



北京林业大学研究生教材系列

Experimental Research Methodology of

Soil and Water Conservation & Desertification Control



水土保持与荒漠化防治 实验研究方法

张建军 张守红 著



中国林业出版社



北京林业大学研究生教材系列

Experimental Research Methodology of

Soil and Water Conservation & Desertification Control

水土保持与荒漠化防治 实验研究方法

张建军 张守红 著

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

水土保持与荒漠化实验研究方法/张建军, 张守红著. —北京: 中国林业出版社,
2017. 3

ISBN 978-7-5038-9110-6

I. ①水… II. ①张… ②张… III. ①水土保持—研究②沙漠化—防治—研究
IV. ①S157.1 ②P941.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 155200 号

中国林业出版社·生态保护出版中心

策划编辑: 刘家玲

责任编辑: 刘家玲 甄美子

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

电话: (010)83143519 83143616

<http://lycb.forestry.gov.cn>

印刷 北京中科印刷有限公司

版次 2017年7月第1版

印次 2017年7月第1次印刷

开本 787mm × 1092mm 1/16

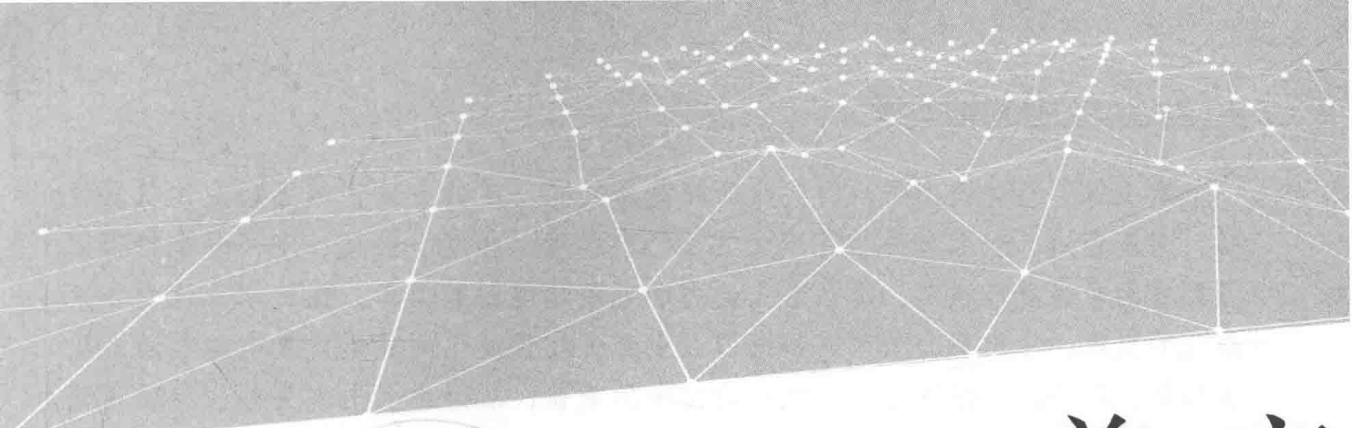
印张 10.5

字数 260千字

定价 30.00元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究



前言

P R E F A C E

水土流失和土地荒漠化是我国最严重的生态环境问题之一，也是限制社会经济可持续发展和生态文明建设的关键因素。我国政府向来极为关注水土流失治理和荒漠化防治工作。为了培养治理水土流失、改善生态环境的专业人才，于1952年在北京林业大学建校之初开设了水土保持课程，1958年开设水土保持专业，1980年成立我国第一个水土保持系，1992年在北京林业大学成立我国第一个水土保持学院。在关君蔚院士等几代水土保持学者的努力下，水土保持与荒漠化防治学科已经形成了包含《水土保持学》《水文与水资源学》《土壤侵蚀原理》《水土保持工程学》《沙漠学概论》《风沙物理学》《荒漠化防治工程学》和《林业生态工程学》等较为完善的教材体系。这些教材广泛地应用于各院校水土保持与荒漠化防治专业教学，为我国水土保持与荒漠化防治学科的人才培养奠定了重要基础。

随着社会发展与科学技术进步以及新时期生态文明建设的要求，国家对水土保持与荒漠化防治高级人才的需求越来越多，要求也越来越高。针对国家和社会需求，水土保持与荒漠化防治学科研究生教育的规模也在逐步扩大。研究生教育重在培养学生从事科学研究的基本素养和挖掘学生的科研潜质，实验研究方法是科研素养的重要组成也是挖掘学生科研潜质的重要手段。为了适应国家对水土保持与荒漠化防治学科研究生教育的需求，提高教学质量，北京林业大学研究生院和水土保持学院于2015年立项资助《水土保持与荒漠化防治实验研究方法》研究生教材编写工作(项目编号：JCCB15071)。

随着环境保护意识逐渐加强，民众对生态环境问题越发关注，需要及时了解我国的水土流失和荒漠化状况以及水土保持与荒漠化防治工作的现状。为此，相关的行业管理部门需要及时进行“把脉山河”的基本国情调查，开展水土保持与荒漠化防治监测，并发布公告。水土保持与荒漠化防治的监测需要有一套完善的观测与研究方法体系。因此，《水土保持与荒漠化防治实验研究方法》的出版也是水土保持与荒漠化防治实践的迫切需求。

