

# 基于 AHP-模糊综合评价法的养护基地 绿色评价体系研究

王 革<sup>1</sup>, 赵 跃<sup>1</sup>, 卢传忠<sup>2</sup>, 周 韡<sup>3</sup>, 姜 宁<sup>4</sup>, 郭阳阳<sup>1</sup>, 虞 浩<sup>5</sup>

(1. 江苏高速公路养护工程有限公司, 江苏 淮安 223001; 2. 江苏东部高速公路管理有限公司, 江苏 盐城 224000;  
3. 江苏高速公路工程养护技术有限公司, 江苏 南京 210000; 4. 江苏连徐高速公路有限公司, 江苏 徐州 221000;  
5. 河海大学水科学研究院, 江苏 扬州 225000)

**摘要:** 养护基地作为公路养护工程的“后场”,在绿色化、智慧化的转型升级过程中,缺乏科学的建设标准与评定管理方法,无法对养护基地做出定性的评价。结合江苏地区绿色养护基地的建设情况以及相关专家对养护基地绿色评价体系给出的建议,在满足污染物排放标准的基础上,利用 AHP-模糊综合评价法从绿色化生产、节能减排技术、智能化管控、运营管理四个方面,对绿色环保型养护基地进行星级评价。为后续养护基地的建设起到绿色示范作用。

**关键词:** 绿色环保型养护基地; 污染物排放限值; AHP-模糊综合评价法; 星级评价

**中图分类号:** U41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)08-0031-08

“十四五”期间,中国把大幅度降低能源消耗强度、二氧化碳排放强度和主要污染物的排放总量作为社会发展的重要约束性指标。养护基地作为高速公路养护的基层管养单位,其关键设备——沥青拌和设备能源消耗大、污染较为严重,在实现绿色环保方面具有极大的空间与潜力。新型养护基地通过严格的环保体系、智能的管控系统、先进的工业设计、完善的功能配置,一是实现养护基地全封闭零污染、节能减排绿色化;二是实现养护基地生产、检测、办公、生活全过程智能化;三是实现养护基地集料储存、输送自动化;四是实现养护基地再生循环利用、泡沫温拌、应急抢险等多功能化,养护基地从传统粗放型向智慧环保型转变成为必然趋势。在新型养护基地转型升级的过程中,缺乏系统的绿色评价体系来规范新型养护基地的建设,如何建立一套完善的绿色评价体系,成为目前养护基地建设过程中亟待解决的问题。

由于技术评价的复杂性,无论是美国、德国、法国、澳大利亚、韩国、日本还是中国,在技术选择评

价的方法主要是建立在专家咨询基础上的定性方法,同行评议、Delphi 法、相关矩阵分析主要由专家主观对技术进行评价,有深度,但独立性和客观性的保持是一个难题。AHP (analytic hierarchy process)<sup>[1]</sup>是一种确定权重系数的有效方法,它把复杂问题中的各种因素划分为互相联系的有序层,并使之条理化。而在养护基地的分级评价中,养护基地绿色度的划分不是非常确定或明确,需要对模糊性进行控制和考虑。此时,模糊综合评价就可以发挥作用。模糊综合评价主要是考虑到各个因素之间的相互依赖和不确定性,能够有效地模拟实际情况和评价结果的复杂性,从而更加准确、全面地评估某个问题或方案的优劣程度。近年来单金伟<sup>[2]</sup>、赵全满等<sup>[3]</sup>、程鑫等<sup>[4]</sup>将 AHP-模糊综合评价法用于高速公路养护方案效果的评价与决策;季晗豪<sup>[5]</sup>、王增超<sup>[6]</sup>通过构建沥青拌合站节能减排评价指标体系模型,应用于拌和站节能减排的绩效评价。

本文在收集整理国家和地方的相关环保标准的基础上,结合江苏省关于污染治理的政策和部

**收稿日期:** 2023-10-15

**基金项目:** 江苏交控科研项目(522021732)

**作者简介:** 王革(1968—),男,江苏淮安人,硕士,高级工程师,研究方向为智慧数字;赵跃(1982—),男,江苏淮安人,硕士,高级工程师,研究方向为路面养护;卢传忠(1970—),男,江苏盐城人,硕士,高级工程师,研究方向为路面养护;周韡(1985—),男,江苏南京人,高级工程师,研究方向为路面养护;姜宁(1983—),男,江苏徐州人,高级工程师,研究方向为路面养护;郭阳阳(1993—),男,江苏淮安人,工程师,研究方向为路面养护;;通信作者虞浩(1993—),男,江苏扬州人,硕士,助理研究员,研究方向为沥青路面绿色养护技术。

