



雒文生水文水环境文选

张艳军 马巍 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水文水文环境文选

张艳军 马巍 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

雒文生水文水环境文选

张艳军 马巍 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书为雒文生教授工作五十余年以来在水文、水资源和水环境领域的科研论文集。各个章节的内容相对独立，精炼，其中包括了人类活动水文学、超渗和蓄满同时作用的产流模型、受水库群影响流域产流模型、耦合模型法进行水质随机模拟、浅水湖泊水质系统滤波模型、水库垂直二维湍流与水温水质耦合模型、三峡水库香溪河库湾水质预测方法源污染负荷预测的水污一体单位线法等一批国内外先进的成果。

本书是师生之间、同学们之间相互了解、互相学习交流的集中成果。作为水文、水资源和水环境领域的发展研究的一个截面，较为典型地反映了近四十年以来的该领域的学术科研发展情况。同时，本书的研究成果具有一定的影响力，对该领域的科研、技术人员及高校师生具有一定的参考价值。

图书在版编目（C I P）数据

雒文生水文水环境文选 / 张艳军，马巍编. -- 北京：
中国水利水电出版社，2016. 11
ISBN 978-7-5170-4675-2

I. ①雒… II. ①张… ②马… III. ①水文环境一文
集 IV. ①P33-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第211392号

书 名	雒文生水文水环境文选
作 者	LUO WENSHENG SHUIWEN SHUIHUANJING WENXUAN
出版发行	张艳军 马巍 编 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 26.75印张 634千字
版 次	2016年11月第1版 2016年11月第1次印刷
印 数	001—500册
定 价	108.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序 一

雒文生先生是我大学时的老师。1976年我参加工作后在水文教研室任教40年，他是我敬重的师长。雒老师是国内知名水文教授，学识渊博。他教书育人、为人师表，在人类活动水文学、环境水文等领域做出了突出的贡献。今年时值他八十岁寿辰，他的弟子将其科研成果整理出版成书，对于水文学界，对于学校水文水环境学科，均大有裨益。作为他的学生和多年同事，有幸为他作序，十分高兴。

雒文生老师长期从事水文和水环境领域的教学、科研工作，为武汉大学水文水环境的学科发展起到了承前启后的重要作用。作为教研室主任，水文水资源专业在其任职期间得到了长足的发展；作为研究生导师，他先后为国家的行政管理、科学研究和工程企业培养了43名研究生；作为科研人员，他发表学术论文80余篇，出版专著和高校教材14部。他兢兢业业，淡泊名利，求真务实，创新奉献，为我国的水文水环境事业做出了重要的贡献。

本书系统地摘录了雒文生老师的关键代表作，特别是人类活动水文学、超渗和蓄满同时作用的产流模型研究、面源污染负荷预测的水污一体单位线法等，时至今日仍具有极强的理论意义和应用价值。以人类活动水文学为例，1958年之前，由于我国人类改造自然的能力还比较低，人类活动对水文要素的影响一般都不显著，常常可以忽略不计。因而，能以静态的观点进行研究，即可以假定过去观测的径流资料的形成条件是稳定的、与当前是完全一致的。然而后来逐渐发现，越来越多的流域，随着水利开发和人类活动加强，人类活动的影响已经不能忽略，需要使用动态的观点来研究水文学。雒文生老师率先开展了相关的研究，并取得了“超渗和蓄满同时作用的产流模型研究”“受水库群影响流域产流模型的研究”等一系列重要的研究成果。在1984年于武汉召开全国人类活动对水文要素影响的研讨会后，《水资源研究》使用两个完整的专刊系列发表他关于人类活动水文学的相关系列论文，从各层面探讨了各种人类活动措施的水文效应，定性定量预计了人类活动下的水文情势变化，并论述了人类活动影响后的径流还原方法，在国内产生极大的反响。当前，已是21世纪的第二个十年，随着我国经济发展，人类活动愈发剧烈，水环境问题和城市洪水等问题也越来越严重，本书中的若干观点，现在来看，

仍具有极强的现实意义，这也证明了雒文生老师当年的研究具有前瞻性和创新性。借此文选出版之际，向雒文生老师表示热烈祝贺和崇高敬意。

他的家人，喜欢他；他的朋友，亲近他；他的同事，尊敬他；他的学生，敬爱他。人生如是，已是完美。

值此金秋佳日，祝雒文生老师松柏长青，丹桂绵延。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '马军' (Ma Jun), written in a cursive style.

