

基于渭河下游 DEM 的洪水淹没分析与模拟

李天文¹, 吴琳², 曹颖¹

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069; 2. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘要: 基于数字高程模型的栅格结构, 以渭河下游洪水淹没数据为基础, 依据无源淹没和有源淹没的原理, 并结合 ERDAS 8.5 的虚拟 GIS 模块实现了无源淹没的三维可视化模拟。初步演示了洪水泛滥时的动态淹没过程, 促使相关部门高度重视治洪工作。并给政府制定防洪、治洪措施提供了理论依据, 从而为进一步开展治洪工作开拓了更广阔的前景。

关键词: 数字高程模型; 淹没; ERDAS; 三维可视化

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2005)04-0053-04

中图分类号: P333.2; P208

Flood Analysis and Simulation of Lower Reaches of Weihe River Based on DEM

LI Tian-wen¹, WU Lin², Cao Ying¹

(1. Urban and Resource Department, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China;

2. Xi'an University of Electronic Science and Technology, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China)

Abstract: Based on grid of DEM, we take the lower reaches of Weihe flood data as a basis, and combined with Virtual GIS module of ERDAS 8.5, to realize visualized simulation in 3D of non-fountainhead flood according to principle of fountainhead and non-fountainhead. We demonstrate elementary dynamic submerge course of flooding, so as to impel the departments concerned to attached great importances to flood control, and to provide academic foundation for governmental planning measure, therefore to exploit wider prospect for developing governing flood work further.

Keywords: DEM; flood; ERDAS; visualization in 3D

我国是一个洪水多发性国家, 建国以来, 虽然各大江河的治理普遍开展, 区域防洪抗灾能力大幅提高, 但灾害损失仍在持续增长。每年因为洪水淹没造成的损失难以估计, 尤其是在渭河下游, 由于三门峡水库的建立, 引起潼关高程不断抬升, 造成渭河下游泥沙淤积, 给防汛带来不利影响, 致使 2003 年 8 月底至 10 月上旬发生了自 1981 年以来最大的一次洪水, 给渭河下游两岸的人民群众带来了严重的灾害。

近年来, 洪水淹没模拟分析已经引起了国家和很多相关专家的高度重视, 成为重要的研究课题之一。随着 GIS 技术的日趋成熟, 许多研究者将 GIS 空间分析技术与水文分析模拟相结合, 不过不同的人研究洪水淹没的角度不同, 侧重点也不同。有的研究者从矢量角度出发, 而有些则是从栅格数据出发来分析地貌关系进行洪水淹没的计算和预测。本文以渭河下游的 DEM (Digital Elevation Model) 数据为数据源, 采用栅格图像模式下特征点网格蔓延算法, 计算在一定的降水量或洪水水位下的淹没区范围, 并结合 ER-

DAS 8.5 软件实现三维可视化, 以达到分析三维地表的洪水淹没状况的目的。

1 DEM 数据的生成及预处理

1.1 DEM 数据的生成

将渭河下游华县、华阴至潼关一带 15 万的地形图扫描后, 在 ArcView 下进行数字化, 通过内插数据点来生成 DEM。

(1) 在 ArcView 的界面中选择 Add Theme, 按照路径, 将文件类型为 Image Data Source 的地形扫描图调入 ArcView 中。

(2) 在 View 下拉菜单里选择 New Theme, 生成一个点文件矢量层。

(3) 在扫描底图上采点, 采点时尽量兼顾整体地形, 如在平坦地区少采点, 在复杂地区要进行合理的加密, 以使生成的 DEM 更加逼真, 地貌特征得以更好地展现, 并减少数据冗余。采点的同时要附上其所对应的高程值 (如图 1)。

收稿日期: 2004-06-28

资助项目: 国家软科学研究计划项目 (2004DS3D026); 陕西省科学技术发展计划项目 (2003K12-G5)

作者简介: 李天文 (1957-), 男 (汉族), 陕西户县人, 副教授, 主要从事 GIS、GPS 方面的研究工作。电话: 13008418808, E-mail: tianwenli@126.com。

(4) 在 Surface 的下拉菜单中选择 Interpolate Grid(内插点),其中 Value Field 选 elev(高程),生成的 DEM 如图 1。

