

# 灌区引水量计算机管理系统的开发研究

李守义<sup>1</sup>, 冯海波<sup>1</sup>, 寇效忠<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学; 2. 宁夏水利工程建设管理局)

**摘要:** 利用迭代法解决了多泥沙渠道水位与流量呈非线性多函数值的多曲线拟合计算问题, 并提出了拟合曲线的合理性检验方法, 以此为基础开发了灌区引水量计算机管理系统, 内容包括系统开发和运行环境, 菜单设计, 子模块功能设计等。工程实例计算表明, 该管理系统功能齐全, 通用性较强, 能满足灌区引水量计算和水量调配要求, 并可作为计算水费的依据, 具有较好的推广应用价值。

**关键词:** 迭代法; 多曲线拟合; 水量计算; 计算机管理系统

**中图分类号:** S275

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2003)02-0093-04

## 1 引言

我国是一个农业大国, 农业生产在很大程度上依赖于灌溉, 特别是在北方地区。随着工农业生产和人民生活用水量的增加, 水量供需矛盾日益尖锐, 计划用水和水量调配工作显得越来越重要。因此, 简单而较准确的计算灌区引水量是计划用水、水量调配和收取水费的基础工作。

随着计算机的普及, 各灌区都在探索引水量计算工作实现计算机化, 但由于各灌区的特殊性, 渠道冲淤变化的复杂性以及引水量计算方法的灵活性, 至今还没有功能齐全、通用性强的软件使灌区引水量计算工作实现计算机化。因此, 研究开发灌区引水量计算机管理系统是非常必要的。

要计算灌区引水量, 首先应建立灌区引水渠道的水位流量关系曲线, 但由于多泥沙渠道水位流量关系曲线不是唯一的, 而是随渠道泥沙的冲淤情况不断变化, 因此, 要根据不同时期的渠道泥沙冲淤情况建立不同的水位流量关系曲线。即使同一时期, 不同水位情况下, 具有不同的水位流量关系曲线, 这需要根据实测资料建立不同时期、不同水位的多族对应关系的水位流量关系曲线, 据此确定引水量。利用计算机自动识别和解决这一复杂问题, 至今鲜见相关报道<sup>[1~4]</sup>。本文根据观测资料, 建立多族对应关系的水位流量关系曲线, 通过反复检验和修正, 最终确定符合多泥沙渠道水位流量关系的分时段拟合曲线即多族对应关系的多曲线, 为准确计算灌区引水量和水量调度提供科学合理的依据, 且全部计算工作实现了计算机化。

## 2 灌区引水量计算方法

灌区引水量是根据引水渠道的实际观测水位, 按水位流量关系曲线确定引水流量, 再根据引水时间计算该时段的引水量, 汇总不同时段引水量即可得到月或年引水总量。引水渠道的水位流量关系曲线用计算机自动

拟合与检验是灌区引水量计算机管理系统开发研究的关键技术问题。因为在灌溉渠道中, 由于泥沙的冲淤变化, 导致渠道过水断面形状在不断地变化, 因此, 不可能是单一的水位流量关系曲线, 而是不同时段可能会有不同的水位流量关系曲线, 这就意味着多族对应关系的多曲线拟合问题。

本文的基本思路是, 将观测数据  $(x_i, y_i, t_i)$  划分为若干组 (即观测数据分类), 对于每一组观测数据, 可按单曲线拟合的方法处理。当各组观测数据分别拟合曲线且通过检验后, 再确定每条拟合曲线的适用条件, 即每条水位流量关系曲线的适用时段, 据此可推求该时段内的引水量。

### 2.1 观测数据分类

首先将观测数据  $(x_i, y_i)$  点绘于平面直角坐标系得到散点图, 根据散点图的分布特点选择拟合曲线条数和各曲线的初始方程, 然后把观测点  $x_i$  代入每个初始方程得到不同的  $y$ , 那个方程求得的  $y$  与实测点  $y_i$  最接近, 则该观测点就属于哪条曲线, 即哪一类。

上述分类方法成功与否, 与给出的初始方程关系密切。初始方程是近似方程, 按此方程分类难免有不合理之处, 甚至有误分, 因此必须对其修正, 消除不合理的分类和误分。消除误分的方法可采用迭代法, 即先按初始方程分类, 然后对每一类数据进行回归计算得到新的曲线方程, 用此新方程替代初始方程再次进行数据分类, 照此循环直到分类结果稳定, 即前后两次分类数据不变, 且全部拟合曲线都通过合理性检验。

