

高速公路项目全生命周期的水环境保护效果评价研究

宋联杰^{1,2}

(1. 中国十九冶集团有限公司,成都 610017;2. 重庆大学 管理科学与房地产学院,重庆 400044)

摘要:为了解决高速公路项目全生命周期的水环境保护效果问题,本研究系统地梳理了熵+模糊综合评价法建立过程。首先,通过网络平台筛分评价指标,从规划设计期、建设期和营运期识别出关于水环境的29个评价指标。采用问卷调查方法对水环境保护效果的评价体系进行研究分析,删减了2个不重要的指标,形成27个关键评价指标体系。其次,采用熵值法计算出评价指标的权重,构建出评语集,确定单因素评价矩阵,建立了高速公路项目全生命周期水环境保护效果的评价模型。最后,通过建立的评价模型实证分析,深度研究了中国西南地区某高速公路项目的水环境保护问题。案例项目的环保效果得分为89.95分,综合水环境保护效果评语等级为良好,其中的营地水系保护效果和隧道水系保护效果低于90分,可提升空间大。进而找出项目建设影响水环境保护效果的不利因素,加强了相关水环境保护措施的投入,以此来提高水环境保护的效果。本研究系统梳理了高速公路项目全生命周期的水环境保护效果评价模型的建立过程,对中国西南地区某高速公路项目进行评价分析,验证了评价模型的实用性,提高了项目建设的环保效果。

关键词:高速公路;全生命周期;水环境保护;评价模型;熵值法;模糊综合评价法

EVALUATION ON WATER ENVIRONMENT PROTECTION EFFECT IN THE WHOLE LIFE CYCLE OF HIGHWAY PROJECT

Song Lianjie^{1,2}

(1. China 19th Metallurgical Corporation, Chengdu 610017, China;

2. School of Management Sciences and Real Estate, University of Chongqing, Chongqing 400044, China)

Abstract: In the construction of expressway project, the attention to water environment protection is not perfect, the evaluation model of water environment protection effect in the whole life cycle of expressway project is not targeted, many environmental problems, and the measures to solve related water environment protection problems are not perfect. In order to solve the problem of water environment protection effect in the whole life cycle of expressway project, this study systematically combs the establishment process of entropy + fuzzy comprehensive evaluation method. First of all, through the screening and evaluation indicators of the network platform, 29 evaluation indicators about the water environment were identified from the planning and design period, construction period and operation period. The questionnaire survey method was used to study and analyze the evaluation system of water environment protection effect, two unimportant indicators were deleted, and 27 key evaluation index systems were formed. Secondly, the entropy method is used to calculate the weight of the evaluation index, the evaluation set is constructed, the one-factor evaluation matrix is determined, and the evaluation model of the water environment protection effect in the whole life cycle of the highway project is established. Finally, through the empirical analysis of the evaluation model, the water environment protection of a highway project in southwest China. The environmental protection effect of the case project was 89.95 points, and the comprehensive water environment protection effect was good, among which the camp water system protection effect and tunnel water system protection effect were less than 90 points, which could improve the large space. Then, we find out the adverse factors that affect the construction of the project, and the investment of relevant water environment protection measures is strengthened, so as to improve the effect of water environment protection. This study systematically combs the establishment process of the evaluation model of water environment protection effect in the whole life cycle of expressway projects, evaluates and analyzes a highway project in southwest China, verifies the practicability of the evaluation model, and improves the environmental protection effect of the project construction.

Keywords: highway; full life cycle; water environment protection; evaluation model; entropy method; fuzzy comprehensive evaluation method

