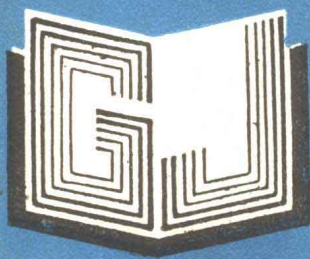


986037



高等学校教材

水资源系统运行调度

武汉水利电力大学 李钰心 主编



高等学校教材

水资源系统运行调度

武汉水利电力大学 李钰心 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书论述水资源系统运行调度的基本理论和方法,除绪论外,共有十一章,即:第一章水资源运行调度总论,阐明有关基本理论;第二章至第七章以论述水资源系统与电力系统中水电站厂内、短期及长期经济运行和水库最优运行调度方式制定与实施的基本知识、理论、方法为主,结合拓宽阐述其他兴利调度的有关问题,既有单站、单库、单目标调度问题,也有站(库)群及多目标综合利用的调度问题;第八、九、十等三章分别论述水资源系统的防洪调度、水沙调度、水质调度及生态环境问题;第十一章论述水资源系统运行调度实施的有关问题。

本书为高等学校水资源规划及利用专业教材,也可作为水文学及水资源等研究生专业的选修课教材,还可供其他有关专业师生和工程科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源系统运行调度/李钰心主编. -北京:中国水利水电出版社, 1995
高等学校教材

ISBN 7-80124-028-6

I. 水… II. 李… III. 水利系统-水资源管理-运行-调度-高等学校-教材
IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 08875 号

书 名	高等学校教材 水资源系统运行调度
作 者	武汉水利电力大学 李钰心 主编
出 版	中国水利水电出版社(北京三里河路6号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京市密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 14.75印张 334千字
版 次	1996年5月第一版 1996年5月北京第一次印刷
印 数	001—730册
定 价	11.50元

前 言

本书是根据《1990~1995年高等学校水利水电类专业本科、研究生教材选题和编审出版规划》(第一)及《水资源规划及利用》专业教学计划对有关课程基本要求编写的主要专业教材之一,也可作为《水文学及水资源》等研究生专业的选修课教材,还可供其他有关专业师生和水利水电工程技术及科研人员参考。

本书除绪论外,共有十一章,即:水资源系统运行调度总论,水电站厂内经济运行、水资源系统与电力系统中水电站的短期经济运行,水资源系统与电力系统中水电站及其水库的长期运行调度概述、水资源系统水库兴利调度的常规方法、水资源系统中单一水电站及其水库的长期最优运行调度、水资源系统(水电站及水库群)联合最优运行调度、水资源系统防洪调度、水资源系统中的水库泥沙调度、水资源系统运行中的生态环境及水库水质控制调度,以及水资源系统运行调度的实施。

全书由武汉水利电力大学李钰心主编并具体编写前言、绪论、第一、三、四、十一章;戴国瑞编写第二、五、六、八章;陈惠源编写第七章;成都科技大学吴铭汉编写第九、十章。

本书由华中理工大学张勇传教授负责主审并提出很多宝贵意见。编者深表感谢。

在本书编写过程中,参阅和引用了不少国内外文献和资料,编者对书尾所列公开发表的主要参考文献的作者表示谢意,对未能列出的其他参考文献和资料的作者也一并致谢,并请谅解。

由于编者水平所限,书中疏漏之处,恳望读者批评指正。

编 者

1993年9月

243.5760

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 水资源系统运行调度总论	6
第一节 水资源系统的结构与管理	6
第二节 水库与水电站的地位和作用及国民经济和社会对水资源系统的要求	9
第三节 水资源系统运行调度的任务、原则及内容	14
第四节 水资源系统运行调度优化的基本概念	18
第二章 水电站厂内经济运行	22
第一节 概述	22
第二节 水电站动力特性	24
第三节 制定水电站厂内经济运行方式的等微增率法	30
第四节 制定水电站厂内经济运行方式的动态规划法	36
第五节 水电站机组间无功负荷及随机负荷的分配	40
第六节 水电站厂内经济运行的实施与自动控制	42
第三章 水资源系统与电力系统中水电站的短期经济运行	45
第一节 水电站短期经济运行的任务、课题及模型	45
第二节 火电站动力费用特性及火电站厂内经济运行	46
第三节 火电站间的负荷最优分配	57
第四节 水、火电站间日负荷最优分配的等微增率法	61
第五节 水、火电站日最优运行方式制定的动态规划法	64
第六节 具有水电站群的电力系统日最优运行方式计算	65
第七节 电力系统有功功率和频率的调整与实时经济(最优)调度	67
第四章 水资源系统与电力系统中水电站及其水库的长期运行调度概述	69
第一节 水电站及其水库长期运行调度的特点	69
第二节 水电站及其水库长期运行调度的任务、课题及方法	74
第三节 来水径流描述方法概述	78
第四节 水、火电站的时段平均特性	81
第五节 水电站及其水库长期保证运行方式及最优破坏运行方式	82
第五章 水资源系统水库兴利调度的常规方法	86
第一节 水资源系统水库常规兴利调度的原则、原理及方法	86
第二节 水库兴利常规调度图的绘制	88
第三节 综合利用水库调度	98
第四节 水电站水库群的联合调度	103
第五节 水库调度规则及调度图的应用	106

