

高等学校教材

水库运行调度

河海大学 陈宁珍 编



高等学校教材

水库运行调度

河海大学 陈宁珍 编

水利电力出版社

高等学校教材

水库运行调度

河海大学 陈宁珍 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 10.75印张 240千字

1990年5月第一版 1990年5月北京第一次印刷

印数0001—1290册

ISBN 7-120-00887-0/TV·290

定价2.20元

内 容 提 要

本教材系统地介绍水库运行中的各种调度及其计算方法。主要内容可分为两大部分,第二章至第六章是阐述常规的调度方法,求水电站水库长期调度,电力系统中水、火电站日最优运行方式,灌溉调度,防洪调度及综合利用水库调度等。第七章至第十一章是阐述系统分析法,如线性规划,网状系统分析,动态规划,大系统分解协调技术,模糊数学等的基本理论和方法及其在水库调度中的应用,并介绍了具体实例。

本教材可作为有关专业研究生课程及高年级大学生选修课用。还可供有关教师、科研、工程技术及运行人员参考。

前 言

水库运行调度是研究水能系统的重要组成部分。在设计、运行中都必须认真考虑。合理的水库调度既是充分利用水力水利资源，又是整个能源系统中开源节能的一种途径。为了合理地开发和利用水力水利资源，在水库调度问题上，既要掌握传统的时历法，又要跟上近代发展的趋势，运用系统分析的方法，全面考虑整个能源系统的问题。本教材分常规概念及其算法与系统分析及其应用，共计十一章。

本书由合肥工业大学韩志刚教授负责主审，他提出很多宝贵意见，对提高本书质量帮助很大，在此表示衷心的感谢。

限于水平和条件，书中一定有不少缺点和问题，敬请读者指正。

编 者

1988年12月

目 录

前 言

第一章 概 述	1
第一节 水库运行调度的意义和水库调度图的编制要求	1
第二节 水库调度分类	2
第三节 水库调度方法及发展趋向	3
第二章 水电站水库长期调度	6
第一节 水电站在电力系统中的运行方式简介	6
第二节 水库调度图基本资料的收集与分析	7
第三节 水电站长期最优运行任务与水库调度准则	11
第四节 时历法绘制水电站水库调度图	14
第五节 水库群调度的若干问题	20
第三章 电力系统中水、火电站的日最优运行方式	28
第一节 水、火电站的日最优运行所需的基本资料	28
第二节 水电站在电力系统中日运行方式的最优准则	29
第三节 水、火电站间日负荷最优分配的基本条件	31
第四节 水、火电站间日负荷最优分配的充分条件	33
第五节 负荷最优分配	34
第四章 灌溉水库调度	39
第一节 概 述	39
第二节 年调节灌溉水库调度图的绘制	40
第三节 多年调节灌溉水库调度图的绘制	43
第四节 水库群灌溉调度的基本原则	45
第五章 防洪水库调度	47
第一节 概 述	47
第二节 防洪调度	48
第三节 防洪预报调度概述	50
第四节 分期洪水防洪调度	52
第五节 水库群的防洪调度	53
第六章 综合利用水库调度	57
第一节 有综合利用任务的水库调度图的绘制	57
第二节 水库调度图的应用	59
第七章 线性规划	62
第一节 基本概念	62
第二节 线性规划的数学模型一般表示	64
第三节 线性规划的几何图解法	68
第四节 单纯形法	71

第五节 线性规划的对偶性	72
第六节 线性规划在水量调配上的应用	76
第八章 网状系统分析	78
第一节 概述	78
第二节 最短路程问题	82
第三节 最大流量问题	85
第四节 最小费用流问题	91
第五节 网络分析在水库调度中应用	97
第九章 动态规划	102
第一节 动态规划的基本理论	102
第二节 动态规划的递推方程式	106
第三节 增量动态规划	111
第四节 随机动态规划	111
第五节 动态规划在水库调度中应用	114
第十章 大系统分解协调法	123
第一节 概述	123
第二节 大系统分解协调法	129
第三节 大系统分解协调法在水库调度中应用	137
第十一章 模糊数学及其在水库调度中的应用	141
第一节 概述	141
第二节 模糊子集的表示与运算	141
第三节 隶属函数的确定	145
第四节 模糊综合评判	158
第五节 模糊数学在水库调度中的应用	161
参考文献	165