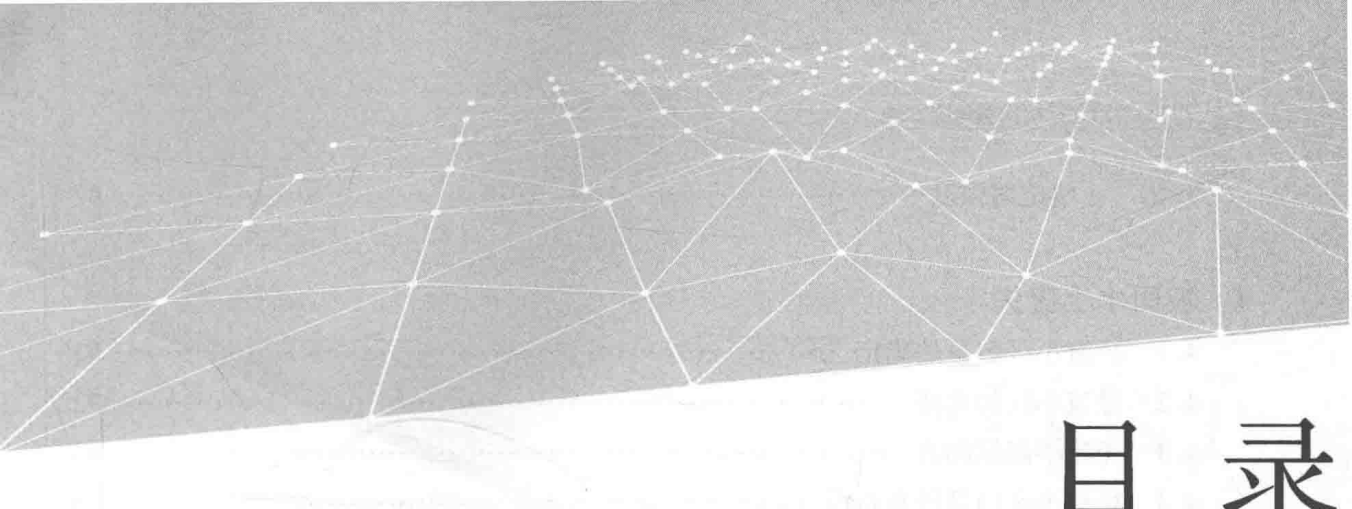
水土保持与荒漠化防治的实验研究是指按照一定的方法,采用一定的仪器设备,对调查地区水土流失和荒漠化的面积、类型、程度、强度、空间分布特征以及影响因素等进行测定,建立水土流失和荒漠化观测数据库,探讨水土流失和荒漠化的机理,在此基础上预测和把握水土流失和荒漠化的发生发展规律和动态变化趋势,评价水土保持与荒漠化防治措施的效益,从而为水土流失综合治理和荒漠化防治的宏观决策提供支撑。

为此,作者根据我国水土保持与荒漠化防治的现状,在总结国内外现有水土流失和荒漠化观测研究技术、仪器、设施优缺点的基础上,结合研究团队多年来水土保持与荒漠化防治的实践经验,撰写本书。本书从影响水土流失和荒漠化的环境要素出发,阐述了气象、植被、土壤等影响因子的观测研究方法,重点对坡面水土流失、小流域水土流失、风蚀的观测研究方法进行了阐述,同时也涉及了重力侵蚀的观测研究方法,简要介绍了水文模型及其应用。主要内容包括:气象因子、植被因子、土壤因子、坡面水土流失、小流域水土流失、风蚀、重力侵蚀、水文过程模拟八部分。

在撰写过程中重点考虑了测定方法的实用性和可操作性,力求文字通俗易懂,图表清晰,公式简明准确。但由于知识水平和实践范围有限,书中关于方法、模型的介绍难免存在遗漏和不足,敬请读者批评指正。

张建军 张守红

2017年3月1日北京



目 录

C O N T E N T S

前言

1 气象因子

1.1 降水	1
1.2 空气温度、湿度	26
1.3 风速风向	29
1.4 水面蒸发	34

2 植被因子

2.1 植被调查	38
2.2 植被调查指标	40
2.3 根系调查	53
2.4 植物蒸散发	57

3 土壤因子

3.1 土壤类型	63
3.2 土壤比重与容重	65
3.3 土壤孔隙度	66
3.4 土壤入渗	68
3.5 土壤含水量	71
3.6 土壤蒸发	78
3.7 土壤抗蚀性	79
3.8 土壤抗冲性	84
3.9 地表糙度	86

