

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.03.016

水电工程施工危险源关联辨识方法及其应用

刘 帅,付成华,杜修娟,肖 新

(西华大学 能源与动力工程学院,四川 成都 610039)

摘 要: 定量分析水电工程施工危险因素导致事故的重要程度,对各个因素需关注的优先顺序做出判断,对危险源大的单个因素做出提前预警。综合作业条件危险性评价方法(LEC)和层次分析(AHP)评价方法,结合工程实例,确定出施工中的风险指数以及危险等级,对施工危险源的单个影响因素进行关联分析,得出单个因素的权重值和危险性排序。最终根据危险性排序表优先处理等级高的危险源,为水电工程施工危险源评价和管理提供依据。

关键词: 水电工程;危险源;LEC法;AHP法;关联辨识

中图分类号: X43

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)03-0086-05

Identification Method of Hydropower Project Construction Hazards Source and Its Application

LIU Shuai, FU Chenghua, DU Xiujuan, XIAO Xin

(Energy and Power Engineering School of Xihua University, Chengdu, Sichuan 610039, China)

Abstract: Quantitative analysis of construction risk factors which lead to accidents, and prioritize these factors so that early warning can be made regards to the most dangerous factor. Integrated risk assessment methods (LEC) and analytic hierarchy process (AHP) evaluation methods were adopted in this research to an engineering example, the risk level of all the risk factors was determined, individual effects of one single risk factors was evaluated and their sequence was acquired. Eventually according to the sequence of high priority risk hazards, this research can provide basis for hazard assessment and management of hydropower project construction.

Keywords: hydropower project; hazard source; LEC method; AHP method; relational identification

随着我国水电工程的建设和发展,特别是我国中西部地区,高山峡谷地形复杂,施工集中,环境恶劣,施工中频频出现各种各样的问题,安全隐患不容忽视^[1]。为了作业人员和项目建设的安全,应该加强对安全隐患风险的预估,对施工危险源作出合理评价,为施工危险源的有效管理提供依据^[2]。

在1990年初,陈宝智^[3]就对危险源的理论以及划分原则进行了研究,随后不同的学者开始对危险源来进行定义。由于各行各业的不同特点,对危险源的定义也不统一,同时危险源也分很多种类,比如物理类、化学类、生物类、心理生理类、行为类及其

它。在水电工程中施工危险源是指可能导致人身伤亡或职业疾病、经济损失、工作环境破坏或这些情况组合的施工作业系统的作业点、工序和部位^[4]。而在同一个作业的不同施工过程中,危险因素也是不一样的,要结合实际工程与地理位置等来分析出主要的而忽略次要的因素,做到着重就轻,就需要通过辨识针对不同类别而划分其危险级别以及重要程度。目前,我国关于危险源辨识方面的研究还不够,开展的理论和实践研究也不多^[5]。我国现行的法律法规及技术规范、规程具体涉及施工危险源内容也不多,因此,对水电工程施工危险源进行辨识分析和

收稿日期:2016-02-06

修稿日期:2016-03-04

基金项目:西华大学流体及动力机械省部共建教育部重点实验室学术成果培育项目(SBZDZY-11-9)

作者简介:刘 帅(1990—),男,四川通江人,硕士研究生,研究方向为水利工程建设管理及安全技术。E-mail: 435969504@qq.com

通讯作者:付成华(1978—),女,湖北襄阳人,副教授,主要从事水利水电工程的教学和研究工作。E-mail: fuchh_xhu@163.com

有效管理非常必要^[6]。

危险源的辨识方法主要有作业条件危险性评价法、层次分析法、专家打分法、调查法等。由于水电工程施工危险源的影响因素和评价指标很多,且这些因素也不固定而是一个动态的系统^[7],因此,本文综合应用 LEC 和 AHP 对危险源进行关联性分析,先对施工作业单元进行 LEC 初判,在此基础上,结合实际工程,针对施工危险源层次结构中的各个因素进行比较判断,建立因素之间的比较矩阵,定量确定危险源等级,分析危险源的危险因素,进而做到有效管理^[8]。

1 危险源关联辨识方法

1.1 作业条件危险性评价法

作业条件危险性评价法(LEC)是由美国安全专家 K.J. 格雷厄姆和 K.F. 金尼提出的,在一些危险的作业环境中的危险性进行半定量的预测方法,用于定量评价施工人员在所进行作业中出现的潜在危害与危险性^[9]。作业条件危险性评价法被用于水电工程施工中,简单快捷,只需求出相关参数即可初步判断,但在使用过程中,作业条件危险性评价法存在明显缺点:参数值来自于专家的预判和经验,参数值会因人而异,缺乏指导性。因此作业条件危险性评价法只是一种半定量的评价方法,可用于初步判断^[10]。