分先进省份关于污染物排放的要求,科学地给出江苏省养护基地污染物排放指标的建议值,为后续改造绿色环保型养护基地提供系统的污染物排放指标。在对养护基地进行绿色化分级评价时,将污染物排放指标的建议值作为评定程序的分界线来区分是否为绿色环保型养护基地。同时,考虑到绿色环保型养护基地的智慧化、综合管理方面的水平有差异,利用 AHP-模糊综合评价法,构建隶属度函数,对绿色环保型养护基地进一步分星级区分,由一星到四星进行评价,最高为四星级绿色环保型养护基地,此绿色评价体系科学、合理,并已应用于盐城养护基地和邳州养护基地的评级,对国内绿色环保型养护基地的建设起到指导性意义。

## 1 养护基地绿色评价体系的构建

新形势下,高速公路养护基地的建设与传统的养护基地存在较大差别,在对大气污染物进行重点治理的背景下,建设绿色环保型养护基地已经成为中国建设资源节约型和环境友好型社会的主要战略途径。但是中国目前尚未建立一套完善的养护基地绿色评价指标体系,亟须以体系的形式在企业层次上评价绿色绩效,促进绿色环保型养护基地建设的规范化。

绿色绩效评价体系要渗透到空间格局、产业结构、生产生活方式的全方位,对绿色建设、绿色生产、智慧管控、运营管理的各环节作出全面评价。因此,本文通过结合养护基地建设的实际情况,提出对养护基地的基本指标要求,即以污染物的排放量作为基本指标来区分是否是绿色环保型养护基地。同时,在满足基本指标的基础上,以绿色化生产、节能减排技术、智能化管控、运营管理等方面作为加分项指标,通过“绿色度”(通过打分制划分不同分段的绿色等级)来对绿色环保型养护基地的等级进行进一步分级。

## 2 绿色评价体系下分级评价指标的建立

### 2.1 基本评价指标集合构建

传统的养护基地多为粗放型,自动化水平低,能耗高,污染大,在环保要求日益严格的形式下,应当提出在一定时期的相对先进的污染物排放限值。目前江苏尚未制定关于养护基地的污染物排放标准,对于养护基地环保治理标准缺乏系统性的依据。所以,需首先建立养护基地污染物排放标准作为基本指标的评价集。

通过养护基地的生产沥青混合料的工艺流

程,梳理出四大类主要气体污染物作为评价对象,分别是沥青废气、燃烧器废气、导热油炉废气和厂区粉尘,并在调研<sup>[7-8]</sup>养护基地相关环保标准的基础上,结合江苏省关于污染治理的政策,科学地给出江苏省养护基地污染因子排放指标的建议值。

根据江苏省养护基地污染因子相关排放标准,利用第三方检测机构或单位自行检测,得到省内养护基地污染物的各项指标检测数据,由此制定的污染因子排放量评价如表 1 所示,以污染物排放的最低限值为评价阈值,参评的养护基地在满足下述所有条件的基础上,方可认定为绿色环保型养护基地;只要污染因子的一项指标未达标,则不符合绿色环保型养护基地的基本要求,不参与后续的分级评价。

表 1 绿色环保型养护基地污染因子排放量评价

污染物	类别	有组织排放/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	无组织排放/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	是否 达标
沥青废气	沥青烟	$\leq 20$	—	
	苯并芘	$\leq 0.000\ 2$	$\leq 0.000\ 007$	
	非甲烷总烃	$\leq 100$	4	
燃烧器 废气	颗粒物	$\leq 20$	—	
	SO <sub>2</sub>	$\leq 80$	—	
	NO <sub>x</sub>	$\leq 180$	—	
	烟气黑度(林格曼,级)	$\leq 1$	—	
导热油 炉废气	颗粒物	$\leq 20$	—	
	SO <sub>2</sub>	$\leq 30$	—	
	NO <sub>x</sub>	$\leq 80$	—	
	烟气黑度(林格曼,级)	$\leq 1$	—	
厂区粉尘	粉尘			

注:所有排放指标均达标为绿色环保型养护基地,除此之外,则不属于绿色环保型养护基地。

### 2.2 星级评价指标集合构建

#### 2.2.1 养护基地生产技术的绿色指标选择

随着污染物处理工艺的不断精进,节能降耗技术的广泛应用,使得碳排放量逐步向着欧洲零碳化迈进。先进的处理工艺可以大大降低污染物的排放量,节能降耗技术则通过降低沥青混合料的生产温度等方式,减少能源的消耗,降低温室气体和有毒有害气体的排放,具有显著的生态效益和经济效益。因此,选择污染物治理设施及工艺的应用以及节能降耗技术应用作为养护基地生产技术的绿色评价指标。

(1) 污染物处理工艺的应用。针对养护基地所应用的污染物处理工艺的种类,制定污染物处理工艺应用情况分级评价标准如表 2 所示。

(2)节能降耗关键技术的应用。针对养护基地所应用的节能降耗技术的种类,制定了节能降耗技术应用情况分级评价标准如表 3 所示。

表 2 养护基地污染物治理设备应用分级评价标准

变量	养护基地污染物处理工艺种类				
	0 种	1 种	2 或 3 种	4 或 5 种	6 种以上
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