第六章	水资源系统中单一水电站及其水库的长期最优运行调度	108
第一节	概述	108
第二节	确定性来水条件下的水电站水库长期最优运行调度	109
第三节	随机来水条件下的水电站水库长期最优运行调度	125
第四节	考虑可靠性约束的水电站水库长期最优运行调度	135
第五节	综合利用水库长期最优运行调度	138
第七章	水资源系统联合最优运行调度	142
第一节	概述	142
第二节	梯级水电站水库联合运行随机优化调度模型	143
第三节	水电站水库群联合调度的聚合分解法模型	149
第四节	水电站水库群联合调度隐随机优化法	157
第八章	水资源系统防洪调度	160
第一节	概述	160
第二节	洪水特性分析及其描述	161
第三节	水库调洪原理及基本概念	164
第四节	水库防洪调度方案的编制	168
第五节	流域防洪及水库群联合防洪调度	170
第六节	水资源防洪系统最优调度	172
第七节	防洪预报调度及防洪调度的实施	178
第九章	水资源系统中的水库泥沙调度	183
第一节	概述	183
第二节	滞(蓄)洪排沙调度	190
第三节	异重流排沙调度	193
第四节	水库泥沙调度方式的选择	196
第十章	水资源系统运行中的生态环境及水库水质控制调度	198
第一节	概述	198
第二节	水利水电工程对生态环境的影响	199
第三节	水库水质及水污染控制调度	204
第十一章	水资源系统运行调度的实施	212
第一节	水资源系统的行政管理、经济管理、法制管理及水法与法规	212
第二节	水资源系统中水库调度方案的编制	215
第三节	水资源系统中水库及水电站运行调度计划的制定	217
第四节	水资源系统中水库调度方案及年度计划的实施	218
第五节	评价水资源系统(水利)管理的技术经济指标	222
参考文献		228

绪 论

一、我国的水资源和水能资源

众所周知,水是人类生存最重要的条件和自然资源,水能是一种主要的一次能源,而由它转化为二次能源的水电又是重要的电源之一。随着国民经济和社会的发展及人民物质文化生活水平的提高。人们对水和电的需求日益增长。从长远来看,水资源和水能资源是取之不尽,用之不竭的,然而却是有限的。由于需求量的不断增加和水污染的日趋严重,世界很多国家和地区出现了水资源危机,我国也面临着严重挑战。所以,如何充分、合理地开发利用水资源和水能资源,更好地满足国民经济发展的需要,是我国一项具有重大战略意义的任务。

我国幅员辽阔,江河湖泊众多,河流总长度达 42 万 km,流域面积 100km² 以上的河流约有 5 万多条。全国多年平均降水量 650mm,为我国提供了较为丰富的水资源和水能资源。但是,由于受地形和气候的影响,我国降雨和水资源的时空分布不均,东南多,西北少,且多集中在 7~9 月份。夏季暴雨集中,河道宣泄不及,往往造成洪水泛滥。如出现超过现有防洪能力的洪水时,全国土地近 1/10 的面积,1/2 的人口和 2/3 的工农业总产值将受到不同程度的威胁。所以,在开发利用我国水资源和水能资源时,必须同时注重防洪治涝,对河流湖泊实行综合开发治理。

我国地面水资源总量为 2.88 万亿 m³,居世界第六位,但人均占有量才 2500m³,仅为世界人均占有量的 1/4,远景可开发的地下水资源总量仅 0.77 万亿 m³,人均占有量才 640m³。由此看来,我国是一个少水国家。

我国江河的水能资源的总蕴藏量居世界首位,出力为 6.76 万亿 kW,年发电量为 59200 亿 kW·h,其中可开发量,出力为 3.78 亿 kW,年发电量为 19200 亿 kW·h。我国的海洋水能资源也很丰富,初步估算仅潮汐水能就有 1.1 亿 kW。

我国还是一个水运资源丰富的国家。流域面积 1000km² 以上的 1500 多条河流,大多冬季不冻,水量丰裕,具有发展水运的良好条件,可通航的内河水道总里程达 16 万 km,还有 2 万多 km 长的海岸线,有许多优良的不冻海湾可供建设港口。此外,全国众多江河、湖泊、水库的宽广水面为发展水产、旅游、水上运动等事业提供了极为有利的条件和前景。

二、我国水利水电事业的发展成就及存在问题

中华民族有着开发利用水资源,治理江河湖泊的悠久历史,积累了不少宝贵经验。古代大禹治水的传说,在我国家喻户晓。几千年来陆续建造了四川都江堰、南北大运河、沟通湘江与桂江的灵渠等举世闻名的水利工程,对农业生产和中华民族的文明起过积极的作用。建国以来,我国水利水电事业得到很大发展,取得了显著成就,截止 1988 年的 40 年间,修整和新建河流堤防 20.3 万 km,保护耕地 3252 万 hm²,保护人口 3.3 亿人;建成水

