

# 雨滴的观测和计算方法

窦葆璋 周佩华

(中国科学院西北水土保持研究所)

降雨雨滴特征的观测,是研究天然降雨和人工降雨及设计和鉴定人工降雨装置等项工作中不可缺少的一个组成部分。就土壤侵蚀而言,雨滴的大小和大小雨滴的分布,是降雨的基本特征,也是计算一些降雨参数的依据。因此,它是研究一个地区土壤侵蚀发生和演变规律及建立侵蚀数学模型不可缺少的基本资料。

关于雨滴滴谱的观测方法有许多种,但其中普遍使用的只有两种,即色斑法和面粉球法。自1973年以来,我们在侵蚀研究工作中一直使用的是色斑法。虽然这种方法对少数高强度(大于75毫米/小时)降雨的观测存在一些问题。但它具有成本低、操作简便、测定也较准确等优点,在我国尚不能普遍使用昂贵而复杂的高速摄影机和雷达观测雨滴的情况下,它仍不失为一种好的观测方法。

## 一、色斑法

这种方法又称作滤纸法。其作法是:取一张滤纸,在其表面薄薄地涂上一层水溶性颜料的干粉末,在干燥的情况下,这种颜料不显色。而当雨滴落在滤纸上后,每一个雨滴就产生出一个永久性的粗糙的圆形色斑。对一个个色斑进行量度之后,

根据预先率定的色斑直径与雨滴直径的关系,就可测出每个雨滴的直径,再根据滤纸上所形成的大雨滴与小雨滴的数目,依据特定的方法,就可得到降雨雨滴的组成和其它特征值。

### 1、颜料混合粉末的配制

我们在观测中使用的水溶性颜料粉末,是1:10的曙红和滑石粉的混合粉末,即用十份的滑石粉与一份曙红相混合。制备方法是:先按比例称出所需曙红和滑石粉,然后将曙红置于研钵中磨碎,呈粉状;再将曙红粉末与按比例称出的滑石粉均匀混合,并盛入容器备用。混合后的粉末,微微显点粉红色,长时间放置之后,混合粉末的颜色可能稍变深。这是由于吸收了空气中的水分所致,但它仍可使用,不影响观测结果。

颜料混合粉末的使用:在进行观测之前,取一张滤纸平放,将干燥的颜料混合粉末均匀地撒在上面,并用毛刷或棉球将滤纸上的颜料混合粉末涂匀,就可在进行观测时使用。为观测方便起见,每次可涂几张乃至十几张滤纸,以便连续观测时使用。

### 2、雨滴取样器

雨滴取样器,是一个带有活动孔盖的“U”式木盒,如图1所示。

---

仅系宏观的概括。加之我们理论水平有限,亦未与暴雨成因机理紧密联系,上述结论仅系初步,有待实践验证和共同探讨,使之趋于合理。

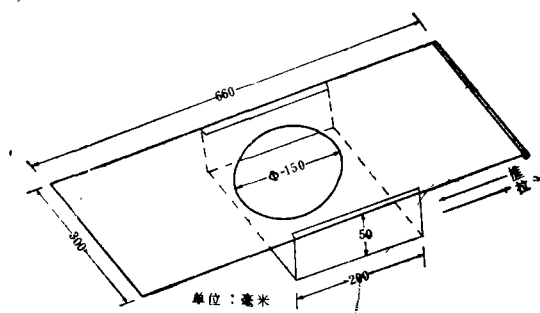


图1 雨滴取样器示意图

取样器的盖，是用薄木板做成的。它可以来回拉动。盖的中央，有一个直径为150毫米的圆孔。这个圆孔的大小，是根据所使用的滤纸的大小（ $\phi = 150$ 毫米）而确定的。取样器的底盒呈U形，边高50毫米。

