

基于TOPSIS方法的电力调度综合数据质量评价研究

何晓龙

(广东电网公司电力调度控制中心, 广东 广州 510220)

摘要: 为实现对电力调度综合数据质量的评判, 提出了基于 TOPSIS 方法的电力调度综合数据质量评价模型。根据电力调度数据的分类, 设计了关于基础设备数据、电网运行方式数据和电网在线应用数据质量的评价指标。提出了改进层次分析法和熵权法结合的综合权重计算方法。利用前景理论和 TOPSIS 方法对指标排序结果进行计算。最后利用案例分析说明了所提评价指标和方法的有效性。

关键词: TOPSIS 评价; 电力调度; 数据评价; 综合权重

Research on quality evaluation of power dispatch comprehensive data based on topsis method

HE Xiaolong

(Power Dispatching Control Center of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510220, China)

Abstract: In order to realize the evaluation of the comprehensive data quality of electric power dispatching, this paper proposes an evaluation model of comprehensive data quality of electric power dispatching based on TOPSIS method. According to the classification of power dispatching data, the evaluation indexes of basic equipment data, power grid operation mode data and grid online application data quality are designed. A comprehensive weight calculation method combining improved analytic hierarchy process and entropy weight method is proposed. Using the prospect theory and TOP SIS method to calculate the index ranking results. Finally, a case analysis is used to illustrate the validity of the evaluation index and method proposed in this paper.

Key words: TOPSIS evaluation; power dispatching; data evaluation; comprehensive weight

0 引言

电力调度是电网正常运行和稳定运行的重要内容。电力调度数据的质量关系着系统运行的质量, 因此需要采用高效、可靠的方法, 实现对电力调度数据质量的评估^[1], 以便及时寻找、发现数据存在的缺陷, 以高质量电力调度数据完成调度控制分析和决策制定。为此, 本文提出电力调度综合数据质量评价方法。

目前针对电网调度数据评价的研究不多。文献[2]提出了规则库在电力数据质量评价中的应用; 文献[3]提出了基于灰色熵权法的大数据质量评估; 文献[4]提出了大数据环境下的电力数据质量评价模型; 文献[5]提出了基于Benford法则的电力数据评价。针对电力系统评价及方法, 文献[6]建立了新型电力系统下低碳电网效益评

广东电网有限责任公司科技项目 (0360002022030304SC00011)

价模型；文献[7]提出了基于大数据的电力项目全过程经济性评价方法；文献[8]提出了基于营销大数据的电力客户多维度信用评价模型；文献[9]设计了基于LabVIEW的大规模电力设备可靠性评价系统；文献[10]提出了智能变电站二次设备状态评价方法。目前上述评价研究均集中在管理类，没有针对电力调度数据质量进行分析，尤其是在电力调度综合数据质量评价方面的研究略显空白。

为此，本文针对电力调度数据的特征进行评价指标设计。与以往电力调度评价指标不同，本文关心的是电力调度数据质量的评价，因此主要针对数据的属性进行指标设计，并根据综合权重确定多种类别中指标优先级，有效解决了电力调度数据分析中的重要性不突出等问题。

1 电力调度数据概况

电力调度随着精细化管理要求的日益严格，需要收集数据的形式和类别也呈现多样化和复杂化。根据数据中心、调度要求和上报要求，将数据分为电网运行数据、事件型数据、运行规则类数据和填报类数据。

电网运行数据主要是指由数据中心直接传输的基础数据，包括电压、电流、潮流、功率和电网频率等数据。事件型数据由调度指挥管理信息系统（DMIS）及调度管理系统（OMS）上传，包括事故数据、异常数据和告警信息等。运行规则类数据包括电网风险、运行方式等数据。填报类数据由各地区、各厂站进行填报，包括早晚峰、煤炭存量情况等。调度数据质量影响着电网综合决策分析，数据标准和数据结构的统一能够打破应用系统的数据壁垒，提升电网调度应用数据的效率，将无序数据规则化、有序化是实现调度数据质量提升的关键。电力调度数据概况如图1所示。

