

一种基于用电行业分类的中长期电量预测方法

李 翔, 欧阳森, 冯天瑞, 吴裕生, 王克英

(华南理工大学电力学院, 广东广州 510640)

A Medium and Long-term Electricity Demand Forecasting Method Based on Industry Classification

LI Xiang, OUYANG Sen, FENG Tianrui, WU Yusheng, WANG Keying

(College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

摘 要: 针对传统中长期电量预测方法思路单一, 忽视不同层次电量预测之间的内在联系而影响中长期电量预测精度的问题, 提出了一种基于用电行业分类的新型中长期电量预测方法。首先, 设计了适用于电量预测的用电行业分类原则和方法; 然后, 以 8 种特性互补的预测方法为基础, 建立优选组合预测模型, 对待预测区域整体以及各用电行业的电量需求分别进行年度和季度的预测; 最后, 运用多级预测协调理论建立了一个二维二级协调模型, 对上一步的电量预测值进行修正, 改善预测精度, 得到上下级统一的区域整体以及各行业未来年度和季度的电量预测值。以实际的电量数据进行了算例分析, 验证了该方法的有效性。

关键词: 中长期电量预测; 用电行业分类; 多级预测协调原理; 优选组合预测

Abstract: As to the problem that the accuracy of medium and long-term electricity demand forecasting is affected by such factors as the singleness of traditional method and the weak inner link between different power prediction levels, a new medium and long-term electricity demand forecasting method is proposed based on industry classification. Firstly, electricity industry classification principles and methods are designed. Then, an appropriate optimized combination prediction model is built to forecast annual and quarterly electricity demand of the predicted district and its electricity consuming industries based on eight basic complementary predicting methods. Finally, a two-dimension and two-level coordinated model is designed based on multilevel forecasting and coordinated principle to correct the predicted value, to improve the predicting accuracy, and to obtain future annual and quarterly electricity demand of whole district and

each industry. The actual data is used to test the effectiveness of the proposed method.

Keywords: medium and long term electricity demand forecasting; industry classification; multilevel forecasting and coordinated principle; optimized combination forecast

0 引 言

中长期电量预测^[1-4]是电网调峰、电源和电网建设规划以及电力需求侧管理等工作的基础。长期以来, 广大电力研究人员对中长期电量预测方法进行了大量研究, 主要集中于对预测算法的改进和创新, 而在预测思路, 则很单一, 比如预测地区总电量, 就把地区总电量的历史数据带入预测模型, 预测某行业的电量, 就对某行业的电量历史数据进行分析。这种预测思路简单直接, 但是没有看到各层次预测之间的联系。那么, 能否利用各层次预测之间联系提高电量预测的有效性呢?

应当注意到, 不同行业都有各自的用电特性, 行业电量发展规律较为明显, 对行业电量预测具有较高的可信度; 而地区总电量等于各行业电量之和, 地区电量预测与各行业电量预测之间具有天然的联系。因此, 可以从分行业电量预测角度来对中长期电量预测方法进行改进。

分行业电量预测至少有两点意义: ①能够得到各行业的电量预测值, 有利于供电部门把握各行业的电量趋势, 服务精细化; ②行业电量预测与总电量预测一起构成一个相互联系的预测体系。利用行业电量预测值与总体电量预测值的联系, 相互参照, 提升的整体预测准确度。

关于分行业电量预测的研究并不多, 文献 [5]

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50937001); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2012ZM0018)

用改进的 GM(1, 1)模型对保定市的 8 个行业各自的用电量和全社会用电量分别进行了预测；文献 [6] 将重庆市城区供电局的负荷分为大宗工业等 9 个行业，并用 BP 神经网络来进行电量预测；文献 [7] 对社会总用电量进行了预测，对江门地区各行业的三次产业、城乡居民和工业及重点行业仅进行了用电分析。文献 [5-7] 对于分行业电量预测做出了有益的探索，但都仅仅涉及意义①，而且选取的电量预测方法单一，适应性不强。

深入研究可知，分行业电量预测面临着几个问题：①如何进行用电行业分类。近些年来我国经济发展快速，行业格局也在不断变化，某些行业的电量发展规律性较差，直接利用原始的用电行业分类势必会影响整体的电量预测精度；②在对各层次单独进行电量预测时选择什么预测方法；③各层次都进行独立的预测之后，如何实现各层次电量预测结果之间的相互影响。简单的加和，或者人为的调整可以实现简单情况下的“相互影响”，但主观性太强，缺乏科学依据，适应性差。

