

铁路隧道绿色施工评价研究

赵光宇

兰州交通大学, 交通运输学院, 甘肃 兰州
Email: 610279379@qq.com

收稿日期: 2020年12月22日; 录用日期: 2021年1月14日; 发布日期: 2021年1月28日

摘要

为解决铁路隧道施工对环境造成的严重威胁, 有效推进绿色施工在铁路隧道施工中的应用, 本文提出基于改进Vague相似汇总理论的评价方法。依据PSR(压力-状态-响应)框架模型, 结合指标构建绿色建筑评价体系的三个原则, 从指标生成机制方面构建绿色建筑评价指标体系; 然后利用C-OWA算子进行赋权, 削弱专家主观偏好的影响, 利用改进的Vague集构建绿色施工评价模型, 将专家主、客观权重和Vague值相结合, 对隧道工程绿色施工进行评价; 最后, 在兰新铁路二线祁连山隧道工程绿色施工评价模型中进行了应用, 验证了模型的合理性和可行性。

关键词

铁路隧道, 绿色施工, Vague相似汇总法, PSR模型, C-OWA算子

Evaluation Study on Green Construction of Railway Tunnel

Guangyu Zhao

Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu
Email: 610279379@qq.com

Received: Dec. 22nd, 2020; accepted: Jan. 14th, 2021; published: Jan. 28th, 2021

Abstract

In order to solve the serious threat to the environment caused by railway tunnel construction and effectively promote the application of green construction in railway tunnel construction, this paper proposes an evaluation method based on improved Vague summary method. First, relying on the Pressure-Status-Response(PSR) framework model, combining the three principles of the index to establish a green construction evaluation system, the green construction evaluation index system is established from the perspective of the index generation mechanism; second, the evaluation index is

assigned through the C-OWA operator Weight, thereby weakening the influence of experts' subjective preferences, and using the improved Vague set similarity aggregation method in the construction of green construction evaluation models, combining expert subjective and objective weights and Vague values to judge the green construction grade of deep foundation pit projects; Applying the green construction index system and evaluation model to the Qilian Mountain Tunnel on the second line of the LanXin Railway, which proves that the evaluation model is reasonable and feasible.

Keywords

Railway Tunnel, Green Construction, Vague Similarity Summary Method, C-OWA Operator, PSR Model

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

伴随带着我国铁路事业的发展,使得沿线地区交通、制造业等相关经济得到了发展,并提升了沿线居民的生活质量。但是铁路隧道施工带来的生态问题也逐渐显现出来。铁路隧道周围环境复杂并脆弱,容易对周围生态环境造成严重破坏。因此保护铁路隧道周边生态环境,倡导绿色施工,提高隧道建设的可持续发展,已经成为了铁路建设者们所关注的重要问题。铁路隧道绿色施工必须首先解决绿色施工水平的评价问题。

目前,针对绿色施工的优点,国内外学者进行了大量的研究。Gangoellis、Casals [1] [2]阐述了绿色施工的过程,提出了绿色施工评价应综合考虑实施和管理因素;鲍学英、李慧玲[3] [4]等应用灰色聚类模型对建筑工程绿色施工等级进行评价;王富、晋良海[5] [6]通过运用 OWGA 于 CWGA 集成与负熵理论,建立了不同的绿色建筑绿色等级评价模型,并通过工程实例进行了验证;章恒、张晶波[7] [8]用 AHP 法计算绿色建筑等级权重。

虽然上述研究,从不同的角度对绿色施工的指标体系建立进行了研究,但仍有一些不足之处:第一,目前对于绿色施工的研究多是在宏观层面上进行的,但在具体项目的实施过程中,出现了许多问题,宏观层面的研究很难有针对性地指导具体的建设项目。第二,在指标权重上,多数采用单一的 AHP 方法或熵权法,忽视了评审者的个人主观偏好;第三,这些评价体系的对象大多是学校、商场、办公楼等建筑,并不能对铁路隧道的绿色施工进行有效的指导。

