



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2016.02.031

向玉华, 郑霞忠, 卢意力. 基于熵权可拓物元的水电工程施工质量评价[J]. 2016, 14(2): 177-182.

XIANG Yu hua, ZHENG Xia zhong, LU Yi li. Evaluation of hydropower project construction quality based on entropy weight and matter element model[J]. 2016, 14(2): 177-182. (in Chinese)

基于熵权可拓物元的水电工程施工质量评价

向玉华, 郑霞忠, 卢意力

(三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 为提高水电工程项目管理效益, 提出应用熵权可拓物元评价法对水电工程施工质量进行评价。在分析水电工程施工质量评价相关特点的基础上, 构建了评价指标体系, 进而依据最大隶属度原则建立了水电工程施工质量熵权可拓物元评价模型。通过实例评价证实, 所建模型的评价结果与工程实际相符。

关键词: 水电工程; 施工质量; 熵权可拓物元; 评价

中图分类号: TV 523 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0177-06

Evaluation of hydropower project construction quality based on entropy weight and matter element model

XIANG Yu hua, ZHENG Xia zhong, LU Yi li

(Three Gorges University, Institute of Water Conservancy and Environment, Yichang 443002, China)

Abstract: In order to improve the management efficiency of the hydropower project, this paper proposed an entropy weight and matter element evaluation model to evaluate the quality of hydropower project construction. On the basis of analysis of the characteristics of the hydropower project construction quality, the evaluation index system was established. Then, based on the maximum membership degree principle, the entropy weight and matter element model was established for hydropower project construction quality. By case evaluation, it was confirmed that the evaluation result of the model was consistent with the engineering practice.

Key words: hydropower project; quality of construction; entropy weight and matter element; evaluation

随着我国经济的高速发展, 社会对电力的需求量越来越大, 而水电作为一种可持续的清洁能源受到了越来越多的重视, 并由此引发了一场水电工程建设的热潮^[1]。然而, 水电工程在带来巨大的经济效益的同时, 也具有潜藏的破坏性^[2,3]。因此, 加强水电工程施工质量管理工作具有重要现实意义, 特别是施工质量的评价。

近年来, 国内大量学者致力于工程质量评价方法的研究。郑周练^[4]等根据质量评价等级之间的模

糊性, 运用模糊数学理论构建了建筑工程质量评价模型, 并分别对分项工程、分部工程、单位工程质量进行了评价; 罗乐^[5]等将层次分析技术和模糊数学理论相结合, 探讨了一种新型的工程质量评价方法, 并结合实例进行了论证; 张炜^[6]运用模糊综合评价法构建了我国中小水利水电工程质量评价模型, 并对堤防加固工程进行了实证分析。然而以上方法在确定权重时, 主观性过强, 专家的知识经验对结果的准确性影响很大。针对这一现状, 孟令星^[7]等提出

收稿日期: 2015-07-15 修回日期: 2016-03-09 网络出版时间: 2016-04-14
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1436.007.html>
基金项目: 国家自然科学基金项目(51379110)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51379110)

作者简介: 向玉华(1975-), 男, 湖北枝江人, 讲师, 博士, 主要从事工程管理方面研究。E-mail: xyh@ctgu.edu.cn

通讯作者: 卢意力(1989-), 男(土家族), 湖北宜昌人, 主要从事工程管理方面研究。E-mail: 1279577753@qq.com

将层次分析法和熵值法相结合来确定指标权重,并通过实例进行了验证。此方法虽然能够在一定程度上降低主观性对结果的影响,但其中综合权重的确定还有待论证。

可拓物元评价法^[8]是 20 世纪 80 年代初由学者蔡文基于可拓集合理论和物元理论而提出的一种用于解决矛盾问题的定量化工具。可拓物元评价法的基本单位为物元,即以事物的名称、特征值和量值三个基本元素建立物元矩阵, $R = (事物, 特征值, 量值) = (N, C, V)$, 其中, N 称为事物, C 为事物的特征值, V 表示事物的量值。可拓物元法通过物元的方式把客观世界看成是一个复杂、相互联系的物元网络,从而能将众多不相容的评价指标进行综合考虑,得到更加可靠的结果,目前已经广泛应用于高速公路交通安全评价^[9]、交通运输企业的经济效益评价^[10]以及工程项目的风险评价^[11]等领域。本文在利用可拓物元模型能有效解决事物网络之间内在联系问题优势的基础上加以改进,引入熵权理论以定量确定可拓物元法确定权重缺乏客观性现实性的问题,并以此为基础构建了基于熵权可拓物元的水电工程施工质量评价模型,最终以隶属度最大准则判断待估物元的等级以判断施工质量的优劣。