库 82900 多座,总库容达 4504 亿 m^3 ,其中 1 亿 m^3 以上的大型水库 355 座,库容 3252 亿 m^3 ; 1000 万~1 亿 m^3 的中型水库 2462 座,库容 681 亿 m^3 ; 1000 万 m^3 以下的小型水库 80120 座,库容 571 亿 m^3 ; 兴建水闸 26319 座,其中大型 300 座,中型 2060 座,小型 23959 座; 我国水电装机 1990 年为 3600 万 kW, 占全国电力总装机 13312 万 kW 的 27.1%; 水电年发电量 1990 年为 1260 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 占全国总电量 6180 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的 20.3%。

40 多年来,我国兴建的主要江河的防洪系统,包括防洪工程和水利水电工程,保护着全国一半以上人口和 2/3 以上的工农业总产值。在各地各有关部门组成的防汛指挥部的领导和指挥下,历次防洪都取得很大胜利,大大减轻了洪水灾害,保证了社会安全和经济建设的顺利进行。不少具有一定调节性能的水电站水库,兼有防洪、防凌、灌溉、城市与工业给水、水产养殖和水运等综合利用任务,这些工程的兴建和投入运行,对国家工农业的发展和人民生活水平的提高发挥了巨大作用,取得了显著的社会经济综合效益。

40 多年来,还建成万亩以上的灌区 5343 处,有效灌溉面积由建国初期低标准的 1600 万 hm^2 ,发展到 4800 万 hm^2 ,在不到全国总农田面积一半的灌溉土地上,生产出全国 2/3 的粮食和大部分油料、棉花等作物。同时,还治理洼涝土地 1907 万 hm^2 ,改良盐碱耕地 480 万 hm^2 ,治理水土流失面积 5133 万 hm^2 ,改良南方冷浸、烂泥田 333 万 hm^2 。这些措施在改良生态环境,发展生产,脱贫致富过程中都收到了显著效果。40 年来,水利建设还促进了城市、工矿区及农牧区供水的发展,重点解决了严重缺水城市的水源问题。1984 年以来,每年为城市供水 450 亿 m^3 ,基本保证了生产、生活用水,解决了农村 1.15 亿人和 0.67 亿头牲畜的饮水问题,发展牧区饲料基地灌溉面积和天然草场灌溉面积 67 万 hm^2 。

近 10 年来,水利系统还以自身的资源、技术、设备和人力优势,因地制宜地开展了水、农、工商、旅游等多种经营,给水利事业带来了生机和活力。通过水利建设还大规模地进行了平地改土、农村道路和农田林网建设;在一些地区还为发展水产和旅游事业创造了条件,并为防治血吸虫病,消减钉螺作出了贡献。

40 多年来,我国水利水电事业虽然取得了巨大成就,但对照我国国民经济发展需要和水资源及水能资源开发利用现状,还存在一些亟待解决的问题。水利方面的主要问题是:大江大河的防洪标准普遍偏低,洪水灾害仍然是四化建设和社会安定的主要威胁;水资源短缺,已成为一些地区工农业发展的主要制约因素;水资源污染日趋严重,已成为我国最突出的公害之一;水利工程设施由于缺少必要的大修、更新、改造制度和资金,不少设备破损,工程老化,有的已无法使用,再加上人为破坏严重,效益逐年衰减;水土流失尚未得到有效控制,许多地方边治理边破坏,甚至破坏大于治理,水土流失面积有扩大趋势。

水电方面的主要问题与我国能源电力工业长期落后于国民经济发展、电力长期供不应求的形势密切相关。虽然我国水能资源藏量为世界第一,40 年来的水电发展速度也很高,但是由于种种原因,开发利用程度仍很低,与世界平均水平,特别是与发达国家的水平差距很大。根据 1986 年底的统计资料,水能资源开发程度以已开发部分的容量和电量占相应可开发量的百分比表示,世界容量平均值为 256%,电量平均值为 21%;相应地,美国为 45% 和 40%;原苏联为 23% 和 20%,印度为 23% 和 19%;而我国仅为 7% 和 6%。至 1990 年底止,我国水能资源的开发程度容量才达 9.3%,电量仅 6.5%。面对我国能源电力不足,

供需矛盾突出的形势，大力开发水电对发展国民经济具有特别重要的意义。此外，已投入运行水电站的效益还未得到充分发挥，水电站及整个电力系统的运行管理体制还未很好理顺，管理水平还不够高。所以为减缓电力供需矛盾，除大力加速电力建设，特别是水电建设外，还必须加强对水电站及电力系统的科学管理，充分发挥水电站的发电和综合效益，使运行管理水平不断提高。

三、今后我国水利水电事业的发展任务

我国《国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要》为解决上述问题指明了方向，为进一步发展我国水利水电事业提出了奋斗目标和具体任务及政策。到2000年与水利、水电有关的主要任务和目标是：建设一批治理大江大河大湖的水利设施和引水工程，增加农田灌溉面积，同时把现有浇灌面积中的相当一部分建成能够抵御旱涝灾害的稳产高产农田，积极推广节水浇灌技术，并把此作为农业基础建设的大事来办；把能源、水利等都列为基础工业、基础产业和基础设施，放在重要战略地位，实行适度的投资倾斜政策，坚持开发与节约并重的方针，在搞好现有企业填平补齐、挖潜改造的同时，有计划地新建、扩建和改建一批大中型电站（包括水电、火电和核电）、煤矿、油田……、水利等骨干工程，……到2000年原煤产量达到14亿t左右原油产量有较大增长，发电量达到11000亿kW·h左右……。