针对上述研究的不足,本文提出了以下改进根据 GB-T50378-2014《绿色建筑评价标准》,采用 PSR (压力-状态-响应)框架模型,建立了铁路隧道绿色施工评价体系。运用 C-OWA 算子确定3级指标权重,通过改进传统的 Vague 相似汇总法建立起铁路隧道绿色施工评价模型。降低专家的主观影响,更准确地确定铁路隧道绿色施工的评价等级。

2. 铁路隧道绿色施工评价指标体系建立

Pressure-State-Response (PSR)框架模型,中的 P 代表压力, S 代表状态、R 代表响应,在施工过程中人们对自然环境产生压力,而自然环境对于人类的压力会产生相应的状态,人们根据自然环境的状况会采取相应的响应措施。如图 1 所示。

首先以 PSR 框架模型为评价指标体系的基础,考虑压力、状态、响应三类指标的产生机制。其次,查阅《建筑工程绿色施工评价标准》,对铁路绿色施工评价指标进行筛选,建立铁路绿色施工评价指标体系。见图 2。

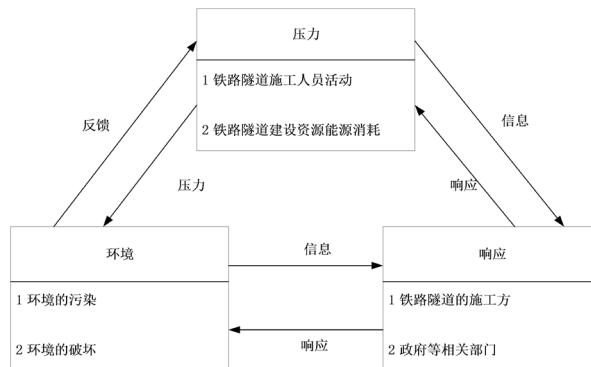


Figure 1. PSR framework model for green construction evaluation of railroad tunnels
图 1. 铁路隧道绿色施工评价 PSR 框架模型

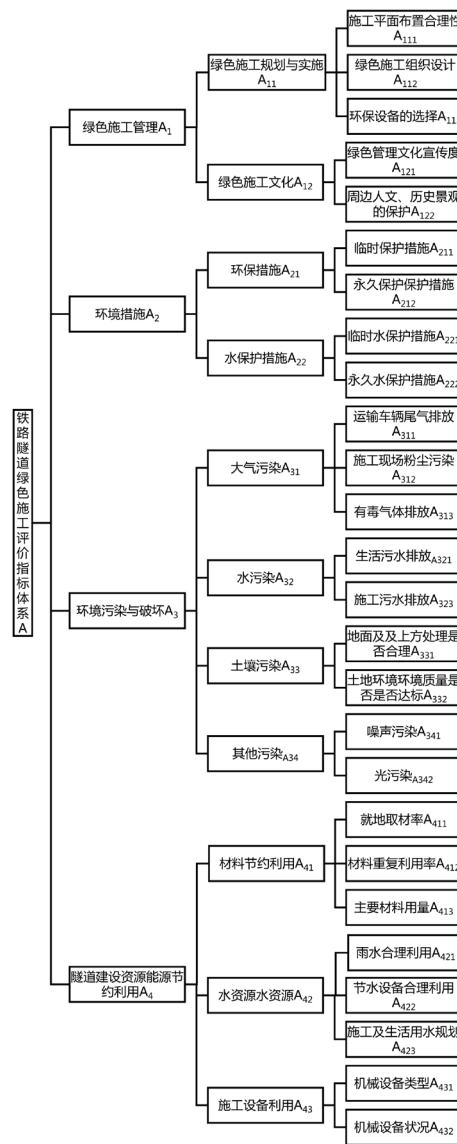


Figure 2. Railway tunnel green construction evaluation index
图 2. 铁路隧道绿色施工评价指标体系

3. 铁路隧道绿色施工评价指标权重确定

为了避免专家主观偏好对指标权重的影响,从而使得评价结果失去科学性与客观性,本文将采用 C-OWA 算子,将专家主观赋权与组合数相结合,从而削弱专家主观因素评价指标的影响,其计算步骤如下:

