



- 高等学校水利类专业教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水文水利计算

主 编 李继清 门宝辉
副主编 张 成 张验科 周 婷
主 审 梁忠民



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



- 高等学校水利类专业教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水文水利计算

主 编 李继清 门宝辉
副主编 张 成 张验科 周 婷
主 审 梁忠民

内 容 提 要

本书为高等学校水利学科专业规范核心课程教材,高等学校水利学科教学指导委员会组织编审的系列教材,同时也是普通高等教育“十二五”规划教材。书中阐述了工程水文设计和水利计算的基本原理与方法,以水文现象、水文统计、洪水频率分析、设计洪水计算、设计暴雨计算、城市及小流域设计洪水计算、最大可能暴雨(洪水)为水文分析计算的主要内容,同时,以年径流分析计算、水库兴利计算、水能计算和防洪计算等方面的知识为水利计算的主要内容,共同构成水文水利计算的两大组成部分。

本书为高等院校水文与水资源工程专业本科核心课程教材,也可供从事水文、水利工程管理及其他水利类专业师生和水利工程技术人员参考,也可供交通工程和市政工程专业的技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水利计算 / 李继清, 门宝辉主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2015. 8
普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材
ISBN 978-7-5170-3464-3

I. ①水… II. ①李… ②门… III. ①水文计算—高等学校—教材②水利计算—高等学校—教材 IV. ①P333
②TV214

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第174652号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材 水文水利计算
作 者	主 编 李继清 门宝辉 副主编 张 成 张验科 周 婷 主 审 梁忠民
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19.75印张 468千字
版 次	2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书是根据普通高等教育“十二五”规划教材编制计划编写完成的，是高等院校水利工程类本科专业的通用教材，也是水文与水资源工程专业本科核心课程教材，同时也是高等学校水利学科教学指导委员会组织编审的系列教材。

本书以2011年编写的华北电力大学校内教材为基础，根据华北电力大学2008版人才培养方案编写完成的，同时也是水文与水资源工程本科专业核心课程试用教材。现根据高等学校水利学科专业规范核心课程教材的建设要求和国家普通高等教育“十二五”规划教材编制计划，结合2010—2014年4年来的实际应用和2013年新修订的专业人才培养方案，继续补充和完善校内教材的基础上编写而成。

本书以水文统计、洪水频率分析、设计洪水计算、设计暴雨计算、城市及小流域设计洪水计算、最大可能暴雨（洪水）为水文分析计算的主要内容，同时，以年径流分析计算、水利兴利计算、水能计算和防洪计算等方面的知识为水利计算的主要内容，共同构成水文水利计算的两大组成部分。教材取材丰富，涵盖了工程水文水利计算的主体内容，章节编排合理，体系完整，用例详实，适于本（专）科以上水利类相关专业教学使用，也可供工程技术人员参考。

本书由华北电力大学李继清、门宝辉主编，李继清主持编写了水文计算部分，门宝辉主持编写了水利计算部分。全书共分11章，各章的编写人员为：第一章由李继清编写；第二章由张成编写；第三章由李继清、海青编写；第四章、第五章、第六章由李继清编写；第七章、第八章由李继清、张验科编写；第九章、第十章、第十一章由门宝辉、张验科、周婷编写。

全书由河海大学梁忠民教授主审，主审人对书稿进行了认真细致的审查，并提出了许多建设性的修改意见，编者在此深表谢意。

本书编写中，主要引用和参考了由刘光文主编的《水文分析与计算》（水利电力出版社，1989年）、叶守泽主编的《水文水利计算》（水利电力出版社，1992年，2008年第9次印刷）、叶秉如主编的《水利计算及水资源规划》（中

国水利水电出版社，1995 年）和梁忠民主编的《水文水利计算》，同时还参阅和引用了有关院校和科研单位编写的相关教材、著作和技术文献，并在书末列出了主要参考文献。本书的编写和出版，得到了华北电力大学教务处、中国水利水电出版社的大力支持，并得到了国家自然科学基金（41340022）和华北电力大学“教学名师培育”项目的资助，中国水利水电出版社朱双林编辑对书稿进行了认真仔细的编辑，编者在此一并致谢。

