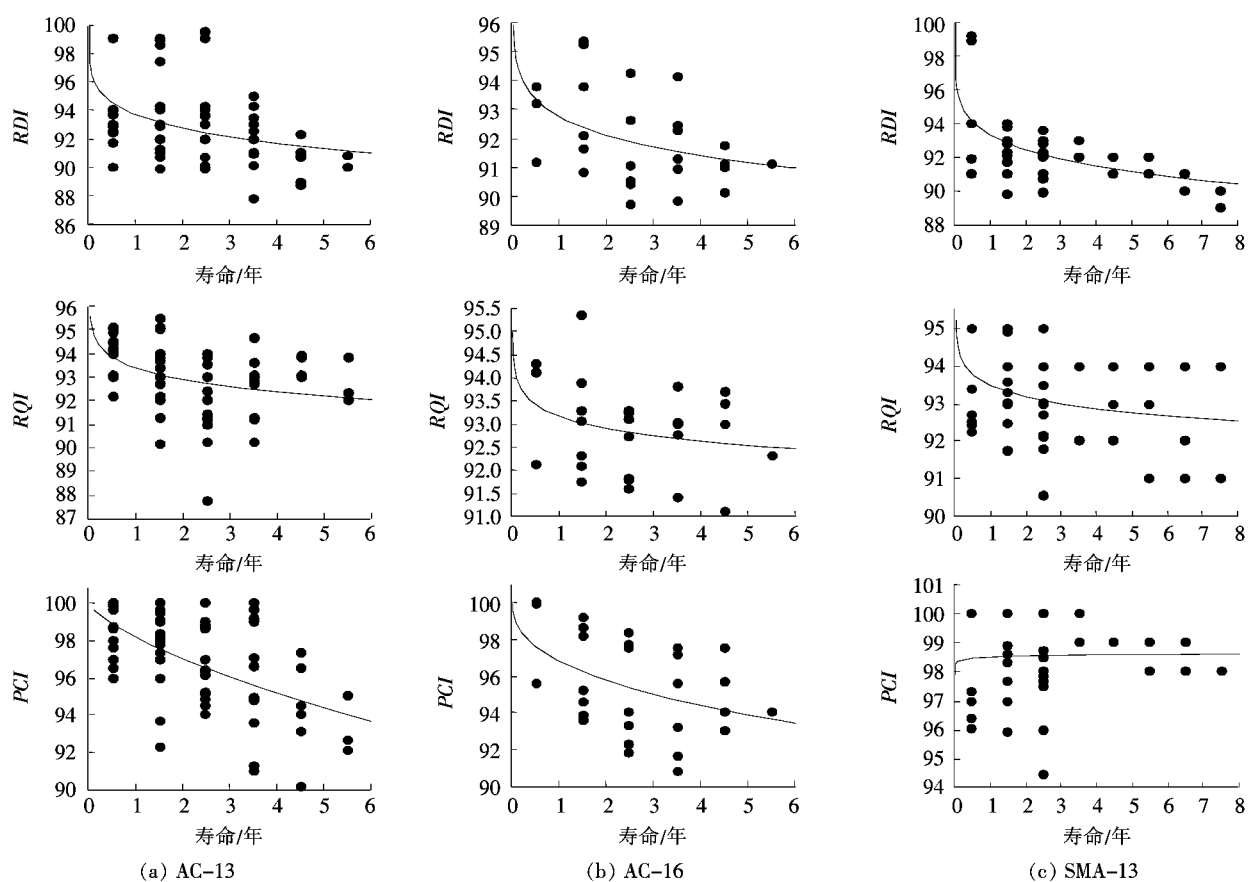


图 1 3 种养护措施不同性能指标采用刘伯莹衰变方程的拟合结果

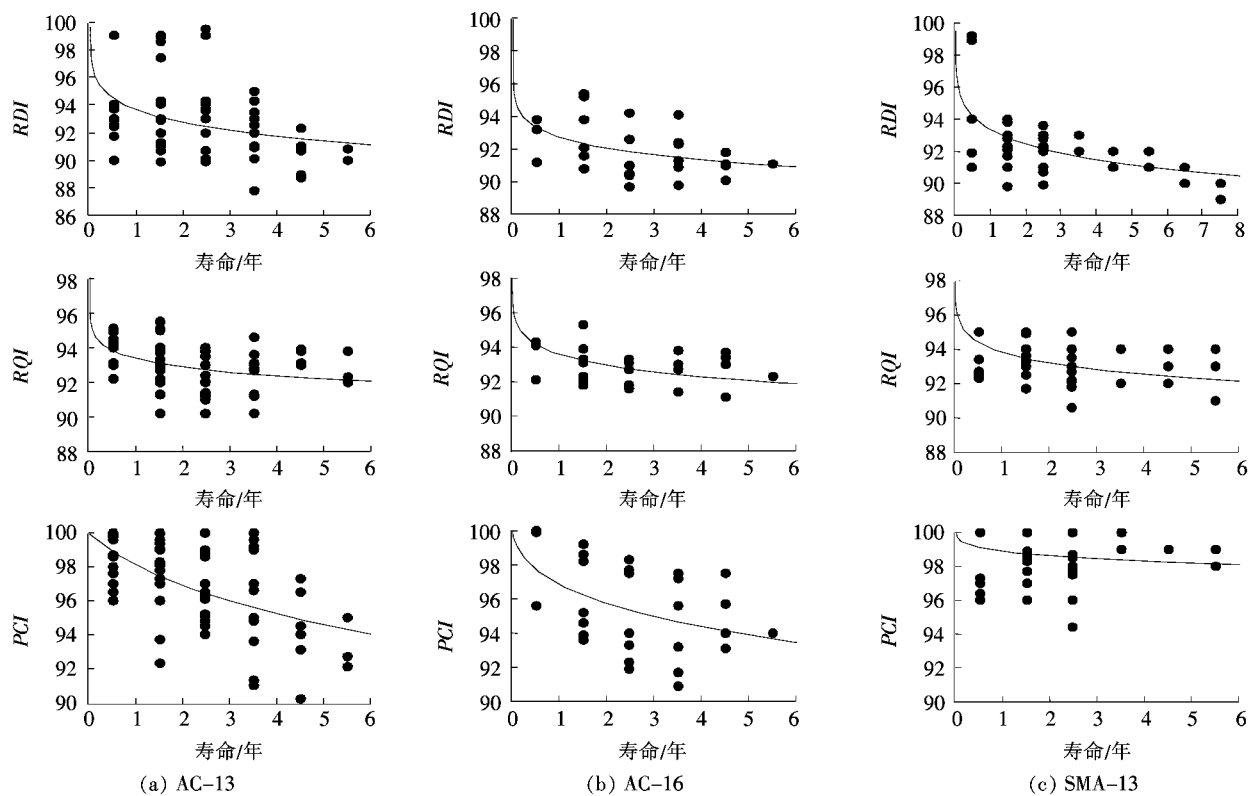


图 2 3 种养护措施不同性能指标采用孙立军衰变方程的拟合结果

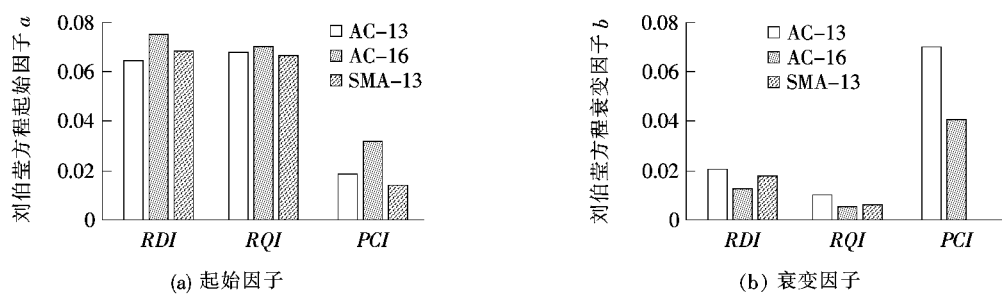


图 3 刘伯莹衰变方程拟合结果

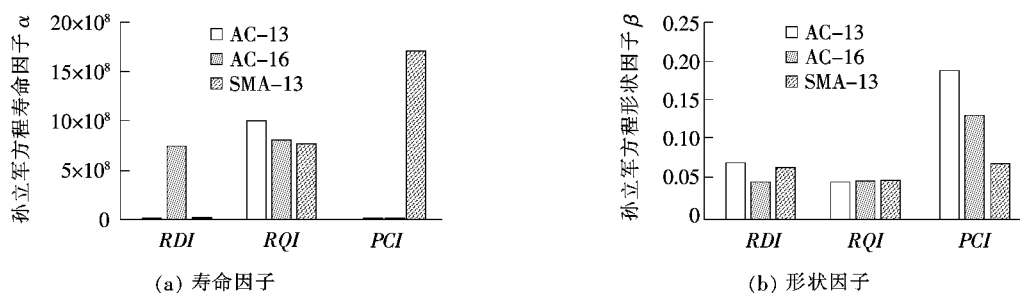


图 4 孙立军衰变方程拟合结果

长期性能时,也发现了相同的情况。因此,为了能够使用该衰变方程,建议对现有评价标准进行调整,能够反映出路面性能的变化。或者对方程参数进行修正,例如对寿命因子增加一个放大系数。对比 3 种养护措施,AC-16 的抗车辙能力和 SMA-13 的抗病害能力相对较好。

图 4(b)为方程形状因子,反映了路面性能的衰变速率, β 值均小于 0.2,说明路面在早期损坏较快。而降低到一定水平后,如 90 分,降低速率较慢。并且,由于高速公路水平要求较高,一般的路段在各项指标低于 90 分时,已经开始考虑采用合理的养护措施。

5 结论

根据以上分析,对两种典型路面衰变方程的拟合效果、路面性能评价状况及不同养护措施的性能比较,得到以下结论:

