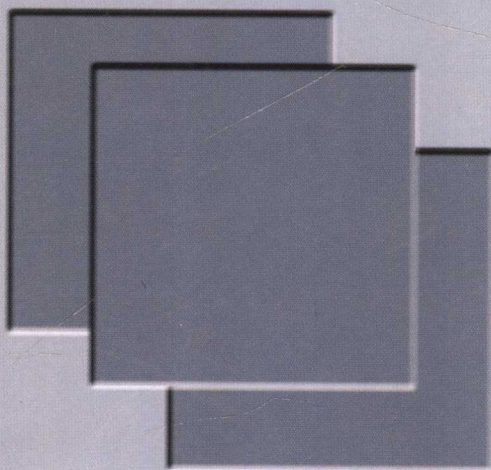




全国高职高专水利水电类精品规划教材

水文及水利水电规划

主 编 林 辉 汪繁荣 黄泽钧



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是“全国高职高专水利水电类精品规划教材”中的一本，主要内容包括：水文循环与径流形成，水文信息采集与处理，水文统计的基本方法，年径流和年输沙量的分析计算，洪水分析计算，水库兴利调节计算，水能计算及水电站主要参数选择，水库防洪调节计算，水库调度等。

本书可供高等职业技术学院、普通高等专科学校水利工程、水利工程施工技术、水利水电建筑工程、水利水电工程管理等专业教学使用，也可供从事水利水电工程规划、可行性研究、初步设计等方面工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水文及水利水电规划 / 林辉, 汪繁荣, 黄泽钧主编.

北京: 中国水利水电出版社, 2007

全国高职高专水利水电类精品规划教材

ISBN 978-7-5084-4095-8

I. 水… II. ①林…②汪…③黄… III. ①工程水文学—高等学校: 技术学校—教材②水利规划—高等学校: 技术学校—教材③水力发电工程—水利规划—高等学校: 技术学校—教材 IV. TV12 TV212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 030602 号

书 名	全国高职高专水利水电类精品规划教材 水文及水利水电规划
作 者	主编 林辉 汪繁荣 黄泽钧
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 17.75 印张 421 千字
版 次	2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	27.00 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

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。所以，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，在继 2004 年 8 月成功推出《全国高职高专电气类精品规划教材》之后，2004 年 12 月，在北京，中国水利水电出版社组织全国水利水电行业高职高专院校共同研讨水利水电行业高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前水利水电行业高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专水利水电类精品规划教材》。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用性的高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地贯彻了水利水电行业新的法规、规程、规范精神，反映了当前新技术、新材料、新工艺、新方法和相应的岗位资格特点，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能够适应三年制高职高专教育的要求，也适应了两年制高职高专教育培养目标的要求。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》编委会

2005 年 6 月

前

言

本书是根据“全国高职高专水利水电类精品规划教材”编审会议的决定组织编写的。主要包括：水文气象基本知识，水文信息采集与处理，水文分析与计算，径流调节与水能计算，水库调度等。在编写过程中，我们努力体现高职高专的教学特点，并结合我国水利水电工程建设与管理的实际精选内容，各章还编写了一定量的思考题与习题，以期贯彻理论联系实际，注重实践能力培养，突出针对性和实用性，便于学生学习和掌握。同时，我们还适当照顾了不同地区的特点和要求，力求反映国内外水文分析及水利水电规划技术的先进性。

本书绪论、第1章、第2章及第9章由福建水利电力职业技术学院林辉编写；第3章、第4章由福建水利电力职业技术学院林和振编写；第5章、第8章由湖北水利水电职业技术学院黄泽钧编写；第6章、第7章由长江工程职业技术学院汪繁荣编写。全书由林辉担任第一主编并统稿，汪繁荣担任第二主编，黄泽钧担任第三主编，林和振担任副主编。

在本书编写中，承蒙各编写人所在学院给予了大力支持，福建省南平水文水资源勘测分局周声宏高级工程师等给予了热情帮助和指导。本书参考并引用了有关院校编写的教材和生产科研单位的技术文献资料，除部分已经列出外，其余未能一一注明，特此一并致谢。

由于编者水平所限，书中错误和缺点在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2006年12月

目 录

序

前言

绪论	1
0.1 我国水资源概况	1
0.2 水文现象及其研究方法	5
0.3 本课程在水资源开发利用工程中的应用	6
思考题与习题	7
第1章 水文循环与径流形成	8
1.1 水文循环	8
1.2 河流与流域	9
1.3 降水	14
1.4 蒸发与下渗	19
1.5 河川径流的形成与水量平衡	20
思考题与习题	25
第2章 水文信息采集与处理	26
2.1 水文测站	26
2.2 降水、蒸发与下渗的观测	28
2.3 水位观测与计算	34
2.4 水温与冰情观测	36
2.5 流量测验	37
2.6 水文数据处理	44
2.7 泥沙测验与计算	49
2.8 水文调查与水文遥感	55
2.9 水文数据处理成果的刊布	56
思考题与习题	58
第3章 水文统计的基本方法	61
3.1 概述	61

