

ONGCHENG SHUIWEN FENXI JI SHUILI JISUAN
FANGFA DE YINGYONG JISHU

水库工程水文分析及 水利计算方法的应用技术

刘德波 赵廷华 魏家红 编著



黄河水利出版社

水库工程水文分析及 水利计算方法的应用技术

刘德波 赵廷华 魏家红 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是在总结多年水库工程规划、调度管理实践经验的基础上,结合现有的水文分析和水库调节计算理论与方法,研究提出了水库规划、实施调度分类调节计算方法与模型,设计开发了相应的系统软件。

本书通过计算方法与模型的建立,开发了功能齐全、交互性能良好、适应性强的软件系统,可以系统地进行水文计算分析,不同工程类型的防洪、兴利调节,从而提高水文分析、工程调度运用方案比选的工作效率,较全面地考虑水文规划中的各种影响因素、约束条件,为规划方案的制订、调度的科学决策提供技术支持。

本书可供从事工程水文计算、有关水文水利专业规划设计及水库调度管理的人员使用,也可供有关院校师生参考。同时,对与水利水电工程有关的交通、城建、环境等部门也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

水库工程水文分析及水利计算方法的应用技术/刘德波,
赵廷华,魏家红编著. —郑州:黄河水利出版社,2012. 6

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0294 - 7

I. ①水… II. ①刘… ②赵… ③魏… III. ①水库工程 - 工程水文学 - 水文分析 ②水库工程 - 工程水文学 - 水利计算 - 计算方法 IV. ①TV697.2 ②TV214

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 130035 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:11.75

字数:271 千字

印数:1—1 000

版次:2012 年 6 月第 1 版

印次:2012 年 6 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

我国是一个水旱灾害频繁、水资源短缺、水环境问题比较严重的国家,水利水电工程、水环境治理等是国家的基础产业,关系着社会经济持续发展和安全稳定的大局。合理确定防洪减灾、水资源开发利用保护等工程布局与规模,正确评价工程作用,科学管理运行,充分发挥其效益都离不开水文分析和规划。

水文分析计算贯穿工程规划、设计与调度管理全过程。首先,为合理开发利用和保护水资源、防治水旱灾害而制定的总体规划,是水利前期工作的基本阶段和重要基础。水文规划要根据国家的建设方针与发展目标和地区及有关部门对水利的要求,以及规划范围的社会经济发展和自然条件,进行合理的资源配置、工程布局,提出一定时期内开发、利用、节约、保护水资源和防治水旱灾害的对策、措施和实施建议,作为指导水利工程设计、建设计划安排以及水资源管理等项目的基本依据。其次,在工程管理、调度过程中及时、合理、科学地进行洪水和径流调节,是充分发挥工程的防洪减灾、水资源利用、改善水环境等综合效益的保障条件。

目前,国内外对水文规划的研究日益加强,取得的成果很多。先进技术的发展为水文规划模拟分析提供了方便的计算工具,借助于计算机模拟技术,水文模型研究深度加强,一些复杂问题得到解决。随着社会经济的发展,水文规划要保证人水和谐,实现生态水利工程建设与管理,水文规划是一项系统工程,要考虑很多影响因素和约束条件进行分析、方案比较和优化,涉及大量数据处理的复杂过程。提高水文分析、工程规划的技术手段和效率,从而快速得到合理的分析成果和科学的规划、调度方案尤为必要和迫切,因此对先进的水文规划计算方法、应用系统软件的研究开发具有重要意义。

根据水利工程特点、相关规范和有关大纲的要求,在规划设计时需要按照一定的程序、方法进行,分析研究工程涉及的问题;在实际调度管理中要根据上下游情况安排径流过程。结合大量水利工程的实践经验和专家研究,水文规划已经形成了相对比较成熟的理论体系,包括基本概念、研究方法、计算模型等。这些理论对我们进行交互式水文规划模拟分析系统研究奠定了坚实的基础。

本书在现有理论方法的基础上,提出了有关水文计算、水库防洪调度、兴利调节等方法模型,以及工程规划应用系统、水库调度管理系统的设计开发。以期有利于改进工程规划设计与评价的技术手段,可以快速得到合理的分析成果和科学的规划方案,从而提高水文规划工作效率,为后期工作节约更多时间;为防洪、发电、供水、引蓄水工程或综合利用等工程的水文分析、工程规划、功效分析与评价等提供技术支持,从而最大限度地发挥工程效益。