1) 邀请有关领域的六位专家,其中 2 位是具有项目相关资质的铁路隧道施工单位的技术和管理负责人,2 位是大学教授,主要研究土石方及隧道工程理论,研究绿色施工。六位专家按重要度(十分制)对上述指标打分,形成一套绿色建筑评价指标集。 $A = (a_1, b_2, \dots, c_6)$ 。按大小排序原始数据,从 0 开始编号,获取一组新数据 $B = (b_0, b_1, \dots, b_5)$ 。

2) 计算 B 集合中的各个数据权重:

$$\Psi_{n+1} = \frac{C_{m-1}^n}{\sum_{k=0}^{m-1} C_{m-1}^k} = \frac{C_{m-1}^n}{2^{m-1}} \quad (1)$$

3) 对集合 B 进行归一,得到三级评价指标的绝对权重:

$$w_i = \sum_{n=0}^{m-1} \Psi_{n+1} c_n \quad (2)$$

4) 评估指标相对权重的计算:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^z w_i}, \text{ 其中 } i = 1, 2, \dots, z. \quad (3)$$

4. 铁路隧道绿色施工评价模型构建

4.1. 铁路绿色施工评价语集

铁路隧道绿色施工评价的准确性受到评价评语集的影响,因此评语集是决定最后评价的关键因素质疑。根据以往铁路隧道绿色施工的经验,以及参考以往 Vague 值的 7 级语言变量,建立起铁路隧道绿色施工评语值,如表 1 所示。

Table 1. Railway tunnel green construction evaluation grade

表 1. 铁路隧道绿色施工评价等级

评价等级	等级程度	评分区间
F1	极差	[0, 0.2)
F2	差	[0.2, 0.4)
F3	中	[0.4, 0.6)
F4	优	[0.6, 0.8)
F5	优秀	[0.8, 1]

4.2. 确定绿色施工 2 级指标 Vague 值

要求上述 6 位相关专家对上述铁路隧道绿色施工评价指标体系的三级评价指标进行分级,并根据表 1 将评价价值转换成 Vague 值,用 $V_{ij} = [t_{ij}, 1 - f_{ij}]$ 表示。运用 C-OWA 算子对各 3 级评价指标 W_{ij} 进行计算,然后,考虑指标权重后,得到第 n 个综合加权 Vague 值, V_i^n 表示:

$$V_i^n = \sum_{n=1}^m (W_{ij} \times [t_{ij}, 1 - f_{ij}]) \quad (4)$$

4.3. 确定专家权重

首先, 以 $L = [L_1, L_2, \dots, L_m]$ 代表选定的专家组确定专家的主观权重, R_n 是通过专家对铁路隧道绿色施工评价的相关专业知识经验等方面的能力确定的。在通过公式(5)计算出主观权重 r_n :

$$r_n = \frac{R_n}{\sum_{n=1}^m R_n}, \text{ 其中 } n = 1, 2, \dots, m。 \quad (5)$$

通过相关相似度, 可以计算出专家群体 $L = [L_1, L_2, \dots, L_m]$ 间的相似度矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & s(1,2) & \dots & s(1,m) \\ s(2,1) & 1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & 1 & \vdots \\ s(m,1) & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

而专家群体的平均一致度可以通过相似度矩阵计算得出:

$$C_n = \frac{1}{m-1} \sum s(n,p) \quad (7)$$

再利用公式(7)得出的平均一致度计算专家客观权重:

$$c_n = \frac{C_n}{\sum_{n=1}^m C_n} \quad (8)$$

最终得到专家的综合权重:

$$D_n = \alpha r_n + (1 - \alpha) c_n, \alpha = 0.5 \quad (9)$$

4.4. 确定综合评估值

专家群体对指标的综合评估值, 可以通过专家综合权重、Vague 值计算得出:

$$V_i = \sum_{n=1}^m (V_i^n \times D_n) \quad (10)$$

4.5. 确定铁路隧道绿色施工项目的评价等级

通过上述计算已得出专家群体的综合评估值, 可以通过 Vague 计分函数计算出铁路隧道绿色施工项目的评价得分, 将项目的得分进行归一化处理, 得到指标的权重, 并多次重复这一计算工程, 最终得到铁路隧道绿色施工评价名表层的得分, 通过与表 1 的对比, 得出铁路隧道绿色施工的评价等级。计算中 Vague 计分函数为:

$$F = t_i + t_i(1 - t_i - f_i) \quad (11)$$

5. 实例分析

本文以兰新铁路二线上的祁连山隧道为例, 隧道位于甘肃省和青海省两省交界的祁连山脚下, 青海省门源回族自治县向西约 60 公里, 长 9.49 公里。隧道周围生态环境脆弱, 容易受到施工破坏。

5.1. 确定铁路隧道绿色施工三级评价指标指标权重

通过 C-OWA 算子来确定铁路隧道绿色施工评价指标体系中三级指标的权重, 邀请 6 位与铁路隧道绿色施工的有关的专家, 对指标体系(图 2)中的 3 级指标进行 0~10 分的打分, 分数越高表示该指标越好, 并求得其权重。本文以大气污染指标为例进行计算, 其余指标不在赘述。如表 2 所示。

Table 2. Expert scoring values for the 3 levels of indicators under A_{31} indicators

表 2. A_{31} 指标下 3 级指标专家打分值

指标	E1	E2	E3	E4	E5	E6
运输车辆尾气排放 A_{311}	7.4	7.1	8.1	7.4	8.1	7.4
施工现场粉尘污染 A_{312}	8.3	8.2	8.3	9.1	9.4	8.0
有毒气体排放 A_{313}	8.1	7.4	7.5	8.6	7.4	7.6

计算一个 A_{311} 指标的例子, 首先把 6 位专家的评分从大到小排列起来 $B = (8.1, 8.1, 7.4, 7.4, 7.4, 7.1)$; 其次, 运用公式(1)得到各组数据的权重 $\Psi = (0.03125, 0.15625, 0.3125, 0.3125, 0.15625, 0.03125)$; 用公式(2)求得绝对平均权 $W_{311} = (0.03125, 0.15625, 0.3125, 0.3125, 0.15625, 0.03125)(8.1, 8.1, 7.4, 7.4, 7.4, 7.1) = 7.5218$ 。

同理可得 $W_{312} = 8.4343$, $W_{313} = 7.6406$ 。用公式 3 求出最终的相对权重 $W_{31} = (0.3333, 0.3737, 0.3385)$ 同理可得 $W_{32} = (0.5486, 0.4611)$, $W_{33} = (0.3221, 0.4152)$, $W_{34} = (0.5579, 0.4420)$ 。

5.2. 确定评价铁路隧道绿色施工 2 级指标的 Vague 值

邀请铁路隧道绿色施工相关领域的专家 6 位, 对铁路隧道绿色施工评价指标体系中的 3 级指标进行评价, 通过给出 3 级指标因素的语言变量, 通过表 1 铁路隧道绿色施工评语集, 转化为相应的 Vague 值, 本文以大气污染指标为例进行计算, 得出表 3, 并用公式(4)计算得出表 4。

