

基于改进LEC法的 水利工程安全风险分级评价

邵 勇^{1,2}, 陶飞飞³, 皮妍玲³, 章 猛³

(1. 江苏省太湖治理工程建设管理局, 江苏 常州 213001; 2. 江苏省水利工程建设局, 江苏 南京 210029;

3. 河海大学 计算机与信息学院, 江苏 南京 211100)

摘要:针对作业条件危险性评价法(LEC)在水利工程安全评价过程中存在的主观性较强以及危险发生的可能性影响因素考虑不充分等问题,提出一种基于LEC法改进的水利工程安全风险分级评价方法。首先基于文献分析与水利工程风险隐患,建立事故发生的可能性评估指标体系,再通过AHP-熵值法计算得到事故发生可能性各影响因素指标的综合权重,在进行专家打分时引入专家可信度得到改进后的各项指标取值,最终计算得出各项指标值以确定危险源风险等级。通过与传统LEC评价法进行对比,改进后的方法可更为客观地确定危险源风险等级,评价结果更符合实际。

关键词:水利工程; 安全管理; 风险分级; LEC法

中图分类号:TV698

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2023)06-0060-0006

Study of safety risk grading evaluation of water conservancy project based on improved LEC method

SHAO Yong^{1,2}, TAO Feifei³, PI Yanling³, ZHANG Meng³

(1. Jiangsu Province Taihu Treatment Project Construction Management Bureau, Changzhou 213001, China;

2. Jiangsu Water Conservancy Engineering Construction Bureau, Nanjing 210029, China;

3. College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Aiming at the problems of risk assessment method for operating conditions (LEC) in the security assessment process of water conservancy projects, such as too strong subjectivity and insufficient consideration of the possibility of dangerous occurrence factors, a safety risk grading evaluation of water conservancy project based on the improved LEC method is proposed. First, establish an accident probability evaluation index system based on literature analysis and the risk database of a water conservancy project. Then the comprehensive weight of each influencing factor index of the accident probability is calculated through the AHP-entropy method. When the expert scoring is carried out, the expert credibility is introduced to obtain the improved values of each index, and the final calculation of the index values to determine the risk level of the hazard source. The comparison with the traditional LEC evaluation method proves that the improved method determines the hazard risk level more objectively, and the evaluation results are more realistic.

Key words: water conservancy project; security management; risk grading; LEC method

收稿日期: 2022-10-09

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020014)

作者简介: 邵勇(1979—),男,高级工程师,博士,主要从事水利工程建设管理工作。E-mail:46875561@qq.com

通信作者: 陶飞飞(1980—),男,博士,副教授,主要从事决策支持系统、大数据技术等工作。E-mail:tffhhu@163.com

在当前对安全生产愈发重视的背景下,水利工程建设的安全生产评价显得极为重要。水利工程安全评价需要根据理论方法与掌握的实际资料,对潜在的风险因素综合评价后进行风险分级,进而采取对应的安全措施。对于水利工程建设中的危险源,LEC评价法能够直观反映其风险状态且简单易操作,因此LEC评价法被广泛应用于水利工程安全评价中。杜春秧等^[1]以某水闸工程为例筛选启闭机房为安全评估对象,分析LEC评价法在水利工程管理安全风险评价中的有效性。但是,传统的LEC评价法在水利工程安全评价过程中存在主观性强以及危险发生的可能性因素考虑不充分等问题。事故发生的可能性仅仅依靠专家经验,并没有大量统计数据作为支撑,往往会造成该评价结果客观上不准确,并且在进行风险评价时应当考虑水利工程施工存在工程规模大、作业环境复杂、作业人员水平参差不齐等特点。

针对以上不足,本文提出一种基于LEC评价法改进的水利工程安全风险分级评价方法。在LEC评价法的基础上建立事故发生的可能性评估指标体系,引入AHP-熵值法确定事故发生可能性的各影响因素指标权重,从而修正指标结果的取值,并且在进行专家打分时引入专家可信度,用于确定 L 、 E 、 C 共3项指标结果的取值,从而计算得出危险源的风险等级。

1 LEC评价法

LEC评价法是对具有潜在危险性作业环境中的危险源进行半定量的安全评价方法。LEC法根据发生事故的可能性(L)、暴露于危险环境的频率(E)、事故后果的严重性(C)这3项指标确定作业条件的危险性(D),其表达式为 $D=L \times E \times C$,依据其数值范围再划分风险等级。

2 改进的安全评价法

2.1 评估指标体系的建立

结合水利行业的特点分析,事故的发生往往是由多种因素构成的,其中最基本的因素有人、物、管理、作业环境^[2]。专家在对 L 项指标进行评估时应充分考虑该项指标的影响因素,建立符合水利行业特点的事故发生可能性评估指标体系,能够在一定程度上降低专家主观因素的影响,使结果更加准确,风险分级更贴合实际。

