

普通高等教育“十三五”规划教材

水文分析与计算

主 编 张彦洪

副主编 董玉云 康燕霞



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

水文分析与计算

主 编 张彦洪

副主编 董玉云 康燕霞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书根据水文与水资源工程专业课程改革的新思路,按照现行水文规范,系统讲述了水文分析计算的基本理论和方法,吸收了近年来水文计算理论和实践的最新成果。全书共 11 章,内容包括绪论、水文资料的收集与整理、水文统计、设计年径流分析计算、径流序列的随机模拟、由流量资料推求设计洪水、流域产汇流计算、由暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水计算、河流泥沙计算等。为方便自学,本书编写了较多例题,并在每章后配有小结和复习题。

本书为普通高等教育“十三五”规划教材,主要供水文与水资源工程专业使用,也可供与水文相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文分析与计算 / 张彦洪主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 3
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-5246-3

I. ①水… II. ①张… III. ①水文分析—高等学校—教材②水文计算—高等学校—教材 IV. ①P333

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第049215号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 水文分析与计算 SHUIWEN FENXI YU JISUAN
作 者	主编 张彦洪 副主编 董玉云 康燕霞
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 (营销中心)
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 14印张 332千字
版 次	2017年3月第1版 2017年3月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

水文分析与计算研究水文现象的发展变化规律,预估未来水文情势,确定水文关键参数,为水利工程和其他涉水建设项目的决策管理提供必要的水文依据。水文分析计算成果对工程建设及其安全高效运行至关重要,在工程实施的各个阶段都需要进行水文分析与计算工作。规划设计阶段,需要合理确定工程的规模和标准;施工阶段,需要估算施工期内的来水情况,以便编制施工进度计划,安全度汛;管理运行阶段,需要预估来水,为优化水库调度方案、提高工程综合效益提供依据。

本书按照水文与水资源工程专业课程改革的新思路,本着夯实理论基础,突出重点内容,强化工程实践能力的指导原则,将原来的工程水文学、水文水利计算等课程重新整合,合并为水文分析与计算,从而使水文专业的课程体系更加合理,内容更加全面,重点更加突出。

本书根据现行水文规范,系统讲述了水文分析计算的基本理论和方法,引用水利部、环境保护部等部委的公报数据,吸收了近年来水文学科发展的最新成果。内容包括水文资料的收集与整理、水文统计、设计年径流分析计算、径流序列的随机模拟、流域产汇流计算、小流域设计洪水计算、河流泥沙计算等。为方便自学,本书编写了较多例题,每章配有小结和复习题。

本书由多年从事工程水文水利计算课程教学的教师承担编写任务。甘肃农业大学张彦洪任主编,兰州交通大学董玉云、甘肃农业大学康燕霞任副主编。张彦洪编写第1、6、9、10章以及每章小结和复习题,并对全书统稿。董玉云编写第7、8章,康燕霞编写第3、5章,甘肃农业大学王馨梅编写第2、11章,高彦婷编写第4章。

本书在编写过程中,参考了同行和专家出版的有关教材、专著、论文等资料,吸收了近年来水文分析与计算理论、实践的最新成果,在此,谨向有关作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中错误和疏漏在所难免,恳切希望各位专家、读者批评指正。

编者

2016年11月

目录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 我国的水资源状况	1
1.2 我国水资源开发利用	3
1.3 水文分析计算的任务和内容	4
1.4 水文分析计算的研究方法	5
1.5 水文分析计算理论研究进展	6
本章小结	8
复习题	9
第 2 章 水文资料的收集与整理	10
2.1 水文测站	10
2.2 水位观测与资料整理	11
2.3 流量测验与资料整理	13
2.4 河流泥沙测验	19
2.5 水文调查与水文资料的采集	24
2.6 水文资料的审查	27
2.7 利用相关关系展延资料	31
本章小结	35
复习题	35
第 3 章 水文统计	37
3.1 概述	37
3.2 统计参数的计算方法	38
3.3 水文频率计算	42
3.4 相关分析	54
本章小结	62
复习题	62

