

高等学校教学参考书

农田水利

上册

(灌溉水库的规划和运用)

武汉水利电力学院《农田水利》编写组

人民教育出版社

高等学校教学参考书

农 田 水 利

上 册

(灌溉水库的规划和应用)

武汉水利电力学院《农田水利》编写组

人 民 教 育 出 版 社

农田水利

上册

武汉水利电力学院《农田水利》编写组

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1977年12月第1版 1978年8月第1次印刷

书号 15012·036 定价 1.85元 插页 1

目 录

上 册

绪 论

第一篇 灌溉水库的规划和运用

引 言

第一章 水文资料的收集

第一节 水库规划应收集哪些水文资料	7
第二节 降水、蒸发的观测与计算	7
一、降水的观测和计算	7
二、蒸发的观测和计算	11
第三节 水位观测和计算	13
一、水位观测	13
二、日平均水位的计算	14
第四节 流量观测及资料整编	15
一、流量观测	15
二、流量资料整编	19
三、径流的度量单位	25
第五节 泥沙测验及资料整编	26
一、含沙量和输沙率	27
二、采样与处理	27
三、悬移质含沙量及输沙率的计算	27
四、悬移质输沙量的计算	28
第六节 洪水调查	29
一、怎样进行调查工作	30
二、如何推算洪峰流量	30
实例：黄柏河分乡河段洪水调查报告摘要	31
第七节 水文手册和水文图集	36
第二章 水文统计的基本方法	
第一节 频率计算	37
一、概述	37
二、经验频率曲线	39
三、理论频率曲线	42
四、现行频率算法——配线法	49
五、按三点法进行配线	52

第二节 相关分析	55
一、概述	55
二、相关图解法	57
三、相关算法	57
四、复相关	61

第三章 灌溉水库的兴利规划

第一节 概述	62
第二节 水库的特性曲线及特征水位	63
第三节 灌溉设计标准	65
第四节 水库来水的分析与计算	67
一、影响年径流量的因素	67
二、长系列年、月径流量的推求	70
三、代表年年径流量及年内分配计算	76
第五节 灌溉用水量的分析与计算	83
一、作物需水量	83
二、农作物的灌溉排水制度	86
三、灌溉用水量	97
第六节 灌区当地径流的分析与计算	101
一、塘堰供水量的分析与计算	101
二、小型河坝引水量估算	105
三、小型水库兴利库容及供水量的估算	106
第七节 灌区水量平衡计算及水库供水过程 线的确定	106
一、分片包干	107
二、联合运用——长藤结瓜系统水量调配 计算	108
第八节 水库设计低水位的选择	112
一、设计低水位应保证水库能自流引水灌溉	112
二、垫底库容应满足泥沙淤积的要求	113
第九节 水库兴利调节计算及设计蓄水位的 确定	116
一、水库的调节性能	116
二、年调节水库	116
三、多年调节水库	126

第十节 灌溉水库的水能计算	138
一、水能计算的基本概念	133
二、水电站的设计保证率及保证出力	139
三、水电站的多年平均发电量	145
四、灌溉水库水电站装机容量的确定	146
五、结语	148

第四章 水库防洪规划

第一节 水库防洪规划的目的和任务	150
第二节 设计洪水和设计标准	150
第三节 由流量资料推求设计洪水	152
一、设计洪峰流量的推求	152
二、设计洪水总量的推求	158
三、设计洪水过程线的推求	161
第四节 由暴雨资料推求设计洪水	167
一、河流洪水形成的基本概念	167
二、设计暴雨的计算	174
三、设计净雨的计算	178
四、由设计净雨推求设计洪水过程线	189
第五节 小流域设计洪水的计算	209
一、推理公式法	209
二、地区经验公式法	221
三、综合单位线法在小流域设计洪水计算中的应用	223
第六节 可能最大暴雨和可能最大洪水的计算	223
一、有关气象学方面的一些基本知识	223
二、用当地暴雨法推求可能最大暴雨	228
三、用移置暴雨法推求可能最大暴雨	234
四、可能最大点暴雨等值线图的编制和应用	238
五、可能最大暴雨成果的合理性分析	241
六、由可能最大暴雨推求可能最大洪水	241
七、可能最大洪水的经验估算法	242
第七节 水库调洪计算的基本原理和方法	243
一、水库泄洪建筑物的类型及其泄流分析	243
二、水库调洪计算的基本方程	244
三、列表试算法	244
四、 $q \sim \frac{V}{\Delta t} + \frac{q}{2}$ 辅助线法(单辅助线法)	247
五、简化三角形法	249

第八节 水库溢洪道宽度和坝顶高程的确定	250
一、溢洪道不设闸门时溢洪道宽度和坝顶高程的确定	250
二、溢洪道设闸门时溢洪道宽度和坝顶高程的确定	252

第五章 灌溉水库的控制运用

第一节 水库水文观测	257
一、雨量站点的布设	258
二、水库水位观测	258
三、水库流量观测	259
四、水库水温观测	260
五、水库淤积观测	261
第二节 水库水情预报	262
一、水库短期洪水预报	262
二、中、小型水库防洪能力图表的编制及应用	274
三、长期径流预报方法简介	280
第三节 水库防洪能力复核	282
一、入库洪水计算	283
二、水库防洪能力复核计算	300
三、提高水库防洪能力的措施	305
第四节 水库兴利能力复核	306
一、水库兴利能力复核计算	306
二、提高水库兴利能力的措施	309
第五节 水库汛期控制运用	312
一、基本资料的收集与分析	312
二、防洪标准及允许最高洪水位的确定	313
三、拟定防洪调度方式	313
四、防洪限制水位的推求	315
五、防洪与蓄水矛盾的解决途径	319
六、绘制汛期防洪调度图	321
七、搞好水库汛期控制运用应采取的措施	322
第六节 水库兴利控制运用	325
一、水库年度供水计划的编制	325
二、中小型水库简易供水计划	331
三、水库兴利调度图	332
参考文献	337

