

总 报 告

我国水文测验技术的发展和展望

——水文测验学术讨论会总报告

王 锦 生

(水利部水文局)

一、水文测验技术的发展

近来，水文测验技术有了一些新的发展，这次水文测验学术讨论会的论文，就是这些发展的一次比较全面的反映。现概述如下：

在站网方面，近来通过大量的资料分析，对中小河流布站问题有了新的认识。认为应强调水文站与集水面积内的雨量站作为一个整体来考虑。小河站应强调按下垫面分类布站。对产流、汇流参数的地理综合提出了一些新的见解和方法。对平原和有水利工程地区的站网问题的研究，作了很大的努力。不但对月年径流而且对洪水过程的还原或换算，作了许多新的探索，积累了宝贵经验。对水库站能否作代表站问题也作了大量分析，证明在一定条件下，水库站是可以作为区域代表站的。

测流设备和仪器方面，最突出的成绩是缆道技术的发展。比较重要的项目有：可控硅调速、超声波测深仪、用计算器改装的计数器等。这些技术扩大了缆道的适用范围，提高了测验精度。湖南、浙江都研制了超声波测流设备。测轮等设备也有新的改进。

流量测验方面，对流量精度从资料使用角度作了有价值的研究，并已体现于小河站的技术规定中。简化和改进流量测验方法有较大进展，数值积分法、积宽法、动船法的研究发展很快，很有价值。吉林结合站队结

合试点，提出简化方案，说明改革测验组织方式是可能的，也是必要的，并将对测验技术的发展发生重大影响。桥上测流、水工建筑物测流都做了新的研究和改进。悬索偏角改正方法有了进步，与国外比，这方面的研究已具有较高的水平。对北方洪水、结冰等困难条件下的测流方法，也进行了研究。

泥沙测验方面，论文内容较丰富，水平较高。试制了适用于缆道的积时式采样器，还有提拉式、皮囊式采样器。同位素测沙已可测到 1 公斤/米^3 以下。对高含沙量的分布特性、鸳鸯河的取样方法等进行了新的探索。对推移质采样器的型式和效率进行了研究，还试用了坑测、沙波、按水库淤积量反推等新方法。查清了用粒径计作颗粒分析中的问题，试制成光电颗粒分析仪。河床质和水库淤积测量也都有了新经验。

水位雨量方面，突出的成就是自记水平的提高。水位自记已占 60% 雨量已占 45%，这对提高山区河流资料质量有决定性的影响。试制了气泡式、超声式、虹吸式、动井式等新仪器，研制了几种长期自记仪器，并已着手研究标准化、通用化、系列化问题。对雨量计安装高程问题开展了比测研究工作，还开始了自动测报系统和卫星图片应用的试点和研究。蒸发、地下水、水质等项目的观测研究也都取得新成果。

资料整理方面，1977年开始应用电子计算机整编资料，目前74册年鉴中已有11册年鉴采用了电算。研究编制了水位、流量、泥

沙、降水等整编程序，并正在编制通用程序。在一些象长江汉口那样受比降变动影响，水位流量关系非常复杂的测站，关系线的单值化处理有新的突破，打破了多年习用连时序法的停滞局面，为简化测验和资料整理提供了有利条件。从降水资料开始，正在进行年鉴内容格式的改革。地下水、水质监测资料的分析整理也有明显进展，从单纯反映情况，进而探求规律，提出参谋意见，发挥了更大的作用。

二、面临的主要课题

我国水文测验已有一定水平。但从四个现代化对水文测验的要求来看，还存在不少薄弱环节；同国际先进水平相比，还有相当差距。现对面临的技术课题，提出看法和意见如下：

1. 有关水文测验的基本理论的研究

这方面的研究薄弱，今后必须大力加强，逐步健全水文测验学的理论体系。

要加强误差理论的研究。要从资料使用要求出发，论证不同河流、不同站类、不同项目的“要求精度”及实际条件可能达到的精度，分析测验中各个环节的误差及其传播的组成，以确定合理的精度指标，优选最为经济合理的工作方案。

要开展水流规律的研究。要探索流速、泥沙等因素在断面上、河段上的分布和水流、泥沙的运动规律，为测验部署、资料分析等提供依据。

要对站网布设理论进行研究。要研究水文因素的地理分布规律和各因素之间的关系。探求水文站网的布设原则和最优站网的选定方法。为此，建立少数站点稠密的试验区，是必要的。

另外，要继续加强径流、蒸发、水库、河口、地下水等项目的实验研究工作，除为

其他目的服务外，还可以为研究水文测验理论提供依据。

2. 提高测验效率，改革测验方式

水文站网较稀而用人较多，是我们同国际先进水平的主要差距之一。每万平方公里的水文站数，日本为91，西德71，英国50，法国33，美国21，苏联7.7，我国3.4。但外国普遍采用巡测方法，外业人员平均几个站甚至二十几个站一个人。我国采取常驻测站方法，每站平均4.4人。今后我们站网要发展，同时要求有更多的人力用于科研、分析和培训。所以，提高测验效率，改革测验方式，具有战略意义。

在技术上要研究如何使水位流量关系稳定的问题。

对水工建筑物测流，要继续研究单站历年综合定线方法，以便实行流量的停测、校测。还要研究同类型建筑物各项流量参数的规律，探讨移用参数的可能性。对小落差沉溺流，建议试用代表线流速自记技术。

