

# 基于蚁群算法的湛徐高速公路中长期 养护费用分配分析

刘跃生

(广东能达高等级公路维护有限公司, 广东 广州 510030)

**摘要:**以湛徐(湛江—徐闻)高速公路近 5 年路面状况指数及路面养护费用为基础,设置高水平、中等及以上水平两种养护费用分配模型约束水平,基于蚁群分析法进行高速公路养护费用分配分析。结果表明,可采用蚁群算法在确定路面养护费用上限值后对路面规划期内养护费用进行最大效益化分配,若养护费用不明确,可采用蚁群算法基于 PCI 值等指标提供多个养护水平进行养护费用分配;在养护费用较充足和一般的情况下,湛徐高速公路规划期内第 1 年养护费用分配值均最大,超过总费用的 90%,后期各年养护费用相当,规划期内总的养护费用水平越高,规划期内各年度的 PCI 均值越高。

**关键词:** 工程管理;高速公路;养护费用分配;中长期养护;蚁群算法

**中图分类号:** U415.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2020)04-0157-03

公路养护是确保公路长期稳定运营的关键。随着运营车辆的逐日增多,公路病害越来越多,养护频率和养护费用增加。当前公路养护决策者“重建轻养”,道路养护也未形成系统、科学的方法,工程师经验往往影响养护频率及养护效果,很难使养护费用得到高效的养护结果。加上公路养护的定额费用年度分配不合理,不能有效解决公路病害,因而很难进行全路段养护。对公路养护费用进行科学分配,可优化养护费用分配方法,获得最优养护效果,还可通过养护费用分配模式动态了解公路运营状况,方便制定科学的决策计划。国内学者提出了一些费用分配方法,建立了费用分配模型,如基于模糊推理的智能资金分配模型、动态规划法下养护费用单目标优化分配模型、单年度资金优化分配模型、基于  $\alpha$ -鲁棒的公路养护费用分配模型、蚁群算法养护模型等。其中蚁群算法可对路面状态进行识别,有针对性地分配养护费用,避免各路段平均分配养护费用等不合理现象。该文针对湛徐(湛江—徐闻)高速公路路面养护,基于蚁群算法构建养护费用分配模型进行中长期养护费用分配。

## 1 中长期养护费用分配模型及思路

### 1.1 公路多年度分配模型

路面养护费用并非每年固定不变,需结合路面性能状态进行分配。为合理获得各年度养护费用大

小,建立多年度费用分配模型。建模时需考虑以下几点:1) 设定一个养护规划期,可以是 5、10 年等;2) 设定养护资金及反映路面性能的指标作为约束水平;3) 采用灰色 GM(1,1)模型对各年度路面性能指标进行预测;4) 采用蚁群算法结合 MATLAB 编程求解。

根据以上要求,选择 5 年中长规划期,基于路面状况,收集多个预测数据,设置路面损坏状况指数 PCI 及费用两个约束条件进行规划期内各年度养护费用分配,通过蚁群模型反复计算,获得满足约束条件的各年度养护费用分配结果。各年度以 PCI 为约束条件的费用分配计算式如下:

$$\max PCI = \frac{\sum_{i=1}^N PCI_i^*}{N} \quad (1)$$

其他约束条件:

$$\sum_{j=1}^V \sum_{i=1}^N C_{ij} \leq B_r \quad (2)$$

$$x_i \leq PCI_i^* \leq 100 \quad (3)$$

$$\sum_j^N \sum_i^D m_{ij} x_j \leq M_r \quad (4)$$

式中:  $PCI_i^*$  为第  $i$  年养护后路面 PCI 值;  $N$  为规划期,  $N=5$  年;  $V$  为路面损坏类型,  $V=3$ ;  $C_{ij}$  为分配给第  $i$  年第  $j$  破坏种类的维修资金;  $B_r$  为规划期内总费用;  $x_i$  为控制变量,其值为 80~99;  $D$  为各类损坏类型的损坏面积和;  $m_{ij}$  为第  $j$  路段第  $i$  破坏类型

下的人力天数; $M_r$ 为总人力天数。

$PCI$ 按下式计算:

$$PCI = 100 - a \times DR^b \quad (5)$$

式中: $a$ 、 $b$ 为系数; $DR$ 为路面综合破损率, $DR = D/A \times 100$ ;  $A$ 为路面总面积。

对2014—2015年湛徐高速公路路面 $PCI$ 值与 $DR$ 的关系进行回归,得到 $a = 15$ 、 $b = 0.412$ 。采用蚁群算法进行关键指标求解,求解过程如下:1) 读入路段数据;2) 将数据初始化;3) 设置信息素浓度;4) 迭代次数加1;5) 进行蚂蚁 $k = 0$ 计算;6) 进行蚂蚁 $k = k + 1$ 计算;7) 随机给定第一个节点参数;8) 选择节点;9) 按照转移概率选择另外一节点;10) 若全部节点操作完毕,进入下一步,否则返回步骤8;11) 求解适应度,更新信息素;12) 若全部蚂蚁操作完毕,则进入下一步,否则返回步骤6;13) 若达到迭代次数,则输出结果,否则返回到步骤4。

