第一章　闽南地区的降雨

闽南地区主要是指泉州、厦门和漳州三地市，位于东经 116°53′～119°05′，北纬 23°32′～25°56′之间。根据 1999 年遥感调查结果，该地区水土流失的总面积4 385.94km^2，占该区土地总面积的 17.42%。水力侵蚀是该地区的主要水土流失形式，水蚀的动力因素就是降雨。降雨雨滴对地面产生的击溅作用，雨水降落到坡面后产生的地表径流等都对水土流失产生直接的影响。而雨滴的击溅侵蚀，地表径流的产生和土壤流失无不与降雨量、降雨强度、雨滴大小及其分布等降雨的特征有关。

1　闽南地区的降雨量

1.1　降雨量的年内分布特征

降雨的年内分布对水土流失的影响很大。根据哈德逊的资料[1]，降雨的年内分布有三种方式，即均匀分布型（温带降雨的特点）、单峰式分布型（热带降雨特点）和双峰式分布型（亚热带降雨特点）（图 1-1）。

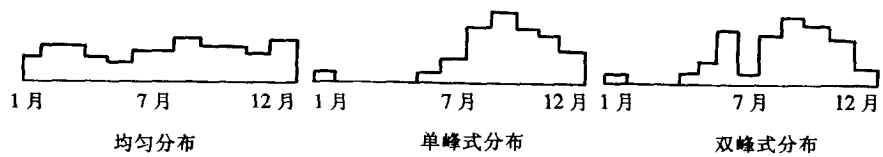


图 1-1　年降雨量分布方式

闽南地区降雨的年内分布如表 1-1 和图 1-2。属亚热带的闽南地区，降雨量年内呈弱双峰式分布，从 1～6月份，降雨量逐月增大，到 6 月份达到最大值，7 月份由于副热带高压控制本区，天气晴朗少云，降水较少，其降雨量比 6 月份明显下降，随着热带天气系

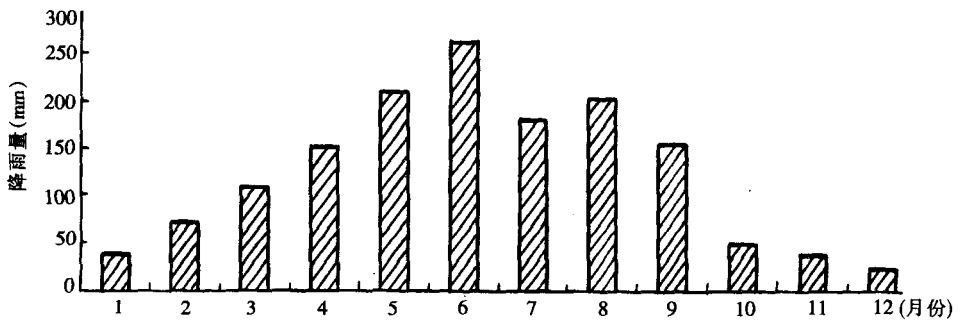


图 1-2　闽南多年平均降雨量分布

需要全本请访问 www.ertongbook.com

统的影响，8月份比7月份降雨量又略有回升，9月份降雨量又比7月、8月份有所下降，10月以后降雨量急剧减少，直至年底，降雨量达到年内的最小值。降雨量较大的5～8月份，各站点降雨量变化于562.3～1 077.8mm，占各站点年降雨量的53.5%～62.4%。

表 1-1 闽南地区主要站点的降雨量

站名	资料年限	平均降雨量（mm）												
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
同安	1956—1990	38.4	76.5	103.4	145.6	194.8	251.6	187.4	201.4	164.9	33.1	32.8	23.2	1 453.0
崇武	1954—1990	35.0	69.2	93.6	124.1	158.5	187.9	98.6	117.3	94.7	20.5	29.6	21.5	1 050.5
晋江	1960—1990	36.0	64.0	103.2	136.3	162.3	197.9	130.8	146.1	107.7	25.3	38.9	22.6	1 171.2
南安	1960—1990	43.1	69.4	122.6	141.0	205.6	274.4	174.6	214.5	156.8	46.4	43.5	26.9	1 518.8
安溪	1960—1990	42.3	71.1	127.6	152.3	213.4	245.7	178.0	233.3	191.2	55.0	43.9	27.8	1 581.5
永春	1957—1990	40.0	80.6	129.4	158.1	244.9	282.0	210.0	257.5	185.0	59.2	38.0	27.5	1 712.2
德化	1960—1990	49.0	77.0	136.4	172.6	273.7	287.1	212.3	230.8	187.3	62.6	43.8	30.3	1 762.9
芗城	1951—1990	43.3	78.6	102.0	152.4	204.5	277.0	189.9	198.6	169.8	53.6	43.9	26.8	1 540.2
龙海	1960—1990	39.7	67.5	109.2	147.6	187.2	256.9	156.6	195.3	136.9	47.4	42.0	29.3	1 415.5
云霄	1958—1990	34.5	75.8	96.3	168.6	245.3	321.7	267.6	243.2	153.5	55.8	39.0	24.5	1 725.9
漳浦	1961—1990	34.0	68.3	99.3	161.7	206.9	263.2	180.9	192.5	132.7	49.6	47.4	26.4	1 462.9
诏安	1958—1990	28.4	66.2	82.2	147.0	189.0	281.2	194.8	202.0	141.5	55.4	32.1	23.5	1 443.4
长泰	1960—1990	42.0	73.5	113.3	156.6	200.0	261.6	171.6	204.9	150.8	56.8	45.8	26.0	1 503.2
东山	1954—1990	27.1	58.4	71.9	119.5	163.6	207.5	133.2	151.8	100.5	43.7	30.7	19.7	1 127.4
南靖	1956—1990	45.9	88.0	120.6	166.2	242.8	283.0	209.1	228.7	215.1	69.5	40.3	28.3	1737.5
平和	1960—1990	43.7	76.4	122.0	168.9	239.3	292.4	206.2	253.1	189.0	65.0	42.6	29.6	1 728.2
华安	1960—1990	42.3	72.8	139.4	176.8	234.0	287.4	176.4	188.6	174.0	68.5	43.8	27.4	1 631.5
闽南		39.1	72.5	110.1	152.7	209.8	262.3	181.1	203.5	156.0	51.0	39.9	26.0	1 503.9

从季节分布来看，闽南降雨量集中分布在春夏两季（3～8月份），据闽南主要气象站点的资料分析（表1-2），春夏季降雨量占全年降雨量的72.0%～77.8%，秋冬季（9月至翌年2月份），降雨量仅占全年雨量的22.2%～28.0%。而闽南的汛期（5～9月份）雨量各站点多年平均值变化于657.0～1 231.3mm，平均1 012.5mm，占全年雨量的62.5%～71.3%.