本文拟建立一套适用于电量预测的用电行业分类的原则和方法，实现科学的行业分类。优选组合预测方法^[8-9]是近年来应用较广泛的电量预测方法，由于集结了多种单一预测算法的信息，该方法具有很强的适应性，预测准确度较高。用优选组合预测方法来实现各层次的电量预测比较合适。对于问题③，本文拟引入多级预测协调原理^[10-14]来处理。多级预测协调原理是用于解决负荷预测方面不同维度上下级预测值不协调问题的一套理论。利用最小二乘法得到最合适的修正值，能够有效实现各维度各等级预测结果之间的相互影响。

本文提出了一种基于行业分类的中长期电量预测方法。该方法扩展预测思路，通过用电行业分类，各层次独立预测，多级预测协调 3 个主要步骤，得到协调统一的地区总体及各行业电量预测值群。通过各预测值之间相互参照和修正，削弱预测误差，提高整体的预测精度。

1 用电行业分类原则和方法

供电企业统计的电量数据一般是按照电价类别和国家标准《国民经济行业分类》^[15-16]来对用电行业进行分类。其中《国民经济行业分类》将用电行业分为门类、大类、中类和小类，共有 4 个层次，

分类的细致程度逐层加深。

可见，用电行业的分类随着分类标准和细致程度的不同会有多种结果。而且，实际分类过程中可能会出现一些规律性非常差的行业，会给电量预测带来负面影响。因此，有必要在分类过程中进行一些人为的调整和筛选。为此，本文建立了相应的用电行业分类原则和方法。

1.1 用电行业分类原则

本文建议原则如下：

- ① 以供电企业对电力用户的分类方式为主要分类依据；
- ② 分类后各行业电量数据呈现良好的历史发展规律；
- ③ 分类过程中满足不重叠无遗漏。

1.2 用电行业分类方法

根据以上原则，制定了相应的用电行业分类方法，假设分类结果用 A 表示，对应有 a 个行业，已收到过去 b 个年份的电量数据， u_{ij} 为第 i 个年度第 j 个行业总电量 ($i=1, 2, 3, \dots, b; j=1, 2, 3, \dots, a$)：

- ① 对从供电企业获取详细的原始电量历史数据，根据对细致程度的要求，在相应层次上进行分类，得到第一步分类结果 A1，有 a_1 个行业；
- ② 对 A1 中的行业按数据规律的优劣分为两类。为避免人为判断的主观性，这里采用简单的算法来对数据规律优劣进行区分。对各行业的年度电量历史数据分别进行一次多项式拟合，得到各行业的一次拟合多项式 f_j ，求

$$M_j = \sum_{i=1}^b \left[\frac{u_{ij} - f_j(i)}{u_{ij}} \right]^2 \quad (1)$$

设立阈值 N ，当 $M_j > N$ 时，将行业 j 归为规律差的一类，当 $M_j \leq N$ 时，将行业 j 归为规律好的一类。

③ 对规律好的行业保留，对规律差的行业拆分为更小的行业或者与其他行业组合。

④ 重复此步骤②和③，直到得到较合理的分类结果 A2，对应 a_2 个行业。

⑤ 在 A2 中，若存在较多行业电量占比 $\frac{y_{bj}}{\sum_{j=1}^{a_2} y_{bj}} < 1\%$ ，则将这些行业合并为“其他行业”，得到最终分类结果 A3，有 a_3 个行业。

2 多级预测协调原理

多级预测协调原理是用来解决在实际电量预测中,不同维度不同级别的电量预测结果之间存在不统一、不协调问题的一套理论。其思路是对不同维度上下级电量预测结果进行整体分析,利用各个预测结果之间应有的数学关系并基于最小二乘法做出最优协调,使每个预测值做出最小最合适的调整,最终实现预测结果之间的“统一”和“协调”。

本文应用多级预测协调原理的最优协调来实现预测值之间的相互作用,提高整体的预测准确度。因分行业电量预测及年度和季度预测,在行业维度和时间维度上都存在上下级不协调问题,实际上形成了二维二级不协调问题,下文将根据多级预测协调原理建立一个二维二级协调模型来处理。

