

基于灰色关联TOPSIS法的抽水蓄能电站 风险评价体系研究

王丙乾[✉], 董剑敏, 关前锋, 韩倩

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 为有效减少和规避抽水蓄能电站项目在建设运营过程中的各类风险, 从风险评价的角度, 建立抽水蓄能电站项目的风险评价体系。[方法] 首先分析了抽水蓄能电站的发展环境, 建立起抽水蓄能电站的SWOT-PEST风险分析矩阵; 在此基础上对电站的风险源进行辨识, 确定抽水蓄能电站的风险因素; 进而借助灰色关联度分析法和TOPSIS法建立风险评价模型。[结果] 通过对三个具体项目进行实例计算, 验证了模型的有效性, 并对分析结果进行对比分析, 提出了合理化建议。[结论] 论文所建模型和分析思路可为同类抽水蓄能电站项目进行风险评价提供参考, 并未风险评价模型的进一步研究提供理论支撑。

关键词: 抽水蓄能电站; 风险; 灰色关联TOPSIS法; 评价

中图分类号: TM7; F424.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S2-0056-06

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Risk Assessment System of Pumped Storage Power Station Using Grey Relational TOPSIS Method

WANG Bingqian[✉], DONG Jianmin, GUAN Qianfeng, HAN Qian

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] In order to reduce or circumvent various risks in the construction and operation of pumped storage power station projects, this paper aims to establish a risk assessment system for them. [Method] Firstly, we established the SWOT-PEST risk analysis matrix by analyzing the development environment, then the risk factors were identified. Secondly, we established the risk evaluation model by using grey correlation analysis and TOPSIS method. [Result] The results we obtained demonstrate the validity of the model and several rationalization suggestions are put forward. [Conclusion] This work provides some guidance on risk assessment of similar pumped storage power station projects and further study on risk assessment model.

Key words: pumped storage power station; risk; grey correlation analysis and TOPSIS method; assessment

0 引言

抽水蓄能电站是通过把低处的水抽到高处来蓄集能量, 待电力系统需要时再发电的水电站。它把电网负荷低谷时的多余电能转化为水的势能存储起来, 在负荷高峰期再将水的势能转化为电能, 实现了电能的有效储存和重新分配, 有效调节了电力系统发、输、配、用之间的动态平衡^[1]。其在系统中

承担调峰、填谷、调频、调相和紧急事故备用的重要任务, 具有提高电力系统安全可靠性的功能, 发挥着“稳定器、调节器、平衡器”的作用^[2]。

2019年伊始, 随着国网一次性开工5个抽水蓄能电站, 抽水蓄能电站的建设规模再上新台阶, 这是推动构建清洁低碳和安全高效能源体系建设, 推进能源生产和消费革命的又一重要举措^[3]。然而, 我国抽水蓄能电站的发展环境仍然面临着一些问题, 如拆迁补偿、移民安置、电价机制等体系不够完善, 此外还面临着投资方式比较单一, 管理较为

收稿日期: 2019-12-17 修回日期: 2020-03-05

基金项目: 中国能建广东院科技项目“能源产业规划方法及能源经济关系模型研究”(EV05451W)

复杂,技术研发相对薄弱等问题。

基于此,论文主要对抽水蓄能电站在建设和运营过程中可能涉及到的各类风险因素进行分析,以有效减少和规避抽水蓄能电站项目风险。首先分析了我国抽水蓄能电站的发展环境,在此基础上进行风险源辨识;其次利用灰色关联法和TOPSIS法,建立抽水蓄能电站风险评价模型,并通过实例验证了模型的有效性;最后提出合理化建议。

表1 抽水蓄能电站发展的SWOT-PEST分析矩阵

Tab. 1 SWOT-PEST analysis matrix for pumped storage power station development

SWOT-PEST	政策(P)	经济(E)	社会(S)	技术(T)
优势(S)	政府明确支持	经济稳增长,电力需求较大	对水生生态的影响较小	电站建设技术日趋成熟
劣势(W)	管理力度不够;法律体系不完善	电网企业全资建设,投资方式单一	对生态要求较高;为环境敏感区让步	本土化研究不够;关键设备进口
机会(O)	有关部门相继出台优惠政策	目前最具经济性的大规模储能设施	具有旅游开发、增加就业的潜力	相关技术已经取得一定突破
威胁(T)	配套政策不够,如电价机制不健全	缺乏建设和调度抽水蓄能电站的积极性	工程建设对当地居民生活造成不便	研发起步较晚,与国外差距较大