使用时，将涂有曙红和滑石粉混合剂的圆形滤纸（直径最好不小于150毫米），用图钉钉在U形底盒的中部，然后将孔盖一直推到头。这时，滤纸就被孔盖遮住。取样时，左手执盒，将盒托平置于雨下。右手将孔盖向回拉。盖子在回拉过程中，当圆孔经过滤纸时，雨滴就落在涂有颜料混合粉末的滤纸上面，产生大小不同的雨滴色斑。然后将取样器拿至无雨处，用毛巾将盖子上的雨水揩干，取下盖子，再取出有雨滴色斑的滤纸。用手指轻轻将滤纸弹动几下，将其上剩余的颜料粉末抖落。在滤纸背面记载上取样时间、地点、降雨强度……等，然后按顺序放入盒内，以备测量、计算时使用。取样次数，依需要而定。

取样器外应刷一层漆以防变形。取样器的大小不必拘泥，可大可小，视具体情况而定。另外，回拉孔盖的速度要适当，以雨滴在滤纸上形成的色斑清晰为宜。滤纸上的所取雨滴过稠过稀都不利于测量：稀了增加取样工作量，稠了不便测量单个

雨滴色斑直径；但稠和稀与雨滴的观测结果并无影响。

### 3、率定

色斑法直接测量的是滤纸上的每个雨滴所产生的色斑的直径，再将色斑直径换算成雨滴的直径。

实际上，天然降雨和人工降雨的雨滴，都不是球体状，但在雨滴的观测中，则假定它们为球体状。所以，算出的雨滴的直径，是指雨滴的球体直径。雨滴在滤纸上所形成的色斑的直径与雨滴直径的关系，受滤纸的性能和滤纸的厚度的影响，其关系为：

$$d = 3\sqrt{\frac{3D^3h}{2}}$$

式中：d—雨滴直径；

D—雨滴色斑直径；

h—滤纸的厚度。

滤纸的厚度亦属滤纸性能。就同一滤纸而言，厚度是一定的，所以，滤纸的性能只以固定系数的形式出现。我们根据自己所使用的滤纸，对水滴直径和水滴色斑直径的关系进行了率定。其方法是：

首先，取6支玻璃管，用棉花将一端塞住，并用塑料薄膜将塞了棉花的一端从外面扎住（若玻璃管较细，可不用塑料薄膜扎）。再将不同粗细的棉线，穿过棉花从底端薄膜上的小孔引出。将玻璃管直立夹起来后，注入水，这时，通过不同粗细的棉线滴出大小不同的水滴。然后用称量瓶收集各玻璃管滴出的水滴，用手执计数器计数，每种收集100个。将收集的100个水滴样品，置于1/10,000天平称重，并根据下述球体公式计算出水滴直径：

$$d = 3\sqrt{\frac{6w}{\pi r}} = 1.244\sqrt{w} \text{ (毫米)} \quad (1)$$

式中：w—单个水滴重量（毫克）；

r—水的密度。

另外，再取涂有曙红和滑石粉混合粉末的滤纸，分别收集每种水滴样100个，并进

行量度，计算结果列于表1。

表1 水滴直径与相应色斑直径的实测资料

编号	100个水滴重 (毫克)	单个水滴重 (毫克)	单个水滴直径 d (毫米)	实测单个水滴色斑 直径D (毫米)
1	252.2	2.5	1.7	9.1
2	504.6	5.1	2.2	12.6
3	756.9	7.6	2.5	15.5
4	997.7	10.0	2.7	17.1
5	1582.6	15.8	3.1	21.5
6	2834.9	28.4	3.8	27.5

根据表1数据，应用回归分析法，求d~D的经验公式为：

$$d = 0.356D^{0.712} \quad (2)$$

相关指数  $R = 0.9987$

率定时使用的滤纸，是新华造纸厂出品的，直径为150毫米的定性滤纸(中速)。若用这种滤纸或性能与之相似的滤纸测量时，可直接使用上述公式。

## 二、面粉球法

除了上述较普遍使用的色斑法外，还有一种比较简单易行的测量雨滴的方法，叫面粉球法，它适用于高强度降雨。这种方法是将雨滴收集在盛有面粉的容器中。当下降雨滴与面粉接触后，每个雨滴就产生一个小小的湿面球。将容器连同雨滴形成的湿面球，一起置于烘箱内烘干，它们就凝固成为一个个硬面球，这样就可将面球从容器中拿出来称重，测出每个雨滴的大小。使用这个方法时，预先要进行面粉球体大小与形成面粉球的雨滴大小之间的关系的关系的校正。通过图解或计算，找出面粉球重与比率(水滴重/面粉球重)的关系。这样，在每次观测之后，就可根据图或公

