

水土流失

测验与调查

李智广 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水土流失

测验与调查

李智广 张光辉 编著
刘秉正 张平仓



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在总结国内外水土流失监测技术的基础上,结合我国水土流失的特点,系统地介绍了较为成熟有效的各类水土流失地面定点测验和面上调查的技术和方法,文字朴实,图表丰富,便于操作,易于实施。

本书可作为基层水土保持监测技术人员学习用书,也可作为大中专学生和水土保持研究人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水土流失测验与调查/李智广编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-3149-9

I. 水... II. 李... III. ①土壤侵蚀—测验②土壤侵蚀—调查 IV. S157.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 089201 号

书 名	水土流失测验与调查
作 者	李智广 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 8.375 印张 225 千字
版 次	2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—5300 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

在我国，由于特殊的自然地理条件，水蚀、风蚀、冻融侵蚀广泛分布，局部地区存在滑坡、泥石流等重力侵蚀、混合侵蚀。随着城镇建设和各类开发建设项目的开展，地表扰动、植被破坏、人为侵蚀日趋严重。水土流失已成为我国的头号环境问题，对社会经济发展和人民群众生产生活带来严重的危害，水土流失监测面临新的挑战。为适应这种水土流失监测的新形势，我们编写了本书。

本书是在总结国内外水土流失监测技术的基础上，紧密结合我国实际而编写的，内容以常规的水蚀及其影响因子测验和调查为主，包括径流小区测验、小流域径流泥沙测验及降雨、土地利用、下垫面特征的测验与调查方法、技术、资料整理等内容；对风蚀、泥石流、滑坡等重力侵蚀和冻融侵蚀及其影响因子的测验、调查方法与技术作了概括介绍；书中还讨论了自动监测的设备使用，最后给出了测验与调查的统计样表，供参考使用。

本书结合我国水土流失特点，系统总结了较

为成熟有效的各类水土流失地面定点测验和面上调查的技术和方法。文字朴实，图表丰富，便利操作，易于实施，为统一监测方法、规范操作技术、提高监测质量奠定了基础。

本书绪论由李智广、张光辉、刘秉正编写，第一章由张光辉编写，第二章由刘秉正编写，第三章由张平仓编写，第四章由李智广、刘秉正编写，第五章由李智广编写，第六章至第九章由刘秉正、李智广编写，最后由李智广、刘秉正统稿。

在本书编写过程中，引用了大量其他文献中的研究成果，参考文献列于各章正文之后，在此谨向文献作者致以深切的谢意。

所有编写人员力图将国内外水土保持监测的新理论、新技术、新方法编入本书，但限于我们的知识水平和实践经验，缺点、错误和遗漏在所难免，恳请读者提出批评指正，以便今后进一步充实完善。

作者

2005年6月于北京

contents

目 录

前言

绪论/1

参考文献/11

第一章 坡面水土流失测验/12

第一节 径流小区的类型、组成与布设/12

第二节 径流小区集流系统/20

第三节 径流小区测验/27

第四节 径流小区日常维护和管理/38

参考文献/40

第二章 小流域水土流失测验/42

第一节 测验站的布设与要求/42

第二节 测验站设施配备/44

第三节 施测与计算/55

第四节 观测资料整编/61

参考文献/68

第三章 水土流失土壤因子评价野外测试方法/70

第一节 土壤入渗试验/71

第二节 土壤崩解试验/77

第三节 土壤抗冲试验/85

第四节 土壤抗剪试验/91

参考文献/94

第四章 水土流失气象因子观测/96

第一节 降水观测/96

第二节 气温观测/108

第三节 风向、风速观测/112

第四节 气象灾害观测/118

参考文献/124

第五章 水土流失土地利用调查/126

第一节 土地利用分类/126

第二节 土地利用调查/131

第三节 面积量算/135

第四节 成果汇总/141

参考文献/142

第六章 影响水蚀的下垫面特征测量与调查/144

第一节 地貌因子测量与调查/144

第二节 植被因子测量与调查/151

第三节 地面组成物质测量与调查/161

参考文献/172

第七章 风蚀及其他侵蚀测验/173

第一节 风蚀测验与调查/173

第二节 重力侵蚀测验/182

第三节 泥石流测验与调查/190

第四节 冻融侵蚀测验与调查/196

参考文献/202

第八章 小流域水土流失调查/203

第一节 水土流失调查/203

第二节 水土保持调查/214

第三节 流域地面水质监测/217

参考文献/229

第九章 土壤流失量野外调查方法/230

第一节 水蚀量野外调查方法/230

第二节 风蚀野外调查方法/238

第三节 重力侵蚀野外调查方法/244

参考文献/249

附表/250

绪 论

一、水土流失测验与调查的意义

水土流失是当今世界重要的区域性环境问题之一，它引发巨大的环境灾害，影响区域经济的持续发展，严重地危及人类的生存和安全，因而防治水土流失、改善生态环境受到各国政府及全社会的广泛关注。