## 1.2 养护费用分配思路

(1) 将养护费用均分为5等份,养护规划年度内各一份,再结合路面病害类型进行养护费用分配。

(2) 以基年内 $PCI$ 值即 $PCI_1$ 为基础,结合分配的养护费用进行路面养护,得到年度养护后的 $PCI$ 值即 $PCI_1^*$ (以2019年为基年)。

(3) 将 $PCI_1^*$ 及插值数据作为后续计算的已知数据,结合GM(1,1)模型进行5年规划期内第2年养护前的 $PCI$ 值计算,同时基于养护后情况计算第2年养护后的 $PCI_2^*$ 值。

(4) 将 $PCI_2^*$ 及插值数据作为后续计算的已知数据,结合GM(1,1)模型进行5年规划期内第3年养护前的 $PCI$ 值计算,同时基于养护后情况计算第3年养护后的 $PCI_3^*$ 值。

(5) 将 $PCI_3^*$ 及插值数据作为后续计算的已知数据,结合GM(1,1)模型进行5年规划期内第4年养护前的 $PCI$ 值计算,同时基于养护后情况计算第4年养护后的 $PCI_4^*$ 值。

(6) 将 $PCI_4^*$ 及插值数据作为后续计算的已知数据,结合GM(1,1)模型进行5年规划期内第5年养护前的 $PCI$ 值计算,同时基于养护后情况计算第5年养护后的 $PCI_5^*$ 值。

(7) 比较5年规划期内 $PCI$ 值,若满足设置的 $PCI$ 值要求,则费用分配结果为最优,否则再次对养护费用进行各年度分配并计算各年度的 $PCI$ 值,直至其满足约束要求为止。如此反复计算,获得最佳养护费用分配方案。

## 2 湛徐高速公路中长期养护费用分配

### 2.1 湛徐高速公路概况

湛徐高速公路为(沈阳)同江至(海南)三亚国道主干线中的粤境路段,主线长114.302 km,2010年正式通车,运营一段时间后出现各种路面病害,相关部门每年均安排养护资金进行路面维护。为分析方便,选择其中一段近几年的检测数据、路面破损状况及修复资金作为其后期养护费用分配的基础数据。湛徐高速公路部分路段近5年路面状况指数见表1,基年路面破损状况见表2。

表1 湛徐高速公路部分路段近5年路面状况指数

年份	$PCI$ 年份	年份	$PCI$ 年份
2014	85.30	2017	71.07
2015	80.12	2018	68.92
2016	76.53		

表2 湛徐高速公路部分路段基年路面破损状况

破损种类	破损面积/ $m^2$	$DR/\%$	修复资金/元
裂缝	37.20		19 100
车辙	18.30		7 260
坑槽	12.33		3 712
总计	67.83	4.85	30 072

注:路段总面积为1 400  $m^2$ 。

由表2可知:基年内各类破损的全部维修费用为30 072元,将其定为维修资金额度,作为后续维修费用分配的基础。采用蚁群算法,建立相关约束条件,以目标路段 $PCI$ 指数的平均值为目标进行有限养护费用年度优化分配。

### 2.2 费用分配约束要求

基于基年内公路现状选择5年规划期进行费用分配。该项目为沥青路面,在基年破损基础上进行养护,运营一段时间后其性能逐步降低,尤其是车辆荷载增多后,路面性能下降更明显,需针对病害特点及时进行修复。由于路面养护费用有限,若现有养护费用得不到科学分配,则很难维持路面性能。为此,设置两种费用约束水平(见表3),基于固定的养护费用,对5年规划期内年度养护费用进行分配,通过不同年度养护费用的投入获得5年规划期内满足一定约束条件的路面状况。

表3 规划期内费用分配约束水平

费用约束水平	约束水平等级	约束水平下的要求
水平1	较充足	高水平
水平2	一般	中等及以上水平
		总费用不超过32 000元; $PCI \geq 90$
		$PCI \geq 80$