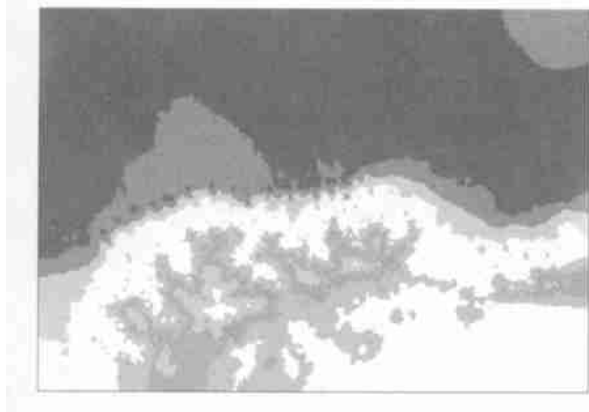


图 1 渭河下游 1:5 万 DEM

1.2 DEM 数据预处理

用 DEM 数据做各种分析运算的时候,经常会发现某些异常点,这些点与周围点构成的地貌形态与实际的地貌形态并不相符,甚至产生矛盾的情况。这是因为采集 DEM 数据时,由于选取精度的影响,忽略了许多中间地貌形态,从而造成异常现象。这些数据的出现常常会影响正常的分析,特别是在判别地表中洼地的时候,时常会出现许多异常的洼地,故称之为伪洼地。伪洼地的出现会误导水流方向,因此,在进行洪水淹没分析之前,必须找出这些伪洼地并且将其去除。

1.2.1 寻找洼地底点 洼地底点具有这样的特性:该点 4 周的点(可从 4 方向邻域或 8 方向邻域来判断)的高程大于或等于该点的高程。例如,从 8 方向邻域来判断时,要根据以下条件来判断:如果 $Height(i, j) < Height(k, m)$ 其中, $i-1 \leq k \leq i+1$ 且 $k \neq i, j-1 \leq m \leq j+1$ 且 $m \neq j$ 则点 (i, j) 可以放入洼地底点栈中(详见表 1)。

表 1 洼地底点的判断 [(k, m) 取值]

$i-1, j-1$	$i-1, j$	$i-1, j+1$
$i, j-1$	i, j	$i, j+1$
$i+1, j-1$	$i+1, j$	$i+1, j+1$

现实地貌中,满足洼地判断条件的区域有可能是平原地区或小平地,在这里不考虑这种情况,即所有相连切高程相等的最低点均视作可盛水区域的洼地处理。

1.2.2 剔除伪洼地点 (1) 伪洼地的判断。由于 DEM 数据误差的影响,满足上述条件的点并非都是真正的洼地底点。DEM 分辨率的影响或者采集时所

产生的误差的影响,使得某单个点或某连续的几个点的高程低于周围点的高程,但并不是真正意义上的“洼地”,形成伪洼地。对于这些伪洼地,要引入一个面积阈值或洼地容积阈值对其进行去除。即当洼地面积或容积小于某一阈值时,将它视为伪洼地,不会产生淹没后果;当大于这一阈值时,则认为该洼地当蓄水达到某一程度时,会产生洪水淹没现象并会产生淹没后果。

此处引入的面积并不是我们平时所指的地形表面的面积,而是指当洼地被水填满后的水面面积。在规则格网的 DEM 数据上,不同高程的点映射到 XY 平面上以后形成的面都是规则的矩形格网,所以算被淹地的水面面积就简化为求所淹没的三角形在 XY 面上投影的面积。而每个格网三角形投影到 XY 平面上的面积都是相等的(以 S 表示),所以被淹没的洼地的水面面积 S 为

$$S = S \times N = 1/2 \times D_x \times D_y \times N$$

式中: D_x —— 格网 X 间隔; D_y —— 格网 Y 间隔; N —— 洼地内所淹没的三角形的个数。

计算洼地容积的思路为:每一点的容积是以该点所在的洼地高度减去该点的值为高度,以某值为边长,底面为正方形(或矩形)的柱体的容积。将洼地中高度值小于洼地溢口点的高度值的点的容积累加后,就得到洼地的容积。

(2) 伪洼地的去除。伪洼地的去除可通过修正 DEM 数据来实施,具体方法有多种。将伪洼地底点高程赋以该点周围点的最低点高程,或者取周围点的平均值,或者通过某一种差分算法获得高程值均可。图 2 为使用 ArcView 填充伪洼地的对比图。

