

HAIHENANXI
HONGSHUI YUBAO
JI YUHONG ZIYUAN
DIAODUJISHU

海河南系洪水预报及 雨洪资源调度技术

程雅斌 吕满堂 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水利水电出版社
中国水利水电出版社 北京 100044
地址：北京市海淀区中关村大街8号
电话：(010) 68401400 68401401 68401402
网址：http://www.waterpub.com.cn

海河南系洪水预报及 雨洪资源调度技术

周成强 王 强 王 强 编著



海河南系洪水预报及 雨洪资源调度技术

程雅斌 吕满堂 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书基于作者多年实际工作经验,在洪水预报及雨洪资源调度方面做了一系列卓有成效的探索。

全书共分5章,介绍了洪水预报及雨洪资源调度系统概况、总体结构与功能,并以海河流域子牙河水系为实例,对“96.8”洪水进行了模拟及调度,系统地分析了洪水资源调度成果。全书内容丰富,资料翔实,论述精当,图文并茂,创新成果多,科技含量高。

本书可供从事洪水预报及雨洪资源调度研究、开发及管理的技术人员使用和参考,亦可供高校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海河南系洪水预报及雨洪资源调度技术 / 程雅斌等
编著. — 北京:中国水利水电出版社, 2011.11
ISBN 978-7-5084-9155-4

I. ①海… II. ①程… III. ①海河—流域—洪水预报—研究②海河—暴雨洪水—洪水调度—研究 IV.
①TV882.821

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第229795号

书 名	海河南系洪水预报及雨洪资源调度技术
作 者	程雅斌 吕满堂 等 编著
出版发行	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 (发行部)
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	140mm×203mm 32开本 4.25印张 114千字
版 次	2011年11月第1版 2011年11月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	18.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

洪水预报及雨洪资源调度是国内外同行广泛关注的问题，目前国内应用的流域洪水预报调度软件，多为 GIS 下的雨水信息查询及洪水预报调度系统。本书主要依托海河流域子牙河水系介绍了在这方面的研究工作。

子牙河水系洪水预报及雨洪资源调度技术，主要针对海河流域水资源短缺现状，统筹防洪与水资源利用，实现水资源优化配置，对缓解水资源短缺、回补地下水、改善生态环境、促进人与自然和谐共处等方面具有重要意义。该技术可整体提升洪水预报及雨洪资源调度的科技水平，其关键技术主要有以下几点。

依据实测降雨或预报降雨，能迅速进行洪水预报，并提供水库、河道主要控制断面、行滞洪区、重要枢纽工程的洪水演进过程及相关水流指标；对中小洪水实现雨洪资源调度利用；对主要行滞洪区进行灾情评估；提供洪水预报和雨洪资源调度的图形演示及方便快捷的成果查询。

针对海河流域水文地理特性，首次将河道入渗要素加入到平原河网地区洪水调度模型中，提高了洪水预报精度。

海河南系洪水预报及雨洪资源调度技术集洪水预报、水库调度、河道洪水演进、洼淀联合运用和灾情评估等多功能模块为一体，为洪水预报及雨洪资源调度提供了技术支撑。该技术提出了平原河网地区河系沟通、生态补水的洪水调度理念，开发了雨洪

资源调度实时仿真系统，为实现雨洪资源利用提供了科学依据。

充分利用洪灾信息，对滞洪区进行灾情评估，自动统计淹没范围、淹没水深及淹没村庄和受灾人口等信息，为蓄滞洪区及时安置、转移提供决策依据。

在现有防洪减灾体系下，借助较完备的洪水预报调度系统，可大大减少防汛压力，对海河流域乃至其他类似地区的可持续发展具有重要意义。

由于作者水平所限，书中难免有疏漏或不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

2011 年 6 月于天津

目 录

前言

1 概况	1
1.1 洪水预报及雨洪资源调度系统开发的背景	1
1.2 洪水预报及雨洪资源调度系统开发的目的和意义	2
1.3 洪水预报及雨洪资源调度系统开发的原则	3
1.4 技术要点	3
2 洪水预报及雨洪资源调度系统总体结构与功能	5
2.1 系统总体设计与构成	5
2.2 洪水预报模型	5
2.3 洪水实时调度模型	10
2.4 雨洪资源调度技术	15
2.5 系统设计	19
3 工程实例	22
3.1 流域特性	22
3.2 系统设计	35
3.3 实时数据采集系统	35
3.4 洪水预报系统	40
3.5 水库调度系统	42
3.6 永年洼及铁路上游调度系统	44
3.7 中游洼地调度系统	44
3.8 子牙河中下游调度系统	46
3.9 中下游河网模型调度系统	46