0 引言

资源短缺和环境污染是全人类面临的共同问题^[1]。高速公路的建设会引起生态系统结构和承载能力的变化^[2],对全球自然环境产生了巨大影响,政府和承包商都具有建设过程保护环境的紧迫性^[3]。各国采取的环保政策有所不同,中国环境生态系统侧重于污染缓解,而美国环境生态系统侧重于对人类健康的影响^[4]。绿色施工在建筑周期中是1个非常重要的阶段,对于践行绿色施工,需要对整体方案设计进行优化,从规划设计阶段就要考虑绿色施工的整体要求,为绿色施工提供基础条件^[5]。绿色施工的层次高于文明施工,且比文明施工更严格^[6]。高速公路的环境保护是1个系统问题,贯穿于整个项目的规划设计、施工和营运等每个阶段^[7]。环境影响评价是环境科学的核心内容^[8]。高速公路项目是一个复杂而又模糊多变的综合体,适用于模糊综合评价法^[9]。在高速公路项目整个生命周期中,对水环境影响最大的阶段是规划设计期、建设期和营运期。从高速公路项目涉及的水环境构成上划分,水环境保护效果主要分为江河水系保护效果、营地水系保护效果、隧道水系保护效果、服务区水系保护效果和农田水系保护效果五个方面。

1 构建评价指标体系

1.1 初筛评价指标

水污染产生的原因是水体受自然或人为因素影响,使得水体的感性形状、物理化学性能、化学成分、生物组成和底层状况恶化^[10]。环境评价的体系应该由评价阶段、评价要素、评价指标和评价等级组成^[11]。评价的环境要素主要有生态环境水土保持、地表水环境、声环境、环境空气、社会经济、景观等,具体项目评价的环境因子应经过环境影响识别与筛选后确定^[12]。影响公路环境评价质量的重要因素是环境本身和人对环境的控制这2个方面^[13],结合知网、万方、维普、百度和谷歌等平台搜索关于高速公路项目水环境保护效果的内容,搜索的关键词包括“高速公路”“环境评价”“水环境”“环境保护”“绿色施工”“全生命周期”“江河水系保护”“营地水系保护”“隧道水系保护”“服务区水系保护”和“农田水系保护”等。梳理高速公路项目水环境保护效果影响因素,以水环境保护效果维度和全生命周期维度初步筛选备用评价指标,最后整理出29个评价指标,评价指标的编码如表1所示。

表1 水环境保护效果评价指标框架

	规划设计期(A)	建设期(B)	营运期(C)
江河水系保护效果(J)	JA-n	JB-n	JC-n
营地水系保护效果(Y)	YA-n	YB-n	YC-n
隧道水系保护效果(S)	SA-n	SB-n	SC-n
服务区水系保护效果(F)	FA-n	FB-n	FC-n
农田水系保护效果(N)	NA-n	NB-n	NC-n

注:* JA-n表示在规划设计期中江河水系保护效果维度的第n个评价指标

1.2 形成关键指标

1.2.1 问卷调查收集数据

本调查问卷分为A和B部分,A部分是被调研专家的背景资料,包含工作性质、职称、从事实践或者研究高速公路项

目的年限、深度参与或研究过的高速公路项目的数量。B部分是基于初步高速公路项目全生命周期水环境保护效果指标体系,共有34个问题。问卷选项按照李克特量表来进行设计,专家根据自身的工作经验和专业能力对指标的重要性进行评分,从1到5的重要性依次递增,其中1代表可忽略,5代表非常重要。本次的问卷调查时间从2022年5—10月,以从事高速公路项目规划、设计、施工和运营的专家、从业人员和学者为发放对象,采用电子表格和纸质问卷等形式,共计发出问卷75份,收回有效的问卷68份,有效率为90.67%。

1.2.2 调查数据信度和效度分析

1) 信度检验。

信度分析可有效得出调查结果受误差的影响程度,可用克隆巴赫系数Cronbach's Alpha来测量^[14]。本文用Spss 26.0求出问卷调查的一级指标(准则层)和二级指标(指标层)的克隆巴赫Alpha,如表2所示。

表2 Cronbach's Alpha系数值表

Cronbach's Alpha系数值	项数
0.827	5
0.956	29

由表2可知:一级指标(准则层)和二级指标(指标层)的克隆巴赫Alpha系数均>0.8,表明样本数据内在一致性较好,计算结果通过信度检验。

2) 效度检验。

效度反映了调查问卷的有效性,效度值越高说明越符合调查对象的特征和实际情况。本文通过Spss 26.0的Bartlett球体检验和KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)适当性参数这2项指标来反映效度情况(表3)。

