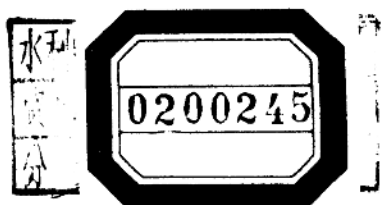


THE SELECTED PAPERS OF
HYDROLOGICAL NETWORK PLANNING
IN DRY REGION

干旱地区 水文站网规划论文选集

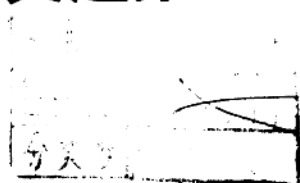
河南科学技术出版社

PDF
Digitized by
www.digitallibrary.org



干旱地区水文站网规划论文选集

黄河水利委员会水文局主编



005806 水利部信息所

河南科学技术出版社

内 容 提 要

本《选集》系根据干旱地区中小河流布站原则协作组提供的研究成果，通过精选汇编而成，全集共26篇论文。主要内容包括水文站网布设原则，水文分区方法和资料移用技术，水文站观测年限，受水利工程影响的站网调整及河网单位线在站网规划中的应用等，方法比较新颖，并用定量计算代替了传统的定性描述。

本《选集》基本上反映了我国干旱半干旱地区水文站网研究的近期水平和发展动向，对水文工作者将起到较好的启发和借鉴作用，亦可作为农、林、水利院校师生的参考读物。

干旱地区水文站网规划论文选集

黄河水利委员会水文局主编

责任编辑 史治五

河南科学技术出版社出版

许昌县第二印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14.75印张 339千字

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

印数1—2000册

ISBN 7-5349-0182-0/S·183

定价 7.5元

编者的话

干旱地区中小河流水文站网布设原则协作组（简称协作组），于1981年3月成立，由新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西、山西、内蒙古、辽宁省（区）水文总站和黄委会水文局组成，黄委会水文局为组长单位。尔后，于1982年10月增选了新疆水文总站为协作组副组长单位，于1984年10月邀请了黑龙江、吉林、河北、河南、山东、北京、天津省（市）水文总站和南京水文研究所参加本协作组。至此，协作组先后由17个单位共同承担研究任务。其基本任务是：根据本地区的水文特点和技术经济发展的实际情况，研制一套布设水文站网（主要指雨量站网、流量站网）的技术原则，来指导水文站网的规划、建设和管理。为了完成这一基本任务，各成员单位围绕着水文分区、布站密度、站址选择、观测年限和受水利工程影响等五个方面的问题，拟定了协作项目计划。

1982年12月，1984年10月，1986年10月，协作组在水电部水文局的大力支持和全体会员单位的共同努力下，先后三次召开了水文站网技术经验交流会，提交论文总计119篇。在第二次交流会上，作出了编选《北方干旱地区水文站网规划论文选集》（简称“论文选集”）的决议。在第三次会议上，成立了“论文选集”编辑委员会，开始积极筹备“论文选集”的编辑出版工作。同时，经与会代表推荐，各成员单位投票选举，尔后，又专门组织了专家评审，并考虑了地区特点，最后，从百余篇论文中精选了26篇论文，其中北方平原区站网布设专题协作组（简称平原站网组）2篇，组成本论文选集。

论文选集编辑委员会由庄德桢、周聿超、文康、马秀峰、杨振业、钱学伟和平原站网组陈铁城同志组成。龚庆胜同志任秘书并担任主编，负责全部论文的审理、汇总和编辑。杨汉颖同志参加了本选集编辑出版工作。

由于水平有限，时间紧迫，论文编排未必恰当，修改的部分内容未能与作者一一交换意见，其缺点错误之处，还望作者、读者多加指正。

《人民黄河》编辑部在编辑、出版过程中给予积极帮助与合作，谨致谢意。

前 言

水文站网规划，是研究水文工作战略布局的学科，是水文科学中的最为复杂的领域之一。其内容与方法，涉及了水文科学的各个方面，并密切联系着社会经济问题。

干旱半干旱地区，由于自然条件特殊，站网基础薄弱，水文站网规划的艰巨性与复杂性就更加突出。因此，如何联系实际，研制出一整套布设水文站网的技术原则，用以指导水文站网的规划、建设与管理，就成了一项重大而迫切的任务。

