

THE SELECTED PAPERS OF
HYDROLOGICAL NETWORK PLANNING
IN MOIST REGION

906225

湿润地区

5112

4432

水文站网规划论文选集

河海大学出版社



前 言

湿润地区中、小河流水文站网规划及布设原则的研究是分两个阶段进行的。1978年至1980年,研究的是湿润地区小河流站网布设原则。由浙江、安徽、福建、江苏、湖南、广东、四川、江西等省的水文总站及河海大学(原华东水利学院)组成八省一院协作组,由江西省水文总站负责组织工作。在此期间,协商讨论并采用了统一的基本理论和分析方法,分析了70个小河流站1000多个站年的资料,1980年编写了《湿润地区小河流站网规划分析方法》。1981年开始,在小河流站网规划分析的基础上,开展了湿润地区中等河流站网布设原则的研究工作,由浙江、福建、湖南、广东、广西、安徽、黑龙江、江西等省的水文总站及河海大学重新组成八省一校协作组,由江西省水文总站及河海大学共同负责组织工作。在区域代表站网规划的基本理论和分析方法、雨量站网规划、蒸发站网规划、水文站设站年限等几个方面进行了探讨。参加协作的各省、区根据各地不同的特点,采用了不同的方法对站网布设原则进行了大量的研究和分析。分析了110个流域1109个站年的水文资料,召开了8次协作会议,参加交流的论文67篇。同时由湖北、浙江、江苏等省组成的专题协作小组,进行了平原水网区水文站网布设方法的研究工作。以上这些研究作为我国水文站网规划提出了一系列的计算分析方法,探索出了一条用流域水文模型进行站网规划研究的新途径,对我国湿润地区的站网建设具有重要意义。为了总结和推广这些研究成果。在原水电部水文局的支持下,我们汇编了这本论文集。收入本论文集的文章有:湿润地区中、小河流站网规划方面19篇;平原水网区站网规划方面4篇;流域水文模型基本理论研究方面2篇,合计25篇。由于受本书篇幅的限制,还有很多文章没有编入论文集中。

参加本论文集审稿工作的有:原水电部水文局庄德祯、袁令劬高级工程师;河海大学赵人俊、于维忠、刘权授教授、胡凤彬、夏佩玉副教授;安徽省水利所金光炎高级工程师;安徽、江西省水文总站程志斌、桂宗禹、沈言贤高级工程师等。

本论文集由河海大学胡凤彬、夏自强、江西省水文总站桂宗禹、沈言贤、江苏省水文总站胡长忠等组成汇编组,负责论文集总的编审工作。

正当论文集交付出版之际,传来了江西省政协委员、高级工程师桂宗禹同志不幸因病逝世的噩耗。桂宗禹同志参与领导了湿润地区站网规划分析研究工作及本论文集的出版筹备工作,在这些工作中他既是组织者又是普通的工作者。在1988年盛夏,他不顾年高体迈,冒着南京市摄氏39度的高温,在南京进行了论文集的最后审查工作,他严谨的科学态度和认真负责的精神鼓励着每一个参与这项工作的同志。现在,在他生命的最后岁月里为之奋斗的论文集终于出版了,借此机会,我们向桂宗禹同志表示深切的怀念和崇高的敬意。

编 者

1988年12月

论文目录

湿润区中、小河流域水文站网布设原则研究总结·····	八省一校协作组 (1)
新安江模型的原理·····	赵人俊 (9)
用流域水文模型参数的水文分区法·····	胡凤彬、沈言贤、金柳文、丘汀萌、张正康 (16)
新安江(四)流域模型参数地理规律的探讨·····	胡凤彬、夏佩玉、沈言贤 (26)
江西省区域代表流量站网规划(筛选法)·····	胡凤彬、 <u>桂宗禹</u> (36)
湿润区小河站网布设原则的探讨·····	八省一院协作组 (54)
推理过程线·····	八省一院小河站网规划协作组 (63)
流域模型参数地理规律检验·····	沈言贤 (74)
流域水文模型在湖南站网规划中的应用·····	金柳文、刘崇竹 (85)
流域水文模型在福建区域代表站网规划中的应用·····	丘汀萌、杨威罗 (94)
江西配套雨量站网密度公式初步探讨·····	江西雨量站网分析组 (104)
应用流域模型分析配套雨量站数·····	张桂娇 (110)
蒸发站网布设原则的研究·····	张正康、洪广炎 (115)
流域模型计算的不同蒸发皿资料移用问题初探·····	张正康 (123)
湿润区中小河流域水文站设站年限探讨·····	程志斌、童运调 (127)
湖南省中小河流域水文站设站年限问题探讨·····	刘崇竹、金柳文 (139)
马口流域模型·····	于维忠 (147)
应用流域模型探讨水利工程对水文影响及站网调整的初步意见·····	罗嗣林 (154)
卡拉谢夫法在江西区域代表站站网规划中的应用·····	刘爱樟、陈剑天 (166)
平原水网区水文站网布设方法的探讨·····	梅宽祥、洪希曾 (177)
平原水网区分地类进行次降雨径流计算方法的探讨·····	胡长忠 (189)
杭嘉湖水网区水文站网布设及产流计算方法的探讨·····	郑燮林 (195)
沔汉湖水网区水文站网布设方法的探讨·····	陈德伟 (201)
安徽淮北平原坡水区水文站网布设原则的初步探讨·····	程志斌、储常锐 (208)
江西省小河站网的检验·····	<u>桂宗禹</u> 、毛国兴 (214)

