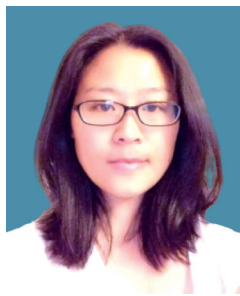


基于CS的SE—二次移动平均法的 月度用电量预测

月用电量具有逐年增长性与季节波动性二重趋势，针对该特点提出了一种基于季节指数的二次移动平均法的用电量预测模型，并利用布谷鸟搜索算法的全局搜索能力，确定二次移动平均法的移动步长，以提高该模型的预测性能。将该模型应用于某公司4幢通信大楼的月度用电量预测中，实验结果验证了所提模型的有效性。

韩文花 汪素青 苏晓燕/上海电力学院自动化工程学院

左晓莹 黄 赞/中国移动通信集团上海有限公司



韩文花/副教授

0 引言

用电量预测是电力系统调度与运营的重要任务，预测的准确程度，大到影响国民经济、社会安定、居民生活及电力公司本身的发展^[1]，小到影响某幢大楼的最大用电量申报、电费预算是否合理以及未来业务扩容规划，因此用电量的预测研究和分析具有重要的现实及理论意义^[2]。用电量预测方法可分为经典预测法、传统预测法及现代预测法，每一种方法都各有其特点，在实际预测中应适当选择。

月度用电量预测是中期预测的重要内容^[3]，近年来出现了很多关于月度用电量预测的方法。基于遗传算法对ARMA模型定阶^[4]，然后用该模型对用电量进行预测，提高了预测模型的灵活性。二次指数平滑法、先定线性趋势预测法和灰色预测法三种方法相结合的组合预测方

法^[5]提高了模型预测准确度，减少了工作量。然而，上述两种方法均没有考虑季节性因素对月用电量的影响，因此影响了预测准确度。月度用电量灰色预测改进模型采用季节指数平滑法处理月度用电量数据，然而该模型是一个指数函数，实际中用电量很难严格按指数规律变化，导致预测多个月用电量时，增长率过快，预测准确度变低。基于季节指数的用户月度用电量预测方法^[6]提出，考虑了季节因素对月度用电量的影响，较好地实现了用户月度用电量预测，但是模型中移动步长的选择方式限制了计算速度。

针对上述方法存在的不足，本文提出基于布谷鸟搜索（Cuckoo Search, CS）算法的季节指数（Season Exponent, SE）二次移动平均法的月度用电量预测，先引入季节指数对月度用电量数据序列进行处理，然后使用二次移动平均法进行预测，再使用季节指数进行还原。另外，为了提高模型的预测性能，提出利用CS得到最优的移动步长。

1 二次移动平均法

二次移动平均法^[7-8]是时间序列预测法中重要的方法之一，它是对一次移动平均值再进行移动平均，并根据实际值、一次移动平均值和二次移动平均值之间的滞后关系，建立预测模型并进行预测的方法。二次移动平均法进行预测的步骤如下。

设用电量时间序列为 x_i , $i=1,2,\dots,L$,

关键词/Keywords

二次移动平均 ·
月用电量 ·
季节指数 ·
布谷鸟搜索算法 ·

国家自然科学基金资助项目（No.51107080，No.61304134），上海市电站自动化技术重点实验室（No.13DZ2273800），上海市重点科技攻关计划（No.14110500700）。

x_t 为第 t 期的观察值; λ 为拟定的移动平均步长。

1) 一次移动平均值为

$$M_t^{(1)} = \frac{x_t + x_{t-1} + \cdots + x_{t-\lambda+1}}{\lambda} \quad (1)$$

式中, $M_t^{(1)}$ 为第 t 期一次移动平均值。

2) 二次移动平均值为

$$M_t^{(2)} = \frac{M_t^{(1)} + M_{t-1}^{(1)} + \cdots + M_{t-\lambda+1}^{(1)}}{\lambda} \quad (2)$$

