

Evaluation Model of Highway Tunnel Green Construction in Karst Area

Shufu Ou, Long Ding, Zhiwei Wei

CCCC Fourth Highway Engineering Co., Ltd., Beijing
Email: 516949538@qq.com

Received: Dec. 26th, 2019; accepted: Jan. 7th, 2020; published: Jan. 16th, 2020

Abstract

At present, our country for the research of green construction assessment about tunnel in karst region is rarely. Karst region as a kind of typical water environmentally sensitive area has stricter standards for green construction of tunnel. This evaluation model adopts the analytic hierarchy process (AHP) and expert scoring method, quantifies the qualitative and quantitative indexes in the light of the indexes that affect the ecological environment in the tunnel construction in karst area with reasonable methods, and finally determines the green construction grade of the tunnel construction by scoring. It is believed that it can provide an effective reference for the evaluation of tunnel green construction in karst area.

Keywords

Karst Region, Green Construction, Analytic Hierarchy Process (AHP), Tunnel Engineering

岩溶地区高速公路隧道绿色施工评价模型研究

欧书福, 丁 龙, 位志伟

中交第四公路工程局有限公司, 北京
Email: 516949538@qq.com

收稿日期: 2019年12月26日; 录用日期: 2020年1月7日; 发布日期: 2020年1月16日

摘 要

目前我国对于岩溶地区隧道绿色施工评价的研究较少, 岩溶地区作为一种典型的水环境敏感区, 对隧道绿色施工有着更高的标准。本评价模型采用层次分析法和专家打分法, 针对岩溶地区隧道施工中影响生

态环境的指标,采用合理的方法量化定性和定量指标,最后通过评分确定隧道施工的绿色施工等级。相信本模型的研究可以为岩溶地区隧道的绿色施工评价提供一种行之有效的参考。

关键词

岩溶地区,绿色施工,层次分析法,隧道工程

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近年来,为响应国家绿水青山的号召,绿色施工的理念早已成为评价各行各业效益的一项重要参考。隧道工程作为一种超长线性建筑施工工程,具有工程量大、耗材量高、对生态环境影响范围广的特点。结合目前国内外情况可知对隧道工程进行绿色施工评价是一件势在必行的事情。然而,当前和隧道相关的绿色评价模型和体系不多,本论文的目的在于根据岩溶地区高速公路隧道修建的特点以及特有的喀斯特地貌建立起一种专门针对于岩溶地区隧道建造的评价模型。

国外,在绿色施工评价方面,Huang H 等[1]采用生命周期评价(LCA)方法对七种有前景的混凝土块进行分析,评估二氧化碳矿物碳化(MC)养护技术对于总环境的影响。Vyas GS 等[2]采用层次分析法和模糊积分法相结合的方式对印度新建筑的绿色程度进行评估。Hikmat [3]等针对发展中国家约旦存在能源资源匮乏和能源利用效率低下的问题开发了一套基于层次分析法的绿色建筑评估系统(SABA),并将其与LEED、CASBEE、BREEAM、GBTTool 四个绿色建筑评级系统进行比较。至于具体针对类似岩溶地区绿色施工评价的国外案例也较少,只有少数文献可以起到参考的作用,如 Aizizan 等[4]针对目前公路建设以及维修材料中流行添加工业废料以达到废物回收利用的做法,开展了这种类型新型混合材料的浸出物对地表水和地下水质量影响的研究。

国内,张健[5]建立了一套针对高速铁路建造节材方面的评价体系。辛军[6]分析了铁路隧道施工对生态环境造成影响的因素并提出了一些保护措施。刘伟[7]等研究了隧道施工废水的水质特征,提出了“初沉+混凝+沉淀+过滤”的废水处理工艺。纪真[8]研究了水压光面爆破技术在隧道施工中的应用,降低了粉尘对环境的污染,不仅改善洞内空气质量,同时满足节能环保的要求。高昕[9]分析了隧道施工的特点、噪声来源以及噪音控制的实际状况,并提出了有效的防治措施。吕向红[10]分析了隧道粉尘的来源和采用的治理技术,采用模糊决策方法建立了控制模型,优化了隧道施工中粉尘的控制。罗鉴银[11]等人从影响范围和影响程度两个角度研究了在岩溶地区修建隧道对水资源的影响。邓朗妮、黄如寤[12]重点研究绿色施工方案实施的评价方法——价值工程法,此项研究对我国实施绿色施工有重大借鉴意义,为绿色施工技术实施标准的制定提供较好的依据。卢国春[13]、段春伟等人[14]针对具体的工程建设项目,详细论述了如何从施工技术和施工管理两大方面满足绿色施工的要求。

