

基于技术效应的沥青路面养护后评价研究*

田陈燕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: 依托成乐(成都—乐山)高速公路,探索一种简单易行的沥青路面养护维修技术效应后评价方法。以沥青路面裂缝率和技术状况指标演变规律为基础,对沥青路面养护维修的路段选择、养护时机、养护措施触发指标和养护技术效果等进行后评价,采用技术状况指标下限值和衰减速率优先触发指标判断沥青路面养护时机的合理性,路面使用性能指数 *PQI*、路面损坏状况指数 *PCI* 多作为沥青路面养护措施实施的触发指标,裂缝率对于沥青路面维修养护后评价或决策具有重要指导意义。

关键词: 公路;沥青路面;预防性养护;后评价体系;养护措施;技术效应

中图分类号: U415.13

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0126-05

《公路建设项目后评价工作管理办法》和《公路建设项目后评价报告编制办法》对公路建设项目后评价作了较全面的规定,明确了公路项目后评价的工作重点及后评价报告的文本格式和内容,但均针对新建项目。而养护项目的评价与新建项目截然不同,例如新建项目的经济后评价主要侧重于国民经济的影响等,养护项目的经济后评价则更关注对项目管理者经济效益和技术效益的影响。沥青路面养护后评估是在诠释沥青路面性能演化规律的基础上,开展路面养护维修措施成效分析,为下阶段沥青路面养护决策提供依据。方凯从预防性养护项目的实施过程、经济效益、环境影响、社会影响四方面探讨了预防性养护项目后评价方法与步骤,对实施过程的评价采用专家打分法,这种方法很难实施,养护项目的参与单位人员显然不宜作为评分专家,而未参与项目的人员难以了解项目实施详细情况,因而很难得到合理的打分结果,同时对经济效益的评价未提出具体方法。张东旭针对厂拌热再生路面进行后评价,但只分析了厂拌热再生项目的工程实施效果。查庆等对养护后沥青路面抗滑性能进行评价,对比分析了养护后抗滑指标在 3.5 年内的变化趋势。胡国祥等提出从工程技术、管理技术、经济效益、环境及社会影响等方面建立预防性养护项目后评价体系,但未给出可操作的评价方法。范上宁通过对采取预养护措施的高速公路沥青路面损坏状

况、结构状况和抗滑性能进行检测与评估,评价了灌浆处理、强化剂预养护、沥青再生预养护的效果。众多学者对沥青路面技术状况衰变特征进行了研究,但鲜有学者将其与沥青路面养护后评估进行关联,同时针对沥青路面养护后评估的研究较少,且未形成具体可行的评价体系。鉴于此,该文根据成乐(成都—乐山)高速公路下行(乐成方向)K62+000—K80+000 段 2010—2018 年各项养护维修数据,结合沥青路面技术状况和裂缝率演变规律,从养护维修路段选择、养护时机、养护措施触发指标和养护技术效果方面对沥青路面养护进行后评价。

1 工程概况

成乐高速公路全长 86.4 km,于 1999 年 12 月建成通车,双向四车道。位于亚热带湿润气候区,沥青与沥青混合料气候分区为夏炎热冬温潮湿区(1—4—1)。项目建成通车以来,交通量一直保持较高增长,根据交通量预测结果,成都—青龙场段交通量预计在 2025 年左右达到 80 000 pcu/d,青龙场—乐山段交通量预计在 2025 年左右达到 50 000 pcu/d。

成乐高速公路原路面结构为 4 cm 抗滑表层 AK-13A+5 cm 中粒式沥青混凝土 AC-20I+6 cm 粗粒式沥青混凝土 AC-30I+30 cm 二灰(水泥)稳定碎砾石基层+14~35 cm 级配砂砾底基层。该高速公路已通车 20 多年,交通量大、重载车辆多,

* 基金项目:四川省科技计划应用基础研究项目(2019YJ0667)

全线绝大多数段落都进行了大整治或罩面专项治理,2009年左右全线加铺了4 cm SBS 改性沥青 AC-13C 罩面,下行 K62+000—K80+000 段在2015年再次加铺了4 cm 改性沥青 AC-13C 罩面。