中国科学院院士
武汉大学水利水电学院教授
武汉大学水安全研究院院长

2016年9月15日

序 二

八十岁生日即将到来之际，接受同学们的诚挚期望与建议，经多次磋商，终于决定把过去陆陆续续发表的论文，收集筛选后，出一本水文水环境选集，作为师生之间、同学们之间相互了解、互相学习交流的集中成果，同时对于同行们或许也有一定的参考价值，对我来说，更是给予的一份生日大礼。限于身体原因，主要是眼睛疾病，这项庞大繁杂的工作，只好由同学们帮忙完成了。为此，正文之前，先在这里简要地回顾一下个人的人生历程，学习、工作与体验，算是本人自己的开场白吧！



雒文生，1936年生，河南省荥阳县人，武汉大学教授、博士生导师，一直从事水文水环境水资源领域的教学科研工作，获多项省部级科技奖，享受国务院政府特殊津贴。

我于1936年3月出生于河南省荥阳县许庄村，一个比较穷困的农民家庭。约四五岁的时候，旧中国的农村本来经济就非常落后，加上当地又遇上连续几年的旱灾、蝗灾和重重苛捐杂税，村上几乎天天都有人被饿死、冻死，情况之悲惨，令人难以想象。我家算是好一些的，也难以维持生计，迫不得已，父母只得把我送给了远在山区的姨妈。过了两年，因在那里无法适应，只好又回到了老家。八岁多时，村上一位经商的王某，家境富裕一些，为自己的儿子，找了一个老师在自家上课，只开语文、算术。算是做善事吧，或许也收点学费，父母也将我送了进去，还有其他六七个小朋友。老师罗瑞云先生，四十多岁，体质瘦弱，很负责任，要求严格，教认字、写字、汉语拼音、作文、算术，给我很大的学习兴趣，尤其拼音和作文记忆尤深，受益匪浅。不过，好景不长，约一年多，家乡被日本鬼子侵占，他们到处奸淫烧杀，民不聊生，学校停办，我也随之辍学。1949年家乡解放，共产党马上恢复农村教育，可能是生源过分短缺，离我家较近的史村中学，经简单测试，我就被安排在初中二年级学习。后来，

该校的初中部迁至西马古村的一个已经荒废的天主教堂里上课，学校改名西马古中学，在那里一边劳动建校一边上课学习。由于家里实在太困难，无法在校搭伙，只能每隔3天跑20多里回家一次，背上3天的野菜糠饼，再到校吃住学习。天热的季节，糠饼子过两天就发霉了，只好用开水冲两道后吃。1951年初中毕业，被保送到我县唯一有高中的荥阳中学，这里师资力量强，教学质量高，学习努力，为以后的深造打下了良好基础。尽管小学中学生活非常艰苦，但能有机会于父母的全力支持下到校学习，却是很开心的了。1954年考入武汉大学，分配在水电工程专业学习，后来随着大学的院系调整，到了新成立的武汉水利学院。大学的生活学习费用基本上由国家资助，学习课程按苏联的经验设置，考试多采用笔试口试相结合的方式进行，比较严格，毕业设计完全结合江西省赣州地区的一个小型水利工程进行，自我感觉掌握知识还比较扎实。大学期间，还参加了肃反运动和反右斗争。1958年大学毕业，经过在江西省水电勘测设计院的短暂工作，1959年调回母校任教，直到2006年退休。期间，武汉水利学院曾改名武汉水利电力学院、武汉水利电力大学，2000年与武汉大学合并重组，又回归于武汉大学。