3 算法设计

3.1 总体流程设计

- ① 全面收集待预测区域的电量历史数据;
- ② 按照本文设计的用电行业分类原则及方法对收集到的电量历史数据进行用电行业分类;
- ③ 选取若干单一预测方法构造优选组合预测模型,对待预测区域整体及各行业分别独立地进行年度和季度的电量预测;
- ④ 运用多级预测协调理论建立二维二级协调模型,处理上一步得到的电量预测值;
- ⑤ 得到在时间维度和行业维度都能达到上下级统一的区域整体以及各行业未来年度和季度的电量预测值,作为最终的预测结果。

相应的流程图如图1。

3.2 优选组合预测模型设计

优选组合预测法可以集结多种单一模型所包含的信息进行最优组合,进而达到改善预测结果的目的,具有很强的适应性和抗干扰性。因此本文方法3个步骤中的第二步采用优选组合预测方法。

3.2.1 优选

即单一预测方法的筛选。本文根据年度和季度电量预测历史数据较少且无明显周期性的特点,选择了8种单一预测方法:灰色预测GM(1,1)模型、加权拟合直线方程、累加线性拟合法、一元线性回归法、双曲线模型、对数曲线模型、S形曲线模型、倒指数曲线模型。

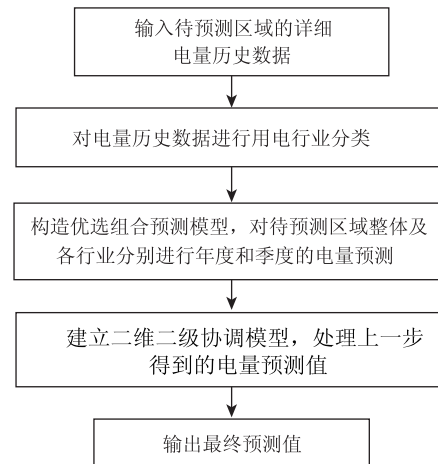


图1 算法流程图

3.2.2 组合

即对8种预测方法科学合理的分配权重。权重分配方法如下:

假设对某个行业进行电量预测,优选组合预测模型中有 c 个预测方法,现有该行业过去 d 个年度的电量历史数据。年度电量或者月度电量数据的年度序列历史数据为 $y_j(j=1,2,3,\dots,d)$,经过组合预测最终的预测值为 y_0 。其中,用预测方法 $i(i=1,2,3,\dots,c)$ 进行预测,得到 d 个年度的拟合值为 $y_{ij}(j=1,2,3,\dots,d)$,得到的预测值为 y_{i0} 。设给第 i 种预测方法分配的权重为 $w_i(i=1,2,3,\dots,c)$,则有

$$w_i \geq 0 \quad i=1,2,3,\dots,c \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^c w_i = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^c w_i y_{i0} = y_0 \quad (4)$$

设

$$\sum_{i=1}^c w_i y_{ij} = y_{0j} \quad j=1,2,3,\dots,d \quad (5)$$

为达到最优拟合的效果,令目标函数为

$$\min g = \sum_{j=1}^d (y_{0j} - y_j)^2 \quad (6)$$

求解可得各预测方法的权重。带入各预测方法的预测值和权重,由式(4)可得优选组合预测模型的预测值。

3.3 二维二级协调模型设计

3.3.1 获取二维二级原始电量预测值

二维二级协调模型处理的是2个维度2个级别各自独立预测得到的电量预测值,假设用矩阵 $Z=(z_{ij})_{(m+1) \times (n+1)}(i=0,1,\dots,m; j=0,1,\dots,$

n)来表示,行表示行业维度,列表示时间维度,则 $z_{0,0}$ 表示各行业各季度总电量预测值,即全地区年度电量预测值; $z_{0j}(j \neq 0)$ 表示第 j 个季度各行业总电量预测值; $z_{i0}(i \neq 0)$ 表示第 i 个行业年度总电量预测值; $z_{ij}(i, j \neq 0)$ 表示第 i 个行业第 j 个季度的电量预测值。

3.3.2 建立二维二级协调模型

设预测年份的电量真实值矩阵为 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{(m+1) \times (n+1)}$ ($i = 0, 1, \dots, m; j = 0, 1, \dots, n$), 矩阵 \mathbf{X} 中元素的下标意义同矩阵 \mathbf{Z} 。则由 2 个维度的电量上下级统一, 可得 2 个约束方程如下:

$$x_{i0} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad (7)$$

$$x_{0j} = \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中, (8)式 j 从 1 开始, 是为了保证方程之间的相互独立性。

