

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.03.050

高速公路综合管理指标的分析与设计

殷峰

[上海城投公路投资(集团)有限公司,上海市 201700]

摘要:高速公路业主管养成本和效益的界定是个尚待解决的复杂问题,针对这个问题,基于实际情况和简约原则,通过分析概念、建立管养成本表达式,得到了确定性管养的重要性系数以及随机性日常养护系数等重要参数,提出了通过立项指标、养护工程使日常养护向“轻”级并通过效益指标监管保持养护等级的动态优化成本效益管理模式。以成本分析为基础,建立成本和效益的对应关系,得出了确定性、半确定性、随机性日常养护的效益指标。

关键词:成本;效益;随机性日常养护;客观指标;重要性系数;养护系数

中图分类号: U4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0196-03

0 引言

高速公路管理是复杂的,具有一定的挑战性,主要表现在:作业任务包含着不确定性,关系到成本投入;以及工作效果评价多元性,关系到效益检验。为此,锁定成本和效益这一综合管理的主题,深入分析其内在关系,明确关键指标及其联系,就是掌握了认识全局的钥匙,这是本文的主要任务。

在展开分析前,先须厘清几个问题。第一,对于高速公路管理单位,成本和效益有其特定的含义,不是生产、市场、销售、利润这个循环中的一般意义,而是作为社会服务性单位进行设施养护和运行服务工作的投入及其效果的评价;第二,指标对信息的再加工,是快速认识复杂现象的工具,指标的要素包括数据集、基于数据集的函数(变量)、指标函数的特征点(如表征合格、不合格的指标值),指标要建立在可采集的数据及其质量基础上。

1 高速公路管理成本和效益分析

我们将聚焦于高速公路的真实情形,这样的结果才会产生实际意义:一条高速所需要的维护或服务的数量和内容,总是同一些客观指标紧密关联的,例如大修不久抑或使用十年(表示为 Y)、轻交通抑或重交通(表示为 L)^[1]、路面损坏状况好抑或坏(PCI)^[2]、桥隧结构物占比小抑或大(B)、公路服务水

平(S)是一级(自有流)抑或三级(稳定流)^[3]。正如《公路沥青路面养护技术规范》(JTG 5142—2019)的要求“4.5.1 路网级养护规划。按 PQI 评定结果编制;4.5.2 路面日常养护计划...按 PCI 调查与评价结果编制;4.5.3 养护工程及对策...按 PQI 分项指标调查与评价结果编制”^[4]。

1.1 成本分析

我们讨论一条典型的高速公路 H ,判定其下一年管养成本。 H 按照大修(或通车年份)可分为 $H_1, H_2, H_i, \dots, H_m$ 等 m 个区段, H 包含路面、桥梁、隧道、机电、收费站、车流量等对成本和效益影响占比大的因素,分别用 R, Q, J, S, T 表示。年管养成本 C 按照专业由设施维护成本和运行服务成本组成,按照作业的确 定性分为确定性作业、半确定性作业和随机性作业组成,按照工程属性分为日常养护和养护专项工程、大中修工程,按照上文客观指标的可划分为轻、重不同等级(根据影响程度,首先应按年限 Y 划分)。

于是,对于成本 C 有如下表述:

$$f(\text{养护作业 } M + \text{运行作业 } O) \leq \inf(C) \quad (1)$$

式中: C 是管理单位需为下一年配置的管养成本; $\inf(C)$ 为管养成本数集的下确界,目标是找到下确界; f 为预期养护作业和运行作业产生效应函数,这个效应就是所需的费用。

式(1)是指,预备的费用额度的最小值应大于预估的下一年肯定发生及期望发生养护、运行工作量的费用。

$$f(M+O) = f_{\text{确定}} + f_{\text{半确定}} + f_{\text{随机}} \quad (2)$$

式(2)是指,管养成本由确定、半确定、随机三类作业组成。其中 $f_{\text{确定}}$ 包括设施检查类、保洁类、绿化养

收稿日期:2022-06-22

基金项目:上海城投(集团)有限公司科技创新计划项目(CTKY-QYFZ-2021-001)

