

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: X2012230453

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

基于组合模型的电力负荷中长期预测研究

Research on the Combination Model Based Mid-long Term

Forecasting of Power Load

马昕

指 导 教 师: 吴清锋副教授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论 文 提 交 日 期: 2014 年 6 月

论 文 答 辩 日 期: 2014 年 7 月

学 位 授 予 日 期: 年 月

指 导 教 师: \_\_\_\_\_

答 辩 委 员 会 主 席: \_\_\_\_\_

2014 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘 要

电力负荷预测作为电力系统健康发展的重要保证，为供发电制定计划提供参考，为电网的增容、布局建设和投资等提供依据，是电力企业现代化的标志，一直以来都是保证电力系统可靠供电和经济运行的重要课题。随着中国经济的快速发展以及电力发展进入市场化进程，未来电力的发展对负荷预测的准确性、实时性和可靠性提出了更高的要求，提高精确度成为电力负荷预测在新时期将面临的挑战和压力。

电力负荷预测系统是一个非线性动态系统，而传统的数学模型，或者是线性的，或者是非线性的，一般都以静态系统居多。在动态模型的种类中，如神经网络模型，具有自学习、自适应能力，却往往预测时间长、精度不高。随着新时期电力系统结构的日益复杂化，电力负荷变化的非线性、时变性和不确定性的特点更加明显，单个预测模型具有各自的缺陷和局限性，无法完整地解释负荷的自身特点和变化趋势的特点。采用组合预测的思路，使原来一些单个预测效果不错的模型可以综合各自的优点，得到一种更优胜的预测模型，从而提高预测精度。

本文提出了对中长期负荷预测的基于回归-灰色-Elman 神经网络组合模型，先通过回归模型和灰色模型的组合，以误差平方和最小为原则建立线性组合模型；然后将该组合模型预测出的值作为 Elman 神经网络的输入，建立串行的组合预测模型。该模型不但可以解释线性和指数趋势，而且实现了在少数据下也能建模预测。另外，所采用的串行 Elman 神经网络模型，能够同时反映负荷的非线性特征和动态特性，对数据信息具有自适应、学习和反馈功能。这样组合

模型就可以较好地解决了数据量少和提高准确度的难题。最后,通过应用回归-灰色-Elman 神经网络组合模型,针对新疆电网的历史负荷数据特点,进行中长期预测。

通过建立多元回归模型、灰色 GM(1, 1)模型、Elman 神经网络模型和回归-灰色-Elman 神经网络组合预测模型分别对新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市的电力负荷进行仿真预测和对比,从结果可以看到,回归-灰色-Elman 神经网络组合预测模型能够使电力负荷预测得到更好的效果;从整体角度看,预测精度也更加好;由此可以说明,比起以往的单个预测模型,本文提出的组合预测模型对于电力负荷的中长期预测更加适合并且更加优秀。

**关键词:** 电力负荷预测; 多元线性回归; 灰色理论; Elman 神经网络

## Abstract

Power load forecasting which provides reference for power generation program, the basis for the increasing capacity, layout of the construction and investment of grid, is an important guarantee for the healthy development of the power system. It is a sign of the power of modern enterprises, and has been the important issue to ensure that the power system is reliable and economical power supply. With the rapid development of China's economy, the development of power industry goes into the market process. It means that the demand of accuracy, timeliness and reliability of the load forecasting become higher. To improve the accuracy of power load forecasting become the challenges and pressures in the new era.

Power load forecasting system is a nonlinear dynamic system, meanwhile the traditional mathematical model is either linear or non-linear, even is the static system. In the kind of dynamic models, such as neural networks which has the self-learning and adaptive capacities, but often needs a long time, and has the low accuracy. With the complexity of power system increasing, the characteristics of nonlinearity, variability and uncertainty of power load are more obvious. As a single prediction model has its own flaws and limitations, so that it cannot fully explain the load itself characteristics and trends of features. Using a combination of ideas to predict, you can make some of the well done single models can use the respective advantages of them. The combination model will be a significant in the power load forecast.