第一章 概 述

我国有丰富的水力资源，可开发的水力资源有3.78亿kW，居世界第一位。根据原水利电力部电力生产司编制的《水电站设计运行资料》指出：截至1983年底，已建成的大中型水电站共102座，总装机容量1869.52万kW，其中以发电为主并具有季调节以上的水电站水库共39座，水库总容积为1455.60亿m³。以防洪灌溉为主结合发电的水库共13座，水库总容积为577.03亿m³。这些水电站和水库，无论在发电、防洪、灌溉、供水、航运等方面均发挥了很大效益和重要作用。

根据国民经济的发展，全国已形成华东、华北、华中、东北、西南、西北等六大电网以及广西、广东、福建和新疆等省（区）的地区电网。上述水电站均分别投入各电网，其中若干年调节以上的水电站在电网中起调峰作用与电力补偿作用。如华东电网中的新安江、湖南镇、陈村等水电站，其水库均具有多年调节性能，是一些相当好的调峰电站，且对电网中调节性能差的水电站起到电力补偿作用，使水电群充分发挥自身的优越性。

第一节 水库运行调度的意义和水库调度图的编制要求

水库运行调度（以下简称水库调度）在规划设计与运行中均占有一定的重要位置，它直接关系着水库的综合效益的发挥，直接关系着电力系统供电的安全性、经济性与可靠性。特别是已建成的水库愈来愈多，单一水库调度和水库群的综合利用联合运行调度问题，愈来愈受到重视。

一、水库调度的意义

水电站水库的运行情况与河川径流密切相联。河川径流的多变性和不重复性给水库运行带来很大困难。尤其是年调节水电站的水库，由于缺乏准确可靠的长期水文预报，在水库运用管理上往往容易造成人为的错误。例如，供水期开始，为了想多发电，水电站以较大出力工作，结果供水期还未结束，水库可能提前放空，使汛前一段时间里，以天然来水量发电，不能满足电站保证出力的要求，破坏了电力系统的正常工作。反之，供水期开始，担心以后来水少，为避免正常工作遭受破坏，水电站在整个供水期均按保证出力工作，结果在下一个汛期来到时水库还未放空，汛期水库又很快蓄满，造成大量弃水，这样就不能充分利用水能。以上情况也可能同样会发生在蓄水期。为了避免人们管理上的差错，实际工作中常制定“水库调度图”作为指导水电站水库运行调度的工具。

对于综合利用水库，“水库调度图”也是解决各部门之间的矛盾，更好地发挥水库综合效益的一种重要途径和措施。

二、水库调度图的编制要求

为了进行水库调度，必须利用径流的时历特性资料或统计特性资料，按水库运行调度

的最优准则，预先编制出一组控制水电站水库工作的水库蓄放水指示线即调度线组成的水库调度图。水库调度图是以时间为横坐标，以水库蓄水量或水位为纵坐标，由一些控制水库蓄水和供水的指示线所组成的曲线图。所以，使用水库调度图就是根据水库各时刻的存水量来确定水库和水电站各时刻工作情况的一种管理方法。这样调度结果，就会较好地满足各方面的要求，获得较大的综合效益。如果水库调度结合水文预报进行，则称水库预报调度。制定水库调度图的要求是：

(1) 尽可能满足各综合利用部门的要求；

(2) 在设计保证率以内年份，应能满足电站正常供电，并有利于多余水量的利用，在特枯水年，尽量减少电站的破坏程度；

(3) 对于多沙河流的水库工程，要有利于排涝防淤。

水库调度图的编制，在不同的设计阶段，有不同深度要求。设计阶段制定水库调度图的是核定水电站的动能指标和分析水电站多年运行情况，并为将来水库管理工作提供基本依据。在运行期间，对调度图的要求则更为细致、严格，并且要经常按照实际情况进行修订。