建议在中小河流条件适合处，研究引用国际标准中能测较大流量而又不需要现场率定的标准化的量水建筑物。

继续进行水位流量关系单值化处理的研究。对有经常性冲淤变化的，建议研究引用平均河底高程作参数。

此外，还要研究简化测流设备和测流方法等问题。

3. 平原和有水利工程地区的水文测验问题

首先要研究这些地区的站网布设原则。这些地区的基本站网应该考虑重要工程控制运用的需要，并要继续承担为以后规划设计提供资料的任务。

对蓄水、引水资料的收集方法，灌溉回归水问题，水库测验问题等，均应继续进行研究。

还要对这些地区资料的整理分析方法、

刊布内容格式等进行研究，改变目前《水文年鉴》中这些地区的资料不完整、不好用的状况。

4. 洪水时期的测验问题

最突出的是河床易变的山溪性河流的洪水测深问题。北方有大量的这种河流上的水文站，洪水时不能实测断面，严重影响测流成果精度。要抓紧研制适用于较高含沙量的超声波测深仪器，并积极探索其他途径。国外用放射性示踪剂的稀释法，曾经测到过2000米³/秒的流量。此法不用实测断面，建议研究引用。

要继续提高常规设备的测洪能力和精度。继续研究偏角改正、浮标测法、浮标系数等问题。

建议加强对比降法的研究，努力提高其精度，以便把它作为其他方法的一项重要补充。

5. 水文仪器设备的革新和改进

水文仪器比较落后，是我们同国际先进水平的又一重要差距。

我们的水文电子仪器可靠性差的问题比较突出，建议加强可靠性的研究，改进鉴定方法，尽快改变目前这种局面。

在自记仪器方面，要抓紧研制长期自记仪器，以适应高山雨量站和偏僻地区测站的需要。抓紧解决水位、雨量自记记录的数字化处理的方法和仪器，以适应电算的需要。还要配合自动测报系统的试点，研制所需的仪器。

要继续研究解决缆道的测深测沙仪器，并抓紧缆道设备定型配套的研究，使缆道能正常运行，发挥效益。

雨量计安装高程的试验应继续进行，探求合理的安装标准。

在仪器方面还要强调设计理论和技术标准的研究。在设备方面，还要加强适用条件、发展方向等问题的研究，使不同类型的

河流的设备能逐步系统配套。

6. 资料整理方法和内容的研究

当前要继续加强电算整编的研究。努力解决原始记录的数值化问题，继续研究编制通用程序和标准程序。

继续进行水文年鉴内容的改革，使之更加经济合理。

7. 新技术和新项目的研究

在国外，新技术在水文测验上的应用发展很快。如一些国家建立起自动化水平资料处理系统、联机洪水预报自动测报系统。卫星应用、遥感技术、超声波测流等已在许多国家投产使用。我们在这些方面，还刚刚开始研究摸索。而这些新技术的应用，又与国家的工业和科学技术水平紧密联系在一起，难度较大。我们应该采取积极慎重的态度，有组织有计划地选择重点地区、重点单位进行研究探索。

地下水、水质监测等项目，在国外也有迅速的发展。我国开展的时间还不长，需要积极开展研究工作。特别是地下水开采量的观测估算，水质监测站网规划等问题，均迫切需要解决。

三、对加快技术发展的建议

总结以往水文测验技术发展的经验，提出以下几点建议：

1. 从实际出发，讲求实效

在选择科研课题时，要从资料使用和测验工作的要求出发，寻找薄弱环节，确定主攻方向。采用新技术，选用新设备，要十分注意讲求经济效益。只有这样，才能把力量用在刀刃上。

2. 加强科研，建立科研班子

水文测验科学正在向各个领域发展，关联的学科愈来愈多。不用很大力量搞科研是不行的。以往水文测验科研异常薄弱，必

须下决心解决。建议尽快把中央和流域、省一级的水文测验科研队伍建立起来。

3. 组织协作交流，开展学术活动

水文测验战线上，各地区之间的协作，生产、科研、院校、工厂间的协作，都有优

良传统。应该使这种协作经常化、系统化，并积极开展学术活动。另外，建议积极参加国际有关学术活动，交换论文资料，加强科技情报研究，促进我们测验技术发展的步伐。

参 考 文 献

〔1〕《水文副刊》编辑部，《三十年来水文工作的成就》，《水文副刊》1979年第2期。

〔2〕陈道弘、俞文俊，《国外水文技术发展概

况综述》，《水文副刊》1979年第2期。

〔3〕马秀峰，《一些国家水文站网概况》，《水文副刊》1979年第1期。

站网分析

水文站网分析与建设的若干问题

(专题总报告)

马 秀 峰

(黄河水利委员会水文局)

这次会议，本专题共收到论文二十五篇，论文的内容，基本上反映了一九七七年以来在站网分析研究方面所取得的主要成绩。现就取得的经验、存在的问题和今后如何办提出笔者的一些看法。

