

张元禧 编著

实用水库 调节计算

SHIYONG SHUIKU

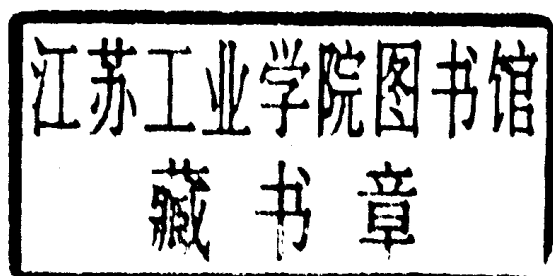


TIAOJIE JISUAN

水利电力出版社

实用水库调节计算

张元禧 编著



水利电力出版社

2434/13

内 容 提 要

本书汇集了作者在频率组合、多年库容计算数值法与变动供水多年库容计算线解图等方面的一些研究成果,介绍了与水库调节计算有关的其它内容和一般方法。包括多年调节计算数理统计法、时历法、直接总库容法、统计模拟法与考虑水量序列相关的方法以及年调节计算与调洪计算等。为便于应用,书中编有组合频率计算和多年库容计算的 BASIC 通用程序,并绘有一系列适用于变动供水多年库容计算的线解图。

本书可供水利水电部门从事规划、设计与管理工作的科技人员使用,也适用于水利水电专业师生参考。

实用水库调节计算

张元禧 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.625印张 168千字

1990年11月第一版 1990年11月北京第一次印刷

印数0001—1900册

ISBN 7-120-01225-8/TV·413

定价6.00元

前 言

我国幅员广阔，水资源的时空分布远不能满足工农业生产和城镇生活用水的要求。修筑水库调节河川径流，在我国已经是和仍将是重要的水利工程措施之一。无论是已建水库在管理运用期间，还是拟建水库在规划设计阶段，水库径流调节计算都是不可缺少的一项重要工作。

目前，水库调节计算的方法很多，但大都十分复杂，计算工作量很大，尤其是变动供水水库的多年调节计算更为繁复。

本书主要汇集作者近年来在变动供水水库多年调节计算数理统计法方面的一些研究成果，包括其核心内容的频率组合问题、多年库容计算数值法的数学模型、通用电算程序和实用线解图。为求体系完整以满足实际工作应用需要，书中还编入与水库调节计算有关的其它内容和一些常用的方法。

全书共分六章。第一章简述水库径流调节的重要意义、主要形式、依据的基本原理和必备的基本资料等。第二章从概率原理入手，着重阐述频率组合的基本理论，介绍频率组合的各种具体方法，提出适用于特定条件下的频率组合解析解，并配以通用电算程序。第三章较详细地介绍计算多年库容数理统计法的各种具体方法，提出了变动供水多年库容计算数值法的数学模型，配以通用电算程序，并提供一系列实用线解图。第四章除了对常用的年调节计算方法作一般介绍外，并分别就年调节水库库容计算和合成总库容的年库容计算在设计代表年选择等问题上作了讨论。第五章简介计算多

年库容的数理统计法以外的一些常用方法，包括：时历法、统计模拟法、直接总库容法和考虑水量序列相关的方法等。第六章简介水库调洪计算的列表试算法、几种主要的图解法和简化方法等。

本书承蒙河海大学周之豪教授详细审阅，提出了许多宝贵的意见，为提高书稿质量，给予了悉心指导和大力帮助。在写作过程中，得到合肥工业大学校领导和土木工程系领导的鼓励和支持；庄淑贞副教授参加了本书的讨论和定稿工作；硕士研究生丁瑞勇为调试电算程序和上机操作运算，付出了辛勤劳动。在此谨致以诚挚的谢意。

