

中等专业学校教材



水文水利计算

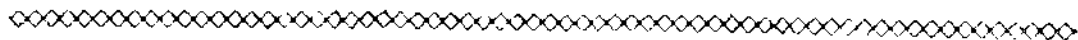
第三版

黄河水利学校 殷兆熊
成都水力发电学校 毛启平 合编



3
9(3)
4
63

中等专业学校教材



水文水利计算

第三版

黄河水利学校 殷兆熊
成都水力发电学校 毛启平 合编

中国水利水电出版社

中等专业学校教材
水文水利计算
第三版
黄河水利学校 殷兆熊 合编
成都水力发电学校 毛启平

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
北京市密云县印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17.25印张 389千字
1979年11月第一版 1985年6月第二版
1994年10月第三版 2000年5月北京第八次印刷
印数 28961—30960册

ISBN 7-80124-368-4/TV·199
(原 ISBN 7-120-01994-5/TV·736)

定价 17.80元

内 容 提 要

本书为中等专业学校陆地水文专业和工程水文专业的通用教材，主要讲述水文分析计算和中小型水利水电工程水利计算的基本原理和基本方法。内容包括：年径流的分析和计算，由流量资料推求设计洪水，由暴雨资料推求设计洪水，缺乏资料时设计洪水的推求，水库的兴利调节计算，水电站的水能计算，水库防洪计算等。对可能最大暴雨及可能最大洪水的估算、泥沙计算及其他类型的兴利、防洪计算问题，在相应的章节作了简要的介绍。

本书也可供其他水利水电类专业的师生和工程技术人员参考。

前 言

本书根据“1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划”中规定的任务进行修订。修订工作是基于原第一、二轮教材，遵循1988年4月水利电力部教育司颁发的中等专业学校陆地水文专业和工程水文专业《水文水利计算》教育大纲的基本要求，并考虑1988年9月在开封召开的教材研讨会意见精神进行的。

修订中注意了突出中专教材的应用性和针对性，力求适合中专学校的教学要求与特点，从加强实践性教育环节、提高中专学生的动手能力出发，着重阐明本课程的基本理论、基本概念和基本技能，要求学生通过本课程的学习，能掌握水文图集的编制原理、应用方法以及中小型水利水电工程的水文水利计算的基本原理和主要计算方法。

本书由黄河水利学校殷兆熊编写绪论，第一、二章，成都水力发电学校毛启平编写第三、四、六章，湖南水利水电学校樊鸣放编写第五、七章。由殷兆熊、毛启平合编，殷兆熊统稿，陕西水利学校夏于廉主审。在编写过程中得到了全国中专水文专业教研会《水文水利计算》及《水文统计》课程组诸多老师及有关专家的帮助和指导，书中部分材料参考了有关院校、科研机构及生产单位的教材、论文及技术资料，在此一并致谢。

恳请读者对本书存在的缺点和错误提出批评指正。

编者

目 录

前 言	
绪 论	1
第一节 我国的水资源及其开发利用	1
第二节 水文水利计算在水资源开发利用中的作用和任务	2
第三节 水文现象的基本特征及水文水利计算的研究方法	3
第一章 年径流的分析和计算	5
第一节 概述	5
第二节 径流资料的分析和处理	7
第三节 具有实测径流资料时设计年径流量的推求及年内分配的拟定	17
第四节 缺乏实测径流资料时设计年径流量的推求及年内分配的拟定	30
第五节 流量历时曲线和水位历时曲线的绘制与应用	35
第六节 枯水径流的分析和计算	36
第二章 由流量资料推求设计洪水	38
第一节 概述	38
第二节 设计洪峰流量和设计洪水总量的分析计算	42
第三节 设计洪水过程线的推求	60
第四节 设计洪水中的其他问题	66
第三章 由暴雨资料推求设计洪水	70
第一节 概述	70
第二节 设计暴雨的推求	71
第三节 设计净雨的推求	85
第四节 设计洪水过程线的推求	88
第五节 可能最大暴雨和可能最大洪水的估算	92
第四章 缺乏资料时设计洪水的推求	100
第一节 概述	100
第二节 设计暴雨的推求	101
第三节 设计净雨的推求	113
第四节 推理公式法推求设计洪水	120
第五节 综合单位线法推求设计洪水	134
第六节 经验公式法推求设计洪水	138
第七节 调查洪水法推求设计洪水	139
第八节 可能最大暴雨和可能最大洪水的估算	140
第五章 水库的兴利调节计算	143
第一节 水库兴利调节计算的有关概念	143
第二节 用水量计算	148
第三节 水库的水量损失及其估算	151