作业条件危险性评价法(LEC)通过公式(1)三个因素量化值的乘积得到一个新的数值 D :

$$D = L \times E \times C \quad (1)$$

式中: L 为事故发生的可能性,参数取值分别为{10 - 发生的概率性很高;6 - 发生的情况比较高;3 - 发生的概率性一般,不是经常发生;1 - 发生的次数较小;0.5 - 极低情况下才能发生;0.2 - 发生的情况很难;0.1 - 在实际中不可能发生}; E 为人处在在危险环境下的频率值,分值为{10 - 经常袒露;6 - 袒露在每天的工作时间内;3 - 每周袒露一次;2 - 每月袒露一次;1 - 每年袒露一次;0.5 - 几乎很少暴露}; C 为发生事故后会造成的后果,取值分别为{100 - 大灾难,10人以上死亡或重伤50人以上;40 - 灾难,3人~9人死亡或重伤10人~49人;15 - 非常严重,1人~2人死亡或重伤6人~9人;7 - 严重,重伤;3 - 重大伤残;1 - 引人注目,需要救护}。计算得出 D 值按表1依据 D 值区间将施工作业的危险性分成几个危

险等级,其中将 D 值大于 159 的初步选定为危险作业,进一步进行危险源关联辨识^[11]。

表1 危险性参数值及风险级别

参数 D 值	伤害水平	危害级别
≥ 320	非常危险,停止作业	1
159 ~ 319	较大危险,及时整改工作	2
69 ~ 159	比较危险,必要时注重及整改	3
20 ~ 69	一般危险,稍微注意	4
< 20	较小危险,在可控范围	5

1.2 层次分析法

层次分析法(AHP)是由美国著名的运筹学 Saaty 教授所提出,将一个整体的复杂问题分割成单个组成元素,又根据这些因素之间的关系以及与上层的主次分组构成一个递阶层次结构,最后进行相互比较进而确定整个层次图中各因素的相对重要性^[12]。AHP 法的分析步骤如下:

(1) 结合实际分析所研究的整体中各要素之间的相互关系,进而确定系统整体递阶层次结构;

(2) 针对同一层次结构面的要素进行与上层的对应准则下元素的相互比较,建立比较判断矩阵;

(3) 计算各层次所对应的准则下不同比较因素对该层次准则的相对权重;

(4) 计算各不同元素对系统整体的综合权重,同时对其排序比较^[13]。

运用 AHP 中,比较矩阵的建立以及一致性检验十分重要,比较矩阵需要专家按照 Saaty 提出的 1~9 判断矩阵标度原则(见表2)对因素层和子因素层间各元素的相对重要性给出判断,统计综合即可得到判断矩阵^[14]。

表2 1~9 标度表

标度	含 义
1	两两比较等同重要
3	两两比较,前者更主要
5	两两比较,后者不及前者明显主要
7	两两比较,前者较大主要
9	两两比较,前者极端主要
2,4,6,8	处在上述范围内的重要情况
倒数	若前者元素与后者的重要性之比为 a ,那后者元素与前者的的重要性之比为 $1/a$

接下来采用求和法计算每个比较矩阵的最大特征根及对应特征向量^[15],并计算矩阵的最大特征根 λ_{\max} ,对矩阵进行一致性检验, $C_r = C_i/R_i$ 。其中 $C_i = (\lambda_{\max} - n)(n - 1)$,式中: λ_{\max} 为一致性矩阵的

最大特征根, n 为成对比较的因子的个数; R_i 为随机一致性指标, 其值由表 3 确定^[16]。

表 3 随机一致性指标 R_i 值

N	1	2	3	4
R_i	0	0	0.58	0.90

通过分析施工中危险因素, 以及它所起到作用的程度, 按照法律法规等一些相关的规定, 将水电工程施工的危险因素按其性质分为三层^[17]。

(1) 目标层: 水电工程施工危险源 (A)

(2) 中间层: 作业人员 (B_1)、管理 (B_2)、物或机械设备 (B_3)、作业环境 (B_4) 四大准则

(3) 最底层: 主承包企业资质 B_{11} 、劳务企业资质 B_{12} 、施工人员技能 B_{13} 、特种人员持证上岗 B_{14} 、安全教育程度 B_{15} 、安全管理体系 B_{21} 、安管人员持证上岗 B_{22} 、安全防护标志 B_{23} 、危险源监控 B_{24} 、安全监督检查 B_{25} 、机械设备性能 B_{31} 、设备荷载试验 B_{32} 、特种设备检测验收 B_{33} 、安全设施及装置 B_{34} 、机械设备维修保养 B_{35} 、施工部位自然环境条件 B_{41} 、施工部位地质条件 B_{42} 、施工部位受限空间条件 B_{43} 、施工部位交叉干扰条件 B_{44} 、施工作业通道条件 B_{45} 。

