

公路养护决策方法设计与系统研究

吴彬 许淑华 曾美妍 邝伟杰 郭春蝶

五邑大学, 广东 江门 529020

[摘要]目前,公路养护占据越来越大的市场,管养单位对不同类型的公路病害应用的养护技术也在不断更新。在有限的养护资金下,如何合理地分配养护费用,实现科学的养护决策,是管养单位面临的首要问题。此文以公路质量现状为基础,采用五级决策方法,建立了公路养护的决策模型,并开发了养护决策系统。研究表明:在进行养护决策时,除需考虑原路面质量状况外,还需考虑养护技术的应用对社会的干扰及养护技术的使用寿命。通过养护决策系统可以快速做出多条路段的养护方案,实现养护资金更加科学地分配。

[关键词]公路养护;智慧决策;多目标分析;养护方案;养护系统

DOI: 10.33142/sca.v5i8.8128

中图分类号: U418.2

文献标识码: A

Study on Design and System Research of Highway Maintenance Decision Method

WU Bin, XU Shuhua, ZENG Meiyuan, KUANG Weijie, GUO Chundie

Wuyi University, Jiangmen, Guangdong, 529020, China

Abstract: At present, highway maintenance occupies an increasingly large market, and maintenance units are constantly updating their maintenance technology for different types of highway diseases. Under limited maintenance funds, how to reasonably allocate maintenance costs and achieve scientific maintenance decisions is the primary problem faced by maintenance units. This article is based on the current situation of highway quality, adopts a five level decision-making method, establishes a decision-making model for highway maintenance, and develops a maintenance decision-making system. The research results indicate that when making maintenance decisions, in addition to considering the quality of the original road surface, it is also necessary to consider the interference of maintenance technology application on society and the service life of maintenance technology. The maintenance decision-making system can quickly make maintenance plans for multiple road sections, achieving a more scientific allocation of maintenance funds.

Keywords: highway maintenance; intelligent decision-making; multi objective analysis; maintenance plan; maintenance system

引言

中国公路建设近年来发展迅速,已成为世界上交通网络最完善的国家之一。截至2022年底,中国公路总里程已经达到535万公里,其中高速公路达17.7万公里^[1-2]。随着交通强国建设的稳步推进,越来越多的道路已达到其设计使用年限,路基路面均存在不同程度的病害。据统计,2023年,我国公路养护的市场规模为1088亿元,预计2028年将达到1605亿元。

在公路养护过程中,越来越多的新技术不断涌现,且道路的病害类型各有差异。虽然,每年政府投入的养护费用较多,但仍有地市存在养护费用不足的情况。养护费用的不足,一方面是因为管理单位对养护新技术的认识不足,导致已修复的路段很快又出现病害有关,从而过快增加养护资金^[3]。另一方面则是管理单位对道路养护的时机不准确,错过了最佳养护时机,导致道路出现结构性破坏,增加养护成本^[4-5]。因此,科学选择养护工艺及养护时机,实现道路养护的科学决策,将“养护费用花在刀刃上”,对于高效利用养护费用、保持道路使用寿命具有重要意义。

近年来,随着物联网技术的发展,沥青路面养护技术

也在向智能化方向发展^[6]。然而,当前关于公路智慧养护方面的研究主要集中在以原路面质量状况为依据作出的养护决策,缺乏不同养护技术之间的对比,同时,对不同养护技术的适用性也缺乏一定的分析。因此,本文通过设计五级决策方法,论述了公路养护的科学决策,并建立决策模型,开发对应的智慧养护系统,对管养单位在公路养护方面具有一定的指导意义。

1 养护目标与原则

当养护费用一定的情况下,养护的目标往往是将养护质量作为前提,同时,养护速度快,养护后使用寿命长,也是管养单位关注的重点^[7-8]。为此,公路养护的目标与原则为:(1)以增强现有路面承载能力和抗疲劳性能,延长服务年限,实现路面结构的长期保存为目的;(2)在一定的养护费用下,路面性能恢复最优、养护时间最短、养护后预计使用寿命最长;(3)当性能恢复与养护时间存在冲突时,以保证施工质量为前提,然后选择养护时间最短的方案;