第四节	水库死水位的确定	152
第五节	水库兴利调节计算的基本原理和方法	155
第六节	年调节水库兴利调节计算	156
第七节	多年调节水库兴利调节计算	165
第八节	水库正常蓄水位的确定	172
第九节	其他灌溉工程水利计算简介	172
第六章	水电站的水能计算	175
第一节	河流水能及其开发利用	175
第二节	电力负荷图及其容量组成, 水电站在负荷图中的工作位置	183
第三节	水电站保证出力的计算	186
第四节	水电站多年平均年发电量的计算	194
第五节	水电站装机容量的选择	197
第六节	综合利用水电站水能计算简介	209
第七章	水库防洪计算	211
第一节	水库防洪计算的有关概念	211
第二节	调洪计算的基本原理与方法	215
第三节	溢洪道不设闸门时水库的防洪计算	223
第四节	溢洪道设闸门时水库的防洪计算	224
第五节	水库防洪计算中的其他几个问题	229
第六节	其他防洪工程的防洪计算简介	231
附表		236
附表1	皮尔逊Ⅲ型曲线的离均系数 Φ_p 值表	236
附表2	皮尔逊Ⅲ型曲线的模比系数 K_p 值表	238
附表3	三点法用表—— S 与 C_s 关系表	263
附表4	三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值的关系表	264
附表5	1000hPa地面到指定压力间饱和湿绝热大气中的可降水与1000hPa露点关系表	265
附表6	1000hPa地面到指定高度(高出地面m数)间饱和湿绝热大气中的可降水与1000hPa露点关系表	267

绪 论

第一节 我国的水资源及其开发利用

水是人类生活和生产不可缺少的自然资源之一。随着人口的增长、工农业生产的发展和人民生活水平的提高，人类对水资源的需求量也随之不断增长。水资源通常是指可供人们经常取用的、在一定时间内能够得到恢复和更新的淡水资源，即为大陆上由大气降水补给的各种地表、地下淡水水体的动态水量。据估算，我国960万 km^2 的国土上，多年平均降水量约为6.01万亿 m^3 ，折合平均降水深为628mm，低于全球陆面（834mm）和亚洲陆面（740mm）的多年平均降水深。全国河流多年平均径流量为2.64万亿 m^3 ，多年平均地下水补给量为0.77万亿 m^3 ，扣除重复水量0.49万亿 m^3 ，则全国多年平均水资源总量为2.72万亿 m^3 ，折合水深为284mm。全国水力资源的理论蕴藏量为6.76亿kW，其中可开发利用的有3.79亿kW，占世界首位。我国河流的多年平均径流总量占全球陆面径流总量的5.6%，与世界各国相比，从总量上仅次于巴西、前苏联、加拿大、美国和印度尼西亚等五国，居世界第六位。但如按人口、耕地面积计算的平均占有量，则处于较低的水平。如按人均占有水量计算，我国只有加拿大的1/48.1，巴西的1/15.6，印尼的1/7.04，前苏联的1/6.59，美国的1/5.00，日本的1/1.33，只达到世界平均水平的1/4，列第88位，亩均占有水量也只有世界平均水平的一半左右。因此，我国并不是水资源丰富的国家。同时，我国的水土资源的分布及组合也极不平衡，约有45%的国土处于平均年降水量少于400mm的干旱、半干旱地带，全国河川径流中，外流河水系占95.8%，内陆河水系仅占4.2%，但内陆河水系的控制面积则占全国总面积的35%。例如，长江流域及长江以南地区的径流量占全国总量的82%，而耕地面积只占全国的38%，黄、淮、海三大流域径流量只占全国总量的6.6%，但耕地面积却占全国的40%。因此，我国南与北、沿海与内陆的水土资源分布相差十分悬殊。此外，同一河流的水量，在时间分配上也是极其不均匀的，以黄河为例，通常每年7至10月四个月的水量约占全年总量的60%，而冬、春旱季，每月水量平均只有全年的3%~5%，旱季往往造成供水不足，而到汛期，则由于水量过于集中，可能造成不同程度的洪涝灾害。

我国水资源的上述状况，与按人们需求的开发利用是十分不相适应的，为了合理控制利用水资源，人类必须实施旨在兴利和除害两个方面水利工程或其他有效的工程措施。其中，兴利的要求，大致可归纳为灌溉、工业及市政民用水的供给、水力发电、水产养殖、水利环境保护、航运及风景区开发、旅游事业的发展等。除害方面大致可归纳为对洪涝灾害、凌灾、盐碱和渍害及水污染等问题的治理工作。

