

# 黄土高原的暴雨特性及分布规律

张汉雄 王万忠

(中国科学院西北水土保持研究所)

黄土高原属干旱和半干旱气候,年雨量在200—700毫米,并由东向西、由南向北雨量递减。雨量虽少但多以暴雨形式降落。暴雨及其径流与所形成的洪水,往往毁坏农田及其它工程设施,造成严重的水土流失。因此,研究本区的暴雨特性和分布规律,对水土保持极为重要,并对水利、铁路、公路及城建等部门的工程设计,亦有重要的实用价值。

关于黄土高原的暴雨,曾引起不少学者的重视。五十年代以来,这方面的研究诚然取得了一些成果,但由于当时的自记雨量资料年限较短、雨量站稀少,加之本区地域辽阔,地形复杂,各地暴雨特性差异很大,因而所得成果的应用尚有局限性。暴雨的特性主要包括:暴雨出现的频率、强度与历时的关系、点面关系及基本雨型等。本文根据大量系列较长的自记雨量资料,应用统计分析方法,制定出黄土高原的暴雨标准,分析了暴雨出现的频率及极值,并用回归分析—试算图解法推求出暴雨强度公式及若干代表性地点的暴雨参数值,进而编绘了黄土高原的暴雨参数等值线图,以供应用。同时对暴雨各特性的分布也加以讨论。

## 一、暴雨的标准

暴雨泛指短时间内出现的大量降雨。我国气象部门通常把24小时雨量等于和大于50毫米的降雨称为暴雨,但这种划分没有反映出暴雨的特点和强度变化。如10分钟降雨30毫米比24小时降雨60毫米的降雨强度大而集中,显然应为暴雨。因此,确切的暴雨定义和定量标准应能正确反映不同降雨历时之雨量大小。由于我国幅员辽阔,各地降雨强度差异甚大。加之各部门要求不同,因而也不能硬性规定全国统一的暴雨标准。

鉴于黄土高原暴雨历时短、强度大,东部和西部雨量差异较大,因此,所拟暴雨标准必须考虑到历时较短与历时较长的暴雨,而且雨量达到下述两个标准:

1、1.440分钟雨量等于或大于55毫米,与气象部门之标准一致。

2、降雨的初始强度(即在最短时段5分钟内的最大平均强度)能产生坡面径流,并引起土壤侵蚀。据西峰水保站径流小区观测资料:5分钟和10分钟降雨强度分别达0.8和0.6毫米/分钟时,在 $10^\circ$ 左右的坡面上无复盖农地即产生径流,并引起土壤侵蚀。降雨历时较长时,平均雨强大于0.2毫米/分钟、径流深大于0.41毫米时,坡面亦会产生土壤侵蚀。因此,为防止水土流失,我们以最差条件产生土壤侵蚀为标准拟定暴雨的初始强度为0.78毫米/分钟(相应5分钟雨量为3.9毫米)。与世界各国的暴雨初始强度(苏

联  $i \geq 0.5$ 、英国  $i \geq 0.76$ 、美国  $i \geq 1.28$ 、德国  $i \geq 1.0$ ) 相比, 采用此值较为适中。

经统计分析, 用一组抛物线—椭圆方程联接 5 分钟和 1,440 分钟之雨量值, 以表示不同历时之雨量 (图 1)。当  $t < 120$  分钟时, 为一抛物线; 当  $120 \leq t \leq 1440$  分钟时, 为一椭圆; 相应的各历时的强度以一组双曲线表示。计算值见表 1。