第 4 章 设计年径流分析计算	64
4.1 概述	64
4.2 具有长期径流资料的设计年径流计算	66
4.3 具有短期径流资料的设计年径流计算	69
4.4 缺乏实测径流资料的设计年径流计算	70
4.5 设计年径流量的年内分配	73
4.6 设计枯水流量分析计算	76
本章小结	77
复习题	77
第 5 章 径流序列的随机模拟	79
5.1 随机过程的基本知识	79
5.2 径流时间序列组成	81
5.3 径流时间序列的随机模型	81
5.4 径流随机模拟的程序和要点分析	82
5.5 年、月径流序列的随机模拟	84
本章小结	87
复习题	87
第 6 章 由流量资料推求设计洪水	89
6.1 概述	89
6.2 洪水资料的审查、选样	90
6.3 设计洪峰、洪量的推求	93
6.4 设计洪水过程线的推求	98
6.5 同频率直接放大法推求设计洪水过程线	102
6.6 分期设计洪水计算	105
6.7 入库设计洪水计算	107
6.8 设计洪水地区组成	111
本章小结	113
复习题	113
第 7 章 流域产流计算	115
7.1 流域产流要素分析	115
7.2 流域产流模型	121
7.3 蓄满产流计算	123
7.4 超渗产流计算	128
7.5 蓄满-超渗兼容模型法产流计算	132
本章小结	133
复习题	134

第 8 章 流域汇流计算	135
8.1 概述.....	135
8.2 等流时线法原理	135
8.3 时段单位线法	137
8.4 瞬时单位线法	145
8.5 综合单位线法	148
8.6 地下径流汇流计算	150
8.7 河道汇流计算	153
本章小结	156
复习题	156
第 9 章 由暴雨资料推求设计洪水	158
9.1 概述.....	158
9.2 设计面暴雨计算	159
9.3 设计净雨的推求	168
9.4 由设计净雨推求设计洪水	169
9.5 可能最大暴雨	172
本章小结	181
复习题	181
第 10 章 小流域设计洪水计算	183
10.1 小流域设计洪水计算特点	183
10.2 小流域设计暴雨计算	183
10.3 小流域设计净雨计算	186
10.4 小流域设计洪峰流量计算	187
10.5 小流域设计洪水过程线推求	190
本章小结	193
复习题	194
第 11 章 河流泥沙计算	195
11.1 概述	195
11.2 多年平均输沙量的估算	195
11.3 输沙量的变化	198
11.4 悬移质的颗粒级配分析	200
本章小结	202
复习题	202
附录	204
参考文献	215

第 1 章 绪 论

1.1 我国的水资源状况

水是自然环境的基本要素和重要组成部分，是人类社会生存发展所必不可少的物质基础。水是生命的源泉，是生态环境中最活跃的要素。地球上的水资源主要指通过自然界水循环恢复和更新的淡水资源。我国水资源总量约 2.8 万亿 m^3 ，占世界水资源总量的 6%，仅次于巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚，居世界第 6 位。我国水资源总量虽较多，但人均占有量却较少，仅为 2025 m^3 ，约为世界人均水量的 1/4；每亩耕地平均占有水资源为 1700 m^3 ，相当于世界亩均水量的 2/3。限于技术经济等条件，我国实际可以利用的水资源总量为 8000 亿~9500 亿 m^3 ，只占全国水资源总量的 32%。在联合国 2004 年《世界水资源开发报告》中，中国水资源状况位列 180 个国家和地区的第 128 位，属于中度缺水国家。随着社会经济发展，用水需求持续增加，未来水资源供需矛盾将更加突出。

我国位于北半球欧亚大陆东南部，受大陆季风气候影响显著，水资源时空分布不均匀，水旱灾害频繁发生。我国降水量和径流量年内、年际变化很大，并且常有连续丰水年或连续枯水年出现，例如黄河和松花江在近 70 年内出现过 11~13 年的连续枯水年，也出现过 7~9 年的连续丰水年。我国大部分地区 5—9 月为雨季，10 月至第二年 4 月为旱季。旱季降水较少，易发春旱；雨季降水集中，易生洪涝。东南沿海地区雨季早、汛期长，7—9 月又常有热带风暴和台风，产生特大暴雨，极易造成洪涝灾害。长江以北地区，汛期水量集中，一般 6—9 月降水量占全年降水量的 60%~80%，最大一月雨量占全年总降水量的 30%左右，有的年份最大 24h 暴雨量可超过多年平均降水量。降水量在年内和年际间的剧烈变化，往往引起一些地区暴雨洪水成灾，而另一些地区又出现持续干旱。一年当中，不是南涝北旱，就是北涝南旱，水旱灾害在不同地区交替进行。

