地 形 对 降 水 的 作 用

章 淹

（气象科学研究院）

降水出现的地点、强度与时间，除与天气因素有关外，还显然受到地形的影响。许多地方的降水，具有明显的地方特征。比如有的地方，暴雨较多，常为强雨中心所在，例如：在台风进袭我国东海时，浙江山地的庄屋与化龙，就常出现暴雨；我国不少著名的山峰，如黄山、庐山、峨眉山、幕阜山、五台山等等常为暴雨中心所在。而在另一些地方，往往相对降水较弱，例如冷锋移来时，青岛的降水就比较小，很少出现大一暴雨。本文仅就近年来我们研讨或参阅的文献中所见到的地形对降水的作用，初步综合归纳如下：

一、迎风坡对潮湿气流的抬升作用

这是最早并最广泛为人们所了解的一种作用。即在迎风的山坡上，由于山地的关系，迫使气流沿山坡爬升，造成较强的上升运动，在这种情况下，如果空气是相当潮湿的，就很容易凝结并产生降水。

山地低空(L)的垂直速度 ω_L 可写为

$$\omega_L = -\rho_L g\left(u_L\frac{\partial h}{\partial x} + v_L\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \omega_F$$

其中，$\frac{\partial h}{\partial x}$、$\frac{\partial h}{\partial y}$ 即地形高度在 x、y 方向上的变化；ω_F 为边界层摩擦所造成的铅直速度，可表示为：

$$\omega_F = -\rho_L g\zeta_L\sqrt{\frac{K}{2f}}\sin 2v$$

其中 ζ_L 是低层的涡度，K是湍流系数，v 是地面等压线和实测风之间的夹角；其他为常用符号。

由上式可以看出，除摩擦作用外，山地爬坡气流的上升速度是与山地的坡度、地形高度及气流走向紧密相关的。通常我们所见到的迎风山坡，其坡度多较锋面坡度为陡，因此，它的作用是相当重要的。如 1963 年 8 月，我国著名的华北特大暴雨，就是出现在太行山东麓的迎风山地上。其他迎风坡出现大一暴雨的情况也很多。

二、越山气流对“飘雨”形成的作用

人们还发现：在有些山地的背风侧，有时也常有降水出现。其中有一部分，其凝结过程形成的原因与上述迎风坡降水是同样的。也就是说，也是由于暖湿气流沿山爬升而形成的。不过，降水并未在山前降落，而是在越山气流的吹动下，雨云翻过了山巅，雨水降落于背风一侧。通常，我们称这种降水为“飘雨”，可算作前一类型降水的一种副型。

三、背风坡重力波作用形成的降水

国外从滑翔机越山飞行的观测上，发现在山脉的背风一侧，常可见到在山后显著延展的重力波，这种波动，有时显然可记录到有 6 个之多，向后愈见衰减。在这种波动的作用下，山地的背风一侧或峡谷、山峦间，亦常有这种降水产生。这在国内有些暴雨的个例分析中，如沅江峡谷暴雨和蒙山暴雨[1]等，也均有类似情况。

四、山脉背风侧对低压（涡）与降水形成的作用

在山脉的背风一侧，由于绕山气流在山后的东南地区，气流左侧的切变涡度加大，

气旋性涡度增加（图 1）以及越山气流过山之后，气柱在铅直方向伸展，水平方向气流的辐合增强，而由涡度方程可知，涡度的局地变化$\frac{\partial \zeta}{\partial t}>0$，气旋式涡度增加。因此，在山脉的背风侧，常会有低压（涡）形成或加深，并导致降水的发生与发展。这在我国青藏高原东侧，常常出现西南低涡降水，就与这种作用相关。另外，在国外，也有类似情况。例如：在美国洛矶山脉的东侧，1948 年 11 月中旬出现的一个摧毁性的气旋[2]，就是在该山脉的东坡发展最强。

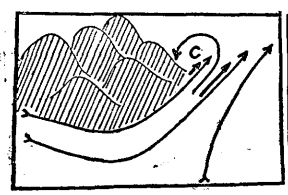


图 1　山后气流涡旋的示意图

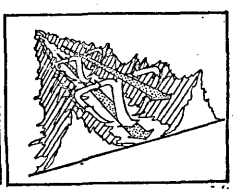


图 2　山谷地区白昼开始的铅直环流[3]

