

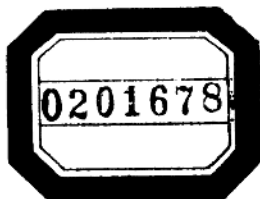


朱 华 著

水情自动测报系统

水利电力出版社

1678



水利部信



007239 水利部信息所

图书总号	中350086
分类号	P338

水情自动测报系统

朱华 著

水利电力出版社

(京)新登字115号

水情自动测报系统

朱华 著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经营

北京市京东印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 4.75印张 122千字
1993年11月第一版 1993年11月北京第一次印刷

印数00001—1090册

ISBN 7-120-01723 3/TV·698

定价5.75元

内 容 提 要

本书全面论述了水情自动测报系统,包括通信方式、数据收集方式、遥测站网论证、无线电通信电路测试与设计、总体设计、设备、土建及建设程序等。同时介绍了实时洪水预报模型的原理、特点及常用模型,其中着重介绍了大型水电系统实时洪水预报与调度模型。另外,还对实时洪水预报中应注意的问题,如参数率定、模型检验、实时校正与通用性原理、预见期,以及时段长等作了论述。最后给出了三个预报实例。

本书可供各级防汛主管部门、高等院校、科研与设计部门、水利水电工程单位的有关人员阅读。

216657

前 言

80年代初以来,我校(河海大学)参与了一系列水情自动测报系统的研制与建设,先后研制成功一批洪水预报模型。其中,赵人俊教授于1980年提出的新安江三水源模型已日趋成熟,并于1988年6月在黄龙滩电厂水情自动测报系统中正式投入试运行。此后,还被其它一些测报系统所采用。

在赵人俊教授的支持和帮助下,作者于1982年冬研制成功马斯京根法的矩阵方程求解法,为实时洪水预报模型的研制打下了良好基础。

1983年底,以马斯京根矩阵解法为核心的实时洪水预报模型研制成功,并于1984年春在黄河水利委员会进行了交流。1984年4月在水利电力部昆明勘测设计院进行了介绍。1985年7月初在黄河三门峡至花园口水情测报系统中正式投入运行,在鲁布革电厂施工洪水预报中也得到了应用。1986年完成了模型的通用化设计,从而完成了研制的全过程。

1988年5月在西安举行的全国水文预报学术讨论会上进行了交流,并正式定名为“大型水电系统实时洪水预报与调度模型”。此后,进入了推广应用的新阶段。

该模型备有久经考验的商品化通用软件,能全自动进行联机洪水预报,具有全面而又合理的实时校正能力,预报精度高而不损失任何预见期,需要最少的遥测站网而又不降低预报精度。

该模型没有产流部分,它可借用任何成熟的降雨径流模型的产流部分,如新安江模型及萨克拉门托模型等,这取决于用户的爱好。当流域内有较多的水文站时,亦可不使用任何降雨径流模型,全凭模型强有力的实时校正能力,对预报效果没有明显影响。

本书着重介绍了大型水电系统实时洪水预报与调度模型,同

时也介绍了实时洪水预报的一般原理、特点、方法及其它常用模型。其中许多观点与传统观念是不一致的。因水平所限，不当之处，在所难免，欢迎读者提出宝贵意见。

最后，本书介绍了水情自动测报系统的建设程序及应注意的事项，希望对用户有所帮助。其中引用了南京水利水文自动化研究所的部分资料，谨表谢意。

著者

1992年8月于南京

目 录

前 言

第一章 实时系统原理.....	1
第一节 联机实时系统的概念.....	3
第二节 实时控制系统.....	4
第三节 数据采集系统.....	5
第二章 实时洪水预报.....	7
第一节 实时洪水预报原理.....	12
第二节 实时预报模型的分类.....	14
第三节 实时预报模型的特点.....	20
第四节 常用的实时洪水预报模型.....	22
第五节 模型参数率定.....	58
第六节 模型检验.....	60
第七节 实时校正原理及方法.....	62
第八节 最大预见期的取得.....	75
第九节 时段长的选取.....	76
第十节 实时预报模型的通用性原理.....	77
第十一节 全自动化预报原理.....	81
第十二节 微机在洪水预报模型中的应用.....	83
第三章 水情自动测报系统.....	87
第一节 水情测报系统的通信方式.....	87
第二节 水情测报系统数据收集方式.....	90
第三节 国内外水情测报系统的现状.....	92
第四节 建设水情测报系统的目的与程序.....	94
第五节 站网论证的原理与方法.....	97
第六节 无线电通信电路测试与设计.....	105
第七节 水情测报系统总体设计.....	110

