

# 基于熵值-突变级数的铁路冷链运输模式评价模型

刘守臣<sup>1,2</sup>

1. 福建商学院 工商管理学院, 福建 福州 350016; 2. 华东交通大学 交通运输与物流学院, 江西 南昌 330013

**摘要:**为降低铁路冷链运输模式评价过程中决策分析的主观性,解决运输服务体系不易评价的问题,分析我国铁路冷链运输的影响因素,构建铁路冷链运输模式评价指标体系;采用熵值法计算铁路冷链运输模式评价指标的权重,进行重要性排序,根据评价指标的突变类型,建立熵值-突变级数铁路冷链运输模式评价模型。以我国铁路冷链运输的3种模式为例进行评价分析,结果表明:铁路冷藏集装箱特需专列得分最高,铁路冷藏快运专列得分最低,评价结果符合实际。熵值-突变级数铁路冷链运输模式评价模型可以克服主观赋权的局限,计算简单,具有较高的应用价值。

**关键词:**熵值法;突变级数法;铁路运输;评价指标;冷链运输

**中图分类号:**U295

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2022)04-0039-08

**引用格式:**刘守臣. 基于熵值-突变级数的铁路冷链运输模式评价模型[J]. 山东交通学院学报, 2022, 30(4): 39-46.

LIU Shouchen. The evaluation model of railway cold chain transport mode based on entropy-catastrophe progression method[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(4): 39-46.

## 0 引言

铁路作为交通运输的大动脉和交通强国的重要标志,在安全、成本、规模和碳排放等方面优势明显,然而由于铁路运营特点、管理体制和经营模式等方面的影响,近年来我国铁路冷链运输的市场份额不断减少。2019年铁路冷链货运总量为232万t,仅占冷链货运总量的1%,而公路冷链货运总量达20880万t,占冷链货运总量的89.7%<sup>[1]</sup>。随着我国“公转铁”改革的深化实施,未来铁路冷链运输市场份额将逐渐壮大,应加快优化铁路冷链运输体系,构建铁路冷链运输模式,快速提升铁路冷链运输市场规模。

国内外学者对铁路运输问题进行了研究。在运输效率方面,高莹等<sup>[2]</sup>采用网络数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法对我国铁路运输效率进行综合评价;Oum等<sup>[3]</sup>研究了政府干预和补贴政策对经济合作与发展组织国家的铁路经济效率的影响;宋京妮等<sup>[4]</sup>采用SBM-undesirable模型评价综合运输效率;张平升等<sup>[5]</sup>采用模糊投影寻踪评价模型评价零散货物快运专列的开行效果,通过实例分析验证了模型及算法的有效性;闫志刚等<sup>[6]</sup>构建定量评价模型,综合评价铁路交通的可持续发展能力。在运输安全及可靠性方面,王丹竹等<sup>[7]</sup>构建了Petri网模型,综合评价铁路快捷货运的可靠性;张捷如<sup>[8]</sup>采用层次分析法-灰色关联模型评价铁路货物运输的安全性;姜岩<sup>[9]</sup>构建了铁路零担货运服务质量与客户满意度间的结构方程模型。在铁路冷链运输方面,张诚等<sup>[10]</sup>分析了新时代铁路货运加速向现代物流转型的动力,提出了加速铁路信息化建设、提升铁路物流的软实力等举措,对铁路冷链物流的发展具有重要的参考价值;Govindan等<sup>[11]</sup>针对铁路冷链物流运输构建了优化模型;倪洪强<sup>[12]</sup>针对铁路货运现状提出铁路货运灵活定价策略和多样性铁路货运运输服务;刘启钢等<sup>[13]</sup>通过分析北美铁路冷链运

收稿日期:2021-09-23

基金项目:国家自然科学基金项目(71662011);福建教育厅中青年教师教育科研项目(JAS20228)