## 2.3 中长期养护费用分配

### 2.3.1 水平1约束下养护费用分配

水平1约束下费用较充足,考虑到基年内养护费用较高,若按照基年修复标准,则规划期内后几年养护费用基本上分配不到,故将养护费用标准提高到32 000元;同时要求规划期内 $PCI$ 值均大于90。将以上约束条件代入蚁群算法中进行计算,经过300次进化代数后的 $PCI$ 均值见图1。

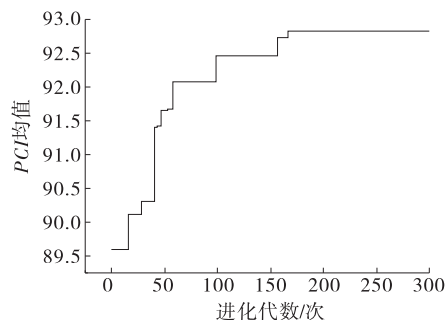


图1 水平1约束下蚁群算法运算后的 $PCI$ 均值

由图1可知:在运算初期, $PCI$ 值为89.6;随着进化代数的增大, $PCI$ 值增大,进化代数达到180次左右时 $PCI$ 值趋于稳定,为92.8左右,可认为 $PCI=92.8$ 为蚁群算法最优解。对应的5年规划期内养护费用分配结果见表4,表4养护费用分配情景下5年规划期内路面状况指数见表5。

表4 水平1约束下各规划年度养护费用分配结果

规划年份	分配费用/元	规划年份	分配费用/元
1	29 500	4	550
2	600	5	350
3	750		

表5 水平1约束下各规划年度养护后的 $PCI$ 值

规划年份	$PCI$	$DR$	规划年份	$PCI$	$DR$
1	93.76	0.10	4	92.52	0.18
2	93.28	0.11	5	92.11	0.22
3	92.78	0.13			

由表4可知:水平1约束下,养护费用较充足时,第1年规划内养护费用分配值最大,占整个养护费用的93%左右;其余4年的养护费用均较小,且相差不大。

由表5可知:第1年养护后 $PCI$ 值为93.76, $DR$ 值仅为0.1,满足表2中约束要求;随后4年的 $PCI$ 值逐渐减小,但均大于90,满足约束要求。

造成以上养护费用分配差异大的原因是基年内路面病害多,养护工作量大,通过分配较多的养护费

用使路面 $PCI$ 值达到既定要求后,后续规划年内的养护工作量不大,因而维持较高路面质量所需养护费用较少。该费用分配结果与实际养护费用分配情况相符。

在费用较充足的水平1下进行蚁群算法分析,可获得与实际相近的费用分配结果。但蚁群分配计算较粗糙,可结合实际经验进一步精确。

### 2.3.2 水平2约束下养护费用分配

水平2约束下养护费用偏紧,同时 $PCI$ 值达到表2中要求。考虑到基年内维修费为30 072元,在费用偏紧情况下设置30 000、28 000、25 000元3种养护费用,采用蚁群算法建立模型,计算3种养护费用下5年规划期内费用分配和对应的 $PCI$ 值。计算中为追求费用分配最大效益,使各年度路面 $PCI$ 均值最大,同时确保对应的 $PCI$ 最小值尽可能大。水平2约束下养护费用分配结果及 $PCI$ 值计算结果分别见图2、图3。

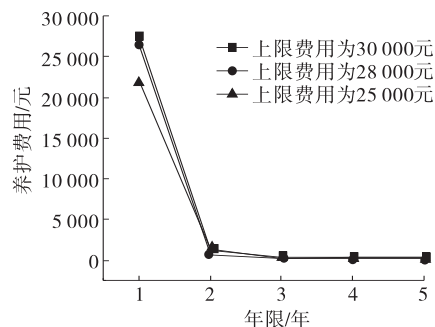


图2 水平约束2下各规划年度养护费用分配结果

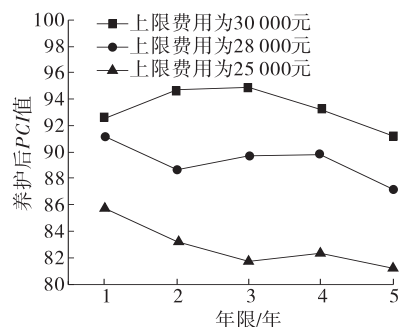


图3 水平约束2下各规划年度 $PCI$ 值

由图2、图3可知:不同上限养护费用下各规划年度内养护费用分配比例较接近,均为第1年养护费用最大,占比达90%以上,其余4年内分配费用相当。这种养护费用分配趋势与实际分配接近。养护费用上限值影响路面 $PCI$ 值,上限费用越高, $PCI$ 值越大,上限费用为30 000元时第1年 $PCI$

(下转第163页)