表3 Bartlett检验和KMO检验

KMO取样适切性量数	.861
近似卡方	1470.579
巴特利特球形体度检验	561
显著性	.000

由表3可知:总体量表的KMO取样适切性量数为0.861>0.5,Bartlett检验的Sig值为0.000<0.05,说明样本变量之间的相关性较强,结果通过效度检验^[14]。

1.2.3 构建水环境保护效果评价指标体系

采用模糊数学中的隶属度分析法初步对高速公路项目水环境保护效果评价指标进行筛选,留下对水环境保护效果评价比较重要的指标,形成水环境保护效果关键指标体系。

根据《模糊集合论及其应用》^[15]一书中隶属度向量分析法的加权平均原则对集合中的元素进行隶属度分析,以问卷选项中重要、非常重要2个分数标准构成区间边界,计算每个指标(x)对于该区间的隶属度,去掉隶属度<0.5的指标,剩下的评价指标为关键指标。

隶属度的计算公式为:

$$R_i = \frac{P_1 + 0.5P_2}{P}$$

式中: R_i 为第*i*个指标的隶属度值; P 为专家的总人数; P_1 为选择非常重要的专家人数; P_2 为选择重要的专家人数。

通过对计算结果的分析,29个评价指标中仅有“水系迁移率(YC-2)”的隶属度为0.485和“结构抗渗等级(FA-2)”为0.471,其余均>0.5,剩下的27年评价指标构成水环境保护效果评价指标体系。

2 建立评价指标模型

2.1 熵值法确定评价指标的权重

1) 构建评价矩阵。

评价矩阵由不同的专家对环境保护重要性进行打分。假设有 m 个评价指标, n 个打分的专家,按照定性和定量的方法得到多评价对象的多指标矩阵 X 。

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: m 为指标数量; n 为样本容量; $X_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n)$ 为第 j 个样本对 i 个指标的打分情况。

2) 标准化数据。

在评价指标体系中,各个指标的内容、量纲和优劣标准等方面有所不同,因此有必要把指标的评分值转化为相对统一的尺度。此模型采用极差标准法对原始数据进行标准化处理,从而可得到能相对比的数据。采用专家打分法进行打分,打分值均为正值,具体的标准化公式如下:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$$

3) 计算熵和熵权。

第 i 个评价指标的特征比重为:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}}$$

第 i 个指标的熵值为:

$$e_i = -K * \sum_{i=1}^n (P_{ij} * \ln(P_{ij}))$$

$$K = \frac{1}{\ln(n)}$$

式中: n 为样本个数。

第 i 个指标的熵权为:

$$w_{ij} = \frac{1 - e_i}{\sum_{j=1}^m (1 - e_i)}$$

通过熵权法计算得出评价指标的权重如表4所示。

2.2 确定评语集

评语集是对各个影响因素进行评判的集合,表达方式为评价结果 $Q = \{Q1, Q2, \dots, Qn\}$, $Q_j = (j-1, 2, \dots, n)$ 代表评价结果。对于本研究来说,采用5个评价等级建立评语集,即

$$Q = \{Q1, Q2, Q3, Q4, Q5\}$$

式中: Q 表示为评语集, $Q1$ 为优秀, $Q2$ 为良好, $Q3$ 为一般, $Q4$ 为及格, $Q5$ 为不及格(表5)。

2.3 确定单因素评价矩阵

在构建评价矩阵后,需要对每个影响因素进行量化评价分析,然后根据每个专家的评分情况来确定从单因素来看被评价的对象对各个评价等级的 $Q_j(j=1,2,3,4,5)$ 模糊子集的