作者简介:刘守臣(1983—),男,山东聊城人,博士研究生,主要研究方向为交通运输工程、铁路货运, E-mail: 20426164@qq.com。

输发展模式对我国铁路冷链运输的启示,提出我国铁路冷链运输发展的对策;Crevier等<sup>[14]</sup>根据铁路运输运营管理的特点,提出了铁路货物运营规划与收益管理相结合的新模式;张小强等<sup>[15]</sup>针对铁路集装箱开运班列建立了以收益最大为目标函数的混合整数优化模型,通过算例验证了模型和算法的有效性;张诚等<sup>[16]</sup>通过分析我国各省的铁路冷链物流综合竞争力,采用改进引力模型确定枢纽省份的辐射范围及隶属关系,构建轴辐式铁路冷链物流网络空间布局模型;郑平标等<sup>[17]</sup>提出通过不断完善特种货物班列加强铁路冷链运输的策略;李琳等<sup>[18]</sup>提出实现“公转铁”模式转移需要解决的主要问题,并提出问题的解决对策。

国内外学者对铁路运输的研究大多聚焦于铁路冷链运营的发展对策和建议、铁路货运班列开行方案评价和定价策略等方面,运用定量方法评价铁路冷链运输模式的文献较少且评价方法单一。

本文通过分析我国铁路冷链运输的3种模式:铁路冷藏快运专列、铁路冷藏集装箱特需专列和铁路冷藏集装箱摘挂混合列车,构建铁路冷链运输模式评价指标体系,采用熵值法对突变级数评价模型中指标的重要性进行排序,建立熵值-突变级数铁路冷链运输模式评价模型,实现对铁路冷链运输模式客观、准确的评价。

## 1 铁路冷链运输模式及评价指标体系

### 1.1 铁路冷链运输模式

根据我国铁路冷链运输强度,以双碳目标为引领,以创新发展理念为指导,充分发挥铁路网络优势和资源优势,打造低碳、高效的铁路冷链运输服务体系。基于我国铁路冷链发展现状,综合考虑铁路冷链运输成本、运输效益、运输时间和冷链基础设施等相关因素,形成了3种主要的铁路冷链运输模式<sup>[19]</sup>。

1) 铁路冷藏快运专列。根据国铁集团开行的货物列车,采取定线、定价、定站、定时和定车次等“5定”运输模式,是铁路冷链运输的骨干通道,主要承接大批量、固定批次的铁路冷链运输任务。

2) 铁路冷藏集装箱特需专列。主要承接大批量、强时效的铁路冷链运输需求,在保证冷藏货物优先装卸,保障冷藏商品的时效性及控制铁路冷链运输成本的前提下,以铁路冷链物流基地为轴向运输主要区域并向区域外辐射。

3) 铁路冷藏集装箱摘挂混合列车。主要承接多批次、小批量和时限要求不高的运输需求,在控制铁路冷链运输成本的前提下,采用冷藏集装箱摘挂混合列车,以普通货物的车辆为基本车组,普通货物列车中编挂载有冷藏集装箱的列车。

### 1.2 评价指标体系

通过分析铁路冷链运输模式,基于现有研究成果、现场调研和咨询相关领域的专家,构建铁路冷链运输模式评价指标体系,如图1所示,包括铁路冷链运输运营 $A_1$ 、技术 $A_2$ 、财务 $A_3$ 、市场 $A_4$ 和方便性 $A_5$ 5个2级指标及17个3级指标。