本书所选论文，是从协作组成立以来历年交流的学术论文中精选出来的。从内容上看，包括了水文分区，资料移用技术，雨量站、流量站、泥沙站站网布设密度，观测年限，受水利工程影响的站网调整及河网单位线在站网规划中的应用等课题；从研究方法途径来看，引进了新颖的思路与数学工具，将传统的定性描述逐步代之以定量计算，并且，把单因素分析，引向系统分析的途径。因而，基本上反映了我国干旱半干旱地区水文站网研究的近期水平和发展动向。

黄河水利委员会水文局

1987年7月

目 录

编者的话

前 言

干旱地区中小河流水文站网布设原则综述.....马秀峰 龚庆胜(1)

水 文 分 区

应用主成分聚类进行黄河流域水文分区.....龚庆胜 马秀峰(16)

主成分分析法在陕西水文分区中的应用.....王明泉(27)

主成分聚类分析法在新疆水文分区的应用.....李 杰(35)

甘肃省水文分区方法初探.....谭启后 褚友余(41)

内蒙古水文分区及分区原则.....杨振业(46)

模糊聚类分析在新疆河流分类上的初步应用.....安鸿志(51)

遥感技术在平原地区水文分区上的应用.....陈铁城 张继先(60)

雨 量 站 网

雨量站网布设密度试验分析.....李芳青(65)

面平均雨量抽样误差与布站数目的确定.....马秀峰 杨汉颖(71)

雨量站网规划方法合理性探讨.....郝长继(81)

流 量 站 网

布设流量站网的直线原则与区域原则的研究.....马秀峰 龚庆胜(85)

直线原则与区域原则在黑龙江省流量站网规划中的应用.....钱学伟 刘 宝(100)

卡拉谢夫法在流量站网规划中的初步应用.....王泰英 刘 宝(112)

地质条件对站网布设的影响.....梁述杰(120)

用固定洪水调查点法广泛收集水文资料.....梁俊习(126)

泥 沙 站 网

泥沙站网布设原则和资料移用方法.....马秀峰 支俊峰(129)

设 站 年 限

水文站观测年限的确定方法.....马秀峰 龚庆胜(137)

产 汇 流 分 析

从洪水参数分析探讨小河站的布设原则.....山东省水文总站(145)

黄土产流与入渗参数的初步综合.....	马秀峰(150)
$R-V$ 地貌单位线通用公式及其应用.....	文康 李琪 陆卫鲜(166)
Γ 型地貌瞬时单位线探讨.....	靳长兴(183)

受水利工程影响的水文资料还原计算与站网布设

受水利工程影响水文资料的还原计算与站网调整.....	高效曾 曹建业 陈阅笙(194)
浅谈水利化地区水文站网的布设原则与发展方向.....	杜 屹 于增先(205)
受水利工程影响的年轻流还原和观测问题.....	郑广兴(215)
北方平原区总产水量计算方法的讨论.....	北方平原区站网布设专题协作组(221)
附:英文目录	

干旱地区中小河流水文站网布设原则综述*

马秀峰

龚庆胜

(黄河水利委员会水文局)

(黄河水资源保护科学研究所)

一、前言

国家基本水文站网,经统一规划而设立,执行国家审定的测验规范,其收集的资料,均刊入国家水文年鉴。基本水文站网为水资源的评价与开发利用,水文分析与计算,科学研究,重要水利枢纽,较大区域的水文情报预报以及其它国民经济部门的公共需要,收集实测水文资料,探索水文基本规律。设立在河道上的基本水文站网可分为控制站、区域代表站和小河站。为收集水利工程影响而设立的辅助站,是基本水文站网的补充或组成部分。

水文站网是依靠网内测站的整体功能发挥作用的。从某种意义上说,水文站网是以有限站点的观测,满足无限地点的需求。因此,站网规划的目标应该是以最小的代价,最高的效率,使水文站网具有最佳的整体功能。

水文站网的整体功能,表现在对水文资料的时空内插外延和移用上。前者应用于实时的情报预报和短期的、不连续系列的插补延长;后者应用于解决无资料支流的水文计算问题。水文站网的整体功能主要由不同观测项目、不同观测年限、不同设站位置 and 不同观测精度的水文测站,通过适当的排列组合而构成。按照系统工程的观点,一个结构合理、局部环节之间能协同配套的水文站网,其整体功能必定超过局部功能的总和;同时,保证内插精度、节约站网投资、优化站网结构还要依靠资料移用技术的提高来实现。水文业务部门,只要通过实践,定期检验和纠正站网的缺陷,改善站网的结构,就可以逐步提高水文站网的整体功能。可见,水文站网结构的优化,是一个不断反馈和逐步调整的动态过程。