根据事故发生可能性影响因素分析结果,同时

基于相关文献分析和样本水利工程的风险指标库^[3-4],构建以人、物、管理、作业环境的因素为一级指标的评估体系见表1。

表1 事故发生可能性评估指标体系

一级指标	二级指标	指标因素
人的因素 U_1	未持证上岗	U_{11}
	操作规程不规范	U_{12}
	违章作业	U_{13}
物的因素 U_2	作业工具缺陷	U_{21}
	安全救护设施缺失	U_{22}
	防护装置、设施缺陷	U_{23}
管理因素 U_3	安全技术交底制度未落实	U_{31}
	执业健康管理不完善	U_{32}
	未定期检查安全隐患	U_{33}
	事故应急预案及响应缺失	U_{34}
环境因素 U_4	室外作业场地环境不良	U_{41}
	恶劣天气作业	U_{42}
	作业场地杂乱	U_{43}

2.2 影响因素的权重

层次分析法(AHP)是目前风险评价中利用较广泛的分析方法。使用层次分析法可以利用一致性检验来确保专家思想和逻辑的统一性,降低各专家主观因素的差异而造成的评估结果差异。采用熵值法对层次分析法得出的指标权重结果进行修正,并利用乘数归一法将这两种方法各自求得的权重进行耦合,使得指标综合权重更加客观。

利用层次分析法计算主观权重,确定影响因素指标集,建立层次分析结构。根据所建立的事故发生的可能性评估指标体系,可知一级指标因素集为 $U=\{U_1, U_2, U_3, U_4\}$,其中人的因素指标 $U_1=\{U_{11}, U_{12}, U_{13}\}$,物的因素指标 $U_2=\{U_{21}, U_{22}, U_{23}\}$,管理因素指标 $U_3=\{U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}\}$,环境因素指标 $U_4=\{U_{41}, U_{42}, U_{43}\}$ 。因素两两比较评分,构造判断矩阵。对于同一层次各因素,将各个影响指标进行两两对比。结合1~9级判断矩阵标度法,用标度将两两比较的指标相对重要性进行量化,得出两两判断矩阵 U 。

计算各项指标权重和判断矩阵的最大特征根值,对判断矩阵进行一致性检验,再计算一致性比率。当一致性比率 ≤ 0.1 时,判断矩阵符合随机一致性指标;当一致性比率 > 0.1 时,认为判断矩阵不符合随机一致性指标,需进行调整修正。后再利用熵

值法计算二级指标客观权重,最终可利用乘数合成归一法计算二级指标的综合权重。

2.3 引入专家可信度

在使用LEC评价法进行风险评价时,关于*L*、*E*、*C*这3项指标结果需要专家给出评分。由于参与评分的专家对指标认识程度不一,以及专家的专业层次也有高低之分,从而针对各项指标评分权重的影响程度也有高低之分。为此,针对水利工程建设施工的特点,建立专家评定组时需要考虑专家的学术权威、专家职称、执业时长、熟悉程度等,即对参加评分的专家进行评价以此引入专家可信度。从以上几个角度考虑建立专家可信度指标集,将这些指标的值经过量化,具体量化标准如表2所示。

3 评价分析

3.1 分析过程

本研究选取采用直接判定法辨识出的某跨河桥梁危险源数据进行分析,如表3所示。

根据所建立的事故发生可能性评估指标体系,邀请5位行业内专家组成风险评价组,邀请专家评价组分别对*L*指标的4个影响因素进行分析,从而形成两两比较矩阵如表4所示。

邀请专家评价组5位专家进行问卷调查。通过1、2、3、4、5这5个分值,分别对事故发生可能性评估体系中的二级指标(人、物、管理和环境等4个影响因素)进行打分,得到4个因素的权重,进而降低

表2 专家可信度量化标准

可信度指标	专家类别及其分值
学术权威	国家级专家库成员10、省级专家库成员8、其他省级专家6
专家职称	正高级10、副高级8、中级6
执业时长	10年及以上10、7年及以上8、5年及以上6
熟悉程度	符合专业(熟悉)10、相关专业(较熟悉)8、专业不符(一般)6

表3 危险源清单

危险源序号	危险源类型	危险源描述
1	脚手架工程	搭设高度24 m以下的落地式钢管脚手架
2	混凝土浇筑	混凝土浇筑
3	建筑物拆除工程	老桥拆除等拆除工作
4	运输车辆	运输车辆安全
5	起重吊装及安装拆卸	涉及桥梁箱梁、钢结构等吊装作业
6	施工道路	车辆安全
7	钢筋场	加工机械的使用安全
8	临时用电工程	供电系统的使用安全
9	油库、油罐作业	汽油、柴油等油品储存区储存量低于临界量
10	消防安全	生活区用电、明火