2 实例应用分析

以某实际工程中一路基段施工为例, 主要施工作业单元有土石方开挖回填作业、爆破作业、运输装卸、填筑碾压、挡墙施工、钻孔作业、灌注作业等, 在部分路段的高边坡施工中, 主要施工作业单元有高边坡施工锚固作业、高处作业、脚手架搭拆作业等。

2.1 初步筛选

现场专家通过实地考察以及与施工人员的沟通综合不同意见, 最终得出一个分值, 用 LEC 法对每个施工作业进行计算:

(1) 土石方开挖回填: $D = L \times E \times C =$

$$3 \times 6 \times 4 = 72 < 160$$

(2) 爆破作业: $D = L \times E \times C = 6 \times 6 \times 40 =$

$$1440 > 160$$

(3) 脚手架搭拆作业: $D = L \times E \times C =$

$$3 \times 6 \times 40 = 720 > 160$$

(4) 高处作业: $D = L \times E \times C = 10 \times 6 \times 7 =$

$$420 > 160$$

由以上计算结果, 爆破、脚手架搭拆、高处作业计算 D 值均大于 160, 被确定为危险作业进入危险

源的进一步分析。

2.2 关联辨识

选取爆破作业做进一步的分析, 运用 AHP 法具体分析单项因素对整体的危险程度。专家通过比较每一个危险源的重要性可初步得出每一项的标度值, 但是由于专家的判断具有一定的主观性, 因此需对专家评判进行一致性检验。如检验不通过, 就需重新评价, 然后再检验, 直到通过一致性检验为止。而一致性检验具体有两种方法, 一是通过计算算出一致性随机比例 C_r , 若 $C_r < 0.1$, 即认为一致性检验通过。二是通过 MATLAB 软件进行一致性的检验。

通过对爆破作业的分析, 专家按照表 2 再结合实际工程得出作业人员、管理、物或机械设备三者之间的重要程度一样, 取值为 1, 而作业环境相对作业人员与物或机械设备明显重要均取值为 5, 对管理更重要取值为 3, 由此得出水电工程施工危险源的比较矩阵, 见表 4。

表 4 水电工程施工危险源比较矩阵

A	B_1	B_2	B_3	B_4	权重 W_A
B_1	1	1	1	1/5	0.133
B_2	1	1	1	1/3	0.151
B_3	1	1	1	1/5	0.133
B_4	5	3	5	1	0.583

这里采用根法来计算表 3 中各元素的向量 W_i :

$$W_1 = \sqrt[4]{M_1} = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 1 \times \frac{1}{5}} = 0.6687,$$

$$W_2 = \sqrt[4]{M_2} = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 1 \times \frac{1}{3}} = 0.7598,$$

$$W_3 = \sqrt[4]{M_3} = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 1 \times \frac{1}{5}} = 0.6687,$$

$$W_4 = \sqrt[4]{M_4} = \sqrt[4]{5 \times 3 \times 5 \times 1} = 2.9428$$

将向量 W_i 与向量和值 $\sum W = 5.04$ 相比即可得每一向量所占的比重即权重向量 $W_A = (0.133, 0.151, 0.133, 0.583)^T$

采用同样的方式得到作业人员、管理、物或机械设备、作业环境的比较矩阵见表 5~表 8。

表 5 作业人员 B_1 各指标的比较矩阵

B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	W_{B_1}
B_{11}	1	1	1/3	1	1	0.143
B_{12}	1	1	1/3	1	1	0.143
B_{13}	3	3	1	3	3	0.428
B_{14}	1	1	1/3	1	1	0.143
B_{15}	1	1	1/3	1	1	0.143

表 6 管理 B_2 各指标的比较矩阵

B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	B_{25}	W_{B_2}
B_{21}	1	1	1	3	3	0.273
B_{22}	1	1	1	3	3	0.273
B_{23}	1	1	1	3	3	0.273
B_{24}	1/3	1/3	1/3	1	1	0.091
B_{25}	1/3	1/3	1/3	1	1	0.091