五、喇叭口山地的作用

强劲的气流遇上喇叭口山地时，一方面是迅速产生汇流与辐合的效应，另一方面是汇合的气流又沿附近山地形成较强的爬升气流，因此，在气流相当潮湿时，遇上这种地形，便很容易产生较强的降水，尤其是在强暖湿气流持续袭来时，降水就更强。1975 年 8 月我国河南的特大暴雨，就是产生在这种情况下。此外，在不少水库附近，亦多有这种地形，即所谓“八字头上一口塘”，这在适当的流场形势下，也常有较强的降水。从湖南地形与降水中、小分析的结果中，我们发现：在各种不同型式地形的暴雨中心里，位于喇叭口附近的暴雨中心，其暴雨出现的频次与雨强，相对最大。

六、峡谷山地的作用

近年来，通过空间与时间上加密的观测分析，我们发现：在水汽条件比较充足的峡谷山地，常有降水增强的现象，暴雨比较多。这可能有以下几种原因：1）峡谷山地内，地形变化复杂，各种不同走向的陡、缓山峦纵横交错，有的地方，有较强的爬升气流。2）峡谷横断面的大小，变化很大，有的地方很狭窄；有的地方，有旁侧支流汇入，特别是峡谷两侧同有支流汇入的地方，陡然开阔。因此，在山地峡谷里，“穿谷流”的方向与速度，受这种地形影响，变化很大。以这种实测的非地转风来计算散度与涡度时，由下式

$$D=\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\zeta=\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}$$

可见，散度（D）与涡度（ζ）的变化是很大的。由此，在上升运动增强的隘口与陡坡附近，就常出现降水增强的现象。3）峡谷内，有些河溪上游，除峡谷地形外，往往还具有喇叭口以及陡坡或迎风坡等地形，系多种地形综合作用的地方，我们称它为具有“峡谷上游效应”，常为暴雨中心之所在。这在天气预报或暴雨移植上，是值得注意的一个问题。4）与峡谷地形的复杂变化有关，峡谷内的地面气压呈现着较谷外平地振动增多的现象（波数增加，波长减小），有些变化看来与重力波有关。

总之，受这些因素的影响，峡谷山地也是我国常发生暴雨的一种重要地形。从洞庭湖流域 50 个暴雨中心的地形特征来看，位于峡谷，特别是峡谷上游附近的暴雨中心，占其中最大多数，约为单纯喇叭口地形之暴雨中心的两倍。在国外，小花隆司（1977）对日本东海地方强雨的研究也指出：在有些山地迎风坡和峡谷地带，强雨次数较多；“特别是在峡谷深处，出现的次数尤其多。”

七、地形性小涡旋发生、发展的作用

近年来，从时、空加密的中尺度观测、

分析中，安徽、湖南等地的工作又指出了另一种气流受地形影响作涡旋运动，并从而增强降水的效应。安徽省在“暴雨实验”中发现：在大别山南麓，有三个向南开口的喇叭形谷区；在北麓，有两个向东北开口的谷区。当南麓出现适当的西南气流；北麓出现东北气流时，在这些山口一带，常有小涡旋发生或发展（见图2）。这与前述山后加深的天气尺度或次天气尺度低压（涡）不同，它们的水平尺度多为十来公里至几十公里，铅直厚度约为300—600米，是一种中、小尺度的天气系统。这种小涡旋，有的在原地不大移动；有的形成后会随低空（850毫巴）引导气流向下游移出。在它们的影响下，不仅常使降水量增加，而且能产生新的雨区。若有切变、锋面或低压等辐合环流较强的系统与之结合时，其对降水的强化作用就更明显。在湖南的一些深而小的盆地中，也发现了这种现象。对此进一步观测确认，并对其机理进行分析研究，是很必要的。

八、峰谷的热力作用

很早以来，人们就发现在山谷地区，由于昼夜辐射的差异，受热力作用的影响，峰岭与谷地的气流，昼夜不同。白天，山岭上，因太阳辐射增温的作用，上升气流沿山坡增强；同时谷内低地的温度却较低。这样，如图3a所示，就形成了一种谷地两侧气流沿山上升而在河谷中间下沉的铅直环流。50年代初，德芳（Defant）[3]就曾给出了这种环流的模式图（图略）。近年来，通过卫星云图的观测，比如在美国红杉河谷上空常见的一种云图（图3a、b）[4]，就更进一步证实了这种铅直环流的存在。在这种铅直环流的影响下，一般常有山上昼雨增强或相对增多的现象，而在河谷或盆地中，则通常是夜雨较多。

九、山地的阻滞作用

不少工作发现，积云或中、小系统的前进，有在山前停滞或转向、减速等现象。并



图3a　红杉河谷上空的卫星云图[4]

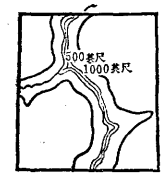


图3b　红杉河谷地形[4]

