[负荷预测]

基于遗传算法优化的中长期月度负荷组合预测

文/国网重庆市电力公司石柱县供电公司　杨玉智
西华大学电气与电子信息学院　张金刚　白元宝

提出一种基于遗传算法优化的中长期月度负荷组合预测方法。模型以组合预测的误差平方最小为目标函数，并采用遗传算法优化出权重系数。分别通过对线性回归模型、趋势外推模型、灰色模型等权平均组合预测法以及基于遗传算法优化权系数的组合预测模型仿真，对组合预测结果、单一模型预测结果进行分析，验证此算法的优越性。

中长期负荷预测是开展电网规划工作的基础和依据，其预测的准确性直接影响到规划投资及运行的合理性，关系到电网的安全、经济和可靠运行。如果预测准确度不够，电网的发展就很难与快速发展的需求相适应，还会造成资源浪费。随着智能电网建设和电力市场的逐步开放，电力负荷受到越来越多因素的影响。同时，中长期负荷预测本身所参考的数据量小、预测时间跨度大等特点，进一步加大了中长期负荷预测的难度。目前的电力系统短期负荷预测方法主要分为以经典数学为理论的传统预测方法，包括灰色预测法、线性回归法和趋势外推法等，以人工智能算法为依托的预测方法，包括神经网络法（ANN）、支持向量机法（SVM）等。

对于复杂多变量且具有不确定性的中长期负荷预测，单一预测方法又存在一定的局限性。为了充分利用各单一预测模型的优点，采用组合预测模型。组合模型研究的核心问题有两个：组合预测模型的选择以及组合权系数的确定。如果不进行模型筛选直接组合，将大幅度降低预测准确度。组合权系数的选择方法有：等权平均组合预测法、方差－协方差法和最优权系数法等，其中等权平均组合预测法具有稳定性高的优点，已被广泛地运用在组合预测领域，但是此方法较为简单，没有对各方法权重系数进行优化。

本文提出一种遗传算法优化的电力负荷中长期组合预测方法，以组合预测的误差平方最小为目标函数，并采用遗传算法优化各种方法的权重系数。通过对线性回归模型、趋势外推模型、灰色模型、等权平均组合预测法以及本文提出的基于遗传算法优化权系数的组合预测模型仿真，分析对比最终的预测结果，表明了所提方法的合理性和有效性。

历史数据处理与分析

为了降低原始数据中异常值的作用以及提炼出整个数据序列的规律性，本文采用改进滑动平均法对负荷数据进行了预处理。在计算某一数据的滑动平均值时，不仅利用原始数列信息，而且引入了其前一数据滑动平均后的值，从而增加了前后数据的关联度，进一步降低数值波动量。记原始数列为$\{x^{(0)}(t)\}$，$t=1,2,\cdots,n$，则改进滑动平均法计算如下

$$\begin{cases} x^{(1)}(t)=\dfrac{x^{(1)}(t-1)+2x^{(0)}(t)+x^{(0)}(t+1)}{4} & 1<t<n \\ x^{(1)}(1)=\dfrac{3x^{(0)}(1)+x^{(0)}(2)}{4} \\ x^{(1)}(n)=\dfrac{x^{(1)}(n-1)+3x^{(0)}(n)}{4} \end{cases} \quad (1)$$

式中，$x^{(0)}(t)$、$x^{(1)}(t)$分别表示滑动平均前后的数据值。

组合预测模型

现在负荷发展的影响因素有很多的不确定性，单一的算法模型往往无法很全面地考虑到这些因素，因此，预测准确度不高。所以，利用组合预测方法把不同负荷预测方法组合，所构建的预测模型综合各个模型的优点，大大提高预测准确度。

典型的组合方法有：等权平均组合预测法、方差－协方差法和最优权系数法等，等权平均组合预测权值选取固定，该算法预测稳定性高，因此被大量应用到各个领域。由于该方法计算权值的方法过于简单，没有对权重系数改进，导致预测准确度不够高。为了提高组合模型的预测准确度，方差－协方差法将准确度高的预测模型分配较大权重，准确度低的预测模型分配较小权重。但实际运用时，权系数不稳定。现有的最优权系数法对初值要求较高，并且收敛能力差。基于上述分析，本文考虑到遗传算法具有较好的全局优化特性，建立了基于遗传算法优化权系数的组合预测模型。