表4 二级指标两两比较矩阵

人的因素				物的因素				管理因素				环境因素				
	U_{11}	U_{12}	U_{13}		U_{21}	U_{22}	U_{23}		U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}		U_{41}	U_{42}	U_{43}
U_{11}	1	1/2	1/3	U_{21}	1	1/3	1/4	U_{31}	1	2	1/2	1/2	U_{41}	1	2	3
U_{12}	2	1	1/2	U_{22}	3	1	1/2	U_{32}	1/2	1	1/3	1/2	U_{42}	1/2	1	1
U_{13}	3	2	1	U_{23}	4	2	1	U_{33}	2	3	1	1	U_{13}	1/3	1	1
								U_{34}	2	2	1	1				

主观因素对客观结果的影响程度,结果如表5所示。同时,计算出每个评价指标的权重,结果如表6所示。

对风险评价组的5位专家进行可信度量化评价,计算得到各位专家的可信度,结果如表7所示。

3.2 评价结果

共邀请5位行业内专家组成风险评价组,依据传统LEC评价法对危险源进行打分,各风险隐患 L 、 E 、 C 值打分情况如表8所示。

邀请专家评价组对 L 项指标以人(a)、物(b)、管

表5 二级指标评分专家分值统计

风险因素	专家1	专家2	专家3	专家4	专家5
未持证上岗(U_{11})	1	2	1	1	3
操作规程不规范(U_{12})	2	2	2	2	3
违章作业(U_{13})	3	5	2	5	3
作业工具缺陷(U_{21})	2	1	2	1	3
安全救护设施缺失(U_{22})	3	2	2	4	2
防护装置、设施缺陷(U_{23})	2	5	2	5	3
安全技术交底制度未落实(U_{31})	1	2	1	2	2
职业健康管理不完善(U_{32})	3	2	1	2	3
未定期检查安全隐患(U_{33})	3	2	5	2	3
事故应急预案及响应缺失(U_{34})	4	2	2	2	3
室外作业场地环境不良(U_{41})	1	2	1	2	2
恶劣天气作业(U_{42})	1	1	1	2	2
作业场地杂乱(U_{43})	1	2	1	1	1

表6 指标权重计算结果

指标序号	AHP权重	熵值	熵权	组合权重
U_{11}	0.0374	0.9238	0.1486	0.0754
U_{12}	0.0591	0.9905	0.0197	0.0158
U_{13}	0.1184	0.9649	0.0727	0.1168
U_{21}	0.0325	0.9463	0.1115	0.0492
U_{22}	0.0917	0.9723	0.0573	0.0713
U_{23}	0.2116	0.9503	0.1030	0.2958
U_{31}	0.0492	0.9690	0.0023	0.0015
U_{32}	0.0313	0.9609	0.0810	0.0344
U_{33}	0.0915	0.9613	0.0801	0.0995
U_{34}	0.0828	0.9723	0.0573	0.0644
U_{41}	0.1136	0.9690	0.0643	0.0991
U_{42}	0.0442	0.9629	0.0768	0.0461
U_{43}	0.0360	0.9697	0.0628	0.0307

表7 专家可信度量化评分

专家序号	学术权威	专家职称	执业时长	熟悉程度	可信度
1	10	10	10	8	0.29
2	8	10	8	10	0.24
3	10	10	8	6	0.18
4	8	8	8	10	0.19
5	6	8	6	10	0.10

表8 L、E、C值打分情况

危险源 序号	专家1			专家2			专家3			专家4			专家5		
	L	E	C	L	E	C	L	E	C	L	E	C	L	E	C
1	2	3	5	2	5	7	4	5	9	3	3	6	3	1	10
2	2	10	3	2	8	2	3	8	3	4	10	1	3	9	2
3	3	6	15	2	5	12	2	5	15	4	8	10	3	5	12
4	2	3	8	2	7	7	3	5	6	4	6	9	3	6	7
5	2	8	6	2	7	10	3	6	6	5	8	8	4	9	7
6	5	4	3	2	5	3	4	6	2	2	6	3	3	6	2
7	2	6	4	2	5	5	2	6	2	2	6	3	3	6	2
8	2	7	15	3	10	10	3	8	8	5	10	15	4	10	8
9	4	5	5	2	4	7	3	5	6	3	5	5	3	2	7
10	2	6	1	3	5	2	3	6	3	3	4	5	5	6	4

理(c)、环境(d)这4个因素进行打分,具体打分准则可以参考事故发生可能性影响因素评估体系,结果如表9所示。

引入变异系数^[5]作为L项指标离散程度评价指标。变异系数的含义是指总体各单位的标准差与其算数平均数对比的相对数,其计算公式为 $V=\sigma/\bar{x}$,其中V为变异系数,σ为标准差,̄x为算术平均数。将离散程度指标作为L项指标的评价指标,可以反映出L项指标取值是否准确客观。若L项指标取值离散程度越高,表示针对同一项风险源不同专家给出L项指标取值的数据波动幅度过大,则说明专家主观因素影响过大从而评价结果准确性越低,反之则说明评价结果更加准确。