新中国成立以来，党和政府十分重视水利水电建设事业。据统计，截至1981年底，全国已建成库容10万 m^3 以上的水库8.6万座，总库容达4000多万亿 m^3 ，其中库容在1000万 m^3 以上的大、中型水库2600多座；修建防洪堤16万 km 。这些工程，在兴利除害方面发挥着巨

大的作用。例如,1981年全国的灌溉面积达7亿亩,1983年全国水电装机容量达2400万kW,使我国的水电装机容量由新中国成立初期的仅占全世界的第25位,上升到第6位。但是,应该看到,如按目前的水平,我国拥有的人均可灌溉耕地面积,人均拥有的水电装机容量及发电量,在世界上仍处于较低的水平。因此,我国水利水电事业的开发工作还有着艰巨的任务。

第二节 水文水利计算在水资源 开发利用中的作用和任务

为了合理开发利用水资源,兴利除害,造福人类,需要兴建相应的水利工程和其他有关的国民经济建设工程。为了合理地确定工程的规模,指导工程的施工及工程建成后的管理运营工作,就要求在工程修建以前的规划设计阶段,对工程修建地河流未来的水情变化及其规律作出相应的估计。

例如,旨在确定工程规模的规划设计阶段工作,对于水库工程来说,需要对未来的河川径流及洪水作出预估,如果将径流及洪水估算过大,就会使工程规模太大,虽然能有效的利用水资源及控制洪涝灾害,但会使工程规模太大,造成资金浪费,不能充分发挥工程效益;反之,如果将径流及洪水估计过小,则会造成工程规模偏小,使建成后的工程不能充分利用水资源,特别是当不能抵御预计的大洪水时,将会殃及工程本身及下游广大地区人民生命财产的安全。对其他工程,如铁道、公路等交通部门和跨河的桥梁、涵洞、工矿城镇的堤防工程等,同样需要充分估计工程建成后的洪水规模,以便对工程规模作出合理的决策。在多沙河流上兴建水利工程时,还应分析挡、蓄、引水工程遇到的来沙情况,估计未来工程运行期间的来沙量及泥沙淤积情况,以采取相应的延长工程寿命的措施等。

在工程的施工阶段,为了抗御施工期间可能遇到的洪水威胁,需要合理确定所需修建的临时性建筑物(如围堰、导流建筑物等)的尺寸,决定施工进度和编制施工计划,也要求对施工期的洪水规律进行分析,作出预估。

工程建成后的管理运行阶段,则应预估一定时期内的来水情况,以便合理编制水量调度方案及计划,以最大限度的发挥工程的兴利、除害效益。此外,对已建工程,在必要时,还应不断的复核和修改设计阶段的水文分析成果,对工程的改建、扩建工作作出指导。

综上所述,在河流上修建水利工程以及其他一切与水打交道的国民经济建设工程,都必须研究工程所在地点河流未来长期的水文情势,提出工程规划设计、施工、管理运行及工程改建等工作所遇到的水文问题。

水文计算的任务就是通过对河流水情的分析研究,提供河流未来长时期内的水文规律,为工程规模的确定以及指导施工、运行和工程的改造、改建等提供科学依据。

水利计算则是在水文分析计算所提供的水文规律的基础上,综合研究水文规律及考虑上、下游和国民经济各部门的要求,对流域水资源的规划、开发利用和水害的治理进行综合利用计算,以合理确定工程规模、分析工程效益和编制控制调度计划,以达到兴利除害

的目的。

第三节 水文现象的基本特征及水文水利 计算的研究方法

一、水文现象的基本特征

水文现象受多种因素的综合影响，其变化规律相当复杂，通过对水文现象的长期观测和分析研究，已经总结出其具有周期性、随机性及相似性等几个特征。

1. 水文现象的周期性及随机性

水文现象的周期性是指其在时程变化上具有周期循环变化的特征。由于水文现象受日地运行规律的制约，一般来说，一个水体总是以年为单位呈现以年为周期的丰、枯交替的变化规律。如一年四季中的降水有多雨季和少雨季的周期变化，河流中来水则相应呈现丰水期和枯水期的交替变化。在以冰雪融化水补给的河流上，由于受气温日变化的影响，河流水情则具有以日为周期的变化特征。在经受长期气候变化的影响下，水文现象的长期系列还具有多年变化的周期性特征。有关研究表明，水文现象的这种多年变动的周期，也是受到日地关系多年变动的制约的。

随机性则是由于其影响因素的众多以及各因素在时间上的变化，致水文现象处于不断的变化之中。这样，在伴随周期性出现的同时，存在着水文现象的不重复性。例如，同一河流的不同年份，其来水过程不会完全一样，各年的最大流量、最高水位及最小流量、最低水位等数值及其发生日期不可能完全一致，也就是说，各水文特征值的数量及其出现的机会是随机的。

