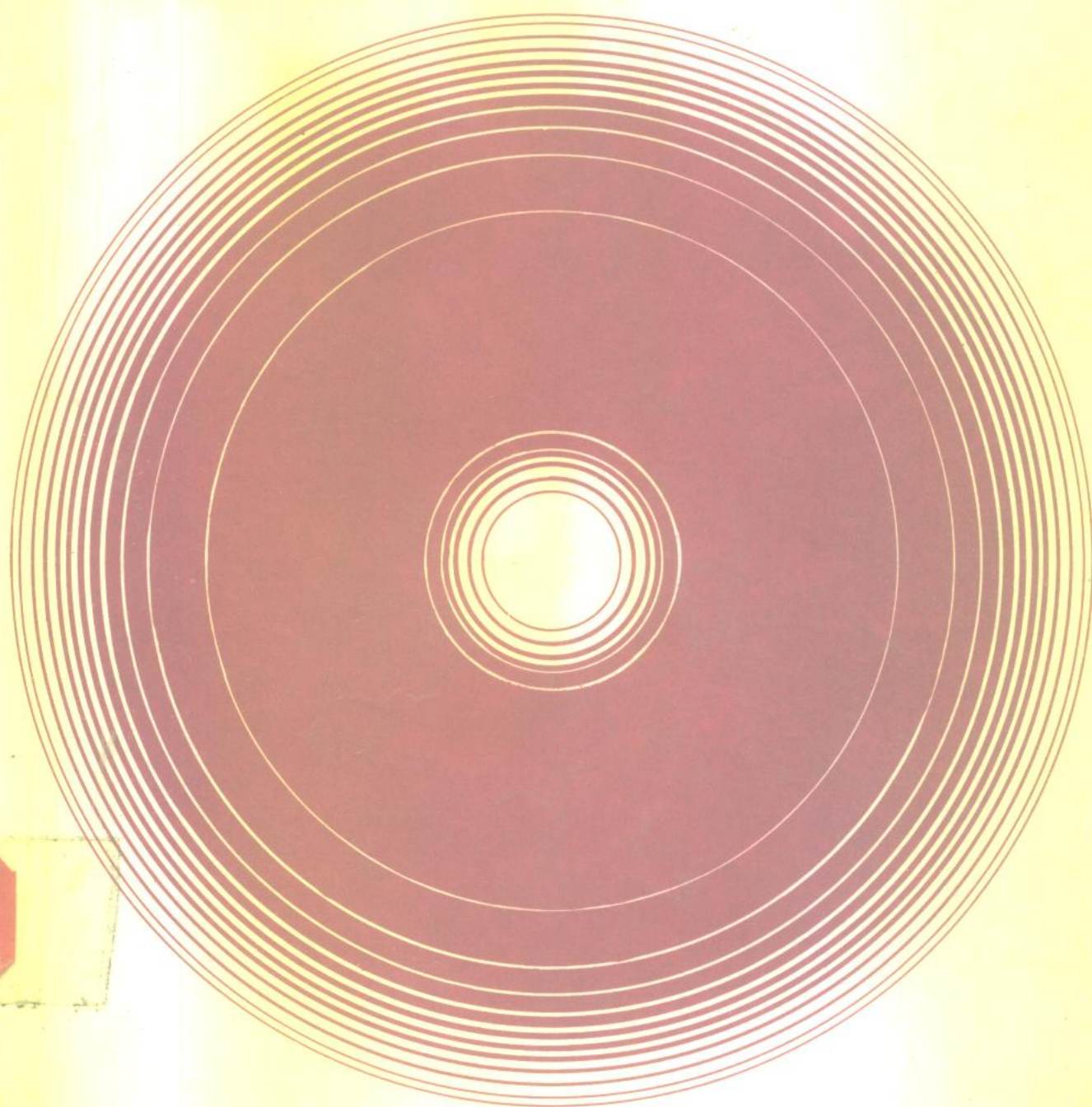


电力系统负荷预报理论与方法

刘晨晖 著



电力系统负荷预报理论与方法

刘晨晖 著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

电力系统短期和中期负荷预报,是保证电力系统安全运行,实现科学管理与调度以及进行合理规划所必需的重要内容。它是现代电力系统科学的一个重要研究领域。

本书是我国第一部系统论述这个问题的专著。作者刘晨晖教授,是瑞典皇家工学院加冕技术科学博士。本书是在他为瑞典皇家工学院及瑞典国家动力部所提供的一份研究报告的基础上写成的。

本书共分8章 详细介绍了电力系统短期与中期负荷预报的理论基础与实际方法。内容丰富,论证严密。8章的内容分别为:1.负荷预报的意义,内容与方法;2.关于模型的一般概念;3.模型的基本特性;4.模型辨识;5.短期负荷离线预报;6.短期负荷在线预报;7.中期负荷预报的若干问题;8.中期负荷预报的解析方法。

本书适用于从事发供电与调度的工程技术人员、从事规划的设计人员、电力领域的科研人员及高等院校有关专业的教师,研究生与本科高年级学生。

电力系统负荷预报理论与方法

刘晨晖 著

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张20.5 字数469 000

1987年12月第1版 1987年12月第1次印刷

印数 1—7 000

书号15341·65 定价5.20元

ISBN 7-5603-0034-0/TM·1

前 言

随着我国电力事业的发展,电网管理日趋现代化。负荷预报问题的研究也越来越引起人们的注意,并已成为现代电力系统科学中一个重要的领域。在实践中,无论是制订电力系统规划或是实现电力系统运行自动化,进行相应的负荷预报都是必不可少的。