水文站网的分析研究和建设,必须与社会经济发展现状和水资源的开发水平相适应。在水资源开发程度很高的地区,为了合理分配水资源,提高水资源的经济效益,必须设立更多的专用站,充当“水会计”的角色,补充基本水文站网之不足。

水文站网必须与收集资料的手段相适应。雷达、遥测、卫星通讯、无人值守等自动测报系统的发展,计算机信息处理功能的提高,必将对水文站网的结构与布局,产生巨大的影响。

为使站网结构更趋于合理,更好地满足各方面的要求,应根据观测年限,对站网进

* 本文为1986年10月在大连市召开的“干旱地区中小河流布站原则协作会议”上的总结报告。

行分类。为了监视长周期气候变化引起的水文效应，通过对比，澄清人类活动对水文情势的影响，在每一个水文分区或自然分区，都应当从自然环境相对不变的支流代表站中，选择一个测验条件较好、测验精度较高、现有系列较长的测站，作为基准站。坚持长期甚至是无限期的观测，正如有要监视地面高程的变化，需要设置永久性的水准点一样。

用于插补或延长其它水文系列的一部分基本水文站，和基准站一起，通过长期或无限期的持续观测，提供流域内在时间上有足够代表性的样本。其余的基本站仅进行较少年份的观测，一旦与附近的一个或若干个长期站建立起满足精度要求的相关关系，即可停测或转移到其它无资料的支流上设站观测，以便形成一个稠密的空間样本，用来反映水文特征值的空間变化规律。对于停测的那些站，视流域情况的变异，可作定期或非定期校测。

基本水文站网依靠长期站和短期站的观测提供两种样本，实现对水文情势在时间和空間上的全面控制，满足国民经济建设对水文资料的需求。

作长期观测的基本水文站的选定条件是：

- (1) 实测资料系列长，与周围相邻站相关关系好。
- (2) 断面控制好，测验精度高。
- (3) 人类活动影响程度小。
- (4) 能结合水资源管理与防汛需要。
- (5) 面上分布均匀，每个分区有适当的密度。

二、水文分区

水文分区，不仅是布设水文站网的基础，也是认识水文规律，解决水文资料移用问题，为水资源合理开发提供依据的重要手段。

河流是气候与下垫面长期作用的产物，河流的水文特性必然要打上气候与下垫面影响的双重标记。气候具有明显的地带性分布，而下垫面不但具有地带性分布，也具有明显的非地带性变化，因此，往往需要进行水文分区。

水文分区的基本思想是：从空間上揭示水文特性的差异与相似，个性与共性。要求在不同分区之间，水文特性应有显著的差异，即每个分区都应有不同于其它分区的“个性”；而在同一个分区内的河流，其水文特性则要求相似，即有大同而小异的“共性”。

我国在发展站网的初期阶段，由于资料短缺，曾用气温作为太阳辐射的能量条件，划分气候带；用水分条件，划分大区；进一步参照影响水文现象空間变化的下垫面的因素，划分子区。高大的山脊，从山地到平原的转折，湖泊、荒漠的边缘以及地质、土壤、植被发生显著改变的地方，常作为分区的边界。这种分区方法，思路直观，在建设站网的初期阶段，曾发挥很大的作用。但由于确定分区指标范围时，依靠分区工作者个人的判断，分区结果往往因人而异，带有一定的任意性。

60年代初期,随着资料的积累,曾采用年降水和径流的关系,以及暴雨径流的产汇流参数等单项因素,进行分区。

经验证明,凡不受流域几何特征影响且相对稳定的水文特征值,和具有明确物理意义的水文模型参数,都可以从地图上作出各种各样的单因素分区,这对于水文资料的移用,进行水文模型的演算,都是可行的。

但是不同的水文因子间,往往存在着相关关系,反映着一部分相互重叠的信息。把各种单因子分区图放在一起比较,将似同而非同。从水文站网规划来看,面对如此众多的单因子分区,则较难综合考虑。

内蒙古杨振业同志提出:根据全部水文因子表现的“集体效应”,按照“从主、从众、从源”的原则,以能够集中反映能量、水分的分配与组合并相互转化的干旱指数为主要指标,划分大区;按地形、地貌、土壤、植被等下垫面的因素的相似与相异的程度,划分子区。作出的成果,较之用单项指标进行分区,有了明显的进步。