3.10	土壤抗剪强度	87
4	坡面水土流失	
4.1	径流小区数量的确定	91
4.2	径流小区的选择	92
4.3	径流小区的勘查	93
4.4	径流小区的设计和布设	94
4.5	坡面径流量和泥沙量	96
4.6	坡面侵蚀	100
5	小流域水土流失	
5.1	小流域选择及观测断面选取	104
5.2	小流域的调查与分析	105
5.3	小流域的径流量与泥沙量	106
6	风蚀	
6.1	风蚀量	125
6.2	风沙输移量	129
6.3	降尘量	135
6.4	沙丘移动	136
7	重力侵蚀	
7.1	泻溜	138
7.2	陷穴	140
7.3	崩塌	142
7.4	滑坡	144
8	水文过程模拟	
8.1	水文模型的发展与分类	148
8.2	水文模型的应用	149
8.3	典型水文模型	152
8.4	地理信息系统、遥感技术在水文模拟中的应用	160

参考文献

1 气象因子

[本章提要] 本章在讲述影响水土流失与荒漠化的气象因子——降水、温度、湿度、风速、风向、蒸发等基本概念的基础上，介绍了这些气象因子的常规测定方法、常用的观测仪器、特征值的计算等。重点阐述了林内降雨、树干流、林冠截留量、雨滴大小及组成、降雨侵蚀力等的测算方法，对农田防护林网防风效益的研究方法也做了介绍。

影响水土流失与荒漠化的气象因子主要包括降水、温度、湿度、风速、风向、蒸发等，降水是造成水土流失的主要原因，也是水土保持植物生长的必需因子。风是造成风蚀荒漠化的主要动力，温度和湿度的变化不仅影响植物的生长，而且也是土壤侵蚀的主要影响因素，因此，降水、温度、湿度、风速、风向、蒸发等气象因子是水土保持与荒漠化防治中必须观测和研究的要素。

1.1 降水

降水是指大气中的水以液态或固态的形式到达地面的现象，它包括两部分：一是大气中水汽直接在地面或地物表面及低空的凝结物，如霜、露、雾和雾凇，又称为水平降水；另一部分是由空中降落到地面上的水汽凝结物，如雨、雪、霰、雹和雨凇等，又称为垂直降水。

降水是造成土壤侵蚀和水土流失的主要因子，是水土保持研究和监测中必须掌握的关键要素，但降水中的霜、露、雾和雾凇等不会直接造成土壤侵蚀，一般不作为水土保持研究和水土保持监测的对象，而垂直降水是造成水土流失、土壤侵蚀的主要原因之一，是水土保持与荒漠化防治研究中的主要对象。

描述降水的基本指标有降水量、降水历时、降水强度、降水过程线等。降水的研究与观测就是对这些基本指标的掌握。

降水量：一定时间内降落在某一面积上的水的厚度，也就是指某一时段内未经蒸发、渗透、流失的降水在水平面上积累的深度，单位为 mm。降水量可分为降雨量和降雪量。

降水历时：一次降水从开始到结束所经历的时间，反映降水经历时间的长短，常用 h、min 表示。

降水强度：单位时间内的降水量，即降水量与降水历时的比值，用 mm/min、mm/h

表示。当降水形式为降雪时，降水强度就是降雪强度。当降水形式为降雨时，降水强度就是降雨强度。在我国降雨是形成洪涝灾害、水土流失的主要原因，最常用的降雨强度指标有 5 分钟最大雨强(I_5)、10 分钟最大雨强(I_{10})、30 分钟最大雨强(I_{30})、60 分钟最大雨强(I_{60})、平均雨强等。

降水过程线：是以时间为横坐标，降水量为纵坐标，绘制成的降水量随时间变化的曲线。在降水过程线上可以反映出降水开始的时间、降水结束的时间，以及某一时刻的降水量，可以反映出降水随时间的变化过程。

降水累计曲线：以时刻为横坐标，以到某一时刻的总降水量为纵坐标绘制而成的曲线。降水累计曲线是一条递增曲线或折线，在降水累计曲线上可以反映出降水开始的时间、降水结束的时间，以及到某一时刻的降水总量。降水累计曲线上任一点的斜率就是该时刻的降水强度。

1.1.1 降雨

(1) 降雨观测点的选择

降雨量一般用标准雨量筒或雨量计进行观测，因此，事先需要选择降雨观测点。选择降雨观测点时，应充分考虑观测点所在地的海拔高度、坡向等地形条件。降雨观测点的数量一般根据研究流域面积的大小和观测精度要求而定(表 1-1-1)。在山区由于地形条件复杂，降雨分布不均，降雨观测点的数量要适当增加。当地形变化显著，以及有大面积森林时，降雨观测点的数目也该相应增加。在开阔的平原条件下，降雨观测点可按面积均匀分布。在森林流域中降水观测点应设置在空旷地上或布设在林冠上方。如果在流域内只设置一个降雨观测点时，应布设在流域的中心；有两个降雨观测点时，一个观测点布设在流域上游，另一个观测点布设在流域下游。

表 1-1-1 降雨观测点数量配置参考表

面积(km^2)	<0.2	0.2~0.5	0.5~2	2~5	5~10	10~20	20~50	50~100
雨量站数	1	1~3	2~4	3~5	4~6	5~7	6~8	7~10

对于较小面积的标准地或坡面径流场，一般将标准雨量筒(或雨量计)布置在径流场的附近进行测定，布设时尽量使雨量计远离对降雨测定有干扰的障碍物。为了减少障碍物对降雨测定的干扰，雨量筒或雨量计与干扰物间的距离应大于干扰物高度的 2 倍以上。

