

基于果蝇优化模糊神经网络模型的售电市场评估

李德智¹, 张文文², 嵇建飞³

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 华北电力大学, 北京 102206;
3. 国网上海市电力公司, 上海 200122)

Electricity retail market evaluation based on fruit fly optimized fuzzy neural network model

LI Dezhi¹, ZHANG Wenwen², JI Jianfei³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 3. Shanghai Power Grid Company, Shanghai 200122, China)

摘要:科学评估售电市场的运行绩效对市场主体有着重大的影响。首先,建立售电市场指标评价体系;其次,构建果蝇优化模糊神经网络综合评价模型,对售电市场进行定量评估;最后,通过评价结果分析售电市场运行状况,为市场参与者和监管部门提供相应的决策支持。

关键词:售电市场;果蝇算法;模糊神经网络;综合评价

Abstract: Evaluating the performance of electricity retail market scientifically has a significant impact on market players. First of all, index evaluation system is established. Secondly, fruit fly optimized fuzzy neural network comprehensive evaluation model is constructed to evaluate the performance of market quantitatively. Finally, the performance of the electricity retail market is analyzed through the result to provide appropriate decisions for market participants and regulators.

Key words: electricity retail market; fruit fly algorithm; fuzzy neural network model; comprehensive assessment

0 引言

中图分类号:F407.61 文献标志码:A

新一轮电力体制改革以售电侧为切入点,将售电职能与垄断业务分开,建立了竞争有效的售电市场。随着售电侧逐步放开,售电市场中不断涌现出新的交易形式,各主体对市场运行情况较为关注,需进一步加大在售电市场评估方面的研究,为电网的安全、稳定、经济、高效运行提供保障。

目前,国内外学者对电力市场评估进行了一定的研究。文[1]介绍了美国电力市场结构情况,提出了市场效益、组织效率、可靠性和市场监管方面的指标。文[2]从电力市场结构、电力价格形成,以及监管体制研究了德国市场化改革后的成效。文[3]介绍了欧洲电力市场所采用的评价体系。文[4]从发电侧、供电侧、用户侧、市场交易类以及发展协调性5个方面建立了基于电价分析的电力市场绩效评价模型。文[5]提出了基于模糊集理论和层次分析法的电力市场综合评价方法。文[6]建立了

区域电力市场运营效果评价指标体系,并对我国6大区域电力市场的运营效果进行了综合评价。文[7]从售电市场的发展速度、稳定性、效益、市场结构等方面衡量售电市场质量,用基于雷达图的综合评价方法展示了评价结果。文[8]提出了一种数据建模方法,以评估电力市场绩效模式在不同时期的相似性。

上述成果为本文的研究奠定了一定的基础,然而大多数是针对传统的电力市场,对售电侧市场的评估较少,且评价指标体系大多侧重于市场结构、市场效率和电力价格几个方面,不能全面地反映售电市场的运行绩效。为此,本文在借鉴国外售电市场评估经验的基础上,归纳总结出一套我国售电市场的评估指标体系,并构建了果蝇优化模糊神经网络的综合评估模型,为我国售电市场运行绩效评估工作的规范化、科学化、高效化提供一定的支撑。

1 售电市场指标构建

1.1 指标体系

售电市场运行绩效受多个因素直接或间接影响,本文基于系统性、全面性、动态性和可操作性等原则,针对我国售电市场的特点,构建了6个2级指

收稿日期:2018-01-04;修回日期:2018-01-21

基金项目:国家自然科学基金项目(71201056);国家电网公司科技项目(YDB17201600102)

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 71201056); Science and Technology Project of State Grid Corporation (No. YDB17201600102)