湿润区中、小河流水文站网布设原则研究总结

八省一校协作组

一、协作情况简介

本协作组始于1978年,参加的成员有:浙江、安徽、福建、江苏、湖南、广东、四川、江西等八省水文总站及河海大学(原华东水利学院),简称八省一院协作组。由江西省水文总站牵头。当时研究的主要任务为湿润区小河流站网布设原则。由于可以应用于分析的小河流站资料缺乏,除了浙江外,协作组内兄弟省都不能应用各自已有小河流站资料单独地完成此项研究任务。为此,经协商确定,集中大家已有资料按统一的方法进行分析,在试点的基础上,制定了协作计划和操作规定,共分析了70个流域,1000多个站年,3000多次洪水,先后举行了四次会战,对每个阶段的计算成果广泛讨论,集中综合,先后写出了阶段性论文19篇(其中2篇纳入本论文集),并求得产、汇流参数和自然地区特征值间的关系,最后得出湿润区的小河流站网布设原则。

1980年小河流站网布设原则协作任务告一段落,编写了《湿润区小河流站网规划分析方法》一书(由原水电部水文局委托江西省水文总站铅印,作为内部发行)。同年,受原水电部水文局委托,举办了湿润区小河流站网规划分析方法训练班。

1981年开始将协作任务改为研究湿润区中等河流区域代表站网布设原则。参加成员重新组合,由浙江、安徽、福建、湖南、广东、广西、黑龙江、江西等八省、区水文总站及河海大学组成,简称为八省一校协作组,由江西省水文总站、河海大学共同负责此研究课题的组织工作。

由于协作各省的区域代表站点较多,资料质量亦较好,都具有独立进行资料分析的基础,所以这阶段的协作采用了集中与分散相结合的方式。即协作组成员根据各自省、区的特点,自行选择研究的方法和途径,开展分析研究工作。例如:闽、赣、湘、浙、皖五省皆用了“新安江流域模型”来探索站网规划方法,这些省在江西试点的基础上,制订了统一的电算程序和资料处理办法,然后照此分头计算。为使参加协作的具体工作人员能熟悉和掌握流域模型的分析方法,协作组在江西省水文总站举办了训练班,边学理论,边上机电算。同时有的省还研究了其他站网规划的方法。为了集思广益,共同提高,协作组每年至少集会一次,交流各自的阶段性研究成果,协调合作进度。从1981年至1986年,协作组应用流域模型在计算机上共分析了110个流域、1109个站年的资料。共举行协作会8次,先后参加交流的论文67篇,纳入本论文集的共17篇。

自1981年以来,针对以下六个课题开展了分析研究工作。

1. 区域代表站网规划基本理论和方法,

2. 水文分区方法;
3. 流量站网密度规划方法;
4. 雨量站网规划方法 (包括配套雨量站和面上雨量站);
5. 蒸发站网规划方法;
6. 设站年限探讨。

本文围绕上述研究课题,并结合小河站规划方法,进行总结。

二、中、小河流域水文站网规划基本理论和方法的探讨

根据水文站的性质和任务,水文站网大致可分为基本水文站网和专用水文站网两大类。前者是经过统一规划,探索基本水文规律,最大限度地满足国民经济建设各方面需要而设置的,后者是满足某一专用目的而设立的。根据河流等级和大小,基本水文站又可分为大河控制站(在湿润区水文站控制流域面积大于3000平方公里),中等流域区域代表站(控制流域面积为200平方公里至3000平方公里之间)和小河站(控制流域面积小于200平方公里)三种,本协作组的任务主要是针对后两种的基本水文站网进行研究。由于湿润区泥沙问题不突出,且泥沙和流量之间存在一定的关系。因此,本协作组研究水文站网布设原则实质上就是研究流量站的布设原则,至于泥沙站网可根据需要和可能结合流量站网予以合理安排。

水文站网应是依靠网内测站的整体功能而发挥其作用的。规划目的是如何以最少投资获得最佳的整体功能。最大限度地满足水资源开发和利用的需要。

站网的整体功能主要体现在:在有限的观测点上收集到样本容量有限的系列资料后,能向各方面提供任何地点、任何时间的、具有足够适用精度的资料和信息。我们还认为,收集雨量、蒸发资料的费用比流量资料的收集费用省得多,所以在进行水文站网规划时,应考虑流量站网和雨量、蒸发站网之间的最优组合。如果使用方法恰当,则利用较稠密的雨量站网和蒸发站网资料来内插和展延流量资料系列,补充和替代部分流量站网,其经济效益是较大的。本协作组所采用流域水文模型把区域流量站网(以内插和展延连续径流过程为目标)、雨量站网和蒸发站网用下列径流特征值的计算精度作为目标函数有机地组合在一起。这些精度指标为:中等流域的年径流 $\pm 10\%$,月径流 $\pm 20\%$,洪峰及洪量(含小流域) $\pm 20\%$,保证率均取用80%。上述的精度在湿润区连成一片(闽、浙、赣、湘、皖)的60多万平方公里范围内,在时、空内插和展延上,得到了较严格的验证(验证方法及成果见本论文集[8]),并取得较满意的效果。例如:江西省水文总站水资源科进行了资料分析后,提出:要使多年平均径流深等值线图相对误差小于或等于10%,则在现设站网基础上,还需要增设50~70个区域代表站。江西水文总站和河海大学协作,在新安江流域模型参数地理规律基础上,采用了筛选法进行站网规划后,认为:江西省区域代表站总数(不包括鄱阳湖滨水区)比现有站可增加4~8个,并分别在一些无资料流域中心布设1个雨量站,就可满足上述绘制相同精度等值线图的要求。

经济效益好,不但体现在站网密度的大小和相互间的协调上,还应包括所选的代表站位置是否真正代表性好和效益大。我们在筛选时,注意了代表站的密度及其位置的优选。

利用流域水文模型进行站网规划的基本原理如下:

设一个区域中,有若干个区域代表流域的径流资料及其配套雨量、蒸发资料,逐个流域

优选出流域模型的 m 个参数 K_{ij} ，将这些参数与影响产、汇流机制的主要因素 $X_1, X_2, \dots, X_L$ 建立地理关系，如公式(1)。据式(1)进行水文分区，在水文分区基础上进行站网密度和站点布置，即可得最优站数的布站规划方案。

$$K_{ij} = f(X_1, X_2, \dots, X_L) \quad (1)$$

式中： $i = 1, \dots, n$ ；流域个数，

$j = 1, \dots, m$ ；参数个数；

K_{ij} ——流域模型的第 j 个参数（指某一流域）；

X_i ——产、汇流机制主要地理因素。

上述原理可用流程图（图1）表示之。

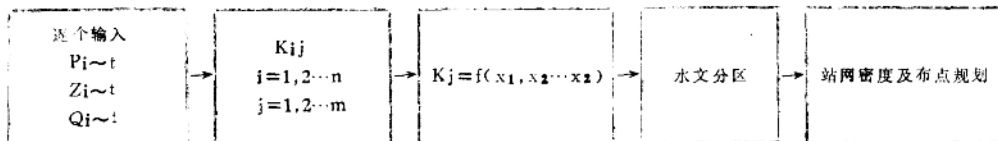


图 1 用流域水文模型进行站网规划流程图

上述流程图中 $P_i \sim t$ 、 $Z_i \sim t$ 、 $Q_i \sim t$ 分别为雨量、蒸发量、流量过程。流域水文模型中的一系列参数是对影响流域产、汇流过程中各个机制的概化，而影响形成径流过程的产、汇流机制的主要分类性因素的地理规律是可以求得的。八省一校协作组近七年来的协作成果表明，用水文流域模型参数的地理规律作为水文分区和站网规划的依据是可以取得较好的效果的。

根据站网的服务对象，流域水文模型可分成两类。

第一类应用于区域代表站规划，本课题参加交流的论文32篇（含阶段成果，下同）。选入论文集6篇。由于区域代表站所实测的年、月径流、洪峰、洪量、洪水过程及枯季径流过程等资料的用途广泛，须全面地向国民经济建设有关部门提供。因此，所选用的流域水文模型要有内插和展延流量全过程的功能，能够进行多个参数的地理综合，在此基础上给出的水文分区和站网布设密度及布设规划才能满足国民经济建设各部门的需要。协作组曾于1981年应用了新安江、水箱、萨克拉门托、马口等流域模型对江西的马口等三个流域进行了平行对比分析。从计算成果表明，新安江流域模型参数较稳定，精度也较高。新安江流域模型的原理见本论文集[2]，怎样把新安江四水源流域模型（简称“新四”模型）参数进行地理综合的原理和方法见本论文集[4]。

第二类是小河站网规划方法。小河站网资料主要服务于小面积暴雨洪水的计算。以内插出无资料地区的洪峰、洪量为主要任务。因而，小河站网规划主要探求产、汇流参数的地理规律。所用的流域水文模型结构也较第一类简单。产流可用新安江二水源流域模型。汇流计算的方法为：推理过程线法，推理峰量法，推理公式法，纳希单位线等，而且产流误差不介入汇流计算。详见本论文集[6]、[7]。

流域水文模型对降雨、蒸发、流量过程资料要求比较严格，计算工作量大，参数地理综合难度也较高，但随着我国水文站网的日趋完善，电子计算机应用的普及，这些问题是能够解决的。

我们还探索应用了苏联卡拉谢夫方法进行了站网规划，卡拉谢夫方法的主要理论假定是把年径流的空间分布场视作随机均匀场，通过相关系数 γ 与两流域中心间距 L 的相关场，分

析出多年平均径流深的某一内插精度作为站网规划的依据。因此,它是一种单因素的规划方法,其内插值只是多年平均径流量。详见本论文集[19]。

三、水文分区方法

这里主要说明区域代表站布设所依据的水文分区。

(一)水文分区依据

流域模型参数与影响产、汇流主要因素的地理规律的区界(即公式(1)适用的范围)就是划分水文分区区界的依据。例如:协作组在湘、赣、闽、浙四省连成一片的约60万平方公里范围内,用流域水文模型,获得了《新四》模型几个重要参数与影响产、汇流机制的主要因素之间的关系。它们是: K_2 (流域蒸发能力折算系数)与 ΔZ (流域平均高程与蒸发器高程之差)的关系; SM (自由水容量)与森林率 P 的关系;水源划分参数(KG 、 KD 、 KSS)与流域地质特性指标函数值 M 的关系;汇流参数(纳希单位线参数 n 、 K)与流域几何特征值之间关系。以上这些经验关系的区域界限就形成了协作区范围内水文分区界限划分的依据。详见本论文集[3]。

当采用卡拉谢夫方法时,水文分区即以统计参数的空间分布函数适用的地理范围作为水文分区界。即以相关系数 γ 与流域中心距 L 的经验函数之区界作为分区的依据,详见本论文集[19]。

(二)水文分区原则

在单项参数分区的基础上,要进行综合水文分区。今以江西、湖南、福建三省的水文分区成果为例,说明水文分区的原则。

(1)考虑“省界”能一定程度地反映自然地区因素的区界,同时考虑到目前行政管理体制,基本上以省为划区对象。

(2)在几个参数的地理规律的分区中,分区范围最大者定为大区,也就是在一个省内某一套参数的地理规律分区数为最少者,则该参数的分区就是大区,次大者定为亚区,最小者定为分区。

(3)在一个分区中,各种参数地理分区不能相互交错,参数与地理特征指标的相关关系或相关分级能为分区中任何无资料地区的流域所移用,可根据降雨系列和蒸发资料展延出相应的径流系列。

