

# 生态脆弱区铁路绿色施工评价研究

张泽星

西南交通大学, 中国·四川 成都 611756

**摘要:** 由于中国铁路建设正在高速发展, 论文针对中国生态脆弱区铁路施工, 制定了相关铁路施工效果评价研究, 基于熵权-G1 组合赋权法和云模型为研究方法, 以西南某铁路为案例做评价回溯验证, 从而证明论文方法的可行性。

**关键词:** 绿色施工; 铁路施工; 生态脆弱区; 环境评价

## Research on Green Construction Evaluation of Railway in Ecological Fragile Areas

Zexing Zhang

Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, 611756, China

**Abstract:** Due to the rapid development of railway construction in China, this paper has developed a study on the evaluation of railway construction effects in ecologically fragile areas of China. Based on the entropy weight G1 combination weighting method and cloud model as research methods, a railway in Southwest China is used as a case study for evaluation and backtracking verification, thereby proving the feasibility of the paper's method.

**Keywords:** green construction; railway construction; ecological fragile areas; environmental assessment

### 1 引言

铁路建设相较于一般建筑工程具有周期长、专业性强、跨度大等特点, 并且在建设过程对周围生态环境影响巨大, 尤其在荒漠化、水土流失、石漠化等严重的生态脆弱区的铁路建设, 环境问题更不容小视。绿色施工是指工程建设中, 在保证质量、安全等基本要求的条件下, 通过科学管理和技术进步, 最大限度地节约资源与减少对环境负面影响的施工活动, 是中国可持续发展思想的应用体现, 针对铁路绿色施工研究已有王明慧<sup>[1]</sup>等人采用突变级数法进行绿色高速铁路施工评价研究。鲍学英<sup>[2]</sup>等人运用灰色聚类法进行了西北寒旱地区铁路绿色施工等级评价研究。李雨浓<sup>[3]</sup>等人采用 G1 法-改进 DEA 模型进行了绿色施工节材措施综合评价研究。

可以看出, 针对性的研究生态脆弱区项目绿色施工评价较少, 而中国中度以上生态脆弱区面积约占陆地总面积的 55%<sup>[4]</sup>, 而现有的《建筑工程绿色施工规范》<sup>[5]</sup>不能全面反映出铁路施工特点, 因此找到一条适用于生态脆弱区铁路绿色施工评价的方法具有重要意义。除此之外, 大多研究所用的传统的评价方法往往将随机性和模糊性分开考虑, 缺乏对两者的综合考虑。因此, 生态脆弱区铁路绿色施工等级评价既需要将模糊性与随机性结合也需要主观客观相结合。云模型是一种专门研究复合不确定性的现代数学理论, 可较好地描述变量的随机性、模糊性与关联性, 具有优秀的处理不确定性问题的能力。故论文针对西北生态脆弱地区铁路进行分析, 将水土流失防治方面单独作为一项重要评价指标, 体现出与非生态脆弱区铁路绿色施工评价的不同, 论文采用

Delphi 法确定铁路绿色施工评价指标的权重, 具有充分性和可靠性, 再引入云模型进行评价, 利用云模型来反映综合评判过程, 实现定性与定量之间的转化, 对项目的绿色施工等级进行评定, 使整个综合评判方法更具有说服力。

### 2 绿色施工评价指标体系

构建科学系统的评价指标体系是开展铁路绿色施工等级进行评价的重要前提。生态脆弱区铁路绿色施工评价应考虑多方面因素, 其指标的选取应遵循系统性、科学性、典型性、可操作性等原则。根据中国现有研究成果<sup>[1-3]</sup>, 大多笼统的可以将指标则层概括在“五节一环保”之中, 未对研究对象具有针对性, 因此论文将结合生态脆弱区水土流失严重、抗干扰能力弱、高寒干旱严重等生态特点, 建立以“绿色施工管理”“资源节约”“环境保护”和“水土流失防治”为 4 个准则层的评价指标体系, 如表 1 所示。同时, 将评价指标的等级划分为不合格、合格、一般、良、优五等。对于评价指标的分级标准, 论文参考了文献<sup>[4, 6, 7]</sup>相关标准并结合 GB/T50640—2010《建筑工程绿色施工评价标准》<sup>[1]</sup>中对所选取指标的相关规定, 确定了各指标的分级标准, 如表 1 所示。