降雨观测点选择时的注意事项：

- ①降雨观测误差受风的影响最大。因此，降雨观测点应避开强风区，其周围应空旷、平坦，不受突变地形、树木和建筑物以及烟尘的影响。
- ②降雨观测点周边如果有建筑物、树木等障碍物时，雨量计与障碍物的距离必须大于障碍物与雨量计高差的 2 倍以上。
- ③降雨观测点的周围应该相对平坦，不宜设在陡坡上、峡谷内和风口处，雨量计承水器口至山顶的仰角不大于 30° 。

(2) 雨量计的安装要求

降雨观测点的数量和安装点确定后，安装标准雨量筒或自记雨量计观测降雨量，在安装雨量筒或自记雨量计时必须注意以下事项：

①安装点的面积必须符合要求,仅安装一台雨量计时,观测点的面积不小于 $4\text{m} \times 4\text{m}$,同时设置标准雨量筒和自记雨量计时面积不小于 $4\text{m} \times 6\text{m}$ 。

②观测场地内植物高度绝对不能超过雨量计的安装高度,以防植物枝叶遮盖雨量计的承水器口,植物的高度一般保持在 20cm 以下。

③在降雪较多的地区,要保证雨量计不被积雪埋没,当积雪厚度较大时,可以设置不同高度的雨量台,将雨量计安装在雨量台上,从而防止雨量计被积雪掩埋。

④观测场地四周设置栅栏,以防止动物进入和破坏。

⑤标准雨量筒的安装高度为 0.7m ,自记雨量计的安装高度为 0.7m 或 1.2m ,杆式雨量计的安装高度不超过 4m 。

⑥雨量计、雨量筒的承水器口必须保持水平,安装时必须用水平尺至少在两个方向上进行校准,雨量计的承水器口如果处于倾斜状态,进入雨量筒或雨量计的雨水量就会减少,从而导致观测结果偏小。

⑦自记雨量计的基座上一般有调平气泡,安装时通过调整地脚螺丝使气泡居中,保证基座处于水平状态。安装上承水器口后,需要用水平尺检验承水器口是否水平。

⑧在使用一段时间后,需要检查基座上的气泡是否居中,同时用水平尺对承水器口的水平状况进行校准。

(3) 标准雨量筒

标准雨量筒是观测降雨量的常规仪器。它由承水器、漏斗、储水筒、储水瓶等几部分组成(图 1-1-1)。承水器有两种:一种是带漏斗的承雨器,另一种是不带漏斗的承雪器。承水器用来承接降雨,为直径 20cm 的圆形,其口缘镶有内直外斜刀刃形的铜圈,以防雨滴溅失和筒口变形,漏斗可将承水器接收的雨水导入储水瓶,储水瓶收集降雨。

用标准雨量筒观测降雨时,可以采用固定时间观测,也可以按降雨场次进行观测。定时观测的时间一般为 $8:00$,昨日 $8:00$ 至今日 $8:00$ 的降水为昨日降水量。按降雨场次进行观测时,必须在降雨结束后立刻进行观测,所测得的雨量即为场降雨量。

观测时轻轻打开承水器,从储水筒中取出储水瓶,放入备用储水瓶,然后到室内用专

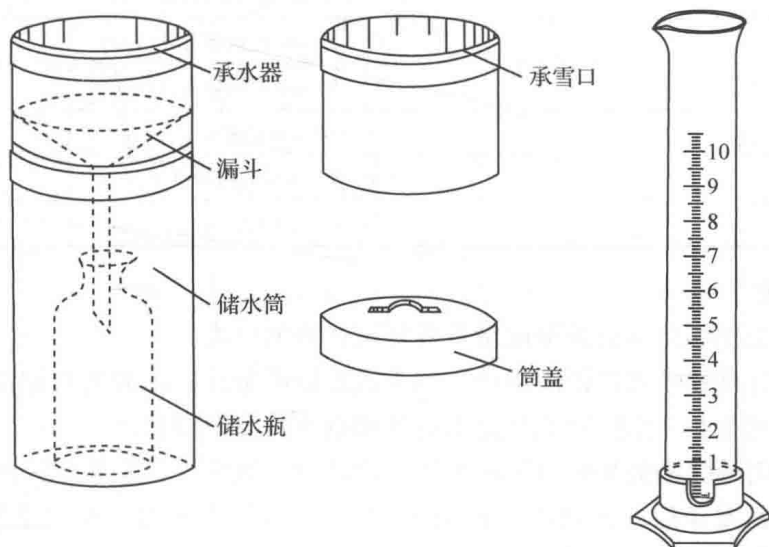


图 1-1-1 标准雨量筒示意图

用量筒量测降雨量，将储水瓶拿回室内的过程中需防止雨水进入储水瓶，同时注意不要遗撒。如降雨已经停止，也可在现场用专用量筒直接测定，测定时观测者的眼睛必须与量筒中水的凹面平齐。观测完后把储水瓶放入储水器，将承水器套在储水器上，并用水平尺检查承水器口是否水平。