(4)若邻省交界处某一参数地理规律相同时,分区可跨省划分,并对该参数的分级布站采取协作布设。

(5)在特殊类型下垫面中,如果现有站点很少,尚未得出规律,可考虑另划一个分区。如湖南的洞庭湖滨分区和江西的鄱阳湖滨水网区。

根据以上原则,江西全省可划为一个大区,下分4个亚区,7个分区;湖南省划为1个大区,下分3个亚区,7个分区;福建全省划成1个大区,下分6个亚区,12个分区,详见本论文集[3]。

关于本课题的分析成果有8篇,列入本论文集的5篇。

四、站网密度规划方法

本协作组站网密度规划方面的有关论文共12篇,列入本论文集4篇。用流域水文模型参数地理规律,划分水文分区后,研究布站密度要考虑的下垫面因素较多,站点布设除满足基本水文基本规律外,还要兼顾国民经济对水文资料的目标要求。所以在优选代表站时,步骤要具体,规划方案要明确。现以江西省为例,说明如下(具体做法详见本论文集[5])。

(一)确定代表站下垫面因素的定量指标

考虑影响产、汇流的主要下垫面因素,即流域平均高程,成片成林的森林率,流域基岩综合指示系数值 M ,流域面积或其他某些几何特征的最佳组合,各下垫面因素指标的分级数目划分条件为:

1. 分级应以下垫面特征值指标与新安江流域模型参数的相关关系作为主要依据。
2. 在某些水文分区中,由于目前可供分析的站点较少,分级依据尚感不足,应适当增加分级数。
3. 为了满足生产、设计和科研部门需要,规划时可对某种指标的分级数适当增、减。但指标的上下限应决定于本省、区的下垫面实际情况。
4. 在一个水文分区中,某个特征指标分级界限的确定方法是:

(1)按照所划分的定量指标,将全省具有设站条件的中等流域的有关下垫面因素量算出来,据此按水文分区决定分级指标的界限,并分别统计,以利于优选代表站时心中有数。如江西Ⅰ—1水文分区中,流域面积200~1000平方公里的流域共有152个,其中流域面积200~500平方公里的流域有105个,占69%,按相关分级,如将其分为一级就嫌太粗。由于200~300、300~400、400~500平方公里三个级差中的流域分布相差不大,所以分成三个分级较宜。其具体做法可参阅本论文集[5]。

(2)凭经验指定。例如,按建立汇流参数与流域几何特征的经验关系至少需要几个点,然后对整个变幅进行均匀分割分级数。

(二)区域代表站密度规划原则

1. 以大区为规划对象。设构成大区的某下垫面特征指标在一个大区中分成 K 级,那么在这个大区中,该下垫面的特征指标每个分级中至少要布设一个区域代表站,也就是说,至少有 K 个区域代表站组成该下垫面特征指标所要求的一套代表站,但并不要求在大区中每个亚区或分区都要设相应于该特征值指标的一套代表站,而只要求把各分区分布于该特征指标级差中的代表站按级累加统计后,每个分级中至少有一个代表站,就满足了要求。构成大区及亚区的下垫面特征指标的级差站数可以在各分区间协调布成,但在一个水文分区中,构成水文分区的下垫面特征指标必须要有一个独立的,完整的一套级差站数。

例如,江西全省划为一个水文大区,构成大区的下垫面特征指标是流域的平均高程,基岩指示系数 M 值。所以,该两种特征指标在江西全省可以在各分区中协调地布设成一套完整的级差代表站。江西的赣、抚亚区(Ⅰ亚区)中有3个水文分区(Ⅰ—1、Ⅰ—2、Ⅰ—3),其下垫面特征指标为森林率,对应于森林率的这套分级站数可在3个分区中协调布设完成;而构成Ⅰ—1、Ⅰ—2、Ⅰ—3水文分区的下垫面特征指标为流域面积,所以,在这3个水文分区中,面积级都应各自有一套完整的级差站。

2. 在一个分级中, 除了分布于该分级中的流域本来就很少外, 一般应有 2 个代表站。其中有 1 个站的观测期可以是较长的。

3. 为了满足统计分析需要, 还须满足均匀布站原则的要求。即当有较大的空白区时, 必须增布站点。空白区定量界限的确定要有分析论证, 可以参考本论文集[5]的均匀布站定量方法。

4. 流域面积 200~1000 平方公里和 1000~3000 平方公里流域的下垫面景观组合差别较大, 前者还有一定的单一性, 后者较复杂; 且产、汇流的计算方法也有所不同, 前者可以用集总型, 后者一般要分块计算。因此站网密度布设原则也应区别对待。

流域面积 200~1000 平方公里的代表站密度布设原则宜用前述 1 至 3 条原则。

流域面积 1000~3000 平方公里的代表站密度布设原则也是采用分区、分级的原则, 但分区、分级的下垫面特征依据是不一致的。例如: 江西用河道汇流的河段数 LL 与主河道长度相关关系来分区。分级的下垫面特征指标是流域面积和主河道长度。各省、区可以采用符合各自特点的方法, 通过分析进行分区、分级。此外, 在规划布设 1000~3000 平方公里代表站时, 还应尽量结合报讯站、工管站、重要支流的控制站以及将来规划的大型水利工程的专用站来布设, 充分发挥其综合效应。

5. 选择代表站位置的要求

(1) 优先考虑已设站;

(2) 优先考虑代表性好的流域, 即一个代表站同时能代表一个以上不同下垫面特征的分级, 或能填补空白区;

