

# 基于改进DHNN模型的售电公司信用评价

李源<sup>1</sup>, 蓝歆格<sup>1</sup>, 尹纯亚<sup>2</sup>, 商侨晏<sup>2</sup>, 王森<sup>2</sup>, 戚格瑞<sup>1</sup>, 葛祥一<sup>1</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司龙游县供电公司, 浙江 龙游 324400;

2. 新疆大学 电气工程学院, 乌鲁木齐 830017)

**摘要:** 为规范售电公司的市场行为, 提升电力市场管理水平, 需对售电公司开展信用评价。因此, 基于Box-plot(箱形图)与正交化法, 提出了一种改进的DHNN(离散型霍普菲尔德神经网络)信用评价模型。首先, 分析梳理影响售电公司信用水平的因素, 构建了包括基本信息、基础管理、合同管理、交易管理等11个指标在内的信用评价指标体系, 并通过德尔菲法赋予指标权重。然后, 对售电公司中指标异常数值进行处理, 寻求其最优信用分值, 实现对售电公司信用水平的客观评价。最后, 通过算例验证所提模型的可行性, 结果表明, 该模型可对售电公司信用水平实现客观准确的评价。

**关键词:** 售电公司; 电力市场; 信用评价; 德尔菲法; 箱形图; 离散型霍普菲尔德神经网络

**DOI:** 10.19585/j.zjdl.202401009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Credit evaluation of electricity sales companies based on an enhanced DHNN model

LI Yuan<sup>1</sup>, LAN Xing<sup>1</sup>, YIN Chunya<sup>2</sup>, SHANG Qiaoyan<sup>2</sup>, WANG Sen<sup>2</sup>, QI Gerui<sup>1</sup>, GE Xiangyi<sup>1</sup>

(1. Longyou Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd, Longyou,

Zhejiang 324400, China;

2. School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

**Abstract:** To standardize the market conduct of electricity sales companies and elevate the power market management level, it is essential to conduct a credit evaluation of these companies. Therefore, based on Box-plot and orthogonalization methods, a credit evaluation model based on an enhanced discrete Hopfield neural network (DHNN) is proposed. Firstly, factors influencing the credit levels of electricity sales companies are analyzed, and a credit evaluation index system, which includes 11 indicators such as basic information, foundational management, contract management, and transaction management, is established. The weights for these indicators are determined using the Delphi method. Secondly, outliers in the indicators of electricity sales companies are addressed to derive optimal credit scores, enabling an objective assessment of their credit levels. Finally, the feasibility of the proposed model is verified through case studies. The results indicate that the model can objectively and accurately evaluate the credit levels of electricity sales companies.

**Keywords:** electricity sales company; electricity market; credit evaluation; Delphi method; Box-plot; DHNN

## 0 引言

随着电力市场不断发展, 我国对售电公司信用管理愈加重视, 但尚未形成一套公认的、行之有效的评价方法。信用评价方法不成熟使得在市场管理中存在无法对售电公司进行准确评价等一系列问题。建立科学评价方法有助于准确评价售电公司信用, 提升电力市场信用管理水平, 推动

构建“三公”市场环境, 有效规范市场行为。因此, 构建科学全面的信用评价方法迫在眉睫。

当前电力行业中使用较多的信用评价模型, 主要为层次分析法、随机森林及要素模型等, 尚无专门的售电公司信用评价模型<sup>[1-6]</sup>。文献[7]提出基于层次分析法和主成分分析法的电力用户信用综合评价模型。文献[8]结合德尔菲法与层次分析法构建市场主体信用评价模型, 对贵州市场进行应用研究。文献[9]提出利用核主成分分析法和物元可拓理论, 构建售电公司信用评价模型, 为信用评价提供参考。以上都是针对市场主体的评价研究, 在使用中存在较复杂、易受外界环境影

响等局限性, 不完全适用于售电公司信用评价。

DHNN(离散型霍普菲尔德神经网络)在外界环境干扰或数据缺失的情况下仍可利用自适应和自学习的联想记忆能力识别、分辨各类事物, 解决复杂的非线性分类问题<sup>[10]</sup>。文献[11]构建网络空间信息防御能力评估指标体系并确定指标权重, 将模糊综合评价法所得数据作为平衡点建立 DHNN 模型评估网络空间防御能力。文献[12]利用 DHNN 理论, 建立了试件力学性能的评价模型, 实现对镁合金的抗拉强度等级进行评价分类。文献[13]利用 DHNN 的联想记忆功能构建评估模型, 实现对有人机/无人机的协同作战效能的评估。综上所述, DHNN 在其他行业评价中已有所应用且取得较好效果, 但该算法在某些数值异常情况下可能会在反馈过程中出现偏差, 从而造成无法进行有效分类。由于电力市场中售电公司数量众多, 难免会出现异常数值。针对该现象, 本文将 Box-plot(箱形图)算法与正交化法改进 DHNN 算法引入到售电公司信用评价研究中。

