

若干农田降雨地表径流计算方法述评

孔莉莉¹ 张展羽¹ 孟佳佳²

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 200098; 2. 淮安市水利规划办公室, 江苏 淮安 223005)

摘要 :对当前国内外农田降雨地表径流预测方法进行综述,介绍降雨地表径流总量预测中的统计分析法、径流曲线法、人工智能法以及降雨径流过程实时预测中的水文学法、基于水量平衡与能量守恒的动力学法等 5 种方法的研究现状和发展趋势,并讨论了各自的优缺点。认为现有预测方法在描述农田降雨入渗产流这一复杂机理问题上还存在着严重的精度问题。提出了进一步的研究方向,继续深入开展农田降雨入渗产流机理研究,以期研发一套较高模拟精度的适用于农田降雨地表径流预测的机理性模型,为进一步防控因降雨冲刷作用引起的土壤侵蚀以及农田非点源污染问题提供理论依据。

关键词 :农田;降雨;地表径流;径流预测方法;综述

中图分类号 :S271 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2010)02-0082-05

Review of prediction methods for surface runoffs from rainfall in farmlands // KONG Li-li¹, ZHANG Zhan-yu¹, MENG Jia-jia² 1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Huai'an Water Resources Planning Office, Huai'an 223005, China)

Abstract :The existing methods for surface runoffs from rainfall in farmlands through the world were reviewed. The current research situation and development trend of the following 5 methods were analyzed : the statistical method, the soil conservation service-curve number (SCS-CN) method and the BP neural network method for the total quantity prediction of surface runoffs from rainfall, and the hydrological method and the dynamic method based on the theories of water balance and energy conservation for the real-time prediction of runoffs. Their advantages and disadvantages were discussed. It was put forward that the above methods had serious precision problems in describing the complicated mechanism of rainfall-infiltration-runoff in farmlands. The further study direction was proposed. The studies on the mechanism of rainfall-infiltration-runoff should be continuously performed so as to develop a set of models with higher simulation precision for the surface runoffs from rainfall in farmlands and to provide theoretical basis for preventing and controlling the soil erosion from the erosion action of rainfall and the problem of agricultural non-point source pollution.

Key words : farmland; rainfall; surface runoff; prediction method of runoff; review

农田降雨地表径流预测是定量研究农田非点源污染物径流输出负荷的前提,对于防控因降雨冲刷作用引起的土壤侵蚀以及农田非点源污染问题有着重要意义。目前用于确定降雨径流量的方法多为直接求定法、水文学法、基于水量平衡与能量守恒的动力学法等。但由于农田降雨径流过程受降雨特征(降雨量、降雨强度、降雨历时等)、下垫面特性(土地利用方式、土壤质地等)以及农业管理措施等众多因素影响,农田降雨径流形成机理非常复杂,并且在以往针对自然区域的降雨径流模型中没有充分考虑作物水分管理措施对农田水文过程的影响。因此,针对国内外现有的各类降雨径流计算方法进行分析比

较,讨论各自的优缺点,并在此基础上提出农田降雨径流预测研究中有待深入探讨的问题。

1 降雨地表径流总量直接求定法

1.1 基于统计理论的径流预测模型

应用统计分析法通常是根据降雨径流这个物理现象的实验观测资料,借助于影响径流过程众多因素中的某个因素或几个主要因素来建立与径流量之间的响应关系。常见的基于统计理论的降雨径流预测方法主要有单因子回归法、多因子线性回归法等。

1.1.1 单因子回归方程

张国华等^[1]分析了南方红壤丘陵地区影响降雨

地表径流量的降雨量、雨强、降雨历时、最大 60 min 雨强、前期土壤含水量等主要因素,并分别拟合得出各因子与径流量的单因子回归方程,研究表明它们之间呈现出较好的相关性,其中降雨量、降雨历时与地表径流量之间多为二次、三次抛物线关系,而降雨强度与产流量则呈指数关系。而段亮^[2]运用实测资料拟合得出太湖旱地降雨历时与累积径流量之间对数回归方程(模型):