3.2 概率、频率、重现期的基本概念	61
3.3 随机变量及其频率分布	64
3.4 资料审查与相关分析	70
3.5 频率计算	78
思考题与习题	85
第4章 年径流和年输沙量的分析计算	87
4.1 概述	87
4.2 具有实测径流资料时设计年径流的分析计算	89
4.3 缺乏实测径流资料时设计年径流量的分析计算	92
4.4 枯水径流的分析计算	94
4.5 河流多年平均输沙量的分析计算	97
思考题与习题	101
第5章 洪水分析计算	103
5.1 概述	103
5.2 由流量资料推求设计洪水	107
5.3 由暴雨资料推求设计洪水	117
5.4 小流域设计洪水计算	139
思考题与习题	150
第6章 水库兴利调节计算	153
6.1 概述	153
6.2 水库特性	155
6.3 设计保证率与设计代表期	158
6.4 兴利用水与水库水量损失	161
6.5 水库淤积估算和死水位的主要影响因素	164
6.6 年调节水库兴利调节计算	165
6.7 多年调节水库兴利调节计算	173
思考题与习题	177
第7章 水能计算及水电站主要参数选择	180
7.1 水能资源开发方式	180
7.2 水电站水能计算	181
7.3 电力系统的负荷及容量组成	186
7.4 水电站在电力系统中的运行方式	188
7.5 水电站主要参数选择	194
思考题与习题	205
第8章 水库防洪调节计算	207
8.1 概述	207

8.2 水库防洪调节计算的基本原理	208
8.3 无闸门控制的水库调洪计算	210
8.4 有闸门控制的水库调洪计算	220
8.5 考虑洪水预报的水库防洪计算	224
8.6 工程实例	226
思考题与习题	233
第9章 水库调度	236
9.1 基本要求	236
9.2 汛期调度计划的编制	237
9.3 水库年度供水计划的编制	245
9.4 年调节水库兴利调度图的绘制和应用	247
9.5 多年调节水库兴利调度图的绘制和应用	251
9.6 水库优化调度	253
思考题与习题	261
附表	264
参考文献	274

绪 论

0.1 我国水资源概况

1. 水资源的涵义

水资源是人类生产和生活不可缺少的自然资源，也是生物赖以生存的环境资源。在《中国大百科全书》中，水资源被定义为“地球表层可供人类利用的水，包括水量（水质）、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源”。1977年联合国教科文组织建议“水资源应指可资利用或有可能被利用的水源，这个水源应具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”

广义的水资源指水圈内的所有水体。包括海洋、冰川、河流、湖泊、沼泽、土壤水、地下水、生物水和大气水中的水分，其中有咸水，也有淡水。狭义的水资源，通常所指的是逐年可以恢复和更新的那部分淡水资源。对人类最为实用的水资源，是陆地上每年可以更新的降水量、江河流水量和浅层地下水的淡水量。水资源的特点突出表现为具有循环性，是一种可更新的自然资源；同时具有空间和时间分布的不均匀性、不同形式水资源的相互转化性和经济上的两重性。随着人类社会经济的发展和人口剧增，对水的需求日益增长，不少国家和地区，已经不同程度地出现水源危机。因此，研究水资源的开发利用和管理，已成为世界各国普遍重视的重要课题。

我国开发利用水资源具有悠久的历史，逐渐形成了比较完整且具有中国特色的水利科学体系。公元前250年左右，秦代李冰在四川省灌县修建了解决成都平原水旱灾害的举世闻名的都江堰水利工程就是明显的一例。长期以来，水利界人士一直认为水利就是兴水利、除水害。在西方国家文字中，暂时还找不到与我国“水利”一词完全相对应的较贴切的译文。因此，我国水利与水资源两词并行，具有一定的历史背景。随着时间的发展，西方的“水资源”也越来越具有“水利”的意义。

2. 水资源的基本特性

水资源作为与人类生活、生产关系十分密切的自然资源，其特性主要表现为再生性、有限性、用途多样性、分布不均匀性、经济上的两重性等。

(1) 资源的再生性。水资源的再生性源于地球上周而复始的水循环。狭义水资源的观点强调水资源主要是指某一地点逐年可以恢复和更新的淡水资源。宏观上看，地球上一切水体都在自然界的水循环中不断地转化、更新。不同水体更替周期长短不同。更替周期短的水体可利用率高，遭受污染时水质恢复快。地球上某些水体，如深层地下水、高山冰川、永冻带底冰等更新速度极其缓慢，其更替周期长达一千年以上。这些水体每年可恢复、更新的水量极其有限。水资源的再生性表明它是一种可持续利用的自然资源。