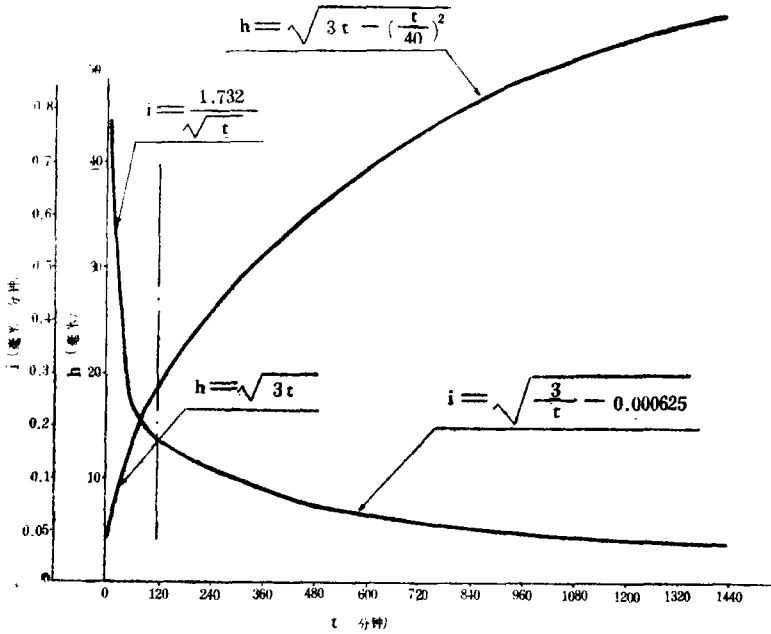


图 1 暴雨标准的抛物线—椭圆曲线

表 1 黄土高原的暴雨标准

历时(t)	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1440
雨量(h)	3.9	5.5	6.7	7.7	9.5	11.6	13.4	16.4	18.7	22.8	26.2	31.6	37.9	42.8	55.0
强度(i)	0.78	0.55	0.45	0.39	0.32	0.26	0.22	0.18	0.16	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05

因之, 凡等于或大于表 1 数值的降雨均称为暴雨。统计表明: 该标准的长历时暴雨的代表性较全面, 较之以前所制定的黄土高原暴雨标准, 更符合黄土高原暴雨的实际情况。

暴雨等级以  $k$  表示:  $h \leq k < 2h$  者, 为一般暴雨;  $2h \leq k < 3.5h$  者, 称大暴雨;  $3.5h \leq k$  者, 则为特大暴雨。

## 二 暴雨出现的频数及极值

按照暴雨标准，我们选择了黄土高原自记雨量资料年限较长的若干代表性地点。1,710场暴雨的统计表明（表2）：六盘山以西地区，每年仅出现暴雨约2次左右，无

表2 黄土高原的暴雨频数

地 点	资料年数	暴雨总 次 数	其 中		年平均 次 数	最多年 次 数	无暴雨 年 数	各历时所占%	
			6—8月	占%				≤60分钟	≤180分钟
西 宁	28	37	35	95.0	1.32	3	7	70.3	86.5
兰 州	28	37	31	83.8	1.32	5	8	64.9	78.4
银 川	28	38	33	86.8	1.36	4	6	52.6	71.1
固 原	24	57	52	91.2	2.38	10	3	50.9	71.9
天 水	26	65	58	89.2	2.50	6	1	66.2	87.7
西 峰	24	96	87	90.6	4.00	9	0	49.0	72.2
呼和浩特	26	112	100	89.3	4.31	10	0	67.9	75.9
榆 林	26	94	82	93.2	3.62	9	0	40.0	67.0
延 安	25	132	112	84.8	5.28	11	0	50.0	74.6
洛 川	25	100	85	85.0	4.00	9	0	44.0	78.0
耀 县	20	81	67	83.0	4.05	8	0	41.0	65.7
大 同	24	91	82	90.1	3.79	7	2	60.4	82.4
兴 县	24	115	98	85.2	4.79	12	0	58.4	71.3
长 治	25	160	140	83.8	6.40	12	0	48.8	66.8
侯 马	25	110	88	80.0	4.40	10	0	50.0	70.0
三门峡	24	106	80	75.0	4.17	8	0	43.0	63.2

暴雨年数约占四分之一；中部和北部地区，每年约3—5次，几乎每年都遇暴雨；东南部暴雨最多，年平均6次以上，最多年达12次。各地暴雨出现的时间多集中于6、7、8三个月，占总数的80%以上。所以，本区暴雨在地区、年际间分配极不均匀，年内分配则高度集中。单场暴雨持续的历时，不超过60分钟的暴雨约占40—70%，3小时以下的暴雨约占70—80%，并由西向东短历时暴雨所占百分数逐渐减少。历时较长（6—24小时）的暴雨相应较少，但依地区不同，由西向东逐渐增多。

