

多模型自动筛选法在中长期电量预测中的应用

在电力系统中，主要以月、季和年为单位来进行中长期电量预测。以广西电网公司 2008~2013 年全资产口径月度售电量为例，引入一种多模型自动筛选法来量化各单一模型的权重，并舍弃效果较差同时挑选出权重较高且最能发挥效用的单一模型集，利用综合算法优化出组合模型。通过实例表明，运用组合预测模型可提高预测准确度，减少误差。将多模型自动筛选法应用到广西地区进行月度电量预测，提高地区市场预测的准确性，具有科学指导和应用价值。

秦丽娟 曾博 严旭 林溪桥 韩帅/广西电网有限责任公司电力科学研究院

0 引言

随着国内经济的突飞猛进，电力事业取得较大发展。对于电网企业而言，为了能够更科学的制定电网规划、发电计划、检修计划及电价报价，设计公司未来战略目标和策略，保障电网安全、绿色、经济和可靠运行，提高经济效益和社会效益，迫切需加强对中长期电力市场进行准确分析与预测。并且，随着中央电改 9 号文件的出台，各级电网企业对于中长期电力系统负荷预测的重视程度在不断加强。中长期电力系统负荷预测关系到整个电网的规划、设计和发展，统政工作可为地区的经济发展、电网建设规模和能源资源平衡提供可靠依据，对于保障电网健康发展，乃至整个国家的经济发展等方面具有重要意义^[1-2]。

采用多模型自动筛选法对广西全资产口径各类别电量进行中长期预测。具体是运用 odds-matrix 算法定量

分析各单一预测模型的有效性，随后运用权重概率分布函数舍弃模型库中效果较差的模型同时筛选出权重较高且最能发挥组合预测模型特点的若干单一模型，再引用组合预测对其进行优化组合，从而获得更加准确的预测结果。

1 多模型优选的组合预测模型

1.1 组合预测模型现状分析

为应对各种不确定因素对负荷预测准确率的影响，预测人员需采用多种通用预测方法对各类指标进行中长期电力电量预测。但从计算复杂度来看，并不是模型越复杂越好，过于复杂的模型，致使计算误差增大，从而降低预测准确度。理想的组合预测模型是在预测方法库中选取适合本地区或电网发展规律的综合模型。若仅凭营销基层预测人员的工作经验及自身能力水平，将导致各指标预测准确度不高，如何筛选出适合地区或电网电力电量预测的综合模型成为一项复杂且亟需解决的问题。若从搭建理想且稳定的数学模型来考虑，单用一种模型很难表现电力电量发展的自然规律，而影响指标的因素很多，单一模型无法顾及所有信息，因此准确度不会很高。假设简单地舍弃预测方法库中误差较大的若干模型，极有可能舍弃一些有效信息^[3-4]。

为了满足预测人员快速正确选取模型，提高各指标预测准确度，需尽可能利用反映负荷变化特性的所有有效信息。有机组合若干高有效性的单一模型，提升预测准确度，帮助工作



秦丽娟/工程师

关键词/Keywords

组合预测 ·
多模型自动筛选法 ·
权重概率函数 ·

人员自动选取适合本地区电力电量发展规律的组合预测模型。

1.2 算法原理概述

在中长期电力系统负荷预测过程中,引用自动筛选法进行预测,具体步骤如下。

1) 采用 odds-matrix 算法来分析各单一预测模型的有效性,以权重系数代表其优劣性。

2) 搭建概率分布函数,计算出各个预测模型的权重,得出有效性高的模型集合。

3) 引用组合预测算法优化组合有效性高的模型,从而获得一个准确度高的预测值^[5]。

2 组合预测模型算法研究

2.1 单一预测模型权重系数的求解

2.1.1 决策理论的 odds-matrix 算法

对于预测模型库中各单一模型权重系数的确定,采用特征向量法来定量分析每单一模型的有效性,即模型的权重值代表其优劣性,便于挑选出有约模型进行进一步优化组合,得到一个最终的预测结果^[6]。