1.2 抽水蓄能电站的风险因素

通过分析抽水蓄能电站的发展环境,继而从实用性、经济性的角度出发,采用头脑风暴和现场调查的组合方法对其风险源进行辨识,根据辨识结果进行风险分类,主要可分为自然风险、政策风险、融资风险、市场风险、技术风险及管理风险六大类^[6-8]。如表2所示。

2 基于灰色关联TOPSIS法的抽水蓄能电站风险评价模型

2.1 模型的基本介绍

结合抽水蓄能电站建设项目的典型特征,针对其风险因素的特点及评价目的,论文采用基于灰色关联度分析法与TOPSIS法的评价模型对项目进行风险评价。

该组合模型的适用性与优越性体现在:灰色关联度分析法能够展现项目内部各因素的变化态势,可用于信息模糊、数据缺失的贫信息评价环境,但无法对项目的整体情况进行判断;TOPSIS法克服了灰色关联度分析法的缺点,能够从整体上反映被评价项目与理想项目的接近程度,但不能对项目内部各部分的变化态势做出分析^[9-10]。将灰色关联度

1 抽水蓄能电站的风险源辨识

风险源辨识是指对项目所面临的及潜在的风险因素加以识别、判断和归类,并鉴定风险性质的过程。

1.1 抽水蓄能电站的发展环境

为有效识别抽水蓄能电站建设项目可能涉及到的各类风险因素,首先应分析其所处的发展环境,在此基础上把握风险来源^[4-5]。论文通过构建PEST-SWOT分析矩阵,来分析抽水蓄能电站的发展环境。如表1所示。

分析法和TOPSIS法结合起来,是一种反映被评价项目逼近理想解的新尺度。

2.2 计算模型的确立

2.2.1 获取指标数据

风险大小与该风险可能造成后果的严重性及其发生的可能性密切相关,故将风险程度定义为风险严重性与风险可能性的乘积,即风险程度=风险严重性×风险可能性。其中,风险严重性设置5个等级,分别是非常严重、严重、中等、轻微、非常轻微,从高到底依次打5、4、3、2、1分;风险可能性打分与之相同。

2.2.2 初始决策矩阵的建立

假设有 m 个被评价项目, n 个指标,相应各指标的初始数值为 x_{ij} ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$)。

建立的初始决策矩阵:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

2.2.3 对指标的初始数值进行规范化处理:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

建立无量纲化处理后的指标矩阵:

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} \quad (3)$$

表2 抽水蓄能电站项目的风险因素

Tab. 2 Risk factors for pumped storage power station projects

风险因素	具体风险	风险来源	可能导致的后果
自然风险	气候条件	气候多变,常有雨雪、雷击、台风等发生	破坏大坝、摧毁各种设备
	水文条件	易发生暴雨、洪涝或蓄水不足、水库干涸	影响电站正常施工、运营
	地质条件	地形复杂,易发生地震、滑坡、泥石流等	致使大坝断裂;造成比较严重的人身、财产损失
政策风险	宏观政策法规	宏观政策法规的调整不利于电站建设发展	影响相关的论证和审核、后续资金未能及时到位
	区域政策法规	各地区政策差异,口径不同	增大电站的建设和运营变故
	相关文件手续	相关文件手续不符合国家法律法规	项目的论证、审核、执行过程存在疏漏,影响实施
融资风险	资金供给	资金供给不平衡、流动缓慢	影响电站的正常建设及运营
	利率波动	银贷政策变动、利率波动	影响经营利润
	金融信用	未按合同履行协定责任和义务	信用水平较低,影响可靠性
市场风险	市场竞争	风电、光伏等新能源逐步兴起	竞争压力加大
	市场需求	建设成本上升;宏观经济不利	电站发展形势不好,需求降低
	进入壁垒	核准审批复杂;成本高;技术要求高	进入壁垒大,影响市场化发展
技术风险	工程设计方案	存在某些技术缺陷或与实际不符	对建设造成严重影响,甚至出现事故
	技术规范要求	技术不规范,达不到电站建设的技术要求	影响建设质量及使用寿命
	施工技术协调	各专业不能及时协调,技术专业能力不适应	影响建设进度和质量,增加施工安全事故发生概率
管理风险	财务管理完备情况	建设、运营期间财务管理不善	导致资金损失,影响电站运维
	运营管理完备情况	运营阶段管理流程不规范、管理模式不标准	无法获得预期收益,监控难度加大,成本投入增加
	人员管理完备情况	设计人员、营运人员等培训不够、配备不完善	影响建设进度和质量,不利于项目的健康运行