一、主要经验

近年来，对雨量站、小河站、受水利工程影响和水网化地区的站网布设问题，进行了实验研究，取得了一些新的认识。

1.安徽、辽宁、云南等省研究了地形对降雨的影响，用抽站法分析了与小河站相配套雨量站网布设密度。黄委用“等容量组合抽站”的统计概念，建立了计算面平均雨量抽样误差的理论公式，用误差损失与投资损失之和构造目标函数，导出总经济损失最小的布站数与面积之间的关系，为合理布设雨量站网，提供了新的思路。多数论文认为，在大量的水文计算、水文预报、水文系统分析和流域数学模型的研制中，雨量资料是首要的输入信息，中小河水文站如无足够的雨量站、自记雨量计与之配套，将严重削弱其观测资料的实用价值，必须引起重视。

2.对于小河站的布设，江西等南方八省和华东水利学院分析了小河与大河在汇流特性上的差异，注意到下垫面单项因子对小流域产流、汇流的敏感作用，提出按气候分区、按下垫面性质分类、按流域面积分级，

适当考虑地形，来综合参数和选河布站的建议，较分区布设小河站网的思想，有了明显的进步。山西省对半干旱地区地类的划分和产流、汇流参数的综合方法进行了探讨，提出在较大的气候分区内，打破省界，加强协作，统一规划，统一布站和使用资料，体现了经济、合理的原则。

3.湖北省以漂水流域为典型，考虑不均匀拦蓄的影响，用实验资料作年、月和洪水过程的还原计算，研究了水库群地区水文站网的调整 and 代表库的选择原则；山东省以葛沟为典型，对水文资料受水库调节影响失去代表性的严重情况做了对比分析和还原计算；河北省对工农业用水量，黄委会对多沙河兴修水利水保工程后的影响，进行了水文调查方法的研究，江苏和浙江协作，在杭嘉湖水网区开展了水文巡测，总结了布设巡测线、巡测点的经验。这些单位分析水利工程影响作用的基本原则是水量平衡，采用的主要手段是定点观测、巡测和调查相结合。

此外，山东、湖南和河南等省，对水库站能否充当代表站的条件以及动库容引起洪水变形的问题，进行了观测和分析。认为湖泊型水库动库容影响作用较小，坝前水位代表性较高，窄长弯曲的河谷型水库则相反。他们的经验是：在水库上游的水利工程所控制的面积不超过水库控制面积的15%，又无严重的淤积和漏水，水库面积与流域面积、库长与河长之比较小时，水库站则可以充当

代表站收集基本水文资料。

二、当前存在的主要问题

水文站网方面存在问题很多，我们的任务是抓准主要问题，有计划地组织攻关，形成切合我国国情的站网理论和站网布局。

1. 一九七七年全国水文站网学习班归结的“雨量站不足、小河站少、水利工程影响和西部站点稀”等四个最薄弱的环节，虽经几年来的努力，有所改善，但仍未根本改观。此外，多年来对泥沙、颗粒分析、蒸发、地下水、水化学、水质等站网布局，很少研究，对其能否满足地理内插的要求，心中无数。

2. 对水文站的理论与实践、当前与长远、实验站和一般站、室内实验和室外实验等之间的相互关系，缺乏全盘考虑。现行的研究课题分布狭窄，“空白点”较多，特别是在全局上对水文站网的结构、优化途径和指导思想缺乏研究。

在较发达的国家，围绕水资源问题，建立了人工实验流域和水文基准站。对生态水文、城市水文、遥感水文以及森林砍伐、土地利用等引起的水文情势的变化，已开展了实验研究。我们必须及早注意和采取相应的站网措施，否则就不能发挥水文工作在国民经济建设中的尖兵作用甚至陷于被动局面。

3. 如何把站网收集的水文特征值移用到无资料地区，是小河站、区域代表站担负的核心任务，也是世界性的难题，至今仍缺乏行之有效的办法。

4. 在站网管理方面，还有一些现实的困难。例如近年来雨量站点迅速增加，靠缺乏交通工具的水文站辅导和管理，很难胜任。又如对数量庞大的中、小型水利工程，如何与工管部门协作进行观测，亦需要抓紧解决。

三、对水文基本站网建设中若干问题的看法

1. 水文基本站网的任务和最优的定义

国家水文基本站网，是经过国家统一规划，为国民各部门收集公用资料的相对稳定的系统。这个系统由不同地点、不同职能的基本站组成，按照国家审定的技术规程，观测水循环各个要素在时间上、空间上的变化，提供任何地点具有实用精度的水文资料和预估水文情势的变化。水文基本站网观测的资料，要刊入国家水文年鉴。

站网规划的任务，就是恰当地把站点进行分类，规定各类站点的任务，探求最优的站网布局，使不同职能的基本站点，不论在数量上、空间分布上、相互搭配上以及观测时限、观测手段和信息的传递上，都能以最小的代价，最高的效率，收集质量合格的水文资料。

2. 站网建设的基本原则

纵观水文学的发展，水文循环和质量平衡始终是水文工作中一切定性分析和定量计算的基础，任何水文资料首先要经过质量平衡的检验，精度合格，然后才能据以探求规律，制定决策。因此笔者认为，在站网建设中，除制定各种具体的技术原则之外，还应从“水文循环，质量平衡”作为站网建设的基本原则。

