

多级负荷预测的基础问题分析

康重庆¹, 赵燃¹, 陈新宇¹, 杨兴宇², 曹欣², 刘梅¹

(1. 清华大学电机系电力系统国家重点实验室, 北京 100084; 2. 河北省电力调度通信中心, 河北 石家庄 050021)

摘要: 围绕多级负荷预测及其协调问题, 首先剖析了多级负荷预测的基础——负荷预测的分类方式, 通过拓展不同的分类角度, 提出了基于雷达图的负荷预测的分类方法, 从而清晰地表征负荷预测的“多级”特性。从供应侧和需求侧的角度分析了相关因素对预测对象的影响途径, 提出了多级负荷预测中不同级别电网对相关因素的处理策略; 研究了多级负荷预测体系下母线负荷预测与系统负荷预测的关系, 提出了“虚拟母线”的概念和应用方法; 最后总结了多级负荷预测的分析思路和研究内容。的研究为建立多级负荷预测理论提供了广阔的空间。

关键词: 电力系统; 多级负荷预测; 雷达图; 相关因素; 母线负荷预测

Fundamental analysis of multilevel load forecasting

KANG Chong-qing¹, ZHAO Ran¹, CHEN Xin-yu¹, YANG Xing-yu², CAO Xin², LIU Mei¹

(1. State Key Lab of Power Systems, Dept of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Hebei Electric Power Dispatching and Communication Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Aiming at the topic of multilevel load forecasting and its coordinating, classification of load forecasting, which is the foundation of multilevel forecasting, is analyzed. By developing different classification dimensions, radar chart is used to classify load forecasting which clearly demonstrates “multilevel” characteristic of load forecasting. By analyzing the effect of related factors from both supply side and demand side, the strategies of dealing with the related factors by different power grid level are proposed consequently. By studying relations between bus load forecasting and system-level load forecasting under the framework of multilevel load forecasting, the concept of virtual bus as well as its applications are proposed. The research topics of multilevel load forecasting are concluded in this paper. All findings provide broad prospects for establishing the theory of multilevel load forecasting.

This work is supported by Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education(No.200800030039) and Program for New Century Excellent Talents in University (NCET-07-0484).

Key words: power system; multilevel load forecasting; radar chart; related factors; bus load forecasting

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)09-0001-07

0 引言

电力系统负荷预测是电力系统规划与运行中的基础性工作^[1,2], 一直受到国内外学者的关注, 理论研究的成果层出不穷^[3,4]。

负荷预测中常常存在多个预测结果之间的不均衡、不协调现象, 例如, 上下级电网的预测结果之间^[5], 空间总量负荷和小区负荷之间^[6,7], 各行业(产业)电力需求与全行业(产业)电力需求的对应关系之间, 年度和月度预测结果之间, 等等, 都

会出现不协调情形。据此, 我们提出了多级负荷预测及其协调问题^[8]。

多级负荷预测, 是指对于同一预测量, 电力系统会在不同时间(周期)、基于不同行政级别、根据不同属性、不同结构等特征, 分别做出预测, 得到各自的预测结果^[8]。多级负荷预测的协调, 是指多级负荷预测的结果之间理应在本质的物理机理上存在关联, 应该满足一定的关系, 而由于不可避免的预测误差的存在, 各级预测结果之间并不能自然地达到一致, 必须经过一定的调整才能使其在数值上保持统一和协调^[8]。

本文的目的是探讨多级负荷预测中的一些基本问题和研究思路, 旨在为电力部门提供一套行之

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(No. 200800030039); 新世纪优秀人才支持计划资助(NCET-07-0484)

有效的分析工具,进行多级负荷预测结果之间的协调,同时可以有效地提高负荷预测精度,更好地指导电力系统的规划和运行。希望电力系统中多级负荷预测的协调问题及其分析方法成为负荷预测理论的重要组成部分。

1 多级负荷预测的基础: 负荷预测的分类方式

多级负荷预测的协调问题是基于负荷预测自身的分类方式的,因此,这里先对负荷预测的分类方式做一些深入的分析。

1.1 负荷预测分类方式的拓展与完善

一般的分类过程,主要是根据预测期限、预测量的属性进行的。实际上,在通常的分类中,人们经常并列地提到长期负荷预测、母线负荷预测^[9,10]、日负荷曲线预测、空间负荷预测^[6,7]等概念。如果继续深入分析,可以发现,这种“并列”的提法是不确切的。那么,何种的分类方式才是完善的呢?