表4 高速公路项目水环境保护效果指标权重值

准则层指标	指标权重	指标层指标	指标权重
江河水系 保护效果 U1	0.2649	桥墩结构形式 U11	0.0171
		桥梁走向合规性 U12	0.0200
		桥梁施工方式影响 U13	0.0191
		机械漏油事故次数 U14	0.0961
		施工材料污染程度 U15	0.0961
营地水系 保护效果 U2	0.1337	污水处理效果 U16	0.0164
		营地位置合理性 U21	0.0201
		生活污水排放量 U22	0.0394
		污水处理设施规范性 U23	0.0332
		生产废水的排放水质 U24	0.0189
隧道水系 保护效果 U3	0.1345	营地复原情况 U25	0.0220
		隧道走向合理性 U31	0.0236
		地下含水层破坏情况 U32	0.0380
		涌水事故次数 U33	0.0191
		生态用水泄漏情况 U34	0.0188
服务区水系 保护效果 U4	0.1703	隧道衬砌排水影响程度 U35	0.0349
		服务区位置合理性 U41	0.0623
		排污口合规性 U42	0.0362
		项目服务设施污水产生量 U43	0.0362
		污水渗漏情况 U44	0.0197
农田水系 保护效果 U5	0.2966	污水排放情况 U45	0.0160
		公路走向合规性 U51	0.0380
		征地合法性 U52	0.0261
		水土流失情况 U53	0.0647
		穿越灌沟渠方式 U54	0.0378
		灌溉水系运行状况 U55	0.0647
		水质达标率 ^[16] U56	0.0653

表5 评语集表

评价等级	优秀	良好	一般	及格	不及格
评分值	100~90	90~80	80~70	70~60	60以下
内容	完全满足要求	基本满足要求	部分满足要求	少部分满足要求	不满足要求
标准	全部实现目标	大部分实现目标	实现部分目标	实现有限目标	没有实现目标

隶属度,进而得到模糊评价矩阵 R 。

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{m5} \end{bmatrix}$$

其中, $r_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,3,4,5)$ 为某个被评价对象的第 i 个子因素指标 U_i 对第 j 级评语 Q_j 的隶属度,即子因素指标获得 Q_j 评语的比率。

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}}{N}$$

式中: r_{ij} 为对于第 i 个指标,其属于第 j 级评语的可能性程度; N 为评价人员总数; S_{ij} 为认为第 i 个指标属于第 j 级评语的评价人员数量。

2.4 建立评价模型

模糊综合评价的思路是根据权重和隶属度矩阵计算得到某个指标的综合隶属度矩阵,再根据综合隶属度矩阵和评语集计算得到项目水环境保护效果的综合分数^[17]。

1) 计算综合隶属度矩阵。

确定综合隶属度。综合隶属度矩阵由指标权重矩阵与隶属度矩阵相乘得到。按照隶属度原则,综合隶属度向量 A 中的最大值所对应的评价等级即为水环境保护效果评价的最终等级:

$$A = W^T * R = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T * \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{m5} \end{bmatrix}$$

$$= (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$$

2) 求出水环境保护效果的综合分数。

在综合隶属度向量的基础上,根据指标评价集对应分值,计算出项目水环境保护效果评价的最终得分 S ,由此项目的水环境保护效果评价就综合成为 1 个数值。

$$S = A * Q^T = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) * \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \end{bmatrix}$$

3 案例项目

3.1 中国西南地区某高速公路项目概况

遵义至绥阳高速公路延伸线二分部的起点是 K2+400,终点是 K7+000,路线总长度是 4.6 公里。此段高速公路项目包含了道路、桥梁和隧道工程,涉及的项目类型比较齐全,全路段山高谷深,沟谷狭窄,岸坡陡峻,沟谷以“V”形峡谷为主,地形和地质情况复杂,桥梁等大型构造物分布较广,桥梁区域距离现有的村道较远。公路全长包含了 5 座桥梁,具体名称为郑家湾 1 号桥、学堂堡大桥、鱼洋滩大桥、郑家湾 2 号桥和芙蓉江特大桥,公路全长包含了 2 座隧道,分别为红花 1 号和 2 号隧道,以及一部分路基段涵洞和防护工程等。该高速公路项目的建设周期为 3 年,目前已通车,进入营运阶段。

该高速公路项目地处的水环境复杂,不可控环境因素多。沿线的水系比较发达、穿越的山区沟谷纵横、山峦起伏、农田灌溉水系多、坝区分广和众多沟渠。河流的走向与构造方向一致,河流的整体分布呈树枝状或羽毛状,主要的河流是芙蓉江。场区整体地势比较高,来自于地下水补给的很少,季节对其的影响大,大部分时间地下水位和芙蓉江水位基本持平。

