

# 小流域数字地面模型(DTM)的建立及其 在水土保持遥感动态监测中的应用

何 伟

李壁成

(深圳市水利规划设计院 深圳 518001)

(中国科学院 水土保持研究所 712100)  
水 利 部

**摘 要** 以陕北安塞纸坊沟流域为研究区,采用航测精密立体测法建立了全流域 1975 年和 1987 年两期  $20\text{m} \times 20\text{m}$  格网数字高程模型和 6 条  $5\text{m} \times 5\text{m}$  断面的数字高程模型,利用 Foxpro 数据库系统建立了相应的 DTM 数据库,基于 DPP 测绘软件包和 ARC/INFO、APSYS 地理信息系统软件平台,分别绘制了多幅两期全流域和三条典型小沟的监测专题图件。通过对产生的图件和 DTM 数据进行定量和定性分析,对沟谷的扩张、下切及溯源侵蚀进行了较精确的动态监测。初步建立了地面三维数据采集→DTM 数据库→监测专题图件→动态监测先进而又实用的科研技术系统,为较高精度和信息化小流域动态监测,提供了比较理想的技术方法和工作基础。

**关键词** 小流域 数字地面模型 地理信息系统 遥感动态监测

## Establishment of Digital Terrain Model on Small Watershed and Application in Dynamic Monitoring of Remote Sensing on Soil and Water Conservation

He Wei

(Shenzhen Conservancy Planning and Design Institute Shenzhen 518001) = Li Bicheng

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences

and Ministry of Water Resources Yangling Shannxi 712100)

**Abstract** The author collected the digital terrain data of  $20 \times 20\text{m}$  of the whole watershed and  $5 \times 5\text{m}$  grid cells of six sections of 1975 and 1987 by means of aerophotogrametrical survey and stereocartography and established DTM database with the FOXPRO system on the study area of ZhiFanggou watershed, Ansai, north Shaanxi province. With the Dpp graph software package and the GIS software platform of ARC/INFO and APSIS, we plotted some monitoring thematic maps. With the qualitative analysis on the maps and qualitative analysis DTM data of two decades, it has given a more accurate dynamic monitoring on gully expanding, cutting, and headwater erosion. We have established an advanced and practical scientific research technology system which from data collection, DTM database, monitoring thematic maps to dy-

dynamic monitoring. The system supplied an idea technology method and work basis for dynamic monitoring on small watershed in higher accuracy.

**Key words** small watershed digital terrain model geography information system dynamic monitoring of remote sensing

数字地面模型(Digital Terrain Models, DTM)是描述地面诸特性空间分布的有序数值阵列,它是多学科交叉与渗透的高技术产物,DTM的重要特征是任何一个可转换为数字的地面特性数据,都与特定的二维地理坐标数值相结合。

20世纪50年代美国C. L. Miller首次提出数字地面模型(DTM)这一重要概念以来,随着电子计算机和地理信息科学的发展,DTM在测绘和遥感、地学分析、土木水利工程、水土保持监测、农林规划等各个领域得到深入研究和广泛应用,为地理信息系统(GIS)的发展提供了理论基础和结构框架。地理信息系统(GIS)的形成与发展,使数字地图的地理三维空间表达成为可能,其基础则是数字地面模型(DTM)将多种地面特性的空间分布的数字描述、叠加在地理的三维空间上,从而使地理信息更丰富、表达更直观、应用更广泛、远距离传输更便捷。

纵观国内外在数字地面模型的应用与研究现状,其研究已经比较深入,应用也比较广泛,但在水土保持领域,前人的研究明显存在一些不足,主要表现在以下几方面:

(1)在研究方法和手段上,以往的研究和应用,数字地面模型数据多从地形图上采集,精度不高且多采用较大网络的DTM数据,这样大大影响了分析结果的精度和实用性。

(2)在DTM的分析和应用方面,以往主要是进行一些简单的定性分析,而在定量进行水土保持分析方面,则非常不够。

针对这些情况,在地理信息系统及其他软件平台的支持下,以陕北安塞纸坊沟流域为研究区,进行了DTM数据库的建立及其在土壤侵蚀遥感动态监测中的应用的研究,寻求定量解决土壤侵蚀预测预报的有效途径,以实现水土保持研究手段现代化,研究成果模型化、量化、信息化、实用化。