3. 流域水文数学模型在站网建设中的作用

基于系统分析而建立的流域水文数学模型，以质量平衡为基础，以站网收集的全部资料为依据，把水文循环中各个子过程从时间和空间的变化上纳入一个逻辑系统，进行全面的考察，因而可以从各个侧面暴露水文站网在不同环节上的漏洞，推动整个站网沿着布局科学、结构合理的途径发展。因此，

流域水文数学模型的研究和应用，是审查、调整和改善水文站网，推动站网发展的有力手段，是衡量水文站网能否适应需要的重要工具。

4. 水文基本站网的分类

站网的性质和任务决定着布站位置、观测时限、观测项目、测试手段和管理方式，因此，应作为站网分类的第一级标准；然后是观测项目，水体类型，测验时期；最后是收集资料的手段，管理方式和技术细节等。

按照站网的性质和任务，可分为控制站、区域代表站、小河站、实验站。

控制站：设立在大河干流和中等河流下流，观测各种径流的数量和时程变化，为江河治理和水情预报收集资料。

区域代表站：设立在有代表性的中等河流上，探讨各种水文特征值的空间变化规律，解决中等河流水文资料在地区上的移用（内插）问题。

小河站：探讨各种水文参数随下垫面性质而变化的规律，解决小河水文资料在地区上的移用问题。小河站不但为中小水利工程服务，而且是研究大河水文规律的重要手段。小河站的观测，应围绕暴雨产流、产沙、汇流、输沙这几个中心来进行。通过小河站网的资料分析，来制定划分地类的客观标准和提供不同地类的水文参数。

实验站：为水文科学的各种研究而设立。如径流实验站，蒸发实验站、水库湖泊和沼泽试验站、河床河口演变实验站、水土流失实验站、雨量站网密度实验站等。在国外，还有实验性流域和水文基准站，前者研究一个天然流域经过不同程度不同措施的人工治理后对水循环的影响；后者研究在自然情况下水循环各因素长期变化的趋势，犹如监视高程的长期变化而设立的永久性的水准点一样，应引起我们的重视。

从研究各种水文数学模型来看，实验站

应侧重于水循环中各个子过程及其相互影响的物理机制的研究，为检验各种假定、估计参数范围、简化输入信息、研制或改进水文数学模型的逻辑运算提供精度较高、项目配套的水文资料，而其他各类测站，则为模型的外延和移用提供依据。

为了显示各个测站在站网布局中的地位 and 资料用途的广泛程度，便于管理，笔者认为，还可以按等级作如下分类：

一级站：为广泛和长远的国家计划收集资料，为较长时期和较大范围内水资源开发的总规划做准备，为监视不测事件收集可靠情报。这种测站将连续的长期的甚至是无限期的进行观测，其仪器设备要求精良，观测技术要求较高，它们在站网布局中是骨干，对展延二级站的系列，起着依据和参证站的作用。

二级站：是一级站的补充，在一级站之间的子区中设立，只进行有限年份的观测，只要求与一级站或当地气象要素、地理特征建立有足够精度的相关关系，即可停测，一旦发现流域上的情况发生显著变化，又可恢复观测或改作间测。这样，在一定时期内，通过二级站的更替、迁移，就可以使大部分河流都能积累起水文资料，消灭无资料内插的困难。

三级站：是一、二级站网的从属部分，为进行各种还原计算而设立在各类水利工程上，可采用兼测、委托、巡测的形式进行简易的观测。

站网的其它分类方法，已众所周知，不再赘述。

5. 优化水文站网的途径

从世界上各国建设水文站网的历史看，在站网很稀、资料缺乏的条件下，不可能一下子就制定出最优的站网规划，总是要经过一个从经验到科学，从局部到比较全面的发展过程。有些国家往往先自发设站形成过密

的站网，然后经淘汰才建成今天比较经济合理的结构和布局。这种先密而后淘汰的优化过程，我们只可以借鉴为重点实验的手段，而不可普遍效法。

按照我国站网的现状和经济技术水平，在今后相当长的时期内，还处于增站阶段，要想不走弯路，就必须及早研究优化站网的途径，在增设站点的过程中，减少盲目性，及时注意到向最优站网过渡的问题，并考虑尽可能使现有的和近期将要增设的站点，成为最优站网中的骨干。

一个国家水文站网的发展，在很大程度上依赖于水资源的开发、管理和运用的水平。站点的疏密，精度标准的高低，不仅取决于技术水平，更主要更基本的是取决于观测资料给国家带来的经济收益。在国外，对这一问题已开展了深入研究，应引起我们的重视。

在站网的发展过程中，应根据国民经济建设的实际需要，对站网进行调整和充实。例如近年来在全国范围内开展了暴雨图集的编制和水资源的评价，反映出不出少与站网有关的问题。站网工作者就应主动地把这些问题收集起来，认真分析，并在站网调整中加以考虑。

水文站网必须与生产上常用的分析计算方法相适应，站网工作者必须关心水文科学发展的动向，预见到有发展前途、有代表性的新理论、新观点和对水文站网提出的新要求，及时做出必要的调整，以适应新形势的需要。但是，水文站网又需要保持相对的稳定，不能让计算方法尤其是让不成熟的方法牵着鼻子走。

站网的优化，还应与收集资料的手段相适应。可以预料，多光谱空中摄影、雷达测雨、微波应用以及自动化测报系统等新技术，一旦在水文测验上达到实用阶段，必将对水文站网的结构和布局，发生巨大的影响。