我国水资源分布与土地资源分布不相匹配。长江以南地区耕地面积只占全国耕地的 40%，人口占 55%，而水资源却占全国总量的 80%；北方地区耕地占全国总面积的 55%，人口占全国人口的 43%，水资源仅占全国总量的 15%；黄河、淮河、海河流域水资源仅占全国的 8%，而耕地面积却占全国的 40%。水土资源不匹配，造成了水资源配置难度增大和天然水环境不利等状况，制约了工农业生产和区域社会发展。

我国水资源短缺问题一直较为突出，特别是我国北方地区，水资源短缺已经成为当地国民经济和社会发展的最大制约因素。近年来，全国正常年份缺水近 400 亿 m^3 ，年均因干旱受灾耕地达 4 亿多亩，全国 600 多个城市中有 400 多个城市不同程度缺水，其中 110 个城市严重缺水，多数是北方城市。全国农村还有 700 万人、6000 万头牲畜饮

水困难。我国可发展灌溉面积约 6400 万 hm^2 ，而实际灌溉面积只有 4000 多万 hm^2 。农业用水中缺水与水资源浪费严重矛盾同时并存，全国农业灌溉水利用率约为 0.50，大量水资源被白白浪费掉。

除了资源性缺水外，不当的经济发展方式造成水资源的过度开发和水体污染，进一步加剧了水资源的供需矛盾，并引起水生态环境恶化。

地表水污染严重。据统计，全国日排污水约 2.0 亿 t，监测的 7 大河流经过的 15 个主要大城市的河段中，有 13 个河段水质污染严重。全国 121 个主要湖泊和 635 座大中型水库中，超 70% 的湖泊、约 40% 的水库处于富营养化程度。全国 118 个地下水污染重点监测城市，污染较重的城市有 76 个，占 64%，污染较轻的城市 39 个，占 33%。环保部 2015 年统计资料显示，重点监控的 423 条主要河流、62 个湖泊（水库）的 967 个地表水监测断面，I~III 类水质断面比例为 64.5%，IV~V 类比例为 26.7%，劣 V 类占 8.8%；在 5118 个地下水水质监测点中，水质优良的占 9.1%，良好的占 25.0%，较好的占 4.6%，较差的占 42.5%，极差的为 18.8%。北方地区地下水水质相对最差。据水利部 2014 年对北方 17 省（自治区、直辖市）平原区的 2071 眼水质监测井的监测评价，水质优良的测井仅占评价监测井总数的 0.5%，水质良好的占 14.7%，水质较差的占 48.9%，水质极差的占 35.9%。

内河污染、污水排海也使近海海岸污染程度加重，环境恶化。据统计，沿海地区未达到清洁水质标准的海域面积达 17.4 万 km^2 。近海赤潮发生频率增加，海洋生态系统结构失衡，生物多样性减少。80% 的河口生态系统海水呈富营养化状态，浮游植物密度偏高，重要滨海湿地生态系统均呈亚健康状态。

水、土资源的不合理开发，不仅造成河道断流、湖泊面积萎缩、旱涝灾害加重，还引发严重的地质灾害。地表植被破坏，滑坡、泥石流灾害更加频繁；地下水位持续下降，导致地面沉降、沿海地区海水入侵；地下水下降形成大面积漏斗，部分地区地表植被枯死、土地荒漠化，生态系统失衡。华北地区地下水超采尤为严重，超采面积达 18 万 km^2 ，地下水资源面临枯竭，地面沉降事件时有发生。全国有近 70 个城市因不合理开采地下水诱发了地面沉降，上海、天津、太原、西安、苏州、无锡、常州等城市沉降中心最大沉降量超过 2m。

近 20 年来，我国水资源分布发生了一定的变化。南方地区水资源总量略有增加，北方部分地区水资源量减少明显，其中以黄河、淮河、海河和辽河区变化最为显著。例如，2014 年全国水资源总量为 2.73 万亿 m^3 ，比常年值偏少 1.6%；北方 6 区水资源总量 4658.5 亿 m^3 ，比常年值偏少 11.6%，占全国的 17.1%；南方 4 区水资源总量为 22608.4 亿 m^3 ，比常年值偏多 0.7%。

在水资源总量基本保持稳定的情况下，随着社会发展，全国用水量持续增加。1949 年我国总用水量仅 1031 亿 m^3 ，1980 年达 4408 亿 m^3 ，增加了 3 倍多；2000 年全国总用水量 5628 亿 m^3 ，2010 年全国总用水量 5998 亿 m^3 ，2012 年全国总用水量 6095 亿 m^3 ，2013 年全国总用水量 6183.4 亿 m^3 ，2014 年全国总用水量 6095 亿 m^3 。水资源需求增加，在一定程度上加剧了水资源的供需矛盾。