对这个问题的研究,一方面比较新,另一方面就其深度来言,已超出大学教科书的水平。所以对于大多数从事电力工程的工程技术人员、设计人员以及攻读学位的研究生们来说,都是比较生疏的。

应当指出的是,国内外目前还没有一本系统地讨论电力系统负荷预报的书。但是,负荷预报的实践与研究早已进行,人们已经提出了多种进行负荷预报的方法,有些方法在某些场合下可能是很适用的,但在另一些场合就未必适用。因此对于各种预报方法的评价,很可能有不同的看法,这是很自然的。

本书不可能介绍目前文献上所报导过的所有方法,只是系统、重点地介绍了一些已经获得公认的行之有效的预报方法与理论。

还应当指出,任何预报方法均不能导致绝对准确的结果,这不但是方法的本身问题,而更重要的是,一些未来的因素常常不能准确地预见或加以有效的估计,这对于较长时期的预报,更为突出。所以即使在电力工业比较发达的国家,较长时期的负荷预报至今也还是一个未能很好解决的问题。

本书是为那些受过高等教育的电力工程技术人员、设计人员以及大学教师和研究生写的,作者相信,本书将有助于他们进入这个电力系统科学与工程的新领域。

本书是在作者,1982年为瑞典皇家工学院能源研究室所提供的一份研究报告的基础上写成的。在写这个报告时,曾受到能源研究室主任J.Bubenko教授的热情支持与指导。作者是在他的引导之下,进入现代电力系统科学领域的。因此,值本书出版之际,我对他表示衷心的感谢。

作者还要深切感谢我的母校——哈尔滨工业大学,不但因为我曾经在这里受过极其良好的教育,而且因为在今天母校又提供了良好的条件使我能奉献自己之所学,聘我在母校任兼职教授和由哈尔滨工业大学出版社出版本书。

刘 晨 晖

1986年10月

目 录

第一章 负荷预报的意义、内容与方法

§ 1-1 引论	(1)
§ 1-2 负荷的分类与特性	(5)
§ 1-3 供电部门看待负荷预报	(7)
§ 1-4 负荷预报的几个原则问题	(9)
§ 1-5 中期负荷预报方法综述	(12)
§ 1-6 应用于短期负荷预报的模型	(15)
§ 1-7 若干基本的数学知识	(20)

第二章 关于模型的一般概念

§ 2-1 引论	(33)
§ 2-2 自回归模型 (AR)	(34)
§ 2-3 时间序列的差分与时间后移算子	(40)
§ 2-4 动平均模型 (MA)	(43)
§ 2-5 自回归动平均模型 (ARMA)	(46)
§ 2-6 累积式自回归动平均模型 (ARIMA)	(49)
§ 2-7 具有周期性的非平稳随机过程的 ARIMA 模型	(54)

第三章 模型的基本特性

§ 3-1 引论	(57)
§ 3-2 对干扰的基本要求	(57)
§ 3-3 残差	(62)
§ 3-4 π 权与 ψ 权	(65)
§ 3-5 平稳性条件与可逆性条件	(69)
§ 3-6 AR 模型	(74)
§ 3-7 差分方程的解	(78)
§ 3-8 Yule-Walker 方程	(80)
§ 3-9 MA 模型	(84)
§ 3-10 偏相关函数	(89)
§ 3-11 ARMA 模型	(95)
§ 3-12 AR 模型与 ARMA 模型之间的等值变换	(100)
§ 3-13 AR模型中的确定干扰	(105)

第四章 模型辨识

§ 4-1 引论	(108)
§ 4-2 AR模型的参数估计	(109)
§ 4-3 ARMA模型的参数估计	(113)

§ 4-4	ARIMA 模型的反应	(117)
§ 4-5	MA 模型的参数估计	(123)
§ 4-6	IMA 模型	(126)
§ 4-7	(p, d, q) 阶数的决定	(129)
§ 4-8	模型参数的初步估计综述	(135)
§ 4-9	模型参数的精确估计	(142)
§ 4-10	模型适用性的检验	(157)
第五章 短期负荷离线预报		
§ 5-1	引论	(161)
§ 5-2	应用条件期望建立预报模型	(162)
§ 5-3	建立预报模型的一般方法	(166)
§ 5-4	用 Π 权表示的预报模型	(169)
§ 5-5	预报值校正	(175)
§ 5-6	IMA 模型用于预报	(176)
§ 5-7	按小时的负荷预报	(183)
§ 5-8	按天的负荷预报	(191)
§ 5-9	考虑两个变量时模型的确定	(195)
§ 5-10	按月的峰值负荷预报	(203)
第六章 电力系统负荷在线预报		
§ 6-1	引论	(211)
§ 6-2	有限阶 AR 模型的辨识	(212)
§ 6-3	模型阶数的确定	(216)
§ 6-4	ARMA 模型的引入	(217)
§ 6-5	适用性检验	(218)
§ 6-6	预报模型	(219)
§ 6-7	实际计算步骤	(220)
第七章 中期负荷预报的若干问题		
§ 7-1	引论	(231)
§ 7-2	线性回归	(232)
§ 7-3	非线性回归	(240)
§ 7-4	指数平滑	(248)
§ 7-5	动平均法	(255)
§ 7-6	最小二乘法	(261)
§ 7-7	峰值负荷预报	(267)
§ 7-8	能量—负荷率法预报峰值负荷	(273)
§ 7-9	多元线性回归月峰值负荷预报	(274)
§ 7-10	峰值负荷与每年用电量的关系	(280)
§ 7-11	利用时间与负荷率	(283)