总结目前所见到的预测视角,我们认为,负荷预测可分别按照如下角度进行划分^[2,11]:

1) 时间角度

从时间角度分,可以包括:年/季/月/周/日/时分。这里,分类是以预测的循环周期为依据的,例如,年度预测,是指一般每年进行一次。因此,年度电量预测、年负荷曲线预测等均属于年度预测。当然,有时候会根据最新变化的情况进行“滚动预测”,但这并不影响此类周期的预测的实质。

2) 空间角度

从空间角度分,可以包括:整体/分区/节点/用户。经常提到的空间负荷预测、变电站负荷预测都是此类视角的具体体现。

3) 指标属性

从指标属性角度分,可以包括:整刻度值/统计值/连续曲线/积分值。其中,整刻度值主要是功率的采样值,如果是96点采样,则对应于每15 min一个点;统计值可以是某个周期内的最大、平均、最小负荷等;连续曲线对于不同期限有不同的含义,例如年度预测中的年负荷曲线、日负荷预测中的日负荷曲线等;积分值主要是电量值,各类电量都只有累积数值,而没有整刻度数值或某个周期内的最大最小值。

4) 行政级别

从行政级别角度分,可以包括:国家/区域/省级/地级/县级。目前阶段最常见的是网、省、地级别的预测问题。

5) 口径角度

从口径角度分,可以包括:全体/电网企业。其

中,电网企业统计的是该电网企业范围内的负荷或电量,例如省级电网企业关心省网统调负荷,地级电网企业关心的是网供负荷等;而这里的“全体”主要是指不区分电网企业内部、外部的总体统计指标,例如全社会用电量、全口径发电量等,显然,该数值不同于电网企业营业范围内的数值。

6) 环节角度

从生产环节角度分,可以包括:发电/供电/售电/用电。其中,发电角度的数值包含了厂用电和线损;供电角度的数值扣除了厂用电;售电角度的数值一般是站在电网企业的经营角度来统计的。

7) 结构角度

从结构角度分,可以包括:总量/分类。这里的分类对于不同结构划分有不同的含义。例如,如果将“总量”对应为全社会用电量,则可将其划分为一、二、三产业和城乡居民生活用电,也可以划分为各行业电量,这些都是“分类”数值。对于电网企业而言,如果将“总量”对应为售电量,则可将其划分为不同电价类别的售电量,常见的包括大工业售电量、非普工业售电量、农业售电量、非居民售电量、居民售电量、商业售电量、趸售电量等。

1.2 图形化的负荷预测分类方法

总结如上的方式,负荷预测的各种分类构成了一个7维空间,任何类型的预测问题都是这个7维空间中的一个点(对应7个维度属性的组合)。例如,“年-整体-积分值-省级-全体-用电-分类”这个点(即这7个属性的组合),则意味着对某个省级电网的年度某产业(行业)用电量进行预测;而“日-整体-连续曲线-省级-电网企业-发电-总量”这个点(即这7个属性的组合),则正是通常所提到的省级电网日负荷曲线预测(统调发电口径)。当然,在这个空间也可以找到我们通常所提到的周负荷预测、母线(节点)负荷预测、空间负荷预测等。同时需要指出,有些组合是没有意义的。