本文根据电力系统中新能源高占比的特点并结合国网公司战略目标, 首先, 构建信用评价指标体系并利用德尔菲法赋权重。其次, 基于 Box-plot 算法与正交化法, 提出一种改进的 DHNN 信用评价模型, 实现对售电公司信用水平的客观评价。最后, 基于 MATLAB 软件进行实例计算, 验证所提模型的可行性。

## 1 售电公司信用评价指标体系构建

### 1.1 信用评价指标选取

随着售电侧的放开, 售电公司不断参与到电力市场运营中, 其市场经营活动也逐渐纳入交易中心运营管理。从管控售电公司经营风险、有效规范市场行为的角度来看, 其“信用水平”也在新电力市场环境受更多因素影响。故在电改新形势下亟需一套适应新形势的信用评价体系, 准确评价售电公司的信用水平, 防范信用风险发生。

当前售电公司信用评价指标主要考虑公司基本信息、社会责任等因素, 尚未做到综合考察影响信用的各种因素, 只有构建合适的评价指标体系才能全面客观反映售电公司真实的信用水平<sup>[14]</sup>。因此, 本文基于现有售电公司信用评价指标, 以

售电公司和交易中心为对象, 构建了包括基础信息、基础管理、合同管理、交易管理、结算管理、服务品质、信息管理、企业管理、偿债能力、盈利能力、信用记录在内的信用评价体系, 如图 1 所示。每个指标由多个二级指标组成, 客观评价售电公司守信能力、表现、意愿及财务情况, 对售电公司进行全方位考核。

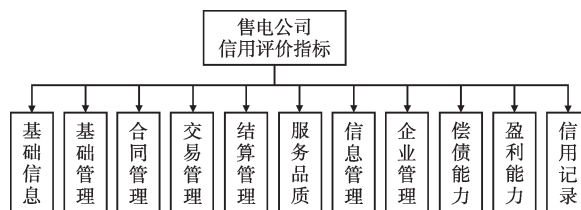


图 1 售电公司信用评价指标体系

Fig.1 Credit evaluation index system of electricity sales companies

### 1.2 信用评价指标赋值

国内电力市场中对市场主体的信用评价工作起步较晚, 当前对评价指标赋值主要采用专家打分法, 过于主观。在评价指标的赋值上还需做到客观合理, 故在评价指标赋值上选择了较为科学、实用和客观的德尔菲法。该方法邀请不同权威专家采用匿名方式独立做出自己的判断, 避免其他繁杂因素影响。同时评分过程须反复征求专家意见-归纳、统计-匿名反馈-归纳、统计, 经过多轮反馈进而使专家意见逐渐趋同。上述过程使该方法具有较好的科学性和实用性, 同时具有一定程度综合意见的客观性, 较为可靠。使用德尔菲法对评价指标赋值流程如图 2 所示, 由电力市场权威专家对所有指标进行独立匿名赋值, 并经过多轮征询、归纳、修改, 最后综合多方经验确定评价指标分值。