限于编者水平，书中有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 6 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 水文水利计算的研究内容	1
第二节 水文现象基本规律与研究方法	1
第三节 主要计算方法及进展	3
第四节 水文水利计算的任务与工程应用	10
第五节 本课程主要内容	11
第二章 水文现象	13
第一节 水文循环及水量平衡	13
第二节 河流和流域	18
第三节 降水	21
第四节 蒸发	25
第五节 下渗	31
第六节 径流	35
第三章 水文统计的基本方法	40
第一节 概述	40
第二节 概率的基本概念	41
第三节 随机变量的概率分布及其统计参数	42
第四节 水文频率分布线型	48
第五节 皮尔逊-Ⅲ型分布参数估计方法	53
第六节 现行水文频率计算方法——适线法	58
第七节 相关分析	63
第四章 由流量资料推求设计洪水	72
第一节 概述	72
第二节 设计洪峰流量及设计洪量的推求	74
第三节 设计洪水过程线的推求	81
第四节 分期设计洪水与施工设计洪水	83

第五章	由暴雨资料推求设计洪水	86
第一节	概述	86
第二节	暴雨特性的分析及暴雨资料的审查	86
第三节	设计面暴雨量的推求	88
第四节	设计暴雨的时、空分布	91
第五节	设计净雨的推求	93
第六节	设计洪水过程线的推求	101
第七节	分期设计暴雨	112
第六章	小流域设计洪水计算	115
第一节	概述	115
第二节	小流域设计暴雨计算	115
第三节	计算洪峰流量的推理公式	118
第四节	计算洪峰流量的地区经验公式	125
第五节	设计洪水过程线的推求	127
第七章	可能最大暴雨和可能最大洪水的估算	131
第一节	可能最大暴雨的基本知识	131
第二节	可能最大暴雨估算方法——典型暴雨极大化法	134
第三节	可能最大暴雨等值线图集的应用	136
第四节	可能最大洪水的推求	137
第五节	古洪水研究及应用	138
第八章	设计年径流分析计算	143
第一节	概述	143
第二节	具有长期实测资料的设计年径流量分析计算	145
第三节	具有短期实测资料的设计年径流量计算	148
第四节	缺乏实测资料的设计年径流量计算	154
第五节	设计年径流年内分配的分析计算	157
第六节	日流量历时曲线	159
第七节	设计枯水流量分析计算	160
第八节	径流随机模拟	161
第九章	水库的兴利调节计算	163
第一节	水库特性曲线、特征水位及特征库容	163
第二节	水库设计标准	166
第三节	水库水量损失	169
第四节	水库死水位选择	170
第五节	水库兴利调节计算原理及调节分类	172
第六节	年调节水库兴利调节计算	178

第七节 多年调节水库兴利调节计算 184

第十章 水电站水能计算 191

第一节 水能利用的基本知识 191

第二节 水电站的设计保证率 195

第三节 电力系统的负荷及其容量组成 197

第四节 无调节、日调节水电站的水能计算 201

第五节 年调节水电站的水能计算 215

第六节 灌溉水库水电站的水能计算 221

第十一章 防洪计算 228

第一节 概述 228

第二节 水库调洪计算的原理和方法 231

第三节 水库防洪计算 238

第四节 入库洪水计算 243

第五节 溃坝洪水计算 250

第六节 堤防防洪水利计算 253

第七节 分（蓄）洪工程水利计算 261

习题 265

第一章 绪论 265

第二章 水文现象 265

第三章 水文统计的基本方法 268

第四章 由流量资料推求设计洪水 272

第五章 由暴雨资料推求设计洪水 278

第六章 小流域设计洪水计算 281

第七章 可能最大暴雨和可能最大洪水的估算 282

第八章 设计年径流分析计算 283

第九章 水库的兴利调节计算 288

第十章 水电站水能计算 291

第十一章 防洪计算 293

附表 297

参考文献 308

第一章 绪 论

第一节 水文水利计算的研究内容

兴利与除害是水利工作的主要任务，也是水利事业发展中的永恒主题。要达到兴利除害的目的，必然要修建各种水利工程。长期以来，由于水利工程建设的需求推动了水文学的发展，水文学的许多实用技术又为水利工程建设提供了有力的支撑。水文学是研究地球系统中水的存在、分布、运动和循环变化规律的科学，是地理学的一个重要分支。工程水文不仅对水利水电工程建设有巨大的作用，而且对国民经济的许多部门也是非常重要的。例如道路桥涵、航运码头、城市排水等，在规划设计和管理中都要用到由水文分析计算提供的数据，在防汛和洪水预报中也是不可缺少的。所以，水文学科在国民经济建设中的作用将越来越重要。

工程水文水利计算的最终目标就是为修建水利设施提供各种设计参数，因此，也可称为工程水文与水库水利计算，简称水文水利计算。水文水利计算包括两方面的内容，即水文计算和水利计算。

水文计算是为防洪排涝、水资源开发利用和桥涵建筑等工程或非工程措施的规划、设计、施工和运用，提供水文数据的各种水文分析和计算的总称。其主要任务是，估算工程在规划设计阶段和施工运行期间可能出现的水文设计特征值及其在时间和空间上的分布。