绪 论

伟大领袖和导师毛主席早在土地革命战争时期就指出“水利是农业的命脉”，深刻地揭示了兴修水利和发展农业生产之间的关系。几千年来，我国劳动人民在发展农业生产的同时，也推动了农田水利事业的发展，在我国辽阔的土地上，创建了无数水利工程，积累了丰富经验。但是，在漫长的封建社会里，压抑着劳动人民的积极性，严重阻碍了我国农业生产的发展，农田水利技术也进步缓慢。社会主义新中国的建立，为我国农田水利事业的发展开创了无限广阔的前景。建国以来，在毛主席和党中央的英明领导下，尤其在伟大领袖毛主席发出“农业学大寨”的号召以后，又经过无产阶级文化大革命，我国农田水利建设取得了巨大成绩。到1975年止，全国已建成七万多座水库，其中大中型两千多座；万亩以上灌区三千多处；机电排灌能力达到三千多万匹马力；机井一百八十万眼；堤防十四万公里；此外，还在广大农村兴修了大量的中小型水利配套工程和农田基本建设工程。所有这些，都进一步提高了农田防洪、除涝抗旱和治碱的能力，并在许多地区控制了地下水位，做到了治水改土，全面规划，综合治理，使旱涝保收、高产稳产的基本农田面积不断扩大。

1976年，第二次全国农业学大寨会议的召开，进一步推动了农业学大寨、普及大寨县的革命群众运动。当前，全国人民正积极响应华主席“全党动员，大办农业，为普及大寨县而奋斗”的伟大号召，以革命加拚命的精神，大干快上，掀起了一个波澜壮阔、规模空前的农田水利建设新高潮。

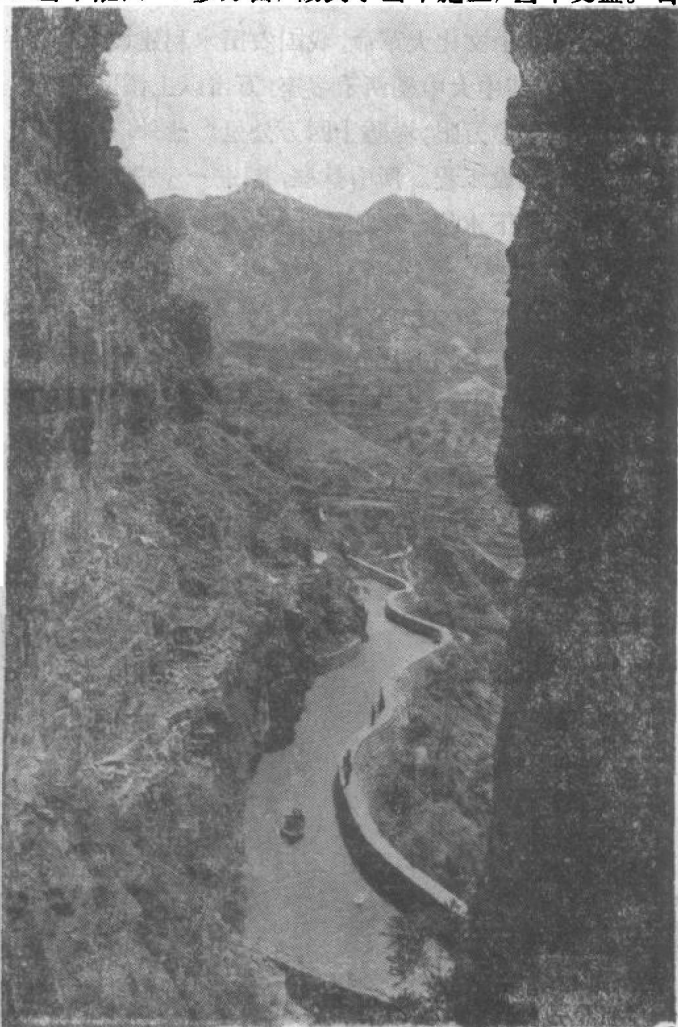


图一 大寨梯田

以大寨为榜样,大搞农田水利,必须高举毛主席的伟大旗帜,坚持党的基本路线,抓紧两个阶级、两条道路、两条路线的斗争;必须坚持自力更生、艰苦奋斗的革命精神,大搞群众运动,大干社会主义;必须坚持实事求是的优良作风,大兴调查研究之风,要鼓实劲,要把冲天干劲与实事求是的科学态度结合起来;必须坚持全面规划,综合治理,贯彻“小型为主、配套为主、社队自办为主”的水利建设方针,以治水改土为中心,实行山、水、田、林、路综合治理;必须坚持建管并重,加强水利管理,充分发挥工程效益(见图一)。