水土流失测验与调查正是面对这一严峻挑战和形势需要而开展的。通过长期不懈的测验和大范围的调查研究，水土流失测验与调查能揭示水土流失的本质和内在规律，为水土保持建设和环境治理提供理论和技术支撑，因而具有深远的历史和现实意义。

1. 通过长期定位测验，为深入认识水土流失规律奠定基础

水土流失受气候（降水、风、温度等）、地貌、土壤、植被、土地利用类型等多种因素的综合影响，它发生、发展的机理和过程十分复杂。只有通过单个影响因子与水土流失定量关系、环境变化与泥沙输移等的长期监测，经过对大量监测数据的系统分析，才能深入认识水土流失发生、发展的基本规律。如通过对坡面径流小区和泥沙的测验，能够获得影响土壤侵蚀的相关科学数据。若要分析坡度对土壤侵蚀的定量影响，可以建立不同坡度的坡面径流小区，尽量保证其他因素（如坡长、坡形、土壤、植被等）的一致，通过收集多场降雨、产流、侵蚀资料，再经进一步统计分析，即可得到坡度对土壤侵蚀的定量影响。

2. 水土流失测验为土壤侵蚀预报模型提供数据支撑

对土壤侵蚀进行准确预报，是水土保持措施配置、水土资源保护与持续利用的基础工作，但土壤侵蚀预报模型的建立必须依赖于大量试验和监测资料。如著名的美国通用土壤流失方程（USLE），就是建立在 10000 多个年小区资料和 500 多个年流域资料基础上的。世界上许多国家和地区为检验或修正美国通用土

2 绪论

壤流失方程,进行了大量径流小区和流域的试验和监测。很显然,如果没有长期坡面径流小区和流域监测资料的积累,要建立或修正通用土壤流失方程是不可能的。

建立坡面和区域土壤侵蚀过程模型也依赖于径流小区和流域的监测资料。一方面,对土壤侵蚀过程的深入认识和理解需要对坡面径流小区和流域进行监测;另一方面,模型预测的精度需要坡面和流域监测结果的检验和校正。

3. 水土流失测验是坡面和流域水土保持效益分析的有效手段

水土保持的目的就是根据水土流失的基本规律,因地制宜地配置水土保持措施,从而保持水土,提高土地生产力,发展区域经济。通过对坡面或流域径流泥沙观测资料的对比分析,可以得到不同生物措施、工程措施和农业措施的水土保持效益,为有效配置水土保持措施提供了基本的数据保障。

4. 水土流失测验可为区域水土保持的决策提供技术服务

在水蚀区,通过径流泥沙长期定位测验,可获得某一地区特定土地利用状况下的多年平均土壤流失量,通过比较分析,可正确评价该地区的水土流失现状和潜在威胁,从而确定合理的水土保持策略和方案。

在风蚀区,通过长期风蚀测验,能够掌握该地区不同植被覆盖度、不同地面物质组成的风蚀特征,经过对比,可以为区域防风固沙提供技术支撑。

5. 水土流失测验与调查可定量评价开发建设项目水土保持方案

随着国民经济的快速发展,各种开发建设(如公路、铁路、电力、矿产、水利等)项目可能引起新的水土流失。根据《中华人民共和国水土保持法》第十九条的规定,在山区、丘陵区、风沙区修建铁路、公路、水利工程,开办矿山企业、电力企业和其他大中型工业企业,在建设项目环境影响报告书中,必须有水行政主管部门同意的水土保持方案。只有通过水土流失监测和周边

区域水土流失调查,才能对所编制的水土保持方案是否合理、能否有效地将开发建设过程中的水土流失减少到最低程度作出正确、合理的评价。

二、水土流失测验与调查发展简史

1. 国外的测验与调查概述

早在 1882~1883 年间,水土保持研究先驱德国土壤学家 E. 沃伦 (Wollny) 首次建立了微型坡面径流观测小区,研究土壤特性、坡度、坡向和植被覆盖对土壤侵蚀的影响,同时分析了这些因素对渗透、土壤蒸发的潜在影响。沃伦开创了水土流失定位定量研究的历史。