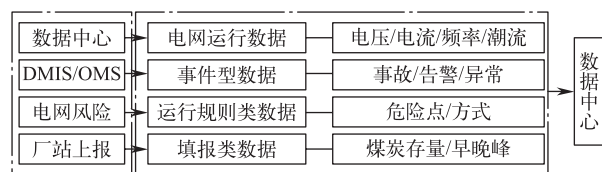


图1 调度数据结构

Fig. 1 Scheduling data structure

由此可见，调度数据中心对数据进行一体化综合集成时，需要打通安全I区、安全II区与安全III区的网络壁垒，涵盖所有电网运行数据，包括电压、电流、频率、计算机、计划和设备等基础数据，还需要提供III区网络访问I区、II区的数据源接口。另外，基础数据是数据类型中的具体表现，随着数据业务的不断扩大，数据源逐渐增加，数据类型产生的基础数据经过数据处理后可以构成数据集市，面向调度业务需求的数据集市是对统一数据平台的基本保障。

统一数据包括大量信息电网调控运行，需要从调度实际业务出发，通过海量数据分析，实现关键调度运行规则的自动提取、离线生成、在线匹配和自动预警。这类数据涵盖面广、内容形式多样，主要调度运行业务需求的数据包括负荷偏差、潮流转移和电压偏移^[11]。

负荷偏差指标是日前负荷预测值与实际电网负荷的偏差水平。负荷偏差指标需要考虑全网和各省市预计负荷与实际负荷的偏差水平，根据省市及直管电厂的备用情况监视关键断面潮流和直流计划监视。潮流转移指标是针对关键潮流断面相邻时间断面内的潮流变化情况，如果检测到关键断面潮流突变且大于设定范围，动态区域控制（ACE）偏差动作或故障，智能告警系统发出告警，自动核查关键断面潮流变化的原因，并按照变化潮流转移比进行大小排序。潮流转移原因一般分为系统事故或动态ACE动作以及机组跳闸等。需要根据实际的原因进行判别，并给出处理意见。电压偏移指标是实际的电压水平与参考值之间的偏差，偏差达到一定范围且持续时间达到一定水平时，需要采取调压手段。

2 调度数据源及其多维度评价指标

2.1 电网基础设备类数据

（1）属性正确率

调度模型属性是指调度模型数据所属平台、调度运行管理分类的归属。通常调度模型属性与数据类型关系密切，不同数据类型的属性不同。

属性正确率的计算公式为

$$C_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} C_i \times 100\% \quad (1)$$

式中, C_1 为属性正确率; N_1 为系统设备个数; C_i 为设备属性错误状态。若没有错误, 则 $C_i=1$; 若有错误, 则 $C_i<1$; 若有严重错误, 则 $C_i=0$ 。

(2) 设备数据完整率

设备数据的完整性主要是指规划类设备参数与运行类设备参数在特定周期内的完整性。根据电压等级不同进行相应分类。该完整率计算式为

$$C_2 = \frac{1}{N_2} \sum_{i=1}^{N_2} I_i \times 100\% \quad (2)$$

式中, C_2 为模型完整率; N_2 为系统建立的模型个数; I_i 为第 i 个设备模型参数维护不完整状态。若设备参数维护不完整, 则 $I_i=0$; 若维护完整, 则 $I_i=1$ 。

(3) 参数流转率

基础设备建立完成后, 规划类设备参数在一定阶段内需要转化为运行类设备参数, 设备与工程关联后可进行流转。工程可分为基建工程和技改工程等, 环网功率参数匹配率计算公式为

$$C_3 = \frac{1}{N_4} \sum_{i=1}^{N_3} S_i \times 100\% \quad (3)$$

式中, C_3 为参数流转率; S_i 为规划类参数转化为运行类参数数量; N_3 为规划类参与流转的参数数量; N_4 为总参数数目。

2.2 电网运行方式数据

(1) 量测有效率

电网运行数据量测的电压、电流、潮流和频率等参数不可避免地存在误差, 因此需要对这些量测量的有效率进行计算, 可获得有效参数的占比, 量测有效率的计算公式为

$$\mu_1 = \frac{1}{N_3} \sum_{i=1}^{N_3} \beta_i \times 100\% \quad (4)$$

式中, μ_1 为量测有效率; N_3 为电力系统理论测点总数; β_i 为第 i 个量测是否有效的量化数值。当某个测点残差大于门槛值或测点被屏蔽或该测点未采集时, 均设置 $\beta_i=0$; 否则 $\beta_i=1$ 。

(2) 量测节点不均衡率

量测数据的设置节点反映了该节点及周边的断面潮流情况。但量测节点设置的不均衡性影响量测的有效率, 考察量测节点不平衡率能够直观地反映出电网在设置量测节点的潮流判断差异。量测不均衡率的计算公式为

$$\mu_2 = \frac{1}{N_4} \sum_{i=1}^{N_4} \frac{S_{i,out}}{S_i} \times 100\% \quad (5)$$