编者结合工程规划、调度运用实践,从水文分析和工程运行调节方面提出的一些认识、思路和想法,在相关的分析计算中还有许多具体的、深层次的问题需要研究处理,技术方法有待于进一步的探讨与改进,不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2012 年 4 月

目 录

前 言

第 1 章 水文资料的处理与应用	(1)
1.1 水文观测	(1)
1.2 水文资料处理	(4)
1.3 其他数据处理方法	(6)
第 2 章 工程规划	(13)
2.1 工程任务	(13)
2.2 水文分析	(13)
2.3 边界条件与规划调节	(29)
2.4 方案比选	(38)
第 3 章 水库调度	(39)
3.1 水库调度的工作内容	(39)
3.2 水库调度业务的主要特点	(39)
3.3 主要业务分类	(40)
3.4 计划调节	(41)
3.5 业务处理	(55)
第 4 章 规划调节计算方法	(60)
4.1 库群防洪系统联合调节方法	(60)
4.2 复式水库调洪计算方法	(65)
4.3 多目标动态兴利调节方法	(68)
4.4 水库防洪调节	(69)
4.5 河道洪水传播时间计算	(70)
4.6 其他计算方法	(71)
第 5 章 实时预报调度	(74)
5.1 水文预报	(74)
5.2 调度方案的拟订	(97)
5.3 实时调度与规划的差别	(98)
第 6 章 水文分析与工程规划应用系统	(105)
6.1 总体设计	(105)
6.2 工程数据管理	(107)
6.3 水文资料处理	(107)
6.4 水文分析计算	(111)
6.5 防洪调节	(115)

6.6	兴利调节	(120)
6.7	专项计算	(124)
6.8	软件案例验证	(132)
第7章	水库调度业务处理系统	(159)
7.1	辅助项目	(159)
7.2	闸门启闭	(160)
7.3	水量平衡计算	(162)
7.4	径流预报模型	(163)
7.5	兴利调度计划	(165)
7.6	资料管理	(167)
7.7	数据库	(170)
7.8	数据报表	(170)
参考文献	(180)

第 1 章 水文资料的处理与应用

1.1 水文观测

水文测报数据是进行水利规划、江河治理、工程设计与管理的基础,是防洪调度、水资源配置等的基本依据。水文观测资料包括雨量、水位、流量、泥沙、水温等。水文系列的特点是随年份、季节、时段而变化。

1.1.1 雨量

1.1.1.1 雨量属性

降雨量分布于流域面上,有点面关系和时段时序问题,即常说的时空分布,可以用场次、大小、分布、走向等属性表述。直接观测到的是时段(累计)雨量数据,总是与某一历时长的时段相对应的。

流域内分布多个雨量站点,各个雨量站的雨量为点雨量,全流域降雨量经产汇流形成河道径流。水文分析一般以流域单元进行径流和洪水分析,把流域单元出口的流量过程和相应流域的面雨量作为研究对象。因此,对雨量的分析一般是对流域雨量强度、分布、走向等的分析,并需要对不同时段长的雨量指标进行区分。雨量的表述也总是以一定的流域范围为前提,在相应的流域范围内进行雨量指标计算。

雨量观测数据由逐时段雨量组成降雨量过程,可进一步统计为日雨量、旬雨量、月雨量、年雨量过程。一般把一次雨量过程称为一场降雨,并对应一次洪水过程,降雨和洪水的场次划分一般可以退水过程退至基流或降雨前的流量为标准进行划分。一次降雨过程中间会有时段间隔,一次洪水过程可能出现多个大小不等的峰值。

降雨量受天气系统、地理位置、地形的影响,雨量观测由人工或自动测报设备完成。雨量站布设需要考虑控制范围,结合区域地形、降雨分布特点,合理均匀地在流域上布置雨量站,以更好地反映流域面雨量的空间分布。

自动测报系统可定时测报雨量,相邻两次报数之差为次报雨量,根据需要设置雨量测报精度及报警功能,如雨量够 1 mm 发报,如果次报雨量大于 1 mm 应报警提示等,接收端可将次报雨量进行记录,便于查改。