1 水电工程施工质量评价指标体系构建

水电工程具有项目规模大、施工条件复杂等特点。因此,其施工质量的影响因素较多,在选取评价指标时,需要综合考虑各指标的目地性、系统性、一致性、独立性和可测性。本文在深入分析水电工程施工过程中质量影响因素以及参考前人研究成果的基础上^[12-14],通过归纳、总结,构建了层次化的二级水电工程施工质量评价指标体系,如图 1 所示。其中,一级评价指标为施工进度(A)、技术方案(B)、管理措施(C),每个一级评价指标还包括若干个二级评价指标。

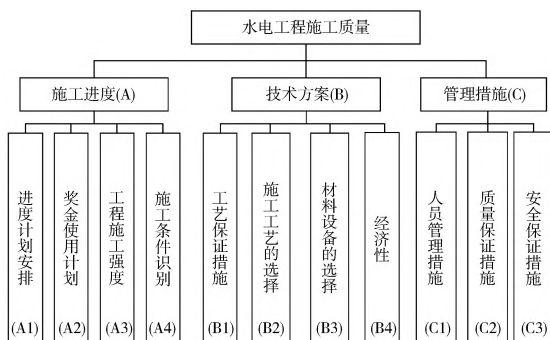


图 1 水电工程施工质量评价指标体系

Fig. 1 The index system of hydropower construction quality evaluation

1.1 施工进度

施工进度指标包括进度计划安排、资金使用计划、工程施工强度和施工条件识别 4 个二级指标。工程施工进度和施工质量之间存在着既对立又统一的关系,科学的进度安排、周密的资金使用计划、合理的工程施工强度、良好的施工条件能够使得工程施工循序渐进,保证工程施工质量。

1.2 技术方案

技术方案指标包括工艺保证措施、施工工艺的选择、材料设备的选择和经济性 4 个二级指标。水电工程施工难度较大,特别是在一些地质条件复杂的地方,因此水电工程中所使用的技术手段和方法很多,形成了一个技术群,这些技术的合理使用可以有力保证工程施工质量。技术方案的选择必须保证在经济上合理,技术上可行,质量上过关。材料设备构成了水电工程的实体,其选择要因地制宜,在进场的时候必须严格检验。

1.3 管理措施

管理措施指标包括人员管理措施、质量保证措施和安全保证措施 3 个二级指标。人员是工程施工的核心,提高施工人员和管理人员的质量意识,是保证水电工程施工质量所面临的首要问题。管理措施能够保证施工进度和技术方案的顺利实施。

2 基于熵权可拓物元的水电工程施工质量评价模型的构建

本文在利用熵权法确定各个指标权重的基础上再利用可拓物元评价法对其进行定量的评价^[15-17],最后再给出一个定性的描述,模型的具体构建步骤如下。

2.1 确立经典域、节域、待估物元

物元矩阵 $R = (N, C, V)$, 其中 N, C, V 为物元三要素。若对象 N 有 n 个特征向量 C_1, C_2, \dots, C_n 及其相对应的特征值 V_1, V_2, \dots, V_n , 其物元矩阵 R_j 表示如下:

$$R_j = (P_j, C_i, V_{ij}) = \begin{pmatrix} N_j & C_1 & V_{j1} \\ & C_2 & V_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{jn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_j & C_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & C_2 & (a_{j2}, b_{j2}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: N_j 为第 j 个评价等级; C_1, C_2, \dots, C_n 为 P_j 的 n 个不同特征; $V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}$ 分别是 P_j 对应于

C_1, C_2, \dots, C_n 的取值范围, 即经典域; a_{ji}, b_{ji} 为 V_{ji} 的取值边界。

令节域矩阵 R_p 为

$$R_p = (N, C_i, V_p) = \begin{pmatrix} N & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{pn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: p 为评价对象的全体; $V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pn}$ 分别为 p 对应于 C_1, C_2, \dots, C_n 的取值范围, 即节域; a_{pi}, b_{pi} 为 V_{pi} 的取值边界。

令待估物元矩阵 R_0 为

$$R_0 = (N_j, C, V_j) = \begin{pmatrix} N_j & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}$ 为 C_1, C_2, \dots, C_n 的实测数据。