6. 参数的地理综合与分区

把具有一定物理意义并能在水文计算中独立发挥作用的水文参数，与流域的某些特征建立满足实用精度的经验关系，称为地理综合；把这些综合出的经验关系能够适用的范围和地点，在地图上——标示出来，称为分区。综合和分区是水文计算中解决资料移用和外延的重要手段，曾得到广泛的应用。然而在用于站网规划时，却遇到了困难。人们发现，适用于汇流计算的分区，不一定等同于产流计算的分区；适用于计算产流、汇流的分区，不一定等同于计算产沙、输沙的分区。诸如此类的例子还很多。这样，当需要综合的经验关系较多时，势必发生分区上的交叉，给规划布站造成无所适从的困难。为此人们往往先把经验关系中的一部分参数固定起来，做单参数的综合和分区；或者置其他客观需要于不顾，仅根据某一经验关系（如推理公式的汇流系数）进行综合和分区。这种处理问题的方法，原为适应于人工计算，具有较大的局限性。随着资料的积累，计算工具的发展和社会需要的增加，原来的综合分区概念已很不适应，有必要加以改造。

笔者建议这样来规定综合的概念：

把具有同一属性的河流测站所测得的水文资料，作为某一水文模型的输入，率定模型的参数，经检验计算的精度合格，则认为该模型在该类属性的河流上实现了综合；如果在一个较大的流域或分区内，不同属性的河流都能用同一的模型来计算，则说这个分区可以用该模型综合。这个模型就可以用来解决该分区内资料的移用问题。为建立这个模型所必须的站网，就是站网规划工作所要达到的目标。这种综合、分区和确定布站的方法，不拘泥于个别经验关系的特殊要求，而着眼于全部综合关系的集体效果，因而可以避免站网工作者无所适从的困难。

湿润地区小河 站网布设原则探讨

八省一院^②协作组

一、小河的分类性

小河站的布设过去常用分区的原则即在不同的水文分区内，布设各级面积的测站。对于中等以上河流，流域内包罗了多种下垫面，径流形成的影响作用常相互抵偿，使产、汇流参数的空间变化趋于均匀，呈现出分区的规律。因此，分区布站的原则，用于中等河流较为适宜。但是，小流域的植被、土壤、地质等因素比较单一，占主导地位的某单项因素，可以较灵敏地直接影响径流的形成和变化，而且流域越小，单项因素的影响越显著。往往在同一分区内相互邻近的小河，因单项主导因素的不同，使产、汇流参数相差甚远。相隔很远甚至跨越省

(区)的小河，也可因单项主导因素类似，使产、汇流参数非常接近。江西省第Ⅱ水文分区内，有相隔仅十多公里的东排和鹅科仔两个小河站，其流域几何特征相差不大，但流域下垫面截然不同，前者以草坡为主，水上流失轻微，后者地面裸露，水土流失严重，其汇流参数分别为0.39和0.92，两者相差约1.4倍。如按分区综合，两站的汇流参数分别为0.71和0.72，显然不符合实际情况；如按下垫面类型综合，汇流参数分别为0.41和0.83，与两站实测资料计算的汇流参数比较接近。

再如表1中两个例子，尽管两例中测站的地理位置相距很远，但下垫面同属一类型，因而汇流参数都很接近，可以相互移用。

表1 同类下垫面不同地理位置汇流参数典型对比

例	地理位置	站名	$L^2/FJ^{1/3}$	汇流参数 m	植被	附注
1	安徽南部	青阳	28.9	0.86	森林为主	内陆
	江西中部	黄沙	29.8	0.86	森林为主	内陆
2	福建东北沿海	七步	20.8	2.0	土层薄	沿海
	广东南部沿海	瓜排潭	21.1	2.1	土层薄	沿海

由此可见，小河的分类性是客观存在的，从下垫面分类的途径探讨小流域产流、汇流规律，较分区的途径更符合实际情况。

二、资料分析论证

本文将围绕小流域暴雨洪水，对小河站网布设原则进行分析论证。产流分析采用蓄

满产流模型；汇流计算应用了推理过程线、瞬时单位线、推理峰量三种方法。将上述诸方法的主要参数，按下垫面分类综合，确定小河站网的分类布设原则。

流域面积小于或等于200平方公里的河流。

^②指江西、浙江、安徽、湖南、广东、江苏、四川、福建省水文总站和华东水利学院。

本文由江西省水文总站陈剑天和华东水利学院胡凤彬同志执笔。

(一) 产流分析

由蓄满产流的概念知：

$$R_{\text{总}} = P + P_a - I_m - Z_{\text{雨}} \quad (1)$$

式中 $R_{\text{总}}$ ——次洪水总径流深(毫米)；
 P ——次洪水总降水量(毫米)；
 P_a ——雨前土壤蓄水量(毫米)；
 I_m ——流域平均最大蓄水容量(毫米)；
 $Z_{\text{雨}}$ ——次洪水雨期蒸发量(毫米)。