暴雨季节，总雨量的大部分是以暴雨形式降落。如位于高原沟壑区的西峰，40年年雨量均值为555.9毫米，7、8月份的月雨量均值分别为116.8和108.3毫米，而这两个月雨量的70%以上为暴雨，甚至一场暴雨的雨量等于月雨量。如董志塬北部1958年7月13日，一场暴雨的流域平均雨量达120.4毫米，超过了月雨量均值。单场暴雨雨量的70%大都集中于6小时以内降落。所以，历时在6小时以下的暴雨是每年多遇，强度较大；尤其是历时在1小时左右的暴雨强度大、出现机会多，这些是引起黄土高原水土流失的主要暴雨类型。历时大于6小时的暴雨较为少遇，且其强度大大减小，一般小于0.2毫米/分钟，由上述西峰站的资料可知，一般不会造成水土流失或仅有微量水土流失。

暴雨的极值反映了暴雨强度的上限与地理分布。实测和调查的黄土高原最大点雨量(表3)表明:5、10分钟的最大雨量均达到59.1毫米,分别超过了本区局地暴雨理论

表3 黄土高原的点雨量记录

地 点	时 间	历 时	雨 量 (毫米)	地 点	时 间	历 时	雨 量 (毫米)
陕西周至黑峪口	73.5.27	5分钟	59.1	陕西洛川	78.7.9	60分钟	100.7
山西太原梅洞沟	71.7.1	5 "	53.1	山西汾河二坝	69.7.27	90 "	137.8
陕西周至黑峪口	73.5.27	10 "	59.1	河南黄河八里胡同	77.7.30	90 "	133.5
山西太原梅洞沟	71.7.1	10 "	53.1	山西屯留西河北	71.6.23	1小时	115.1
陕西周至黑峪口	73.5.27	15 "	59.3	山西太原东木庄	69.7.27	1 "	100.0
内蒙黄河头道拐	78.8.12	15 "	52.0	山西静乐长平	77.6.17	1.5 "	300.0*
内蒙黄河头道拐	78.8.12	20 "	63.9	青海湟中县湟水	77.8.1	1.5 "	200.0*
陕西周至黑峪口	73.5.27	20 "	59.6	山西朔县大尹庄	62.7.5	2.5 "	250.0*
陕西旬邑职田村	60.7.4	26 "	108.0*	山西夏县如意	69.8.21	3 "	400.0*
青海大通小叶坝沟	76.6.19	30 "	225.0*	山西霍县陶村堡	70.8.10	6 "	600.0*
内蒙黄河头道拐	78.8.12	30 "	79.8	河南滎池任村	58.7.16	6 "	575.0*
内蒙黄河头道拐	78.8.12	45 "	93.0	内蒙乌审旗什拉卓海	77.8.1	8 "	1,050.0*
陕西洛川	78.7.9	45 "	90.6	内蒙乌审旗木多才当	77.8.1	10 "	1,400.0*
河南黄河八里胡同	77.7.30	60 "	104.3				

注: \* 为调查值

上的可能最大强度值38.5和55.2毫米,并为国内之极值;8、10小时最大雨量分别达1,050和1,400毫米,已突破国外同历时之雨量纪录;其余时段的最大雨量在内陆亦属较高水平。最大点雨量大都出现在吕梁山东侧、太行山南翼、阴山之南、秦岭北麓及祁连山东南部一带,与气候地理和地形特点密切相关。由于本区暴雨成因主要由中尺度天气系统造成,并依自然地理条件形成由西北向东南暴雨次数逐渐增多、历时增长、强度增大的总趋势,但在局部地区则形成强度很大的暴雨,如内蒙乌审旗之77·8特大暴雨。另外,受地形影响由中小尺度天气系统所形成的暴雨,则代表着本区局地地形雨之突出特点:历时很短(约10—60分钟),强度很大,笼罩面积很小,且不均匀性较为突出。如山西梅洞沟、陕西黑峪口及青海小叶坝沟的暴雨,皆属此类。

### 三、暴雨强度与历时的关系

分析表明,无论是同地点的不同场次暴雨,还是不同地点的同频率和等雨量的暴雨,它们的强度与历时关系曲线均互不重复,变化极为复杂。目前尚无成熟的理论公式表达,因而须通过大量资料的统计分析,来寻求这一随机现象的统计规律。