2.2 规格化处理

规格化处理能有效解决待评物元某个指标数值超出节域导致无法得到关联函数的问题, 并以此克服评价时的局限性。

对经典域物元 R_j 进行规格化处理, 可得:

$$R'_j = (N_j, C_j, V'_{ji}) = \begin{pmatrix} N_j & C_1 & \left\{ \frac{a_{1j}}{a_{p1}}, \frac{b_{1j}}{b_{p1}} \right\} \\ & C_2 & \left\{ \frac{a_{2j}}{a_{p2}}, \frac{b_{2j}}{b_{p2}} \right\} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \left\{ \frac{a_{nj}}{a_{pn}}, \frac{b_{nj}}{b_{pn}} \right\} \end{pmatrix} \quad (4)$$

对待估物元 R_0 进行规格化处理:

$$R'_0 = (N_j, C, V_j) = \begin{pmatrix} N_j & C_1 & V_{1j}/b_{p1} \\ & C_2 & V_{2j}/b_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{nj}/b_{pn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

2.3 确定权重

运用熵权计算权重是一种定性与定量相结合的组合赋权法, 熵权赋值能有效的解决传统赋值法中主观因素带来的不利影响, 提高评价结果的可信度。因此, 本文选用熵值法确定水电工程施工质量评价指标体系中每个指标的权重。现假设属性 U_i 的测度为

$$(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ij}) \quad (6)$$

满足: $0 \leq u_{ij} \leq 1$, 其中 u_{ij} 为属性 U_i 的 j 个实测值。此时熵为

$$H_i = - \frac{1}{\log j} \sum_{j=1}^j u_{ij} \cdot \log u_{ij} \quad (7)$$

其熵值 W_{ij} 为

$$W_{ij} = 1 + \frac{1}{\log j} \sum_{j=1}^j u_{ij} \cdot \log u_{ij} \quad (8)$$

令

$$W_{ij} = v_{ij} / \sum_{j=1}^m v_{ij} \quad (9)$$

其中 $\sum_{j=1}^m v_{ij} = 1$, 向量 $W_i = (W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{im})^T$ 为属性集 U 的权重向量, 即为其熵权。

2.4 建立评语集并确定各评价等级的关联度

评语集是每一个评价指标可能得到的所有的评语的集合, 本文将评语集划分为四个等级, 即 $C = (C_1, C_2, C_3, C_4) = (\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{差})$ 。

为计算评语集中各评价等级的关联度, 需要计算待估物元的关联函数值。

$$K_j(V_i) = \begin{cases} - \frac{\rho(V_i, V_{ij})}{|V_{ij}|}, & (V_i \in V_{ij}) \\ \frac{\rho(V_i, V_{ij})}{\rho(V_i, V_{pj}) - \rho(V_i, V_{ij})}, & (V_i \notin V_{ij}) \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{其中, } \begin{cases} \rho(V_i, V_i) = |V_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij})| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij}) \\ \rho(v_i, v_{pi}) = |v_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij})| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{pi}) \end{cases}$$

式中: $K_j(v_i)$ 为第 i 项指标对应于第 j 级的关联度; $\rho(V_i, V_{ij})$ 和 $\rho(V_i, V_{pi})$ 分别为点 v_i 与经典域 V_{ij} 和 V_{pi} 的距离; V_i, V_{ij}, V_{pi} 分别为待评价物元的量值、经典域物元量值范围和节域物元的量值范围。

2.5 计算隶属度

$$K_i(P) = \sum_{i=1}^n W_i K(v_i) \quad (11)$$

式中: $K_i(P)$ 表示 $P \in P_{0j}$ 的程度, 且 $K_i(P)$ 取最大值。其流程图见图 2。

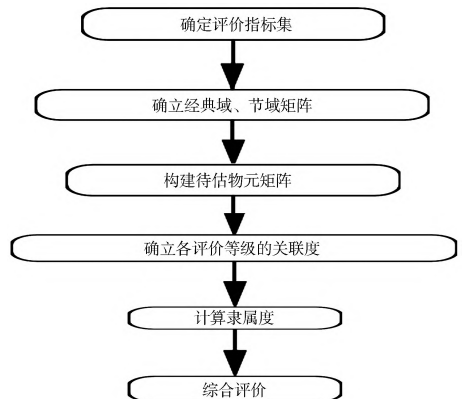


图 2 可拓物元评价模型流程

Fig. 2 The flow chart of extension matter element evaluation model

3 实例验证

某水电站位于四川省境内、大渡河下游河段上,水电站枢纽工程从右至左分别为:右岸钢筋混凝土心墙堆石坝、筏闸、右岸混凝土挡水坝、混凝土溢流坝、厂房、左岸沥青混凝土斜墙堆石坝、左岸碾压混凝土坝,最大坝高 82 m,总库容 2.0 亿 m³。水电站装机容量 60 万 kW,保证出力 13 万 kW,多年平均发电量 32.1 亿 kW·h。工程以发电为主,兼有漂木和改善下游通航的功能。该水电站于 1996 年荣获国家优质工程奖。