表 1-2 闽南地区主要站点的降雨量的月分配比例

站名	资料年限	各月降雨量占年雨量的百分比（%）											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
同安	1956—1990	2.6	5.3	7.1	10.0	13.4	17.3	12.9	13.9	11.3	2.3	2.3	1.6
崇武	1954—1990	3.3	6.6	8.9	11.8	15.1	17.9	9.4	11.2	9.0	2.0	2.8	2.0
晋江	1960—1990	3.1	5.5	8.8	11.6	13.9	16.9	11.2	12.5	9.2	2.2	3.3	1.9
南安	1960—1990	2.8	4.6	8.1	9.3	13.5	18.1	11.5	14.1	10.3	3.1	2.9	1.8
安溪	1960—1990	2.7	4.5	8.1	9.6	13.5	15.5	11.3	14.8	12.1	3.5	2.8	1.8
永春	1957—1990	2.3	4.7	7.6	9.2	14.3	16.5	12.3	15.0	10.8	3.5	2.2	1.6
德化	1960—1990	2.8	4.4	7.7	9.8	15.5	16.3	12.0	13.1	10.6	3.6	2.5	1.7
芗城	1951—1990	2.8	5.1	6.6	9.9	13.3	18.0	12.3	12.9	11.0	3.5	2.9	1.7
龙海	1960—1990	2.8	4.8	7.7	10.4	13.2	18.1	11.1	13.8	9.7	3.3	3.0	2.1
云霄	1958—1990	2.0	4.4	5.6	9.8	14.2	18.6	15.5	14.1	8.9	3.2	2.3	1.4
漳浦	1961—1990	2.3	4.7	6.8	11.1	14.1	18.0	12.4	13.2	9.1	3.4	3.2	1.8

（续）

站名	资料年限	各月降雨量占年雨量的百分比（%）											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
诏安	1958—1990	2.0	4.6	5.7	10.2	13.1	19.5	13.5	14.0	9.8	3.8	2.2	1.6
长泰	1960—1990	2.8	4.9	7.5	10.4	13.3	17.4	11.4	13.6	10.0	3.8	3.0	1.7
东山	1954—1990	2.4	5.2	6.4	10.6	14.5	18.4	11.8	13.5	8.9	3.9	2.7	1.7
南靖	1956—1990	2.6	5.1	6.9	9.6	14.0	16.3	12.0	13.2	12.4	4.0	2.3	1.6
平和	1960—1990	2.5	4.4	7.1	9.8	13.8	16.9	11.9	14.6	10.9	3.8	2.5	1.7
华安	1960—1990	2.6	4.5	8.5	10.8	14.3	17.6	10.8	11.6	10.7	4.2	2.7	1.7
闽南		2.6	4.8	7.3	10.2	13.9	17.4	12.0	13.5	10.4	3.4	2.7	1.7

1.2 降雨量的年际分布特征

用最大年降雨量与年均降雨量的比值和最大年降雨量与最小年降雨量的比值来表征其年际变化（表 1-3）。从表 1-3 可以看出，闽南地区降雨量的年际变化很大，最大年降雨量一般为平均降雨量的 1.3～1.8 倍，而最大年降雨量一般为最小年降雨量的 1.7～3.0 倍，这种年际变化沿海较剧烈，而向山区有逐渐减缓的趋势。

表 1-3 闽南地区主要站点的降雨量的年际变化

站名	资料年限	年降雨量（mm）				
		平均雨量	最大雨量	最小雨量	最大/平均	最大/最小
同安	1956—1990	1 453.0	2 296.4	1 030.8	1.6	2.2
崇武	1954—1990	1 050.5	1 856.9	628.9	1.8	3.0
晋江	1960—1990	1 171.2	2 088.5	815.3	1.8	2.6
南安	1960—1990	1 518.8	2 283.7	965.5	1.5	2.4
安溪	1960—1990	1 581.5	2 461.4	1 193.2	1.6	2.1
永春	1957—1990	1 712.2	2 515.2	1 224.2	1.5	2.1
德化	1960—1990	1 762.9	2 485.7	1 303.8	1.4	1.9
芗城	1951—1990	1 540.2	2 143.5	1 056.4	1.4	2.0
龙海	1960—1990	1 415.5	2 124.2	897.3	1.5	2.4
云霄	1958—1990	1 725.9	2 612.3	1 228.7	1.5	2.1
漳浦	1961—1990	1 462.9	2 202.4	835.9	1.5	2.6
诏安	1958—1990	1 443.4	2 253.5	920.6	1.6	2.4
长泰	1960—1990	1 503.2	2 063.3	1 041.0	1.4	2.0
东山	1954—1990	1 127.4	1 972.8	674.2	1.7	2.9
南靖	1956—1990	1 737.5	2 432.8	1 172.3	1.4	2.1
平和	1960—1990	1 728.2	2 313.9	1 152.8	1.3	2.0
华安	1960—1990	1 631.5	2 135.6	1 255.8	1.3	1.7

1.3 降雨量的空间分布特征

闽南地区降雨的空间分布特征与地貌分布特点密切相关。本区位于戴云山脉和博平岭的东南麓，倚山面海。西部由戴云山、博平岭以及其延伸的中、低山所组成；东部主要是平原和岗台地地貌；在东、西部平原和山地之间有一明显的丘陵过渡带。根据地貌特点，本区的地势自西向东、从内陆向滨海，大致由高到低呈阶梯状下降。这一地貌特征显著影

响着本区的降雨空间分布。

从表 1-3 可以看出，闽南地区各站点多年平均降雨量是有差异的。最低的年降雨量是崇武的1 050.5mm ，最高是德化的 1 762.9mm，极差达到 712.4mm。从年降雨等值线图（图 1-3）分布情况来看，闽南地区多年降雨量有从东南沿海向西北山区逐渐增大的趋势。

