气 象 学 报
第27卷 第4期 1956年12月

# 通 訊

# 局地可能最大降雨强度的估計*

叶篤正 徐淑英
（中国科学院地球物理研究所）

在“黄河流域降水”[1]的研究中作者們曾采用雷雨模型[2]計算了黄河流域局地可能最大降雨强度。在当时因为缺乏积雨云中水量分布的观测，我們假定2/3的水量集中于1/3的云中，同时假定有50%的水量在最大上升气流的范圍內流出。現在已經有了水分分布的观测[3]，同时还有了絕热凝結水分与实际含量比值的观测，因此我們可以修正过去的假定，重新計算局地可能最大降雨强度。

我們仍采用过去的雷雨模型，云底高度为1.5千米，云頂为12千米，最大上升速度在7.5千米的高度，在此高度以下四周空气向云內輻合，在上升100—400毫巴的距离內四周空气的流入量等于自云底流入量的100%，7.5千米以上轉为輻散。在我們的計算中，我們采用每上升400毫巴中有100%的四周空气流入云中，因为这样可以使雷雨發展到最大强度。在7.5千米气流上升速度为25米/秒，这是观测中最大的速度。因为由1.5千米到7.5千米約相当于440毫巴的厚度，故

$$w_0\rho_0+1.1w_0\rho_0=w'\rho', \tag{1}$$

式中$w_0\rho_0$为每秒通过云底單位面积自下向上的气流，$1.1w_0\rho_0$为每秒流入垂直空气柱單位側面积(1.5—7.5千米)的干空气量，$\rho'w'$为7.5千米高度每秒向上通过單位面积的空气。从西安1945年7月10日探空記录算出：$\rho_0=0.97\times10^{-3}$克/厘米$^3$，$\rho'=0.57\times10^{-3}$克/厘米$^3$。在$w'=25$米/秒时，$w_0=7$米/秒。

那末單位时間內單位截面积进入空气柱(1.5—12千米)內凈得的水汽为：

$$(w_0\rho_0q_0+1.1w_0\rho_0\bar{q}-w'\rho'q')+(w'\rho'q'-w'\rho'\bar{q}), \tag{2}$$

前一括号內为1.5—7.5千米每單位面积空气柱內凈得水汽，后一括号为7.5—12千米單

* 1956年5月22日收到。

位面积空气柱內所得水汽。將(2)式簡化为：

$$w_0\rho_0(q_0+1.1\bar{q}-2.1\bar{\bar{q}}),$$

其中 $q_0$、$\bar{q}$ 和 $\bar{\bar{q}}$ 为 1.5, 3.5 和 6.0 千米的比湿。从西安同日探空記录得出：$q_0=13.5$克/仟克，$\bar{q}=8.4$ 克/仟克，$\bar{\bar{q}}=0.65$克/仟克。在 $w_0=7$米/秒和 $\rho_0=0.97\times10^{-3}$克/厘米$^3$时，求出該空气柱內每秒凈得的水汽量为$144.5\times10^{-4}$克。

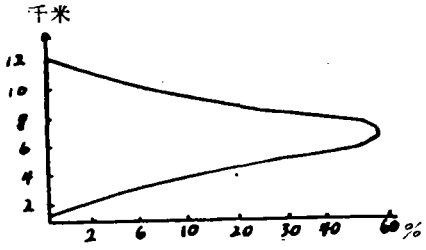

圖 1

根据雷雨观测在急雨开始之前，雷雨有一發展醞釀阶段，这阶段可以維持50分鐘，在这段时間內，每單位截面积空气柱 (1.5—12 千米)中可以凝結液体和固体水 43.4 克。这是按絕热上升凝結的水分 ($w_a$)，但按观测[3] 水汽上升并不都按絕热凝結，实际凝結水分 $w$ 与 $w_a$ 的比值平均最大約等于0.5，采用这个比值在这空气柱內的水汽則有21.7克固体或液体水，但这水量在空間的分布是不均匀的，水愈集中則降雨亦將愈大，結合观测[2] 我們采取了如圖中所表示的水分含量的分布。將这云分成五層(1.5—4, 4.1—6, 6.1—8, 8.1—10, 10.1—12千米)，每層的含水量見表 1 。

