

基于DEA的高速公路小修保养绩效改进分析

李玉环^{1,2}, 史小丽¹, 高楠³

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068;

3. 陕西省交通建设集团公司, 陕西 西安 710075)

摘要:为了合理分配投入养护资源和提升养护管理水平,根据陕西省23条高速公路2018年度的运营养护数据,通过DEA(Data Envelopment Analysis)数据包络分析方法对高速公路小修保养工程的养护管理绩效及改进方式展开研究。结果表明:对于部分无效分公司而言,传统的基于径向和松弛的绩效改进方式在短期内具有一定的难度和不可行性;因此提出基于情境依赖模型的长期逐级改进策略,借助相对改进值实现了无效分公司的逐级改进,为各无效分公司在短期内寻求要求较低的绩效改进目标从而实现长期的逐步改进提供了可能的途径。

关键词:高速公路;小修保养;数据包络分析;情境依赖模型;绩效改进

中图分类号:U491

文献标志码:A

0 引言

在国家高速公路网建设规划基本饱和的发展态势下,公路养护对各级政府而言既是机遇也是挑战。而目前的资源减少、资金不足、技能短缺等问题,不断加大政府的财政压力。据相关资料统计,作为高速公路养护运营管理中贯穿始终的基础和核心的小修保养工程费用在公路养护总费用支出中占30%~40%^[1]。因此,有限养护资金能否达到期望的养护管理效果成为关键问题。

本文将高速公路小修保养工程的养护管理绩效定义为具体的养护管理分公司养护并管理其所辖高速公路的必要人员和费用。因此,各分公司的养护管理人员及养护管理费用这类资源投入可以作为DEA方法中的投入指标;养护路段的长度是体现各分公司养护管理任务量的关键,而各路段的服务区和收费站又是过往旅客和车辆聚集的地方,其日常养护和修复工作也更加频繁,所以考虑将养护里程和各路段的收费站+服务区个数作为产出指标。

绩效评价作为资产管理中最为重要的方法和手段成为高速公路养护管理过程中各项考核评估的首

选。如何通过绩效评价来提高公路的养护管理水平,优化投入资源的配置,也逐渐成为越来越多学者的研究重点。美国《AASHTO运输资产管理指南》中描述了运输资产管理过程中使用绩效衡量来通知决策者如何投资有限的资源;Kaplan等^[2]采用平衡计分卡理论对过程绩效进行定量研究;Ravirala^[3]基于动态过程对高速公路生命周期成本进行分析,进而提出了一种四阶段的、管理绩效更高的高速公路设施管理技术;傅小华等^[4]针对养护作业和养护管理提出了现代化的考核标准;王成^[5]根据公路养护管理内容界定了公路养护管理绩效的概念,从质量、进度、费用和管理4个方面,构建了北京市公路养护管理绩效评估体系;朱洁等^[6]提出了基于资产价值评估理论的公路养护绩效评价方法。此后,朱洁等^[7]从公路养护管理工作的关键内容以及目前与目标养护状况的差距出发,构建了基于平衡计分卡理论的关键绩效指标评价体系;Adey等^[8]通过相同养护内容在不同区域和不同情况下费用、时间消耗、养护工作量等的对比研究,针对瑞士市政道路日常养护和运营管理绩效进行了评估;于嘉汛^[9]从道路使用者和管理者两个角度出发,在日常指标层的评分标准修正过程中引入管养里程、交通量和运营年限因子,建立了适合

收稿日期:2021-06-25

基金项目:陕西省交通运输厅科技项目(编号:16-34k);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号:300102218112)

作者简介:李玉环,女,硕士,助理工程师.E-mail:1641963095@qq.com

辽宁地区的养护效果评价模型;Patidar等^[10]将绩效测量用于桥梁管理过程中,将桥梁保存状况、增强交通安全、极端情况下的保护、管理成本最小化、用户成本最小化、最小化不利条件下对社区的影响作为绩效目标;Saeideh等^[11]基于高速公路养护的投入消耗(养护预算)和产出实现(道路改善状况)对预防性养护和纠正性养护在时间维度下的绩效建立了动态测量模型;Bardaka等^[12]在对道路维护保证合同和传统合同的寿命周期成本效益绩效进行研究时,提出了考虑未观察到的异质性的随机参数回归模型。