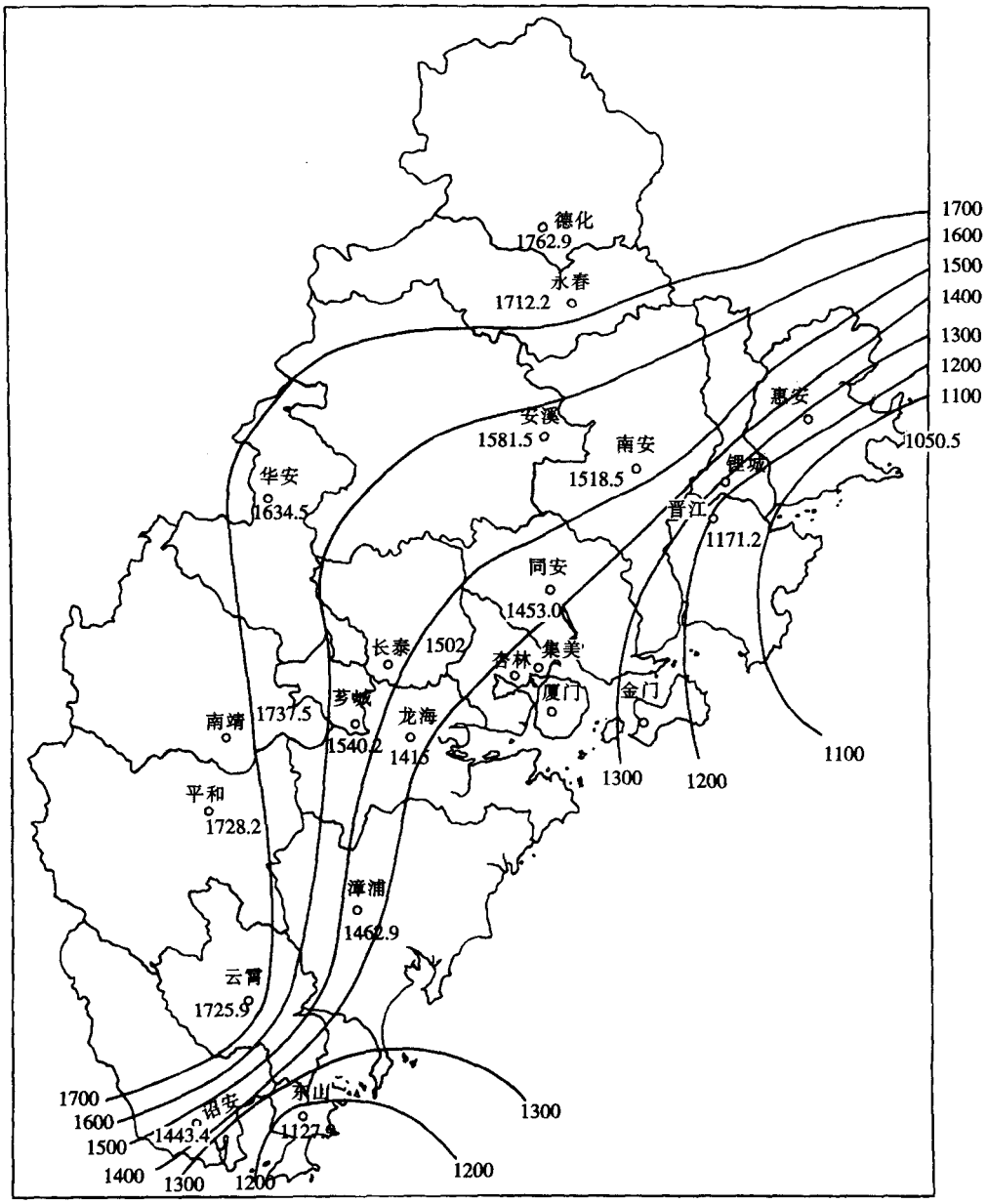


图 1-3　闽南地区降雨量等值线图（单位：mm）

2 闽南地区的降雨强度

一次降雨过程的雨强是变化的，如图 1-4。因此，可以用一次降雨过程单位时间的降雨量来描述降雨强度，这就是通常所说的平均降雨强度；也可以用均匀雨段单位时间的降雨量来描述降雨强度，这就是时段降雨强度。因此，一场降雨就有多个不同的时段雨强；另外还可以用最大时段雨强来描述一场雨的降雨强度。

根据 1987 年安溪官桥径流实验站降雨自记记录，分别求取均匀降雨各时段的雨强，并按一定的雨强分段，统计各分级的频率、雨量和历时（表 1-4、图 1-5）.

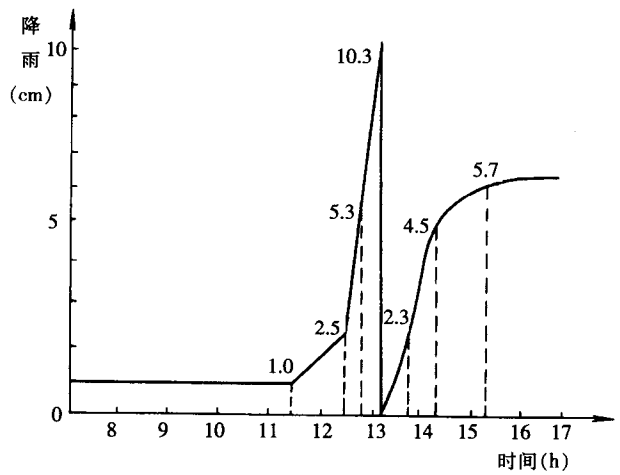


图 1-4 自记雨量计降雨记录曲线

表 1-4 1987 年均匀雨强段发生次数、雨量和历时

单位：次、mm、mn

合 计			<2mm/h			2～4mm/h			4～6mm/h			6～8mm/h		
次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时
983	1 480.1	27 167	548	281.7	17 514	159	227.4	4 989	65	111.4	1 429	55	115.6	1 012
			55.7%	19%	64.5%	16.2%	15.4%	18.4%	6.6%	7.5%	5.3%	5.6%	7.8%	3.7%

8～10mm/h			10～12mm/h			12～14mm/h			14～16mm/h			16～18mm/h		
次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时
26	59.2	418	19	52.6	292	22	58.6	273	15	44.1	201	7	41.4	148
2.6%	4.0%	1.5%	1.9%	3.6%	1.1%	2.2%	4.0%	1.0%	1.5%	3.0%	0.7%	0.7%	2.8%	0.5%

18～20mm/h			≥20mm/h			其中：>60mm/h				
次	雨量	历时	次	雨量	历时	次	雨量	历时		
7	28.3	88	60	459.8	803	5	73.8	51		
0.7%	1.9%	0.3%	6.1%	31%	3.0%	0.5%	5.0%	0.2%		