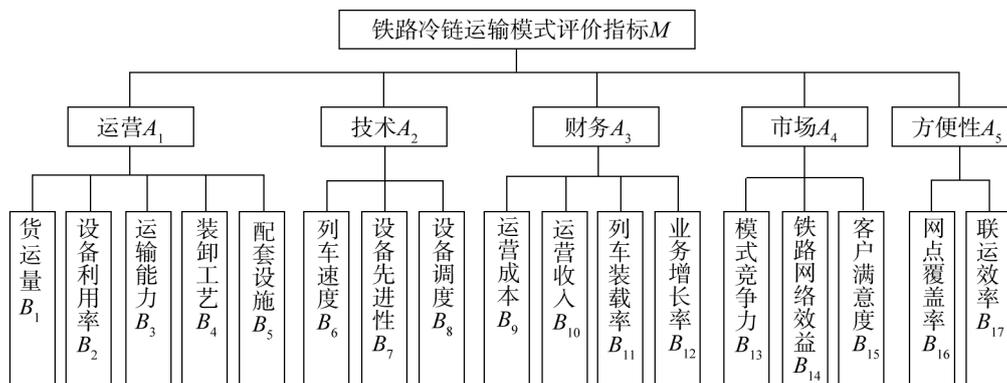


图1 铁路冷链运输模式评价指标体系

## 2 构建熵值-突变级数模型

采用熵值法和突变级数法对铁路冷链运输模式进行评价,先用熵值法计算各评价指标的权重,再用突变级数法评价,构建基于熵值-突变级数的铁路冷链运输模式评价模型。

### 2.1 突变级数法

#### 2.1.1 突变模型

突变级数法的核心思想是把评价目标分解为几个子目标,基于模糊数学和突变理论构建突变模糊隶属函数,采用归一化公式求解隶属函数,并通过递阶运算得到评价目标的突变级数,突变级数越大,说明评价方案越优<sup>[20]</sup>。

常用突变模型有折迭突变、尖点突变、燕尾突变、蝴蝶突变和棚屋突变等。假设某突变类型的势函数为  $f(x)$ ,求解  $f(x)$  的一阶导数  $f'(x)=0$  得到平衡曲面,求解  $f(x)$  的二阶导数  $f''(x)=0$  得到平衡曲面的奇点集方程。联立  $f'(x)=0$  和  $f''(x)=0$  得到分歧点集方程,当控制变量符合分歧点集方程时系统发生突变<sup>[21]</sup>。

#### 2.1.2 分歧点集方程

以尖点突变模型为例求解其分歧点集方程<sup>[9]</sup>,尖点突变模型的势函数为:

$$f(x) = x^4 + Cx^2 + Dx,$$

式中:  $x$  为状态变量,  $C$ 、 $D$  为  $x$  的控制变量。

令  $f'(x)=0, f''(x)=0$  得:

$$\begin{cases} 4x^3 + 2Cx + D = 0 \\ 12x^2 + 2C = 0 \end{cases} \quad (1)$$

求解(1)得到尖点突变模型分解形式的分歧点集方程为:

$$C = -6x^2, D = 8x^3.$$

根据突变模型的分歧点集方程,求解突变模型的归一化公式。常见突变模型的势函数、分歧点集方程及归一化公式如表1所示。

表1 常用突变模型的势函数、分歧点集方程及归一化公式

突变类型	控制维数	势函数	分歧点集方程	归一化公式
折迭突变	1	$f(x) = x^3 + Cx$	$C = -3x^2$	$x_C = \sqrt{C}$
尖点突变	2	$f(x) = x^4 + Cx^2 + Dx$	$C = -6x^2, D = 8x^3$	$x_C = \sqrt{C}, x_D = \sqrt[3]{D}$
燕尾突变	3	$f(x) = x^5 + Cx^3 + Dx^2 + Ex$	$C = -6x^2, D = 8x^3, E = -3x^4$	$x_C = \sqrt{C}, x_D = \sqrt[3]{D}, x_E = \sqrt[4]{E}$
蝴蝶突变	4	$f(x) = x^6 + Cx^5 + Dx^3 + Ex^2 + Fx$	$C = -10x^2, D = 20x^3, E = -15x^4, F = 4x^5$	$x_C = \sqrt{C}, x_D = \sqrt[3]{D}, x_E = \sqrt[4]{E}, x_F = \sqrt[5]{F}$
棚屋突变	5	$f(x) = x^7 + Cx^6 + Dx^5 + Ex^3 + Fx^2 + Gx$	$C = -x^2, D = 2x^3, E = -2x^4, F = 4x^5, G = -5x^6$	$x_C = \sqrt{C}, x_D = \sqrt[3]{D}, x_E = \sqrt[4]{E}, x_F = \sqrt[5]{F}, x_G = \sqrt[6]{G}$

注:  $x_C, x_D, x_E, x_F, x_G$  分别为对应控制变量  $C, D, E, F, G$  的  $x$  值。

#### 2.1.3 评价指标的无量纲化处理

评价指标分定性指标和定量指标2类,采用德尔菲法、头脑风暴法和问卷调查等方法对定性指标进行赋值,把定性指标量化;定量指标差异大且标准不统一,采用极差变换法无量纲化处理定量指标。根据指标的性质可分为正向指标和逆向指标,正向指标数值越大越好,逆向指标的数值越小越好。评价指标的极差变换公式为:

$$\begin{cases} \delta_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \\ \delta_{ij}^- = \frac{x_{jmax} - x_{ij}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \end{cases}, \quad (2)$$