为把诸多水文因子所表现的“集体效应”,用计量手段,有效地提取出来,黄河水利委员会水文局研制了“水文分区的主成分分析法”。

用主成分分析划分水文分区的基本思路是:在地图上,均匀适量地选择一批地理坐标点,作为样点,选择与分区目标有成因联系的各水文特征值等值线图,内插出每个样点相应的水文特征值,组成原始因子矩阵,经过线性变换与组合,提取相互独立、不再有重叠信息的新变量——前位主成分,绘制主成分映象聚类图,根据前位主成分的聚类特性,把同类样点及其代表的空间范围,在地图上——标示出来,就构成水文分区。

主成分分析法能够比较客观地作出体现诸多水文因子之“集体效应”的水文分区。甘肃、陕西、新疆等水文总站把单因子分区与主成分分区的结果进行了对比,基本上证实了这个论点的正确性。

大家得到的共同经验是:

(1) 在干旱半干旱地区,应选择多年平均的年降水量、水面蒸发量(E_{601} 观测值)、径流深、输沙模数(新疆水文总站用干燥指数)和年平均气温,作为主成分分析的原始因子。

(2) 在每个样点上内插的各种水文特征值,是分析计算的依据,应力求准确,符合实际。如果某种水文因子已受到水利工程影响,并严重失真,则应作还原计算。

(3) 聚类图与水文分区图要一一对应的进行合理性论证,逐步剔除无效因子,引进有效因子,使分区结果与客观实际达到统一。因此,要求分区工作者能尽量熟悉流域自然情况与水文特性,以提高分区的客观性。

用主成分聚类作水文分区,有助于揭示各种水文现象之间稳定的、必然性的依存规律。例如,在黄河流域的聚类图上,凡侵蚀强度在中度以上的像点,既不出现在湿润和亚湿润部位,也不出现在干旱部位,而是集中出现在亚干旱部位。这决不是偶然的巧合,而有其深刻的物理成因。水分条件丰沛的湿润和半湿润地区,易于形成良好的森林植被,水分条件最差的干旱地区,不能提供强大的水蚀动能,因此,强侵蚀区,都发生在亚干旱地区。在亚干旱的阶地平原地区,坡度平缓;亚干旱的石山区,地表不易冲刷;亚干旱的黄土丘陵区,有了良好的森林覆盖,也不能形成强烈的侵蚀。因此,通

过主成分聚类作水文分区,就得到一个重要的概念:亚干旱的水分特征,裸露的地表,疏松的土质,破碎的地形,同时遭遇在一起,是形成强烈侵蚀的必要而充分的条件。

上述用多因素集体效应的分区方法,比以往采用单因素划分大区 and 分区的方法,从理论上和实用上都有所提高。但是,按照什么原则确定样点个数;引用什么因子,来揭示暴雨洪水的分区规律等问题,还有待进一步分析研究。

三、流量站网

径流是水循环的重要形式,是水量平衡方程的重要项目,是河流搬运物质的载体。水文循环和水量平衡,是水文工作中一切定性分析和定量计算的基础,也是规划流量站网的基本准则。流量站网不仅为水资源的开发利用收集资料,而且,也是联结其它项目站网的纽带。

在我国干旱、半干旱地区,设在流域面积为 $3000 \sim 5000 \text{ km}^2$ 以上河流的水文站称为大河控制站;设在 $300 \sim 500 \text{ km}^2$ 以下河流的水文站称为小河站;其余的为中等河流代表站。有些代表性较好,又系统地收集了资料的小河站,也可以当作区域代表站使用。

1、直线原则

在我国50年代引用直线原则规划大河干流测站,经数十年的实践检验,是成功的。但是,对布站数目的计算,一直没有较好的方法。黄河水利委员会水文局按照直线原则的基本概念和沿河长方向的内插精度要求,推导出布设大河干流控制站数的上、下限计算公式:

$$n \leq 1 + \frac{\ln Q_n - \ln Q_1}{\ln (1 + \lambda)} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\ln p_1}{\ln p_0} \cdot \eta \quad (2)$$

$$n \geq 1 + \frac{L}{L_0 \ln \left(\frac{C_v^2 + e^2}{C_v^2 - e^2} \right)} \quad (3)$$

$$L_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta L_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln r_{ij}} \quad (4)$$

式中 n ——布站数目(下同);

Q_n 、 Q_1 ——分别为干流最下游和最上游测站的流量特征值;

λ ——流量递变率(下同);

P_1 、 P_0 ——概率,通常取: $P_1 = 10\%$, $P_0 = \frac{1}{2}$;