假设 n 种预测模型的有效性用向量 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ 表示。若 ω_i 的值越大,表明此预测模型 i 越优。定义一个决策矩阵 O ,即

$$O = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1n} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ O_{n1} & O_{n2} & \dots & O_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R = \begin{bmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_1} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_1} \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\omega_1}{\omega_n} & \frac{\omega_2}{\omega_n} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

令 $O \approx R$,
则

$$O_{ij} \approx \frac{\omega_i}{\omega_j} \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

决策矩阵 O 中的每个元素 O_{ij} 可设定为预测模型 i 优于预测模型 j 的概率,这里 O 的每个元素都是正数,且 $O = 1 \quad i = \{1, 2, \dots, n\}$ 。

2.1.2 特征向量法概述

分析矩阵 R , 只有一个线性无关的行(列),可得秩为 1; 加之其对角元素均为 1, 因此矩阵对角元素之和为 n 。说明其只有一个非 0 的特征值, 且特征值一定为 n 。从式(1)~式(3)可知

$$O\omega = \begin{bmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_1} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_1} \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\omega_1}{\omega_n} & \frac{\omega_2}{\omega_n} & \dots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

即有

$$(O - nI)\omega \approx 0 \quad (5)$$

式中, I 为单位矩阵。

若 O 估计准确, 上述公式严格等于 0, 则齐次方程组对于未知 ω 只有平凡解。若 O 的估计不能准确使其等于 0, 即有

$$O\omega = \lambda_{\max} \omega \quad (6)$$

式中, $\lambda_{\max}$ 为矩阵 O 的主特征值, 可通过幂法相应地求出主特征向量, 并将主特征向量归一化, 即为权重 ω 。

2.1.3 模型筛选

由于 $\omega = [0, 1]$, 所以将区间 $[0, 1]$ 分割成 K 个子区间(每个子区间的宽度为 $1/K$), 可挑选出 ω 大于权重的数学期望 E_v 的若干单一模型, 从而构成一个高有效性的预测模型集合。则权重的数学期望为

$$E_v = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_k x_k \quad (7)$$

假设 n_k 为预测方法库中权重属于子区间 $k(k \in K)$ 的模型个数; p_k 为权重属于子区间 k 的概率, 即为 $p_k = n_k / n^{[7]}$ 。

2.2 组合预测模型算法研究

组合预测通过筛选出有效性高的各单一模型而建立的预测方法。其设法综合判断各有效单一预测模型, 赋予相应权重, 并运用算法得到一个准确度高的综合预测方法。这不仅提高了组合预测的准确度, 同时也降低了各单一模型的误差。

从总体来看, 组合预测有两种思想: 一是将

筛选高有效性的若干单一模型的预测结果进行加权平均；二是通过比较，筛选拟合度高或标准误差最小的预测方法，形成优化组合模型。本文采用第一种思想，对选取的若干有效性高的单一模型赋予合适的权重。具体基本原理如下。

选取某一历史时段 $1 \leq t \leq n$ ，其原始序列为 $\chi_0, \chi_1, \dots, \chi_n$ ，运用 q 种单一预测模型分别对未来某时段进行预测。设第 k 种模型在 k 时段预测值为 $\hat{x}_{kt} (k=1, 2, \dots, q)$ ，其实际值为 $x_t (t=1, 2, \dots, n)$ ，对应的预测误差 $\xi_{kt} = x_t - \hat{x}_{kt}$ ，组合预测的残差 $\xi_t = x_t - \hat{x}_t$ ，将各种单一预测方法的权重定为 $\omega_k (k=1, 2, \dots, q)$ ，满足

$$\sum_{k=1}^q \omega_k = 1 \tag{2-8}$$

式中， $\omega_k \geq 0 (k=1, 2, \dots, q)$
则组合预测模型可表示为

$$\hat{x}_t = \omega_1 \hat{x}_{1t} + \omega_2 \hat{x}_{2t} + \dots + \omega_q \hat{x}_{qt} = \sum_{k=1}^q \omega_k \hat{x}_{kt} \tag{2-9}$$