根据历史年月度负荷数据为基础进行建模：定义y_{ij}是第i年j月真实数据（$i=1,2,\cdots,n$；$j=1,2,\cdots,12$），则由n年观察值可得时间序列矩阵$(y_{ij})_{n\times 12}$。通过K种方法对目标月进行负荷预测，记f_{tij}是第t种方法预测第i年j月的数据结果（$t=1,2,\cdots,K$），ω_t代表第t种方法的权重，$e_{tij}=y_{ij}-f_{tij}$为第t种方法的第i年j月预测值的预测误差。则求解出$y_{ij}=\sum_{t=1}^{K}\omega_t(f_{tij}+e_{tij})$。设$\hat{\omega}_i$为权系数的估计值，$\hat{y}_{ij}$为组合预测值，则有

$$\hat{y}_{ij}=\sum_{i=1}^{k}\hat{\omega}f_{tij} \tag{2}$$

以组合预测的误差平方和最小为目标的固定权系数组合预测模型为

$$\begin{aligned}&\min\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{12}\left(y_{ij}-\sum_{t=1}^{k}\omega_t f_{tij}\right)^2\\&\text{s.t.}\sum_{t=1}^{k}\omega_t=1,\ \omega_t\geqslant 0,i=1,2,\cdots,K\end{aligned} \tag{3}$$

只要由式（3）给出的预测模型求解出权系数ω_t，由式（2）即可得到组合预测值。

遗传算法

遗传算法的建立是自然选择和群体遗传学机理基础上的随机、迭代与进化的搜索方法，遗传算法特点是通过适应值来获得样本信息，对原始数据没有太高要求，并且刻意独立完成对样本信息的处理，不需要辅助方法。其原理主要是利用转移概率规则，经过复制、杂交和变异算子的作用，收敛到全局最优解，具有较好的全局优化特性。本文结合遗传算法的计算原理，对组合预测权重进行了优化计算。下面是组合预测参数的优化流程。

1）随机产生初始种群，以试验样本编译为初始种群。

2）定义适应度函数，这里以组合预测的误差平方和作为适应度函数为

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{12}\left(y_{ij}-\sum_{t=1}^{k}\omega_t f_{tij}\right)^2 \tag{4}$$

3）判断遗传迭代是否完成，如果完成就输出结果，否则就继续对染色体进行选择，交叉和变异算子。

4）验证输出，如果参数的数值达到了标准，就停止迭代，否则回到步骤3）。

5）最后把迭代算出的最优参数值代给模型函数，将样本输入模型中训练求出预测结果。图1所示为遗传算法流程。

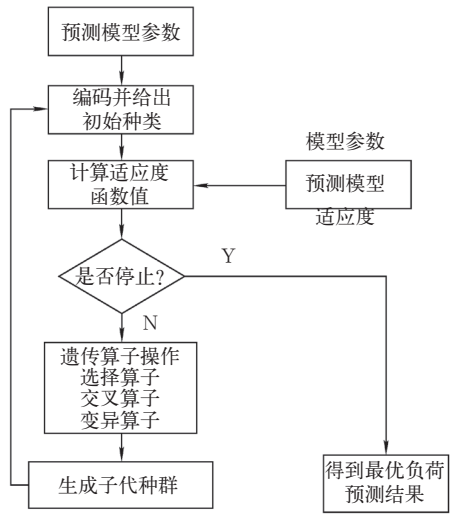

图1　遗传算法优化模型流程

算例分析

1．单一模型预测结果

针对某地区2012年1月～12月的历史负荷数据，利用本文所提方法对2017年12个月的负荷值进行预测。首先对提取出的负荷数据进行改进的滑动平均处理。表1是该地区的负荷历史数据。

表1　负荷历史数据

月\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	207 451 653	337 289 779	464 417 136	526 789 495	550 053 843	511 003 197
2	201 759 767	282 701 458	455 746 660	464 301 665	511 809 432	509 397 898
3	212 641 890	298 749 705	454 816 769	538 640 194	517 541 559	616 972 119
4	279 548 518	387 438 055	557 229 152	582 933 786	525 277 147	663 475 778
5	334 646 353	453 739 610	620 115 123	644 049 375	663 633 889	734 280 483
6	421 470 931	552 283 746	695 594 920	715 613 245	720 471 089	820 396 607
7	435 991 247	592 546 577	699 969 272	732 177 829	654 300 759	852 750 486
8	477 103 169	589 776 893	725 721 247	787 847 190	740 586 676	779 832 470
9	507 833 863	629 191 716	730 125 467	744 690 272	812 629 600	793 627 933
10	523 470 360	635 096 852	748 248 542	753 215 486	782 511 406	764 055 015
11	474 366 663	614 390 105	694 887 886	595 866 471	744 407 780	752 957 787
12	378 488 862	443 916 166	448 740 694	537 097 598	632 070 956	657 789 975