2. 水文现象的相似性

水文现象的相似性是指在一定条件下的某些河流的水文现象的变化特征在一定程度上具有某种相似的性质。例如，处于同一气候及地理条件的两相邻流域其来水过程的年内分配与年际变动具有同步的特性；又例如，湿润地区的河川径流的年内分配较为均匀，而干旱地区的河川径流的年内分配相对较为不均匀等。

此外，在水文现象的影响因素中，由于下垫面条件的差异，会使处于同一气候条件及地理位置下的不同流域的水文现象，具有各自的特殊性。如山区河流与平原河流的洪水运动规律具有明显的差异，岩溶与非岩溶地区的河川径流变化特征不尽相同等。水文现象的这种伴随着相似出现的特殊性，与水文现象在时程变化上的周期性及数值大小、出现机会的随机性是一种辩证统一的客观规律。

二、水文计算的研究方法

基于上述水文现象的基本特征，现行水文计算的研究方法大致可分为以下三大类。

1. 数理统计法

数理统计法是根据水文现象的随机性规律，运用概率论和数理统计的方法，分析水文变量系列的统计规律，并进行概率预估，从而得出工程规划设计所需要的设计水文特征值的一种研究方法。目前，数理统计法是水文计算的主要方法。

2. 成因分析法

尽管水文现象的发生发展受到众多因素的影响，但是这些影响因素与水文现象之间存在着一定的因果关系。通过大量的水文现象及其影响因素资料的观测、分析和研究，人们可以揭露水文现象与其某些主要影响因素之间的因果关系，乃至建立它们之间的数学物理方程式。通过这种定量关系，可以根据当前影响因素的状况及对其变化规律的推断，预估未来的水文现象。这种方法称之为成因分析法。

3. 地理综合法

根据气候条件及地理特征的地理分布规律，利用现有的固定观测站点的长期观测资料，按地区对某些水文变量的定量分布规律进行研究，从而得出带有规律性的成果，这种研究成果往往可以用等值线图或地区经验公式来表示，该法称为地理综合法。地理综合法对于解决无资料流域的水文特征的估算及设计成果的推求，具有非常重要的作用。

三、水利计算的方法特点

如前所述，水利计算的目的是在水文分析研究的基础上，结合工程的实际进行兴利、除害的综合利用计算，以提供工程规划设计和经济分析所必需的资料和数值，为最终论证并合理选定工程规模、建筑物型式和尺寸、计算所能获得的效益提供依据。计算中应针对工程开发利用及综合治理的具体目标，按照一定的方式进行径流及洪水的重新分配计算，具体计算中除应满足开发治理的目标要求外，应遵循水量平衡原理。

第一章 年径流的分析和计算

第一节 概 述

一、年径流的特性

在一个年度内，通过河流某一断面的水量，称为该断面以上流域的年径流量。在实践应用中，年径流量除了可采用年总水量 W （通常以 m^3 、 $10^6 m^3$ 或 $10^9 m^3$ 计）外，还可用年平均流量 Q （通常以 m^3/s 计）、年径流深 y （通常以 mm 计）及年径流模数 M 〔通常以 $dm^3/(s \cdot km^2)$ 或 $m^3/(s \cdot km^2)$ 计〕等来度量，它们之间的关系可通过适当的方法相互换算。

我国刊布的水文年鉴中，年径流量是按日历年度来统计的。在水文水利计算中，考虑到实际应用的要求，年径流量常按水文年度或水利年度来统计。水文年度一般是按丰水期、枯水期在一年内的周期变化特点来划分的，它的开始是以稳定的地下水补给转变为地表径流补给逐渐增加时起，其终止为枯水期结束时刻。在我国南方，常以一年雨季来临河水上涨时开始，至次年枯水期终了为止，作为一个水文年度；在北方春汛河流，则常考虑融冰雪情况来划分水文年度。水利年度是根据水库蓄、供水情况来划定，通常在一年中以开始蓄水的时间为起点，到年度内最后一个供水期末为止。

对于一个河流断面来说，各年的径流量是不同的，并且在同一年度的不同时期的来水量亦有较大的差异，其年际及年内变化通常有以下一些特点。

1) 年径流量大致以年为长度作周期性变动，年内则由丰水期水量及枯水期水量的不同时期的水量组成。但各年丰水期和枯水期的起迄时间不尽相同，来水量的大小也不同，各年的径流量及过程不会重复，具有偶然的特点。