限于作者水平，书中定有许多不妥和错误之处，殷切希望广大读者指出和批评。

张元禧

1988年10月于合肥

目 录

前 言

第一章	概论	1
第一节	径流调节的意义	1
第二节	径流调节的基本原理与主要形式	3
第三节	径流调节的基本资料	7
第二章	组合频率	19
第一节	频率组合的基本原理	19
第二节	频率组合图解法	21
第三节	频率组合图解分析法	25
第四节	频率组合参数法	28
第五节	频率组合解析法	30
第三章	计算多年库容的数理统计法	53
第一节	多年库容计算的基本方法	54
第二节	固定供水多年库容计算线解图	62
第三节	变动供水多年调节的基本方法	66
第四节	多年库容计算数值法	69
第五节	多年库容计算实用公式	99
第六节	变动供水多年库容计算线解图	104
第四章	年调节库容计算	137
第一节	年调节列表计算法	139
第二节	年调节时历图解法	144
第三节	年调节简化方法	148
第四节	年调节水库的库容计算问题	149
第五节	合成总库容的年库容计算问题	155
第五章	计算多年库容的其它方法	160

第一节	多年调节时历法	160
第二节	统计模拟法的应用	165
第三节	直接总库容法	169
第四节	考虑水量序列相关的方法	173
第六章	水库调洪计算	188
第一节	调洪计算的基本原理	189
第二节	调洪计算列表试算法	191
第三节	调洪计算图解法	194
第四节	调洪计算简化法	200
附 录		
附表一	经验频率表 $\left(P = \frac{m}{n+1} \times 100\%\right)$	202
附表二	P-III型曲线的离均系数 ϕ 值表	204
附表三	P-III型曲线的模比系数 K_p 值表	216
附表四	相关系数检验(r_0 值)表	234
附表五	概率格纸的横坐标分格表	235
参考文献		236

第一章 概 论

第一节 径流调节的意义

径流调节的涵义，在广义上泛指人类对于地面径流和地下径流自然过程的一切有意识的干预；在狭义上则指运用工程措施改变河川径流在时程分配或（与）地区分布上的原有特性。

我国河川径流的多年均值约为27115亿 m^3 ，居世界第六位，但人均径流量只有2630 m^3 ，相当于世界平均值的1/4；耕地亩均径流量约1800 m^3 ，相当于世界平均值的2/3，这些数字足以表明我国的水资源并不丰富。

此外，我国的大陆性季风特点非常显著，夏秋受太平洋和印度洋的湿润气候影响，降水量较多；冬春受亚欧大陆中心和蒙古高原的干冷气团控制，降水量较少。在自然地理方面，东部和南部滨临海洋，气候湿润，雨量多；西北内陆受高原和山脉阻挡，季风难以深入，气候干燥，降水少。水资源的地区分布与上述降水量的分布基本相似，自东南沿海向西北内陆递减，地区分布极不平衡。长江流域及其以南地区径流量约占全国的81%，而耕地只占全国的36%；黄、海、淮三大流域径流量约占7.5%，而耕地却占40%，南北水土资源的分布相差十分悬殊。

再则，我国降水量和径流量在时程分配上也极不均匀，年内变化很大，全国大部分地区冬春少雨，夏秋多雨，全年

降水量大都集中在夏季。如东北、华北、西北、西南广大地区，降水量集中在6~9月，占全年正常降水量的70%~80%，且多以暴雨形式出现，甚至一日暴雨量超过了年平均降水量。我国降水量的年际变化也很大，且有连续少水年和连续丰水年交替出现的现象。如淮河（蚌埠站）的年径流量，在丰水年可比少水年大13.5倍；又如松花江自1916~1928年连续13年属少水期，平均年径流量比正常年份少40%，而自1960~1966年又连续7年为丰水期，平均年径流量却比正常年份多32%。降水量和径流量在时程分配上的不均匀性，北方要甚于南方，尤其是在水资源缺乏地区更为突出。

另一方面，截至1981年底统计，我国已建成库容在10万 m^3 以上的水库8.6万多座，其中库容在1000万 m^3 以上的大、中型水库2600多座，总计库容达3500多亿 m^3 ，可提供年调节水量约1200亿 m^3 ，约占全国工农业生产和城镇生活用水总量的1/4。根据有关方面预测资料，至21世纪初，全国河川径流可供水量需由现在的4216亿 m^3 增至5871亿 m^3 ，净增长1655亿 m^3 ，初估需净增总库容2000亿 m^3 。

为了合理开发利用水资源，协调国民经济各用水部门在用水上的矛盾，解决来水和用水在时空分布上的不一致性，必须采用调蓄径流、提高枯水流量、削减洪峰与跨流域调水等工程措施。为了除害兴利的目的，水库的径流调节计算必须包含兴利调节和洪水调节两部分内容。