2.2.4 指标权重的确定

各指标权重的计算可利用熵权法,按照熵的定义,第 j 项指标的熵值为:

$$b_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m a_{ij} \ln a_{ij} \quad (4)$$

$$a_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (5)$$

则第 j 项指标的熵权为

$$v_j = \frac{(1 - b_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - b_j)} \quad (6)$$

进而可表示出指标权重的列向量:

$$V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)^T \quad (7)$$

式中: v_j 为各个指标的权重。

2.2.5 加权标准化矩阵的建立

将无量纲化处理后的指标矩阵 Y 与对应的指标权重相乘,构建加权标准化矩阵 U 为

$$U = [u_i(j)]_{m \times n} = (v_j y_{ij}) = \begin{bmatrix} u_1(1) & u_1(2) & \dots & u_1(n) \\ u_2(1) & u_2(2) & \dots & u_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_m(1) & u_m(2) & \dots & u_m(n) \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.2.6 确定被评价项目的理想解和负理想解

$$U_0^+ = \left\{ \left(\max_{1 \leq i \leq m} u_i(j) \mid j \in J^+ \right), \left(\min_{1 \leq i \leq m} u_i(j) \mid j \in J^- \right) \right\} \\ = (u_0^+(1), u_0^+(2), \dots, u_0^+(n)) \quad (9)$$

$$U_0^- = \left\{ \left(\min_{1 \leq i \leq m} u_i(j) \mid j \in J^+ \right), \left(\max_{1 \leq i \leq m} u_i(j) \mid j \in J^- \right) \right\} \\ = (u_0^-(1), u_0^-(2), \dots, u_0^-(n)) \quad (10)$$

式中: J^+ 代表指标取值越大越理想的集合; J^- 代表指标取值越小越理想的集合。

2.2.7 确定被评价项目到理想解及负理想解的距离

被评价项目与理想解的距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [u_i(j) - u_0^+(j)]^2} \quad (11)$$

式中: $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

被评价项目与负理想解的距离:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [u_i(j) - u_0^-(j)]^2} \quad (12)$$

式中: $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

2.2.8 确定被评价项目到理想解及负理想解的灰色关联度

1) 由加权标准化矩阵 U , 确定第 i 个被评价项目在第 j 项指标上与理想项目的灰色关联度系数。

$$r_{ij}^+ = \frac{\min_j \min |u_0^+(j) - u_{ij}| + \xi \max_i \max_j |u_0^+(j) - u_{ij}|}{|u_0^+(j) - u_{ij}| + \xi \max_i \max_j |u_0^+(j) - u_{ij}|} \quad (13)$$

式中: $\xi \in [0, 1]$ 为分辨系数, 一般情况下取为 0.5。

建立全部被评价项目到理想解的灰色关联度系数矩阵:

$$R^+ = \begin{bmatrix} r_{11}^+ & r_{12}^+ & \cdots & r_{1n}^+ \\ r_{21}^+ & r_{22}^+ & \cdots & r_{2n}^+ \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1}^+ & r_{m2}^+ & \cdots & r_{mn}^+ \end{bmatrix} \quad (14)$$

第 i 个被评价项目与理想解的灰色关联度为

$$R_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}^+, (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (15)$$

2) 由加权标准化矩阵 U , 确定第 i 项被评价项目在在第 j 项指标上与负理想解的灰色关联度系数。

$$r_{ij}^- = \frac{\min_j \min |u_0^-(j) - u_{ij}| + \xi \max_i \max_j |u_0^-(j) - u_{ij}|}{|u_0^-(j) - u_{ij}| + \xi \max_i \max_j |u_0^-(j) - u_{ij}|} \quad (16)$$