#### 1、暴雨分析资料的选择

鉴于本区暴雨分布极不均匀—西部无暴雨年较多而东部则每年多遇,采用年最大值

法（该法肯定每一测站每年都有可能出现暴雨，而且是必然的）选样，则与实际不符。因而我们采用超定量法选样，即将历年每场暴雨的各时段（5、10、15、20、30、45、60、90、120、180、360、720、1440分钟）雨量全部予以摘录，并换算成时段的强度。然后，分别求出各时段等于和大于不同强度的累计次数及相应的重现期，组成系列，即为暴雨分析样本。

## 2、相关分析

暴雨强度与雨力的大小成正比，并随历时增大而递减，它们之间的关系在双对数纸上的图形为一直线，其函数式可写为

$$i = \frac{S_N}{(t+d)^n} \quad (1)$$

式中：

t—降雨历时（分钟）；

i—历时t之暴雨强度（毫米/分钟）；

$S_N$ —雨力，是暴雨重现期的函数，等于N年一遇暴雨的最大一分钟雨量（毫米）；

n—暴雨强度衰减指数；

d—时间参数，即在双对数纸上配直线应加的常数，与以60分钟为折点的时段衰减指数 $n_1$ 、 $n_2$ 有关。

不同重现期的 $S_N$ 值在双对数纸上亦成直线分布，故雨力可用下式表示

$$S_N = AN^a \quad (2)$$

式中：N—某一强度暴雨出现一次的年数，即重现期（年）；

a—雨力递增指数；

A—雨力参数，当 $N = 1$ 时， $S_N = A$ ，故A值等于一年一遇之雨力。

则暴雨强度的通式为

$$i = \frac{AN^a}{(t+d)^n} \quad (3)$$

(3)式反映了暴雨强度随历时增大呈双曲函数递减而雨力依重现期增大呈幂函数递增的自然规律。它的边界条件也较符合实际情况，即当 $t \rightarrow 0$ 时，雨强上限 $i_{max} \rightarrow S_N d^{-n}$ ；当 $t \rightarrow \infty$ 时， $i_{min} \rightarrow 0$ 。尤其重要的是，该式反映了i与t之连续函数关系，便于分析。

通常用试凑法确定d值和图解法求(3)式之参数值，但图解繁复，且求解的参数精度不高。我们采用试算图解—回归分析方法求解暴雨参数。

对(3)式取对数，则

$$\text{Log}i = \text{Log}A + a\text{Log}N - n\text{Log}(t+d)$$

令 $\text{Log}i = y$ ， $\text{Log}A = A_1$ ， $\text{Log}N = x_1$ ， $\text{Log}(t+d) = x_2$ ，则

$$y = A_1 + ax_1 - nx_2 \quad (4)$$

上式为暴雨强度公式的二元直线方程，可用二元回归方法求其各项系数（即暴雨参数）。为便于回归计算，先由下式估算d值

$$d = 18 \left( \frac{n_2 - 1}{n_1} \right) \quad (5)$$

式中： $n_1$ 、 $n_2$ —分别表示以60分钟为折点的10—60分钟和60—720分钟的暴雨强度衰减指数，将分析样本的10、30、60、180、720分钟的时段强度平均值点绘于双对数纸上，其斜率即 $n_1$ 、 $n_2$ 。

于是将分析样本代入(4)式进行回归计算。初次试算求出参数A、a、n值及相应的全相关系数r与剩余标准离差s值后，再对估算之d值加以修正，重新试算。改变d值后，只计算 $x_2$ 、 $x_1x_2$ 、 $x_2y$ 及其总和 $\Sigma x_2$ 、 $\Sigma x_2^2$ 、 $\Sigma x_1x_2$ 、 $\Sigma x_2y$ 各项，求得第二组参数值及方程的r、s值。由统计分析原理，选用离差最小、全相关系数最大时之d值，即为所求之d值，所得方程亦为最佳配合方程，其参数亦即所求参数。估算d值求出后，一般再试算2—3次，即可确定各参数值。二元回归计算量虽较大，但借助电子计算机计算，亦很简便，计算的参数值亦很精确。