论文首先根据文献<sup>[8]</sup>, 分别得到熵权法和 G1 法的权重值。由于主客观赋权法各有各的缺陷, 绿色铁路施工期评价指标权重的确立需充分结合主观经验和客观信息的内在规律, 所以结合两种方法的优点, 定义了由熵权法与 G1 法组成的综合赋权法。

$$W_j^* = 0.5W_{SQj} + 0.5W_{G1j} \quad (1)$$

式中:  $W_j^*$  为第 j 个评价指标对高铁全生命周期综合评

表 1 生态脆弱区铁路绿色施工评价指标体系

目标层	准则层	指标层	不合格	合格	一般	良	优
生态脆弱区铁路绿色施工评价体系	绿色施工管理 X <sub>1</sub>	施工管理体系制度 X <sub>11</sub>	[0, 60]	[60, 70]	[70, 80]	[80, 90]	[90, 100]
		环保投资比 X <sub>12</sub>	[0, 1]	[1, 2]	[2, 3]	[3, 4]	[4, 100]
	资源节约 X <sub>2</sub>	节能率 X <sub>21</sub>	[0, 5]	[5, 10]	[10, 15]	[15, 20]	[20, 100]
		可循环材料利用率 X <sub>22</sub>	[0, 40]	[40, 50]	[50, 60]	[60, 70]	[70, 100]
		土地资源有效利用率 X <sub>23</sub>	[0, 60]	[60, 70]	[70, 80]	[80, 90]	[90, 100]
		废污水循环利用率 X <sub>24</sub>	[0, 20]	[20, 30]	[30, 40]	[40, 50]	[50, 100]
	环境保护 X <sub>3</sub>	噪声控制 X <sub>31</sub>	[0, 30]	[30, 50]	[50, 70]	[70, 90]	[90, 100]
		固体废弃物处置率 X <sub>32</sub>	[0, 30]	[30, 50]	[50, 70]	[70, 90]	[90, 100]
		环境空气监测达标率 X <sub>33</sub>	[0, 30]	[30, 50]	[50, 70]	[70, 90]	[90, 100]
		地表水环境监测达标率 X <sub>34</sub>	[0, 30]	[30,50]	[50,70]	[70,90]	[90,100]
	水土流失 X <sub>4</sub>	土壤流失控制比 X <sub>41</sub>	[0, 75]	[75,85]	[85,95]	[95,98]	[98,100]
		物种丰富度降低率 X <sub>42</sub>	[4, 100]	[3,4]	[2,3]	[1,2]	[0,1]
		拦渣率 X <sub>43</sub>	[0, 80]	[80, 90]	[90, 95]	[95, 98]	[98, 100]
		林草覆盖率 X <sub>44</sub>	[0, 10]	[10, 20]	[20, 35]	[35, 50]	[50, 100]
		景观恢复度 X <sub>45</sub>	[0,80]	[80, 90]	[90, 95]	[95, 98]	[98, 100]
		临时用地复垦率 X <sub>46</sub>	[0, 30]	[30, 50]	[50, 70]	[70, 90]	[90, 100]
		植被恢复系数 X <sub>47</sub>	[0, 80]	[80, 90]	[90, 95]	[95, 98]	[98, 100]

价指标权重,  $W_{G1}$  和  $W_{SQ}$  分别为利用 G1 法和熵权法得到的第 j 个指标对目标的权重。

### 3 云模型评价模型构建

云模型是由中国工程院李德毅院士提出的概念, 是处理定性概念与定量描述的不确定转换模型<sup>[9]</sup>。云模型实现定性与定量的转换具体方法是采用 3 个数字特征值 (期望值  $E_x$ , 熵  $E_n$  和超熵  $H_e$ ) 来反映某一定概念的定量特征。其中, 期望值  $E_x$  表示定性概念在定量论域中分布的平均值; 熵  $E_n$  表示定性概念的模糊性, 用来描述云的宽度, 定性概念越模糊其值越大; 超熵  $H_e$  是对熵  $E_n$  的熵, 反映定性概念的随机程度, 其值越大, 说明云的不确定性越大, 云的厚度越大。云发生器是定性概念到定量表示的过程, 包括正向云生成器和逆向云生成器。

用  $[a_0, a_1], [a_1, a_2], [a_2, a_3], [a_3, a_4], [a_4, a_5]$  来表示评价等级不合格、合格、一般、良、优的取值区间。超熵  $H_e$  反映标准云的随机程度, 其值为主观设定值, 其值越大, 说明云的不确定性越大, 云的厚度越大。根据论文标准取值区间, 将  $H_e$  取值为 1。标准云模型的数字特征值计算方法为:

当  $n=1$  时,  $E_x=0$ ; 当  $1 < n < 5$  时,  $\frac{E_x=a_{n-1}+a_n}{2}$ ; 当  $n=5$  时,  $E_x=a_5$ ; 当  $n$  为任何值时,  $E_n = \frac{a_n - a_{n-1}}{2.355}$ ;  $H_e=1$ 。