通过上述研究发现:①研究者多针对养护管理部门管理绩效展开研究,但基于评价指标的研究内容和侧重点有所不同;②评价指标体系的构建过程更多地依附于评价模型、方法和理论;③大部分研究主要从高速公路整体养护角度出发,专门针对公路小修保养养护管理绩效的研究较少;④研究者往往只关注绩效评价结果,却很少探究绩效改进的内容。因此,基于陕西省交通建设集团的分级养护管理模式,在经典的DEA包络模型的基础上采用情境依赖模型对各分公司的小修保养养护管理绩效改进展开研究。首先依据DEA方法的评价指标选取原则和各分公司小修保养养护管理工作的内容及背景,选取投入、产出指标;其次,通过DEA方法建立投入导向下的CRS模型,通过计算各分公司养护管理绩效值,初步获得各分公司的绩效基于径向和松弛的投入资源缩减量;同时,分析基于径向和松弛改进方法在短期绩效改进过程中的不可行性。最后从长期角度出发,借助情境依赖模型的改进值对各分公司小修保养养护管理绩效值进行逐级改进。

1 研究方法

1.1 情境依赖DEA模型的相对评价情境

情境依赖DEA模型(也称为层次DEA模型)最早由Seiford和Zhu基于不同的评价情境提出^[13],评价情境是由同一绩效水平下的各分公司组成的绩效参考目标。为了得到相对的评价情境,DEA研究者提出逐步移除一组DMU(Decision Making Units,决策单元,将一定投入转化为相应产出的各分公司)中的有效DMU的方法。

DEA方法中普遍采用“有效”和“无效”来表示投

入导向的DEA模型中各DMU的资源投入量是否达到了最优配置,“有效”则表现为产出恒定的情况下投入资源量相对最少,DEA效率值达到1,即达到最佳实践前沿。

记 $J^l = \{DMU_j, j = 1, 2, \dots, n\}$ 为包含 n 个DMU的集合, $J^{l+1} = J^l - E^l$ 为迭代形式,其中 $E^l = \{DMU_k \in J^l | \theta(l, k) = 1\}$ 为第 l 层的最佳实践前沿, $\theta^*(l, k)$ 为输入导向CRS包络模型中DMU $_k$ 的最优值:

$$\theta^*(l, k) = \min_{\lambda_j, \theta(l, k)} \theta(l, k) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j \in F(J^l)} \lambda_j x_{ij} \leq \theta(l, k) x_{ik} \\ \sum_{j \in F(J^l)} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \\ \lambda_j \geq 0, j \in F(J^l) \end{cases}$$

模型(1)中, $j \in F(J^l)$ 表示 $DMU_j \in J^l$, $F(\cdot)$ 为相应下标的DMU的集合。

情境依赖模型是在经典的包络模型基础上得到的,因此,当 $l=1$ 时,模型(1)即为常规的投入导向的基于不变规模报酬的CRS(Constant Returns to Scale)包络模型,且 E^l 中包含所有处于最佳实践前沿的有效DMU,即形成了第1层最佳实践前沿。当 $l=2$ 时,模型(1)在移除了第1层最佳实践前沿后确定了新的有效DMU,即第2层最佳实践前沿。以此类推可得到若干层最佳实践前沿。具体步骤如图1所示。

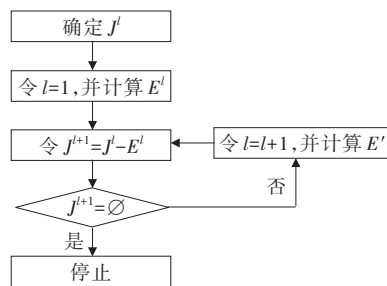


图1 层次DEA模型求解步骤

1.2 投入导向的情境依赖改进测度模型

根据情境依赖模型的基本概念,将一组DMU划分为多个层级的最佳实践前沿。依据形成的不同评价情境,可以获得绩效较差层DMU的改进值,从而实现逐层的绩效提升。

考虑第 E^{l_0} 层最佳实践前沿面上的 $DMU_q \in E^{l_0}$, $l_0 \in \{2, \dots, l-1\}$,那么其改进值的模型如式(2)所示:

$$G_q^*(g) = \min_{\lambda_j, G_q(g)} G_q(g), g = 1, 2, \dots, l_0 - 1 \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j \in F(E^{l_0-g})} \lambda_j x_j \leq G_q(\beta) x_q \\ \sum_{j \in F(E^{l_0-g})} \lambda_j y_j \geq y_q \\ \lambda_j \geq 0, j \in F(E^{l_0-g}) \end{cases}$$