20 世纪初,欧洲的测验技术传入美国,于是出现了尤他州过牧草地小区和密苏里州农业试验站径流小区 [M. F. 米勒 (Miller), 1917]。1929 年后,有“美国土壤保持之父”之称的 H. H. 贝内特 (Bennett) 出任美国第一任土壤保持局局长,在他的呼吁与推动下,在全美 9 个州设立了 19 个土壤保持试验站,建立试验小区,坡面径流小区长 22.13m,宽 1.83m,面积为 40.5m²。此后,小区径流泥沙测验很快在全美和全世界推广应用。1965 年, W. H. 威斯奇迈尔领导的研究中心正是利用这些观测资料建立了著名的通用土壤流失方程。

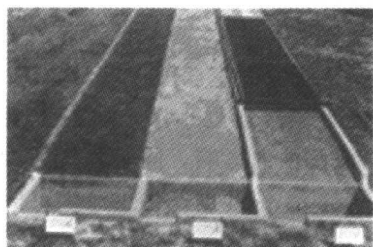
19 世纪中叶,俄罗斯土壤科学工作者开展了土壤侵蚀调查,编绘了欧洲部分面蚀、沟蚀分布图。1917 年十月革命胜利后,苏联建立了世界上第一个土壤保持试验站, A. C. 科兹缅科任第一任站长,开展了侵蚀与防治研究。20 世纪 50 年代后,研究进入新阶段,由于阿尔曼德、扎斯拉夫斯基的工作,径流泥沙测验逐步完善,调查及试验新方法不断出现,如索波列夫冲土水枪的研制与应用,开辟了水土流失研究的新领域。

欧洲和日本在防治山地灾害方面有许多共同之处。他们除研究水蚀、风蚀外,还在斜坡侵蚀研究中作出了重大贡献。

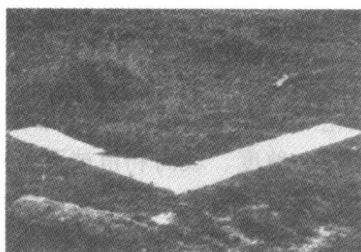
在观测水蚀的同时,国外风蚀研究也在积极开展,主要是利用风洞实验和开展大范围野外观测与调查。这里包括 R. A. 拜

格诺、A. N. 兹纳门斯基、W. S. 切皮尔、N. P. 沃德夫等作出的重大贡献。

图 0-1 是世界上不同国家径流小区的照片。



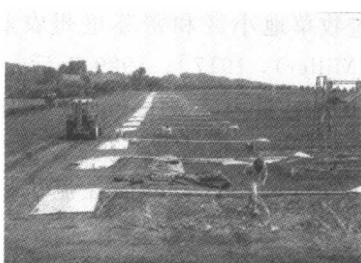
津巴布韦



新西兰



美国



荷兰

图 0-1 不同国家的径流小区

2. 中国径流泥沙测验与调查的发展

1919 年，我国在黄河干支流上建立水文站，开始径流泥沙输移观测。

1922~1927 年，金陵大学美籍教授 W. C. 罗德民在山西沁源、宁武东寨和山东青岛林场建立径流泥沙测验小区，观测森林植被和森林破坏对水土流失的影响，开创了我国水土流失研究之先河。

1940 年，中央农业实验所在四川内江、灌县和福建长汀设立水土保持试验站。黄河水利委员会林垦设计委员会 1941 年在甘肃天水陇南和陕西长安荆峪沟设立水土保持实验区；1942 年

在甘肃天水 and 兰州建立实验区，面积 3.75km^2 ，研究造林、梯田等水土保持措施。

中华人民共和国成立后，党和政府十分重视水土保持工作，于 1951 年建立西峰和绥德水土保持实验站，与天水站一起开展水土流失规律和水土保持措施试验研究，积累了丰富资料，培养了一大批水土流失监测人才，提出了可行的水土保持措施，为我国水土保持事业的发展起到了积极推动作用。

此后，全国各大流域相继建立了一大批径流泥沙测验站，如淮河水利委员会在北淝河青沟、嘉山瓦屋刘村建立的径流泥沙实验站，黄河水利委员会在陕西子洲建立的径流实验站，以及黄河流域各省市设立的水土保持试验站。其中，1959 年当时长江流域水利规划办公室水文处设立的凯江流域观测站规模最大，设施最全，观测面积 1000km^2 以上，采用“大区套小区、小区套单项”的原则，建立了 5 个径流场、23 个测流堰槽、68 处地下水观测点、12 处测流断面、60 处雨量观测点、2 处气象园和 1 个水面蒸发池等。1959 年设立子洲实验站，连续观测 11 年，在降雨特性、土壤水分与产流产沙关系、各措施拦水减沙效益等方面收集资料齐全、相互配套，在理论发展和黄河治理中发挥了重要作用。

