

DOI:10.11918/202201035

沥青铺面拌合场质量状态灰色模型评测体系构建

纪 伦¹,徐琳琳¹,邬金麒¹,郝 晟^{1,2},周舰航³,谭忆秋¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院,哈尔滨 150090;2. 天津市政工程设计研究总院有限公司,天津 300392;
3. 龙建路桥集团第六工程有限公司,哈尔滨 150096)

摘 要:为解决当前沥青铺面拌合场质量状态测评价方法片面、指标单一、体系不完整的问题,合理设计沥青铺面拌合场质量状态评价和预测体系,以有效推进铺面质量管理技术进步,提升质量保证能力,提高混合料品质和铺面工程服役寿命。应用灰色模型理论,通过拌合场质量状态的灰色系统特性和质量管理的技术特征分析,提出沥青铺面拌合场质量状态灰色模型评价程序;确定测评指标层级和评测参数,建立了沥青铺面工程拌合场质量状态评测二级指标体系,继而实现沥青铺面拌合场质量状态评价和预测。分析中,基于专家调查法提出指标权重赋权分析方法,获得了指标评测特征向量,计算分析了特征数据序列的参照关联系数,实现了灰色模型评测体系的构建;明确了沥青铺面拌合场质量评测结果,确定了质量状态优劣排序方法。研究结果表明:可筛选高权重的二级指标构建简化的灰色模型体系,进而提高评价区分度和效率,实现质量状态评测和质量趋势预测;分辨系数 ρ 可作为区分度控制的指标,适合在绩效分值测算中作为控制参数合理运用;同时,通过体系的构建及权重特征的分析,进一步明确了沥青铺面拌合场质量管理的核心内容和关键环节。灰色模型评测方法能够显著提高沥青铺面拌合场质量管理的科学性和可操作性,丰富铺面工程质量管控技术。

关键词: 沥青铺面;拌合场质量状态;灰色模型;评测体系;灰关联系数

中图分类号: 415.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2023)07-0001-08

Construction of grey model evaluation system for quality management of asphalt mixture mixing plant

Ji Lun¹, Xu Linlin¹, Wu Jinqi¹, Hao Sheng^{1,2}, Zhou Jianhang³, Tan Yiqiu¹

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China;

3. Heilongjiang Longjian Road and Bridge Sixth Limited Company, Harbin 150096, China)

Abstract: To solve the problems of one-sided evaluation method, single index and incomplete system of the current asphalt pavement mixing field quality state, and provide a sound evaluation and prediction system, on the basis of grey model theory and the analysis of grey system characteristics of mixing plant quality management, a grey model analysis program was developed, with the quality management index system constructed, and the weighting method of index weight analyzed. In the present study, the construction method of index evaluation feature vector is proposed, the reference correlation coefficient of characteristic data sequence analyzed, and the method of quality evaluation and ranking defined. Through the analysis of grey system characteristics of mixing plant quality management, we established the grey model analysis program. Combined with specific examples, we construct the quality management index system, and analyze the weighting method of index weight. This paper puts forward the construction method of index evaluation feature vector. In this paper, the reference correlation coefficient of characteristic data sequence is analyzed, and the method of quality evaluation and ranking is defined. Through the comparative analysis of resolution coefficient, the authors believes that a reasonable value of resolution coefficient can improve the discrimination of evaluation objects. By studying the influence of the discrimination coefficient parameter of grey model on the evaluation result of quality state, it is found that the discrimination coefficient ρ can be used as the index of discrimination control, especially in the case involving reward and punishment and performance score measurement. This method can significantly improve the scientificity and operability of quality management evaluation of asphalt pavement mixing plant. This paper enriches the technical methods of pavement engineering quality management.