本文以岩溶地区高速公路隧道施工为研究对象,选择合适的指标,用层次分析法,从环境保护、节材、水污染、节能、施工管理五个方面,对岩溶地区施工的隧道进行评价。由于岩溶地区对于水环境较为敏感,所以相比于常规的绿色施工评价体系,本文研究的模评价型更加注重可能影响水环境的指标,更适用于岩溶地区高速公路隧道绿色施工的评价。相信本评价模型的建立能够为岩溶地区隧道修建的评价提供一种参考,也能为其他相关行业提供借鉴。

2. 绿色施工评价方法选择

工程施工过程复杂多变, 涉及经济、环境、技术、材料、施工管理等一系列可量化、不可量化的因素, 在施工评价模型建立过程中关键是相关指标的选取, 既要考虑定量指标的定量分析方法, 又要考虑不可量化指标的定性描述以及在评估中的赋值。

1) 对评价方法的要求

岩溶地区高速公路隧道绿色施工的评价涵盖许多指标, 这使得评价模型的指标具有量多且复杂、定量与定性相结合的特点, 所以需要的评价方法具有: ① 能够兼容定性和定量指标; ② 能够权衡不同指标的重要程度; ③ 尽可能消除主观因素的影响; ④ 逻辑清晰、层次分明等特点。

2) 评价方法的选择

本论文采用的评价方法为层次分析法, 作为多目标决策分析方法中的一种, 该方法将需要进行评比的方案划分为多个目标, 再将目标细分为具体的指标, 通过专家打分、问卷等形式确定每一层次各指标之间的权重, 最后得到该方案中各个指标对于该方案的总权重向量。再将方案的指标按照相关标准进行评价, 凸显方案指标的优劣, 得到隶属度矩阵。将总权重向量和隶属度矩阵相乘, 即可得到综合评分, 分数越高表示绿色施工评价等级越好。

3. 绿色施工评价模型的建立

3.1. 绿色施工评价模型中指标体系的建立

指标体系按照绿色施工评价总目标的要求全面、科学、有效的分层次建立, 绿色施工评价指标层次设定如表 1 所示。最后的总权重为 $W = \{W_{ijk}\}$ 。

Table 1. Green construction evaluation index system

表 1. 绿色施工评价指标体系

总目标(A)	目标层(B _i)		指标层(C _{ij})		因素层(D _{ijk})		总权重 ($\times 10^{-2}$) (W_{ijk})					
	名称	单权重	名称	单权重	名称	单权重						
岩溶地区高速公路隧道绿色施工评价指标体系(A)	环境保护(B ₁)	0.2197	扬尘污染(C ₁₁)	0.2020	施工扬尘(D ₁₁₁)	0.5390	2.3920					
					道路扬尘(D ₁₁₂)	0.2972	1.3190					
					裸露面扬尘(D ₁₁₃)	0.1638	0.7269					
			土壤污染(C ₁₂)	0.3049	隧道弃渣(D ₁₂₁)	0.5813	3.8939					
					路基弃渣(D ₁₂₂)	0.3091	2.0706					
					废弃沥青渣(D ₁₂₃)	0.1096	0.7342					
			噪音污染(C ₁₃)	0.0907	施工噪音(D ₁₃₁)	0.3452	0.6879					
					机械噪音(D ₁₃₂)	0.3452	0.6879					
					运输噪音(D ₁₃₃)	0.2101	0.4187					
					人为噪音(D ₁₃₄)	0.0995	0.1983					
			节水(B ₂)	0.1930	0.4024	地下水问题(C ₁₄)	0.4024	地下水水质评价(D ₁₄₁)	1	8.8407		
								混凝土喷敷工艺(D ₂₁₁)	0.1415	1.1650		
								实体材料(C ₂₁)	0.4266	施工材料本地化(D ₂₁₂)	0.5247	4.3201
								固废材料(C ₂₂)	0.1647	预拌砂浆、散装水泥选用率(D ₂₁₃)	0.3338	2.7483
材料包装物、余料回收率(D ₂₂₁)	1	3.1787										
工业废料的利用(D ₂₃₁)	0.6667	2.2466										
可再生材料(C ₂₃)	0.1746	混凝土再生骨料的选用(D ₂₃₂)						0.3333	1.1231			
		周转材料(C ₂₄)	0.2341	工具式模板、脚手架重复率(D ₂₄₁)	1	4.5181						