式，由面粉球的重量，得出相应的水滴重量，然后用公式(1)计算雨滴直径。

取样时必须注意：1、每次取样所用的面粉，必须是用同孔径筛子筛过的；2、每次取样接受降雨的时间要相等；3、取样之后，先让面粉球在取样容器中自然风干一天后，用一套标准筛过筛，使面粉球与面粉分离；4、按不同粒级分别收集，置入烘箱，在105℃下烘48小时，然后取出逐级称重并计算。

## 三、测量与计算

根据已收集的雨滴试样的滤纸，就可量出每个雨滴色斑直径的大小，应用公式(2)分别求出每个雨滴的直径，并统计出不同直径的雨滴的数目。这种资料有多方面的用途，例如：求得降雨相应的特征值；计算一次降雨的总能量；核对人工降雨与天然降雨的特征等。这里仅就降雨雨滴的中数直径和动能的计算举例说明。

### 1、雨滴中数直径 ( $D_{50}$ )

雨滴中数直径 ( $D_{50}$ ) 是所有大于这一直径的雨滴的总体积，等于小于这一直径的雨滴的总体积。它是说明雨滴大小特

征的最好指标。这个中数直径是根据雨滴观测结果，将各种直径的雨滴的体积百分数，点绘在雨滴直径对体积累加百分数的坐标图上，然后找出对应于50%体积的直径，如图2所示。

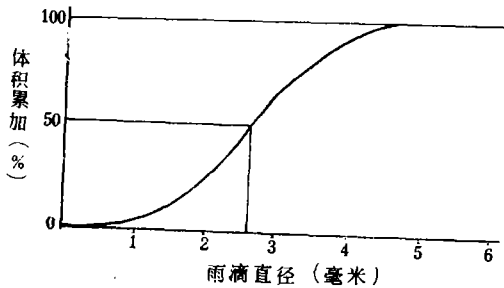


图2 雨滴中数直径( $D_{50}$ )的求得

## 2、降雨动能计算

目前尚无理想的仪器来直接测定降雨的动能，因此，只有根据雨滴观测资料，

运用公式  $E = \frac{1}{2}mv^2$  来间接计算降雨的动能，其步骤是：

首先根据公式  $d = 0.356D^{0.712}$  算出

雨滴直径 $d$ ，再根据雨滴直径 $d$ 求出雨滴质量 $M$ （毫克）

雨滴降落速度按下式计算：

当 $d < 1.9$ 毫米时，用修正的沙玉清公式计算；当 $d \geq 1.9$ 毫米时，用修正的牛顿公式计算。

根据所求出的雨滴质量和速度，即可算出单个雨滴和一次降雨的单位面积上每毫米降雨的能量。现以1975年7月8日武功的一次降雨为例，计算如下：

1、根据雨滴取样的色斑图谱，量出每个色斑的直径，并分别统计出各种直径雨滴的个数，如表2所示。

动能/平方米/1毫米降雨

$$= \frac{3390.540 \times 10^6}{28.58 \times 10^7} = 11.86 \text{ 焦尔。}$$

2、根据色斑直径算出雨滴直径、雨滴质量和雨滴动能；

3、求得图谱的雨量总数、总雨滴质量和总雨滴动能；

4、换算为每平方米面积上1毫米降雨的动能。

表2 用式(2)计算降雨动能表

色斑直径 (毫米)	雨滴直径 (毫米)	雨滴个数	雨滴质量 (毫克)		雨滴动能 (尔格)	
			一个雨滴	小 计	一个雨滴	小 计
1.0	0.34	14	0.02	0.28	0.157	2.198
1.5	0.45	7	0.05	0.35	0.738	5.166
2.0	0.56	8	0.09	0.72	2.158	17.264
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10.5	1.85	1	3.30	3.30	752.234	752.234
总计	—	68	—	28.58	—	3,390.540