§ 7-12 峰值负荷与相符系数	(284)
§ 7-13 负荷叠加系数	(286)
§ 7-14 负荷延续曲线与不同负荷延续时间的确定	(288)
§ 7-15 江苏省需电量的实际预测	(292)
第八章 中期负荷预报的解析方法	
§ 8-1 引论	(301)
§ 8-2 气候负荷模型	(301)
§ 8-3 不敏感于气候的预报负荷分量 (NWSF)	(303)
§ 8-4 拟合系数的平均值与方差	(307)
§ 8-5 预报方差	(308)
§ 8-6 敏感于气候的预报负荷分量 (WSF)	(309)
§ 8-7 敏感于气候的峰值负荷的平均值与方差	(311)
§ 8-8 总负荷预报	(315)
§ 8-9 按月的峰值负荷预报	(317)
参考文献	(318)

第一章 负荷预报的意义、内容与方法

§ 1-1 引 论

电力系统的作用应当是对各类用户尽可能经济地提供可靠而合乎标准要求的电能，以随时满足各类用户的要求。用电力系统的术语来说，就是要满足负荷要求。

负荷的大小与特性，无论是对于电力系统设计或是对于运行研究而言，都是极为重要的因素。所以，对负荷的变化与特性，有一个事先的估计，是电力系统发展与运行研究的重要内容。电力系统负荷预报理论就是因此而发展起来的，在现代电力系统工程科学中它已经成为占有重要地位的研究领域，是电力系统自动化总领域中的一项重要内容。

电力系统对未来预计要发生的负荷进行预报的必要性在于：系统内的可用发电容量，在正常运行条件下，应当在任何时候都能满足系统内负荷的要求。假如系统内发电容量不够，则应当采取必要的措施来增加发电容量，如新增发电机组或从邻网输入必要的容量；反之，若发电容量过剩，则也应当采取必要的措施，如有选择地停机（如计划检修）或者向邻网输出多余的功率。因此，未来本电网内负荷变化的趋势与特点，是一个电网调度部门和规划设计部门所必须具有的基本信息之一。

从大的方面来说，电力系统负荷预报可以分为长期的、中期的与短期的。

长期与中期之间没有确切的分界线。一般来说，长期预报可长达30年，而中期预报通常为5~6年，而短期预报则是指几个月、几周、几天、几小时甚至更短。

长期与中期负荷预报的意义就在于：新的发电机组的安装（包括装机容量的大小、型式、地点和时间）与电网的增容和改建，均决定于对未来若干年后的负荷预报。

而短期负荷预报的意义在于：

① 为了能对运行中的发电厂的出力要求提出预告，使得对发电机组出力变化的情况事先得以估计，对于装机容量不大的孤立电网，短期负荷预报是必要的。

② 对于一个大电网，为了经济和合理地安排本网内各发电机组的起动与停机，以使系统在要求的安全范围内，为保持必要的旋转储备容量的耗费为最小，短期负荷预报也是必须的。

③ 当电网进行计算机在线控制时，应当用短期负荷预报的信息来实现发电容量的合理调度，满足给定的运行要求，同时使发电成本为最小。

由于几十年以后的长期负荷预报牵涉面相当广，因为它牵涉国民经济计划制定与实际发展的各个方面，常常不是一个电力系统本身所能完成的，所以本书主要侧重讨论电力系统本身可以完成的中期与短期负荷预报。

对于未来几年以后可能出现的负荷进行预报，总是电力系统增容规划首先的出发点。所谓负荷预报包括两方面的含义：即对未来需求量（功率）的预报和对未来用电量

（能量）的预报。

对未来需求功率的预报，用来决定发电设备的容量，以及相应的输电与配电的容量，而对未来用电量的预报则决定了应当安装何种类型的发电容量。

例如，对于某电网未来需求量的预报表明需要 100MW 的容量，而相应的每年用电量的预报表明，只需要200000MWh 的电量。根据这两种预报，可以肯定，这100MW 的发电容量，决不能都是基本负荷发电容量，其中应有一部分属于调峰的容量，而这两者之间在投资上是有很大大差异的。

可见，负荷预报不但是电力系统本身增容规划所必不可少的，同时，也是为筹措建设资金和正确购置设备所必须具有的信息。除此以外，对于确定未来燃料（或其他能源）的需求量而言，用电量的预报也是极为重要的因素。

总之，一个能经受考验的、反映未来与现在需求变化与发展趋势的、恰如其份的预报，是电力系统规划的核心问题之一；而这个问题与建设投资紧密相关，它牵涉到投资是否正确，以及是否能及时地收回投资，并获得更大的经济效益。