式中: $G_q^*(g+1) < G_q^*(g)$ 。

根据定义,称 $M_q^*(g) \equiv 1/G_q^*(g)$ 为第 E^{l_0} 层中 DMU_q 的第 g 级改进值。明显地, $M_q^*(g) > 1$ 。 $M_q^*(g)$ 值的大小与改进空间大小成正比。对于 $DMU_q \in E^{l_0}$, 每一个 E^{l_0-g} 都包含一个可能的绩效改进目标。

综上可知,以第1层最佳实践前沿为评价情境的DEA改进模型得到的结果为全局有效目标,以其他层最佳实践前沿为评价情境的DEA改进模型得到的结果为局部有效目标。虽然,第2层最佳实践前沿DMU相对于第1层来说并不是最优的,但是第2层可以作为第3层DMU更容易实现的目标。通过逐层改进的方式使提升绩效的方式更为现实、合理。

2 指标选取

2.1 指标选取的原则

数据包络分析的评价指标体系主要由输入指标和输出指标构成。通常,DEA对于输入输出指标的要求是基于运筹学中线性规划目标函数的思想,即最小化输入,最大化输出。各养护分公司的资产管理目标是在保持养护里程和收费站+服务区这些产出恒定的情况下最小化管理人员和养护费用等方面的资源投入。

2.2 投入、产出指标选取

从分公司养护管理工作的投入和产出角度出发,综合考虑数据包络分析的指标选取原则选取绩效指标。基于指标的可获得性和可靠性以及指标数量的要求,选取的投入指标为总的小修保养费用、养护管理的总人数;产出指标为养护里程、收费站+服务区个数。

3 基于径向和松弛的改进

3.1 计算径向改进值和松弛值

基于径向和松弛的改进方式即通过基本的DEA

模型计算2018年各分公司在CRS不变规模状态下的绩效值,根据绩效值识别各分公司养护管理绩效的有效、无效状态。对CRS绩效值中表现为无效的分公司,通过计算与有效目标之间的径向改进值和松弛改进值来初步实现绩效改进。

首先根据2.2节中确定的投入、产出指标,计算各分公司CRS模型下的养护管理绩效值,如表1中第2列所示,第3列中列出了无效分公司达到有效状态的参考标杆及权重。从表1中第2列可以看出:在规模收益恒定的情况下,西镇、隧道、宜富、延志吴和延延处在绩效前沿,均表现为有效;此外,延靖、吴靖、靖王、安川、商漫、西商、榆绥、咸旬、黄延、安平、西咸、榆靖这12个分公司绩效值均在0.8以上,虽然处于无效状态,但与有效分公司的差距较小;剩余的绕城、西长、蓝商、商界、机场和神府的绩效值为0.3~0.7,绩效表现不太乐观,后期改进空间较大。

基于得到的CRS养护管理绩效值,计算各无效分公司达到有效状态的径向改进值和松弛改进值,结果如表1所示。

3.2 径向和松弛改进的不可行性

从表1中可以看到:绕城、西长、神府、商界等分公司的径向改进的人数缩减值非常大,分别达到了686人、318人、317人、270人;费用改进值过大的绕城和西商也存在类似的问题,分别达到了99万元和92万元。结果表明,通过径向改进、减少投入资源的方式虽然可以提高各无效分公司的养护管理绩效,但是过大的资源缩减无法在短期内实现,所以这种改进方式并不符合实际情况。

4 基于情境依赖模型的层次改进

4.1 计算各层有效分公司

实际工程中,各分公司的高速公路养护管理绩效除了与自身投入资源和产出能力密切相关外,还受到诸多因素的影响和制约。基于此,通过情境依赖模型,采取逐级改进的思想,针对无效分公司在短期内难以通过比例改进和松弛改进达到最佳绩效目标的现象采用情境依赖模型,基于相对改进值实现了无效分公司的逐级改进,为各无效分公司在短期内寻求要求较低的绩效改进目标,从而实现长期的逐