为了完整地描述负荷预测的分类,这里利用一种典型的多维图——雷达图(Radar Chart)来表示各种预测内容及其分类。

雷达图实质上是一种数据表征和分析的技术,在用于表征负荷预测的分类时,首先确定一个中心点,然后根据上述7个维度的分类依据,将中心点周围360°作7等分,每个等分位置划一条线段,构成7个坐标轴,每个轴对应1个维度的分类方式。在每一坐标轴上,根据该分类的属性数目的多少,进行等分。由此,对于每一个完整的7维分类,分别将7个取值画到相应坐标轴的某个对应位置,各个坐标轴上的点依次连接起来,就构成了这个分类

的雷达图。负荷预测分类的雷达图如图 1 所示。

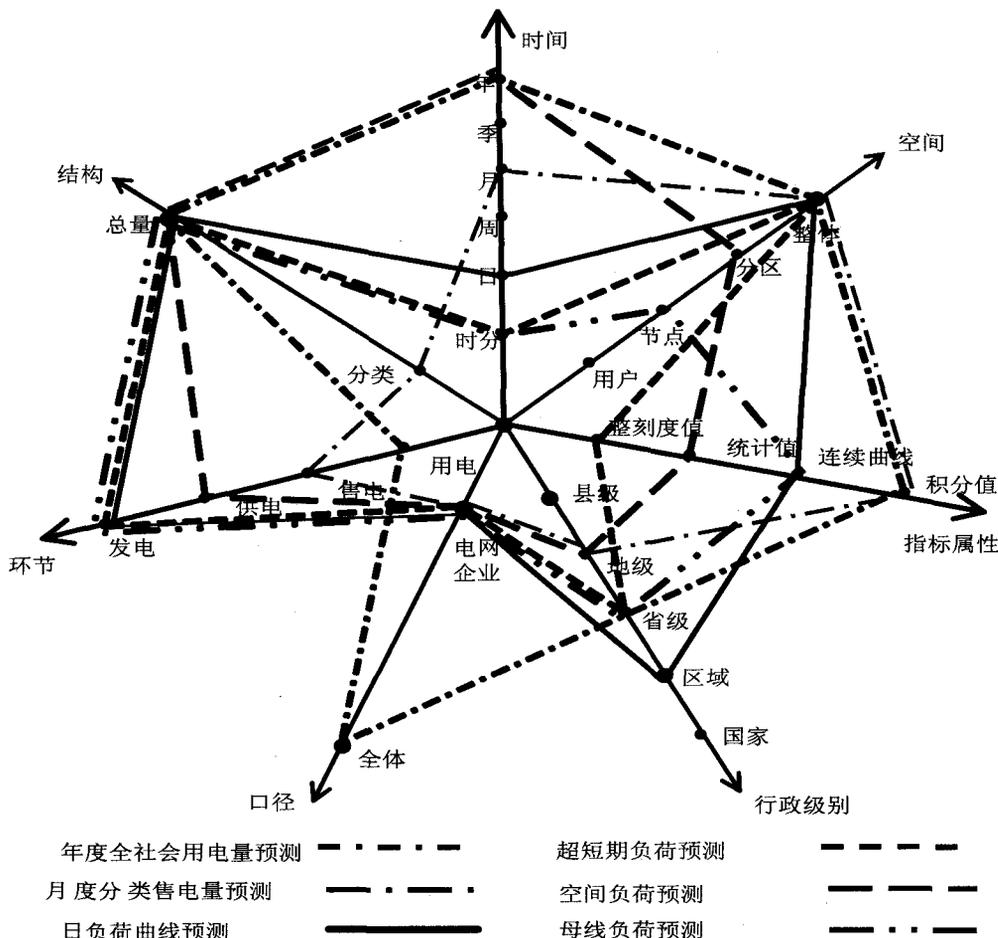


图 1 基于雷达图的负荷预测分类方法

Fig.1 Classification of load Forecasting by radar chart

图 1 中标出了一些常见的负荷预测类型，它们与属性的对应关系如表 1 所示。类似地对各个属性进行其他方式的组合，就可以得到负荷预测的各个类别。

表 1 常见的负荷预测类型及其与特征属性的对应关系

Tab.1 Typical types of load forecasting and its features

类别	时间期限	空间	指标属性	行政级别	口径	环节	结构
年度全社会用电量预测	年	整体	积分值	均可	全体	用电	总量
月度分类售电量预测	月	整体	统计值	均可	电网企业	售电	分类 (按照电价类别划分)
日负荷曲线预测	日	整体	连续曲线	均可	电网企业	发电	总量
超短期负荷曲线	时分	整体	整刻度值	均可	电网企业	发电	总量
空间负荷预测	年	分区	统计值/积分值	地市	电网企业	供电	总量
母线负荷预测	时分	节点	连续曲线	均可	电网企业	供电	总量

2 多级负荷预测中相关因素的影响分析

在负荷预测中考虑气象等相关因素，已经成为人们的共识，已有大量的文献提出了许多方法，设

法在负荷预测中体现气象等相关因素的影响。然而，现有文献所提出的各类方法中，一般均假设可以用一组气象数据（包括天气类型、温度、湿度、风速、等）来描述所预测电网的气象特征，进而展开各种