In this dissertation, we put forward a combination model for long-middle-term load forecasting, which bases on regression, gray theory and Elman neural network. Firstly, by combining the regression model and gray model to establish a linear combination model according the principle of minimum squared error. Secondly, by using the predicted values by the last combined model as input of Elman neural network, a serial combination forecasting model is established. The model can not only explain the linear and exponential trend, but also achieved to predict in less data. Another, the serial Elman neural network can simultaneously reflect the nonlinear and dynamic characteristics of the power load, and has the ability of to adapt, learn and do feedback the data information. So the combination model becomes a solution to the problems with less data and improves the accuracy.

Finally, through the regression-gray-Elman neural network combination model, we conduct a long-middle-term forecast for Xinjiang province considering the characteristics of historical power load data. The simulation and comparison proves the validity, applicability and better accuracy of the method.

**Keywords:** Power load forecasting; Multiple linear regression; Gray theory; Elman neural network

厦门大学博硕士论文摘要库

## 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 课题研究背景及意义 .....	1
1.1.1 课题研究背景 .....	1
1.1.2 负荷预测的意义 .....	2
1.2 国内外研究现状 .....	3
1.3 本文主要工作 .....	7
1.4 论文的组织结构 .....	8
第 2 章 电力负荷的特性及预测分析 .....	10
2.1 电力负荷的特性分析 .....	10
2.1.1 负荷特性指标 .....	10
2.1.2 负荷特性指标的实际意义 .....	12
2.2 电力负荷预测分类 .....	14
2.3 影响因子分析 .....	15
2.4 电力负荷预测的误差处理 .....	16
2.5 本章小结 .....	18
第 3 章 电力负荷线性回归预测模型 .....	19
3.1 多元线性回归模型 .....	19
3.2 多元线性回归模型的检验 .....	20
3.3 多元线性回归模型在电力负荷预测中的应用 .....	21
3.4 本章小结 .....	24
第 4 章 电力负荷灰色预测模型 .....	26
4.1 灰色预测理论概述 .....	26
4.2 灰色预测 GM(1, 1) 模型 .....	28
4.3 GM(1, 1) 模型的检验 .....	31
4.4 GM(1, 1) 模型在电力负荷预测中的应用 .....	32
4.5 本章小结 .....	35
第 5 章 电力负荷 Elman 神经网络预测模型 .....	36
5.1 人工神经网络 .....	36
5.1.1 人工神经网络简介 .....	36
5.1.2 人工神经网络模型基础 .....	38
5.2 Elman 神经网络模型 .....	40



5.2.1 Elman 神经网络的结构和模型 .....	40
5.2.2 Elman 神经网络算法 .....	42
<b>5.3 Elman 神经网络在电力负荷预测中的应用 .....</b>	<b>43</b>
5.3.1 Elman 神经网络负荷预测模型分析 .....	43
5.3.2 Elman 神经网络预测模型应用 .....	45
<b>5.4 本章小结 .....</b>	<b>49</b>
<b>第 6 章 中长期电力负荷组合预测 .....</b>	<b>51</b>
6.1 组合预测的基本概念 .....	51
6.2 组合预测的主要方法 .....	52
6.3 组合预测模型 .....	55
6.4 组合预测模型在电力负荷预测中的应用 .....	57
6.5 模型的比较对比 .....	60
6.6 本章小结 .....	63
<b>第 7 章 总结与展望 .....</b>	<b>65</b>
7.1 总结 .....	65
7.2 展望 .....	66
<b>参考文献 .....</b>	<b>67</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>73</b>