$$R_t = a \ln t - b \quad (1)$$

式中: R_t 为对应时间的累积径流量, m^3 ; t 为降雨累积径流时间, min; a 和 b 为常数,与地表覆盖有关。

此类模型结构简洁,需用参数较少,但模型精度较差,在径流量预测应用中存在较大误差。

1.1.2 多因子回归方程

由于仅考虑降雨这一单因子不能全面反映降雨径流特征,众多学者开始考虑建立多个影响因子协同作用的降雨径流预测模型。其中,苏东彬^[3]运用非线性回归方法拟合了地表径流量与降雨量、土壤前期含水量、地形条件和植被覆盖度等因子的多元非线性回归方程:

$$R = \lambda' P^a \omega^b L_s^c (1 - dC) \quad (2)$$

式中: R 为地表径流量, mm; λ' 为影响径流量产生的其他因子的综合系数; P 为降雨量, mm; ω 为土壤前期体积含水率; L_s 为无量纲地形因子; C 为无量纲的地表植被覆盖度; a, b, c, d 为常数。 C 取值按照各径流小区的实地地表植被覆盖率情况来确定,而对于 L_s 的确定,通常采用 Williams 修正后的通用土壤流失方程 MUSLE 中给出的 L_s 来表征,计算公式为

$$L_s = \left(\frac{L'}{22.1} \right)^\gamma (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$$

式中: L' 为斜坡长度, m; θ 为斜坡角度; γ 为指数, $\gamma = 0.6 [1 - \exp(-35.835 \tan \theta)]$ 。

多元统计模型虽然考虑了部分主要影响因子对降雨径流量的共同作用,在特定公式使用的资料范围内有足够的精度。然而在实际应用中并不方便,某些参数的确定必须要有完整的资料,难以应用于没有观测资料的区域,并且缺乏充分的物理基础,可移植性也较差。

1.2 基于人工神经网络的径流预测模型

截至目前,已有的基于统计理论的直接求定模型虽结构简单、便于计算,能够通过多次回归分析来描述径流量与几个影响因素之间的直接关系;但鉴于农田降雨径流与气候因子、下垫面条件以及人类活动等众多因素之间属于一种复杂的非线性关系,国内外学者开始尝试将人工神经网络中的 BP 网络模型引入农田降雨地表径流总量预测中来,这主要是由于人工神经网络是一种较好的模拟非线性输入

输出关系的数学工具,而 BP 网络模型又具有较强的自学习能力和处理非线性问题的能力^[4],且结构简单,性能稳定,善于从大量资料中分析提取宏观统计规律,同时也可用于降雨径流过程模拟。但是这类模型在建立过程中,输入输出因子的选取是关键,直接影响着模拟及预测的精度。刘阳等^[5]在对输入因子选取问题处理上除将降雨强度、降雨历时、坡长、坡度与产流量有直接关系的因子作为输入因子外,提出将土壤、植被、水保措施和入渗等不易获得的因素综合起来用一个糙率因子替代后并同输入,结果表明该方法模拟精度较高,预测效果较为理想。此外,另有研究指出在主要影响因子选取上还可先用逐步线性回归、主成分分析、投影寻踪分类等方法将次要因子剔除后再结合人工神经网络 BP 模型使用,预测效果会更佳。

1.3 基于径流曲线法的径流预测模型

在众多的降雨径流总量计算模型中,美国农业部水土保持局 20 世纪 50 年代提出的 SCS 径流曲线法已得到公认和普遍推广。该方法计算过程简单,所需参数较少,资料易于获得,尤其适用于缺乏详细降雨过程资料的农业小流域,并且有效考虑了小流域的下垫面条件(土壤、坡度、植被、土地利用状况)以及前期土壤含水量等对降雨径流的影响,是一种行之有效的用来模拟小区域降雨产流总量的预测方法^[6]。同时,利用该方法也可对降雨径流过程进行简单模拟。模型以简单的水量平衡为前提,在集水区的实际入渗量与实际径流量之比等于集水区该场降雨前的最大可能入渗量(或潜在入渗量)与最大可能径流量(或潜在径流量)之比的假定基础上建立^[6],即

$$R = \begin{cases} \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & P \geq I_a \\ 0 & P < I_a \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$I_a = \lambda S$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{C_N} \right) - 254$$

式中: I_a 为雨量初损值(植物截留、初渗、填洼), mm; λ 为初损率; S 为潜在入渗量, mm; C_N 为径流曲线数。

SCS 径流曲线公式最初开发应用于美国一些地区,其自然地理状况和水文气象条件与中国的研究区域存在较大差异。因此,在应用过程中有必要对模型的适应性和参数的合理性进行分析,以适应不同研究区域应用 SCS 法模拟和预测降雨径流总量的要求。