综上所述，无论从已建蓄水工程的验算要求来看，还是从拟建调蓄工程的规划设计工作来看，进行水库径流调节计算的必要性和重要性非常明显，任务是十分繁重的。

第二节 径流调节的基本原理 与主要形式

径流调节计算主要在于推求水库的蓄水量变化过程 $V(t)$ ，这取决于水库径流量过程 $W(t)$ 和水库供水量过程 $M(t)$ 。按水量平衡原理，水库的水量平衡方程式为

$$dV(t) = dW(t) - dM(t) \quad (1-1)$$

或
$$dV(t) = [Q(t) - q(t)]dt \quad (1-2)$$

式中 $dV(t)$ 、 $dW(t)$ 、 $dM(t)$ ——分别为水库的蓄水量、径流量与供水量在 t 时刻的微分变量, m^3 ;

$Q(t)$ 、 $q(t)$ ——分别为 t 时刻水库的来水流量与供水流量, m^3/s ;

dt ——时间微分变量, s 。

实际计算中, 通常按离散时段进行计算, 计算式为

$$\Delta V(t) = [\bar{Q}(t) - \bar{q}(t)]\Delta t \quad (1-3)$$

式中 $\Delta V(t)$ —— t 时刻 Δt 时段内水库蓄水量的变化值, 正值为增量, 负值为亏量, m^3 ;

$\bar{Q}(t)$ 、 $\bar{q}(t)$ ——分别为 t 时刻、 Δt 时段内水库的平均来水流量与平均供水流量, m^3/s ;

Δt ——离散计算时段的步长值, s 。

根据河川径流特性, 水库担负的兴利任务, 用水部门的需求和技术经济等因素, 水库兴利调节计算可有不同调节周期。按照水库蓄泄循环时间的长短, 兴利调节可区分为以下几种主要调节形式:

1. 日调节

大多数河流除暴涨暴落的洪水时期外，其天然径流量在一昼夜内几乎保持不变。但是，有些用水部门的需水要求，即使在一昼夜间也常呈现不均匀情况，如城镇供水或灌溉用水，往往白昼多于夜间；发电用水则随用户的用电负荷，在昼夜间变化。

日调节的作用在于储存一昼夜内来水富裕时段的多余径流量，以补充来水不足时段的亏缺供水量，重新分配一昼夜24h内的天然径流。日调节一般只在枯水期进行。通常认为，水库调节容积为枯水日一昼夜总水量的20%~25%，水库就具有日调节功能。

2. 周调节

在枯水季节，河流的天然流量一周内的变化一般是很小的。但是，用水部门在一周内各日的需水要求却不尽相同，如星期日因企事业单位休假，用电负荷降低，发电用水随之减少。

周调节的作用在于将一周内余水日的径流量蓄存起来，以调剂其它缺水日，重新安排7天里的天然径流。周调节的库容一般也不大，在任何情况下，都小于枯水日的日来水量。

3. 非周期性短期调节

日调节和周调节都属短期调节，其蓄泄循环都具有各自的周期性。此外，尚有非周期性短期调节，如南方的塘坝工程，一般在年内蓄泄频繁，但无固定周期性；山溪小水库为放筏需要，短期蓄水后按需要集中放水以增加溪谷水深。

4. 年调节

我国河流天然径流的季节变化一般都很大，而有些用水部门（如水电、航运与城镇供水等）年内需水要求变化并不

大；有些用水部门（如农田灌溉）年内需水变动虽较大，但常与天然径流的季节变化不相吻合，甚至相矛盾，这都要求调节河流径流，使在年内重新分配，以满足用水部门的不同需水要求。

年调节是最常用的调节形式，其任务在于重新调配一年内的天然径流，即将洪水季节的洪水全部或部分蓄存在水库内，以供应枯水季节不足的亏缺水量。能蓄存全部洪量的称完全年调节；仅能蓄存部分洪量而有废泄水量的称不完全年调节，或季调节。显然，两者的概念是相对的，对于不同丰、枯年份，划分的属性不一。在水库勘测规划阶段，作为初步评判的经验数值，调节库容约为多年平均径流量的2%~8%时，属季调节；8%~30%时，属完全年调节。但是也不能一概而论，应视天然年径流的变差系数以及来水和供水过程线的性态等因素而定。