(2) 资源的有限性。由上述可知水资源的再生性源于自然界的水循环。鉴于地球上的



水循环是周而复始、永不停息的过程,水资源曾被认为是“取之不尽、用之不竭”的自然资源。这种认识是不恰当的,甚至是有害的。尽管水循环过程是有限的,但是无论从储量上或是从降水补给量上讲,水资源是有限的。从储量上看,全球的淡水储量仅占全球总水储量的2.5%。而且其中大部分还储存在极地冰帽和冰川中,不能够直接利用。降水是可以逐年恢复和更新的地表径流和地下径流的补给源,一个地区的年降水量是有限的,降水到达地面之后还要经过蒸散发的消耗。强调水资源的再生性时必须清醒地看到水资源的有限性,水资源的开发利用,只有在不出出其逐年可恢复、更新的限度,才可能保持其可持续利用。

(3) 时空分布的不均性。全球气候运转机制及相应产生的大气环流的复杂变化,影响和制约着降水的地区分布和年际、年内变化。中国位于亚欧大陆的东南部,幅员辽阔,地势西高东低,地形复杂,受季风气候影响,东南部地区多雨湿润,西北部地区少雨干旱,季节变化明显,雨期较集中于夏季。降水地区分布不均,造成水、土资源组合不合理。降水年际、年内变差大,造成河川径流的丰枯变化强烈。鉴于这一特性,人类在开发利用水资源时,不仅应采取工程措施来提高供水的可靠性,还必须设法抗御汛期大洪水所形成的威胁。

(4) 用途的多样性。水资源是被人类广泛利用的自然资源。它不仅广泛用于农业、工业、生活用水,还用于发电、水运、渔业、旅游和环境用水等。各种用途的用水特点不同,如有些用水部门属于消耗性用水;有些部门是用而不耗,或是消耗很小。根据其用途的多样性,人类在开发利用水资源时,必须注重一水多用,充分发挥水资源的综合利用效益。

(5) 经济上的两重性。由于降水和径流时空分布不均,形成因水过多或过少而引起洪、涝、旱、碱等自然灾害;由于水资源开发利用不当,也会造成人为灾害,如垮坝事故、土壤次生盐渍化、水体污染、海水入侵和地面沉降等。水的可供利用及可能引起灾害,决定了水资源在经济上的两重性,既有正效益也有负效益。水资源的综合开发和合理利用,应达到兴利、除害的双重目的。

3. 我国水资源及其利用

(1) 水资源数量。我国是一个水资源短缺、水旱灾害频繁的国家。如果按水资源总量考虑,位居世界第五位,但是我国人口众多,若按人均水资源量计算,人均占有量只有2350 m^3 ,只有世界人均占有水量的27%。根据149个国家按1990年人口统计的人均占有水量由多到少排列,中国排在第110位,已经被联合国列为13个贫水国家之一。据预测,到2010年,即使充分挖掘现有水利工程潜力,兴建一些新的水利项目,全国总供水量为6200亿~6500亿 m^3 ,相应的总需水量将达7300亿 m^3 ,供需缺口近1000亿 m^3 。我国水资源总量统计结果见表0-1。

表 0-1

我国年降水量、年径流量统计表

分 区	计算 面积 (km^2)	年降水量		年河川径流		年地下水 (亿 m^3)	年水资源 总量 (亿 m^3)
		降水总量 (亿 m^3)	降水量 (mm)	径流总量 (亿 m^3)	径流深 (mm)		
黑龙江流域片 (中国境内)	903418	4476	496	1166	129	431	1352
辽河流域片	345027	1901	551	487	141	194	577
海滦河流域片	318161	1781	560	288	91	265	421

0.1 我国水资源概况

续表

分 区	计算 面积 (km ²)	年降水量		年河川径流		年地下水 (亿 m ³)	年水资源 总量 (亿 m ³)
		降水总量 (亿 m ³)	降水量 (mm)	径流总量 (亿 m ³)	径流深 (mm)		
黄河流域片	794712	3691	164	661	83	406	744
淮河流域片	329211	2803	860	741	225	393	961
长江流域片	1808500	19360	1071	9513	526	2464	9613
珠江流域片	58041	8967	1554	4685	807	1115	4708
浙闽台诸河片	2398038	4216	1758	2557	1066	613	2592
西南诸河片	851406	9346	1098	5853	688	1544	5853
内陆诸河片	3321713	5113	154	1064	32	820	1200
额尔齐斯河片	52730	208	395	100	190	43	103
全 国	9545322	61862	648	27115	284	8288	28124