1.3.1 对 I_a 的修正

I_a 受土地利用、耕作方式、灌溉条件、植物截

留、下渗、填洼等因素的影响,它通常与该场降雨前潜在的入渗量呈正比关系,美国农业部水土保持局在分析了大量长期实验结果的基础上提出较为合适的比例系数为 0.2,即 $I_a = 0.2S$ 。然而,Ponce 等^[7]研究发现,由于地区间自然地理情况和水文条件的较大变异性, λ 不是一个恒定值,其值在 0~0.3 之间变化。随后王白陆^[8]就此问题结合实例进行了深入研究,指出 λ 的变化范围不宜过大,同时给出了 λ 的适宜范围($0.15 < \lambda < 0.25$)以及确定方法。

1.3.2 对 C_N 的修正

径流曲线数 C_N 是为估算小流域土壤的潜在入渗量 S 而给出的一个综合反映雨前小流域特征的无量纲参数,其主要取决于土壤类型、植被覆盖以及土壤雨前湿度等因素。因此,不同下垫面条件的 C_N 取值大不相同,在应用 SCS 法时同样要对其取值进行修正。贺宝根等^[9]结合上海郊区水旱轮作农田的径流观测数据,经多次调试分别给出了水田和旱田的 C_N 修正值,即旱作农田 C_N 取值 78、稻田 C_N 取值 93 时模拟结果较为满意。

另一方面,在径流曲线公式中仅涉及由降雨量资料推算径流总量,没有考虑降雨历时和雨强对初损及 C_N 值的影响,并且在应用时对前期土壤水分等级划分及土地利用管理方式分类过于笼统,主观因素较强,这些都会不可避免地影响模型的模拟精度及使用效果^[6]。因此,王英等^[10]结合黄土高原地表径流多以超渗产流形式存在的特点,将降雨强度因子引入了径流曲线公式,通过不断尝试,给出了比较适合黄土高原地区的降雨修正经验函数式(式(4))。经实际应用发现引入降雨强度修正函数显著提高了径流曲线模型的径流预测精度,具有一定的应用价值。

$$P_a = P \left(\frac{I_{30}}{I} \right)^\beta \quad (4)$$

式中: P_a 为对地表径流有直接贡献的降雨量(用其代替径流曲线公式中的总降雨量,所对应的雨强大于土壤入渗速率),mm; I_{30} 为最大 30 min 降雨强度,mm/h; I 为每场降雨的平均雨强,mm/h; β 为降雨强度修正系数。

2 降雨地表径流机理过程定量描述

2.1 基于水文学方法的产流过程预测模型

一次降雨产生的地表径流通常是指地表供水与下渗、蒸发、植物截留及填洼等综合作用后的地面积水。整个农田水体循环过程满足质量守恒定律。在早期研究中,白清俊^[11]基于这一定律,通过分析农田水分各种消耗途径给出水量平衡表达式:

$$R(t) = \int_0^t I dt - \int_0^t I_n dt - \int_0^t e dt - \int_0^t S_d dt - \int_0^t f dt \quad (5)$$

式中: $R(t)$ 为地表径流深,mm; I 为降雨强度,mm/min; f 为入渗强度,mm/min; e 为蒸散发率,mm/min; I_n 为植物截留率,mm/min; S_d 为填洼率,mm/min。

若已知各变量与时间关系函数,可计算一次降雨的地表径流总量,同时可以获得降雨过程中各时刻的径流量。但在实际应用中取得各变量与时间函数的关系式较为困难,并且该方程(式(5))也未考虑到农田中作物生长过程的需水要求。另一方面,许多研究者为满足农业生产的实际需要,从水田和旱田的不同作物生长需水要求着手,结合较简单的降雨产流机制,推导出适用于水田与旱田作物生长的不同降雨产流模型^[12]——水田产流模型及旱田产流模型。

2.1.1 水田产流模型

水田产流计算主要考虑的因素有水田的适宜水深上限 H_1 与下限 H_2 、耐淹水深 H_3 、水田的下渗及灌排方式。因此,水稻生育期中任一时刻的农田水分变化可采用水量平衡方程递推得^[13]

$$H_{t+\Delta t} = H_t + P_{\Delta t} + m_{\Delta t} - W_{C\Delta t} - d_{\Delta t} \quad (6)$$