## 1 研究区概况

纸坊沟位于陕北中部,属典型的黄土丘陵沟壑区第二副区,无论在自然条件或人类社会经济条件等方面,该流域都具有很好代表性。从80年代初起,纸坊沟就被列为黄土丘陵沟壑区综合治理试验示范区,现已积累了大量的气象、水文、土壤侵蚀等科学试验资料以及地图资料,航空遥感资料,这为本项工作顺利进行创造了良好条件。本次研究特别选了3条典型支沟:拐沟、大范家沟、小范家沟。它们除代表了黄土丘陵沟壑区一般地理环境特点的共性外,又有不同之处:小范家沟植被较好,代表治理程度较高的小流域的一般情况;大范家沟和拐沟植被稀疏,代表治理程度低的黄土丘陵沟壑区小流域的一般情况,并且小范家沟沟口设有观测坝,有泥沙淤积量观测数据,还有利于检验研究方法和成果的可靠性。

## 2 研究方法

以地理信息学为学科基础,以小流域水土保持为监测研究对象,以航空大比例尺遥感像片及其数字地形模型为主要信息源,其技术路线流程图如图1所示:

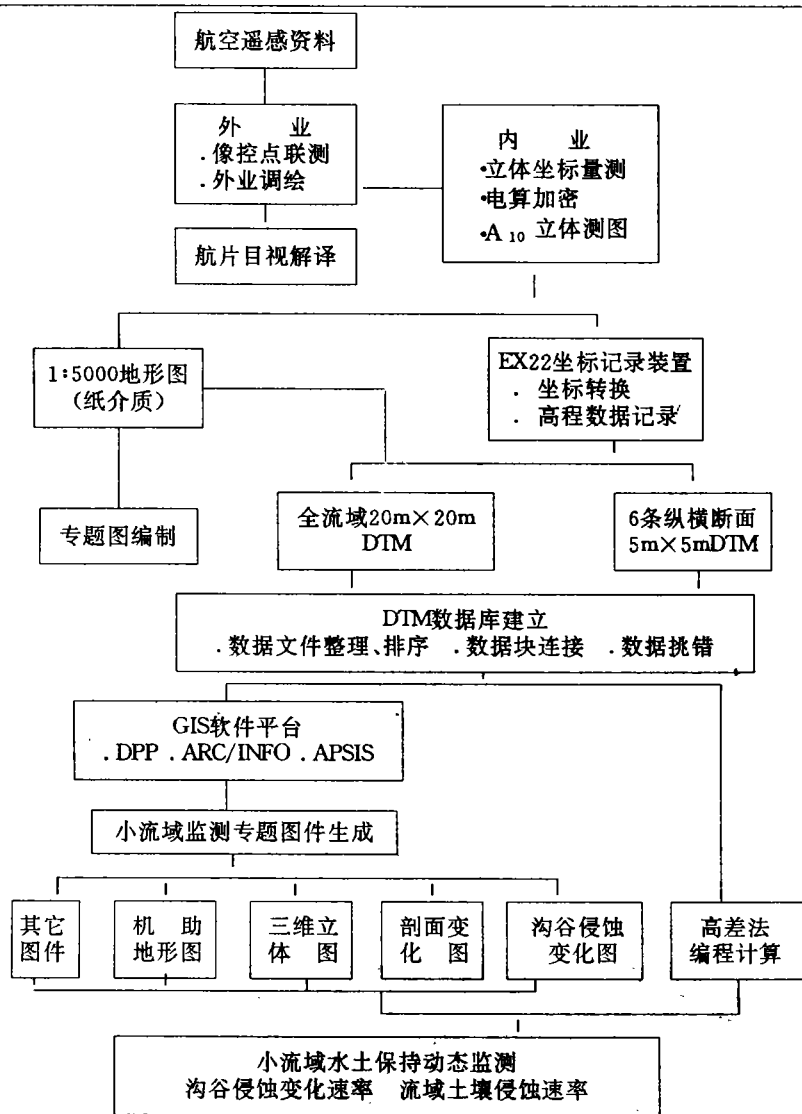


图1 技术路线流程图

### 3 数字地面模型的建立

#### 3.1 数字地面模型数据采集

1975年航摄资料摄于10月,可提供作业利用的像对为4条航线,9个像对,控制成果只有部分野外控制点。1987年航摄资料摄于9月,可提供作业利用的像对为4条航线,15个像对,控制成果,有部分野外控制点及内业加密定向点。外业像片控制点的布设中像片刺点均在实地单片选刺,并按规定绘制点位略图。外业像控点联测像控点的计算工作除概算、红外测角支导线为人工计算外,其余用电算程序在微机上上进行严密平差解算。

