

# 水文要素与高程的关系

(1987 年)

**提要：** 来文阐明水文要素的垂直变化按不同的尺度范围而各有其规律，并指出这些规律的应用。

**主题词：** 降水量 蒸发量 径流量 高度

在水资源评价中发现一个流域（如我国西部地区）的水量不平衡（即实测径流量大于流域平均降水量，径流系数大于 1），通常怀疑是水文测验存在问题，因而否定或舍弃实测径流成果。近年来，随着实测雨量站增多，水文地理考察的深入，逐渐形成“立体水文”的概念。从这个概念出发，可以认为流域水量不平衡，不一定是水文测验的问题，而是由于高山上雨量的高值没有测到。这些缺测的高山雨量可以应用垂直气候的规律推估。从而可以更精确地绘制水文要素的地理分布图，有利于解决水文测站稀缺地区的水文计算问题。笔者对水文三要素——降水量、径流量、蒸发量与高程的关系这方面的大量资料的综合归纳，得出水文要素的垂直变化按不同的尺度范围而各有其规律。对中小尺度而言，降水量、径流量随高程的增大而增加，蒸发量随高程的增大而减小。对大尺度范围而言，降水量、径流量、蒸发量均随高程增大而减小。以下分别讨论。

## 一、降水量与高程的关系

降水量随高程的变化早已为人们所注意，有些论文指出[1]，由于水汽源的距离不同，水汽含量及输送强度不同，以及山脉的走向、高度、坡度及局部地形等因素的复杂组合，可以得出各种各样的不同结果，有的随高程的增大而增加，有的减少，有的在一个坡向内有一个或多个降水量的最大值。

从静态的或多年平均情况而言，一个地点的降水量可用下述关系概括[2]：

$$R = R(\lambda, \phi) + R(Z) + R(\theta, \alpha)$$

式中  $R(\lambda, \phi)$  为决定于大尺度的地理因素； $R(Z)$  为决定于地形高度的因素； $R(\theta, \alpha)$  为决定于山脉走向和坡度的因素。

从理论上讲，在特定的地理条件下，其降水量应为定数。但由于人们对大尺度的地理因素、地形高度、山脉走向和坡度等与降水量间的关系了解不深，如仅根据短系列的观测资料，就不能代表静态的平均情况，确定降水量的量级仍有困难。但就大尺度范围而言，地形高度的影响是主要因素。气团能量在输送过程中不断释放，总是越来越小。所以在·大范围内，降水量随高程变化的趋势是随高程的增加逐渐减小。就世界上降水量最多的卡西山（其中位于高程 1330m 的乞拉朋齐，年降水量达 11420mm）与喜马拉雅山剖面[3]看来是如此（图 1）。雅鲁藏布江、澜沧江、怒江及岷江大尺度的降水量高程变化也是如此（图 2、3）。

对于中小尺度来说，影响降水量的主要因素是地形。可通过动力学方法估算。

即潮湿气流被山地强迫抬升而凝结的降水量（ $R$ ）可按下式计算<sup>[4]</sup>：

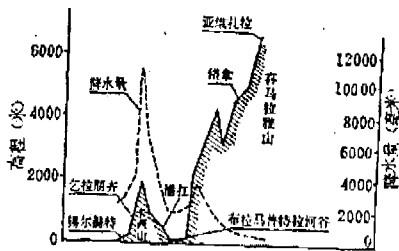


图 1 世界最大降水量的喜马拉雅山—卡西山剖面  
The profile of Ximalaya-Karxi mountain the maximum rainfall in the-world

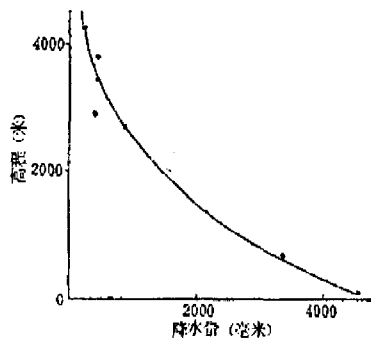


图 2 雅鲁藏布江河谷降水量与高程关系  
Relation between annual rainfall and elevation along the Yaluzangbo valley