2 沥青路面技术状况和病害演化特征

2.1 沥青路面技术状况衰变趋势分析

成乐高速公路下行 K62+000—K80+000 段2010—2018年沥青路面技术状况衰减规律拟合结果见图1,拟合方程见表1(拟合方程的起始年均均为2010年)。由图1可知:该路段除路面车辙深度指数 RDI 衰变规律不显著外,其余各指标在2010—2013年均呈现明显衰减趋势,整体近似呈反S形;除抗滑性能指数 SRI 外,其余各指标随运营时间增加衰减速率均较缓。2015年左右再次实施的维修养护对路面使用性能指数 PQI 、路面损坏状况指数 PCI 、 RDI 和路面行驶质量指数 RQI 的提升较明显。根据衰变拟合曲线波动情况,该路段 PQI 指标在2010—2014年衰减幅度大于2015—2018年; PCI 指标在2010—2014年的衰减趋势小于2015—2018年,受病害范围扩大的影响,2017—2018年衰减幅度更显著; RQI 指标在2010—2014年整体呈反S形曲线变化,在2011—2012年衰减速率较大; RDI 指标由2010年的94.00下降至2014年的84.25,数值变化较大,尤其在2010—2011年,2016年以后衰减趋势逐渐变缓; SRI 指标在2010—2014年呈现反S形变化规律,衰减速率较大,2016—2018年其值基本保持恒定。

2.2 沥青路面病害发展状况分析

2010—2018年成乐高速公路下行 K62+000—K80+000 段沥青路面病害以裂缝类和修补类病害为主,其中2014年修补类病害面积最大(3 925.06 m^2),2015年加铺4 cm AC-13C 改性沥青混合料后,修补类病害清零;横向裂缝病害在2014年达到150.29 m^2 ,长约752 m;2017—2018年龟裂病害增长速率大幅增加,2018年龟裂病害面积为239.78 m^2 (见表2)。

2010—2018年该路段裂缝率演化规律见图2,拟合方程见式(1)、式(2)。2009、2015年加铺罩面后裂缝率发展规律近似服从幂函数增长,2013—2014年、2017—2018年裂缝率呈现跨越式增长,这一现象均发生在加铺罩面后第2~3年,且后一次养护后增加幅度大于前一次养护,路龄对裂缝率演化