逆向云算法<sup>[9]</sup>可以还原出云模型的 3 个数字特征值, 生成评价云模型 ( $E_x, E_n, H_e$ ), 代替原单一定量数据处理评价指标, 可以避免原数据的不确定性和主观性。评价云模型的具体计算过程, 即逆向正态云发生器具体描述如下:

输入: N 个样本值  $n_i (i=1, 2, \dots, N)$ ; 输出: 数字特征值 ( $E_x, E_n, H_e$ )。第一步: 计算样本期望  $E_x$ :

$$E_x = \bar{N} = \sum_{i=1}^M \frac{n_i}{M}$$

其中,  $n_i$  为所需评价指标 W 的第 i 个样本

估算值, M 为专家数。第二步: 计算样本二阶和四阶中心距  $\bar{\mu}_2, \bar{\mu}_4$ :  $\bar{\mu}_2 = \sum_{i=1}^M \frac{(n_i - \bar{N})^2}{(M-1)}$ ,  $\bar{\mu}_4 = \sum_{i=1}^M \frac{(n_i - \bar{N})^4}{(M-1)}$ ; 第三步: 计

$$\text{算熵 } E_n \text{ 和超熵 } H_e: E_n = \left[ \frac{9(\bar{\mu}_2)^2 - \bar{\mu}_4}{6} \right]^{\frac{1}{4}}, H_e = (\bar{\mu}_2 - E_n)^{\frac{1}{2}}$$

将评价指标数据结合逆向正态云发生器, 算出评价云数字特征值 ( $E_x, E_n, H_e$ ), 将特征值输入算法 1, 设置云滴数 N, 利用 MatlabR2021ba 绘制评价云模型图。

### 4 隶属度计算综合评价

计算生态脆弱区铁路绿色施工等级标准云模型与评价云模型隶属度。基于此, 文献<sup>[10]</sup>在云滴距离法来计算评价云与标准云隶属度。

对于标准云模型  $N_1$  和评价云模型  $N_2$ , 记  $N_1 (E_{x1}, E_{n1}, H_{e1})$  和  $N_2 (E_{x2}, E_{n2}, H_{e2})$ , 评价云模型较标准云模型的隶属度具体计算过程如下:

$$x = \frac{\sqrt{2}|E_{x2} - E_{x1}|}{\sqrt{E_{n1}^2 + H_{e1}^2 + \sqrt{E_{n2}^2 + H_{e2}^2}}}$$

$$\phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{x_1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \delta = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\phi(x)} - \phi(x) \quad (2)$$

经过云相似度的计算, 可得到每个指标的评价云与各个绿色度等级的隶属度映射关系向量, 所有指标则构成隶属度矩阵 R, 然后采用云相似度矩阵改进模糊评判矩阵, 将权重集 W 与相似度矩阵 R 合成。计算出综合评判结果向量为:  $B=W \cdot R=[b_1, b_2, \dots, b_n]$ 。按照最大相似度原则, 找出最大的  $b_i(i=1, 2, \dots, n)$  所对应的评价等级作为评价结果。

## 5 评价实例

### 5.1 项目概况

处于高寒生态系统的青藏铁路是作为全球海拔最高

的铁路。论文所选取的铁路为青藏铁路的格拉段，其全长 1142km，其中海拔大于 4000m 以上地段 965km，其空气稀薄，气候寒冷干旱，保留有的高寒生态系统以及大量不同种的珍稀物种，因此具有青藏铁路生态脆弱区的代表性。由于该生态系统包含大量珍稀濒危动植物，而严寒地区生态系统物质循环和能量流动速率缓慢，具有极强的不可逆性。

### 5.2 评价过程

收集每个评价指标的实际值是利用熵权法确定评价指标客观权重的基本前提。论文挑选了 5 个绿色施工措施较好且位于生态脆弱区的铁路标段作为拟评项目，计算得到熵权法各个评价指标的客观权重  $W_{SO}$ 。再通过专家打分，对数据进行统计和整理，得出评价指标间关系从大到小依次为： $\{X_{32}, X_{42}, X_{11}, X_{32}, X_{45}, X_{24}, X_{47}, X_{21}, X_{34}, X_{23}, X_{46}, X_{41}, X_{43}, X_{12}, X_{22}, X_{44}, X_{31}\}$ ， $r$  依次为  $\{1.2, 1.0, 1.0, 1.0, 1.2, 1.0, 1.6, 1.2, 1, 1.2, 1.4, 1, 1.6, 1.8, 1, 1\}$ ，计算得出评价指标的主观权重  $W_{Gij}$ ，最终根据公式 1 得到综合指标权重  $W_j^*$  从  $X_{11}$  至  $X_{47}$  分别为 0.08、0.022、0.035、0.076、0.072、0.063、0.02、0.09、0.08、0.067、0.085、0.07、0.02、0.065、0.05、0.06、0.045。