Keywords: asphalt pavement; quality condition of mixing station; grey model; evaluation system; grey correlation coefficient

收稿日期: 2022-01-06; **录用日期:** 2022-03-07; **网络首发日期:** 2023-05-19

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1235.T.20230518.1315.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金(U20A20315);国家重点研发计划(2016YFE0202400)

作者简介: 纪 伦(1973—),男,副教授,硕士生导师;谭忆秋(1968—),女,教授,博士生导师

通信作者: 纪 伦, jilun@hit.edu.cn

沥青铺面项目质量控制、混合料质量管理都应该且需要对拌合场材料状况和拌合设备性能、运行参数等进行科学管控与评价,进而从根本上实现预判和控制混合料材料品质的目的。长期以来,中国沥青铺面项目忽视了拌合场质量管控工作的特殊性,单纯通过材料指标性能对项目备料进行评价,未将拌合场涉及的材料变异性、数量均衡性、拌合场设置参数和运营状况等要素进行系统分析或科学管控,不利于混合料质量的保证,不利于沥青铺面技术的进步^[1-2]。

建立科学、有效的拌合场质量状态检查评价体系,提高拌合场质量管控的“绩效”,是沥青铺面项目管理中亟待解决的重要课题^[3-5]。本文结合灰色系统理论,通过具体示例,构建基于灰色模型的沥青铺面拌合场质量状态评测体系,供项目管理人员参考。

1 沥青铺面拌合场质量状态的灰色特征及评测程序

1.1 评测问题的灰色特征

1981 年,中国控制论专家邓聚龙教授提出灰色系统的概念,结合应用数学方法,形成了一套解决信息不完备系统的理论和方法^[6-7]。沥青铺面项目拌合场质量评价问题具有“灰色”特征,具体表现在以下 3 个方面:1) 沥青铺面项目拌合场质量状态评测系统具有层次、界限不清晰,结构关系模糊的特点。限于当前的技术水平,通过调查、核实和测评也仅可获得较少的或不确切的仅可片面表示灰色系统行为特征的原始数据序列。2) 沥青铺面项目拌合场质量状态分析数据具有动态变化的特点,评价数据的获得具有随机性。3) 限于对质量评价工作的理解,以及当前该领域的研究深度,测评指标可能考虑不全面,或不完备;评价量值的考虑因素可能不全面或标准不合理;测评系统中包含已知信息,又含有未知信息或非确知信息。

1.2 灰色模型评测程序

灰色模型通过指标量化,计算研究对象各影响指标因素之间的贴近程度的关联系数,比较分析关联系数,实现对灰色系统的判断和预测。沥青铺面拌合场质量状态灰色模型评价方法可依据如下程序进行^[8-9]:1) 构建质量评价的指标体系和确定指标权重;2) 获取指标量化数据,建立反映系统质量行为特征的参考数列矩阵;3) 确定影响系统质量行为的比较数列矩阵,确定论证评价指标的最底层最优指标集,根据指标的属性选择最优指标集;4) 对参考数列和比较数列进行无量纲化处理;5) 计算参考数列与比较数列的灰色关联系数,分析关联特征;

6) 评价或预测,依据关联系数对评价对象进行排序,或赋予评价分值。

2 沥青铺面拌合场质量状态灰色模型评测指标体系

2.1 质量评测指标

结合拌合场质量管控的特点,以及灰色模型分析需要,构建质量状态评测体系^[10-15]。拌合场质量管控工作的专业化水平高,充分考虑其涉及的关键技术工作及其质量管控特点,分析拌合场质量管控要素及逻辑关系,质量状态要素控制如图 1 所示。可见,沥青铺面拌合场质量控制可从材料数量和质量、矿料在拌合场中的处理工艺环节、质量控制关键技术予以管控。表 1 列出了某项目拌合场质量状态评测指标。