式中: $H_{t+\Delta t}$ 为 Δt 时段末计算所得的田间水层深度,mm; H_t 为 Δt 时段初计算所得的田间水层深度,mm; $P_{\Delta t}$ 为 Δt 时段内的降雨量,mm; $W_{C\Delta t}$ 为 Δt 时段内的田间耗水量(包括稻田腾发量和下渗量),mm; $m_{\Delta t}$ 为 Δt 时段内的灌溉水量,mm; $d_{\Delta t}$ 为 Δt 时段内的排水量,mm。

若已知时段内的降雨量、田间耗水量以及时段初的田间水层深等,可递推时段末的田间水层深度,再与水稻的适宜水深和耐淹水深进行比对分析,确定是否进行排水,即可获得时段出流量,而累积排水出流总量则为此次降雨的径流累积总量。

2.1.2 旱田产流模型

旱作物生长要求在耕作层(土壤计划湿润层)土壤内保持适宜的含水量,通常以田间持水量为上限,凋萎系数为下限。对于旱作,在整个生育期内降雨过程中的任何一个时段,土壤计划湿润层内的水量平衡方程^[13]为

$$W_{t+\Delta t} = W_t + W_{r\Delta t} + P'_{\Delta t} + k_{\Delta t} + m_{\Delta t} - E_{T\Delta t} \quad (7)$$

式中: W_t 和 $W_{t+\Delta t}$ 分别为时段初和时段末土壤计划湿润层内的储水量; $W_{r\Delta t}$ 为 Δt 时段内随计划湿润层增加而增加的水量,若在该时段内无湿润层增加则无此项; $P'_{\Delta t}$ 为 Δt 时段内保存在土壤计划湿润层中的有效雨量; $k_{\Delta t}$ 和 $E_{T\Delta t}$ 分别为 Δt 时段内地下水补给量及作物田间需水量。

旱田的整个计算过程及产流机制描述类同于水田。修正后的水量平衡方程式(式(7))虽能较全面

地描述水田和旱田中不同作物生长条件下降雨径流总量及过程量与各变量之间的函数关系,但该方程中降雨强度、入渗强度、植物截留率、蒸散发率以及填注率等关键要素仅是时间的函数。然而事实上这些变量不仅受制于时间因素,而且是多个因素共同作用的结果。例如入渗强度除与时间有一定关系以外,还取决于下垫面条件(土壤质地、前期土壤含水量等)。因此,徐志红^[14]针对这一问题,指出对于某一时刻的田块来说,降水量、渗漏量、蒸散量、排水量、灌水量、作物吸收量、土壤蓄积量之间存在着复杂的非线性关系:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial t} \pm \frac{\partial D}{\partial t} \pm \frac{\partial I'}{\partial t} + \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

式中: F 为土壤入渗量,mm; E 为田间蒸发量,mm; D 为排水量,mm; I' 为灌水量,mm; W 为土壤含水量,mm; C 为作物吸收量,mm。

方程(8)虽然物理意义明确,涵盖较为全面,但由于方程式中各变量与相应影响因子间的函数难以确定,导致模型求解困难。因此在实际应用时多把方程中难以获取的参数项在满足假定条件的前提下进行简化处理,这样势必会影响到模拟精度。

2.2 基于水动力学方法的产流过程预测模型

随着对降雨径流机理过程研究的深入,各国学者开始着手将水动力学知识应用到降雨径流这一复杂过程的模拟中来。一般地,在不考虑根系吸水与田面蒸发等机制的前提下,农田降雨径流过程主要用入渗过程和坡面漫流过程两部分来描述。早期的研究中,入渗过程通常可用土壤水分运动基本方程表示^[15],而坡面漫流过程则多用圣维南方程为基础建立的不同非线性运动波方程来描述,主要包括水流连续方程和动量方程^[16]。但因影响降雨径流的因素众多以及大量参数的难确定性,再加上模型求解困难,机理性模型发展较为缓慢,直到现阶段计算机技术的高速推进,农田降雨径流机理性预测模型才得到较好的开发应用。其中,张书涵等^[17]通过天然降雨条件下坡地水量转化机理的分析,提出了描述降雨入渗、坡面径流和土壤水分运动的坡地水量转化动力学模式。模型中采用了坡面承雨强度、饱和含水率结皮修正系数等概念,并考虑了坡度、坡向和雨滴倾斜对坡面接受降雨的影响及结皮对入渗量的影响,经野外试验数据检验,模型精度较高。之后,张国华等^[1]又对其进行修正,除考虑植物截留、下渗等因素对产流过程的影响以外,还着重分析了降雨初始动量、风向、雨强变化以及表面张力等各种因素对坡面薄层水流的影响,实现了对农田降雨入渗产流过程的实时模拟。模拟结果更加符合实际,但是仅对水流运动沿坡面纵向进行了一维模拟,同时