表 1 CRS 模型下的小修保养养护管理绩效改进情况

决策单元	绩效值	参考标杆(权重)	总人数/个				总费用/万元			
			原始值	径向改进值	松弛改进值	目标值	原始值	径向改进值	松弛改进值	目标值
绕城	0.328 685 125	隧道(0.649 852); 西镇(0.091 696); 延延(0.499 309)	1 022	-686	0	336	148.2	-99	0	49
西镇	1.000 000 000	西镇(1.000 000)	425	0	0	425	63.2	0	0	63
西长	0.672 331 412	延延(1.564 246)	971	-318	-146	507	138.2	-45	0	93
隧道	1.000 000 000	隧道(1.000 000)	208	0	0	208	20.4	0	0	20
延靖	0.845 864 089	西镇(0.187 874); 延延(0.980 615)	767	-118	-251	398	82.9	-13	0	70
吴靖	0.843 600 459	延延(1.623 292)	636	-99	-11	526	114.3	-18	0	96
靖王	0.899 305 267	延延(1.137 000)	429	-43	-17	368	75.1	-8	0	68
蓝商	0.601 581 645	隧道(0.185 597); 延延(0.752 067); 延志吴(0.013 314)	474	-189	0	285	82.0	-33	0	49
商界	0.542 082 174	隧道(0.420 293); 延延(0.067 575); 延志吴(0.972 089)	589	-270	0	319	140.5	-64	0	76
安川	0.801 878 741	西镇(0.010 749); 延延(1.381 726)	566	-112	-2	452	103.2	-20	0	83
机场	0.370 941 655	隧道(0.216 878); 延延(0.089 652); 延志吴(0.056 813)	233	-147	0	86	36.3	-23	0	13
商漫	0.856 745 906	西镇(0.263 784); 延延(0.551 567)	377	-54	-32	291	57.7	-8	0	49
宜富	1.000 000 000	宜富(1.000 000)	413	0	0	413	334.8	0	0	335
神府	0.342 037 832	隧道(0.217 078); 延延(0.162 768); 延志吴(0.310 061)	482	-317	0	165	100.5	-66	0	34
西商	0.805 618 446	隧道(0.240 566); 宜富(0.682 511)	412	-80	0	332	471.0	-92	-146	233
榆绥	0.809 871 334	隧道(0.166 832); 延延(0.544 243); 延志吴(0.477 752)	388	-74	0	314	82.7	-16	0	67
延志吴	1.000 000 000	延志吴(1.000 000)	216	0	0	216	65.4	0	0	65
咸旬	0.933 260 635	西镇(0.275 379); 延延(0.531 856)	363	-24	-49	289	52.5	-4	0	49
延延	1.000 000 000	延延(1.000 000)	324	0	0	324	59.4	0	0	59
黄延	0.951 880 340	隧道(0.235 191); 延延(0.065 847); 延志吴(1.256 810)	359	-17	0	342	95.5	-5	0	91
安平	0.824 106 130	隧道(0.038 018); 延延(0.372 296); 延志吴(0.156 561)	197	-35	0	162	40.2	-7	0	33
西咸	0.943 455 743	隧道(0.391 767); 延延(0.562 816); 延志吴(0.455 774)	384	-22	0	362	75.5	-4	0	71
榆靖	0.869 893 063	延延(1.122 145); 延志吴(0.668 716)	584	-76	0	508	126.9	-17	0	110

步改进提供了可能的途径。

此处以 CRS 模型下的绩效改进为例进行分析,得到表 2 所示的 23 个分公司 2018 年最佳实践前沿分布情况,得到 7 个有效前沿面。

由表 2 可以看到:23 个分公司中有 15 个分公司

都位于前 3 层,这 65% 的分公司的绩效值在层级分化中比较靠前。而机场、绕城和神府的绩效值明显落后。

对于绩效值位于第 2 层和第 3 层的分公司而言,直接改进到目标值是相对容易的,但对于第 4~7 层

表2 各分公司2018年度最佳实践前沿分布情况

层级	分公司	总计/个
第1层	西镇、隧道、宜富、延志吴、延延	5
第2层	黄延、靖王、西咸、咸旬	4
第3层	安平、商漫、吴靖、西商、榆靖、榆绥	6
第4层	安川、延靖	2
第5层	蓝商、商界、西长	3
第6层	机场、神府	2
第7层	绕城	1