## Contents

<b>Chapter1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Significance .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Research Background .....	1
1.1.2 Load Forecasting Significance .....	2
<b>1.2 Research Status.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Main Work .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Organizational Structure of This Dissertation .....</b>	<b>8</b>
<b>Chapter2 Power Load Characteristics and Predictive Analysis .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Power Load Characterization.....</b>	<b>10</b>
2.1.1 the Indicators of Load Characteristics .....	10
2.1.2 the Significance of Load Characteristics Indicators .....	12
<b>2.2 Power Load Forecasting Classification.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Factor Analysis .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 the Solution of Power Load Forecasting Error .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Summary .....</b>	<b>18</b>
<b>Chapter3 Linear Regression Prediction of Power Load.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Multiple Linear Regression Model.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Testing of Multiple Linear Regression Models .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Multiple Linear Regression Model Using in Power Load Forecasting</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Summary .....</b>	<b>24</b>
<b>Chapter4 Grey Prediction of Power Load .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Grey Prediction Theory Overview .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 GM (1,1) Prediction Model .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 Testing of GM (1,1) Model .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4 GM (1,1) Model Using in Power Load Forecasting .....</b>	<b>32</b>
<b>4.5 Summary .....</b>	<b>35</b>
<b>Chapter5 Elman Neural Network Model of Power Load.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1 Artificial Neural Network .....</b>	<b>36</b>
5.1.1 Introduction of Artificial Neural Network .....	36
5.1.2 Basis of Artificial Neural Network Model.....	38
<b>5.2 Elman Neural Network Model.....</b>	<b>40</b>

5.2.1 the Structure And Model of Elman Neural Network .....	40
5.2.2 the Algorithm of Elman Neural Network .....	42
<b>5.3 Elman Neural Network Using in Power Load Forecasting.....</b>	<b>43</b>
5.3.1 Elman Neural Network Prediction Model Analysis .....	43
5.3.2 the Applications of Elman Neural Network .....	45
<b>5.4 Summary .....</b>	<b>49</b>
<b>Chapter6 Combination Forecasting of mid-long Power Load.....</b>	<b>51</b>
<b>6.1 Basic Concept of Combination Forecasting .....</b>	<b>51</b>
<b>6.2 the Main Method of Combination Forecasting .....</b>	<b>52</b>
<b>6.3 Combination Forecasting Model .....</b>	<b>55</b>
<b>6.4 Combination Forecasting Model Using in Power Load Forecasting....</b>	<b>57</b>
<b>6.5 Comparison Between Models.....</b>	<b>60</b>
<b>6.6 Summary .....</b>	<b>63</b>
<b>Chapter7 Conclusions and Outlook .....</b>	<b>65</b>
<b>7.1 Conclusions .....</b>	<b>65</b>
<b>7.2 Outlook.....</b>	<b>66</b>
<b>References .....</b>	<b>67</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>73</b>

## 第1章 绪论

### 1.1 课题研究背景及意义

#### 1.1.1 课题研究背景

随着中国经济的快速发展，电力作为其重要的支撑，需求量与日俱增，新时期的电力需求和结构情况让电力供应以及电网的发展面临新的挑战。从长远来看，电网的正常发展，需要合理的规划和调度，为供电企业的基建、供电等各项重要计划打下基础。电力负荷预测作为电源和电网建设、能源控制和电力行业规划的重要依据，其地位一直非常重要。新世纪以来，为了打破电力垄断局面，中国电力逐渐迈向市场化并不断深入中。所以在这改革新时期，对负荷预测的要求，在保证可靠性基础上，还要追求准确性、实时性。而想要得到电力负荷尽可能正确的预测量，需要更加详细缜密的调查分析以及合理准确的预测方法。因此，新时期的电力负荷预测，意义更加重大，影响更加广泛和深远。在我国电力事业高速发展的今天，电力供应以及电网建设和规划等许多研究领域都与电力系统负荷预测息息相关。由上种种因素，电力负荷预测成为了新时期电力发展不可避免的重要难题。所以，从研究理论的角度，在一定的预测理论和方法的指导下，通过采集相关的数据资料进行分析，建立科学合理的预测模型并竭力提高负荷预测的精度已经成为电力系统不容忽视的研究课题之一<sup>[1]</sup>。