如果在一场降雨中降雨量较大(如超过 100mm)，储水瓶有可能蓄满溢出时，必须在降雨过程中更换储水瓶。更换储水瓶时可以先将承水器中的漏斗堵上，让降雨暂时保存在承水器中，并尽可能保持水平地将承水器拿起，快速更换储水瓶后，再将承水器安上，去掉堵塞漏斗的物体，让降雨进入更换后的储水瓶。降雨结束后再测定更换的储水瓶中的水量。总降雨量等于两个储水瓶中的水量之和。

使用专用量筒测量降雨量时应该使量筒处于垂直状态，视线与量筒中水的凹面最低处平齐，读出最小刻度，并立即记录。降水量较多时，可分次量取，然后累加得出总降雨量。为防止蒸发和提高观测精度，降水停止后必须及时观测。

专用量筒为一特制的有刻度的雨量测定工具，其口径和刻度与雨量筒口径成一定比例关系，量筒的最大量程为 10mm，最小刻度为 0.1mm。观测时保留一位小数，如 7.6mm。

标准雨量筒观测降雨记录汇总格式见表 1-1-2。

表 1-1-2 标准雨量筒观测降雨记录汇总表

观测时间：_____

观测员：_____

观测仪器		安装地点	
安装点坐标		海拔高度(m)	
日 期	雨量 (mm)	总降雨量(mm)	
年 月 日		降雨天数(天)	
年 月 日		日最大降雨量 (mm)	
年 月 日		日最小降雨量 (mm)	
年 月 日		0 ~ 5mm 的雨量合计 (mm)	
年 月 日		5 ~ 10mm 的雨量合计 (mm)	
年 月 日		10 ~ 25 mm 的雨量合计 (mm)	
年 月 日		25 ~ 50 mm 的雨量合计 (mm)	
年 月 日		50 ~ 100 mm 的雨量合计 (mm)	
年 月 日		100 ~ 200 mm 的雨量合计 (mm)	
合 计		200 mm 以上的雨量合计 (mm)	

(4) 自记雨量计

自记雨量计是能够自动记录降雨量及其降雨过程的仪器。

常用的自记雨量计有虹吸式自记雨量计、翻斗式自记雨量计、压力式自记雨量计、称重式自记雨量计。本书主要介绍虹吸式自记雨量计和翻斗式自记雨量计。

虹吸式自记雨量计是最早的自记雨量计，它是用机械钟带动安装记录纸的滚筒转动记录时间，每次上紧发条后，滚筒能够转动一周，并记录 24 小时。记录纸横坐标为时间，从 1 ~ 24 划分为 24 个大格，每个大格代表 1 小时，每个大格又分为 6 小格，每个小格代表 10 分钟。记录纸纵坐标为雨量，从 1 到 10 分为 10 个大格，每个大格代表 1mm，每个大格

又划分为 10 个小格，每个小格代表 0.1mm。降雨时从承雨器口接收的雨水通过导管进入浮子室，浮子室中有一个浮子，浮子上端连接着一个记录笔，记录笔紧贴在记录纸上。当雨水进入浮子室后浮子开始上升，记录笔也随浮子一起上升，记录笔在记录纸上会画出一条线记录浮子上升的高度，该上升的高度就是降雨量。当降雨量达到 10mm 时，浮子室中的水通过虹吸作用排除，记录笔也随浮子的下降回到原点（图 1-1-2）。利用虹吸式自记雨量计测量降水时，每天必须定时上紧发条，以驱动机械钟转动，同时每天必须往雨量计中加一定量的水，使记录笔抬高一些，否则当天的记录线就会和前一天的记录线重叠。因为虹吸式雨量计存在机械钟计时误差较大，虹吸过程中的降雨量不能反映在记录线上，每天都必须进行维护，所以有无法实现无人观测等缺陷，目前已逐渐退出观测领域，建议使用能够自动观测的翻斗式自记雨量计。

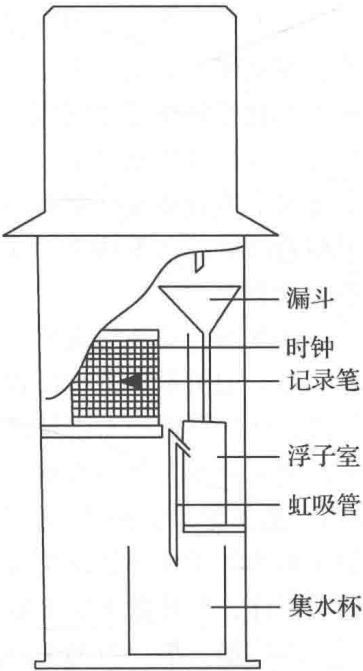


图 1-1-2 虹吸式雨量计示意

现在广泛采用的自记雨量计是翻斗式自记雨量计，它的主要部件是翻斗（图 1-1-3），翻斗每翻动一次，对应一定的雨量（0.1mm 或 0.2mm），翻斗在翻动过程中带动翻斗底部安装的金属棒切割磁力线产生电流信号，电流信号转化为数字信号保存在数据采集器中，翻斗每翻动一次，就会有一个电流信号被保存在数据采集器中。没有降雨时，翻斗不会转动，数据采集器中就没有电流信号被保存。因此，翻斗式自记雨量计可以实现降雨的自动观测，还可以通过 GPRS 信号将降雨数据直接传输到观测人员的计算机中，从而实现对降雨的遥测。