3.1 经典域、节域和待评物元的确立及规格化处理

根据图 1 所确立的评价指标体系对该水电站的施工质量进行评价。为保证指标的一致性,在计算前需要对指标的数据进行归一化处理。对于节域矩阵相关参数,本文设定节域集合 $X = (\text{优、良、中、差}) = \{[1, 0.85], [0.85, 0.70], [0.70, 0.55], [0.55, 0]\}$

建立经典域矩阵 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 , 节域矩阵 R_5 及待估物元矩阵 R_0 如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_{\text{优}} & C_1 & V_1 \\ & & V_2 \\ & & \vdots \\ & & V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \\ [1, 0.85) \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} N_{\text{良}} & C_1 & V_1 \\ & & V_2 \\ & & \vdots \\ & & V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \\ [0.85, 0.7) \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} N_{\text{中}} & C_1 & V_1 \\ & & V_2 \\ & & \vdots \\ & & V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \\ [0.7, 0.55) \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} N_{\text{差}} & C_1 & V_1 \\ & & V_2 \\ & & \vdots \\ & & V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \\ [0.55, 0) \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} N & C_1 & V_1 \\ & & V_2 \\ & & \vdots \\ & & V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \\ [1, 0) \end{bmatrix}$$

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & C & V_1 \\ & & V_2 \\ & & \vdots \\ & & V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.85 \\ 0.86 \\ 0.95 \\ 0.76 \\ 0.8 \\ 0.95 \\ 0.92 \\ 0.97 \\ 0.88 \\ 0.98 \\ 0.91 \end{bmatrix}$$

3.2 权重的确定

根据 2.3 节中熵权法计算权重的相关公式确定个指标的权重,见表 1。

表 1 权重汇总表
Tab. 1 The total weight

一级指标	权重	二级指标	权重
施工进度 A	0.344	进度计划安排 A1	0.233
		资金使用计划 A2	0.239
		工程施工强度 A3	0.219
		施工条件识别 A4	0.309
技术方案 B	0.357	工期保证措施 B1	0.277
		施工工艺的先进性选择 B2	0.232
		施工设备、材料的选择 B3	0.192
		经济性 B4	0.299
管理措施 C	0.299	人员管理措施 C1	0.357
		质量保证措施 C2	0.316
		安全保证措施 C3	0.327

3.3 隶属度的计算

根据可拓物元评价模型的计算公式,水电工程施工质量评价指标隶属度与权重见表 2。

表 2 评价指标隶属度及权重
Tab. 2 The results of membership

指标	评语集				权重
	优	良	中	差	
进度计划安排 A1	0	0	-0.353	-1.231	0.233
资金使用计划 A2	0.067	-0.024	-0.376	-1.2	0.239
工程施工强度 A3	0.333	-0.235	-1.323	-0.774	0.219
施工条件识别 A4	-0.212	0.4	-0.142	-1.038	0.309
工期保证措施 B1	-0.118	0.333	-0.211	-1.059	0.277
施工工艺的选择 B2	0.333	-0.174	-0.588	-1.412	0.232
施工设备的选择 B3	0.467	-0.284	-0.518	-1.341	0.192
资源消耗量 B4	0.2	-0.071	-0.643	-1.393	0.299
人员管理措施 C1	0.2	-0.071	-0.4	-1.247	0.357
质量保证措施 C2	0.133	-0.344	-0.615	-1.482	0.316
安全保证措施 C3	0.4	-0.141	-0.494	-1.284	0.327