需要全本请访问 www.ertongbook.com

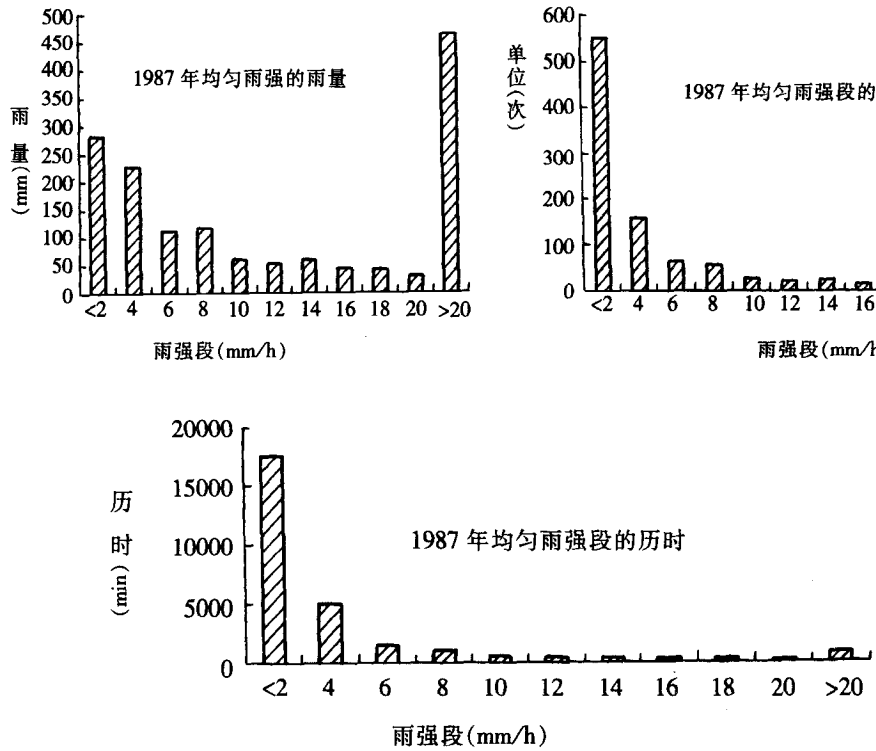


图 1-5　1987 年均匀雨强段发生的次数、雨量和历时

1987 年 983 段均匀雨强段中，＜2mm/h 的雨强发生次数达 548 次，占年总次数的 55.7%，2～4mm/h 雨强段发生次数为 159 次，占全年总次数的 16.2%，其他各雨强段发生的次数变化于 7～65 次之间，占全年总次数的 0.7%～6.6%；从降雨历时来看，＜2mm/h雨强段降雨历时达17 514min，占全年总历时27 167min的 64.5%，2～4mm/h 雨强段降雨历时4 989min，占全年总历时的 18.4%，其余各雨强段的降雨历时变化于 88～1 429min 之间，占全年总历时的 0.3%～5.3%；各雨强段雨量的分布规律与次数和历时的分布规律有所不同，以≥20mm/h 雨强的累计降雨量最大，达到 459.8mm，占全年总雨量1 480.1mm 的 31.1%，而＜2mm/h和 2～4mm/h雨强段的降雨分别为 281.7mm 和 227.4mm，分别占全年总雨量的 19.0%和 15.4%，而其他各雨强段的降雨量变化于 28.3～115.6mm之间，占全年雨量的 1.9%～7.8%。

根据以上结果可以得出如下规律：闽南降雨过程中，均匀雨强段发生次数最多、历时最长的是小于 2mm/h 的降雨，而大于等于 20mm/h 的均匀雨强段发生的次数不多、历时不长，然而其降雨量却很大，占全年降雨的 31.1%。

3　闽南地区天然降雨雨滴特征

天然降雨雨滴特征主要是指雨滴的大小分布、中数直径、降雨动能以及它们随雨强的

变化规律等。

3.1 雨滴大小的测定

最早测量雨滴大小的方法是 1892 年 Lowe 提出来的。他用一块划有方格的薄板来接受雨滴，根据薄板上形成的雨滴斑迹来计算雨滴的大小。 Hudson 在 1964 年发明了“面粉球法”来测量雨滴的大小。他将降雨收集在盛有面粉的碟子里，一个雨滴产生一个小小的湿面球，将这些小面粉球置于炉上烘干时，它们就凝固成硬面球，这样就可以将其从面粉中取出来并量测其大小，并根据球体大小与雨滴大小之间的相关性的实验校正值，确定雨滴的大小。另一种方法是，取一张滤纸，在其表面薄薄地涂上一层水溶性颜料的细粉末，在干燥情况下，颜料不显色，当雨滴降落在滤纸上时，每一个雨滴就产生大体上是圆形的色斑，对该色斑进行测量，并根据色斑大小与雨滴大小的关系确定雨滴的大小，这就是通常所说的滤纸色斑法。滤纸色斑法是我国目前研究雨滴大小所采用较普遍的方法。

滤纸色斑法的具体做法是：取一张滤纸，在其表面薄薄地涂上一层水溶性的 1:10 的曙红和滑石粉的混合粉末，当雨滴落在滤纸上后，每一个雨滴就产生一个永久性的粉红色圆形色斑。实际雨滴在滤纸上所形成的色斑直径除了与雨滴直径密切相关以外，还受到滤纸性能的影响。它们有 $d=(3D^3h/2)^{1/3}$（式中 d——雨滴直径；D——雨滴色斑直径；h——滤纸的厚度）。就同一滤纸而言，其性能（厚度）是一定的。研究者可以根据所选用的滤纸，率定雨滴直径与色斑直径关系。窦葆璋等人做了这方面的工作[2]，提出了新华造纸厂出品的直径为 150mm 的定性中速滤纸的雨滴色斑直径与雨滴直径的关系式（1—1式）。因此，在相同的滤纸上获得雨滴滴谱，并对一个个色斑直径测量之后，根据预先率定的色斑直径与雨滴直径的关系，就可以测定每一个雨滴的直径。

$$d=0.365D^{0.712} \qquad 1—1$$

式中 d——雨滴直径（mm）；

D——色斑直径（mm）。

3.2 雨滴大小及其分布

本研究使用的滤纸是新华造纸厂出品的直径为 150mm 的定性中速滤纸，故可以直接采用窦葆璋等人[2]提出的雨滴直径与色斑直径的关系式求算雨滴直径。

根据 1989 年 7 月至 1990 年 9 月在安溪官桥获得的天然降雨滴谱资料计算。滤纸色斑法观测到的最小雨滴直径为 0.58mm，最大雨滴直径为 6.09mm。

从实测的两份滴谱分析，低强度降雨的滴谱主要由小雨滴组成。如表 1-5，在 0.04mm/min 雨强时取得的滴谱中，最大雨滴直径为 2.45mm，而雨滴个数最多的是 0.58～0.96mm 直径的雨滴，合计有 105 个雨滴，占本份滴谱总雨滴个数的 58.7%。而高强度降雨条件下，降雨主要由较大雨滴组成。而且各雨滴直径的雨滴个数分布较均匀。如表1-6，在 1.03mm/min 的雨强下，滴谱中起始雨滴直径为 1.12mm，最大雨滴直径为 5.01mm，且各雨滴直径的雨滴个数都是 1～2 个。低强度降雨尽管雨滴个数很多，但由于质量轻，降落速度小，其动能相应较小，对土壤侵蚀的影响也小。而较大雨滴，虽然个数少，但质量重，速度快，其动能相应也较大，对土壤侵蚀的影响也大。

表 1-5　0.04mm/min 时的雨滴滴谱

雨滴直径（mm）	个　数	质　量（mg）	速　度（m/s）
0.58	38	3.80	2.28
0.78	38	9.50	3.07
0.96	29	13.34	3.75
1.12	22	16.06	4.33
1.27	20	21.40	4.85
1.42	12	18.00	5.35
1.56	5	9.95	5.81
1.70	5	12.85	6.25
1.83	5	16.05	6.65
1.96	12	3.94	6.89
2.09	1	4.77	7.05
2.21	1	5.65	7.21
2.33	1	6.62	7.36
2.45	1	7.69	7.49