(1) 两种方程都能够拟合出 36 个养护路段的衰变规律,并且孙立军方程的鲁棒性更好,对于路面初始性能较低的情况也能够达到较好的拟合效果。

(2) 研究中,通过试算分析,发现刘伯莹方程中参数 a 代表了路面的起始状况, a 越大,路面起始状况越差,因此可称为起始因子。 b 代表了路面平均衰变速率, b 越大,路面平均衰变速率越大,可称为衰变因子。

(3) 由于中国当前路面性能评价标准对路面性能水平的打分偏高。尤其对于高速公路,实际工程中不

存在路面性能衰变到 62% 的情况,因此孙立军方程的寿命因子偏大。建议对路面评价指标进行调整,拉开不同路面性能之间的差距。或者对孙立军方程的寿命因子进行修正,例如增加一个放大系数。

(4) 根据两种方程回归参数的物理意义,比较 3 种典型的养护措施,可以看出 AC-16 初始路面性能较好,而 SMA-13 的抗病害能力相对较好。

参考文献:

- [1] O'Brien L G. Evolution and Benefits of Preventive Maintenance Strategies[J].Nchrp Synthesis of Highway Practice,1989:69.
- [2] Zimmerman K A, Hoerner T E, Peshkin D G. Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Applications[R].Nchrp Report,2004:76.
- [3] Prozzi, J.A.Development of Pavement Performance Models by Combining Experimental and Field Data[J].Journal of Infrastructure Systems, 2004,10(1): 9-22.
- [4] Hong, F., Prozzi, J.A.Roughness Model Accounting for Heterogeneity Based on In-Service Pavement Performance Data[J].Journal of Transportation Engineering, 2010,136(3): 205-213.
- [5] 刘伯莹,姚祖康.沥青路面使用性能预测[J].中国公路学报,1991(2).
- [6] Chen, D., Mastin, N. Sigmoidal Models for Predicting Pavement Performance Conditions[J].Journal of Performance of Constructed Facilities, 2016,30(4).