3.4 方案评价等级的判定

根据最大隶属度原则得:

$$K_i(P_{\text{优}}) = \sum_{i=1}^n w_i K(v_i) = 0.465$$

$$K_i(P_{\text{良}}) = \sum_{i=1}^n w_i K(v_i) = -0.138$$

$$K_i(P_{\text{中}}) = \sum_{i=1}^n w_i K(v_i) = -1.49$$

$$K_i(P_{\text{差}}) = \sum_{i=1}^n w_i K(v_i) = -3.69$$

根据 3.3 节中最大隶属度判断准则,得出该工程施工质量为优,与实际情况相符合。

4 结语

本文根据水电工程施工质量的影响因素,从施工进度、技术方案、管理措施等三个方面建立了水电工程施工质量评价指标体系,并融合熵值法确定权重及可拓物元评价模型的优势,提出了基于熵权可拓物元评价模型的水电工程施工质量评价方法,并结合最大隶属度原则实现了定量评价向定性评价的转化。评价结果客观性强,能够为当前水电工程施工质量的事前控制及其过程管理提供一定的参考依据。

实例验证结果表明,在众多影响因素中,技术方案对水电工程施工质量的影响最大,这也与实际情况相符,因为根据实践经验,技术是保证工程施工质量的最有力措施。因此,在水电工程施工过程中,需要着重加强对技术方案的管理工作,包括对工期保证措施,施工工艺的先进性选择,施工设备、材料的选择以及施工方案经济性等的管理工作。

参考文献(References):

[1] 张青,路金喜,刘智奇.基于 ANP-FCE 模型的水电工程环境影响评价[J].南水北调与水利科技,2015(3):453-456. (ZHANG Qing, LU Jir xi, LIU Zhi qi. Environmental impact assessment of hydropower project based on ANP-FCE model[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015 (3): 453-456. (in Chinese))

[2] 郑霞忠,余迪,陈述等.水电工程突发事件应急响应效能 Petri 网仿真模型[J].水利水运工程学报,2016(1):63-70. (ZHENG Xia zhong, YU Di, CHEN Shu et al. Capability simulation model for emergency response of hydropower projects based Petri nets theory [J]. Hydro science and Engineering, 2016(1): 63-70. (in Chinese))

[3] 郑霞忠,陈云,向玉华.抽水蓄能电站面板施工安全性态概率分布计算方法[J].中国安全生产科学技术,2015(6):164-169. (ZHENG Xia zhong, CHEN Yun, XIANG Yu hua. Calculation method on probability distribution of safety state for panel construction of pumped storage power station[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015(6): 164-169. (in Chinese))

[4] 郑周练,赵长荣,崔碧海,等.建筑安装工程质量的模糊评定[J].重庆建筑大学学报,2000(22):113-117. (ZHENG Zhou lian, ZHAO Chang rong, CUI Bi hai, et al. Fuzzy comprehensive evaluation on quality of engineering construction[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2000(22): 113-117. (in Chinese))

[5] 罗乐,冯卫,吴相林.基于模糊数学理论的水电工程质量评价方法[J].华中科技大学学报,2004,32(8):82-84. (LUO Le, FENG Wei, WU Xiang lin. A method of quality evaluation of hydropower project based on fuzzy mathematics[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2004, 32(8): 82-84. (in Chinese))

- [6] 张炜. 基于模糊综合评价法的中小水利水电工程施工质量评价[J]. 水电能源科学, 2014, 32(1): 157-160. (ZHANG Wei. Construction quality evaluation of medium and small water conservancy and hydropower project based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Water Resources and Power, 2014, 32(1): 157-160. (in Chinese))
- [7] 孟令星, 谢广采, 付建明. 基于 AHP 与熵权的钢筋混凝土工程施工质量评价[J]. 工程建设, 2012, 44(5): 69-73. (MENG Lingxing, XIE Guangcai, FU Jianming. Evaluation on construction quality of the reinforced concrete engineering based on AHP and entropy weight[J]. Engineering Construction, 2012, 44(5): 69-73. (in Chinese))
- [8] 颜红艳, 张飞涟. 可拓物元模型的国际工程总承包项目成功度评价[J]. 求索, 2011(8): 29-32. (YAN Hongyan, ZHANG Feilian. The International engineering general contracting project success degree evaluation based on extension matter-element model[J]. Search, 2011(8): 29-32. (in Chinese))
- [9] SI Churdi, FENG Yang, ZHANG Yongman. Highway traffic safety evaluation based on evidence fusion and extension matter-element model[J]. Metallurgical and Mining Industry, 2015, 7(3): 136-144.
- [10] ZHANG Xinjie. Research on economic benefit evaluation of transportation enterprise based on extension matter-element model[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 287-289, 2063-2067.
- [11] LI Curbin, YANG Yang, CHEN Werrjun, et al. Engineering project risk rating based on matter-element model and extension analysis[J]. ICIC Express Letters, Part B: Applications, 2011, 2(6): 1333-1337.
- [12] 贾斌. 我国工程施工项目质量管理评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012. (JIA Bin. Engineering construction quality management and evaluation study in China[D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese))
- [13] 杨杨. 溪洛渡水电施工项目质量管理体系研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013. (YANG Yang. Research on Quality Management System of Xiluodu Hydropower Construction Project[D]. Changsha: Central South University, 2013. (in Chinese))
- [14] 韩可林. 碾压混凝土大坝工程的施工质量管理研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2008. (HAN Kelin. Research on Construction Quality Control of Roller Compacted Concrete Dam Project[D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2008. (in Chinese))
- [15] 张晔. 基于熵权可拓物元模型的湖南省土地市场成熟度评价[J]. 资源科学, 2015, 37(1): 45-50. (ZHANG Ye. Development stage evaluation of land markets in Hunan Province based on an entropy weight and matter element model[J]. Resources Science, 2015, 37(1): 45-50. (in Chinese))
- [16] 郑霞忠, 邵波, 陈玲, 等. 基于 Euclid 理论的水电工程施工安全熵评价[J]. 中国安全科学学报, 2014, 6(24): 38-43. (ZHENG Xiazhong, SHAO Bo, CHEN Ling, et al. Safety entropy evaluation of hydropower construction based on Euclid theory[J]. China Safety Science Journal, 2014, 6(24): 38-43. (in Chinese))
- [17] 刘邦贵, 李永强, 王浩, 等. 基于物元分析法的区域水资源安全评价[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(5): 100-103. (LIU Bangui, LI Yongqiang, WANG Hao, et al. Evaluation of regional water security based on matter element analysis[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(5): 100-103. (in Chinese))