$R_{\text{总}}$ 可按径流形成划分为四种水源：

$$R_{\text{总}} = R_s + R_{s,b} + R_g + \Delta R \quad (2)$$

式中 R_s ——地表直接径流(毫米)；
 $R_{s,b}$ ——表层流(毫米)；
 R_g ——快速地下水(毫米)；
 ΔR ——慢速地下水(毫米)。

在南方，有的流域 ΔR 特别丰富，为枯季径流的主要来源。根据井冈山山区(基岩为燕山期花岗岩)的滁洲、南溪、千坊、石口、葛田、庄坑等流域的实测资料统计，枯季径流模数 $\frac{Q_0}{F}$ [Q_0 指 $P(Q \leq Q_0) = \frac{10}{365}$ 的流量] 都在 $0.006 \text{米}^3/\text{秒} \cdot \text{公里}^2$ 以上。其中庄坑流域(面积为 8.25平方公里)曾经连续三个月无雨，但仍然流水不断，其 $\frac{Q_0}{F}$ 为 $0.0085 \text{米}^3/\text{秒} \cdot \text{公里}^2$ ，若每日地下水都以此值计算，则全年可达 268毫米 ，约占多年平均径流深的 24.7% 、占枯水年径流深的 60.5% ，数量相当可观。又如浙江的南雁流域(面积为 16.3平方公里 ，基岩为火成岩)，根据十二年实测资料统计， $\frac{Q_0}{F}$ 为 $0.0037 \text{米}^3/\text{秒} \cdot \text{公里}^2$ ，其中 1967 年为最枯年份，从 7 月 31 日至 11 月 6 日连续干旱 98 天，但河水从不间断，最小流量模数仍有 $0.00086 \text{米}^3/\text{秒} \cdot \text{公里}^2$ 。可见慢速地下水的汇流时间是漫长的。由于 ΔR 汇流速

度很慢，现行从实测资料计算次洪径流的方法不能将其全部包括，因而在降雨径流关系图上，经验点据都系统地偏离于蓄满产流理论线的上方。见图 1。

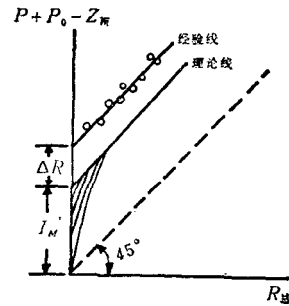


图 1 降雨径流相关示意图

小河站的一个重要任务是为暴雨洪水分析提供资料。规划设计时，一般是采用前期湿润这个条件。小河站网规划的产流分析也应着重于汛期资料。前期干旱时，只取个别的大洪水。在前期湿润这个前提下， I_m 和 b 只要取得大致得当，不会对汇流计算产生较大影响。这次分析的七十一个站(各站分布见附图)、三千多次洪水， I_m 统一采用 100毫米 ， b 为 0.5 或 0.6 ，以 $E_{0.01}$ 水面蒸发值代替流域蒸发能力，流域蒸发量用一层模式计算，分别建立了七十一个单站的降雨径流相关图($P + P_a - Z_{\text{雨}} \sim P_a \sim R_{\text{总}}$)。实践证明，就南方湿润地区而言，只要满足前期湿润这个条件，在 Z 计算中作上述一些简化是能够保证精度的。但从图 1 知， ΔR 大的流域，在移用降雨径流相关图时，若仅考虑 I_m 和 b ，而忽略 ΔR 的影响，则净雨分化过程失真较大，对汇流计算有较大的影响。

由于 ΔR 的数量级取决于各次洪水补给慢速地下水的数值，而相关点据与理论线的偏差还包括计算方法简化的误差。所以对一个流域若要得出确切的定量变化规律，用目前的相关法还做不到。然而， ΔR 影响的定

① b 是流域蓄水量曲线抛物线指数， $\frac{F_0}{F} = 1 - \left(1 - \frac{W'}{W}\right)^b$ ，见参考文献 [1]。

性趋势在 $(P + P_a - Z_{雨} \sim R_a \sim R_{总})$ 图上是能反映出来的。因此，在进行小河站网规划分类布站时，必须考虑这个因素。

从分析结果看，脆性火成岩或脆性变质岩地带，构造运动剧烈，构造裂隙发育， ΔR 比较大，塑性沉积岩或塑性变质岩地带，构造裂隙不够发育， ΔR 接近于零。根据各省地质图，按 ΔR 变化大小分成三类，见表 2。

I、II 两类按蓄满产流理论线定线，III 类按经验点据定平均线，并对各次洪水进行还原计算，按洪水预报精度评定方法进行合格率评定。

表 2 产流 $R = f(P + P_a - Z_{雨}, P_a)$ 地理综合成果表

类别	分类指标	总次数	合格次数	合格率 (%)
I	沉积岩或塑性变质岩为主	440	324	73.8
II	火成岩或脆性变质岩为主，构造运动不剧烈	203	161	79.5
III	火成岩或脆性变质岩，构造运动剧烈	301	243	80.8

(二) f_c 分析

由径流总量分化过程线按常规图解法或用下式试算 f_c 。

$$f_c = \frac{R_F - \Sigma R'_F}{T_c} \quad (3)$$

式中 f_c ——稳定入渗率 (毫米/小时)；

R_F —— $R_g + \Delta R$ (毫米)；

$\Sigma R'$ ——净雨强度小于 f_c 的净雨总量 (毫米)；

T_c ——净雨强度大于 f_c 的时间 (小时)。

根据六十二个站，五百多次洪水分析，一个流域的稳定入渗率 f_c 并非常数，而是随净雨强度 a 的大小而变化。从现有资料分析看， a 与 f_c 可近似地视为线性关系，单站的 f_c 与 a 的比例系数 K 与流域的植被及基岩风化程度有关。 K 值分类见表 3。