与此同时，水土流失和水土保持调查也在广大区域开展。最早是 1943 年 4~11 月由罗德民领导对陕西、甘肃、青海的水土流失和水土保持考察。1953 年 4~7 月水利部组织对西北黄土区进行考察；1953 年、1955 年和 1984 年由黄河水利委员会、中国科学院分别组织了大规模、多学科的黄河中游（黄土高原）水土流失和水土保持考察，20 世纪 60 年代初中国科学院对长江流域进行了考察，为我国水土流失类型划分、水土流失区域划分奠定了基础。

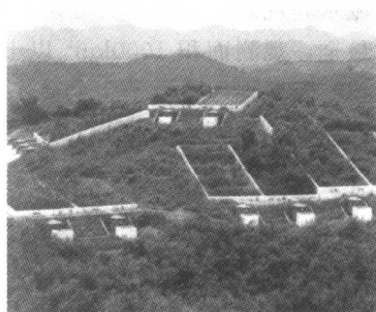
20 世纪 60~70 年代，由于多种原因，已建立的径流小区和实验站相继停止观测。改革开放带来了科学的春天，各地径流小区、实验站、生态站等生机盎然地开展测验。中国科学院水土保

持研究所在陕西安塞、长武和宁夏固原建立实验站，其中安塞站以 8.27km^2 的纸坊沟为研究区，建立坡面小区 160 多个，除了不同坡度、坡长、坡型小区外，还有乔、灌、草等不同作物、不同耕作、不同工程措施的小区，能观测影响土壤流失的各因素和各措施的水土保持效益，还能进行生物量、水分、养分平衡等多项监测。到 2003 年，安塞站已建立数据库 135 个，收集资料 175 多万个。

在水土保持部门的重视与支持下，各地先后与科研院所合作，建立了一批高水平的实验基地（见图 0-2），如北京密云、甘肃定西、陕西绥德、山西离石等。1999 年北京师范大学在国家杰出青年基金和重点基金项目支持下，在黑龙江鹤山农



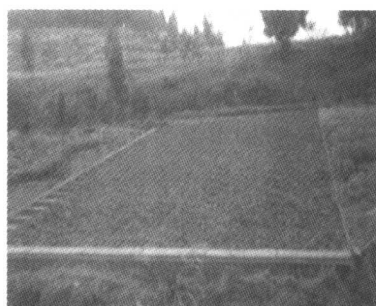
黑龙江鹤山农场(黑土)



北京密云(褐土)



陕西安塞(黄绵土)



四川绥宁(紫色土)

图 0-2 我国不同地区的径流小区

场建立了 17 个径流小区, 目前已成为黑土流失规律研究的基地。

20 世纪 80 年代后, 水土流失监测向更深入、更广阔的领域拓展。土壤抗蚀性、抗冲性的测验与研究从分散的多指标测验向广大区域主要指标测验发展, 中国科学院水土保持研究所 2000~2004 年完成了我国水蚀区五大类型区、14 个土类、27 个亚类共 35 个测点土样的抗蚀、抗冲、入渗等项目的系统测定, 采用稳定入渗率、崩解速率、抗冲系数等指标作为水土流失的土壤评价因子。至此, 水土流失危害研究与环境科学结合, 向水环境、土环境、大气环境污染及危害的研究方向发展, 开拓了水土流失监测的新领域。

近 20 年来, 水土流失监测技术、方法和设备有了飞速发展, 遥感技术和示踪元素在水土流失监测中得到应用。20 世纪 80 年代中期和 90 年代末期我国两次利用遥感技术对全国土壤侵蚀状况进行普查, 取得了水蚀、风蚀和冻融侵蚀 6 级侵蚀强度和 5 种潜在侵蚀危险程度的基本面积, 各省区还用遥感技术对土地利用变化、沟蚀发展等实施动态监测, 取得了一定成果。¹³⁷ Cs、²¹⁰ Pb 和 REE 示踪元素在侵蚀中的应用, 从宏观和微观两方面阐明侵蚀及变化。

在径流泥沙测验设备方面, 有条件地区正在向自动化观测、远距离传输发展, 如北京市密云石匣小流域的 22 个小区, 基本实现了水位、泥沙、土壤水分、气象因子等监测的自动化, 同时通过互联网将数据传输到数据中心, 使监测精度和有效性得到极大提高。