η ——测验误差;

L ——干流最上游和最下游测站之间的河道长度;

L_0 ——相关半径;

C_v ——变差系数(下同);

ε ——允许的内插误差(下同);

ΔL_{ij} ——各站间的间距(下同);

r_{ij} ——各站间的相关系数。

上述公式理论基础比较扎实,概念也较直观,经各地试用,效果较好。

布站数目确定之后,可按流量递变率选定站址。在有较大支流汇入,有大型湖泊水库调蓄,有喀斯特漏水,有重要防汛任务的河段,以及大堤约束的起始和终止处,不同水文分区的交界处等,均应布站。

2. 区域原则

以往布设区域代表站的传统步骤是:按水文特性分区,把河流的面积分级,在相同的面积级中,选择有代表性的支流布站。如果在一个分区中,同级河流的属性仍有差别,则需要对河流分类,把分级与分类数的乘积,作为分区的布站数目。但是,把中等河流的面积分成多少级比较恰当,则是长期未解决的难题。

把上述直线原则加以引伸,就可以来确定一个面积为 F 的水文分区上的布站数目 n 的上限:

$$n \leq F/f \quad (5)$$

$$f = L^2 \cdot \frac{\ln(1+\lambda)}{\ln(1+\lambda) + \ln R_n - \ln R_1} \quad (6)$$

式中 R_n 、 R_1 ——某水文分区内水文特征值等值线的最大、最小值;

L —— R_n 与 R_1 间的平均距离;

f ——单站控制面积;

其余符号同前。

不等式(5)的意义是:按单站控制面积 f 均匀布站,则可保证在等值线的梯度方向上,所有相邻测站间的水文特征值的正常变率不小于事先指定的递变率 λ ;并能保证不同位置间的正常变率,不被测验误差所淹没。同时,也可以节约过多布站增加的投资,体现经济上的合理性。

在水资源评价与水文计算中,广泛使用等值线图进行地理内插作为移用资料的工具。因此,对于区域代表站,除按递变率要求布站以外,仍需要考虑按照地理内插的要求,确定每个分区的布站数量或布站密度。在等值线分析中,流域被概化为集中在流域中心一点,分区内任何一个概化点的地位是相同的,所谓流量站网的密度,就是这种概化点的密度。

把概化点按等边三角形网处理,以满足地理内插精度要求,就可导出与(3)式相仿的布站密度下限公式:

$$n \geq F/f \quad (7)$$

$$f \leq \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\tau_0 \ln \left(\frac{C_v^2}{C_b^2 - \varepsilon^2} \right) \right] \quad (8)$$

$$\tau_0 = - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta L_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln \rho_{ij}} \quad (9)$$

$$\rho = \frac{3r\sqrt[3]{s}}{1+2r}$$

式中 τ_0 ——类似于相关半径 L_0 的参数；

r ——标准化相关系数；

ρ ——相关函数；

其余符号同前。

用上述公式，对黄河流域代表站进行密度估算，取得了较好的效果。

钱学伟同志假定正 N 边 N 形 (≥ 3) 的 N 个顶点，恰好位于 N 个水文站集水流域的中心，按照在多边形中心内插误差不超过允许值 ε 的要求，导出了概括性更强的单站控制面积公式：

$$f_N \leq \frac{N}{2(N-2)} \cdot \tan \frac{(N-2)\pi}{2N} \left(L_{0N} \cdot \ln \frac{C_v^3}{C_v^2 - \varepsilon^2} \right)^2 \quad (10)$$

$$\rho_N = \begin{cases} N \cdot r_{uN} / (1 + 2 \sum_{i=1}^C r_i) & N \text{ 为大于 2 的奇数} \\ N \cdot r_{uN} / (1 + r_b + 2 \sum_{i=1}^C r_i) & N \text{ 为大于 3 的偶数} \end{cases} \quad (11)$$

式中，项数 $C = \text{INT}[(N-1)/2]$ ，足标 $b = N/2$ ； r_{uN} 是 N 边形中心点与顶点资料系列间的相关系数； r_i 是代表当 $i=1, 2, \dots$ 时，最小的、次小的、……两站间相关系数； ρ_N 是由 r_{uN} 与 r_N 组成的相关函数； L_{0N} 是决定 ρ_N 随距离增加而递减速率的经验常数，需根据实际资料确定。