表 3 $f_c = K \cdot R_c / t_c$ 地理综合成果表

类别	分类指标	K 值变化范围	备注
I	以森林为主，林区面积 $\geq 50\%$	0.25~0.36	分类指标的确定见本文四
II	疏林、荒坡、草坡为主，总面积 $\geq 50\%$	0.23~0.30	
III	土层薄，以凝灰岩、流纹岩等不易风化岩石为主	0.15~0.23	

(三) 汇流计算

1. 推理过程线法

由径流成因公式知，洪峰流量的计算公式为

$$Q_m = \frac{R_{\perp}}{t_c} \left\{ \int_0^{t_c} \left[\frac{\partial w(\tau)}{\partial \tau} \right]_{\tau} d\tau \right\}_{\max} \quad (4)$$

$$\text{设 } F_c = \left\{ \int_0^{t_c} \left[\frac{\partial w(\tau)}{\partial \tau} \right]_{\tau} d\tau \right\}_{\max}$$

$$\text{则 } Q_m = \frac{R_{\perp}}{t_c} F_c \quad (5)$$

式中 R_{\perp} —— t_c 时段内的地面净雨总量 (毫米)；

t_c ——计算时段，这里假定 t_c 等于时段净雨历时 (小时)；

Q_m ——计算时段内最大流量 (米³/秒)；

F_c —— Q_m 的共时汇流面积 (平方公里)。

山丘区小流域洪水陡涨陡落，特别是高水部分的洪水过程几乎呈尖瘦的三角形。今假定小流域的汇流曲线为三角形，见图 2。对于等流时法，图 2 就是等流时面积分配曲线。图中纵坐标 u 为汇流历时等于 τ 的等流时面积 dF 与全流域面积 F 之比，即 $u = \frac{dF}{F}$ ，横坐标为汇流历时，三角形底宽为流域最大汇流历时 τ_m 。设 $F = 1$ ，则 u 皆小于 1，对应于 t_c 的洪峰流量是由最大共时汇流面积 F_c 上的水量所组成，见图 2 中的阴影部分。当 $t_c \geq \tau_m$ 时， $F_c = F$ 。根据平面几何原理，

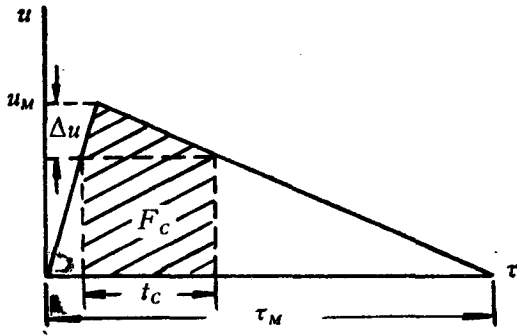


图2 三角形汇流曲线示意图

推导得 F_c 的计算公式为：

$$F_c = F \times 2 \left[\frac{t_c}{\tau_m} - \frac{1}{2} \left(\frac{t_c}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (6)$$

经过分析论证， $\frac{t_c}{\tau_m}$ 在 $0 \sim 0.25$ 范围内， F_c 近似地可以用下式计算

$$F_c \approx F \left(\frac{t_c}{\tau_m} \right)^{0.67} \quad (7)$$

又根据曼宁公式，并进行一定概化后得：

$$\tau_m = \frac{L}{V} \quad (8)$$

$$V = MJ^{1/3} Q_m^{1/4} \quad (9)$$

将式 (7)、(8)、(9) 代入式 (5)，得 Q_m 计算公式：

$$Q_m = 0.6 \frac{F^{1.2}}{(L/J^{1/3})^{0.8}} M^{0.8} \frac{R_{\pm}^{1.2}}{t_c^{0.6}} \quad (10)$$

式中 F ——全流域面积 (平方公里)；
 L ——出口断面沿主河道至分水岭的最长距离 (公里)；
 J ——沿 L 的坡面和河道平均比降；
 M ——本法汇流系数。

由于汇流曲线呈三角形，在计算时段内的 $\frac{R_{\pm}}{t_c}$ 又为常数，所以时段流量过程线也必为三角形。按照水量平衡理论，时段三角形过程线的底宽 T_{\pm} 为

$$T_{\pm} = \frac{F}{1.8} \frac{R_{\pm}}{Q_m} \quad (11)$$

式中 1.8——单位换算系数；

T_{\pm} ——时段过程线总历时 (小时)

对于小流域，主峰雨停止时刻与峰现时刻一般相差不大，若令涨洪历时等于 t_c 落洪历时 $t_B = T_{\pm} - t_c$ ，则时段三角形过程线如图 3。总的次洪过程线系由各假三角形过程线性叠加而成。从式 (10) 和 (11) 看出，只要汇流参数 M 确定后，根据净雨过程就能获得相应的洪水过程线。