(3) 已设站的代表流域中若有大、中型水利工程, 对年、月、次径流过程影响较大, 这些流域除考虑上述两条原则外, 还要考虑根据该流域的代表性(站址和级差诸方面), 是否有条件设置补充观测项目的辅助站, 及原系列精度和长短以及其他国民经济部门的需要等情况, 进行综合评定后才能确定。

(三) 小河站网密度规划原则

由于小河站网的主要任务仅以收集小面积暴雨洪水资料为主, 所以在进行站网规划时, 应与区域代表站网有所区别。

1. 小面积的暴雨洪水汇流参数地理规律的区域范围要比中等流域的综合水文分区界限可能要大。所以在为区域代表站而划分的综合水文分区内, 不一定都要布设一套小河流站。

2. 小流域下垫面个性突出, 分类是主要的, 论文集[6]中关于小河站按分类、分级的原则进行布站是适合的。

3. 为避免大的失误, 布站时也要适当考虑站址的均匀性。按小面积暴雨洪水汇流参数地理规律, 建议一个省应有两套完整的小河流站, 其总数可在 30~60 站之间。

五、雨量站网规划

配套雨量站网是水文站网组成的基础部分。协作组是以江西稠密雨量站网实验区的资料来研究的。由于这一实验区的研究工作还未结束, 面上雨量站布设问题的研究还在进行。本文只总结配套雨量站方面的成果。目前已收到有关论文 14 篇, 列入本论文集的 2 篇。

本论文集(11)以雨量精度作为目标函数, 用抽站法获得的江南梅雨山丘区配套雨量站密度公式对目前的配套雨量站布设有实际的指导意义。该公式不同于一般的经验公式, 其特

点是：①建立公式的资料基础较坚实，并在江西全省范围内有十多个流域已用此公式进行了验证，精度较高。②物理依据较明确，并把计算时段、面积大小纳入了公式，弹性较大，使用面也较广。

本论文集[12]是用径流过程的模拟精度作为目标函数来探讨配套雨量站的布设，该法与传统的抽站法相配合，可以使配套雨量站网设计更加合理和完善。

六、蒸发站网规划

本论文集[13]用多年平均蒸发量与流域平均高程相关关系进行了分区，然后用不同蒸发站到模拟流域中心的间距与相应的《新四》流域模型模拟的月径流合格率建立相关关系，得出了配套蒸发站网的密度。

过去在选布蒸发观测站点时，只注意了小范围的地形代表性，本论文集[13]用蒸发站控制面积(S)~地形平均高程(H)关系图来判断蒸发站的代表性好坏，使配套蒸发站址选择找到了一个较好的途径。

本论文集[14]对流域模型计算中用不同口径蒸发皿资料移用问题进行了分析研究。结果表明：用 $E_{80,1}$ 型 $\phi 80$ 厘米套盆式及 $\phi 20$ 厘米三种型号仪器观测的资料，只要各自的计算系数定得恰当，站址代表性好，对模型计算精度影响不大，所以用过去气象部门 $\phi 20$ 厘米蒸发器观测的历史资料仍可应用，以利展延系列。

但应注意水面蒸发资料是多用途的， $\phi 20$ 厘米蒸发器观测的资料即使蒸发场址选得恰当，其对水面蒸发的代表性也不如 $E_{80,1}$ 型观测资料。

七、设站年限问题

本论文集[15]及[16]对湿润区中、小河水文站的设站年限进行了研究后认为：部分水文站应较长期地观测，部分站观测期限也可以是有限制的。

对于长期观测的站，只要人力、物力的许可，其设站年限，一般应不受限制。

以建立产、汇流参数地理规律为主要任务的湿润区小河站，设站年限一般为15~20年，但必须满足了产、汇流参数单站综合稳定值要求后，才能停测。为了避免失误，可以延续几年作为间测站。

若以建立水文统计特征值等值线图为主要任务的湿润区区域代表流域，设站年限一般为40~50年，且必须包括丰、平、枯年的周期性变化，使其观测系列具有代表性。

八、结束语

由前所述，用流域水文模型进行站网规划的优点是明显的，主要表现在以下几个方面。

(1)能进行多目标的综合性规划，由这种方法规划的站网实施后，就能依据降水系列和蒸发资料，内插和展延出任何地点的整个径流过程，以满足国民经济建设各个部门多目标的需要。

(2)能把流量站、雨量站、蒸发站三种站网组合成一个系统，用同一目标函数进行规

划,这样能使投资节省,功效明显,并能使不同站网间的协调布设密切。

(3)站网规划方案能用一个客观的精度指标给予较严格的验证,能使规划者和使用者心中有数,坚实可信。

(4)建立在概念性流域模型参数地理规律基础上的站网布设比较具体,对站网布局的调整具有较大的指导意义和实用价值。

站网规划难度之深,所涉及的面之广,工作量之大,在水文科研中是人所共知的。本专题协作组虽然取得了前述几个方面的进展,但生产中还存在很多问题迫切需要进一步研究解决,这些课题是:

- 1.流域水文模型优选参数的规格化问题;
- 2.数理统计法站网规划的精度如何客观检验问题;
- 3.水文分区及分区内站网规划精度指标的合理化问题;
- 4.下垫面特征指标定量计算。例如,如何利用卫星遥感技术进行对土壤、地貌等特征指标的研究和应用问题;
- 5.站网经济效益的研究问题等。

新安江模型的原理

赵人俊

一、流域水文模型与新安江模型

流域水文模型是一种数学模型,它对流域上发生的水文过程进行模拟计算,在计算机上实现。所谓模拟,就是把水文规律加以概化,把次要的与偶发的因素去掉,保留主要的与基本的部分。把全流域的水文现象都作出这种概化,建立起有物理意义的方程式进行计算,就成为流域水文模型。例如新安江模型的产流部分是对湿润地区的降雨径流相关图作出蓄满产流的解释后形成的,它的河道汇流部分是把经验的马斯京根法理论化以后形成的。形成了流域水文模型以后,就具备了下列特点:

1. 进行模拟计算以后,把流域内部的水文状态也计算出来了,这是其它许多方法所没有的。模拟是时间连续的,因此不存在全过程与特征值之间的矛盾。只求某种特征值的经验相关,一定存在这种矛盾。

2. 把流域看成为一个整体,也就是一个系统。对全部现象进行模拟,在总体的制约中,察某一种特征值,避免了片面性及其带来的大误差。引进了系统的观点以后,可以从输入考输出、状态等各种方面来考察问题,与系统工程的理论、方法与应用联系了起来。

3. 把流域的水文规律概括为模型结构与模型参数。模型结构代表水文现象的运动规律,它是一系列方程式,构成一个计算机程序。模型参数决定了某流域的水文特性,它们是流域上气候、地质、地貌等条件的函数。当流域水文模型的结构与参数确定了,流域上主要的水文现象也就完全确定了。给予输入过程,就可算出相应的输出过程与各种状态过程。计算的输出与状态过程可以与实测资料相比较。

以新安江模型为例。它把流域分成多块单元面积,分别计算产汇流,以便考虑降雨在面上分布的不均匀性。每块的计算流程图如图1。

根据输入的水面蒸发 EM ,可以计算蒸散发量 E 及土壤含水量 W ,计算时把包气带分为三层。当有输入的降雨 P 时,可计算出产流量 R 。然后再把 R 分成为地面径流 RS 与地下径流 RG 两部分,分别进行单元面积汇流计算,求得其出流过程。再进行单元面积以下的河道汇流计算,就得出流域出口断面的出流过程 Q 。图中输入是 P 与 EM ,输出是 Q 与 E 。方框内写的是状态变量,方框外写的是参数,说明见后。

二、产流与水源划分结构

新安江模型产流部分的基本根据是蓄满产流概念。在湿润与半湿润地区,主要的产流方式是蓄满产流。蓄满产流的意思是:在包气带土壤含水量满足田间持水量以前不产流,所有的降雨都被土壤吸收。而在土壤含水量满足田间持水量以后,所有的降雨(减去同期的蒸发)

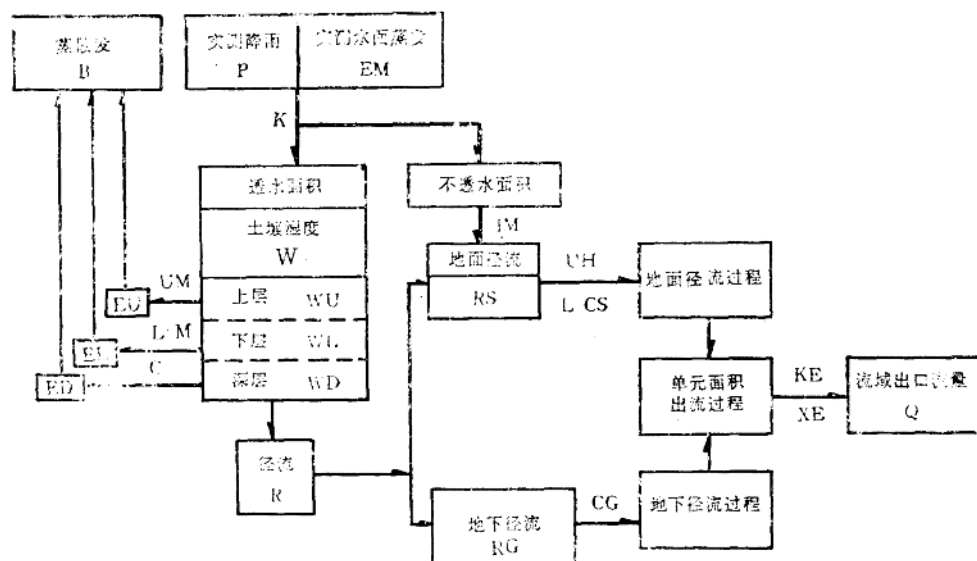


图1 新安江模型流程图

都产流。这时土壤的下渗能力为稳定入渗，所以产流量中按稳定入渗下渗的部分成为地下径流，超渗的部分成为地面径流。

附带说明，与蓄满产流相对的是不蓄满产流，或称超渗产流。它是指在土壤含水量未达到田间持水量以前因雨强大于渗强而产流。这样产生的完全是地面径流。这种产流方式在湿润地区绝少发生。

据此，产流与水源划分的方程十分简单。

产流：

$$P - E - R = W_2 - W_1 \quad (1)$$

在蓄满前， $R=0$ ；在蓄满后， $W_2 = WM$ 。

式中 P 为时段降雨量， E 为时段蒸散发量，它是计算值，算法见后。 W_1 与 W_2 是时段始末的土壤含水量。 R 是时段产流量。 WM 是平均包气带张力水容量，也就是田间持水量。

分水源：

$$RS = P - E - FC, \quad RG = FC \quad (2)$$

式中 RS 为地面径流， RG 为地下径流， FC 为时段稳定入渗。

由于流域上每个点的张力水容量并不相同，使得产流面积在降雨过程中不断变化。模型引入张力水容量曲线，以考虑这个问题。

见图2。流域上某一点的张力容量用 $W_{\frac{1}{2}}$ 表示，则张力水容量曲线定义为张力水容量等于或小于某 $W_{\frac{1}{2}}$ 值的流域面积。此面积用相对值表示，即图中 f/F 。 f 是部分面积， F 是总面积。