随着农业学大寨运动的深入开展,大寨的经验逐步深入人心,大寨式的县社不断涌现,大寨红花正在大江南北、长城内外竞相开放。伟大领袖和导师毛主席故乡的韶山灌区(见书末),是在英明领袖华主席亲自指挥下于1965年开始兴建的。华主席高举毛泽东思想伟大红旗,坚持毛主席的革命路线,统帅十万大军,仅用十个月的时间,就多快好省地完成了引水枢纽和大部分骨干渠道的修建,工程达到了高标准,而且当年灌田40多万亩,做到了当年施工,当年受益。目前,韶山灌区正在加速配套,精心管理,力争把灌溉面积进一步扩大到120余万亩,并全部建成高产稳产的基本农田,向社会主义大农业迈进。河南林县人民发扬了“愚公移山,改造中国”的革命精神,奋战十年,在太行山的悬崖陡壁上,开山劈岭,凿洞架桥,建成了总长1500公里规模宏伟的红旗渠(见图三),多快好省地兴建了许多就地取材的建筑物,改变了当地历史上“水贵如油”的局面,谱写了一曲自力更生、艰苦奋斗的壮丽凯歌。山西省昔阳、湖南省桃源等许多县、许多灌区在农业学大寨、大搞农田水利基本建设的运动中,都进入了先进行列。

我国农田水利建设的蓬勃发展,创造和积累了许多有益的经验,例如:在山区、丘陵区规划治理方面,各地共同的经验是要在管好用好大中型水库工程的同时,大力整修塘堰和小水库,充分利用当地径流,扩大灌溉水源,建成长藤结瓜式水利系统。在渠系配套改建方面,要狠抓开三沟的经验,即开排洪沟(又称撇洪渠),防止山洪、冷泉入田;开排水沟,降低地下水位,改造冷浸田;开灌溉渠,改串灌串排为合理灌溉,变“三跑田”为“三保田”。



图三 河南省林县红旗渠

此外,在治理山丘方面,如平整土地、改坡地为水平梯田、植树造林、整治沟壑、控制水土流失等也都取得了不少经验。南方圩区的规划治理,在确保防洪安全前提下,搞好灌溉,排除涝渍,狠抓降低地下水位。在措施方面,江苏省创立了“四分开,二控制”的经验,即内外水分开,高低片分开,灌排系统分开,水旱作物分开及控制内河水位和控制地下水位。湖北省江汉平原在原有计划分洪、蓄洪垦殖的基础上发展了河流改道、撇洪入江等措施,改善了防洪除涝的条件。湖南省洞庭湖地区则有大搞园田化建设、开挖深沟大渠、合理留湖蓄渍的经验。广东珠江三角洲地区在大力整治灌排渠系和兴修撇洪渠的同时,开展了大联围的规划,为提高防洪除涝标准,降低地下水位,建设高产稳产农田创造了条件。北方平原地区,开挖和整修了一大批河道,加固了堤防,打井修渠,平地深翻,使农业生产条件有了很大的改观。在井渠结合、深沟水网、肥水灌溉、引洪淤灌、打坝造地、综合治理旱涝碱等方面,都累积了丰富经验。近年来在农业学大寨的运动中,为了建设高产稳产基本农田和创造农业机械化耕作条件,园田化建设有了广泛的发展,标准不断提高。已由局部整修发展为大面积治理,由单纯治水发展为山、水、田、林、路全面规划、综合治理;由解决防洪、蓄水、合理排灌发展到控制地下水位;由季节性施工发展为“冬春大干、农隙小干、专业队常年治理”。在园田化灌排技术方面也不断创新,许多灌区的渠道已用各种材料进行了衬砌;有些地区的渠道已由明渠改为地下渠道,并采用了暗沟暗管排水。喷灌技术最近几年在我国发展也很快,目前各省、市、自治区都在进行喷灌机具与田间试验的研究工作,不少地区已开始大面积推广。

本书是在总结我国建国以来农田水利建设经验的基础上编写的。全书分上下两册,包括防洪、除涝、灌溉、治碱等各种治水改土的措施,涉及到勘测、规划、设计、管理等各方面的内容,比较全面地介绍和论述了我国各类地区的农田水利的特点和措施。全书共分三篇:第一篇介绍水库的规划和运用,阐述了农田水利中有关水文水利计算的基本理论和基本方法;第二篇介绍灌区的规划和管理,并着重介绍了各地治水改土、实现园田化、建立高产稳产基本农田的经验;以上两篇内容是属于各地农田水利共同性的问题。第三篇是针对我国平原地区的特点,分别南、北方介绍其防洪、除涝、抗旱、治碱的规划治理经验。在学习时,应根据各地农田水利建设的需要,分清主次,突出重点,有针对性地学习和掌握农田水利建设的基本理论和基本实践经验。本书可供高等院校农田水利专业的学生和从事农田水利工作的技术人员学习参考。

当前,在英明领袖华主席为首的党中央领导下,在党的十一大路线的指引下,一个社会主义革命和社会主义建设的新高潮正在到来。我们一定要继承伟大领袖和导师毛主席的遗志,认真学习马列著作和毛主席著作,坚持无产阶级专政下的继续革命,开展科学研究,搞好教育革命,不畏劳苦,勇于创新,努力把我国农田水利科学技术提高到崭新的高度,为农业学大寨、普及大寨县和在本世纪内实现农业现代化而贡献力量。

第一篇 灌溉水库的规划和运用

引 言

(一) 灌溉水源的类型

灌溉水源可分为五种。

1. 河流、湖泊水源

河流是主要的灌溉水源。这种水源的集水面积一般均在灌区以外。大型灌区，多半是从河流引水，少数从湖泊取水。引河流水源灌溉，应从国民经济发展的要求出发，综合考虑水电、航运与给水等多方面的要求，使河流水利资源得到合理的综合利用。

