

# 暴雨历时面积深度关系的实用图表

张学文

(新疆气象科学研究所, 乌鲁木齐 830002)

## 提 要

为帮助气象、水文和工程设计人员作好暴雨的分析和预告, 将两个有理论依据、有资料佐证、有通用性和实用性的涉及暴雨历时、面积、深度的公式变成图解或查算表。其中一个用于单站的一场雨中的雨量与时间的关系; 另一个用于一场雨的面积与雨量的关系。

**关键词:** 暴雨 图解 查算表

## 引 言

为研究暴雨的共性, 水文气象学中科学地提出了暴雨的历时、面积和深度的关系问题(暴雨时面深问题)。并且通过对各地暴雨的大量分析概括出不少经验关系, 这推进了暴雨的研究也解决了不少实用问题<sup>[1]</sup>。

80年代以来, 出现了从统计物理中的玻耳兹曼分布和熵最大原理的理论角度研究暴雨时面深的工作<sup>[2-4]</sup>, 它导出的一些有关公式也被大量实例证实是符合实际的, 这就把时面深研究推进了一步。

由于这些公式有理论依据、符合实际、有通用性和实用性, 本文着重把其中的两个公式变成图表以便气象预告人员、防洪指挥人员、水文和工程设计人员实用。

## 1 公式

这里引用的两个公式都是针对一场一场的降水过程的, 它适用于各类降水过程。其中一个涉及雨量在时间上的分配, 另一涉及雨量在面积上的分配。对它们的实用计算机程序请见文献<sup>[5]</sup>。

### 1.1 雨量时程方程

它回答的是一场降水过程中, 当地的雨量与时间的关系。其公式为:

$$\frac{r}{R} = \frac{t}{T} (1 - \ln \frac{t}{T}) \quad (1)$$

上式中  $T$  是当地一场降水的维持时间(降水历时);  $R$  是  $T$  时段造成的雨量;  $t$  是  $T$  时段内某一小时段, 故  $t \leq T$ ;  $r$  是  $t$  时段内形成的最大降水量。

例如某地 6 小时下了 90mm 的雨, 则  $T = 6, R = 90$ , 而  $t$  可以取  $\leq 6$  的任何值代入式(1)可得出 6 小时内总存在着一个时段  $t$ , 其最大雨量仅为  $r$  (不会比  $r$  更大)。此处的  $t$  可能是  $T$  内连续的一个时段, 也可以是  $T$  的两个或多个时段(合计历时为  $t$ ), 本例中可求得 1 小时的最大降水为 41.9mm, 15 分钟的最大降水为 15.6mm, 1 分钟的为 1.7mm。

式(1)仅告诉人们  $t$  时段的最大雨量是多少, 而不回答它在  $T$  内的位置(是降水开始阶段或其他阶段)。利用式(1)可以方便地求出例如 3 小时、1 小时、30 分钟……各  $t$  值时的最大雨量。这对于分析暴雨形成洪水的能力、估算水工建筑(桥涵、城市下水道等)、泄洪能力都很有价值。

以前分析此类问题时常引用 J. L. H. Paulhus 提出的用于世界降水极值的公式

$$R = 421.6D^{0.475} \quad (2)$$

式中  $D$  的含义与本文的  $T$  相同。

我们分析了式(2)与(1)<sup>[4]</sup>, 证实它们的曲线有相似性, 但式(1)的精度更高, 故式(1)

代替了过去用的式(2)。

## 1.2 降水面深方程

它回答的是一场降水过程中,不同的雨量与其占有的面积的关系,其公式为

$$\frac{a}{A} = e^{-\frac{r-r_0}{R-r_0}} \quad (3)$$

式中  $r_0$  为一次暴雨的雨量分布图上数值最小的那一条闭合等雨量线的值;  $A$  为  $r_0$  包围的雨区面积;  $\bar{R}$  为  $r_0$  那条闭合线以内的平均雨量;  $a$  为雨量超过  $r$  的地域的面积;  $r$  为雨区内的各种雨量值,  $r \geq r_0$ ;  $e$  为自然数 2.71828...