水资源短缺、水污染与环境破坏问题，已对我国经济社会可持续发展战略产生了严

重的负面影响。因此，必须高度重视环境问题，切实改变发展模式，调整结构，协调经济发展与水资源开发利用、保护的关系。

1.2 我国水资源开发利用

为了解决水资源供需矛盾、防治水污染、保护生态环境、减轻水灾害，我国开展了以防洪减灾、水资源开发利用、水资源保护及水环境修复等为主要目标的大规模水利工程建设，取得了一系列重大成就。

(1) 加强水利基础设施建设，提高水安全保障能力。截至 2014 年年底，全国已建成各类水库 9.77 万座，水库总库容 8394 亿 m^3 ，发挥了巨大的防洪、供水、发电、航运、养殖、旅游等综合效益。其中，建成大型水库 697 座，总库容 6617 亿 m^3 ，占全部总库容的 78.8%；中型水库 3799 座，总库容 1075 亿 m^3 ，占全部总库容的 12.8%。全国已建各类水闸 98686 座，其中大型水闸 875 座。建成万亩以上灌区 5795 处，全国耕地灌溉面积 6454 万 hm^2 ，占全国耕地面积的 53.8%，改善了农田灌排条件。完成全国 4600 多个保护区城区集中式饮用水水源地环境基础状况调查与整改，农村饮水安全人口已达 7 亿人，农村自来水普及率达 78%，维护了群众的饮水安全和用水需求。

建成了一批水资源配置工程，如南水北调东、中线工程，引滦入津、引黄济青、甘肃引洮供水工程等，开工建设引汉济渭等大型跨流域调水工程，进行水资源优化配置，保障不同地区用水需求，协调地区之间的均衡发展。

1998 年特大洪水以来，通过治理、整修、新修堤防工程，全国大多数流域已建成了包括水库、分蓄洪工程、高标准堤防及河道整治工程的防洪工程体系，控制了常遇洪水，基本保障了城乡防洪安全，促进了流域经济社会的全面发展。

(2) 开展重点流域水污染防治工作，改善主要流域水质。2006 年以来，共查处 151 起涉及饮用水突发环境事件，提高了水安全的保障水平。初步完成了淮河、海河、辽河、巢湖、滇池、松花江、三峡库区及其上游、黄河中上游 8 个重点流域区域污染防治治理。开展太湖、巢湖、三峡库区生态安全评价，全面启动生态安全监测和湖泊综合治理工作。完成《重点流域水污染防治规划（2011—2015 年）》和《长江中下游流域水污染防治规划（2011—2015 年）》；根据《湖泊生态环境保护试点管理办法》，对重点湖泊、水库生态环境进行系统整治。根据 2014 年对全国 21.6 万 km^2 河流水质评价结果，水质符合和优于Ⅲ类水的河长占总评价河长的 72.8%，主要流域水质初步改善，环境质量得到提高。

(3) 水土保持及水生态修复工程建设。2014 年以来，实施国家水土保持重点建设工程，涉及北京、河北、山西、内蒙古、安徽、山东、福建、江西、海南、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、陕西、宁夏、甘肃等 20 个省（自治区、直辖市）282 个县。2014 年，累计完成水土流失治理面积 111.61 km^2 ，实施丹江口库区及上游水土保持项目，治理京津风沙源。截至 2014 年年底，全国累计实施封育保护面积 78.9 万 km^2 。水土保持措施对于减少水土流失，恢复生态发挥了巨大作用。

实施了黑河、塔里木河流域生态调水工程，统一调度流域水量，恢复流域生态。黄河水利委员会对黑河流域水量进行统一管理和调度，黑河下游湖泊居延海连续 12 年不干涸，地下水位升幅明显，湖滨地区植被已逐渐恢复，周边地区生态环境得到显著改善，遏制了额济纳旗绿洲生态恶化的趋势。“十三五”期间，新疆维吾尔自治区实施了塔里木河全流域生态调水工程，每年向塔里木河供水 3.5 亿 m^3 ，保障下游生态林用水，进一步恢复塔里木河流域生态。2016 年 9 月，财政部、国土资源部、环境保护部联合发布《关于推进山水林田湖生态保护修复工作的通知》，将“山水林田湖”作为共同生命体进行整体保护，整合各方力量，系统治理修复生态环境。