我们经常遇到“负荷”、“需求量”、“用电量”以及“预报”等名词，因此，有必要把这些名词讲清楚。

负荷是一个通用的一般名词，它或者指需求量或者指用电量；而需求量是指能量的时间变化率，即功率。负荷预报则是指，在充分考虑一些重要的系统运行特性、增容决策与自然条件的情况下，利用一套系统地处理过去与未来负荷的方法，在一定精度意义上，决定未来某特定时刻或某些特定时刻的负荷值。

对于任何供电部门来说，准确的负荷预报总是至关重要的，因为这决定了系统中大部分设备特性的运行时间。例如，对于一个电网，若负荷预报实际偏低，则该网实际上就不能履行向邻网供电的合同，甚至还可能缺电；另一方面，若负荷预报偏高，则会导致安装一些过多的、不能充分利用的发电设备，从而引起投资的浪费。

就电力系统而言，不希望以低的容量因数运行，所谓电站容量因数就是指，平均供电功率与电站最大供电能力之比。显然，低的容量因数总是意味着发电设备得不到充分的利用。

所以，精确的负荷预报总是人们所希望的，然而，精确的负荷预报并不是很容易作到的。这是因为：

- ① 未来各种可能引起负荷发生变化的情况，并不能事先确切地全部掌握；
- ② 某些复杂的因素，即使知道它们会对电力系统的负荷发生影响，然而，要定量地准确判定它们的影响，常常是困难的；
- ③ 没有一种足够完善的理论方法适用于所有的负荷预报场合；
- ④ 在预报中所出现的很多实际问题，还决定于预报人员自身的判断能力与经验。

所以，精确的中期预报不是很容易作到的。然而，幸好中期负荷预报不需要相当精确（相对于短期负荷预报而言），能作到一个大致相当的预报就可以了。不过也应当指出，若能满足一定条件，也能作出相当精确的中期负荷预报。

为了实现按天、按周、按月地安排发电和供电计划，就必须对未来24小时、7天和52个星期的负荷要求，有切实可行的预报。

在这个意义上，即从运行观点上看来，负荷预报又可以分为短期预报与极短期预报。

短期负荷预报是指一年之内，按月地进行负荷预报，或按天或按周来进行负荷预报；而几分钟内的预报或一天内按小时的预报，则可认为是极短时期内的预报。在极短期负荷预报中，负荷指的是功率。

对于一年内按月的负荷预报，可能讨论的是，按月的最大负荷预报，按月的用电量要求预报，各周的用电量要求预报，各周的负荷曲线预报等。

按天或按周的负荷预报所讨论的是次日或下一周的用电量要求，以及相应的负荷曲线形状。

极短期的负荷预报所讨论的是下一小时，或未来数小时内负荷的变化，也有可能讨论几分钟以后的负荷变化。

以短期负荷预报为例，根据负荷的预报值，并考虑一定的不确定因素，就可以决定一个水一火并存系统合理的检修计划。为此目的，要从按周的负荷预报中考虑每周的最大负荷。这种短期负荷预报以及相应的用电量预报，当然也是制定短期发电量计划所必须的信息，而这种计划，在充分考虑一些安全因素之后，可用以决定最小的发电成本。除此之外，这种预报提供了不断的负荷要求与发电出力的对比信息，即它可以用来决定发电单元的旋转储备，以及决定电力系统的可靠性；也可以用来决定哪些火电厂群应当保持连续运行，以及判断可能发生的危险负荷状态，以便在必要的时刻采取应急措施，来满足负荷要求。

由于不同的发电机组的调节特性不同，旋转储备容量又可以分为：以秒计的极快储备，以分计的快储备以及以小时计的慢储备。因此，为了认识旋转储备容量是否够用，从几分钟到一天的负荷预报都是需要的。也就是说，按照一定的提前时间的负荷预报，是分析系统旋转储备所必须的，而系统有计划的旋转储备以及不同网间的功率交换，又是决定系统供电安全水平的重要因素。因此，负荷预报又是保证电力系统运行有一定安全水平所必需的。

短期负荷预报的一个突出特点是：为对系统负荷进行预报，要对过去的负荷历史资料（例如过去若干年的负荷记录）进行分析。电力系统的负荷在本质上来讲是不可控的，虽然一些小的变化可以用频率控制来加以影响（如频率降低到一定程度就自动甩负荷）；或者在某些情况下可以在局部地区采用用电量计划分配；或者采用某种特殊的电价政策来对负荷施加影响，然而，总的来说，负荷是不可控的。因此，了解未来短期内负荷的可能变化的一个最有效办法，就是观察负荷的历史记录。负荷的另一个特征，就是它具有按天、按周以及按年的周期性变化特点，而短期负荷预报，正是密切注意到负荷的这两个重要特征，有针对性地提出一整套实际可行的办法。

对较长时期的负荷历史记录进行分析，一般可以看出两种变化的趋势：一种是固定的变化趋势，如逐步增长或逐步减少；另一种则是按年的、按周的、按日的变化趋势，所以，一般也可以把负荷分成两类，即正常负荷与变动负荷。

正常负荷，或者说标准负荷，包括用户以下几方面的要求：

① 长期的或中期的发展趋势，例如经济发展趋势；某些负荷的周期性因素、季节

性因素等;