式中, $M_t^{(2)}$ 为第 t 期二次移动平均值。

3) 计算截距和斜率的估计值为

$$\hat{a}_t = 2M_t^{(1)} - M_t^{(2)} \quad (3)$$

$$\hat{b}_t = \frac{2}{\lambda-1} [M_t^{(1)} - M_t^{(2)}] \quad (4)$$

式中, $\hat{a}_t$ 为第 t 期的趋势直线的截距估计值; $\hat{b}_t$ 为第 t 期的趋势直线的斜率估计值。

4) 建立预测模型如下

$$\hat{x}_{t+l} = \hat{a}_t + \hat{b}_t l \quad l=1,2,\cdots \quad (5)$$

式中, t 为当前期; l 为预测超前期数; $\hat{x}_{t+l}$ 为第 $t+l$ 期的预测值。

2 基于CS的SE-二次移动平均法预测模型

通过对某公司1~4号通信大楼多年的月用电量数据进行比较分析,发现存在明显的季节周期性,如图1所示。季节指数预测法常用于周期性和水平(增长)趋势同时存在的情况,对于月度用电量数据序列可使用季节指数消除季节因素产生的影响,以提高数据光滑度。另外,对于二次移动平均法中移动步长的选择问题,利用CS算法

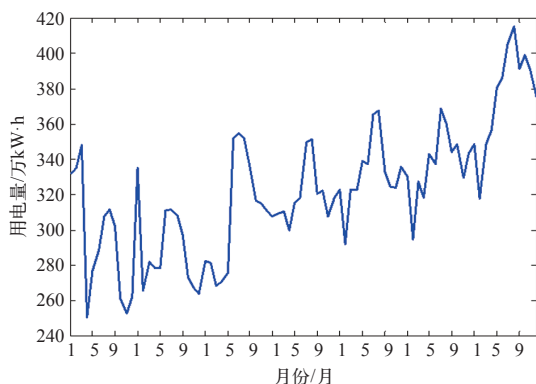


图1 1号楼月度用电量曲线

良好的寻优性能,求取二次移动平均法的最优步长,以减少反复试验 λ 带来的时间消耗。

2.1 季节指数

季节指数亦称季节比率,是反映时间序列季节变动的一种相对数。在含有季节变动的预测中,它作为反映时间序列季节变动的乘子与反映趋势变动的趋势方程相结合,可以构造出季节变动的预测模型。本文用季节指数^[9]消除数据序列季节性因素影响的步骤具体如下:

1) 已知历史用电量数据序列 x_{ij} ($i=1,2,\cdots,m$; $j=1,2,\cdots,T$), 其中 m 为周期的个数, T 为数据序列的周期。

2) 根据这些数据序列,计算所有数据的平均用电量,即总平均用电量 $\bar{x}$, $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^T x_{ij}}{mT}$ ($i=1,2,\cdots,m$; $j=1,2,\cdots,T$)。

3) 根据历史用电量数据序列,计算历年同月的平均用电量 T_j , $T_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{m}$ ($j=1,2,\cdots,T$)。

4) 将同月平均用电量 T_j 除以总平均用电量 $\bar{x}$,得到各月份的季节指数 I_j , $I_j = T_j / \bar{x}$ ($j=1,2,\cdots,T$)。

5) 将历年的月度用电量数据除以相对应月份的季节指数,得到消除季节性因素影响的月度用电量数据序列 x'_{ij} , $x'_{ij} = x_{ij} / I_j$ ($i=1,2,\cdots,m$; $j=1,2,\cdots,T$)。

2.2 基于CS算法的移动步长确定

CS算法是一种新型启发式优化算法^[10]。这种算法基于布谷鸟的巢寄生繁殖机理和莱维飞行机制两个方面。通过随机游走的方式搜索得到一个最优的鸟窝来孵化自己的鸟蛋,这种方式可以达到一种高效的寻优模式^[11]。CS算法是一种新型群集智能优化算法,该算法具有以下优点:①算法设置参数少,与其他优化算法相比,CS算法设置参数变量少;②搜索路径优,寻优能力强,明显优于粒子群算法;③操作简单,易实现。由于CS算法的上述优点,它一经提出,就得到了广泛应用^[12-13]。