内业采用A<sub>10</sub>精密立体测图仪测图,测区从南到北共141条测线,根据测区长度将测区划分为141×300格网,格网为20m×20m,6条典型剖面网格为5m×5m。由于测区不规则,故将141×300矩阵中测区以外的数据全部以零代替。生成的高程数据文件以一定格式记录存盘。

### 3.2 数字高程模型数据库的建立

数据文件在 FoxPro 数据库系统下经过排序、连接、挑错、建立了 As75. DBF、As87. DBF 数据库,该数据库具有 141 个字段,300 条记录,没有数据的地方均以零替代。DTM 数据库初步建立后,利用 ARC/INFO 的 GRID/TIN 模块作初步显示分析,可以明显看到一些“奇异”点,记录这些“奇异”点的坐标位置,在 FoxPro 数据库系统中采取插值法,即取与该点相邻 4 点的平均值进行修正,数据的操作均在程序控制下进行。

从航摄到外业像控点联测,到内业电算加密和用 A<sub>10</sub>测图过程中,每一步都有严格的精度控制,并进行了严格的内业检查核实,各项主要质量指标符合规范要求,精度良好,可作为 1 类资料。又由于采用动态监测法,其本身对系统误差可以抵消一部分,对其它误差也可以作相应消除,使其精度进一步提高。

## 4 DTM 在水土保持中的应用与评价

### 4.1 数字地面模型派生图件的输出

4.1.1 流域地形图、三维立体图的输出 用所得的 DTM 数据可以生成流域的平面等高线图(地形图)和三维立体图。利用所生成的平面等高线图可以作为编制其它专题监测图件的基础图件。在制成三维图的同时还能生成创建流域坡度图和坡向图等专题图件的数据文件。这是因为:ARC/INFO 的 GRID/TIN 模块(格网/不规则三角网)在处理 DTM 数据时,它的 VIP(Very Important Points, VIP)功能模块能从稠密格点形式的 DTM 数据中筛选出这些“重要点集”,直接生成不规则三角剖分网和一个对应于该 DTM 的 Coverage(图幅),该 coverage 的 PAT. DBF 文件包含每个三角形的面积、周长、坡度等信息。通过 ARC/INFO 提供的 SML 语言模块和 ARCPLOT 模块,可以获得该流域的坡度图、坡向图等专题图件。