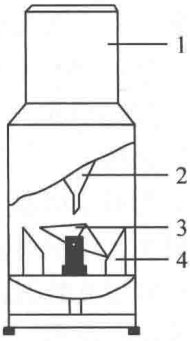


图 1-1-3 翻斗式自记雨量计
示意

当使用翻斗式自记雨量计观测一段时间后，可以用笔记本电脑从数据存储器中下载雨量数据，从而实现对降雨量和降雨过程的自动观测。翻斗式自记雨量计采用电子钟记录时间，计时准确，测量精度完全可以满足水土保持研究和监测的需要，已经成为水土保持研究和监测中的主要观测仪器，但使用过程中必须时常检查电池电量是否充足，如果电量不足应及时更换电池，以保证翻斗式雨量计的正常运转。另外，在观测降雨强度很大的强暴雨时，翻斗存在无法翻动的现象，从而导致测量结果明显偏小。因此，在使用自记雨量计时必须配置一个标准雨量筒，对自记雨量计的测定结果进行校正。

1—承水器；2—漏斗；
3—翻斗；4—排水器

- 用翻斗式自记雨量计观测降雨的步骤如下：
- ①安装前检查。安装前检查自记雨量计的配件是否齐全。
 - 检查仪器精度：根据自记雨量计精度（如 0.1mm），用量筒量取相应的水量（如 0.1mm），缓慢倒入承雨口，检查翻斗是否启动。
 - 检查仪器测定数值是否正确：用量筒量取 5mm 或 10mm 的雨量，缓慢倒入承雨口，检查自记雨量计记录数值与实际值的误差是否在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内。

②安装。在选定的安装点用混凝土预制安装基座，并预埋固定用螺栓。将自记雨量计安装在基座上，调整雨量计底座上的调平螺丝，使雨量计底座上的调平气泡居中后，用基座上的螺栓将雨量计底座固定。解开固定翻斗的橡皮筋（运输过程中为了防止翻斗活动，翻斗一般用橡皮筋固定），使翻斗处在活动状态。将承雨器放在基座上后，用水平尺在两个方向上检查雨量计承雨器口是否水平。如果不水平，调整基座上的固定螺丝，使雨量计承雨器口处在水平状态。观测一段时间后需要用水平尺对雨量计承雨器口的水平状况再次进行检查。

③观测。安装完成后，将数据采集器与电瓶（电池）连接或在数据存储器中安装电池后，对自记雨量计进行设置。设置时将数据采集器与笔记本电脑连接，启动雨量计的专用软件，在计算机中对雨量计进行设置。设置内容包括：安装地点、仪器编号、调整雨量计的日期和时间、观测开始时间、数据记录的时间间隔（如 5 分钟记录 1 次或 1 分钟记录 1 次），数据记录的格式（记录雨量还是记录翻斗的转动次数，记录累计雨量还是时段雨量，记录翻斗的累计次数还是时段次数等）、存储器存满后的处理方式等。设置完成后启动自记雨量计，断开数据采集器与雨量计的连接，自记雨量计进入自动观测模式。

④数据采集。当利用自记雨量计观测一段时间后，观测人员可用笔记本电脑与自记雨量计的数据采集器连接，利用专用软件采集自记雨量计观测的雨量数据。采集完成后必须对雨量计的日期、时间进行校准，确认电池电量。然后断开电脑与自记雨量计的连接，打开数据文件，检查雨量记录数据是否完整，记录间隔是否与设置的记录间隔一致，尤其是检查自记雨量计的记录时间是否准确，如果有误差，必须对所有记录的数据进行校正。检查电瓶（电池）电量是否足够，如果电池电量不足，必须立刻更换，以保证自记雨量计能够持续正常观测。⑤清理。数据采集完成后，需要对自己记雨量计的承水器进行清理，以防止承雨器中的漏斗堵塞，影响对降雨量和降雨过程的观测。如果承雨器中漏斗已堵，或承雨器中有积水，说明自记雨量计记录的数据有误，此时需要利用标准雨量筒的观测数据对自记雨量计的观测数据进行校正。或将承雨器中的积水倒入专用量筒，量取积水量，作为雨量数据校正的参考。

⑥其他。不同的自记雨量计能够记录的降雨数据量不同。自记雨量计能够记录的降雨数据量与数据采集器的容量和数据记录间隔密切相关。如果数据采集器的容量较大，数据下载的时间间隔可以略长一些；雨量数据记录间隔较长时，数据下载的间隔也可相应延长。根据自记雨量计中数据采集器的容量和数据记录间隔可以计算出数据下载的时间间隔，当数据采集器的容量较大时，数据下载的时间间隔可以较长，但观测人员必须每隔一定时间对雨量计进行检查，检查内容包括承水器口是否水平、承水器是否被堵、数据采集器的电量是否足够等。