(8) 式是 (10) 式 (当 $N=3$ 时) 的特例。经用黑龙江省中、东部地区资料验证，在同一精度要求下， $N=3$ 时，算得的 L_{03} 最大，相应的布站数目最少。因而，用公式 (8) 估算布站密度，更能体现经济合理的原则。

黑龙江水文总站将卡拉谢夫梯度准则中的抽样误差，改用指定的允许误差 ε ，回避了原卡氏方法中布站密度随设站年限的延长而增加的矛盾，又用负指数函数拟合相关函数，导出了估算布站数目 n 的不等式：

$$\frac{F}{F_k} \leq n \leq \frac{F}{F_r} \quad (12)$$

$$F_r = 8 \left(\frac{\varepsilon \cdot R}{\text{grad}(R)} \right)^2 \quad (13)$$

$$F_k = \left[L_0 \ln \left(\frac{r_0 C_v^3}{C_v^2 - \varepsilon^2} \right) \right]^2 \quad (14)$$

式中 R ——年平均径流深;

$grad(R)$ —— R 等值线的梯度;

r_o ——自相关系数;

C_v ——各水文测站年径流系列变差系数均值;

F_r ——单站最小控制面积;

F_k ——单站最大控制面积;

其余符号同前。

上述各种布站密度的估算方法,可以兼顾内插精度和使相邻测站间保持一定递变率的双重要求,从而在一定程度上体现了经济实用的目的。但是,公式的导出都基于一定的假定,使方法具有一定的局限性。对于长期站和短期站布设密度的比例问题,精度要求与经济效益的协调问题,都有待于做进一步的探索。

3. 小河流布设原则

小河站因其设施简易、投资低,可以灵活地在地类上设站,以探索水文因子随下垫面性质而变化的规律,为研制与使用流域水文数学模型提供不同地类的水文参数。在大中河流水文站之间的空白地区,往往也需要小河站作补充,以满足等值线分析的需要。因此,小河站是整个水文站网中不可缺少的组成部分。

在干旱半干旱地区,小河站的观测,主要应围绕暴雨产流、产沙、汇流、输沙这几个中心来进行。

(1) 布设小河站的一般准则 鉴于小河流域的产流与汇流特性往往取决于下垫面的某一单项因子的作用,使得小河的产流、汇流参数,在空间分布上表现出明显的分类性质,因此应该按气候分区、下垫面分类、面积分级并考虑流域形状、坡度等因素,决定布站数量,选定布站位置。在同样的气候区,应不受行政区划的限制,组织协作,统一规划,统一布站,统一分析和使用资料,体现科学、经济、合理的原则。仅收集产汇流资料的小河站,可只在汛期观测,不强调观测资料在整个汛期的连续性,但应强调有合理配套的雨量站网,强调提高单次观测质量和测得完整的雨洪变化过程。

为了减少投资,缩短观测年限,应该及时地对每个小河站当年的雨洪观测资料进行分析。一旦部分小河站的观测资料满足产汇流分析的要求,即可撤销或转移。此外,在降雨受地形影响的地区,应考虑径流随高度的变化而增设小河站。

(2) 小河站资料的移用方法 小河站资料移用方法的研究,既是站网规划工作的组成部分,也是服务于生产的手段。移用小河站的资料,必须解决两个方面的问题,即产流与汇流问题。在干旱半干旱地区,高强度、短历时的局部暴雨多,深厚的包气带层,切断了降雨与深层地下水的联系,构成独立的耗水系统。在相同的下垫面条件下,雨强是产流大小的决定因素。因此,干旱半干旱地区,一般都采用入渗曲线作产流计算。

在汇流方面,多采用瞬时单位线或推理公式,作为分析的工具。在推理参数的地理综合方面,山西水文总站提出:流域糙度是影响汇流速度的主要因素。流域糙度由坡面糙度与河网糙度两部分组成,前者对较小流域的汇流速度起决定作用,后者在较大流域的汇流中处于支配地位。基于这一概念,给出了流域糙度分级表,解决了推理公式中汇流参数 m 的取值问题^①。

黄河水利委员会水文局、陕西水文总站把流域划分为 m 个面积单元,每个单元面积上的径流体积,集中到单元的重心点上,并考虑滞时的作用,按点源汇流的模式,作流域出流的线性叠加演算。

经分析证明,有无配套合理的雨量站网,雨量观测是否可靠,降雨和出流观测系统的计时钟表能否同步,是汇流分析的关键。

四、雨量站网

降水量是水量平衡方程式的重要项目,是径流形成、土壤侵蚀的触发机制。在多数情况下,收集雨量资料的方法比较简易,投资比较便宜,因而在水量平衡的计算中,常作为已知数参加计算。