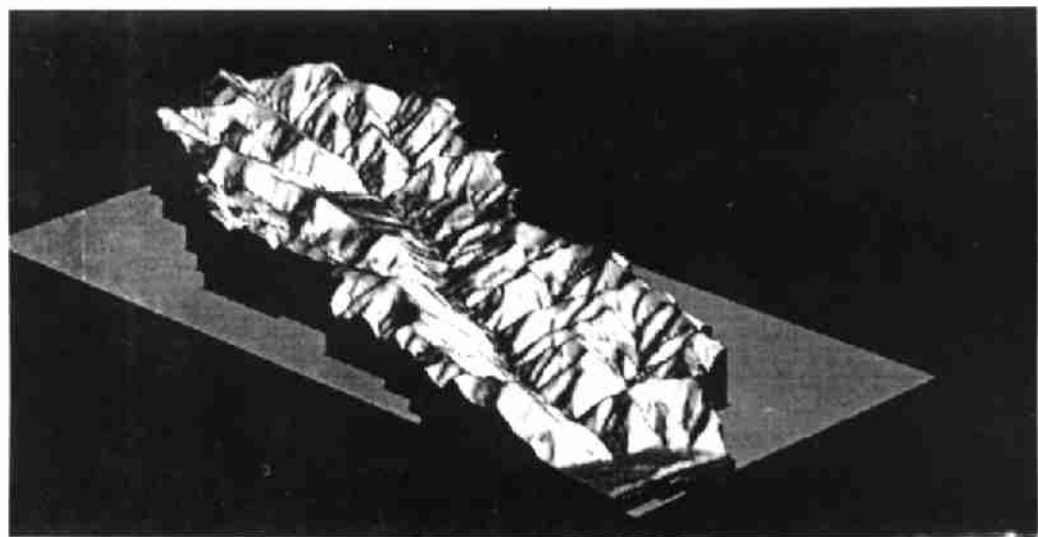


图2 1975 年三维灰阶图

三维立体灰阶图(见图 2、3)用 APSIS 地理信息系统软件平台绘制形成。三个主要光照模拟

参数为太阳高度角、太阳方位角、视点方位角。在只变化太阳高度角而其它参数不变的情况下,在逐渐增大太阳高度角时发现,1975年三维图逐渐变亮,而1987年三维图逐渐变暗。这说明从1975年到1987年纸坊沟经过12年侵蚀,陡坡明显增多。因此,此图可以较好的反映纸坊沟12年以来总体的侵蚀趋势。