用上述分析方法，我们得到黄土高原若干代表性地点的暴雨公式(3)的参数值(表4)，经统计检验并与实测值比较，(3)式的相关性很好，误差较小，均能满足实用要求。

### 3、暴雨公式之简化

为便于用回归分析求暴雨参数，需对(3)式简化，即使 $d = 0$ ，则用二元回归分析可一次求得各参数值。分析表明，(3)式比 $d = 0$ 之计算结果，A、a、n参数均有不同程度的增大，而全相关系数则显著增大。这说明(3)式更符合暴雨强度变化的实际情况，d为一配合参数。但用二者分别计算的不同重现期暴雨各时段的强度值与实测值的相对误差比较结果表明： $t < 10$ 分钟时，二者之误差均大于15%，最大达40%，误差依重现期增大而增大；当 $10 \leq t \leq 1440$ 分钟时，误差均小于15%， $30 \leq t \leq 1440$ 分钟的误差则小于10%，误差依重现期增大反而减小；随着历时增大，二者计算值逐渐接近。对于实用来说，主要应预报历时为30—360分钟、重现期大于5年的暴雨，而上述两种情况的计算值均能满足实用要求。因此，尽管 $d = 0$ 在理论上不大合乎逻辑〔见(3)式〕，但由于计算简便，能满足实用要求，亦可采用。则(3)式可简化为

$$i = \frac{AN^a}{t^n} \quad (6)$$

## 四、暴雨参数等值线图及其应用

根据各代表性点的暴雨参数值，并考虑到各地的暴雨特点、极值分布及地形影响，我们编绘了黄土高原暴雨参数A、a、n、d的等值线图(图2、图3)。

暴雨参数等值线图定性定量地反映了黄土高原各地的暴雨特性及分布规律，各参数有明显的统计物理含意：A值表示一年一遇雨力的分布，在3.0—7.0之间，自西北向东南逐渐增大，相应的多遇暴雨增多、强度增大。a值表示稀遇暴雨依重现期递增的程度，a值愈大则年际强度递增愈大，反之亦然。如a值较小的晋西北，虽暴雨较多但历年强度变化不大，多属一般暴雨；a值大于0.4的河套以南、渭北及晋南一带，虽然暴雨

表 4

黄土高原各代表性地点的暴雨参数值

地 点	系列年数	相关系数及离差		参 数 值				适用范围	
		r	s	A	a	n	d	t	N
西 宁	28	0.999	0.017	3.105	0.331	0.730	1.1	10—720	2—50
兰 州	28	0.996	0.035	3.205	0.433	0.745	1.0	10—1,440	"
银 川	28	0.999	0.020	4.064	0.332	0.773	2.0	"	"
固 原	24	0.997	0.033	3.103	0.369	0.662	0.2	"	"
天 水	26	0.999	0.008	4.423	0.338	0.755	1.6	"	1—50
西 峰	24	0.999	0.018	5.090	0.379	0.740	1.4	"	"
呼和浩特	26	0.998	0.024	4.491	0.351	0.665	1.5	"	"
榆 林	26	0.997	0.030	5.600	0.385	0.705	1.1	10—720	"
延 安	25	0.995	0.040	6.694	0.312	0.728	2.0	10—1,440	"
洛 川	25	0.996	0.038	6.132	0.427	0.708	2.0	"	"
耀 县	20	0.995	0.048	5.119	0.408	0.682	1.0	"	"
大 荔	26	0.999	0.012	5.472	0.363	0.716	2.0	"	"
西 安	26	0.998	0.026	3.941	0.397	0.676	0.8	10—720	2—50
大 同	24	0.995	0.038	4.127	0.338	0.697	0.2	10—1440	"
兴 县	24	0.999	0.015	5.423	0.269	0.702	1.1	"	1—50
原 平	25	0.997	0.029	5.117	0.254	0.697	1.3	"	2—50
长 治	25	0.995	0.039	6.488	0.396	0.706	0.7	"	1—50
侯 马	25	0.990	0.060	7.093	0.345	0.735	2.0	"	"
三门峡	24	0.999	0.014	5.653	0.376	0.691	0.6	"	"