式中， $\hat{x}_t$ 为组合预测模型在 k 时刻的预测值。
由上述可知，选取权重 ω_k 值是确定最优组合预测的关键，选取不同的 ω_k 值对应不同的组合预测模型。在建立最优组合预测模型时，从 k 种模型库中选取恰当的权重 ω_k 值使得模型的拟合误差 ξ_t 越小越好，根据最小二乘法，要求组合预测模型的误差平方和达到最小^[9-12]，即

$$\min J = \sum_{t=1}^q \xi_t^2 = \sum_{t=1}^q (x_t - \hat{x}_t)^2 \tag{2-10}$$

3 算例分析

以某地区 2008~2013 年每年 10 月份的历史售电量数据作为预测样本，对该地区 2014 年 10 月电量进行预测（同时拟合 2008 年~2013 年每年 10 月份的售电量），并对预测结果进行分析。表 1 为该地区电量原始数据，这里使用的预测模型共有 25 种，如表 2 所示。

表 1 2008~2013 年每年 10 月份某地区售电量的原始数据

年份	电量/MW·h	年份	电量/MW·h
2008	4 835 320	2011	7 029 770
2009	6 317 230	2012	7 543 480
2010	5 801 080	2013	7 789 520

表 2 预测模型

序号	模型名称	序号	模型名称	序号	模型名称
1	线性模型	10	扩展反正切	19	单月月间相关预测法
2	指数模型 1	11	S 形曲线模型	20	灰色马尔可夫预测法
3	指数模型 2	12	GOMPERTZ 曲线	21	模糊数学预测法
4	对数模型	13	抛物线模型	22	多月月间相关预测法
5	双曲线模型 1	14	n 次曲线模型	23	累计直接相关法
6	双曲线模型 2	15	动平均法	24	单月增长相关法
7	幂函数模型	16	指数平滑法	25	多月累计增长相关法
8	扩展 S 形曲线	17	灰色系统法		
9	扩展 GOMPERTZ	18	增长速度法		

运用电力市场分析预测软件依据该地区 2008~2013 年每年 10 月份全资产口径的历史售电量数据来预测 2014 年 10 月的售电量，其结果如表 3 所示。

表 3 未经模型筛选的预测结果

年份	实际值 Y /MW·h	综合模型结果		
		预测值 $\hat{Y}$ /MW·h	相对误差 e (%)	准确度 (%)
2008	4 835 320	4 867 290	0.6	99.3
2009	6 317 230	6 116 440	-3.4	96.8
2010	5 801 080	6 058 110	4.7	95.6
2011	7 029 770	6 908 980	-1.6	98.3
2012	7 543 480	7 439 890	-1.4	98.6
2013	7 789 520	7 810 130	0.1	99.7
2014	8 161 290	8 229 970	0.84	99.16

使用幂法求解 $O_{25 \times 25}$ 的单位特征向量，即 25 种方法的权重，并在 Matlab 中实现，如下图所示。把区间[0,1]等分成 K 份（ $K=10$ ），得出权重的数学期望 $E_v=0.0571$ ，选取权重大于 0.0571 的单一预测模型共有 9 种，分别是：线性模型、指数模型 1、指数模型 2、对数模型、抛物线模型、n 次曲线模型、灰色系统法、指数平滑法和增长速度法。引入多模型自动筛选机制的预测结果如表 4 所示。表 4 中，2008~2013 年每年 10 月份的误差是拟合误差，而 2014 年 10 月份的误