本文利用CS算法的全局搜索能力，确定二次移动平均法的移动步长，具体实现步骤如下：

1) 初始化布谷鸟群的种群规模及位置，CS算法的主要参数包括布谷鸟群的大小 N_p 、遗弃率 P_a 、最大迭代次数 G 以及解空间的范围。

2) 构建适应度函数，计算当前解的适应度函数值。

3) 记录上一代的最优值，根据莱维飞行机制更新鸟巢位置，将位置限制于解空间内。

4) 通过位置更新后，用随机数与 P_a 对比，若随机数大于 P_a ，则对下一代的鸟巢位置进行随机改变；反之则不变，最后保留最好的鸟窝位置。

5) 若未达到最大迭代次数，则返回步骤2)；否则，继续下一步。

6) 输出全局最优位置，即求得移动步长 λ 。

因此，基于CS的SE-二次移动平均法进行用电量预测的流程如图2所示。

其具体实现步骤如下：

1) CS参数初始化，选取历史用电量，若历史用电量长度为 L ，由于移动步长不能大于用电量数据个数，则 $2\lambda \leq L$ ，下限设置为 $\lambda \geq 1$ 。

2) 将历史用电量输入带有季节指数的二次移动平均模型中，得到相应的用电量预测值。

3) 为具体比较实际用电量与用电量预测值的差

异，构建CS的适应度函数 $f(x)$ ，
$$f(x) = \frac{\sum_{i=2\lambda}^L |x(i) - \hat{x}(i)|}{L - 2\lambda + 1}。$$

式中， $x(i)$ 为用电量实际值； $\hat{x}(i)$ 为得到的历史用电量的预测值，其中 $i=1,2,\dots,L$ ； $(L-2\lambda+1)$ 为

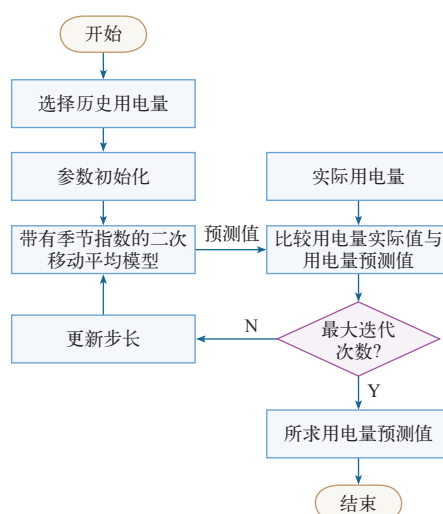


图2 所提方法的用电量预测流程

经过二次移动平均法后剩余实际用电量数，其中 λ 表示二次移动平均法中的移动步长。

4) 根据上述更新规则不断更新步长。

5) 若未达到最大迭代次数，则返回步骤4)；否则，继续下一步。

6) 迭代完成，得到所求用电量预测值。

3 实验结果

为验证提出模型的有效性，分别用某公司1~4号通信大楼2009年1月~2015年12月的用电量序列训练模型，用训练好的模型预测4幢通信大楼测试集2016年1~7月的用电量，相应的预测值如表1所示。其中CS算法中各参数设置如下：种群规模 $N_p=50$ ；遗弃率 $P_a=0.25$ ；最大迭代次数 $G=40$ ；历史用电量长度 $L=84$ ；解空间的范围 $\lambda \in [1, 84]$ 。根据CS算法求取的1~4号通信大楼最优移动步长分

表1 1~4号通信大楼测试集用电量预测

月份	1号楼		2号楼		3号楼		4号楼	
	实际值/万kW·h	预测值/万kW·h	实际值/万kW·h	预测值/万kW·h	实际值/万kW·h	预测值/万kW·h	实际值/万kW·h	预测值/万kW·h
1	378.63	386.87	150.51	158.83	77.06	76.90	74.91	77.37
2	352.97	361.26	137.36	144.90	68.05	69.80	69.58	72.33
3	379.69	382.83	147.11	152.71	71.27	75.00	75.43	75.32
4	365.01	366.06	144.23	146.50	71.14	70.87	74.17	72.13
5	395.79	387.89	156.08	154.01	83.9	86.91	78.55	76.84
6	398.98	411.66	153.27	159.99	99.7	95.52	77.37	81.06
7	420.68	437.71	163.71	171.25	107.88	113.20	82.2	89.09
MAPE(%)	2.12		3.82		3.02		3.64	