三、水土流失测验与调查的几个问题

中华人民共和国成立后, 我国土壤侵蚀研究在与生产实践紧密结合中快速发展, 取得了多领域的新成就, 并在与国际接轨的过程中, 突出了自身特点, 集中体现在研究并建立了土壤侵蚀分类原则和系统, 研究并建立了土壤侵蚀区划的原则和系统, 土壤侵蚀测验与调查方法的进展和土壤侵蚀过程、机理的探讨, 以及

土壤侵蚀预测预报的重要进展等多个方面。

在回顾总结成就的同时,还要清醒地看到存在的差距。现从测验和调查出发,提出以下问题共同探讨。

1. 径流小区测验资料的共性或通用性

各地在监测不同侵蚀形态、不同地类的土壤侵蚀特征过程中,建有不同坡度、不同坡长、不同治理措施的径流小区。这些径流小区,有的结合气象、土壤特性、作物种植等观测详细、配套,有的结合人工及其他设施观测侵蚀过程、侵蚀部位等,都为探索侵蚀规律及预报作出了贡献,但它们在区域间缺乏可比性,不能在更大范围内进行更高层次的对比分析,缺乏将站(点)的资料转化为区域信息资源的共性或通用性。

实现信息资源的转化除了在代表性区域(或地段)设置具有典型意义的各种类型小区外,特别要设置一组具有共性的标准小区。SL 277—2002《水土保持监测技术规程》规定,标准小区坡度为 5° 或 15° ,坡长为20m,坡形为直线形,处理为至少撂荒1年裸露均整的坡面。有了标准小区就能实现在区内、区间和更大范围内的比较,分析各地在不同降雨、不同土壤条件下的侵蚀异同,以及单位降雨下的侵蚀数量,从而为判断评价区域侵蚀及侵蚀潜在危害提供理论依据。

定位观测的连续性和长期性也是影响信息资源转化的另一个要素。不连续的短期观测资料,仅具有特殊情况下的相对意义,如某一降水年份下某措施的流失数量及大小,不能阐明在一般状况下的侵蚀特征,缺乏统计上的期望值意义。

2. 土壤侵蚀与河沟泥沙输移监测

径流小区及小流域沟道泥沙测验,为水土保持治理重点区及治理措施提供理论依据;从河流泥沙的输移监测,进一步明确产沙规律、产沙部位、地层和产沙方式,对推进流域治理和河道整治具有双重效益。我国黄河流域北干流几条主要产沙支流的输沙研究正是这样的典型。

在山丘区侵蚀产生的粗大颗粒,有可能在当地或某一平缓地

段堆积,而不随河流输往下游,产生泥沙输移的不连续性,因而各大江河水系的水文站观测的悬移质泥沙量(输沙量),要远小于流域的侵蚀量。而侵蚀与输移又有必然联系,是广义土壤侵蚀的不同阶段。在观测侵蚀的同时(含小区和小流域观测),观测更大范围的(约 1000km^2)河沟泥沙输移(含推移质),是十分必要的。这样,一方面能为水土保持提供依据,另一方面可探讨点(小区)一面(小流域)一大面积(中、大流域)的侵蚀输移规律,为区域综合治理提供依据。

余剑如等人研究了长江上游的侵蚀与泥沙输移,得到了该区泥沙输移比在 $0.07\sim 0.66$ 间,平均为 0.23 ,为宏观治理与水土保持评价作出重大贡献。可以通过以下三个途径研究泥沙输移规律:其一,利用小区和小流域泥沙观测资料,与下游水文站观测(同一类型区)的悬移质输沙量分析对比;其二,对较大流域侵蚀堆积进行详细调查,再与水文站输沙量作分析对比;其三,在上游建立侵蚀观测设施,用小流域测验验证侵蚀总量,再与下游较大面积的库坝淤积作分析比较。若在山区有关水文站监测悬移质泥沙的同时测定推移质,经过连续不断观测也可与上游侵蚀建立侵蚀—输移关系。

3. 监测设施的自动化

我国土壤侵蚀类型复杂多样,分布地域广,差异也很大,给水土流失监测测验带来极大不便。实施自动化观测和远距离传输,对水土流失监测而言具有极其重要的意义。

在水蚀监测中,有的地区已实现自动化监测;在泥石流监测中,中国科学院成都山地灾害与环境研究所已研发了CL—810型测速雷达和UL—1型超声波泥位计;在风蚀监测中也有新的设备投入使用,为侵蚀过程研究、减少人力、提高测验质量作出极重要贡献。但由于各种原因,这些设备尚不能推广使用。就水蚀而言,在黄土区域,高浓度含沙水流限制了已有自动化设备的使用;在人烟稀少的山丘区,输电成了主要障碍等。

因而,在水土流失监测中,一方面继续使用传统观测设备持