差是预测误差。

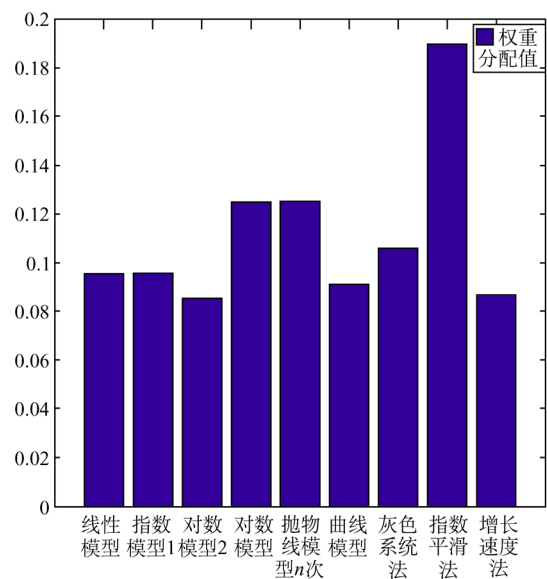


图 筛选出若干单一预测模型的再分配权重图

表 4 引入模型筛选机制的预测结果

年份	实际值 y /MW·h	综合模型		
		预测值 $\hat{y}$ /MW·h	相对误差 e (%)	准确度 (%)
2008	4 835 320	4 850 440	0.3	99.7
2009	6 317 230	6 251 770	-1	99
2010	5 801 080	5 877 760	1.3	98.7
2011	7 029 770	7 003 890	-0.4	99.6
2012	7 543 480	7 530 520	-0.2	99.8
2013	7 789 520	7 798 450	0.1	99.9
2014	8 161 290	8 121 780	-0.48	99.52

从表 3、表 4 的预测结果可得出，引入模型筛选机制得到的预测结果具有更高的准确度。

4 结束语

采用多模型自动筛选法定量描述预测方法库中各单一模型的优劣程度，实现了适合特定地区或电网某时段电力电量的最优组合预测模型的自动选取，提高了各指标的预测准确度，改善电网经营管理，为电网制定适合未来市场需求的经营战略、电源规划、营销决策和调峰研究等提供科学依据。

参考文献

[1] 甘霖. 组合预测模型在中长期电力负荷预测中的应用[D]. 南昌：南昌航空大学，2012.

[2] 郑文琛，吉培荣，罗贤举. 改进无偏 GM (1, 1) 模型及其在中长期电力负荷预测中的应用[J]. 继电器，2008，36 (5)：36-39，44.

[3] 周晖. 电力市场分析与预测[M]. 3 版. 北京：北京交通大学出版社，2011.

[4] 赵希正，周小谦，姜绍俊，等. 中国电力负荷特性分析与预测[M]. 北京：中国电力出版社，2002.

[5] 邵莹，高忠文. 基于模糊集理论的短期电力负荷预测[J]. 信息技术，2005 (5)：18-23.

[6] 尹玉芬. 地区电力系统负荷特性分析与需求侧管理研究[D]. 广州：华南理工大学，2010.

[7] 高峰，康重庆，夏清，等. 负荷预测中多模型的自动筛选法[J]. 电力系统自动化，2004，28 (6)：11-13，40.

[8] 刘勇. 河北南网负荷特性分析与负荷预测研究[D]. 保定：华北电力大学，2007.

[9] 陶莉，肖晶，周魏，等. 负荷特性分析方法的研究[J]. 电力需求侧管理，2003 (4)：

[10] 杨实俊，牛东晓. 基于预测模型库关联优化的电力负荷组合预测模型[J]. 华北电力大学学报，2005，32 (1)：42-44.

[11] 甄利玲. 一种电力负荷预测的综合方法[J]. 吕梁高等专科学校学报，2003，19 (1)：43-45.

[12] 李玉梅，周步祥. 用于电力规划的负荷预测系统[J]. 电网技术，2005，29 (S1)：222-224.

[13] 高洁，孙海斌，唐国庆. 基于模型综合评判的电力负荷最优组合预测[J]. 系统工程学报，2001，16 (2)：106-110.

作者简介

秦丽娟 (1984-)，女，工程师，主要研究方向为电力市场分析、负荷预测和需求侧管理等。

曾博 (1982-)，男，高级工程师，主要研究方向为智能用电、数据分析和需求侧管理等。

严旭 (1989-)，男，助理工程师，主要研究方向为能效管理、需求侧管理等。

林溪桥 (1990-)，男，助理工程师，主要研究方向为数据分析、需求侧管理等。

韩帅 (1986-)，女，工程师，主要研究方向为智能用电、数据分析和需求侧管理等。

(收稿日期：2015-12-10) EA
(编辑：崔岩)