自记雨量计观测场降雨记录格式见表 1-1-3。自记雨量计降雨观测资料汇总格式见表 1-1-4。

表 1-1-3 自记雨量计观测场降雨记录表

观测时间：_____

观测员：_____

观测仪器		安装地点	
安装点坐标		海拔高度(m)	
原始记录数据		汇总数据	
日期与时间	雨量 (mm)	场降雨量(mm)	
年 月 日 时 分		降雨开始时间	
年 月 日 时 分		降雨结束时间	
年 月 日 时 分		降雨历时(min)	
年 月 日 时 分		平均雨强 (mm/min)	
年 月 日 时 分		5 分钟最大雨强 (mm/min)	
年 月 日 时 分		10 分钟最大雨强 (mm/min)	
年 月 日 时 分		30 分钟最大雨强 (mm/min)	
年 月 日 时 分		60 分钟最大雨强 (mm/min)	
年 月 日 时 分			
年 月 日 时 分			
年 月 日 时 分			
年 月 日 时 分			
合计			

表 1-1-4 自记雨量计降雨观测汇总表

观测仪器及编号		安装地点		安装点坐标		海拔高度 (m)	
起止时间	雨量 (mm)	降雨历时 (min)	平均雨强 (mm/min)	5 分钟最大雨强 (mm/min)	10 分钟最大雨强 (mm/min)	30 分钟最大雨强 (mm/min)	60 分钟最大雨强 (mm/min)
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							

(续)

起止时间	雨量 (mm)	降雨历时 (min)	平均雨强 (mm/min)	5 分钟 最大雨强 (mm/min)	10 分钟 最大雨强 (mm/min)	30 分钟 最大雨强 (mm/min)	60 分钟 最大雨强 (mm/min)
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
年 月 日 时 分— 月 日 时 分							
累计降雨量							
最大值							
最小值							

1.1.2 平均降雨量

当研究流域面积较大时，由于降雨时空分布不均，需要布设多个降雨观测点，以掌握流域平均降雨情况。此时需要根据每个降雨观测点的观测资料计算研究流域的平均降雨量。在水文学中平均降雨量的计算方法主要有：算术平均法、加权平均法、泰森多边形法、等雨量线法、客观运行法。

(1) 算术平均法

算术平均法就是将观测区域内所有观测点的雨量进行平均。

算术平均法计算方法简单，在地形起伏不大、降雨分布均匀、降雨观测站点布设合理且数量较多的情况下，可以利用算术平均法直接计算平均降雨量，计算结果较为满意。利用算术平均法求算平均降雨量，往往需要较多的雨量观测站点，这需要较大的投入。

$$P = (P_1 + P_2 + \cdots + P_n)/n$$

式中： $P_1, P_2, \cdots, P_n$ ——各观测站点的降雨量，mm；

P ——区域平均降雨量，mm；

n ——观测站点数。

(2) 加权平均法

在对观测流域内的基本情况如地形、海拔、面积、地类、坡度、坡向等进行勘察基础上，选择有代表性的地点作为降雨观测点，每个观测点都代表下垫面基本特征一致的区域，该区域内降雨情况可以认为基本一致。此时可以把每个观测点控制的面积比例作为各观测点降雨量的权重，按加权法计算观测区域平均降雨量。

$$P = A_1P_1/A + A_2P_2/A + \cdots + A_nP_n/A$$

式中： P ——观测流域的平均降水量，mm；

A ——观测流域的面积， hm^2 或 km^2 ；

$A_1, A_2, \dots, A_n$ ——每个观测点控制的面积, hm^2 或 km^2 ;

$P_1, P_2, \dots, P_n$ ——每个观测点观测的降雨量, mm 。

(3) 泰森多边形法

泰森多边形法是荷兰气候学家 A. H. Thiessen 提出的一种根据离散分布雨量观测点的降雨量计算平均降雨量的方法。当观测流域内地形起伏变化较大、雨量观测点分布不均、有些雨量观测站点偏于流域一角, 或流域周边有可用的降雨观测资料时, 采用泰森多边形法计算流域平均降雨量较算术平均法更为合理。

泰森多边形法的具体步骤如下:

在地图上将降雨观测站点两两相连, 构成三角形网, 然后对每个三角形的各边作垂直平分线, 这些垂直平分线与流域边界构成以每个测站为核心的多边形, 这些多边形称为泰森多边形(图 1-1-4)。用求积仪或其他方法求算每个泰森多边形的面积。在每个泰森多边形内仅含有一个雨量观测站, 每个雨量观测站的控制面积即为此多边形的面积。以每个泰森多边形的面积作为权重, 按照加权平均法计算观测流域的平均降雨量。

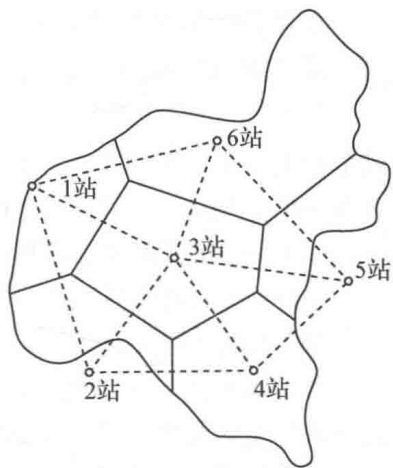


图 1-1-4 泰森多边形法示意图

$$P = A_1 P_1 / A + A_2 P_2 / A + \dots + A_n P_n / A$$

式中: $A_1, A_2, \dots, A_n$ ——各雨量观测站的控制面积, 即每个泰森多边形的面积, hm^2 或 km^2 ;