式中:  $\delta_{ij}^+$  为正向指标无量纲化后的值,  $\delta_{ij}^-$  为逆向指标无量纲化后的值,  $x_{ij}$  为第  $i$  个评价方案第  $j$  个评价指标的原始数据,  $x_{j\max}$ 、 $x_{j\min}$  分别为第  $j$  个评价指标的最大值和最小值。

#### 2.1.4 突变决策的选择原则

根据控制变量对状态变量的影响不同,突变决策遵循互补和非互补 2 个原则。互补原则为控制变量对状态变量的作用为相互补充,此时上层状态变量的突变级数等于下层控制变量突变级数的平均值,即:

$$x = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n,$$

式中:  $n$  为下层控制变量数,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  分别为下层控制变量的突变级数。

非互补原则为控制变量对状态变量不起作用,此时上层状态变量的突变级数等于下层控制变量突变级数的最小值,即:

$$x = \min \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}。$$

## 2.2 熵值法

目前大多学者采用德尔菲法或问卷调查法对控制变量的重要性进行排序,但排序结果往往带有较强的主观性。熵值法用来判断评价指标的相对离散程度,熵值越小说明某个指标信息多且不确定性越小,熵值越大说明某个指标信息少且不确定性越大。采用熵值法计算评价指标的权重并进行排序,可保证铁路冷链运输模式评价模型的客观性和合理性。

### 1) 计算 $x_{ij}$ 的比重

$$\gamma_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m, j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3)$$

式中  $m$  为评价方案总数。

### 2) 计算第 $j$ 个指标的熵值

$$\rho_j = -k \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \ln \gamma_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m, j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (4)$$

式中:  $k$  为熵值系数,一般令  $k = 1 / \ln m$ 。

### 3) 计算第 $j$ 个指标的差异性系数

$$\mu_j = 1 - \rho_j。 \quad (5)$$

### 4) 计算第 $j$ 个指标的权重

$$w_j = \mu_j / \sum_{j=1}^n \mu_j。 \quad (6)$$

5) 根据式(3)~(6)确定评价指标体系最下层指标的权重,将下层指标权重相加得到对应的上层指标权重。

6) 根据权重对铁路冷链运输模式评价指标的重要性进行排序。

## 3 算例分析

### 3.1 数据来源

为检验熵值-突变级数的铁路冷链运输模式评价模型的有效性与适用性,综合考虑数据的非保密性和权威性,从文献[22-24]中选取了我国铁路冷链运输 3 种模式定量指标的原始数据;定性指标的原始数据来自高校铁路冷链运输领域的 15 位专家根据评价标准对评价指标进行打分。

### 3.2 确定指标权重

铁路冷链运输模式评价指标体系 17 个 3 级指标中 9 个为定性指标,8 个为定量指标,根据式(3)~(6)求解各 3 级指标的  $\rho_j$ 、 $\mu_j$  及  $w_j$ ,结果如表 2 所示。将表 2 中 3 级指标的  $w_j$  相加得到铁路冷链运输模式评价指标体系 2 级指标  $A_1 \sim A_5$  的权重分别为:0.304 4、0.169 6、0.177 5、0.151 8、0.196 7。

表2 熵值法计算结果

指标	$\rho_j$	$\mu_j$	$w_j$	指标	$\rho_j$	$\mu_j$	$w_j$	指标	$\rho_j$	$\mu_j$	$w_j$
$B_1$	0.629 1	0.370 9	0.086 7	$B_7$	0.812 2	0.187 8	0.043 9	$B_{13}$	0.708 9	0.291 1	0.068 1
$B_2$	0.712 9	0.287 1	0.067 1	$B_8$	0.880 9	0.119 1	0.027 8	$B_{14}$	0.754 9	0.245 1	0.057 3
$B_3$	0.703 7	0.296 3	0.069 3	$B_9$	0.829 6	0.170 4	0.039 8	$B_{15}$	0.887 1	0.112 9	0.026 4
$B_4$	0.850 7	0.149 3	0.034 9	$B_{10}$	0.830 5	0.169 5	0.039 6	$B_{16}$	0.631 2	0.368 8	0.086 2
$B_5$	0.802 1	0.198 0	0.046 3	$B_{11}$	0.779 0	0.221 0	0.051 7	$B_{17}$	0.527 7	0.472 3	0.110 4
$B_6$	0.581 4	0.418 6	0.097 9	$B_{12}$	0.801 6	0.198 4	0.046 4				