农作物对灌溉水源的水质有一定的要求。水质主要是指水中所含泥沙的量与粒径大小、含盐量与盐类或其他有害物质的成分、水的温度等。一般说来，河流水源对上述水质要求大都能够满足。但应注意，受到工业废水污染或含沙量特大的河流，如作为灌溉水源，要采取适当的净化和工程措施，一般不宜直接引用灌溉。

2. 当地地面径流

这种水源的集水面积主要在灌区内和灌区附近的地区，如小河流、溪涧和塘坝等，是小型农田水利工程的主要水源。在我国南方地区，利用这种水源发展灌溉有着悠久的历史，目前仍然起着十分重要的作用。

3. 地下水源

我国广大地区蕴藏着丰富的地下水资源，这是农田的主要灌溉水源之一。特别是我国西北、华北平原等比较干旱、缺乏河湖水源的地区，地下水的开发利用对发展农业生产尤为重要。在国外也有不少国家重视利用地下水利资源，井灌发展很快。利用地下水灌溉时，应分析水中含盐量与水温是否适宜。

4. 污水灌溉

大、中城市的工业废水与生活污水，经过净化处理，如能满足灌溉水质要求，可作为灌溉用水，这是变害水为利水增加灌溉水源的好措施。我国北京、上海、西安、沈阳、抚顺与株洲等城市，已建立了一些污水灌溉系统，如沈阳、抚顺的污水灌溉系统的灌溉面积共达13万亩。工业日益发达，污水也日益增多，因此，利用污水灌溉有着广阔的前景。目前由于污水灌溉还有些问题需要研究解决，故它尚处在试验和逐步推广阶段。

5. 海水灌溉

海水含盐量较高，一般不能直接用于灌溉，但有些耐盐作物，根据试验也可以用海水直接灌溉。近年来，有些国家已在研究海水淡化的各种方法，并力图降低淡化成本，为应用于灌溉创造条件。

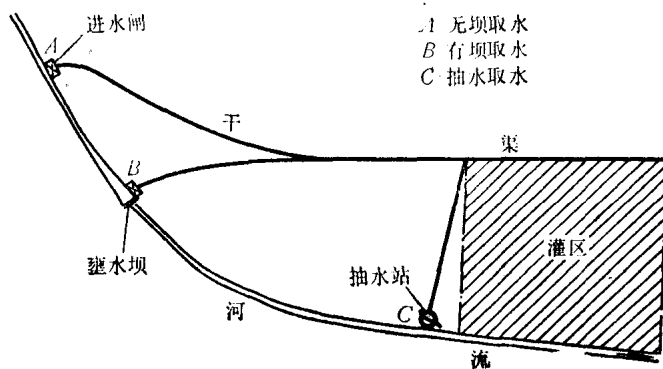
上述五种水源,前三种是主要的。本篇及第二篇着重介绍河流水源及当地地面径流的利用,关于地下水的开发和利用将在第三篇有关章节讲述。

(二) 灌溉取水方式

不同的灌溉水源,相应的取水方式也不同,如丘陵山区利用地面径流灌溉,可以修建塘坝与水库;华北平原地区地下水较丰富,可以打井。至于从河流取水的方式,则依河流来水与灌溉用水的平衡关系及灌区的具体情况,有以下几种:

1. 无坝取水

当河流水源丰富,河流水位、流量均能满足灌溉要求时,即可选择适宜的位置作为取水口,修建进水闸引水自流灌溉。这种方式,取水口一般距灌区较远,往往需要修建相当长的引水干渠,且易遇到难工险段。如灌溉取水方式示意图中的A点。



灌溉取水方式示意图

2. 有坝(低坝)取水

当河流水源虽较丰富,但水位不能满足灌溉要求时,则须在河道上修建壅水建筑物(坝或闸)抬高水位,以便引水自流灌溉,如图中的B点。在灌区位置已定的情况下,此种型式与无坝引水相比较,虽然增加了拦河坝(闸)工程,但取水口一般距灌区较近,可缩短干渠线路长度,减少工程量。在山丘区,有时虽然流量较大,水位也够,但洪、枯季节变化较大,为了方便枯水期引水,也需修建临时性低坝,拦河取水。

3. 抽水取水

河流水量比较丰富,但灌区位置较高,修建其他自流引水工程困难或不经济时,可就近采取抽水取水方式。这样,干渠工程量小,但增加了机电设备及年管理费用,如图中的C点。

4. 水库取水

当河流来水与灌溉用水不相适应,即河流的流量、水位均不能满足灌溉要求时,必须在河流的适当地点修建水库进行径流调节,以解决来水和用水之间的矛盾,并综合利用河流水源。这是河流水源取水方式中较常见的一种取水方式。采用水库取水,必须修建大坝、溢洪道、进水闸等建筑物,工程较大,且有较大的库区淹没损失,因此必须认真选择好建库地址。但水库能充分利用河流水利资源,这是其他取水方式不可比拟的。

上述几种取水方式,对于一个确定的灌区,往往不是孤立地使用某一种,而是综合使用多种

取水方式,引取多种水源,形成蓄、引、提相结合的灌溉系统。即使是对于蓄水枢纽,也有不同的取水方式。可以直接从放水涵管的出口处修建干渠通往灌区,也可以将水库的水放入原河道,在下游适当地点修建引水坝引水入干渠,以充分利用水库与引水坝间的区间径流及减少干渠工程,这叫做结合式的取水方式。