目前国内外对电力负荷短期预测研究的较多，对中长期预测相对研究较少；另外，传统的电力负荷中长期预测一般是基于单一的经济预测方法，比如各种比例预测法和外延预测法，单一的经济变量预测法不但受限多，解释性也不强，更不能模拟现在复杂多变的电力负荷环境。针对这些问题，本课题以新疆地区

电力负荷预测为例，分析该地区的负荷特点，研究相应的预测方法，提出分阶段的组合预测方法进行预测，对预测方法扬长避短，训练一个更符合负荷变动规律的预测模型。

### 1.1.2 负荷预测的意义

电力负荷预测没有明确的具体概念，可以概括为理论和具体的负荷情况相结合的数据分析，即以电力系统的相应数据作为研究的基础，应用一定的数学模型进行分析，从数学的角度和预测学的角度对研究对象未来的变化情况进行一定的推断。

负荷预测的意义主要有以下几方面：

(1) 负荷预测可以是制定发电计划的依据。不同的需求可以划分为不同类的负荷，且各种负荷的特点各不相同，怎样最大程度地满足这些负荷的需求，而又可以实现电力系统供能的经济、可靠性，关键在负荷预测的准确性。电能的一个重要的特性就是不可储存性。这就从客观上要求达到发电量必须与需求量，即系统的电力负荷，之间的一种动态平衡。这样的关系的正常与否，一方面会直接影响所供电力的质量，另一方面可能会造成整个电力系统的动荡。如果能早一步了解负荷的变化情况，不但电能供应满足要求了，还能让电力系统的维护得到更好的协调，实现了经济运行。

(2) 负荷预测可以为电网的增容、布局建设和投资等提供依据。一般的，电网的各种建设、增容都需要提前规划和设计。规划没做好，就很可能造成费用和人力的浪费，无法正确把握总的电力系统发展过程，造成相继的项目的滞后甚至夭折，电网结构的不安全。而规划的前提就是做到准确的预测。无论是预测过量还是预测缺失，都对增容、建设和投资产生明显影响。

(3) 负荷预测水平是电力企业深入改革的助力。从发展的角度看,我国正在逐步实现电力市场化。通过市场化改革,可以达到以更低成本得到更多的利润。电力负荷预测对于电力市场改革的决策占据重要的地位。

根据负荷的不同特点得到不同的负荷预测分类,其预测也有相应的不同意义。

## 1.2 国内外研究现状

1996年之前,全国电力处于供不应求的状况,对负荷的预测重视度不高,准确度也低。但从那之后,当资源不再成为电力发展的限制,电力发展以需求和市场为导向,发展迅速,这时电力负荷预测的地位也越来越高,很多科研机构 and 学者纷纷进行研究,提出了很多的预测方法。

电力数据非常庞大,各个国家和地区的实际情况都不同;而且通过研究也发现,电力负荷预测值受到各方面的影响越来越多,而其中大部分又是带着不确定性;所以电力负荷预测是一个不确定复杂问题。在国外,风电起步较早,发展基本稳定,大部分研究集中在短期负荷方面,只有少数的成果在中长期的负荷预测方面,文献 2~6 是中长期预测的一些应用<sup>[2-6]</sup>。针对我国的国情,电网建设近年稳步进行,正在上升期,所以需要 对 负荷 进行 中 长期 的 研究 分析。

电力负荷预测的方法基本可分为:(1)比例预测技术,主要包括各种单一因素影响下的比例预测等;(2)外延预测技术,主要包括趋势外推法和回归分析法等;(3)现代模型预测技术,包括混沌理论、灰色理论、支持向量机、人工神经网络方法等等。