1959年年初从江西调回武汉水利电力学院，分配在水文教研室任助教，期间，由于三年严重自然灾害、两年多社教运动和十年“文化大革命”的严重干扰，教学、科研基本停滞，直到1978年后才逐步走上正轨，职称晋升也随之解冻，当年升任讲师，次年加入中国共产党，1983年晋升副教授，1984年评为硕士研究生导师。1986—1987年作为访问学者，在美国弗吉尼亚大学合作研究水环境预测与保护问题。归国后，积极工作、业绩显著，1989年晋升为教授，1993年被国务院学位委员会评为博士研究生导师，2006年评为二级教授。1980—1996年一直担任水文水环境教研室主任，还先后兼任中国海洋湖沼学会理事、中国高校水利水电类教育委员会委员、水文水资源专业副组长、中国水利学会水文专业委员会委员、湖北省水利学会水文专业委员会副主任、长江综合治理开发技术委员会常务理事、《水文》《湖泊科学》《水电能源科学》等杂志编委、山东大学兼职教授、华中师范大学兼职教授等职。鉴于对发展我国自然科学事业做出的突出贡献，经国务院批准，一直享受国家特殊津贴。水利水电学院作为对水电科学发展有显著贡献的本院老教师的表彰，我们的照片长期陈设在会议厅，供大家参观。

长期从事水文、水资源和水环境领域的教学、科研工作。担任教研室主任期间，团结全室同志，率先在全国将《工程水文学》建设成一类课程，1991年获湖北省优秀教学成果二等奖，并连续4次获省部级优质课程奖；同时建成了国家水文水资源重点学科和该学科的博士点，使我校成为该学科领

先的大学。作为研究生导师，先后培养博士、硕士研究生 43 名，其中博士 20 人，他们中有许多人已成为中央和省市科学部门、大学的学术骨干及领导。发表学术论文 80 余篇，出版专著和高校教材 14 部（附录 1），其中《工程水文及水利计算》与《水环境保护》两书分别被评定为第一届全国高等学校水利类专业优秀教材。

科研工作，主持和参加水利部资助项目“人类活动对水文要素影响”、联合国教科文组织 IHP 第四阶段项目“侵蚀、河床演变及泥沙输移的研究”、黄河水沙变化基金“黄河中下游地区水沙变化规律及沙情预测模型的研究”、国家博士点基金“水库湖泊多维复合水质模型及其参数变化规律研究”、国务院三峡工程委员会移民局科学基金“三峡移民区水环境变化预测及污染防治对策研究”、国家“九五”科技攻关项目专题“南水北调中线水体耗氧、复氧系数研究”、国家自然科学基金重大项目专题“洪水特性及防洪减灾对策研究——提高洪水预见期及预报精度的方法”等重要课题 20 余项，这些研究成果中获省部级科技进步奖 5 项；发表学术论文 80 余篇，其中具有代表性的如《人类活动水文学》、“超渗和蓄满同时作用的产流模型研究”“受水库群影响流域产流模型的研究”“耦合模型法进行水质随机模拟的研究”“浅水湖泊水质系统滤波模型研究”“水库垂直二维湍流与水温水质耦合模型研究”“三峡水库香溪河库湾水质预测”“面源污染负荷预测的水污一体单位线法”等。成果经专家鉴定，相当程度上反映了国内外先进水平，为水文水环境科学发展做出显著贡献。