分析。实际上，对于我国而言，这种处理方式在一个较小的地理范围内（地级市或以下）可以应用，而在大电网（省级或以上）中一般不能直接使用，因为不同地市的气象条件可能有较大差别，无法统一描述。这就引出了多级负荷预测中不同级别电网对气象等相关因素的处理方式问题。为此，首先要从供应侧和需求侧角度分析相关因素对预测对象的影响。

2.1 相关因素对供应侧和需求侧的影响

根据我国现行的调度体制，网省电网需要预测的是“统调负荷”，实际上就是需要由网省电网调度部门统一调度来满足的负荷；而地市电力部门作为省级电网的下级单位，需要预测“网供负荷”并上报给省级电网。虽然人们认为相关因素会影响电力负荷，但是，从机理上分析，相关因素并不是直接影响“统调负荷”或“网供负荷”，而是首先对总用电负荷和非统调负荷产生影响，而后由“总用电负荷=网供/统调负荷+非统调负荷”这样的关系式，对“统调负荷”或“网供负荷”产生作用。这个过程可表示为图 2。

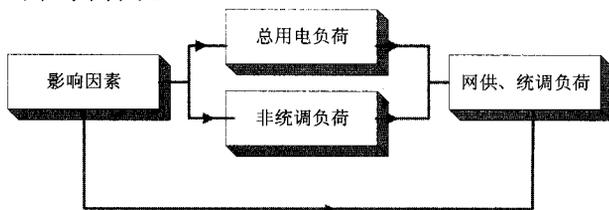


图 2 相关因素对电力负荷的影响途径

Fig.2 Effects of related factors on power load

那么，相关因素究竟如何对总用电负荷和非统调负荷产生影响呢？这需要分别从供应侧和需求侧角度分析相关因素的影响，可大致表示为图 3。

从图 3 中可以看出：

1)从需求侧来看，负荷波动的原因主要有：气象因素造成的负荷变化（冬季采暖负荷、夏季降温负荷最为突出）；大用户用电的非计划性造成负荷的变化；等等。此时，相关因素直接影响了总用电负荷中的某些部分，从而将间接地由“总用电负荷=网供/统调负荷+非统调负荷”这样的关系式，对“统调负荷”或“网供负荷”产生影响。

2)从供应侧来看，小水电、小火电、自备电厂等类型发电资源对电网造成的影响较大。例如，小电厂非计划性开停机或发电上网的随意性，直接导致“统调负荷”或“网供负荷”的大幅度波动；又如，地方小水电靠天吃饭，有了降雨，就可以发电上网，没有来水就不发电。此时，天气突然变化而