1.1.1.2 雨量指标

降雨强度与时段长有关,同时段长的雨量大小可以进行对比,一场降雨的大小可以用总雨量、平均雨量描述。但降雨历时长短不一样,总雨量、平均雨量不能完全反映一次降雨的强度大小,因此一般用 1 h、6 h、24 h 等时段雨量分别表示。降雨过程对洪水过程的直接影响与雨量的时段分布有关。对于一个流域,产汇流时间在一定范围,形成洪峰的雨量时段长一般也有个范围。所以,在分析雨量的大小特征时,可以用一定时段长的降雨量

最大值表示,称其为主时段雨量,主时段雨量反映一次降雨过程的强度大小,可与其他场次洪水进行比较。

降雨量的流域分布,有一次降雨分布、统计分布,其中一次降雨分布由一次降雨过程的点雨量大小确定,不同场次降雨的分布也可能不同;统计分布由历次降雨过程的点雨量大小统计值确定,统计分布一般用点雨量均值、 C_v 值表示,可以绘制成等值线图。降雨分布可用降雨总量或上述其他雨量指标判别。

一次降雨的分布,在流域范围内可根据雨量大小分类定性表示,如均匀、偏上游、偏下游等,并可以采用相应的模式进行计算和识别。

一次降雨的走向,反映的是流域降雨中心的移动情况,有时候降雨量随云团移动,不同站点的雨量大小随时变换,如开始一段时间降雨是上游偏大,后来是下游偏大。降雨量大小随时间在空间分布上的变化用走向表示,一次降雨的走向,在流域范围内可分类定性表示,如静态、上→下、下→上等,并可以采用相应的模式进行计算和判定。

1.1.2 水位

水位反映的是水面高程,不同河流或水库断面观测的水位只代表一定的范围,水位随断面不同而变化,变化幅度与流量大小、过水面积、比降有关,一定范围内各个断面水位连起来组成水面线。水位表示还与高程系统有关。水位观测由人工、自动测报设备完成。

河道水位在一定工程条件下一般为自然涨落变化,受上、下游流量影响,变化幅度不同。对主要控制断面设水文站进行观测。

水库水位受入库流量和出库流量影响,可通过调节出流进行控制,水库运用水位变化幅度较大。水库水位可采用坝前水位或平均水位表示。

水位观测数据是某一时刻的瞬时值,如8时、20时观测数据,由各次观测值统计计算为不同时段长的时段平均值、时段最大值、时段最小值等,以及变化过程即水位过程线。

在不同工程位置有相应的水位特征值,有一个相对变化范围,河道有警戒水位、枯水位,水库有死水位、正常蓄水位、汛期限制水位、设计洪水位等,这些统计指标或设计指标,作为工程管理的依据之一。

水位观测是一个连续的过程,自动测报水位数据一般按照设定时段间隔进行保存,如5 min、1 h等,人工测报时间间隔更大。河道、湖泊、水库等水位观测都会受到风浪等的影响而产生误报和误差。

人工测报有时在时段上满足不了水情分析和反推入库流量的要求,其观测误差也是存在的。自动测报能在条件较差的环境下完成测报任务,比较及时连续地记录水位变化过程,减轻人工的负担,但其设备工作必须可靠,取样误差问题必须恰当处理。

河道上根据控制断面测流需要设置水文站进行水位观测,结合流量、泥沙等其他项目需要设置水尺位置。水库库区考虑水库水量的动态变化,水位存在动库容、泄流影响及设备工作异常等因素的影响,为了使所测报的水位能够反映当时的总体和水库蓄水量,水位站应设一个以上,可在坝前附近选择风浪小、泄流影响小的地方设站,有条件的应在库区水面上、下游沿程中段及入口处增设水位站。采用综合平均水位可解决动库容的影响,反推入库流量更准确。

1.1.3 径流

径流相应于河道某个断面或水利工程控制断面,用流量、径流量或径流深表示,一般直接观测数据为观测断面某时刻的流量,不同时间的流量组成流量过程。汛期暴雨形成的量大、涨落相对较快的时段流量过程即为洪水过程。

径流与时段相关,一般有日径流、旬径流、月径流、年径流,并可统计历年系列的相应时段的最大值、最小值及平均值等指标。用不同指标表示时,流量和径流量都是观测断面的总径流量。径流深则反映了单位流域面积上的径流量,是平均概念,可与不同流域进行对比。对历年径流系列可分析变化规律。