2 淹没分析

2.1 无源淹没分析

无源淹没中,凡是高程低于给定水位的点都记入淹没区,算作被淹没的点,这种情形相当于整个区域大面积均匀降水,所有低洼处都可能积水成灾。从算法分析上看,这种情况因不涉及到区域连通、洼地合并、地表径流等复杂问题,分析起来比较简单(图 2)。

2.2 有源淹没分析

有源淹没情况下,水流受到地表起伏特征的影响,在这种情况下,即使在低洼处,也可能由于地形的阻挡而不会被淹没。造成淹没的原因除了自然降水外,还包括上游来水、洼地溢出水等。在实际情况中,有源淹没更为普遍也更为复杂。有源淹没涉及到水流方向、地表径流、洼地连通等情况的分析。图 3 为有源、无源淹没对比示意图。

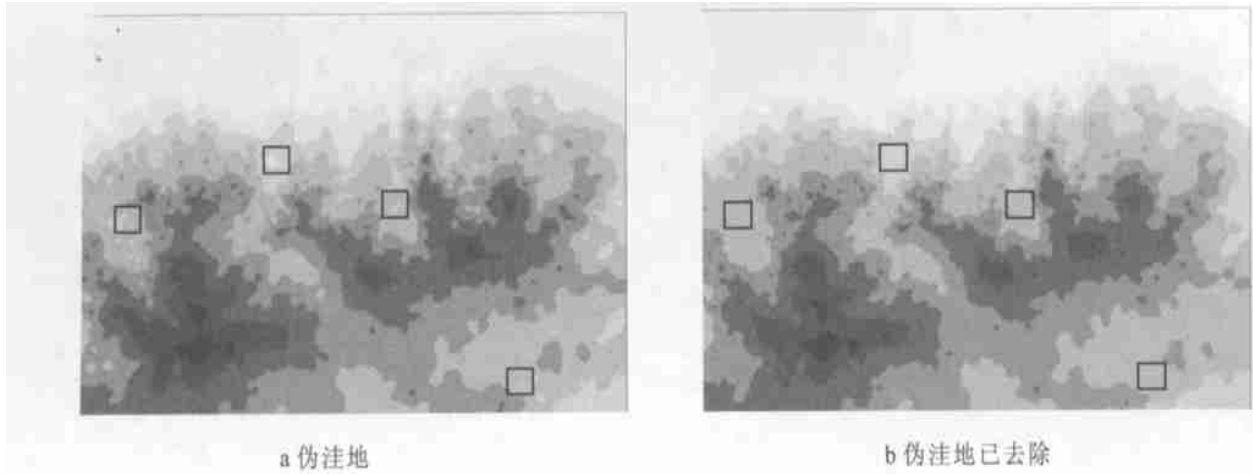


图 2 伪洼地去除前后对比图

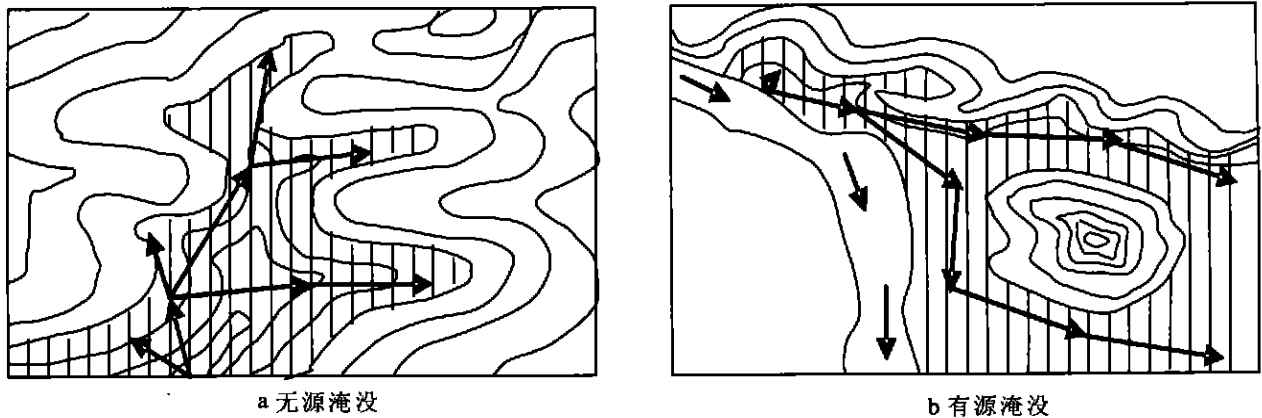


图 3 有源、无源淹没对比示意图

3 ERDAS 洪水淹没三维模拟

3.1 洪水淹没范围的确定

填过的 DEM 用格网的高程数字表示,每一元素都有自己的属性值,即高程值。从左上角的元素开始搜索,首先要规定好淹没高程,去年渭河下游洪水的淹没高程为 340 m 多,在这里为了更好地示意我们设置洪水高程为 380 m,将当前搜索的像元高程与规定的洪水高程进行比较,如果当前值比洪水高程值小就将该像元存入缓冲区,进行淹没面积的累加,然后比较下一个像元,寻找下一像元的顺序为从左到右,从上到下;如果当前值比洪水高程值大就不将该像元纳入缓冲区,直接搜索下一像元,依照这种方法将所有像元都搜索一遍,直到最后一个像素。这样高程值低于规定值的淹没范围就确定出来了(如图 4)。

此图中深色部分是所有高程低于 380 m 的区域,从整个范围确定过程来看,这是无源淹没的面积,只考虑了大面积低于规定高程的范围,而没有考虑上来水、地表径流、以及洼地连通等实际情况。

3.2 洪水淹没三维可视化的建立

ERDAS IMAGINE 是美国 ERDAS 公司开发的专业遥感图像处理与地理信息系统软件,以模块化的方式提供给用户。本次实验使用的是 Virtual GIS (虚拟 GIS) 模块,具有三维飞行、虚拟世界、视域分析、动画制作的强大功能,具体实现步骤如下。