5. 多年调节

我国许多河流的天然径流，不仅年内季节变化大，而且年际洪枯变化也相当剧烈，造成丰水年份水量过剩，枯水年份水量亏缺。多年调节是调节功能最高的一种调节形式，不仅对年与年之间，往往还对连续若干年的年组与年组之间起到蓄盈补亏的调节作用，如图1-1所示。通常认为水库的调节库容要达到多年平均径流量的30%以上才具有多年调节作用。多年调节库容一般较大，有时可达多年平均径流量的2~3倍。多年调节库容应包括多年库容和年库容两部分。

水库的径流调节系根据水量平衡方程式（1-3）逐时段进行调节计算。对于多年调节计算主要有以下三种计算途径：

（1）时历法 根据实际的河流径流量和水库供水量资

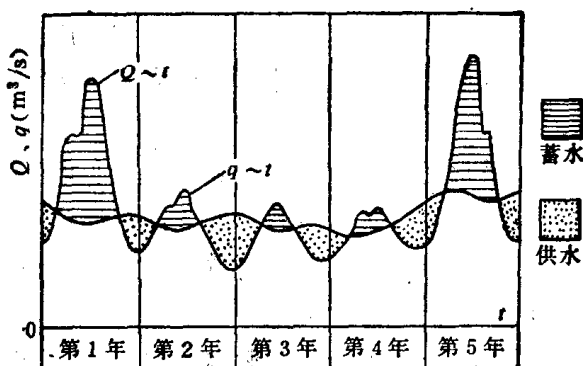


图 1-1 径流多年调节过程
 $Q \sim t$ 水库来水流量过程线; $q \sim t$ 水库供水流量过程线

料, 按时序过程进行调节计算; 然后, 通过概率统计方法, 分析得出调节流量与多年库容的概率特性。

(2) 统计试验法 首先对实际的河流径流量和水库供水量资料进行概率统计处理, 表征为各自的均值、变差系数 C_v 、与偏差系数 C_s , 以及各自的序列相关系数和两者的互相关系数。并用统计试验 (Monte-Carlo) 法生成保持原序列统计特征值的模拟序列资料, 模拟序列的长短可根据需要加以确定。然后, 按生成的河流径流量和水库供水量资料, 再用时历法进行具体调节计算。

(3) 数理统计法 在概率统计处理实际的河流径流量和水库供水量资料的基础上, 应用频率组合原理, 先分析年来水量和年供水量组合所得的年差值水量概率特性, 再探求在一定多年库容条件下, 年差值水量和水库蓄水量组合的概率特性, 进而建立调节流量与多年库容及供水保证率之间的关系。

本书主要讨论水库多年调节兴利库容计算，尤其着重于数理统计方法的应用，对于多年调节的其它一些方法，以及年调节计算和调洪计算等内容，只作一般介绍。

第三节 径流调节的基本资料

水库径流调节计算所需的基本资料，可归纳为河川径流资料、水利部门需求情况以及水库特性等三大类。

一、河川径流资料

河川径流资料是水库径流调节计算的主要依据，所需的径流资料具体内容与水库的调节性能及所采取的调节计算途径有关，一般应包括：

(1) 流域自然地理概况 主要是流域的水文地理资料，如流域的面积、地貌、土壤、植被，河系的分布、水量与面积增长，河床及河谷的现状、坡降等。

(2) 坝址断面处水文资料 包括全观测期的逐日或旬、月平均流量与最小、最大流量及其统计特征值；年正常径流量、年径流量的统计特征值和年内分配特性，以及最大洪水流量、洪水统计特征值、洪水总量、洪水过程线和坝址至保护区的区间洪水资料等。

(3) 其它水文气象资料 如降雨、蒸发、冰情、固体径流与水化学等资料，以及水位流量关系曲线等。

二、水利部门需求情况

综合利用水资源是我国水利建设的一项重要原则。与水库综合利用有关的水利部门，包括兴利与除害两大部分。除害部分主要是防洪与治涝；兴利部门有灌溉、水电、给水、航运、渔业、环保与旅游等。

