

# 产业结构调整背景下的区域用电量预测模型库构建

康 辉<sup>1</sup>, 牛东晓<sup>1,2</sup>

(华北电力大学 1. 经济与管理学院; 2. 新能源电力与低碳发展研究北京市重点实验室, 北京 102206)

**摘要:**基于产业结构调整宏观环境,构建了区域用电量预测模型初选库,其主要包括基于时间序列的区域用电量预测模型和基于影响因素的区域用电量预测模型。并基于预测效果反馈,建立预测效果评级指标体系,构建预测效果评价模型。在评价结果的基础上,筛选出最优模型作为区域用电量预测模型终选库,以便正确预估地区电网发展趋势,提高企业竞争力。

**关键词:**电量预测;时间序列预测;多因素预测;预测效果评价

**中图分类号:**TM715 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2018)06-0016-04

冀北地区隶属河北省,是我国重要的高新技术产业区以及重工业产业基地,其产业结构为“二、三、一”结构,处于第二产业占据主导地位的工业化阶段。近年来,冀北地区不断加强产业结构调整,力求产业结构高级化,经济增长一直保持着良好的态势,经济建设成效显著。然而,从近五年趋势来看,该地区产业结构处于逐步优化的状态,但较“三、二、一”型最优产业结构还有一定距离。

冀北地区第二产业主导地位的形成,离不开重点用能行业的兴起与迅猛发展。目前,重点用能行业在冀北产业结构中占有重要份额,也是经济增长的重要推动力。依据单位工业增加值能耗的高低以及用电量情况,冀北地区重点用能行业主要有:黑色金属冶炼及压延加工业、黑色金属矿采选业、非金属矿物制品业、金属制品业和化学原料及化学制品制造业。这 5 类行业占冀北地区产业增加值的 14% 以上,且用电量占地区全行业用电量的 50% 以上,总计工业用电量占冀北地区全社会用电量的比例在 75% 以上。因此,在京津冀协同发展的大背景下,冀北地区产业结构调整在化解冀北重点用能行业产能过剩、环境污染等难题的同时,也会对地区的用电量情况产生重要影响。

目前,现有的电力预测技术主要分为基于时间序列的传统预测方法<sup>[1]</sup>和基于影响因素的智能预测技术等。目前在用电量预测研究中,研究者们主要关注经济因素、季节因素、气象因素与用电

量之间的规律<sup>[2-5]</sup>。随着对模型适应度和预测精度要求的提高,传统预测技术和单一的智能算法已渐渐满足不了预测。为此,研究产业结构调整背景下区域用电量预测模型库构建具有重要的现实意义。首先,本文构建了基于电量时间序列和电量影响因素的区域用电量预测模型初选库;然后,基于预测效果反馈构建预测效果评价模型,筛选预测模型;最后,将筛选出的预测模型作为区域用电量预测模型终选库。

## 1 区域用电量预测模型初选库构建

### 1.1 基于电量时间序列的区域用电量预测模型

时间序列预测技术在电力负荷预测中应用广泛,即依据电力负荷历史数据对未来的负荷水平进行预测。本文将时间序列预测技术引入到区域用电量预测模型初选库中,通过历年冀北地区全社会用电量变化趋势对未来的电力需求水平进行预测。

采用时间序列预测技术对区域全社会用电量水平进行预测时,需要统计历史若干年份的用电量数据,形成以一个以年份为自变量、用电量为因变量的基于年份的全社会用电量序列。基于时间序列的预测技术主要有简单时间序列法、一元线性回归模型、加权移动平均法、指数平滑预测模型、趋势移动平均法以及灰色模型(Grey Model, GM)预测模型。