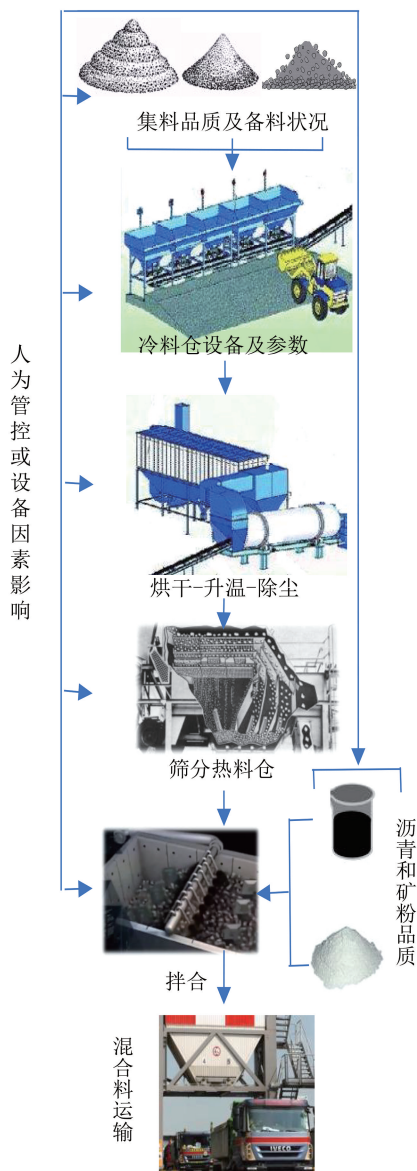


图 1 沥青铺面拌合场质量状态要素示意图

Fig. 1 Schematic diagram of quality state elements of asphalt pavement mixing plant

表 1 某项目所属沥青铺面拌合场质量状态评测指标和初始结果

评测指标		序号	评分结果				
一级评测指标	二级评测指标		A1	A2	A3	A4	A5
材料存储、数量和比例	材料存储规范性	1	90	90	95	100	95
	粗、细集料比例	2	90	81	82	83	100
	矿料数量	3	86	76	78	87	100
	矿粉比例	4	87	88	85	67	92
材料变异性	粗集料级配变异性	5	88	67	76	80	92
	细集料级配变异性	6	90	78	78	89	92
	粗细集料密度变异性	7	80	78	70	78	94
	细集料棱角性变异性	8	87	78	89	90	93
	粗集料针片状指标变异性	9	90	78	78	93	92
	矿粉 0.075 mm 通过率变异性	10	95	79	88	95	94
	矿粉密度变异性	11	95	87	88	84	95
	沥青针入度变异性	12	89	78	81	82	95
冷料仓供料参数设置准确性和计量精度	冷料仓参数设置	13	87	78	89	89	100
	沥青计量	14	89	90	91	87	96
	矿粉计量	15	93	85	95	87	95
集料干燥、升温 and 除尘效果	升温效果	16	100	88	90	96	100
	干燥效果	17	100	88	95	94	100
	除尘效果	18	92	76	94	77	96
热料仓及拌合参数设置准确性和计量精度	筛孔设置合理性	19	91	67	93	94	100
	等料溢料状况	20	88	77	87	90	100
	热矿料计量精度	21	88	86	67	87	95
	拌合工艺	22	100	100	100	100	100
拌合效果	混合料拌合均匀性	23	100	83	99	92	99
	混合料出场温度	24	93	77	95	76	95
人为操控规范性	冷料仓控制系统操作规范性	25	95	70	85	80	100
	热料仓控制系统操作规范性	26	90	80	95	95	95
	材料流转中人为干扰状况	27	100	90	100	100	100
配合比实现程度	沥青用量	28	90	78	80	86	97
	级配偏离状况	29	90	77	87	67	92
	混合料性能	30	91	70	75	78	95

可见,拌合场质量状态包括 8 个一级评测指标,二级评测指标有 30 个,从材料控制、工艺管控、成品质量评价,在事前、事中和事后全过程监管,全面涵盖了拌合场质量管控的要素。表 1 同时列出了 5 座拌合场 A1、A2、A3、A4 和 A5 的考核成绩。指标检查分可参照或依据相应的质量检查评定标准或规范、文献等制定。而限于当前的研究状况,个别的分值量化标准可再深入研究,此处不再赘述。

2.2 评测指标的赋权

2.2.1 专家测评数据采集

指标量化涉及取值标准和指标间数值的比例、

关系^[10]。为了准确评价质量状态,需要针对指标间的重要性进行权重分析。该项工作可采用专家调查法,通过向专家进行问卷的形式获得。针对30 个指标出现问题的概率,及其对混合料综合性能的影响程度进行调查,问卷调查表可参考表 2(问卷中需删除最后一列)。表中列明对指标信息理解的灰度值,取值为 0 ~ 1,对被测评指标越了解,数值越小。具体“信息量”与“灰度值”对应关系为:充分(0, 0.2)、较充分(0.2,0.4)、一般(0.4,0.6)、较贫乏(0.6,0.8)和贫乏(0.8,1.0)。按照相关测评办法,获得 7 份专家测评结果见表 2。表 2 的最后一列列出了专家 1 的初始赋权计算值。