如气象预告人员估计某一个地区有一场暴雨,他可以报出来雨区的面积  $A$  (实际上是指雨量超过  $r_0$  的地域面积)和  $A$  上的平均雨量  $\bar{R}$ 。那么雨量超过  $r$  的雨区面积  $a$  即可由式(2)求出。这里的  $r$  是变量,它可以是  $\geq r_0$  的任何值。

式(3)是推导出来的理论式,它曾为全国 110 个暴雨个例的数据证实是与事实相符的。

如预计 50 万  $\text{km}^2$  范围内有一场平均雨量为 60mm 的雨区,此雨区最外围的最小的等雨线的值为 10mm (即  $r_0=10$ )。那么依式(3)可求出雨量超过 50、100、300 的雨区面积应分别为  $22.4 \times 10^4$ 、 $8.2 \times 10^4$  和  $0.15 \times 10^4 \text{km}^2$ 。

这些数据尽管没有告诉人们降水最大的具体地理位置,但各种雨量各占多大的面积的知识对防洪工作就有很大实用价值。

## 2 图解

现在把两个公式(1),(3)变成便于查算的图解。

### 2.1 雨量时程方程图解

图解见于图 1 中。其横坐标是供  $T$  和  $t$  共用的时间坐标,纵坐标是以百分比表示的相对降水量,即  $r/R$  的值。图中有由 23 条曲线组成的一簇曲线分别代表着降水历时  $T$  为 10、15、20、30、45 分钟或 1、1.5、2、2.5、3、

4、5、6、8、10、12、15、18 小时或历时为 1、1.5、2、3、5 天的不同情况。每条线代表的  $T$  值由曲线上端的标注值读出。

要查找出给定  $T$  值(例如 12 小时)下不同历时  $t$  所形成的相对降水量(纵坐标),只要沿着对应  $T$  值的曲线从上向下移,曲线在每个与图中垂直线的交点上读取纵坐标的值,就是求得的雨量相对值。把这个值再人工地乘上总降水  $R$ ,即为垂直线对应时间的最大雨量。

例如总降水  $R=80\text{mm}$ ,总历时  $T=12$  小时,则  $T=12$  小时的曲线首先与  $t=10$  小时的垂直线相交,从而读出相对降水为 98%。把它乘  $R=80$ ,得  $r=78.4\text{mm}$ ,即 10 小时的最大降水为 79mm。

从  $T=12$  小时的曲线向下移动,我们可求得表 1 (从相对雨量变绝对雨量是手工乘的)。

表 1 12 小时的 80mm 时程分配

$t$ /小时	$r/R/\%$	$r/\text{mm}$	$t$ /小时	$r/R/\%$	$r/\text{mm}$
12	100	80	2	47	37.6
10	98	78.4	1.5	38	30.4
8	94	75.2	1	29	23.2
6	85	68	45分	23	18.4
5	78	62.4	30分	17	13.6
4	70	56	20分	13	10.4
3	60	48	15分	10	8.0
2.5	54	43.2	10分	7	5.6
2	47	37.6	5分	4	3.2

如果实际降水总历时的值并不恰好在曲线上,则可以通过曲线内插出一条曲线再重覆上述手续。

对这一应用步骤可简记于下:

- 写出已知值:总降水  $R$ ,总历时  $T$
- 根据  $T$  值从图 2 的右上方找到对应曲线

1) 防洪和水文部门也可从洪峰流量反求  $A, R$

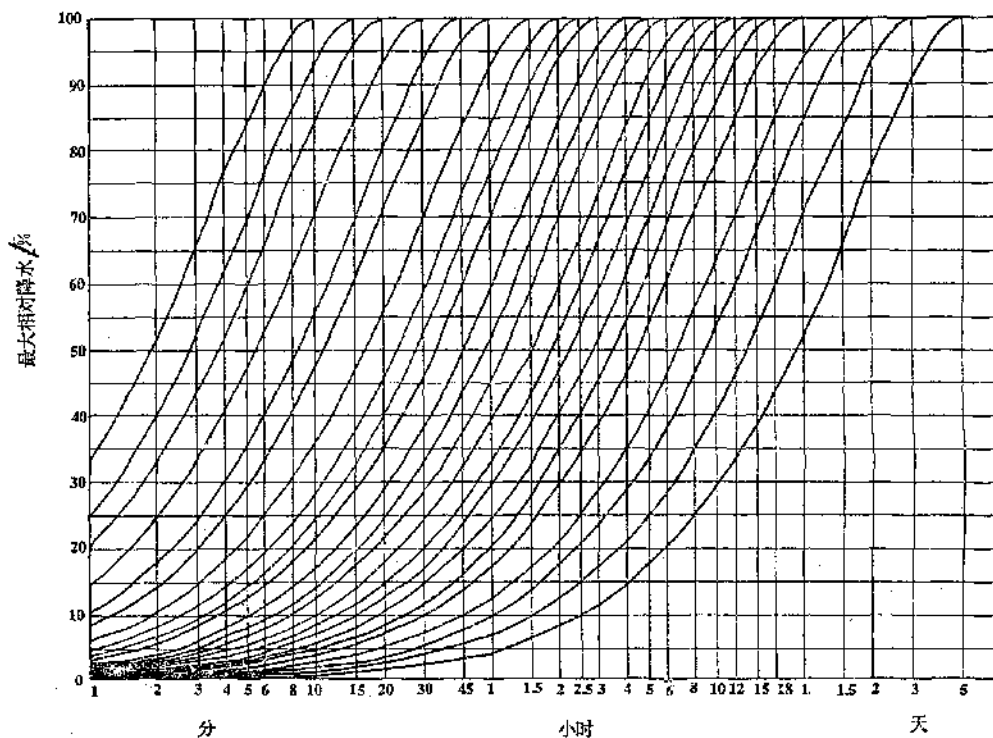


图1 降水的时间分配曲线

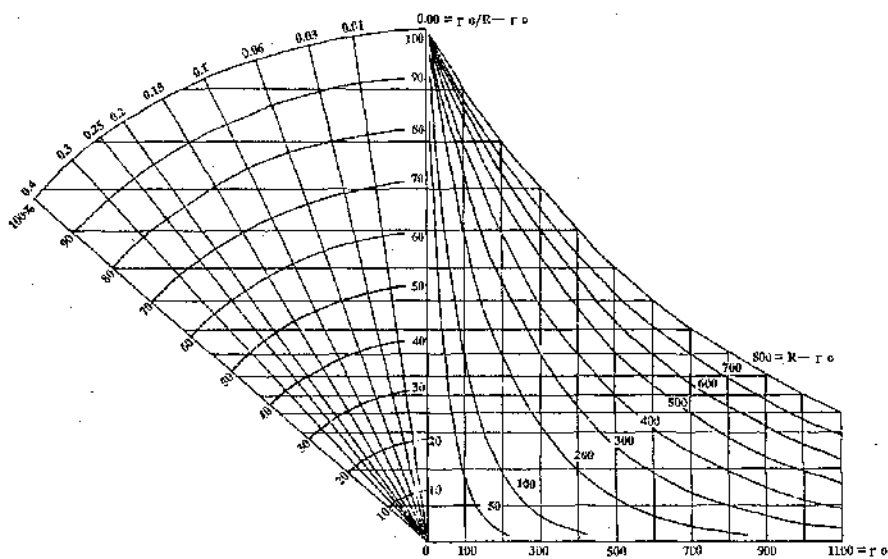


图2 一场降水中不同雨量所占相对面积的计算图解

- 沿这条曲线向左下方移动, 每经过一 (横坐标值) 条垂直线, 从垂直线的上、下端查出  $t$  的值
- 从曲线与垂直线交点再读出它的左边

线上的降水百分比( $r/R$ )的值(纵坐标值)

·沿曲线向下移再找出它与新的垂直线的交点,再读出对应的 $t$ 和 $r/R$ 的值

·重复以上步骤直到曲线不再与新垂直线相交

·用手工(或计算器等)把 $R$ 与 $r/R$ 的值相乘,从而求出各时段最大降水量 $r$

·以上计算最好事先列出如表1的表,以便使用

## 2.2 降水面深方程图解

图2是根据公式(3)设计的从雨量 $r$ 查出对应面积 $a$ 的图解。图右侧是9条指数曲线,横坐标是降水量。左侧主要是极坐标下的一簇同心圆,而圆的不同径长代表雨量为 $r$ 包围的雨区面积 $a$ 与总雨区面积的百分比值。