第二节 水库调度分类

水库调度可按不同用途、不同目的进行分类，一般有以下几种方式。

一、按水库目标分

(1) 防洪调度。防洪调度方式是根据河流上、下游防洪及水库的防洪要求、自然条件、洪水特性、工程情况而合理拟定的。为此，必需绘制防洪调度线，该线是指为满足安全拦蓄设计洪水的要求，汛期各时刻水库必须预留（腾空）的库容的指示线，其作用是指示何时需要启闭泄洪闸门进行泄洪控制。防洪调度问题将于第五章详细讨论。

(2) 兴利调度。兴利调度一般包括发电调度、灌溉调度以及工业、城市供水与航运对水库调度的要求等。发电调度、灌溉调度将分别于第二章、第四章详细讨论。

工业及城市供水的显著特点就是要求保证率高，一般要求保证率为95~98%，年内供水过程，除了受季节影响略有波动外，一般比较均匀，供水水质要求较高，供水时应按国家规定控制污染物及泥沙下泄。以供水为主要任务的水库调度图与灌溉水库类似，分正常供水、降低供水与加大供水等区域。在正常供水区只是在向下游供水时才发电，当库水位处于正常供水区以上，可以多泄流加大发电以扩大经济效益。

航运对水库调度的要求：航运方面要求水库下泄流量不小于某一最低通航流量；如果水电站进行日调节，则要求下游水位的日变幅与时变幅不大于航运要求的数值，另外，还要求平均流速与表面流速不大于航运要求的数值。

水库上游的库水位希望不要消落过快，尽可能保持较长时间的高水位，更不要消落到死水位以下。另外希望能在水库调度中控制泥沙，尽可能避免航道的淤积。

(3) 综合利用调度。如果水库担任有发电、防洪、灌溉、给水、航运等方面的任务，则在绘制调度曲线时，应根据综合利用原则，使国民经济各部门要求得到较好的协调，使

水库获得较好的综合利用效益。

其他如环境因素、控制泥沙淤积以及防凌等对水库调度均有一定要求时，请参看有关书籍。

二、按水库数目分

(1) 单一水库调度。随着水利水电建设事业的发展，单一水库运行情况愈趋减少。为了说明绘制水库调度的原则、方法，多从基本的最简单的单一水库入手，进而引深到水库群的联合调度。

(2) 水库群的联合调度。水库群联合调度就其结构形式一般可有三种：

1) 并联水库。系指电力系统中位于不同河流上或位于同一河流的不同支流上的水库群。各水库水电站之间有电力联系而没有水力联系。但在同一河流不同支流上的并联水库水电站群之间，除有电力联系外，还要共同保证下游某些水利部门的任务，例如防洪等，因之常有水力联系。

2) 梯级水库群又称串联水库群。位于同一条河流的上、下游形成串联形式的水库群。各水电站之间有着直接的径流联系，有时在落差和水头上也互有影响，故称有水力联系的梯级水库群。

3) 混联水库群。是串联与并联的组合形式，是位于同一河流或不同河流上更一般的的水库水电站形式。这些水电站、群之间，有的有水力联系，有的有水利联系，又因处于同一电力系统中而有电力联系，情况是多种多样的。

三、按调度周期分

水库调度实际是确定水库运用时期的供、蓄水量和调节方式。根据水库运用的同期长短可分长期调度和中、短期调度。

(1) 长期调度。对于具有年调节以上性能的水电站水库，首先要安排调节年度内的运行方式、供水、蓄水的情况，这就是人们所说的长期调度。具体内容是以水电厂水库调度为中心，包括电力系统的长期电力电量平衡、设备检修计划的安排、备用方式的确定、水库入流预报及分析、洪水控制和水库群优化调度等。长期调度是短期调度的基础。

(2) 短期调度与厂内经济运行。短期调度通常又称水火电厂短期经济运行，主要研究的是，电力系统的日（周）电力电量平衡；水火电厂有功负荷和无功负荷的合理分配；负荷预测；电网潮流和调频调压方式；备用容量的确定和合理接入方式；水电厂水库的日调节和上游水位变动、下游不稳定流对最优运行方式的影响等。

对厂内经济运行，主要研究的是电厂动力设备的动力特性和动力指标；机组间负荷的合理分配；最优的运转机组数和机组的起动、停用计划；机组的合理调节程序和电能生产的质量控制及用计算机实现经济（优化）运行适时控制等。