3.10	调度成果查询系统	47
3.11	灾情评估系统	48
4	系统检验	51
4.1	洪水预报系统检验	51
4.2	“96.8”洪水模拟调度	58
4.3	子牙河水系洪水资源调度成果	60
4.4	主要结论	65
5	子牙河水系调度系统操作	67
5.1	系统的安装和使用	67
5.2	实时数据接收系统	69
5.3	洪水预报系统	69
5.4	洪水调度系统	77
5.5	调度成果	92
5.6	灾情评估	96
附录一	GB/T 22482—2008《水文情报预报规范》 (节选)	103
附录二	BL 44—2006《水利水电工程设计洪水计算规范》 (节选)	110
附录三	GB 50201—94《防洪标准》(节选)	120
附录四	SL 252—2000《水利水电工程等级划分 及洪水标准》(节选)	123
参考文献		126

概 况

1.1 洪水预报及雨洪资源调度系统开发的背景

海河流域是我国水旱灾害很严重的地区之一，具有“春旱秋涝，涝后又旱”的气象特征，流域暴雨具有年际变化大，年内暴雨十分集中的特点。由于该流域洪涝灾害频发和水资源短缺，因此极大地制约了该流域经济社会的协调发展。海河流域多年平均水资源总量 370 亿 m^3 ，仅占全国的 1.5%；人均水资源占有量约 305 m^3 ，不足全国的 1/7，为世界水平的 1/27，远低于国际公认的人均 1000 m^3 的水资源紧缺标准；耕地每 667 m^2 平均（亩均）水资源占有量 258 m^3 ，仅为全国的 1/8。总体来说，海河流域属于资源性缺水地区，以其仅占全国 1.5% 的有限水资源，承担着占全国 11% 的耕地面积和 10% 的人口以及京、津等几十座城市的供水任务，其水资源的承载力已远远不能满足工农业生产和人民生活用水的需要，处于供需严重失衡状态。因此，如何通过科学调度，既能进行防洪调度，又能将洪水有效地转化为水资源是亟待解决的课题。

以海河流域的子牙河水系为例，该水系包含海河流域最大的蓄滞洪区——中游洼地，南邻漳卫河系，北接大清河系，东邻黑龙港水系，是海河流域的典型水系，适宜进行跨水系调度运用。该水系水旱灾害多交替发生，同时水资源时空分布不均，洪水资源相对丰富，适宜开展洪水资源调度利用研究。

目前，国内应用的流域洪水预报调度软件，基本为 GIS 下的雨水情信息查询及洪水预报调度系统，本调度系统以现有调度

系统为基础,在雨洪资源调度方面进行了深入研究。

针对海河流域水资源短缺现状,统筹防洪与水资源利用,实现水资源优化配置,对缓解水资源短缺、回补地下水、改善生态环境、促进人与自然和谐共处、构建社会主义和谐社会等都具有重要的意义。

1.2 洪水预报及雨洪资源调度系统开发的目的和意义

雨洪资源调度利用,旨在不破坏河流健康和生态环境的前提下,对现有水利工程和非工程措施尚未能控制的那一部分洪水或雨水实施开发利用,同时提高现有工程控制利用雨洪资源的能力。

目前,海河流域的发展是以牺牲环境为代价,由此产生了一系列环境恶化问题:

(1) 地下水严重超采,造成地面沉降、地裂和塌陷等环境地质灾害。截至 1998 年资料,全流域深浅层地下水超采面积已近 9 万 km^2 ,占流域平原面积的 69%,最大深层地下水漏斗中心埋深已达 105m。

(2) 水污染不断加剧。现状流域年排污总量 60 亿 m^3 ,处理率仅为 10%,每年约有 25 亿 m^3 未经处理的污水用于灌溉。在近 1 万 km 水质评价河长中,受到污染的河长(水质劣于Ⅲ类)达 75%。