别为 $\lambda_1=18$ 、 $\lambda_2=19$ 、 $\lambda_3=14$ 和 $\lambda_4=6$ 。

表1中, 4幢通信大楼2016年1~7月预测用电量的平均绝对百分比误差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 分别为2.12%、3.82%、3.02%和3.64%。

以1号和2号楼为例, 应用所提模型得到训练集与测试集共91个月份实际值与预测值的对比, 如图3、图4所示。图中虚线表示用电量实际值, 实线表示用电量预测值, 从图中可看出用电量实际值与预测值基本一致, 模型预测效果比较好。

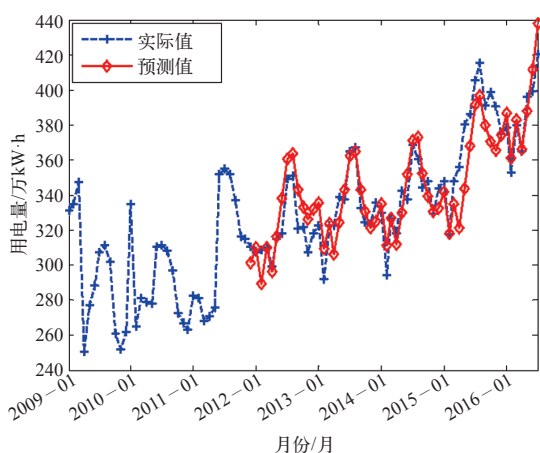


图3 1号楼月用电量预测结果

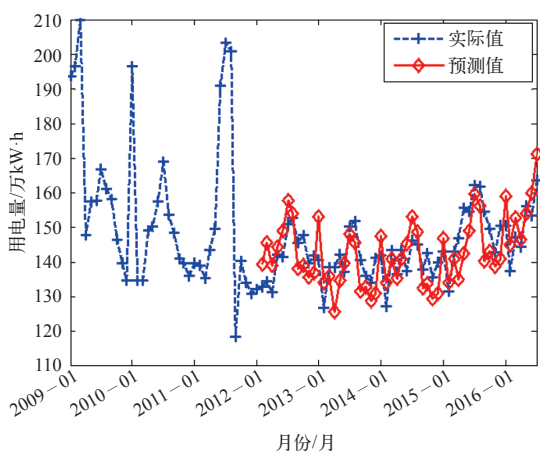


图4 2号楼月用电量预测结果

为了验证SE在所提模型中的有效性, 分别用CS-二次移动平均法与所提模型对1~4号楼2016年1~7月的用电量进行预测, 预测结果如图5~图8所示。

从图5~图8中可以看出: 对测试集月度用电

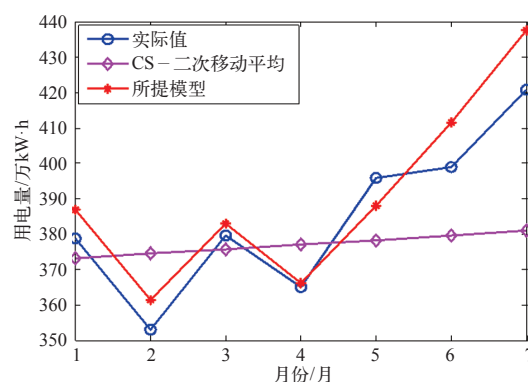


图5 有无SE的1号楼预测效果对比

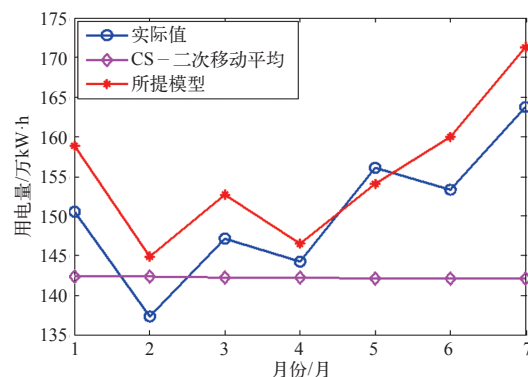


图6 有无SE的2号楼预测效果对比

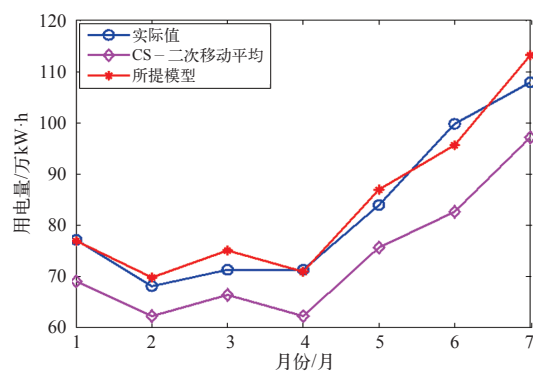


图7 有无SE的3号楼预测效果对比