“八五”期间水利建设的任务是：努力提高抗御洪水灾害的能力，防治水土流失，巩固和改善现有水利设施，增加农田浇灌面积，5年内新增浇灌面积200万hm²，要着手建设一些跨流域的调水工程，逐步缓解华北和其它重点缺水地区、缺水城市的供水困难，努力解决部分地区人、畜饮水困难的问题；大力提倡节约用水。5年内继续建设长江、黄河、淮河、海河等堤防加高加固和防洪排涝工程，建设重点水库的除险加固工程；进一步治理洞庭湖、鄱阳湖、太湖，以及黄河中游、长江上游等重点水土流失区，开工建设南水北调工程、小浪底水利枢纽工程、万家寨水利枢纽和引黄入晋工程，继续抓紧长江三峡工程项目的审查（全国人大已于1992年4月批准将兴建三峡工程列入十年规划）；加强重点农业开发区和荒地滩涂开垦中的水利工作。

“八五”期间与水电建设密切相关的电力工业的总方针和总任务是：坚持开发与节约并重的方针，把节约放在突出位置。电力方面，实行因地制宜、水火电并举和适当发展核电的方针；要重视水电建设，认真贯彻大中小相结合，梯级开发和综合利用的方针，要在水力资源丰富的黄河上游、长江干支流和红水河流域加快水电的开发；5年内，重点建设四川二滩、广西岩滩、西藏羊卓雍湖、青海李家峡等水电站，努力加强农村电力建设。1995年全国发电量要达到8100亿kW·h，比1990年增加1920亿kW·h。

今后我国发展水利水电事业的任务是艰巨的，但经过努力是可以完成的。

四、水资源系统工程与水资源系统运行调度

一定地区的水资源是指该地区可用于社会生活，保障各种目的的地面水和地下水，其中可用于发电的部分，专门称之为水能资源（或水力资源）。水资源的开发利用体现了人对大自然的依存和改造关系，涉及到诸多方面和因素，是一个复杂的系统工程。一定地区的地面河网系统和地下水资源系统及其所拥有的水资源和该地区的水文地质、地貌、土壤、植

被等自然要素构成天然水资源系统；而由此天然水资源系统和在其中兴建的以满足国民经济各部门对水资源开发利用和治理要求，并涉及到该地区生态环境、经济和社会等方面因素的各种工程技术设施的人工系统共同组成的复杂大系统，则称为水资源系统，或称水利系统，也可以称水利水电系统。

作为一门学科，水资源系统工程是面对当代水资源问题的动态多变性和随机性，水资源工程的多目标性和多用途性，以及水资源系统内外诸多方面和大量因素及其间复杂的关系，利用系统优化理论、方法和电算技术等现代科学技术分析研究水资源系统的一门新的工程学科。它的主要任务是从系统整体优化出发，协调和满足国民经济各部门对水资源开发利用和治理要求及其与环境的关系，充分发挥水资源的各种功能，寻求获得尽可能大的经济、社会和环境生态等综合效益的水资源系统规划、设计和运行管理决策方案及其实施措施。

水资源系统工程是近 30 多年发展起来的新学科。国内外在这一学科领域进行了广泛的研究和应用，取得了大量有价值的成果，逐步形成了这一学科的理论方法体系。较全面系统地反映这一学科体系的是各国著名学者先后发表的一些学术水平较高的总结性论著。

在美国，1962 年出版了 Maass A 等人合著的《水资源系统设计》，首次提出并论述了水资源工程的系统设计思想和方法及应用问题；1970 年 Hall W. A. 和 Dracup J. A. 正式用《水资源系统工程》这一学科名称著书，介绍了为更好地实现规定目标而如何把水资源系统的各种功能作为一个整体设计的分析方法；1972 年 Buras N. 在《水资源科学分配》一书中围绕水资源系统的设计和应用这一核心问题，着重介绍了概率法、数学规划法和模拟法及计算技术在水资源工程中的应用；1976 年发表了 Biswas A. K. 的《水资源管理的系统方法》；1977 年 Haimes Y. Y. 的《水资源系统递阶分析》介绍了大规模复杂水资源系统的模型建立、分析和优化的系统方法理论，重点介绍了具有不同组成部分的系统多用途、多目标问题的定量分析及大量实例研究和应用；1981 年 Loucks D. P. 等人的《水资源系统规划与分析》一书较全面地阐明了水资源系统的规划设计问题及西方各国广泛使用的求解这些问题的方法。该书不仅较全面系统地研究了水文、水资源问题，还较深入地介绍了对水资源有重大影响的水质控制等问题。

在原苏联，水资源系统常称之为水利系统。随着水利电力事业的发展，原苏联学者一直重视水资源及水能资源开发利用和运行管理理论方法的研究和应用，发表了一系列有份量的著作。如 Крицкий С. Н.，Менкель М. Ф.，Картвелишвили Н. А.，Сванидзе Г. Г.，Шавелев Д. С.，Обрезков В. И.，Васильев Ю. С.，Вознесенский А. Н.，Елаховский С. Б.，Цветков Е. В.，Резниковский А. Ш. 等人的著作；近年来还发表了很多用系统分析方法研究水利系统和水资源综合利用的论著。