② 较短时期内的一些正常变化,即每日负荷以星期为周期的变化,以及一天内负荷构成的基本成分。

变动负荷相应于实际负荷与正常负荷之差,这是考虑到负荷要求有一定的随机性质,即用户要求总会有一些偶然性的变动,而这些变动就造成了负荷要求具有随机性质。

例如,它们可能是由于气象条件(温度、湿度、日照、风速、雾障等)的变化而产生,而这些因素引起的负荷变化一般很快,并且无确定的规律,这就是一种随机的变动,而这种随机变动的负荷就产生了一种负荷的振荡。极短时间内的在线预报(一小时之内),就是要预报这种随机振荡。这种随机的变动负荷,在一个长时间来看,具有零平均值。但是对于每一小时、每一天甚至每一周而言,由于考虑随机负荷振荡,使得负荷平均值会有所改变。因此,对于极短时间的在线预报,这种随机振荡负荷是一定要考虑的。对于短期负荷预报,这种随机负荷是一种平均值为零而方差不为零的负荷,并且在负荷预报模型上,也需要认真考虑。在某些地区,其最大负荷可能在夏季;而在另一些地区,其最大负荷可能发生在冬季,因此,这都要视实际地区而定。

一个电力系统总的负荷可以分为几个部分,而每一部分都具有不同的变化时间常数。例如,经济增长趋势与季节性因素都具有较大的时间常数,它们经常以年计或以数月计;而用户的习惯性用电变化以及气候的突然改变,引起的负荷变化,则具有很小的时间常数,例如几小时或者更小。因此,某一时刻的负荷 $Y(t)$,原则上可以写成下列形式

$$Y(t) = A(t) + B(t) + C(t) \quad (1-1-1)$$

式中, $A(t)$ 是长期或基础负荷;

$B(t)$ 是按日变化的负荷;

$C(t)$ 是按小时变化的负荷。

这当然不是表示负荷的唯一方式,但是却是一种很明显的、易于理解的方式。

负荷预报的一个重要特点是它的概率特性。虽然,负荷预报的语言都是用每年的具体数字(峰值负荷或用电量)来表示,但这些数字都有一定程度的不确定性。

概括地说,影响负荷预报结果具有某种不确定性的因素是:

- ① 描述负荷变化特性的模型以及准备用来作预报的模型,总是具有一定的相对正确性;
- ② 用回归方法来进行预报,亦会有统计误差;
- ③ 推导出的说明性变量值亦有不确定性,如人口统计、用户用电状态、地区经济活动等;
- ④ 行政政策与管理政策的某些不确定性;
- ⑤ 气候条件。

所以,绝对准确的负荷预报是难以实现的,但应当尽可能地把这些不确定因素在负荷预报过程中加以考虑。

§ 1-2 负荷的分类与特性

一个电力系统总是具有各式各样的负荷，而总的负荷预报常常可能是各种不同类型的负荷预报的总和。所以，对于电力系统，各种类型的负荷应当有一个正规的分类，并且对各种类型的负荷特性有一基本了解。

负荷可以分为城市民用负荷、商业负荷、农村负荷、工业负荷以及其他负荷。城市民用负荷主要是城市居民的家用负荷。商业负荷与工业负荷是各自为商业与工业服务的负荷。在我国，农村负荷是指广大农村所有的负荷（包括农村民用电、生产与排灌用电以及商业用电等），而其他负荷则包括市政用电（如街道照明）、公用事业、政府办公、铁路与电车、军用以及其他等。

虽然负荷可以大致地这样分，但是这样分类并不严格。对于按某类负荷进行预报时，可能发生把某些实际负荷归算到哪一类负荷的争执。在这种情况下，就只能由各供电部门自己决定了。因此，在一些供电局和供电公司中，可能各自有其更具体的负荷分类细目。

在以上各类负荷中，城市居民负荷具有经常的年增长以及明显的季节性波动特点，而居民负荷的季节性变化在很多情况下，直接影响系统峰值负荷的季节性变化，但其影响程度则取决于城市居民负荷在系统总负荷中所占的比例。尤其是，随着空间电热器、空调装置、电风扇、电冰箱之类敏感于气候的家用电器日益广泛地采用，使居民负荷变化对系统峰值负荷变化的影响越来越大。在工业发达国家，家用电器（不计照明）大致分为以下几类：

- ① 备餐电器：电炉、烤箱、烤炉、电饭锅、洗碗机、咖啡煮沸器等；
- ② 食品储存电器：电冰箱、冻箱等；
- ③ 洗熨电器：洗衣机、烘干机、电熨斗等；
- ④ 调温电器：空调装置、电风扇、空气过滤器等；
- ⑤ 健康与美容电器：烫发器、红外线灯等；
- ⑥ 电视与音响电器：电视机、录像设备、收录机、三用机等；
- ⑦ 其它家用电器：吸尘器、电动缝纫机、擦地机等。

在我国，这些家用电器虽然还未获得全面广泛应用，然而使用的范围正越来越大，因此民用负荷在系统负荷中所占的比重，以及民用负荷季节性变动对系统峰值负荷季节性变动的影 响，都会越来越大。