且，由于它们的停滞或减速，降水落点不断地在山前重复。这样，即便是单位时间内的雨强不很大，雨时也不过长，但由于这种停滞和落点少动的缘故，也常会在某些山地出现较集中的局地强雨。

1963—1964年我国华东中、小系统试验基地以及不少关于积云的观测、分析指出：不少中系统与积云的前进，与气团或锋系不同，是另一种“前方新生，后方消亡”的过程。因此，山峰的存在，可能具有以下影响：1）改变或破坏了积云及中系统前方的“新生”条件，致使它们不易向前繁衍再生，看去好似在山前停滞。2）转弯时所呈现的“减速”前进现象。3）由于山前降雨，水份消耗或山脉对低空潮湿气流的阻挡作用，山后湿度较小。停滞于山前的一些中、小系统，它们的铅直厚度，有的比山峰矮，有的却能比山峰高出几倍以上。因此，山地的“阻滞”作用，可能不仅仅是一种屏障效应。

十、地形通过对天气系统的作用而影响降水

无论是大、中、小尺度的天气系统，因受地形影响而发生变化的事实，人们已发现了不少。五十年代初，陈锡璋揭示了武夷山对冷

锋移行的影响。近年来，更广泛的工作指出：地形对锋面的影响是相当普遍而明显的。比如南下的冷锋，常在山前形成Ω型或锢囚锋；山谷河口处的锋系，在“穿谷流”的影响下，经常是向前突出的；川东嘉陵江、涪江、泯江、沱江一带的冷锋，常成“城垛状”的向前突出。此外，山地还使一些波动和天气系统在过山时发生倾斜或产生结构上的变化。比如飞越苏格兰山地的滑翔机观测〔5〕指出：在波动的上升区常表现出向前倾斜，有时高层倾斜甚大，以致可表现为后一个波动迭置在上游另一个波动的低层云之上(图4)。这也促使山地各不同云层在铅直方向上的相互迭置。而由于地形影响，经常出现的海岸锋、地形性切变、辐合带、汇流点、地形槽、地形低压或地形性的铅直切变等，在适当的气流与温湿条件下，都会对降水产生一定的影响。

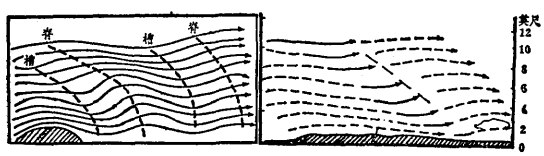


图 4　倾斜的波动流型

十一、地形对降水铅直分布的影响

山地附近降水的铅直分布，由于近地面层摩擦的作用，一般是在最下层偏小，但因低层水汽含量较多，故并非最少。然后，在爬坡气流的影响下，随高度增加。增至“最大降水高度”后，又因爬坡气流与湿度的减小而逐渐减少，即山地降水量随高度变化的曲线，呈现为一种上、下非对称的类抛物线型（如图 5）。国外，从沿山各不同高度上布置的加密观测中看到：无论是 3 小时、6 小时或 24 小时，甚而月、季降水量的铅直分布，均有上述这一特征，不过，最大降水出现的高度与强度，有些不同，特别是在气流的强弱与铅直切变发生较大变化时。在我国，山地最大降水出现的高度，据初步了解，随地形、纬度与季节的不同而有较大变化。此外，国外有的工作也指出：山区风随高度的变化，可影响降水铅直梯度的变化，甚至改变其符号。

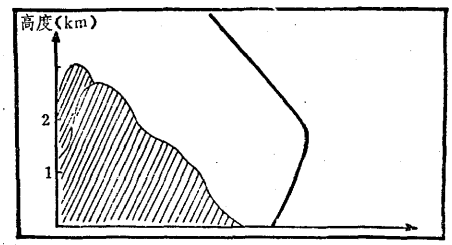


图 5　山坡降水量随高度变化的示意图

十二、山地对降水时间的影响

在各个不同的山地，降水的落时有不同的特征。而所谓“巴山夜雨”，在唐代，就已为我国人民所知晓。实际上，不仅巴山如此，在很多山区，都有这种夜雨较多的现象。这通常认为是由于：1）山岭高处，入夜地面辐射冷却，高处较冷而密度较大的冷空气沿坡下沉，并将山谷低地较暖湿的空气抬升而形成。2）日间在山区已形成的雨云，夜晚受山区高处降温的作用，云层上下的不稳定性增加，夜雨增多。此外，有的工作认为：山地的夜雨与低空急流有关。因为白天低空急流上的扰动较多，夜晚扰动减少，急流有更趋加强的特点。