在我国，近 10 多年来对水资源系统理论方法也进行了广泛研究，取得了长足的进展。1985 年出版的《优化理论在水库调度中的应用》汇集了 70 年代末至 80 年代初我国有关水资源系统中水库优化调度的代表性研究和应用成果；80 年代以来，我国不少单位重点转向水库群联合调度研究，并已取得一定成果。1987 年出版的张勇传的《水能优化管理》对水资源系统和电力系统中水电站的优化管理理论和方法作了较深入的研究，1988 年出版的

由华士乾主编的《水资源系统分析指南》是一本将系统分析理论和方法与我国流域和地区水资源规划、设计和运行管理的实践密切结合的工具书。1990年出版的冯尚友的《多目标决策理论方法与应用》，在论述了多目标决策理论方法的基础上，着重介绍了在水资源工程多目标规划及管理方面的研究成果。1991年出版的冯尚友的另一本书《水资源系统工程》介绍了大系统工程理论和多目标决策技术研究和解决水资源规划及运行管理的理论与方法。

当今，水资源系统工程已以其明确的方向、丰富而复杂的研究内容和先进的科学理论方法及技术手段确立了其独特的学科地位，然而它仍然是一门发展的学科。随着社会、经济和科学技术的进一步发展，水资源系统工程需不断丰富、完善和发展。无疑，国内外学者已往的研究成果，特别是公开发表的具有代表性的总结性著作作为水资源系统工程学科的进一步发展奠定了基础。

水资源系统运行调度是水资源系统工程学科的主要组成部分之一，重点是用系统优化理论和方法，研究水资源系统或水利水电系统在开发方案和工程规模与参数已定情况下的运行管理问题。水资源系统运行调度是水资源规划及利用专业的一门主要专业课程。根据专业培养目标，学生通过本课程的学习，应能掌握水资源系统的水量、水能和水质合理运行调度的基本理论和方法，以便在一定水利水电设施条件下，充分发挥水资源在国民经济中的作用。

本课程与本专业的另外两门重要专业课《水资源开发利用》及《水资源系统分析与规划》有着密切的联系。后两门课程也是水资源系统工程学科的重要组成部分，重点是用常规方法和系统优化理论方法研究和选定水资源系统开发方案、工程规模与参数。本课程还与本专业其他课程，特别是数学规划、水文学、水资源技术经济、环境水利学、水资源系统建筑物等有着密切联系。

第一章 水资源系统运行调度总论

第一节 水资源系统的结构与管理

一、水资源系统的结构

一般来说,水资源系统或水利系统是一种多目标、多层次的,不断发展的,具有大量相互联系和作用单元及因素的开放复合大系统。但是水资源系统的具体结构是多种多样的。仅为满足国民经济和社会某一部门、某一方面要求而提供服务,发挥功能的水资源系统称为单目标系统,为满足若干部门和方面的要求,发挥多种服务功能的水资源系统称为多目标系统。

按具体功能目标,水资源系统可区分为防洪系统、排涝系统、灌溉系统、水电系统、工业与城镇居民供水系统、水运系统、水资源保护(环境水利)系统、综合水利系统、水利水电系统等。

一个大规模的复杂的水资源系统除包括各种工程技术设施的人工系统外,还包含流域河网系统、地下水资源系统及其他自然因素所构成的天然水资源系统,还涉及到与水资源系统管理有关的经济行政系统,以及与环境保护有关的生态、自然、工程技术和社会经济系统。一般来说,这种水资源系统的功能不是一成不变的,而是随其内部和外部各因素影响的变化不断改变和发展的;其本身与其边界外部有着各种物质、能量和信息的不断交换。因此它是一种不断发展的开放复合大系统。

水资源系统按作用层次范围可区分为不同层次范围的系统。

区域(地区)水资源系统,这是为统一治理和利用某一地区的水资源而由几条河流域水资源系统共同组成的大规模水资源系统。如我国东北地区的松辽平原水资源系统,华北、华东地区的黄淮海平原水资源系统等。

河流域水资源系统,它是为保证国民经济各部门和社会对某一条河流流域(包括干支流河网系统)水资源的联合治理和利用,由该流域天然水资源系统及其境内为形成、输送、调节和治理利用地表和地下水资源而兴建的各种水利水电工程技术设施系统组成的综合系统,它可作为区域水资源系统的子系统,也可作为单独的系统。

某一河段的水资源系统(或称水利综合体)是指该河段的天然水资源系统与为治理和利用该河段的水资源而兴建的大坝、水库,以及为各种目标服务的所有工程技术设施所组成的综合体。它可作为流域水资源系统的子系统,也可作为单独的系统。

水资源工程(或称水利工程)作为上述各层次系统的子系统,或独立的水资源系统,是为对某一范围的地表和地下水资源进行控制、调配,达到兴利除害目的而兴建的工程。如防洪工程,排涝、排渍工程,水电工程,灌溉工程,城镇供水工程,航道及港口工程,环境水利工程等。其中,具有综合利用效益多种服务功能的水利工程称为综合利用水利工程或多目标水资源工程。