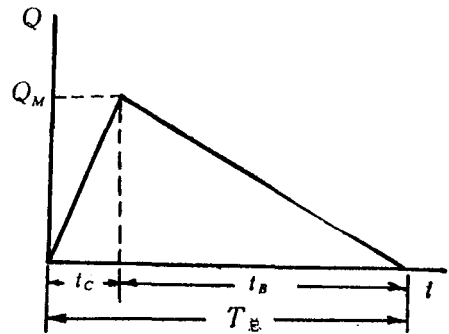


图3 时段三角形汇流过程线示意图

每次洪水的 M 值通过优选定出。每个单站分析若干次洪水 (大洪水单、复峰都要分析)，建立单站的洪模与汇流参数 ($Q_m/F \sim M$) 曲线，见图 4。取 M 的稳定值 M_{\pm} 参

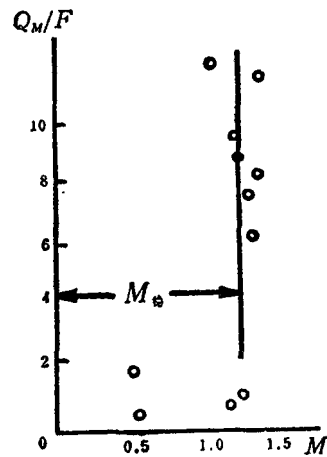


图4 浙江风岭下 $Q_m/F \sim M$ 相关图

加地理综合, $M_{总}$ 的分类综合见表 4 对同一类别建立 $M_{总} \sim L^2/F \cdot J^{1/3}$ 相关关系, 各类 M 的经验公式见表 4。根据这四个经验公式, 对各站的大洪水 (共 117 次) 进行还原计算, 以洪峰流量计算误差 $\pm 20\%$ 为控制, 统计的

各类合格率见表 4。根据本法的综合方案, 在浙、苏、闽、粤、湘五省中, 选六个测站来参加参数分析, 并对这些站的七次大洪水进行了验证计算。其成果见表 5 及图 5 至图 10。

表 4 推理过程线法汇流参数 M 地理综合成果表

类别	分类指标	地理综合经验公式	合格率 (%)
I ₁	成片林区面积 $\geq 50\%$ $F \leq 10$ 平方公里	$M = 0.120F^{-0.526}L^{1.053}J^{-0.75}$	73.3
I ₂	成片林区面积 $\geq 50\%$ $F > 10$ 平方公里	$M = 0.141F^{-0.568}L^{1.137}J^{-0.189}$	82.4
I	疏林、荒坡、草坡、旱地为主	$M = 0.310F^{-0.474}L^{0.947}J^{-0.158}$	80.0
II	土层薄或流域内有成片石山	$M = 0.780F^{-0.342}L^{0.684}J^{-0.114}$	71.4
IV	水田面积 $\geq 30\%$	(站少未定线)	

表 5 验证计算结果表

省份	站名	验证流域特征				产流类别	汇流类别	洪号	资料推荐单位	验证计算单位	M	$Q_{实}$ (米 ³ /秒)	$Q_{计}$ (米 ³ /秒)	误差 (%)
		面积 (平方公里)	河长 (公里)	比降	产流类别									
广东	棠荆	267.0	33.0	0.00822	II	II	700924	广东水文总站	华东水利学院	2.06	1110.0	1040.0	-6.3	
浙江	秋芦	269	37	0.0104	II	II	690927	浙江水文总站	浙江水文总站	2.2	3194	3109	+0.6	
浙江	下四头	253	35.9	0.00798	II	II	650820	浙江水文总站	浙江水文总站	1.28	1776	1727	-0.4	
福建	太平口	244	33	0.0124	II	II	750923	福建水文总站	华东水利学院	2.03	1000	891	-10.9	
福建	太平口上	244	33	0.0124	II	II	770801	福建水文总站	华东水利学院	2.03	858	725	-15.5	
江苏	马庄	3.8	2.6	0.00623	I	II	770707	江苏水文总站	华东水利学院	1.60	12.2	13.8	+13.1	
湖南	黄岚桥	299	42.4	0.00526	I	I ₂	770609	湖南水文总站	湖南水文总站	1.09	1950	1910	2.1%	

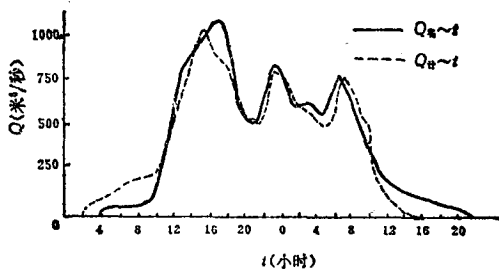


图 5 棠荆站 $Q \sim t$ 过程线图

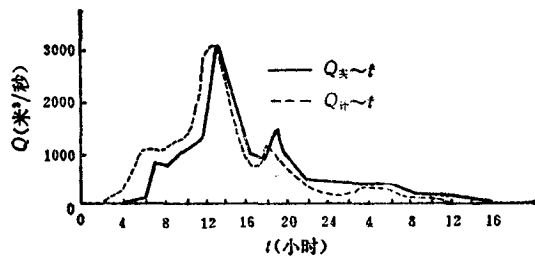


图 6 秋芦站 $Q \sim t$ 过程线图