水利计算指的是水资源系统开发和治理中对河流等水体的水文情况、国民经济各部门用水需求、径流调节方式和经济论证等进行分析计算。通过水利计算获得的成果，可为建筑物的设计和设备工作状态的选择提供数据，以便确定建筑物的规模和设备的运行规程，同时也为各种水资源工程的投资和效益、用水部门正常工作的保证程度和工程修建后的后果等作经济分析、综合论证提供定量依据。水利计算分为灌溉工程的兴利计算、水电站的水能计算、水库防洪计算以及综合利用水库的水利计算。径流调节是指对河川径流在时间和空间上的再分配，使之适应国民经济等用水部门的需要。径流调节计算按服务对象分为防洪径流调节计算和兴利调节计算，它是各类水利计算的基础工作。

第二节 水文现象基本规律与研究方法

一、水文现象的基本规律

地球上的水在太阳辐射和重力的作用下，以蒸发、降水和径流等方式周而复始地循环，这些现象称为水文现象。自然界水文现象的发生和发展过程，由于受气象要素和地质、地貌、植被等下垫面因素以及人类活动的影响，情况是十分复杂的。但是，人们可以

从中寻求出一些规律和特性认识这些规律和特性,有利于开展水文研究和业务工作。总体说来,这些水文现象具有时间变化和空间分布上的规律。

1. 时间变化规律

水文现象在时间变化上与其他自然现象一样,具有必然性和偶然性,在水文学中通常称前者为确定性,后者为随机性。

(1) 水文现象的确定性规律。河流每年都具有丰水期和枯水期的周期性交替规律,冰雪水源的河流则具有以日为周期的流量变化规律,产生这些现象的根本原因是地球公转、自转和周期性变化。再如,在流域上降落一场暴雨,相应地就会出现一次洪水。如果暴雨强度大、历时长、笼罩面积广,产生的洪水就大;反之,则小。显然,暴雨与洪水之间存在着因果关系。由此说明水文现象都具有客观发生的原因和具体的形成条件,从而存在确定性的规律,也称为成因规律。它具体又包含了周期性成分和非周期性成分。周期成分:是以一定时间间隔重复出现的成分。如河流每年都有一个汛期和一个非汛期,在冰雪水源的河流上水文现象具有日周期变化,有些河流还具有连续干旱或洪涝多年变化的周期;非周期性:趋势、跳跃成分是连续或突然上升或下降的一种成分。如水库下游的年径流量在水库修建前后有一个突然下降的成分,有些湖泊由于泥沙淤积水位有逐年上升的趋势。

(2) 水文现象的随机性规律。影响水文现象的因素错综复杂,其确定性规律常常不能完全用严密的数理方程表达出来,于是,在一定程度上又表现出非确定性,称随机性。例如根据暴雨洪水的成因规律进行洪水预报,尽管能取得较好的效果,但由于计算中忽略了一些次要的偶然因素的干扰,从而使预报成果表现出某种程度的随机误差。河流某断面每年出现最大洪峰流量的大小和它们出现的具体时间各年不同,也具有随机性,即未来的某一年份到底出现多大洪水是不确定的。但通过长期观测可以发现,特大洪水和特小洪水出现的机会很少,中等洪水出现的机会多,多年平均值则是一个趋于稳定的数值,洪水大小和出现机会形成一个确定的概率分布,这就是所说的随机性规律,因为要掌握这种规律,常常需要统计学的知识,由大量的资料分析出来,故又称统计规律。它具体包含了独立随机成分和相依随机成分。独立随机成分(纯随机):现象之间互不影响,完全独立。如河流中每年最大洪峰流量年年不同,汛期出现的时间有前有后、有长有短;相依随机成分(自相关):现象之间按照顺序不是独立的,具有一定的相关关系。如持续丰水年组或枯水年组。

2. 空间分布规律

水文现象在空间变化上,还具有相似性和特殊性规律。

(1) 相似性。不同流域所处的地理位置(经纬度、距海远近等)相似,气候条件与下垫面条件也相似,那么由相类似的气候及地理条件综合影响而产生的水文现象,在一定程度上就具有相似性。如湿润地区河流的径流年内分配比较均匀,而干旱地区河流的径流年内分配就很不均匀。

(2) 特殊性。不同流域虽然所处的地理位置与气候条件相似,但由于下垫面条件的差异,也会有不同的水文现象,这就是水文现象的特殊性。如在同一气候区,山区河流与平原河流的洪水运动规律就不相同;岩溶地区与非岩溶地区河流的水文规律也不相同。