### 2.2 多项式曲线拟合方法

观测数据的曲线拟合有多种方法, 如直线法、对数曲线法、指数曲线法和多项式曲线法等, 而多项式曲线拟合对非线性问题适应性强, 而且当阶次足够高时, 可以在幂级数收敛域中以足够的精度逼近非线性模型<sup>[1]</sup>。因此, 本文采用多项式曲线拟合方法。多项式表示形式如下

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n = \sum_{j=0}^n a_jx^j \quad (j = 0, 1, \dots, n) \quad (1)$$

根据实测的  $m$  个互异的数据  $(x_i, y_i)$ , 用最小二乘法确定回归系数  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , 基本原理是函数的回归

收稿日期: 2002-06-26 修订日期: 2003-02-18

作者简介: 李守义, 教授, 研究方向为水工结构计算机仿真分析。西安市金花南路 5 号 西安理工大学水利水电学院, 710048。

值与实测值之差的平方和最小, 即

$$D(a_0, a_1, \dots, a_n) = \min [\sum (f(x_i) - y_i)^2] \\ = \min [\sum (\sum a_j x_i^j - y_i)^2] \quad (2)$$

式中  $j = 0, 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m; m = n + 1$ 。

上式是一个求回归系数  $a_j$  的无条件极值问题, 最佳回归系数应满足一阶偏导数为零, 即

$$\partial (a_0, a_1, \dots, a_n) / \partial a_j = 0 \quad (3)$$

从而得出  $(n + 1)$  阶线性方程组  $\hat{a}_j$

$$\begin{cases} m a_0 + (\sum x_i) a_1 + (\sum x_i^2) a_2 + \dots + (\sum x_i^n) a_n = \sum y_i \\ (\sum x_i) a_0 + (\sum x_i^2) a_1 + (\sum x_i^3) a_2 + \dots + (\sum x_i^{n+1}) a_n = \sum x_i y_i \\ \vdots \\ (\sum x_i^n) a_0 + (\sum x_i^{n+1}) a_1 + (\sum x_i^{n+2}) a_2 + \dots + (\sum x_i^{2n}) a_n = \sum x_i^n y_i \end{cases}$$

解此方程组可得  $a_j$ , 从而可得出多项式拟合曲线。该拟合曲线是否合理, 还要进行合理性检验。

### 2.3 拟合曲线检验

上述回归计算所得拟合曲线是否合理, 必须通过合理性检验, 具体从以下三方面检验:

1) 符号检验 该法主要检验拟合曲线两侧实测点数目分配是否均衡合理。检验的统计量为

$$u = (|k_2 - k_1 p| - 0.5) / (k_1 p q)^{0.5}$$

式中  $u$ ——统计量;  $k_1$ ——实测点总数;  $k_2$ ——拟合曲线计算值与实测值之差  $\Delta y_i$  大于零或小于零的个数;  $p, q$ —— $\Delta y_i$  大于或小于零的概率, 假定均为 0.5。

检验方法是, 视实测点总数  $k_1$  为抽样容量, 验证  $p = q = 0.5$  这个假设条件能否接受, 来判断所拟合曲线是否合理。若  $u < u_{1-\alpha/2}$  (临界值), 则认为合理, 否则不合理。

2) 适线检验 按  $x_i$  递增次序, 检验实测点  $y_i$  与拟合曲线计算值之差  $\Delta y_i$  的正负号变换情况, 用以检查拟合曲线有无明显系统偏离, 检验的统计量为

$$u = [(k_1 - 1)p - k_3 - 0.5] / [(k_1 - 1)pq]^{0.5}$$

式中  $u$ ——统计量;  $k_1$ ——实测点总数;  $k_3$ —— $\Delta y_i$  的正负号变换次数。当  $k_3 \geq 0.5(k_1 - 1)$  时,  $u < 0$ , 表明无明显系统偏离, 可以不进行该项检验。

检验方法是, 视实测点总数  $k_1$  为抽样容量, 假定  $\Delta y_i$  的正负号变换的概率为 0.5, 若  $u < u_{1-\alpha}$  (临界值), 则认为合理, 否则不合理。

3) 偏离数值检验 检验实测点偏离拟合曲线的平均偏离数值是否在合理范围内, 检验参数为

$$S = [\sum (\Delta y_i - \Delta y)^2 / (k_1 - 1)]^{1/2} \\ S_p = S / k_1^{1/2} \\ t = \Delta y / S_p$$

式中  $\Delta y_i$ ——实测点与回归方程计算值的相对偏离数值;  $\Delta y$ ——平均相对偏离数值;  $k_1$ ——实测点总数;  $t$ ——统计量;  $S_p$ ——中间量。

假设  $\Delta y_i$  的总体均值为零, 则上式服从自由度为  $k_1 - 1$  的  $t$  分布。若  $t < t_{1-\alpha/2}$ , 则认为合理, 否则不合理。