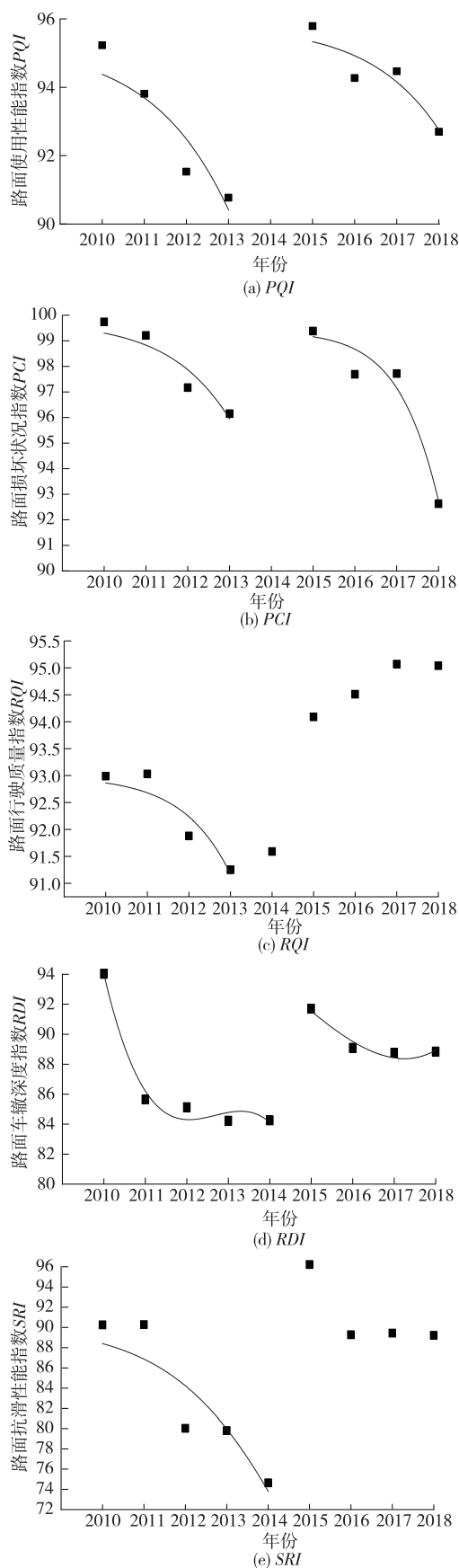


图1 沥青路面技术状况评价指标拟合结果

表 1 沥青路面技术状况评价指标拟合方程

评价指标	模拟方程	参数说明
PQI	$PQI=95.23-\frac{55.23}{1+e^{(\beta+kt)}}$	$\beta=4.16,k=-0.60$
	$PQI=95.79-\frac{55.79}{1+e^{(\beta+kt)}}$	$\beta=8.04,k=-0.65$
PCI	$PCI=99.74-\frac{59.74}{1+e^{(\beta+kt)}}$	$\beta=4.90,k=-0.74$
	$PCI=99.38-\frac{59.38}{1+e^{(\beta+kt)}}$	$\beta=11.45,k=-1.17$
SRI	$SRI=90.26-\frac{50.26}{1+e^{(\beta+kt)}}$	$\beta=3.26,k=-0.64$

规律的影响较显著,且再次养护后裂缝率的增加趋势大于前一次养护。

$$CR=6.71\times10^{-10}\times t^{9.70}\tag{1}$$

$$CR=4.37\times10^{-20}\times t^{17.85}\tag{2}$$

3 沥青路面养护维修后评价

3.1 养护路段选择后评价

如图 3 所示,2014 年成乐高速公路下行 K62+000—K80+000 段 PQI、PCI 总体较低,RQI 也偏低,RDI 有个别位置低于 80,SRI 整体偏低,总体上技术状况较差。因此,2015 年对该路段沥青路面

表 2 成乐高速公路下行 K62+000—K80+000 段沥青路面病害统计

年份	龟裂/m ²	块状裂缝/m ²	纵向裂缝/m ²	横向裂缝/m ²	坑槽/m ²	松散/m ²	沉陷/m ²	波浪拥包/m ²	泛油/m ²	修补/m ²	裂缝率 CR/%
2010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.000	0.000 0
2011	3.510	0.000	0.000	2.898	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	5.580	0.009 5
2012	0.330	3.070	0.000	0.320	0.370	0.000	0.000	22.100	0.000	58.010	0.005 5
2013	9.220	0.000	10.532	11.126	7.150	0.000	0.000	0.000	0.000	441.220	0.045 7
2014	15.070	66.330	39.560	150.288	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3 925.060	0.401 8
2015	3.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004 7
2016	11.540	0.000	0.748	8.470	0.000	0.080	0.000	0.000	0.000	17.930	0.030 8
2017	3.160	0.000	11.592	17.854	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	18.080	0.048 3
2018	239.780	3.200	59.342	18.440	0.000	0.780	0.000	0.000	0.000	52.510	0.475 2