二、水资源系统管理的任务与内容

水资源系统运行调度是水资源系统管理的有机组成部分之一，因此，应对水资源系统管理有一个基本了解。水资源系统管理，也称水利管理，是指对其所辖范围内的水资源、水域和水利工程所进行的运行调度、保护和经营的所有工作。其任务是：保护和合理使用水资源、水域及已投入运行的水利工程，用尽可能少的投入，最大限度地减免水害，增加水利，为国民经济、社会及人民生活提供有效的防洪、防涝、用水和供水等服务。水资源系统管理是整个水利事业的重要环节，必须通过这一环节科学合理地运用各种工程设施，控制调节水资源，以实现水利规划的设想、意图和目的，达到工程设计规定的各项要求、目标和任务。

水资源系统管理工作的主要内容包括行政管理、技术管理、经济管理和法制管理。也就是说，水资源系统管理工作需要通过各种行政、技术、经济、法制等手段和措施来开展和完成。

水资源系统运行调度是水资源系统管理中技术管理的一部分。技术管理的基本任务是：经济科学的治理、调配、利用和保护水资源，调节地表水和地下水的水位、流量、水深，适时适量地输送水量，按标准保护水质，以满足国民经济各部门和社会对水资源系统的要求；保护水利工程建筑物和设备的完好与安全，使之能正常持久地发挥作用，防止发生或减少事故和灾害；保持水域环境的蓄水、过水、排水能力和正常使用条件；不断进行技术改造，以适应水利管理事业发展和科学技术进步的要求。

本课程主要论述水资源系统技术管理中的运行调度问题，其任务及内容将在本章第三节介绍。

三、水资源系统管理和运行调度的特点

水资源系统管理和运行调度有如下主要特点。

1. 目标的综合性与效益的整体性

水资源的治理、利用和保护，涉及到国民经济许多部门及地区和社会的诸多方面，许多水资源系统，小至某一项水利工程，大到一个区域水资源系统，一般都是多目标多层次结构的系统。参加水资源系统的国民经济和社会各部门、各方面对河流水域的治理、水资源利用和保护要求之间，以及这些要求与水资源满足的有限可能性之间都有着这样或那样的联系和矛盾。水资源系统是连接生态环境与社会经济的桥梁，是协调二者关系，促进其良性循环与持续发展的媒介和必要条件，与这两方面存在密切联系和矛盾。同时，河流水系又是一个整体，水利工程的上、下游，左、右岸相互关联，其运行调度的好坏，直接影响到各部门、各方面的安全和利益。所以，为了合理治理、利用和保护水资源，各部门、各地区、上下游左右岸都必须服从全局，着眼于获得最大整体效益，按多目标综合治理、利用和保护的原则，妥善处理各部门、各方面的矛盾，协调相互的利害关系，分工协作，进行统一调度和管理。

2. 水资源的随机性和系统工作的风险性

作为治理和利用对象的水资源是在各种服从于一定概率分布规律的地球自然物理因素影响下形成的，其在时间上的变化是一种随机过程。径流随机过程由径流的确定性变化和

随机性变化两部分叠加而成，且随机变化的比重很大，而要进行准确的长期水文径流的单值预报是不可能的。径流的随机变化既表现于年际间，也体现于年内。在年际间，各年的径流量有很大差别，但可发现有连续若干丰水年和若干枯水年相间的周期，且周期长短不定，也具有随机性质；年内径流变化周期历时一年左右，具有明显的季节性，即有丰水期和枯水期，但各时刻、各时段（日、旬、月）径流的多年变化是随机的。

径流的随机多变性质直接影响到水资源系统的输出及其运行方式。这种影响虽然可通过水资源系统中水库及天然河道和湖泊的调蓄作用得以减弱，但完全消除是不可能的。这意味着人们不可能预先准确确定水资源系统的输出及其运行方式，水资源系统的工作要冒一定的风险。如防洪，虽然可以通过水库等防洪工程及其他防洪措施减少洪水灾害，但若出现未预料的特大洪水时，也难以避免洪水灾害。也就是说，水利工程本身及防洪保护对象还可能受到洪水危害。针对这一特点，运行调度和管理必须要以水资源系统和水利工程及其防洪保护对象的、与一定风险率相应的设计标准和防洪标准为依据，贯彻工程防洪安全第一的原则，否则工程安全得不到保障，也就更谈不上为各部门提供其他服务。

再如水力发电，由于受水资源随机多变的影响，水电站和电力系统的正常工作就可能遭受破坏，即水电站在特枯水年份的工作要冒被破坏的风险。类似地，其他兴利工程系统的正常工作也不能百分之百地得到保证，也要冒一定风险。水资源系统运行调度和管理的目的是要使这种风险限制在规定范围内，使其正常工作破坏所带来的损失最小，并获得尽可能大的运行效益，更好地满足各部门和各方面的要求。

3. 运行的经济性

水资源是通过水文循环可以再生的资源。它一旦开发，水利工程投入运行后，水资源系统的运行管理费用与其对各用水部门所提供水量的多少基本无关。这一特点，对水资源系统和电力系统中的水电站更有特殊的经济意义。因为其发电量多少主要取决于来水的大小，其运行管理费用基本上不因此而有所增减，所以，在其运行调度时，应使水电站尽量利用水能多发电，以减少电力系统中火电站的发电量及相应的燃料消耗，从而可提高整个电力系统供电的经济性。