一次洪水过程用不同时间段的洪量表示:如24 h、3 d、7 d、15 d等。

在无人库测站时,水库入库径流可根据水位、出库流量反推。

径流的影响因素包括降雨、地形地貌、地质条件、河网构成和人类活动影响等。径流的大小和时段分布与降雨、地形地貌、地质条件以及河网构成直接相关。人类活动影响包括直接影响和间接影响,如改变植被、取用地下水等影响产汇流条件,从而改变径流;调蓄工程、引水等直接改变下游径流。

1.1.4 泥沙

河流泥沙主要来源于两个方面,一是流域地表的侵蚀,二是上游河槽的冲刷。与气候、土壤、植被、地形地貌及人类活动等因素有关。

河流泥沙可用含沙量、输沙率、输沙量和输沙量模数(侵蚀模数)等度量单位表示。含沙量表示单位体积浑水中的泥沙质量,单位时间内通过河流某断面的泥沙数量为输沙率,输沙量是一定时段内通过河流某断面的泥沙数量,单位面积流域每年冲蚀的泥沙数量为输沙量模数。输沙量模数的大小,可用来反映流域地表的侵蚀程度。

泥沙的颗粒组成级配表示其几何特性,由各粒径级泥沙的重量及小于某粒径泥沙的总重量,算出小于某粒径的泥沙占总沙样的重量百分数,绘制粒配曲线。

另外,有容重、密度、干容重、干密度表示其重力特性。

在计算输沙量时,通常根据测量数据计算悬移质泥沙,还应分析计算一部分沿河床附近滚动、滑动的推移质泥沙。

1.1.5 调蓄工程对水文观测资料的影响

新中国成立后社会经济和水利发展迅速,兴建了大量的水利工程,这些工程在防洪、供水、灌溉、发电、水环境等方面发挥了重要作用。随着工程建设的运行,改变了河道径流过程,原来河道上的水文测站测到的是天然的或受人类活动影响较小的水文资料,而随着调蓄、引水工程的增加,对径流的影响越来越大,包括过程、水量等都有明显改变,在水文分析时就出现资料连续性问题。

资料连续性问题就是系列的一致性问题,成为水文观测的新情况。处理系列的一致性,主要是看观测资料能否还原、还现,当上游水利工程设有运行观测项目,对水位、引供水、出流过程有详细的观测数据时,下游河道上的观测资料就能够通过还原计算,得到天

然系列,分析工程的调蓄影响;否则,工程作用前后的资料系列无法统一应用。

因此,对于不能还原的现有的水文测报资料,影响了其使用价值和观测的意义。鉴于此,必须加强对已建调蓄工程的水位、引水和出流过程的观测,特别是中小型工程,也有部分大型工程,由于运行上的问题或管理上的问题,水文观测资料对管理单位不是必要的,没有设置水文测报,但影响了下游水文系列的连续性,对流域规划、下游水利工程规划与调度都是有影响的。

1.2 水文资料处理

水文观测资料经整理、汇编,作为永久历史性资料系列,用于分析水文系列的变化规律,为水利工程规划、调度服务。将实测资料整理后分类有逐日雨量、平均流量、8 h 或平均水位,雨量摘录、洪水要素、水库水文要素等。

水文资料处理首先从水文数据库中提取有关水文资料,根据项目需要对历年整编资料进行不同方式的统计,得到不同的统计成果,分析应用。

1.2.1 雨量

1.2.1.1 雨量计算

面雨量:用各站雨量计算,根据站网布设情况,分析各雨量站代表的面域范围,选择参与计算的雨量站,确定各雨量站的权重。面雨量计算一般采用加权平均,即考虑相应权重进行面雨量计算,当各站权重相等时,计算的面雨量就是算术平均值。面雨量为相应面域上同时段对应的点雨量平均值。