3.2 水环境保护效果评价实施

3.2.1 建立评价因素集

1) 建立一级指标层因素集。

中国西南地区某高速公路项目水环境保护效果 $U = \{$ 江河水系保护效果 U_1 , 营地水系保护效果 U_2 , 隧道水系保护效果 U_3 , 服务区水系保护效果 U_4 , 农田水系保护效果 $U_5 \}$

2) 建立二级指标层因素集。

江河水系保护效果 $U_1 = \{$ 桥墩结构形式 U_{11} , 桥梁走向合规性 U_{12} , 桥染施工方式影响 U_{13} , 机械漏油事故次数 U_{14} , 施工材料污染程度 U_{15} , 污水处理效果 $U_{16} \}$

营地水系保护效果 $U_2 = \{$ 营地位置合理性 U_{21} , 生活污水排放量 U_{22} , 污水处置设施规范性 U_{23} , 生产废水的排放水质 U_{24} , 营地复原情况 $U_{25} \}$

隧道水系保护效果 $U_3 = \{$ 隧道走向合理性 U_{31} , 地下含水

层破坏情况 U_{32} , 涌水事故次数 U_{33} , 生态用水泄漏情况 U_{34} , 隧道衬砌排水影响程度 $U_{35} \}$

服务区水系保护效果 $U_4 = \{$ 服务区位置合理性 U_{41} , 排污口合规性 U_{42} , 项目服务设施污水产生量 U_{43} , 污水渗漏情况 U_{44} , 污水排放情况 $U_{45} \}$

农田水系保护效果 $U_5 = \{$ 公路走向合规性 U_{51} , 征地合法性 U_{52} , 水土流失情况 U_{53} , 穿越灌沟渠方式 U_{54} , 灌溉水系运行状况 U_{55} , 水质达标率 $U_{56} \}$

3.2.2 确定中国西南地区某高速公路项目水环境保护效果评价指标权重

一级指标层(准则层)指标的权重向量

$$W = (0.2649, 0.1337, 0.1345, 0.1703, 0.2966)$$

二级指标层指标的权重向量

$$W_1 = (0.0171, 0.0200, 0.0191, 0.0961, 0.0961, 0.0164)$$

$$W_2 = (0.0201, 0.0394, 0.0332, 0.0189, 0.0220)$$

$$W_3 = (0.0236, 0.0380, 0.0191, 0.0188, 0.0349)$$

$$W_4 = (0.0623, 0.0362, 0.0362, 0.0197, 0.0160)$$

$$W_5 = (0.0380, 0.0261, 0.0647, 0.0378, 0.0647, 0.0653)$$

3.2.3 建立水环境保护效果的单因素评价矩阵

案例项目的目标是评价中国西南地区某高速公路项目全生命周期的水环境保护效果,选择施工项目管理人员、建设单位的管理层、勘察设计人员、监理人员、行业专家和周边群众代表作为调研对象。其中,施工项目管理人员 5 名,建设单位的管理层 2 名,勘察设计人员 2 名,监理人员 1 名,行业专家 3 名,周边群众代表 2 名,参与调查的人员共 15 名。因为参与评价的人员直接与中国西南地区某高速公路项目相关,得到的调研数据具有代表性和真实性,能够充分反映项目的实际情况。

汇总整理得到一级指标的单因素评价矩阵分别为:

$$\text{江河水系保护效果的单因素矩阵 } R_1 = \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{12} \\ R_{13} \\ R_{14} \\ R_{15} \\ R_{16} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 11/15 & 2/15 & 2/15 & 0 & 0 \\ 13/15 & 1/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 11/15 & 3/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 10/15 & 3/15 & 2/15 & 0 & 0 \\ 9/15 & 5/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 8/15 & 5/15 & 2/15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{营地水系保护效果的单因素矩阵 } R_2 = \begin{bmatrix} R_{21} \\ R_{22} \\ R_{23} \\ R_{24} \\ R_{25} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 10/15 & 3/15 & 2/15 & 0 & 0 \\ 6/15 & 5/15 & 4/15 & 0 & 0 \\ 10/15 & 4/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 6/15 & 6/15 & 3/15 & 0 & 0 \\ 10/15 & 3/15 & 2/15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{隧道水系保护效果的单因素矩阵 } R_3 = \begin{bmatrix} R_{31} \\ R_{32} \\ R_{33} \\ R_{34} \\ R_{35} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 9/15 & 5/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 10/15 & 4/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 8/15 & 7/15 & 0 & 0 & 0 \\ 9/15 & 5/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 4/15 & 6/15 & 5/15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{服务区水系保护效果的单因素矩阵 } R_4 = \begin{bmatrix} R_{41} \\ R_{42} \\ R_{43} \\ R_{44} \\ R_{45} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 8/15 & 5/15 & 2/15 & 0 & 0 \\ 10/15 & 3/15 & 2/15 & 0 & 0 \\ 9/15 & 5/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 10/15 & 5/15 & 0 & 0 & 0 \\ 10/15 & 3/15 & 2/15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{农田水系保护效果的单因素矩阵 } R_5 = \begin{bmatrix} R_{51} \\ R_{52} \\ R_{53} \\ R_{54} \\ R_{55} \\ R_{56} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 8/15 & 6/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 9/15 & 6/15 & 0 & 0 & 0 \\ 9/15 & 5/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 9/15 & 5/15 & 1/15 & 0 & 0 \\ 8/15 & 7/15 & 0 & 0 & 0 \\ 10/15 & 3/15 & 2/15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2.4 中国西南地区某高速公路项目的模糊综合评价

单因素评价矩阵和相应的指标权重向量相乘,进行归一化处理得到模糊综合评价集 A_i 。

1)一级模糊综合评价。

江河水系保护效果综合评价集 A_1 :

$$W_1 * R_1 = (0.1744, 0.0642, 0.0263, 0, 0)$$

归一化处理: $A_1 = (0.6584, 0.2423, 0.0993, 0, 0)$

营地水系保护效果综合评价集 A_2 :

$$W_2 * R_2 = (0.0736, 0.0380, 0.0221, 0, 0)$$

归一化处理: $A_2 = (0.5504, 0.2842, 0.1655, 0, 0)$

隧道水系保护效果综合评价集 A_3 :

$$W_3 * R_3 = (0.0703, 0.0472, 0.0170, 0, 0)$$

归一化处理: $A_3 = (0.5228, 0.3508, 0.1265, 0, 0)$

服务区水系保护效果综合评价集 A_4 :

$$W_4 * R_4 = (0.1028, 0.0498, 0.0177, 0, 0)$$

归一化处理: $A_4 = (0.6038, 0.2925, 0.1037, 0, 0)$

农田水系保护效果综合评价集 A_5 :

$$W_5 * R_5 = (0.1755, 0.1031, 0.0181, 0, 0)$$

归一化处理: $A_5 = (0.5916, 0.3475, 0.0609, 0, 0)$

2)二级模糊综合评价。

中国西南地区某高速公路项目水环境保护效果综合评价集 A :

$$A = W * R = (0.5966, 0.3022, 0.1012, 0, 0)$$

3)项目的水环境保护效果得分。

$$\text{分值向量 } V = \left(\frac{100 + 90}{2}, \frac{90 + 80}{2}, \frac{80 + 70}{2}, \frac{70 + 60}{2}, \frac{60 + 0}{2} \right) = (95, 85, 75, 65, 30)$$

把每个指标的综合评价集乘上相对应的分值向量 V , 求出项目的一级评价指标的得分 S_i 和项目的总得分 S 。

表6 中国西南地区某高速公路项目全生命周期的水环境保护效果评价结果

环保效果指标	环保效果得分	评语等级
江河水系保护效果	90.59	优秀
营地水系保护效果	88.85	良好
隧道水系保护效果	88.96	良好
服务区水系保护效果	90.00	优秀
农田水系保护效果	90.31	优秀
综合评价	89.95	良好