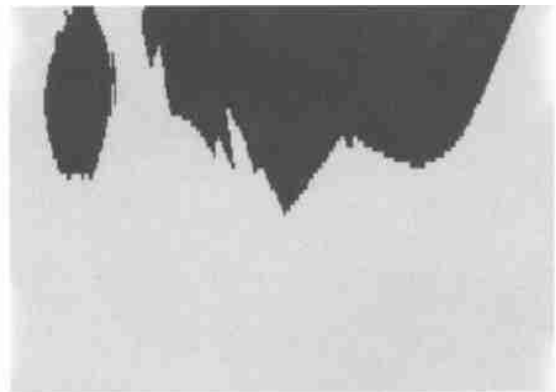


图 4 洪水淹没范围

(1) 首先把在 ArcView 中做好的 Grid 格式的 DEM 调入 ERDAS 中。然后再在 ERDAS 下的 View

视窗中打开做好的 Grid 格式的 DEM,并直接另存为 IMG 文件。

(2) 打开 IMG 文件,在 Virtual GIS 的下拉菜单中点击 Virtual Viewer 视窗,File Open DEM Select Layer to Add 对话框,选择文件并设置参数。确定文件类型为 DEM;确定数据波段(Band[#])为 1;DEM 显示详细程度(Level of Detail %)为 20。

DEM 现实的详细程度用于确定虚拟 GIS 视窗中显示 DEM 的分辨率高低,减小该参数有利于加快显示速度但降低了分辨率,相反,增大该参数有利于三维视景的效果表达,但影响交互编辑操作的速度。

(3) 调整视景特性。虚拟 GIS 视景特性包括多个方面,具体调整过程如下。Virtual GIS 视窗菜单条 View Scene Properties Scene Properties 对话框:在 DEM 栏目中

DEM 垂直比例(Exaggeration):25 拉伸 25 倍
DEM 地面颜色(Terrain Color):White Green
视阈范围(View Range):13526.4 feet
仅对上层图像进行三维显示:Render Top Side Only

在 Background 栏目中

确定背景类型(Background Type):Fade Color (渐变颜色)
选择地面颜色(Ground):Brown
选择渐变范围(Fade Sky From Horizon):20 Degree
地面颜色发生渐变:选择 Fade Ground Color

在(Motion 栏目)中

设置漫游速度(Motion Speed):25 Meters
距离地面高度(Terrain Offset):160 feet
自动进行冲突检测:Collision Detection
选择漫游距离范围(Seek Using):75 Present Distance