幸福生活，共创未来，共建祖国。2016 年于武汉。

最后，让我在这里表达我的感激和感谢之情：

永远感激父母在家庭生存都难以维持的情况下，支持我不断求学！

永远铭记党和政府为我能有幸顺利学习、工作创造的良好机遇！

对水文水资源系同志们的真诚合作和帮助表示诚挚的感谢！

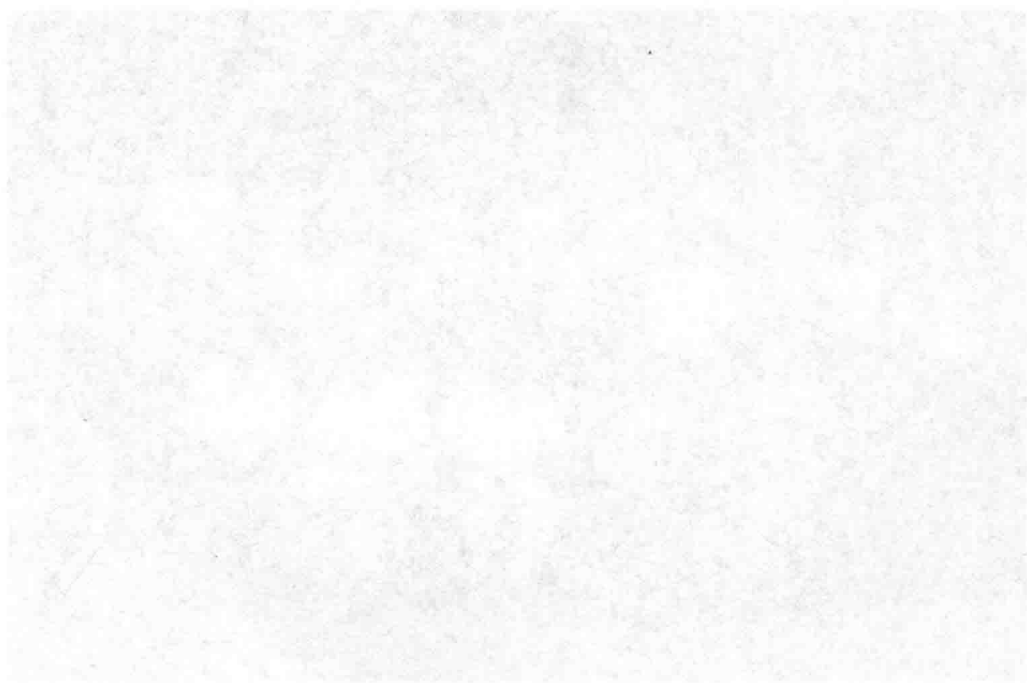
对张艳军、马巍等同学为选集出版卓有成效的工作致谢！

对妻子和子女们长期温馨的照顾深表歉意和感谢！

幸福养老，乐观生活，无愧人生，无愧祖国！

雒文生

2015 年 12 月于武汉大学



目 录

序一

序二

1	用概化汇流曲线法计算小流域设计最大流量
11	《人类活动水文学》节选
36	森林对多年平均径流量影响的探讨
44	兴建水利水电工程对下游洪水频率计算的影响
52	森林对降水和蒸发的影响
58	Research on a Model of Runoff Yield in Basins Influenced by a Group of Reservoirs
66	受水库群影响流域产流模型的研究
73	超渗和蓄满同时作用的产流模型研究
82	地面地下径流分割方法的研究
87	用耦合模型法进行水质随机模拟的研究
96	实时水文气象预报研究
101	优化生态系统和磁化污水技术的研究及应用
106	洪灾损失系列线型研究
113	浅水湖泊水质系统滤波模型
121	实时定量降水预报初探
126	有限分析法在浅水湖泊水流水质计算中的应用
133	水库垂直二维湍流与水温水质耦合模型
139	水文时间序列与水库优化调度的模拟研究
146	沙颍河流域降雨径流污染预报模型的研究
152	神经网络理论在区域节水水平综合评价中的应用研究
156	去离子水、自来水、城市污水磁处理实验研究
160	磁处理净化污水应用实例分析研究
165	预报因子及预报方程的优化方法探讨
169	枫树坝水库洪水实时预报校正方法研究