忽略了坡面横向上降雨和入渗的空间变异性以及降雨过程中的风向变化,因此,在今后的研究中还需要进一步改进。

3 结 语

目前,虽然国内外许多学者对自然降雨条件下农田地表径流流失机理及其影响因素都做了大量研究,并在此基础上提出了众多计算方法,但这些方法多是针对自然区域开发的以植物截留、下渗、填注、蒸散发等作用要素为主来建立降雨径流模型,而将作物水分管理因素纳入其中进行综合考虑的农田降雨地表径流模型研究较少^[18];另一方面,从现有模型的应用方面来看,还多是借用相对简单的经验模型,而对能够描述农田降雨入渗产流这一复杂机理的模型,因其参数众多,率定困难等因素,应用较少。因此,针对这一系列问题,在继续深入探讨农田降雨入渗产流机理过程的基础上,开发一套集土壤入渗、蒸散发、作物截留及水分管理等多模块于一体的,能充分反映农田产汇流机理过程的农田降雨径流机理性模型,对进一步防控因降雨冲刷作用引起的土壤侵蚀以及农业非点源污染问题有着重要作用。

参考文献:

- [1] 张国华,张展羽,左长清,等.坡地自然降雨入渗产流的数值模拟[J].水利学报,2007,38(6):668-673.
- [2] 段亮.太湖流域典型旱地氮磷向水体迁移特征研究[D].合肥:安徽农业大学,2006.
- [3] 苏东彬.太湖地区典型农业小流域非点源污染研究[D].南京:河海大学,2007.
- [4] 赵鹏宇,徐学选,王玉,等.黄土区不同土地利用方式下径流量的神经网络模拟[J].水土保持通报,2008,28(5):144-147.
- [5] 刘阳,李海英,王连元,等.基于BP神经网络的坡面降雨产流预测[J].吉林大学学报:信息科学版,2007,25(2):188-191.
- [6] 房孝铎,王晓燕,欧洋.径流曲线数法(SCS法)在降雨径流量计算中的应用——以密云石匣径流试验小区为例[J].首都师范大学学报:自然科学版,2007,28(1):89-92.
- [7] PONCE V M, HAWKINS R H. Runoff curve number: has it reached maturity[J]. Hydrologic Engineering, 1996, 1(1):11-19.
- [8] 王白陆. SCS产流模型的改进[J]. 人民黄河, 2005, 27(5):24-26.
- [9] 贺宝根,周乃晟,高效江,等.农田非点源污染研究中的降雨径流关系——SCS法的修正[J].环境科学研究,2001,14(3):49-51.
- [10] 王英,黄明斌.径流曲线法在黄土区小流域地表径流预测中的初步应用[J].中国水土保持科学,2008,6(6):87-91.
- [11] 白清俊.黄土坡面细沟侵蚀带产流产沙模型研究[D].杨凌:西北农林科技大学,1999.

[12] 朱映新. 苏州市降雨径流关系及下垫面变化对径流量影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[13] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 34-39.

[14] 徐志红. 靖江市水稻大田种植期非点源氮污染负荷计算及控制对策[D]. 南京: 南京理工大学, 2002.

[15] 宋孝玉, 康绍忠, 沈冰, 等. 黄土区不同下垫面农田降雨入渗及产流关系的数值模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 1-5.

[16] 黄新会, 王占礼, 牛振华, 等. 水文过程及模型研究主要进展[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 105-108.

[17] 张书函, 康绍忠, 蔡焕杰, 等. 天然降雨条件下坡地水量转化的动力学模式及其应用[J]. 水利学报, 2009, 40(4): 55-62.

[18] 代俊峰, 崔远来. 基于 SWAT 的灌区分布式水文模型: I 模型构建的原理与方法[J]. 水利学报, 2009, 40(2): 145-152.

[19] 王船海, 王娟, 程文辉, 等. 平原区产汇流模拟[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 627-632.