表 1-6　雨强为 1.03mm/min 时雨滴滴谱

雨滴直径（mm）	个　数	质　量（mg）	速　度（m/s）
1.12	1	0.73	4.33
1.27	1	1.07	4.85
1.70	1	2.57	6.25
1.96	1	3.94	6.89
2.09	1	4.77	7.05
2.21	1	5.65	7.21
2.33	1	6.62	7.36
2.45	1	7.69	7.49
2.56	1	8.77	7.61
2.68	2	20.14	7.74
2.79	1	11.36	7.84
2.90	1	12.76	7.95
3.00	1	14.12	8.04
3.11	1	15.73	8.13
3.22	2	34.92	8.21
3.32	1	19.15	8.29
3.42	2	41.86	8.37
3.52	1	22.81	8.44
3.62	1	24.83	8.52
3.72	1	26.92	8.58
3.82	1	29.14	8.64
4.01	1	33.76	8.75
4.10	1	36.22	8.80
4.20	2	77.54	8.88
4.29	1	41.39	8.89
4.38	1	44.12	8.94
4.48	1	47.03	8.98
4.66	2	105.70	9.06
4.92	1	62.42	9.15
5.01	1	65.80	9.18

从获得的闽南天然降雨滴谱资料分析，总的趋势是随着雨强的增大，每份滴谱的最大雨滴直径也在增大，如表 1-7 每份滴谱的最大雨滴直径（y）与雨强（x）密切相关，经回归分析表明，他们有幂函数关系，其变化规律如图 1-6。

$$y=4.435x^{0.232} \qquad 1—2$$

$$r=0.886 \quad [r_{0.01(56)}=0.337]$$

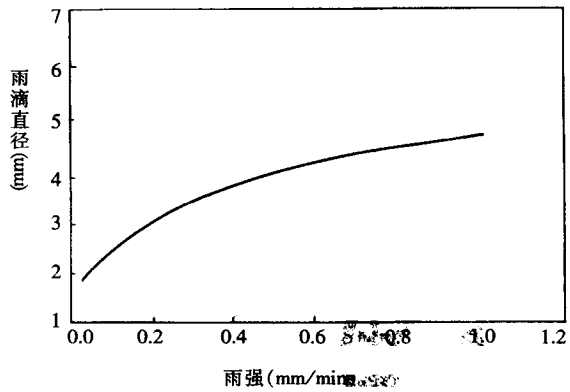


图 1-6　雨强与最大雨滴直径

表 1-7　雨强与最大雨滴直径

雨强 (mm/h)	最大雨滴直径 (mm)	雨强 (mm/h)	最大雨滴直径 (mm)	雨强 (mm/h)	最大雨滴直径 (mm)
0.04	2.45	0.16	2.56	0.50	4.01
0.04	2.21	0.15	2.33	0.18	2.90
0.05	2.45	0.19	3.11	0.12	2.56
0.27	3.42	0.08	1.96	0.30	3.22
0.03	2.21	0.79	4.20	0.10	2.90
0.40	3.42	0.26	3.11	0.27	3.22
0.14	2.33	0.03	2.09	0.50	3.72
0.16	3.00	0.10	2.56	0.20	2.68
0.04	2.21	0.20	3.52	0.13	3.00
0.02	1.83	0.42	3.42	0.30	3.11
0.96	6.09	0.27	3.42	0.12	2.33
0.07	2.79	0.16	2.79	0.25	3.72
0.23	3.52	0.31	3.52	0.57	4.48
0.06	2.56	0.17	3.11	0.11	2.56
0.03	1.83	0.30	3.91	0.45	3.42
0.06	2.09	0.70	3.22	0.10	2.45
0.05	2.09	0.10	2.21	0.05	2.68
0.43	3.11	1.03	5.01	0.12	2.45
0.16	2.68	0.20	2.68		
0.70	4.48	0.15	2.90		

再来看闽南地区天然降雨雨滴的分布。贝斯特（Best）认为[3]，雨滴大小分布是遵守如下的函数关系的：

$$F=1-\exp\left[-(d/a)^n\right] \qquad 1—3$$

其中

$$a=AI^p \qquad 1—4$$

式中　d——雨滴直径（mm）；

F——雨滴中直径小于或等于 d 的雨滴累积体积（%）；

I——降雨强度（mm/min）；

n、a、p—— 常数。

我国的江忠善等[4]对黄土地区的资料分析结果认为，贝氏的分布函数式是符合黄土地区的降雨特征的。然而，由于雨滴大小分布受到很多因素的影响，如降雨强度、雨型、相对湿度等。所以，江忠善等人在将贝氏的雨滴大小分布函数引用到黄土地区的过程中，利用实测资料对函数中的参数进行了修改。求得黄土高原短阵降雨雨滴分布 $F=1-\exp[-(d/3.58I^{0.25})^b]$，其中 b 为 $2.44I^{-0.06}$，对于普通降雨雨型来讲，雨滴分布 $F=1-\exp[-(d/2.96I^{0.26})^b]$，其中 b 为 $2.54I^{0.09}$。

闽南地区属南亚热带海洋性季风气候，天然降雨雨滴大小分布有其自身的特征。根据1989年7月至1990年9月在安溪官桥获得的天然降雨滴谱资料，计算贝斯特雨滴分布函数中的 a 和 n 值。具体的算法是：

对1—3式进行移式、取对数，使它转换为

$$\ln d=\ln a+1/n\times\ln\ln[1/(1-F)] \qquad 1—5$$

设 $Y=\ln d$，$A=\ln a$，$B=1/n$，$X=\ln\ln[1/(1-F)]$，则1—5式可写成：

$$Y=A+BX \qquad 1—6$$

通过滴谱资料，可以求得每份滴谱的一组 X、Y 值，以这一组的 X、Y 值为基础，应用回归分析求算1—6式中的常数 A 和 B 值，进而求得贝斯特雨滴分布函数的 a、n 值。

根据以上计算方法，求得闽南天然降雨雨滴大小分布函数中的 a、n 值如表1-8。

表 1-8 闽南降雨雨滴大小分布函数中的 a、n值

雨强 (mm/h)	a	n	雨强 (mm/h)	a	n	雨强 (mm/h)	a	n
0.04	1.65	3.31	0.16	1.83	4.17	0.50	3.02	3.84
0.04	1.59	5.40	0.15	1.74	4.02	0.18	2.06	4.11
0.05	1.69	2.89	0.19	2.39	4.43	0.12	1.86	3.77
0.27	2.84	4.50	0.08	1.42	3.12	0.30	2.60	4.00
0.03	1.47	3.34	0.79	3.22	4.57	0.10	1.99	3.74
0.40	3.03	8.05	0.26	2.49	4.90	0.27	2.48	4.71
0.14	1.87	4.23	0.03	1.48	3.14	0.50	2.91	4.72
0.16	2.27	5.12	0.10	1.99	3.59	0.20	2.15	4.17
0.04	1.53	3.59	0.20	2.29	4.44	0.13	2.29	4.30
0.02	1.35	3.93	0.42	2.76	4.44	0.30	2.17	4.32
0.96	5.16	5.20	0.27	2.44	4.12	0.12	1.69	4.23
0.07	2.06	4.05	0.16	2.07	4.27	0.25	2.42	4.47
0.23	2.69	3.95	0.31	2.76	4.10	0.57	2.96	4.42
0.06	1.80	4.70	0.17	2.30	4.01	0.11	1.85	3.90
0.03	1.30	3.32	0.30	2.90	4.74	0.45	2.55	6.81
0.06	1.44	4.24	0.70	2.65	5.00	0.10	1.71	3.72
0.05	1.37	5.42	0.10	1.56	3.68	0.05	1.63	3.48
0.43	2.41	4.50	1.03	4.46	5.40	0.12	1.81	3.82
0.16	1.94	4.49	0.20	2.04	3.88			
0.70	3.54	5.49	0.15	2.20	5.34			