按蓄满产流概念， P ， E ， R ， W 诸变量在图上表示为标明的线段长或面积。图中 $\Delta W =$

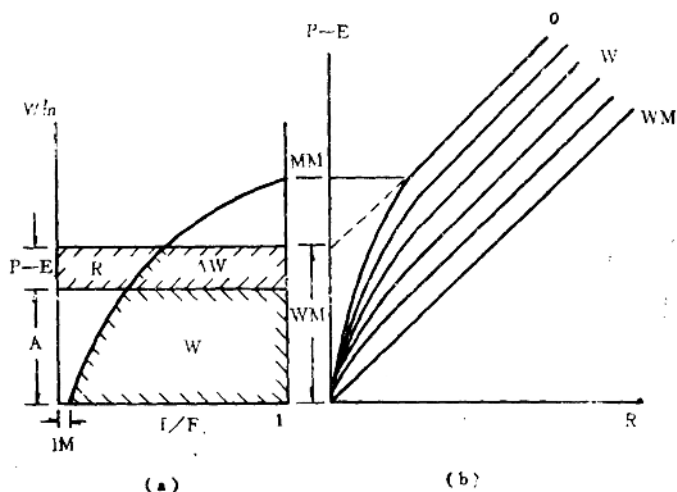


图2 张力水容量曲线与降雨径流关系

$W_2 - W_1 = P - E - R$, 是 W 的时段增量。

据经验, 张力水容量曲线的线型可选为 B 次方的抛物线, 即

$$f/F = 1 - (1 - W_m^1/MM)^B \quad (3)$$

式中 MM 是 W_m^1 的最大值。

据此可求得流域平均的张力水容量 WM 为:

$$WM = MM / (1 + B) \quad (4)$$

计算 R 值的公式如下:

在图 2 中, 与 W 值相应的纵坐标 A 为:

$$A = MM * (1 - (1 - W/WM)^{1/(1+B)}) \quad (5)$$

当 $P - E \leq 0$ 时不产流, $R = 0$ 。

当 $P - E > 0$ 时产流,

当 $P - E + A < MM$,

$$R = P - E - WM + W + WM * (1 - (P - E + A)/MM)^{1/(1+B)} \quad (6)$$

当 $P - E + A \geq MM$,

$$R = P - E + W - WM \quad (7)$$

如将上述诸变量表达为另一形式如图 2 (b), 则与常见的降雨径流相关图是一致的。

分水源的计算公式如下:

当 $P - E > FC$,

$$RG = FC * (f/F) = FC * (R/(P - E)),$$

$$RS = R - RG \quad (8)$$

当 $P - E \leq FC$,

$$RS = 0, RG = R \quad (9)$$

考虑到流域上有一些无蓄水容量的不透水面积, 当 $P - E > 0$ 时全部产地面径流, $P - E$

<0 时无作用。令不透水面积的相对值为 IM ，则式(4)应改为：

$$WM = MM * (1 - IM) / (1 + B) \quad (10)$$

式(8)应改为：

$$RG = FC * (R - IM * (P - E)) / (P - E) \quad (11)$$

其余诸式都不必改变。

流域蒸散发 E 用一个模型计算。令参数 K 表示流域蒸散发能力与实测水面蒸发之比。把包气带张力水容量 WM 分为上、下、深三层，表为 UM ， LM ， DM 。各层的土壤含水量表为 WU ， WL ， WD ，蒸散发量表为 EU ， EL ， ED ，则：

上层，实际蒸散发等于蒸散发能力。即

$$\text{当 } WU > K * EM, EU = K * EM \quad (12)$$

下层，实际蒸散发与土壤含水量成正比。即：

$$\text{当 } WU = 0, EL = K * EM * WL / LM \quad (13)$$

深层，实际蒸散发与蒸散发能力之比为常数 C 。即

$$\text{当 } WU = WL = 0, ED = C * K * EM \quad (14)$$

上面介绍的是新安江模型的最早形式，或可称二水源的新安江模型。后来发现这个结构对渗透能力偏大的流域并不合适，表现出 FC 值不稳定，流域汇流的非线性程度很高（即单位线为多条）。究其原因，主要在于没有考虑壤中流的作用。根据近代山坡水文学的研究，湿润地区的地面径流产流机制，不是超渗坡面流，而是饱和坡面流，即表土含水量达到饱和和无可再蓄时产生了地面径流。由于产流理论的发展，相应地模型结构也应当改变。详见后文。

三、河道与流域汇流结构

地下径流的汇流，用线性水库模拟。线性水库只有一个参数 K ，蓄泄系数。其蓄池关系为：

$$W = KQ \quad (15)$$

据此求得退水曲线方程为

$$Q_t = Q_0 e^{-\frac{t}{K}} \quad (16)$$

相邻时段流量比 $CG = Q_{t+1} / Q_t = e^{-\frac{1}{K}}$ ，称为消退系数， $1 - CG$ 称为出流系数，各代表蓄量的剩余量与排出量。在计算机程序中采用 CG 为参数，所用方程为：

$$QG(I) = QG(I-1) * CG + RG(I) * (1 - CG) * U \quad (17)$$

式中 QG 为地下径流流量， U 是单位转换系数，指毫米水深换成秒立米。

地面径流的坡地阶段略而不计，河网阶段用经验单位线 UH 计算。计算公式从略。

河道汇流采用马斯京根分段连续演算法。令单元面积出口至流域出口的河道长度为 L ，按河道特性求得其汇流时间为 K ，特征河长为 l 。把全河段分成为 N 段，使每段的 K 值接近于时段长 Δt 。则