Continued

				SS (D ₃₁₁)	0.3261	3.5161
				PH (D ₃₁₂)	0.3261	3.5161
		施工废水(C ₃₁)	0.2972	COD (D ₃₁₃)	0.0608	0.6556
				NH ₃ -N (D ₃₁₄)	0.1798	1.9387
				石油类(D ₃₁₅)	0.1072	1.1559
水污染(B ₃)	0.3628			SS (D ₃₂₁)	0.0679	0.4035
				PH (D ₃₂₂)	0.1087	0.6460
		生活废水(C ₃₂)	0.1638	COD (D ₃₂₃)	0.3416	2.0300
				NH ₃ -N (D ₃₂₄)	0.3123	1.8559
				动植物油类(D ₃₂₅)	0.1695	1.0073
		注浆材料(C ₃₃)	0.5390	绿色注浆材料使用率(D ₃₃₁)	1	19.555
				照明设施(D ₄₁₁)	0.1072	0.6799
		节电(C ₄₁)	0.4429	通风设施(D ₄₁₂)	0.2832	1.7961
				机电设施(D ₄₁₃)	0.4445	2.8192
				生活设施(D ₄₁₄)	0.1651	1.0471
				施工废水利用(D ₄₂₁)	0.4231	2.3466
节能(B ₄)	0.1432	节水(C ₄₂)	0.3873	节水型器具使用(D ₄₂₂)	0.1225	0.6794
				雨水收集利用(D ₄₂₃)	0.2272	1.2601
				生活废水利用(D ₄₂₄)	0.2272	1.2601
				设备空转率(D ₄₃₁)	0.4000	0.9726
		节油(C ₄₃)	0.1698	节油设备普及率(D ₄₃₂)	0.2000	0.4863
				日常设备维护情况(D ₄₃₃)	0.4000	0.9726
				职业病危害因素监控(D ₅₁₁)	0.4111	0.9936
		职工健康(C ₅₁)	0.2973	职业卫生安全培训(D ₅₁₂)	0.3278	0.7923
				劳动防护用品发放(D ₅₁₃)	0.2611	0.6311
				场容管理(D ₅₂₁)	0.1638	0.2180
施工管理(B ₅)	0.0813	组织管理(C ₅₂)	0.1637	施工人员管理(D ₅₂₂)	0.5390	0.7173
				治安管理(D ₅₂₃)	0.2972	0.3955
				安全控制(D ₅₃₁)	0.3333	1.4605
		安全管理(C ₅₃)	0.5390	安全检查(D ₅₃₂)	0.3333	1.4605
				安全教育(D ₅₃₃)	0.3333	1.4605

3.2. 绿色施工评价模型中权重向量的确定

采用专家评分法，将指标按表 2 进行评价，构造各个层次的判断矩阵。

Table 2. Saaty scale method
表 2. 萨蒂标度法

赋值	意义	赋值	意义
1	重要性等同	7	两者相比，前者强烈重要
3	两者相比，前者重要	9	两者相比，前者极其重要
5	两者相比，前者明显重要	2、4、6、8	判断处于上述中间值

$$\text{构建的判断矩阵形式为 } Q = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{a_1}{a_1} & \cdots & \frac{a_1}{a_n} \\ \frac{a_1}{a_1} & \cdots & \frac{a_1}{a_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_n}{a_1} & \cdots & \frac{a_n}{a_n} \\ \frac{a_n}{a_1} & \cdots & \frac{a_n}{a_n} \end{bmatrix}, \text{ 且 } a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}。$$

由于比较是根据经验进行的判断,为防止主观因素的影响使得数据缺乏客观性,需要利用 T.L. Saaty 不相容度公式对判断矩阵进行一致性检验,当算得 RI 的值小于 0.1 时,表明得到的判断矩阵 Q 不受人为主观因素的影响。公式如下:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n-1} \quad (1)$$