表 2 质量评测指标权重专家测评结果

Tab.2 Expert evaluation results of weight of quality evaluation indicators

评测指标		评分结果			
一级评测指标	二级评测指标	出现问题概率 (0~1)	性能影响程度 (0~100)	信息灰度 (0~1)	专家初始 赋权值
材料存储、数量和比例	材料存储规范性	0	0	0.6	0
	粗、细集料比例	0.3	50	0.7	15
	矿料数量	0	0	0.3	0
	矿粉比例	0	0	0.3	0
材料变异性	粗集料级配变异性	0.3	40	0.3	12
	细集料级配变异性	0.3	40	0.2	12
	粗细集料密度变异性	0.1	30	0.3	3
	细集料棱角性变异性	0.3	20	0.4	6
	粗集料针片状指标变异性	0.2	40	0.5	8
	矿粉 0.075 mm 通过率变异性	0.5	60	0.1	30
	矿粉密度变异性	0.2	30	0.7	6
	沥青针入度变异性	0.3	30	0.3	9
冷料仓供料参数设置准确性和计量精度	冷料仓参数设置	0.4	70	0.1	28
	沥青计量	0.5	40	0.1	20
	矿粉计量	0.3	40	0.1	12
集料干燥、升温 and 除尘效果	升温效果	0	0	0.1	0
	干燥效果	0	0	0.1	0
	除尘效果	0.1	30	0.1	3
热料仓及拌合参数设置准确性和计量精度	筛孔设置合理性	0.2	40	0.1	8
	等料溢料状况	0.1	60	0.1	6
	热矿料计量精度	0.1	80	0.1	8
	拌合工艺	0	0	0.1	0
拌合效果	混合料拌合均匀性	0	0	0.1	0
	混合料出场温度	0.1	80	0.6	8
人为操控规范性	冷料仓控制系统操作规范性	0.3	70	0.1	21
	热料仓控制系统操作规范性	0.2	80	0.1	16
	材料流转中人为干扰状况	0	0	0.4	0
配合比实现程度	沥青用量	0.5	80	0.1	40
	级配偏离状况	0.6	80	0.1	48
	混合料性能	0.4	100	0.1	40

2.2.2 指标赋权

专家赋权值的计算公式为

$$b_{is}=p_{is}\times I_{is} \tag{1}$$

式中: b_{is} 为第 i 个指标,专家 s 的测评赋权值; $i=1\sim k,k$ 为指标总数; $s=1\sim n,n$ 为专家总数; p_{is} 为出现问题概率; I_{is} 为指标对混合料性能影响程度。依据测评专家采集信息,建立基于模糊灰度的指标初始赋权矩阵。

$$(b,g)=\begin{bmatrix}(b_{11},g_{11}) & (b_{12},g_{12}) & \cdots & (b_{1n},g_{1n}) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ (b_{k1},g_{k1}) & (b_{k2},g_{k2}) & \cdots & (b_{kn},g_{kn})\end{bmatrix} \tag{2}$$

由于专家习惯、性格和对指标认识程度的差异,对指标量值标准会有显著差异,可基于测评专家信息灰度值,分析专家自我认识能力评价。对于本例,专家信息灰度值和的均值为 0.27,变异系数为 9.7%,小于 10%,可认为专家组成员能力水平接

近,不对专家赋权值进行取舍。对赋权矩阵进行数据列的一致性-实数化处理。处理后的赋权矩阵为

$$(B,g)=\begin{bmatrix}(B_{11},g_{11}) & (B_{12},g_{12}) & \cdots & (B_{1n},g_{1n}) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ (B_{k1},g_{k1}) & (B_{k2},g_{k2}) & \cdots & (B_{kn},g_{kn})\end{bmatrix}\quad (3)$$

矩阵中, $B_{is} = \frac{b_{is}}{\sum_{i=1}^k b_{is}} \times 100$ 。表 3 列出了一致性-实数化后的权重分析结果。

表 3 质量评测指标权重分析专家数据
Tab.3 Weight analysis of quality evaluation indicators expert data