较为靠后的分公司而言,直接改进到目标值很难实现。因此,考虑逐级改进。

4.2 计算相对改进值

表3~5为绩效较差的分公司相对于绩效较好的各分公司的相对绩效改进结果。相对改进值越大,则表明该分公司相对于其他分公司缩减投入资源的空间越大,即相对绩效越差^[14]。

分析位于第2层的各分公司相对于第1层各分公司的绩效改进值,其中黄延分公司的相对改进值

表3 各分公司小修保养养护管理绩效相对改进值及排序(第7、6层)

各层级各分公司相对改进值及排序												
分公司	第7层						分公司	第6层				
	7—6	7—5	7—4	7—3	7—2	7—1		6—5	6—4	6—3	6—2	6—1
绕城	1.045 6	1.204 8	1.418 6	1.712 3	1.880 1	3.042 4	机场	1.106 7	1.278 7	1.545 5	1.683 5	2.695 8
								(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
								1.665 6	1.987 1	2.142 5	2.714 1	2.923 6
								(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

注:表中“7—6”表示第7层的分公司以第6层分公司为改进目标进行改进;括号中的数字表示相应层各分公司的相对绩效排名。下同。

表4 各分公司小修保养养护管理绩效相对改进值及排序(第5、4层)

分公司	第5层				分公司	第4层		
	5—4	5—3	5—2	5—1		4—3	4—2	4—1
蓝商	1.126 0(1)	1.259 7(2)	1.468 8(2)	1.662 2(2)	安川	1.005 5(2)	1.089 7(2)	1.247 1(2)
商界	1.324 4(3)	1.400 5(3)	1.702 1(3)	1.844 7(3)	延靖	1.003 1(1)	1.088 5(1)	1.182 2(1)
西长	1.212 8(2)	1.254 7(1)	1.353 0(1)	1.487 3(1)				

表5 各分公司小修保养养护管理绩效相对改进值及排序(第3、2层)

分公司	第3层		分公司	第2层
	3—2	3—1		2—1
安平	1.090 1(5)	1.213 4(4)	黄延	1.050 6(1)
商漫	1.069 3(3)	1.167 2(2)	靖王	1.111 9(4)
吴靖	1.057 2(2)	1.185 4(3)	西咸	1.059 9(2)
西商	1.084 2(4)	1.241 3(6)	咸旬	1.071 5(3)
榆靖	1.028 1(1)	1.149 5(1)		
榆绥	1.135 6(6)	1.234 7(5)		

最小,其次是西咸、咸旬,最后是靖王。在第3层中,榆靖相对于第2层和第1层各分公司的绩效改进值最小,表明同等程度下,榆靖与第1层和第2层各分公司的绩效差距和其他同层分公司(吴靖、商漫、西商、安平以及榆绥)相比是最小的。在第4层中,延靖相对于第1、2、3层的绩效改进值始终比安川小。在

第5层中,西长相对于第1、2、3层分公司的绩效改进值均是最小的,只有相对于第4层分公司的绩效改进值次于蓝商;蓝商相对于第1、2、3层分公司的绩效改进值排名次于西长;而商界相对于前4层的各分公司的绩效改进值始终排第3,即与西长和蓝商相比,和前4层各分公司的绩效改进差距最大。在第6层中,机场相对于第1、2、3、4、5层各分公司的绩效改进值始终小于神府。从表3中还可以看到,绕城、机场、神府,这3个养护管理绩效值排名靠后的分公司,直接以第1层分公司为有效目标的改进空间分别为3.042 4、2.695 8、2.923 6,也再次证明了改进难度。所以初期先选择位于第5层和第4层的分公司为有效目标进行改进是相对容易接受的。

综上,在各层中相对绩效改进值最小的分公司分别为:黄延、榆靖、延靖、西长和机场,即在各层中,这些分公司相对同层分公司而言,与有效前沿的差

距是最小的。因此,这些分公司赶上相应的有效目标相对容易。对于绕城、机场等分公司,在实际的绩效改进过程中一定要合理确定改进目标,不能因为一味追求极端的高效目标而忽略了自身进步发展的局限。