174	磁化用于有机废水处理的实验研究
179	三峡水库香溪河库湾水质预测
184	水体耗氧系数与 CBOD/NBOD 相关关系的实验研究
188	EM 应用于间歇反应器处理城镇污水的高效节能问题
195	黄河中游地区流域产沙输沙计算方法探讨
202	提高古田溪一级水库汛限水位的可行性研究
208	水体大气复氧理论和复氧系数研究进展与展望
216	静态水体大气复氧理论的实验研究
222	人工神经网络在 UASB 反应器处理生活污水中的模拟预测与应用
229	古田溪一级水电站设计洪水复核的研究
234	漳河水库入库洪水预报方案研究
240	漳河水库入库洪水抗误差预报方案研究
247	磁处理对有机污水 COD 影响的实验研究
252	Controlling the Nitrogen and Phosphorus Strength of Municipal Wastewater with <i>Spirulina Platensis</i>
262	Study on a Pilot Experiment and a Kinetic Process for Treatment of Municipal Wastewater by UASB System
273	给排水 CAD 图形数据库开发及网络数据交换技术
280	Researching of Forecast Project of Double Mutual Inflow Reservoir Flood
289	Research of Risk Analysis on Flood Forecasting with Error-adjustment
296	分形理论在洪水分期研究中的应用
304	UASB 反应器常温下处理生活污水的二次启动研究
310	丹江口水库大坝加高后坝前水温预测探讨
315	双联互流型水库洪水预报方案的抗误差研究
323	UASB 反应器常温下处理生活污水的中试研究
329	同轴三维射流特性研究
336	UASB 处理低浓度城市生活污水的中试试验
340	汉阳四湖水环境修复技术研究
346	基于 Copula 函数的洪水过程随机模拟
352	基于 DEM 的水量水质模型算法
359	跨界取水水资源费征收的博弈分析
365	面源污染负荷预测的水污一体单位线法

372	考虑预报误差的枫树坝水库实时调度
377	河道溢油模型在三峡水质预警系统中的研究与应用
384	A DEM-based Parallel Computing Hydrodynamic and Transport Model
403	基于遗传算法的分级预泄调度方案优化研究
409	分期设计洪水的合理性分析
414	附录 著作目录
415	后记

用概化汇流曲线法计算小流域设计最大流量

雒文生

【摘要】 本文主要讨论用等流时线法的汇流原理来推求小流域设计最大流量的问题，同时也为用等流时线法推求小流域设计洪水过程线提供了计算基础。

按本文所提出的方法来推求设计最大流量 Q_{MP} 时，除了一般地考虑流域的暴雨特性及汇流速度特性外，还进一步考虑了流域形状对形成最大流量 Q_M 的影响，并依此建立了三个能综合反映影响 Q_M 变化的关系式，通过图解分析法对三式联解，求得小流域雨洪设计最大流量。

【关键词】 等流时线法；流域汇流曲线；小流域洪水

1 问题的提出

从汇流原理来研究小流域的设计洪水，现在已获得了卓有成效的应用。这类方法中，中国水利科学研究院在科研报告第 7 号中所发表的图解分析法，由于理论依据比较充分，计算方法甚为简便，所以目前得到了相当广泛的应用。本法即是在该法研究的基础上，从汇流理论的角度对该法又作了一些探讨而提出的。其着重点，在于把流域形状对形成最大流量的影响也反映到计算公式中去。