表 0-1 表明,我国各流域由于面积不同,加之自然地理条件的差异,水资源禀赋差别很大,全国年降水总量为 61862 亿 m³,多年平均地表水资源(即河川径流量)为 27115 亿 m³,平均地下水资源量为 8288 亿 m³,扣除重复利用量以后,全国平均年水资源总量为 28124 亿 m³。实际上,只单独考虑水资源量的多少并没有什么意义,必须与当地的社会经济生产条件相结合,必须与水资源的质量结合起来,才具有其社会意义。

(2) 水资源质量。水资源是水资源量与水质的高度统一,在一特定的区域内,可用水资源的多少并不完全取决于水资源数量,还取决于水资源质量。质量的好坏直接关系到水资源功能,决定着水资源用途,例如,优质矿泉水,具有良好的水质,具有多方面的功能,有较高价值,与此相反,劣质的污水不仅没有任何使用价值,反而会给人们带来各种危害(破坏景观、影响健康、带来各种经济损失等)。因此,在研究水资源时,水质是非常重要的,是绝不能忽略的,只考虑水量或者水质的作法都是不科学的,必须予以纠正。

我国一些水量较多地区,河水矿化度和总硬度都比较低,全国各主要江河干流的河水矿化度和总硬度也都比较低。但多年来,我国水资源质量不断下降,水环境持续恶化,由于污染所导致的缺水和事故不断发生,不仅使工厂停产、农业减产甚至绝收,而且造成了不良的社会影响和较大的经济损失,严重地威胁了社会的可持续发展,威胁了人类的生存。

(3) 水能资源及其分布特点。水能是指水流在重力作用下不断向下游流动的过程中所具有的势能和动能的总称。利用水流的水能来生产电能的用水部门叫水力发电部门。据统计,全世界可能开发水能资源的总装机容量为 22.61 亿 kW,总年发电量为 98000 亿 kW·h。我国水能资源极其丰富,全国可能开发的装机容量为 3.78 亿 kW,年发电量 19233 亿 kW·h。我国各大河流域可能开发水能资源情况如表 0-2 所示。



表 0-2

我国各大河流域可能开发的水能资源

流 域	装机容量 (万 kW)	年 发 电 量	
		亿 kW · h	占全国 %
长 江	19724	10275	53.4
黄 河	2800	1170	6.1
珠 江	2485	1125	5.8
海 滦 河	214	52	0.3
淮 河	66	19	0.1
东北诸河	1371	439	2.3
东南沿海诸河	1390	547	2.9
西南国际诸河	3768	2099	10.9
雅鲁藏布江及西藏其他河流	5038	2969	15.4
北方内陆及新疆诸河	997	539	2.8
全 国	37853	19233	100.0

我国水能资源的分布特点是西南多, 东北、华北少, 如表 0-3 所示。

表 0-3

我国按地区划分的可能开发水能资源

项 目 \ 地 区	可能开发容量 (万 kW)	可开发年发电量 (亿 kW · h)	占全国比重 (%)
东 北	1199	384	2.0
华 北	692	232	1.2
华 东	1790	688	3.6
中 南	6743	2974	15.5
西 南	23234	13050	67.8
西 北	4194	1905	9.9
合 计	37853	19233	100

(4) 水资源开发利用概况。1949 年中华人民共和国成立以后, 我国水利建设取得很大成就。至 2004 年底, 全国已累计建成各类水库 85160 座, 水库总库容达 5542 亿 m^3 , 其中大型水库 460 座, 总库容 4147 亿 m^3 。累计建成江河堤防长达 27.7 万 km, 保护人口 5.31 亿人, 保护耕地 43900 千 hm^2 。全国节水灌溉面积达到 20346 千 hm^2 , 农业灌溉水利用效率由“十五”初期的 0.43 提高到现在的 0.45。至 2005 年底, 我国电力装机总容量已突破 5 亿 kW, 年发电量达到 2.4 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 其中, 水力发电装机规模超过 1 亿 kW, 使我国成为世界上拥有水电装机最多的国家。根据国家有关发展规划, 到 2010 年, 全国水电装机将达到 1.25 亿 kW, 占电力总装机容量的 28%; 到 2015 年水电装机达到 1.5 亿 kW, 占电力总装机容量的比重仍维持 28%, 届时水能资源开发程度将达到 40%, 中国将成为名副其实的水电大国。

长江三峡水利枢纽工程, 装机总容量 1820 万 kW, 年发电量 847 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 是迄今为止国内最大的建设项目, 在世界同行业、同类型的建设工程中也绝无仅有。三峡水电站第一台发电机组于 2003 年 6 月实现并网发电, 2009 年三峡工程将全面竣工。仅次于三峡

水利枢纽规模的又一特大型水利工程，位于金沙江干流上的溪洛渡水电站于 2005 年 12 月开工建设，电站总装机容量 1260 万 kW，年发电量 572.2 亿 kW·h，溪洛渡水电站工程计划于 2017 年竣工。