## 2 改进的 DHNN 评价模型

构建售电公司评价指标体系仅是建立信用评价模型的前提条件。信用评价的流程包括确定评价目标、构建评价指标体系、指标权重赋值、选择评价方法、对售电公司综合评价。

信用评价方法是评价售电公司信用最重要的工具, 贯穿整个评价模型的建立、分析判断和评价分类过程。本文基于 Box-plot 算法与正交化法

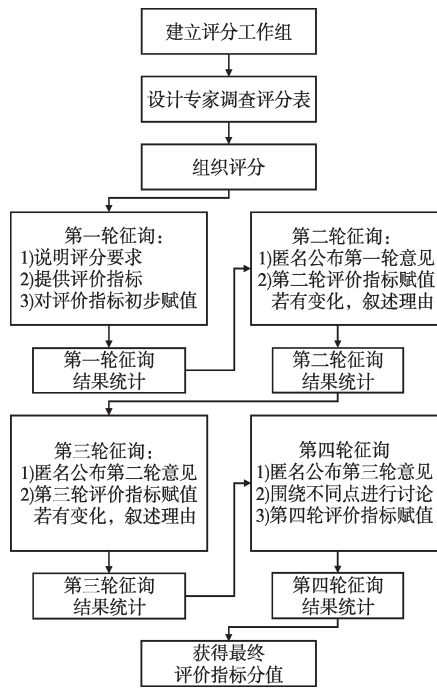


图2 德尔菲法赋值流程

Fig.2 The assignment process using Delphi method

提出改进的DHNN算法, 以实现了对供电公司信用水平的评价。

## 2.1 DHNN算法

不同于其他阶层型神经网络算法, DHNN算法通过模拟生物神经网络的记忆原理进行分类运算, 可避免训练过程中不稳定、数据缺失时出现评价误差, 又能较客观全面考虑各信用因素间的相互影响, 达到对供电公司信用评价的科学性与准确性。DHNN为单层、输出为二值的反馈网络, 其网络结构如图3所示,  $w_{ij}$ 为神经元连接权值;  $x_j$ 为外部输入;  $y_j$ 为神经元的输出状态。

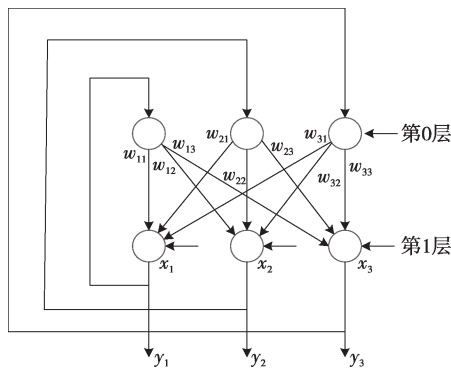


图3 DHNN网络结构

Fig.3 The DHNN network structure

第0层无计算功能, 仅为拓扑网络结构输入层, 代表若干假定研究指标; 第1层执行运算任务, 对输入信息与权系数的乘积求累加和, 经过非线性函数 $f$ 处理后产生输出。 $f$ 为简单阈值函数, 当神经元输出信息大于阈值 $\theta$ , 输出为1(激活); 小于阈值 $\theta$ 时, 输出为-1(抑制)<sup>[15]</sup>。

对于二值神经元 $h_j$ , 通过式(1)计算:

$$h_j = \sum_i w_{ij} y_i + x_j \quad (1)$$

式中:  $x_j$ 为外部输入, 且 $y_j = \begin{cases} 1, h_j \geq \theta_j \\ -1, h_j < \theta_j \end{cases}$ 。

当考虑DHNN算法的一般节点状态,  $y_j(t)$ 为第 $j$ 个神经元(即节点 $j$ 在时刻 $t$ 的状态), 节点下一时刻( $t+1$ )的状态为:

$$y_j(t+1) = f[h_j(t)] = \begin{cases} 1, h_j(t) \geq 0 \\ -1, h_j(t) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$h_j(t) = \sum_{i=1}^n w_{ij} y_i(t) + x_j - \theta_j \quad (3)$$

式中:  $h_j(t)$ 为神经元 $j$ 在 $t$ 时刻的输入;  $\theta_j$ 为 $t$ 时刻的阈值;  $x_j$ 为外部输入。

## 2.2 Box-plot算法

Box-plot算法具有强抗差能力, 不需严格服从统计学分布也可直接处理样本数据。常用来处理数据中存在的异常值, 在探索性数据分析、品质管理及各类测评工程中被广泛应用。本文利用Box-plot算法快速鉴别并处理待评价供电公司数据中存在的异常值, 求解最优信用评价分值, 以进一步提高DHNN算法对供电公司信用的评价准确性。

在计算中, Box-plot将一组数据从大到小进行排列, 分别计算出上边缘、上四分位数 $Q_3$ 、中位数、下四分位数 $Q_1$ 、下边缘及异常值6个数据节点, 其原理如图4所示。其中, 下边缘到上边缘之间的距离为内限, 高于上边缘或低于下边缘处的值称为异常值。

四分位数在选定时仅与数据主体有关, 不易受变化对象影响, 具有较好的鲁棒性, 在识别变化对象方面有一定优势, 能更客观地分析大量数据。供电公司作为数量多、指标多的主体, 利用Box-plot算法可客观分析大量数据的优势, 剔除其中的数据异常值, 以提高评价结果的准确性。

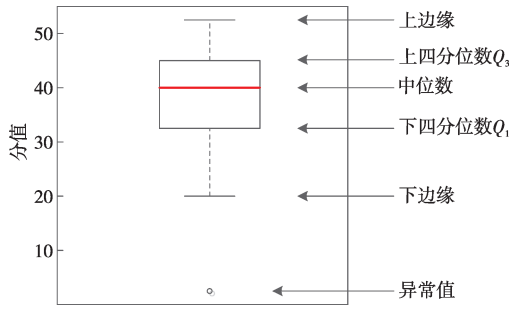


图 4 Box-plot 算法  
Fig.4 Box-plot algorithm

### 3 改进的 DHNN 信用评价流程

本文提出改进的 DHNN 信用评价模型, 先处理待评价售电公司信用数据中存在的异常值, 寻求最优信用分值; 在此基础上应用正交化法修正后的 DHNN 算法分析售电公司的信用情况。该模型对售电公司信用评价流程如图 5 所示。