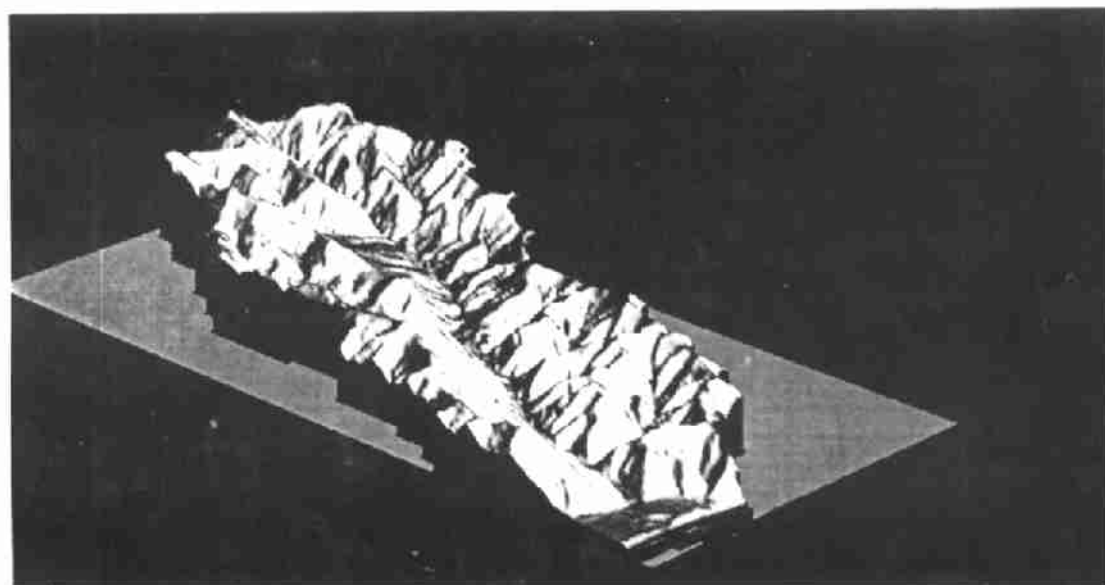


图3 1987年三维灰阶图

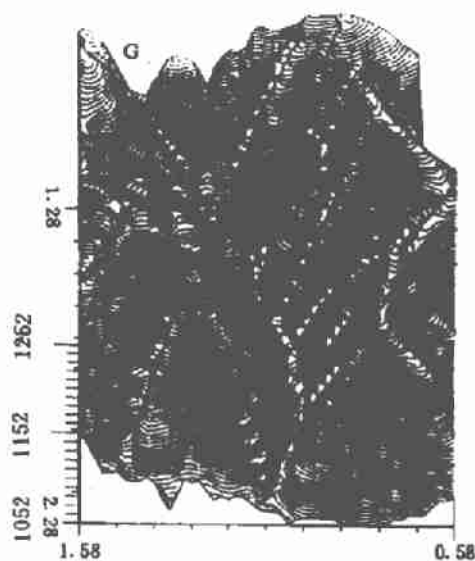


图4 拐沟1975年三维等高线图

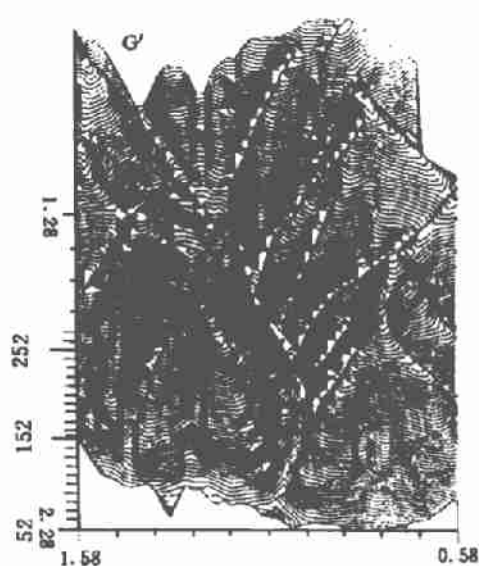


图5 拐沟1987年三维等高线图

三维立体等值线图在 DPP 软件平台下绘制而成,共绘制了多幅三维立体等值线图,三维立体等值线图上标有 X、Y、Z 坐标,它是一种定量的三维立体图,可以实现空间精确定位以及多角度,全方位立体模拟显示,为水土保持规划、农林规划、土地利用规划等提供立体背景分析。用两期三维立体图,可以定性、定量的反映每个阶段微地貌变化过程 and 变化规律,我们可以直接从图上量测到沟谷扩张和下切的程度,再辅以沟谷侵蚀变化图,便可以得到沟谷扩张、下切和沟头前进的数值。图 4、5 为拐沟两期三维等高线图,拐沟 1975 年的沟坡 G、H、I、J 较 1987 年相同部位 G'、H'、I'、J' 变化较明显,经过 12 年的侵蚀,G 沟由大 U 字形变为大 V 字形沟 G'。

4.1.2 断面叠加对比图、沟谷侵蚀变化图 断面叠加对比图由两期控制全流域的  $5\text{m} \times 5\text{m}$  断面的 DTM 数据绘制而成。I、II、V 剖面为 3 条东西向剖面,较短;III、IV、VI 剖面为南北向剖面,这 6 条剖面能真实精确的反映地表侵蚀状况。

用 A<sub>10</sub>精密立体测图仪上分别测绘两次沟谷侵蚀变化曲线及图内重要地物得到沟谷侵蚀变化图,成图比例尺为 1:5 000。沟谷侵蚀变化图可以定性和定量分析纸坊沟内沟谷侵蚀变化的情况,结合 6 条典型剖面叠加对比图可以精确监测 12 年来沟谷的扩张、下切和沟头的前进。

通过断面叠加对比图和沟谷侵蚀变化图得出:纸坊沟内重力侵蚀、水蚀作用均很明显,侵蚀——堆积过程显著。经过 12 年,纸坊沟侵蚀较为明显的沟道扩张了约 2~5m,沟底下切 3~5m (或抬升),平均每年沟谷扩张 0.2~0.4m,沟底下切 0.25~0.4m,沟头前进 2.5~4.9m,平均每年前进 0.2~0.4m。

## 4.2 水土流失量的估算

水土流失量估算方法很多,在本论文中采用如下方法:滑动计算每个格网的体积求和,两期相减即得,通过计算机程序计算结果如表 1 所示。监测计算结果表明,小范家沟经过治理,土壤侵蚀模数仅为  $3\,593\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。大范家沟与小范家沟一山之隔,但水土流失十分严重,土壤侵蚀模数高达  $11\,260\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,属极强度侵蚀。拐沟地处流域下游,由于沟深坡陡,加之地带偏僻,乱垦乱牧,水土流失相当严重,侵蚀模数高达  $14\,988\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

本论文计算的结果全流域平均侵蚀模数  $7\,299\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,与水文实测法相比(见表 2),相差约 900t,这是因为水文法所测得的  $6\,335.1\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  是 1985 年到 1990 年的实测值,期间纸坊沟水土流失得到了很好的治理。纸坊沟 1975 年到 1985 年 10 年中,基本没有开展水土流失治理工作,水土流失较大。此结果与实测数值基本吻合。

