[控制系统]

趋势外推法在连江县电力负荷预测中的应用

文/福建工程学院　谢辉煌　郑荣进　黄晓生

趋势外推法是根据目前已有的历史负荷数据拟合一条曲线，使得该曲线能够反映负荷的增长趋势，然后按照曲线的增长趋势去估计未来某时刻的负荷值。对趋势外推法中不同数学模型进行推导分析，同时应用这些模型对连江县进行电力负荷进行预测，最后通过分析比较选出最合适的模型计算结果作为预测值。

趋势外推法

从电力负荷预测工程实践中可知，负荷的发展呈现一定的增长趋势，且在不同时期负荷增长速度会有所不同。有时候也会表现为几种变化趋势的叠加，这种变化趋势可以用散点图来描绘，进一步可以定性地确定其变化趋势，当找到其变化趋势后，就可以按照该负荷变化趋势来预测未来某一段时间的负荷情况，这就是趋势外推法。常用的趋势外推模型有指数平滑模法、移动平均法、包络模型等。

1．指数平滑法

指数平滑法是一种序列分析法，其预测值或拟合值是历史数据的加权算术平均值，特点是近期数据权重大，远期权重小，所以对靠近当前时刻的数据拟合较为精确，远期则可能会有修正。指数平滑法的图解如图1所示。

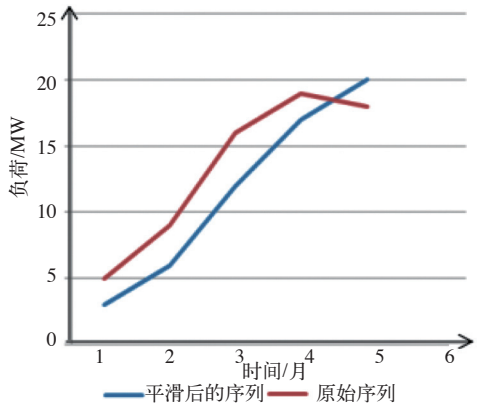

图1　指数平滑法的图解说明

（1）指数平滑－线性

预测过程：取参数α，$0<\alpha<1$，设初值$s_0=x_1$，则可得指数平滑序列

$$s_t=\alpha x_t+(1-\alpha)s_{t-1}\quad(t=1,2,\cdots,T)\quad(1)$$

同前面一样，用t期的平滑值s_t预测$t+1$期的电力负荷$\hat{x}_{t+1}=s_t$，特别是：$\hat{x}_{T+1}=s_T$（l＝1，2，…），以上就是线性指数平滑法的计算。

（2）指数平滑－二次曲线

预测步骤如下：首先计算一次、二次指数平滑序列

$$s_t^{(1)}=\alpha x_t+(1-\alpha)s_{t-1}^{(1)}$$

$$s_t^{(2)}=\alpha s_t^{(1)}+(1-\alpha)s_{t-1}^{(2)}\quad(t=1,2,\cdots,T)\quad(2)$$

式中，平滑系数α可以通过分析预测误差加以优选。

计算预测直线的截距和斜率为

$$\hat{\alpha}_t=2S_t^{(1)}-S_t^{(2)}$$

$$\hat{b}_t=\frac{\alpha}{1-\alpha}\left[S_t^{(1)}-S_t^{(2)}\right]\quad(t=1,2,\cdots,T)\quad(3)$$

接下来预测可得

$$\hat{x}_{t+1}=\hat{\alpha}_t+\hat{b}_t=\frac{2-\alpha}{1-\alpha}s_t^{(1)}-\frac{1}{1-\alpha}s_t^{(2)}\quad(t=1,2,\cdots,T-1)$$