(3) 水环境日趋恶化。由于大量挤占生态环境用水,使河道干涸,湿地萎缩,入海水量减少,造成河口淤积严重和海水入侵面积扩大。

海河流域降水时空分布很不均匀,年降水的 70%~80%集中在汛期,且大多集中在 7 月下旬或 8 月上旬几次大的降雨过程。据 1956~1998 年水文资料统计,全流域多年平均年实测入海水量 60.9 亿 m^3 ,其中海河南系 38.3 亿 m^3 ,海河北系 22.6 亿 m^3 ,这是一笔不容忽视的资源。此外,该流域有大中小型水库 1821 座(总库容 315 亿 m^3),骨干河道 7200 余 km ,蓄滞洪区 26 座(总面积 9943 km^2)。这些工程的存在加上近年来在防洪

非工程措施方面取得的巨大进展,使得洪水资源化不仅必要而且可能。“96.8”海河南系大水中,河北中南部地区水库、洼淀拦蓄 45.77 亿 m^3 ,补充地下水 82 亿 m^3 ,宁晋泊、大陆泽两个蓄滞洪区地下水位上升 8m,显示了洪水资源化的巨大潜力。由于洪水资源化主要是挖掘现有工程的潜力,具有投资相对较小、潜力大、易操作等特点,无疑将成为该流域内部开源的一个主要途径。

1.3 洪水预报及雨洪资源调度系统开发的原则

一般洪水预报调度系统的开发,主要针对重现期 10 年一遇以上大、中规模洪水。较小规模洪水,由于一般不会造成大的灾情,主要进行洪水资源化调度,因此对大中型洪水侧重于防洪减灾洪水调度,小洪水侧重于雨洪资源化调度。

(1) 系统设计具有通用性,能够满足不同调度方案的调度模拟需要。对于大型水库、洼淀、行滞洪区、骨干河网以及控制性枢纽,能够在国家或地方正式颁布的调度运用原则下进行洪水调度,并能适应复杂洪水调度运用要求。

(2) 增强系统的实用性和可靠性,采用多种方法模拟计算,包含采用常规方法和数学模型方法进行开发,以满足不同的调度运用要求。

(3) 系统计算快捷,使用简单方便,以实现实时调度需要。

(4) 作为流域防汛调度指挥系统的核心部分,能够与其他子系统方便交换信息,并能够同流域采用的报讯网络系统实现连接。

(5) 能够对预报调度成果进行灾情评估,提供优化调度方案。

1.4 技术要点

流域洪水预报与洪水资源化调度技术是包含多学科、多项技术互相结合的系统工程,主要包括水文学、水力学、计算机网

络、数据库、灾情经济评价等学科技术。系统采用流域最新资料，做到资料翔实、准确可靠，依据流域调度规程编制。主要关键技术包括：

(1) 洪水资源化调度技术。

(2) 考虑入渗的河网不恒定流模型进行流域水库、行滞洪区、河网、水利枢纽联合调度仿真技术。

(3) 雨洪模型洪水预报技术。

(4) 计算机网络技术，系统采用 C/S（客户端/服务器）结构，实时接收服务器雨水情信息。

(5) 基于数据库模型的灾情实时评估。

系统根据实时降雨或预报降雨，通过实时数据接收、洪水预报、洪水调度、灾情评估系统，几分钟完成整个流域洪水预报、洪水资源化调度预演，并根据调度成果进行灾情评估，提出调度预案，为防汛调度提供专家决策支持，使中小洪水转化成水资源。

洪水预报及雨洪资源调度系统 总体结构与功能

2.1 系统总体设计与构成

流域洪水预报与雨洪资源调度系统作为防洪决策支持系统的核心部分，其主要任务是根据实测和预报的降雨过程，预报可能产生的洪水，对不同调度方案进行数值模拟仿真，辅助决策者进行洪水调度决策。一般来说，实时防洪调度决策的过程为：根据实时水情、雨情信息及降雨预报，对未来一定时段内水情、雨情变化趋势进行预测，并对整体防洪形势进行分析，判断洪水规模；在遵循审定的调度运用原则的前提下，按优化的防洪调度方式确定防洪工程体系的蓄泄对策，对中小洪水侧重于雨洪资源化利用调度，提出防洪调度预案集；然后通过防洪调度模型进行数字模拟仿真，评价其效果和影响；再由防汛专家根据预报水情、实际工情、预测灾情等信息，进行分析、对比、判断、归纳，最后决策采取的调度运用方案，以及关键调度枢纽和防洪工程的具体调度实施方案。流域防汛调度系统流程图见图 2-1。