1. 灌溉

农田灌溉是耗水部门，其引用水量除少量回渗地下含水层外，绝大部分通过蒸散作用消失于大气中，不再重返河流。灌溉用水量与灌溉面积、作物组成、农作物的需水特性和灌溉制度等因素有关，且直接取决于灌区范围的降雨量及其分布特性，一般与河川径流量关系密切。

灌溉用水量在年内和年际都有不同变化，因此，要分析计算年正常灌溉用水量及年灌溉用水量的统计特征值和年内分配特性。

灌溉设计标准，应根据灌区水土资源情况、作物组成、水文气象条件、水库调节性能、国家开发要求以及工程技术经济等因素进行合理选择。作物生育期的灌溉设计保证率一般可参照表1-1数值选用。

表 1-1 灌溉设计保证率(%)

地 区	作 物 种 类	灌溉设计保证率(%)
缺 水 地 区	以旱作物为主	50~75
	以水稻为主	70~80
丰 水 地 区	以旱作物为主	70~80
	以水稻为主	75~95

注 摘自《水利水电工程水利动能设计规范》。

2. 给水

城镇给水也是耗水部门。城镇工业和生活用水必将随着社会主义现代化建设的发展而日益增长，一般对水质要求较高，对于城镇排放的工业废水和生活污水，必须经过净化处理才允许泄入天然水域。

给水的用水量相对较小，但由于对国民经济和人民生活影响重大，必须予以优先考虑，给水的年设计保证率较高，一般采用95%~99%。

3. 水电

水力发电只利用水能，并不耗水，其尾水尚可用于下游各用水部门。水力发电用水，根据水电站承担的电力负荷来确定，发电用水量与水电站水头、水库调节性能及其在系统中的运行方式有关。

水力发电的保证率通常用年保证率和时历保证率表示，须视水库调节性能而选用，对年调节、多年调节水库一般采用年保证率，对其它调节形式则取时历保证率。水电的设计保证率，应主要根据水电站所在电力系统的用户组成与负荷特性、系统中水电容量的比重等因素，并考虑河川径流特性、水库调节性能、水电站的规模和电力系统中的作用，以及设计保证率以外年份或时段的出力降低程度和保证系统可能采取的应急措施等因素进行分析。对于大、中型水电站年设计保证率可参照表1-2选用；装机容量小于25000kW的小型水电站，设计保证率一般采用65%~90%；农村小水电则多采用与灌溉用水相同的设计保证率，或采用60%~70%。

表 1-2 水电设计保证率(%)

主 要 用 户 性 质	系统中水电站容量比重		
	<25%	25%~50%	>50%
大工业区、重要工农业基地、重大城市的公用事业	80~90	90~95	95~98
一般工农业及城市公用事业	75~85	85~90	90~97

注 参照《水利水电工程水利动能设计规范》。

4. 航运

利用江河、湖泊、水库发展航运，对航道的宽度和水深等规格，按不同的航道等级有不同的具体要求。利用水库调节径流，可以改善航运条件，调节方式有采用在枯水期连续放水和间断放水两种。根据维持设计航深的要求，可推算通航需水过程线。对于库区通航，有时要求减小库水位变幅。在径流调节时应予考虑。

航运设计保证率按最低通航水位的时历（日）保证率计算，在季节性航道上，系对通航季节而言。航运设计保证率根据航道等级结合其它因素确定，可参照表1-3选用。

表 1-3 航运设计保证率

航道等级	I	II	III	IV	V	VI	VII
浅滩最小水深 (m)	>3.2	2.5~3.0	1.8~2.3	1.5~1.8	1.2~1.5	1.0~1.2	0.8~1.0
时历设计保证 率(%)	98~99	93~97	90~95	85~95	80~93	80~90	75~90

5. 渔业

库区养鱼要求水库在枯水年、季维持足够的水深和库容，要防止库水污染。为保护回游性鱼类的繁殖，常设置鱼梯过鱼或采取开闸放鱼等措施，因这些措施耗用的水库水量，在径流调节计算时应予考虑。

6. 防洪

利用水库调蓄洪水是防洪的主要工程措施之一。当水库不承担下游防洪任务时，其下泄洪水流量可不受限制，但由于水库本身固有的滞蓄作用，客观上也起到滞洪作用。而当水库承担下游防洪任务时，则下泄洪水流量应不超过下游河