根据专家评价资料以及查阅文献得到项目指标数据也就是  $Ex$ ，利用标准云模型计算方法计算出生态脆弱区绿色施工等级标准的 3 个特征值从而得到指标的标准云。论文选取了绿色施工管理为例图，将特征值引入 matlab 进行绘图，在图中彩色部分为标准云模型部分，黑色部分为项目评价图，其评价云见图 1，从而可以直观看出绿色施工管理位于一般到良之间。

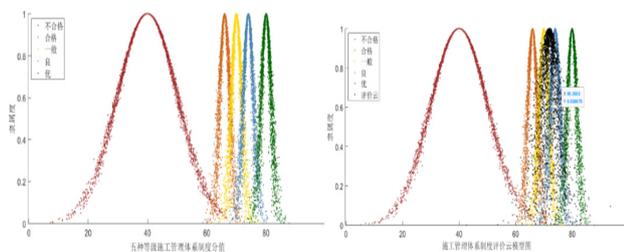


图 1 施工管理体系制度标准云和评价模型图

### 5.3 评价结果分析

为了研究的准确性，云模型图只能通过肉眼看出大概评价等级，还需要利用公式 (2) 得到标准云与评价云的隶属度。最后再带入权重值，得到准则层评价结果，最后带入指标权重即可得项目总体绿、色施工评价，按照绿色施工管理、资源节约、环境保护、水土流失项目总评价的顺序，在不合格隶属度分别为：0.00、0.02、0.00、0.00、0.005；合格隶属度分别为：0.00、0.02、0.00、0.00、0.005；一般隶

隶属度分别为 0.08、0.16、0.00、0.35、0.185；良隶属度分别为 0.91、0.26、0.25、0.53、0.430；优隶属度分别为 0.01、0.55、0.75、0.12、0.375。

分析结果可得，绿色施工管理处于良水平；资源节约处于一般到优秀，偏向于优秀；环境保护评价等级是优秀；水土流失在一般到良水平偏向于良。青藏铁路格拉段总体等级属于良至优秀水平。这与之前学者模糊综合评价法结果相符，说明此研究方法的可行性，可为今后生态脆弱区绿色施工等级评价作参考。

## 6 结语

①首先，论文针对高寒生态脆弱区特性以及绿色施工含义，运用云模型从绿色施工管理、资源节约、环境保护、水土流失四个方面构建了高寒生态脆弱区铁路绿色施工等级评价。最终得到的云模型图相较于传统方法更生动直观。

②其次，对于不同评价指标之间的赋权问题，论文采用了主客观相结合的赋权方法，避免主观赋权结果容易被主观因素干扰的缺陷，同时又巧妙规避了客观赋权的中分配不合理的缺点，使得赋权结果更为科学合理。

③最后，以青藏铁路格拉段的施工项目进行实证分析，并将结果与论文构建云模型绿色施工评价方法得出的评价结果对比，验证了论文中所构建的评价指标体系与评价模型的可行性、科学性，为今后生态脆弱区铁路项目提供参考。

### 参考文献：

- [1] 王明慧,张桥,凌飞翔,等.基于突变级数法的绿色高速铁路施工评价研究[J].铁道工程学报,2017,34(2):76-80.
- [2] 鲍学英,张健,王起才.西北寒旱地区铁路绿色施工等级评价研究[J].铁道学报,2019,41(3):33-39.
- [3] 李雨浓,鲍学英.川藏铁路绿色施工节材措施综合评价研究[J].铁道科学与工程学报,2021,18(6):1613-1621.
- [4] 国务院.关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知[A/OL]. 2016.11.24
- [5] GB/T50905—2014 建筑工程绿色施工规范[S].
- [6] 刘鑫淼,鲍学英,赵延龙,等.西北生态脆弱区铁路绿色施工方案评价[J].价值工程,2018(24):76.
- [7] 杨立中.绿色铁路理论及评价[M].成都:西南交通大学出版社,2014.
- [8] 李俊萍,张爽,王谦博,等.基于G1-熵权法和正交设计多指标优化刺五加提取工艺[J].中国新药杂志,2019,28(7):871-876.
- [9] 廖荣凯.基于云模型和XGBoost的路面性能评价与预测研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [10] 汪军,宋建军,刘小弟.兼顾形状-距离的正态云模型综合相似度测算[J].系统工程理论与实践,2017,37(3):742-751.