本项计算的参数为雨区最外围的等雨量的值 $r_0$ 以及 $r_0$ 线以内的面积 $A$ 和它的平均雨量 $\bar{R}$ 。计算应当回答雨量 $r$ 为不同值如 $r_1, r_2, r_3, \dots$ 时,它们对应的面积 $a_1, a_2, a_3, \dots$ 各是多少。

计算时先找出 $(R-r_0)$ 的值对应的曲线是那条(可以与 $r$ 一起放大10倍,曲线可内插)以及 $r_0/(R-r_0)$ 的值对应的左侧的辐射线是那条(可内插)。可以先从左侧开始,根据 $[r_0/(R-r_0)]$ 的值找出那条辐射线,从线的外上端(100)顺着半径线(辐射线)向内移。而移动时在半径的长度为90、80、70、……的点沿水平线右移到 $(R-r_0)$ 对应的指数曲线,再折向水平坐标,即读出相对面积为90%、80%、70%、……所对应的雨量 $r$ 的值。

例如有一场降水其雨量为5mm的雨区包围的面积 $A=40 \times 10^4 \text{km}^2$ ,平均雨量 $\bar{R}=55\text{mm}$ ,试从图上找出降水超过各种值所包围的面积。

由于 $r_0/(R-r_0)$ 的值为0.1, $R-r_0$ 的值为50,我们应选用左侧辐射线中标有0.1的那一条辐射线,而右侧用500mm(放大10倍)的那条线和(或)50mm那条线。沿 $r_0/(R$

$-r_0)$ 的辐射线从外向圆心移动分别与半径为90、80、……(%)的线相交时,沿交点右移遇 $R-r_0=500$ 或50的线下折即可得出表2。

表2 降水超过各种值所占的雨区面积  
( $R=50\text{mm}, r_0=5\text{mm}$ )

相对面积 $a/A/\%$	绝对面积 $a/10^4\text{km}^2$	对应雨量/mm
100	40	5
90	36	7
80	32	11.5
70	28	18
60	24	26
50	20	36
40	16	47
30	12	61
20	8	83
10	4	125

表中的 $(a/A)=100\%$ 的 $r$ 值不易从图上查。实际上这个值根本不用查,因为它是原已给出的题意,也是式(3)的自然结果: $a=A$ 时, $r=r_0$ 。

表中 $(a/A)=10\%$ 的 $r$ 值由 $R-r_0=50$ 的线读出,另外8个 $r$ 值都用放大了10倍的 $(R-r_0)$ 的曲线(即500线),求出 $r$ 再除10而得。实际对右边的曲线放大3倍、5倍等也可以,这可视具体情况而定。

降水面深方程是描述雨区面积与深度(雨量)的关系的。目前主要用于预告员预告出平均雨量,再用它推求不同雨量所占的面积。这种知识在资料不全地区估计洪水也有实用意义。

## 3 查算表

雨量在时间上的分配也可以用表3来查算,它与图1都由式(1)求得。表的左侧的纵行标出了降水历时 $T$ 的值从10分钟到5天共23种情况,横排标的是降水时段 $t$ 的值从1分钟到5天的共30种情况。表当中是以千分数(原值放大1000倍)表示的最大相对降水即 $(r/R)$ 的值。利用这个表,依据 $T$ 值易于查出有代表性的 $t$ 值所对应的最大相对降水,再乘以 $R$ ,即得出结果。