第八节 系统的可靠性设计.....	112
第九节 遥测系统设备.....	115
第十节 土建.....	121
第十一节 投资与工期.....	123
第十二节 考核与验收.....	124
第四章 实例介绍.....	126
实例一 三门峡至花园口测报系统.....	126
实例二 鲁布革电厂测报系统.....	128
实例三 新安江电厂测报系统.....	137
参考文献.....	143

第一章 实时系统原理

水文预报是应用水文学的一个重要组成部分，它是建立在充分掌握客观水文规律及实时雨、水情输入和水文要素状态变量的基础上，预报未来水文现象的一门水文学科。

实时洪水预报是十多年来发展迅速的一个应用分支。尽管现代水文预报已有数十年历史，但因计算工具的限制，大量预报工作仍停留在手工计算、查相关图、凭经验进行预报的阶段。随着电子计算机的应用，自60年代起发展起来的降雨径流模型是一大进步。例如著名的斯坦福模型，采用计算机来模拟流域的水文过程，无疑比相关图法前进了一大步。随后，降雨径流模型如雨后春笋一样迅速发展。目前国际上影响较大的模型有萨克拉门托模型、坦克模型及新安江模型等。

自70年代初微型计算机诞生以来，发展十分迅速。其代表型号有APPLE、APPLE-2、TRS-80等。自1981年起，IBM公司先后推出了IBM、PC、PC/XT及PC/AT微型计算机，使得计算机的性能大幅度提高，而体积和价格则大幅度下降，这为水情自动测报系统的迅速发展奠定了物质基础。

随着电子计算机的普及，实时处理系统正在深入社会的各个方面。什么叫实时系统？为什么它能够得到广泛的应用？尽管实时系统的定义还不一定很确切，但大体上可作如下定义^[1]。

实时系统是“接收数据、加工处理，并将处理结果及时反馈给该环境，以便于环境能够迅速而充分地发挥其功能的一种环境处理系统。”

承担工资计算的普通数据处理系统，是对工作人员一个月的工资，在录用期内进行处理的系统。按以上定义可称为实时系统。但从信息输入，到给予应答，要一个月时间，从常识上判断，显然不是实时系统。

以上是以批处理为特点的系统，它将工作时间数据贮存一个月后才处理一次。

实际上许多实时系统仍是“批处理”形式。例如水情自动测报系统中的洪水预报就是“批处理”形式，每隔一个时段进行一次预报，当时段较短时（如1小时），仍可视为实时系统。

飞机订票系统的特点是一有要求就进行处理。这是典型的实时系统。例如一位旅客询问售票员是否有某日经某地前往某城市的飞机票，售票员向终端提出要求，应在几秒钟内给予答复。如果需要10分钟后才能答复，那么该售票处一天也卖不了多少张票。

早期的实时系统是美国航空公司1952年使用的订票系统。它有100个远程终端，每天可以预约10天之内的1000次航班座位。

1958年美国空军半自动化防空系统投入使用，使用IBM公司计算机，内存仅有70KB，它将地面雷达、空中侦察机、海上巡洋舰、地面导弹基地联成一个实时系统。

此外，计算机分时系统、程控通信系统、电网调度自动化系统、数值天气预报系统都属于实时系统。

水情自动测报系统在我国起步于70年代末、80年代初，如浙江的浦阳江系统、广东的西枝江系统。由于元器件及计算工具落后，未能达到实用阶段。1981~1983年，美国SM公司率先在我国建成黄河陆浑小区自报式水情自动测报系统。1983年起，水利部水调中心在丹江口水库区引进了意大利的一套水情自动测报系统及CLS模型，对我国水情自动测报系统的发展起了巨大的推动作用。此后，1985年7月黄河三门峡至花园口区间国产测报系统投入运行。水情自动测报系统终于在我国进入了蓬勃发展的新时期。目前已建成数十个水情自动测报系统。

水情自动测报系统又称为实时联机预报系统，属于典型的实时系统。其硬件设备已渐趋成熟，目前其预报软件多借用概念性水文模型而成为薄弱环节。本书主要介绍用于水情自动测报系统的实时洪水预报模型原理与应用软件设计。