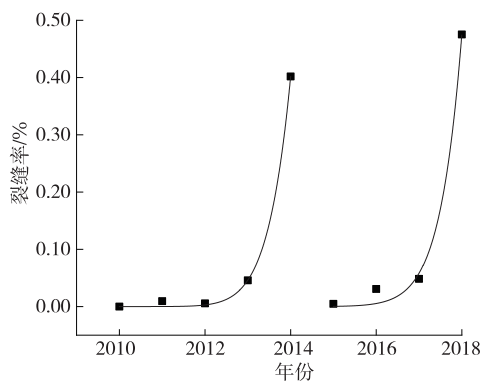


图 2 沥青路面裂缝率发展状况拟合

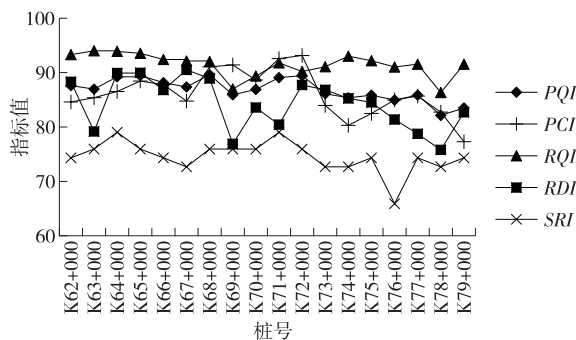


图 3 2014 年沥青路面技术状况指标值

进行病害处治,加铺 4 cm 改性沥青混凝土 AC—13C,养护路段选择较合理。

3.2 养护时机选择后评价

文献[9]提出采用 PCI 性能指标衰减加速时点(对比历年检测数据发现衰减明显变快的时点)作为预防性养护参考依据,将其与宏观路况标准下限值相比较,若已出现加速破坏趋势(即 PCI 衰减加速时点已出现)但未达到宏观路况标准下限值,则应考虑进行预防性养护;若加速破坏趋势暂未出现或 PCI 衰减加速时点预计出现在宏观路况标准的下限值以下,则以路况指标(RQI、PCI、SRI、RDI)达到或接近宏观路况标准的下限值作为预防性养护实施时机。据此,沥青路面养护时机后评价中以路面技术状况指标下限值和衰减速率来判断养护时机的合理性。

成乐高速公路下行 K62+000—K80+000 段 2010—2018 年沥青路面技术路况数据相对于上年的变化情况见表 3 和图 4。该路段 2014 年沥青路面技术状况检测指标 PQI 为 87.16,PCI 为 86.92,均低于 90,RDI 为 84.25,SRI 低至 74.64,多个指标均已达到 JTG 5421—2018《公路沥青路面养护设

计规范》养护实施范畴的阈值, *PCI* 指标比 2013 年降低 9.23, 已进入快速衰减阶段, 必须采取养护维修措施, 此时进行沥青路面养护可达到多个目的, 是比较恰当的时机。

表 3 沥青路面分项指标的变化

年份	<i>PQI</i>	<i>PQI</i> 变化值	<i>PCI</i>	<i>PCI</i> 变化值	<i>RQI</i>	<i>RQI</i> 变化值	<i>RDI</i>	<i>RDI</i> 变化值	<i>SRI</i>	<i>SRI</i> 变化值
2010	95.23	—	99.74	—	92.99	—	94.03	—	90.26	—
2011	93.81	-1.42	99.21	-0.53	93.03	0.04	85.65	-8.38	90.28	0.02
2012	91.53	-2.28	97.17	-2.04	91.88	-1.15	85.13	-0.52	80.03	-10.25
2013	90.77	-0.76	96.15	-1.02	91.25	-0.63	84.23	-0.90	79.81	-0.22
2014	87.16	-3.61	86.92	-9.23	91.59	0.34	84.25	0.02	74.64	-5.17
2015	95.79	8.63	99.38	12.46	94.09	2.50	91.70	7.45	96.22	21.58
2016	94.27	-1.52	97.69	-1.69	94.51	0.42	89.09	-2.61	89.28	-6.94
2017	94.47	0.20	97.72	0.03	95.07	0.56	88.76	-0.33	89.44	0.16
2018	92.70	-1.77	92.63	-5.09	95.04	-0.03	88.84	0.08	89.22	-0.22