总之，水文现象的相似性是相对的，而水文现象的特殊性是绝对的。

从上述水文现象的基本特性可以看出，水文现象的变化规律是错综复杂的。为了寻找它们的变化规律，做出定性的和定量的描述，首要的工作是进行长期的、系统的观测工作，收集和掌握充分的水文资料。根据不同的研究对象和资料条件，采取各种有效的分析研究和计算方法。在水文计算中经常采用的方法有成因分析法、数理统计法以及地区综合法等，这些方法是相辅相成，互为补充的。当今水文模型的应用，包括物理模型和数学模型，特别是水文数学模型引起了人们的重视，丰富了现有的水文计算方法。

二、水文研究方法

根据水文现象的基本规律，其研究方法相应地也分为以下几种：

(1) 成因分析法。水文现象与其影响因素之间存在着成因上的确定性关系，通过对实测资料和实验资料加以分析研究，可以从水文过程形成的机理上建立某一水文现象与其影响因素之间确定性的定量关系，这样，就可以根据过去和当前影响因素的状况，预测未来的水文现象。这种利用水文现象确定性规律来解决水文问题的方法，称为成因分析法，它在水文分析计算中得到广泛应用。

(2) 数理统计法。根据水文现象的随机性，以概率理论为基础，运用频率计算方法，可以求得某水文要素的概率分布，从而得出工程规划设计所需要的设计水文特征值。利用两个或多个变量之间的统计关系（相关关系），进行相关分析，以展延水文系列使其更具有代表性。

(3) 地区综合法。根据气候要素和其他地理要素的地区性规律，可以按地区研究受其影响的某些水文特征值的地区变化规律。这些研究成果可以用等值线图或地区经验公式表示出来，如多年平均径流深等值线图、洪水地区经验公式等，称为地区综合法。利用这些等值线或经验公式，可以求出资料短缺地区的水文特征值。

(4) 耦合法。将成因分析法、数理统计法、地理综合法等进行组合而产生的研究方法，称为耦合法。如实时洪水预报方法就是用成因分析法进行产汇流预报，用数理统计法进行误差实时校正；单位线的地区综合公式就是用成因分析法推求单位线的参数，用地理综合法进行参数的地区综合。

第三节 主要计算方法及进展

水文计算的根本任务是分析水文要素变化规律，为水利工程建设提供未来水文情势预估。动态规律与统计规律是自然现象中客观存在的两种基本规律，反映着事物的必然性和偶然性两类范畴的存在与作用。对动态规律可采用确定性的方法进行了描述，如水文科学中采用圣维南方程组描述水流运动；对统计规律可采用随机性的方法进行了描述，如根据水文观测样本估计某一水文事件发生的可能性（概率）大小。由于自然水文过程的极端复杂性，确定性和不确定性表象的多样性，动态规律和统计规律的共存和交互作用，决定了对水文现象的认识既要采用确定性的方法，也要采用随机性的方法。在研究水文水利计算的具体问题时，一般联合采用基于质量守恒、动量守恒、能量守恒的确定性数学物理方法和基于概率论与数理统计原理的统计方法，共同解决水文要素预估、工程水文设计、调度方

案确定中的科学问题。

一、水文计算方法

在我国水利水电工程设计中,目前是由规范统一规定工程的设计标准,再根据这个标准确定相应的水文事件作为设计条件。为此,国家和有关部门曾颁发相关的国家和行业标准,以及相应的设计规范,如 GB 50201—94《防洪标准》、SL 44—2006《水利水电工程设计洪水计算规范》、SDJ 10—77《水利水电工程水利动能设计规范》等。在进行具体工程设计时,根据水利工程的规模、重要性及效益情况,按其中的规定即可确定其等级和相应的设计标准,再采用相应方法进行工程设计计算。因此,对水文计算的具体要求是:推求在工程运用期间,当地可能出现的符合设计标准的水文变量或水文过程。

应该指出,现行水文计算方法在解决水文极值数量大小和时、空分配等问题上,理论还很不完善,在面临实际设计时又受到资料条件的限制,因此在实用上就往往不够可靠(缺乏实测资料时更甚)。鉴于这种情况,目前在水文计算的实际工作中,当计算成果可能偏大或偏小,而根据又不很充分时,往往适当地考虑安全因素,如在设计值上增加安全修正值等来确定最后选用的计算成果。

水文计算方法的发展在国内外都经历了从早期的经验估算,过渡到近代基于数理统计理论的水文频率分析和基于水文气象成因分析的 PMP/PMF 计算,至目前侧重各种方法融合、随机性与确定性方法平行发展的过程。近几十年来,气候变化和人类活动对自然水文过程的影响不断加剧,给依靠历史资料推断水文极值变化规律的水文计算带来了新的挑战,但同时,新问题的出现和理论的进步也推动了水文计算方法的不断发展。除了传统的水文频率分析和 PMP/PMF 方法仍在不断完善外,水文计算还在如下诸多方面逐渐形成研究热点并取得进展:

(1) 基于风险分析理论的防洪标准研究。现代意义的风险是事故发生概率和其后果的度量(通常定义为两者的乘积),因此其既具有自然属性也具有社会属性。以水利水电工程为例,工程失事后的风险不仅取决于工程失事的可能性(事故风险率)大小,而且也取决于失事后造成洪灾损失的大小(包括生命、经济和环境损失),前者是工程风险的自然属性,后者是其社会属性。现行防洪工程的建设是以防御设计洪水作为其设计依据,在确定设计标准时根据的是工程的重要性和规模,并不直接考虑工程失事后引起损失的大小,认为工程失事的风险就是设计洪水被超过的可能性。按照这样的观点,两个具有相同设计标准的工程,不管其建于失事后引起损失较大的地区还是损失较小的地区,其承担的风险都是一样的,这显然不甚合理。另外,工程是否失事不仅与洪水有关,而且与工程的防洪能力或承载能力有关。随着工程使用年限的增加、材料的老化等因素,承载能力是变化的(如可能会降低),所以工程的事故风险率并不就等于洪水的发生频率,而目前采用的方法中是将两者等同。由于上述原因,现行防洪工程的设计标准并不能确切反映工程所应承担的实际风险。因此,基于现代风险理念的防洪标准问题得到了广泛的关注和研究,有些研究成果已应用于国外的大坝安全评价中。

(2) 气候变化和人类活动对设计成果的影响。现行的水文计算方法假设水文事件的规律在过去、现在和未来都是不变的,即假设研究的水文过程是平稳的。要满足这一假设,

意味着形成水文过程的气象气候条件在很大的时间尺度上也必须是平稳的,人类活动对水文过程的影响也必须是始终相同的,显然这极难满足。虽然通过水文资料的一致性分析可以一定程度地考虑迄今为止的人类活动影响,但却很难考虑气候条件可能改变的影响,而且也无法考虑未来人类活动可能产生的影响。全球范围的观测表明,百余年来地球的气候发生了较明显的变化(如全球变暖),这种变化是否改变了水文规律?未来的人类活动对下垫面及气候条件可能产生的影响,进而影响到水文过程,也是很难预测的。变化环境下,如何提高设计成果的可靠性,或者如何定量评价变化条件对设计成果的影响?这些都是目前水文计算研究中的热点,也是难点。

(3) 不确定性新理论、新方法的应用研究。水文过程是复杂的自然过程,蕴涵着随机性、模糊性、混沌等多种不确定性特征,现行的水文计算主要是采用统计方法描述其中的随机性特征。近年来,很多新的理论和方法被应用于研究水文计算问题。譬如,采用模糊数学方法进行水文极值的聚类 and 评估分析,采用混沌、分形理论研究降雨径流时空变化、设计洪水地区综合等问题。这些研究为揭示水文规律、丰富水文计算方法提供了新的途径。

二、水利计算方法

除了与水文计算一样,需要采用概率预估的思想方法来解决水利计算的问题外,基于水量平衡原理的调节计算方法是水利计算的主要研究方法。按照研究的对象和重点,调节计算可分为洪水调节和枯水调节,洪水调节主要解决防洪问题,枯水调节重点解决兴利问题。调节计算过程中必须兼顾工程或规划方案的经济性、安全性和可靠性要求,在研究方法上有传统方法与近代系统分析方法之分。

对于综合利用水利工程,传统调节计算方法在处理多目标问题时往往选择一个主要目标,如发电为主、灌溉为主、城镇供水为主等,其他次要目标在兴利调节过程中则简化处理,又如对于水量不大但很重要的部门需水,可选择在来水中扣除的方法处理(百分之百地满足)。

兴利调节计算,需要供需两方面的信息,径流系列(来水)资料由水文计算提供,需水量必须结合国民经济、社会和生态环境保护规模与发展状况确定。在以需定供的水利系统中,一般水利工程建设在解决供需矛盾时,都要求有一定的预见性,需水量不以现状实际需水为基础,而是采用设计水平年的需水为基础。需水预测精度是影响工程经济性和可靠性的重要因素,预测结果偏小,工程很快达到设计供水能力,很快就不能满足受水区域的需水要求,供水保证率下降,丧失供水可靠性;反之,预测结果偏大,工程长时间达不到设计效益,建设资金积压,造成经济损失,经济性下降甚至丧失。需水预测是一项十分复杂和困难的工作,目前大都分类预测,根据不同用户的用水特点和需水影响因素采用不同的预测方法,常用的方法有:趋势预测、指标(定额)预测、重复利用率提高法、弹性系数法等。