第三节 水库调度方法及发展趋向

水库调度在20年代~40年代时期主要应用判别式与求极值的方法。1951年美国数学家贝尔曼（R. Bellman）等人提出“最优化原理”，并研究了实际问题，从而创建了解决最优

化问题的一种新方法——动态规划法。他写的名著动态规划于1957年出版,该书是动态规划第一本著作。1955年J.D.C李特尔首先把动态规划思想应用于水电站优化调度。1960年霍华特(R.A.Howard)提出动态规划与马尔柯夫决策过程的研究,使这种方法的应用范围更扩大了,他在《水电工程出力最优化》的论文中明确指出:动态规划法可以成功地应用到较复杂水电站水库群的运行调度上。但随着问题维数的增多,计算工作量增加非常快,以致应用计算机都不能解决问题,即所谓维数灾。为了解决这个问题,先后提出增量动态规划(I.D.P)、微分动态规划(D.D.P)、离散微分动态规划等。

我国在50年代末60年代初开始研究把动态规划原理应用于水电站水库优化调度。70年代我国一些科研机构、大专院校、设计与运行等单位,应用随机序列理论,按动态规划原理研究水电站水库优化调度。80年代初提出应用模糊集理论网络技术进行水库调度。近年来水库优化调度通过广泛的研究,无论在理论上、方法上、实践上均取得一定的成效。

一、水库调度的常规方法

水库调度的常规方法一般指时历法与统计法。由于水利工程的不断发展,电力系统也不断发展,常构成一个多目标、多单元的大水利系统,使一群水电站水库处于联合工作状态共同担负供水、供电任务,因此要研究如何全面考虑确定各电站水库的运行方式,使整个水利系统工作最优,具体处理方式有如下几种:

(一) 判别式法

该方法是水库群联合运行方式中,应用最广泛、研究最多的一种途径,特别是对并联或串联水电站的蓄放水次序问题。判别式多种多样,考虑的因素和公式结构复杂程度各有不同,但其理论基础,一种是从方案比较得出;另一种是以严密的多元函数求极值或变分法导出的。判别式的优点是简单易行,能考虑较复杂情况,其缺点是①对限制条件考虑不够,如未考虑最大、最小出力的限制,因此有时出力分配过程不匀,蓄放水过于集中,对于天然来水集中在后期的水库,有可能造成电站全出力运行还会发生弃水的不合理现象。②判别式往往把供水期与蓄水期硬性分开,因此,对供蓄水期运行方式的相互影响考虑不够,所得的运行方式不是整个调节期的最优运行方式。③判别式要求较精确的长期预报。

(二) 等微增率法

它与判别式法在一定程度上相近似,都属于古典求极值的方法。如用多元函数求极值的方法推导各电站的微增耗水率,然后用图解形式求解。其缺点是对有不等式的约束条件应用不便。

(三) 多元函数求极值法

此方法把水库供水期的总电能看作是各月库水位的一个多元函数,这样,供水期的最优调度问题,就成为一个多元函数求极值的问题,当水库运行受到水位、设备容量等要求的限制时,就成为多元函数求条件极值,但由于水库调度的复杂性,直接求解较困难。

(四) 变分法

电力系统的最优调度问题,是一个典型的变分问题。对水电站最优运行来说,是用变分求极值解出最优调度线,如果径流为随机时,就成为最优调度的问题。此法也往往难以直接得出,因此也多用判别式表示,与此法近似的是逐步逼近法。

二、水库调度的系统分析法

系统分析 (System Analysis) 是从整个系统来探索增加整个系统的效益, 而不是着眼于系统中某一部分效益的增加。所以必须明确地了解系统结构, 如系统的内在矛盾与因果关系, 系统外的边界情况以及因为边界情况的改变对整个系统效益的影响。应用系统观点的系统分析方法探求改善整个系统运筹的最优方案。