注:污染物处理工艺包括雾炮、布袋除尘技术、静电除尘技术、喷淋+离心除雾技术、光催化等离子一体机、喷淋+电捕焦油+活性炭技术等。

表 3 养护基地节能降耗技术应用分级评价标准

变量	养护基地节能降耗技术应用种类				
	0 种	1 种	2 或 3 种	4 或 5 种	6 种以上
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

注:节能降耗技术包括电加热技术、逆流再生烘干筒技术、集料水洗技术、温拌沥青技术、烘干筒烟气余热利用技术、厂拌热再生技术、太阳能发电技术、地源热泵技术、空气源热泵技术等。

### 2.2.2 养护基地能源利用率的绿色指标选择

目前江苏作为绿色循环低碳交通运输建设示范省份,省内养护基地应最大化利用我省能源现有资源,建设循环型、节约型能量消耗模式,提高资源利用率。燃料燃烧主要包含加热烘干系统和沥青罐加热系统。在沥青拌和楼集料烘干加热和再生烘干滚筒加热的过程中,会有大量的持续性的热烟气排出,这类烟气的温度一般在 120~200℃。这些尾气所含大量的余热未被利用,直接排放造成能源的浪费。沥青拌合站大约有 10%的能源用于沥青的加热,沥青的加热方式与整体热效率关联性比较大。目前沥青拌合站常用的沥青加热方式主要有导热油炉和电加热两种类型。目前市场上销售的导热油炉热效率在 30%~60%,热效率不高,一定程度上造成资源的浪费。另外,导热油炉故障率较高,提高了养护基地长期运营的成本。而电加热沥青罐具有节约能源,减少废气排放等优势,逐渐在国内开始推广,其热效率可达 90%以上。因此,选择烘干滚筒的热效率和沥青罐的加热效率作为养护基地能源利用率的绿色评价指标。

(1)烘干滚筒的热效率。通过调查市面上不同厂家的烘干滚筒的余热利用效率,制定节能降耗技术应用情况分级评价标准如表 4 所示。

(2)沥青罐的加热效率。通过调查市面上不同厂家的沥青罐的余热利用效率,制定烘干滚筒余热利用率分级评价标准如表 5 所示。

表 4 养护基地烘干滚筒余热利用率分级评价标准

变量	养护基地烘干滚筒余热利用率				
	0	5	10	20	>20
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

表 5 养护基地沥青罐加热效率分级评价标准

变量	养护基地沥青罐加热效率/%				
	10	30	50	70	>70
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

### 2.2.3 养护基地智能化管控的绿色指标选择

通过养护基地智能化建设,将基地建设成为一个自动化控制程度高、信息化建设全面的新型智能化养护基地,因此,选用智能化管控技术和自动化技术作为养护基地智能化管控的绿色评价指标。

(1)智能化技术。养护基地智能管控系统以生产企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)流程为主线,集成管理养护基地生产办公生活所有功能区域,主要分为 ERP 智能管控、设备管控、环保管控和安防管控等模块。根据养护基地各模块的智能化技术的应用情况进行分级评价如表 6 所示。

(2)自动化技术。调研江苏省内养护基地自动化技术现状,包括拌合楼自动化控制、沥青罐加热自动化控制、冷料堆料自动化与取料控制和污染物自动处理,根据养护基地自动化技术的应用数量对养护基地进行分级评价如表 7 所示。

表 6 养护基地智能化技术分级的评价标准

变量	养护基地智能管控技术				
	0	1 种	2 种	3 种	>4 种
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

表 7 养护基地自动化技术分级的评价标准

变量	养护基地自动化技术				
	0	1 种	2 种	3 种	>4 种
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

### 2.2.4 养护基地运营管理的绿色指标选择

养护基地在规范管理的过程中,最重要的是有一套完整的制度管理来约束不合规的运营操作,并且制度的执行情况是确保制度不浮于表面工程。所以,选择运营管理制度内容和运营管控措施执行情况作为绿色评价指标。

(1)运营管理制度内容。养护基地管理制度主

要包括安全生产、文明生产、现场管理、设备管理情况、环境保护等方面。针对不同养护基地管理制度的制定情况进行分析,对其管理制度进行分级评价如表 8 所示。

(2)运营管理措施执行情况。在前文对养护基地运营管理制度评价的基础上,对其运营管理措施的执行情况进行调研,以各项措施的执行率对养护基地运营管理措施执行情况进行分级评价如表 9 所示。

表 8 养护基地运营管理制度内容分级的评价标准

变量	养护基地运营管理制度内容				
	0 或 1 项	2 项	3 项	4 项	5 项
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