本篇主要讲述水库取水的规划和控制运用。有关无坝取水及有坝(低坝)取水的规划将在第二篇中作简单介绍,至于抽水取水的规划、设计、运行管理等,将在抽水站课程中详述。

(三) 本篇的主要内容及学习方法

水库工程是农田水利基本建设的重要措施之一,也是群众性水利建设的一项主要内容。在我国的南方和北方,在山区和丘陵区,已经修建了并将继续修建为数众多的大、中、小型水库,这些水库可以根据人们的需要改变水库下游河流中的水量变化过程,有效地拦蓄洪水,提高枯季径流,达到除洪涝、兴水利、综合利用水利资源的目的。

“灌溉水库的规划和运用”是本书的一个重要组成部分。这一篇包括三部分内容,即水文水利计算的基本知识(第一、二章),水库规划中的水文水利计算原理与方法(第三、四章)和水库的控制运用(第五章)。

第一章是学习如何收集水库规划所需要的水文资料。“没有调查就没有发言权”,没有足够的水文资料就谈不到开展水库的规划工作,所以这一章是很重要的。

第二章“水文统计的基本方法”是研究数理统计方法在水文水利计算中的应用,这是水文水利计算中目前采用最多的一种数学分析方法。

第三章“灌溉水库的兴利规划”是根据水库来水及供水过程进行兴利调节计算,以求得所需的兴利库容和垫底库容。同时,还要介绍灌溉水库的水能计算问题。

第四章“水库防洪规划”是在研究洪水形成及变化规律的基础上,通过调洪演算及有关分析论证,确定既定防洪标准下水库的防洪库容、溢洪道尺寸和大坝高度等。

第五章“水库控制运用”的中心内容是水库供水计划和汛期控制运用计划的编制。为了达到此目的,除必须收集建库前的水文资料以外,还要设站收集水库建成后的水文资料,并且还要做出具有一定精度的水情预报。随着水库水文观测资料的不断增加,人们对流域及库区水文、气象规律的进一步认识和水库防洪及兴利标准的不断提高,还必须对水库定期进行防洪能力和兴利能力的复核,为正确地控制运用水库及改建扩建提供依据。

总之,本篇所讨论的“灌溉水库的规划和运用”是一项政治性及政策性都很强的工作,而且涉及面广,从水文、气象、地质、地形等自然地理因素,到国民经济各部门的供水要求,且关系复杂。因此,在解决规划、运用中的矛盾、论证方案的合理性时,往往不是单凭水文水利计算所能解决的,而是首先必须考虑是否符合毛主席的革命路线及政策,是否符合党的治水方针及社会主义建设总路线的精神。我们在学习这一篇时,既要学习灌溉水库规划和运用中的水文水利计算的基本理论和方法,而且更重要的还要认真学习马列和毛主席的著作,尤其是毛主席的光辉哲学思想、毛主席对于水利建设的一系列重要指示,分析矛盾,解决矛盾,使水库的规划和运用工作能更好地适应社会主义革命和社会主义建设的需要。

第一章 水文资料的收集

第一节 水库规划应收集哪些水文资料

水文现象指的是江河中水位的涨落、流量的大小、河水中挟带的泥沙数量等。人们把水位、流量、含沙量等叫做水文要素,这些水文要素的大小及其变化,影响着水利工程的规模。在一条水量较小的河流上修建水库,如果库容设计过大,没有足够的水量可以拦蓄,就会造成工程的浪费;在洪水较大的河流上,如溢洪道设计偏小,洪水来时就可能造成工程的失事。所以必须遵循毛主席关于“一切结论产生于调查情况的末尾,而不是在它的先头”和“没有调查就没有发言权”的教导,在工程规划设计之前,必须进行水文资料的收集工作。

收集水文资料,包括对现有水文资料的收集和必要时设专用站对水文要素进行观测并进行必要的现场调查。对现有水文资料的收集包括以下几项:

- (1) 流域水系地形图;
- (2) 建库地区有关的水文年鉴、水文手册、各种水文特征值图集,如雨量、径流量参数等值线图、暴雨参数等值线图等;
- (3) 坝址以上和附近水文站的集水面积;
- (4) 记载历史洪水、枯水资料的文件,如杂志、调查报告、地方志等。

水文要素的观测一般在水文站进行,观测资料经整编后刊布于水文年鉴中。在建库地区如缺少测站,为了提供必要的水文资料,应尽可能提早布设一些专用水文站。在流域范围内要均匀地并结合高程变化布设一些雨量站。为了摸清河流洪枯水发生和发展的规律,在规划设计时必须组织人力在坝址附近上下游河段进行洪枯水调查工作。

气象要素与水文要素有着密切关系,天空下暴雨,河里涨大水,就是很明显的例子。如长江中、下游每年大致是5~9月为汛期,10月至次年4月为枯水期,就是受长江流域降雨季节变化影响的结果。因此,在水库规划工作中,应收集必要的气象资料。

对于水利工程的规划设计来说,水文气象资料中以水位、流量、降水、蒸发最为重要,对于多沙性河流,河流泥沙也是一个重要项目。这一章的主要目的,是学会查阅水文年鉴,并能掌握水文观测和洪水调查的基本方法。