3.3 突变级数法评价

3.3.1 确定突变类型

根据突变系统确定各个评价指标的突变类型,铁路冷链运输模式各评价指标的突变类型分别为:1) $B_1 \sim B_5$ 与 $A_1$ 为棚屋突变,且 $B_1 \sim B_5$ 呈互补原则;2) $B_6 \sim B_8$ 与 $A_2$ 为燕尾突变,且 $B_6 \sim B_8$ 呈非互补原则;3) $B_9 \sim B_{12}$ 与 $A_3$ 为蝴蝶突变,且 $B_9 \sim B_{12}$ 呈互补原则;4) $B_{13} \sim B_{15}$ 与 $A_4$ 为燕尾突变,且 $B_{13} \sim B_{15}$ 呈非互补原则;5) $B_{16}$ 、 $B_{17}$ 与 $A_5$ 为尖点突变,且 $B_{16}$ 和 $B_{17}$ 呈非互补原则;6) $A_1 \sim A_5$ 与 $M$ 为棚屋突变,且 $A_1 \sim A_5$ 呈互补原则。

3.3.2 数据无量纲化处理

根据评价目标的要求,依据评价标准对铁路冷链运输模式进行打分,指标评定标准和取值如表3所示。

将专家对各项评价指标的评分取平均值,通过式(2)对指标进行无量纲化处理,结果如表4所示,表4中(+)表示下层指标呈互补原则,(-)表示下层指标呈非互补原则。

表3 指标评价标准及取值

评价等级	优	良	中	一般	差
评价分值	9	7	5	3	1
评价标准	[9,10]	[7,9)	[5,7)	[3,5)	[0,3)

表4 评价指标评分及无量纲化值

2级指标	3级指标	指标评分			无量纲化值 $\delta_j$		
		快运专列	集装箱特需专列	集装箱摘挂混合列车	快运专列	集装箱特需专列	集装箱摘挂混合列车
$A_1(+)$	$B_1$	8.07	6.67	5.33	0.533	0.833	0.167
	$B_2$	6.20	6.93	7.33	0.600	0.967	0.167
	$B_3$	6.47	6.60	7.67	0.733	0.800	1.333
	$B_4$	5.07	6.07	6.53	0.033	0.533	0.767
	$B_5$	4.60	7.13	5.93	0.800	0.067	0.467
$A_2(-)$	$B_6$	8.67	6.67	6.00	0.833	0.833	0.500
	$B_7$	5.40	6.00	5.87	0.200	0.500	0.433
	$B_8$	5.80	5.00	8.00	0.400	0	0.500
$A_3(+)$	$B_9$	6.13	5.87	4.67	0.567	0.433	0.833
	$B_{10}$	6.60	5.67	4.67	0.800	0.333	0.833
	$B_{11}$	7.67	6.67	8.00	0.333	0.833	0.500
	$B_{12}$	5.73	6.00	4.00	0.367	0.500	0.500
$A_4(-)$	$B_{13}$	6.00	6.67	7.33	0.500	0.833	0.167
	$B_{14}$	6.67	7.67	8.67	0.833	0.333	0.833
	$B_{15}$	7.00	6.00	5.33	0	0.500	0.167
$A_5(-)$	$B_{16}$	5.33	6.13	7.67	0.167	0.567	0.333
	$B_{17}$	5.27	6.33	6.67	0.133	0.667	0

### 3.3.3 计算突变级数

$A_1$  包括  $B_1 \sim B_5$  5个3级指标,根据表2中  $w_1 \sim w_5$  可知按重要性由大到小依次为  $B_1, B_3, B_2, B_5, B_4$ ,为互补型棚屋突变,铁路冷藏快运专列  $A_1$  的突变级数  $x_{A_1} = (\sqrt{\delta_{11}} + \sqrt[3]{\delta_{13}} + \sqrt[4]{\delta_{12}} + \sqrt[5]{\delta_{15}} + \sqrt[6]{\delta_{14}}) / 5 = 0.8069$ 。