为便于调度决策，系统包含以下子系统：实时数据采集系统、洪水预报系统、水库调度系统、行滞洪区及洼地调度系统、中下游河道调度系统、中下游河网模型调度系统、滞洪区灾情评估系统等 7 个子系统。流域洪水预报及雨洪资源调度系统构成图见图 2-2。

2.2 洪水预报模型

雨洪资源调度的前提是可靠的洪水预报系统，可以采用常规

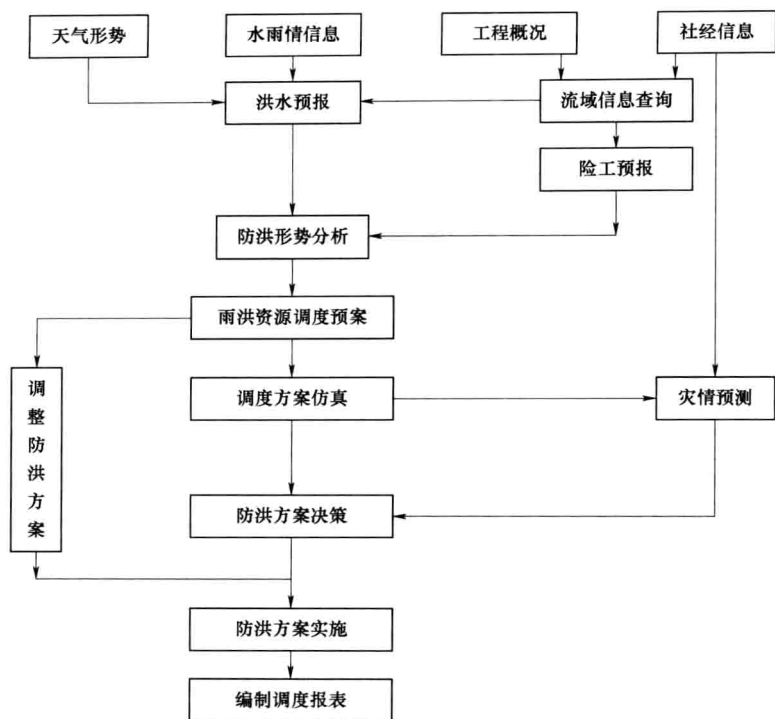


图 2-1 流域防汛调度系统流程图

方法和雨洪模型两种预报模型进行洪水预报。

2.2.1 常规预报方法

常规预报方法是最新补充修订的洪水预报方案，编制成计算机应用软件，实现与实时雨水情信息的连接，从而进行实时洪水预报。该法包括流域产流和汇流两部分，产流部分采用降雨径流相关关系计算，汇流部分采用流域经验单位线方法。

2.2.1.1 基本原理和方法

常规预报中流域产流计算采用实用预报方案中的降雨～径流关系，包括 $P-P_a-R_s$ 、 $P+P_a-R_s$ 关系，其中， P 为流域年平均降雨量，其计算方法为泰森多边形法或算术平均法求得，

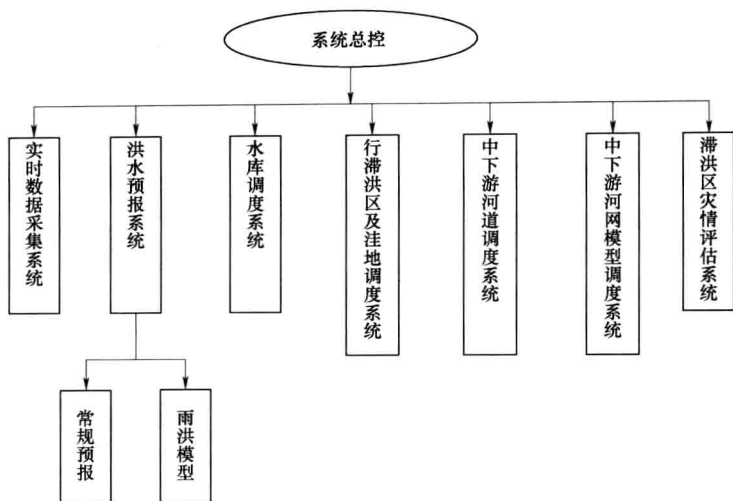


图 2-2 流域洪水预报及雨洪资源调度系统构成图

P_a 为流域前期影响雨量，其单站的 P_a 计算方法为折算系数法，并以最大初损为控制，流域平均 P_a 的计算方法同降雨计算方法。根据实时降雨数据和计算的前期影响雨量，即可查降雨～径流相关关系图求得相应的产流量；流域汇流计算采用流域经验单位线或径流分配曲线法，其单位线或径流分配曲线根据流域暴雨中心（上游、中游、下游等）的位置不同，可选用不同的汇流单位线。在没有预报方案的地区，则根据流域地理情况和面积大小等，借用相近的流域的单位线并进行必要的修正。