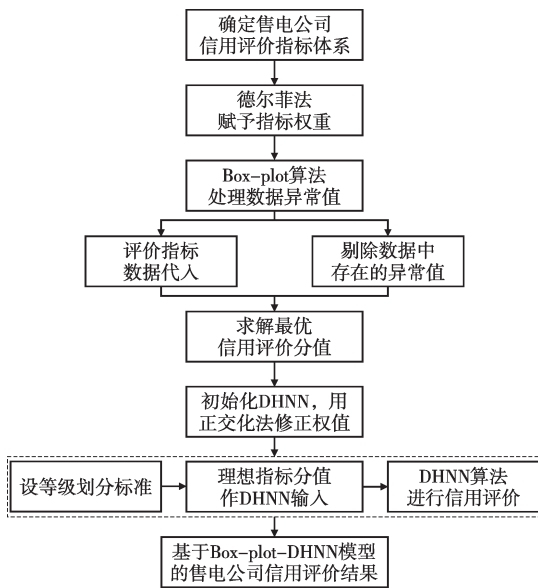


图 5 改进 DHNN 模型评价流程

Fig.5 The evaluation process of an enhanced DHNN model

1) 确定信用评价指标体系, 采用德尔菲法赋予指标权重。

2) 采用 Box-plot 算法处理售电公司评价指标数据中的异常值, 求解最优信用评价分值。

3) 初始化 DHNN 网络结构。

4) 为提高系统运行的稳定性、减少伪稳定点, 提高评价结果的准确性, DHNN 算法中采用正交化法修正权值, 步骤如下:

(1) 输入  $n$  个输入模式  $t=(t^1, t^2, \dots, t^{n-1}, t^n)$ 、参数  $\tau$  和  $h$ 。

(2) 计算矩阵  $A=(t^1-t^n, t^2-t^n, \dots, t^{n-1}-t^n)$ 。

(3) 对  $A$  做奇异值分解  $A=USV^T$ , 并求出  $A$  的秩,  $U$  为  $m$  阶正交矩阵,  $V$  为  $n$  阶正交矩阵,  $S$  为  $m \times n$  对角矩阵。

(4) 通过  $U^p=(U^1, U^2, \dots, U^k)$ 、 $U^m=(U^{k+1}, U^{k+2}, \dots, U^n)$  计算权值:

$$T^p = \sum_{i=1}^k u^i (u^i)^T \quad (4)$$

$$T^m = \sum_{i=k+1}^n u^i (u^i)^T \quad (5)$$

(5) 计算连接权值:

$$W^t = T^p - \tau \times T^m \quad (6)$$

(6) 计算偏差矩阵:

$$b^t = t^n - W^t \times t^n \quad (7)$$

(7) 计算修正权值:

$$W = \exp(h \times W^t) \quad (8)$$

(8) 计算修正偏差  $b$ :

$$b = U \times \begin{bmatrix} C_1 \times I(k) & 0(K, n-k) \\ 0(n-k, k) & C_2 \times I(n-k) \end{bmatrix} \times U^T \times b^t \quad (9)$$

式中:  $C_1 = \exp(h) - 1$ ;  $C_2 = -[\exp(-\tau \times h) - 1] / \tau$ 。

5) 设立信用评价等级的划分标准, 并将所构建的售电公司理想评价指标进行编码作为评价模型输入。

6) 将待评价分类售电公司的评价指标进行赋值, 应用改进的 DHNN 算法实现对售电公司信用水平的评价。

7) 获得最终的售电公司信用评价结果。

构建改进的 DHNN 模型评价售电公司的信用水平, 一方面可以较好处理售电公司数量多、指标较多, 信用评价指标数据中可能存在异常值的问题; 另一方面, 采用正交化法修正权值后的 DHNN 算法在外界环境干扰、数据缺失等情况下仍可较好实现对各售电公司的评价工作。