改进前后的L项指标变异系数对比结果如表10所示。根据表10中优化的L项指标值,结合引入的专家可信度计算危险源数据的D值再进行风险分级,结果如表11所示。

4 结 语

本文针对传统的LEC评价法在水利工程安全风险分级评价方面存在的局限与不足,提出了一种基于LEC法改进的水利工程安全风险评价方法,将各项指标经过细化后,再按各影响因素权重取值得到的结果更加客观、精确。使用改进后的评价方法对危险源进行风险分级评价更加符合实际,更具客观性,为水利工程安全风险分级管控工作提供了更加科学的依据。

表9 L项指标细化打分情况

危险源 序号	专家1				专家2				专家3				专家4				专家5			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
1	4	2	3	1	3	3	2	1	2	7	1	2	2	3	4	2	3	5	4	2
2	3	1	3	2	4	2	1	2	3	2	3	3	3	6	2	1	4	3	5	2
3	3	6	3	1	3	1	3	2	4	3	1	3	3	5	3	3	2	5	1	5
4	2	6	1	2	3	3	2	3	2	8	1	3	4	6	2	1	1	6	2	3
5	2	8	2	1	4	3	1	2	3	5	3	2	3	6	3	2	3	6	5	2
6	6	3	2	1	3	2	2	1	3	2	2	3	3	1	4	2	5	4	4	3
7	3	2	2	3	2	4	3	2	2	4	4	2	3	5	2	5	3	4	2	1
8	3	5	2	3	2	5	3	4	3	4	5	3	5	6	3	2	2	3	4	5
9	1	3	4	2	2	4	3	2	2	3	2	2	2	3	5	1	2	2	1	2
10	2	6	4	3	2	6	3	3	3	2	6	3	3	6	3	1	2	6	3	3

表 10 改进前后的 L 项指标变异系数对比

危险源序号	专家1		专家2		专家3		专家4		专家5		V_1	V_2
	L_1	L_2	L_1	L_2	L_1	L_2	L_1	L_2	L_1	L_2		
1	2	2.44	2	2.45	4	3.88	3	2.82	3	3.86	0.2988	0.2359
2	2	1.99	2	2.22	3	2.58	4	3.70	3	3.43	0.2988	0.2690
3	3	3.90	3	1.99	2	2.81	4	3.83	3	3.58	0.2357	0.2522
4	2	3.47	2	2.80	3	4.47	4	3.91	3	3.63	0.2988	0.1675
5	2	4.32	2	2.63	3	3.66	5	4.07	4	4.47	0.4075	0.1926
6	5	3.07	2	2.03	4	2.38	4	2.19	2	4.03	0.3946	0.3001
7	2	2.38	2	3.03	2	3.23	2	3.98	3	2.86	0.2033	0.1890
8	2	3.63	3	3.80	3	3.82	5	4.49	4	3.14	0.3353	0.1277
9	4	2.61	2	3.03	3	2.42	3	2.84	3	1.80	0.2350	0.1868
10	2	4.24	3	4.04	3	3.18	3	3.90	5	4.04	0.3423	0.1053

注: L_1 、 L_2 分别为改进前 L 的取值与改进后的 L 取值, V_1 、 V_2 分别为改进前 L 取值的变异系数与改进后 L 取值的变异系数。

表 11 风险评价指标值

危险源序号	L	E	C	D
1	2.91	3.64	6.89	73.10
2	2.62	9.06	2.28	54.12
3	3.20	5.86	13.03	244.30
4	3.59	5.19	7.49	139.46
5	3.76	7.50	7.44	210.06
6	2.63	4.41	3.40	39.39
7	3.04	5.76	3.49	61.20
8	3.82	8.77	11.84	396.63
9	2.64	4.46	5.86	68.96
10	3.92	5.38	2.66	56.06

参考文献:

[1] 杜春秧,石少忠,王若愚. 基于水利工程管理安全风险评价的LEC法优化设计[J]. 治淮,2019(11):46-48.

[2] 孙环国. 小型水利工程施工过程中质量事故分析[J]. 中国水运,2009(3):2.

[3] 詹敏利,邵亮. 浅议水利工程安全生产管理事故调查与分析[J]. 人民长江,2009,40(21):104-106.

[4] 李照. 浅谈水利工程施工的事故原因与安全控制措施[J]. 建筑工程技术与设计,2015(31):1052.

[5] 王文森. 变异系数:一个衡量离散程度简单而有用的统计指标[J]. 中国统计,2007(6):41-42.