商业负荷也同样具有季节性变动的特性，而这种变化主要也是由于商业部门越来越广泛地采用空调、电风扇、制冷设备之类敏感于气候的电器所致，并且这种趋势正在增长。

相对来说，工业负荷一般都视作是受气候影响较小的基础负荷。当然，这并不是说它一点也不受气候的影响，例如高温季节，工业负荷也将含有为降温和防暑所必须的耗电。然而，一方面由于工业负荷本身基础很大，另一方面尤其是由于三班连续生产，因此这类负荷变动较小，但是某些工业用户可能具有一些特殊的要求，如要求很高的功率

但不一定要求很大的用电量，某些工业用户可能具有明显的季节性特性（如制糖），但这些用户特性均能事先掌握，从而可以采用相应的措施加以对待。

致于其他各类负荷，根据它们的不同特点，也可能具有季节性变化的因素，这就需要具体分析了，例如，街道公用照明负荷，显然冬季的需求量远大于夏季的需求量。

随着国民平均耗电量的不断增长（它本身就体现着敏感于气候的家用电器的广泛采用），对未来负荷需求量的预报中，气候影响就显得越来越明显。很多记录表明，系统峰值负荷就是直接由于季节性的极端气候造成的。所谓“热浪”与“寒潮”，对于供电部门来说，从来都是值得严重注意的问题，因为它很可能造成一个供电部门供电能力不能够满足负荷要求的局面。热浪是一个高温延续期，而且它可能扩展到相当大的领域。在热浪期间，各种空调装置、电风扇、制冷设备、电冰箱等降温防暑电器，几乎都满负荷运行，造成了夏季峰值负荷。这可能使本网难以满足这类高峰负荷的要求，而不得不从邻网输入功率。寒潮则是一个低温延续期，但由于在冬季其他家用电器一般未处于饱和和使用状态，所以寒潮期间，一般不会造成热浪期间那样严重的峰值负荷问题。但是寒潮季节一般照明负荷增长，而且还有大量的保温负荷。因此，冬季寒潮季节的保温负荷仍然是一个要认真对待的问题。在一个电价较低的国家中，由于大量采用空间电热器，这个问题就更为突出。

上一节已经指出，电力系统的负荷是经常变动的。不但按小时变、按日变，而且按周变，按年变，所以负荷总是由几部分组成。（1-1-1）式曾把负荷表示为三种分量之和，那只是一种表示形式，而且也不是唯一的表示形式。例如，它也可以表示为下列四种分量之和：①发展趋势；②季节性变化量；③周期性变化量；④随机变化量。

发展趋势代表负荷按年的增长；季节性变化量表示因气候变化而发生的负荷正常变动；周期性变化是发展趋势上的长周期振荡，而随机变化量则是由于一些偶然因素所产生的。

例如，按小时和天来观察的负荷，其变化形式如图 1-2-1 所示。

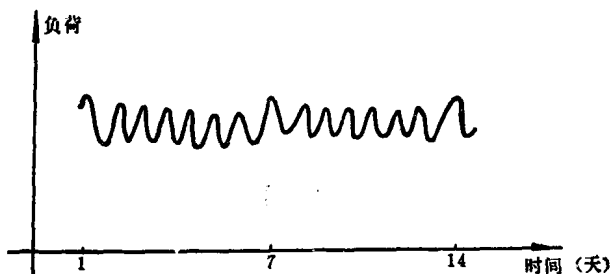


图 1-2-1

由于观察时间很短，当然看不到发展趋势与季节性变化，随机变化因子也看不明显，但以 7 天为周期的变化和以 24 小时为周期的变化，却是看得很清楚。

假如把负荷表示为基本分量与一个含有各种变化量的分量之和，那么在所考察的时间区间内，负荷可以用这个区间的平均值以及相对于这个平均值的方差来表示。季节性变化和周期性变化是一种固定的变化。例如，就一个季节来考察每一星期某一天某一时刻的负荷，那么上述以 24 小时和以 7 天为周期的变化影响，都不是重要的。重要的影响是

随机变化因素，而表明随机变化因素影响的主要指标是方差。

随机变化因素有两种，即正常的与极端的。天气的正常变化，人们对电视节目的正常喜爱或不喜爱，居民住宅的照明变化等这些都是正常变化，由此引起的负荷变动也都是正常的随机变动；而所谓极端的随机负荷变化，一般很少，例如，热浪与寒潮就是引起极端负荷的原因。在这种情况下，电力变压器与电缆都可能承受相当严重的过负荷而造成危险。

考虑四种负荷分量时，总负荷可以表示为下列两种形式

$$Y = T \times C \times S \times I \quad (1-2-1)$$

或者

$$Y = T + C + S + I \quad (1-2-2)$$

这里， Y 是待预报的总负荷； T 是负荷的发展趋势； C 是负荷的周期性分量； S 是负荷的季节性分量； I 是负荷的随机变化量。

第一种模型称为几何模型，若对它两边取对数值，则也可以化为加法运算。

第二种模型称为线性模型，这是用得最普遍的负荷模型。

负荷的随机变量不可能在任何时候都能得到准确的预报，因此，对于负荷预报模型，只能提出预报残差（即真实负荷值与预报值之差）是一个平均值为零的平稳随机变量的要求。

§ 1-3 供电部门看待负荷预报

对于一个供电局或者供电公司来说，在它的供电区域内，其负荷有两种可能的发展型式。一种就是现存供电区域内负荷的自然发展，第二种就是新供电区的计划发展。

负荷的自然发展可能是很多因素促成的，而这些因素经常又是供电部门所不能控制的，它们可以大致归结为：

- ① 现存用户的负荷可能增加，也可能减少，一般是增加；
- ② 增加新用户；
- ③ 由于极端的气候条件，引起附加的敏感于气候的负荷；
- ④ 由于自然灾害或事故，引起电网部分发电力丧失，造成电网部分地区过负荷。