由最小二乘法的思想, 可以认为 $\Delta z_{ij} = (z_{ij} - x_{ij})/z_{ij}$ ($i = 0, 1, \dots, m; j = 0, 1, \dots, n$) 加权平方和达到最小的估计值即为各级电量预测的最优协调值, 可得

$$\min f = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n v_{ij} \left(\frac{z_{ij} - x_{ij}}{z_{ij}} \right)^2 \quad (9)$$

式中: v_{ij} 为权重, 与 z_{ij} 的预测精度呈正相关。

式(7)、(8)、(9)即建立起适用于本文方法的二维二级协调模型。

4 算例分析

为检验本文设计的方法的准确性、实用性, 将以某供电局(简称 L 局)的售电量数据为例来验证。

① 按照第 1 章用电行业分类的原则和方法对 L 局的售电量数据进行用电行业分类。L 局所有用户原本分为工业用户、非工业用户、商业用户、住宅用户、其他用户五大类。工业用户又可分为大宗工业用户和普通工业用户, 其中大宗工业用户的电量趋势规律性较好, 而非工业用户和普通工业用户的电量趋势规律性较差, 将二者合并为非工业普通工业用户, 简称非普工业用户。其他用户的电量在总电量中的占比小于 0.5%, 舍去。最终分类结果为: 大宗工业、非普工业、商业、住宅 4 大类。售电量年度历史数据见表 1, 售电量季度历史数据见表 2。

限于篇幅, 以下仅给出 L 局总以及大宗工业的

数据。

表 1 售电量年度历史数据 MWh

年度	L 局总	大宗工业
2009	5 437 506	4 831 354
2010	6 686 984	5 989 671
2011	7 045 024	6 242 097
2012	7 178 787	6 263 497

表 2 售电量季度历史数据 MWh

年度	季度	L 局总	大宗工业
2009	1	1 101 294	948 747
	2	1 523 625	1 186 465
	3	1 689 048	1 393 856
	4	1 607 297	1 302 286
2010	1	1 513 684	1 308 198
	2	1 888 957	1 524 317
	3	2 067 847	1 666 634
	4	1 818 774	1 490 521
2011	1	1 634 052	1 410 207
	2	1 762 662	1 591 139
	3	1 954 911	1 725 659
	4	1 768 406	1 515 093
2012	1	1 585 922	1 395 379
	2	1 804 266	1 623 893
	3	2 013 567	1 698 795
	4	1 739 315	1 545 430

② 用 3.2 节设计的优选组合预测模型对 L 局 2013 年总售电量和各个行业售电量分别进行独立的年度和季度预测。预测结果见表 3。

表 3 基于传统方法的 2013 年售电量预测值 MWh

时间	L 局总	大宗工业
年度	7 420 639	6 438 559
季度 1	1 644 653	1 506 506
季度 2	2 014 507	1 774 740
季度 3	2 234 366	1 917 700
季度 4	1 896 649	1 693 981

③ 采用 3.3 节的二维二级协调模型处理上一步优组预测模型得到的预测值。协调后预测值见表 4。

表 4 基于本文方法的 2013 年售电量预测值 MWh

时间	L 局总	大宗工业
年度	7 767 957	6 744 677
季度 1	1 658 213	1 464 054
季度 2	2 001 282	1 741 879
季度 3	2 213 296	1 882 869
季度 4	1 895 166	1 655 875

④ 计算传统方法及本文方法所得预测值的相对误差。2013 年 L 局售电量的实际值见表 5。按照 $\omega = \frac{z-x}{x} \times 100\%$ 来计算相对误差，其中 ω 为相对误差， z 为电量预测值， x 为电量实际值，则相对误差计算结果见表 6。

表 5 2013 年售电量实际值 MWh

时间	L 局总	大宗工业
年度	7 655 712	6 669 205
季度 1	1 687 757	1 501 025
季度 2	1 914 504	1 695 134
季度 3	2 136 790	1 830 721
季度 4	1 916 661	1 642 325

表 6 预测值相对误差 %

方法	时间	L 局总	大宗工业
传统方法	年度	-3.07	-3.46
	季度 1	-2.55	0.37
	季度 2	5.22	4.70
	季度 3	4.57	4.75
	季度 4	-1.04	3.15
本文方法	年度	1.47	1.13
	季度 1	-1.75	-2.46
	季度 2	4.53	2.76
	季度 3	3.58	2.85
	季度 4	-1.12	0.83