## 3 计算机管理系统设计

计算机管理系统设计主要包括系统主菜单设计和

模块功能设计。系统主菜单设计主要是达到各种功能操作可视化, 便于用户操作。模块功能设计主要是根据输入的观测数据建立符合实际情况的不同时期的水位流量关系曲线, 再根据不同时期的过流时间计算引水总量和水费, 最后以各种实用的表格形式输出计算成果。

### 3.1 系统主菜单设计

根据灌区管理工作需要, 选用 Visual Basic 作为本系统的开发工具, Visual Basic 是一种理想的原型设计工具, 在用户界面、数据处理、菜单生成等方面具有强有力的功能, 且便于开发<sup>[2]</sup>。操作系统为 Windows 98 或 Windows 2000; 工作平台为 FoxPro For Windows, Excel 5.0。系统主菜单包括文件、编辑、查看、曲线拟合、曲线检验、计算等, 每个主菜单包含的主要内容见图 1。

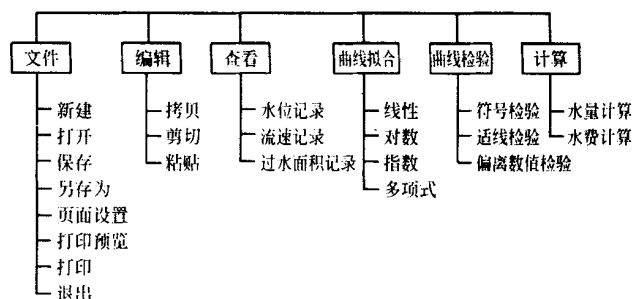


图 1 系统主菜单选项示意图

Fig. 1 Sketch of the main menu

### 3.2 模块功能设计

模块功能设计主要包括观测数据输入、数据分类、曲线拟合、拟合曲线检验、年引水量计算和水费计算、成果输出等模块。

数据输入模块完成基本观测数据 (主要包括水位、流速、观测时间和过流断面特征参数) 的输入, 按观测时间顺序分别输入。

数据分类模块将输入数据按水位  $H$  从小到大排列, 流速和观测时间等参数的排序也随之改变。根据人机对话方式输入初始方程个数及各方程系数, 或根据水位与流量散点图, 选择曲线个数, 并在每条曲线附近选择 3~5 个点, 由计算机拟合初始方程, 然后依据初始方程进行数据分类。

曲线拟合模块是对分类后的每组观测数据进行最佳配线, 得到每一类观测数据的水位流量关系拟合曲线。

曲线检验模块是对每条拟合曲线进行符号检验、适线检验和偏离数值检验。每条拟合曲线均通过上述三种检验, 则进入计算模块; 否则, 用拟合曲线方程代替初始方程, 重新进行数据分类, 直到全部拟合曲线都检验通过为止。

计算模块是先确定每条水位流量关系曲线的适用时段, 然后根据不同时段的水位流量关系曲线较准确地计算出渠道各时段的引水量, 再汇总得到月引水量和年引水量, 最后计算水费。

成果输出模块是根据计算结果编制各渠道引水量月报表, 水费月报表, 收费通知单等, 并按规定的格式输

出。

4 算例分析

为了验证计算程序的可靠性和实用性, 本文采用青铜峡灌区 1996 年唐徕渠(水位与流量呈单曲线)和秦渠(水位与流量呈多曲线)实测资料进行了计算, 并与青铜峡渠首管理处手算成果进行了比较, 本文计算结果与手工整理成果相当吻合。说明本文介绍的分析方法和开发的计算程序是合理和正确的, 而且具有实用性, 对提高灌渠管理水平具有现实意义。

表 1 唐徕渠拟合曲线检验结果对比

Table 1 Contrast of the result tested of regression curve for Tanglai Channel

检验项目	本文结果	手算结果	临界值
符号检验量 $u$	0.768	0.512	1.14
适线检验量 $u$	0.645	0.729	1.28
偏离值检验量 $t$	0.032	0.034	1.65

注: 共 80 个观测点。

表 2 唐徕渠引水总量计算结果对比

Table 2 Contrast of the result calculated of total water diversion for Tanglai Channel  $10^8\text{m}^3$

月份	本文结果	手算结果	前者- 后者	相差/%
4	0.4163	0.4073	0.0090	2.21
5	3.7746	3.7895	- 0.0149	- 0.39
6	3.7371	3.7480	- 0.0109	- 0.29
7	3.3883	3.3951	- 0.0068	- 0.20
8	2.3387	2.3178	0.0209	0.90
9	0.6659	0.6667	- 0.0008	- 0.12
10	0.3459	0.3460	- 0.0078	- 0.03
11	2.0971	2.1049	- 0.0078	- 0.37
$\Sigma$	16.7640	16.7760	- 0.0120	- 0.07