1.3 水文分析计算的任务和内容

开发利用水资源，保护水环境和治理水旱灾害，就必须预估河流的来水情况。水文分析与计算的基本任务就是根据水文观测提供的水文数据，分析水文要素的时空变化规律，预估未来水文变化情势，推求设计特征值，为水利水电工程的规划设计、施工度汛和运行管理等工作提供水文依据。

水利水电工程从修建到运用的各阶段，都要进行水文分析计算。

规划设计阶段，水文分析计算主要是研究工程所在河流未来水文情势，提出工程规划设计依据的水文特征值，如设计年径流量、设计洪水、设计排涝流量等数据。如果水文计算提供的数据不准确，将直接影响工程设计方案，导致工程规模不合理，造成投资上的浪费，或使水资源不能得到充分利用。对于防洪措施，不合理的方案会降低工程的防洪作用，甚至因工程失事造成重大灾害损失。

施工阶段，是工程方案的实施阶段。水利水电工程，一般工期较长，面对的风险较多，需要估算出整个施工期间的来水情况，据此确定导流、泄水、防护等临时建筑物的尺寸，安排好施工进度计划。尤其要计算出分期施工洪水，做好防洪度汛计划，保证施工安全。

管理运用阶段，则需要通过水文分析计算，预估上游一定时期内的来水情况，以便编制合理的调度运行方案，充分发挥水利设施的作用，实现较高的工程效益。例如，根据洪水预报分析结果，在大洪水来临之前提前泄空一部分兴利库容，提高水库的防洪能力，减小库区和下游的损失；在汛末洪水结束之前，尽可能多地拦蓄尾部洪水，以满足枯水季节的兴利要求。

水文分析与计算，不仅对水利水电工程有巨大作用，而且对国民经济的许多部门，如城市防洪、道路交通、航运码头等也有重要作用。例如，城市防洪需要了解城市暴雨、洪水形成规律，确定洪水过程和洪峰流量，以便做好防洪、排涝工作，预防灾害发生；公路、铁路跨越河流或汛期洪水沟道时，需要考虑河流或洪水对建筑物的影响，通过水文计算事先给出最高水位、峰值流量等关键参数，以便合理确定建筑物的高程、净空和基础尺寸。航运部门，需要预估河道水流、泥沙变化，进行港口码头工程设计，安排河道疏浚整治工作。总之，国民经济的许多部门都需要研究水流的变化规律，需要预估未来水流的变化情况，因而也都需要进行水文分析计算。

根据以上工程应用需要,水文分析与计算分为设计年径流计算、设计洪水计算、设计暴雨计算、降雨产流计算、河流泥沙分析等多个内容。

1.4 水文分析计算的研究方法

自然界的降水、蒸发、入渗、径流、泥沙等,统称为水文现象。与自然界其他现象一样,水文现象的发生与发展,也受到必然性和偶然性因素的影响,从而表现出确定性规律或随机性规律。同时,有一些水文现象特征值,会随地理位置的变化而变化,即具有地区性规律。研究水文现象的变化规律,应根据所遵守的规律的不同,采用适当的水文分析计算方法。

水文现象的确定性规律,是指某一水文现象的发生、发展都有其特定的原因和形成条件,现象和影响因素之间存在一定的因果关系。如水文周期性规律,水文循环规律、水量平衡原理、水动力学原理、产汇流原理、暴雨洪水关系等。

水文现象的随机性规律,是指水文现象在众多偶然性因素影响下,就其某一具体其结果而言具有非确定性,但从大量长期观测来看,其平均值趋于一个稳定的数值,并且每一结果的出现具有一定的概率。由于随机性规律需要通过大量资料的统计分析才能得到,因此也称为统计规律。

水文现象的确定性与随机性是同时存在的。确定性是大量随机性因素综合作用的结果,反映了一定条件下水文现象内在特征的稳定性。对于主要表现为确定性规律的现象,在一定程度上又表现出非确定性,即随机性,因而根据确定性方法预报的结果具有某种程度的随机误差。地区性规律是水文现象的确定性与随机性在地区分布上的集中表现,受流域地理位置、地形、地貌、土壤等地理因素的影响较大。

对于具有确定性规律的水文现象,必然性联系起主导作用,在水文分析计算中,应采用成因分析法,根据水文过程的形成机理,建立水文现象与其影响因素之间的定量分析关系,进而用于水文预测预报。例如,根据水流运动与河槽断面参数之间的关系,建立洪水波运动方程,由上游断面的洪水预报水库坝前的洪峰流量和最高水位;根据降雨强度、土壤含水量、地形坡度等资料,建立降雨产流理论,来预报降雨产流过程;根据观测断面的水位流量关系,由水位来测报河流实时流量等。