式中: $\xi \in [0, 1]$ 为分辨系数, 一般情况下取为 0.5。

建立全部被评价项目到负理想项目的灰色关联度系数矩阵:

$$R^- = \begin{bmatrix} r_{11}^- & r_{12}^- & \cdots & r_{1n}^- \\ r_{21}^- & r_{22}^- & \cdots & r_{2n}^- \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1}^- & r_{m2}^- & \cdots & r_{mn}^- \end{bmatrix} \quad (17)$$

第 i 个被评价项目与负理想项目的灰色关联度为

$$R_i^- = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}^-, (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (18)$$

2.2.9 对被评价项目在理想项目及负理想项目的距离, 以及灰色关联度进行规范化处理

$$\phi_j = \frac{\phi_i}{\max_{1 \leq i \leq m} (\phi_i)}, (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (19)$$

式中: ϕ_i 代表 $D_i^+, D_i^-, R_i^+, R_i^-$ 。 $d_i^+, d_i^-, r_i^+, r_i^-$ 分别为 $D_i^+, D_i^-, R_i^+, R_i^-$ 经规范化处理后的值。

2.2.10 确定被评价项目与理想项目和负理想项目的接近度

d_i^- 与 r_i^+ 取值越大, 表示被评价项目与理想项目越接近; d_i^+ 与 r_i^- 取值越大, 表示被评价项目与负理想项目越接近, 即越偏离理想项目。

确定被评价项目与理想项目的接近度

$$T_i^+ = e_1 d_i^- + e_2 r_i^+, (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (20)$$

计算被评价项目与负理想解的接近程度

$$T_i^- = e_1 d_i^+ + e_2 r_i^-, (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (21)$$

式中: e_1, e_2 代表决策者的主观偏好程度, 可根据自己的偏好确定 e_1, e_2 的数值。

2.2.11 确定相对贴近度

相对贴近度代表了被评价项目内部因素的变化趋势到理想项目及负理想项目的贴近程度。

$$\delta_i = \frac{T_i^+}{T_i^+ + T_i^-}, (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (22)$$

式中: δ_i 代表相对贴近度。

依据相对贴近度 δ_i 的大小对项目进行评判。相对贴近度 δ_i 取值较大, 代表被评价项目与理想项目越接近, 该项目越好; 反之, 相对贴近度 δ_i 取值较小, 代表被评价项目与负理想项目越接近, 即离理想项目越远, 表示该项目越差。

对于风险而言, 其评价结果是越小越好。故在本评价模型中, 相对贴近度越高, 表明项目风险越大; 反之, 则表明项目风险越小。

2.3 风险等级的确定

通过参考大量以往有关研究资料和专家意见, 并结合实际项目的评价结果, 将项目的整体风险等级划分为四个等级, 其风险等级判断标准如表 3 所示。通过该标准, 并结合评价模型输出的相对贴近度, 可对项目整体的风险水平进行评级。

表 3 项目风险等级判断标准

Tab. 3 Rating criteria for project risk

风险等级	严重风险	较大风险	一般风险	轻微风险
相对贴近度	$\delta \geq 0.7$	$0.7 > \delta \geq 0.5$	$0.5 > \delta \geq 0.3$	$\delta < 0.3$

3 实例分析

3.1 算例及评价过程

为验证评价模型的有效性, 论文选取 3 个具体工程进行实例验算。通过收资调研, 获取 3 个项目的具体数据, 并请相关领域的专家和管理人员、技术骨干等对风险严重性和风险可能性分别进行打分, 然后借助熵权法确定各类指标的权重, 由此进一步确定一级指标的风险程度, 具体结果如表 4 所示。

利用 (式 1) — (式 3) 对风险程度的数据进行归一化处理, 然后根据 (式 4) — (式 7) 采用熵权法确定各类指标的权重, 见表 5。

在各项指标的权重确定之后, 根据 (式 8) 建

表4 三个抽水蓄能电站项目一级指标风险程度

Tab. 4 Primary indicators risk degree of three pumped storage power stations

项目	自然 风险	政策 风险	融资 风险	市场 风险	技术 风险	管理 风险
项目A	12.3	6.0	14.7	5.2	9.8	11.3
项目B	7.1	8.5	12.6	4.6	7.9	10.5
项目C	5.7	3.8	8.2	5.8	9.3	8.6