### 4 算例分析

从某电力市场中随机选取入市一年以上, 且当前评价等级分别为 AAA、AA、A、B、C 的售电公司各 4 家, 通过德尔菲法对各售电公司评价指

标进行评分,以作算例分析。为保证算例的适用性,所选20家样本公司中包含纯售电公司、兼具售电业务的发电公司在内的多种不同性质售电公司。

按顺序将11个评价指标: $X_1$ (基础信息)、 $X_2$ (基础管理)、 $X_3$ (合同管理)、 $X_4$ (交易管理)、 $X_5$ (结算管理)、 $X_6$ (服务品质)、 $X_7$ (信息管理)、 $X_8$ (企业管理)、 $X_9$ (偿债能力)、 $X_{10}$ (盈利能力)、 $X_{11}$ (信用记录)进行变量标号作为模型的评价指标。采用德尔菲法对售电公司各指标进行赋值,如表1所示,以国内电力市场信用评价中常用的三等五级制为准,将信用被评价为AAA的公司标签设为I,AA设为II,A设为III,B设为IV,C设为V。

表1 20家售电公司信用等级与各对应的评价指标分值  
Table 1 Credit levels of twenty electricity sales companies and their corresponding evaluation indicator scores

公司	指标											等级
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	
1	60	125	155	110	115	35	35	60	65	110	40	I
2	55	120	150	115	120	30	40	60	70	105	40	I
3	45	120	140	105	105	30	25	50	60	90	35	II
4	40	110	145	110	95	30	25	50	65	100	35	II
5	55	130	155	105	110	35	35	60	75	115	40	I
6	30	100	120	90	75	20	20	35	50	60	20	III
7	30	105	125	85	80	30	20	40	45	65	20	III
8	30	55	60	50	50	20	15	35	35	50	15	IV
9	20	60	70	50	70	20	15	30	45	60	15	IV
10	50	125	160	110	115	40	30	60	70	110	40	I
11	15	35	50	30	40	10	10	25	20	25	10	V
12	50	115	135	100	100	30	25	50	55	110	35	II
13	25	55	70	50	60	20	15	25	40	40	15	IV
14	20	45	40	35	45	10	10	15	20	35	10	V
15	10	40	45	25	35	10	10	20	20	30	10	V
16	30	95	125	80	70	30	20	30	55	55	20	III
17	30	100	110	85	75	20	20	35	50	60	20	III
18	45	115	140	105	100	30	25	50	60	100	35	II
19	15	40	45	30	40	10	10	20	20	30	10	V
20	25	50	60	50	60	20	15	30	40	50	15	IV

#### 4.1 信用评价指标权重确定

将表1中20家售电公司I、II、III、IV、V各等级样本数据进行筛选,取其平均值作为各等

级的理想评价指标分值(即作为DHNN算法的平衡点),如表2所示。

表2 各等级的理想评价指标分值

Table 2 Ideal evaluation indicator scores for each credit level

等级	指标										
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
I	55	125	155	110	115	35	35	60	70	110	40
II	45	115	140	105	100	30	25	50	60	100	35
III	30	100	120	85	75	25	20	35	50	60	20
IV	25	55	65	50	60	20	15	30	40	50	15
V	15	40	45	30	40	10	10	20	20	30	10

根据定义,DHNN算法的神经元状态仅有1和-1。若待评价指标大于或等于某个等级指标值,对应神经元状态为“1”,以黑圈“●”表示;否则为“-1”,以白圈“○”表示。将表2所对应5个等级的理想评价指标进行编码,如图6所示。

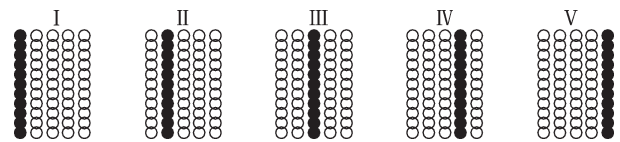


图6 理想的5个信用评价指标编码

Fig.6 Codes for five ideal credit evaluation indicators

#### 4.2 待评价的售电公司评价指标

为验证Box-plot-DHNN模型的可行性与准确性,随机挑选电力市场中5家信用评价待评价的售电公司为例,将各指标通过德尔菲法评分后归类入表,如表3所示。

表3 5家待评价的售电公司评价指标分值

Table 3 Evaluation indicator scores of five electricity sales companies under evaluation

公司	指标										
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
1	55	115	140	110	105	40	35	50	70	100	35
2	50	120	135	90	110	30	30	40	65	100	40
3	45	115	145	110	110	40	20	55	60	110	35
4	25	60	75	60	75	20	20	35	50	60	15
5	50	120	100	100	120	40	35	60	70	85	35

上述5家待评价售电公司的信用评价指标分值为855分、810分、845分、495分、815分,对应三等五级中的AA、AA、AA、B、AA级(即II、II、II、IV、II等级)。根据DHNN算法的编码

规则, 将 5 家未经 Box-plot 算法处理的待评价公司数据进行编码。第 1 家售电公司编码如式(10)所示, 其余 4 家公司同理类推即可, 对应 MATLAB 结果如图 7 所示。