以上的雨滴大小分布函数是否表达了闽南天然降雨的雨滴分布状况。我们抽取不同雨强的四份滴谱进行验证，结果如表1-9、表1-10、表1-11、表1-12。

表 1-9 雨强为 0.04mm/min 时雨滴分布的拟合结果

雨滴直径（mm）	实测 F 值（F_1）	计算 F 值（F_2）	相对偏差（%）
0.58	2.54	3.09	-21.57
0.78	8.89	8.03	9.63
0.96	17.81	15.34	13.85
1.12	28.54	24.22	15.12
1.27	42.84	34.33	19.88
1.42	54.87	45.58	16.94
1.56	61.52	56.42	8.29
1.70	70.11	66.84	4.66
1.83	80.84	75.56	6.53
1.96	83.47	82.93	0.64
2.09	86.66	88.77	-2.44
2.21	90.44	92.80	-2.61
2.33	94.86	95.64	-0.83
2.45	100.00	97.53	2.47

注：1990 年 4 月 11 日 14 时 35 分测得的滴谱（3 次重复）a=1.65，n=3.31

表 1-10 雨强为 0.10mm/min 时雨滴分布的拟合结果

雨滴直径（mm）	实测 F 值（%）	计算 F 值（%）	相对偏差（%）
0.58	1.68	1.19	29.35
0.78	3.99	3.41	14.56
0.96	8.27	7.04	14.80
1.12	13.12	11.93	9.06
1.27	16.42	18.08	-10.02
1.42	21.08	25.75	-22.14
1.56	31.66	34.12	-7.76
1.70	43.04	43.34	-0.69
1.83	54.42	52.30	3.90
1.96	64.89	61.21	5.68
2.09	75.45	69.65	7.69
2.21	82.96	76.71	7.54
2.33	88.82	82.82	6.76
2.45	92.23	87.87	4.73
2.56	100.00	91.54	8.46

注：1990 年 7 月 30 日 10 时 4 分测定的滴谱（3 次重复），a=1.99，n=3.59

表 1-11 雨强为 0.40mm/min 时雨强分布的拟合结果

雨滴直径（mm）	实测 F 值（%）	计算 F 值（%）	相对偏差（%）
1.70	0.65	0.95	-45.41
1.83	2.54	1.71	32.55
1.96	3.89	2.95	24.07
2.09	5.53	4.91	11.30
2.21	9.41	7.58	19.46
2.33	13.96	11.37	18.59
2.45	20.57	16.54	19.59
2.56	29.61	22.7	23.34

需要全本请访问 www.ertongbook.com

（续）

雨滴直径（mm）	实测 F 值（%）	计算 F 值（%）	相对偏差（%）
2.68	39.99	31.08	22.27
2.79	47.80	40.23	15.84
2.9	60.95	50.47	17.20
3.00	68.23	60.27	11.67
3.11	73.63	70.87	3.75
3.22	82.63	80.44	2.65
3.32	89.21	87.60	1.81
3.42	100.00	92.94	7.06

注：1990年 4月 21 日 15时 35 分测定的滴谱（3次重复），a=3.03，n=8.05

表 1-12 雨强为 1.03mm/min 时雨滴分布的拟合结果

雨滴直径（mm）	实测 F 值（%）	计算 F 值（%）	相对偏差（%）
1.12	0.46	0.06	87.46
1.27	0.22	0.11	47.83
1.7	0.53	0.55	-3.56
1.96	1.00	1.17	-17.07
2.09	1.58	1.65	-4.95
2.21	2.26	2.23	1.21
2.33	3.06	2.96	3.25
2.45	3.98	3.86	3.09
2.56	5.04	4.87	3.43
2.68	7.47	6.19	17.11
2.79	8.84	7.63	13.62
2.9	10.38	9.32	10.16
3.00	12.08	11.09	8.21
3.11	13.97	13.30	4.82
3.22	18.18	15.82	13.01
3.32	20.49	18.38	10.30
3.42	25.54	21.21	16.94
3.52	28.29	24.31	14.05
3.62	31.28	27.68	11.52
3.72	35.53	31.30	9.34
3.82	38.04	35.16	7.57
4.01	42.11	43.05	-2.25
4.1	46.48	46.99	-1.12
4.2	55.82	51.47	7.80
4.29	60.81	55.55	8.66
4.38	66.13	59.62	9.84
4.48	71.80	64.10	10.72
4.66	84.54	71.84	15.02
4.92	92.07	81.71	11.25
5.01	100.00	84.65	15.35

注：1990年 9月 5日 14时 10 分的滴谱（3次重复），a=4.46，n=5.40

从四个不同雨强获得的滴谱资料拟合结果来看，绝大部分的实测 F 值与计算所得的 F 值相对偏差都在±20%以下，其拟合效果较好，尤其对于较大雨滴直径的 F 值拟合效果更好。但对于小雨滴，特别是对每份滴谱的起始雨滴直径拟合效果相对较差。由此，我们认为，贝斯特的雨滴大小分布函数可以用来描述闽南地区降雨雨滴大小分布特征，也即是闽南天然降雨雨滴大小可以用方程 1—3 来描述。方程中的 a 值贝氏用 $a=AI^{p}$ 来表达 a～I 关系，江忠善等人[4]对黄土高原雨滴分布特征研究表明，a 与 I 遵循贝斯特的关系特征。对于闽南地区的降雨，同样有：

$$a=3.58I^{0.28} \qquad 1—7$$

$$r=0.916^{**}\ [r_{0.01(56)}=0.377]$$

由 a 值表达式来看，闽南的 A、P 两参数分别为 3.58、0.28，与黄土高原的 3.58（或 2.96）、0.25（或 0.26）似乎相差不大。假如将研究范围定义为福建省，那么 A、P 对于不同地区是否可以当作常数来看待呢？我们在闽西（长汀）和闽北（将乐）采集雨滴滴谱进行分析，结果是：

闽西：

$$a=3.23I^{0.29} \qquad 1—8$$

$$r=0.872 \qquad r_{0.01(28)}=0.463$$

闽北：

$$a=3.25I^{0.25} \qquad 1—9$$

$$r=0.937 \qquad r_{0.01(29)}=0.456$$

从三地区的 A、P 值来看，变化是不大的，A 为 3.23～3.58；P 变化于 0.25～0.29 之间。考察不同 A、P 值对 a 值的影响结果表明（表 1-13），不同 A、P 值对 a 的影响不大，不同方程计算的同雨强 a 值两两之间的相对相差都在 20% 以内。可以认为，地理区位不同，对 A、P 值的影响不大。