作者简介:殷峰(1973—),男,硕士,高级工程师,从事高速公路养护运行技术管理。

护、运行管理(包括收费站人员、服务区人员、牵引、项目管理及技术人员、水电费及保险等),可划分为检查(包含诊断与方案)、保洁、绿化、运行等大类,其数量确定,但与设施重要性关联密切,可表述为:

$$f_{\text{确定}} = \gamma_{B\text{检}} B F_{B\text{检}} + \gamma_{\text{检}} (1-B) F_{\text{检}} + \gamma_{\text{洁}} F_{\text{洁}} + \gamma_{\text{绿}} F_{\text{绿}} + \gamma_{\text{S}} F_{\text{运}} \quad (3)$$

式(3)中, $F_{B\text{检}}$ 、 $F_{\text{检}}$ 、 $F_{\text{洁}}$ 、 $F_{\text{绿}}$ 、 $F_{\text{运}}$ 是指按照基准水平得出高速公路 H 的各类确定性工作费用。基准水平是大量高速公路的平均水平,是以定额为参考的,是对历史水平的科学调整。

$\gamma_{B\text{检}}$ 、 $\gamma_{\text{检}}$ 、 $\gamma_{\text{洁}}$ 、 $\gamma_{\text{绿}}$ 、 γ_{S} 是各类确定性工作的重要性系数,取值 ≥ 0 ,基准水平各重要性系数均为1。对于桥梁检查检测,“三特桥”、一级养护检查桥梁^[5]、一级养护隧道^[6]的 $\gamma_{B\text{检}}$ 取值最高,其中考虑到这些桥本身技术含量高,交通部、省级管理部门要求高,对技术人员要求高,技术工作难度大,所需的设施、仪器成本高等因素。对于其他设施的检查, $\gamma_{\text{检}}$ 取值主要与设施技术状况有关。对环境要求高的区域 $\gamma_{\text{洁}}$ 和 $\gamma_{\text{绿}}$ 取值大,土方车流量大的公路、一级养护隧道的 $\gamma_{\text{洁}}$ 取值大。交通流量造成服务等级 S 越差,则 γ_{S} 取值越大,这是考虑流量越大所需的收费人员、中控室人员、牵引台班、应急处置人员、管理人员等就越多。

B 是桥(隧)结构占总里程比。

半确定管养工作是指依据设施技术状况衰减可能设立的、处于前期设计或研究决策阶段的以及根据交通部及省级管理部门提质升级或专项行动计划待实施等的专项工程,因其按照工程定额计算成本故不具体展开,但我们重点关注其立项条件,也即立项指标,通常表现为国检标准、技术状况等级、养护规定值、公路服务质量等的合格标准。

随机管养工作主要是指工作量和内容需按照数学期望值估计,对于具体的技术状况和使用条件(主要是车辆荷载水平),期望值不同,这部分是日常养护的重要组成部分。预估其成本一般有两种思路,一是基于技术状况、使用条件的历史数据的预测,要求积累丰富、可靠的数据;当这个要求暂不能满足时,采用另一种思路,即根据有限的的数据得到设施随机管养等级 G ,如可设置为微、轻、中、重、极重5个水平。另外是日常养护之外的随机性管养,包括突发性设施损毁、故障导致的应急工程,相关管理部门提出的设施完善或改建要求往往发生增设专项工程计划情况,这也属于随机性工作。这样,随机管养费用估算可表述为:

$$f_{\text{随机}} = f_{\text{P}} = f_{\text{P日常}} + f_{\text{P非日常}}$$

其中日常养护部分,试以路面、桥梁、隧道机电为重点表述为:

$$f_{\text{P日常}} = \gamma_{G\text{轻}} H F_{\text{P日常R}} + \gamma_{G\text{重}} (1-H) F_{\text{P日常R}} + \sum_{k=1}^m (\gamma_{G_i} F_{\text{P日常}Q_i}) + \sum_{k=1}^l (\gamma_{G_j} F_{\text{P日常}J_j}) \quad (4)$$

式(4)中, $F_{\text{P日常R}}$ 、 $F_{\text{P日常}Q_i}$ 、 $F_{\text{P日常}J_j}$ 是指按基准水平得出高速公路 H 的路面、桥梁、隧道机电的日常养护随机类工作费用,其中路面 $F_{\text{P日常R}}$ 是日常养护维修以灌缝、坑塘修补、小面积铣刨加罩为主,PCI能直接反映所需的日常维修量;对于中小桥, $F_{\text{P日常}Q_i}$ 可按整座桥,但对三特桥因其复杂性则应细化到构件; $F_{\text{P日常}J_j}$ 是指某一类机电设备,例如隧道照明系统、广播系统、消防报警系统。