**收稿日期:**2018-04-04

**基金项目:**国家自然科学基金项目(71471059);高等学校学科创新引智计划资助项目(B18021)。

**作者简介:**康辉(1994—),女(蒙古族),内蒙古乌兰浩特人,华北电力大学经济与管理学院,硕士研究生,研究方向:技术经济预测及评价。

表 1 时间序列预测方法适用性对比

| 时间序列预测方法   | 方法适用性                                        |
|------------|----------------------------------------------|
| 时间变量线性回归模型 | 采用一元线性回归分析预测法需要对影响用电量变化趋势的多种因素做全面分析。         |
| 加权移动平均法    | 加权移动平均法对近期的趋势反映较敏感,该方法不适用于存在明显季节性变化的因素预测     |
| 指数平滑预测模型   | 指数平滑法用来预测时间序列的态势具有稳定性或规则性的对象,常用于中短期经济发展趋势预测。 |
| 趋势移动平均法    | 该方法考虑时间序列发展趋势,使预测结果能更好地符合实际。                 |
| GM(1,1)    | 该方法适用于解决模糊问题;模型参数少,方便操作,可简洁处理复杂系统。           |

1.2 基于电量影响因素的区域用电量预测模型

通过上述冀北地区产业结构现状和重点用能行业分析可知,五类重点用能行业用电占冀北地区全行业用电量 50% 以上,工业用电量占冀北地区全社会用电量的比例在 75% 以上。而在工业生产过程中,产品价格会影响到产量,而产量和价格均会不同程度的影响工业用电量,进而影响全社会用电量。所以,以钢铁、水泥作为冀北地区重点用能行业的重点产品的代表,将钢铁、水泥这两个产品的产量和价格纳入电量影响因素指标集。除此之外,本文还将代表产业结构因素的第一产业增加值、第二产业增加值、第三产业增加值三个指标纳入电量影响因素指标集中。

表 2 基于影响因素的预测方法适用性对比

| 基于影响因素预测方法 | 方法适用性                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| 多元线性回归模型   | 用电量的变化可能受多种因素的影响。该方法可基于自变量的最优组合来预测因变量,相较于基于单一因素的预测回归更有效、更贴合实际。 |
| BP 神经网络模型  | BP 神经网络适应于大量非结构性数据、模糊规律的学习预测,具有自主学习、知识推理等特点。                   |
| SVM 模型     | SVM 具有可用于小样本,对样本数据要求不严,具有良好稳健性的特点。                             |

采用基于影响因素的预测方法对区域全社会用电量水平进行预测时,需要统计历史若干年份的电量影响因素和用电量数据,构建以一个以影响因素为自变量集、用电量为因变量的多影响因素的回归模型。基于影响因素的预测技术主要有

多元线性回归模型、BP 神经网络预测模型<sup>[6]</sup>和支持向量机 (support vector machine, SVM) 预测模型<sup>[7]</sup>。

2 区域用电量预测模型终选库构建

2.1 区域用电量预测模型终选库构建机制

基于预测效果反馈的区域用电量预测模型终选库构建机制思路图如图 1 所示。

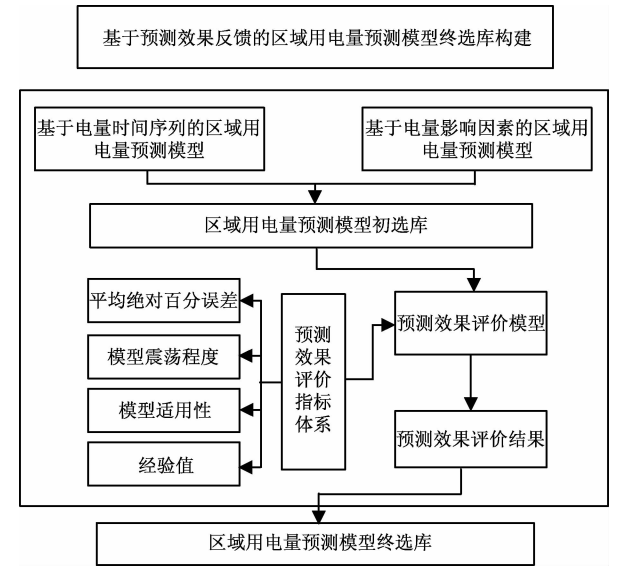


图 1 区域用电量预测模型终选库构建机制

基于预测效果反馈的区域用电量预测模型终选库构建机制,主要包含四部分内容:

1)区域用电量预测模型初选。分别采用基于电量时间序列、基于电量影响因素的区域用电量预测模型进行预测。

2)预测效果评价指标体系的构建。综合考虑预测技术预测精度、预测者预测需求、模型自身适用性以及经济意义,构建预测效果评价指标体系。

3)预测效果评价模型的构建。构建基于模糊综合评价方法的用电量预测效果评价模型,以实现对用电量预测效果的综合评判。

4)区域用电量预测模型的终选。基于预测效果评价结果,优选兼顾预测精度、经济意义的用电量预测模型。

2.2 预测效果评价指标体系构建

根据指标选取原则以及结合相关项目经验,本文构建了区域用电量预测模型预测效果评价指标体系,如图 2 所示。

1)MAPE。平均绝对百分误差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 是衡量误差大小的一种方法,计算公式如下:

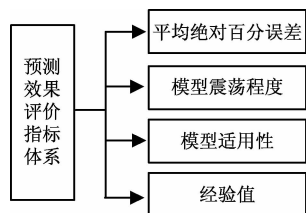


图 2 预测效果评价指标体系

$$\text{MAPE}\% = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_i - P_i}{P_i} \times 100\% \right| \quad (1)$$

其中,  $N$  表示预测对象的个数,  $P_j$  为预测值,  $P_i$  为实际值。

2) 模型振荡程度。对于 BP、RBF、SVM 等智能预测模型, 由于训练速度过快或输入样本过于离散, 在收敛过程中容易产生局部振荡、降低预测精度, 模型振荡程度指标可以衡量智能预测模型的适用性。

3) 模型适用性。不同预测对象的复杂程度、维数、样本量不同, 所需要的预测模型也各异, 并且不同预测模型具有不同的适用性。

4) 经验指标。在对模型预测效果评价时, 我们不能仅选择客观指标进行模型效果评价, 一定程度上需要考虑评价者的主观愿望和偏好, 根据他们对行业了解程度、个人经验, 通过对模型预测结果的观察, 判断预测结果是否符合用电量变化和经济发展的趋势等。经验指标采用专家打分法进行计算。

### 2.3 预测效果评价模型

本文构建区域用电量预测模型预测效果评价指标体系, 选用模糊综合评价模型(FSEM)对模型预测效果进行综合评价, 达到优选预测模型的目的。

1) 样本数据收集及处理。选用区域用电量预测模型初选库中的预测方法对 2017 年一至四季度冀北地区用电量水平进行预测, 然后结合实际收集的指标体系的实际数据和专家打分意见建立评价指标样本集。由于指标单位和性质不尽相同, 本文采用归一化方法对样本数据进行了无量纲处理。

2) 熵权法确定指标权重。本文采用熵权法进行指标权重的确定, 二级指标权重, 结果为  $(A_1, A_2, A_3, A_4) = (0.0647, 0.8660, 0.0091, 0.0602)$ 。

3) 模糊综合评价。模糊综合评价是根据隶属度原理, 通过构造等级模糊子集将定性问题量化, 再根据模糊变换原理对指标进行综合。其基本步骤为:

①确定指标论域。由预测效果反馈评价指标体系可以看出, 该指标体系共含有 4 个二级指标, 因此可得到指标论域  $U$  如下:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$$

②确定评语等级论域。设评价评价对象的评价结果可能性分成优秀、良好、中等、一般和较差 5 个等级, 得到评语等级论域如下:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{优秀, 良好, 中等, 一般, 较差}\}$$

③构造单因素评价矩阵。根据指标论域相对评语等级论域的相对重要程度, 确定单因素评价矩阵。以一元线性回归预测模型为例, 其评级矩阵如表 3 所示。

表 3 O—A 评价矩阵示例

| R1 | 优秀  | 良好  | 中等  | 一般  | 较差  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A1 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| A2 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.1 |
| A3 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0   |
| A4 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0   |

④评价结果计算。将权重  $W$  与单因素评判矩阵  $R$  相乘后可求得模糊变换后的综合评判向量, 即

$$B = W \times R = (w_1, w_2, \dots, w_m) \times \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (2)$$

以一元线性回归预测模型为例, 根据公式(2)可得到其一级指标评价向量:

$$B_1 = (0.1190, 0.1347, 0.3801, 0.2732, 0.0931)$$

同理, 本文对区域用电量预测模型初选库中的其他模型的预测效果分别进行评价, 评价结果详见表 4。

表 4 区域用电量预测模型预测效果评价结果

| 模型类别         | 综合评价结果 | 筛选结果 |
|--------------|--------|------|
| 时间变量线性回归模型   | 中等     | ×    |
| 加权移动平均法      | 中等     | ×    |
| 指数平滑预测模型     | 中等     | ×    |
| 趋势移动平均法      | 中等     | ×    |
| 多元线性回归       | 一般     | ×    |
| BP 神经网络预测模型  | 优秀     | ✓    |
| PSO—SVM 预测模型 | 优秀     | ✓    |