南水北调工程是我国计划兴建的超大型跨流域调水工程，以解决京津冀用水为主要目标。按规划，分别从长江上、中、下游引水，称为南水北调西线、中线、东线方案。于 2002 年 12 月率先启动的东线工程将贯通长江、黄河、淮河、海河四大江河，实现四大流域水资源的合理配置，统筹规划调水区和受水区的经济效益、社会效益和生态效益。南水北调工程共分三期 15 年执行，工程建成后，将有效解决北方水资源严重短缺问题。

0.2 水文现象及其研究方法

1. 水文现象的基本特点

水文现象是指自然界中的水，在太阳辐射能和地心引力作用下，发生转化、运动而产生的各种现象。如蒸散发、降水、下渗、径流、冰情、泥沙径流、溶解质径流、潮汐、波浪、洋流、涡旋等。水文循环是形成各种水文现象的纽带，所以，也是地球上最基本的一种水文现象。水文现象随时随地的变化构成了不同的水文过程，形成不同的水文特征。河流的水文现象受气候和自然地理因素的综合影响，而这些因素时空变化的组合，决定了不同地区河流水文现象的基本特点，经实测资料分析，水文现象的基本特点可归纳为在时程上存在着在周期性与时机性对立统一；在地区上存在着相似性与特殊性的对立统一。

(1) 时程上的周期性与时机性。所谓周期性是指水文现象的过程，大致以某一时段为循环周期，周而复始近似地重演着。水文现象的周期变化，一般具有相似性，即在某周期内其数量在时程上的变化趋势大致相似，但在时程的具体数量上却具有不重复性，这就是随机性，又叫偶然性。利用周期性有助于认识水文现象的历史演变规律，去预估未来的演变趋势；利用随机性的特点，便可利用数理统计和概率理论来处理水文问题，因水文现象具有不重复性的特点，就要求对水文现象进行长期的连续的观测，以减少统计中的抽样误差，正确地揭示水文现象的变化规律。

(2) 地区上的相似性与特殊性。水文现象因受气候因素的影响，具有可以分带的规律性，自然地理因素具有可以分区的规律性表现为地区性、相似性和某些特殊性，也就可以对水文要素进行分区，分类进行研究，通过对有代表性的典型地区、典型站的水文现象进行长期的观测和研究，可推广应用到同类型的地区去。

2. 水文学的研究方法

水文学的研究与其他科学研究一样，通过实践获取信息，分析信息，得出规律，用以指导人们改造自然，同时促进水文科学自身的发展。随着对水文现象的认识的不断发展和深化，人们已经越来越意识到水文循环是自然界各种水体的存在条件和相互联系的纽带，是水文现象的各种运动、变化形式的总和，是水文科学研究的主要对象和核心，而且在水文循环过程中，水文现象所表现出的特点决定了水文学研究的特点和方法。

水文学的研究必须建立在实测资料的基础上，以辩证唯物论的认识论和方法论作指导，根据水文现象的基本特性进行综合分析。研究水文规律所需的实测资料，通常是通过



水文调查、水文观测和水文实验等途径获得的。

水文学研究的特点，是通过已经获得的短暂的实测水文资料（通常最多仅有 100 余年的实测系列），把各种水文现象作为一个整体，并把它们同大气圈、岩石圈、生物圈及人类活动对它的影响结合起来，进行水文过程和水文规律的研究，并进一步预测或预估水文情势的未来状况，例如，对旱涝灾害作出中长期预报，对水利工程未来数百年期间可能遇到的特大洪水作出概率预估等，从而直接为人类生活和生产服务。

传统的水文学研究方法主要有成因分析法、数理统计法和地理综合法三种。成因分析法以物理学原理为基础，研究水文现象的形成、演变过程，揭示水文现象的本质、成因，水文现象与各因素之间的内在联系，以及其定性和定量的关系，通常是建立某种形式的确定性模型。数理统计法是以概率理论为基础，根据实测资料，运用数理统计方法，求得水文现象特征值的统计规律，或对主要水文现象与其影响因素之间进行相关分析，求出其经验关系。20 世纪 60 年代发展起来的随机水文学，则主要是运用随机分析方法，把水文现象确定性和不确定性结合在一起研究。地理综合法是按照水文现象地带性规律和非地带性的地域差异，用各种水文等值线图表示水文特征的分布规律，或建立地区经验公式，以揭示地区水文特征。

水文学的应用研究，主要有：①水文系统信息的采集与信息量的量化分析；②水文统计与水文风险分析；③水文系统模拟；④水文预测预报；⑤水资源管理和水环境保护中应用的水文学基础；⑥水资源水环境的相互作用与转化关系研究；水环境劣变对水资源量与质的影响机理等。而近代水文学的发展趋势与研究特点是：水文学研究的领域愈来愈广泛，研究的问题也越来越复杂，并且遇到了来自各方面的不确定性和非确知问题。近代水文学的研究已愈来愈注重系统性和整体性。水文学的研究与为人类服务，解决实际工作中各项水的问题的联系更紧密了，如水旱灾害预测预报和可持续水资源管理的水文学基础研究等。