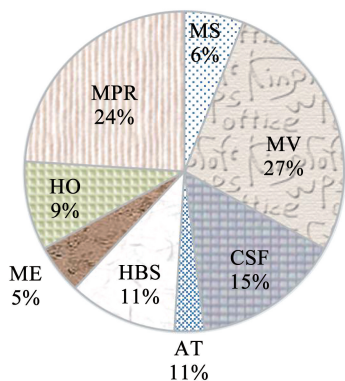
二级评测指标	权重						
	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7
材料存储规范性	0	2.2	1.8	1.8	1.0	0.9	0.9
粗、细集料比例	4.2	3.8	3.5	2.7	4.5	2.8	2.3
矿料数量	0	0.5	1.2	0.7	0	0	0.9
矿粉比例	0	0.5	3.5	1.4	1.1	0	0
粗集料级配变异性	3.3	2.7	3.5	2.3	2.5	2.8	2.7
细集料级配变异性	3.3	4.9	7.3	2.5	2.8	2.8	1.8
粗细集料密度变异性	0.8	1.6	2.3	2.0	1.1	4.2	2.7
细集料棱角性变异性	1.7	0.8	1.2	1.4	2.3	4.2	6.3
粗集料针片状指标变异性	2.2	1.3	1.8	3.0	2.3	1.9	6.3
矿粉 0.075 mm 通过率变异性	8.4	9.4	2.1	6.3	10.5	8.5	4.5
矿粉密度变异性	1.7	3.2	3.5	2.7	2.5	4.2	1.8
沥青针入度变异性	2.5	2.4	0.6	4.5	2.0	4.2	5.4
冷料仓参数设置	7.8	2.4	3.5	8.8	5.0	10.6	6.8
沥青计量	5.6	3.2	2.6	2.0	7.5	5.6	2.7
矿粉计量	3.3	1.6	3.5	2.4	7.5	3.8	3.6
升温效果	0	0.8	0.6	0.8	0	0.9	0
干燥效果	0	0	0	0	0	2.8	0
除尘效果	0.8	3.0	2.3	3.0	1.8	1.2	2.7
筛孔设置合理性	2.2	5.4	4.4	4.1	4.1	3.8	3.2
等料溢料状况	1.7	2.7	3.5	3.4	3.8	5.6	2.3
热矿料计量精度	2.2	3.8	2.1	5.0	5.3	3.8	4.1
拌合工艺	0	0.8	0	3.4	0	0	0
混合料拌合均匀性	0	0.8	3.5	2.5	1.0	0	0
混合料出场温度	2.2	2.0	8.2	5.1	3.5	2.8	9.9
冷料仓控制系统操作规范性	5.8	8.6	3.5	5.4	4.1	2.8	5.4
热料仓控制系统操作规范性	4.5	6.1	5.3	1.5	3.3	0.9	5.4
材料流转中人为干扰状况	0	1.1	1.2	0	0	0	0
沥青用量	11.1	9.7	12.3	6.3	7.0	7.0	6.8
级配偏离状况	13.4	6.5	7.0	6.3	6.0	7.0	7.9
混合料性能	11.1	8.1	4.1	9.0	7.5	4.7	3.6

鉴于专家对于指标认识和理解,可对每一个评测指标的专家测评权重进行数据取舍,进一步分析得到权重值。本文采用肖维纳特法进行数据分析(一组分析数据的样本数为 $n=7$,肖维纳特系数 Kn 取 1.8)。分析数据与样本平均值差的绝对值大于

1.8 倍的标准差时,该分析数据作为“可疑”数据,予以删除。针对各个指标,删除了 13 个数据(具体参见表 3)。数据取舍和一致性处理后,得到拌合场质量状态测评指标权重向量为

$$B_0 = [1.3, 3.7, 0.5, 0.5, 3.1, 1.9, 2.1, 2.2, 7.7, 3.0, 3.3, 6.9, 4.5, 3.3, 0.5, 0.2, 3.4, 2.3, 1.4, 0.0, 1.0, 0.8, 4.3, 4.9, 4.1, 0.3, 9.3, 7.3, 7.4]^T \quad (4)$$

根据拌合场质量检查指标最终权重向量,分析一级指标赋权情况,如图2所示。可见,材料质量变异性作为质量管控的基础,获得了最大权重27%;