这里想用等流时线法的原理说明：在一定的假设条件下来推求小流域设计最大流量时，为什么部分汇流或全面汇流都需要考虑流域形状的影响。

1.1 关于推求设计最大流量时对净雨的假定

由于小流域的范围不大，自然地理条件较为单纯，因此可以近似地假定：设计暴雨在流域上的分布及其损失各处均相同，又由于小流域的汇流时间 τ 较短，因而又可近似地假定：参与形成最大流量的那个时段 $t_R \leq \tau$ 的净雨（以下统称为产峰净雨），其强度 t_R 时段内保持不变。以上两个假定也可概括为：推求小流域设计最大流量时所采用的净雨，可由流域中心点设计频率下的净雨来代表，且产峰净雨在时程分配上是均匀一致的，该净雨的暴雨强度为产峰净雨时段内的最大平均降雨强度 $\bar{i}_R$ ，其损失强度等于流域的平均稳渗率 $\bar{f}$ ，如图 1 所示。图 1 中的实线 $i-T$ ，表示设想的暴雨过程， $\bar{i}$ 则为时段 t 的最大平均暴雨强度， t_B 为超渗雨（ $i > \bar{f}$ ）历时。下面简单地提一下 $\bar{i}$ 、 $\bar{f}$ 及 t_B 的确定方法。

(1) 设计频率下的时段最大平均降雨强度 $\bar{i}$ ，在我国通常都用式 (1) 计算：

$$\bar{i} = \frac{S_P}{t^n} \quad (1)$$

$$S_P = A + B \lg N \quad (2)$$

式中: A 、 B 、 n 均为地理参数, 可按流域所在的位置, 由各地的水文手册查出, S_P 为雨力, 与设计最大流量的重现期 N 有关。

(2) 流域土壤的平均稳渗率 $\bar{f}$, 最好能通过分析这个地区小流域的或实验站的暴雨径流资料来确定, 否则, 也可以按照流域的土壤类别查表确定^①。

(3) 超渗雨历时 t_B 按式 (3) 计算:

$$t_B = \left[(1-n) \frac{S_P}{\bar{f}} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

在一般情况下, 可以设想发生设计最大流量的暴雨之前, 已有暴雨使流域之初损得以满足, 因此, 超渗雨的开始也就是净雨的开始。所以, 以后所指的净雨历时也就是超渗雨的历时 t_B 。

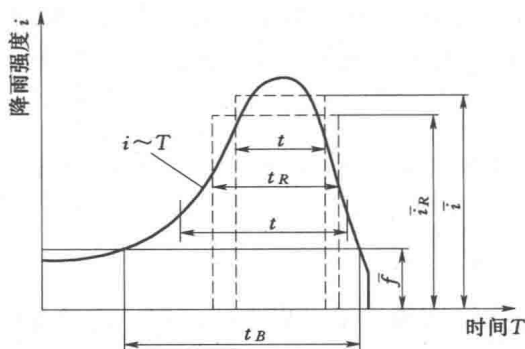


图 1 设计暴雨示意图

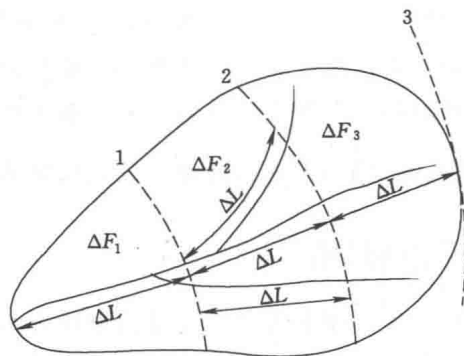


图 2 小流域等流时线示意图

1.2 流域形状对形成最大流量的影响

在对设计暴雨作了如上的假定后来推求最大流量时, 除考虑产峰净雨的大小及流域上雨水的汇流速度大小以外, 考虑流域形状的影响也是很重要的, 关于这一点可以应用等流时线的概念来说明。设图 2 表示某个小流域, 并绘出了三条等流时线。显然, 当产峰净雨历时等于流域汇流时间, 即 $t_R = \tau$ 时, 则全面汇流形成最大流量 Q_M , 其值由下式计算:

$$Q_M = 0.278 [(i_3 - \bar{f}) \Delta F_1 + (i_2 - \bar{f}) \Delta F_2 + (i_1 - \bar{f}) \Delta F_3]$$