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

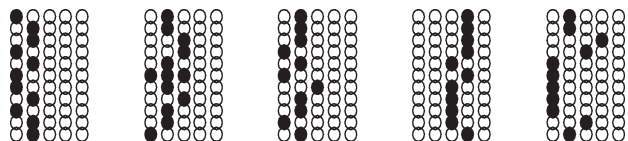


图 7 5 家待评价的售电公司评价指标编码

Fig.7 Evaluation indicator codes for five electricity sales companies under evaluation

### 4.3 未经 Box-plot 处理

利用 MATLAB 软件中的 sim() 函数创建 DHNN 算法, 将未经过 Box-plot 算法处理的 5 家售电公司数据代入其中, 得到相应的信用评价结果, 如图 8 所示。

图 8(a) 对应图 6, 为 5 个理想评价指标编码, 分别对应等级 I、II、III、IV、V; 图 8(b) 对应图 7, presim1-presim5 为未经 Box-plot 算法处理的 5 家待评价售电公司评价指标编码; 图 8(c) 为通过 DHNN 算法计算所得信用评价结果, sim1-sim5 分别为 5 家售电公司信用等级。其中, 第 5 家售电公司(sim5)评价结果为空白。可见第 5 家售电公司的信用分值中存在异常值, 导致指标过于分散出现了评价不准确的情况。

### 4.4 经 Box-plot 处理后

为解决售电公司信用数据中的异常值带来无法有效评价的弊端, 将 5 家待评价公司的信用数据通过 MATLAB 数学软件代入 Box-plot 算法中。利用统计学原理对存在过于分散的指标数值进行处理, 剔除其中的异常值, 计算存在异常值售电

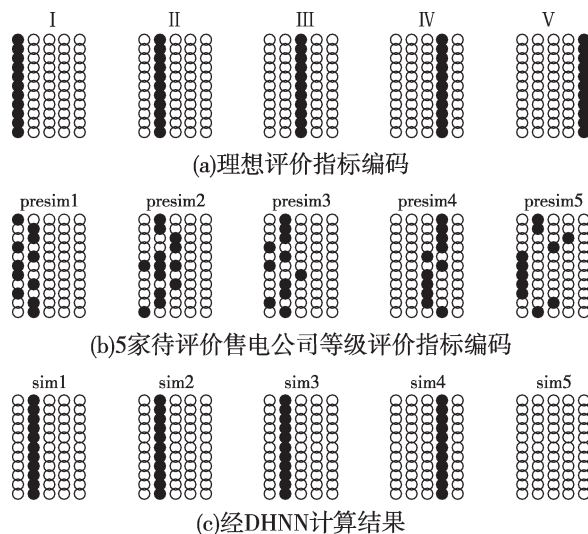


图 8 5 家待评价售电公司指标编码

Fig.8 Indicator codes for five electricity sales companies under evaluation

公司的最优信用分值(即按 Box-plot 算法的原理取其中位数)。经计算发现, 5 家公司中仅第 5 家存在数据异常值, 对其处理后取其最优分值, 如图 9 中红线处所示。

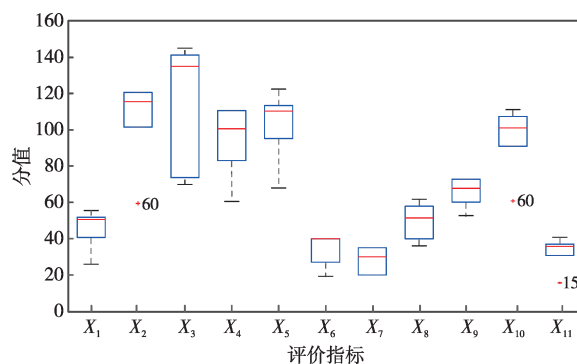


图 9 Box-plot 算法处理后所取的结果

Fig.9 Results obtained through Box-plot algorithm

为清晰表示 Box-plot 处理后所得售电公司各指标的最优分值, 参照图 9 将其重新列于表 4。

将 Box-plot 算法处理后所得售电公司最优信用分值带入 DHNN 算法中进行计算, 得结果如图 10 所示。

由图 10 可知, 图 10(a) 同样对应图 6, 为 5 个理想评价指标编码, 分别对应等级 I、II、III、IV、V; 图 10(b) 中 presim1-presim5 则表示经 Box-plot 算法处理后 5 家待评价售电公司的评价指标编码; 图 10(c) 为通过 DHNN 算法计算所得评价结