成因分析法所建立的关系是基于对水文过程在一定程度上的概化,由于偶然性的存在,计算结果与实际情况有一定的误差。只要误差在允许范围内,计算成果就是合理可行的。

地理综合法,依据水文现象所具有的地区性和地带性分布特征,综合气候、地质、地貌、土壤、植被等自然要素,分析水文要素的地理分布规律,利用已有的水文资料建立地区经验公式,绘制水文特征等值线图。地理综合法应用简单,主要用于无资料地区水文特征值的分析计算,但成果可靠性相对较低。

对于大量长期的水文观测资料,偶然性因素引起数据波动,要探寻其中存在的统计规律,则宜用数理统计法进行研究。数理统计法是水文分析与计算的主要方法。它以概率论和统计学为基础,通过分析大量历史数据,揭示水文现象的统计规律,从概率的角度定量

预估未来可能的水文情势。在实测资料充分的情况下，一般运用频率分析法，求得水文要素的概率分布，进而推求满足频率要求的水文特征值；在资料短缺时，可采用相关分析法，建立两个或多个变量之间的相关关系，插补延长水文计算系列，然后再应用频率分析法进行计算。

1.5 水文分析计算理论研究进展

水文分析与计算理论的形成与发展，是从实验观测开始的。通过对水文现象观测或室内实验，获取实验数据，进而分析数据，探寻水文现象之间的联系，建立确定性关系。实验观测是传统的方法，也是研究水文规律、进行水文分析计算最基本的方法。水文计算所依据的基本理论，例如土壤含水量与下渗率关系、明渠水流水位流量关系等，都是在实验分析的基础上得到的。

实验观测得到的大量水文资料，也是利用数理统计和概率论方法，研究水文现象随机性规律，预测未来水文变化情势的基础。为了使水文计算结果能够满足工程建设的需要，要求水文资料不仅来源可靠，而且计算序列要有适当长度，能够较全面地反映研究流域的水文特性，并满足一致性要求。

由于水文现象的复杂性，仅仅依靠有限的实验观测资料难以准确把握其长期运动、变化规律，因此，实际分析计算中，还引入了各种水文计算假设。例如，分析流域产汇流过程，基于线性系统的叠加性和均匀性假设；水文频率分析和地貌瞬时单位线推算，采用的随机独立性假设；径流模拟中，水文时间序列平稳变化假设；设计洪水（径流）频率计算中的重现性假设；降雨产汇流计算中，不考虑气象条件和下垫面条件空间分布不均匀影响的空间分布均匀性假设，它也是水文要素“点、面”转换的依据。为解决缺乏资料地区的水文计算问题，引入水文过程相似性假设（气候条件相似和几何相似），从而将一个流域的水文参数移至另一个流域。引入水文假设，不仅在一定程度上满足了工程建设对水文计算的需要，为工程建设提供了可用的水文数据，同时，也使水文分析与计算从经验分析上升到理论分析层次，从而从根本上提升了水文计算的系统性和科学性，有助于更加深刻认识水文现象的规律，更好地为工程建设服务。

实验分析与理论研究是相辅相成的，实际中往往难以严格区分。在实验观测基础之上，引入理论假设（模型），再由实验定出模型参数，进而建立计算理论，是当前研究水文问题的基本思想方法。

水文频率分析是水文分析与计算最核心的内容，其关键是参数估计方法。近些年，水文频率分析的参数估计方法有较大的进展，如无偏绘点适线法、地区频率分析方法的提出和技术实现，但新技术方法缺少适用性分析研究，建议开展水文频率分析新参数估计方法的适用性研究，并作为新的方法在今后的规范修编中应用。

可能最大暴雨是推求可能最大洪水的关键，近些年短历时实测暴雨大于可能最大暴雨的现象时有发生，水文气象分析的手段和基础资料也有了较大的变化，建议开展我国可能最大暴雨分析计算应用研究工作。

近几十年来，随着气候变化和人类工程活动的影响不断加剧，流域水文条件发生明显

变化,当前主要依靠历史资料推算水文极值变化规律的传统水文计算面临新的挑战;同时,以数学、物理、系统科学、不确定性理论、优化方法和计算机模拟技术为代表的新理论和新技术向水文学的不断渗透,形成了新的研究热点及水文分析与计算方法。