不十分多、多遇暴雨强度亦不很大，但稀遇的特大暴雨多分布于此；地处内陆干旱区的兰州附近，大暴雨虽然很少，但很短历时的稀遇特大暴雨时有所见，因而同属高 $a$ 值区。暴雨强度衰减指数 $n$ 值在0.65—0.76之间，总趋势仍由西北向东南递减，但易受地形影响，局部地区分布较为复杂。西部短历时暴雨强度较大，但长历时暴雨强度较小，强度衰减大；东南部的长短历时暴雨强度都较大， $n$ 值约在0.65—0.70之间； $n$ 值最小的六盘山西侧及东北部地区，长短历时暴雨的强度变化不大，年际变化亦不大。本区之 $d$ 值表明，配合参数 $d$ 的范围为 $0 < d \leq 2$ ，而一般用图解法求出之 $d > 2$ 看来，是导致参数误差较大的主要原因。从贺兰山到吕梁山南翼之狭长环形地带 $d$ 值最大，并向周围和中心递减，并与 $a$ 和 $n$ 之分布有关；上面 $n$ 和 $a$ 较小的地区， $d$ 值亦较小。这表明 $d$ 不仅是一个数学配合参数，而且还间接反映了长短历时暴雨强度递增和递减的程度。

暴雨参数等值线图扩大了暴雨强度公式的应用范围。对于黄土高原无暴雨资料或资





料年限较短的广大的水土流失地区，可借助该图用内插法求出各地的暴雨参数值，用（3）式推求不同设计频率、不同历时的暴雨强度，供试验设计应用。例如，从图上求得吴旗县城关的暴雨参数值计算该地各时段之暴雨强度，并与距吴旗县城关2公里之金佛坪水文站的实测雨量值（16年自记雨量资料）进行比较（表5）：5年一遇的暴雨，

表5 暴雨参数等值线图预报值与实测值比较

重现期 (年)	误差	60分钟		180分钟		360分钟		720分钟	
		h	i	h	i	h	i	h	i
		(毫米)	毫米/分钟	(毫米)	毫米/分钟	(毫米)	毫米/分钟	(毫米)	毫米/分钟
5	计算值	27.0	0.45	36.0	0.20	43.2	0.12	50.4	0.07
	实测值	31.8		41.0		50.4		57.6	
	误差(%)	+15.1		+13.0		+14.3		+12.5	
20	计算值	45.0	0.75	59.4	0.33	72.0	0.20	86.4	0.12
	实测值	60.0		70.2		75.6		79.2	
	误差(%)	+25.0		+15.4		+6.1		-9.0	

计算值的误差均小于15%，20年一遇的暴雨，最大误差为25%。历时短者，误差较大，历时长时则误差较小。对于资料短缺地区，预报值可供参考。诚然，等值线图的暴雨参数值比过去各地普遍通用的黄土高原暴雨参数值，更符各本区暴雨地理分布的实际情况。

## 五、 结 论

黄土高原暴雨频繁，强度较大，变化复杂，各地暴雨虽差异很大，但却具有下述普遍特性：

- 1、自西北向东南暴雨出现的频数增多、强度增大、历时增长。
- 2、稀遇的特大暴雨与气候地理和地形影响密切相关，且极值很大；短历时的地形雨较为普遍，强度亦较大。
- 3、暴雨的频数和强度年际变化极不均匀，年内分配和场暴雨的历时分配则高度集中。
- 4、暴雨强度随历时增大呈双曲函数递减而雨力则依重现期增大呈幂函数递增。

我们由大量实测资料的统计分析得到：

- 1、根据水土保持要求，制定了黄土高原的暴雨标准。
- 2、黄土高原通用的暴雨强度公式及若干代表性地点的暴雨参数值。
- 3、编绘了黄土高原暴雨参数等值线图，以供实际应用。

暴雨既存在普遍性，但因受地域及地形影响而又有极大的特殊性；而特大暴雨的出现则纯属一种随机现象，属偶然性，无法预测。因而所得结论亦不可能将其特殊性完全反映于普遍规律之中。由于代表性点还不够多、地形雨复杂，所得的暴雨参数等值线图

# 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。