$A_2$  包括  $B_6 \sim B_8$  3个3级指标,根据表2中  $w_6 \sim w_8$  可知按重要性由大到小依次为  $B_6, B_7, B_8$ ,为非互补型燕尾突变,铁路冷藏快运专列  $A_2$  的突变级数  $x_{A_2} = \min(\sqrt{\delta_{16}}, \sqrt[3]{\delta_{17}}, \sqrt[4]{\delta_{18}}) = 0.5848$ 。

$A_3$  包括  $B_9 \sim B_{12}$  4个3级指标,根据表2中  $w_9 \sim w_{12}$  可知按重要性由大到小依次为  $B_{10}, B_9, B_{12}, B_{11}$ ,为互补型蝴蝶突变,铁路冷藏快运专列  $A_3$  的突变级数  $x_{A_3} = (\sqrt{\delta_{110}} + \sqrt[3]{\delta_{19}} + \sqrt[4]{\delta_{112}} + \sqrt[5]{\delta_{111}}) / 4 = 0.8258$ 。

$A_4$  包括  $B_{13} \sim B_{15}$  3个3级指标,根据表2中  $w_{13} \sim w_{15}$  可知按重要性由大到小依次为  $B_{13}, B_{14}, B_{15}$ ,为非互补型燕尾突变,铁路冷藏快运专列  $A_4$  的突变级数  $x_{A_4} = \min(\sqrt{\delta_{113}}, \sqrt[3]{\delta_{114}}, \sqrt[4]{\delta_{115}}) = 0$ 。

$A_5$  包括  $B_{16}, B_{17}$  2个3级指标,根据表2中  $w_{16}, w_{17}$  可知按重要性由大到小依次为  $B_{17}, B_{16}$ ,为非互补型燕尾突变,铁路冷藏快运专列  $A_5$  的突变级数  $x_{A_5} = \min(\sqrt{\delta_{117}}, \sqrt[3]{\delta_{116}}) = 0.3647$ 。

$M$  包括  $A_1 \sim A_5$  5个2级指标,为互补型棚屋突变系统,指标重要性由大到小依次为  $A_1, A_5, A_3, A_2, A_4$ ,则铁路冷藏快运专列的突变级数  $x_M^1 = (\sqrt{x_{A_1}} + \sqrt[3]{x_{A_5}} + \sqrt[4]{x_{A_3}} + \sqrt[5]{x_{A_2}} + \sqrt[6]{x_{A_4}}) / 5 = 0.6929$ 。

同理,可求出铁路冷藏集装箱特需专列和铁路冷藏集装箱摘挂混合列车的突变级数  $x_M^2, x_M^3$  分别为 0.7492、0.7262。

### 3.4 模型性能分析

为验证熵值-突变级数评价模型的有效性,同时采用传统突变级数评价模型,对算例数据进行求解,2种模型的突变级数如表5所示。由表5可知:2种评价模型中铁路冷藏集装箱特需专列的突变级数最大,铁路冷藏快运专列的突变级数最小,2种评价模型对铁路冷链运输模式的评价结果一致。

表5 2种模型的突变级数

评价模型	冷藏快运专列	冷藏集装箱特需专列	冷藏集装箱摘挂混合列车
熵值-突变级数评价模型	0.6929	0.7492	0.7262
传统突变级数评价模型	0.7139	0.7275	0.7203

### 3.5 结论分析

铁路冷藏快运专列的突变级数为 0.6929,根据表3,对应的等级为“中”。铁路冷藏快运专列按公布开行方案的货物列车,运输灵活性较差,主要服务于冷链市场需求旺盛或冷链生产加工地区。此模式对铁路场站设施要求较高,开通条件为收发货量达到 100 万 t 以上、铁路冷链中心占地达 3 万  $m^2$  以上和冷库容量规模达 20 万 t 以上,这些条件严重制约了铁路冷藏快运专列的发展。

铁路冷藏集装箱特需专列的突变级数为 0.7492,根据表3,对应的等级为“良”。铁路冷藏集装箱特需专列承担地区性冷链货物集散与运输任务,主要服务于冷链需求旺盛的地级市和大型冷链生产加工企业,该模式的服务范围大,柔性强,市场竞争力有待提高。