(1) 多变量联合分布的水文分析方法。水文事件一般具有多方面的特征属性,是一个包含频域、时域和空间域的复杂过程。如洪水事件包括洪峰、洪量和洪水过程线;暴雨事件包括暴雨历时和强度;干旱事件包括干旱历时、干旱强度和干旱间隔时间等;洪水遭遇事件包括洪水发生时间和量级的遭遇。此外,水文事件的发生、发展,既是多个变量综合影响的结果,同时各个变量之间又存在一定程度的相关性,而传统的单变量水文分析计算方法,由于忽略了变量之间的相关性,往往造成水文特征值较大的误差。因此,应研究综合考虑所有相关变量,建立多变量联合分布的水文分析方法,以便更好地描述水文事件的内在规律和各个特征属性之间的相互关系。多变量水文分析计算分为正态变换法、非参数方法和 Copula 函数法 3 种代表方法。近年来,郭生练等研究表明, Copula 函数法具有计算过程可逆、推求结果相对可靠、无偏性和有效性等统计性能最好的特点,可以在多变量水文分析与计算中推广。

(2) 水文随机过程分析法。水文现象随时间而变化的特征,称为水文随机过程。其中既有确定性成分,又有随机性成分。随机过程分析法是研究水文要素随时间变化的一种方法,主要用在对径流过程的模拟,即用统计试验法生成径流随机时间序列。用水文随机过程法生成的洪水系列推求设计洪水,由于在时序变化上包含了更多的信息,因而比典型洪水放大法得到的设计洪水过程更为可靠。

应用水文随机过程分析法的关键是如何建立更加符合径流随机变化特点、精度更高的随机模型。实践表明,水文随机模型的阶次不宜过高,待估计的参数也不能太多,否则误差太大会影响结果的精度和可信性。

(3) 不确定性分析方法。引入模糊数学、灰色理论、分形理论等不确定性方法研究水文问题,以更好反映多种因素对水文现象的影响。

模糊性是指事物的概念界限不分明,不能对其给予确切描述的性质。水文计算中涉及的许多概念是模糊的,如丰水与枯水、雨季与旱季、流域水文特性相似性、实测系列代表性、频率曲线拟合好坏、暴雨洪水典型选择等。这些模糊性可以采用模糊水文学分析方法加以解决。模糊水文分析的理论体系包括模糊集建立、模糊模式识别、聚类分析、综合评价、模糊预测与决策规划等。国内有一些学者在这方面作了较多研究,但进展缓慢,主要是模糊分析法中隶属函数的选用存在问题。

灰色系统分析法是指运用灰色系统理论与方法描述和处理水文复杂性和不确定性问题的分析法。灰色理论以信息部分已知、部分未知的灰色系统为基础。由于系统结构的复杂性和人类认知能力的限制,人们对系统的认知是灰色的。灰色数学是灰色理论的重要基石之一,可以为灰色系统模型的建立、未知部分的识别、关联度分析、灰色预测与决策等提供量化和半量化的方法论。

水文过程是比较典型的灰色系统。灰色系统分析法为水文学研究提供了新的方法论视野。目前主要是尝试用于水文的长期预报。

分形分析法是指用分形理论研究水文现象规律的方法。分形是指一类极其破碎而复

杂,但局部和整体之间有自相似结构的体系。水文中存在大量自相似性,如流域水系分布、河流形态特征等方面存在自相似性,流量过程线具有统计上自相似性等。

分形理论从混乱现象和不规则构型中揭示现象背后的局部与整体的本质联系和运动规律。分形特征可以用“分维”来度量。分形涉及面很广,不仅能刻画几何形态相似特性,而且能度量功能、信息和结构的相似性。分形分析法在表征流域形态、描述下垫面特征,解决缺少资料地区的水文分析与计算方面具有广泛的用途。

(4) 非线性分析法。非线性是指相互联系的事物之间存在的相互影响、相互制约、相互依存的关系。按照系统论观点,凡是不满足均匀性或叠加性的系统都是非线性系统。以上所述的分形理论、灰色理论也属于非线性理论范畴。

水文系统是复杂的非线性系统,不仅系统内部存在着多种相互作用,同时系统外部条件如流域水系、地形地貌、土壤结构、气象因素以及人类活动之间也存在复杂的影响关系,使得水文过程表现出强烈的非线性特征。尤其是当前条件下,人类工程活动对水文自然过程的影响越来越大,在一定程度上加剧了水文过程的非线性特征。