产生的降雨量直接影响了小水电的发电出力，从而将间接地由“总用电负荷=网供/统调负荷+非统调负荷”这样的关系式，对“统调负荷”或“网供负荷”产生影响。

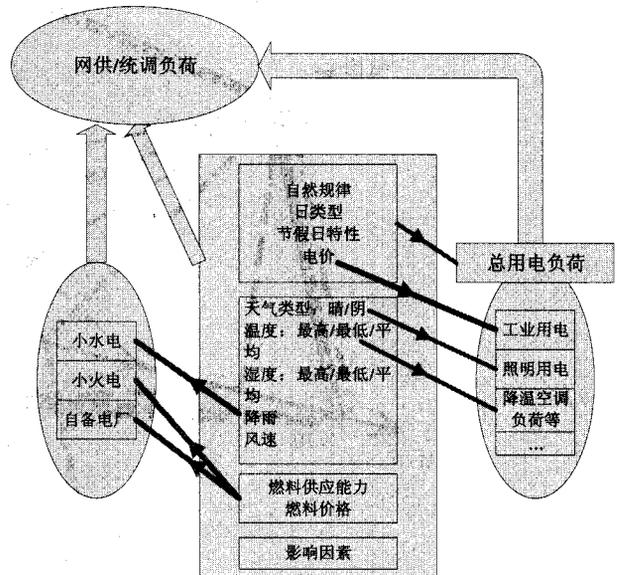


图 3 相关因素对供应侧和需求侧的影响

Fig.3 Effects of related factors on both supply side and demand side

通过图 3 的电力系统供需平衡分析，我们可以设计关于相关因素处理的两大类处理方式：

1)隐性考虑影响因素的方式：

这种处理方案的思路是，直接建立网供/统调负荷关于影响因素的相关关系，进行分析。

2)显性考虑影响因素的方式：

这种处理方案的思路是，首先分别建立总用电负荷关于影响因素的相关关系；其次建立非统调负荷关于影响因素的相关关系；然后，按照“总用电负荷=网供/统调负荷+非统调负荷”的关系式，分析网供/统调负荷的变化规律。

2.2 不同级别电网对相关因素的处理策略

根据以上分析，我们认为，网省电网和地市电网处理相关因素及其他因素的策略将有所区别。

可以将网省电网和地市电网在负荷预测方面的特点对比如表 2。

市电网在负荷预测中应重点分析如下特点：

1) 地区电力系统通常是一个容量较小、波动较大的电力系统，有上级电网和地区内小电厂这样的两类电源供电，满足“总用电负荷=网供负荷+地区内发电负荷”这样的关系式，运行调度人员所关

心的是网供负荷的大小;

表2 负荷预测中不同规模电网的特点对比

Tab.2 Comparisons of the characteristics of different power systems in load forecasting

比较角度	网/省	地市
负荷规模	大	中/小
可预测的规律性	中/强	弱/中
气象等因素的影响程度	不定, 需综合考虑, 下属各地市可能差别较大	气象影响突出, 特别是小水电较多的地区
负荷特征曲线稳定度	强	弱/中
大用户用电的影响度	弱/中	大用户影响突出, 特别是钢铁等冲击负荷

2) 该系统中一般有若干个负荷容量相对较大的大用户, 其用电行为极大地影响总负荷;

3) 多变的气象条件对小水电的发电行为影响很大, 从而影响网供负荷; 在雨量不足时, 地方小水电发电不足, 主要依靠上级电网供电; 而雨量充沛时, 地方小水电发电大增, 甚至会出现网供负荷为负的情况, 这是因为地方小水电发电出力已经高于地区总用电负荷, 造成地方小水电发电出力倒送到上级电网的情况出现。

4) 以上特点对地市负荷预测提出了特殊的要求, 必须建立针对性强的负荷预测方法, 特别是妥善处理小水电等因素对地方负荷的影响。

网省电网在负荷预测中应重点分析如下特点:

1) 根据负荷的构成规律, 可以考虑两类途径, 一类途径是网省电力部门直接根据自身的负荷规律进行预测, 另一类途径是网省电力部门直接汇总下级电网的预测结果, 并且在适当考虑负荷同时率的情况下进行修正, 形成多级负荷预测的体系。