表5 各项指标权重

Tab. 5 Weighting of different indicators

风险类型	自然 风险	政策 风险	融资 风险	市场 风险	技术 风险	管理 风险
权重	0.1876	0.1665	0.1764	0.1489	0.1549	0.1656

立加权标准化矩阵 U 为:

$U =$

$$\begin{bmatrix} 0.1662 & 0.0643 & 0.1876 & 0.0812 & 0.0893 & 0.1532 \\ 0.1331 & 0.0925 & 0.1652 & 0.0310 & 0.0298 & 0.1252 \\ 0.1072 & 0.0316 & 0.0926 & 0.0839 & 0.0563 & 0.0706 \end{bmatrix}$$

根据(式9) — (式10) 确定各项指标的理想解和负理想解; 采用(式11) — (式12) 计算每个项目到理想解和负理想解的距离; 再以加权标准化矩阵 U 为基础, 按照(式13) — (式18) 分别求出每个项目到理想解和负理想解的灰色关联度; 利用(式19) 进行无量纲化处理, 计算得到规范化后的项目在理想项目和负理想项目的距离及灰色关联度。结果如表6所示。

表6 无量纲化后的项目到理想解和负理想解的距离和灰色关联度

Tab. 6 Distance and grey correlation to ideal and negative ideal solutions of dimensionless items

项目	理想解 距离	负理想 解距离	理想解灰 色关联度	负理想解 灰色关联度
项目A	0.6609	0.7327	0.7979	0.7196
项目B	0.7084	0.7029	0.7214	0.8712
项目C	0.8685	0.4703	0.6828	0.9097

然后再根据(式20) — (式21) 确定每个项目与理想项目和负理想项目的贴近程度, 见表7。

最后根据(式22) 计算每个项目的相对贴近度, 结果如表8所示。

3.2 评价结果分析

通过将风险评价模型应用于三个不同的具体项目中, 评价出各个项目的风险水平并确定其风险等

表7 项目与理想解和负理想解的接近度

Tab. 7 Proximity of items to ideal and negative ideal solutions

项目	理想解接近度	负理想解接近度
项目A	0.7653	0.6903
项目B	0.7122	0.7900
项目C	0.5766	0.8891

表8 项目的相对贴近度

Tab. 8 Relative closeness of items

项目	项目A	项目B	项目C
相对贴近度	0.4258	0.3741	0.2934

级。评价结果如表9所示。

表9 三个抽水蓄能电站项目的评价结果

Tab. 9 Evaluation results of three pumped storage power stations

项目	自然 风险	政策 风险	融资 风险	市场 风险	技术 风险	管理 风险	项目风 险评级
项目A	中等	可接受	中等	可接受	可接受	中等	一般风 险项目
项目B	可接受	可接受	中等	可忽略	可接受	中等	一般风 险项目
项目C	可接受	可忽略	可接受	可接受	可接受	可接受	轻微风 险项目
风险因素 影响排序	I	III	II	VI	V	IV	—

对评价结果具体分析如下:

1) 根据评价结果, 得到了3个抽水蓄能电站项目的风险等级: 项目A、项目B为一般风险项目, 项目C为轻微风险项目。3个项目中不存在较大风险项目和严重风险项目, 这与3个项目都已正常投产运营的实际情况相符合。在调查研究中发现, 项目C是国家级重点建设工程项目, 也是所在省第一大型水电工程; 项目受到的政策扶持力度较大, 资金来源渠道多样; 且该项目地处地势平坦地区, 利于项目的建设运营; 加上该省抽水蓄能电站的市场需求度较高, 尚未出现饱和趋势, 故而前景较好, 风险相对较低。这与模型评价的结果一致, 从而验证了模型的有效性。

2) 根据评价结果, 得到了抽水蓄能电站项目六类风险因素的影响程度: 自然风险>融资风险>政策风险>管理风险>技术风险>市场风险。这说明自然风险、融资风险和政策风险是抽水蓄能电站项目

综合风险大小的主要影响因素。同时也说明, 在建设抽水蓄能电站的时候, 要尤其注意当地地理环境, 挖掘多方面的筹资渠道, 合理规划本金、贷款、利息等财务指标, 关注政府政策的变化, 尽量避开、转移上述三大风险。