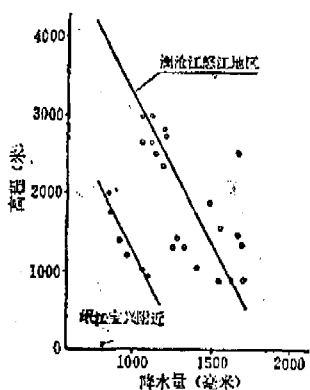


图 3 岷江宝兴附近及澜沧江怒江地区降水量与高程的关系  
Relation between annual rainfall and elevation in Ming Jiang region nearby Boaxing, and in Lancang Jiang and Nu Jiang region

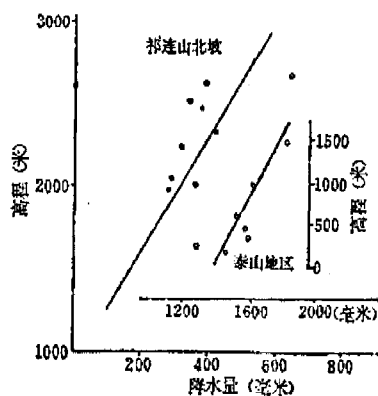


图 4 泰山地区 (1964年), 祁连山北坡 (石羊河) 降水量与高程关系  
Relation between annual rainfall and elevation in the north slope of Qilian Shan and Tai Shan region

$$R = \frac{1}{g} \int_0^{P_0} \int_{P_s} \omega_s F^* dp dt$$

式中  $\omega_s$  为由地形引起的近地层空气上升速度;  $F^*$  为凝结函数;  $P_0$ ,  $P_s$  为计算气层上下界的气压;  $g$  为重力加速度;  $t$  为时间。

计算关键是气流垂直上升速度, 由于各种气象条件与地理条件的组合, 可使垂直上升速度千变万化, 但一般情况是: 迎风坡的降水量大于背风坡, 降水量随高程的增大而增加。如山东的泰山, 甘肃的祁连山 (图 4), 四川的岷山 (图 6), 云南的高黎贡山 (图 5), 四川的峨眉山 (图 6) 及美国的依达呼<sup>[5]</sup>。其中峨眉山是迎风坡的 4/5 处比山顶的降水量大, 而美国的依达呼雷诺溪则是背风坡的 5/6 处比山顶的大。这是由于峨眉山后面还有更高的大相岭, 而依达呼则是由于吹雪使背坡的降水量大。

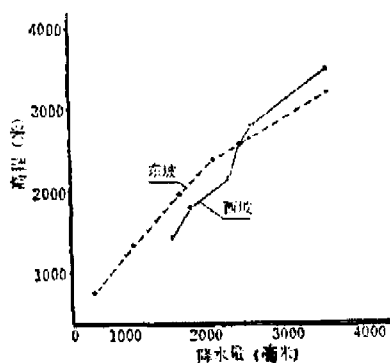


图 5 高黎贡山东西坡降水量与高程关系  
(据傅绍铭、黄天华)  
Relation between annual rainfall and elevation in the east and west slope of Gaoligong Shan

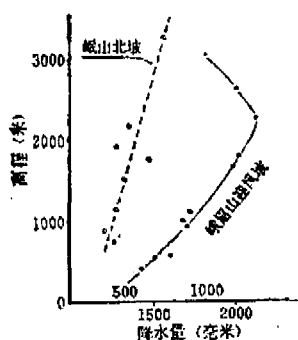


图 6 峨山北坡(白龙江), 峨眉山迎风坡降水量与高程关系  
Relation between annual rainfall and elevation in the upward wind slope of Emei Shan and in the North slope of Min Shan

据云南省水文总站的研究结果：一般中小尺度的地形，大水年（即水汽输送能量大的年份）降水量随高程线性增加，小水年则可能山顶的降水量略小，但就多年平均而言，降水量均随高程的增大而增加。这个认识已为许多观测资料所证实。