本章的辅助教材是当地的水文年鉴,并要进行一次水文测验实习和气象观测的参观。如教学时间较充裕,可进行一次简单的洪水调查实习。

第二节 降水、蒸发的观测与计算

一、降水的观测和计算

河流的水量来源于天空的降水,降水的形态有雨、雪、霰、雹等。我国大部分地区降水以降雨

为主,北方地区冬季则以降雪为主,下面所讲的降水主要是指降雨而言。

(一) 降水的观测

降水量以降落在地面上的水层深度表示,以毫米为单位。观测降水量的设备通常有雨量器和自记雨量计两类。

雨量器构造简单,使用方便,是最常用的观测降水量的设备(见图 1-1-1)。雨量器上部的漏斗口呈圆形,内径是 20 厘米,器口是里直外斜的刀刃形,以防雨水溅失。雨量器下部放储水瓶,收集雨水。

观测的时候把带有盖的空储水瓶拿到雨量器旁,到正点观测的时刻,平稳而迅速地从雨量器里拿出储水瓶,把带去的储水瓶换上。储水瓶拿回屋里以后,把瓶里的雨水慢慢倒入特制的量杯中,读数时将量杯用姆指和食指拿起与眼睛视线平行,读杯里水面的刻度(以凹水面最低处为准)。量杯每一小格的水量,相当降雨 0.1 毫米,每一大格的水量相当降雨 1.0 毫米。

用雨量器观测降水量的方法一般是采用分段定时观测,把一天分成几个时段,按北京标准时间,以 8 时作为日分界,以本日 8 时至次日 8 时的降水量作为本日的日降水量*。分段数目根据需要决定,分段愈多,愈能够详细了解降水变化过程,但工作量也愈大。

此外,有些测站除分段观测外,还观测降水起迄时间,记录一次降水的降水历时和降水量。这种资料可以在建立暴雨径流关系时使用。

自记雨量计(见图 1-1-2)能自动地连续地把降雨过程记录下来。从自记雨量计的自记纸上,可以确定出降雨的起迄时间、雨量大小、降雨强度的变化过程等,是水文分析计算工作的重要资料,目前我国不少测站配备有这种仪器。对于自记雨量计记录纸上所记录的雨量,要用雨量计下部储水瓶内的水量进行核对,因为自记的雨量有时会出现较大的误差,特别在暴雨强度很大的情况下。

(二) 降水三要素

降水量、降水历时和降水强度,可以定量地描述降水的特性,称为降水三要素。

降水量以毫米为单位,计至小数点后一位。降水历时可用年、月、日、时、分钟为单位,凡说明降水量必同时指明降水历时,如某地某年的年降水量为 1542.3 毫米,1542.3 毫米就是降水量,年

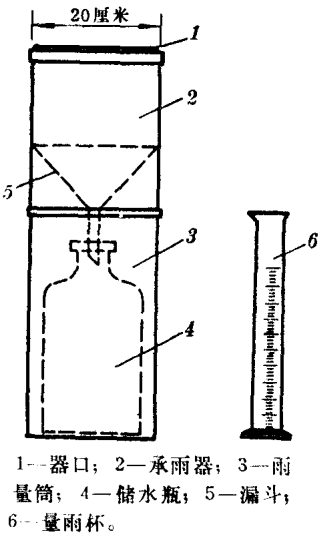


图 1-1-1 雨量器示意图

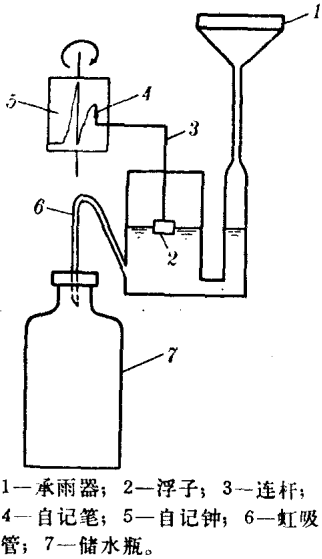


图 1-1-2 立式自记雨量计构造示意图

* 日降水量是以每日 8 时为分界记录的 24 小时雨量,与该日 24 小时最大雨量不同。水文年鉴中刊布的 24 小时雨量是 24 小时最大雨量。

就是历时。水文年鉴中刊布有当年的逐日降水量表和各种历时（如 5 分钟、10 分钟、30 分钟、1 小时、3 小时、6 小时、12 小时、24 小时等）的最大降水量等降水资料，在进行水文分析计算时可以利用。

有了降水量（ x ）和降水历时（ T ），即可求此历时内的平均降水强度（ $\bar{i}$ ）：

$$\bar{i} = \frac{x}{T} \quad (1-1-1)$$

平均降水强度是指一定时段（历时）内的降水的平均强度，若时段是瞬时的，就可得出瞬时的降水强度 i ：

$$i = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta T} = \frac{dx}{dt} \quad (1-1-2)$$

图 1-1-3 是自记雨量计记录纸的一部分。当自记笔记录至 10 毫米时，由于虹吸管的作用，自记笔会自动地垂直下跌至 0，如图中 14 时的情况。实际上 14 时以后的曲线是 14 时以前曲线的继续。

自记雨量计记录纸上所绘出的曲线是一根累积雨量曲线，纵座标表示累积雨量 x ，横座标表示时间 t ，曲线的斜率 $\frac{dx}{dt}$ 表示降雨强度。这种曲线既表示了雨量的大小，又表示了降雨的消长