标,提出了12个3级指标,建立了我国售电市场绩效评估指标体系,如图1所示。

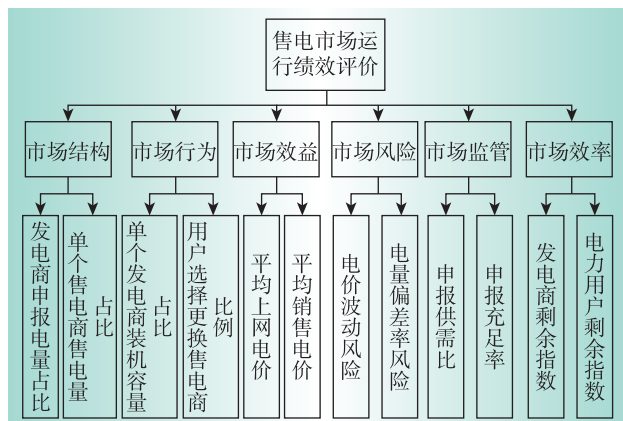


图1 售电市场运行绩效评价指标体系

Fig. 1 Performance evaluation index system of electricity sales market operation

1.2 主要指标解释

1.2.1 市场结构

(1) 发电商申报电量占比 S_{pp}

$$S_{pp} = \text{发电商申报电量} / \text{市场交易电量} \quad (1)$$

S_{pp} 越大,发电商参与市场竞争越积极,市场竞争越充分,表明售电市场绩效越好。

(2) 单个售电商售电量占比 R_{sp}

$$R_{sp} = \text{单个售电商售电量} / \text{所有售电商售电总量} \quad (2)$$

R_{sp} 越小,表明更多的售电商参与到市场交易中来,竞争主体越多,售电市场绩效越好。

1.2.2 市场行为

(1) 单个发电商装机容量占比 I_p

$$I_p = \text{单个发电商装机容量} / \text{全国总装机容量} \quad (3)$$

I_p 越大,售电市场垄断越明显,占比越小,售电市场竞争越充分,市场绩效越好。

(2) 用户选择更换售电商比例 U_{EP} [9]

$$U_{EP} = \text{更换售电商用户数} / \text{用户总数} \quad (4)$$

U_{EP} 越大,表明售电市场的放开程度越好,市场绩效越好。

1.2.3 市场效益

(1) 平均上网电价 P_l

$$P_l = \text{售电收入} / \text{上网电量} \quad (5)$$

P_l 的变化情况反映了市场的自由竞价情况,值越低,表明售电市场放开绩效越好^[18]。

(2) 平均销售电价 P_R

$$P_R = \text{售电收入} / \text{销售电量} \quad (6)$$

P_R 的变化是售电市场自由竞争的结果,值越低,表明市场竞争越充分,市场绩效越好。

1.2.4 市场风险

(1) 电价波动风险 V_t

$$V_t = \sqrt{|\ln P_t - \ln P_{t-1}|} \quad (7)$$

式中: V_t 为电价波动率,波动率越大,风险越大,会给售电市场带来不利影响; P_t 为第 t 时间点的电价; P_{t-1} 为第 $t-1$ 时间点的电价。

(2) 电量偏差率风险 D

$$D = \frac{A_c - C_c}{C_c} \times 100\% \quad (8)$$

式中: D 为电量偏差率; A_c 为实际用电量; C_c 为合同用电量。实际用电量与合同用电量的偏差越大,风险越大,市场运行状况越不好。

1.2.5 市场监管

(1) 申报供需比 R_{SD}

$$R_{SD} = S_p / D_p \quad (9)$$

式中: R_{SD} 为申报供需比,值越大,市场竞争越激烈; S_p 为发电商申报电量; D_p 为购电方申报电量。

(2) 申报充足率 C_{SD}

$$C_{SD} = S_c / D_c \quad (10)$$

式中: C_{SD} 为申报充足率,值越大表明市场的竞争力度越大,市场绩效较好; S_c 为发电商申报的总供给容量; D_c 为总需求容量。

1.2.6 市场效率

(1) 发电商剩余指数 K_{PSI}

$$K_{PSI} = \frac{P_s - P_{AC}}{P_{AC}} \quad (11)$$

式中: K_{PSI} 为发电商剩余指数,数值越大表明发电商获取生产者剩余的能力越强,会导致售电市场运行效率降低,绩效变差^[11]; P_s 为清算价格; P_{AC} 为生产成本。