铁路冷藏集装箱摘挂混合列车的突变级数为 0.7262,根据表3,对应的等级为“良”。铁路冷藏集装箱摘挂混合列车作为铁路运输专业化发展方向,此模式可以发挥我国发达的铁路运输网络的优势,铁路提供干线冷链运输服务,整合汽车运输资源,使汽车运输成为铁路冷链运输“最后 1 km”的衔接运输。

## 4 结语

根据我国铁路冷链运输特点,构建了铁路冷链运输模式评价指标体系,运用熵值法计算了评价指标的权重,进行重要性排序,建立铁路冷链运输模式的熵值-突变级数评价模型,对我国铁路冷链运输的3种模式进行了评价分析。熵值-突变级数的铁路冷链运输模式评价模型简单便捷,计算结果科学合理,评

价结果可为政府及铁路冷链物流企业制定正确战略规划和合理配置铁路冷链运输资源提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] 中商产业研究院. 2021年“十四五”中国冷链物流行业市场前景及投资研究报告[EB/OL]. (2021-08-04)[2021-09-23].  
<https://wk.askci.com/details/fac04f78549749f7adc4435f3685182d/>.
- [2] 高莹,李卫东,尤笑宇. 基于网络DEA的我国铁路运输企业效率评价研究[J]. 中国软科学, 2011(5):176-182.  
GAO Ying, LI Weidong, YOU Xiaoyu. Research on the efficiency of China's railway transport enterprises with network DEA [J]. China Soft Science Magazine, 2011(5):176-182.
- [3] OUM T H, YU C Y. Economic efficiency of railways and implications for public policy: a comparative study of the OECD countries' railways[J]. Journal of Transport Economics and Policy, 1994, 28(2):121-138.
- [4] 宋京妮,吴群琪,孙启鹏,等. 基于SBM-undesirable模型的综合运输效率评价[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(5):32-38.  
SONG Jingni, WU Qunqi, SUN Qipeng, et al. SBM-undesirable model-based efficiency evaluation for integrated transportation [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(5):32-38.
- [5] 张平升,李夏苗,苟敏. 铁路零散货物快运列车开行效果评价方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(7):1856-1862.  
ZHANG Pingsheng, LI Xiamiao, GOU Min. Evaluation method of operation effects of railway fragmented cargo express train [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2018, 15(7):1856-1862.
- [6] 闫志刚,王雪丽,秦伟,等. 铁路交通行业可持续发展能力评价及演化规律研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(12):3028-3035.  
YAN Zhigang, WANG Xueli, QIN Wei, et al. Evaluation and evolution law of sustainable railway transport development[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2020, 17(12):3028-3035.
- [7] 王丹竹,郎茂祥,孙岩. 基于Petri网模型的铁路快捷货运产品可靠性评价[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(4):147-153.  
WANG Danzhu, LANG Maoxiang, SUN Yan. Railway express freight product reliability evaluation based on Petri net model [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(4):147-153.
- [8] 张捷如. 基于AHP-灰色关联分析的铁路阔大货物运输安全性评价[J]. 山东交通学院学报, 2018, 26(1):42-50.  
ZHANG Jieru. Safety evaluation of railway exceptional dimension freight transportation based on AHP-grey correlation analysis [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2018, 26(1):42-50.
- [9] 姜岩. 铁路零担货运服务质量与客户满意度关系实证:基于客户感知视角[J]. 中国流通经济, 2021, 35(1):11-23.  
JIANG Yan. Empirical research on the relationship between service quality of rail less-than-carload freight transportation and customer satisfaction: from the perspective of customer perception[J]. China Business and Market, 2021, 35(1):11-23.
- [10] 张诚,于兆宇,刘美玲. 新时代铁路货运加速向现代物流转型的动力和举措[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2019, 18(1):10-18.  
ZHANG Cheng, YU Zhaoyu, LIU Meiling. Motivation and measures for accelerating railway freight's transformation toward modern logistics in the new era[J]. Journal of Beijing Jiaotong University(Social Science Edition), 2019, 18(1):10-18.
- [11] GOVINDAN K, JAFARIAN A, KHODAVERDI R, et al. Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 152:9-28.
- [12] 倪洪强. 上海地区铁路冷链物流发展对策研究[J]. 铁道货运, 2020, 38(2):40-44.  
NI Hongqiang. A study on the development strategies of cold-chain logistics in the Shanghai region[J]. Railway Freight Transport, 2020, 38(2):40-44.
- [13] 刘启钢,纪若婷,李进. 北美铁路冷链物流发展模式及启示[J]. 铁道货运, 2017, 35(12):55-59.  
LIU Qigang, JI Ruoting, LI Jin. Inspirations and the development mode of North American railway cold-chain logistics[J]. Railway Freight Transport, 2017, 35(12):55-59.
- [14] CREVIER B, CORDEAU J F, SAVARD G. Integrated operations planning and revenue management for rail freight transportation[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2012, 46(1):100-119.
- [15] 张小强,李保轶,吴桐,等. 铁路集装箱班列开行方案与定价综合优化研究[J]. 铁道学报, 2018, 40(11):1-8.