2) 网省电力部门如果考虑气象因素, 则必须注意气象因素的获取方式。因为天气预报一般是针对地市范围而做出的, 没有直接针对网省的天气预报, 因此, 可以考虑以下级电网的最高负荷或日电量作为权重, 对下级电网对应地区的气象因素进行加权平均, 然后再按照各类气象因素的处理策略进行分析和预测。

3 多级预测体系下的母线负荷预测

3.1 母线负荷预测与系统负荷预测

精确的母线负荷预测是合理安排生产调度计划、进行日前安全校核的前提和保障, 提高母线负荷预测精度是实现调度精细化管理的前提。

由于母线负荷预测具有量大面广的特点, 使得

母线负荷预测更具有多级预测的特性。这从常见的“分布因子法”中可见一斑。使用“分布因子法”进行母线负荷预测的思路是: 首先由系统负荷预测取得某一时刻系统负荷值, 然后将其分配到每一母线上。具体步骤为:

(1) 确定母线负荷预测用的分配模型;

(2) 确定或维护负荷分配模型参数;

(3) 对指定的时间和系统负荷(预测值)计算各母线负荷。

常用的负荷预测分配模型有:

(1) 树状常数负荷模型

将上一级负荷按比例(在各时段为常数)分配到下一级负荷。

(2) 考虑负荷区域不一致性的模型

在这一模型中, 最高层为系统负荷, 第2层为区域负荷, 第3层为母线负荷。在系统负荷到区域负荷之间采用随时间变化的分配系数, 在区域负荷到母线负荷之间仍可以采用常数型的分配系数。

(3) 考虑负荷类型不一致的模型

在这一模型中, 最高层为系统负荷, 第2层为类型负荷, 第3层为母线负荷。在系统负荷到类型负荷之间采用随时间变化的分配系数, 在类型负荷到母线负荷之间仍可以采用常数型的分配系数。

(4) 混合负荷模型

在这一负荷树中, 第1层为系统负荷, 第2层是负荷类型, 第3层是地域划分, 第4层是母线负荷。在系统负荷到类型负荷之间采用随时间变化的分配系数。在类型负荷到区域负荷之间采用随时间变化的分配系数, 也可以采用常数。在区域负荷到母线负荷之间一般采用常数分配系数。

这里所采用的“分配”方式, 正是多级负荷预测中多级之间“加和性”的体现。

3.2 虚拟母线的概念及其应用

在节点负荷作为电网中的基本负荷及预测单元的同时, 本文提出“虚拟母线”的概念, 进一步实现区域化的负荷分组及局部区域负荷预测。

节点负荷可以作为最基本的负荷单元, 某一个具有独立负荷特性的局部区域必然由多个节点负荷组成。所以可以通过将若干节点负荷组合的方式来构建局部区域历史负荷样本, 并以此为数据基础, 在对局部区域负荷进行规律性分析、相关性分析的基础上进行预测计算。

进一步, 受电力系统安全运行约束的影响, 在电网中存在一些局部区域, 这些局部区域内各变电站虽然属于不同的行政区域, 但是具有相近的负荷特性, 在电网安全分析过程中, 它们可以被视为一