(4) 调整太阳光源位置。太阳光源的位置包括太阳方位角、太阳高度、以及光线强度等参数,具体设置如下。Virtual GIS 视窗菜单条:View Sun Positioning 对话框。

在 Sun Positioning 中

首先设置为使用太阳光源:Use Lighting
设置为自动应用参数模式:Auto Apply
太阳方位角(Azimuth):133
太阳高度(Elevation):40.5
光线强度(Ambience):0.5

(5) 变换视景详细程度。Virtual GIS 视窗菜单条:View Level of Detail Control Level of Detail 对话框,设置 DEM 显示的详细程度(DEM LOD):80%;图像显示的详细程度(Raster LOD):100%。

(6) 产生三维全景视窗。虚拟 GIS 视窗是一个三维视窗,随着三维漫游等操作的操作,视窗中所显示的可能只是一个三维视景的一部分,致使往往搞不

清初观测点的位置以及观测目标状况,二维全景视窗能解决该问题:

Virtual GIS 视窗菜单条:View Greate Overview Viewer(linked) ERDAS IMAGINE 二维全景视窗。

IMAGINE 二维全景视窗中不仅包括虚拟 GIS 三维视窗中的全部数据层,其特点在于它其中的定位工具由观测点位置、观测目标、以及连接观测点与观测目标的视线组成,观测点和观测目标可以任意移动,定位工具也可以整体移动。同时,还可以通过一个菜单条来编辑定位属性:Utility Select Properties Eye/ Target Edit 对话框,设置:

观测点的确切位置(Eye):X, Y

观测目标的确切位置(Target):X, Y

观测点与观测目标的颜色(Select Color):Red

做完上述操作就可以将该文件存成虚拟 GIS 文件,取名为 submerge.vwp。

在此基础上还应叠加一些属性数据层,诸如矢量层、洪水层、注记层等,但本次实验所采用的渭河下游数据是由大片面积的农田组成,不需要叠加矢量层和注记层。现在就剩创建一个洪水层面,创建洪水层有两种方法一个是 Fill Entire Scene 模式,一个是 Create Fill Area 模式,由于现在要演示无源淹没,所以第二种模式比较适合,它是可以选择点进行填充,Virtual GIS 将模拟闭选择点低的地区所构成的“湖”的范围,并算出面积和体积。

(7) 创建洪水层。Virtual GIS 视窗菜单下:File New WaterLayer Create Water Layer 对话框。确定路径后,洪水层文件名 virtual_water 0.fld. 建立好后,将自动叠加在 GIS 视景之上,在虚拟视窗菜单条中已经增加了一项 Water 菜单,其中可以对洪水层进行参数设置。

用 Create Fill Area 模式对前面创建的洪水层进行编辑:Water Create Fill Area Water Properties 对话框。在该对话框中点击 Select Point 按钮,并在虚拟视窗中点击鼠标来确定一点,那么该点的坐标与高程就会显示在对话框中,在此过程中可以对洪水的颜色、洪水的高程、以及填充模式随时修改,重复上述操作,可以产生多个洪水淹没区域。为淹没前与淹没后的三维视图(见附图 15)。

4 结 语

使用 ERDAS 8.5 对无源淹没进行三维可视化模拟,使得对洪灾情况一目了然,给人们一个更加直观感性的认识。

(下转第 90 页)

2.4.3 城区排水系统 县城近 5 km^2 范围内共修筑排水系统 2.505 km , 除小南街 105 m 排水系统是 1990 年修筑外, 其余 4 个排水系统均系 1980 年以前修筑, 不仅规格低, 而且老化失修现象严重, 加之是雨污合流, 导致地下排水系统远远不能满足暴雨时段的行洪需求。地表未修筑人工排水系统, 主要依靠主街和城区道路行洪。改革开放后, 县城社会经济发展迅速, 城区建筑物快速增加。由于城区空间有限, 建筑物增长方式主要是内部高度密化, 导致城区除了东西向街道和南大街可排洪外, 在南、北两侧少有行洪口, 总体上地表排水不畅。一旦集水, 地表径流均汇集于这些少量的主街区和城内干道向东经东关泻入七星河。虽然县城地势自西北向东南降低, 街道行洪速度很快, 但人为地加强了洪水危害。7·14 特大暴雨主街水深愈 50 mm , 流速极快, 停靠街边的小轿车被洪水下冲 200 m 余至东关。因灾死亡的 2 人也是从西关沿主街道下冲数百米至七星河入^土地段。街道洪水下泄对城区道路和基础设施破坏严重, 直接经济损失 9.32×10^6 元, 并使沿街店铺大量涌水损失惨重。