式中: λ_{\max} 为矩阵 Q 的最大特征值; n 为矩阵 Q 的阶数。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中: CI 为一致性指标; RI 为随机一致性指标,按表 3 取值; CR 为一致性比率,只有小于 0.1 才能满足一致性检验。

Table 3. RI value criterion

表 3. RI 取值标准

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

经过一致性检验后,可采用全部列向量的算数平均值来估计权向量,即:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

根据评价指标体系构造一个目标层判断矩阵、五个指标层判断矩阵、十三个因素层判断矩阵,并根据这些指标的单元权重获得所有指标的总权重。由于矩阵较多,不一赘述,论文中只罗列出目标层判断矩阵表 4 以及总权重表 1,其他判断矩阵的确定方法与该矩阵相同。记每个指标对应总权重符号为 W_{ijk} 。

Table 4. Target layer judgment matrix

表 4. 目标层判断矩阵

绿色施工评价体系(A)	环境保护(B ₁)	节材(B ₂)	水污染(B ₃)	节能(B ₄)	施工管理(B ₅)	单元权重
环境保护	1	1	1/2	2	3	0.2197
节材	1	1	1/2	1	3	0.1930
水污染	2	2	1	3	3	0.3628
节能	1/2	1	1/3	1	2	0.1432
施工管理	1/3	1/3	1/3	1/2	1	0.0813

对应的 $\lambda_{\max} = 5.0975$, $CI = 0.0244$, $CR = 0.0218 < 0.1$, 矩阵可信。

3.3. 绿色施工评价模型中隶属度矩阵的确定

隶属度矩阵由环境保护、节材、水污染、节能、施工管理五个方面构成,对于定性指标按照表 5 取值,定量指标结合相关国家、行业规范确定,计算结果小于 0 取 0,大于 1 时取 1。记每个指标对应的隶属度元素为 r_{ijk} ,最后获得评价模型的隶属度矩阵 $R = \{r_{ijk}\}$ 。

Table 5. Qualitative index assignment table

表 5. 定性指标赋值表

标准	赋值	标准	赋值	标准	赋值
最差	0~0.15	差	0.35~0.45	好	0.65~0.75
很差	0.15~0.25	中	0.45~0.55	很好	0.75~0.85
较差	0.25~0.35	较好	0.55~0.65	最好	0.85~1

3.3.1. 环境保护

1) 扬尘污染

对于扬尘需要满足 GBZ2.1-2007 中对于粉尘的要求。按式(4)计算各种粉尘的隶属度 $r_i (i=1,2,3,\dots,n)$,取 $\min\{r_i\}$ 为每种扬尘的隶属度。

$$r_{ij} = \frac{a_{ij \min}}{a_{ij}} \quad (4)$$

2) 土壤污染

路基弃渣和隧道弃渣按式(5)计算,可参考《住建部绿色施工科技示范工程技术指标》(2013 试行)中对建筑废弃物“再利用率和回收率达到 50%”的要求, $a_{ij \max}$ 取 60%。至于废弃沥青渣,若能回收利用参照隧道弃渣利用计算。若不能利用,根据废弃沥青堆的管理状况按表 5 赋值。

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{ij \max}} \quad (5)$$

3) 噪音污染

参考 GB12523-2011,结合工地实际情况取昼间噪音上限值 75 dB,下限值 50 dB。夜间噪音上限值 55 dB,下限值 40 dB。按式(6)计算, $a_{ij \max}$ 为规定噪音上限值, $a_{ij \min}$ 规定噪音下限值。取昼、夜两个值中最小的为隶属度矩阵元素。

$$r_{ij} = \frac{a_{ij \max} - a_{ij}}{a_{ij \max} - a_{ij \min}} \quad (6)$$

4) 地下水问题

对地下水要保持动态监控,对于水质的要求按照 GB/T14848-93 标准执行,水质监测指标涵盖较多指标种类,应结合施工现场影响地下水水质的物质种类及含量做出综合评价,按表 5 赋值。

3.3.2. 节材

1) 实体材料

混凝土喷敷工艺为定性指标,综合考虑施工现场条件、工艺好坏等因素,按表 5 赋值。

施工材料本地化程度按式(5)计算,参考《住建部绿色施工科技示范工程技术指标》(2013 试行)的标准设置,设置 $a_{ij \max} = 80\%$ 。

预拌砂浆、散装水泥选用率可参考 GB/T 50378-2014 中对预拌砂浆“占砂浆总用量比例不低于 50%”的标准；而对于散装水泥选用率，参考《中铁二十局集团有限公司标准化建设手册》中“施工现场选用散装水泥代替袋装水泥”的要求。取两者选用率的加权平均值，按式(5)计算，设置 $a_{ij\max} = 85\%$ 。