系统分析方法一般可以分数学规划及概率模型两大类。数学规划 (Mathematic Programming) 在系统分析中占显要地位。其中包括线性规划 (Linear Programming), 整数规划 (Integer Programming), 非线性规划 (Non-Linear Programming), 网状系统分析 (Network Analysis), 动态规划 (Dynamic Programming) 及博弈论 (Game Theory) 等; 概率模型 (Probabilistic Models) 考虑事态发生的不可靠性, 其中包括排队论 (Queueing Theory), 存储论 (Inventory Theory), 马尔可夫决策过程 (Markovian Decision Processes), 系统可靠性分析 (System Reliability Analysis), 决策分析 (Decision Analysis) 及模拟 (Simulation) 等。另外又增加了模糊集与大系统分解协调技术。

三、水库调度发展趋向

随着电力系统范围愈来愈大, 电力系统中供电组成结构愈来愈复杂, 水库调度更为复杂化。例如, 在我国随着葛洲坝大江电站、三峡水电站的建成, 金沙江上巨型水电站群的开发, 不仅华中电网与华东电网联网, 甚至全国将联成统一电网。电网内水电站群的水库调度问题, 水电站群与火电站群、其它类型电站的联合运行问题, 其复杂程度决非单一的系统分析方法所能解决, 而要综合在一起, 运用钱学森专家的工程控制论中大系统理论, 结合复杂的计算机网络控制系统付诸实施。

联网问题决非遥远的将来, 例如美国将水电比重较高的西北电力系统与火电占比重较高的西南电力系统联网, 通过长距离超高压输电线联网以后, 更有利于水火电的调剂, 既可以提供调峰容量, 还可输送廉价的季节性电能。从1970年到1980年, 西北向西南输电1216亿kW·h。又如法国南部多水电, 北部多火电, 全国联成统一的电力系统, 水火电联合运行, 丰水期由南部的水电向北部送电, 枯水期由北部的火电向南部送电, 互相调剂, 取得了很大的效益。此外, 国家与国家之间也逐步联网。例如, 挪威、瑞典、芬兰与丹麦等国联成北欧电网。电力系统联网是合理开发利用能源的必然趋势。例如, 我国的广东、广西两地区联网, 广东多调峰电站, 广西多径流式电站, 联网后将取得明显的效益。

上述情况说明水电站水库群统一调度这样一个实际问题, 其属性是庞大而又复杂的, 且可用递阶结构描述, 也就是说要通过大系统分解协调技术探寻水电站水库群统一调度。

因此, 水库调度不仅要从事于方法论的研究, 而且要从事于解决实践。充分地、合理地、经济地利用能源, 现在不是进行得差不多了, 而是有许许多多问题, 需要我们去开拓、探索。

第二章 水电站水库长期调度

水电站建成后均联入电力系统, 由系统统一向用户供电。电力系统内的水电站的运行方式与水库运行调度有关。因此必须研究水电站水库长期调度问题。本章先用单一水库调度来解决基本概念、基本绘制方法, 进而介绍水电站水库群联合调度问题。

第一节 水电站在电力系统中的运行方式简介

水电站在电力系统中的运行方式与水库调节性能、径流的变化以及电站群组合等因素有关。

一、无调节水电站

无调节水电站的水库无调节能力, 电站的出力大小取决于河流来水量, 为了减少水量损失, 电站一般在基荷运行。但在晚间低谷负荷, 有时因火电站为供热或保证机组技术最小出力的需要, 迫使无调节水电站改变运行方式, 少承担一部分负荷而产生弃水。在洪水期, 若天然流量所能产生的出力大于系统最小负荷时, 亦将被迫产生弃水。

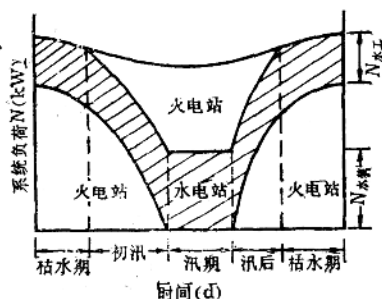


图 2-1 日调节水电站设计枯水年运行方式

二、日调节水电站

日调节水电站, 可以使一日内均匀的河流来水经过水库的调节, 适应负荷的变化, 在不发生弃水的原则下, 水电站尽可能担任峰荷、腰荷工作。洪水期, 为了充分发挥日调节水电站装机容量的作用, 随着来水流量的增加, 水电站工作位置逐步由峰荷转至基荷运行; 如图 2-1 所示。