3.3 水环境保护效果评价结果分析

3.3.1 项目总体水环境保护效果评价结果分析

对中国西南地区某高速公路全生命周期的水环境保护效果评价分析,案例项目的环境保护效果得分为 89.95 分,综合水环境保护效果评语等级为良好,距离优秀评分线 90 分只差了 0.05 分,优化空间大。整理案例项目水环境保护效果的 5 个维度分数进行对比分析,如图 1 所示。

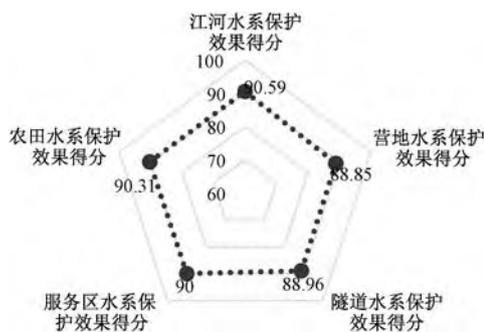


图1 中国西南地区某高速公路项目全生命周期的水环境保护效果雷达图

中国西南地区某高速公路项目全生命周期的水环境保护效果的总体评价为良好,且接近优秀的水平,整体的管理水平较好。在管理桥梁走向合规性、机械漏油事故和生态用水泄漏等方面的表现优秀,需继续保持高水平的建设管理水平;在生活污水排放量和生产废水的排放水质等方面表现良好,仍有一定的提升空间。

3.3.2 江河水系保护效果评价结果分析

桥梁采用了利于排水的墩柱基础,如 1 号大桥的结构形式是预应力混凝土 T 形连续梁柱式墩桩基础(U11)。在设计公路线路时,尽量减少跨越江河的次数,同时合理规划桥梁走向(U12)。在进行桥梁墩柱施工时,大部分结构采用“钢围堰+循环钻孔灌注桩”的施工方式,提升了施工效率,减少了对水

流的干扰(U13)。施工中选用新机械,定期清理机械,加强对设备的维护保养,机械事故漏油的次数很少(U14)。堆放材料规范,对于粉状物料进行覆盖遮挡,同时加强对沥青的保管,避免了随意排放入水体中(U15)。合规处理污水,办理手续后排放,污水处理效果良好(U16)。

3.3.3 营地水系保护效果评价结果分析

施工现场总共设置了多个大小营地,新建的营地全部办理了用地手续,合规合法合理(U21)。一般营地的人数接近100人,总生活人数多,施工营地排放的生活污水有 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、氨氮和动植物油,粪便排放和洗涤污水排放部分超过GB 8978—96《污水综合排放标准》中的二级标准,需要加强排放管理(U22)。营地主要采用隔油池和化粪池来处理生活污水,修筑质量符合设计标准(U23)。在施工营地里面会停放各种施工机械和设置相应的维修区,在进行冲洗时会增加污水量,加大高浓度的SS、COD排放量,污水排放部分超标了(U24)。在营地使用完后及时恢复土地性质,清理了现场,达到政府部门的验收标准(U25)。

3.3.4 隧道水系保护效果评价结果分析

本工程的隧道没有经过水源保护区等敏感地理位置,走向合理,符合规划部门的要求(U31)。隧道掘进中没有破坏地下水含水层,涌水现象极少,在环境的承受范围内,没有造成水质的污染与生态环境的破坏(U32、U33、U34)。在公路建成后,部分隧道段落没有形成完全的封闭堵水措施,形成1个全新的排泄水的基准面,存在隧道内积水现象(U35)。

3.3.5 服务区水系保护效果评价结果分析

本高速公路项目服务区的位置符合设计文件的要求,为高速公路的运营提供了坚实的支撑(U41)。服务区的隔油池和化粪池排污口符合设计文件要求,质量可靠(U42)。服务区的废水主要有餐饮废水、生活废水、厕所污水和冲洗车辆的污水,达标后的水用于绿色植物的种植用水,回收利用效果好,对环境友好(U43、U44、U45)。