MS—材料存储、数量和比例

MV—材料变异性

CSF—冷料仓供料参数设置准确性和计量精度

AT—集料干燥、升温 and 除尘效果

HBS—热料仓及拌合参数设置准确性和计量精度

ME—拌合效果

HO—人为操控规范性

MPR—配合比实现程度

图2 一级指标赋权重分配结果

Fig.2 Weight distribution results of first-level indicators

3 沥青铺面拌合场质量状态灰色模型体系构建

3.1 评测指标数据系列的构建

拌合场质量状态评测结果(表1数据)和权重向量(4),构成质量状态评测数据序列。设第 j 个拌合场质量状态考核评测方案中对应的第 i 个评价指标为 $x_j(i)$, $x_j(k)$ 与对应的指标关联如下:

$$X_j = [x_j(1), x_j(2), x_j(3), \dots, x_j(k)] \quad (5)$$

其中: $x_j(i) = \frac{C_j(i)h_i}{100}$; $C_j(i)$ 为表1中第 j 个拌合场第 i 个指标检查评价初始结果, $j=1 \sim m$, m 为拌合场总数; h_i 为向量(4)中第 i 个指标的权重值,赋权后得到示例项目所属沥青铺面拌合场质量状态指标评测数据序列(略)。

3.2 灰色模型的指标评测方法

对于拌合场质量状态评测,从各评测结果中选择对应指标的最优值,构成拌合场质量状态的评测方案参照向量:

$$X_0 = [x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(k)] \quad (6)$$

对于上述拌合场质量状态指标向量与参照向量进行极小化归一化处理,见式(7),其中 $a_j(k)_{j=0, \dots, n}$ 代表各指标归一化处理所对应的数值。

$$a_j(k)_{j=0, \dots, n} = \frac{x_j(k)}{\max_{j=1, \dots, n} x_j(k)} \quad (7)$$

配合比实现程度,作为沥青混合料质量管理最终目标也获得了相当的权重24%;而作为过程控制的冷、热料仓控制,以及人为操控的权重在9%~15%之间,冷料仓的控制作为控制的基础环节得到较大的权重15%;而不易出现问题、管理难度小的技术环节权重也较低,如集料干燥、升温 and 除尘的权重为3%。

下一步,进行关联度分析,计算拌合场质量状态考核评测指标与参照指标间的近似关系,对应的计算公式如下,其中 $\xi[a_j(k), a_0(k)]$ 为描述指标间贴近关系的关联系数; ρ 代表分辨系数,取值 $0 < \rho < 1$ 。

$$\xi[a_j(k), a_0(k)] = \frac{\rho \max |a_j(k) - a_0(k)|}{|a_j(k) - a_0(k)| + \rho \max |a_j(k) - a_0(k)|} \quad (8)$$

计算各拌合场质量状态的各指标与参照指标间的近似关系,对各个拌合场的指标关联系数进行求和,并列举各拌合场质量管控关联系数为1的指标个数,进行评价。

4 基于灰色模型的沥青铺面拌合场质量状态评测分析

4.1 评测数据的归一化处理

采用上文的5座拌合场相关数据作为示例,按照构建的方法进行分析。从沥青铺面拌合场质量状态指标评测结果中选择参照向量:

$$X_0 = [1.3, 3.7, 0.5, 0.5, 2.8, 3.0, 1.8, 1.9, 2.1, 7.3, 2.9, 3.2, 6.9, 4.3, 3.1, 0.5, 0.2, 2.2, 4.2, 3.1, 3.8, 0.1, 0.8, 4.1, 4.9, 3.9, 0.3, 9.0, 6.7, 7.1]^T$$

对拌合场质量状态的指标向量与参照向量进行极小化归一化处理,参照向量 $a_0 = 1$,得到评判数据序列,处理结果列于表4。

表 4 拌合场质量状态评测结果极小化归一化处理结果
Tab.4 Evaluation results of quality state of mixing plant