一个实时系统从处理某项事务到处理结束所用的时间，是研

究实时系统的重点。究竟什么情况才是实时，也就是说，从输入要求到作出应答，时间到底多长才称为实时，这是难以确定的，它与不同的系统有关。

例如，对于水情自动测报系统，向计算机提出预报要求，到计算机作出预报，这一问一答的时间，是判断系统是否实时的主要依据。当然，对于同样的应答时间，还有其它影响因素，如流域的大小、时段的长短、预见期大小有关。假定某水情自动测报系统预见期为6小时，时段长为3小时，应答时间为0.5小时，就很难说它是一个实时系统。目前国内已建成的水情自动测报系统，应答时间一般不超过3分钟。对于特大型水情自动测报系统，也不超过15分钟。目前尚无具体规定。

容易产生疏忽的是预报时段长的作用。如预见期仍为6小时，时段长为3小时，因预报采用“批处理”方式，在一次预报完成之后，即使雨、水情有重大变化，也要再过3小时才进行下一次预报，实时性大受影响。

确保实时性是设计一个实时系统的重要考虑，尤其是使用微型计算机的系统。

第一节 联机实时系统的概念

实时系统，往往在其前面附加“联机”一词，即联机实时系统。也就是指终端等设备直接与计算机相连，或经传输系统跟计算机相连，而计算机则对终端要求给予反应的一种实时系统。其中计算机是必不可少的。

一个实时系统，必然是一个联机系统。而一个联机系统，则不一定是实时系统。如果计算机速度太低或者处理的问题太复杂（如数值天气预报），尽管是一个联机系统，可能也不具有实时性。

对于水情自动测报系统，遥测雨量计、水位计通过有线或无线方式，与计算机连在一起，预报员通过终端向计算机提出要求，

计算机则给出反应（给出预报结果）。这中间的一切环节，都不再需要人工操作（如人工译电等），可称之为联机预报系统。

对于联机预报系统，必须注意由于联机而产生的新问题，主要有以下几个方面。

（1）所有的输入信息，要能由传感器自动采集，如雨量、水位等。但是时段蒸发能力目前国产设备还无法自动采集，往往采用多年平均值。这对大多数具有土壤含水量计算的降雨径流模型将产生不可容忍的累积误差。

（2）流量通常由实时水位转换而来，要尽量减少水位流量转换引起的误差。例如在水位流量关系复杂的河段，这种转换将产生较大误差。

（3）一切人工预报中的经验修正方法，难以由计算机自动实现。例如前期土壤含水量、暴雨走向、单位线的选择、遥测站故障的判别、预报误差的修正等。

有些对于人脑来说是很简单的问题，对于电脑却无能为力。例如某遥测雨量站发生故障，原来使用10个遥测雨量站，预报员可以立刻发现并改用9个雨量站来计算面平均雨量。电脑首先无法判断雨量站是否发生故障。即使知道某站故障，临时修改预报程序也不大可能，因为很可能预报程序是委托外单位研制的，使用者无权修改。

因此，要求联机实时洪水预报系统具有某种程度的人工智能，可以自动处理以上所遇到的实际问题。

由于以上原因，目前国内有许多水情自动测报系统只停留在信息采集阶段，并不能进行联机预报，称之为“水情数据采集系统”更确切。有些虽然勉强进行预报，精度也不高，以致于投资不能充分发挥作用。这种教训是需要认真吸取的。

第二节 实时控制系统

这是一种接收由环境发来的数据，并进行处理，再将处理结

果完整而迅速地反馈给该环境，从而控制该环境工作的系统。此种系统又可以划分为过程控制系统和操作控制系统。

过程控制系统通常是自动进行控制。例如防空导弹的飞行控制属于过程控制，从发射到调整飞行姿态，由计算机自动完成，完全不要人工干预。因为从发射到命中目标，通常只有几秒钟，人工根本无法反应。

操作控制系统并不自动进行控制，一般需要进行人工干预，计算机只用于改善人工操作。水情自动测报系统即属此类系统。因为实时洪水预报并不是最终目的，预报是为了调度与控制，例如操作水电厂的闸门泄洪等。

一个水情自动测报系统是否具有实时控制的功能，在系统设计之前就要落实，并预留必要的接口，包括通信与控制接口。

第三节 数据采集系统

这是一种从环境中实时地取得数据，但不实时地输出应答结果的系统。其设计思想与控制系统相同。在大多数情况下，数据采集系统达到了控制系统的第一阶段。

国内目前所建的水情自动测报系统大多数属于数据采集系统。

水情自动测报系统需要采集的数据主要有：①雨量；②水位；③含沙量；④发电功率；⑤闸门开度；⑥蒸发量。其中含沙量与蒸发量目前国内尚不能自动采集，依靠人工置数。发电功率主要用于确定发电引用流量，以便实时水库调度。为此，发电厂要事先率定发电机效率曲线。