种扩大的广域母线组进行负荷预测，这就是“虚拟母线”。

利用“虚拟母线”对局部区域进行精确的负荷预测的意义在于：

(1)对虚拟节点的深入数据分析与预测，能够为调度计划及规划部门提供变电站和小地区的精细化的负荷预测结果；

(2)为调度方式安排和运行值班人员快速判断电网安全约束情况提供直观明了的数据；

(3)用于参考区域负荷特征的调度辅助决策支持；

(4)可以根据区域负荷平衡关系校正节点负荷预测结果，即，利用“虚拟母线”的负荷平衡机制，对其成员节点进行负荷预测结果的平衡补偿修正。

以如图 4 所示的河北南网局部地区为例。

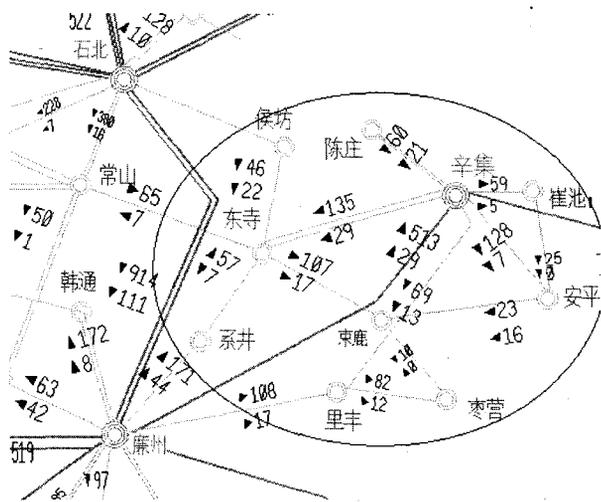


图 4 虚拟母线的图示

Fig.4 Demonstration of virtual bus

根据电网安全分析结果，受石家庄地区东寺、侯坊、陈庄、系井、束鹿、里丰、枣营，衡水地区崔池、安平等 220 kV 变电站农业灌溉负荷所占比较大的影响，春、夏季农业灌溉负荷高峰期，500 kV 廉州、辛集站主变潮流较重，N-1 方式下存在过负荷问题。

为了准确对石家庄东部地区各变电站的 96 点负荷进行预测，满足 EMS 系统进行安全校核的需求，需要打破行政区划，将以上各站母线负荷预测结果进行总加，以便快速准确地对电网安全分析结果进行预判，提高次日电网方式和发电计划安排的效率。实际应用证明，这种方式是有效的。

4 多级负荷预测的研究思路和内容

分析多级负荷预测问题，本文对多级负荷预测

的研究思路和研究内容进一步归纳如下：

(1) 协调算法的研究：参数估计^[11]是多级负荷预测协调方法的理论基础，必须在数学上研究冗余方程及其解决方法。

(2) 基本协调模式：研究负荷预测中一维两级协调，即基本协调模式，该模式只考虑时间、空间等中的一个维度的相邻两级负荷预测的协调，如年电量预测与月电量预测的协调，省级预测与地市预测的协调等。

(3) 关联协调模式：由于多级协调过程中存在较强的关联特性，多维协调方法比一维协调的数学模型更复杂，需要考虑更多的约束条件，其求解难度也更大，必须运用合理的数学方法分析问题，进而找到有效的求解方法。关联协调模式包括了除基本协调模式以外的所有协调模式，在基本协调模式的基础上，研究空间、时间、属性等多级负荷预测的协调问题。

(4) 预测可信度的判定方法及其应用：对于多级负荷预测协调问题，无论是基本协调模型还是关联协调模型，都涉及一个重要的物理量——预测可信度。需要研究以何种形式建立预测可信度，以及可信度在多级协调和精度评估中的应用方式。

(5) 负荷类指标的协调方法：负荷预测总体上可以分为电量预测和负荷预测。对于负荷类需求数据，它具有非常强烈的时间特性，不能简单将子需求直接求和得到总需求，必须考虑负荷发生的时间特性。因此，需要对负荷类指标的多级协调问题开展专门研究。

(6) 系统负荷预测与母线负荷预测的协调技术：系统负荷预测与母线负荷预测可以看作不同的级别，当分别对这两类对象独立地做出预测时，很可能出现两者之间存在明显的差异。母线负荷预测中常见的负荷分布因子法，实际上是完全承认了系统负荷预测的准确性，忽略各母线预测的准确性差异，通过按比例分配上级预测值来调整下级各母线的预测结果。然而，任何负荷预测模型都是对实际负荷变化规律的近似，预测结果难免会有误差。对于不同的预测对象（时间、空间、属性等的不同），由于负荷自身变化规律的不同，预测误差也不同，必须深入研究如何尽量充分利用和挖掘高预测精度母线的预测结果，因此在系统负荷预测与所有母线负荷预测结果之间进行协调，最终达到上下级负荷平衡、整体误差最小的目标。