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.01.011

城市道路透水水泥混凝土路面净水特性研究

武吉¹, 凌天清^{2*}, 秦新³, 牟存玉⁴(1.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆市 400074; 2.重庆交通大学 建筑与城市规划学院;
3.林同棧国际工程咨询(中国)有限公司; 4.重庆交通大学 材料科学与工程学院)

摘要:为研究透水水泥混凝土面层和透水水泥稳定碎石基层的净水特性,根据重庆市主城区雨水主要污染物组成调查分析结果,自制污染物径流雨水来模拟路面雨水。通过净水试验计算径流雨水中各污染物的去除率来评价路面结构的净水特性。试验结果表明:试验溶液通过路面结构层后 pH 值均有不同程度的提高;对各污染物去除率的大小顺序为 TP(总磷) > TSS(总悬浮物) > TOC(总有机碳);设计空隙率同各污染物质去除率之间存在着良好的线性正相关关系;透水水泥路面的净水效果要优于透水沥青路面;路面结构组合层的净水效果较两种单层结构有一定幅度的提高。

关键词:透水水泥混凝土面层;透水水泥稳定碎石基层;净水特性;污染物去除率

随着中国经济的快速发展以及城镇化建设的不断加快,道路作为城市发展的纽带也得到迅速的发展。透水水泥混凝土是指由水泥黏结剂、级配集料和水按照一定配合比搅拌成型的混凝土。因其具有良好的吸声降噪性能、抗滑性能、一定的净水特性以及雨天减少水雾的性质,获得国外学者更加深入系统的研究,并在道路建设中逐步推广应用。

路面污染物种类较多,这些污染物的来源主要分为 3 大类:汽车尾气、汽车漏油以及汽车部件的磨损残留物。此外,雨水携带空气中的部分污染物,这些污染物随着降雨径流至地下,一方面会污染地下水;另一方面会造成公路周边土壤土质的恶化,使得道路两旁的植被枯萎,影响道路整体美观。所以研究透水路面对于径流污染物的净化具有重要的环保意义。

该文依据国内外透水水泥稳定碎石基层已有级配

研究及有关规范,提出最大公称粒径分别为 16、13.2、9.5 mm 的 3 种透水水泥混凝土面层试验级配,结合 3 种不同的水胶比(0.30、0.35、0.40)和设计空隙率(15%、20%、25%),并以设计强度和透水系数为基准,采用正交试验方法来确定透水水泥混凝土的配合比。

为使透水水泥混凝土的空隙率达到预定值,通过配合比计算,得到不同设计空隙率下透水水泥混凝土面层各材料的单位体积用量,依据计算结果制备试件并检验实际空隙率是否满足设计空隙率的要求。具体方法如下:分别采用 T0308—2005 和 T0309—2005 方法测定集料的毛体积密度和各级配集料紧密堆积密度;计算各级配集料的合成毛体积密度和紧密堆积空隙率;计算单位体积集料用量;依据设计空隙率计算单位体积水泥浆体用量;最后根据不同水胶比计算单位体积水泥用量和用水量。依据以上计算结果制备试

- *****
- [7] 孙立军,刘喜平.路面使用性能的标准衰变方程[J].同济大学学报:自然科学版,1995(5).
- [8] 徐剑,石小培,秦永春.乳化沥青冷再生路面性能衰变与病害特征分析[J].公路交通科技,2015(5).
- [9] 王静,李波,马伟中,等.甘肃省河西走廊地区高速公路沥青路面养护对策[J].中外公路,2018(1).
- [10] 李小重.微表处在叶信高速公路路面养护中的应用[J].

中外公路,2017(3).

- [11] 敬超,张金喜.沥青路面性能预测研究综述[J].中外公路,2017(5).
- [12] 孙贵杰.沙漠油区公路养护调查研究[J].中外公路,2017(2).
- [13] 张艳红,李金明,黄海明.沥青路面性能衰变模型综述[J].河北交通职业技术学院学报,2015(3).

收稿日期:2018-03-17

作者简介:武吉,女,硕士研究生,E-mail:413698789@qq.com

*通信作者:凌天清,男,博士,教授,E-mail:277087149@qq.com