近年来，人们发现：在各种不同因素的影响下，山区降水的落时，还有各种不同的类型与特点。比如雷雨顺从强暴雨的分析中曾提出“特大暴雨的夜间多发性”，林之光的工作指出：在四川、西藏、云南省等多我国典型的夜雨，而在“陕南、湖北西部与贵州北部均是日雨比夜雨多”。湖南省的中小分析指出：山地降水的落时，通常有两个集中的时段，一个在午后，一个在午夜至清晨。另外，也有一些工作指出，有的山地是清晨降雨最多。总之，可以看出：山地降水的落时，具有一定特征。它与受天气系统影响而产生的降水不同，往往具有一定的较集中之时段。然而，山地降水时间的普遍规律以及地形的

作用，究竟如何？山地降水的落时究竟有若干类型和特点？目前尚未完全弄清，普查与深入的观测和分析都还不够，有待进一步的工作。

较强大的雷阵雨或“弥合型”的强降水发生之前，往往先在山地有零星的降水出现，这种降水，有时午前就开始零散地出现。然后，在适宜的局地环流下，汇集成较强的一片雨区，多在午后或夜晚降落。因此，这类零散的山地降水，一般是“弥合型”强降水的“前奏”。

十三、消弱效应

上面我们着重将地形对降水的强化效应，加以初步综合讨论。但另一方面，也必须看到地形对降水的作用，并不仅仅是增强。比如由于背风坡气流的下沉作用，常使山后的降水大为减弱，这在很多地方是相当明显而普遍的，有的地方，甚至山后的降水仅为山前的 1/5—1/10，我国南岭山地的北坡，太行山的西侧，夏半年的降水就显然比迎风侧要少得多。此外，在有些山地，如较大而开阔的盆地，相连接的双喇叭口山地等，都不利于降水的发展加强。在峡谷内，由于涡度与散度的变化，有些地方上升运动会加强；有些地方也会增强下沉运动而有利于降水的消弱。

结　语

综上所述，地形对降水的影响是多方面和多样的；并且它对降水的作用，是与大气条件的变化相结合的，因此，并非固定不变。近年来，这方面的研究虽已有了新的进展，了解了一些过去未揭示出的问题。但总的看来，还有很多问题，有待进一步的探讨。不过，由此已可看出，有关地形对降水问题的认识，不仅可用以探查有些降水形成的机理与规律，而且可用以提高当前降水预报的精度，特别是对于那些危害严重而目前一般多还仅是提供“落区”预报的暴雨预报，在它们的落点、落时与强度预报上，可以有所改进。各地地方台站，倘能摸清本地地形地理影响的特征，在收听了大台的形势预报（包括数值预报）之后，若能据以加些进一步的补充，将是有益的。

参 考 资 料

〔1〕余志豪、陈良栋，行星边界层急流型重力波与广西蒙山暴雨华南前汛期暴雨文集，89—99页，1980年。

〔2〕C. W. Newton, Mechanisms of circulation change during a lee cyclogenesis. Journ. of Meteor. Vol. 13 P528—539, 1956.

〔3〕Defant, Friedrich, “Local wind”, Compendium of Meteorology, American Meteorological Society, Boston, Mass, P655—672, 1951.

〔4〕E. E. Hindman, Air current in a mountain valley deduced from the breakup of a stratus Deck Mon. Wea. Rev. 1973, Vol. 101, No. 3, P195—200, 1973.

〔5〕T. A. M. Bradbury, Tilted or asymmetric mountain waves, Met. Mag. Vol. 101, P 85—90, 1972.

“湿有效位能推广应用交流会”在南宁召开

“湿有较位能推广应用交流会”于 1982 年 12 月 21—25 日在广西壮族自治区首府——南宁市召开。来自全国 19 个省、市、自治区的 132 名气象工作者参加了会议。与会代表大多是从事天气预报值班或研究的人员。会议共收到学术报告和经验交流材料 59 篇。会上有 14 名代表发言介绍了在 1982 年汛期中运用湿有效位能理论和方法预报暴雨的经验和体会，其中不少单位在试报和服务上取得了一定的效果。另外还有些代表介绍了在历史情况普查和个例分析的基础上建立本地区预报方法并准备在 1983 年汛期中试用的打算。会议报告和讨论的内容除了大范围暴雨外，还涉及到冷涡天气、强对流天气、台风、暴风雪等灾害性天气。会议也对湿有效位能在天气分析预报中的地位和试用中发现的问题进行了讨论。通过一年多来的试用，很多同志认为湿有效位能理论在天气分析预报中有可能提供一些参考性的信息，再经过一定的努力也有可能成为预报业务中的一种辅助工具。

（刘延英、方文举）