文中分公司养护管理绩效评价中参与分析的投入指标为养护管理的总人数和总费用,实质上,这两个指标不仅反映了公路小修保养过程中投入资源量的大小,同时也能够反映出资源配置合理性等更深层次的问题。因为资源的投入要经过决策、分配、使用等多个过程,就人员和费用而言,养护管理人员的经验和知识水平、决策和管理能力、各项养护管理活动的人员比例、人员的工作参与性和积极程度^[15],养护经费的分配比例、落实情况等都会对最终的养护管理效果产生一定的影响^[16]。根据分公司养护管理绩效评价结果,能够得到需要缩减的资源投入量,实质上各分公司需要根据资源缩减量这个大方向进一步调整、优化管理组织结构,考虑通过自由竞争机制和市场调节机制筛选管理人员,通过绩效考核制度合理分配养护经费,从而达到在取得较好的养护管理工作绩效的前提下实现人员和养护经费合理配置的目的。

5 结 论

通过对陕西省交通建设集团公司下辖 23 个分公司养护管理绩效的 DEA 模型下的评估与绩效改进分析,得到以下结论:

(1) 通过 DEA 方法中基本的 CRS 模型对 2018 年 23 个分公司养护管理绩效的有效、无效状态进行了识别;对 CRS 绩效值中表现为无效的分公司,通过计算与有效目标之间的径向改进值和松弛改进值来初步实现绩效改进,并依据绕城、西长等分公司径向和松弛改进值过大的现象,提出了基于径向和松弛改进方法的不可行性。

(2) 基于采用径向和松弛的方法改进养护管理绩效的不可行性,根据情境依赖模型中的层次 DEA 方法得到了 23 个分公司形成的 7 个层级的最佳实践前沿面;层级越靠前的分公司绩效表现越优,层级靠后的分公司可以将其前一层的分公司作为短期内的

改进参考目标,以第 1 层级中的分公司为长期改进的最终目标,以此方式实现合理的逐步改进。

参考文献:

- [1] 徐志钦.新形势下公路小修保养会计核算探讨[J].财会学习,2015(14):72-73.
- [2] KAPLAN R S, NORTON D P. The balanced scorecard: Measures that drive performance[J]. Harvard Business Review, 1992, 70(1): 71-79.
- [3] RAVIRALA V, GRIVAS D A. State increment method of life-cycle cost analysis for highway management[J]. Journal of Infrastructure Systems, 1995, 1(3): 151-159.
- [4] 傅小华,黎志成,徐国光,等.公路养护现代化评价指标体系研究[J].公路,2004,49(5):161-165.
- [5] 王成.北京市公路养护管理绩效评价体系构建的探讨[J].公路,2007,52(12):123-128.
- [6] 朱洁,陈长,孙立军.基于资产价值评估的公路养护绩效评价方法的研究[J].公路工程,2009,34(6):72-75.
- [7] 朱洁,陈长,孙立军.公路养护绩效评价指标体系的构建方法[J].同济大学学报(自然科学版),2012,40(6):871-875.
- [8] ADEY B T, GARCÍA DE SOTO B, SENN C. Evaluating the operation and routine maintenance of municipal roads in Switzerland[J]. Infrastructure Asset Management, 2017, 4(3): 96-108.
- [9] 于嘉汛.辽宁省高速公路日常养护效果评价方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [10] PATIDAR V, LABI S, SINHA K C, et al. Performance measures for enhanced bridge management[J]. Transportation Research Record, 2007, 1991, 11(1): 43-53.
- [11] SAEIDEH F F, KONSTANTINOS T, HAZHIR R, et al. Measuring dynamic efficiency of highway maintenance operations[J]. Omega, 2015, 50: 18-28.
- [12] BARDAKA E, ZHANG Z B, LABI S, et al. Statistical assessment of the cost effectiveness of highway pavement warranty contracts[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2016, 22(3): 4016017.
- [13] SEIFORD L M, ZHU J. Context-dependent data envelopment analysis-measuring attractiveness and progress[J]. Omega, 2003, 31(5): 397-408.
- [14] 张毅,王华.基于情景依赖数据包络模型的我国创意城市效率研究[J].科技管理研究,2015,35(24):203-210.
- [15] 陈亮,鲁泽康,李巧茹.高速公路养护需求分析方法研究[J].中外公路,2018,38(6):331-337.
- [16] 王静,李波,李鹏,等.基于主成分分析法的网级路面养护管理[J].中外公路,2018,38(2):318-323.