Table 3. Vague values and weights of the 3-level indicators under A_3 indicators

表 3. A_3 指标下的 3 级指标 Vague 值及权重

指标	E1	E2	E3	E4	E5	专家 6	权重
A_{311}	[0.3, 0.4]	[0.4, 0.55]	[0.45, 0.55]	[0.4, 0.5]	[0.55, 0.65]	[0.4, 0.6]	0.3333
A_{312}	[0.6, 0.7]	[0.65, 0.7]	[0.55, 0.7]	[0.75, 0.85]	[0.75, 0.8]	[0.5, 0.7]	0.3737
A_{313}	[0.5, 0.6]	[0.4, 0.5]	[0.4, 0.5]	[0.55, 0.65]	[0.45, 0.55]	[0.3, 0.4]	0.3385
A_{321}	[0.55, 0.75]	[0.75, 0.8]	[0.6, 0.7]	[0.55, 0.7]	[0.55, 0.65]	[0.55, 0.65]	0.5486
A_{322}	[0.45, 0.5]	[0.35, 0.4]	[0.45, 0.55]	[0.35, 0.45]	[0.25, 0.45]	[0.4, 0.5]	0.4611
A_{331}	[0.4, 0.5]	[0.45, 0.55]	[0.4, 0.5]	[0.45, 0.55]	[0.45, 0.5]	[0.4, 0.5]	0.3221
A_{332}	[0.5, 0.7]	[0.6, 0.7]	[0.65, 0.75]	[0.6, 0.7]	[0.55, 0.65]	[0.75, 0.8]	0.4152
A_{341}	[0.6, 0.75]	[0.55, 0.75]	[0.55, 0.7]	[0.65, 0.75]	[0.6, 0.7]	[0.3, 0.4]	0.5579
A_{342}	[0.45, 0.5]	[0.4, 0.5]	[0.3, 0.4]	[0.45, 0.55]	[0.45, 0.5]	[0.45, 0.55]	0.4420

Table 4. Vague values for level 2 indicators

表 4. 2 级指标 Vague 值

指标	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A_{31}	[0.4936, 0.5641]	[0.5728, 0.5803]	[0.4570, 0.6310]	[0.5998, 0.7043]	[0.6159, 0.7018]	[0.4217, 0.5970]
A_{32}	[0.5092, 0.6420]	[0.5654, 0.6233]	[0.5367, 0.6376]	[0.4631, 0.5915]	[0.4170, 0.5641]	[0.4861, 0.5871]
A_{33}	[0.3364, 0.4517]	[0.3941, 0.4678]	[0.3987, 0.4724]	[0.3941, 0.4678]	[0.3733, 0.4309]	[0.4402, 0.4932]
A_{34}	[0.5536, 0.6394]	[0.4836, 0.6394]	[0.4394, 0.5672]	[0.5615, 0.6615]	[0.5536, 0.6115]	[0.3664, 0.4664]

5.3. 确定专家权重

如表 5 所示, 首先根据公式(5)计算主观权重, 然后根据公式(6)计算专家组之间的相似度矩阵。

Table 5. Subjective weights of experts
表 5. 专家主观权重

指标	E1	E2	E3	E4	E5	E6
R_n	0.81	0.89	0.91	0.74	0.81	0.86
r_n	0.16	0.17	0.18	0.15	0.16	0.17

$$\begin{vmatrix} 1 & 0.9530 & 0.9480 & 0.9549 & 0.8923 & 0.8854 \\ 0.9503 & 1 & 0.9008 & 0.9007 & 0.8833 & 0.8769 \\ 0.9480 & 0.9008 & 1 & 0.8979 & 0.8820 & 0.9129 \\ 0.9549 & 0.9007 & 0.8979 & 1 & 0.9203 & 0.8667 \\ 0.8923 & 0.8833 & 0.8820 & 0.9203 & 1 & 0.8742 \\ 0.8854 & 0.8769 & 0.9129 & 0.8667 & 0.8742 & 1 \end{vmatrix}$$

经公式(7)计算出 $C_1 = 0.9267$, $C_2 = 0.9029$, $C_3 = 0.9083$, $C_4 = 0.9081$, $C_5 = 0.8904$, $C_6 = 0.8832$ 。

经公式(8)得出 $c_1 = 0.1710$, $c_2 = 0.1666$, $c_3 = 0.1676$, $c_4 = 0.1676$, $c_5 = 0.1643$, $c_6 = 0.1630$ 。

最后由公式(9)得出 $D_1 = 0.1655$, $D_2 = 0.1683$, $D_3 = 0.1738$, $D_4 = 0.1588$, $D_5 = 0.1621$, $D_6 = 0.1665$ 。

5.4. 确定专家的综合评估值

A_3 指标下的 2 级评估值可以通过公式 10 计算得出。 $V_{31} = [0.5228, 0.6257]$, $V_{32} = [0.4948, 0.6050]$, $V_{33} = [0.3877, 0.4618]$, $V_{34} = [0.4893, 0.5938]$ 。