(7) 预测精度判定与评估方法：此评价体系的建立，将一改以往单一精度要求的预测精度判定与评估准则，为负荷预测效果的考核提供有效的判

据。

(8) 通过多级负荷预测提高整体预测精度的策略。多级负荷预测应在满足多级之间协调的基础上, 提高整体预测精度, 并提供精度考核的依据。

5 结语

多级负荷预测及其协调问题是负荷预测领域的一个新的科学问题。本文的研究包括:

1) 负荷预测的分类方式是多级负荷预测的基础, 本文通过拓展不同的分类角度, 提出了基于雷达图的负荷预测的分类方法, 从而清晰地表征负荷预测的“多级”特性。

2) 本文从供应侧和需求侧角度分析了相关因素对预测对象的影响途径, 提出了多级负荷预测中不同级别电网对相关因素的处理策略。

3) 研究了多级负荷预测体系下母线负荷预测与系统负荷预测的关系, 提出了“虚拟母线”的概念和应用方法。

4) 本文总结了多级负荷预测的分析思路和研究内容, 指出了未来的研究方向。

本文的研究为建立多级负荷预测理论提供了广阔的空间。应该指出, 本文工作还属于探索性研究, 设想尚比较粗略, 希望全国电力系统负荷预测人员能够共同探讨这个问题, 本文可为广大预测人员提供一些参考。

参考文献

- [1] 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, 1998.
NIU Dong-xiao, CAO Shu-hua, ZHAO Lei, et al. Power Load Forecasting Technology and Its Application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [2] 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.
KANG Chong-qing, XIA Qing, LIU Mei. Power System Load Forecasting[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [3] Kandil M S, El-Debeiky S M, Hasanien N E. Overview and Comparison of Long-term Forecasting Techniques for a Fast Developing Utility: Part I[J]. Electric Power Systems Research, 2001,58(1):11-17.
- [4] Hesham K H. Nazeeruddin, Mohammad. Electric Load Forecasting: Literature Survey and Classification of Methods[J]. International Journal of Systems Science, 2002,33(1):23-34.
- [5] 康重庆, 杨高峰, 夏清. 电力需求的不确定性分析[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(17): 14-19,39.
KANG Chong-qing, YANG Gao-feng, XIA Qing. Analysis on the Uncertainty of Electrical Demand[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(17): 14-19,39.
- [6] 王成山, 肖峻, 罗凤章. 多层分区空间负荷预测结果综合调整的区间方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(12): 12-17.
WANG Cheng-shan, XIAO Jun, LUO Feng-zhang. Interval-based Multi-layer Decomposed Calibration Method for Spatial Load Forecasting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12): 12-17.
- [7] Willis H L, Engel M V, Buri M J. Spatial Load Forecasting[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1995, 8(2): 40-43.
- [8] 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, 2008,32(7):34-38.
KANG Chong-qing, MU Tao, XIA Qing. Power System Multilevel Load Forecasting and Coordinating, Part One, Research Framework[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(7):34-38.
- [9] Handschin E, Dornemann C. Bus Load Modelling and Forecasting[J]. IEEE Trans on Power Systems,1988,3(2): 627-633.
- [10] Kassaei H R, Keyhani A, Woung T, et al. A Hybrid Fuzzy, Neural Network Bus Load Modeling and Predication[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(2): 718-724.
- [11] 孙洪波. 电力网络规划[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.
SUN Hong-bo. Power Grid Planning[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1996
- [12] 于尔铿. 电力系统状态估计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
YU Er-keng. Power System State Estimation[M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1985.

收稿日期: 2008-02-05

作者简介:

康重庆(1969-), 男, 教授, 研究方向为负荷预测、电力规划、电力经济与信息技术、低碳电力技术等。E-mail: jxiujie@ctgu.edu.cn