现存用户负荷的增加，可能是家用电器的迅速增加、照明条件的改善、办公自动化设备的增长、工厂增容、降温与保温设备的增长等因素造成的。现存用户负荷的减少，可能是由于工厂开工率不足、居民迁走、或者电价提高等原因造成的。增加新用户则可能是增加新居民、新工厂、新的办公设施或商业设施等。

负荷的有计划发展一般是由于创建新的居民区、商业区域或者工业区域而造成的，而它总是在城市发展规划的基础上形成的。

上面所提到的两种负荷发展，都会对一个供电部门的供电网络造成影响。例如，为了对一个现存的供电系统进行增容，并更换某些过负荷运行的设备，如电力变压器与断路器等，那么，对于这个系统的负荷自然发展，应当有很好的了解。

显然，诸如此类的问题，对于供电部门来说，既是一个有关安全运行和电网管理的

问题，同时又是一个有关投资使用的问题。所以，一个供电部门总是希望得到三种类型的负荷预报：①一年以内的短期负荷预报；②一年到五年之中的中期负荷预报；③长远（可能是二十年三十年）的负荷发展远景预报。

短期负荷预报主要用来安排电力生产计划，以及更换过负荷运行或欠负荷运行的电力变压器；中期负荷预报主要直接用于系统规划与新机组的采购、安装；而长期规划则用来设想本供电局或供电公司的发展远景，以及本网未来可能采用的高压输电系统。也可以说，短期负荷预报是为了运行的需要，中期负荷预报用来作系统规划，而长期负荷预报则用来作未来远景控制。

负荷的计划发展首先应当有一个长远规划，然后作一个中期预报。对一个区域来说，安装全新的发电设备是一笔相当大的投资，因此，这样的发展应当与长远发展规划相结合，以免造成这种投资在时间、地点、选型等方面的不当。应当指出，对任何供电部门来说，进行负荷计划发展的预测都是一件很难的事，这是因为负荷计划发展不同于地区性的负荷自然发展。对一个地区来说，它没有足够的历史资料；另一方面，在未来的实际发展中，必定有很多难以预料的不可定的因素，从而在很多情况下，一个长远的负荷预测可能在实际上变得完全没有意义。如网络规划，根据长远规划可以设想系统发展成某种高压网络，而具体建设则按中期负荷预报进行安排。

负荷自然发展的预报与负荷计划发展的预报，虽然都属于负荷预报，但是它们之间有一些重要的差别。以负荷自然发展预报为例，它有以下几个特点：

① 各类用户与负荷一般总是向高饱和水平发展，但会有一定的限度，因此，负荷增长的速率不会是逐年增长；

② 供电区域是有限的和确定的；

③ 负荷的历史发展趋势是已知的，有丰富的历史资料可以用来分析负荷的变化；

④ 供电网络的构成与布局基本不变；

⑤ 燃料供应系统及配电系统基本上已解决，但是可在现有基础上逐步改进；

⑥ 对一些已经长期供电的厂矿，不太可能对它们实行新的负荷控制，或要求它们改变新的供热系统等。

总之，对于一个现存的系统，它的技术改进与改造是在不断地进行，然而，一般不可能很快。所以负荷的自然发展要受上面这些因素的影响，而负荷的计划增长就不受这些因素的影响，从而进行这两类负荷预报时，所考虑的方面是不同的。

对于供电部门来说，中期负荷预报的结果，尤其是用作安排电力变压器的更换，低压与高压电缆的增容，以及在某些情况下新增变电所等这类决策的依据；而长期规划则用来对第二级输电系统（属供电部门管理）进行增容，以及更换相应的设备。

前面已经谈到，对于负荷的计划发展，其预报是很复杂的。在开始阶段，人们对于未来发展区域的土地使用情况的了解，是十分有限的，从而计划中的不确定因素很多，预报人员不得不依赖计划中的居民点以及商业与工业发展计划，来进行负荷预报。这种预报一般用来确定一个大致的规划以及初步决定一次变电所和二次变电所的位置，也用来确定输电线路以及二级输电线路（或电缆）的基本走向。

只有当详细的城市建设规划制定以后，供电部门才能作出准确的中期与长期负荷预

报。时此负荷计划发展预报要比负荷自然发展预报麻烦得多，例如下面这些因素都必须考虑。

由于社会与技术的不断进步，负荷估计的起始点就不同。人们的生活水平是不断提高的，所以新建住宅或公用设施肯定比旧有的建筑具有更好更多的电气设备与照明。

由于商业的繁荣与环境保护的要求，商业建筑一般也有较好的照明设备，并要求更大的功率。街道照明也将改善。新建工厂将有新的设备。总之，更多的电气设备进入公用与民用设施、商业与工业。所以，对于一个计划发展的负荷预报，各类负荷的基点均可能高于负荷的自然发展，当然，在某些特定情况下，也可能低一些。