排水不畅是 7·14 暴雨灾害致使县城损失惨重的最重要因素。

2.5 防灾意识

扶风县属半干旱地区, 年均降水量 540 mm 。干旱是该县最严重的自然灾害, 当地有“十年九旱”之说, 气象资料显示 50 a 来年均干旱 2.9 次。而大风、暴雨、冰雹等灾害仅是局地性灾害, 1954—2004 年以来, 特大暴雨和暴雨灾害共发生 19 次。因而人们防洪意识淡漠, 防洪抗灾措施和设施不到位, 致使暴雨灾害虽少、且多局地灾害, 但历史上的灾害损失却最为严重。1980 年以来 5 次时段降水量超过 50 mm 的暴雨, 有 4 次造成了人员伤亡。

历史资料显示, 扶风暴雨灾害有增多的趋势, 1954—1980 年的 27 a 间共发生暴雨灾害 9 次, 1980—2004 年的 24 a 间发生 10 次, 其中 20 世纪 80 年代发生 3 次, 90 年代发生 4 次, 2000 年以来的 4 a 间发生 3 次。

可见, 增强群众的防灾意识, 是减少暴雨灾害损失的重要措施。

3 结 论

扶风县的地形、地表物质形态有利于夏季强对流天气的形成与发生, 局地暴雨灾害发生的可能性很大; 前早为 7·14 特大暴雨蓄积了强大的能量; 高空冷涡、西南暖湿气流和冷锋过境是 7·14 特大暴雨发生的直接原因; 近年边坡动力强化是 7·14 强对流天气过程影响范围较大, 并汇合于县城形成特大暴雨的原因之一; 县城空间狭小、社会经济要素高度密集、城区排水不畅是县城灾害损失严重的重要原因; 防洪意识不强致使小区域酿成大灾害。

扶风县 7·14 特大暴雨灾害再次警示人们, 小区域成大灾不容忽视, 要加强局地灾害的研究和防抗救援工作。

[参 考 文 献]

- [1] 关于 7·14 暴风雨受灾救灾情况的报告[R]. 扶风县人民政府, 2004. 7. 17.
- [2] 扶风县 7·14 特大暴雨天气成因、特点及灾害分析[M]. 扶风县气象局, 2004. 7. 30.
- [3] 陕西省扶风县志编撰委员会. 扶风县志[M]. 陕西人民出版社, 1993.
- [4] 扶风县水利局. 扶风县水利志[Z]. 西安: 陕西人民出版社, 1986.
- [5] 宝鸡市统计局. 宝鸡市统计年鉴[Z]. 1982—2003.

(上接第 56 页)

此方法同样可以应用于其它流域, 在该流域精准的 DEM 基础上, 附以配准后的 TM 影像, 就可以做出更为逼真的三维可视化洪水淹没景观; 对于有源淹没, 可将几方面限制条件套合在无源淹没上, 并改进程序设计来加以实现。

除此之外, 还可以结合相关软件进一步实现洪水淹没预测及实时动态监测, 给政府制定防洪、治洪措施提供理论依据和现时数据, 从而为进一步开展洪水治理工作开拓了更广阔的前景。

[参 考 文 献]

- [1] 郭利华, 龙毅. 洪水淹没分析[J]. 武汉: 中国测绘通报, 2002, 10(11): 15—19.
- [2] 祝国瑞, 王建华, 江文萍. 数字地图分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1999. 128.
- [3] 刘仁义, 刘南. 基于 GIS 技术的淹没区确定方法以及虚拟现实表达[J]. 浙江大学学报, 2002, 34(5): 23—27.
- [5] 刘仁义, 刘南. 基于 GIS 的复杂地形洪水淹没区计算方法[J]. 地理学报, 2001, 18(1): 4—9.
- [6] 唐先海, 雷福州, 杨武学, 等. 三门峡水库对陕西库区的影响及其治理对策[J]. 泥沙研究, 2001, 13(2): 41—41.