采用上述提到的3种单一预测方法，针对负荷数据样本进行负荷预测，得到各种方法的预测相对误差如图2所示。

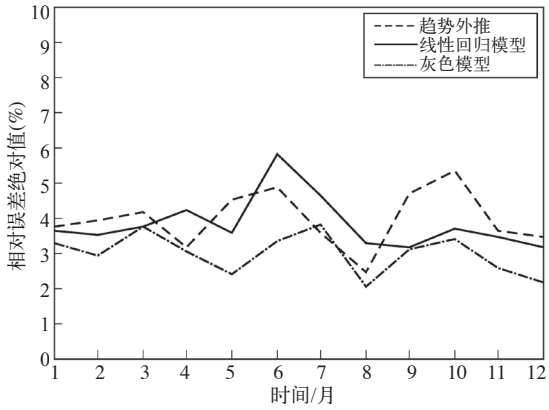

图2　单一预测方法的相对误差

由图2可以发现，在3种方法中SVM和改进灰色模型预测准确度相对高一些，线性回归模型的预测效果最差，其误差最大达到了5.79%，趋势外推模型预测结果的平均误差较小3.96%，但是其最大误差为5.35%，总体上效果不好。

2．组合方法预测结果

利用本文所提的遗传算法优化的组合预测方法，以及等权平均组合预测模型对目标年负荷进行负荷预测。如图3所示。

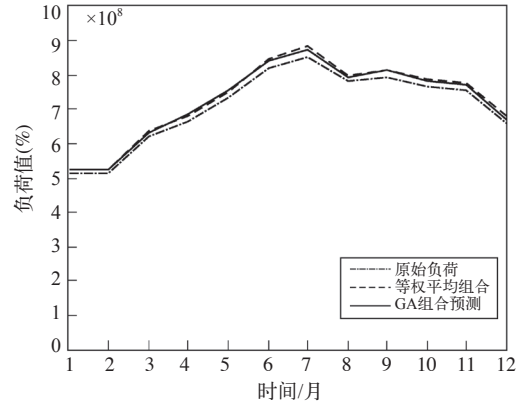

图3　组合预测结果曲线

从图3中可以发现，由组合预测方法求得的负荷曲线与原始负荷曲线更贴近，同时，对各种方法预测结果的相对误差进行计算，说明遗传算法优化的组合预测方法准确度较高。

由表2可得：①组合预测方法的平均误差和最大误差均小于各种单一预测方法的预测结果，即组合模型的预测准确度优于各单一模型；②基于遗传算法优化的组合预测方法的平均误差和最大误差均小于等权组合模型的预测值，得出遗传算法优化权重系数的组合方法较等权组合方法具有更大的优越性。

表2　预测方法比较　（%）

误差指标	趋势外推模型	线性回归模型	灰色模型	等权平均组合	GA－组合预测
平均误差	3.96	3.82	2.99	2.69	2.34
最大误差	5.35	5.79	3.78	3.74	3.42

结束语

组合预测模型的预测准确度比单一模型的准确度高，可以充分利用各模型的优点以及原始负荷数据的信息。本文提出了一种基于遗传算法优化的电力负荷中长期组合预测方法。建立了以组合预测的误差平方最小为目标函数的组合预测模型，并通过遗传算法优化求解出权重系数。算例分析中，利用某地区真实负荷数据，首先对数据进行改进滑动平均处理，然后采用本文模型、等权组合模型和单一模型对目标年负荷进行预测，通过相对误差、平均误差等评价指标来判断各种方法的预测准确度。通过分析预测结果可知，本文所提方法比四种单一预测模型和等权组合模型的误差更小，准确度更高，是一种有效的、可行的电力系统负荷预测方法。EA

（收稿日期：2018.08.20）
（编辑：朱金凤）