$P_1, P_2, \dots, P_n$ ——每个泰森多边形内雨量观测站的降雨量, mm ;

P ——观测区域平均降雨量, mm ;

A ——观测区域的面积, hm^2 或 km^2 。

泰森多边形法认为观测站点间降雨量是线性变化的, 并没有考虑地形(坡向、海拔高度等)对降雨量的影响。当流域内雨量观测站点固定不变时, 泰森多边形法使用方便, 精度较高。但如果某一观测站点出现问题或被破坏, 出现漏测时, 则必须重新划分多边形、重新计算各测站的权重系数后, 才能计算出流域的平均降雨量。

(4) 等雨量线法

等雨量线法是计算区域平均降雨量(面雨量)最完善的方法之一。其优点是考虑了地形变化对降雨的影响, 因此适用于地形变化较大、又有足够数量的降雨观测站点的区域平均降雨量的计算。

利用等雨量线法计算区域平均降雨量时, 首先需要根据观测区域内外各个降雨观测站点的雨量资料, 绘制等雨量线图。等雨量线能够反映降雨量的空间分布情况, 能更清楚地说明地形、地面高程变化及其他影响因素对降雨量空间分布的影响。但每场降雨的等雨量线分布不尽相同, 等雨量线图只能反映出降雨量的空间分布特征和降雨面积的大小, 但无法给出降雨起始时间、降雨结束时间、降雨历时等信息。另外, 等雨量线图的绘制需要专业人员, 工作量甚大, 计算成果也会因等雨量线绘制的差异而不同。

等雨量线法计算平均降雨量的步骤如下:

①绘制降雨量等值线图;

②用求积仪或地理信息系统等方法测算出相邻等雨量线间的面积 A_i ，用 A_i 除以流域总面积 A 得出各相邻等雨量线间面积的权重；

③以各相邻两条等雨量线的雨量平均值 P_i 乘以相应的权重得到加权雨量；

④将观测区域内的加权雨量求和得到平均雨量。

$$P = A_1 P_1 / A + A_2 P_2 / A + \cdots + A_n P_n / A$$

式中： $A_1, A_2, \cdots, A_n$ ——相邻等雨量线间的面积， hm^2 或 km^2 ；

$P_1, P_2, \cdots, P_n$ ——相邻两条等雨量线的平均降雨量， mm ；

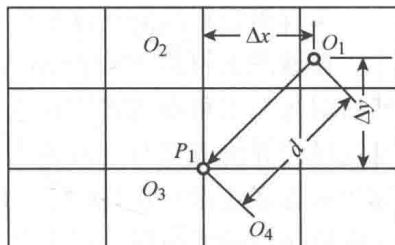
A ——观测区域总面积， hm^2 或 km^2 ；

P ——观测区域平均降雨量， mm 。

(5) 客观运行法

客观运行法是在美国广泛采用的计算区域平均降雨量的方法。具体做法参见图 1-1-5，具体步骤如下所述：

①先将研究区域(或流域)划分为若干网格(图 1-1-5)，得出众多格点(交点)，并在网格上标出各雨量观测点的具体位置(如 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4)。



②用各雨量观测点的降雨资料确定各格点的降雨量。图 1-1-5 客观运行法示意图

以格点周围各雨量观测点到该格点距离平方的倒数作为权重系数，用各观测点权重系数乘以各观测点的降雨量，然后求和得到各格点的降雨量。雨量观测点到格点的距离越近，其权重系数越大，即对该格点降雨量的贡献越大。

若雨量观测点到格点距离为 d ，则权重为 $W = 1/d^2$ ，若某一雨量观测点到某格点横坐标差为 Δx ，纵坐标差为 Δy ，则 $d^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$ ，计算格点雨量的公式为：

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_i W_i}{\sum_{i=1}^{n_j} W_i} = \sum_{i=1}^{n_j} P_i W_i$$

式中： P_j ——第 j 个格点的降雨量， mm ；

n_j ——参加第 j 个格点降雨量计算的雨量观测站点数；

P_i ——参加 j 点降雨量计算的各雨量观测站点的降雨量， mm ；

W_i ——各雨量观测站点对于第 j 个格点的权重；

n ——区域内格点总数。

③将计算出的各格点的降雨量取算术平均值，即为观测区域的平均降雨量 $P(\text{mm})$ 。

$$P = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_j$$

1.1.3 林内降雨

当观测区域内有水土保持林或其他林地时，需要观测林冠对降水的截留作用，计算林冠截留量，评价林冠层的水文效益。林冠截留的降雨量是径流形成过程中的主要损失之一，在林冠的作用下减少了到达地面的雨量，这对防止地表径流和土壤侵蚀的形成具有一定的意义，因此林冠截留降雨的观测是水土保持研究的重要内容。但林冠截留量一般无法直接观