[数字化项目]

基于G1-变异系数-TOPSIS的电网数字化类储备项目优选排序

文/李暮桉
华北电力大学经济管理系

为提高电网数字化储备项目优选排序的科学性和合理性，构建一套电网数字化类储备项目优选排序综合评价指标体系，采用G1算法和变异系数法分别确定主客观权重，结合TOPSIS方法构建一种基于G1–变异系数–TOPSIS的电网数字化储备项目优选排序模型。实证分析表明，提出的优选排序模型不仅在区分度和稳定性上优于传统方法，也可以为其他类型储备项目优选排序提供参考借鉴。

在全球生态持续恶化的大背景下，能源结构转型和低碳化发展已成为各国能源战略的核心内容[1]。为了确保电网建设的科学性和合理性，对储备项目进行优选排序显得尤为重要。

姚琪等[2-3]利用数字化工具，通过项目优选排序和动态预测，来提升电网投资管理的精准性和效率。张哲等[4]详细探讨了通过综合评价和优选排序电网储备项目的方法，旨在提升电网企业的整体效益和运行效率。方建亮等[5]采用科学的评价指标体系和分级排序的规则，优化电网项目的投资管理和资源配置。以上都充分体现电网管理的数字化转型。

综上所述，G1算法、变异系数法与TOPSIS法在多属性决策中优势显著，但鲜有将G1-变异系数-TOPSIS模型应用在电网数字化类储备项目的优选排序。基于中国“数智”电网建设的迫切需求[6-16]。本文提出该模型，通过对比分析验证其在区分度与可靠性上的优势，为电网数字化储备项目优选排序提供理论与方法支持。

指标体系构建

本研究在系统总结电网数字化类储备项目指标的基础上，归纳总结得出现有研究在构建电网储备项目优选的指标体系。并且，从安全性、经济性、社会效益和环境效益四个方面构建了包含23个指标的量化评价指标体系，见表1。

表1　电网数字化储备项目量化评价指标体系

目标层	准则层	一级指标	二级指标
电网数字化储备项目评价*X*	安全性*X*1	*N*-1通过率*X*11	关键元件冗余度*X*111 故障切换时间*X*112
		短路电流水平*X*12	短路电流峰值*X*121 短路电流持续时间*X*122
		停电风险*X*13	停电时间概率*X*131 停电影响范围*X*132
	经济性*X*2	电量效益*X*21	电量销售收入*X*211 节能收益*X*212
		建设成本*X*22	设备采购成本*X*221 施工成本*X*222
		运营成本*X*23	维护费用*X*231 管理费用*X*232
		投资回报率*X*24	净收益*X*241 投资总额*X*242
	社会效益*X*3	社会接受度*X*31	公众满意度*X*311 政策支持度*X*312
		就业机会*X*32	直接就业人数*X*321 间接就业人数*X*322
	环境效益*X*4	新能源减排效益*X*41	CO_2排放量*X*411 其他污染物减排量*X*412
		环境影响*X*42	噪声影响*X*421 排放影响*X*422 土地占用*X*423

基金项目：河北省社会科学基金（HB17GL068）；国家电网公司技术服务项目（SGXJ0000FCJS2400173）

基于G1-变异系数-TOPSIS的组合评价模型

G1法是AHP法的改进方法，避开了两两对比比较判断矩阵的建立及一致性检验，计算量比AHP法明显减少。变异系数法是一种直接对指标数据进行数学处理求取指标权重的客观赋权方法，在充分考虑指标数据的相对变化幅度的同时，大大减少主观因素的干扰。TOPSIS法很好地解决模糊评价法指标之间的信息相关问题，同时对数据来源无特殊要求。

1. G1法确定指标主观权重

G1算法通过设定排序相邻指标之间的权重比值来反映各指标的重要性。然后，依据这些比值，迭代计算各指标的权重，从而生成主观权重向量。

1）确定排序。将评价指标按重要性进行排序，构建评价指标集$\{X_1,X_2,\cdots,X_n\}$，设定相邻指标的重要性比值

$$r_k=\frac{\omega_{k-1}}{\omega_k},\ k=n,n-1,...,3,2 \tag{1}$$

式中，ω_k为第k个指标权重。

2）计算每个指标的主观权重。首先根据相邻指标的重要性比值求积，即

$$\prod_{j=k}^{n} r_j=\frac{\omega_{k-1}}{\omega_n} \tag{2}$$

则可以得到第n个评价指标的权重为

$$\omega_n=\left[1+\sum_{k=2}^{n}\left(\prod_{j=k}^{n} r_j\right)\right]^{-1} \tag{3}$$