(2) 电力用户剩余增长率 R_{cli}

第 i 个时期的电力用户剩余增长率计算公式为

$$R_{cli} = \frac{K_{cli} - K_{cli-1}}{K_{cli-1}} \times 100\% \quad (12)$$

式中: R_{cli} 为第 i 个时期电力用户剩余增长率,值为正说明售电市场资源配置效率较高,且增长率越大,市场效率越高; K_{cli} 为第 i 个时期的电力用户剩余增量; K_{cli-1} 为第 $i-1$ 个时期的电力用户剩余增量。

2 果蝇优化模糊神经网络评价模型

本文的售电市场评价指标体系是建立在我国售电侧放开后新的市场运行模式上。由于我国售电侧放开时间较短,学者对新的指标体系缺乏历史经验,确定指标权重较困难,而各指标权重的合理性直接关系到评价结果的可信程度。因此,需要建立适合我国售电市场特点的评价模型,从而更加科学合理计算权重和评价结果。

通过对比多种评估模型的特点,发现常用的 SCP 理论模型、灰色评价模型等用于售电市场评价

存在评价不全面、不精确的缺点。经过恰当训练的神经网络具有全部数据的归纳能力,模糊理论可以处理不同量纲的指标数据,便于综合计算,模糊神经网络模型对评价售电市场运行绩效有一定的适用性,但容易陷入局部最小值。为了快速寻找评价指标的最优权重,本文利用果蝇算法的全局寻优能力优化模糊神经网络,构建基于果蝇优化模糊神经网络的混合模型,评价我国售电市场运行绩效。

2.1 模糊神经网络模型

本文构建的模糊神经网络为3层网络结构,输入层包括12个节点,对应指标体系中的12个3级指标,其输入向量为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_{12})^T$; 隐含层包含 k 个节点,其输出为 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)^T$; 输出层包含1个节点,其输出为 E , 表示输入数据对应的评价结果。期望输出为 $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$, n 为训练样本数。

输入层与隐含层之间的连接权用矩阵 W 表示, $W = (\omega_{ij})_{m \times k}$, ω_{ij} 表示第 i 个输入层节点到第 j 个隐含层节点之间的连接权; 隐含层到输出层之间的连接权用向量 Z 表示, $Z = (z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_k)$ 。其中, z_j 表示隐含层第 j 个节点与输出节点之间的连接权^[12]。

2.2 果蝇算法

果蝇优化算法具体步骤如下。

(1) 初始化果蝇群体,定义群体规模 S 和最大迭代数 M , 初始化果蝇坐标 X_begin , Y_begin 。

(2) 嗅觉随机搜索。令初始迭代次数 $g=0$, 设定迭代过程中果蝇个体在嗅觉觅食阶段的随机飞行方向和搜索距离。搜索方向为随机数 $rand()$, 则有

$$x_i = X_begin + Value \times rand() \quad (13)$$

$$y_i = Y_begin + Value \times rand() \quad (14)$$

式中: $Value$ 为果蝇的搜索距离; x_i 、 y_i 为果蝇个体下一时刻位置的横纵坐标。

(3) 计算。通过计算个体距离坐标原点的距离 d_i , 求得味道浓度的判定值 s_i

$$d_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (15)$$

$$s_i = \frac{1}{d_i} \quad (16)$$

(4) 将味道浓度的判定值 s_i , 代入适应度函数, 计算当前每个果蝇个体的气味浓度值 $Smell_i$

$$Smell_i = Function(s_i) \quad (17)$$

(5) 根据气味浓度值, 找出当前种群中气味浓度最高 $bestSmell$ (或者最低 $bestindex$) 的果蝇个体。

(6) 视觉定位。记录并保留最佳味道浓度值 $bestSmell$ 和此时的最优果蝇个体坐标 (x, y) , 整个果蝇种群利用敏锐的视觉飞往最优个体位置

$$Smell_{best} = bestSmell \quad (18)$$

$$X_begin = X (bestindex) \quad (19)$$

$$Y_{begin} = Y (bestindex) \quad (20)$$

(7) 迭代寻优。当 $g < M$ 时, 重复步骤(2)一步骤(5), 并判断此时的最佳味道浓度值是否优于前一次迭代的最佳味道浓度, 若是则执行步骤(6), 若否则继续重复步骤(2)一步骤(5), 直到 $g = M$ 时, 结束。