式中, μ_2 为量测考核有效率; N_4 为有效节点数目; $S_{i,out}$ 为母线节点与线路量测节点的数量差; S_i 为总量测节点。

(3) 量测准确率

借用信息理论中交叉熵的概念, 通过计算高斯函数表示的交叉熵来衡量残差范围。该指标用于表征数据采集与监视控制 (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) 系统量测的准确性, 量测准确率计算公式为

$$\mu_3 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m e^{-\frac{(z_i - h_i(x))^2}{2\delta_i^2}} \quad (6)$$

式中, μ_3 为量测准确率; m 为电力系统参与考核量测点数; z_i 为量测值; $h_i(x)$ 为状态估计值; δ_i 取量测标准差的 2~3 倍。

2.3 电网在线应用数据

(1) 数据实时率

广域监测系统 (Wide Area Measurement System, WAMS)、SCADA 等主站系统对于子站上送的信号均有时效性要求, 信号的延迟超过规定阈值导致对系统故障的处理不及时。该指标用于表征子站上送信号的及时性, 数据实时率计算公式为

$$C_4 = \begin{cases} 1 & T_{\text{delay}} \leq 0 \\ \frac{100 - T_{\text{delay}}}{100} \times 100\% & 0 < T_{\text{delay}} < 60 \\ 0 & T_{\text{delay}} \geq 60 \end{cases} \quad (7)$$

式中, C_4 为数据实时率; T_{delay} 为告警时延同门槛值之间的差值。

(2) 数据更新及时率

该指标是指按要求时间完成数据更新的次

数占总次数的比值，用于表征各级调度之间数据的衔接紧密程度以及数据通信能力，计算公式为

$$C_5 = \frac{1}{N_5} \sum_{N_5}^i C_{s,i} \times 100\% \quad (8)$$

式中， C_5 为数据更新率； N_5 为更新数据总个数； $C_{s,i}$ 为更新数据累计次数。

(3) 应用数据完备率

在线应用类数据包括与多个其他系统的接口共享数据。该指标用于表征在线应用数据的应用完整性，数据完备率计算公式为

$$C_6 = \frac{1}{N_6} \sum_{N_6}^i E_i \times 100\% \quad (9)$$

式中， C_6 为数据完备率； N_6 为系统总接口应用数； E_i 为该调度数据系统能够与其他系统数据交互的应用个数。

3 指标权重计算方法

3.1 改进层次分析

考虑 m 个评价指标和 N 位专家参与评价。 N 位专家联合确定指标重要度并进行排序，每名专家给出指标相对于其他两条指标的相对重要度。具体见表1。

表1 相对重要程度

Tab. 1 Relative importance

相对重要度	度量值
极为重要	1.9
相对重要	1.6
较重要	1.3
一般重要	1.0

指标 x_j 和 x_{j+1} 的相对重要度确定为 t_{ij} ，得到最终决策矩阵 R 。

具体计算式^[12]为

$$\begin{cases} R_{ab} = N \sqrt{\prod_{i=1}^N \prod_{j=a}^{b-1} t_{ij}} & b > a \\ R_{ab} = 1 & b = a \\ R_{ab} = \frac{1}{R_{ba}} & b < a \end{cases} \quad (10)$$

$$\delta_j = m \frac{\sqrt{\prod_{b=1}^m R_{jb}}}{\sum_{a=1}^m m \sqrt{\prod_{b=1}^m R_{ab}}} \quad (11)$$

式中， δ_i 为指标主观权重； $\prod_{b=1}^m R_{ab}$ 为评判矩阵 R 所有行元素之积。

3.2 熵权法

对于含有 n 个指标的情况，需先计算指标熵值^[13]

$$I_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (12)$$

其中

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (13)$$

$$k = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (14)$$

式中， k 为常数； p_{ij} 为指标 j 相对于指标 i 的权重。

指标的偏差因子为

$$v_j = 1 - I_j \quad (15)$$

最终权重计算式为

$$\varepsilon_j = \frac{v_j}{\sum_{k=1}^m v_k} \quad (16)$$

3.3 组合权重

为保证主观权重和客观权重的公平性，利用如下的优化模型^[14]进行计算

$$\max j(w) = \sum_{i=1}^m \left(w_i \ln \frac{w_i}{\delta_i} + w_i \ln \frac{w_i}{\varepsilon_i} \right) \quad (17)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (18)$$

$$w_i \geq 1 \quad (19)$$

$$w_i = \frac{\sqrt{\delta_i \varepsilon_i}}{\sum_{j=1}^m \sqrt{\delta_j \varepsilon_j}} \quad (20)$$