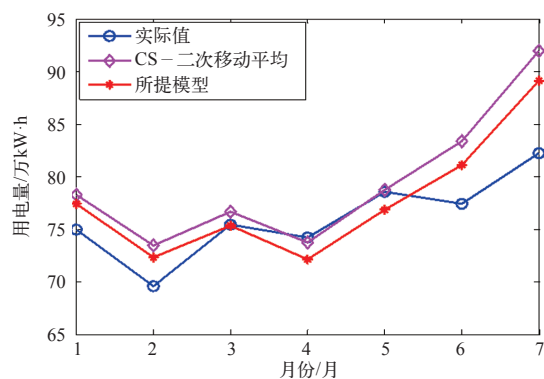


图8 有无SE的4号楼预测效果对比

量进行预测时，所提模型预测效果明显比单独使用CS-二次移动平均法效果好，主要体现在所提模型预测值更接近于用电量实际值，绝对误差值较小。

三次指数平滑算法^[14]是基于一次指数平滑和二次指数平滑算法，可以对同时含有季节因素和趋势的时间序列进行预测；BP神经网络^[15]是目前最常用的一种神经网络模型，能解决复杂非线性函数逼近问题。当参数适当时，从理论上来说，该网络能够收敛到较小的均方差。为了进一步验证所提模型的有效性，同时验证CS寻优能力，将SE-三次指数平滑、BP神经网络与本文所提模型对1~4号楼2016年1~7月的用电量进行预测，其中1号楼、2号楼的预测结果如图9、图10所示。

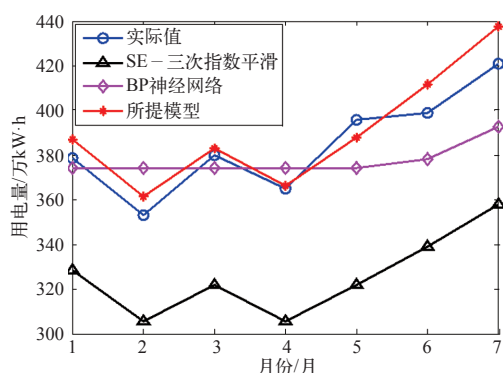


图9 三种预测模型1号楼预测效果对比

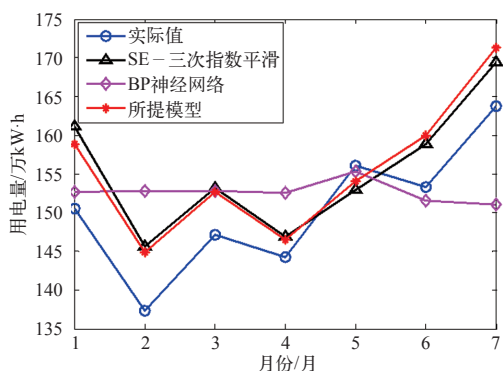


图10 三种预测模型2号楼预测效果对比

从图9中可以看出，所提模型预测效果明显优于SE-三次指数平滑，同时计算得出BP神经网络模型预测用电量的平均绝对百分比误差为4.06%，比所提出模型的平均绝对百分比误差2.12%要大。

图10中所提模型和SE-三次指数平滑预测效果相差不多，但是SE-三次指数平滑计算2号楼2016年1~7月预测用电量的平均绝对百分比误差为4.05%，大于所提出模型的平均绝对百分比误差3.82%，同时BP神经网络模型预测用电量的平均绝对百分比误差为4.52%，也大于所提模型的平均绝对百分比误差。