2 养护决策方法设计方法

2.1 设计原理

养护决策方法主要以公路当前质量状况、养护时对人

们出行等造成的社会影响和拟定养护方案的使用效果作为目标函数。其中，公路当前质量状况的评价指标有路基病害指数 (SDI)、基层病害指数 (BDI)、路面破损状况指数 (PCI)、路面行驶质量指数 (RQI)、路面车辙深度指数 (RDI)、路面跳车指数 (PBI)、路面磨损指数 (PWI) 路面抗滑性能指数 (SRI)、路面结构补强指数 (PSSI)。养护期间的社会影响主要与养护时间有关，根据实际情况，不同养护技术取值为 0~1 之间，但当某条公路 SDI、BDI、PCI、RQI、RDI 中有任意一个指标小于 70 时还未对该路段进行养护时，则 TII 取为 1。最后，拟定养护方案的使用效果评价指标为预计使用寿命。

基于此，本文养护决策指标的优先等级可排序为：路基和基层结构强度、路面结构强度、既有路面混合料性能、路面技术状况指标、社会影响指数、预计使用寿命。养护决策方法见表 1，图 1 为对应的养护决策树。

表 1 养护决策优先级排序

决策级别	相应指标	指标合格	指标不合格 (具体方案决策: 五级决策)
一级决策	路基和基层结构强度 (探地雷达)	进入二级决策	当 SII 小于某值时, 选大开挖方案, 否则选择非开挖补强方案
二级决策	路面结构强度指标 (PSSI)	进入三级决策	1、结构层铣刨 2、回铺: 以该路段使用寿命最长的面层结构和材料作为回铺方案 3、若原路面结构寿命均不足 5 年, 则重设计回铺方案
三级决策	既有路面混合料材料性能	进入四级决策	1、结构层铣刨 2、回铺: 以该路段使用寿命最长的面层结构和材料作为回铺方案 3、若原路面结构寿命均不足 5 年, 则重设计回铺方案
四级决策	路面使用性能指标 (PCI、RQI、RDI、PBI、PWI、SRI)	不养护	1、若该路段曾经使用过功能性养护方案, 则优选出使用寿命最长的养护方案 2、若该路段曾经未使用过功能性养护方案, 则以养护费用最少作为目标函数制定功能性养护方案

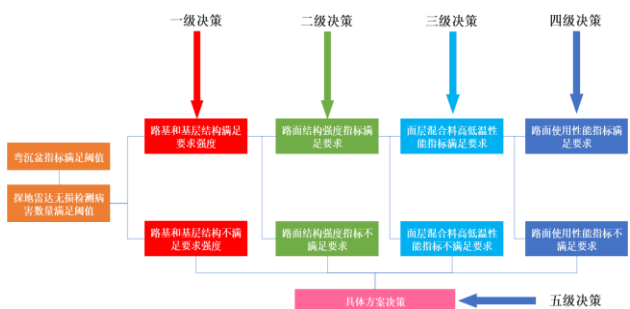


图 1 养护决策树

2.2 决策模型

根据养护特点，将恢复路基路面性能、养护期间对交通和社会干扰小、养护后的路面使用效果最优为公路养护

的目标和原则。因此，养护决策模型的最优解即为路基路面性能指标恢复值最大、养护对社会影响最小、养护后使用寿命最长的养护方案。养护决策模型具体如下：

首先，通过决策系统的最优施工技术方案的养护参考因素确定养护方案优先级，输出道路养护最优方案。养护决策系统函数如下：

$$R_{t+1} = W_1 R_{t+1}^{index_1} + \dots + W_i R_{t+1}^{index_i} + \dots + W_n R_{t+1}^{index_n} \quad (1)$$

式中， w_i 为第 i 个性能指标奖励值的权重系数 $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ ； $index_i$ 表征第 i 个性能指标； $i=1, 2, \dots, n$ ； R_{t+1} 为执行某个道路养护维修参考方案后总的奖励值； $R_{t+1}^{index_i}$ 为执行某个道路养护维修参考方案后第 i 个性能指标的奖励值；性能指标为所述状态参数中的一个或多个。即：

$$\text{一级决策: } R_{t+1}^1 = W_{SDI} R_{t+1}^{SDI} + W_{BDI} R_{t+1}^{BDI} \quad (2)$$

式中： W_{SDI}, W_{BDI} 为路基和基层结构强度指标奖励值的权重系数，取值为 0~1 之间。

$$R_{t+1}^{SDI} = A \times \left(1 - \frac{SDI}{SDI_0}\right) \times K \quad (3)$$