在一个按计划新建的区域，最初的用户数一般不多，这是因为受到住房建筑速度与逐步投资的限制。然而，用户增加的速度一般会很快。当公用事业与工厂设施逐渐增加，居民人数以及相应的各种负荷均会增加，但一般总需要一段时间才能达到供电系统首次投资安装的供电能力的水平。

在一个新建的区域中，有可能采用新的供热系统、新的工业生产过程等。这些负荷都可能不同于原有供电区域的负荷，而这些新负荷的增长情况可能更难以估计。同时，公用设施与工业生产用电的增长，也是难以完全确定的。所以预报中总是有一些不确定因素，其结果可能是供电网络铺得太大，也可能不满足需要，这都是经常会发生的。

上面主要从供电部门的观点讨论了负荷预报。供电部门对负荷预报所关心的，一个是时间，即短期、中期与长期；另一个是区域，也就是原有供电区域还是新增供电区域。

当然，对一个供电部门来说，负荷预报既可以是总的负荷预报，也可以是分区域的预报，这是指可以具有不同的预报水平。

预报水平决定于预报值作何用途。例如，全系统的负荷预报用来估计全年的售电量、发电计划以及发电设备是否需要增容；而一些分区域的预报则可用于计划安排新的输、配电线路和变电所，以及对现有设备的更换与增容。所以，预报的水平是与电网规划的水平相适应的。

总的说来，一个供电系统的预报，不论采取何种方法，其基本原则是。

- ① 选择要预报的变量、预报的水平及待预报的时间；
- ② 收集与分析预报所必须的历史资料，以及相应的社会发展资料；
- ③ 决定预报可靠性指标；
- ④ 确定一个适当的数学或计算模型；
- ⑤ 进行各项负荷预报，并综合其结果得到总的预报结果；
- ⑥ 分析预报的可靠性并改进预报模型。

§ 1-4 负荷预报的几个原则问题

要进行负荷预报，当然要寻求行之有效的预报方法。在讨论具体方法之前，有几个原则问题要搞清楚，而这些原则问题是每一个负荷预报员在预报工作中都会遇到的。

- ① 峰值负荷预报总是负荷预报中的一项重要内容，那么，峰值负荷预报是应用能

量预报与负荷率来决定呢？还是单独预报呢？

② 总的负荷预报原则上有两种办法：一种是将各类负荷分别预报，然后再综合；另一种办法是根据总负荷的过去历史资料直接进行预报，那么，应当采取哪一种方法呢？

③ 是否应当考虑气候条件？假如需要，又应当怎样考虑气候条件？

④ 应当用一些简单的预报方法，还是开发某些更正规的数学程序？

这都是负荷预报人员进行具体预报之前，必须解决的一些原则问题。

然而，应当指出的是，对这些原则问题的回答，对于不同的供电部门，可能是不一样的。因为没有一个答案能适用于所有场合，因此，不同的单位具有不同的答案是很自然的。

由以前的讨论可知，负荷预报一般包括需要功率预报与用电量预报。因此，负荷预报人员会面临两种选择：他可以预报用电量（设想这个预报较容易）并且预报负荷率，则根据已得的用电量与负荷率，就可以得到预报的最大功率。因为

设年用电量为 W ，负荷率为 ε ，则

$$\varepsilon = \frac{\text{平均负荷}}{\text{最大负荷}} < 1 \quad (1-4-1)$$

所以年峰值负荷为

$$P_{\max} = \frac{1}{8760} \cdot \frac{W}{\varepsilon} \quad (1-4-2)$$

假如预报时间不是一年，而是某一时间区间 T ，则在这个时间区间内的峰值负荷 $P_{\max}$ 为：

$$P_{\max} = \frac{1}{T} \cdot \frac{W}{\varepsilon} \quad (1-4-3)$$

由此可见，要知道 $P_{\max}$ ，必须知道 W 与 ε 。然而，负荷率的预报一般却不是很容易的，因为它可能在一个时间间隔内有显著变化。

第二种可能的方法是直接预报峰值负荷。尽管峰值负荷与很多因素有关，然而它还是可以单独作为一个预报量。

前一种方法，即利用用电量来作为第一手预报的信息，并从中获得峰值负荷预报值，其优点在于：用电量的变化要小一些，从而预报的误差也会小一些；同时用电量本身又是能耗的一种较好指标；此外，它还是一个与经济、地理因素直接发生联系的量，从而它的记录资料可以针对不同地区，不同的服务行业使用。

后一种方法，即单独预报峰值负荷的方法。其优点在于这是一种直接的方法，并且也能直接与温度这类气象因素联系起来。

这两种方法都得到了广泛的应用。所以，可以根据具体地区的实际情况，来决定采用何种方法。当各种因素都考虑得比较周到时，两种预报方法都可能得到令人满意的预报结果。

第二个问题是预报人员要考虑，到底是直接预报总的负荷，还是分开来作各类负荷的单项预报，然后再合成总的负荷预报。分类负荷指不同类型的负荷，也可能指不同地区的负荷。直接预报总负荷的优点在于较容易作，而且也较平滑，也更能表明负荷增长