4. 调度的机动灵活性

这一特点包含两方面的含义，一方面，针对水资源及用水用电等信息的随机多变和不可准确预测的特点，水资源系统需要有一系列专门的测报、指挥、通信和控制调度系统和技术措施，要随时根据客观情况的变化机动灵活地进行调度；另一方面，水资源系统的工程设备，如各种取水、进水、泄水建筑物及其闸门、水电站水轮机等动力设备，也具有启闭迅速、工作灵活的特点，能够适应水资源系统供水、供电多变而需机动灵活调度的要求。这一特点使水电站易于适应电力负荷的急剧变化，利于在电力系统中承担调峰、调频和调相的任务。

5. 问题的复杂性和多学科性

如前所述，水资源系统是一种多目标、多层次、不断发展的，具有大量相互联系、相互作用单元和因素的开放复合大系统，这就决定了水资源系统运行调度和管理问题及其求解的复杂性，运行调度和管理理论是一种涉及诸多学科的边缘学科，它综合应用了自然科

学、工程技术和社会科学中许多学科的新知识和新的研究成果，包含有系统优化理论、自动控制理论和现代数学方法及电算技术，涉及到水文气象、水力学、地质、生态环境、农业、工业、经济、管理、电力、机电设备、通信等多种学科和部门知识。根据这一特点，要注意配备具有各种专业知识的运行调度和管理人员，特别要求运行调度人员应具备较深广的专业知识和较强的工作能力，只有这样，才能适应水资源系统运行调度和管理工作的需要。

第二节 水库与水电站的地位和作用及国民经济和社会对水资源系统的要求

一、水库与水电站的地位和作用

为治理和开发利用河流的水资源和水能资源，常在其干支流上修建一系列的水库和水电站，为开发利用地下水资源可修建地下水库。

水库是水资源系统的重要组成单元，是调节径流、进行调度的主要工具和技术设施，在其中占有中心地位。存入水库的水，经过调节进入取水建筑物，引入输水和配水渠道，供给各用水部门；或经过调节引进水电站、船闸等过水建筑物，被利用后，通过泄水建筑物和溢洪道，泄至下游河道。

水电站在水资源系统中具有特殊的地位和作用，它既是水资源系统的重要组成单元，又是电力系统的主要动力单元。其主要作用在于利用水能发电。

众所周知，现代水电站一般都投入一定电力系统运行。电力生产一个明显的特点是电力的生产、输送和使用是同时进行的，这就要求电力系统中的各类电站（包括水、火电站及核电站）的发供电方式与电力系统中用户的用电方式相适应。显然，电力系统中各电站之间、电站与用户及其他动力单元之间有着密切的联系，因此，水电站的运行方式必然会受到整个电力系统的制约，同时也影响到其他电站的运行方式。另外，由于水电站也是水资源系统的组成单元，它的运行方式会受到整个水资源系统的制约，同时也影响到其他水利单位的运行调度方式。

显然，水库与水电站在为满足国民经济和社会对水资源的治理和开发利用要求的水资源系统运行调度中，发挥着关键性的作用。

二、整个国民经济和社会对水资源的治理要求

整个国民经济和社会对水资源系统运行调度提出的治理水资源的要求，主要是防治水害，即防洪、排渍、排涝的要求。

1. 防洪要求

洪水历来是对人类的最大威胁之一，洪水灾害是水害最重要的表现形式，给国民经济、社会和人民生命财产带来严重损失和影响，防御洪水是综合治理水资源的首要任务。根据洪水规律与洪灾特点，研究并采取各种对策和措施以防止或减轻洪水灾害的水利工作，称为防洪。对水资源系统运行调度的防洪要求，总的是进行防洪调度，即合理利用防洪工程、防洪系统等各项工程与非工程措施，有计划地调节洪水，尽可能减免洪水灾害。具体要求

是：为确保水资源系统中水库大坝等水利工程本身及防洪保护对象的安全，要求水库在汛期留出一定的调洪和防洪库容，以防御、蓄纳汛期随时可能出现的不同标准的设计洪水；为使洪水安全下泄、滞蓄洪水、削减洪峰、减少对河道堤防的威胁，要求防洪河道平时要保证有足够的过水能力，滞蓄洪区要具备及时容纳一定洪水的效能。

防洪调度要以一定的洪水标准为依据。一般洪水标准以洪水的重现期表示，或以洪峰流量、洪量出现的频率表示。通常条件下能确保水利工程和水工建筑物本身防洪安全的洪水标准称为正常设计标准，简称设计标准。按此标准推求设计洪水，进行调洪计算，以确定水利工程规模参数和水工建筑物尺寸。考虑到水文径流资料的可靠性有一定限度，为减少风险程度，保证在遇到比设计洪水更大洪水时，水利工程和水工建筑物不致破坏和发生事故，还选定一个更高的非常设计标准作为校核标准，用以推求校核洪水，对工程规模参数及建筑物尺寸进行校核计算。设计和校核洪水标准是根据水利工程和建筑物等级及参照有关设计规范选定的。如若大坝为Ⅰ级建筑物，规范规定设计标准为千年一遇（0.1%），校核标准为万年一遇（0.01%）；若大坝为Ⅱ级建筑物，设计标准为百年一遇（1%），校核标准为千年一遇（0.1%）等。