式中，ω_n为第n个评价指标的权重；r_j为第j个指标的重要性比值。

则可以根据式（2）依次迭代计算所有指标的权重

$$\omega_{k-1}=r_k\cdot\omega_k,\ k=n,n-1,...,2 \tag{4}$$

式中，ω_k为第k个指标的权重；r_k为相邻指标的重要性比值。

3）最后计算权重向量。根据式（2）中的顺序关系可以得到评价指标向量$\{X_1,X_2,\cdots,X_n\}$的权重向量

$$W_{G1}=[\omega_1,\omega_2,...,\omega_n]^{\mathrm{T}} \tag{5}$$

式中，W_{G1}为G1算法计算得到的主观权重向量；ω_i为第i个指标的权重。

2. 变异系数法确定指标客观权重

变异系数是标准差与均值的比值，反映各指标在样本中的离散程度，变异系数越大，表示该指标的数据离散程度越高，对综合评价的影响也越大，因此其权重也应相应增加。

1）将不同量纲的数据归一化处理，使数据在同一尺度上进行比较。由于本文选取的指标均为正向指标，无负向指标，故由式（6）进行归一化处理

$$x_i=\frac{A_i-\min(A)}{\max A-\min A} \tag{6}$$

式中，max$A$为指标的最大值；min$A$为指标的最小值，x_i为无量纲化值。

2）计算各指标的标准差S_j均值$\bar{x}_j$

$$\begin{aligned} S_j&=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x}_j)^2},\ j=1,2,...,m\\ \bar{x}_j&=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_{ij},\ j=1,2,...,m\end{aligned} \tag{7}$$

式中，S_j为第j个指标的标准差。

3） 计算各指标的变异系数

$$V_j=\frac{S_j}{\bar{x}_j} \tag{8}$$

式中，V_j为第j个指标的变异系数；S_j为第j个指标的标准差；$\bar{x}_j$为第j个指标的均值。

4） 归一化变异系数，确定客观权重

$$\omega_j'=\frac{V_j}{\sum_{j=1}^{m}V_j} \tag{9}$$

式中，ω_j'为第j个指标的客观权重。

则根据式（9）就可以得到由变异系数法确定的权变量向量

$$W_{BY}=[\omega_1',\omega_2',\ldots,\omega_n']^{\mathrm{T}} \tag{10}$$

式中，ω_n'为第n个指标的客观权重。

3. 离差最小化指标组合赋权

采用组合赋权，避免单独赋权带来的信息损失，并且充分反映影响评价的各个因素。

1）结合G1算法的主观权重和变异系数法的客观权重，计算组合权重

$$W=a\cdot W_{G1}+bW_{\mathrm{BY}} \tag{11}$$

2）计算主观权重和客观权重的偏离系数

$$\begin{aligned} e_i&=\sum_{i=1}^{n}\left(a\cdot r_{ij}\cdot\omega_j-b\cdot r_{ij}\cdot\omega_j^1\right)^2\\ &\text{s.t.}a,b\geqslant 0;a+b=1\end{aligned} \tag{12}$$

式中，e_j为第i个样本的偏离系数；a为主观权重的系数；r_{ij}为第i个样本中第j个指标的值；ω_j为第j个指标的主观权重；b为客观权重的系数；ω_j'为第j个指标的客观权重。

3）优化模型

$$\begin{aligned}&\min E=\sum_{i=1}^{m}e_i\\&\text{s.t.}a,b\geqslant 0,a+b=1\end{aligned}\tag{13}$$

式中，E为总的偏离系数。

4）计算组合权重系数

$$a=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}r_{ij}^2\omega_j'\left(\omega_j+\omega_j'\right)}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}r_{ij}^2(\omega_j+\omega_j')^2}\tag{14}$$

$$b=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}r_{ij}^2\omega_j\left(\omega_j+\omega_j'\right)}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}r_{ij}^2(\omega_j+\omega_j')^2}\tag{15}$$

将式（14）、式（15）代入式（11）就可以得到组合权重。

4. 模型求解

使用综合权重构建加权标准化决策矩阵。按照TOPSIS法的步骤进行综合评价，得到项目优选排序。

1）构建加权标准化决策矩阵

$$\begin{aligned}V&=\begin{bmatrix}r_{11}&r_{12}&\cdots&r_{1n}\\r_{21}&r_{22}&\cdots&r_{2n}\\\vdots&\vdots&&\vdots\\r_{m1}&r_{m2}&\cdots&r_{mn}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}f_1&0&\cdots&0\\0&f_2&\cdots&0\\\vdots&\vdots&&\vdots\\0&0&\cdots&0\end{bmatrix}\\&=\begin{bmatrix}v_{11}&v_{12}&\cdots&v_{1n}\\v_{21}&v_{22}&\cdots&v_{2n}\\\vdots&\vdots&&\vdots\\v_{m1}&v_{m2}&\cdots&v_{mn}\end{bmatrix}\\&\text{s.t.}\sum_{i=1}^{n}f_i=1,f_i>0\end{aligned}\tag{16}$$