基本雨量站按其设站目的,可分两类。一类为与中小支流代表站相配套而设立,称为配套雨量站;另一类为控制大范围的雨量分布而设立,称为面雨量站。配套雨量站要求能详细纪录降雨过程,有较高的布站密度,需配置自记设备。用以兼作配套雨量站的面雨量站,应满足配套雨量站的观测要求。

规划雨量站网的目的,是设计一个合理的站点布局,以最少的投资,搜集满足精度要求的雨量资料。

计算各种时段雨量的区域平均值,绘制各种时段雨量的等值线图,是生产、科研上广泛使用的计算方法。雨量站网必须有合理的布设密度,才能满足这些计算的要求。我国干旱半干旱地区,曾经采用过抽站法与典型暴雨分析法。协作组对已经使用过的方法,做了较深入的研究与改进。同时又研究出了一些新的方法,如平均相关系数法与最小损失法等,这些方法为求得合理的布站密度,作了很好的尝试。

1. 抽站法

抽站法是用足够稠密雨量站网地区的全部雨量资料,计算出面平均雨量,作为近似真值,与不同抽样容量的面平均雨量相比较,计算抽样误差,探讨布站密度与抽样误差之间的关系,求出满足精度要求的布站数量。由于抽站法概念清楚,常用来作为检验其它方法的手段。但是当雨量站网不够稠密时,抽站法会给出掩盖矛盾的错误结果。例如,1957年河北省采用大清河北支、沙河、滹沱河的稀疏雨量站网日雨量资料,经抽站法计算,单站控制面积可达 $383\sim 485\text{km}^2$,面平均雨量误差为 $0.1\sim 7.8\%$ (其中抽样母体最大的是大清河北支,其 8810km^2 面积上布设了30个雨量站)。江西省按抽站法计算,山丘区单站控制面积为 $838\sim 2980\text{km}^2$,平原区单站控制面积 $1140\sim 1340\text{km}^2$ 〔2〕。27年后,河北水文总站根据石家庄地区三县 1932km^2 上设立的65个雨量站的日雨量资料,以面平均雨量误差不超过 $\pm 10\%$ 为限,算得单站控制面积为 128km^2 。江西总站根据上饶 1280km^2 上80个雨量站的24小时雨量资料,用抽站法算得单站控制面积为 $98\sim 160\text{km}^2$ 〔3〕。前后对比可以看出,由于抽样母体容量的差别,算得结果却迥然不同。

抽站法本身,概念直观,简单易作,但设立足够稠密的雨量站网,需要大量人力物力,不宜普遍推行。因此,凡进行过抽站法分析的单位,应加强协作,把分析成果进行汇总,以综合出普遍适用的布站指标,供各地使用。

2. 平均相关系数法

用等容量变组合重复抽站的概念,可导出在总体为 N 个站中,使面平均雨量误差 E 不超过允许值 ε ,而至少需要 n 个站的理论公式:

$$n = \left(\frac{N}{N-1} \right) \cdot \frac{1}{u^2 + \frac{1}{N-1}} \quad (15)$$

或

$$n = \frac{1}{u^2} \quad (16)$$

式中, $u = E / (C_v \sqrt{1 - r_c})$ 是无因次组合变量; r_c 和 C_v 为两个统计参数,综合概括了地形条件、面积大小与统计时段长短等一系列当地因素的复杂影响。

公式(15)含有总体 N ,只能适用于雨量站很密条件下站点的精简问题。公式(16)则是为了避开这一条件限制而导出的近似公式。黄河水利委员会水文局根据江西、河南两省雨量站网密度试验的日雨量资料,按前述抽站概念,计算了不同面积级、不同抽站数的 E 、 C_v 、 $\bar{r}$ 、 r_c 等参数,得到了以下初步结论:

(1) u 与 n 之间存在着与地形、面积等影响因素无关的依变关系。根据现有资料,该关系的解析形式是:

$$n = 1 + 0.37u^{-2.5} \quad (17)$$

(2) 当地形条件与统计时段等因素固定之后, $\ln r_c$ 与 $\sqrt{F}$ 呈斜率为负的线性关系。

(3) $\bar{r}$ 与 n 呈单调递增关系。在实验条件下的所有面积级上,当 n 大于 8~12 以后, $\bar{r}$ 便非常接近该面积上的极限值 r_c 。