表 9 养护基地运营管理措施执行情况分级的评价标准

变量	养护基地运营管理措施执行情况				
	0 或 1 项	2 项	3 项	4 项	5 项
评价等级	差	较差	一般	良	优
分值	10	30	50	80	100

注:管理措施主要包括人才储备管理、精准业务培训、建立奖励机制、定期考核机制、党政思想教育等五个方面。

### 3 基于 AHP-模糊综合评价方法评价步骤

采取基于层次分析法的模糊综合评价方法,在层次分析方法中加入模糊数学中的“隶属度”概念,采用隶属度函数对具有模糊性(如专家评价)的指标进行处理,降低主观因素对评价结构的影响。对绿色环保型养护基地采取模糊综合评价方法确定其绿色评分,评价步骤如图 1 所示。

### 3.1 层次分析法指标权重计算

#### 3.1.1 递阶层次结构建立

在前文研究的基础上,按照层次分析法流程将绿色环保型养护基地的评价体系分为三层,按照目标层-维度层-要素层进行划分,其递阶层次结构如图 2 所示。

图 2 中,目标层:  $A = \{\text{绿色环保型养护基地的绿色度评价体系}\}$ ; 维度层:  $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\} = \{\text{养护基地绿色化生产技术、养护基地能源利用率、养护基地智能化管控、养护基地运营管理}\}$ ; 要素

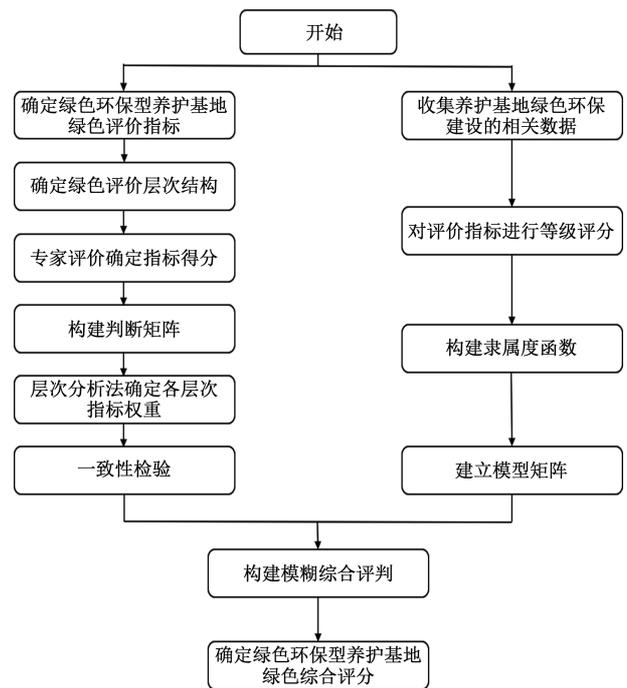


图 1 基于层次分析法的模糊综合评价方法步骤

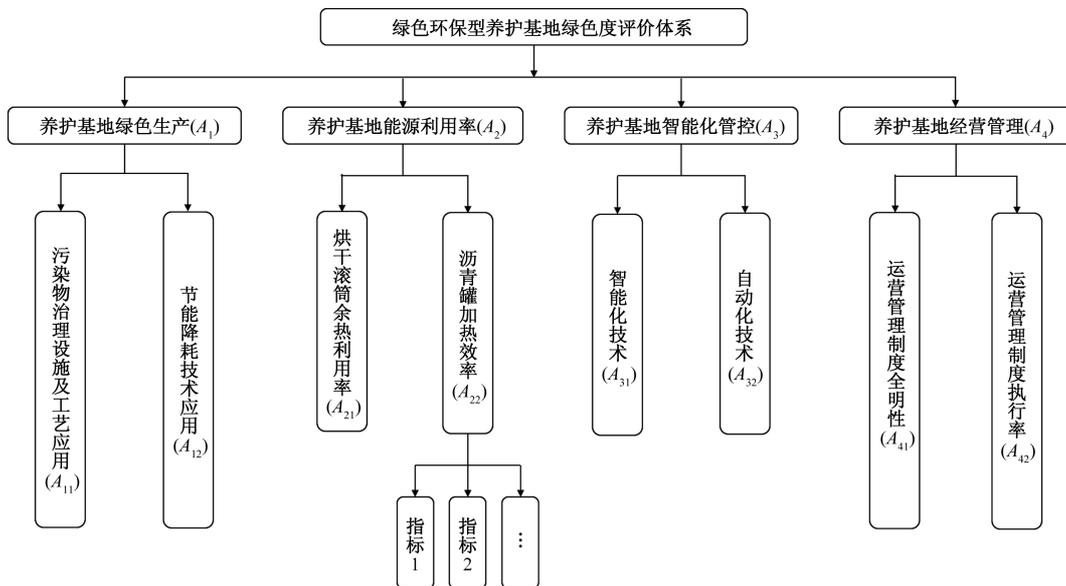


图 2 绿色环保型养护基地绿色评价体系构建思路

层: $A_1 = \{A_{11}, A_{12}\} = \{\text{污染物治理设施及工艺的应用, 节能降耗技术应用}\}; A_2 = \{A_{21}, A_{22}\} = \{\text{烘干滚筒余热的利用率, 沥青罐的加热效率}\}; A_3 = \{A_{31}, A_{32}\} = \{\text{智能化技术, 自动化技术}\}; A_4 = \{A_{41}, A_{42}\} = \{\text{运营管理制度的全面性, 运营管理制度的执行率}\}。$