### (1) 比例预测技术

比例预测技术,是一种经典的经济预测法。比较早期的有单耗法,多用于

短期负荷预测中，前期工作量较大，采集压力大，缺乏对外部条件的考虑；系数增长法是按历史数据的变化比例来预测未来数据；还有弹性系数法，根据单一的 GDP 变量的观测，得到电量的间接预测。这些经典预测方法的共同特点是大多建立在研究对象的变化曲线和数学模型上，处理手段大多是数理统计的方式。这些相类似的特点也带来了相类似的缺陷，即数据多，计算复杂，准确度低等。

### （2）外延预测技术

外延预测技术中用的最广泛的是趋势外推法。趋势外推法通过曲线拟合来建模并预测，在很长一段时间里被很多学者所追捧。这种方法假定负荷的变化基本稳定，仅受当前因素影响，不考虑随机误差，根据历史增长趋势拟合未来的负荷曲线，所以预测数据准确度是比较高的<sup>[63]</sup>。趋势外推法需要较少的以前的数据，只是在负荷波动情况明显时，应用趋势外推法得到的误差会相应增大。常采用的趋势有指数趋势、线性趋势、多项式趋势等等。为得到较好的预测值，不同的情况应选择不同的模型来建立合适的拟合曲线。时间序列方法计算能力较强，可以模拟负荷连续的最近趋势。而在模型建立阶段，就需要直接得到平稳随机序列，要求原始时间序列具有严格平稳性。另外，这种方法属于单一拟合，通常缺乏对其他影响因素的考虑。综上所述，当负荷变化波动大，又存在变化的影响因素时，传统预测方法的准确度就会降低。

### （3）现代模型预测技术

由于负荷预测是推测负荷在将来一个时间范围内的数值，其最根本的依据就是历史的负荷数据，现实因素导致这些数据有可能采集不完整，或者这些数据的影响因素采集不完整。而就预测本身而言，预测的未来事件本身通常就是

一种不肯定事件、随机事件的预测。灰色预测方法正好适合电力负荷的特点，它依据的是由邓聚龙教授创立并发展起来的灰色系统理论，通过以不完整、小样本的信息片段，建立不确定系统。主要通过对那些已知的信息片段进行生成和开发，从中提取对研究有帮助的成分，实现对系统行为的正确认识 and 有效控制<sup>[7]</sup>。在灰色理论基础上，大量灰色系统分析方法得到快速发展并应用在各个领域。比如，灰色关联分析方面有关联矩阵、关联动态矩阵；灰色动态模型方面，发展的有  $GM(1, 1)$ 、 $GM(2, 1)$ 、 $GM(1, N)$  等；灰色预测方法在数列预测、系统协调(结构或控制)预测、灾变预测、季节灾变预测、拓扑预测等方法得到了应用<sup>[7,8]</sup>。

灰色预测模型目前用的较多的主要有两类：

一是  $GM(1, 1)$  预测模型。通过生成的累加数列建立一阶单变量的微分方程模型，可以把重要信息提取出来并指导预测<sup>[7]</sup>。同理，电力负荷预测中，可以借鉴这种模型提取负荷的时间序列预测未来负荷需求量。该模型的优点是所需数据量少，但是精度不高。目前对模型的改进，一种是从模型本身，可以通过改进模型的参数或者对累加序列进行处理以提高预测精度，这方面的主要有灰色优化模型、 $GM(1, 1)$  残差修正模型等<sup>[9-10]</sup>。他们共同特点是根据原始数据序列来构建一个统一的方程预测模型，在这个角度上属于静态模型范畴，当需要作数据量少的长期预测时，这些模型就不适用了；还有的方法通过划分信息属性，通过使灰度白化提高模型的预测精度，这方面主要有等维的灰色模型、新息灰色模型。无偏  $GM(1, 1)$  模型即  $WPGM(1, 1)$  模型，它没有  $GM(1, 1)$  模型本身自带的偏差，所以也解决了原始数据序列增长较大时失效的问题，应用范围较广。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库