5.5. 确定铁路隧道绿色施工项目评价等级

利用公式(11)确定 A_3 指标下的对应的 2 级指标为 $F(A_{31}) = 0.5766$, $F(A_{32}) = 0.5493$, $F(A_{33}) = 0.4164$, $F(A_{34}) = 0.5404$ 。

将其归一化处理得出 A_3 指标下对应的 2 级指标权重 $W_3 = (0.2769, 0.2637, 0.1999, 0.2595)$ 。

计算 A_3 指标下的的综合评估值

$$\begin{aligned} V_3 &= 0.2769 \times [0.5228, 0.6257] + 0.2637 \times [0.4948, 0.6050] \\ &\quad + 0.1999 \times [0.3877, 0.4618] + 0.2595 \times [0.4893, 0.5938] \\ &= [0.4797, 0.5792] \end{aligned}$$

重复上述计算过程, 可以得到 A_1, A_2, A_4 的综合评估值如表 6 所示:

Table 6. Assessment and scores of first-level indicators
表 6. 一级指标评估及得分

1 级指标	评估值 V_i	得分 $F(A_i)$
A_1	[0.4803, 0.5953]	0.5355
A_2	[0.4903, 0.6379]	0.5627
A_3	[0.4797, 0.5792]	0.5274
A_4	[0.3887, 0.5102]	0.4359

通过归一化处理表 6 中的 1 级指标得到: $W = (0.2598, 0.2730, 0.2558, 0.2114)$ 最终评估值为:

$$\begin{aligned} V &= 0.2598 \times [0.4803, 0.5953] + 0.2730 \times [0.4903, 0.6379] \\ &\quad + 0.2558 \times [0.4797, 0.5792] + 0.4359 \times [0.3887, 0.5102] \\ &= [0.4635, 0.5848] \end{aligned}$$

最后公式(11)得出最终得分为 $F(A) = 0.5197$ 。

通过与表 1 中绿色施工评价等级进行比较, 最终得分为“中”级, 各项评价指标均在“差”以上。

6. 结论与探讨

采用 PSR (压力 - 状态 - 响应)模型和 Vague 相似性归纳法, 对铁路隧道进行了有效的绿色施工评价, 通过 C-OWA 算子对 3 级指标进行赋权, 通过对兰新铁路二线祁连山隧道的绿色施工评价等级进行了判定, 并得出以下创新性结论: 一是 PSR 框架模型从指标生成机制方面可以更科学、更有效地构建绿色建筑项目评价指标体系; 二是采用 C-OWA 算子计算专家权重, 利用 Vague 集积分函数综合确定各评价指标的权重, 削弱了专家主观因素对评价的不利影响, 使评价更科学、更准确。

参考文献

- [1] Gangoellis, M., Casals, M., Santiago, G., *et al.* (2009) A Methodology for Predicting the Severity of Environmental Impacts Related to the Construction Process of Residential Buildings. *Building and Environment*, **44**, 558-571. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.001>
- [2] Hwang, B.-G., Wei, J.N., *et al.* (2013) Project Management Knowledge and Skills for Green Construction: Overcoming Challenges. *IEEE Engineering Management Review*, **41**, 87-103. <https://doi.org/10.1109/EMR.2013.6601087>
- [3] 鲍学英, 杨姝, 王起才. 基于灰色聚类法的铁路绿色施工等级评价研究[J]. 铁道工程学报, 2016(7): 106-110.
- [4] 晋良海, 薛晓飞, 郝胜等. 绿色施工方案评价的 OWGA 和 CWGA 集成方法[J]. 水利水电工程学报, 2013(4): 35-39.
- [5] 李惠玲, 李军, 钟钦. 基于灰色聚类法的绿色施工评价[J]. 工程管理学报, 2012(2): 18-22.
- [6] 王富, 苏洁. 基于负熵理论的公路绿色施工评价指标与模型研究[J]. 公路, 2017(4):196-200.
- [7] 章恒, 何雄君, 杨俊峰等. 山区桥梁绿色施工综合评价系统研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2015(3): 621-624.
- [8] 张晶波, 何瑞. 建筑工程绿色施工评价模型研究及应用[J]. 施工技术, 2017, 46(1), 119-123.