平均雨量:对系列雨量资料如年雨量、汛期雨量、最大1 d、最大3 d等雨量指标计算多年平均雨量,为系列多年平均值。

变差系数:系列的变差系数可根据有关公式计算。

设计雨量:根据雨量系列计算的平均值、变差系数等,再通过目估适线分析确定,可据此计算各种频率的设计雨量。

1.2.1.2 水文站雨量记录数据的应用处理

雨量记录数据为各雨量站的雨量数据,因雨量大小变化、记录的时段长度不等,雨量大时,每1 h或2 h记录一个数据,小雨时段则数小时或更长时间记录一个数据。由于各雨量站实际时段不会统一对应,因此在计算流域分时段雨量时,需先将各站雨量分别进行时段细化,再考虑权重对各雨量站进行雨量过程的综合,进行雨量指标的统计与分析。如统一转化为等时段长1 h或2 h的雨量过程,然后选择相应的雨量站计算相应的面雨量过程,进行不同面雨量指标的统计计算。

1.2.2 水位及其采集误差的影响处理

1.2.2.1 水位测报数据的应用处理

由于水位、流量的变化幅度不同,主要是反映流量过程的变化情况,一般水位变化较小时水位记录也相对较少,水位变化较快时水位观测记录时段就短,所以水位记录的数据

时段也就不同。有的水位记录是相对高程,不同水文站水位高程基准也不同,对水位记录数据应用需要先进行一些处理,无整数时只记录小数点后的水位进行补整,绘制水位过程线,检查突变及其他不合理现象,对错误的数据进行修正。

1.2.2.2 误报和误差问题的处理

纠错处理应包括设备和软件两方面。

时段值静止问题:维持一个数值几个时段不变,然后又跨越突变。中间的数不报,直接跳到后期值,首先从设备上解决,避免发生这样的故障误报。软件应对办法是根据水位变化过程的连续性,通过软件设计进行插值修正处理。

水位变化时间问题或系统时间记录误差造成的取值误差修正。自动测报软件加滤波功能,将实时测报的水位记录修正、处理为数据系列,存为特设文档备用。目前,水位自动测报系统是把最近一次接收的信息数值作为当前时刻的水位值,如果刚过某一整时刻报来一个新的数据,就自动记录到下一时间段,即水位从时间上是一直向后认定。实际上,刚过某一整时刻报数与该时刻水位接近,采用前一次报数是不正确的,该时刻的水位应取时间差接近一次的报数。

获取整时段水位的方法:假设每次信号是正确的,或已修改无误,对这样的实时水位自报记录,解决其变化与取用值的时间不同步问题,可采用差值法,计算库容时亦可用差值法或公式计算。

时刻与水位连续记录过程为 (t_i, H_i) ,对于 $T, t_{i-1} < T < t_i$,则

$$H = [(H_i - H_{i-1}) / (t_i - t_{i-1})] \times (T - t_{i-1}) + H_{i-1}$$

如果精度只要求到厘米,上式变为

$$H = \text{int} \{ [(H_i - H_{i-1}) / (t_i - t_{i-1})] \times (T - t_{i-1}) \times 100 + 0.5 \} / 100 + H_{i-1}$$

测报传递信息的错误,除由系统设计功能自滤外,还需人工及时发现修正。

当入库水量较小时,或大洪水泄流较大时都会出现水位变幅小于 Δh (cm/h)(一般 $\Delta h = 4$)的现象,这时以上问题影响明显,因为水位变幅小,反推过程一般都有波动现象,退水段更是如此,在进行预报过程与实际对比时,对于“台阶”段,如果预报过程线为反推的总体平均线,可以认为预报过程与实际过程是一致吻合的。

水库日平均入库流量计算是用水位和出库流量反推的,有时波动也相当明显,对不合理也不符合实际的现象,也需要修正:出水口有没有遗漏,出库水量算齐了没有,上游水库泄流流入水库部分改变了没有,以及降雨因素等。可采用滑动平均,分析上述因素逐时段平均,水位误差及变化时刻因素的修正。

1.2.3 径流

河道水文站日平均流量由实测流量过程计算,即为实测径流,根据日平均流量计算旬、月、年径流,河道径流过程一般可直接应用。

水库日平均入库流量计算一般是用水位和出库流量反推,当出现负值或波动时,与水位误差、出流误差有关,应对计算的径流过程进行相应的处理,分析误差及其他因素,最大限度消除误差因素。

1.2.4 洪水

河道水文站观测的洪水过程通过水位、比降等推算相应流量,当测报技术满足同时观测上、下游水位时,计算流量为瞬时流量,与瞬时水位对应。不同时间的流量组成洪水过程,观测时段越短,过程越连续,当观测时间间隔较长时,不能反映真实的洪水过程,需要根据前后流量对洪水过程进行内插修正。