3) 根据评价结果, 可以看出对于不同的抽水蓄能电站, 其主要风险是不同的。项目A的自然风险、融资风险较高, 项目B的融资风险、管理风险较高, 项目C的技术、管理风险较高。因此, 不同的抽水蓄能电站需要有针对性地采取不同风险防范措施, 以降低风险。

4 结论

论文从风险评价的角度, 通过分析抽水蓄能电站的发展环境, 进行风险源辨识和风险因素分析, 进而运用灰色关联法和 TOPSIS 法建立了组合评价模型, 最终建立了抽水蓄能电站项目的风险评价体系, 并通过3个具体项目验证了模型及体系的可行性与有效性。论文所构建的体系及研究成果有助于管理人员清楚地认识到各抽水蓄能电站项目所面临的风险因素及其影响程度, 对项目的实施做到心中有数, 从而有针对性地采取措施, 减少和规避各类风险, 以保障电站安全稳定运行, 更好地服务于经济社会建设。

参考文献:

- [1] 林铭山. 抽水蓄能发展与技术应用综述 [J]. 水电与抽水蓄能, 2018, 4(1): 1-4+22.
LIN M S. Survey on development and technology application of pumped storage [J]. Hydropower and Pumped Storage, 2018, 4(1): 1-4+22.
- [2] 郝璐. 山东沂蒙抽水蓄能电站建设项目的风险评价研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2015.
HAO L. Study on the risk evaluation of construction project of Shandong Yimeng pumped-storage power station [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2015.
- [3] 王大鹏. 国家电网5座抽水蓄能电站同时开工 [N]. 国家电网报, 2019-01-09.
WANG D P. Five pumped storage power stations of State Grid started operation at the same time [N]. State Grid News, 2019-01-09.
- [4] 吴强, 孔庆捷. 基于代理型CM模式的抽水蓄能电站工程造价管理研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(1): 104-109.
WU Q, KONG Q J. Research on the engineering cost management of pumped-storage power station project with agency CM

mode [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(1): 104-109.

- [5] 聂金峰. 抽水蓄能电站与火电厂联合优化运行分析 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(3):61-66.
NIE J F. Analysis of combined optimal operation of pumped storage power plants and thermal power plants [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(3):61-66.
- [6] 张富强, 刘昌, 姜阶华, 等. 适应电力体制改革的抽水蓄能电站价格机制研究 [J]. 水力发电, 2018, 44(4):100-104.
ZHANG F Q, LIU C, JIANG J H, et al. Study on pricing mechanism of pumped hydro energy storage (PHES) under China's electricity tariff reform [J]. Water Power, 2018, 44(4):100-104.
- [7] 肖达强, 黎舒婷, 舒康安, 等. 我国抽水蓄能电站的管理体制和运营模式探讨 [J]. 电器与能效管理技术, 2016(14): 79-84.
XIAO D Q, LI S T, SHU K A, et al. Research on the management systems and operation patterns of pumped-storage power stations in China [J]. Electrical Energy Management Technology, 2016(14):79-84.
- [8] 高瑾瑾, 郑源, 李润鸣. 抽水蓄能电站技术经济效益指标体系综合评价研究 [J]. 水利水电技术, 2018, 49(7):52-158.
GAO J J, ZHENG Y, LI J M. Study on comprehensive evaluation of tech-economic benefit index system of pumped storage hydropower station [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(7):52-158.
- [9] 王诗玉, 吕呈新, 肖宇轩. 基于模糊判别准则的抽水蓄能电站工期风险研究 [J]. 水电与新能源, 2017(7):36-39.
WANG S Y, LV C X, XIAO Y X. Risk analysis for the construction duration of pumped storage power station based on the fuzzy discrimination criterion [J]. Hydropower and New Energy, 2017(7):36-39.
- [10] 于心怡. 基于综合风险评价的光伏发电项目投资决策模型研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2014.
YU X Y. Research on investment decision model of Photovoltaic power generation project based on integrated risk assessment [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2014.

作者简介:



王丙乾

王丙乾 (通信作者)

1990-, 男, 山西晋城人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司工程师, 经济师, 华北电力大学技术经济及管理硕士, 主要从事电网工程造价、技经咨询管理的工作 (e-mail) wangbqian12@163.com.

(责任编辑 李辉)