评测指标		归一化结果				
一级评测指标	二级评测指标	A1	A2	A3	A4	A5
材料存储、数量和比例	材料存储规范性	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0
	粗、细集料比例	0.9	0.8	0.8	0.8	1.0
	矿料数量	0.9	0.4	0.5	0.5	0.6
	矿粉比例	0.9	0.5	0.5	0.4	0.5
材料变异性	粗集料级配变异性	1.0	0.7	0.8	0.9	1.0
	细集料级配变异性	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0
	粗细集料密度变异性	0.9	0.8	0.7	0.8	1.0
	细集料棱角性变异性	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0
	粗集料针片状指标变异性	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0
	矿粉 0.075 mm 通过率变异性	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0
	矿粉密度变异性	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0
	沥青针入度变异性	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0
冷料仓供料参数设置准确性和计量精度	冷料仓参数设置	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0
	沥青计量	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
	矿粉计量	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0
集料干燥、升温 and 除尘效果	升温效果	1.0	0.4	0.4	0.5	0.5
	干燥效果	—	—	—	—	—
	除尘效果	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
热料仓及拌合参数设置准确性和计量精度	筛孔设置合理性	0.9	0.7	0.9	0.9	1.0
	等料溢料状况	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0
	热矿料计量精度	0.9	0.9	0.7	0.9	1.0
	拌合工艺	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1
拌合效果	混合料拌合均匀性	1.0	0.6	0.8	0.7	0.8
	混合料出场温度	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
人为操控规范性	冷料仓控制系统操作规范性	1.0	0.7	0.9	0.8	1.0
	热料仓控制系统操作规范性	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0
	材料流转中人为干扰状况	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3
配合比实现程度	沥青用量	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0
	级配偏离状况	1.0	0.8	0.9	0.7	1.0
	混合料性能	1.0	0.7	0.8	0.8	1.0

4.2 评测数据的关联度分析

通过关联分析计算公式(8),计算拌合场质量状态考核评测指标与参照指标间的近似关系(取值为 $\rho=0.3$),图 3 绘制了权重 $\geq 4.5\%$ 的二级指标关联系数情况,涉及到的指标在图中所列。

参照关联系数在 0 ~ 1 之间,参照关联系数越大,说明该指标越接近最优值,参照关联系数 1 为最优值。计算各拌合场质量状态的指标参照关联系数总和与指标最优值个数如图 4 所示。

参照关联系数总和对拌合场质量状态进行综合排序为:A5、A1、A4、A3、A2,图 3 所列的各拌合场关键指标关联系数和存在显著差异,排序与关联系数综合一致,其数值在1.8 ~ 7.0之间,具有明显的区

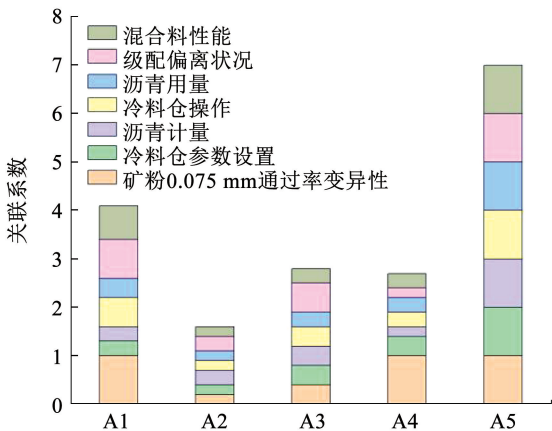


图 3 部分指标的关联系数情况($\rho=0.3$)
Fig.3 Correlation coefficients of some indicators ($\rho=0.3$)

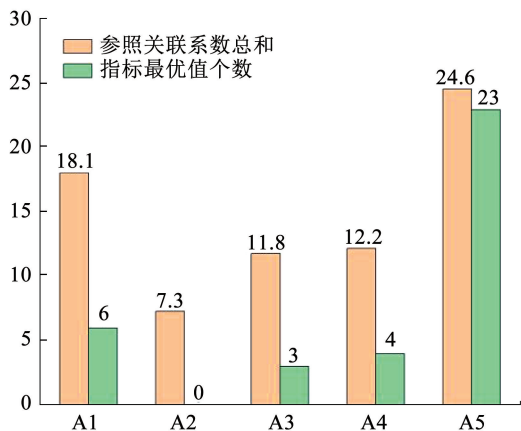


图 4 指标参照关联系数总和与最优值个数($\rho=0.3$)

Fig. 4 Sum of index reference correlation coefficients and number of optimal values ($\rho=0.3$)

分度。以 A1 和 A5 为例,采用高权值指标的关联系数与关联系数总和相比,两者 A1 分别为 A5 的 59.3% 和 73.6%。因此,从区分度、工作量效率角度考虑,可选择高权重简化指标体系构建灰度模型。