表 1. 空气層的含水量

| 云 層 (高度) | % | 水 分 (克) | 水 的 密 度 |
|---|---|---|---|
| 1.5－4.0(千米) | 6.0 | 1.30 | $6.2\times10^{-6}$ |
| 4.1－6.0 〃 〃 | 22.7 | 4.93 | $23.4\times10^{-6}$ |
| 6.1—8.0 〃 〃 | 42.6 | 9.24 | $44.0\times10^{-6}$ |
| 8.1—10.0 〃 〃 | 22.7 | 4.93 | $23.4\times10^{-6}$ |
| 10.1—12.0 〃 〃 | 6.0 | 1.30 | $6.2\times10^{-6}$ |

按照試驗雨滴下降速度起初是随下降距离而增加，但很快就趋于常值，此常值随雨滴半徑而增加，但有一上限約为 9 米/秒，这就是我們所采用的雨滴下降速度。急雨下降时，总是伴随着有下降气流，在这种下降气流中雨点要蒸發，下降速度愈大，雨点的蒸發亦愈大，依照观测[2] 我們設各層空气下沉速度如表 2 。由連續方程我們可以計算出

表 2. 各層空气下沉速度

| 高 度 | 地面 | 1.5 (千米) | 2.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 速度(米/秒) | — | 10 | 8 | 7 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2.5 | 2 | 1 |

各層自四周流入的空气。开始下降的空气是飽和的，要維持气流湿絕热地达到下層，需要一定水分的蒸發，各層空气到达地面所需要的蒸發量，第一層为 0.5 克/分，第二層为 0.5 克/分，第三層为 0.47 克/分，第四層为 0.43 克/分，第五層为 0.39 克/分。

現在我們以兩种方法計算这次急雨五分鐘的强度，第一种情况是假設这五層所凝結的水滴都以 9 米/秒的速度一起降下来，但由于所在高度不同，第二層雨滴到达地面要比第一層約迟 4 分鐘，第三層比第一層約迟 8 分鐘，余此类推。这样我們可以算出这次急雨一共維持了 12 分鐘。由于最下面和最上面云層中所含水分很少，再加上雨滴以較大速度下降，因此这兩層的雨滴在未达地面之前已經蒸發掉了，只有中間三層所含水分較多，虽然需要大量水分的蒸發，但仍然有較大的雨下降，在这 12 分鐘內强度最大的五分鐘中共下了 55.5 毫米（表略）。第二种情况我們只計算中間水汽聚集最密的地方，即第三層（6—8千米）下降的雨量强度。按此計算第一分鐘降雨强度原为 23.8 毫米，但由于蒸發（4.7 毫米），降雨强度减少到 19.1 毫米；第二分鐘为 12.9 毫米；第三分鐘 8.4毫米；第四分鐘为 5.0 毫米；第五分鐘 2.5 毫米；五分鐘总共下了 47.9 毫米。兩种不同計算得出的五分鐘急雨强度相差不远。这个計算可能偏大，因为在降雨过程中，由于湍流和其他原因，雨滴在空中要向四周扩散的。这样就减少了降水强度。

根据北京十一年的自記雨量記录，北京 10 分鐘最大降水强度为 31.0 毫米，这次 5 分鐘的强度可以算出为（21.7±2.2）毫米（参考文献 [1]），約为我們理論值的一半，在美国加州 Opido Camp[4]曾观測到一分鐘 25.4 毫米的急雨，由此我們看来我們上面的理論推算是合理的。

## 参 考 文 献

[1] 叶篤正，徐淑英，黄河流域急雨的分析、黄河流域降水，科学出版社，1956.
[2] Byers, H. R. and others, The Thunderstorm. Washington, D. C., 1949.
[3] Warner, J., The Water Content of Comuliform Cloud, *Tellus*, 7 (1955), 449—457.
[4] Thunderstorm Rainfall, Hydrometeorological Report No.5.