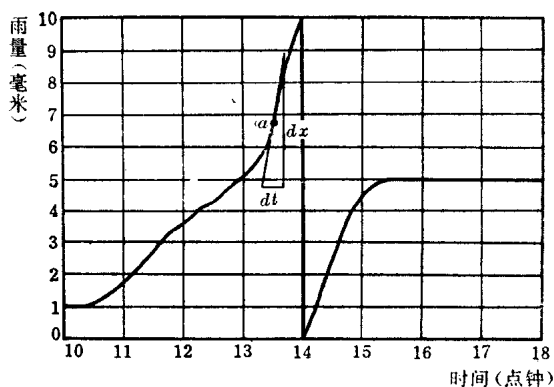


图 1-1-3 自记雨量计的雨量记录示例

过程。曲线坡度最陡的地方，即曲线斜率 $\frac{dx}{dt}$ 最大处，表示雨下得最猛，也就是降雨强度最大；曲线水平时，表示没有下雨，即降雨强度等于零。例如在图 1-1-3 中，我们可以看出，在 10 时以前没有下雨，从 10 时 19 分起开始降雨，到 14 时已经降了 9 毫米，14 时以后又降了 5 毫米，至 15 时 28 分曲线便呈水平了，这表示降雨此时停止。从 10 时 19 分至 15 时 28 分共降雨 $9+5=14$ 毫米，历时 5 小时 9 分钟。在累积曲线中，我们还可以看到，曲线斜率最大的是 a 点，出现在 13 时 30 分。 a 点的降雨强度就是此次降雨的最大瞬时强度，其求法如下：先在 a 点做曲线的切线，并任取一段，量其纵距 dx 和横距 dt ，则

$$i_{\max} = \frac{dx}{dt} = \frac{4.1}{22.8} = 0.18 \text{ 毫米/分}$$

（三）流域平均降水量的计算

上述观测和计算的降水量是一个雨量站的资料，严格地说，它只能代表该雨量站的降水量。对水利工程来说，不但要研究单站的降水特性和规律，更多的是通过单站的资料去研究面上的降水特性和规律。流域平均降水量的计算就是研究面上降水特性的一个工作。

流域，简单地说，就是河流的集水区。从地形图上说，就是流域分水线所包围的区域，如图 1-1-4。流域分水线通过流域的出口断面。

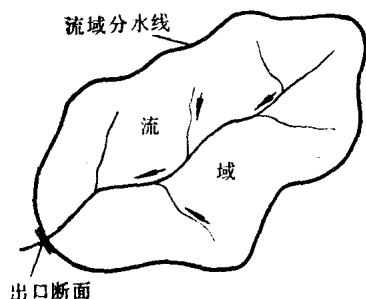


图 1-1-4 流域和流域分水线

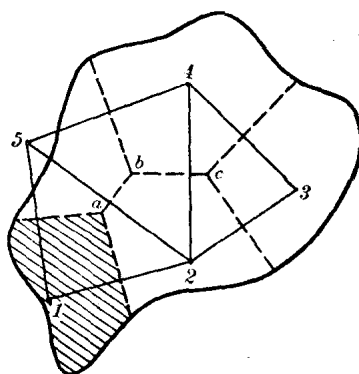


图 1-1-5 流域平均降水量的求法——垂直平分法

如何从流域上的单站降水量推求流域平均降水量呢？下面介绍几种实用办法。

1. 算术平均法

当流域内雨量站分布较均匀，且地形起伏变化不大时，可以根据各站同一时期观测的降水量用算术平均法求得流域上的平均降水量。计算式如下：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-1-3)$$

式中：

$\bar{x}$ ——流域平均降水量(毫米)；

$x_1, x_2, \cdots, x_n$ ——流域内各雨量站的降水量(毫米)；

n ——流域内雨量站的站数。

2. 垂直平分法

如流域内雨量站布设不均匀，用算术平均法推求将得不到合理的结果。此时可采用垂直平分法。

此法首先将流域内各雨量站(包括流域附近的站，如图 1-1-5 的 5 站)绘在流域地形图上，将各站用直线连接起来，成为很多三角形，然后在各条连线上做垂直平分线，这些垂直平分线将全流域分为 n 个多边形，每个多边形内有一个雨量站。假定每个多边形面积上的雨量等于其内的雨量站所测得的雨量，并设 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 为各站的雨量， $f_1, f_2, \cdots, f_n$ 为各雨量站所代表的多边形的面积， F 为流域总面积，则流域平均降水量可用下式计算：

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \cdots + x_n f_n}{F} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{F} \\ &= \sum_{i=1}^n x_i \frac{f_i}{F} \end{aligned} \quad (1-1-4)$$

式(1-1-4)中 $\frac{f_i}{F}$ 表示各雨量站所代表的面积占整个流域面积的份额，通常称为权重， $x_i \frac{f_i}{F}$ 称为权雨量。当流域上的雨量站布设已定后，各雨量站的权重也已定，这时要计算某场雨的流域平

均雨量就很方便, 只需将各雨量站测得的雨量 x_i 乘以该站的权重, 得出权雨量, 然后将各站的权雨量相加, 便得到该场雨的流域平均雨量。

图 1-1-5 是垂直平分法的一个例子, 图上闭合线表示流域分水线, 流域上有五个雨量站, 用 1、2、3、4、5 代表, 各边垂直平分线的交点为 a 、 b 、 c , 图中阴影所示面积为雨量站“1”所代表的面积。

3. 等雨深线法

在流域地形图上各雨量站的位置处填写上各站的雨量深度, 如图 1-1-6 上所标注的 71.2、94.2、129.7... 等, 单位以毫米计, 数字中小数点的位置即为雨量站位置。根据这些数据, 按照勾绘地形等高线的方法绘出雨量为 60、80、100、120、140 等几条等雨深线(雨量相等点子的连线)。以相邻两条等雨深线上雨量平均值作为这两条等雨深线所包围面积上的平均雨量, 则可得流域平均降水量的计算式:

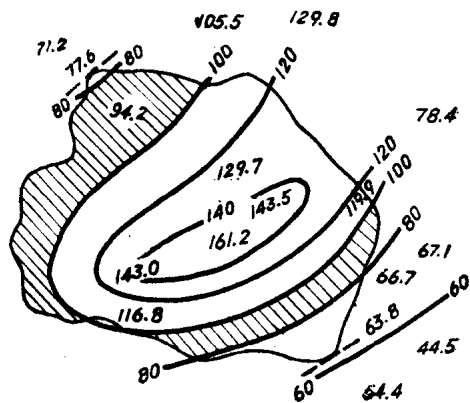


图 1-1-6 流域平均降水量的求法——等雨深线法

$$\bar{x} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n x_i f_i \quad (1-1-5)$$

式中: $\bar{x}$ ——流域平均雨量(毫米);

F ——流域面积(平方公里);

f_i ——两等雨深线间所包围的流域面积(平方公里), 如图上阴影部分即为 80 毫米与 100 毫米两条等雨深线间的面积;

x_i ——面积 f_i 上的平均雨量, 图上阴影面积的平均雨量即为 $\frac{1}{2}(80+100)=90$ 毫米。

等雨深线法在计算流域平均降水量的各种常用方法中, 一般认为是精度最高的, 但它要求雨量站布设较密, 否则就难以绘出符合实际情况的等雨深线。

二、蒸发的观测和计算

水由液体状态化为气体状态叫作蒸发。蒸发分为两大类, 即水面蒸发和陆面蒸发。水面蒸发就是江河、湖泊、水库等水体表面的蒸发, 而陆面蒸发则包括土壤蒸发、植物截留蒸发和植物叶面散发等。水面蒸发是水库水量损失的重要途径之一, 在水库水量平衡的调节计算中, 需要研究水面蒸发问题。

(一) 水面蒸发量的观测

过去观测水面蒸发的仪器比较常用的是 20 厘米直径的小型蒸发皿, 它与江河、湖泊、水库等大水体相比存在很大的差别。解放以后水文测站一般多改用 80 厘米直径带套盆的蒸发皿。每天观测蒸发量一次, 以北京时间 8 时为分界, 即本日 8 时以前蒸发量作为前一日的蒸发量。皿内的水要保持清洁, 每次观测均以皿内的铁针针尖为准, 如无雨则用量杯注水入皿, 使与针尖齐平为止, 所加水量即为前一日的蒸发量。量杯是一个特制的水杯, 每一杯水等于蒸发皿内一毫

米深的水量。例如某日 8 时以前的 24 小时内无雨, 观测时加入四杯水到蒸发皿内, 恰好水面与针尖齐平, 则蒸发量为 4 毫米。

有雨时, 当降雨量小于蒸发量时, 蒸发皿内水面低于针尖, 计算蒸发量时必须把降雨量加上。例如昨天 8 时至本日 8 时有雨, 从雨量器中量得降雨量为 5.5 毫米, 本日 8 时观测时又加入了一杯水, 水面与针尖齐平, 则昨日的水面蒸发量 = 5.5 + 1.0 = 6.5 毫米。

当降雨量大于蒸发量时, 蒸发皿内水面高于针尖, 则降雨量减去针尖以上的水深即为蒸发量。例如昨天 8 时至本日 8 时有雨, 从雨量器中量得 9.5 毫米。本日 8 时从蒸发皿中取出 3.0 毫米的水水面平针尖, 则昨日的水面蒸发量 = 9.5 - 3.0 = 6.5 毫米。

1975 年水利电力部颁发了《水文测验试行规范》, 规定水面蒸发观测的标准仪器是改进后的 E-601 型蒸发皿。这种蒸发皿埋入地下, 使仪器内水体和器外土壤之间的热交换较接近自然水体的情况, 应积极创造条件, 推广采用。

(二) 蒸发皿的折算系数

用蒸发皿测得的蒸发量与实际江河、湖泊、水库等大水体的蒸发量有一定的差别, 因为它们的受热情况与上空的湿度和风力影响都不相同, 所以不能代表大水体的实际蒸发量, 必须通过折算系数才能求出大水体的实际蒸发量。

折算系数就是实际大水体的蒸发量与人工蒸发皿观测的蒸发量之比, 即

$$\text{折算系数 } K = \frac{\text{实际水体的蒸发量}}{\text{蒸发皿观测的蒸发量}} \quad (1-1-6)$$

折算系数必须根据各地的具体情况决定, 一般地说, 蒸发皿的面积越小, 折算系数也越小。根据黄河三门峡的观测试验(以 20 平方米蒸发池为根据), 口径 80 厘米蒸发皿的折算系数平均为

表 1-1-1 东湖蒸发站水面蒸发折算系数

K_{20} ——20 厘米蒸发皿折算系数

K_{80} ——80 厘米蒸发皿折算系数

K_{601} ——E-601 蒸发皿折算系数

月 份	K_{20}	K_{80}	K_{601}
1	0.64	0.92	0.98
2	0.57	0.78	0.96
3	0.57	0.66	0.89
4	0.46	0.62	0.88
5	0.53	0.65	0.89
6	0.57	0.67	0.93
7	0.59	0.67	0.95
8	0.66	0.73	0.97
9	0.75	0.88	1.03
10	0.74	0.87	1.03
11	0.89	1.01	1.06
12	0.80	1.04	1.02
全年平均	0.65	0.79	0.97