式中： A 为基础奖励值， SDI 表示当前的公路基病害指数， SDI_0 表示基准期的路基病害指数， K 为系数。

$$R_{t+1}^{BDI} = A \times \left(1 - \frac{BDI}{BDI_0}\right) \times K \quad (4)$$

式中： A 为基础奖励值， BDI 表当前的公路基病害指数， BDI_0 表示基准期的路基病害指数 K 为系数。

$$\text{二级决策: } R_{t+1}^2 = W_{DS} DS + W_{TSR} TSR \quad (5)$$

式中： W_{DS}, W_{TSR} 为动稳度和冻融劈裂强度权重， DS 为动稳度， TSR 为冻融劈裂强度。

$$\text{三级决策: } R_{t+1}^3 = Z(W_i + D_i) \quad (6)$$

式中： W_i 表示第 i 个评分区间的权重值， D_i 表示该区间的路面损坏程度系数。

四级决策：

$$R_{t+1}^4 = W_{PCI} R_{t+1}^{PCI} + W_{RQI} R_{t+1}^{RQI} + W_{RDI} R_{t+1}^{RDI} + W_{PBI} R_{t+1}^{PBI} + W_{PWI} R_{t+1}^{PWI} + W_{SRI} R_{t+1}^{SRI} \quad (7)$$

式中： $W_{PCI}, W_{RQI}, W_{RDI}, W_{PBI}, W_{PWI}, W_{SRI}$ 为路面状况指标， $PCI, RQI, RDI, PBI, PWI, SRI$ 为奖励值的权重系数。

$$R_{t+1}^{PCI} = C_1 DR_{t+1} + C_2 DR_{DR-main} + C_3 T_{DR-type} \quad (8)$$

式中： C_1, C_2, C_3 为路面损坏量系数，路面损坏分布系数及路面损坏主要类型系数； DR_{t+1} 为路面损坏量， $S_{DR-main}$ 为路面损坏分布； $F_{DR-type}$ 为路面损坏主要类型。

$$R_{t+1}^{RQI} = d_1 IRI_{t+1} + d_2 IRI_{-max} \quad (9)$$

式中 d_1, d_2 为路面平整状况系数及平整度极端系数， IRI_{t+1} 为路面平整度状况， IRI_{-max} 为路面最优平整度。

$$R_{t+1}^{RDI} = e_1 RD_{t+1} + e_2 RD_{-max} \quad (10)$$

式中： e_1 、 e_2 为车辙系数及车辙深度极度系数； RD_{t+1} 为车辙深度， RD_{max} 为车辙最大深度。

$$R_{t+1}^{PBI} = \frac{(W_1 \times p_1 + w_2 \times p_2)}{(W_1 + W_2)} \quad (11)$$

式中： P_1 和 P_2 表示静荷载与动荷载条件下的PCC（板块滑移系数） W_1 和 W_2 为权重值。

$$R_{t+1}^{PWI} = \frac{(\sum W_i + L_i)}{L} \quad (12)$$

式中： W_i 表示第*i*个评分区间为路面宽度通常以车道宽度为主； L_i 为区间长度， L 为整段路长度。

$$R_{t+1}^{PWI} = \left(\frac{SFC}{SFC_{min}} \right)^m \times \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^n \quad (13)$$

式中： SFC 表示测试时测得的路面摩擦系数， SF_{min} 为最小摩擦系数， m 和 n 为两个常数。

五级决策（多目标养护决策模型）：

同一种病害可以采用不同的技术进行养护，且同一种养护技术也存在多种设计方案。因此，在对具体养护方案决策时，不仅需要考虑养护技术本身对指标的恢复能力，还要考虑养护时间、养护后的使用寿命。据此本部分构建多目标养护决策模型。

目标函数：

$$\begin{cases} \max Z_1 = X_i \times E_i \\ \max Z_2 = XX_i \times SII_i \end{cases} \quad (14)$$

约束条件：

$$\begin{cases} X_i \times CO_i \leq T_{max} \\ X_i \times SII_i \leq P_{max} \end{cases} \quad (15)$$