3.1.2 构造两两比较判断矩阵

在每个层次,决策者需要通过专家打分的形式,对体系中的各评价维度进行两两比较,以确定各项因素之间的相对重要性。比较的结果以尺度(通常是1~9的整数)表示,如表10所示。

汇总专家问卷数据,计算各指标的专家打分平均值,基于各项指标平均值构建判断矩阵,比较各项指标的相对重要性,从而确定二级的各项指标对绿色评价总体的重要性,判断矩阵如表11所示。

3.1.3 判断矩阵计算

首先,利用方根法计算判断矩阵每行元素乘积  $M_i = \prod_{j=1}^n A_{ij}$ ,并对  $M_i$  开  $n$  次方求得  $W = \sqrt[n]{M_i}$ ,对向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 。然后,根据公式  $W_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$  对  $W$  进行归一化处理,得到最大特征向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 。最后计算判断举证的最大特征

表 10 相对重要性标度及其含义<sup>[9]</sup>

尺度	含义	解释
1	同等重要	两种活动对目标的重要性一致
3	稍微重要	经验和判断对结果有较小的影响
5	明显重要	经验和结果判断对结果有较大的影响
7	强烈重要	其结果已经被实际证实一个指标比另一个指标占优势的证据
9	极端重要	非常确定
2,4,6,8	中间状态的相应标度值	

表 11 两两比较判断矩阵

指标	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
$A_1$	$\frac{\bar{A}_1}{\bar{A}_1}$	$\frac{\bar{A}_1}{\bar{A}_2}$	...	$\frac{\bar{A}_1}{\bar{A}_n}$
$A_2$	$\frac{\bar{A}_2}{\bar{A}_1}$	$\frac{\bar{A}_2}{\bar{A}_2}$	...	$\frac{\bar{A}_2}{\bar{A}_n}$
...	...	...	...	...
$A_n$	$\frac{\bar{A}_n}{\bar{A}_1}$	$\frac{\bar{A}_n}{\bar{A}_2}$	...	$\frac{\bar{A}_n}{\bar{A}_n}$

表 12 随机一致性 RI

变量	n 阶										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56

$$\text{值 } \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}。$$

3.1.4 一致性检验

计算一致性指标  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ , 查找相应的平均一致性指标 RI(表12)并计算随机一致性比率  $CR = \frac{CI}{RI}$ , 当  $CR < 0.1$  时,可接受一致性检验,否则对  $A$  修正。

3.2 绿色评价指标权重计算

通过专家问卷的方式,邀请到四位专家进行答卷评分,通过 Excel 建立目标层和维度层的判断矩阵,进行归一化处理,结果如表13所示。

根据公式计算  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$ , 求得  $\lambda_{\max} =$

4.143,对结果进行一致性检验。 $CR = \frac{CI}{RI} = 0 < 0.1$ ,可接受一致性检验,最终计算的指标权重如表14和表15所示。

表 13 专家意见归一化

指标	绿色化生产 ( $A_1$ )	节能减排技术 ( $A_2$ )	智能化管控 ( $A_3$ )	运营管理 ( $A_4$ )	W	AW
绿色化生产 ( $A_1$ )	1	1	11/4	11/7	0.227	1.11
节能减排技术 ( $A_2$ )	1	1	11/4	11/7	0.227	1.11
智能化管控 ( $A_3$ )	4/5	4/5	1	1	0.284	0.93
运营管理 ( $A_4$ )	7/8	7/8	1	1	0.262	0.92

表 14 AHP 层次分析结果

指标	$W_i$	权重/%	最大特征值	CI
绿色化生产 ( $A_1$ )	1.131	27.3	4.143	0
节能减碳技术 ( $A_2$ )	1.131	27.3		
智能化管控 ( $A_3$ )	0.940	22.7		
运营管理 ( $A_4$ )	0.940	22.7		

表 15 绿色环保型养护基地绿色体系评价指标权重

目标层	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$D_i$
	0.273	0.273	0.227	0.227	
$A_{11}$	0.500				0.136 4
$A_{12}$	0.500				0.136 4
$A_{21}$		0.453			0.123 5
$A_{22}$		0.547			0.149 3
$A_{31}$			0.466		0.105 8
$A_{32}$			0.532		0.120 9
$A_{41}$				0.500	0.113 6
$A_{42}$				0.500	0.113 6