2) 年径流量的年际变化特点，大致与本地区年降水量的年际变化相应，由于各地气候条件的差异，不同地区的河流年径流量的年际变化特点各不相同。一般情况下，北方河流的年际变化较南方为大。例如，河北省滦河黄壁庄站1918~1972年的多年平均流量为 $71.6 m^3/s$ ，但最丰年（1963年）的平均流量达 $163 m^3/s$ ，最枯年（1972年）的平均流量仅为 $23.8 m^3/s$ ；四川省大渡河龚嘴站1937~1965年的多年平均流量为 $1530 m^3/s$ ，而最丰年（1949年）的平均流量为 $1990 m^3/s$ ，最枯年（1942年）的平均流量为 $1010 m^3/s$ 。

3) 年径流量在多年变化中有丰水年组和枯水年组交替出现的现象。例如，黄河陕县站曾有1922~1932年连续11年的枯水年组，而在1935~1949年的15年，则为丰水年组；浙江新安江也曾出现过1956~1968年的连续13年的枯水年组。

二、工程规模与来水、用水、保证率的关系

上述年径流量的自然变化特点，对于人们按需要来开发利用水资源是不相适应的，为了按照用水部门的要求来进行供水，人们必须兴建水利工程，通过对天然径流加以人工调节的方法，以改变天然径流过程，使其与用水的要求相适应。

设图1-1为某河流断面径流年内分配及相应用水分配示意图。图中 \bar{Q} 代表年平均流量，

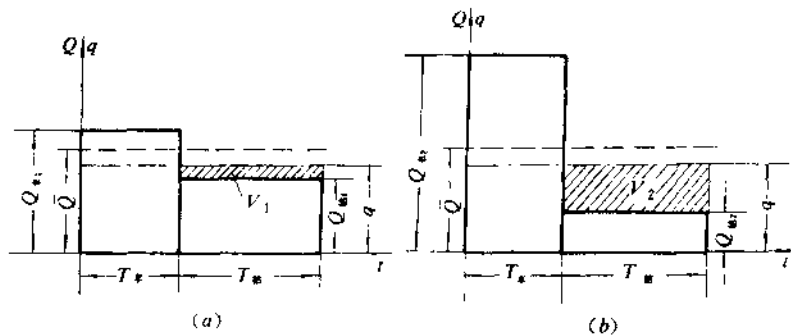


图 1.1 工程规模与来水、用水关系示意图

用水量常数 q ，在丰水期内其来水有余，而在枯水期内则来水不足。为了保证在枯水期内能按要求供水，就必须将丰水期的多余水量储存于水库里以备使用。显然，对于来水年内丰枯变化较小的 (a) 情况，水库库容等于

$$V_1 = (q - Q_{\text{枯}_1}) T_{\text{枯}} \quad (1.1)$$

由式 (1-1) 可知，为保证正常供水，所需水库库容的大小取决于天然径流（来水）和用水量之间的差异的大小，在用水确定的情况下，库容的大小则取决于天然径流的大小。

对于 (b) 情况，其年来水总量与 (a) 情况相同（即年平均流量 \bar{Q} 相等），但其年内分配较 (a) 情况不均匀（即年内丰枯水差异程度较大），此时所需水库库容的大小等于

$$V_2 = (q - Q_{\text{枯}_1}) T_{\text{枯}} \quad (1.2)$$

显然有 $V_2 > V_1$ ，这表明，即便是年来水总量相同，但当年内分配不同时，对于相同的用水量所需的水库库容是不相同的。由此类推，对于一定的用水量来说，由于各年的来水总量及年内分配各不相同，在不同的年份，为满足正常供水，所需的水库库容也是各不相同的。更何况，有些用水部门（如灌溉等）各年的需求水量的差异是相当大的，如若某水利枢纽有 20 年的径流资料和用水资料，根据上述相同的原理，即可推求得所需的 20 个大小不同的库容 V_1, V_2, \dots, V_{20} 。如为了保证每年正常供水，则所应修建的水库库容为其中最大的一个。但是，在工程的规划设计和应用中，要求百分之百的保证供水，往往是不经济的，有时甚至是不可能的。因此，实践中通常根据用水的要求、重要程度及地区的经济状况等因素，选择一个合适的供水保证程度，即供水保证率，作为工程规划设计的依据。供水保证率是用工程在长期运用中供水得到保证的时间与总运行时间的比值（采用百分比）来表示的。供水保证率，就是通常所称的设计保证率。不难想像，设计保证率越高，则供水得到保证的程度就越高，但其相应的工程规模也就越大。