- ZHANG Xiaoqiang, LI Baoyi, WU Tong, et al. Research on comprehensive optimization of railway container train scheduling and pricing[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(11):1-8.
- [16] 张诚, 刘守臣. 多枢纽混合轴辐式铁路冷链物流网络布局优化研究[J]. 铁道学报, 2021, 43(7):1-9.  
ZHANG Cheng, LIU Shouchen. Research on layout optimization of multi-hub hybrid hub and spoke railway cold chain logistics network[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(7):1-9.
- [17] 郑平标, 陈诚, 程文毅, 等. 铁路货物班列规模化发展对策研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(5):77-83.  
ZHENG Pingbiao, CHEN Cheng, CHENG Wenyi, et al. Research on the countermeasures for large-scale development of railway freight block train[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(5):77-83.
- [18] 李琳, 张小强. 基于运输模式转移的货运碳减排研究综述[J]. 北京交通大学学报, 2021, 45(1):85-97.  
LI Lin, ZHANG Xiaoqiang. Review of research on freight carbon emission reduction based on modal shift[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2021, 45(1):85-97.
- [19] 秦玉鸣. 中国冷链物流发展报告[R]. 北京: 中国物流与采购联合会冷链委, 2017.
- [20] 王明慧, 张桥, 凌飞翔, 等. 基于突变级数法的绿色铁路客站施工评价模型[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(1):263-268.  
WANG Minghui, ZHANG Qiao, LING Feixiang, et al. Evaluation model of railway station construction based on catastrophe progression method[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2018, 15(1):263-268.
- [21] 张可明, 邱斌, 穆东. 基于改进突变级数法的农产品物流产业评价模型研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2016, 15(3):114-119.  
ZHANG Keming, QIU Bin, MU Dong. Toward an assessment model of agricultural logistics industry based on the improved catastrophe progression method[J]. Journal of Beijing Jiaotong University(Social Science Edition), 2016, 15(3):114-119.
- [22] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [23] 前瞻产业研究院. 2021—2026年中国农产品冷链物流行业市场前瞻与投资战略规划分析报告[R]. 深圳: 前瞻产业研究院, 2020.
- [24] 前瞻产业研究院. 2021—2026年中国物流行业市场前瞻与投资战略规划分析报告[R]. 深圳: 前瞻产业研究院, 2020.

## The evaluation model of railway cold chain transport mode based on entropy-catastrophe progression method

LIU Shouchen<sup>1,2</sup>

1. School of Business Administration, Fujian Business University, Fuzhou 350016, China;

2. School of Transportation and Logistics, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China

**Abstract:** In order to reduce the subjectivity of decision-making analysis in the evaluation process of railway cold chain transport mode and evaluate the transport service system easily, the key elements affecting railway cold chain transport are analyzed and the evaluation index system of railway cold chain transport mode is constructed. The weight of evaluation index of railway cold chain transportation mode is calculated by entropy method and the importance is ranked. According to the mutation type of the rating index, the evaluation model of railway cold chain transportation mode by entropy-mutation progression method is established. Taking three railway cold chain approaches in China as examples, the results show that the railway refrigerated container special train has the highest score, and the railway refrigerated express special train has the lowest score. The evaluation results are in line with the reality. The entropy-catastrophe progression method surpasses the limitation of subjective weight assignment, the calculation is simple and has high practical value.

**Keywords:** entropy method; mutation progression method; railway transportation; evaluation index; cold chain transportation

(责任编辑: 郭守真)