式中，V为加权标准化决策矩阵；v_{ij}为第i个样本中第j个指标的加权标准化值；f_i为第i个指标的组合权重。

2）确定正理想解S^+和负理想解S^-

$$\begin{aligned}S^+&=\left\{\max\left(v_{ij}\right)\mid j\in J^+\right\}\\S^-&=\left\{\min\left(v_{ij}\right)\mid j\in J^-\right\}\end{aligned}\tag{17}$$

式中，v_{ij}为第i个样本中第j个指标的加权标准化。

3）计算每个评价指标正负理想解的距离

$$\begin{aligned}D_i^+&=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij}-S_j^+)^2}\\D_i^-&=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij}-S_j^-)^2}\end{aligned}\tag{18}$$

式中，D_i^+为第i个样本与正理想解的距离；D_i^-为第i个样本与负理想解的距离。

4）计算相对贴近度

$$C_i^*=\frac{D_i^-}{D_i^++D_i^-}\tag{19}$$

式中，C_i^*为第i个样本的相对贴近度。

算例分析

现需要对$M1\sim M8$个电网数字化类项目从安全性、经济性、社会效益和环境效益四个方面，进行综合评价。

1. 数据预处理

本文选择8个电网数字化类项目进行实证研究，通过式（6）实现指标原始数据的规范化无量纲处理，见表2。

表2　电网数字化储备项目优选排序指标无量纲化值

	X_{111}	X_{112}	X_{121}	X_{122}	X_{131}	X_{132}	X_{211}	X_{212}	X_{221}	X_{222}	X_{231}	X_{232}
M_1	0.300	0.412	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M_2	0.750	0.118	0.286	0.143	0.500	0.143	0.284	0.143	0.287	0.286	0.287	0.386
M_3	0.150	0.706	0.429	0.286	0.250	0.286	0.143	0.286	0.143	0.141	0.143	0.153
M_4	0.600	0.000	0.000	0.429	1.000	0.429	0.429	0.428	0.426	0.430	0.428	0.423
M_5	0.000	0.235	0.571	0.573	0.750	0.571	0.571	0.570	0.573	0.570	0.573	0.572
M_6	0.850	0.588	0.714	0.714	0.500	0.714	0.712	0.712	0.710	0.714	0.715	0.724
M_7	0.450	1.000	0.857	0.855	0.250	0.857	0.858	0.858	0.858	0.856	0.859	0.853
M_8	1.000	0.820	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	X_{241}	X_{242}	X_{311}	X_{312}	X_{321}	X_{322}	X_{411}	X_{412}	X_{421}	X_{422}	X_{423}	
M_1	0.000	0.000	0.500	0.000	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
M_2	0.286	0.285	1.000	0.333	0.286	0.286	0.283	0.200	0.293	0.288	0.290	
M_3	0.143	0.143	0.000	0.167	0.000	0.143	0.144	0.080	0.176	0.143	0.176	
M_4	0.427	0.426	0.750	0.500	0.429	0.428	0.426	0.320	0.412	0.427	0.412	
M_5	0.571	0.570	1.000	0.667	0.572	0.570	0.571	0.400	0.589	0.575	0.586	
M_6	0.714	0.712	0.500	0.833	0.714	0.714	0.716	0.600	0.765	0.714	0.765	
M_7	0.856	0.855	0.250	1.000	0.857	0.857	0.851	0.800	0.882	0.853	0.882	
M_8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

2. G1法主观权重计算

综合专家意见，以及对相对重要性理性赋值，根据式（3）、式（4），迭代计算各指标的权重，可得23个二级指标对目标层的G1法权重见表3中W_{G1}。

3. 变异系数法客观权重计算

由表2中全部无量纲化值，并根据式（7）计算23个指标的变异系数，并且由式（9）进行归一化处理，得到变异系数计算的客观权重见表3中W_{BY}。

4. 组合赋权

将上述由G1得到的主观权重和变异系数法得到的客观权重代入离差最小化的求解过程，根据式（11）、式（14）和式（15），求得a=0.4984，b=0.5015，以及组合权重值见表3中W。

表3　二级指标权重

	X_{111}	X_{112}	X_{121}	X_{122}	X_{131}	X_{132}	X_{211}	X_{212}	X_{221}	X_{222}	X_{231}	X_{232}
W_{G1}	0.062	0.047	0.050	0.042	0.044	0.040	0.037	0.031	0.030	0.027	0.028	0.031
W_{BY}	0.041	0.052	0.046	0.041	0.035	0.034	0.046	0.041	0.046	0.045	0.046	0.045
W	0.051	0.049	0.048	0.042	0.039	0.037	0.036	0.042	0.038	0.036	0.037	0.036
	X_{241}	X_{242}	X_{311}	X_{312}	X_{321}	X_{322}	X_{411}	X_{412}	X_{421}	X_{422}	X_{423}	
W_{G1}	0.031	0.024	0.067	0.056	0.054	0.049	0.067	0.051	0.035	0.0.29	0.043	
W_{BY}	0.046	0.041	0.052	0.049	0.046	0.041	0.046	0.041	0.045	0.041	0.046	
W	0.038	0.033	0.059	0.053	0.050	0.045	0.056	0.046	0.040	0.035	0.045	