注: $D_i$ 表示二级指标相对一级指标权重。

由表 14 和表 15 可知,绿色环保型养护基地绿色评价体系中绿色化生产和节能减排技术所占权重最大,权重数值均为 0.273。上述结果表明在绿色评价体系中专家认为绿色化生产技术和节能减排技术相对于其他两项加分项更重要。

从各方面具体加分项指标来看,绿色化生产中污染物治理设施及工艺的应用情况和节能降耗技术应用权重系数均为 0.136 4,能源利用率中沥青罐加热效率的权重系数为 0.149 3,所占权重在所有二级指标中最大,由此可以说明专家一致认为沥青罐加热效率可以大大降低养护基地的碳排放。

综上所述,绿色环保体系的加分项指标中绿色化生产和能源利用率相较于智慧化管控和经营管理来说更为重要,是绿色环保型养护基地实现高度绿色化的主要抓手。

### 3.3 多级模糊综合评价计算步骤

模糊综合评价是从最低层逐层向上做出多层次综合评价,直至确定绿色环保型养护基地绿色目标层评价得分<sup>[10]</sup>。

(1)建立评价目标集,首先根据各项指标表现构建评价集  $U=(U_1, U_2, U_3, U_4, U_5)=(五星级, 四星级, 三星级, 二星级, 一星级)=(100, 80, 50, 30, 10)$ 。

(2)构建隶属度函数,将上述的评价指标进行 0~100 的打分,根据式(1)~式(4)构建隶属度函数,  $x$  代表评价指标。

$$R_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \\ \frac{x-60}{12.5}, & 60 < x < 72.5 \\ 1, & 72.5 \leq x \leq 85 \\ \frac{97.5-x}{12.5}, & 85 < x \leq 97.5 \\ 0, & x > 97.5 \end{cases} \quad (1)$$

$$R_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 37.5 \\ \frac{x-35}{12.5}, & 35 < x < 47.5 \\ 1, & 47.5 \leq x \leq 60 \\ \frac{72.5-x}{12.5}, & 60 < x \leq 72.5 \\ 0, & x > 72.5 \end{cases} \quad (2)$$

$$R_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ \frac{x-10}{12.5}, & 10 < x \leq 22.5 \\ 1, & 22.5 \leq x \leq 35 \\ \frac{47.5-x}{12.5}, & 35 < x \leq 47.5 \\ 0, & x > 47.5 \end{cases} \quad (3)$$

$$R_4(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 10 \\ \frac{22.5-x}{12.5}, & 10 < x \leq 22.5 \\ 0, & x > 22.5 \end{cases} \quad (4)$$

将评价得分代入梯形隶属度函数构建模糊矩阵,模糊矩阵中  $r_i$  表示评判集中各因素的隶属度,计算公式为

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{11}^i & r_{12}^i & \cdots & r_{15}^i \\ r_{21}^i & r_{22}^i & \cdots & r_{25}^i \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{51}^i & r_{52}^i & \cdots & r_{55}^i \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中:  $i \in \{1, 2\}$ 。

(3)模糊层次分析。由层次分析法可得二级指标权重集合分别为  $W_1=(W_{11}, W_{12})=(0.136 4, 0.136 4)$ ;  $W_2=(W_{21}, W_{22})=(0.123 5, 0.149 3)$ ;  $W_3=(W_{31}, W_{32})=(0.105 8, 0.120 9)$ ;  $W_4=(W_{41}, W_{42})=(0.113 6, 0.113 6)$ 。二级指标模糊层次分析评价集合的计算公式为

$$C_i = W_i R_i = (C_{i1}, C_{i2}, C_{i3}, C_{i4}) \quad (6)$$

同理可得一级指标权重集合为  $W=(W_1, W_2, W_3, W_4)$ ,则目标层模糊综合评价集合的计算公式为

$$C = WR = (C_1, C_2, C_3, C_4) \quad (7)$$

通过式(7)与各维度层的平均值进行加权得到综合评价值,对应的星级评价如表 16 所示。

表 16 星级评价

分值	(70~100]	(50~70]	(30~50]	(10~30]
绿色度	四星级	三星级	二星级	一星级

注:四星级为绿色度最高的绿色环保型养护基地,四星级、三星级、二星级、一星级绿色度逐级降低。

## 4 养护基地绿色度评价结果与分析

以邳州养护基地和盐城养护基地为案例,分别使用层次分析法和本文提出的基于 AHP-模糊综合评价法进行评价,验证所提方法的可靠性。从治理设施及工艺的应用、节能降耗技术的应用、烘干滚筒余热利用率、沥青罐加热效率、智能化管控技术、自动化技术、运营管理制度的全面性以及运营管理制度执行率这些方面来评价邳州养护基地和盐城养护基地的绿色度,研究小组评价结果如表 17 和表 18 所示。