表4 Box-plot处理后5家待评价售电公司评价指标分值  
Table 4 Evaluation indicator scores of five electricity sales companies obtained through Box-plot algorithm

公司	指标										
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
1	55	115	140	110	105	40	35	50	70	100	35
2	50	120	135	90	110	30	30	40	65	100	40
3	45	115	145	110	110	40	20	55	60	110	35
4	25	60	75	60	75	20	20	35	50	60	15
5	50	115	135	100	110	40	30	50	65	100	35

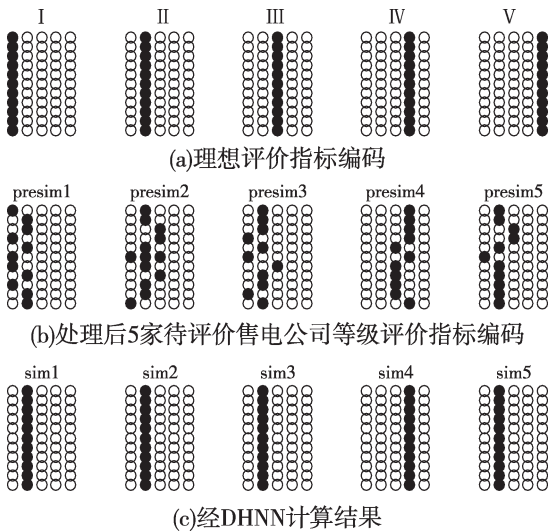


图10 经处理后5家待评价售电公司指标编码  
Fig.10 Indicator codes of five electricity sales companies obtained through algorithms

果, sim1-sim5分别为5家售电公司信用等级,与理论评价结果II、II、II、IV、II完全一致。

#### 4.5 Box-plot算法处理前后对比

对比Box-plot算法处理异常数据前后所得评价结果,如图11所示。

根据图11中(a)、(b)的比较,可见经Box-plot算法处理异常数据获得最优信用分值后,再通过DHNN算法对售电公司进行信用评价,消除了过去传统DHNN算法在数值异常时出现指标过于分散的弊端,使其分布更均衡,故所提模型适用于售电公司信用评价。

## 5 结语

传统DHNN算法在数值异常时无法准确评价售电公司的信用水平。本文基于Box-plot与正交化法,提出一种改进的DHNN信用评价模型,较

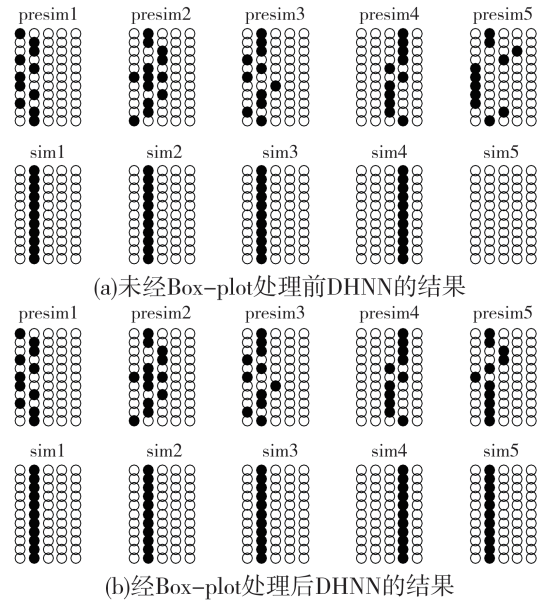


图11 Box-plot处理前后结果对比  
Fig.11 Comparison of results obtained before and after Box-plot

好地改善了传统DHNN模型因数值异常而导致评价结果分布不均的问题。算例结果表明,改进的DHNN评价模型可准确评价售电公司的信用水平,指导电力市场中各市场成员规避信用风险。该信用评价模型还可为电力交易中心对其他市场主体的信用评价提供参考思路。

## 参考文献

- [1] 王玉萍,刘磊,朱明,等.贵州电力交易市场主体信用评级模型研究[J].电力需求侧管理,2018,20(5):52-55.  
WANG Yuping, LIU Lei, ZHU Ming, et al. Research on credit rating model of players in Guizhou power trading market [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20 (5):52-55.
- [2] 李东东,段维伊,周波,等.基于主成分分析的电力市场供应侧主体竞争潜力指数研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(19):1-8.  
LI Dongdong, DUAN Weiyi, ZHOU Bo, et al. Competitive potential index of the supply side of the market entity based on principal component analysis [J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(19):1-8.
- [3] 肖勇,陆文升,李云涛,等.城市配电网发展形态指标体系及其评估方法研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(1):62-71.  
XIAO Yong, LU Wensheng, LI Yuntao, et al. Research on index system and its evaluation methods of urban distribution network development form [J]. Power System Protec-