式中， δ_i 为主观权重； ε_i 为客观权重。

由此，得到指标的综合权重。

4 基于TOPSIS指标优先级排序

4.1 前景理论

决策者对 M 个指标给出期望值,形成期望矩阵 Q 。同时,基于对 N 个场景所有指标的取值,得到决策矩阵 X 。

$$x_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max_i \{X_{ij}\}} \quad (21)$$

$$q_i = \frac{Q_i}{\max_i \{Q_i\}} \quad (22)$$

指标分为成本型或效益型。决策矩阵中的数值经过计算可得到收益矩阵或损耗矩阵。前景价值矩阵的计算方法为

$$\begin{cases} V_{ij} = s_{ij}^\alpha, & s_{ij} > 0 \\ V_{ij} = -\lambda(-s_{ij})^\beta, & s_{ij} < 0 \end{cases} \quad (23)$$

$$\begin{cases} s_{ij} = x_{ij} - q_j \\ s_{ij} = q_j - x_{ij} \end{cases} \quad (24)$$

式中, α 、 β 分别为投资者对于收益和损失的风险因素; λ 为损失厌恶系数,该数值越高,投资者对于损失的灵敏度越高。

4.2 TOPSIS方法

逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)是计算实际解中最优解和最差解的距离^[15]。通过计算评价对象与正理想解和负理想解的相对贴近度,对多个方案的实施效果进行评判和排序。正理想解中的各项属性均为样本最优值,负理想解中的各项属性均为样本最劣值。若某种方案在靠近正理想解的同时又远离负理想解,则该方案为较好的优选方案^[16]。

本文将前景理论与TOPSIS相结合,前景价值矩阵用于正理想解和负理想解的选择。利用上文介绍的权重求解方法计算正理想解和负理想解之间的加权欧式距离,并对场景进行排序。

正理想解 V^+ 与负理想解 V^- 分别为

$$V^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in I_1), (\min_i v_{ij} | j \in I_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (25)$$

$$V^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} | j \in I_1), (\max_i v_{ij} | j \in I_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (26)$$

各解与正、负理想解的距离计算式为

$$D_i^+ = \|V_i - V^+\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (27)$$

$$D_i^- = \|V_i - V^-\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (28)$$

各方案与正理想解的相对贴近度计算式为

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (29)$$

式中, C_i 表示方案 i 对正理想解的相对贴近度。 C_i 越大,表明方案越接近正理想解,在优劣排序中的位置越靠前。

5 案例分析

本文选择某地区调度数据中心收集到的电网基础设施数据、电网运行方式数据和电网在线应用数据进行数据质量计算,根据所提出的方法进行专家打分,确定指标相对重要程度。这类指标的重要程度水平见表2。

表2 专家重要程度打分

Tab. 2 Expert importance rating

指标	专家1	专家2	专家3
C_1	1.6	1.3	1
C_2	1.3	1.6	1.3
C_3	1.3	1	1.6
μ_1	1	1.3	1
μ_2	1.3	1.3	1
μ_3	1	1	1.3
C_4	1	1.3	1
C_5	1	1	1
C_6	1	1.3	1

按照所提的权重计算方法,得到主客观权重、客观权重和组合权重,结果见表3。

从表2中可以看出,专家对 C_1 、 C_3 和 C_4 指标更看重。另外,从组合权重看出, C_6 和 μ_2 具有相同重要程度。 C_1 、 C_4 和 C_3 指标在整个调度数据质量中的重要程度最为突出。

表3 权重结果
Tab. 3 Weight results

指标	主观权重	客观权重	组合权重
C_1	0.213 1	0.158 7	0.196 4
C_2	0.166 9	0.131 3	0.158 4
C_3	0.119 8	0.278 6	0.195 6
μ_1	0.093 4	0.023 8	0.050 4
μ_2	0.086 0	0.024 1	0.041 7
μ_3	0.072 2	0.065 2	0.073 5
C_4	0.066 2	0.135 6	0.191 2
C_5	0.060 6	0.024 3	0.037 4
C_6	0.060 6	0.025 1	0.041 7