防洪保护对象要求达到的防御洪水标准称为防洪标准，也常以一定洪水的重现期或洪水频率表示，也可以用某一实际洪水作为防洪标准，如“以1954年洪水”为防洪标准。

实际上，防洪标准常以经过防洪系统合理调度能保证防护对象安全的、与某一防洪标准洪水相应的防洪控制点的最高防汛保证水位或河道安全泄量来体现。

防护对象的防洪标准是根据防护对象的重要性、历次洪灾严重程度及其影响情况，结合其他具体条件按规范规定数值选定的。如对特别重要城市、特别重要工矿区、500万亩以上的农田，规定防洪标准为百年一遇；对重要城市、重要工矿区、100~500万亩面积的农田，防洪标准为50~100年一遇等。

2. 排渍、排涝要求

对水资源系统运行调度的排渍排涝要求是：合理运用排渍、排涝排水系统的工程措施，并与其他非工程措施相配合，排除渍涝区的多余水分，减除渍涝灾害。

排渍是指排除渍害田或城乡地区由于地下水位持续过高或土壤上层滞水造成耕作层或其他作业层水分过多的工程技术措施。

排涝，也称治涝或除涝，是指排除农田或城市内因当地降雨过多，而产生危害作物生长和城市人民正常工作和生活的多余地表水分的工程技术措施。

通过排渍、排涝和其他有关措施后，渍、涝区达到防止渍涝灾害能力的定量指标称为防渍治涝标准。

防渍标准以满足防渍要求的地下水最小埋深或与之相应的地下水最高水位表示。

农田的治涝标准以被排除的一定设计暴雨的重现期表示，可根据经济效益分析，参照有关设计规范选定，一般采用5~10年一遇。经济条件好的地区及自流排涝区应取较高的治涝标准，而经济条件差的地区和抽水排涝区，则应取较低的治涝标准。

三、各部门的兴利用水要求

各部门用水可分为河道外用水与河道内用水两大类。河道外用水包括农、林、牧业的

灌溉用水、农村人畜饮用水、工矿企业生产用水和城镇居民生活用水等；河道内用水包括水力发电用水，以及航运、放水、排沙、河口冲淤、环境水利、旅游等方面的用水。河道内用水，大部分并不耗水，而要求保证一定的流量、水量、水位、水深和水质。河道内用水可根据一水多用原则，进行用水量组合，以月或旬为时段，计算确定全年的综合用水过程。

各部门的用水要求，有一致的方面，也有不一致而发生矛盾的方面。要求一致的方面是，除个别少量自水源单独引水外，各部门都要求水资源系统中的水库对多变的天然径流进行调节，在时间上重新分配，以适应各自的用水方式，满足其正常工作所必需的用水。各部门要求不一致而发生矛盾的方面，主要表现在用水量、用水方式、用水地点和时间上，这要通过水资源系统统一调度和综合协调来合理地解决。

1. 电力部门的发电要求

因为水电站及其水库既是水资源系统的组成单元，又是电力系统的动力单元，所以水资源系统的运行调度，除满足防洪及其他兴利等水利要求外，还必须从电力系统安全可靠和经济供电的整体利益出发，满足电力部门对其中水电站及其水库提出的两项基本要求。

第一项基本要求是可靠性要求，即为了保证电力系统对电力用户安全可靠供电，针对水电站运行方式依径流随机多变的特点，要求水电站在一定时期内以一定出力和电量工作的保证率（相应于水电站工作的一定风险率），不得低于某一规定的保证率。在规划设计阶段，这一规定的保证率为设计标准，称为发电设计保证率。但“设计”保证率易使人误解，好象它只有在设计时才有用。实际上，设计是对运行的筹划，运行是对设计意图的具体实施。显然，在运行阶段必须满足电力系统的可靠性要求，作为反映可靠性标准的设计保证率，更应作为检验和评价运行效益的重要指标。然而，在运行阶段由于实际情况（如电力系统的结构组成、电力负荷水平和负荷图、水资源系统综合利用任务和目标、径流资料等）的变化，根据原设计保证率计算和选定的用电、用水指标，甚至水电站及其水库的某些参数，都可能改变。因此，在运行阶段必须定期复核这些指标、参数及相应的保证率。

水电站设计保证率是预先规定的水电站在多年内正常工作不受破坏的概率。通常将相应于设计保证率的水电站至少应承担的电力负荷图称为保证出力图，对无调节和日调节水电站以日出力过程表示；对年调节和多年调节水电站以其一年内各时段平均出力过程和最大（峰荷）出力过程表示，分别称为年平均出力保证图和年最大（峰荷）出力保证图。其中，一定临界期的平均出力习惯上称为保证出力。这一临界期相应的电量称为保证电量。水电站按保证出力图工作的方式称为水电站的保证运行方式。

水电站正常工作的保证率常以其正常工作不受破坏的相对历时或相对年数表示，前者称为历时保证率，后者称为年保证率。由于在破坏年分内还有一部分时间正常工作不受破坏，所以历时保证率大于年保证率。

第二项基本要求是经济性要求，即为了使电力系统工作更经济，用户用电更便宜，也即为了最大限度地节省电力系统中火电站的燃料消耗和运行费用，针对水电站发电经济，成本较低的特点，要求水电站应充分利用水能多发电。

2. 农业部门的灌溉要求