表 3 秦渠拟合曲线检验结果对比

Table 3 Contrast of the result tested of regression curve for Q in Channel

检验项目	本文结果	手算值	临界值
符号检验量 $u$	曲线 I	0.329	0.358
	曲线 II	0.201	0.205
	曲线 III	0.800	0.813
	曲线 IV	0.118	0.132
适线检验量 $u$	曲线 I	0.167	0.158
	曲线 II	免检	免检
	曲线 III	1.02	1.06
	曲线 IV	免检	免检
偏离值检验量 $t$	曲线 I	0.711	0.817
	曲线 II	0.062	0.117
	曲线 III	0.914	0.865
	曲线 IV	0.070	0.102

注: 共 90 个观测点。

表 4 秦渠引水总量计算结果对比

Table 4 Contrast of the result calculated of total water diversion for Q in Channel  $10^8\text{m}^3$

月份	本文结果	手算结果	前者- 后者	相差/%
4	0.1136	0.1125	0.0011	0.98
5	1.4682	1.4711	- 0.0029	- 0.20
6	1.3504	1.3547	- 0.0043	- 0.32
7	1.3090	1.3135	- 0.0045	- 0.34
8	1.0114	1.0143	- 0.0029	- 0.29
9	0.4062	0.4056	0.0006	0.15
10	0.0449	0.0440	0.0009	2.00
11	0.7343	0.7368	- 0.0025	- 0.34
$\Sigma$	6.4380	6.4530	- 0.0150	- 0.23

由于计算整编的内容较多, 限于篇幅, 下面仅将水位流量关系的拟合曲线检验结果和月引水总量及年引水总量计算结果列于表 1~ 4, 以便对比分析。

5 结 语

灌区引水量计算机管理系统的开发研究, 对于加强灌区科学化管理, 促进节水灌溉具有十分重要的意义。本文介绍的计算机管理系统软件, 利用迭代法解决了多泥沙渠道水位与流量呈非线性多函数值的多曲线拟合计算问题, 并提出了拟合曲线的合理性检验方法, 以此为基础开发了灌区引水量计算机管理系统, 已在宁夏青铜峡灌区应用多年, 取得了很好的社会效益和经济效益, 具有很好的推广应用价值。该系统不仅适用于灌区引水量管理, 也能用于水文站的水文资料整编, 其突出的特点是能适用于过水断面形状因泥沙冲淤而变化的实际情况。

[参 考 文 献]

[1] 马 斌, 解建仓, 汪 妮. 多水源引水灌区水资源调配模型及应用[J]. 水利学报, 2001, 9, 69~ 63

[2] 赵子贤, 陆文红, 赵丽花. 灌溉渠系运行计算机模拟技术的开发[J]. 中国农村水利水电, 2001, 2, 9~ 12

[3] 余安仁. 流溪河灌区工程渠首枢纽计算机监控系统开发研究[J]. 水利水电技术, 1999, 2, 29~ 34

[4] Srinivasan K, Neelakantan T R, et al. Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1999, 5, 125~ 131.

[5] 齐仁贵. 非线性回归问题的迭代法在地下水动态研究中的应用[J]. 水利学报, 1998, 10, 29~ 34

[6] 张光汉, 樊正复. 概率论与数理统计[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1991.

[7] 孟桃平, 雷存伟, 尚德功. 红旗渠灌区自动化管理系统开发与实践[J]. 中国农村水利水电, 2001, 2, P17~ 19.

[8] 夏 雨. Visual Basic For Windows 程序设计问题大全[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994.

## Computer management system for water diversion of irrigation area

Li Shouyi<sup>1</sup>, Feng Haibo<sup>1</sup>, Kou Xiaozhong<sup>2</sup>

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Department of Hydraulic Projects of Ningxia, Yinchuan 750004, China)

**Abstract** The iteration method is utilized to compute the multi-curve regression for the nonlinear multiple functional values in the relationship between water level and flow rate in the heavy-silt-carrying channels. The testing method is also proposed for the rationality of the regression curves. Thus, the computer management system for water diversion of irrigation area is developed, which includes the system research, the operating environment, the menu design and the sub module function design. The project computations show that the management system is universal and multiple-functional, and it can meet the demand of the computation and allocation of water diversion. The system can be also applied to the calculating of charge for water resources. It can be applied in a wide extension.

**Key words:** iteration method; multi-curve regression; water diversion; computer management system