综上所述，在规划设计工作中，水利工程的规模是与来水、用水之间矛盾的大小和希望解决矛盾的程度——即设计保证率来决定的。为此，必须首先分析工程规模、来水、用水和保证率四者之间的关系，通过技术经济比较，才能最终论证并确定工程的规模。

三、年径流分析计算的任务

在上述的四者中，用水量的大小及其过程可根据用水部门的要求预先拟定，设计保证率通常根据国家颁布的规范，结合用水要求及其重要程度、当地的地理情况及经济条件等，

由用水部门合理选定的（参见第五、六章）。因此，在水利工程的规划设计中，为了研究确定用于兴利目的的工程规模，水文分析计算的任务是研究年径流量（来水）的变化规律——年径流量的年际变化及年内分配规律，预估未来工程运行期间的径流变化情势。

在实际工作中，由于水利工程的开发方式和调节性能的差异，以及所采用的水利计算方法（参见第五、六章）的不同，年径流分析计算工作的内容也有所不同，这些内容通常有：

1) 要求分析并提供具有代表性的长系列的逐年逐时段（月、旬或日）的流量过程资料。

2) 要求分析并提供符合某些要求（如符合某设计保证率）的代表年（通常称为设计代表年）逐时段的流量过程资料。

3) 要求分析并提供各种不同统计时段（年的或年内若干个月的）的径流量的多年分布规律（通常用频率曲线来表示）及相应各不同设计频率情况下的来水的年内分配资料。

在具体的分析计算工作中，又会遇到设计断面有充分实测径流资料、资料不足或缺乏资料等情况。为此，必须针对不同的设计要求及资料情况分别进行分析研究，此外，枯水径流作为年内分配的重要组成部分，有必要进行专门的分析。

第二节 径流资料的分析 and 处理

一、径流资料充分、不足和缺乏的一般概念

对具有相当长的系列，在系列中包括丰、中、枯的各种来水组合情况，并且能够反映设计断面径流长期变化的特征，通常称为具有充分实测资料，或称具有长期实测径流资料。当设计断面具有一定长度系列的观测资料，但尚不能全面反映长期来水规律的情势，但可通过一定的方法和手段对资料进行插补展延，并使其满足或达到具有长期资料的要求，通常称之为资料不足，或叫做具有短期实测资料。当设计断面完全没有径流观测资料或虽具有一些观测资料但其系列长度过短，不但不能反映径流长期变化特征，而且也无法进行插补展延时，称之为缺乏资料。前面已经提到，对于这三种不同的资料情况，在年径流的分析计算中需要分别进行不同的研究和处理。

二、年径流资料的审查和分析

水文资料是水文分析计算的基本资料，它直接影响着工程设计的成果质量及精度。因此，对于所搜集到的水文资料，首先要进行慎重的审查和分析。具体来说，在年径流分析计算工作的第一步，应该对实测径流资料的可靠性、一致性和代表性进行审查和分析。

（一）年径流资料的可靠性审查

流量整编资料是年径流分析计算的最基本资料，所谓资料的可靠性，是指所搜集到的资料的可靠程度，要求资料本身没有错误，能客观、真实地反映实际发生的水文情况。为保证计算成果的质量，应在原来整编审查的基础上，进行一番去伪存真的工作，审查工作应从审查测验方法、测验成果、整编方法和整编成果着手，具体审查的内容和方法，可参阅《水文测验学》及《水文资料整编》等书籍。

(二) 年径流资料的一致性分析

绪论中已提到, 将水文变量作为随机变量看待, 应用数理统计的方法来研究其变化规律, 是目前水文分析计算的一种主要方法。而应用数理统计法研究自然现象规律的前提是要求统计系列的每一项资料的生成条件是一致的, 亦即要求资料具备一致性。所谓资料的一致性, 即要求组成系列的全部资料具有相同的成因, 不同成因的资料不得作为同一个统计系列。对年径流资料来说, 其一致性是建立在断面所在流域的气候及下垫面条件的稳定性上的, 当上述条件发生显著变动时, 资料的一致性即遭破坏。一般来说, 气候条件的变化是相当缓慢的, 在几十年乃至几百年间, 可看成是稳定的。但下垫面条件则由于人类活动的影响, 在不同的时期可能会发生显著的变化, 以致使径流资料系列的一致性遭到破坏。引起下垫面条件变化的因素是多种多样的, 通常有:

1) 在断面以上修建蓄水工程、引水工程, 增加了蒸发损失量及引走了原有的天然水量。

2) 大面积的旱地改水田, 增加了流域内的蒸发损失水量。

3) 大面积植树造林及其他水土保持生物措施, 会引起大量拦截地表径流, 改变地表、地下径流比例及断面径流的年内分配过程。

4) 流域内城市规模的扩大, 道路、建筑物及城市人口的增加, 会改变原来的产、汇流条件及增加工业及民用水量。

5) 跨流域的引入、引出水量, 等等。

对于不一致情况的径流系列, 应通过分析计算并设法还原修正到同一基础上。其分析

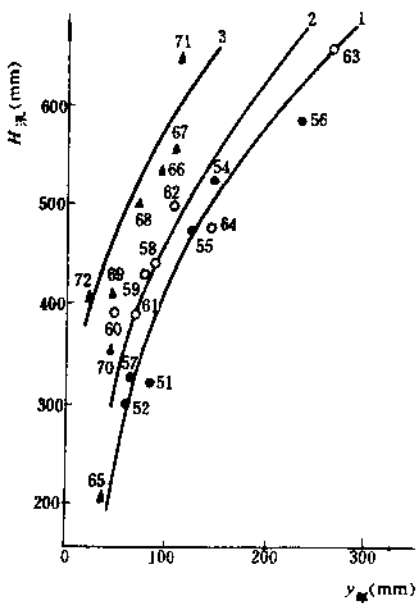


图 1-2 漳河观台站汛期流域平均雨量与年径流量相关图

1 1951~1957年; 2—1958~1964年;

3 1965~1972年

修正的方法通常可通过针对上述各种情况的分项进行调查, 必要时可进行典型的试验及观测研究, 估算出各项变动因素引起的径流量及其年内变化的数量范围, 用水量平衡原理进行还原计算。有时逐项调查与估算会有较大的困难, 在进行还原计算时, 应着重对引起径流变动影响较大的项目进行深入的调查与估算。另外, 还可以通过对流域的年降雨径流关系的分析, 同时结合对流域上人类活动情况的调查来分析其产汇流条件的变化情况, 从而进行还原修正。如河北省漳河观台站对1951~1972年共22年的降雨和径流资料的分析, 通过点绘汛期流域平均雨量 $H_{平}$ 和年径流量 $y_{平}$ 相关图, 按点据分布趋势可分年份定出三条相关线(图1-2)。图中线“1”为1951~1957年的天然情况; 线“2”为1958~1964年因大量修建中小型水库后的情况; 线“3”为1965年以后在干流上修建大型引水渠道后的情况。自1965年至1972年, 相关点据逐年明显地向左偏移, 这表明渠道引

水量逐年增加，断面实测年径流量相应减少。对于此类情况，可将1958年后的各年资料，利用降雨径流关系，还原计算至1958年前的天然情况的径流量。降雨径流相关法是建立在实测的降雨、径流资料的基础上的，据此绘制的相关图有一定的控制条件，是一种还原计算的较好方法。

目前，对由于人类活动引起的断面径流量变动，在多少范围内应进行还原修正，还没有十分统一的标准，有人认为，当水量变动超过原来水量的10%时应予以还原计算。一般来说，只要流域下垫面条件的变化不是非常显著，可以认为径流系列具有一致性。

(三) 年径流资料的代表性分析

1. 水文资料代表性的一般概念

应用数理统计法分析水文规律，其成果的精度与质量取决于样本对总体的代表程度。所谓代表性是指样本资料的统计特征对总体特征的代表程度。代表性越高，所得成果的精度和质量就越高。因此，资料代表性分析对衡量水文计算成果的质量具有重要的意义。

2. 代表性与抽样误差

水文现象的总体是一个无限总体，而目前在进行水文计算时所具备的资料系列，无论如何长，对总体来说只是一个样本。显然，样本的统计参数对总体来说，总存在一定的误差，这个误差就是抽样误差。现行水文计算的频率分析法是以样本的统计参数去推断总体的统计参数，从而预估未来水文情势的。在进行这种推断时，有必要分析考虑这一抽样误差。

由数理统计原理可知，用样本计算的某个参数 x_n 与总体参数 $x_{总}$ 之差 $\Delta x = x_n - x_{总}$ ，其取值范围为 $[-\infty, \infty]$ ，它是一个随机变量，具有其分布，这种分布称为抽样分布。根据误差理论，当样本容量较大时，抽样分布通常服从正态分布，可用抽样分布中的均方差 σ 作为度量抽样误差的指标。而抽样分布的集中程度与样本容量的大小有关，当样本容量越大时，其抽样误差的分布越集中。当总体服从P-III型分布(C_s 为 C_v 的任意倍数)时，样本参数的均方误(抽样分布的均方差 σ 常称为均方误)计算公式如下：