水文非线性分析包括水文系统识别,非线性系统建模,流域产、汇流非线性分析,水文尺度非线性问题以及反映水文时间空间变化的分布式流域水文模拟研究等内容。目前,尽管还没有完全建立能够解决水文非线性行为与特点的普适性理论,但是,在水文非线性分析方法上已取得一些初步成果,如水文非线性系统模拟的泛函分析方法、瞬时单位线模型非线性改正的方法、变动单位线的准线性水文模型方法、流域均匀非线性梯级模型方法,以及能够考虑流域时空变化的分布式时变增益模型等。相关理论成果已在水文非线性系统模拟、水文预报、水量转化分析、水资源评价等领域得到初步应用。

本 章 小 结

本章简要介绍了我国水资源自然状况、开发利用中存在的问题及水资源工程建设成就,阐述了水利水电工程各阶段水文分析与计算的任务、内容和研究方法,总结了水文计算理论研究和工程实践应用的最新进展。

我国是世界上相对缺水的国家,水资源时空分布不均、水旱灾害频发。我国开展了大规模水利水电工程建设,在防洪减灾、水资源开发利用、水资源保护及水环境修复等方面发挥巨大作用。我国资源性缺水、工程性缺水问题长期存在并与水质性缺水相互叠加,已对我国水安全战略和社会经济可持续发展造成严重威胁。为此,必须坚持绿色发展理念,处理好经济发展与水资源开发利用和水环境保护的关系。

水文分析与计算的任务是分析水文要素的时空变化规律,预估未来水文变化情势,为水利水电工程规划设计、施工度汛和运行管理等工作提供水文依据。数理统计法是研究水文现象的统计规律、定量预估水文情势的主要方法。水文频率分析是水文分析与计算最核心的内容,其关键是统计参数估计。

近年来,随着系统科学和计算机模拟技术的发展,出现了一些新的水文分析计算方法,如多变量联合分布分析法、随机过程分析法、不确定性分析方法和非线性分析法等。

复 习 题

- 1.1 我国水资源状况的基本特征和存在的主要问题分别是什么？
- 1.2 水文分析与计算课程的任务和内容是什么？
- 1.3 水文分析计算的研究方法有哪些？

第2章 水文资料的收集与整理

水文资料是水文分析计算的基础。通过对水文资料的分析，可以揭示出水文现象的变化规律，并利用这些规律为水利水电工程的规划设计和管理运用提供水文依据。因此，水文资料的收集与整理是水文分析计算不可缺少的重要环节。

2.1 水文测站

水文测站是在河流上或流域内设立的，按一定技术标准观测获取水文资料的基层单位。水文测站在地理上的分布网称为水文站网，它必须按照统一的规划合理布局，既要能搜集到大范围内的基本水文资料，满足水利水电、环境保护及其他国民经济建设的需要，又要做到经济合理。

水文测站的主要任务是按照统一标准，对指定地点的水位、流量、泥沙、降水、蒸发、水温、冰情、水质、地下水位等水文要素进行系统观测，并对观测资料进行计算分析和整编。

2.1.1 水文测站的类型

根据测站的性质和作用，水文测站可分为基本站、实验站和专用站。

(1) 基本站。基本站是综合国民经济各方面的需要，由国家统一规划建立的永久性测站。它应执行水文测验的规定标准进行较长时期的连续观测，资料刊入《水文年鉴》或以其他形式长期存储。基本测站按其设站目的和观测的主要项目不同，又可分为流量站、水位站、雨量站、泥沙站、水面蒸发站等。

(2) 实验站。实验站是为了深入研究某些水文现象，探讨一些特殊问题而设置的测站，如径流实验站、河流实验站、湖泊（水库）实验站等。

(3) 专用站。专用站是为了某种专门目的或某一特殊需要，在基本站网又不能满足的情况下设立的测站。观测项目可由设站部门自行规定，对基本站网起补充作用，但不具备基本站的特点。

2.1.2 水文测站的设立

1. 选择测验河段

设立水文测站时，应按照规定要求选择测验河段，选择的恰当与否对测验工作影响很大。测验河段应符合以下两个基本条件：

(1) 必须满足设站的目的和要求。这一条件规定了测验河段要在站网规划规定的河段范围内选择。

(2) 便于进行水文测验和水文资料整编，同时保证成果有必要精度。这就要求测验河段应具有较好的控制条件，对于平原河流，应尽量选择顺直、稳定、水流集中、便于布设