水库站用水位、出库流量反推的入库流量为时段平均入库流量,转变为洪水过程,应绘制过程线,修正后,按时间读取对应流量。水位误差和出流误差在入库流量较大时影响较小;在入库流量较小时,影响较明显,需要分析修正。

洪水过程随时间分布,在一定的连续时间段,呈现出年际变化和年内分配差异,为便于分析不同时期洪水的特性,对洪水资料处理也需要按照时间的连续性,将流量过程连续化。一般汛期观测的较大洪水过程流量相对是连续的;汛期小洪水或无暴雨洪水时段及非汛期流量不是连续的,一天只有一次或两次实测记录,非汛期甚至数日只有一个流量,对此通过处理,得到全年连续的流量过程,从而可以统计分析不同分期的洪水。

1.3 其他数据处理方法

1.3.1 洪水过程修正数据生成与转换

在典型洪水放大为洪水过程线的时候,有时也会发生变形;反推入库洪水过程时由于观测时段长等原因,过程会出现台阶,需对过程线线形进行修正。用公式判别修正难以实现理想的结果,可以根据线形,在图上直接“画线”修正,图上随时显示修正过程与效果。同时,可对原始过程、修正过程分别进行时段洪量统计对比,从而提示修正过程,保持修正过程线的各时段洪量不发生变化。

从图形获取数据,坐标数据转换公式:

$$q(i) = y(i)/k_y \quad (1-3-1)$$

$$t'(i) = \min[|(x(i) - tt(i))|/k_x] \quad (1-3-2)$$

时段洪量计算公式:

$$w(t) = \max\left(\sum_{i=j}^{j+t} q(i) \times \Delta t\right) \quad (j = 1, 2, \dots, n - t) \quad (1-3-3)$$

式中: q 为流量; x 为时间坐标; y 为流量坐标; k_y 为流量坐标比例; k_x 为时间坐标比例; t' 为修正过程时段; tt 为原始过程时段; w 为时段洪量。

1.3.2 大于集统计

在进行水文分析时,有时需要统计较大的指标出现的次数及量值,如在某一段时间内较大洪水(洪峰)出现的次数,分析其在时间上的分布情况。可按统计序列中数值大于设定标准值的次数及相应数值进行统计处理,为非连续出现的数据段。但实际过程会连续出现符合要求的数值,如洪水过程的流量,在统计处理时,数据段中可以有多个序列值,可

只计其最大值。

设时间(过程)变量集合为 $x(i), i = 1, 2, \dots, n$, 出现大于给定指标 x_0 的次数及相应最大值统计。基本公式为

$$xx(k) = x(i), x(i) - x_0 > 0 \quad (k = 1, 2, \dots, c, c \text{ 为大于指标 } x_0 \text{ 的次数}) \quad (1-3-4)$$

$$t(k) \neq t(k-1) + \Delta t \quad (1-3-5)$$

式中: x 为变量集; xx 为非连续性大于集变量; n 为变量队列总数; i 为变量系列; x_0 为“大于集”统计设定指标; t 为时段; Δt 为时段长。

1.3.3 持续时段检索

统计序列中在数值设定范围的最大持续时段数, 为连续出现的数据段。满足设定条件的可多个数据段, 只计其最大时段长。

设时间(过程)变量集合为 $x(i), i = 1, 2, \dots, n$, 对连续出现给定指标范围的次数进行统计, 基本公式如下:

如果 $[x(i-1) < x_1 \text{ 或 } x(i-1) > x_2]$ 且 $x_1 < x(i) < x_2$

$$\text{则 } num(j) = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, c, c \text{ 为数值持续出现在设定范围的次数}) \quad (1-3-6)$$

如果 $x_1 < x(i-1) < x_2$ 且 $x_1 < x(i) < x_2$

$$\text{则 } num(j) = num(j) + 1 \quad (1-3-7)$$

$$nn = \max(num(j)) \quad (1-3-8)$$

式中: x 为变量集; x_1, x_2 为指标范围边界; num 为持续时段数; i 为变量系列; nn 为最大持续时段数。

1.3.4 通用插值

对等时段、不等时段、累计时段不同时段属性的数据, 进行统一时段插值转换。等时段(含月、日、时时间或纯数据), 文件开始有数据个数、时段长。不等时段(含时段差)、累计时段(含累计时段长), 文件开始有数据个数。