- tion and Control, 2021, 49(1):62-71.
- [4] 徐宏,林新,朱策,等. 电力市场信用评级管理建设探讨[J]. 电网技术, 2020, 44(7):2582-2593.  
XU Hong, LIN Xin, ZHU Ce, et al. Crediting management in the electricity market [J]. Power System Technology, 2020, 44(7):2582-2593.
- [5] 胡亚红,方豪达,江大川,等. 基于AHP和 $k$ -means算法的电力用户信用度评价[J]. 浙江工业大学学报, 2018, 46(5):515-521.  
HU Yahong, FANG Haoda, JIANG Dachuan, et al. Credit evaluation of power consumers based on AHP and  $k$ -means algorithms [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2018, 46(5):515-521.
- [6] 田竹肖,许晓敏,王董禹,等. 大型现代电网企业经济活动的改进物元组合赋权综合评价模型[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(10):4055-4062.  
TIAN Zhuxiao, XU Xiaomin, WANG Dongyu, et al. An improved combined weighting matter-element comprehensive evaluation model for economic activity of large modern grid enterprises [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(10):4055-4062.
- [7] 杨铮宇,田园,李申章. 基于主成分分析和层次分析的高压电力用户信用评价模型研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(增刊2):6-12.  
YANG Zhengyu, TIAN Yuan, LI Shenzhang. The research on comprehensive credit evaluation model of high voltage electric power users based on Principal Component Analysis and Analytic Hierarchy Process [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2020, 42(S2):6-12.
- [8] 王玉萍,朱明. 贵州电力市场主体市场化交易行为星级信用评价[J]. 电力大数据, 2017, 20(11):54-56.  
WANG Yuping, ZHU Ming. Star rating credit evaluation for transaction behavior in Guizhou power market subject [J]. Power Systems and Big Data, 2017, 20(11):54-56.
- [9] 张云雷,段光,俞静,等. 基于KPCA-MEE的电力市场售电公司信用评价研究[J]. 中国电力, 2018, 51(7):128-135.  
ZHANG Yunlei, DUAN Guang, YU Jing, et al. Study on credit evaluation of power supply company in power market based on KPCA-MEE [J]. Electric Power, 2018, 51(7):128-135.
- [10] 李荣,乔俊飞,韩红桂. 一种改进型离散Hopfield学习算法[J]. 控制与决策, 2014, 29(2):241-245.  
LI Rong, QIAO Junfei, HAN Honggui. An improved learning algorithm for discrete Hopfield [J]. Control and Decision, 2014, 29(2):241-245.
- [11] 王劲松,李宗育,徐晏琦. 基于Hopfield网络的网络空间防御能力评估[J]. 控制工程, 2017, 24(2):263-270.  
WANG Jinsong, LI Zongyu, XU Yanqi. Assessment of cyberspace information defense capability based on hopfield neural network [J]. Control Engineering of China, 2017, 24(2):263-270.
- [12] 武昭好,肖学山. 基于离散型Hopfield神经网络的挤压AZ31B镁合金力学性能分类评价的研究[J]. 热加工工艺, 2019, 48(7):174-177.  
WU Zhaoyu, XIAO Xueshan. Study on mechanical properties classification of extruded AZ31B magnesium alloy based on discrete hopfield neural network [J]. Hot Working Technology, 2019, 48(7):174-177.
- [13] 王坦,杨森,齐晓慧,等. 基于Hopfield网络的有人机/无人机协同作战效能评估[J]. 电光与控制, 2021, 28(10):80-84.  
WANG Tan, YANG Sen, QI Xiaohui, et al. Effectiveness evaluation of MAV/UAV cooperative operations based on hopfield neural network [J]. Electronics Optics & Control, 2021, 28(10):80-84.
- [14] LI G Y, LI G D, ZHOU M. Comprehensive evaluation model of wind power accommodation ability based on macroscopic and microscopic indicators [J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(1):1-12.
- [15] 胡宗顺,黄之杰,朱倩,等. 基于BP和Hopfield神经网络的航空燃料保障安全评价[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(11):121-125.  
HU Zongshun, HUANG Zhijie, ZHU Qian, et al. Research of aerial hydrazine fuel safety assessment based on BP and hopfield neural network [J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(11):121-125.

收稿日期: 2023-01-19; 修回日期: 2023-05-31

作者简介:

李源(1995), 男, 硕士, 主要从事电力市场、变电运检研究工作。

尹纯亚(1994), 男, 博士, 副教授, 主要从事交直流混联系统、电力市场研究工作。(通信作者)

(本文编辑: 张瑞敏)