灌溉、城镇供水等只要求水利工程在特定的时间提供特定数量的水量,属于水量调节的范畴。水量调节计算方法可分为时历法和数理统计法两大类。时历法是先根据实测流量过程逐年逐时段进行调节计算,然后将各年调节后的水利要素值(如调节流量、水位或库容等)绘制成频率曲线,最后根据设计保证率得出设计参数,时历法是一种先调节计算后

频率统计的方法。时历法根据资料情况和计算深度要求又有长系列与典型年法之分,长系列对计算结果作频率分析,得到设计值,其保证率概念明确,在条件许可时,是首选方法;典型年法以来水的频率代替设计保证率,忽略了供需平衡中的“过程”组合,由于来水年内分配影响,往往来水的频率与设计保证率不完全一致。数理统计法则先对原始流量系列进行数理统计分析,将其概化为几个统计特征值,然后再通过数学分析法或图解法进行调节计算,求得设计保证率与水利要素值之间的关系,也就是先频率统计后调节计算的方法。对于多年调节水库设计,数理统计法可以一定程度上克服径流系列不够长,或即使有较长期的水文资料,多年调节中水库蓄满、放空的次数也不够多的缺陷。根据概率组合理论推求水库的供水保证率、水库多年蓄水量变化和弃水情况等,理论上较为完善;数理统计方法采用相对值计算,便于计算成果处理和概括,以及在不同河流上、不同水库间的计算成果的综合推广应用。为了得到多年调节所必需的连续枯水年的不同组合,实用中常根据历史资料建立随机模型,通过随机模拟的方法人工生成足够长的水文系列,供调节计算使用。

水电站水能计算属于水能调节的范畴。水能调节计算比水量调节计算复杂,水能的大小同时受到水量与水头两个因素的共同影响,水能开发的效益还与开发方式以及设备的效率等密切相关。水能计算全过程围绕水量平衡、电力平衡和电量平衡展开,计算方法上,由于水量平衡方程与出力方程组成的方程组无法得到解析解,所以,试算是水能计算中常用的求解方法。在保证出力计算、调度图绘制、多年平均电能计算等许多方面都需要试算,而且根据问题的性质还有顺时序与逆时序的差别。

洪水调节本质上属于水量调节,与兴利水量调节相比,有两点差别:①计算时段变小,洪水调节时段长一般以小时为量级;②在特定的时段调节计算时必须考虑泄流能力的影响,具体求解方法以水量平衡计算和试算为基础,与兴利计算基本相同。

三、研究进展

(一) 水文学进展

水文学是研究地球上各种水体的起源、存在、分布、循环和运动规律,探讨水体的物理和化学特性以及它们对环境作用的一门科学。

水文学是地球科学的组成部分,同时,也是现代技术科学的一个领域。它有许多实际用途。人类在争取生存和改善生活的生产实践中,特别是在与水灾、旱灾作斗争的过程中,对经常出现的水文现象进行探索,在不断认识和积累经验的基础上,并吸取其他基础科学的新思想、新理论、新方法,才逐步形成现代水文学。可以说,水文学的发展经历了由萌芽到成熟、由定性到定量、由经验到理论的过程。

1. 萌芽阶段(16世纪末以前)

该时期为了生活和生产的需要,开始了原始的水位、雨量观测,对水流特性进行观察,并对水文现象进行定性描述、经验积累、推理解释。世界上最早的水文观测出现在中国和埃及,比如《吕氏春秋》《水经注》等古代著作系统记载了我国各大河流的源流、水情,并记载了水文循环的初步概念及其他水文知识。公元前3000—前300年,古埃及人就开始了在尼罗河的水位观测;公元前450—前350年,希腊人初次提出了水文循环的臆说;公元前250年,我国在四川的都江堰设立石人观测水位。公元100—200年,东汉王充在

《论衡》一书中论述了水文循环的概念；1425 年我国颁布了测雨器制度；1452 年意大利人采用了浮标法测流速，并通过观测数据论证了水循环。当然，该时期由于人们的认识能力有限，对自然界水文现象了解不够，也不可能上升到水文学理论高度上，因此这一漫长的发展阶段仅仅称得上是水文学的发展起源或萌芽阶段。这一时期，被认为是水文学的萌芽时期，中国的水文知识居于世界领先的地位。