γ_G 是指基于养护等级 G 的养护系数, $\gamma_G \geq 0$, G 为“中”时 $\gamma_G = 1$, γ_G 随着 G 由“微”向“极重”递增。 γ_G 取值受运行时间、使用环境、技术状况共同影响,即 $\gamma_G = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$ 用, η_1 、 η_2 、 η_3 分别是运行时间、环境、技术状况系数。对路面、结构、机电等不同专业类型三者取值不同,年限、使用环境前文已做简要说明,路面的指针性技术状况为PCI,桥梁(或三特桥构件)为技术状况等级,机电为完好率(规范采用“故障”^[6]但未明确故障的定义,大量设备虽然未停机或完全失去功能,但性能指标已大大低于规范要求,因此应将性能指标低于设计或规范要求视为故障)。 η_1 、 η_2 、 η_3 的组合以 η_1 为主导,设施符合立项条件经过专项或大中修后的初期若干年(运行时间),使用环境影响不显著,故 η_2 较小,技术状况也应较好, η_3 取值也较小,养护等级为“微”, γ_G 取值很小。随着 η_1 增大, η_2 、 η_3 随之逐渐增大,养护等级变高, γ_G 取值变大。由 γ_G 可以看出,通过专项将立项指标(路面主要是RQI和PCI)不佳、使用环境不利的养护单元及时更新,使大部分设施的随机养护等级处于“中”以下,可以最大程度降低随机管养成本。

H 是大修路段占总里程比,对于路面一般适合按大修占比考虑 γ_G 取值、计算随机养护费用。

1.2 效益分析

效益与成本对应,这里特指业主管养的效益,一言以蔽之,就是与各项成本对应,养护单位是否按计划或规范实施,效果是否达到预期要求。

对于确定性工作的效益,首先是按计划完成全部工作,即计划执行率,除具体作业外,还包括技术、作业人员及设备按合同约定配足;其次是工作效

果,例如,检查诊断就是出现严重病害或故障未及时发现并报告计0分,发现问题并制定方案、消除问题隐患的计满分,保洁就是散落或成堆垃圾滞后清理一定时间则扣若干分,绿化可按相关规程的养护质量评价指标^[7],运行就是联网收费交易成功率、交易数据上传及时率、牵引及时到达率、收费站排堵措施执行率、有责事故率、应急处置合格率、服务区满意度、投诉及时回复率,管理总体效益包括管养技术革新率、典型经验指标、四新技术应用率、预防性养护应用率、行业检查评价指标等。

对于半确定工作的效益,主要是指专项工程按计划完成并验收通过,工程质量及时整改销项,质保期内不出现质量缺陷。

随机性工作中的专项工程效益与半确定类似,日常养护我们关注病害、故障的及时维修和维修质量,在具体维修数据尚不能准确采集时,可直接采用

特征指标的变化表征:路面、桥梁(隧道)、机电分别是 PCI、技术状况等级、完好率不降低,因为这些特征指标降低就足以说明日常养护不到位。也可采用养护等级不降低表征,举例来说,如果原来是“轻”的养护等级在效益评价时降为“重”,在使用环境没有变差的情况下,可视为养护不到位所致。

2 高速公路综合管理指标

前文的分析可知有一些客观指标用来评估高速公路的重要性和随机养护系数,通过式(1)~(4)以最为简洁的成本表述锁定了一些参数(同时也是指标),揭示了成本结构优化的动态过程(即“良态”设施占比的扩大与日常养护“轻量化”范围的扩大),再通过与成本表述对应的效益指标督促成本执行受控,形成良性闭环。表1为据前文整理的部分综合管理指标,供同行参考。