式中： Z_1 表示整体路面使用寿命总值； Z_2 表示社会影响指数总值； X_i 表示待养护维修路段， X_i 为 1 或者 0， $X_i = 1$ 表示路段实施养护修复， $X_i = 0$ 表示路段不进行养护； E_i 代表路段 X_i 在实施养护修复后的路面使用寿命； SII_i 代表路段 X_i 实施养护修复带来的养护时间指数； CO_i 代表路段 X_i 实施养护修复需要投入的养护资金； T_{max} 代表最大养护预算资金； P_{max} 表示最大社会影响指数值。

3 养护决策系统的应用

通过以上养护决策原理，以某地市的路网建设为背景，建立公路养护决策系统。系统主要分为 3 个模块：控制台、路面质量状态模块、路面养护计划模块。各模块的功能主要介绍如下：

(1) 控制台

该模块以控制台的形式将基层养护工作者更新的数据进行分析后直接展示各个地级市公路的质量状况、基本信息、历史养护数据等内容，如图 2 所示。通过控制台可以看到各区县路面质量状况，对地市的公路基本信息也实现可视化。



图 2 控制台

(2) 路面质量状态模块

该模块以地图的形式展示各路段的质量情况，可以对各路段实时监控，通过颜色展示出各路段的质量状况，还有预警功能。当路段颜色变成红色时，路面质量下降，应当及时采取措施进行养护，如图 3 所示。

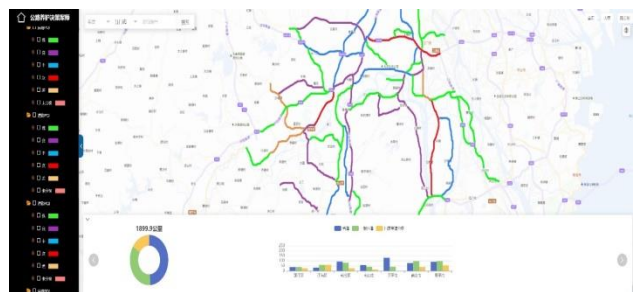
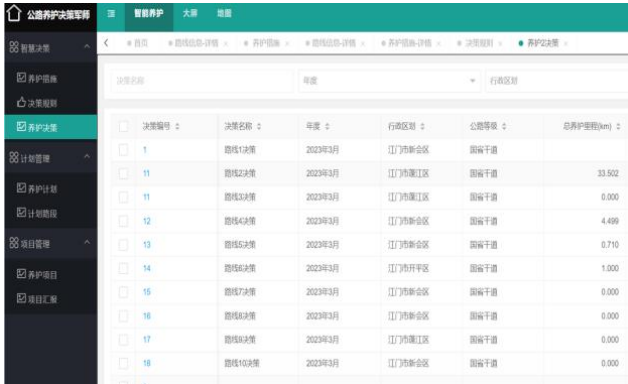


图 3 路面质量状况页面

(3) 公路养护模块

病害编号	病害名称	养护类型	养护性质	单价单位
A0001	密封胶（抗滑）	中修	功能修复	元/平方米
A0002	耐久性能修补	中修	功能修复	元/平方米
A0003	ECA罩面	中修	修复养护	元/平方米
A0004	微集面	中修	预防性养护	元/平方米
A0005	高标和薄层沥青封层	大修	应急养护	元/平方米/厘米
A0006	上面层铣刨重铺	大修	专项养护	元/平方米/厘米
A0007	普通罩面	大修	预防性养护	元/平方米
A0008	中上面层铣刨重铺	大修	应急养护	元/平方米/厘米
A0009	铣刨一层+普通罩面	白改黑	应急养护	元/平方米
A0010	面层铣刨重铺	大修	结构修复	元/平方米/厘米

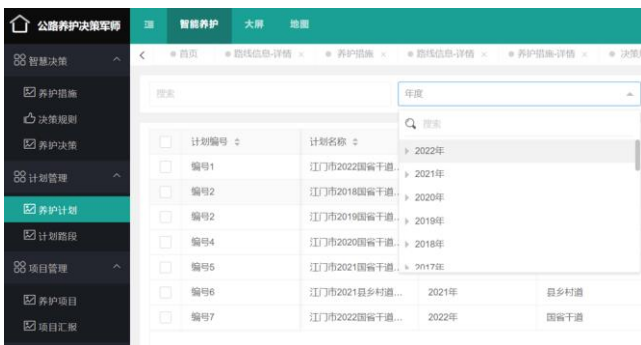
(a) 养护方案决策结果



决策编号	决策名称	年度	行政区域	公路等级	总养护里程(km)
1	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	
11	智能决策	2023年3月	江门市蓬江区	国省干道	33.502
11	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	0.000
12	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	4.499
13	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	0.710
14	智能决策	2023年3月	江门市开平市	国省干道	1.000
15	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	0.000
16	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	0.000
17	智能决策	2023年3月	江门市蓬江区	国省干道	0.000
18	智能决策	2023年3月	江门市新会区	国省干道	0.000