2. 形成阶段（17 世纪初至 19 世纪末）

该时期随着自然科学技术的迅速发展，水文观测实验仪器不断被发明和使用，特别是在 19 世纪以来，各国普遍建立水文站网和制定统一的观测规范，使实测的水文数据成为科学分析的依据，是实验水文学的快速发展阶段。并在此基础上，发现了一些水文学的基本原理，从而奠定了水文学的基础，逐步形成了水文学体系。该阶段的特点是：水文现象由定性描述到定量表达，水文学基本理论初步形成。1400—1900 年期间，水文实验兴起，一些水文观测仪器制造成功并开始使用，如毕托管、流速仪等，这一时期，科学家们提出了伯努利方程、谢才公式、达西定律等。这一时期，基本形成了以水文水利计算为主的新的分支学科，即应用水文学，但中国的水文科学在这一时期的进展比较缓慢。

3. 兴起阶段（20 世纪初至 20 世纪 50 年代）

该时期由于社会经济迅速发展，水利、交通、动力等急需大量开发，迫切需要解决工程建设中的许多水文问题，又由于实测水文资料的增长，水文站网的扩展，促进了水文预报和计算工作的发展。1900—1950 年各国逐渐建立起雨量站、水文站，以便更深入地了解和探讨水文规律，水文理论有了长足的进步，并开始应用于生产实践，应用水文学得到了很大发展。随着水文站网的发展及实测水文资料的逐年增加，促进了水文分析计算工作。进入 20 世纪，特别是经过两次世界大战的破坏后，各国都致力于经济的恢复与发展，迫切需要解决城市建设、交通运输、工农业用水和防洪等工程中的一系列水文问题，进而促进了水文科学的迅速发展。在该时期，除了许多经验公式和预报方法外，还出现了许多结合成因分析的推理公式、合理化公式以及相关因素预报方法等，如 1932 年谢尔曼提出单位线法、1935 年麦卡锡建立了马斯京根河道洪水演算法、1924 年福斯特完整地建立了 P-Ⅲ 型水文频率曲线计算方法等。与此同时，数理统计理论也开始应用于水文分析计算，这一时期被称为水文学的实践时期。该阶段的特点是：水文观测理论进一步成熟，应用水文学进一步发展，理论体系逐步完善。这一时期我国则比较落后。这一时期，许多应用水文学著作出版，标志着水文学进入了成熟期。

4. 现代阶段（20 世纪 50 年代以后）

1950 年以后，水文科学的深度和广度又得到发展。一是表现在水文科学理论的深入研究向相关学科的渗透，促使水文分析计算和预报出现了许多新方法；二是表现在计算机的普及、应用和 3S 技术大大改善均推动了水文学的发展，如水文系统的自动测报、实时水文预报方法等。一方面，随着计算机技术的发展和遥感遥测技术的引用，一些新理论和边缘学科的不断渗透，使得水文学发展增添许多新的技术手段、理论与方法；另一方面，由于人类改造世界的能力不断增强，活动范围不断扩大，再加上人口膨胀，出现了水资源

短缺、环境污染、气候变化等一系列问题,使水文学面临着机遇与挑战,调查、考证和分析历史洪水资料,以弥补资料系列的不足和代表性差的问题,也是这一时期的新特点。除了广泛调查历史洪水外,20世纪90年代又发展了古洪水研究,利用放射性同位素碳14获得全新世(约距今1万年)以来的古洪水信息,为我国大型水利工程的洪水设计提供了有重大意义的成果,特别是需要开展水资源及人类活动水文效应的研究。这也促进水文学进入了现代水文学的新阶段。本阶段的特点是:引进计算机技术和遥感遥测技术,一些新理论、新方法和边缘学科不断渗透,分支学科不断派生,研究方法趋于综合,重点开展水资源及人类活动水文效应的研究。

(二) 我国水文事业的发展

1. 水文信息技术方面

在1949年新中国刚成立时,全国仅有148个水文站,203个水位站,2个雨量站。而到了1978年,全国水文站发展到2922个,水位站发展到了1320个,雨量站发展到13309个,水质站800个,各种水文实验站33个。到2008年,全国已有水文测站37436个,水位站1244个,雨量站14602个,水质站5668个,地下水监测站12683个,蒸发实验站17个,径流实验站51个。在测站现代化建设方面也取得新成就,如建成测流缆道2162座,水文测船849艘,专用测车近300辆,配备多普勒测流仪341台,全站仪481个,卫星全球定位系统486套,水文自动测报系统300余处,自记水位站2000余处(其中能够遥测的水位站有1000多处),固态储存雨量设备有7000多个。目前,全国已建成了覆盖主要江河水系、布局合理、功能比较完善、项目比较齐全的水文站网体系。