[20] 吴伟, 王雄宾, 武会, 等. 坡面产流机制研究刍议[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 84-86.

(收稿日期: 2009-06-09 编辑: 高建群)

(上接第 69 页)

建议取减压井的间距为 12 m, 井径为 0.8 m, 底高程为 -10.00 m, 沿堤岸边坡排水沟布置。

5 结 语

根据稳定渗流基本理论, 采用等效连续介质模型建立某分洪道典型区段的三维有限元模型, 分析了堤体及地层的渗流特性, 在渗透坡降超出允许值的情况下, 采用减压井措施, 并通过计算确定合理的减压井间距。

a. 在开挖分洪道过程中, 部分区段弱透水性土层全部或部分被挖除。这些区段失去了表面弱透水性地层的“铺盖”作用, 使得下卧中等透水性土层直接面临分洪道内的洪水, 从而导致渗流出口(排水沟附近)的渗透坡降增大, 超出了相应土体的允许渗透坡降。

b. 采取减压井作为减小渗透压力的工程措施, 减压井间距应不超过 15 m。建议取减压井的间距为 13 m, 井径为 0.8 m, 底高程为 -10.00 m, 沿堤岸边坡排水沟布置。此时最危险剖面的最大坡降可减小至

0.60 以下。

参考文献:

[1] 刘铁龙. 堤防渗流控制特点及其设计[J]. 西北水电, 2004(4): 36-38.

[2] 李宁新. 双层堤基渗流与防渗问题分析[J]. 水利规划设计, 2000(2): 44-47.

[3] 速宝玉, 沈振中, 赵坚. 用变分不等式理论求解渗流问题的截至负压流[J]. 水利学报, 1996, 27(3): 22-29.

[4] 沈振中, 毛春梅. 稳定渗流场流网的计算与自动化绘制[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 1994, 22(5): 75-77.

[5] 张秀勇, 曹陈, 刘汉龙, 等. 潮汐对南通长江堤防渗流影响试验分析[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(2): 26-28.

[6] 周志芳, 汪斌. 蚌埠闸减压井减压效果分析评价[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19(2): 29-31.

[7] 张伟, 许继军, 吴昌瑜. 可拆换过滤器减压井的应用研究[J]. 人民长江, 2009, 40(3): 81-83.

[8] MANSUR S I, POSTOL G, SALLEY J R. Performance of relief well systems along Mississippi River levees[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2000, 126(8): 727-738.

(收稿日期: 2009-06-24 编辑: 高建群)

(上接第 81 页)

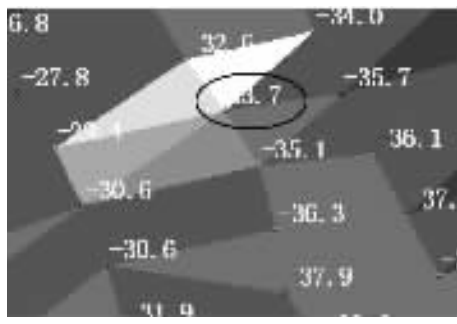


图 7 TIN 中发现错误处(单位: m)

3 结 语

河道地形数据的应用和需求相当广泛, 地形数据是构建高精度 DEM 的基础。笔者对在 CAD 河道地形数据转换入库(GIS)过程中涉及的高程点数据的获取、等高线高程的确定、高程数据粗差探测等方

面进行研究, 实现了在少量人工质量控制的前提下高效率地将 CAD 河道地形数据向 GIS 数据自动转换与入库。该高程数据提取方法具有准确、快捷和实用的特点。

参考文献:

[1] 丁贤荣, 王文, 杨涛, 等. 河道数字地形信息系统与长江镇扬河段 GIS 研制[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 116-119.

[2] 许捍卫, 何江, 柯红军, 等. 长江江苏段河道 DEM 建立方法研究[J]. 测绘工程, 2006, 15(4): 33-36.

[3] 蒋森, 张琴. 基于 ArcGIS Engine 的水下间断等高线自动连接研究[J]. 现代测绘, 2008, 31(3): 32-34.

[4] 杨晓云, 顾利亚, 岑敏仪, 等. 基于不同大小窗口的移动曲面拟合法探测不规则 DEM 粗差的一种方法[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 148-153.

(收稿日期: 2009-05-05 编辑: 高建群)