3.3.6 农田水系保护效果评价结果分析

高速公路的选线经过政府部门层层审批,符合规划和设计文件的要求(U51)。公路穿越的土地类型有水田、旱地、林地、灌木林地、农村宅基地、果园、其他园地和河流水面等8种类型,占用的土地经过合法审批获得(U52)。植被恢复直接影响水土流失量^[18],路基、桥梁和隧道等直接影响区未发生明显的水土流失,整体可控(U53)。在施工中注意对灌溉水系的保护,采取有效措施防止泥土和材料进入灌溉沟渠造成污染(U54、U55)。经检测,在直接影响范围内的农田水系水质符合标准要求,没有对农作物的生长造成负面影响(U56)。

3.4 提升水环境保护效果的建议

1) 规范生活污水排放。

施工单位的临时驻地尽量选用已有的民用建筑,可利用完善的排污系统完成污水排放。新建的营地应远离河流300m以上,规范化粪池的设计和施工,减少渗漏事件。

2) 加强管理生产废水排放。

生产废水应经过隔油池和沉淀池处理,主要污染物SS去除率控制到80%,pH值要呈现中性或者弱酸性,同时减少其

它油类物质的排放。对于经过处理的生产废水,尽量进行回收利用,不能回收利用部分与雨水等中水分开排放。

3) 减少隧道衬砌排水的不利影响。

加强地下水位的动态观测,一是建立全隧道的地下水压观测网,实时检测地下含水层的水压变动,二是提高水质检测频率。发现漏水现象后,及时全面检查隧道全封闭的措施,采取以堵为主,防排结合的原则减少隧道衬砌排水的不利影响。

4 结束语

本文从水环境保护效果评价的角度建立了一整套高速公路项目全生命周期的水环境保护效果的评价指标体系,并且用评价指标体系来建立环境保护效果的评价模型和对案例项目进行剖析,以此来为高速公路项目建设遇到的水环境问题提供一些管理思路和解决问题的措施。

参考文献

- [1] HUANG Y, QIAO Z, ZHANG H. Evaluation of an economy-technology-green development system for asphalt pavement construction in China based on synergetics[J]. Journal of Cleaner Production, 2021,289: 125132.
- [2] JIA X, ZHOU W, LEI T, et al. Impact analysis of expressway construction on ecological carrying capacity in the Three-River Headwater Region [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2020,7(5): 700-714.
- [3] WU L, YE K, GONG P, et al. Perceptions of governments towards mitigating the environmental impacts of expressway construction projects: A case of China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019,236: 117704.
- [4] WU L, YE K, HASTAK M. A comparison study on environmental policies for expressway construction projects between China and the US: A tiered analysis approach [J]. Journal of Environmental Management, 2022,305: 114298.
- [5] 中华人民共和国建设部. 绿色施工导则[Z]. 2007.
- [6] 徐添花. 高速公路绿色施工评价研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2011.
- [7] 王钦涛,杜辉,孙强,等. 高速公路可持续发展的环境保护问题[C]. 2004.
- [8] 廖原菲. 论环境影响评价制度中的公众参与[J]. 环境工程, 2022(12):300.
- [9] 曹海莹,窦远明,徐双军. 沿海高速公路建设期环境影响量化评价研究[J]. 河北工业大学学报, 2011,40(4): 65-69.
- [10] 贺海萍. 甘肃省公路发展中的环境与生态对策[D]. 西安:长安大学,2007.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑工程绿色施工评价标准[Z]. 中国计划出版社,2010.
- [12] 中华人民共和国交通部. 公路建设项目环境影响评价规范[Z]. 2006.
- [13] Pan-Wu L I, LANG G. Research on application of Chain-pole equilibrium model to highway environmental assessment [J]. Energy Procedia, 2012,16: 790-795.
- [14] 吴明隆. 问卷统计分析实务:SPSS操作与应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,2010.
- [15] 汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983.
- [16] 王帆. 城市高速公路环境保护评价[D]. 西安:西安建筑科技大学,2008.
- [17] 叶珍. 基于AHP的模糊综合评价方法研究及应用[D]. 广州:华南理工大学,2010.
- [18] 文永辉. 山区高速公路建设中的环境保护问题及对策:以贵州省为例[J]. 铜仁学院学报, 2012,14(4): 130-134.