水文观测资料也已按流域进行了整编刊印,1999年,《水文资料整编规范》发布后对原卷册划分作了个别修改,现为10卷75册。至1986年止,刊出历史水文资料及水文年鉴共2277册。1987年后,一些单位继续刊布水文年鉴,另一些单位将整编成果存入计算机,用打印或复印方式供应,没有刊布水文年鉴,至1990年后全国全面停刊水文年鉴。1979年,水利部水文局颁布《地下水观测试行规定》,地下水资料按省、直辖市、自治区或地区单独刊印,不再列入水文年鉴。1985年,水利电力部颁布《水质监测规范》,将水质资料单独编为《中华人民共和国水文年鉴水质专册》。此外,调查整理了6000多个河段的历史特大洪水资料并由各省汇编成册出版,较好地满足了水利建设和经济社会发展对水文信息的需求。

2. 水文实用技术方面

多年来,水文、规划设计及科学研究等多部门共同协作,进行了大量的水文统计分析工作,全国各地都编制出了水文特征值统计表、水文手册或水文图集等。1981年颁布了《水利水电工程设计洪水计算规范》,1983年颁布了《水利电力工程水利动能设计规范》,1975年8月河南驻马店大暴雨(简称“75·8大暴雨”)发生后,全国范围内开展了可能最大暴雨的普查研究,编制了《全国24h可能最大暴雨等值线图》及《暴雨洪水查算图表》等。1980年开始,开展了全国水资源综合评价与合理利用研究,分别于1987年和1989年出版了《中国水资源评价》及《中国水资源利用》。在此基础上,2000年又开始了第二次全国范围的水资源调查与评价工作。2005年起,为解决水库防洪与兴利的矛盾,实现洪水资源化,在许多大型水库又开始了汛限水位的设置与控制运用研究,在确保水库

安全的条件下，大大提高了已建成水库的综合利用效益。

新中国成立以来，水文预报工作从无到有，也已经逐步发展起来。目前，全国建立了水情中心 125 个、自动测报站 6385 个，占报讯站总数的 80%。全国七大流域机构和各省市的水雨情信息均可通过宽带传达到国家防汛抗旱总指挥部办公室，极大地提高了水文信息的时效性，实现了防洪抗旱异地会商、洪水预报的自动测报和优化决策。水文预报理论和方法也有很大发展，基本形成了符合我国国情的一整套水文预报方法，1985 年颁发、2000 年修订的《水文情报预报规范》，有力地促进了我国水文预报工作向着国际先进水平发展。

在水利计算方面，我国也相应地提出了设计规范，如 1995 年水利部颁布的 SL 104—95《水利工程水利计算规范》，另外，在技术手段上，从过去的手工绘图、解算发展到目前的编程电算化。

2011 年中央一号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》中指出“水是生命之源、生产之要、生态之基。兴水利、除水害，事关人类生存、经济发展、社会进步，历来是治国安邦的大事。”由此可见，我国的水利建设事业在未来将会有较大的发展，水文水利计算也将在水利建设中发挥着越来越重要的作用。

（三）水资源开发利用研究进展

目前水资源的利用越来越趋向多单元、多目标发展，规模、范围日益增大。但水资源又不能无限制地满足需求，许多矛盾需要协调，需要整体、综合地考虑。现代意义的水资源规划与管理，已经牵涉到社会和环境问题，故已经不是作为纯粹工程性质的所谓技术科学的一部分，而是在一定程度上已经从工程技术的水平过渡和提高到了环境规划的水平。因此，现代意义的水资源的开发、利用或水利系统的规划、设计和管理运用，其内容、意义、目标都比传统更为广泛。

近代水资源开发利用综合、整体的观点和策略，引起了水资源研究方法的三个重要进展：

- （1）产生了多目标优化、矛盾决策的思想原则和求解技术。
- （2）流域水库群系统整体优化的原则和方法。
- （3）大系统分层和分解协调优化技术。

水资源的综合利用，即如何处理在规划和管理的优化决策中多个目标或多个优化非常有利和必要的。

一个流域或地区水资源开发利用的整体性的概念和特性，导致了最新发展起来的系统工程和系统分析方法逐渐在水资源领域得到应用和发展。系统分析是一种组织管理各种类型的系统的规划、研制和使用具有普遍意义的科学方法。它能更全面深入地进行水资源利用的分析研究，提高水利系统规划、管理的水平和效益。

随着大型水利系统的形成，水质、土地资源、环境质量等问题越来越重要，规划水利系统时不仅要着眼工程和水利经济效益，还要考虑对社会和环境的影响，在决策时应充分顾及或协调各方面的合理要求和意见，因此，应用系统分析的方法来研究水资源成为水资源开发利用课题的新方向。