表3 一场降水中相对最大雨量(千分比%)占的时间的分配

	分钟															小时															天								
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	45	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	18	1	1.5	2	3	5									
天	5	1	3	4	5	6	7	9	11	15	19	27	38	48	67	85	101	117	147	174	200	247	290	330	385	435	522	661	767	906	1000	522	661	767	906	1000			
	3	2	4	6	7	9	11	14	16	23	30	41	58	73	101	127	161	174	216	235	290	355	413	465	535	597	700	847	937	1000	700	847	937	1000					
	2	3	6	8	11	13	15	19	23	33	41	58	81	101	140	174	206	236	290	340	385	465	535	597	676	743	847	966	1000	847	966	1000							
	1.5	4	7	11	14	16	19	24	30	41	53	73	101	127	174	216	255	290	355	413	465	556	634	700	781	847	937	1000	937	1000									
	1	6	11	15	19	23	27	34	41	58	73	101	140	174	236	290	340	385	465	535	597	700	781	847	919	966	1000	1000											
小时	18	7	14	19	24	30	34	44	53	73	92	127	174	216	290	355	413	465	556	634	700	805	882	937	985	1000	216	290	355	413	465	556	634	700	805	882	937	985	1000
	15	9	16	22	29	34	40	51	61	85	107	147	200	247	330	402	465	522	619	700	767	869	937	979	1000	247	330	402	465	522	619	700	767	869	937	979	1000		
	12	11	19	27	34	41	48	61	73	101	127	174	236	290	385	465	535	597	700	781	847	937	985	1000	290	385	465	535	597	700	781	847	937	985	1000				
	10	12	22	31	40	48	56	71	85	117	147	200	269	330	435	522	597	661	767	847	906	979	1000	330	435	522	597	661	767	847	906	979	1000						
	8	15	27	38	48	58	67	85	101	140	174	236	316	385	501	597	676	743	847	919	966	1000	385	501	597	676	743	847	919	966	1000								
	6	19	34	48	61	73	85	107	127	174	216	290	385	465	597	700	781	847	937	985	1000	465	597	700	781	847	937	985	1000										
	5	22	40	56	71	85	98	123	147	200	247	330	435	522	661	767	847	906	979	1000	522	661	767	847	906	979	1000												
	4	27	48	67	85	101	117	147	174	236	290	385	501	597	743	847	919	966	1000	597	743	847	919	966	1000														
	3	34	61	85	107	127	147	183	216	290	355	465	597	700	847	937	985	1000	700	847	937	985	1000																
	2.5	40	71	98	123	147	169	210	247	330	402	522	661	767	906	979	1000	767	906	979	1000																		
2	48	85	117	147	174	200	247	290	385	465	597	743	847	966	1000	847	966	1000																					
1.5	61	107	147	183	216	247	304	355	465	556	700	847	937	1000	937	1000																							
1	85	147	200	247	290	330	402	465	597	700	847	966	1000	1000																									
分钟	45	107	163	247	304	355	402	485	556	700	805	937	1000	45	107	163	247	304	355	402	485	556	700	805	937	1000													
	30	147	247	330	402	465	522	619	700	847	937	1000	30	147	247	330	402	465	522	619	700	847	937	1000															
	20	200	330	435	522	597	661	767	847	966	1000	20	200	330	435	522	597	661	767	847	966	1000																	
	15	247	402	522	619	700	767	869	937	1000	15	247	402	522	619	700	767	869	937	1000																			
10	330	522	661	767	847	906	979	1000	10	330	522	661	767	847	906	979	1000																						

例如:已知45分钟降水为70mm,即 $R=70$ , $T=45$ ,查表3可知5、10、20分钟的最大相对降水(千分比)为355、556、805,把它们分别与 $R$ 相乘得24.9、38.9、56.4(mm),这便是5、10、20分钟的最大降水量 $r$ 。

参考文献

1 WMO,Manual for depth-area-duration analysis of storm precipitation,Secretariat of the World Meteorological Or-

ganization, Geneva, 1969, No. 237.

2 张学文.暴雨的时面深的理论关系.新疆气象,1981,12,16—24.  
 3 张学文,杨秀松.从嫡原理得出的暴雨面积和雨量的关系.高原气象,1991,10(3):225—232.  
 4 张学文,马淑红,马力.从嫡原理得出的雨量时程方程.大气科学,1991,15(6):17—25.  
 5 张学文.关于暴雨的实用公式和程序,气象,1993,19(10):48—51.

## Two Graphs of the Relationship between Rainfall and Its Duration and Area

Zhang Xuewen

(Xinjiang Institute of Meteorology, 830002)

### Abstract

In order to help weather forecasters and hydrological designers to analyse and forecast the characters of the rainfall, two graphs are contributed. These graphs are concerned about two formulas got from a theoretical analysis, verified by statistical test and used commonly and practically. One of the graph concerns the relationship between rainfall and its duration, the other concerns the rainfall and its area.

Key Words: rainfall graph duration