当日调节水电站下游有航运、灌溉或给水渠道进水口引水要求, 且下游又无反调节水库时, 日调节水电站的运行方式将受到这部分航运、灌溉、给水等综合利用要求的约束, 这时, 往往有一部分容量要在基荷运行, 以减小下游流量、水位和流速的波动幅度。

三、年调节水电站

年调节水电站, 可以将年内的天然径流经过水库的调蓄作用按照年负荷变化要求重新分配。在供水期, 水电站发电用水不受其它部门用水限制时, 一般担任峰荷工作; 当用水受综合利用部门限制时, 有时可能担任部分峰荷、部份腰荷, 视具体情况而定。在蓄水期, 天然径流增大, 水电站运行的工作位置由峰荷逐步转向腰荷、基荷工作。在弃水期, 水电站一般担任基荷, 按全装机运行。不蓄期, 随着天然径流的减少, 水电站工作位置由

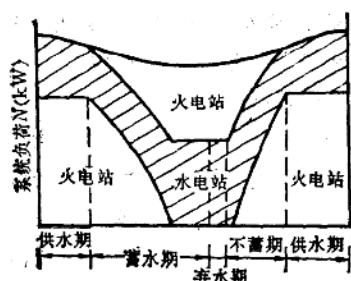


图 2-2 年调节水电站设计枯水年运行方式

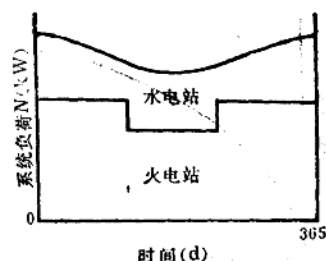


图 2-3 多年调节水电站一般年份运行方式

基荷逐步上升至腰荷、峰荷，如图2-2所示。

四、多年调节水电站

多年调节水电站，由于其水库的调节库容较大，可以将丰水年的水调蓄到枯水年用，而且多年调节水库一般总是同时进行年调节与日调节。因此，具有多年调节水库的水电站一般担任系统峰荷工作，如图2-3所示。

具有一定调节能力的水电站，担任系统峰荷工作，其特点有：

(1) 水电站担任峰荷工作可以充分发挥水电站运行的灵活性、经济性。最大限度地替代火电站容量，较为合理地利用水能资源。

(2) 水电站担任峰荷后，上、下游水位将随时间而变化。

(3) 可以使火电站在基荷均匀地工作，提高火电站的发电效率，节省煤耗，降低成本。

(4) 使水、火电站合理地配合运行，提高了供电质量，降低了事故机率。

第二节 水库调度图基本资料的收集与分析

绘制水库调度图的基本资料主要有：

(一) 电力系统中各组成水电站资料

(1) 各组成水电站入库径流资料，包括时历特性资料和统计特性资料；

(2) 各组成水电站的水库特性资料和下游水位流量资料；

(3) 各组成水电站各种特征水位资料；

(4) 各组成水电站水轮机运行综合特性曲线资料；

(5) 各组成水电站引水系统水头损失资料，若水电站开发方式为坝后式，引水管路短，引水系统水头损失较小；若为引水式开发，引水系统长而复杂，其水头损失也较大。水头损失计算式为 $\Delta H = FQ^2$ (式中 F 为系数， Q 为流量)。即引水系统水头损失与过流量成平方关系，如图2-4所示；

(6) 各组成水电站保证出力图，它表示为了保证电力系统正常运行而要求水电站每月发出的平均出力。

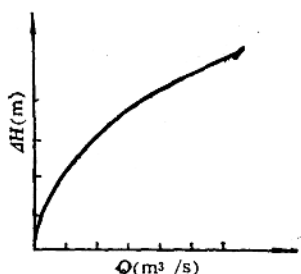


图 2-4 引水系统水头损失曲线

(二) 航运、灌溉、给水等综合利用用水要求

(三) 电力系统负荷及电量资料

1. 电力系统状态分析

电力系统状态分析包括系统历年供电范围, 主要电源及其分布、网络结构、相应的厂用电率、线损率。系统历年负荷水平、负荷结构、年负荷曲线与历年代表日负荷曲线以及系统中主要电力用户的用电方式等。年负荷的变化规律, 其主要内容有:

(1) 日负荷率(γ)。日负荷率系日平均负荷与日最大负荷之比:

$$\gamma = \frac{\text{日平均负荷}(\bar{N})}{\text{日最大负荷}(N'')} \quad (2-1)$$

(2) 日最小负荷率(β)。日最小负荷率系日最小负荷与日最大负荷之比:

$$\beta = \frac{\text{日最小负荷}(N')}{\text{日最大负荷}(N'')} \quad (2-2)$$

(3) 月负荷率(σ)。月负荷率为该月平均负荷与月内最大负荷日的平均负荷的比值, 它表示在一月中负荷变化的不均衡性。即:

$$\sigma = \frac{\text{月平均负荷}\bar{N}_\text{月}}{\text{月内最大负荷日的日平均负荷}(\bar{N}_\text{日})} \quad (2-3)$$

全年各月 σ 值不同, 其一年的平均值可用下式计算:

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=1}^{12} \frac{\sigma_i}{12} \quad (2-4)$$

式中 $\bar{\sigma}$ ——一年内月负荷率的平均值;

σ_i ——各月的月负荷率。

当电力系统内连续性生产企业占比重较大时, 表示一月负荷变化比较均匀, 则 σ 值大。当电力系统内进行负荷调整, 使月内变化比较均匀, 则 σ 值就大; 若月内例假日多, 节日多, 一般 σ 就要小些。

(4) 季负荷率(ρ)。季负荷率表示全年各月最大负荷日的最大负荷与年最大负荷的比值。即

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{12} N_{\text{max}}^i}{12 N_{\text{max}}^*} \quad (2-5)$$

式中 N_{max}^i ——全年各月最大负荷日的最大负荷;

N_{max}^* ——年最大负荷。

ρ 大表示一年中月最大负荷变化比较均匀, 反之, 表示一年中月最大负荷变化大。

2. 电力系统负荷、电量的增长情况

统计分析电力系统历年最大负荷或年电量的平均年增长率 K_n , 可用下列公式进行计算:

$$K_m = (\sqrt[m]{A} - 1) \times 100\% \quad (2-6)$$

$$A = \frac{N_n^*}{N_1^*}$$

或

$$A = \frac{E_n}{E_1}$$

式中 K_m ——年平均增长率;

m ——第一年和最后一年相隔的年数;

A ——最后一年对第一年负荷(或电量)的比值;

N_1^* 、 N_n^* ——第一年、最后一年(第 n 年)的最大负荷值;

E_1 、 E_n ——第一年、最后一年的年电量值。

据统计,国内平均年负荷增长率在10~20%之间。

此外,还应根据电力系统供电范围,负荷结构情况,分析系统负荷曲线的变化。

3. 各类用户设计负荷及典型负荷曲线的收集与分析

(1) 各类用户设计负荷的分析。一般可将电力系统用户分为工业用电、农业用电、交通运输及市政生活用电等四个方面。工业用电中又可分煤炭、石油、黑色冶金、有色冶金、机械、化学、建筑材料、造纸……等。各类用户用电特点各异,各用户的典型日负荷曲线变化规律亦不相同,例如,市政生活用电与农业用电,用电变化差异非常大,市政生活用电一般在傍晚负荷较高,其余时间均较低,如图2-5所示;而农业用电一般在7~10点与13点~21点用电较为集中,而且还有季节性,如图2-6所示。同一种类用电,如工业用电中有色冶金工业与机械工业用电亦大不相同,如图2-7,图2-8。前者三班制生产,用电比较平稳,后者二班制生产,日内用电变化较前者大。了解电力系统用电结构以后,各类用户可根据国民经济的发展,推算远景产品产量或产值,再根据各产品或产值的单位耗电定额推算各部门用电量与最大负荷,其计算式如下:

产品(或产值) × 单位耗电定额 = 年用电量

$$\text{各类用户最大负荷} = \frac{\text{年用电量}}{\text{最大负荷年利用小时数}} \times \text{用户同时率} \quad (2-7)$$

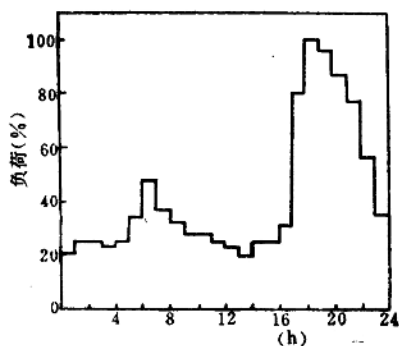


图 2-5 市政生活用电

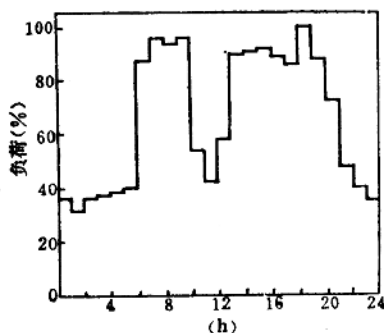


图 2-6 农业用电

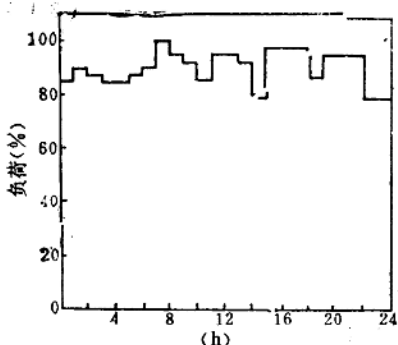


图 2-7 黑色冶金工业用电

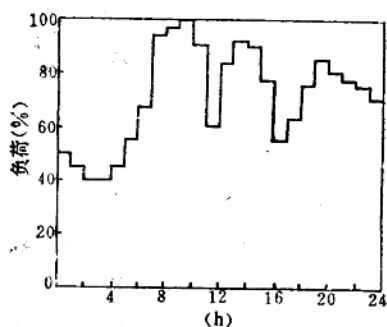


图 2-8 机械工业用电

式中最大负荷年利用小时数指各类用户的最大负荷年利用小时数。用户同时率指最大负荷同时出现的机率，其值与电力用户多少，各用户用电特点有关。

上述最大负荷值未考虑线损率与厂用电率。线损率包括输电线电力损失与变压器损失两部份，一般占供电负荷的5~10%。可供编制负荷曲线用。

(2) 各类用户典型负荷曲线的分析。根据各类用户的用电特点，可能的变化情况，对原有典型日负荷曲线进行修改，使其符合远景用电特点，供编制远景负荷曲线用。例如，市政生活用电、农业用电、黑色冶金工业用电以及机械工业用电……等等。

(四) 负荷曲线的编制

编制负荷曲线的方法多种多样，这里主要讨论应用历史负荷曲线修改法。具体步骤如下。

(1) 分析电力系统实际负荷曲线，选出系统负荷调整较少、较符合远景情况的典型日负荷曲线，并用换算成最大负荷的百分数表示。

(2) 确定各类用户负荷比重变化的相对大小。

(3) 将负荷比重变化大的电力用户，按远景所改变的比重代入相应的用户典型曲线，修正电力系统夏、冬典型日负荷曲线（以百分比表示）。

(4) 按实测电力系统年负荷下降率，分析确定远景年负荷下降率，以此年负荷下降率确定夏季最大负荷。

(5) 将远景冬、夏季最大负荷值，乘以上述修正后的冬、夏典型日负荷曲线，即可求得要求的远景冬、夏典型日负荷曲线。

(6) 按冬、夏季典型日负荷曲线进行补插求得春、秋季典型日负荷曲线。

如果这些资料已经具备就不需要重新编制，可直接采用。

4. 系统电站组成结构与系统经济特性

(1) 系统电站组成结构 系统中水火电站及其他电站随系统负荷增减而改变，进而影响电站运行方式与送电潮流。

(2) 系统经济特性

1) 系统中火电站的峰荷煤耗、基荷煤耗以及平均煤耗；