2.2.1.2 预报方案的评价

修订后的洪水预报方案，根据《水文情报预报规范》（SL 250—2000），对预报方案的误差进行评定，达到甲级方案或乙级方案。根据《水文情报预报规范》（SL 250—2000），这些方案可以在实际作业预报中应用，并可发布洪水预报。

2.2.2 河北雨洪模型

2.2.2.1 模型选择

目前，国内外有数百种洪水预报模型，各模型都有自己的特

点和使用范围。但是，在某一地区使用效果较好的模型，在其他地区或流域使用效果并不一定好。因此，如何结合本流域特点选择模型和建立模型非常重要。

华北地区为干旱、半干旱地区，属于温带大陆性季风型气候。因此，其流域下垫面条件和降雨都有各自的特点。其产流方式既不同于南方湿润地区，也不同于西北的干旱地区。为此，根据流域特点和降雨特点，研制适合华北地区实际的综合产汇流模型——河北雨洪模型，经河北省部分流域实际应用，效果较好，且该模型参数较少，易于率定和分析。

2.2.2.2 河北雨洪模型基本原理

河北雨洪模型包括流域产流模型、流域汇流模型和河道汇流模型。流域产流模型是一种“先超后蓄”综合产流模型，流域汇流模型为非线性调蓄汇流模型。

(1) 地表径流深计算。1 小时的流域下渗量为

$$\bar{f}_t = \frac{(f_t - f_c)(1 - e^{-\mu f_t})}{\mu f_t} + f_c$$

式中 f_c ——流域平均稳定下渗率，mm/h；

f_t ——某时刻下渗量；

μ ——1 小时稳定渗量。

若计算时段长为 d ，则时段流域下渗量为

$$F_d = \sum_{t=1}^d \bar{f}_t$$

则时段地面径流为

$$R_s = P_d - F_d$$

式中 R_s ——地面径流深；

P_d ——流域平均时段降雨量；

F_d ——流域平均时段下渗量。

(2) 地下径流计算。根据时段下渗量，在流域蓄水容量曲线上计算时段地下径流深为

$$R_g = f + P_a - W_m + W_m \left(1 - \frac{f + P'_a}{W'_m} \right)^{b+1}$$

式中 P_a ——土壤含水量；

W_m ——土壤蓄水量；

f ——流域平均时段下渗量。

上式用于 $f + P'_a < W_m$ ，若 $f + P'_a \geq W_m$ ，则

$$R_g = f + P_a - W_m$$

$$W_m = W_m(1 + b)$$

$$P'_a = W'_m \left[1 - \left(1 - \frac{P_a}{W_m} \right)^{\frac{1}{1+b}} \right]$$

(3) 汇流计算方法。经推导，可得蓄泄方程为

$$S = \frac{A}{1-b} Q^{1-b}$$

式中 A —— 1km^2 的汇流时间；

b ——流域特征参数。

将水量平衡方程

$$S_t - S_{t-1} = I - \frac{(Q_{t-1} + Q_t)}{2}$$

与蓄泄方程联解，求得汇流计算公式

$$Q_t = \frac{I_{t-\tau} + DQ_{t-1}^{1-b} - 0.5Q_{t-1}}{DQ_t^{1-b} + 0.5}$$

$$D = A/(1-b)$$

式中 $I_{t-\tau}$ ——时段平均入流（若为径流深，应换算为流量）， τ 为传播时间；

D ——时段长。

当入流为 0 或退水时，则计算公式为

$$Q_t = Q_{t-1} \left(1 + \frac{b}{A} Q_{t-1}^b \right)^{-\frac{1}{b}}$$

2.2.2.3 模型参数率定及实时修正

(1) 资料选用及参数率定。在有资料的流域单元采用 20 世纪 60 年代以后的水文资料，进行模型参数率定和检验。在无水文资料的流域单元，根据流域特点和实际情况，其参数借用其他相似流域的参数，不再进行参数的率定和检验。