$$x_{T+l}=\hat{\alpha}_T+\hat{b}_T l\quad(L=1,2,\cdots)\quad(4)$$

2．移动平均法

移动平均法是把一组时间序列数据进行某种意义上的算数平均值计算，并以此为依据进行预测，包括一次移动平均法、加权移动平均法和二

次移动平均法等。其图解说明如图2所示。

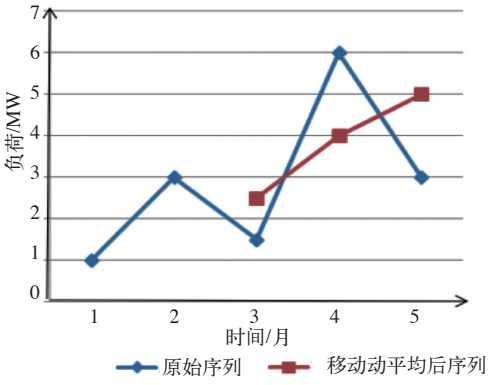

图2　移动平均法图解说明

一次移动平均法就是取时间序列的N个观测值给予平均，并依次滑动，直至将数据处理完得到一个平均值序列。

对于时间序列y_1，y_2，…，y_t，…，y_n，一次移动平均计算公式为

$$M_t^{(1)}=\frac{y_t+y_{t-1}+\cdots+y_{t-N+1}}{N}\quad(t\geqslant N)\qquad(5)$$

其中，$M_t^{(1)}$为第t期的一次移动平均值；N为移动平均的项数。

一般，如果时间序列没有明显的周期变化和趋势变化，则可以用第T期的一次移动平均值作为第$t+1$期的预测值，即

$$\hat{y}_{t-1}=M_t^{(1)}\qquad(6)$$

3．包络模型

包络模型预测原理是通过对已知的离乱的短序列应用灰色系统理论来构造上边界GM（1，1）和下边界GM（1，1）对其进行覆盖的一种灰色预测方法，这其中的上下边界模型就称为包络模型。如下图3所示，$X_s^{(1)}$对应为上包络，$X_u^{(1)}$对应为下包络，以下为包络带表达式为

$$s=\left\{\left[t,X(t)\right]X(t)\in\hat{X}_u^{(1)}(t),\hat{X}_S^{(1)}(t)\right\}\qquad(7)$$

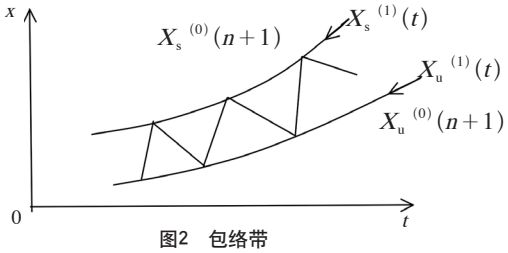

图2　包络带

由图3可知包络模型的预测结果是一个区间范围，所以不需要人工进行修正，采用这种预测方法进行区间预测可使结果更加科学，操作也更加简便。

4．线性回归法－直线

回归分析法是对具有相应关系的两个或两个以上的变量之间数量变化的关系进行测定，确定一个相关的数学表达式，进行估计或预测的统计分析方法。在回归分析法中，只包括一个自变量和一个因变量，且二者的关系也用一条直线来近似表示，这种方法称为一元线性回归分析。

当两个变量呈现完全的直线相关关系，则其变动规律可以用一条直线来表示，即$Y=\beta_1+\beta_2X$当变量Y除了受变量X的影响外，还受其他因素影响，X与Y的关系就不会表现出完全的线性相关关系。通过如下分布的散点图可得，不是每个散点都落在一条直线上，而是在这条直线的上下波动，即X与Y仅仅呈现线性相关的趋势。而一元线性回归法的任务就是在这些分散且具有线性相关关系的相关点之间拟合出一条最优的直线，说明现象之间具体的变动关系，如图4所示。