0.3 本课程在水资源开发利用工程中的应用

从水文学的研究对象来看，水文学是地球物理科学的一部分。进入 20 世纪以来，大量兴起的防洪、灌溉、水电、航运工程、铁路、桥梁和农业、林业及城市建设，向水文科学提出许多新课题。解决这些新课题的方法也由经验的、零碎的知识逐渐理论化和系统化，水文科学的应用特色也逐渐显现出来，并率先形成最重要的分支学科——水文及水利水电规划。它包括水文分析与计算、水利水电规划两大内容。由于天然来水过程与国民经济的需要不相适应，修建水利工程就是解决这一矛盾的技术措施。每一水利工程在其实施过程中，都可划分为规划设计、施工及管理运营三个阶段。

规划设计阶段，水文计算与水利水电规划的主要任务是确定工程的规模。规模过大，造成工程投资上的浪费；过小，又使水资源不能充分利用，也是一种浪费。对于防洪措施如标准过低，还可能导致工程失事，造成工程本身和下游人民生命财产的巨大损失。在多沙河流兴建水利工程还需估算蓄水引水工程的泥沙淤积量，以便考虑延长工程寿命的措施。水利工程的使用期限一般为几十年甚至百年以上，规划设计时，必须知道控制水体在使用期间的水文情势，进而确定工程规模和效益。水文及水利水电规划就是研究这类问题的学科。

施工阶段，其任务即将规划设计的工程付诸实施。因而在施工期间（往往需要一个季度甚至长达几年）必须对水文情势有所了解。通常的水文和气象预报，往往不能提供如此长期的预测成果，仍需通过水文水利计算来解决这个问题。

管理运营阶段，其主要任务在于使建成的工程充分发挥作用。为此需要未来一定时期的水文情势，以便确定最经济合理的调度方案。此时还是需要由水文及水利计算得到的长期平均的水文情势结合短期水文预报的结果，从而提出最佳的工程调度运用方案。

规划设计水利工程大体可分为两大环节：水文计算为第一个环节，其输入为基本水文气象资料，输出是当地可能出现的水文情势。水文计算的输出则是后继环节——水利计算的输入；水利计算由当地的水文情势、自然情况和国民经济对水资源开发利用的需求，研究各种设计方案的经济效益，从中选出最优方案，如图 0-1 所示。

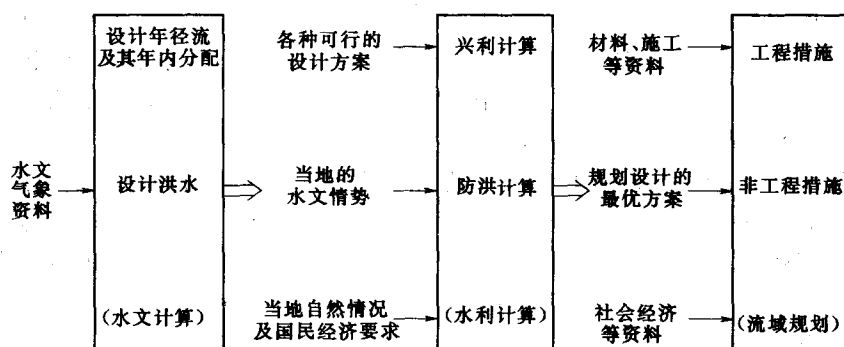


图 0-1 流域规划工作流程图

许多新技术，如遥感、遥测、电子计算机和核技术等在水文及水利水电规划中得到广泛应用，相应的分支学科势必逐步建立并得到深入发展。水文及水利水电规划是水资源合理开发利用的技术基础，对国民经济各部门具有重要影响，在现代化建设中发挥着重大作用。随着生产的需要、学科间的渗透和新技术的应用，水文及水利水电规划学科必将得到更广泛和深入的发展。

思考题与习题

- 0-1 何谓水资源？为什么说水资源是再生资源？
- 0-2 从前曾认为水资源是取之不尽、用之不竭的，这种说法其实并不正确，为什么？为了使水资源能够长期可持续利用，你认为应当如何保护水资源？
- 0-3 水资源的基本特性是什么？
- 0-4 水文现象有哪些基本规律和相应的研究方法？
- 0-5 试举出水文学中两个以上关于成因规律的例子。
- 0-6 试举出水文学中两个以上关于统计规律的例子。
- 0-7 本课程在水资源开发利用工程的各个阶段有何作用？

第 1 章 水文循环与径流形成

1.1 水 文 循 环

地球仪表面大部分面积是蓝色的，这是因为蓝色代表着地球表面 71% 的水面，因而地球素有水的“行星”之称。整个地球上约有 13.86 亿 km^3 的水，其中海水占 96.5%，陆地上水仅占 3.5%，其中地表水和地下水各占一半。据估计，对人类生活和生产关系密切的淡水资源，并且可恢复的淡水资源仅有 4.7 万 km^3 ，占全球总水量的 10 万分之 3.39，且分布极不均匀，未能发挥应有效益。

自然界中的水始终处在运动之中，这是由其内因和外因造成的，内因是由于水的物理性质亦即水的三态的相互转换；外因是太阳辐射和地心引力。其中太阳辐射是促使水分运动的最基本的动力。又由于外因是永恒的，于是自然界中的水分运动也就没有终止了。

水分运动的形式，可分为以下三种：一是从海洋水面上蒸发的水汽，又在海洋上空成云致雨，以降水形式降落在海洋上；二是从海洋水面上蒸发的水汽，随大气运行到大陆上空后，在一定条件下，水汽凝结并以降水形式降落到陆面，其中有的雨水渗入地下，有的则沿着江河流入大海，还有一部分雨水由于蒸发而重返大气之中；三是陆地表面上蒸发的水汽，又在其上空成云致雨，降落到大地。以上水的运动三种情况表现了往复循环、不断转移交替的现象，则称为水循环。由于它是通过降水、蒸发、河川水流等水文要素实现的，所以水循环又叫水文循环。海洋与大陆之间的水文交替过程叫大循环，而海洋与海洋之间、陆地与陆地之间局部区域的水分交替过程叫小循环，见图 1-1 所示。水文循环的形成和途径，受着多种因素的影响，其变化是错综复杂的。但我们人类对之可加以改造，

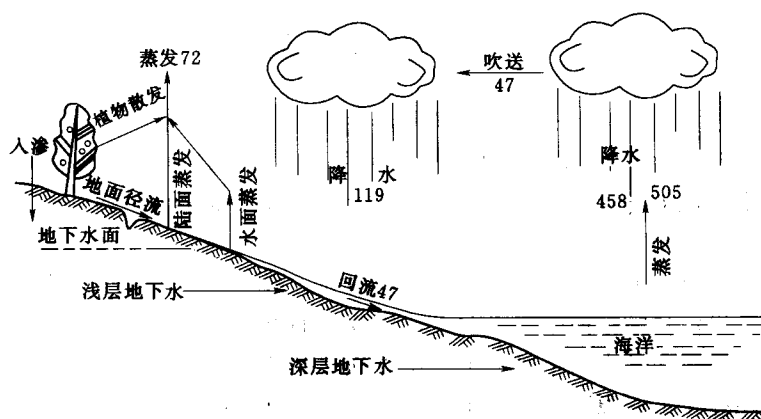


图 1-1 水文循环示意图 (单位: 万亿 m^3)

使水循环有利于人类社会生产的发展和生态环境的平衡。

据估算,地球上每年参与水文循环的总水量约 577 万亿 m^3 。从海洋水蒸发到空气中的水汽,每年达 505 万亿 m^3 ,海洋每年总降水量约 458 万亿 m^3 ,两者差值为 47 万亿 m^3 ,则被气流输送到陆地的上空。陆地上每年降水量约 119 万亿 m^3 ,比陆地上每年蒸发量 72 万亿 m^3 多 47 万亿 m^3 ,多余的水量通过江河又回流到海洋,如图 1-1 所示。

1.2 河流与流域

1.2.1 河流

河流是接纳、汇集地面和地下径流的天然泄水道,是水文循环的必经之途。流入海洋的河流称为外流河,流入内陆湖泊或消失于沙漠之中的河流称为内流河。按河流流经地区的特性,可分为山区型和平原型河流。虽说陆地上河流水量远不及海洋水之多,然而它却与人们的关系最为密切,从传说中的大禹治水开始,几千年来对河流兴利除害,斗争不息。因此,河流也就成为水文学研究的对象了。

1.2.1.1 河长

河流的长度是指干流的自然弯曲长度,以公里计。它是在水系地形图上用求线仪或卡尺丈量所得。一般划分为河源、上游、中游、下游、河口等五段。各个河段由于不同的地貌特征,故有它不同的特点,主要表现在河槽、比降、流速等方面。例如,长江发源于唐古拉山主峰各拉丹东雪山西南侧,源头为沱沱河;河源到湖北宜昌为上游段;宜昌到江西湖口为中游段;湖口至入海处为下游段;河口处有崇明岛,江水最后流入东海。长江干流的长度为 6300km,是我国最长的河流,居世界第三位。

1.2.1.2 水系

地表水与地下水可通过地面与地下途径,由高处流向低处,汇入小沟、小溪、最后汇成大小河流。河流分为支流与干流,构成脉络相通的泄水系统,称为河系,又叫水系或河网。直接流入大海的河流称干流,汇入干流的称一级支流,汇入一级支流的支流称二级支流,以此类推。

根据干支流的分布,河系的几何形态可分为:

- (1) 扇形水系。河流的干支流分布形如扇骨状,如海河。
- (2) 羽形水系。河流的干流由上而下沿途左右汇入多条支流,好比羽毛形状,如红水河。

- (3) 平行水系。河流的干流在某一河岸平行接纳几条支流,如淮河。

- (4) 混合水系。一般大的江河多为以上 2~3 种水系组成,混合排列。

水系形状如图 1-2 所示。不同形状的河系,会产生不同的水情。

1.2.1.3 河床和河谷

两山之间狭长弯曲的洼地叫山谷,排泄水流的谷地叫河谷。由于地质构造和水流侵蚀的作用,河谷的横断面一般可分为峡谷,广宽河谷和台地河谷三种类型。谷底的过水部分称为河床或河槽。

河槽横断面是指与水流方向相垂直的断面,也称过水断面。当河水涨落变化时,则

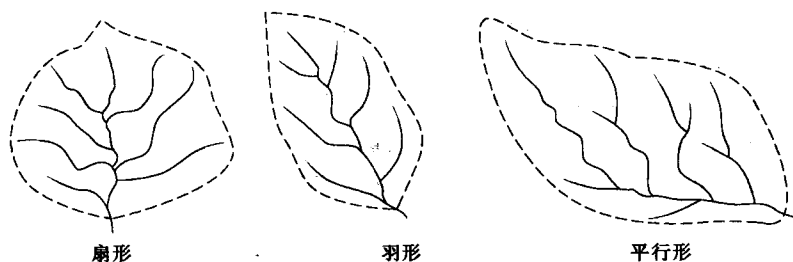


图 1-2 水系形状示意图

过水断面的形状和过水面积的大小也随着变化,如图 1-3 所示。

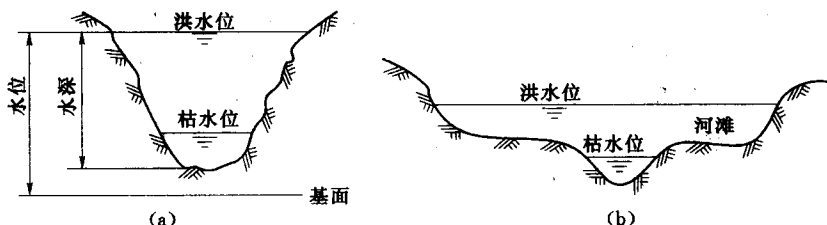


图 1-3 河槽横断面图

(a) 单式横断面; (b) 复式横断面

河槽的平面形态较为复杂。山区河流,急弯、卡口、跌水很多,河岸常有岩石突出,岸线极不规则,水面宽度变化较大。平原河流,在各种不同外界条件作用下,形成有微细的、蜿蜒的多种形态,而常见的是蜿蜒性的河槽。在河道弯曲的地方,由于水流的冲刷和淤积作用,使河槽的凸岸形成浅滩,凹岸形成深槽,两者之间有着过渡段,它的横断面上的路线,即为一般航线。

河槽内水流除因重力作用产生向下移动的速度外,还呈螺旋形流动,这种现象叫水内环流。在河弯处,水流由顺直段渡过弯道时,受到弯道的阻挡而产生离心力,使凹岸水面高于凸岸。凹岸水流又从河底流向凸岸,由于这种水内环流的影响,而形成凸岸浅滩,凹岸深槽,如图 1-4 所示。

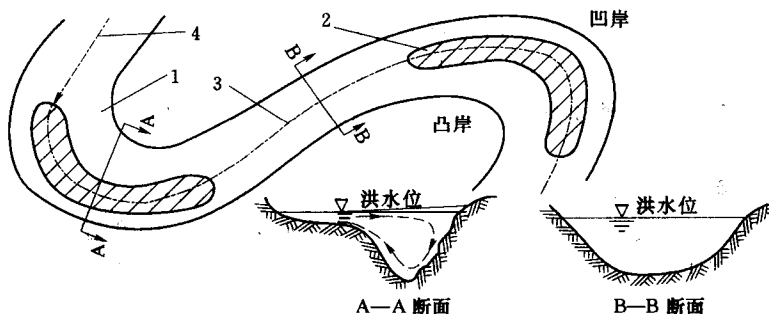


图 1-4 弯曲河道平面图及断面环流图 B

1—凸岸浅滩; 2—凹岸深槽; 3—过渡顺直段; 4—航线

1.2.1.4 河流的比降

河道水面比降,是指河流任一河段两断面的水面高差,称为水面落差,而单位河长的