### 4.1 层次分析法评价结果

基于表 17 和表 18 的各评价项目的指标数值,

表 17 邳州养护基地二级指标评价等级及数值

评价项目名称	实地评价结果描述	隶属等级	指标数值
污染物治理设施及工艺的应用	安装防尘网加雾炮装置、抽吸装置、布袋除尘系统(3套装置治理粉尘及NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 污染物)加装廊道、吸尘管道(2套装置治理沥青烟等污染物)	良	87
节能降耗应用	采用电加热技术和烘干滚筒烟气余热利用技术	一般	55
烘干滚筒余热利用率	采用安迈自主研发的油、气两用低压雾化燃烧器,油耗节省10%~20%	良	72
沥青罐加热效率	采用直热式导热油沥青罐,分层加热,加热效率在50%左右	一般	55
智能化技术	对污染物进行监测点位的布置,外围布置粉尘监控装置	一般	45
自动化技术	用筒仓堆料,通过皮带传输上料	一般	45
运营管理制度的全面性	管理制度比较全面,制度的覆盖率基本可以达到80%	优	89
运营管理制度执行率	严格按照规章制度运营管理,制度的执行率可以达到80%	优	89

表 18 盐城养护基地二级指标评价等级及数值

评价项目名称	实地评价结果描述	隶属等级	指标数值
污染物治理设施及工艺的应用	安装沥青混泥土拌合袋式除尘器、喷淋净化塔+深度净化塔+电捕沥青焦油器、冷料斗吸尘罩、光氧活性炭一体机(4套装置治理污染物)	良	80
节能降耗应用	采用电加热技术和泡沫温拌沥青技术	一般	50
烘干滚筒余热利用率	配置能耗检测工具	良	80
沥青罐加热效率	配置能耗检测工具	良	80
智能化技术	开发运营生产MES系统、数字孪生系统	优	80
自动化技术	自动卸料、库存统计、故障报警、远程操控等功能	一般	60
运营管理制度的全面性	从苏式质量、技术、管理、安全等方面具体阐述了运营管理制度的内容	优	90
运营管理制度执行率	从队伍建设、能力提升、鼓励激励等方面采取管理措施	良	80

根据表 14 各指标权重,通过线性加权的方法计算出两种养护基地的各项分数和总和,结果如表 19 和表 20 所示。

综合评价结果看,邳州养护基地评价结果为 66.890 4,评价分数介于 50~70,属于五星级养护基地;盐城养护基地评价结果为 74.586,评价分数介于 70~100,属于五星级养护基地。

#### 4.2 基于 AHP-模糊综合评价法评价结果

根据建立的隶属度理论,分别求出各等级隶属度梯形隶属度,得到的隶属度矩阵如表 21 和表 22 所示。

$$R = \begin{pmatrix} 0.16 & 0.84 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.96 & 0.04 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0.68 & 0.32 & 0 \\ 0 & 0.68 & 0.32 & 0 \end{pmatrix}。$$

目标层模糊综合评价集合  $C=WR=(0.021\ 8, 0.387\ 6, 0.544\ 7, 0.045\ 3)$ ,综合评价值为 54.711 1,属于五星级养护基地。

表 19 邳州养护基地各项分数

评价项目名称	指标数值(A)	指标权重	各项分数
污染物治理设施及工艺的应用	87	0.136 3	11.866 8
节能降耗应用	55	0.136 4	7.502 0
烘干滚筒余热利用率	72	0.123 5	8.892 0
沥青罐加热效率	55	0.149 3	8.211 5
智能化技术	45	0.105 8	4.761 0
自动化技术	45	0.120 9	5.440 5
运营管理制度的全面性	89	0.113 6	10.110 4
运营管理制度执行率	89	0.113 6	10.110 4
总分			66.890 4

表 20 盐城养护基地各项分数

评价项目名称	指标数值(A)	指标权重	各项分数
污染物治理设施及工艺的应用	80	0.136 3	10.912
节能降耗应用	50	0.136 4	6.820
烘干滚筒余热利用率	80	0.123 5	9.880
沥青罐加热效率	80	0.149 3	11.944
智能化技术	80	0.105 8	8.464
自动化技术	60	0.120 9	7.254
运营管理制度的全面性	90	0.113 6	10.224
运营管理制度执行率	80	0.113 6	9.088
总分			74.586

表 21 邳州养护基地二级指标隶属度矩阵

指标	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>11</sub>	0.16	0.84	0	0
A <sub>12</sub>	0	0	1	0
A <sub>21</sub>	0	0.96	0.04	0
A <sub>22</sub>	0	0	1	0
A <sub>31</sub>	0	0	0.8	0.2
A <sub>32</sub>	0	0	0.8	0.2
A <sub>41</sub>	0	0.68	0.32	0
A <sub>42</sub>	0	0.68	0.32	0