4) 预测效果评价结果分析。从表 4 区域用电量预测模型预测效果评价结果, BP 神经网络预测模型和 SVM 预测模型预测效果都为优秀, 其他预测模型的预测效果处于中等及以下, 因此选择初选库中的 BP 神经网络预测模型和 SVM 预测模型两种预测方法作为区域用电量预测的终选模型。获取 2017 年一

至四季度的基于 BP 神经网络和 SVM 预测模型的区域用电量预测值,利用等权平均组合预测法,得到 2017 年四个季度的用电量的最终预测值,如表 5 所示。

表 5 预测结果对比 亿千瓦时

| 模型类型     | 一季度    | 二季度    | 三季度    | 四季度    |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| BP 神经网络  | 376.01 | 373.58 | 379.55 | 378.63 |
| SVM      | 375.01 | 366.31 | 373.28 | 376.8  |
| 等权平均组合预测 | 375.51 | 369.95 | 376.42 | 377.72 |
| 实际用电量    | 362.31 | 361.84 | 381.4  | 384.32 |
| 相对误差     | -3.64% | -2.24% | 1.31%  | 1.72%  |

由表 5 可知,采用基于预测效果反馈的区域用电量预测模型终选库机制可以有效地提高预测精度,2017 年一至四季度的用电量预测相对误差仅在 ±4% 以内,预测效果好。

3 结论

在产业结构调整的背景下,结合电力预测技术的理论和应用,本文分别构建了基于时间序列的区域用电量预测模型和基于影响因素的区域用电量预测模型,作为区域用电量预测模型的初选库。然后,基于初选库中各模型的预测效果反馈及电力专家打分意

见,建立了预测效果评级指标体系,采用模糊评价法构建预测效果评价模型。最后,在评价结果的基础上,筛选出最优模型作为区域用电量预测模型终选库,为电力企业提供决策辅助和支撑。

参考文献

[1] 牛东晓. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2009: 40—201.

[2] 李文峰, 白宏坤, 刘永民, 等. 两种考虑温度 and 经济增长因素的月度全社会用电量预测方法[J]. 河南科技, 2016(21): 112—114.

[3] 罗慧, 徐军昶, 肖波, 等. 气象因子对西安市用电量的影响研究及中长期系统化预测[J]. 气象, 2016, 42(1): 54—60.

[4] 秦康平. 节能减排背景下电力需求预测方法的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

[5] 刘大为, 彭文博, 鲍亮亮, 等. 考虑空气污染因素的光伏发电量回归分析[J]. 可再生能源, 2014, 32(12): 1785—1790.

[6] XU C, CAO L, LIANG X, et al. Research on electricity demand forecasting based on ABC—BP neural network[J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(3): 912—914.

[7] GHELARDONI L, GHIO A, ANGUIA D. Energy load forecasting using empirical mode decomposition and support vector regression[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(1): 549—556.

Regional Electricity Consumption Forecast Model under the Background of Industrial Structure Adjustment

KANG Hui<sup>1</sup>, NIU Dong-xiao<sup>1,2</sup>

(1. School of Economics and Management; 2. Beijing Key Laboratory of New Energy and Low-Carbon Development, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Based on the macro environment of industrial structure adjustment, the primary selection Library of regional electricity consumption forecasting model is constructed, which mainly includes the prediction model of regional electricity consumption based on time series and the prediction model of regional electricity consumption based on the influence factors. And then, based on prediction effect feedback, set up prediction effect rating index system and build prediction effect evaluation model. Finally, on the basis of the evaluation results, the optimal model is selected as the final selection of the regional electricity consumption forecasting model in order to correctly estimate the development trend of the regional power grid and improve the competitiveness of the enterprises.

**Key words:** electricity consumption forecast; prediction of time series; prediction of multi factor; prediction effect evaluation