对某公司3号楼和4号楼的测试集数据分别使用SE-三次指数平滑、BP神经网络及所提模型进行预测，预测值分别放于表2、表3中。表2中SE-三次指数平滑、BP神经网络和所提模型对2016年7个月份预测用电量的平均绝对百分比误差分别为16.38%、11.98%和3.02%；表3中SE-三次指数平滑、BP神经网络和所提模型对2016年7个月份预测用电量的平均绝对百分比误差分别为13.25%、5.07%和3.64%，结果表明所提模型相比较于SE-三次指数平滑和BP神经网络具有更高的预测准确度。综上，利用CS确定SE-二次移动平均法的移动步长是方便、可行的，所提模型是有效的。

表2 三种预测模型3号楼预测效果对比

月份	实际值	SE-三次指数平滑	BP神经网络	所提模型
1	77.06	65.14	73.11	76.90
2	68.05	58.95	73.06	69.80
3	71.27	62.37	72.71	75.00
4	71.14	58.24	72.71	70.87
5	83.9	70.55	74.48	86.91
6	99.7	76.70	76.86	95.52
7	107.88	90.37	72.25	113.20
MAPE(%)	—	16.38	11.98	3.02

表3 三种预测模型4号楼预测效果对比

月份	实际值	SE-三次指数平滑	BP神经网络	所提模型
1	74.91	67.23	74.78	77.37
2	69.58	61.94	74.54	72.33
3	75.43	64.56	74.36	75.32
4	74.17	61.26	73.03	72.13
5	78.55	64.54	72.66	76.84
6	77.37	67.82	72.65	81.06
7	82.2	74.39	72.65	89.09
MAPE(%)	—	13.25	5.07	3.64

4 结束语

利用季节指数可消除数据序列季节性因素影响的特点,提出了一种基于季节指数的二次移动平均月度用电量预测模型,同时为了提高预测性能,利用CS算法确定二次移动平均中的移动步长。应用结果表明,所提出的基于CS算法的季节指数二次移动平均月用电量预测模型预测效果较好,便于使用,具有较强的可行性。

参考文献

- [1] 张士强,王雯,王健. ARIMA模型在城市年用电量预测中的应用[J]. 电力需求侧管理, 2010(6): 31-34.
- [2] Yang S X, Wang Y. Applying support vector machine method to forecast electricity consumption [C]. 2006 International Conference on Computational Intelligence and Security, 2006: 929-932.
- [3] 吴雪花. 应用于月度用电量预测的小波分析法[J]. 江苏电机工程, 2014(2): 8-11.
- [4] 王俊松. 基于遗传算法定阶的ARMA模型在用电量预测中的应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.
- [5] 李菁,施应玲. 组合预测在月度用电量中的实际应用[J]. 科技创新与应用, 2014(28): 70-71.
- [6] 唐义德,李宗赐,刘永亮,等. 一种基于季节指数法的用户月用电量预测方法和系统: 中国, CN103530701 [P]. 2014-01-22.
- [7] 田名誉,曹进. 时间序列二次移动平均预测法——公式的推导及应用[J]. 基建管理优化, 1994(4): 33-36, 17.
- [8] 唐小峰. 基于二次移动平均法的阜阳市劳动力资源预测分析[J]. 中国西部科技, 2013(5): 76-81.
- [9] 詹卫许,钱淑钗,印鉴. 月度用电量灰色预测改进模型[J]. 南方电网技术, 2012(5): 92-96.
- [10] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via Levy flights [C]. 2009 World Congress on Nature & Biology Inspired Computation, Coimbatore, India, 2009: 210-214.
- [11] 兰少峰,刘升. 布谷鸟搜索算法研究综述[J]. 计算机工程与设计, 2015(4): 1063-1067.
- [12] 韩文花,徐俊,沈晓晖,等. 基于布谷鸟搜索算法的漏磁反演方法研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2015(6): 1275-1283.
- [13] Hojjat Rakhshani, Amin Rahati, Effat Dehghanian. Cuckoo search algorithm and its application for secondary protein structure prediction [C]. 2015 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI), 2015: 412-417.
- [14] 王洪德,曹英浩. 道路交通事故的三次指数平滑预测法[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2014(1): 42-46.
- [15] 程名,付立思. 基于神经网络的光伏发电系统输出功率预测分析[J]. 电气应用, 2015(24): 42-45.

(收稿日期: 2016-12-19) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告