$$\text{每段的 } K \text{ 值为 } KE = K / N \quad (18)$$

$$\text{每段的} X \text{ 值为 } XE = \frac{1}{2} - \frac{NI}{2L} \quad (19)$$

有了这两个参数, 就可利用马斯京根法演算方程进行运算。公式从略。

四、新安江模型的改进

上面讲到, 二水源的新安江模型有不足之处, 应当改进。此问题正在研究之中, 已提出了几种改进的办法。下面介绍一种有代表性的比较成熟的办法: 在原产流计算的基础上, 分出三种水源: 地面, 壤中, 地下。为此设立一个自由水蓄水库, 示意图见图 3。它位于图 1 的产流面积 f/F 上, 其深度为腐植土层。当包气带蓄满以后, $P-E$ 先进入此水库, 成为自由水。自由水蓄水库用线性水库来模拟, 但它有两个出口。横向出口的出流系数为 KI , 产生壤中流 RI , 进入河网。向下出口的出流系数为 KG , 产生地下径流 RG , 进入地下水库。自由水蓄量超过其容量而溢出则形成地面径流, 这就是饱和和坡面流。二水源新安江模型中的分水源结构用这个结构替代, 其余不变。

考虑到自由水容量在面上分布的不均匀性, 引入了自由水容量曲线, 见图 3。下面介绍的处理自由水的方法, 与处理张力水的思路相同。

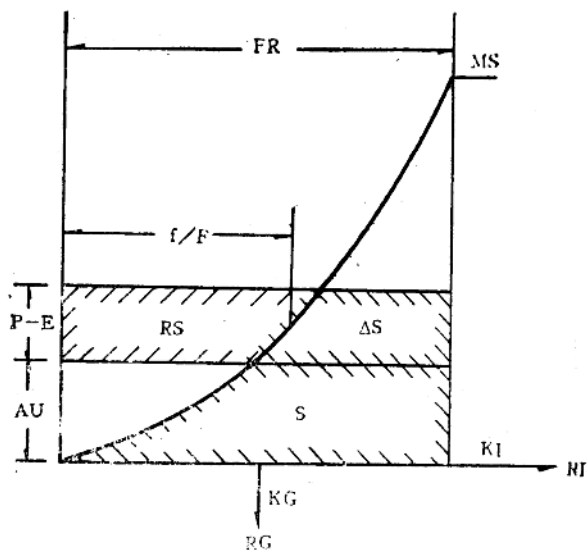


图3 自由水蓄水库

自由水容量曲线用 EX 次抛物线表示, 地面径流的相对产流面积为

$$f/F = 1 - (1 - S_m^1/MS)^{EX} \quad (20)$$

式中 S_m^1 为流域上某一点的自由水容量, MS 是 S_m^1 的最大值。

据此可求得流域平均的自由水容量为

$$SM = MS / (1 + EX) \quad (21)$$

计算地面径流 RS 的公式如下:

在图3中与自由水蓄量 S 相应的纵坐标值 AU 为

$$AU = MS * (1 - (1 - S/SM)^{\uparrow(1/(1+EX))}) \quad (22)$$

当 $P-E \leq 0$, 不产地面径流, $RS = 0$ 。

当 $P-E > 0$, 产生地面径流,

当 $P-E+AU \leq MS$,

$$RS = (P-E-SM+S+SM*(1-(P-E+AU)/MS)^{\uparrow(1+EX)}) * FR \quad (23)$$

当 $P-E+AU > MS$,

$$RS = (P-E+S-SM) * FR \quad (24)$$

式中 FR 是图2上的产流面积。

计算壤中流 RI 与地下径流 RG 的公式如下:

$$RG = S * KG * FR$$

$$RI = S * KI * FR \quad (25)$$

由于自水蓄水库排水较快, 上列差分格式的计算会产生较大误差。为消除这种误差, 可把一个时段分成几个来计算, 使每个分时段 $P-E$ 不超过5毫米。作此种计算时, 有关参数要作相应的换算。

当水源划分以后, 计算出来的 RS , RI , RG 都是河网总入流, 分水源与坡地汇流问题同时解决。以后的汇流是河网汇流, 完全是地面性质。根据现在的研究已可证明, 这种河网汇流的非线性程度不高, 在中高水时完全可以作为线性问题来处理。因此, 单元面积上的单位线是稳定的, 只有一条。

五、模型参数的性质

现将新安江模型的参数罗列并说明如下:

K ——流域蒸散发能力与实测水面蒸发之比。它控制着总水量平衡。 $K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 。 k_1 是大水面蒸发与蒸发器蒸发之比, 可由实验决定。 k_2 是蒸散发能力与大水面蒸发之比, 其值在夏季为1.3~1.5左右, 冬季为1左右。 k_3 是将蒸发站蒸发校正到流域平均蒸发的系数。在实用上, 对于 $E_{0.1}$, $k_1 \cdot k_2 \approx 1$, K 的主要决定因素是蒸发站高程与流域平均高程之差。

WM ——流域平均张力水容量。它代表流域的干旱程度。在湿润地区, 其值约为80~130毫米。 WM 与蒸散发计算无关, 但其值不能太小, 以免计算的 W 值出现负数。 $WM = UM + LM + DM$ 。 UM 与 LM 是影响蒸散发计算的。对无植被地区可取 $UM = 5$, 对多林地区可取为20毫米。又取 $UM + LM = 100$ 毫米左右, 这是因为在此范围内蒸散发大体上与土壤含水量成正比。

B ——张力水容量曲线的方次。它表示地面条件的不均匀性, 因此一般与面积有关。对很小的流域可取为0.1, 对几千平方公里的流域可取为0.4左右。此参数并不敏感。

IM ——不透水面积的相对值。此值一般很不敏感, 取0~0.02。

C ——深层蒸散发系数, 决定于深根植物的多少。其值一般在0.13~0.20。很多湿润地