(上接第 151 页)

- [13] 李琼芳, 邹振华, 郭瑾, 等. 人类活动对长江泥沙特性的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 364-368. (LI Qiongfang, ZOU Zhenhua, GUO Jin, et al. Human induced alteration in the sediment load of the Yangtze River[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(4): 364-368. (in Chinese))
- [14] 王兆印, 黄文典, 李义天. 长江流域泥沙输移与概算[J]. 泥沙研究, 2007(2): 1-10. (WANG Zhaoyin, HUANG Weidian, LI Yitian. Sediment budget of the Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2007(2): 1-10. (in Chinese))
- [15] 许炯心. 近 40 年来长江上游干支流悬移质泥沙粒度的变化及其与人类活动的关系[J]. 泥沙研究, 2005(3): 8-16. (XU Jiongxin. Variation in grain size of suspended load in upper Changjiang River and its tributaries by human activities[J]. Journal of Sediment Research, 2005(3): 8-16. (in Chinese))
- [16] 陈建, 李义天, 邓金运. 水沙条件变化对三峡水库泥沙淤积的影响[J]. 水力发电学报, 2008, 27(2): 97-102. (CHEN Jian, LI Yitian, DENG Jinyun. Influence on deposition of the Three Gorges Reservoir caused by the change of water silt conditions[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(2): 97-102. (in Chinese))
- [17] 邓春艳, 吴卫民, 夏军强. 岩滩水库泥沙淤积计算数学模型[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2013, 46(1): 19-25. (DENG Chunyan, WU Weimin, XIA Junqiang. Numerical modeling of sedimentation process in Yantan reservoir[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2013, 46(1): 19-25. (in Chinese))
- [18] 郭志学, 黄尔, 刘兴年, 等. 电站下游非恒定流清水冲刷水沙运动特性研究[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5(7): 549-556. (GUO Zhixue, HUANG Er, LIU Xingnian, et al. Influence on flow and sediment transport caused by scouring of nonuniform flow from upstream water power station[J]. Sciencepaper Online, 2010, 5(7): 549-556. (in Chinese))
- [19] 郭维东, 李晓丽, 胡艳, 等. 河道型水库泥沙冲淤数值模拟分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(6): 799-804. (GUO Weidong, LI Xiaoli, HU Yan, et al. Numerical simulation analysis of sediment erosion and deposition of river type reservoir[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44(6): 799-804. (in Chinese))
- [20] 李彬, 郭志学, 陈日东, 等. 变坡陡比降河道强输沙下泥沙淤积与水位激增的试验研究[J]. 泥沙研究, 2015(3): 63-68. (LI Bin, GUO Zhixue, CHEN Riddong, et al. Experimental study on sediment deposition and water level surge under high sediment concentration in variable steep slope river[J]. Journal of Sediment Research, 2015(3): 63-68. (in Chinese))