因 $i_1 = i_2 = i_3 = \frac{S_P}{t_R^n} = \frac{S_P}{\tau^n}$, 所以上式可改写为:

$$Q_M = 0.278 \left(\frac{S_P}{\tau^n} - \bar{f} \right) (\Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3)$$

即

$$Q_M = 0.278 \left(\frac{S_P}{\tau^n} - \bar{f} \right) F \quad (4)$$

① 查参考文献 [1] 中第 2 表。

式中: Q_M 为最大流量, m^3/s ; S_P 、 $\bar{f}$ 分别为雨力及流域的平均稳渗率, mm/h ; F 为流域面积, 等于各等流时线间的面积 $\Delta F_1, \Delta F_2, \dots$ (称单元共时径流面积) 之和, km^2 ; τ 为流域的汇流时间, h ; 0.278 为单位换算系数。

以下各公式中, 如有符号与此相同者, 则其意义及单位也与此相同, 不再另加解释。

当 $t_R < \tau$, 或者说 $t_R = \beta\tau$ (β 系小于或等于 1.0 的系数) 时, 则部分汇流形成最大流量。例如当 $t_R = \frac{2}{3}\tau$, 如图 2 所示的流域形状 ($\Delta F_1 < \Delta F_3 < \Delta F_2$), 则最大流量应为

$$Q_M = 0.278[(i_1 - \bar{f})\Delta F_3 + (i_2 - \bar{f})\Delta F_2]$$

因在上述假定条件下 $i_1 = i_2 = \frac{S_P}{t_R^n}$, 所以

$$Q_M = 0.278\left[\left(\frac{S_P}{t_R^n} - \bar{f}\right)\left(\frac{\Delta F_2 + \Delta F_3}{F}\right)F\right]$$

令 $\alpha_M = \frac{\Delta F_2 + \Delta F_3}{F}$, 则

$$Q_M = 0.278\left(\frac{S_P}{t_R^n} - \bar{f}\right)\alpha_M F = 0.278\left[\frac{S_P}{(\beta\tau)^n} - \bar{f}\right]\alpha_M F \quad (5)$$

式中, α_M 称最大共时径流面积系数, 等于产峰净雨历时 t_R 内的最大共时径流面积与流域面积之比, 例如此处 $t_R = \frac{2}{3}\tau$, 其最大共时径流面积为 $(\Delta F_2 + \Delta F_3)$, 故 $\alpha_M = \frac{\Delta F_2 + \Delta F_3}{F}$;

$\beta = \frac{t_R}{\tau}$, 称最大共时径流面积的时间系数, 等于最大共时径流面积的汇流时间 (与产峰净雨历时 t_R 相等) 与全流域的汇流时间之比, 例如此处之 β 为 $(\Delta F_2 + \Delta F_3)$ 的汇流时间与 τ 之比, 等于 $2/3$ 。

将式 (4)、式 (5) 加以比较, 显然可以认为式 (4) 为式 (5) 之特殊情况, 即 $\beta = 1.0$ (此时 $\alpha_M = 1.0$) 的情况, 因此, 以下将依式 (5) 作为分析计算设计最大流量的基础。从式 (5) 可知: 由于假定产峰净雨在 t_R 时段内强度均匀一致, 所以计算设计最大流量时, 将可能出现在 $t_R \geq \tau$ 的情况下, 按部分汇流计算的最大流量反比按全面汇流计算的为大。其原因就在于按上述对设计净雨所作的假定去推求 Q_M 时, 应当考虑流域形状的影响。例如图 2 所示的流域, 当所取 t_R 由 τ 减少至 $\frac{2}{3}\tau$ 时, 如果产峰净雨的降雨强度