5. 基于G1-变异系数-TOPSIS算法评估贴近度

表4　G1—变异系数—TOPSIS算法评估贴近度

评估对象	M_1	M_2	M_3	M_4
贴近度	0.173	0.382	0.224	0.442
排序	8	6	7	5
评估对象	M_5	M_6	M_7	M_8
贴近度	0.548	0.687	0.719	0.835
排序	4	3	2	1

将得到的组合权重代入前文中介绍的算法，可以得到利用G1-变异系数-TOPSIS得到的有效性评估贴近度排序，由表4可知，基于改进算法得到的8个项目的排序为$M_8>M_7>M_6>M_5>M_4>M_2>M_3>M_1$。

6. 不同模型贴近度比较分析

为了验证本文所提算法性能，将本文模型与G1-熵值-TOPSIS法、传统的TOPSIS法做对比，得到的贴近度见表5。

表5　各模型评价排序结果

评估对象	G1-变异系数-TOPSIS		G1-熵权-TOPSIS		TOPSIS	
	贴近度	排序结果	贴近度	排序结果	贴近度	排序结果
M_1	0.173	8	0.151	8	0.160	8
M_2	0.382	6	0.358	6	0.424	5
M_3	0.224	7	0.225	7	0.229	7
M_4	0.442	5	0.446	5	0.417	6
M_5	0.548	4	0.547	4	0.539	4
M_6	0.687	3	0.685	3	0.687	3
M_7	0.719	2	0.725	2	0.727	2
M_8	0.835	1	0.793	1	0.814	1

本文提出的模型在项目优选排序上与G1-熵权-TOPSIS一致，而在传统单一模型排序下，M_2优于M_4。但是从实际情况角度来看，M_4要优于M_2。由此可见，本模型能够充分体现决策中各种主客观因素的影响，极大程度避免排序的错误。

为了对比分析模型之间的稳定性和区分度，计算三种模型贴近度的方差和极差，见表6。

表6　不同模型贴近度的方差及极差

	G1-变异系数-TOPSIS	G1-熵权-TOPSIS	TOPSIS
方差	0.039	0.038	0.038
极差	0.662	0.642	0.654

由表6可知，本文提出的模型的方差与极差均高于其他两个模型，说明本模型在识别项目优劣时有较高的区分度。

结束语

本文利用G1，变异系数对传统的TOPSIS进行改进，构建科学合理的评价模型，并通过实证研究，验证模型的有效性和实用性。

结果表明，基于G1-变异系数-TOPSIS的评价结果能够较好地反映各项目的优劣，排序结果符合实际情况，具有较高的实用价值。最后，本文将所提出的模型与传统模型进行比较，发现该模型在识别优劣项目时具有较高的区分能力和稳定性。EA

（收稿日期：2025-02-14）

参考文献

[1] 曾鸣，张硕．“十四五”电力规划的综合能源发展探析[J]．中国电力企业管理，2020(13)：26-28．

[2] 姚琪，苏川，张浩然，等．以项目优选为核心提升电网精准投资管理[C]//中国电力企业管理创新实践(2020年)．国网宁夏电力有限公司吴忠供电公司；2021：3．

[3] 张浩然，杨玉静，王少杰，等．基于电网成效贡献度的储备项目量化评价方法及优选排序[J]．南方电网技术，2021，15(2)：26-33．

[4] 张哲．电网储备项目综合评价与最佳建设数量研究[D]．北京：华北电力大学(北京)，2020．

[5] 方建亮，谢颖捷，朱晶亮．基于分级排序规则的项目储备管理优化提升研究与应用[J]．企业改革与管理，2021(4)：3-5．

[6] 陈人杰，李华取，彭晓涛，等．基于改进TOPSIS的新能源大数据服务项目评价研究[J]．电力建设，2021，42(3)：126-134．

[7] 姚琪，叶青，康志，等．基于二次插值粒子群优化算法的输电网储备项目优选排序策略研究[J]．电力系统及其自动化学报，2021，33(11)：21-27．

[8] 李志军，向建军，盛涛，等．基于G1-变异系数-KL改进TOPSIS雷达对抗干扰有效性评估[J]．北京航空航天大学学报，2021，47(12)：2571-2578．

[9] 庄平，李延喜．基于G1-变异系数的企业投资风险评价模型与实证研究[J]．软科学，2011，25(10)：107-112+120．