2) 固废材料

部分材料需包装运输至施工现场，如集装箱、木板、电缆卷筒、毡垫、玻璃瓶、木箱、薄膜等，应对大量的材料包装物加以回收后再利用，按式(5)计算。参考 GB/T50460-2010 并结合高速公路工程材料运输量大、运距远的特点，适当降低原有标准，取 $a_{ij\max} = 95\%$ 。

3) 可再生材料

工业废料能否利用要结合施工条件、施工工艺等现实条件，为定性指标，按表 5 赋值。

混凝土再生骨料的选用可参考 TB/T10429-2014 第 7.1.6 条，为定量指标，按式(5)计算，取 $a_{ij\max} = 20\%$ 。

4) 周转材料

工具式模板和脚手架重复率按式(5)计算，参考《住建部绿色施工科技示范工程技术指标》(2013 试行)中对周转材料可重复使用率达到 70%的要求，取 $a_{ij\max} = 70\%$ 。

3.3.3. 水污染

排放的污水水质要求按照 GB8978-1996 执行，见表 6，以二级标准为最低标准，一级标准为最高标准。其中 SS、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、油类四个指标的计算方法采用式(6)， $a_{ij\max}$ 为二级指标， $a_{ij\min}$ 为一级指标。而 PH 值，按式(6)计算时，理想酸碱度为 7，结合实际工程情况可知水污染为碱性污染，取 $a_{ij\max} = 9$ ， $a_{ij\min}$ 为 7。

注浆材料则按照绿色注浆材料在所有注浆材料使用中所占比例计算，按式(5)计算， a_{ij} 为实际比例， $a_{ij\max} = 1$ 。

Table 6. Comprehensive sewage discharge standard table

表 6. 污水综合排放标准表

指标	单位	一级标准	二级标准
SS (悬浮物)	mg/L	70	150
酸碱度	PH	6~9	6~9
COD (化学需氧量)	mg/L	100	150
氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)	mg/L	15	25
石油类	mg/L	5	10
动植物油	mg/L	10	15

3.3.4. 节能

1) 节电

节电分为四个子目标：照明设施、通风设施、机电设施、生活设施。这四个指标为定性指标。根据专家评价按表 5 赋值。

2) 节水

施工废水利用、节水型器具使用、生活废水利用为定量指标，按式(5)计算。对于施工废水和生活废水， $a_{ij\max}$ 为已处理废水量， a_{ij} 为已处理废水并再次利用量。而节水型器具的使用， $a_{ij\max}$ 为用水器具数量， a_{ij} 为节水型器具数量。雨水收集利用为定性指标，根据雨水收集量、雨水用途等因素按表 5 赋值。

3) 节油

设备空转率按式(7)计算, $a_{ij\max}$ 取一个机器台班 8 h, a_{ij} 为一个机器台班中设备空转的时间。

$$r_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{a_{ij\max}} \quad (7)$$

节油设备普及率按式(5)计算, $a_{ij\max}$ 为燃油动力设备总数量, a_{ij} 为节油设备数量。日常设备维护情况为定性指标, 根据现场设备养护情况按表 5 赋值。

3.3.5. 施工管理

施工管理的相关指标都属于定性指标, 难以量化, 应该按照国家相关规定由专业的医护人员、安全管理人员、项目管理人员、监理人员和从事相关领域的专家对施工管理的各项指标进行评价, 并按照表 5 赋值。

3.4. 绿色施工评价模型的评价结果及分析

使用层次分析法可以得到权重向量和隶属度矩阵, 其中权重向量由针对岩溶地区的指标进行专家评估后获得, 具体结果可见表 1, 隶属度矩阵的值根据 3.3 节中的方法确定。

每个定量指标都按照国家或行业标准计算, 而定性指标则根据专家和从事相关行业人员根据施工现场的实际情况进行评价, 按照表 7 赋值。最后的评分结果为 $G = W \times R$, 并按照表 7 评定岩溶地区公路隧道施工的绿色等级。