4.3 灰色模型分辨系数参数对质量状态评测结果的影响

在关联系数分析中,涉及分辨系数 ρ ,现分析其对测评结果的影响。取 $\rho=0.2\sim0.9$,分析各拌合场的评测结果,如图 5 所示。

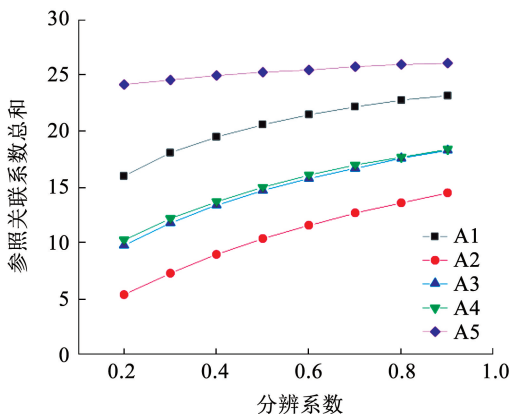


图 5 分辨系数与参照关联系数总和的关系

Fig. 5 Resolution coefficient and reference correlation coefficient and their relationship

可见,优劣顺序没有改变;而 $\rho=0.2$ 时的差异区分度最大。随着分辨系数的增大,参照关联系数总和增加,拌合场质量评测的优劣次序并未发生改变,优劣差异减小; $\rho=0.2$ 和 0.9 时,最优和最劣两个拌合场的参照关联系数总和的差值分别为 18.8 和 11.6。可见,分辨系数 ρ 的确可作为区分度控制的指标,特别适合涉及项目管控中奖惩和绩效分值测算的情形。

5 结 论

通过对沥青铺面项目拌合场质量状态评测的灰色特征的分析,建立测评指标体系,分析完善灰色模型分析的赋权等要素,构建特征数据序列。明确了灰色模型质量状态分析程序,结合示例,阐述了方法的构建和评价过程。具体得出如下结论:

- 1) 沥青铺面项目拌合场质量状态评测具备灰色系统特征,可采用灰色模型评测分析法。
- 2) 沥青铺面项目拌合场质量状态测评指标体系需要合理设计,避免关联项目重置、逻辑混乱;质量状态分析指标权重需要合理赋值,需针对具体工程项目特点确定。
- 3) 沥青铺面项目拌合场灰度模型分析系统涉及的分辨系数,显著影响评测的区分度,需要合理选定。

参考文献

[1]熊学堂,张肖宁,虞将苗,等. 沥青路面施工质量的均匀性评价方法[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(33): 16
XIONG Xuetang, ZHANG Xiaoning, YU Jiangmiao. The uniformity evaluation method on construction quality of asphalt pavement [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(33): 16

[2]李立寒,赵鸿铎,曹林涛. 沥青面层施工质量变异性的分布特征[J]. 公路交通科技, 2006(2): 27
LI Lihan, ZHAO Hongze, CAO Lintao. Distribution characteristics of quality variability during construction of asphalt pavement [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006(2): 27

[3]董刚,刘义彬,郑南翔. 沥青路面施工过程质量信息实时监控研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(11): 27
DONG Gang, LIU Yibin, ZHENG Nanxiang. Study on real-time monitoring system of asphalt pavement construction process quality information [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32(11): 27

[4]张季男. 基于动态过程控制的沥青混合料质量管理系统的构建[J]. 公路, 2021, 66(7): 277
ZHANG Jinan. Construction of asphalt mixture quality management system based on dynamic process control [J]. Highway, 2021, 66(7): 277

[5]肖玉荣,李闯民. 热拌沥青混合料质量监控自动化技术[J]. 公路, 2012(10): 11
XIAO Yurong, LI Chuangmin. Automatic quality control technology of hot mix asphalt mixture [J]. Highway, 2012(10): 11

[6]宋中民,邓聚龙. 反向累加生成及灰色 GOM(1,1)模型[J]. 系统工程, 2001, 19(1): 66
SONG Zhongmin, DENG Julong. The accumulated generating operation in opposite direction and its use in grey model GOM(1,1) [J]. Systems Engineering, 2001, 19(1): 66

[7]刘思峰,邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围[J]. 系统工程理论与实践, 2000(5): 121
LIU Sifeng, DENG Julong. The range suitable for GM(1,1) [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2000(5): 121