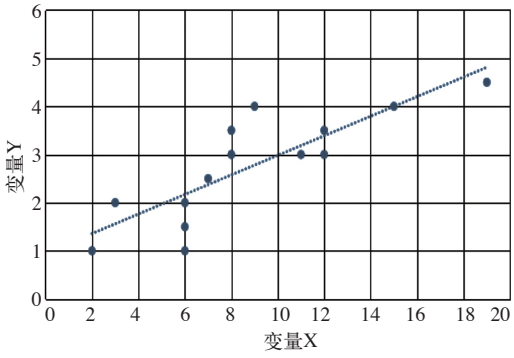

图4　散点图

5．一元线性回归模型

在一元线性回归中，自变量是可控制的或者可精确观察的变量，用x表示，因变量是依赖x的随机变量，一般用y来表示。则可假设x与y的关系为

$$y=a+bx+\varepsilon\qquad(8)$$

式中，ε是随机误差，通常也称为随机干扰，它服从正态分布N（0，δ^2）a，b以及δ^2都是不依赖于x的未知参数。x与y的这种关系称为一元线性回归模型。可记为

$$y=a+bx+\varepsilon,\varepsilon\sim N(0,\delta^2)\qquad(9)$$

对于固定的x，$y\sim N(a+bx,\delta^2)$，即随机变量y的数学期望为

$$Ey=a+bx\qquad(10)$$

因为

$$E(y_i)=E(a+bx_1+\varepsilon_i)=E(a+bx_1)+E(\varepsilon_i)=a+bx_1+0\qquad(11)$$

显然E_y是x的函数，称其为y关于x的回归。在

实际问题中，对自变量x和因变量y作n次试验观察，且在x的不全相同的各个值上对y的观察是相互独立的，其n对观察值记为表1。

表1　自变量和因变量

X	X_1	X_2	…	X_n
Y	Y_1	Y_2	…	Y_n

称（x_i，y_i）($i=1$，2，…，n）为样本。如果依据样本能估计出未知参数a，b，记估值分别为$\hat{a}$，$\hat{b}$。

则称式$\hat{y}=\hat{a}+\hat{b}x$为y关于x的线性回归方程，$\hat{a}$为回归系数，$\hat{b}$回归方程的图形称为回归直线。

应用实例

以连江县2016—2020年配电网规划中的电力负荷预测为例，应用趋势外推法对该县进行负荷预测：

根据收集到的数据以及连江县的总体规划情况，连江县电网规划具有以下特点。

1）规划部门提供了比较详细的远景城镇用地规划，可以得到连江县总体发展目标及各个乡镇发展方向，为未来的经济发展趋势提供依据。

2）有比较详尽的历史年电量、负荷数据，可采用历史数据外推的方法进行中间年电量、负荷预测。

3）需要进行规划区2016—2020年高中压电网规划。

综上所述，结合连江县规划实际特点，最终确定2016—2020年负荷预测方法主要采用趋势外推法。负荷预测过程如下：

表2　连江县总电量负荷发展情况

（单位：亿kW·h、MW、h）

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2011—2015年均增长率（%）
负荷	178	213	191	221	265	12.34
增长	–	19.7	–10.4	15.6	20.1	–
电量	8.2	11	9.9	11.3	13.1	10.7
增长	–	33.9	–10.5	14.4	16.1	–
负荷利用小时数	4 619	5 167	5 162	5 107	4 936	–

1．电量、负荷历史数据分析

2011—2015年连江县历史电量、负荷情况如表2所示。

由表2、图5可知，连江县总电量负荷增长均呈较平缓趋势，2013年受国内外经济大环境的影响，电量和负荷有一定回落。

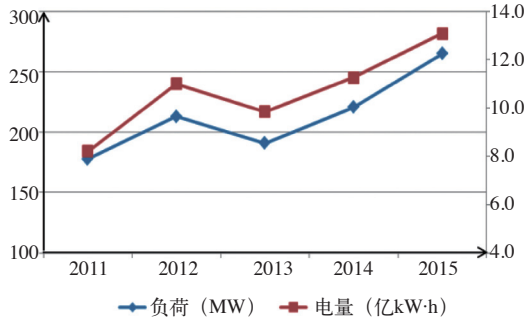

图5　连江县2011—2015年历史电量负荷发展趋势图

2．连江县最大负荷预测

结合2011年至2015年负荷历史数据，根据目前连江县经济发展情况及未来5年连江县经济发展趋势，采用趋势外推法，分别计算指数平滑_线性、包络模型_下限、指数平滑_二次曲线、一次移动平均法、线性回归法_直线五种数学模型，得到连江县的用电负荷预测结果，具体如表3所示。

这五种数学模型所计算出的数据，可得出相应曲线如图6所示。

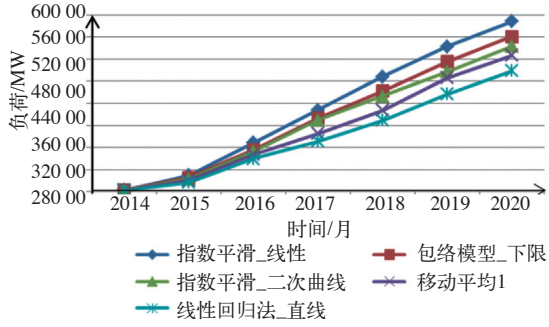

图6　连江县分年度负荷增长预测图

由图6可知，连江县2020年负荷预测结果处于498.64 MW到593.63 MW范围之间。通过数据分析可得在该项目的负荷预测曲线中，指数平滑_二次曲线的拟合结果比较精确，所以决定采用指数平滑_二次曲线的方法作为预测结果。

结束语

本文通过计算多种负荷预测模型，对比预测数据，判定其优劣程度，遴选出对本规划项目最合适的预测模型充当负荷预测结果，可使结果更加精确。EA

（收稿日期：2016.10.23）

（编辑：朱金凤）

表3　连江县分年度负荷预测情况

（单位：MW）

计算模型	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2016—2020年增长率（%）
指数平滑_线性	282.96	309.93	368.46	427.56	487.75	542.64	587.63	13.65
包络模型_下限	282.96	306.48	355.54	413.28	462.37	515.36	560.45	12.83
指数平滑_二次曲线	282.96	303.47	353	410	453	497	543	12.34
移动平均1	282.96	300.63	347.37	385.29	427.1	485.81	526.41	11.86
线性回归法_直线	282.96	297.4	339.67	371.39	408.84	456.47	498.64	10.89