Table 7. Green construction rating table

表 7. 绿色施工评级表

等级	差	一般	良	优
分数	0~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~1

根据权重向量可以知道: 施工扬尘、隧道弃渣、路基弃渣、地下水水质、施工材料本地化、预拌砂浆和散装水泥选用率、材料包装物和余料回收率、材料包装物和余料回收率、工业废料的利用、工具式模板和脚手架重复率、施工废水的 SS 和 PH、生活废水的 COD、绿色注浆材料的使用率、机电设施、施工废水利用这些指标较为重要。当评分不够理想时将较为重要但隶属度较低的指标进行优化, 综合评分 G 将会有所提升, 这样绿色施工评价等级将会有所提升。

4. 小结

1) 本文用层次分析法, 从环境保护、节材、水污染、节能、施工管理五个方面建立了评价指标体系。根据专家打分法得到了权重向量, 并结合国家和行业的相关规范给出了计算隶属度矩阵的方法, 从而建立起一个完整的评价模型。

2) 一个标准的评估体系或模型需要满足科学性、整体全面性、动态性、可操作性、层次性五个方面的标准。本评估模型是科学合理的, 理由如下: ① 本模型中权重向量的确定采用专家打分法和萨蒂标度法并经过一致性检验消除主观因素影响, 具有科学依据; ② 本模型指标体系涵盖五个方面, 评估指标全面, 符合整体全面性要求; ③ 某一指标权重的变动不会影响上一层以及本层次中不属于同一类的其他指标的权重, 改动指标体系的部分参数较为容易, 符合动态性要求; ④ 指标的权重已经确定, 需要计算的是指标对应的隶属度, 将现场监测结果按照 3.3 节内容简单计算即可, 符合可操作性要求; ⑤ 评估模型中的指标体系采用层次分析法, 符合层次性要求。

参考文献

- [1] Huang, H., Wang, T., Ben, K., *et al.* (2019) Life-Cycle Assessment of Emerging CO₂ Mineral Carbonation-Cured concrete Blocks: Comparative Analysis of CO₂ reduction Potential And optimization of Environmental Impacts. *Journal of Cleaner Production*, **241**, Article ID: 118359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118359>
- [2] Vyas, G.S., Jha, K.N. and Patel, D.A. (2019) Development of Green Building Rating System Using AHP and Fuzzy Integrals: A Case of India. *Journal of Architectural Engineering*, **25**, Article ID: 04019004. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000346](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000346)
- [3] Ali, H.H. and Al Nsairat, S.F. (2008) Developing a Green Building Assessment Tool for Developing Countries—Case of Jordan. *Building and Environment*, **44**, 1053-1064. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.015>
- [4] Azizian, M.F. and Nelson, P.O. (2003) Environmental Impact of Highway Construction and Repair Materials on Surface and Ground Waters: Case study. Crumb Rubber Asphalt Concrete. *Waste Management*, **23**, 719-728. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(03\)00024-2](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(03)00024-2)
- [5] 张健. 高速铁路绿色施工节材与材料资源利用[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.
- [6] 辛军. 铁路隧道施工环境保护、水土保持的重要性分析[J]. 住宅与房地产, 2019(24): 197.
- [7] 刘伟, 付海陆, 耿伟, 等. 天目山隧道施工废水特征分析及处理[J]. 隧道建设, 2017, 37(7): 845-850.
- [8] 纪真. 节能环保水压爆破技术在铁路隧道施工中的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(S1): 203-205.
- [9] 高昕. 隧道施工噪声产生的原因分析及解决措施[J]. 电声技术, 2019, 43(7): 14-16+25.
- [10] 吕向红. 隧道施工中粉尘控制方法研究[J]. 环境科学与管理, 2018, 43(12): 79-82.
- [11] 罗鉴银, 傅瓦利. 岩溶地区开挖隧道对水资源的影响——以渝合高速公路隧道为例[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 28(1): 154-156+160.
- [12] 邓朗妮, 黄如嘉. 基于价值工程的绿色施工方案评价[J]. 施工技术, 2007, 36(S1): 449-451.
- [13] 卢国春, 卢克强, 汪仲琦. 绿色施工在北京国美商都 A 区工程的实施[J]. 施工技术, 2009, 38(11): 42-45.
- [14] 段春伟. 绿色施工在某公共建筑中的实施[J]. 施工技术, 2009, 38(11): 49-51.