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1-3)$$

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{2n} \sqrt{1 + \frac{3}{4} C_s^2} \quad (1-4)$$

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{\sqrt{2n}} \sqrt{1 + 2C_s^2 + \frac{3}{4} C_s^2 - 2C_v C_s} \quad (1-5)$$

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n} \left(1 + \frac{3}{2} C_s^2 + \frac{5}{16} C_s^4 \right)} \quad (1-6)$$

上述各式中， $\sigma_{\bar{x}}$ 、 σ_{σ} 、 σ_{C_v} 、 σ_{C_s} 分别为 \bar{x} 、 σ 、 C_v 、 C_s 的均方误。

表1-1列出了 $C_s = 2C_v$ 时各特征数的抽样误差[分别由式(1-3)、(1-5)、(1-6)算出]。

由表1-1可得出如下结论：

1) \bar{x} 和 C_v 的抽样误差较小，而 C_s 的抽样误差特别大。如当 $n = 100$ 时， C_s 的误差仍在10%~126%之间。目前水文资料系列一般都较短($n < 100$)，直接由资料计算的 C_s 值，抽

表 1 1

样本参数的均方误(相对误差%)

参 数		\bar{x}				C_r				C_s				
系列长度	n	100	50	25	10	100	50	25	10	100	50	25	10	
C_r	0.1	误 差	1	1	2	3	7	10	14	22	126	178	252	390
	0.3		3	4	6	10	7	10	15	23	51	72	102	162
	0.5		5	7	10	12	8	11	16	25	41	58	82	130
	0.7		7	10	14	22	9	12	17	27	40	56	80	126
	1.0		10	11	20	23	10	11	20	32	42	60	85	134

样误差太大, 难以应用。

2) 各参数的抽样误差与样本容量 n 成反变关系。如 \bar{x} , 当 $C_r = 0.5$ 时, $n = 100$ 的抽样误差为 5%, $n = 10$ 的抽样误差为 12%。很明显, 样本容量越大, 其抽样误差就越小。

3) 抽样误差随 C_s 值的增大而增大。如仍以 \bar{x} 为例, 当 $n = 100$ 时, $C_s = 0.1$ 的抽样误差为 1%; $C_s = 1.0$ 时的抽样误差则为 10%。这表明, 相同容量的样本, 统计参数的抽样误差将随着 C_s 值的增大而增大。

上列具有概率概念的抽样误差计算公式, 只是许多容量相同的样本的平均情况。至于某个具体样本的实际抽样误差, 可能比它大, 也可能比它小。样本实际误差的大小取决于其对总体代表性的高低, 当代表性较高时, 其抽样误差较小。反之, 当代表性较低时, 抽样误差较大。由上述第 2) 条结论来看, 通常认为样本容量大者, 其抽样误差较小的可能性要大, 亦即样本对总体代表性较高的可能性要大。

3. 目前常用的年径流系列代表性分析方法

由于水文资料的总体是一个无限总体, 所以总体的分布特征是未知的。因此, 样本分布特征对总体的代表程度无法就其本身来分析检验。但是, 根据上面的分析可知, 当样本系列容量越大时, 抽样误差的分布越集中, 其抽样误差较小的可能性就越大, 代表性较高的可能性越大。此外, 年径流系列的代表性主要是反映各时期气候条件的随机波动特征, 在同一地区内, 可能在一定的范围内具有相似的丰枯变化特点。基于这种分析, 对于年径流资料系列代表性的分析, 通常可以通过与同一地区更长系列的水文变量的分布特征进行比较来进行。下面讲述两种年径流资料代表性的分析方法。

(1) 长短系列统计参数对比分析法 设某站具有 n 年的实测年径流资料, 为了检验这一资料系列的代表性, 可在同一气候区内选择下垫面条件相似且具有长系列年径流(或其他在成因上有联系的水文变量, 如年降水量等)资料作为参证系列, 进行对比分析。若长系列参证资料具有 N 年 ($N > n$), 可先计算出其 N 年长系列的统计参数 \bar{x}_N 和 C_{rN} , 然后计算其与设计站 n 年同期资料的统计参数 \bar{x}_n 和 C_{rn} 。如果二者的统计参数大致接近或相等, 则可认为参证站 n 年这段时期的系列在长系列 N 年中具有代表性, 由此推断设计站的 n 年系列也具有代表性; 如果二者的统计参数相差较大, 则认为设计站 n 年的径流系列缺乏代表性, 此时, 应设法插补展延系列, 以提高其代表性(参见本节三)。

(2) 累积平均统计分析法 此法是对具有长系列的参证站的资料系列, 自现在起逐年依次逆时序按下式计算累积均值: