



“十四五”职业教育国家规划教材

高职高专教育国家级精品规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利职业教育优秀教材
“互联网+”创新型教材

工程水文及水利计算

(第4版·修订版)

主 编	拜存有	高建峰	杨胜勇
副主编	舒晓娟	段树萍	赵吴静
	刘红英	徐成汉	刘能胜
主 审	王世策		

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是首批“十四五”职业教育国家规划教材、高职高专教育国家级精品规划教材、普通高等教育“十一·五”国家级规划教材、全国水利职业教育优秀教材,依据教育部印发的水利类《高等职业学校专业教学标准(试行)》中关于课程的教学要求及水利水电工程相关岗位职业标准,贯彻水利水电行业最新相关规范标准组织编写的。本书主要介绍了现行中小型水利水电工程不同建设阶段水文水利计算所需水文基础知识、技能和实际工作方法与步骤。全书共分4个学习项目,主要包括工程水文基础工作、工程水文分析计算、中小型工程水利水能计算、中小型水库调度简介等。本书配套有《水文技能训练项目集》(另册),根据不同区域院校不同专业设计有24个技能训练项目和1个综合实训项目,供各院校不同专业结合教学需要灵活选择,体现教学做一体化的教学理念。为方便教学,本书配套有PPT课件、习题参考答案等教学资源,部分拓展知识以二维码形式在教材的相关内容中呈现,方便学生利用移动设备随扫随学。

本书可作为高等职业院校水利工程、水利水电工程建筑、治河与航道工程技术、水利水电工程智能管理、智能水务管理等专业的教材,也可供水利类专业教师和水利水电工程行业从事施工、设计、管理等工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程水文及水利计算/拜存有, 高建峰, 杨胜勇主
编. —4版. —郑州: 黄河水利出版社, 2021. 9 (2023. 8
修订版重印)
高职高专教育国家级精品规划教材
ISBN 978-7-5509-2865-7

I. ①工… II. ①拜… ②高… ③杨… III. ①工程水
文学-高等职业教育-教材②水利计算-高等职业教育-
教材 IV. ①TV12②TV214

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 239473 号

组稿编辑:王路平		电话:0371-66022212	E-mail:hhsllwlp@163.com
田丽萍		66025553	912810592@qq.com
出版社:黄河水利出版社			网址:www.yrcp.com
地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层			邮政编码:450003
发行单位:黄河水利出版社			
发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)			
E-mail:hhsllcbs@126.com			
承印单位:河南承创印务有限公司			
开本:787 mm×1 092 mm 1/16			
印张:22			
字数:510千字		印数:8 001—13 000	
版次:2003年1月第1版		2021年9月第4版	
2008年5月第2版		2023年8月修订版	
2016年5月第3版			
定价:60.00元(全二册)			
(版权所有 盗版、抄袭必究 举报电话:0371-66025553)			



第4版前言

本书是根据《中共中央关于认真学习宣传贯彻党的二十大精神的决定》,中共中央办公厅、国务院办公厅《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》,国务院《国家职业教育改革实施方案》(简称“职教20条”),教育部《职业院校教材管理办法》《高等学校课程思政建设指导纲要》《“十四五”职业教育规划教材建设实施方案》,水利部、教育部《关于进一步推进水利职业教育改革发展的意见》《教育部办公厅关于公布“十四五”职业教育国家规划教材书目的通知》等文件精神,组织编写的“十四五”职业教育国家规划教材。该教材以学生能力培养为主线,体现出实用性、实践性、创新性的教材特色,是理论联系实际、教学面向生产的高职教育精品规划教材。

本书第3版在2017年由中国水利教育协会组织的教材评选中,被评为“全国水利职业教育优秀教材”。2023年6月,本书第4版成功入选“十四五”职业教育国家规划教材。

本书自2003年第1版、2008年第2版、2016年第3版、2021年9月第4版出版以来,因其通俗易懂、适用面广泛、应用性知识突出、实用性强等特点,受到全国高职高专院校水利类专业师生及广大水利从业人员的喜爱。为贯彻落实党的“二十大”关于科教强国和人与自然和谐共生的重要精神,适应经济社会和基层水利建设发展需要,落实《“十四五”全国水情教育规划》和“职教20条”,推进“三教”改革,培养新时代水利建设与管理所需的德智体美劳全面发展高素质技术技能人才,对接水利行业最新标准规范,引入水利行业企业最新工程案例,突出职教特点,编者在第4版的基础上对原教材内容进行了全面优化,主要针对中小型水利工程水文水利计算的要求,参照全国基层水利部门普遍使用的《水文手册》体例格式编排内容,同时将部分内容从纸质教材篇幅中去掉,以数字资源的形式提供给读者,从而减少纸质教材篇幅,既为学生降低费用,又能满足不同地域、不同专业的教学之需。此外,还配套提供课程思政教学设计、多媒体课件,以及相关的数字学习资源,供线上线下混合教学使用。

本次修订以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,全面贯彻落实党的二十大精神、立德树人根本任务,补充了课程思政内容,将党的二十大精神融入教学实践中,确保习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的二十大精神进教材落实到位,发挥铸魂育人实效。本次修订对接科技发展趋势和市场需求,吸收了比较成熟的新知识、新技术、新规程,主要根据《水利水电工程可行性研究报告编制规程》(SL/T 618—2021)、《小型水电站初步设计报告编制规程》(SL/T 179—2019)、《水利水电工程水文计算规范》(SL/T 278—2020)、《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2017)、《工程泥沙设计标准》(GB/T 51280—2018)、《村镇供水工程技术规范》(SL 310—2019)等国家及行业最新颁布的标准、规程、规范修订完善。

本书以项目教学为主导思想,将学习内容与工作内容有机结合,结合工程案例,贯彻以学生为主体、以教师为主导、注重学生技能训练的教学思路。本书配套有《水文技能训练项目集》(另册),根据不同区域院校不同专业设计有24个技能训练项目和1个综合实训项目,供各院校不同专业结合教学需要灵活选择,体现教学做一体化的教学理念。

本书由全国有关院校专业任课教师和水利企业专业专家共同组成团队,在充分征集各位教师对第4版教材教学使用中的意见和建议基础上,由杨凌职业技术学院拜存有与黄河水利出版社责任编辑共同策划统筹,汇集大家意见建议,不断更新完善。团队成员如下:杨凌职业技术学院拜存有、刘红英;安徽水利水电职业技术学院高建峰、赵吴静;四川水利职业技术学院杨胜勇;广东水利电力职业技术学院舒晓娟;内蒙古机电职业技术学院段树萍;长江工程职业技术学院徐成汉;湖北水利水电职业技术学院刘能胜。本书由拜存有、高建峰、杨胜勇担任主编,由拜存有负责全书项目规划与统稿;由舒晓娟、段树萍、赵吴静、刘红英、徐成汉、刘能胜担任副主编;由福建水利电力职业技术学院王世策担任主审。

另外,陕西省水利电力勘测设计研究院高级工程师阴宇宙为工作手册式教材体例提出了宝贵建议,同时也提供了具有参考价值的工程案例资料,为各工作任务算例及技能训练项目优化起到不可或缺作用,在此表示感谢!

由于本版修订时间仓促,书中难免会出现不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2023年8月



本书互联网全部资源



教学导引

《工程水文及水利计算》(第4版)自2021年出版发行以来,累计印刷3次,发行13 000余册,在全国20多所水利职业院校教学中普遍使用,为水利类技术技能人才培养提供了有力支撑。随着教育部高职水利类专业教学标准的颁布实施,以及教学改革的深入及高等职业教育对学生培养目标的要求,原教材出现了一些与现有教学要求不相适应之处。为了进一步提高本教材质量,我们按照国家级精品课程及职业院校对教材建设的基本要求,并结合目前学生实际情况对本教材进行了修订。

本次修订主要依据《国家职业教育改革实施方案》和《教育部 财政部关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》(教职成[2019]5号)的精神,紧跟职业教育发展趋势和“三教”改革的要求,内容按照必选(基础/通用)模块和可选(专业/地区)模块构建,形式采用纸质教材和电子教材、图片、课件等网上资源相结合,形成立体化教材。

本次修订依据高职水利专业教学标准,主要针对水利工程、水利水电建筑工程专业的培养规格,兼顾其他水利类专业的教学需求和我国不同地区水文特性的差异,以中小型水利工程项目的可研、初设、施工和管理运用等工作过程中所涉及的水文工作任务构建课程内容体系,以工作任务为导向,贯彻工程规范要求、突出工学结合(工作过程与学习过程、工作任务与学习任务、工作内容与学习内容的结合)。考虑到工程水文及水利计算(或工程水文)课程的特点,遵循学生的认知规律,优化教材的内容结构。结合不同专业的教学需求和同一专业不同地区水文工作特点,设置内容选学建议指标,最高为5颗“★”,代表必选,非必选以“☆”表示,各省(区)、各专业可结合各自教学需求进行选学。为了节约纸质教材的篇幅,减轻学生负担,对于选学建议指数2颗“★”及以下的选学内容提供电子版教材,同时配套其他教学资源供师生学习参考。

内容选择建议表

序号	内容名称	建议学时	内容类别	选学建议指标
一	项目1 工程水文基础工作	22~28	基础/通用	
1	工作任务1 流域概况表述	8~10	基础/通用	
	1.1 准备知识			★★★★★
	1.2 河流与流域			★★★★★
	1.3 降水			★★★★★
	1.4 蒸发			★★★★★
	1.5 土壤水、下渗与地下水			★★★★★

续表

序号	内容名称	建议学时	内容类别	选学建议指标
	1.6 径流			★★★★★
	1.7 流域的水量平衡			★★★★☆
	1.8 水资源及其开发利用			★★★★☆
2	工作任务2 水文测验与资料收集	6~8	基础/通用	
	2.1 准备知识			★★★★☆
	2.2 水位与流量的测算			★★★★★
	2.3 降水与蒸发的观测			★★★★★
	2.4 泥沙测算			★★☆☆☆
	2.5 水质监测			★★☆☆☆
	2.6 水文资料的收集			★★★★★
	2.7 常用气象资料收集			★★☆☆☆
3	工作任务3 资料审查与统计分析	8~10	基础/通用	
	3.1 准备知识			★★★★★
	3.2 样本审查与相关分析			★★★★★
	3.3 频率分析			★★★★★
二	项目2 工程水文分析计算	16~24	专业/地区	
4	工作任务4 年径流与枯水径流分析计算	6~8	专业/地区	★★★★★
	4.1 准备知识			★★★★★
	4.2 具有长期实测径流资料时设计年径流的分析计算			★★★★★
	4.3 具有短期实测径流资料时设计年径流的分析计算			★★☆☆☆
	4.4 缺乏实测径流资料时设计年径流的分析计算			★★★★★
	4.5 设计枯水径流的分析计算			★★☆☆☆
5	工作任务5 设计洪水分析计算	8~12	专业/地区	
	5.1 准备知识			★★★★★
	5.2 由流量资料推求设计洪水			★★★★★
	5.3 由暴雨资料推求设计洪水			★★☆☆☆
	5.4 小流域设计洪水计算			★★★★★
	5.5 设计洪水的其他问题			★★☆☆☆
	5.6 知识拓展			★☆☆☆☆



续表

序号	内容名称	建议学时	内容类别	选学建议指标
6	工作任务 6 河流泥沙分析计算	2~4	专业/地区	★★★★☆
	6.1 准备知识			★★★★☆☆
	6.2 多年平均年输沙量计算			★★★★☆☆
	6.3 输沙量的年际变化及年内分配			★★☆☆☆☆
三	项目 3 中小型工程水利水能计算	18~28	专业/地区	
7	工作任务 7 中小型水库兴利调节计算	8~12	专业/地区	★★★★☆
	7.1 准备知识			★★★★★★
	7.2 水库特性曲线与特征水位、库容			★★★★☆
	7.3 水库兴利用水过程			★★★★★★
	7.4 水库水量损失			★★★★★★
	7.5 水库死水位的确定			★★★★☆
	7.6 年调节水库兴利调节计算			★★★★☆
	7.7 多年调节水库兴利调节计算			★★☆☆☆☆
8	工作任务 8 小型水电站水能计算	4~8	专业/地区	★★★★☆☆
	8.1 准备知识			★★★★☆☆
	8.2 水电站保证出力和多年平均年发电量计算			★★★★☆☆
	8.3 水电站装机容量选择			★★☆☆☆☆
9	工作任务 9 中小型水库防洪调节计算	6~8	专业/地区	★★★★☆
	9.1 准备知识			★★★★☆
	9.2 无闸门控制的水库调洪计算			★★★★☆
	9.3 有闸门控制的水库调洪计算			★★★★☆☆
四	项目 4 中小型水库调度简介	4~8	专业/地区	
10	工作任务 10 中小型水库调度简介	4~8	专业/地区	★★★★☆☆
	10.1 准备知识			★★★★☆☆
	10.2 水库兴利调度			★★★★☆☆
	10.3 水库防洪调度			★★★★☆☆
	合计	60~88		



课程思政教学设计建议

以《高等学校课程思政建设指导纲要》精神为指引,认真学习领会党的二十大精神,落实水利部、中央宣传部、教育部等六部门颁布实施的《“十四五”水情教育规划》有关任务,将立德树人与育才有机融合,结合本课程特点,围绕中小型水利工程(以小型水库工程为主)水文设计报告和工程规模确定的实际工作任务流程,按照流域概况描述——气象水文资料收集分析——径流、洪水、泥沙分析计算——工程规模方案确定——水库调度运用等任务,贯穿“人水和谐,兴利除害,造福人类”的思政主线进行课程思政元素挖掘,突出“识水情、懂规律、建工程、兴水利、除水害”。培养学生的科学精神、家国情怀、文化自信、协作精神、规范意识、工匠精神、严谨作风、创新意识。

课程思政主线:人与自然和谐共生(人水和谐,兴利除害,造福人类)。

课程思政元素:水资源合理开发与生态环境保护意识、科学精神、规范意识、工匠精神、严谨作风、创新意识。

项目1 工程水文基础工作

工作任务1 流域概况表述

工作任务2 水文测验与资料收集

工作任务3 资料审查与统计分析

主要任务是认识河流水情变化规律,懂得水文循环,理解水资源开发利用的主要思路(兴利除害)。

该项目的3个工作任务,既是后续完成水文设计分析计算的基础性、准备性工作,同时也是具有一定独立性的实际工作任务。

工作任务1实际工作是收集工程水文设计所需的流域自然地理、气候条件、人类活动等资料,对流域概况进行描述,确定有关特征值,如集水面积、河长、主河道平均比降等。

工作任务2主要是收集工程水文设计所需的水文气象资料,并对水文气象资料进行审查分析,为完成后面的工作任务做好准备,同时工作任务2也属于工程施工及管理阶段的水文要素观测与资料整理的工作内容。

工作任务3为收集资料“三性”(可靠性、一致性、代表性)审查分析及资料插补延长提供方法,也属于实际工作的内容范畴。

思政元素:我国水情、本省水情。爱国情怀、文化自信。中华民族母亲河(黄河、长江)、大禹治水、中国古代四大水利工程(都江堰、灵渠、郑国渠)、长江三峡(自主创新,掌握核心技术)、黄河小浪底。

结合本省选择典型水利水电工程(或水情教育基地)作为学习案例。

项目2 工程水文分析计算

工作任务4 年径流与枯水径流分析计算

工作任务5 设计洪水分析计算

工作任务6 河流泥沙分析计算

该项目3个工作任务属于工程水文报告的主体内容,也是实际岗位工作的主要工作内容,是在项目1的基础上,结合有关规范要求,进行年径流、设计洪水、泥沙等的具体计算,提出工程设计所需的水文成果,为项目3、4提供分析计算依据。

水利工程建设从安全与经济两方面考虑:安全包括工程防洪安全和河流上下游水生态安全,经济包括工程建设投资和工程效益。

课程思政主要围绕科学精神、工匠精神、规范意识、严谨作风、创新意识、安全意识、节约意识等进行设计。

思政元素:长江三峡工程(防洪、发电、航运)、黄河小浪底工程(拦沙、调水调沙),本省区典型水利工程(陕西省引汉济渭工程)。

项目3 中小型工程水利水能计算

工作任务7 中小型水库兴利调节计算

工作任务8 小型水电站水能计算

工作任务9 中小型水库防洪调节计算

该项目3个工作任务属于工程设计报告中工程规模确定的主要工作内容,通过对设计来水和设计用水的平衡分析确定水库的兴利库容、正常蓄水位等方案,通过对设计洪水的调节计算确定设计洪水位、校核洪水位等各特征洪水位,拟定坝高和总库容等规模参数,对于水电站确定水电保证出力及多年平均发电量等动能参数。

课程思政主要围绕人水和谐、兴利除害、造福人类,规范意识、严谨作风、创新意识、安全意识、节约意识等进行设计。

思政元素:长江三峡工程(防洪、发电、航运)、黄河小浪底工程(拦沙、调水调沙),本省区典型水利工程(陕西省东庄水库工程)。

项目4 中小型水库调度简介

工作任务10 中小型水库调度简介

该项目1个工作任务既是工程规模确定的工作内容,也是工程建成后管理运用阶段的工作内容,主要是拟订水库的供水和防洪调度方案,做到有备无患,提前统筹,更好地发挥工程的效益。

课程思政主要围绕人水和谐、兴利除害、造福人类,规范意识、严谨作风、创新意识、安全意识、节约意识等进行设计。

思政元素:长江三峡工程(防洪、发电、航运)、黄河小浪底工程(拦沙、调水调沙),本省区典型水利工程(陕西省东庄水库工程)。



实施途径:一是为学生提供有关课程思政素材资源,如图片、视频、典型工程案例等;二是将思政元素有效地融入教—学—做过程,通过实际工作任务的完成,如规范意识、协作精神、科学精神、严谨作风、工匠精神等;三是将课程思政元素融入过程考核和成果评价之中,通过考核评价引导学生自觉养成。具体见下表:

思政元素考核评价表

序号	思政元素	融入内容	融入途径	考核方法
1	水资源合理开发与生态环境保护意识、科学精神	工作任务 1 准备知识、水质监测及水资源的开发利用 工作任务 10 中小型水库调度简介	提供有关学习资源、典型工程案例并讲解辅导	过程考核 (课堂提问)
2	协作精神	频率分析,具有长期实测径流资料时设计年径流的分析计算,由流量资料推求设计洪水,年调节水库兴利调节计算	部分大型任务分小组协作完成	成果考核、小组互评
3	规范意识、严谨作风	全部任务	列举规范,查阅规范,运用规范,完成任务	过程考核、成果考核
4	工匠精神	水文测验	水文观测仪器的安装、维护、应用	过程考核
5	创新意识	水文测验	水文观测新仪器、新设备、新软件的学习使用	过程考核、成果考核



课程描述

水资源是一种特殊而宝贵的自然资源,对它的综合开发利用是国民经济建设和生态环境保护中的一项重要任务,而开发利用水资源的各种措施(工程措施和非工程措施)的实施都需要研究掌握水资源的变化规律。每一项工程的实施过程大致分为规划设计、施工和管理运用三个阶段。每一阶段的任务是不同的。本课程针对中小型水利水电工程项目的设计(可研、初设)、施工和管理运用等工作过程中所涉及的水文工作任务构建课程内容体系,以工作任务为导向,贯彻最新工程规范要求,突出工作任务与学习任务、工作内容与学习内容的结合。主要任务是研究解决水利水电工程建设各个阶段的水文问题,同时考虑水利类专业高职毕业生面向的水利水电行业职业岗位工作的复杂性,以中小型工程为对象,以典型的工作任务为载体,采用项目化课程、工作手册式教材体例,紧随国家关于高素质技术技能人才培养的新趋势,遵循学生认知规律,按照内容性质分为四个项目,分别是:

项目1 工程水文基础工作。主要为工程水文及水利计算搜集相关资料,并对资料进行审查处理,为后续工作任务奠定基础,同时部分内容也属于独立的工作任务,比如水文测验在工程施工阶段和管理运用阶段都是实际工作内容之一。

项目2 工程水文分析计算。为工程水文的主体工作任务,主要解决中小型水利水电工程在设计阶段的年径流、设计洪水和河流泥沙的分析计算等。

项目3 中小型工程水利水能计算。主要解决工程规模确定的问题,包括中小型水库兴利调节计算、小型水电站水能计算和中小型水库防洪调节计算三个工作任务,最后确定水库的特征水位、库容(如死水位、死库容,正常蓄水位、兴利库容等)、水电站保证出力及多年平均发电量,为水利工程建筑物设计提供依据,同时为工程管理运用奠定基础。

项目4 中小型水库调度简介。主要是围绕以灌溉为主水库的管理运用,解决兴利调度和防洪调度方案编制的工作任务,以科学合理调度水库,充分发挥水库的效益。

本课程主要是将水文学知识应用于工程建设(本书主要涉及水利水电工程建设)的一门技术应用课程,既是专业平台课,又兼有专业核心课的性质。主要解决中小型水利水电工程建设有关的水文问题,为水利水电工程的规划、设计、施工和管理运用提供有关暴雨、洪水、年径流、泥沙等方面的分析计算和预报的水文依据,用于工程规模确定、施工组织安排和管理运用。

在工程的规划设计阶段,主要是分析河流水情的变化规律,对河流未来的水量、泥沙、和洪水等水文情势做出合理的预估,经径流调节计算初步确定工程的规模参数,如水库的死水位与死库容、正常蓄水位与兴利库容、设计洪水位与调洪库容、水电站的保证出力和多年平均发电量等,并确定主要建筑物尺寸,如水库大坝高度、溢洪道尺寸、引水渠道尺寸、水电站的装机容量等。然后经过不同方案(不同的参数组合)的经济技术和环境评价、论证,从而确定最后的设计方案。

在施工阶段,主要是研究整个工程施工期的水文问题,如施工期的设计洪水或预报洪水大小、施工导流问题、水库蓄水计划等,从而确定临时性建筑物(如围堰、导流隧洞等)的规模尺寸,以及编制工程初期蓄水方案等。

在管理运用阶段,需要根据当时的和预报的水文情况,编制工程调度运用计划,以充分发挥工程的效益。例如,为了有效调度有防洪任务的水库,需要进行洪水预报,以便提前腾空库容和及时拦蓄洪水。在工程建成以后,还要不断复核和修改设计阶段的水文计算成果,对工程进行改造。

总之,在开发利用水资源的过程中,为了建好、管好和用好各种水利工程,都必须应用工程水文与水利计算的基本知识和原理、方法。因此,本课程涉及的范围很广,内容丰富,并且还在不断发展之中,有些问题还需进一步探索。

在水利类有关专业设置该课程的目的,主要是使学生了解我国的水资源特点,掌握河流水文学的基本知识,具备一定的小型水利水电工程水文水利(能)计算能力,能够进行水利水电工程的水文分析计算和水利水能计算工作,初步具备灌溉水库兴利调度和防洪调度的能力。本课程以工程水力计算、工程测量为基础,又为灌溉与排水工程技术、水工建筑物、水利水电工程施工技术、水利工程管理和水利工程经济等课程提供知识与技能支撑。

目 录

第 4 版前言

教学导引

课程思政教学设计建议

课程描述

项目 1 工程水文基础工作	(1)
工作任务 1 流域概况表述	(2)
1.1 准备知识	(3)
1.2 河流与流域	(6)
1.3 降水	(11)
1.4 蒸发	(17)
1.5 土壤水、下渗与地下水	(20)
1.6 径流	(24)
1.7 流域的水量平衡	(27)
1.8 水资源及其开发利用	(29)
学习小结	(30)
自测练习	(32)
工作任务 2 水文测验与资料收集	(34)
2.1 准备知识	(34)
2.2 水位与流量的测算	(35)
2.3 降水与蒸发的观测	(44)
2.4 泥沙测算	(47)
2.5 水质监测	(47)
2.6 水文资料的收集	(47)
2.7 常用气象资料收集	(48)
学习小结	(49)
自测练习	(50)
工作任务 3 资料审查与统计分析	(52)
3.1 准备知识	(52)
3.2 样本审查与相关分析	(63)
3.3 频率分析	(74)
学习小结	(81)
自测练习	(82)

项目2 工程水文分析计算	(84)
工作任务4 年径流与枯水径流分析计算	(85)
4.1 准备知识	(87)
4.2 具有长期实测径流资料时设计年径流的分析计算	(90)
4.3 具有短期实测径流资料时设计年径流的分析计算	(96)
4.4 缺乏实测径流资料时设计年径流的分析计算	(96)
4.5 设计枯水径流的分析计算	(99)
学习小结	(99)
自测练习	(100)
工作任务5 设计洪水分析计算	(102)
5.1 准备知识	(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	(121)
5.4 小流域设计洪水计算	(121)
5.5 设计洪水的其他问题	(131)
5.6 知识拓展	(131)
学习小结	(131)
自测练习	(132)
工作任务6 河流泥沙分析计算	(134)
6.1 准备知识	(134)
6.2 多年平均年输沙量计算	(137)
6.3 输沙量的年际变化及年内分配	(140)
学习小结	(140)
自测练习	(141)
项目3 中小型工程水利水能计算	(142)
工作任务7 中小型水库兴利调节计算	(144)
7.1 准备知识	(144)
7.2 水库特性曲线与特征水位、库容	(147)
7.3 水库兴利用水过程	(152)
7.4 水库的水量损失	(160)
7.5 水库死水位的确定	(162)
7.6 年调节水库兴利调节计算	(163)
7.7 多年调节水库兴利调节计算	(171)
学习小结	(171)
自测练习	(172)
工作任务8 小型水电站水能计算	(174)
8.1 准备知识	(174)
8.2 水电站的保证出力和多年平均年发电量计算	(182)



8.3 水电站装机容量的选择	(190)
学习小结	(194)
自测练习	(195)
工作任务9 中小型水库防洪调节计算	(196)
9.1 准备知识	(196)
9.2 无闸门控制的水库调洪计算	(199)
9.3 有闸门控制的水库调洪计算	(214)
学习小结	(221)
自测练习	(222)
项目4 中小型水库调度简介	(224)
工作任务10 中小型水库调度简介	(225)
10.1 准备知识	(225)
10.2 水库兴利调度	(228)
10.3 水库防洪调度	(237)
学习小结	(249)
自测练习	(250)
附 表	(251)
附表1 P-Ⅲ型曲线的离均系数 Φ_p 值表	(251)
附表2 P-Ⅲ型曲线模比系数 K_p 值表	(254)
附表3 三点法用表—— S 与 C_s 关系表	(260)
附表4 三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值的关系表	(261)
附表5 瞬时单位线 S 曲线查用表	(263)
参考文献	(269)



项目1 工程水文基础工作

项目导语

生命起源于水,文明诞生于江河。自古以来,人类就依水(主要指河流)而居。可以说,人类的生存与发展与河流有着不可分割的关系。但是,河流的“水”变化无常,在为人类生存提供基本保障的同时,也会危及人类的安全。因此,认识河流,引水、治水为人类造福历史悠久,例如我国古代的大禹治水,秦代修建的都江堰、郑国渠、灵渠等工程影响深远,当代建设的长江三峡工程、南水北调工程更是举世闻名。由此可见,水利水电工程建设的主要目的就是开发利用河流的水资源,兴水利,除水害,以满足城市供水、水力发电、农业灌溉、航运、防洪、生态环境改善等需求。河流是人们主要关注的对象,更是水利水电工程技术人员主要研究的对象。在河流上修建一个水利水电工程,首先从规划设计开始。根据《水利水电工程可行性研究报告编制规程》(SL/T 618),水文报告部分首先从流域概况、气象、水文资料收集,以及资料审查分析开始。按照水文报告编写的要求,作为从事水利水电工程建设的专业技术人员,从专业的角度收集有关资料,就必须了解工程水文的基本常识,掌握河流水文学的基本概念和基本原理,熟悉水文资料的收集方法及水文统计的基本方法,为完成工程水文分析计算、工程规模确定及施工期间水情监测与防汛、建成水库的调度运用等实际工作任务,以及胜任未来相关岗位工作提供知识和能力支撑。

项目简介

该项目主要包括三个工作任务:

工作任务1 流域概况表述

工作任务2 水文测验与资料收集

工作任务3 资料审查与统计分析

学习目的

以理解工程项目文件(水文报告部分)为先导,一是学习理解流域概况所包含的主要内容及有关特征值量计方法;二是学习掌握河流主要水文要素的测验方法,水文资料的整理及收集途径;三是学习掌握水文资料的审查方法和统计特征值的分析方法。初步掌握小型水利水电工程设计文件(可行性研究报告、初步设计报告)水文部分(SL/T 618、SL/T 619 中 3.1、3.2、3.3)有关内容的表述方法,主要是为完成后续工作任务做好准备,为专业核心课程学习奠定基础,为终身学习和职业岗位迁移做铺垫。

学习目标与要求

1. 能够解释下列工程水文的基本概念:

水文循环 河流 流域 降水 降雨特性 点雨量 面雨量 蒸发 流域总蒸发
下渗 土壤水 地下水 径流 洪水 水位 流量 径流总量 径流深 径流系数
悬移质 推移质 含沙量 输沙率 输沙量 侵蚀模数 水位流量关系 统计规律
频率 随机变量 统计参数 样本 总体 抽样误差 适线法 相关分析 相关系数
简单直线相关 复杂相关 经验频率曲线 理论频率曲线

2. 能够陈述水文循环的基本过程,并解释常见的水文现象。
3. 会量计流域的主要特征值(F 、 L 、 J)。
4. 能够阐述水量平衡基本原理,并能解释水量平衡通用方程和闭合流域年水量平衡方程、多年平均水量平衡方程的意义。
5. 能够陈述降雨的成因和分类。
6. 能正确使用面平均雨量的计算方法进行流域平均雨量计算。
7. 能够陈述降雨径流形成过程,并分析其主要影响因素。
8. 会进行径流单位换算。
9. 会进行河流泥沙的单位换算。
10. 会进行水位、流量、含沙量、降水、水面蒸发的观测。
11. 会进行水位、流量、含沙量、降水、水面蒸发观测资料的初步整理。
12. 能够叙述水质监测的作用和水质监测的内容。
13. 能阐述水文资料的整编过程。
14. 会正确使用水文年鉴和水文手册(图集)等水文资料。
15. 能够进行频率与重现期的转换计算,并解释含义。
16. 能够用计算器、计算机软件(Excel)进行水文样本系列的统计参数计算和经验频率计算。
17. 能够手工绘制经验频率曲线。
18. 会利用适线法估计总体的统计参数。
19. 能够用计算器、计算机软件(Excel)进行简单的直线相关计算,并进行资料的插补与延长。
20. 能够用图解法进行简单曲线相关和复相关关系线定线。
21. 养成认真、严谨的学习态度和相互协作的工作精神。



开始任务学习啦...

工作任务 1 流域概况表述

任务描述

在进行任何一项与水有关的工程(通常包括水利水电工程、公路工程、铁路工程等)建设时,都需要了解掌握河流水文学的基本知识、基本概念和基本原理。因此,理解水文现象的形成过程及其主要影响因素,掌握整个水文循环过程中各种水文要素的描述度量方法、水量平衡原理等,是土木工程类专业必须完成的学习任务之一,尤其是水利类专业,更是显得不可或缺。它是专业学习和职业生涯必须具备的基础知识之一。另外,这些基本知识也是完成后面各项具体工作任务必须具备的基础知识。



1.1 准备知识

1.1.1 水文现象及其基本特点

水文现象属于自然现象的一种,是由自然界中各种水体的循环变化所形成的,如降水,蒸发,河流中的洪水、枯水等。它和其他自然现象一样,是许许多多复杂影响因素综合作用的结果。这些因素按其影响作用分为必然性因素和偶然性因素两类。其中,必然性因素起主导作用,决定着水文现象发生发展的趋势和方向;而偶然性因素起次要作用,对水文现象的发展过程起着促进和延缓作用,使发展的确定趋势出现这样或那样的振荡、偏离。经过人们对水文现象的长期观察、观测、分析和研究,发现水文现象具有以下三种基本特点。

1. 水文现象的确定性

既然水文现象表现为必然性和偶然性两个方面,我们就可以从不同的侧面去分析研究。在水文学中,通常按数学的习惯称必然性为确定性,称偶然性为随机性。由于地球的自转和公转、昼夜、四季、海陆分布,以及一定的大气环境、季风区域等,水文现象在时程变化上形成一定的周期性。如一年四季中的降水有多雨季和少雨季的周期变化,河流中的水量则相应呈现汛期和非汛期的交替变化。另外,降雨是形成河流洪水的主要原因,如果在一个河流流域上降一场暴雨,则这条河流就会出现一次洪水。若暴雨雨量大、历时长、笼罩面积大,形成的洪水就大。显然,暴雨与洪水之间存在着因果关系。这就说明,水文现象都有其发生的客观原因和具体形成的条件,它是服从确定性规律的。

2. 水文现象的随机性

因为影响水文现象的因素众多,各因素本身在时间上不断地发生变化,所以受其影响的水文现象也处于不断的变化之中,它们在时程上和数量上的变化过程,伴随着确定性出现的同时,也存在着偶然性,即具有随机性。如任一河流,不同年份的流量过程不会完全一致。即使在同一地区,由于大气环境的特点,某一断面的年最大洪峰流量有的年份大,有的年份小,而且各年出现的时间不会完全相同等。

3. 水文现象的地区性

由于气候因素和地理因素具有地区性变化特点,因此受其影响的河流水文现象在一定程度上也具有地区性特点。若气候因素和自然地理因素相似,则其水文现象在时空上的变化规律也具有相似性;若气候因素和自然地理因素不相似,则其水文现象也具有比较明显的差异性。如我国南方湿润地区的河流,普遍水量丰沛,年内各月水量分配比较均匀,而北方干旱地区的大多数河流水量不足,年内分配不均匀等。

1.1.2 水文学的基本研究方法

根据水文现象的基本特点,水文学的研究方法相应地可分为以下三类。

1. 成因分析法

由于水文现象与其影响因素之间存在着比较确定的因果关系,因此可通过对实测资料或试验资料的分析,建立某一水文要素与其主要影响因素之间的定量关系,从而由当前的影响因素状况预测未来的水文情势。这种方法在水文预报上应用较多,但是由于水文现象的影响因素非常复杂,其在应用上受到一定的限制,目前并不能完全满足实际的需要。

2. 数理统计法

根据水文现象的随机性特点,运用概率论和数理统计的方法,分析水文特征值实测资料系列的统计规律,对未来的水文情势做出概率预估,为工程的规划设计和施工提供基本依据。数理统计法是目前水文分析计算的主要方法。不过这种方法只注重于水文现象的随机性特点,所得出的统计规律并不能揭示水文现象的本质和内在联系。因此,在实际应用中必须和成因分析法相结合。

3. 地区综合法

根据水文现象的地区性特点,气候因素和地理因素相似的地区,水文要素的分布也有一定的地区分布规律。可以依据本地区已有的水文资料进行分析计算,找出其地区分布规律,以等值线图或地区经验公式等形式表示,用于缺乏实测资料的工程进行水文设计计算。

以上三种方法,相辅相成,互为补充。在实际运用中应结合工程所在地的地区特点及水文资料情况,遵循“多种方法,综合分析,合理选用”的原则,以便为工程规划设计提供可靠的水文依据。

1.1.3 自然界的水文循环

1. 水文循环

地球表面的各种水体,在太阳辐射的作用下,从海洋和陆地表面蒸发上升到空中,并随空气流动,在一定的条件下,冷却凝结形成降水又回到地面。降水的一部分经地面、地下形成径流并通过江河流回海洋;一部分又重新蒸发到空中,继续上述过程。这种水分不断交替转移的现象称为水文循环,也称为水循环。

水文循环按其规模与过程的不同,可分为大循环和小循环。大循环是指海洋与陆地之间的水分交换过程;而小循环是指海洋或陆地上的局部水分交换过程。比如,海洋上蒸发的水汽在上升过程中冷却凝结形成降水回到海面;或者陆地上发生类似情况,都属于小循环。大循环是包含有许多小循环的复杂过程,如图 1-1 所示。

2. 水文循环的成因

形成水文循环的原因分为内因和外因两个方面。内因是水在常态下有固、液、气三种状态,且在一定条件下相互转换。外因是太阳的辐射作用和地心引力。太阳辐射为水分蒸发提供热量,促使液态、固态的水变成水汽,并引起空气流动。地心引力使空气中的水汽又以降水方式回到地面,并且促使地面水、地下水汇归入海。另外,陆地的地形、地质、土壤、植被等条件,对水文循环也有一定的影响。

水文循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一,它对地球环境的形成、演化和人类生存都有着重大的作用和影响。正是水文循环,才使得人类生产和生活中不可缺少的水资源具有可恢复性和时空分布不均匀性,提供了江河湖泊等地表和地下水资源。同时也造成了旱涝灾害,给水资源的开发利用增加了难度。

3. 我国水文循环的路径

我国位于欧亚大陆的东部、太平洋的西岸,处于西伯利亚干冷气团和太平洋暖湿气团的交绥带。因此,水汽主要来自太平洋,由东南季风和热带风暴将大量水汽输向内陆形成降水,雨量自东南沿海向西北内陆递减,而相应的大多数河流则自西向东注入太平洋,如长江、黄河、珠江等。其次是印度洋水汽随西南季风进入我国西南、中南、华北以至于河套

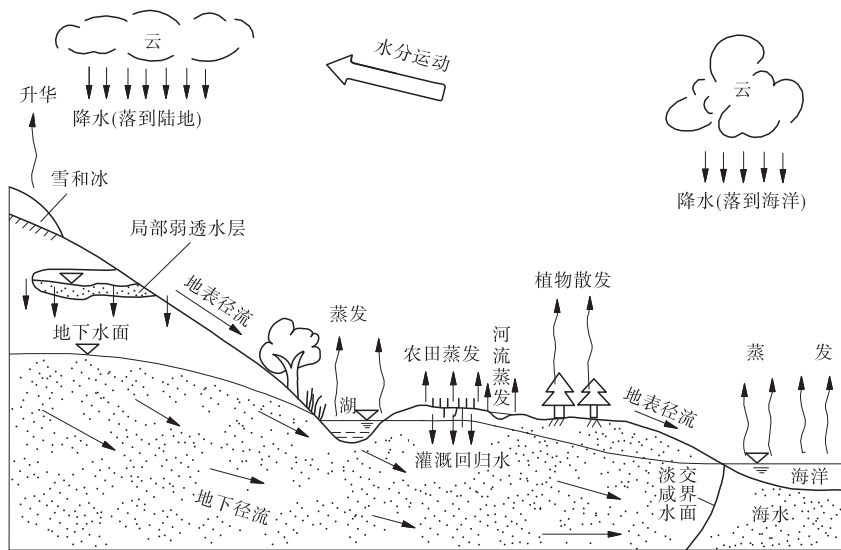


图 1-1 自然界的水文循环示意图

地区,成为夏秋季降水的主要源泉之一,径流的一部分自西南一些河流注入印度洋,如雅鲁藏布江、怒江等;另一部分流入太平洋。大西洋的少量水汽随盛行的西风环流东移,也能参加我国内陆腹地的水文循环。北冰洋水汽借强盛的北风经西伯利亚和蒙古进入我国西北,风力大而稳定时,可越过两湖(洞庭湖、鄱阳湖)盆地直至珠江三角洲,但水汽含量少,引起的降水并不多,小部分经由额尔齐斯河注入北冰洋,大部分汇入太平洋。鄂霍次克海和日本海的水汽随东北季风进入我国,对东北地区春夏季降水起着相当大的作用,径流注入太平洋。

我国河流与海洋相通的外流区域占全国总面积的 64%,河水不注入海洋而消失于内陆沙漠、沼泽和汇入内陆湖泊的内流区域占 36%。最大的内陆河是新疆的塔里木河。

1.1.4 地球上的水量平衡

1. 水量平衡原理

根据自然界的水文循环,地球水圈的不同水体在周而复始地循环运动着,从而产生一系列的水文现象。在这些复杂的水文过程中,水分运动遵循质量守恒定律,即水量平衡原理。具体而言,就是对任一区域在给定时段内,输入区域的各种水量之和与输出区域的各种水量之和的差值,应等于时段内区域蓄水量的变化量。据此原理,可列出一般的水量平衡方程,即

$$I - O = W_2 - W_1 = \Delta W \quad (1-1)$$

式中 I ——时段内区域输入的各种水量之和;

O ——时段内区域输出的各种水量之和;

W_1, W_2 ——时段初、末区域内的蓄水量;

ΔW ——时段内区域蓄水量的变化量, $\Delta W > 0$, 表示时段内区域蓄水量增加, 相反 $\Delta W < 0$, 表示时段内区域蓄水量减少。

水量平衡原理是水文学中最基本的原理之一。它在降雨径流过程分析、水利计算、水

资源评价等问题中应用非常广泛。

2. 地球上的水量平衡

对于地球,以大陆作为研究对象,则某一时段的水量平衡方程式为

$$H_l - (E_l + R) = \Delta W_l \quad (1-2)$$

同理,若以全球海洋为研究对象,则有

$$H_h - (E_h - R) = \Delta W_h \quad (1-3)$$

式中 E_l, E_h ——陆地和海洋上的蒸发量;

H_l, H_h ——陆地和海洋上的降水量;

R ——入海径流量(包括地面径流和地下径流);

$\Delta W_l, \Delta W_h$ ——陆地和海洋在研究时段内蓄水量的变化量。

在短时期内,时段蓄水量的变化量 $\Delta W_l, \Delta W_h$ 数值有正有负,但在多年平均情况下,正负可以互相抵消,即 $\sum \Delta W_l / n \rightarrow 0, \Delta W_h / n \rightarrow 0$ 。

因此,多年平均情况下陆地水量平衡方程式为

$$\overline{H}_l - \overline{R} = \overline{E}_l \quad (1-4)$$

$$\overline{H}_h + \overline{R} = \overline{E}_h \quad (1-5)$$

式中 $\overline{H}_l, \overline{H}_h$ ——陆地、海洋上的多年平均降水量;

$\overline{E}_l, \overline{E}_h$ ——陆地、海洋上的多年平均蒸发量;

$\overline{R}$ ——多年平均入海径流量。

将式(1-4)和式(1-5)相加可得全球多年平均水量平衡方程式为

$$\overline{E}_l + \overline{E}_h = \overline{H}_l + \overline{H}_h$$

$$\text{即} \quad \overline{E}_q = \overline{H}_q \quad (1-6)$$

式(1-6)说明,就长期而言,地球上的总蒸发量等于总降水量,也就符合物质不灭和质量守恒定律。

1.2 河流与流域

1.2.1 河流及其特征

1. 河流

河流是汇集一定区域地表水和地下水的泄水通道。由流动的水体和容纳水流的河槽两个要素构成。水流在重力作用下由高处向低处沿地表面的线形凹地流动,这个线形凹地便是河槽,河槽也称河床,含有立体概念,当仅指其平面位置时,称为河道。枯水期水流所占河床称为基本河床或主槽;汛期洪水泛滥所及部位,称为洪水河床或滩地。从更大范围讲,凡是地形低凹可以排泄水流的谷地称为河谷,河槽就是被水流占据的河谷底部。流动的水体称为广义的径流,其中包含清水径流和固体径流,固体径流是指水流所挟带的泥沙。通常所说的径流一般是指清水径流。虽然在地球上的各种水体中,河流的水面面积和水量都最小,但它与人类的关系却最为密切,因此河流是水文学研究的主要对象。

一条河流按其流经区域的自然地理和水文特点划分为河源、上游、中游、下游及河口



五段。河源是河流的发源地,可以是泉水、溪涧、湖泊、沼泽或冰川。多数河流发源于山地或高原,也有发源于平原的。确定较大河流的河源,要首先确定干流。一般是把长度最长或水量最大的叫作干流,有时也按习惯确定,如把大渡河看作岷江的支流就是一个实例。直接汇入干流的支流称为一级支流,直接汇入一级支流的支流称为二级支流,依次类推。由干流与其各级支流所构成的脉络相通的泄水系统称为水系、河系或河网。水系常以干流命名,如长江水系、黄河水系等,但是干流和支流是相对的。根据干、支流的分布状况,一般将水系分为扇形水系、羽状水系、平行状水系和混合型水系,其中前三种为基本类型,如图 1-2 所示。

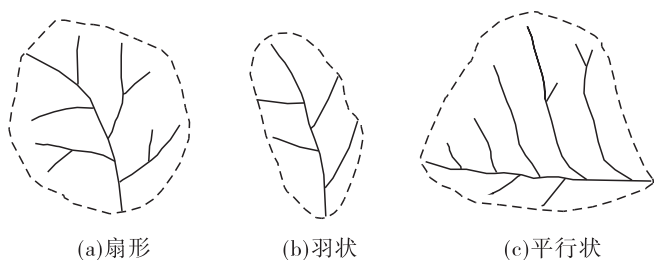


图 1-2 水系基本形状示意图

划分河流上、中、下游时,有的依据地貌特征,有的着重水文特征。上游段直接连接河源,一般落差大,流速急,水流的下切能力强,多急流、险滩和瀑布。中游段坡降变缓,下切力减弱,旁蚀力加强,河道有弯曲,河床较为稳定,并有滩地出现。下游段一般进入平原,坡降更为平缓,水流缓慢,泥沙淤积,常有浅滩出现,河流多汉。河口是河流注入海洋、湖泊或其他河流的地段。内陆地区有些河流最终消失在沙漠之中,没有河口,称为内陆河。

2. 河流的特征

1) 河流的纵横断面

河段某处垂直于水流方向的断面称为横断面,又称过水断面。当水流涨落变化时,过水断面的形状和面积也随着变化。河槽横断面有单式断面和复式断面两种基本形状,如图 1-3 所示。

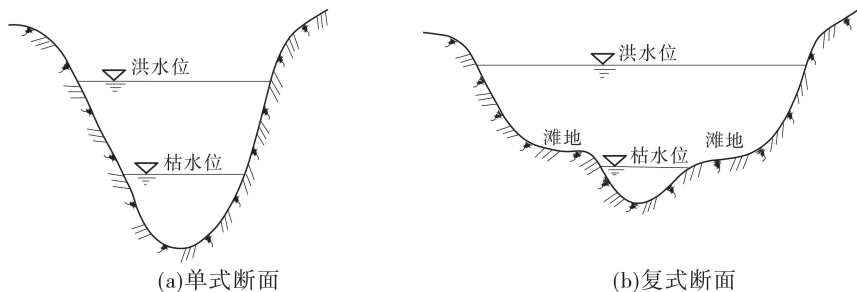


图 1-3 河槽横断面示意图

将河流各个横断面最深点的连线叫作河流深泓线或溪线。假想将河流从河口到河源沿深泓线切开并投影到平面上所得的剖面叫河槽纵断面。实际工作中常以河槽底部转折点的高程为纵坐标,以河流水平投影长度为横坐标绘出河槽纵断面图,如图 1-4 所示。

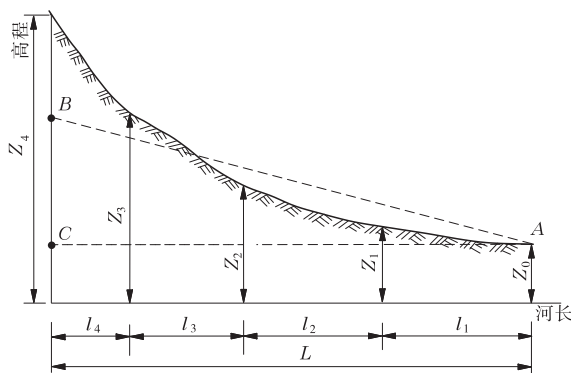


图 1-4 河槽纵断面示意图

2) 河流长度

一条河流,自河口到河源沿深泓线量计的平面曲线长度称为河长。一般在大比例尺(如 1:10 000 或 1:50 000 等)地形图上用分规或曲线仪量计,在数字化地形图上可以应用有关专业软件量计。

3) 河道纵比降

河段两端的河底高程之差称为河床落差,河源与河口的河底高程之差为河床总落差。单位河长的河床落差称为河道纵比降,通常以千分数或小数表示。当河段纵断面近似为直线时,比降可按式计算:

$$J = \frac{Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}}{l} = \frac{\Delta Z}{l} \quad (1-7)$$

式中 J ——河道纵比降(‰);

$Z_{\text{上}}、Z_{\text{下}}$ ——河段上、下断面河底高程,m;

l ——河段的长度,m。

当河段的纵断面为折线时,可用面积包围法计算河段的平均纵比降。具体做法是:在河段纵断面图上,通过下游端断面河底处向上游作一条斜线,使得斜线以下的面积与原河底线以下的面积相等,此斜线的坡度即为河道平均纵比降,如图 1-4 所示,计算公式为

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1)l_1 + (Z_1 + Z_2)l_2 + \cdots + (Z_{n-1} + Z_n)l_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (1-8)$$

式中 $Z_0, Z_1, \cdots, Z_n$ ——河段自下而上沿程各转折点的河底高程,m;

$l_1, l_2, \cdots, l_n$ ——相邻两转折点之间的距离,m;

L ——河段总长度,km,计算时换算为 m。

1.2.2 流域及其特征

1. 流域、分水线

河流某一断面以上汇集地表水和地下水的区域称为河流在该断面的流域。当不指明断面时,流域是对河口断面而言的。由于河流是汇集并排泄地表水和地下水的通道,因此分水线有地面与地下之分。流域的地面分水线,即实际分水岭山脊的连线或四周最高点的连线。例如,秦岭是长江与黄河的分水岭,降在分水岭两侧的雨水将分别流入两条河



流,其岭脊线便是这两大流域的分水线。但并不是所有的分水线都是山脊的连线,如在平原地区,分水线可能是河堤或者湖泊等,像黄河下游大堤,便是海河流域与淮河流域的分水岭。

当地面分水线与地下分水线完全重合时,该流域称为闭合流域;否则称为非闭合流域。非闭合流域在相邻流域间有水量交换,如图 1-5 所示。

实际很少有严格的闭合流域,只要地面分水线和地下分水线不一致所引起的水量误差相对不大,一般可按闭合流域对待。通常,工程上认为,除岩溶地区外,一般大中流域均可看成是闭合流域。

2. 流域特征

流域特征包括几何特征、地形特征和自然地理特征。

1) 流域几何特征

流域的几何特征包括流域面积(或集水面积)、流域长度、流域平均宽度和流域形状系数等。

(1)流域面积。指河流某一横断面以上,由地面分水线所包围不规则图形的面积,如图 1-6 所示。若不强调断面,则是指流域河口断面以上的面积,以 km^2 计。一般可在适当比例尺的地形图上先勾绘出流域分水线,然后用求积仪或数方格的方法量出其面积,当然在数字化地形图上也可以用有关专业软件量计。

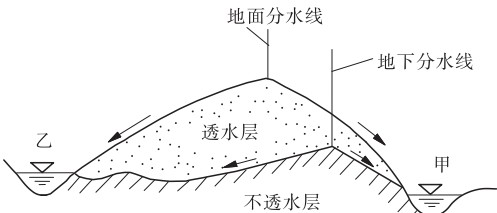


图 1-5 地面与地下分水线示意图

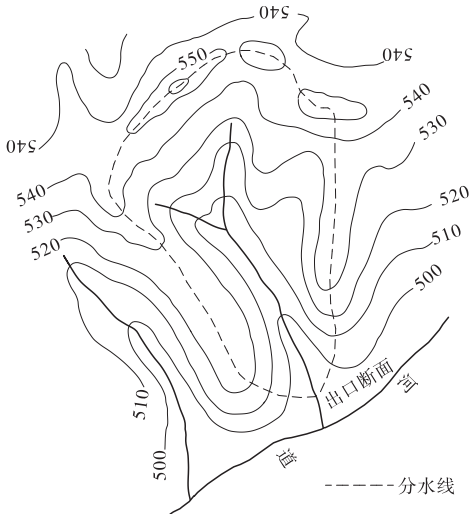


图 1-6 流域分水线和流域面积示意图

(2)流域长度。指流域几何中心轴的长度。对于大致对称的较规则流域,其流域长度可用河口至河源的直线长度来计算;对于不对称流域,以流域出口为中心作若干个同心

圆,求得各同心圆圆周与流域分水线交的若干圆弧割线中点,这些割线中点的连线长度,即为流域长度。

(3)流域平均宽度。指流域面积与流域长度的比值,以 B_f 表示,按下式计算:

$$B_f = \frac{F}{L_f} \quad (1-9)$$

式中 F ——流域面积, km^2 ;

L_f ——流域长度, km 。

流域面积近似相等的两个流域, L_f 愈长, B_f 愈窄小; L_f 愈短, B_f 愈宽。前者径流难以集中,后者则易于集中。

(4)流域形状系数,以 K_f 表示,按下式计算:

$$K_f = \frac{B_f}{L_f} = \frac{F}{L_f^2} \quad (1-10)$$

式中, K_f 是一个无单位的系数。当 $K_f \approx 1$ 时,流域形状近似为方形;当 $K_f < 1$ 时,流域为狭长形;当 $K_f > 1$ 时,流域为扁形。流域形状不同,对降雨径流的影响也不同。

2) 流域地形特征

流域地形特征可用流域平均高程和流域平均坡度来反映。

(1)流域平均高程。可用网格法和求积仪法计算。网格法较粗略,具体做法是将流域地形图分为 100 个以上网格,如图 1-7 所示,内插确定出每个格点的高程,各网格点高程的算术平均值即为流域平均高程。求积仪法是在地形图上,用求积仪分别量出分水线内各相邻等高线间的面积 f_i ,用相邻两等高线的平均高程 z_i ,按下式计算:

$$\bar{z}_f = \frac{f_1 z_1 + f_2 z_2 + \cdots + f_n z_n}{f_1 + f_2 + \cdots + f_n} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n f_i z_i \quad (1-11)$$

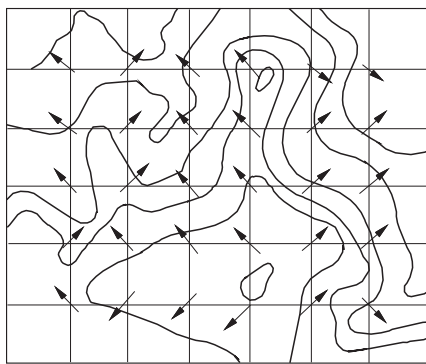


图 1-7 网格法计算流域平均高度、平均坡度

(2)流域平均坡度。指流域表面坡度的平均情况,以 $\bar{J}_f$ 表示。也可用网格法计算,即从每个网格点作直线与较低的等高线正交,如图 1-7 中的箭头所示,由高差和距离计算各箭头方向的坡度,作为各网格点的坡度,再将各网格点的坡度取算术平均值,即流域的平均坡度。另外,可以量计出流域范围内各等高线的长度,用 $l_0, l_1, l_2, \cdots, l_n$ 表示,相邻两条



等高线的高差用 Δz 表示,按下式计算:

$$\bar{J}_f = \frac{\Delta z(0.5l_0 + l_1 + l_2 + \cdots + 0.5l_n)}{F} \quad (1-12)$$

3) 流域的自然地理特征

流域的自然地理特征包括流域的地理位置、气候条件、地形特征、地质构造、土壤特性、植被覆盖、湖泊、沼泽、塘库等。

(1) 地理位置。主要指流域所处的经纬度及距离海洋的远近。一般是低纬度和近海地区雨水多,高纬度地区和内陆地区降水少。例如,我国的东南沿海一带雨水就多,而华北、西北地区降水就少,尤其是新疆的沙漠地区更少。

(2) 气候条件。主要包括降水、蒸发、温度、风等。其中,对径流影响最大的是降水和蒸发。

(3) 地形特征。流域的地形可分为高山、高原、丘陵、盆地和平原等,其特征可用流域平均高程和流域平均坡度来反映。同一地理区,不同的地形特征将对降雨径流产生不同的影响。

(4) 地质构造与土壤特性。流域地质构造、岩石和土壤的类型及水理性质等都将对降水径流产生影响,同时也影响到流域的水土流失和河流泥沙。

(5) 植被覆盖。流域内植被可以增大地面糙率,延长地面径流的汇流时间,同时加大下渗量,从而使地下径流增多,洪水过程变得平缓。另外,植被还能抵抗水土流失,减少河流泥沙含量,涵养水源;大面积的植被还可以调节流域小气候,改善生态环境等。植被的覆盖程度一般用植被面积与流域面积之比的植被率表示。

(6) 湖泊、沼泽、塘库。流域内的大面积水体对河川径流起调节作用,使其在时间上的变化趋于均匀;还能增大水面蒸发量,增强局部小循环,改善流域小气候。通常用湖沼塘库的水面面积与流域面积之比的湖沼率来表示。

以上流域各种特征因素,除气候因素外,都反映了流域的物理性质,它们承受降水并形成径流,直接影响河川径流的数量和变化,所以水文上习惯称为流域下垫面因素。当然,人类活动对流域的下垫面影响也愈来愈大,如人类在改造自然的活动中修建了不少水库、塘堰、梯田,以及植树造林、城市化等,明显地改变了流域的下垫面条件,使河川径流发生了变化,影响到水量与水质。在人类活动的影响中也有不利的一面,如造成水土流失、水质污染以及河流断流等。

1.3 降水

降水是水文循环的一个重要环节,也是陆地水资源的主要补给来源,因此降水是最为重要的气象因素。降水是指空气中的水汽以液态或固态形式从大气到达地面的各种水分的总称。通常表现为雨、雪、雹、霜、露等,其中最主要的形式是雨和雪。在我国绝大部分地区影响河流水情变化的是降雨。因此,这里重点介绍降雨。

1.3.1 降雨的成因与分类

由海洋和陆地表面蒸发的水汽上升到空中随空气一体流动,在流动过程中由于某种外力的作用而上升,上升途中由于气压降低,空气体积膨胀,导致气温下降,这种现象在气

象学中称为动力冷却。冷却促使水汽产生凝结,凝结的内核是空气中微尘、烟粒等。水汽分子凝结成小水滴后聚集成云。小水滴继续吸附水汽,并受气流涡动作用,相互碰撞而结合成大水滴,直到其重力超过气流上升顶托力时则下降成雨。因此,降雨的形成必须要有两个基本条件:一是空气中要有一定量的水汽;二是空气要有动力上升冷却。按照空气上升冷却的原因,将降雨分为锋面雨、地形雨、对流雨和台风雨四种类型。

1. 锋面雨

在气象上把水平方向物理性质(温度、湿度、气压等)比较均匀的大块空气叫作气团。气团按照温度的高低又可分为暖气团和冷气团,一般暖气团主要在低纬度的热带或副热带洋面上形成,冷气团则在高纬度寒冷的陆地上产生。当冷气团与暖气团在运动过程中相遇时,其交界面(实际上为一过渡带)叫作锋面,也称为锋区。锋面与地面的相交地带叫作锋线。一般地面锋区的宽度有几十千米,高空锋区的宽度可达几百千米。锋面活动产生的降雨便是锋面雨。按照冷暖气团的相对运动方向将锋面雨分为冷锋雨和暖锋雨。

(1)冷锋雨。当冷气团向暖气团一方移动,两者相遇,因冷空气较重而楔入暖气团下方,迫使暖气团上升,形成冷锋而致雨,就是冷锋雨,如图 1-8(a)所示。冷锋雨一般强度大,历时短,雨区范围小。

(2)暖锋雨。若冷气团相对静止,暖气团势力较强,向冷气团一方推进,两者相遇暖气团将沿界面爬升于冷气团之上形成的降雨叫作暖锋雨,如图 1-8(b)所示。暖锋雨的特点是强度小,历时长,雨区范围大。

2. 地形雨

暖湿气团在运移途中,遇到山脉、高原等阻碍,被迫上升冷却而形成的降雨,称为地形雨,如图 1-9(a)所示。地形雨多发生在山地迎风坡,由于水汽大部分已在迎风坡凝结降落,而且空气过山后下沉时温度增高,因此背风坡雨量锐减。地形雨一般随高程的增加而增大,其降雨历时较短,雨区范围也不大。

3. 对流雨

在盛夏季节,当暖湿气团笼罩一个地区时,由于太阳的强烈辐射作用,局部地区因受热不平衡而与上层冷空气发生对流作用,暖湿空气上升冷却而降雨,叫作对流雨,如图 1-9(b)所示。这种雨常发生在夏季酷热的午后,其特点是强度大,历时短,降雨面积分布小,常伴有雷电,故又称为雷阵雨。

4. 台风雨

台风雨是由热带海洋上的风暴带到大陆上来的狂风暴雨。影响我国的热带风暴主要发生在 6~10 月,以 7~9 月最多。它们主要形成于菲律宾以东的太平洋洋面(北纬 20°,东经 130°附近),向西或向西北方向移动影响东南沿海和华南地区各地,若势力很强则可影响到燕山、太行山、大巴山一线。台风雨是一种极易形成洪涝灾害的降雨,加之狂风,破坏性极强。如 1975 年 8 月,第 3 号台风登陆后,深入到河南省泌阳县林庄一带,造成非常罕见的大暴雨,中心最大 24 h 降雨量为 1 060.3 mm,最大 3 d 降雨量达 1 605.3 mm,在淮河流域形成大洪水,给人民生命财产造成巨大损失。

在以上四种降雨类型中,锋面雨和台风雨对我国河流洪水影响较大。其中,锋面雨对大部分地区影响显著,各地全年锋面雨都在 60%以上,华中和华北地区超过 80%,是我国

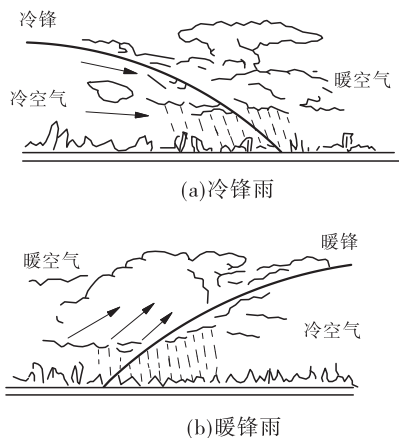


图 1-8 锋面雨示意图

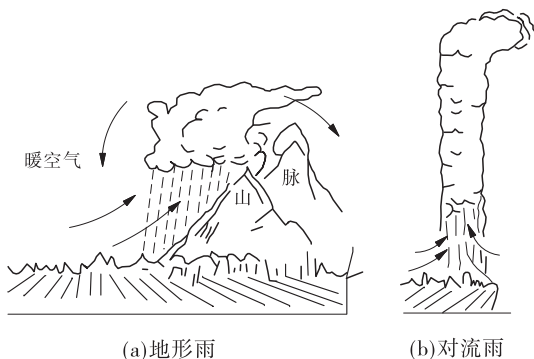


图 1-9 地形雨和对流雨示意图

大多数河流洪水的主要来源。台风雨在东南沿海诸省,如广东、海南、福建、浙江等发生机会较多,由台风造成的雨量占全年总雨量的 20%~30%,且极易造成洪水灾害。

此外,根据我国气象部门的规定,按照 1 h 或 24 h 的降雨量将降雨分为:

小雨:是指 1 h 的降雨量 ≤ 2.5 mm,或 24 h 的降雨量 < 10 mm。

中雨:是指 1 h 的降雨量为 2.6~8.0 mm,或 24 h 的降雨量为 10.0~24.9 mm。

大雨:是指 1 h 的降雨量 8.1~15.9 mm,或 24 h 的降雨量为 25.0~49.9 mm。

暴雨:是指 1 h 的降雨量 ≥ 16 mm,或 24 h 的降雨量 ≥ 50 mm。

1.3.2 点降雨特性及其图示方法

所谓点降雨量,通常是指一个雨量观测站承雨器(口径为 20 cm)所在地点的降雨。点降雨的特性可用降雨量、降雨历时和降雨雨强等特征量,以及雨量、雨强在时程上的变化来反映。

1. 点降雨特性

(1)降雨量。指一定时段内降落在单位水平面积上的雨水深度,用 mm 表示,计至 0.1 mm。在标明降雨量时一定要指明时段,常用的降雨时段有分、时、日、月、年等,相应的雨量称为时段雨量、日雨量、月雨量、年雨量。

(2)降雨历时。指一场降雨从开始到结束所经历的时间,常以 h 为单位。与降雨历时相应的还有降雨时段,它是人为规定的。对某一场降雨而言,为了比较各地的降雨量大小,可以人为指定某一时段降雨量做标准。如最大 1 h 降雨量、最大 6 h 降雨量、最大 24 h 降雨量等。这里的 1 h、6 h、24 h 即为降雨时段。但在降雨时段内,降雨并不一定连续。

(3)降雨强度。指单位时间内的降雨量,以 mm/min 或 mm/h 计。

2. 点降雨特性的图示方法

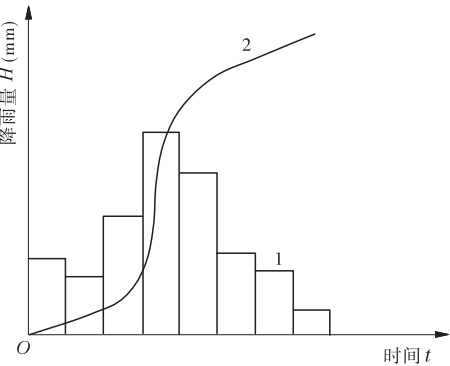
1) 降雨量过程线

降雨量过程线是表示降雨量随时间变化的特性。常用雨量柱状图和降雨量累积曲线表示,如图 1-10 所示。雨量柱状图(或称雨量直方图),是以时段雨量为纵坐标、时段次序为横坐标绘制而成的,时段可根据需要选择 min、h、d、月、年等,它显示了降雨量随时间的

变化特性,此图也可以将纵坐标换成时段平均雨强,相应图形称为降雨强度柱状图。降雨量累积曲线是以逐时段累积雨量为纵坐标、时间为横坐标而绘制的。它不仅可以反映降雨量在时间上的变化,而且还可以反映时段平均雨强 $\bar{i} = \Delta H / \Delta t$ 随时间的变化。

2) 强度历时曲线

记录一场降雨过程,选择不同历时,统计不同历时内的最大平均降雨强度,并以平均雨强为纵坐标、历时为横坐标点绘曲线,即为平均雨强—历时曲线,如图 1-11 所示。



1—雨量柱状图;2—降雨量累积曲线

图 1-10 降雨量过程线

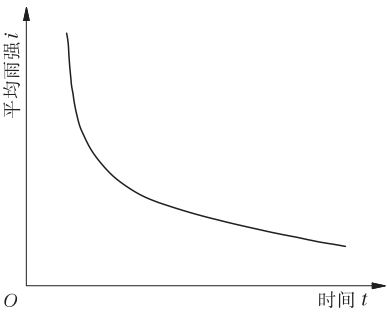


图 1-11 平均雨强—历时曲线

1.3.3 面雨量特性及图示方法

所谓面雨量,是指一定区域(行政区域或流域)面积上的平均雨量。在降雨径流分析中,与洪水大小相应的必须是流域面积上的面平均雨量。面雨量的变化特性常用以下方法表示。

1. 降雨量等值线图(或称等雨量线图)

对于面积较大的区域或流域,为了表示一定时段内的降雨量空间分布情况,可以绘制降雨量等值线图(或称等雨量线图)。具体做法与测量学中绘制地形等高线的方法相类似。首先根据需要,将一定时段流域内及其周边邻近雨量站的同期雨量标注在专用地图相应位置上,然后按照各站降雨量的大小用地理插值法,并参考地形和气候变化进行勾绘,如图 1-12 所示。等雨量线图是研究降雨分布、暴雨中心移动及计算流域平均雨量的有力工具。但绘制等雨量线图,要求有足够的且控制良好的雨量站点。

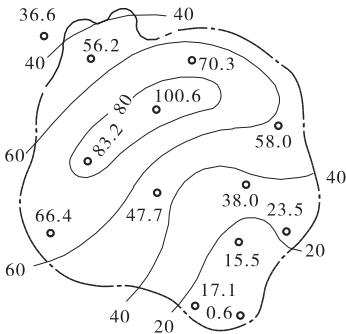


图 1-12 降雨量等值线图

2. 平均雨量—面积曲线

对一场暴雨,从等雨量线图上的暴雨中心算起,分别量取不同等雨量线所包围的面积,并计算各面积内的平均雨量,以平均雨量为纵坐标、面积为横坐标绘制曲线,如图 1-13 所示。曲线表示不同笼罩面积所对应的平均雨量。



可以看出,平均雨量随笼罩面积的增大而减小。

3. 平均雨量—历时—面积曲线

平均雨量—面积曲线通常反映一场雨或某一时段降雨在面积上的分布情况,如果将一场雨的不同时段的平均雨量—面积曲线绘在同一张图上,以反映各时段降雨在面积上的分布情况,如图 1-14 所示。由图 1-14 可知,当降雨历时一定时,暴雨所笼罩的面积愈大,则平均雨量愈小;当暴雨笼罩面积一定时,历时愈长,雨量愈大。

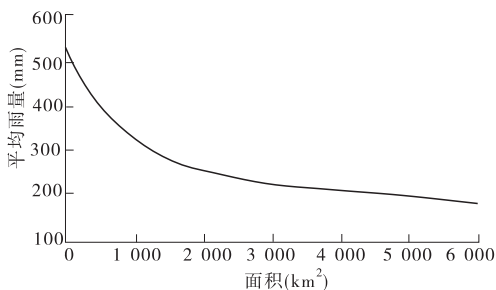


图 1-13 平均雨量—面积曲线

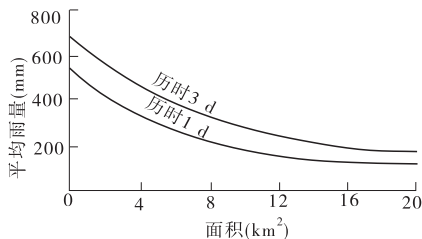


图 1-14 平均雨量—历时—面积曲线

1.3.4 流域面平均雨量的计算方法

1. 算术平均法

当流域内地形变化不大,且雨量站数目较多、分布均匀时,可根据各站同一时段内的降雨量用算术平均法计算,其计算公式为

$$H_F = \frac{H_1 + H_2 + \cdots + H_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (1-13)$$

式中 H_F ——流域面平均降雨量,mm;

H_i ——流域内各雨量站降雨量, $i=1,2,\cdots,n$,mm;

n ——雨量站数目。

2. 泰森多边形法

泰森多边形法又称面积加权平均法或垂直平分法。当流域内雨量站分布不均匀或地形变化较大时,可假定流域上不同地点的降雨量与距其最近的雨量站的雨量相近,并用其值计算流域面平均雨量。具体做法是:先将流域内及其流域外邻近的雨量站就近连成三角形(尽可能连成锐角三角形),构成三角网;再分别做各三角形三条边的垂直平分线,而这些垂直平分线相连组成若干个不规则的多边形,如图 1-15 所示。每个多边形内都有一个雨量站,称为该多边形的代表站,该站的雨量就是该多边形面积 f_i 上的代表雨量,并将 f_i 与流域面积 F 的比值称为权重系数。该法的计算公式为

$$H_F = \frac{H_1 f_1 + H_2 f_2 + \cdots + H_n f_n}{F} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n H_i f_i = \sum_{i=1}^n A_i H_i \quad (1-14)$$

式中 f_i ——流域内各多边形的面积, $i=1,2,\cdots,n$,km²;

F ——流域面积,km²;

A_i ——各雨量站的面积权重系数, $A_i = f_i/F$, $\sum_{i=1}^n A_i = 1.0$ 。

3. 等雨量线法

如果降雨在地区上或流域内分布很不均匀,地形起伏大,则宜用等雨量线法计算面雨量。等雨量线法也属于以面积做权重的一种加权平均方法。具体做法为:先根据流域上各雨量站的雨量资料绘制等雨量线图,如图 1-16 所示,并量计出流域内各相邻两条等雨量线间的面积 f_i ,则流域平均降雨量计算式为

$$H_F = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (H_i + H_{i+1}) f_i = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n \bar{H}_i f_i \quad (1-15)$$

式中 f_i ——流域内相邻两条等雨量线间的面积, km^2 ;

$\bar{H}_i$ ——相邻两条等雨量线间的平均雨量, mm ;

n ——等雨量线的数目。

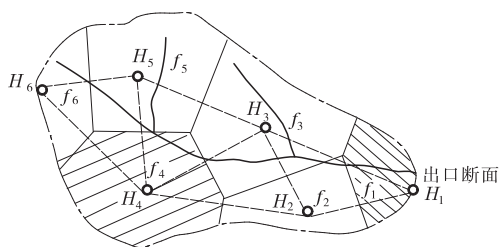


图 1-15 泰森多边形法

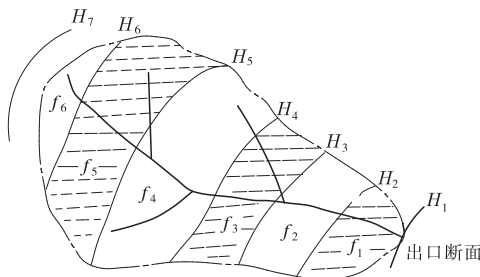


图 1-16 等雨量线法

4. 降雨点面关系法

当流域内雨量站少,或各雨量站观测不同步时,可用降雨的点面关系来计算面雨量。其计算公式为

$$H_F = aH_0 \quad (1-16)$$

式中 a ——面雨量与点雨量的比值,也称点面雨量折算系数;

H_0 ——点雨量, mm 。

降雨的点雨量与其不同面积平均雨量的关系,通常简称为点面关系,是指降雨中心或流域中心附近代表站的点雨量与一定范围内的面雨量之间的关系。它又可分为动点动面关系和定点定面关系,详细内容见 5.3 部分。

以上四种方法,算术平均法最为简单,但要求的条件较高;泰森多边形法适用性较强,且有一定的精度,尤其是在流域内雨量站网一定情况下,求得各站的面积权重系数可一直沿用,或用计算机进行计算,所以在水文上应用广泛,但在降雨分布发生变化时,计算结果不一定符合实际;等雨量线法是根据等雨量线图来计算的,因此计算精度最高,但它要有足够的雨量站,且每次计算都要绘制等雨量线,并量计流域内相邻两条等雨量线之间的面积,所以计算工作量大,实际当中应用有限;降雨点面关系法,计算更为简单,但需要知道点面关系图一般用于设计条件下,在流域雨量资料较差或缺乏时应用较多。