

沥青混凝土路面预防性养护效益计算及参数

任奕¹, 谈至明¹, 柳正华²

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海市 200092; 2. 宁波市公路管理局 宁波市 315040)

摘要: 路面预防性效益分析是路面预防性技术的核心, 是比选预防性方案和确定实施时机的前提。根据美国等路面预防性效益分析的经验, 结合我国公路养护技术水平, 对沥青混凝土路面预防性效益分析中的效益指标、效益计算基线和预防性时间范围展开了讨论; 进而, 提出我国现阶段沥青混凝土路面预防性分析中效益指标选用建议和它们计算下基线的参考值, 以及预防性时间范围的控制指标和控制标准的建议值。

关键词: 沥青混凝土路面; 预防性养护; 效益分析; 效益指标; 效益计算基线; 预防性时机

普及路面预防性养护(以下简称预防性)观念、提高预防性技术水平是我国当前道路界面临的重大挑战。路面预防性技术中的两大关键技术为选择经济合理的预防性措施和确定其实施时机。从理论上来说, 这两大关键技术的实质是如何评估路面预防性的效益。1985年加拿大的加查(Kher)和库克(Cook)认为道路用户效益可以用路面性能曲线围成的面积来估计。1989年美国的奥布赖恩(O'Brien)认为, 在选择预防性对策时, 预防性效益可用路面性能曲线围成的面积表征^[1]。

采用路面性能曲线围成的面积表征预防性效益, 虽然解决了如何估计预防性效益的难题, 但是, 在实际应用中尚受到许多主观因素的影响, 例如, 效益指标的选取、预防性时间范围的确定等。下文先简述路面预防性效益的评估方法, 然后, 根据我国目前路面养护现状, 对几个关键影响因素(效益指标、预防性时间范围、效益计算基线)的选取原则和确定方法开展讨论。

1 预防性效益的估算

1.1 效益面积

若已知表征路面性能的指标, 如路面平整度指数 IRI 、横向力系数 SFC 、路面状况指数 PCI 等衰变规律, 则指标衰变曲线与上下效益基线围成的面积称之为该指标的效益面积。当采用预防性措施后, 效益面积的增量称之为预防性效益面积。

单一效益指标时, 日常养护效益面积和预防性效益面积为如图1所示的 A_d 和 A_j 。时间零点为路面新建或大、中修的初始时间。图1中的 $EQ_d(t)$ 为日常养护时的指标衰变曲线, $EQ_j(t)$ 为在时刻 T_{j0} 采取预防性措施 j 后预期衰变曲线方程, y_u 和 y_L 为效益计算的上、下基线, T_{d1} 、 T_{j1} 为 $EQ_d(t)$ 和 $EQ_j(t)$ 为效益计算基线的交点, 即效益计算的终止时间点。

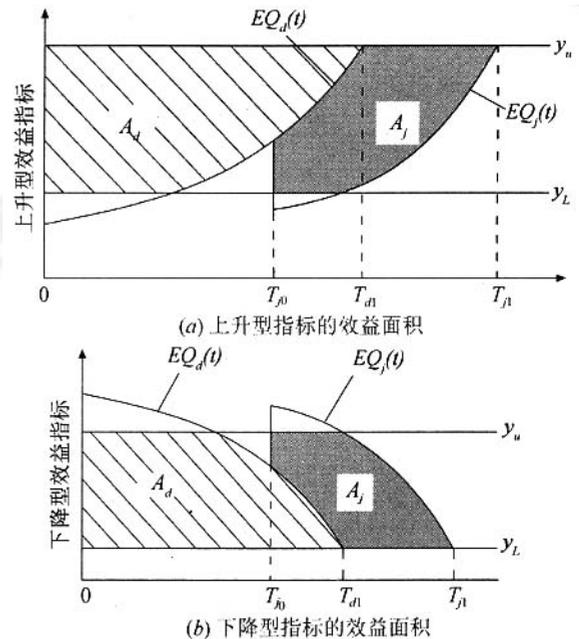


图1 单指标效益计算图示

多指标的效益面积计算与单指标的效益面积计算基本相同, 其不同点在于效益面积计算终止时间

点并非各自衰变曲线与计算基线的交点,而是所有交点 T_{di} 和 T_{ji} 中的最小值,即 $T_{d1} = \min T_{di}, T_{j1} = \min T_{ji}$,见图2。

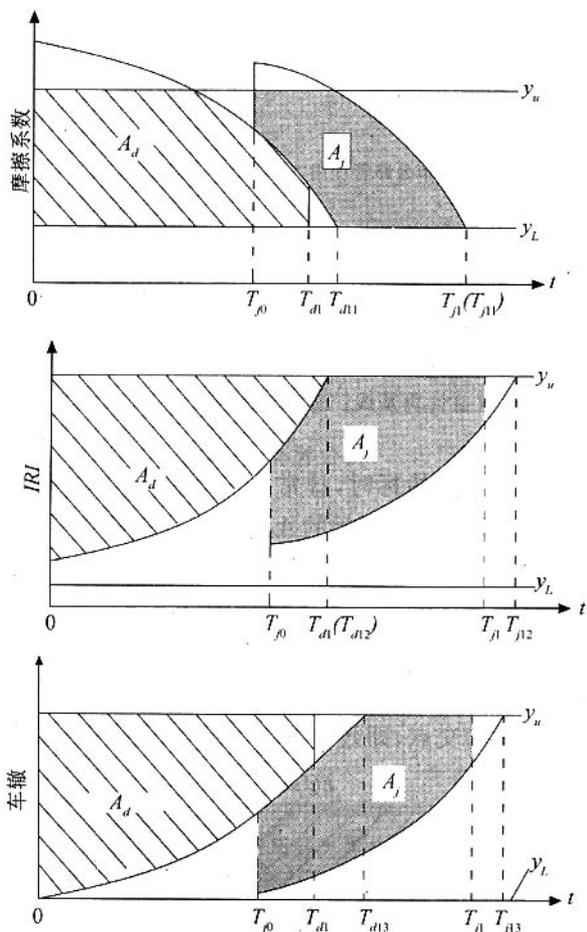


图2 多指标效益计算图示

1.2 效益指数

在多指标时,为了使得各指标的预养护效益具有可加性,不同指标的预养护效益需进行标准化处理,即采用预养护效益面积 A_j 与日常养护效益面积 A_d 之比 A_j/A_d 的百分率来表征,该百分率可称为指标 i 的标准化效益,记为 SB_{ji} 。由于不同指标的重要程度或关注程度的不同,不同指标的标准化效益 SB_{ji} 叠加时,需乘上效益权重系数 α_i 。加权叠加后的预养护效益综合值可称为预养护效益指数 PBI ,即:

$$PBI_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i SB_{ji} \quad (1)$$

2 预养护效益指标的选取

预养护效益指标的选取原则可归纳为2条:第一,效益指标必须充分反映预养护措施对路面性能

的改善;第二,效益指标必须有足够的历年数据的积累,可总结和预测出日常养护及采取预养护措施条件下,该指标随时间和交通量的衰变规律,或已有符合本地区或本路段的衰变方程。例如,1999年,美国亚利桑那州公路局在稀浆封层的预养护效益分析时,根据其数据积累情况,以及稀浆封层密封细小裂缝,改善路面抗滑性能和提高路面平整度的功能,选择了国际平整度指数 IRI 、摩擦系数和开裂率作为效益指标^[2];1999年至2001年间,美国密歇根公路局,在分析石屑封层和薄层罩面的预养护效益时,采用的效益指标为路面综合破损率 DR 和行驶质量指数 RQI ,而对封/灌缝预养护措施采用的效益指标为路面综合破损率 DR ^[2]。

众所周知,路面在行车荷载和自然因素的综合作用下,将会出现各种损坏现象,要表征路面的损坏状况,可以采用一个综合指标或采用单一性能指标。综合指标的优点是反映了路面的总体完好状况,便于比较;缺点是不能确切反映单个损坏(车辙、开裂等)的具体测度,不便于损坏原因的诊断和具体预养护措施的制定。单一指标是指直接采用路面损坏的各种物理特征指标来表征路面的损坏状况,它的优点是有助于明确诊断损坏原因,制定针对性强的养护措施;缺点是分类过细,对数据采集精度要求高,不便于相互比较,不直接反映路面损坏的总体状况^[3]。我国的路面养护管理系统建立时间较短,数据积累不足,大多数省市只有近几年的路况数据,而且也不全面^[4]。因此,近几年我国的预养护效益指标宜采用综合指标,建议采用路面状况指数 PCI 作为路面损坏状况的测度、行驶质量指数 RQI 表征路面行车舒适性、横向力系数 SFC 表征路面的抗滑性能。

沥青混凝土路面的预养护措施根据其技术特点可分为加铺层类、活性剂类和填封类三种类型。加铺层类预养护措施可有效地修复原路面的表面损坏、提高路面平整度和摩擦系数;填封类预养护措施能修补路面的损坏(如裂缝、小坑槽等),活性剂类养护措施能改善路面的老化状况,而它们对路面的平整度和摩擦系数基本没有影响。因此,不同类型预养护措施的分析指标选取建议如表1。

3 预养护时间范围的确定

预养护措施的适宜时间范围是制定一系列养护时间方案的基础。由于各种预养护措施(见表1)的主要功能是改善路面表面功能(平整度、抗滑能力)和

表1 各类预养护措施所适用的效益指标

措施类型	预养护措施	效益指标
加铺层类	稀浆封层、微表处、石屑封层、复合封层、超薄磨耗层、刷入封层、薄层罩面	PCI 、 RQI 、 SFC
活性剂类	沥青再生剂、雾封层	PCI
填封类	封缝、灌缝	PCI

修复及治理路面初期损坏以防止其发展成为严重的结构损坏,因此,适宜预养护的路况,应结构状况良好、强度充分。

但是,由于不同国家不同地区的路况评价方法和评价指标具有差异,因此,反映预养护路况要求的具体指标和标准也不尽相同,有着很大的经验性。比如,美国明尼苏达州的预养护路况指标采用现时服务能力等级 PSR 、路表等级 SR 和路面质量指数 PQI ^[8];美国俄亥俄州交通运输部采用表征结构强度的路面服务能力指数 PSI 和反映路面表面损坏状况的路面状况等级 PCR 作为判断预养护适用性的指标,其标准如表2。美国蒙大拿州交通运输部的预养护路况指标采用表征结构强度的路面结构状况指数 SCI 、反映路面平整度的路况指数 ACI 和表征路面损坏状况的养护控制指数 MCI ,其预养护标准列于表3。加拿大安大略公路局采用 PCI 作为预养护适用性的判断指标,其适用预养护的取值范围为 $65 \sim 85$ ^[5]。从以上国外的预养护标准来看,其结构强度一般都落在优良的阶段,路面的损坏状况的评分都在中等以上。

表2 俄亥俄州的预养护路况要求^[8]

路况指标	预养护标准
PCR	$75 \sim 85$
PSI	≥ 3.0

表3 蒙大拿州的预养护路况要求^[6]

路况指标	预养护标准
SCI	> 60
ACI	$66 \sim 90$
MCI	$56 \sim 94$

鉴于我国现行的路面评价体系,建议采用路面状况指数 PCI 、行驶质量指数 RQI 和路面强度指数 SSI 三个指标作为沥青混凝土路面预养护路况的控制指标。其中以行驶质量指数 RQI 和路面强度指数 SSI 为检验指标,以路面状况指数 PCI 为判断指标,即在 RQI 和 SSI 满足要求的前提下,以 PCI 划定预养护适宜时间。参考国外的预养护标准,建议我国预

养护标准按照现行路面养护规范中的有关规定^[7]选取良的下界为 PCI 、 RQI 和 SSI 的低限。对于高速公路和一级公路, PCI 和 RQI 的低限可在良的值域内取值(见表4)。

表4 适于预养护的路况标准

公路等级	判断指标	检验指标	
	PCI	SSI	RQI
高速公路、一级公路	$90 \sim 75$	≥ 0.83	≥ 7.5
普通公路	$85 \sim 70$	≥ 0.66	≥ 7.0

4 效益计算基线的确定

效益计算基线是计算效益面积的上下边界,反映在效益计算指标和时间关系图上为平行于时间 t 轴的直线。

上升型效益指标的下基线和下降型效益指标的上基线一般可取时间零点处的纵坐标值。若效益指标超过(下降型)或低于(上升型)一定限值,效益增量明显变小,可取该限值作为其效益计算上(下降型)、下(上升型)基线,例如,图2中路面摩擦系数在大于一定限值之后对行车安全并无持续贡献,可取该限值为效益计算上基线。

在具体确定上升型效益指标上基线,或下降型效益指标下基线时,应从路面未来养护计划出发,若预期下一次路面养护将进行中、大修时,效益计算基线可取中、大修的出发点;否则,应以预养护措施的失效点为基准点。由于路面预养护以改善路面表面功能和治理路面初期损坏以防止其发展成为严重的结构损坏为目的,因此,预养护措施的失效点一般以宏观路况指标的良级来控制,例如,美国北卡罗来纳州的路面状况等级 PCR 的效益计算下基线为 $PCR = 70$ ^[2]。表1建议的是我国近期沥青混凝土路面的预养护三个效益指标 PCI 、 RQI 、 SFC 的预养护措施失效点,建议按现行沥青混凝土路面养护技术规范中各指标良级值域的中值(高速公路、一级公路)、低值(一般公路)选取,见表5。

表5 各指标的效益计算下基线

路况指标	公路等级	y_L
PCI	高速公路、一级公路	75
	一般公路	70
RQI	高速公路、一级公路	7.5
	一般公路	7.0
SFC	所有等级公路	40

5 结语

路面预养护效益分析是路面预养护技术的核心,是比选预养护措施和确定实施时机的前提。采用路面性能曲线围成的面积来近似表征预养护效益,是目前较实用的方法。但是,在应用该法时,尚需解决如何选择合适的效益指标和效益计算基线,确定恰当的预养护时间范围等关键技术。

根据美国等路面预养护效益分析的经验,结合我国公路养护技术水平,我国现阶段沥青混凝土路面预养护效益指标建议按表 1 取用,即各地可根据预养护的目的和当地的数据积累情况,在路面状况指数 PCI 、行驶质量指数 RQI 、横向力系数 SFC 中选取一个或多个作为预养护效益分析指标,它们的计算下基线可参照表 5 选取。预养护的时间范围建议用路面状况指数 PCI 、行驶质量指数 RQI 和路面强度指数 SSI 三个指标控制,其中, PCI 为判断指标, RQI 、 SSI 为检验指标,具体控制标准见表 4。

参考文献

[1] O'Brien L G. NCHRP Synthesis of Highway Practice 153: Evolution and Benefits of Preventive Maintenance Strategies [R]. Transportation Research Board,

National Research Council, Washington DC, 1989.

- [2] D G Peshkin, T E Hoerner, K A Zimmerman. Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Applications [R]. NCHRP Report 523, 2004.
- [3] 孙立军,等. 沥青路面结构行为理论[M]. 上海:同济大学出版社, 2005.
- [4] 姚祖康. 路面管理系统[M]. 上海:同济大学出版社, 1993.
- [5] Wael Bekheet, Khaled Helali, Tom Kazmierowski, Li Ningyuan. Integration of Preventive Maintenance in the Pavement Preservation Program-Ontario Experience[R]. First National Workshop on Roadway Pavement Preservation for Surfaced and Unsurfaced Roads. Kansas City, Missouri. 2005.
- [6] R Gary Hicks, Stephen B Seeds, David G Peshkin. Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavement [R]. Report for Foundation for Pavement Preservation, 2000.
- [7] JTJ 073.2—2001, 公路沥青路面养护技术规范[S].
- [8] FHWA. Insight into Pavement Preservation A Compendium [R]. Pavement preservation, State of the Practice, 2001.

Benefit Calculation of Asphalt Concrete Pavement Preventive Maintenance and Parameters

REN Yi¹, TAN Zhi-ming¹, LIU Zheng-hua²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Nibo Highway Administration Bureau, Nibo 315040, China)

Abstract: The benefit analysis, which is the key procedure of pavement preventive maintenance technique, is the prerequisite to choose the preventive maintenance treatment measures and determine the optimal time to carry out. In reference to the practice experiences of pavement preventive maintenance in America, Canada etc., the benefit indexes, benefit cutoff values and the time range of preventive maintenance in conjunction with the national pavement maintenance technical level are discussed. Therefore, benefit indexes and corresponding lower benefit cutoff values in benefit analysis relating to present time are proposed, the indexes using to decide whether the preventive maintenance should be applied and its numerical ranges are then given.

Key words: asphalt concrete pavement; pavement preventive maintenance; benefit analysis; benefit indexes; benefit cutoff values; optimal time of pavement preventive maintenance