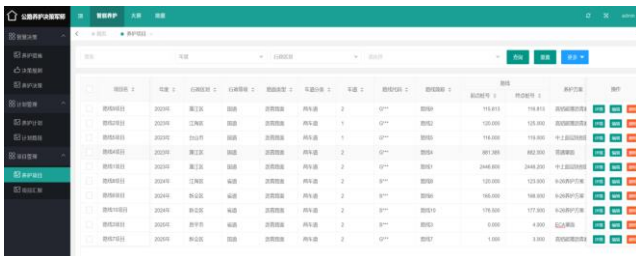
(b) 养护顺序决策结果

图4 公路养护方案决策结果界面



计划编号	计划名称	年度
编号1	江门市2022国省干道	2022年
编号2	江门市2018国省干道	2020年
编号4	江门市2019国省干道	2019年
编号4	江门市2020国省干道	2018年
编号5	江门市2021国省干道	2017年
编号6	江门市2021县乡村道	2021年
编号7	江门市2022国省干道	2022年

图5 养护计划界面



计划编号	年度	公路等级	行政区域	养护里程	养护次数	养护费用	养护效果	养护评价
20204	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20205	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20206	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20207	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20208	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20209	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20210	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20211	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20212	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20213	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20214	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20215	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20216	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20217	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20218	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20219	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20220	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20221	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20222	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20223	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20224	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20225	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20226	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20227	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20228	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20229	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813
20230	2020	国省干道	江门市	118.813	118.813	118.813	118.813	118.813

图6 计划管理页面

该模块包含三部分内容：智慧决策、计划管理和项目管理。其中，智慧决策部分主要是通过通过对路基路面质量状况、已养护技术的使用情况及养护工艺对交通的影响等三方面数据进行分析，选择合适的养护措施，生成养护方案。

作出科学决策，不仅减少人为决策造成的误差，还可以提升管理单位的养护效率，如图4所示。计划管理：将生成的养护计划进行综合排序，制定养护时间和周期，如图5所示。项目管理：实时更新各路段养护的进度，完成养护目标，如图6所示。

4 结语

对公路的养护决策不仅需要技术对道路本身质量的恢复能力，还要考虑技术在使用期间对社会的影响，尽可能地在减少大开挖的工艺下实现公路的病害处理。此外，通过建立养护决策系统，保存公路养护历史的数据，为后期公路病害的发生提供科学的养护方案具有一定的指导意义。通过本文的养护决策方法有效的提升了养护资金的使用效率，提升了公路养护的综合质量。

[参考文献]

[1] 吴伟迪, 张德津, 王照远, 等. 面向路面使用性能的公路养护决策方法[J]. 计算机应用与软件, 2022, 39(2): 7.

[2] 程致远, 汪益敏, 张坤标, 等. 运营期公路边坡养护决策多层次分析方法研究[J]. 公路, 2022, 67(1): 7.

[3] 崔培强, 罗梦琪, 田孝武, 等. 高速公路养护智能辅助决策系统的构建[J]. 交通科技与管理, 2022(2): 0024-0027.

[4] 陈文, 黄能, 何若夫, 等. 基于寿命周期分析的项目级路面养护决策应用研究[J]. 中外公路, 2019, 39(5): 5.

[5] 马士宾, 陈奕, 张彩利, 等. 路面使用性能检测周期对养护决策影响研究[J]. 中外公路, 2015, 35(4): 5.

[6] 陈相良. 智慧交通下的道路养护智能化研究[J]. 江西交通科技, 2022(4): 3.

[7] 张志明. 沥青路面性能衰变预测及养护维修决策方法研究[J]. 工程技术研究, 2022, 7(8): 3.

[8] 张海, 孙浩宇, 王宇强等. 基于 GM-ANN 模型的路面性能预测方法[J]. 公路, 2022(6): 067.

作者简介: 吴彬 (1999. 8-), 所从事专业: 交通工程, 本科。