以上三个结论是通过日雨量资料分析得到的,还有待于用各种时段雨量作进一步论证。但已初步表明,可以利用现有的不太稠密的站网资料,比较可靠地求得 C_v 及 r_c 。对于给定的 ε 值,用公式(17)就能计算出需要的布站数目。因而,其它地区不必再进行类似的试验,达到了节约投资的目的。

3. 最小损失法

在通常情况下,对于一定的面积,布站愈密,计算面平均雨量或进行资料内插的精度愈高,由误差而招致的经济损失也愈小。然而布站愈多,为管理站网而支出的经费也愈多。因此,可以认为一定存在一个最优的布站数目,使上述两项损失之和最小。按照上述原则,导出了最优布站数量的计算公式^[4]。发现,尽管提高精度的经济效益客观存在着,但又往往和其他原因造成的经济损失混在一起,难于区分。为绕过这一困难,可通过与实验站确定的最优布站数相比较,消去反映经济值的参数,导出面积为 F 的最优布站数 n 的计算公式:

$$n = n_c \sqrt{\frac{(1 - r_c) \cdot F}{(1 - r_{cc}) \cdot F_c}} \quad (18)$$

式中,足标 C 代表用实验站资料分析的结果。例如经大理河地区日雨量资料计算,得出该地区的计算公式为:

$$n = 0.65 \sqrt{(1 - r_c) \cdot F} \quad (19)$$

4. 典型暴雨分析法

我国60年代,采用积差法、暴雨中心控制法和锥体法分析雨量站网密度,均是以典型暴雨为模式的方法。近年来,不少省对上述几种方法又进行了检验,多数评价是:如果典型暴雨选择恰当,积差法可以得出可用的结论;但典型暴雨的选择,存在较大任意性。内蒙古郝长继同志对上述三种方法从理论上进行了论证。认为:积差法是衡量漏测中心雨量相对于沿最大梯度线的单宽面积上降水体积的误差;暴雨中心控制法是衡量漏测中心雨量相对于实测中心雨量的误差;锥体法是衡量漏测暴雨中心占总降水体积的误差。从衡量误差的基础来看,锥体法的概念比较正确。从处理方法来看,积差法混淆了雨量站之间的距离和雨量站到暴雨中心距离的区别,因而使计算结果可能偏小,导致布站较密;暴雨中心控制法也可能得出过小的布站间距。

五、泥沙站网

泥沙资料在国民经济的许多部门都有重要的应用。泥沙站网的任务,大约可归并为三大类:一类是通过有限的定点观测,内插出任何地点满足精度要求的各种泥沙特征值,如月、年输沙量、含沙量及其多年平均值,在许多情况下还需要泥沙颗粒分析资料;二是为河道整治,变动河床洪水预报,水利工程的管理运用,提供资料;三是研究泥沙与污染物质的相互作用。

在我国北方多沙河流上,几乎每一个流量站都进行泥沙观测,远超过了WMO提供的泥沙站网与流量站网的比率。由于输沙模数较径流深在空间分布上有更大的变率,因此,如果把泥沙与径流的统计特征,按同一精度要求进行地理内插,泥沙站网将需要更大的布设密度。因此WMO关于泥沙最小站网的密度指标,对我国北方多沙河流是不适合的。

在规划中,可仿效流量站网布设密度的估算方法,来确定泥沙站网的布设密度和布站数量。

现有区域代表站控制的流域,往往跨占若干个不同类型的水文分区,所测得的输沙量或输沙模数,是若干个水文分区的集体效应,以此绘制的输沙模数图,会严重歪曲输沙模数的地理分布规律,再者,这种笼统的平均数,也无法移用到其它支流。因此,如何把这类区域代表站的多年平均输沙量,按照自然界的本来面貌,分配到流域内各个不同的侵蚀分区上去,成为移用泥沙资料长期未能解决的难题。

黄河水利委员会水文局把一个地区的每一个泥沙站测得的同步多年平均输沙量,作为矛盾方程组的右端;每个测站包含的不同分区面积,作为矛盾方程组的已知量;把每个测站包含不同分区上的多年平均输沙模数,当作待求的未知数,按照流域来沙与水文站的输沙相互平衡的原理,列出方程个数远远大于未知量个数的矛盾方程组,最后用最小二乘法,求出每个分区的多年平均输沙模数,经实践检验,效果较好。

六、设站年限问题

在水文测验工作中,及时地撤销或停止一些已经满足生产需要的水文测站或观测项