2.3 基于果蝇优化算法的模糊神经网络模型

基于果蝇优化算法的模糊神经网络模型的算法步骤为:

(1) 利用隶属函数 $x'_i = \frac{x_i - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}}$ 对学习样本和网络期望输出进行模糊化; 设定果蝇优化算法的初始参数;

(2) 将训练样本输入模糊神经网络, 通过式(21)一式(23)分别计算适应度函数、隐含层和输出层各个单元的实际输出数值; 根据式(24)计算第 i 个样本输出值与期望输出值之间的误差平方和

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (21)$$

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^m x_i \omega_{ij}\right) \quad (22)$$

$$O = f\left(\sum_{j=1}^k y_j z_j\right) \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (23)$$

$$E_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (d'_i - O_i)^2 \quad (24)$$

式中: d'_i 为期望输出; O_i 为实际输出;

(3) 设期望误差范围为 ε , 若 $E_i < \varepsilon$, 赋权合理, 否则调整各层权值, 更新果蝇个体的位置和速度;

(4) 由实际输出值与期望输出值之间的误差, 反向调整隐含层与输出层的连接权, 再调整输入层与隐含层的连接权。其过程如下所示

$$\begin{cases} \sigma^o = (d' - O) O (1 - O) \\ \sigma_j^y = \sigma^o z_j y_j (1 - y_j) \\ z_j(t) = z_j(t-1) + \beta \sigma^o y_j + \mu \Delta z_j(t-1) \\ \omega_{ij}(t) = \omega_{ij}(t-1) + \beta \sigma_j^y x_i + \mu \Delta \omega_{ij}(t-1) \end{cases} \quad (25)$$

式中: σ^o 为输出层的误差信号; σ_j^y 为隐含层的误差信号; β 为学习率, $0 < \beta < 1$; μ 为动量, 用以提高收敛速度, $0 < \mu < 1$;

(5) 1次训练结束, 继续转至步骤(2), 直到符合要求, 训练结束。输入待评样本的指标数据, 进行网络仿真, 得出评价结果。

3 算例分析

为保证基于果蝇优化模糊神经网络模型的有效性和可靠性, 从而对目前售电市场进行评价, 本文以15组专家评价后的数据作为训练样本, 对模型进行训练, 得到1组指标权重, 然后把调研数据作为评价原始数据, 计算得到综合评价价值。

3.1 模型训练

将第 i 个样本中的各指标对应数据输入神经网络模型,相应评价值作为输出层的期望输出值,随机赋予连接权矩阵 W 、 Z 一组初始值,按下列步骤进行训练,依次利用 15 个样本完成训练。

(1) 训练样本

表 1 为训练基于果蝇优化模糊神经网络的 15 个样本,12 个评价指标由专家给出分值的意义:5 表示“优”、4 表示“良”、3 表示“中”、2 表示“差”、1 表示“很差”。售电市场方面的专家通过对不同时期的售电市场评价指标打分,利用层次分析法确定了初步权重,进而对售电市场综合评价的数据样本,如表 1 所示。

表 1 训练样本数据
Tab. 1 Training sample data

样本	S_{pp}	R_{sp}	I_p	U_{ep}	P_l	P_r	V_t	D	R_{sd}	C_{sd}	K_{psi}	R_{cli}	评价结果
1	3	4	3	2	5	4	4	3	3	4	5	3	3.72
2	3	2	5	2	2	4	3	5	5	4	4	4	3.39
3	4	3	4	3	3	3	2	2	4	5	3	3	3.56
4	2	3	2	2	4	3	2	4	4	3	3	2	2.90
5	3	3	4	2	2	3	3	2	3	2	3	3	3.05
6	3	3	3	2	3	5	5	4	4	3	5	2	3.48
7	3	2	3	5	3	5	4	4	2	4	3	4	3.51
8	4	4	4	5	3	3	4	3	3	5	5	4	4.11
9	2	3	2	2	4	2	2	3	5	2	2	3	2.88
10	3	4	3	3	2	3	4	2	3	3	2	3	3.20
11	5	2	3	3	4	3	2	3	5	3	3	3	3.61
12	5	5	4	4	2	2	4	3	3	5	4	4	4.02
13	4	2	5	4	4	3	3	3	4	5	3	3	3.83
14	3	3	3	3	4	3	2	4	4	3	4	4	3.77
15	3	4	3	3	2	5	3	3	3	2	3	5	3.54