闸门开度用于确定出库流量。对于泄洪闸门启闭频繁的水库尤为重要。例如云南省鲁布革电厂设计为水情自动测报系统与电厂主控计算机R30相连，由R30自动进行调洪演算，控制闸门开度。如果有坝后水位流量关系，也可通过坝后水位转换成出库流量。

对于不同的水情自动测报系统，数据采集的种类可以根据需要增减。例如国外的系统通常还可以采集温度、水质等。如果采集水文、气象、水质等要素能由一个遥测站实现，其综合效益更大。因为只要增加适当的传感器就能实现，可大大降低造价。

第二章 实时洪水预报

实时洪水预报是指在联机的水情自动测报系统中使用实时数据进行洪水预报，也就是用电脑代替人自动进行连续不断的洪水预报。它要满足预报的实时性、精度和预见期要求。要能自动地进行全流域某种合理的校正，以提高预报精度。要能处理各种复杂的偶然因素影响，如遥测站故障、自然或人工分滞洪、水文测验的误差等。它涉及水文上的产汇流理论、系统分析、随机过程、误差理论、仪表、通信、自动控制等许多领域。实践证明，简单地用人工预报方法去进行实时洪水预报是行不通的。

通信及计算机技术的飞速发展和设备价格的迅速降低，为防汛调度自动化提供了现实的物质基础，成为非工程防洪措施的重要组成部分，并日益受到人们的重视。

国家有关部门已决定在重要的防洪河段、大中型水库、水电站逐步建设水情自动测报系统，以改变目前通信、预报、调度的落后局面。更进一步，对于重要的防洪河段（如黄河中下游），建立防洪预报调度专家系统或决策支持系统，实时洪水预报也是其关键的一环。

如果说传统预报是以代数作为基础的话，那么实时预报则是以线性代数作为基础。下面简单介绍一下与实时预报有关的线性代数知识〔2〕。

(1) 向量。平面上的有向线段 $\overrightarrow{OP}$ ，其大小和方向为 P 点的坐标 x 和 y 所确定。我们把 P 点所确定的向量记作

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

并称 x 和 y 为这个向量沿坐标轴方向的分量。

(2) n 维向量。向量的概念可以推广到高维空间中去。 n 维空间中的点 P ，为它的 n 个坐标所确定，我们称

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

为一个 n 维向量。而 n 维空间也可以看成是由一切 n 维向量所组成的一个 n 维向量场。

(3) 向量的相等。设 X 和 Y 是 n 维空间中的两个向量, 它们的分量分别为 $x_1, \dots, x_n$ 和 $y_1, \dots, y_n$, 若

$$x_i = y_i \quad i = 1, \dots, n,$$

我们称向量 X 和 Y 相等, 并记作

$$X = Y$$

(4) 向量的运算。

水文预报上常用的有:

1) 向量的相加。设 X 和 Y 是两个 n 维向量, 我们规定这两个向量的和 Z 为

$$Z = X + Y = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 + y_1 \\ x_2 + y_2 \\ \vdots \\ x_n + y_n \end{bmatrix}$$

2) 常量乘向量。我们规定常数 λ 乘向量 X 的运算为

$$\lambda X = \lambda \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda x_1 \\ \vdots \\ \lambda x_n \end{bmatrix}$$

(5) 矩阵。把数组的整体当作一个抽象的量, 用方括号把它括起来, 记作

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

我们称它为一个矩阵。因为它有 m 行 n 列，所以又称之为 $m \times n$ 阶矩阵。也可以表示为 $A_{m \times n}$ 。

(6) 矩阵的相等。两个同阶矩阵 A 和 B ，若一切相应的元素都相等，则称矩阵 A 和 B 相等。

(7) 矩阵和向量的运算。设 A 表示 $m \times n$ 阶矩阵， X 为以 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 作分量的列向量，规定

$$AX = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \end{bmatrix}$$

这是本书使用最多的一种矩阵运算，其结果为 m 维向量。

(8) 矩阵的转置。设 A 为一 $m \times n$ 阶矩阵，把其中的行和列交换，记作 A^T ，称之为转置运算。例如

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$[a_1, \dots, a_n]^T = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}$$

(9) 常量乘矩阵。用常量 λ 乘矩阵 A ，等于用 λ 乘 A 的所有元素。

(10) 矩阵相加。同阶矩阵相加，等于相应元素相加。

(11) 矩阵的乘积。设 $A = [a_{ij}]$ 为 $m \times n$ 阶， $B = [b_{ij}]$ 为 $n \times p$ 阶，则乘积 AB 有意义，且