通过先累计时段后插值计算实现时段长变短(插值)、短变长。

插值公式:

$$q(t) = [t - tt(i)] \times [qq(i+1) - qq(i)] / [tt(i+1) - tt(i)] + qq(i) \quad (1-3-9)$$

式中: q 为计算插值; t 为插值时段; qq 为原始过程数据; tt 为原始过程时段累计; i 为原始过程时段。

取位为从原数据按新时段长分组的第几个数据起, 或取平均值, 一般按最小时段长为 1 考虑, 原文件时段长不是 1 的, 取位设置时应先进行插值转换计算。

取位根据计算结果设置, 列表中给出的大于计算值的不可选。

最大取位 = 转换时段 / 原时段长。

当由短时段转换为长时段时, 如果长时段为短时段的整倍数 $dt_2/dt_1 = k$, 可以用抽取法或平均值法, $Q()$ 为原始过程, $q()$ 为转换过程, 则

抽取法:

$$q(j) = Q[(j-1) \times k + i], i \text{ 为取位} \quad (1-3-10)$$

平均值法:

$$q(j) = [Q(j \times k + 1) + Q(j \times k + 2) + \cdots + Q(j \times k + k)]/k \quad (1-3-11)$$

1.3.5 线性相关分析

设 X_i, Y_i 为两个系列的对应观测值, X, Y 之间具有直线相关关系。按照最小二乘法原理可以配合一条最佳的直线, 即为回归直线, 方程式为

$$Y_i = a + bX_i \quad (1-3-12)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (1-3-13)$$

$$b = \frac{\sum X_i \cdot Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2} \quad (1-3-14)$$

用相关系数 r 反映其相关程度:

$$r = \frac{\sum X_i \cdot Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{(\sum X_i^2 - n\bar{X}^2)(\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2)}} \quad (1-3-15)$$

相关系数的标准差:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (1-3-16)$$

相关系数的随机误差:

$$E_r = 0.6745\sigma_r \quad (1-3-17)$$

当 $|r|$ 大于 $|4E_r|$ 时, 说明 X_i, Y_i 两系列相关关系密切。

X_i 系列的标准差:

$$\sigma_x = \frac{\sqrt{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2}}{n - 1} \quad (1-3-18)$$

Y_i 系列的标准差:

$$\sigma_y = \frac{\sqrt{\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2}}{n - 1} \quad (1-3-19)$$

X_i 系列的均值:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (1-3-20)$$

Y_i 系列的均值:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{N} \quad (1-3-21)$$

式中: a, b 为方程式系数。

当 x, y 符合三参数函数 $Y = ax^b + c$ 数学模型时, 可将 $Y = ax^b + c$ 改写为 $Y = aX + c$ 的直线方程, 其中 $X = x^b$ 。在对 $Y = aX + c$ 进行拟合时, 以差值平方和作为拟合的目标函数, 使其最小, 求 a, c 。

根据回归分析的原理可分别求得:

$$a = \frac{\sum XY - \bar{X} \sum Y}{\sum X^2 - \bar{X} \sum X} \quad (1-3-22)$$

$$c = \frac{1}{n} (\sum Y - a \sum X) \quad (1-3-23)$$

$$r^2 = \frac{c \sum Y + a \sum XY - \frac{1}{n} (\sum Y)^2}{\sum Y^2 - \frac{1}{n} (\sum Y)^2} \quad (1-3-24)$$

b 值为幂函数中未知数的指数,可采取指定优选范围及精度的方法优选求得。优选的方法为设置计算范围计算后,将计算结果输入重新计算即可。

1.3.6 频率计算

经验频率的计算采用设计规范中推荐的公式计算,统计参数用“矩法”公式计算。

连续系列:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (1-3-25)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1-3-26)$$

$$C_v = \frac{1}{\bar{Q}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Q_i)^2}{n-1}} \quad (1-3-27)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^3}{(n-1)(n-2)\bar{Q}^3 C_v^3} \quad (1-3-28)$$

不连续系列:

特大洪水:

$$P_M = \frac{M}{N+1} \quad (M = 1, 2, \dots, a) \quad (1-3-29)$$

实测洪水:

$$P_m = \frac{a}{N+1} + (1 - \frac{a}{N+1}) \frac{m-l}{n-l+1} \quad (m = l+1, \dots, n) \quad (1-3-30)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^a Q_i + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n Q_i \right] \quad (1-3-31)$$

$$C_v = \frac{1}{\bar{Q}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{j=1}^a (Q_j - \bar{Q})^2 + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \right]} \quad (1-3-32)$$

式中: N 为重现期; n 为实测值个数; a 为特大值项数; l 为从实测值中抽出的特大值项数; M 为特大值排序, $M=1 \sim (a-l)$; m 为实测值排序, $m=1 \sim n$ 。

对洪水或暴雨资料的样本系列,满足独立随机选样的要求,并符合防洪设计标准的含义。而每年有多个洪峰、时段洪量、时段雨量,国内外常见的有年最大值法、年多次法、超

定量法等。年最大值选样法为每年只选一个最大的量值,如年最大洪峰流量,年最大 1 d 洪量,年最大 3 h 连续降雨量等。这样,若有 n 年实测资料就可以选出 n 个年最大值组成一个 n 年系列,作为频率计算的样本。年最大值法一般适用于设计频率较小的情况,如江河上的水利工程设计。年多次选样法为一年多次法,是每年选出最大 K 个数值,因而 n 年资料可以选出 K_n 个值组成一个样本。年多次选样法适合于城市排水规划设计的水文计算。超定量法为首先确定最低选择数值,然后把 n 年资料大于这一选择数值的 M 个值选入,组成一个样本。这一选样方法在我国城市排水设计中应用较为广泛。

1.3.7 曲线数据转换与封闭图形面积计算方法

在进行水文分析计算时,有时需要根据图形参数进行有关数据的计算,如用暴雨等值线图计算流域平均雨量,利用等高线计算水库水位面积库容曲线时,可直接利用图形计算,方便快捷。对于一般格式的图形,可直接由图中曲线生成坐标数据,对图中封闭图形进行面积计算,通过数据转换实现图形套绘,也可以生成 CAD 文件。

由坐标数据可以绘出图形,在应用程序编制和图形处理的软件系统中是很平常的,但有曲线图形,要生成坐标数据,至今还没有通用的方法,因为由坐标数据生成图形是唯一的,而反过来由图形转换为坐标数据是非唯一的。

目前,一般使用 CAD 软件进行绘图处理与计算,在 CAD 中计算曲线长度和封闭图形的面积非常简单,但需要对一般文件格式的图形进行描绘,得到可定义、编辑的 CAD 图形,然后选定曲线计算长度,选定封闭图形单元计算其面积。当图形中曲线较多时,描绘工作量也相应较大。

以下结合水文分析工作实际,探讨提出了利用 VB 实现满足使用要求的曲线转换和封闭图形的面积计算方法,直接对一般格式图形进行计算。

首先实现图形曲线转换为坐标数据,即对任一曲线图形进行坐标数据自动转换,然后可以由图形与图形数据实现图形套绘,对一般格式图形直接计算图形中曲线长度、封闭图形单元面积。操作处理过程简单,计算自动完成。结合专业需要实现计算目标比较方便快捷。

曲线转换为坐标数据后,也可以存成 CAD 能读的脚本文件,用 CAD 直接打开为可处理图形,由 CAD 对图形作进一步的处理,这样可免去大量的描绘工作。

1.3.7.1 曲线数据转换

曲线转换为坐标数据,在理论上是非唯一的,但是,在一个坐标系里,只要有一组坐标数据是曲线上的点坐标组成的,就可以反过来绘出曲线。因此,只要拥有这样一组“含曲线控制点”的坐标数据,就等于有了这条曲线。水文上的一条曲线代表了一个物理指标的分布特性,转换的目的就是寻求一组数据可以反映某物理指标的这一分布。对任一封闭或非封闭曲线,通过像素识别转换为相应的坐标数据,该曲线是指一条连续的曲线,一幅图中有多条曲线,需逐条进行转换。对交叉曲线可设置断点分段转换。

转换的方法:在曲线上选定一点,如其中一个端点,作为基点,以一定步长自动进行搜索,寻求曲线上的第二个点,依次得到第三个、第四个点……直至搜索到曲线的末端,封闭曲线搜索到起点,完成转换计算,输出坐标数据。大小比例上的差异不影响线形和指标的