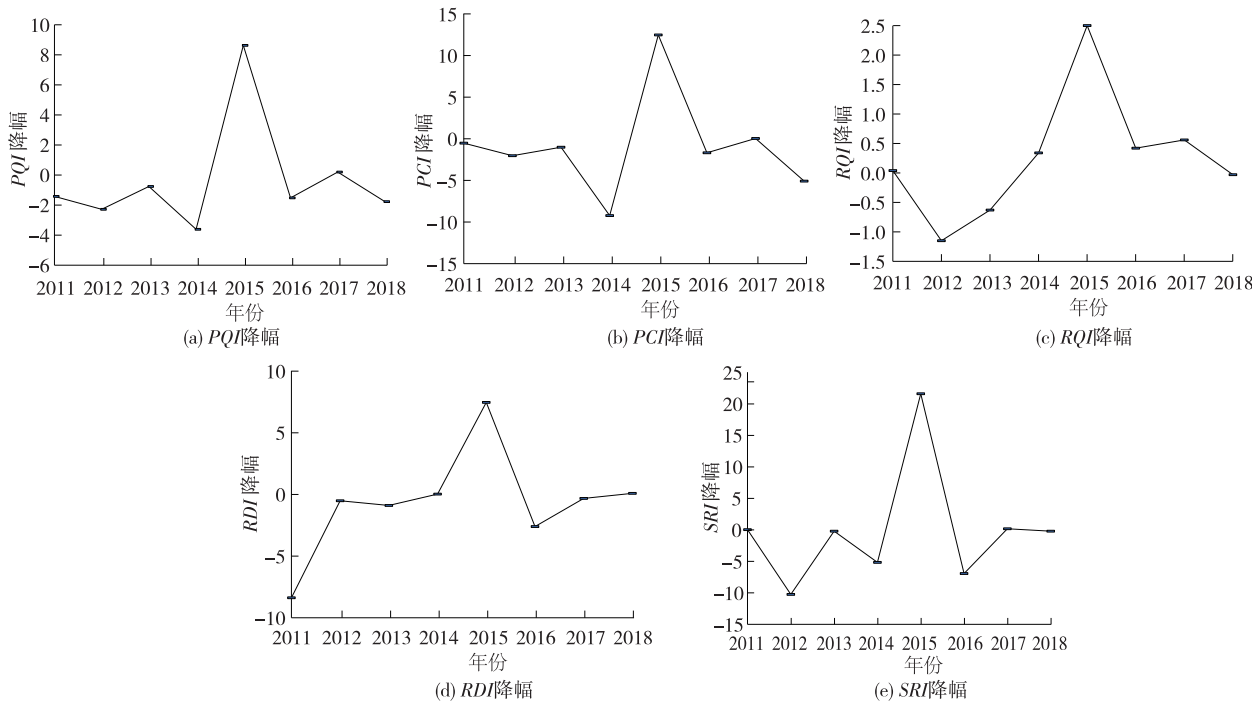


图 4 沥青路面分项指标的变化

3.3 养护技术效果后评价

养护技术效果主要包括直接效果(或称短期效果)和中长期效果,前者通过比较养护实施前后路况指标值的改善情况予以评价,后者通过养护实施后路况指标的衰变趋势、后续维修养护比例(含日常养护)、再养护间隔时间等进行综合评价。基于当前所收集的数据,根据直接效果和中长期效果中路况数据开展养护技术效果后评价,即主要通过对比养护工程完成后及间隔数年后沥青路面路况数据分析养护效果。成乐高速公路下行 K62+000—K80+000 段 2015 年加铺 4 cm 改性沥青 AC—13C 罩面的主要目的是修复路况,防止沥青路面损坏进一步快速

发展,同时改善抗滑性能。该路段沥青路面实施养护措施前后相关技术指标值见图 5。实施养护后原测值偏低的 *PCI* 和 *SRI* 指标均得到显著改善,养护维修 3 年后各指标仍维持在较高水准,虽然其值

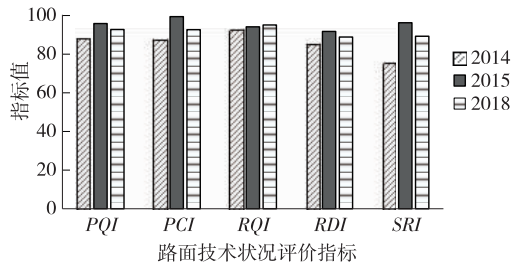


图 5 沥青路面养护技术效果后评价

有所衰减但仍远高于养护前测值,该路段养护技术效果和养护质量均较好。

3.4 养护措施触发指标后评价

图6为成乐高速公路下行K62+000—K80+000段预防性养护触发区间。最先触发预防性养护措施实施的控制指标为PQI(养护后运营年限为2.3年),最后触发预防性养护措施实施的控制指标为CR(养护后运营年限为7.3年);最先触发4~5 cm加铺罩面实施的控制指标为PQI(养护后运营年限为4.5年),最后触发4~5 cm加铺罩面实施的控制指标为CR(养护后运营年限为7.6年)。由于成乐高速公路裂缝类病害较突出,裂缝率的衰变规律较明显,不再将它作为最后触发维修养护的控制指标。裂缝病害较突出时,沥青路面PCI值及其衰变速率均较大,由此可得该路段养护措施实施的控制指标为PQI和PCI。PQI指标对应的触发区间较宽,裂缝率的触发区间最窄,在原路面病害处治不彻底、路面裂缝病害突出或不采取相关养护措施时,裂缝率的增长速率最快,对路面PCI指标值及其衰变速率的影响也较显著。结合PQI和PCI指标的综合影响,预防性养护措施实施的最佳年限为通车运营后2.5~4年,4~5 cm加铺罩面实施的最佳年