表 7 物或机械设备 B_3 各指标的比较矩阵

B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}	B_{34}	B_{35}	W_{B_3}
B_{31}	1	3	3	1	3	0.333
B_{32}	1/3	1	1	1/3	1	0.111
B_{33}	1/3	1	1	1/3	1	0.111
B_{34}	1	3	3	1	3	0.333
B_{35}	1/3	1	1	1/3	1	0.111

表 8 作业环境 B_4 比较矩阵

B_4	B_{41}	B_{42}	B_{43}	B_{44}	B_{45}	W_{B_4}
B_{41}	1	1	3	3	1	0.273
B_{42}	1	1	3	3	1	0.273
B_{43}	1/3	1/3	1	1	1/3	0.091
B_{44}	1/3	1/3	1	1	1/3	0.091
B_{45}	1	1	3	3	1	0.273

对最底层的风险因素,按式(2)计算最底层对目标层的合成权重即综合权重 W_G ,风险因素综合权重见表 9。下式中各因素的综合权重和 W_A 的计算方法一样,这里就不在赘述。

$$W_G = (W_{B_1}, W_{B_2}, W_{B_3}, W_{B_4}) W_A \quad (2)$$

表 9 风险因素综合权重表

风险因素	重要度	风险因素	重要度
B_{11}	0.019	B_{31}	0.044
B_{12}	0.019	B_{32}	0.015
B_{13}	0.057	B_{33}	0.015
B_{14}	0.019	B_{34}	0.044
B_{15}	0.019	B_{35}	0.015
B_{21}	0.041	B_{41}	0.159
B_{22}	0.041	B_{42}	0.159
B_{23}	0.041	B_{43}	0.053
B_{24}	0.014	B_{44}	0.053
B_{25}	0.014	B_{45}	0.159

通过风险因素综合权重表,可以将最底层所有因素对目标层的整体影响做一个排序,不仅以最底层因素的权重对其所对应的中间层分析,还对整体作业进行量化评价。排序如表 10 所示。

表 10 风险因素权重排序

排序	风险因素	权重	排序	风险因素	权重
1	施工部位自然环境	0.159	11	安全防护标志	0.041
2	施工部位地质条件	0.159	12	主承包企业资质	0.019
3	施工作业通道条件	0.159	13	劳务企业资质	0.019
4	施工人员技能	0.057	14	特种人员持证上岗	0.019
5	施工部位受限空间	0.053	15	安全教育程度	0.019
6	施工部位交叉干扰	0.053	16	设备荷载试验	0.015
7	机械设备性能	0.044	17	特种设备检测验收	0.015
8	安全设施及装置	0.044	18	机械设备维修保养	0.015
9	安全管理体系	0.041	19	危险源监控	0.014
10	管理人员持证上岗	0.041	20	安全监督检查	0.014

由以上可知整个作业的危险源的整体排序,由前文的层次划分,分别将中间层所对应支配的最低层因素的权重相加,即可得到作业环境 B_4 的权重和为 0.583,管理 B_2 的权重值为 0.151,作业人员 B_1 的权重值为 0.133,物或机械设备 B_3 的权重和为 0.133,为了更加方便地运用,将危险源等级按权重值分为 A、B、C 三类,如表 11 所示,权重值在 0~0.3 为 A 类,化为较大危险源;0.3~0.5 为高度危险源;0.5~1 为重大危险源。

表 11 危险源等级

分类	A	B	C
权重值	0~0.3	0.3~0.5	0.5~1
等级	较大危险源	高度危险源	重大危险源

根据量化计算结果,爆破施工作业中作业环境的危险性为 C 级,管理的危险性、作业人员与物或机械设备的危险性为 A 级,因此需加强对作业环境的关注和整改,尤其注重施工部位自然环境、地质条件和通道条件的整改。

3 结 语

综合应用 LEC 和 AHP 评价方法,在危险源初步判断基础上,运用 AHP 建立层次结构对危险源因素进行细分,将一个复杂的工作条理化。通过对施工危险源的单个影响因素进行关联分析,得出单个因素的权重值,不仅可以对危险源单个因素做出提前

预警,还能通过计算的权重值对各个因素需关注的优先顺序做出判断,便于施工人员及时有针对性地做出防范措施,不仅节省了大量的时间,还提高了危险源的管理效率。同时,关联辨识方法条理清楚,简单适用,不仅可以用于水电工程施工危险源的辨识中,还可扩展运用于采矿、道路建设、建筑等行业。

参考文献:

- [1] 朱渊岳,付学华,李克荣,等.改进LEC法在水利水电工程建设期危险源评价中的应用[J].中国安全生产科学技术,2009,5(4):51-54.
- [2] 孙振勇,李钟宁.水利工程施工安全管理探讨[J].山东水利,2015(11):46-48.
- [3] 陈宝智.安全原理[M].北京:冶金工业出版社,1995:16-19.
- [4] 姜秀慧,朱渊岳.基于《施工企业安全生产评价标准》的水利水电施工工程项目重大危险源评价[J].中国安全生产科学技术,2012,8(10):185-190.
- [5] 侯志强,刘敏燕,彭思义,等.水运工程施工重大危险源风险评价关键技术研究[J].中国安全科学学报,2009,19(5):135-139.
- [6] 吕红安,王鹏,冯柳,等.建设工程施工危险源的辨识、风险评价与控制[J].华中科技大学学报(城市科学版),2006,23(1):43-45.
- [7] 曾倩彬,赵伟亮,赵林.水利水电工程施工重大危险源辨识的量化分析与应用[J].水利水电施工,2010(6):96-100.

- [8] 郭秀红.浅析施工现场危险源辨识存在的问题及处理对策[J].建筑安全,2013,28(1):18-20.
- [9] 陈宝才,申亮,雍开平,等.风险管控石油集输站库安全管理中的应用[J].安全,2013(12):19-22.
- [10] 邓军,李贝,张兴华.LEC法在建筑施工企业安全生产事故隐患排查治理中的运用[J].安全与环境工程,2014,21(1):103-107.
- [11] 李建芳,赵茜瑶,李琛亮,等.基于改进的层次法的防渗方案优化分析[J].水利与建筑工程学报,2012,10(5):168-171.
- [12] 李浩瑾,李俊杰,康飞.基于PSO-AHP的大坝致灾因子权重计算[J].防灾减灾工程学报,2010,30(6):674-679.
- [13] 严于鲜.层次分析法在线性回归方程中的应用[J].四川理工学院学报,2016,19(5):99-101.
- [14] 邓雪,李家铭,曾浩健,等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.
- [15] 王醒,马斌,纪琨.基于模糊综合评价的尾矿库安全评价研究[J].水利与建筑工程学报,2015,13(3):125-129.
- [16] 朱春生,张琦,冉红亮,等.工程装备测试性综合评价方法研究[J].中国机械工程,2011,22(9):1044-1048.
- [17] 施浩然,宋文武,付成华,等.水利水电工程施工重大危险源辨析及应用[J].西华大学学报(自然科学版),2013,32(6):84-89.

(上接第 18 页)

- [4] 张军,侍克斌,高亚平,等.“圆中环”沉沙排沙池浑水沉沙特性[J].农业工程学报,2014,30(13):86-93.
- [5] 张军,侍克斌,高亚平,等.圆中环沉沙排沙池流场三维数值模拟研究[J].水力发电学报,2015,34(3):103-110.
- [6] 曹磊.沿黄供水泵站泥沙特性及定期冲洗式沉沙池优化设计研究[D].太原:太原理工大学,2013.
- [7] 李恒,宣国祥,王晓刚,等.梯形横断面鱼道内水流特性分析[J].水利与建筑工程学报,2015,13(4):45-49.
- [8] 华根福,刘焕芳,汤骅,等.沉沙池泥沙沉降率的计算与试验研究[J].人民黄河,2010,32(10):49-51,54.
- [9] 洪振国.沉沙池分时段法泥沙沉降率计算研究[J].水资源与水工程学报,2015,26(6):158-162.
- [10] 王仁龙.水利工程沉沙池泥沙沉降计算方法分析与验证[J].人民黄河,2012,34(9):130-132.
- [11] 赵志贡,王卫东,荣晓明.沉沙池设计中修正系数K与

- 恢复饱和系数 α 计算模型的建立[C]//中国水利学会.人水和谐暨新疆水资源可持续利用:中国科协2005学术年会论文集.[s.l.]:[s.n],2005.
- [12] 任方方,郭巨海,黄惠明,等.非均匀沙恢复饱和系数研究综述[J].浙江水利科技,2014(5):5-7,12.
- [13] 葛华,朱玲玲,张细兵.水库下游非均匀沙恢复饱和系数特性[J].武汉大学学报(工学版),2011,44(6):711-714,764.
- [14] 廖灵芝,赵涛,刘威.不同坡降影响下弯道式引水渠首水流三维数值模拟研究[J].水利与建筑工程学报,2012,10(3):83-87.
- [15] 吴岩,韩其为,白玉川.斜坡上非均匀沙分组起动流速[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2012,45(3):209-214.
- [16] 何文社,曹叔元,刘兴年,等.不同底坡的均匀沙起动条件[J].水利水运工程学报,2003(3):23-26.