(2) 将样本 1 至样本 15 的数据输入神经网络模型,训练直到误差符合期望误差范围,确定输入层到隐含层之间的连接权矩阵 $W=(\omega_{ij})_{m \times k}$ 和隐含层到输出层之间的连接权 Z ,如表 2 所示。

3.2 实例计算

通过调研搜集到某省 2017 年的售电市场数据,整理后的指标体系数据如表 3 所示。对数据无量纲化处理后,输入模型,计算得各自的综合评价值。

表 3 售电市场运行绩效指标数据
Tab. 3 Performance index data of electricity sales market operation

指标	S_{pp}	R_{sp}	I_p	U_{ep}	P_l	P_r	V_t	D	R_{sd}	C_{sd}	K_{psi}	R_{cli}
指标值	42.64%	34.62%	43.46%	5.66%	0.390 5	0.404 1	41.34%	36.3%	19.15%	109.4%	5.37%	20.04%

表 2 输入层到隐含层连接权

Tab. 2 Input layer to hidden layer weights

节点	1	2	3	4	5
S_{pp}	-0.999 01	-0.259 23	0.997 98	-0.654 77	0.212 30
R_{sp}	-0.488 43	-0.624 62	0.262 83	0.316 54	0.251 70
I_p	-0.643 59	0.768 24	0.172 44	0.678 17	0.478 95
U_{ep}	-0.141 06	-0.206 67	0.318 94	-0.643 04	-0.505 76
P_l	0.964 89	-0.710 50	0.987 06	0.932 05	-0.527 02
P_r	-0.180 45	0.509 13	-0.330 40	0.473 04	0.536 32
V_t	0.227 47	0.445 26	-0.638 42	-0.278 90	-0.548 44
D	0.914 43	0.607 63	0.990 48	-0.341 96	0.513 52
R_{sd}	0.139 78	-0.269 82	0.199 98	0.218 85	-0.923 50
C_{sd}	0.857 49	-0.969 18	-0.909 48	0.422 73	0.173 59
K_{psi}	-0.172 17	0.676 67	-0.187 01	-0.402 29	0.462 39
R_{cli}	-0.248 75	-0.514 59	0.965 31	-0.561 70	0.305 06

通过对电力市场研究专家做问卷调查,统计数据得到售电市场评价等级为(0~0.2,0.2~0.4,0.4~0.6,0.6~0.8,0.8~1),分别对应:很差、差、中、良、优。

3.3 评价结果

利用训练好的模糊神经网络对售电市场运行绩效进行评价,得出评价结果为 0.712,可知评价结果等级为“良”,表明我国售电市场运行绩效较好。

4 结论

本文在借鉴国外电力市场评估体系的基础上,建立了我国售电侧放开形势下的售电市场评价指标体系,同时,构建了基于果蝇优化模糊神经网络模型来评价我国售电市场的运行绩效。通过实证分析得出售电市场运行状况为“良好”等级,表明我国售电侧放开成效较好。

从售电市场结构来看,参与市场交易的主体增加,竞争更加激烈,市场垄断状态被打破;从市场行为来看,发电商、售电商和用户方积极参与市场交易,单个发电商装机容量占比不大,有一定比例的电力用户自由更换售电商,售电市场活跃程度提高;从市场效益来看,平均上网电价和平均销售电价均有所降低,发电商为售电商和用户侧提供了更多福利,提高了售电市场的整体效益;随着市场交易模式的转变,市场效率整体提高,同时市场电价波动风险和