限为通车运营后4~5年。

4 结论

(1) 沥青路面预防性养护后评价主要是从结果而非过程角度评价是否在最合适的时间将最合适的养护措施应用在最合适的位置。基于技术效应的沥青路面养护后评价主要包括养护路段选择、养护时机选择、养护措施触发指标、养护技术效果后评价。

(2) 裂缝率近似服从幂函数增长,加铺罩面后第2~3年裂缝率呈大幅度增长趋势,且后一次养护后增加幅度大于前一次养护,可间接推演为路龄对裂缝率演化规律影响显著。

(3) 路段选择评价应遵循工程上最需处治和经济上效益最大的原则,成乐高速公路沥青路面养护中以PCI为主并适当兼顾RDI和SRI等指标进行沥青路面维修养护路段选择,基本是在总体路况评分较好的情况下采取预防性养护措施,路段选择和时机选择均较合理。后期应将SRI前置,实时观测抗滑性能衰减较快的路段。

(4) 沥青路面养护措施实施的触发指标为PQI和PCI,同时应将抗滑性能指标SRI作为前置条件。整体而言,虽然裂缝率不是一个控制指标,但裂缝率的触发区间最窄、裂缝率计算值较大,对PCI指标值及其衰变速率影响显著。

参考文献:

- [1] 施彦,凌天清,崔立龙,等.沥青路面预防性养护评价标准及决策优化研究[J].公路交通科技,2020,37(10):25—34+56.
- [2] 冯红耀.拐点理论在沥青混凝土路面预防性养护时机确定中的应用[J].公路,2012(5):312—316.
- [3] 方凯.沥青路面预防性养护决策和后评价研究[D].西安:长安大学,2017.
- [4] 张东旭.厂拌热再生实体工程后评价与分析研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2018.
- [5] 查庆,束冬林,刘宇.基于抗滑性能的路面养护工艺后评价研究[J].建材世界,2016(4):24—27.
- [6] 胡国祥,李杰,黄敏.高速公路沥青路面预防性养护项目后评价方法[J].华东公路,2008(5):34—36.
- [7] 范上宁.沥青路面预防性养护后评价[J].上海公路,2017(1):20—24.
- [8] 四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院.G0512线成都至乐山高速公路扩容改建项目两阶段施工图设计文件[Z].成都:四川省交通运输厅公路规划勘察设计

(下转第141页)

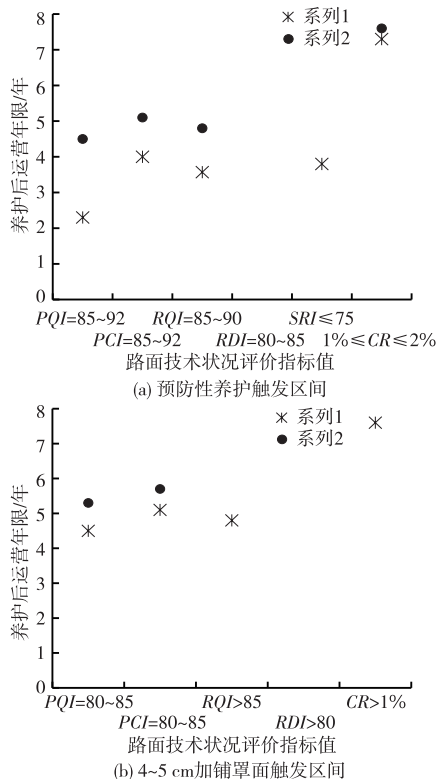


图6 成乐高速公路下行K62+000—K80+000段养护触发区间