表 22 盐城养护基地二级指标隶属度矩阵

指标	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>11</sub>	0	1	0	0
A <sub>12</sub>	0	0	1	0
A <sub>21</sub>	0	1	0	0
A <sub>22</sub>	0	1	0	0
A <sub>31</sub>	0	0	1	0
A <sub>32</sub>	0	1	0	0
A <sub>41</sub>	0.4	0.6	0	0
A <sub>42</sub>	0	1	0	0

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

目标层模糊综合评价集合  $C=WR=(0.072\ 8, 0.060\ 2, 0, 0)$ , 综合评价值为 76.856 4, 属于四星级养护基地。

综上所述可以看出, 本文提出的基于 AHP-模糊综合评价法具有可靠性, 与层次分析法评价结果一致, 评价结果差异更加明显。

## 5 结论

绿色化、智能化已经成为目前养护基地的建设趋势, 科学的污染物排放标准是建设养护基地的首要任务。在总结了国家、各地方的大气污染物排放标准, 制定出适合养护基地的污染物排放限值。在满足污染物排放限值的基础上, 利用 AHP-模糊综合评价法, 从绿色生产技术、智能化

管控、能源利用率、运营管理四个方面对养护基地进行分级评价。此评价程序不仅区分了传统的沥青拌和站和绿色环保型养护基地的本质差异, 还有利于更加全面、具体的细化绿色环保型养护基地的分级标准。并通过前往邳州养护基地和盐城养护基地实地测评打分, 验证了此绿色评价体系的可行性。

## 参考文献

- [1] 郑丽华, 何晓东, 李红, 等. 基于多级模糊综合评价法的公路建设方案环境影响评价研究[J]. 价值工程, 2024, 43(6): 10-13.
- [2] 单金伟. 基于 AHP-模糊综合评价法城市河流生态治理环境影响后评价研究[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2024.
- [3] 赵全满, 刘朝晖, 姚向发, 等. 基于层次分析法的高速公路沥青路面预防性养护决策模型[J]. 公路, 2023, 68(9): 381-387.
- [4] 程鑫. 绿色养护技术在公路沥青路面中的应用探讨[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(10): 122-124.
- [5] 季晗豪. 沥青拌合站节能减排评价指标体系研究[J]. 公路与汽运, 2012(1): 127-131.
- [6] 王增超. 新时期背景下沥青拌合站节能减排评价指标体系研究[J]. 内燃机与件, 2017(2): 148-150.
- [7] 王永华. 绿色建筑工程管理模式创新分析[J]. 中国招标, 2023(1): 117-119.
- [8] 王军晓, 邱恺培, 修光利, 等. 长三角地区大气环境保护标准现状及标准协同机制[J]. 中国环保产业 2023, (11): 21-28.
- [9] 张宇俊. 棉纺织品绿色供应链的绿色度评价及应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.
- [10] 赵维树, 赵伟祥. 基于 AHP 与模糊综合评价的绿色建筑发展因素研究[J]. 合肥师范学院学报, 2021, 39(3): 28-34.

## Research on the Green Evaluation System of Maintenance Bases Based on AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

WANG Ge<sup>1</sup>, ZHAO Yue<sup>1</sup>, LU Chuazhong<sup>2</sup>, ZHOU Wei<sup>3</sup>, JIANG Ning<sup>4</sup>, GUO Yangyang<sup>1</sup>, YU Hao<sup>5</sup>

(1. Jiangsu Highway Engineering Maintenance Co. Ltd., Huai'an 223001, Jiangsu, China;

2. Jiangsu Eastern Highway Management Co. Ltd., Yancheng 224000, Jiangsu, China;

3. Jiangsu Highway Engineering Maintenance Technology Co. Ltd., Nanjing 210000, China;

4. Jiangsu Lianxu Expressway Co. Ltd., Xuzhou 221000, Jiangsu, China;

5. Institute of Water Science and Technology, Hohai University, Yangzhou 225000, Jiangsu, China)

**Abstract:** The maintenance base, as the "backstage" of highway maintenance projects, lacks unified green environmental construction standards and scientific management methods in the process of transformation and upgrading towards greening and intelligence. Therefore, it is unable to qualitatively evaluate the technical level of intelligence and greening of maintenance bases. Combining the situation of green maintenance bases in Jiangsu Province and suggestions from relevant experts on the green evaluation system of maintenance bases, based on meeting the pollutant emission standards, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy comprehensive evaluation method were used to conduct star rating evaluations of green environmental maintenance bases from four aspects, such as green production, energy conservation and emission reduction technology, intelligent management and control, and operational management. A good green demonstration is served for the construction of new types of maintenance bases in the future.

**Keywords:** green and environmentally friendly maintenance base; pollutant emission limits; AHP-Fuzzy comprehensive evaluation method; star rating