电量偏差风险也相应增加;在市场监管方面,虽然监管机构正在组建、监管体制也在逐步健全,但与成熟的售电市场监管目标还有一段距离。

我国售电侧改革推进的过程中,在提高市场效益和效率等指标的同时,也需要增强风险防控能力,加强市场监管。D

参考文献:

- [1] 李永刚. 美国德克萨斯州电力市场设计与监管[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(4): 62-64.
LI Yonggang. Design and regulation of electric market in Texas America[J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(4): 62-64.
- [2] 刘小溪. 德国电力市场化改革成效: 市场、价格与监管[J]. 价格与理论实践, 2015(10): 68-71.
LIU Xiaoxi. The effectiveness of german electricity market reform: market, price and supervision[J]. Price: Theory & Practice, 2015(10): 68-71.
- [3] 文福拴, 王钦, 刘敏, 等. 欧洲电力市场评价体系[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(3): 23-31.
WEN Fushuan, WANG Qin, LIU Min, et al. Evaluation system for european electricity market[J]. Journal of Power System and Automation, 2009, 21(3): 23-31.
- [4] 李韩房. 中国电力市场绩效评价指标体系及评价模型研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2008.
LI Hanfang. Research on performance evaluation index system and evaluation model of china's power market[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2008.
- [5] 王钦, 文福拴, 刘敏, 等. 基于模糊集理论和层次分析法的电力市场综合评价[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 32-37.
WANG Qin, WEN Fushuan, LIU Min, et al. Combined use of fuzzy set theory and analytic hierarchy process for comprehensive assessment of electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(7): 32-37.
- [6] 周建国, 王潇炜. 基于博弈论和灰色关联度的区域电力市场运营效果评价指标体系[J]. 电网技术, 2007, 31(10): 69-88.

ZHOU Jianguo, WANG Xiaowei. Game theory and gray incidence degree based appraisalment index system for operation effect of regional electricity market[J]. Power System Technology, 2007, 31(10): 69-88.

- [7] 庄彦, 康重庆, 胡江溢, 等. 售电市场质量及其综合评价[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(3): 25-29.
ZHUANG Yan, KANG Chongqing, HU Jiangyi, et al. The quality of electricity retail market and its comprehensive evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(3): 25-29.
- [8] HAJIBANDEHA N, SHEIKH-EL-ESLAMIB M K, AMIN-NEJADA S, et al. Resemblance measurement of electricity market behavior based on a data distribution model[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016, 78(6): 547-554.
- [9] 全生明, 卢键明, 谢传胜, 等. 需求侧响应机制的国际经验及对我国的启示[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(2): 73-76.
QUAN Shengming, LU Jianming, XIE Chuansheng, et al. International experience of demand-side response mechanisms and enlightenment to China[J]. Power Demand Side Management, 2009, 11(2): 73-76.
- [10] 韦亚敏, 胡泳, 李爽. “互联网+”背景下电力客户需求变化分析[J]. 电力需求侧管理, 2016, 18(S1): 66-68.
WEI Yamin, HU Yong, LI Shuang. Analysis on the change of power customer demand under the background of 'Internet plus' [J]. Power Demand Side Management, 2016, 18(S1): 66-68.
- [11] 王威, 邵山, 李磊, 等. 电力市场效率理论及其评价方法[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 66-71.
WANG Wei, SHAO Shan, LI Lei, et al. Efficiency theory of electricity market and its evaluation method[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 66-71.
- [12] 张天云, 陈奎, 魏伟, 等. BP神经网络法确定工程材料评价指标的权重[J]. 材料导报, 2012, 26(2): 159-163.
ZHANG Tianyun, CHEN Kui, WEI Wei, et al. The determination of index weights for comprehensive evaluation of engineering materials with BP neural network[J]. Materials Review, 2012, 26(2): 159-163.

(本栏责任编辑 李雅超 水 鹤)

广告索引

《电力需求侧管理》创刊20周年 (封面)
国网江苏综合能源服务有限公司 (封二)
南京国云电力有限公司 (封三)

国网江苏综合能源服务有限公司 (封底)
《电力需求侧管理》中国科技核心期刊 (广01)