因此，闽南地区雨滴大小分布函数可写：

$$F=1-\exp\left[-\ (d/3.58I^{0.28})^{b}\right] \qquad 1—10$$

式中 b 等于 $5.19I^{0.11}$。

表 1-13 不同 A、P 值对 a 的影响

雨强（mm/min）	$a=3.58I^{0.28}$	$a=3.23I^{0.29}$	$a=3.25I^{0.25}$
0.01	0.986	0.850	1.028
0.05	1.547	1.355	1.537
0.10	1.879	1.656	1.828
0.20	2.281	2.025	2.173
0.30	2.556	2.278	2.405
0.50	2.948	2.642	4.733
0.70	3.240	2.913	2.973
1.00	3.580	3.230	3.250
1.20	3.768	3.405	3.402
1.50	4.010	3.633	3.597

关于 Best 分布模型中的常数 n 值，国内研究认为[4]，n 不是一个确定的常数，他是随着 I 的变化而呈一定的趋势变化的。从闽南、闽西、闽北获得的 119 份滴谱资料分析表明，n 与 I 无显著的相关关系，通过 $y=a+bx$、$y=ab^{x}$、$y=a+b\ln x$ 和 $y=ax^{b}$ 以及采用多

项式回归等多种方式都无法模拟 n～I 关系。但从实际的数值来看，闽南 n有随雨强 I增大而增大的趋势，而闽西、闽北的数据表明 n随着 I 的增加而减少。这两种相反的 I～n 变化趋势的资料放在一起，进行回归分析，是造成全省 n～I 关系难以用模型来拟合的原因。我们将具有相同 n～I 变化趋势的站点联合起来分析，结果是：

闽南地区：

$$n=5.19I^{0.11} \qquad 1—11$$

$$r=0.565 \qquad r_{0.01(56)}=0.337$$

闽西、闽北地区：

$$n=4.65\times0.78^{I} \qquad 1—12$$

$$r=-0.419 \qquad r_{0.01(59)}=0.338$$

从 1—11、1—12 式可知，闽南地区 n～I 关系是呈显著的正相关关系，而闽西、闽北地区 n～I 关系是呈显著负相关关系。可见，地理区位对 n～I 关系的影响较大，也说明了 n～I 关系的不稳定性，各地在研究雨滴分布时务必充分注意这个问题。

上面讨论了地理区位对雨滴分布模型的影响。那么，在闽南地区雨型对雨滴分布函数有没有影响呢？我们将闽南降雨雨型区分为梅雨型和台风雷暴雨型，并分别进行分析得雨滴的大小分布函数为：梅雨型（以具有典型梅雨特征的 4～5 月份获得的滴谱为资料）：

$$F=1-\exp\left[-\left(d/4.34I^{0.31}\right)^{b}\right] \qquad 1—13$$

式中 b 等于 $5.94I^{0.14}$。

台风雷暴雨型（以具有典型台风雷暴雨特征的 7～8 月份获得的滴谱为资料）：

$$F=1-\exp\left[-\left(d/3.44I^{0.26}\right)^{b}\right] \qquad 1—14$$

式中 b 等于 $5.40I^{0.15}$。

从函数中几个常数值来看，不同雨型对雨滴分布函数是有影响的。因此，为了减少雨型的影响，建议采用不同的函数来描述不同雨型的雨滴大小分布模型。

3.3 雨滴的中数直径

雨滴中数直径（D_{50}）是指所有大于这一直径的雨滴总体积等于小于这一直径的雨滴的总体积时的雨滴直径。它是说明雨滴大小的重要参数。根据江忠善等人[4]在黄土高原几个测站的研究结果，这一个参数与雨强密切相关（表 1-14），且遵守 $y=ax^{b}$，$a<b<1$ 的幂函数分布模式。

表 1-14 不同测点雨强 I 与雨滴中数直径 D_{50} 的关系

观测地点	次数	关系式	相关系数
天水	162	$D_{50}=2.48I^{0.24}$	0.892
西峰	188	$D_{50}=2.52I^{0.23}$	0.920
缓德	141	$D_{50}=2.80I^{0.26}$	0.956
离石	54	$D_{50}=2.75I^{0.29}$	0.944
四站	545	$D_{50}=2.64I^{0.25}$	0.929

根据 1989—1990 年在安溪官桥径流实验场获得的滴谱资料，并用 1—10 式计算得到的滴谱资料的中数直径如表 1-15。应用 $y=ax^{b}$ 拟合 D_{50} 与 I 的关系，结果得出雨滴中数直

径与雨强的关系为：

$$D_{50}=3.34I^{0.29} \qquad 1—15$$

$$r=0.918 \quad [r_{0.01(56)}=0.337]$$

这说明雨滴的中数直径与雨强之间是呈幂函数关系的。

表 1-15 闽南天然降雨雨滴中数直径

日期（年．月．日）	雨强（mm/mim）	中数直径（mm）	日期（年．月．日）	雨强（mm/mim）	中数直径（mm）
1990.4.11	0.04	1.48	1990.7.31	0.42	2.54
1990.4.16	0.04	1.49	1990.7.31	0.27	2.23
1990.4.16	0.05	1.49	1990.7.31	0.16	1.90
1990.4.16	0.27	2.62	1990.7.31	0.31	2.52
1990.4.16	0.03	1.32	1990.7.31	0.17	2.10
1990.4.21	0.40	2.90	1990.8.2	0.30	2.69
1990.4.21	0.14	1.71	1990.9.5	0.70	2.46
1990.5.17	0.16	2.11	1990.9.5	0.10	1.41
1990.5.18	0.04	1.38	1990.9.5	1.03	4.16
1990.5.18	0.02	1.23	1990.9.8	0.20	1.86
1990.5.30	0.96	4.81	1990.9.8	0.15	2.05
1990.6.4	0.07	1.88	1990.9.9	0.50	2.74
1990.6.4	0.23	2.45	1990.9.9	0.18	1.88
1990.6.4	0.06	1.66	1990.9.9	0.12	1.68
1990.6.9	0.03	1.16	1990.9.9	0.30	2.37
1990.6.18	0.06	1.32	1990.9.10	0.10	1.80
1990.6.18	0.05	1.28	1990.9.11	0.27	2.29
1990.6.24	0.43	2.22	1990.9.11	0.50	2.69
1990.6.24	0.16	1.78	1990.9.12	0.20	1.97
1990.6.24	0.70	3.31	1990.9.12	0.13	2.11
1990.6.24	0.16	1.68	1990.9.12	0.30	1.99
1990.6.29	0.15	1.58	1990.9.12	0.12	1.55
1990.6.29	0.19	2.20	1989.7.11	0.25	2.23
1990.6.30	0.08	1.26	1989.7.11	0.57	2.72
1990.7.30	0.79	2.98	1989.7.26	0.11	1.68
1990.7.30	0.26	2.32	1989.8.28	0.45	2.41
1990.7.30	0.03	1.31	1989.8.28	0.10	1.55
1990.7.30	0.10	1.80	1989.8.28	0.05	1.46
1990.7.31	0.20	2.11	1989.8.28	0.12	1.64