表 1 纸坊沟水土流失遥感监测表

监测范围	面积 ( $\text{km}^2$ )	年土壤侵蚀体积 ( $\text{m}^3/\text{km}^2$ )	土壤侵蚀模数 ( $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ )	侵蚀强度
全流域	8.3	5615	7299	强度侵蚀
拐 沟	0.80	11529	14988	极强度侵蚀
大范家沟	0.70	8662	11260	极强度侵蚀
小范家沟	0.21	2764	3593	中度侵蚀

注:监测时间为 1975~1987 年。

表 2 其它方法监测对比表

$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$

水文测验(实测法)	水土保持法(计算法)	遥感侵蚀监测(制图法)
6335.1	6546.7	5846.0

## 5 结 论

在地形复杂的黄土丘陵沟壑区,我们利用遥感技术采集小流域高程数据,在 FoxPro 下建立 DTM 数据库,基于相应地理信息系统软件平台(ARC/INFO、APSYS)以及 DPP 图形软件包,成功地绘制了两期多幅监测图件,对沟谷的扩张、下切及溯源侵蚀进行了精确的动态监测;利用两期 DTM 数据推算出了全流域 12 年来年均土壤侵蚀模数为  $7\,299\text{t}/\text{km}^2$ ,与流域 1985~1990 年 5 年平均实测值  $6\,355.1\text{t}/\text{km}^2$  的变化趋势相吻合。此方法为定性和定量结合分析流域内土壤侵蚀提供了科学依据与先进方法,具有较高的实用价值。

通过实验研究,初步建立了地面三维数据采集→DTM 数据库→监测专题图件→动态监测先进而又实用的科研技术系统,为较高精度和信息化进行小流域动态监测,提供了比较理想的技术方法和工作基础,并将在今后实时、动态和三维模拟水土保持与土壤侵蚀研究中发挥积极作用。

### 参考文献

- 1 李壁成.小流域水土流失综合治理遥感监测.科学出版社,1995
- 2 柯正谊,何建邦,池天河编著.数字地面模型.中国科学技术出版社,1993
- 3 王腊芝.数字地面模型在工程中的应用.武汉测绘科技大学,1988
- 4 黄杏元,汤勤编著.地理信息系统.高等教育出版社,1990
- 5 陈述彭,赵英时.遥感地学分析.测绘出版社,1990
- 6 李树楷.初论“3S”一体化信息技术.环境遥感,1995(1)
- 7 李德仁.大力发展我国地理信息产业为 21 世纪经济持续发展服务.中国科学报,1995,2,24
- 8 F. J. Doyle, Digitain Terrain Models: An overview, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1978, 44(12)
- 9 C. Z. Miller, The Digital Terrain Model Theory and Application, Photogrammetric Engineering 1958, 24(3)

(上接第 89 页)

(3)推行农业可持续发展,强化生态农业。推行农业可持续发展,首先必须保护耕地资源不受侵蚀,地力不衰退。实行省工经营新技术,首先防止了水土流失,保护土壤肥力;其次因园地种植多年生覆盖草,随着其不断更新,新生部分保证土壤绿化,减少侵蚀死亡部分增加土壤有机质,改善土壤结构,增加降水拦蓄量,提高土壤肥力,亦即保育了土壤,对农业可持续发展,起了一定的作用。如果已建的旱作、果园梯田,也可采用覆盖技术,同样能保育地力。

(4)广大农民极需要省工经营技术。目前坡地开发任务很重,在农村劳动力开始转移的今天,对建高标准的梯田,有不胜其力之感,若采用省工经营技术,不仅解决了劳力的不中,且收到良好的效果,最近的南靖牛崎头设示范园,漳州地区农口同志参观后,争先购买百喜草种子,在新果园上绿化起来,深受欢迎,可见农民是极需要省工技术的。

### 参考文献

- 1 杨人群等.坡地开发利用中的水土保持新技术.福建农业大学学报,1994,23(2):191~195
- 2 卢程隆等.斜坡果园采用山边沟结合覆盖作物之效益研究.海峡两岸农地水土保持学术研讨会论文选集,1994:70~75
- 3 廖绵浚.台湾水土保持论丛.淑馨出版社,1990
- 4 王考才.陡坡地果园覆盖作物与覆盖观察.台湾水土保持试验研究汇刊第三集,1975

**作者简介** 黄炎和,35岁,副教授,福建农业大学土地与环境学系副主任。