$\left(\frac{S_P}{t_R^n}\right)$ 有显著的增加, 但减少的共时径流面积 ΔF_1 却很小时, 即可能发生上述结果。

中国水利科学研究院研究报告第 7 号所发表的方法, 基本上也是按照上述对净雨所作的假定来推求最大流量的。但是, 对 $t_R \geq \tau$ 的条件下可能出现按部分汇流计算的 Q_M 反比按全面汇流计算的为大的情况, 没有加以讨论; 另外, 当 $t_R < \tau$ 时, 采用人为的方法来拉长净雨历时, 也与实际情况不够符合。对此有必要作进一步的探讨, 本文就是针对存在的这些问题, 从等流时线法的汇流原理提出了如下的改进方法。

2 用概化汇流曲线法计算设计最大流量

以上用等流时线法的汇流原理, 着重地分析了流域形状对形成最大流量的影响, 现在

来研究如何在具体计算中处理这种影响。为此,尚需对式(5)作进一步的分析。

方程式(5)虽然从总的方面体现了最大流量与暴雨特性、流域上雨水的汇流速度特性及流域形状特征等因素的相互关系,但是仅有式(5),显然是无法解出 Q_{MP} 的,因此还必须是在所研究的小流域及设计暴雨的频率一定时,进一步建立 $t_R(=\beta\tau)$ 与 Q_M 的关系和 β 与 α_M 的关系,以便在控制 $t_R \leq t_B$ 的条件下,从这些关系中解出 Q_M 之最大值,从而得到设计最大流量 Q_{MP} 。以下先分析如何建立这些关系式,再讨论解算方法。

2.1 t_R 与 Q_M 的关系

河道的平均汇流速度 V 按下式计算:

$$V = mj^{\frac{1}{3}} Q_M^{\frac{1}{4}}$$

因此流域的汇流时间 τ 应为

$$\tau = 0.278 \frac{L}{V} = 0.278 \frac{L}{mj^{\frac{1}{3}} Q_M^{\frac{1}{4}}}$$

因 $t_R = \beta\tau$, 故

$$t_R = \beta \frac{0.278L}{mj^{\frac{1}{3}} Q_M^{\frac{1}{4}}} \quad (6)$$

式中: L 为流域最远点至出口断面的河流长度; j 为沿主河槽的河道平均坡度; m 为集流参数,可据河道及坡面的情况由表查出^①。

2.2 β 与 α_M 的关系

用概化最大共时径流面积曲线 $\beta = f(\alpha_M)$ 表示,可根据在流域上绘制的等流时线图求得。具体方法如下。

(1) 绘制等流时线图:

按照在流域图上绘制的等流时线所划分的单元共时径流面积能够反映流域形状变化的特征为原则,来预先确定等流时线的数目 n_o ,对一般小流域来说, n_o 为7~8左右, n_o 确定之后,先将流域最远点至出口断面的河长 L 分为 n_o 等份,每份长度 $\Delta L = \frac{L}{n_o}$;然后再自出口断面上溯,从干流到各支流都连续分成 ΔL 长的河段,最后用匀滑的曲线连接汇流时间相同的各点,即得各条等流时线,如图2所示。

(2) 绘制概化汇流曲线 $\beta_k = f(\alpha_k)$: β_k 为净雨从第 k 条等流时线上流到出口断面的时间 $\left(\frac{k}{n_o}\tau\right)$ 与流域汇流时间 τ 的比值,即 $\beta_k = \frac{k}{n_o}$; α_k 为第 k 个单元共时径流面积 ΔF_k 与流域面积 F 的比值,即 $\alpha_k = \frac{\Delta F_k}{F}$ 。因此可以根据等流时线图算出与 β_k 为 $\frac{1}{n_o}, \frac{2}{n_o}, \dots, 1.0$ 相对应的 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n_o}$,从而绘出概化汇流曲线 $\beta_k = f(\alpha_k)$ 。例如图3就是由图2绘制的 $\beta_k = f(\alpha_k)$ 曲线。

① 查参考文献[1]中第2表。