再分析不同雨型的 $D_{50}\sim I$ 关系为：梅雨型（以 4～5 月份滴谱为资料） $D_{50}=4.08I^{0.32}$，$r=0.969$，$r_{0.01(11)}=0.684$；台风雷暴雨型（以 7～8 月份的滴谱为资料）$D_{50}=3.22I^{0.27}$，$r=0.964$，$r_{0.01(16)}=0.590$。从不同雨型的 $D_{50}\sim I$ 关系可以看出：雨型并不影响 $D_{50}=aI^{b}$ 的基本模型。然而对模型中的常数项 a、b 的取值是有一定影响的。这种不同雨型 a、b 参数变化会不会对 D_{50} 产生显著的影响呢？我们用不同 $D_{50}\sim I$ 公式计算同一雨强的 D_{50} 值（表 1-16），并比较它们的相对相差。结果是：对于雨型来说，较低雨强时（$I\leqslant 0.34$mm/min），雨型对 $D_{50}\sim I$ 关系并未产生显著影响，不同雨型的算式计算同一雨强的 D_{50} 时，其偏差都在 20% 以下（表 1-16），而对较高雨强的降雨来说（$I>0.34$

mm/min)，雨型对 $D_{50}\sim I$ 关系的影响是显著的，不同雨型的 $D_{50}\sim I$ 算式计算同一雨强的 D_{50} 时，相对相差在 20% 以上。

表 1-16　不同雨型 $D_{50}\sim I$ 公式计算的 D_{50} 值（mm）

雨强（mm/min）	$D_{50}=4.08I^{0.32}$	$D_{50}=3.22I^{0.27}$	相对相差（%）
0.02	1.17	1.12	4.5
0.10	1.95	1.73	12.7
0.34	2.89	2.41	19.9
0.50	3.27	2.67	22.5
0.70	3.64	2.92	24.6
1.00	4.08	3.22	26.7

从不同的地理区位来看（表 1-17），我们比较闽南算式 $D_{50}=3.34I^{0.29}$ 和闽西北算式计算相同雨强下的 D_{50}，并计算两两之间的最大相对相差结果是：区位的差异并不会引起 $D_{50}\sim I$ 关系的显著差异。综合以上分析，可得出结论：$D_{50}\sim I$ 恒遵守 $y=ax^b$ 的幂函数分布关系，且有 $0<b<1$ 的函数特征；从福建省的范围来看，地理区位变化对函数的值不会产生显著的影响；在较低雨强时（$I\leqslant 0.34$mm/min）雨型对函数值没有显著影响，在较高雨强时，雨型对函数值的影响是显著的。

表 1-17　不同地区不同 $D_{50}\sim I$ 公式计算的 D_{50} 值（mm）

雨强（mm/min）	$D_{50}=3.34I^{0.29}$	$D_{50}=2.93I^{0.28}$	$D_{50}=2.97I^{0.24}$	最大相对相差（%）
0.02	1.07	0.98	1.16	18.4
0.50	2.73	2.41	2.51	13.3
1.00	3.34	2.93	2.97	12.4

3.4　降雨的终点速度

降雨终点速度的大小显著地影响着雨滴的动能。该值可以采用下式计算：

当 $d<1.9$mm 时，用修正的沙玉清公式计算，即：

$$V=0.496\text{antilog}\left[28.32+6.524\log 0.1d-(\log 0.1d)^2\right]^{1/2}-3.665 \qquad 1—16$$

当 $d\geqslant 1.9$mm 时，用修正的牛顿公式计算，即：

$$V=(17.20-0.844d)(0.1d)^{1/2} \qquad 1—17$$

式中　V——雨滴的降落速度（m/s）；

d——雨滴的直径（mm）。

根据 1—16，1—17 式计算，闽南通过滴谱资料观测到的雨滴最小终点速度是 2.28m/s，最大的雨滴降落终点速度是 9.41m/s。

3.5　降雨动能

雨滴的击溅作用是裸露地初期土壤侵蚀的主要动力，衡量这一动力的最好指标就是降雨动能。目前尚无理想的仪器来直接测定降雨的动能。因此，只能根据滴谱资料间接计算。其计算式是：

$$E=1/2mv^2 \qquad 1—18$$

式中　E——降雨动能(J)；

m——雨滴质量（kg)；

v——雨滴终点速度（m/s)。

1—18式的是单个雨滴的动能，根据每次降雨雨滴组成，即可计算该次降雨在单位面积上每1mm降雨量的降雨动能。显然这种降雨动能的计算方法要有雨滴观测的实验基础，而且计算过程繁琐、复杂。因此，国内外专家对降雨动能做了深入细致的研究[4~8]，得出了降雨动能的简便算式。如威斯奇迈尔[5]通过大量的资料建立了适合美国的动能与雨强的关系方程：

$$e = 210 + 89\lg I \qquad 1—19$$

式中　e——一次暴雨过程中，雨强均匀段单位降雨量的降雨动能 [J/(m²·cm)]；

I——一次降雨强度（cm/h)。

而该次降雨某雨强段总动能：

$$E_i = ep \qquad 1—20$$

式中　E_i——雨强为 i 时的该雨段的总动能（J/m²)；

p——该雨段的总雨量（cm)。

该场降雨的总动能（E_T)：

$$E_T = \sum_{n=1}^{i} E_i \qquad 1—21$$

我国一些研究者直接采用1—19式计算动能。但是由于1—19式是经验性的，只能在一定条件下应用，它没有普遍意义。因而我国也有研究者利用实测资料建立了适应研究领域降雨特征的动能与雨强的关系方程，如江忠善等[4]利用黄土地区资料建立了这样一个动能与雨强的关系式：

$$e = 29.64I^{0.29} \qquad 1—22$$

式子的建立为黄土地区降雨动能的计算提供了便利。但在闽南，降雨特征与黄土地区截然不同。必须建立起适应闽南降雨特征的动能与雨强的关系。

闽南实测的滴谱资料回归分析结果表明：最能描述闽南地区动能与雨强关系的是幂函数关系。即：

$$e = 36.04I^{0.29} \qquad 1—23$$

$$r = 0.989 \quad r_{0.01(56)} = 0.337$$

式中　e——雨滴动能(J/m²/cm)；

I——降雨强度(mm/min)。

为了检验雨型对 e~I 关系的影响，将代表梅雨季节的4~5月份的滴谱资料和代表台风雷暴雨季节的7~8月份的滴谱资料进行回归分析，结果为

梅雨型：

$$e = 40.90I^{0.31} \qquad 1—24$$

$$r = 0.989 \quad r_{0.01(11)} = 0.684$$

台风雷暴雨型：

$$e = 35.92I^{0.23} \qquad 1—25$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com