表1 某高速公路部分综合管理指标

一级	二级	三级	说明
客观指标	路面	PCI、RQI、PSSI 等 交通荷载等级 运行时间	PCI 为日常养护表征指标,余下为专项立项指标 轻、中等、重、特重、极重 ^[1]
	结构(桥、隧)	技术状况等级、结构占比 B 超载指标 运行时间	
	机电	完好率 运行环境指标 运行时间	
	运行	服务水平	
成本指标	确定性工作成本	检查分析技术类工作重要性系数 $\gamma_{检}$ 保洁类工作重要性系数 $\gamma_{洁}$ 绿化类工作重要性系数 $\gamma_{绿}$ 运行类工作重要性系数 $\gamma_{运}$ 各设施基准水平单价	需在充分调查基础上确定
	半确定性工作成本	各类立项指标 相关定额单价	
	随机性日常养护工作*	路面、结构、机电等养护系数 γ_c 路面、结构、机电等运行时间系数 η_1 路面、结构、机电等使用环境系数 η_2 路面、结构、机电等技术状况系数 η_3 养护等级 G 大修范围占比 H	
效益指标	确定性工作效益	各设施基准年度日常维修率及经费 检查分析技术类工作效益指标 保洁类工作效益指标 绿化类工作效益指标 运行效益指标	详见前文
	半确定性工作效益	计划完成率 质量缺陷程度	详见前文
	随机性日常养护工作效益	路面 PCI 保持率 结构技术状况等级保持率 各机电系统完好性保持率 养护等级保持率	详见前文

* 随机性非日常养护工作指标同半确定性工作。

表5 事故统计

护栏位置	事故次数	有人员死亡事故次数	死亡人数	重伤人数	轻伤人数
路侧	262	0	0	2	46
中分带	231	1	1	1	29
收费站	1	0	0	0	0
未记录位置	6	0	0	1	0
合计	500	1	1	4	75

发生。

通过对开阳高速公路乘用车小轿车碰撞波形梁护栏事故的调研和分析可以看出,实际道路环境下A级标准二波波形梁护栏对小轿车的防护效果良好。

5 结论

A级标准二波波形梁护栏对乘用车的防护性能满足最新护栏评价标准要求,且其在实际道路环境下对小轿车的防护效果良好。研究成果肯定了A级标准二波波形梁护栏对乘用车的安全防护性能,为该梁护栏的合理应用提供了依据。

参考文献:

- [1] JTJ 074—94, 高速公路交通安全设施设计及施工技术规范[S].
- [2] JTG/T D81—2006, 公路交通安全设施设计细则[S].
- [3] JTG/T F83—2004, 高速公路护栏安全性能评价标准[S].
- [4] JTG B05—01—2013, 公路护栏安全性能评价标准[S].
- [5] 闫书明, 陈冠雄, 刘航. 几种改进的波形梁护栏的碰撞分析[J]. 公路工程, 2016, 41(1):167-171, 201.
- [6] 闫书明. 有限元仿真方法评价护栏安全性能的可行性[J]. 振动与冲击, 2011, 30(1):152-156.
- [7] 栗学铭, 高建雨, 全瑞金, 等. 具有快速开启功能的新型防撞活动护栏开发[J]. 公路工程, 2021, 46(1):125-130.
- [8] 裴大军, 张望鹏, 邓宝, 等. 防撞护栏最大动态变形量敏感性分析[J]. 公路工程, 2020, 45(2):224-228.
- [9] 龚帅, 刘航, 邓宝, 等. 在役旧桥梁组合式护栏升级改造研究[J]. 中外公路, 2021, 41(1):314-318.
- [10] 周翔海, 陈卫霞, 邓宝, 等. 波形梁护栏立柱承载能力研究[J]. 中外公路, 2021, 41(2):356-360.
- [11] 刘航, 龚帅, 刘思源, 等. 高速公路旧波形梁护栏改造研究[J]. 公路工程, 2020, 45(6):173-180.
- [12] 王新, 杨福宇, 刘思源, 等. 防阻块功能分析及焊缝强度对波形梁护栏防护性能影响研究[J]. 中外公路, 2021, 41(2):361-364.

(上接第198页)

3 结语

围绕高速公路管养成本的数学表述, 从中得到必要的参数, 由此明确关键指标, 并通过对应关系确定了效益指标, 这一个完整、严密的逻辑流程确保了指标体系的可靠性、实用性, 提出了成本—效益动态优化管理模式, 对高速公路业主单位有显著的参考

价值。

参考文献:

- [1] JTG D50—2017, 公路沥青路面设计规范[S].
- [2] JTG 5210—2018, 公路技术状况评定标准[S].
- [3] JTG B01—2014, 公路工程技术标准[S].
- [4] JTG 5142—2019, 公路沥青路面养护技术规范[S].
- [5] JTG 5120—2021, 公路桥涵养护规范[S].
- [6] JTG H12—2015, 公路隧道养护技术规范[S].
- [7] DG/TJ 08-2167—2015, 公路绿化养护技术规程[S].