针对TOPSIS分析,选择5种场景进行分析。

场景1:调控数据来自大部分传感器、表计,但限于成本,位削减大数据服务。

场景2:选用成本较低的数据通信方式,连接较多调控节点获取数据,但数据质量相比场景1更低。

场景3:以新能源调控数据为重点。

场景4:以发电侧和电网侧数据为重点。

场景5:综合以上场景数据,均衡配置。

利用前景理论,得到价值矩阵 V ,见表4。

表4 价值矩阵 V
Tab. 4 Value matrix V

指标	场景1	场景2	场景3	场景4	场景5
C_1	-0.270 3	0.199 6	0.085 1	-0.132 4	-0.270 1
C_2	0.080 6	0.080 6	-0.382 4	0.132 5	-0.256 1
C_3	0.125 0	-0.542 1	0.191 5	0.052 4	-0.250 1
μ_1	0.062 3	0.036 5	0.050 6	-0.145 2	-0.156 8
μ_2	0.074 5	0.025 6	-0.163 3	0.045 1	-0.162 1
μ_3	-0.272 0	-0.129 8	0.014 2	0.014 2	0.142 5
C_4	-0.029 1	0.175 2	-0.236 6	0.086 5	-0.336 6
C_5	0.070 2	0.041 2	0.025 6	-0.164 2	-0.132 5
C_6	-0.174 0	-0.141 7	0.022 8	0.038 7	0.083 2

可以看出,对5种场景的排序依次为:场景1>场景4>场景3>场景2>场景5。因此针对现阶段调度数据,场景1的发展前景最佳,同时满足技术性和经济性要求。

6 结束语

本文提出了基于TOPSIS方法的电力调度综合数据质量评价方法。根据案例分析,说明本文

提出的电力调度数据质量分析指标能够从设备、运行方式和在线应用等维度体现数据的多样性。同时利用本文提出的综合权重计算方法,有效解决主观和客观权重赋权不平衡问题。利用前景理论和TOPSIS方法解决场景指标优先级排序问题,从而明确指标的重要程度,方便对电网调度数据质量进行综合评估。

参考文献

- [1] 王家武,赵佃云,晋京,等.调度自动化系统主站通道异常数据辨识[J].山东电力技术,2023,50(2):39-45.
- [2] 杨婧.规则库在电力数据质量评价中的研究与应用[J].电子技术与软件工程,2021(19):182-183.
- [3] 王杨琛,林佳能,苏志勇.基于灰色熵权法的大数据质量评估[J].微型电脑应用,2022,38(1):110-113.
- [4] 尹蕊,余仰淇,王满意,等.大数据环境下的电力数据质量评价模型与治理体系研究[J].自动化技术与应用,2017,36(4):137-141.
- [5] 王向.电力数据与经济数据质量比较分析——基于Benford法则的评价[J].调研世界,2016(10):34-37.
- [6] 李志杰,汪岩.新型电力系统下低碳电网效益评价模型的构建与应用[J].光源与照明,2023(1):198-200.
- [7] 李霄飞,陈正浩,陈子谦,等.基于大数据的电力项目全过程经济性评价方法及系统研究[J].项目管理技术,2022,20(10):118-122.
- [8] 刘翠玲,胡聪,王鹏,等.基于营销大数据的电力客户多维度信用评价模型研究[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(6):198-208.
- [9] 陈秀海,祁宏,陈默,等.基于LabVIEW的大规模电力设备可靠性评价系统[J].自动化与仪器仪表,2021(12):147-150.
- [10] 郭小坤,赵武智,牛静,等.一种智能变电站二次设备状态评价方法[J].电子器件,2021,44(3):664-669.
- [11] 朱建军.基于SOA架构的调度智能操作票管控系

- 统研究[J]. 电子器件, 2022, 45(1): 189-193.
- [12] 刘宇彬, 王克燕, 叶嘉诚, 等. 基于层次分析法与模糊评价的输电线路路径选择[J]. 山东电力技术, 2019, 46(5): 6-11.
- [13] 章枫, 赵雅雪, 周子青, 等. 基于级差最大化 AHP-熵权法的日前市场运营状态评估[J]. 浙江电力, 2020, 39(12): 90-98.
- [14] 林永君, 白青飞. 基于组合权重与TOPSIS法的火力发电厂运行指标评价[J]. 山东电力技术, 2021, 48(8): 61-65.
- [15] 何洁, 金骆松, 赵雯, 等. 基于TOPSIS法评价发电机组交易投机行为的研究[J]. 浙江电力, 2021, 40(5): 86-92.
- [16] 周永灿, 邱生敏, 张坤, 等. 调度操作指挥网络发令“六步法”设计与实现[J]. 自动化仪表, 2022, 43(10): 33-38.

作者简介

何晓龙(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 电力调度数据体系管理。

(收稿日期: 2023-07-12)