⑤ 分析以上数据可知：

a. 由表 4 可见，本文分行业进行电量预测最终得到在时间维度和行业维度都达到上下级统一的 L 局整体以及各行业未来年度和季度的电量预测值，可以为决策人员提供了更加全面有效的辅助决策依据，在这一点上优于传统方法。

b. 由表 6 可见，本文采用的优组预测方法预测值相对误差基本都在 5% 以内，取得了不错的预测效果。

c. 由表 6 可见，用传统方法得到的 L 局总电量年度预测值相对误差为 -3.07%，大宗工业电量年度预测值相对误差为 -3.46%；而本文方法得到的 L 局总电量预测值相对误差为 1.47%，大宗工业电量年度预测值相对误差为 1.13%，相对误差明显减小；同时，本文方法得到的 8 个季度电量预测值中，有 6 个相对误差小于传统方法得到的预测值，由此可见本文方法希望通过利用不同层次预测值之间的相互联系来提高整体的预测准确度是切实可行的。

5 结束语

本文建立了用电行业分类原则和方法，开拓了灵活地进行行业分类为电量预测服务的新思路。

通过对总电量和各行业电量分别进行独立年度和季度预测，形成了一个多维的预测体系，并利用各项预测之间本质的物理关联构建多级预测协调模型，实现所有预测结果的一致性，克服了以往电量预测方法孤立片面的缺点。

相对于传统的中长期电量预测片面研究预测模型而言，本文方法对电量历史数据挖掘更加深入，预测工作更加严谨，更加注重同一地区各维度各级别电量预测之间的紧密联系。

算例表明，本文方法能够提高中长期电量预测的准确性，并能够得到行业和时间维度上下级协调的电量预测结果，帮助决策机构从行业角度更好把握电量需求的发展趋势。

参 考 文 献

- [1] 康重庆, 夏清, 刘梅. 电力系统负荷预测 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 2-24.
- [2] 牛东晓, 曹树华, 赵磊, 等. 电力负荷预测技术及其应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 1-6.
- [3] 周潮, 邢文洋, 李宇龙. 电力系统负荷预测方法综

- 述 [J]. 电源学报, 2012 (6): 32-39.
- [4] 徐玉华. 中长期电力负荷预测方法分析 [J]. 宁夏电力, 2007 (4): 6-7; 46.
- [5] 于永杰. 保定市行业用电分析及电力需求预测研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2005.
- [6] 熊磊. 分类负荷售电量的预测系统研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [7] 崔璐. 基于行业电力负荷预测的江门地区开拓用电市场研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- [8] 朱伟华, 常虹. 基于 GRA 的优选组合技术在中长期负荷预测中的应用 [J]. 煤炭技术, 2013 (1): 213-215.
- [9] 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.
- [10] 康重庆, 牟涛, 夏清. 电力系统多级负荷预测及其协调问题(一)研究框架 [J]. 电力系统自动化, 2008(7): 34-38.
- [11] 牟涛, 康重庆, 夏清, 等. 电力系统多级负荷预测及其协调问题(二)基本协调模型 [J]. 电力系统自动化, 2008(8): 14-18.
- [12] 牟涛, 康重庆, 夏清, 等. 电力系统多级负荷预测及其协调问题(三)关联协调模型 [J]. 电力系统自动化, 2008(9): 20-24.
- [13] CONEJO A J, DE LA TORRE S, CANSS M. An optimization approach to multiarea state estimation. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22 (1): 213-221.
- [14] WILLIS H L, ENGEL M V, BURI M J. Spatial load forecasting [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1995, 8(2): 40-43.
- [15] 王卓. 我国行业分类与国际标准行业分类的比较研究 [J]. 统计研究, 2013 (4): 15-20.
- [16] GB/T 4754-2011, 国民经济行业分类 [S].
- 收稿日期:** 2014-10-14
- 作者简介:**
- 李翔(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电能质量分析, E-mail: lxup@foxmail.com;
- 欧阳森(1974—), 男, 副研究员, 工学博士, 研究方向为电能质量、节能技术与智能电器等, E-mail: ouyangs@scut.edu.cn;
- 冯天瑞(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为负荷预测、电能质量;
- 吴裕生(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电能质量分析;
- 王克英(1963—), 男, 教授, 工学博士, 研究方向为电力系统运行与控制。
- (责任编辑: 林海文)