## 二、蒸发量与高程的关系

蒸发量分为陆地蒸发量与蒸发能力二种。一般以水面蒸发量代表蒸发能力。蒸发能力的大小，主要取决于饱和差、气温、风速等气候因素，而气候因素又受地形高度及下垫面的影响致使水面蒸发与高程的关系十分散乱。如把甘肃省的长江流域部分的水面蒸发量混合点绘，则看不出水面蒸发与高程有什么关系。但经过按不同下垫面，分出植被较好的白龙江流域与植被较差的西汉水流域，其关系就比较好，如图 7 所示。同样道理，把秦岭南方坡东部与中西部分开，则其关系较好，如图 8。云南省 1) 按不同气候分类，就得出水面蒸发量与高程的密切关系如图 9。利用这类相同气候区的水面蒸发随高程增大而减小的普遍规律，用来估算无观测资料的高山湖泊蒸发量很适当的。对于高原湖泊的水面蒸发量，在水资源评价的初步成果中，看来显然偏大，就是没有利用这个规律造成的。现在的正式成果中已得到修正。

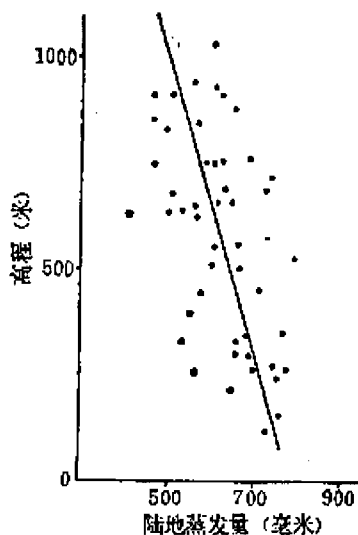


图 11 湖南地区陆地蒸发与高程关系  
Relation between evapo-transpiration and elevation in Hunan Province region

陆地蒸发量又叫陆面蒸发量，或流域蒸发量。它的两种概念，一种叫“点”陆地蒸发量，

与“点”降水量相对应。对于一个流域来说，许多点降水量积分得流域总降水量，从而求得流域平均降水量。陆地蒸发量也一样，许多“点”蒸发量，积分得流域总蒸发量，从而求得流域平均蒸发量。另一种叫“面”蒸发量，是由流域平均降水量减径流量求得的。点降水量可以实测求得，点陆地蒸发量可通过面蒸发量结合气象资料求得<sup>[6]</sup>。

陆地蒸发量的大小取决于热能条件和供水条件。只有二个条件都满足的情况下，才有较大的陆地蒸发量。我国南方气候湿润供水较充分，陆地蒸发量主要取决于热能条件。可以计算“点”陆地蒸发量的凯江蒸发公式<sup>[7]</sup>就是根据热能条件推导而得的，它以气温为主要参数，而气温与高程关系密切，高程越高，气温越低，因而蒸发量越小。这个陆地蒸发量随高程减小的规律，在我国南方地区，无论从大尺度的还是中小尺度的角度看都是一致的。图 10 是长江流域和澜沧江、怒江流域陆地蒸发量随流域平均高程的增大而减小的大尺度分析成果。而图 11 则是湖南省中小尺度的分析成果。

南方地区的陆地蒸发量主要取决于热能条件，而太阳和地球输送的热量年际变化不大。这就是我国南方陆地蒸发量年际间的变幅也不大的原因。也就是说南方地区陆地蒸发量较为稳定，利用这个较为稳定的特点，可以通过水量平衡来估算径流，从而提高径流成果的精度。

### 三、径流量与高程的关系

一般情况下，径流量只具“面”平均的概念。它与平均降水量和陆地蒸发量配套使用。自从建立了“点”陆地蒸发量的概念之后，就相应地出现“点”径流量。通过“点”的水文三要素，便可推求出过去用“面”的办法表达不出来的径流局部（小面积）变化。例如云南金星河径流站，流域面积仅  $5.4\text{km}^2$ 。且仅有一个流量站，但流域内雨量站却较多，而且雨量数值随高程变化剧烈。通过气象资料推求流域内各雨量站处的“点”陆地蒸发量，再以降水量减陆地蒸发量求得相应的“点”径流量，并绘出径流等值线如图 12。这是小尺度的径流量随高程变化的例子。

径流量随高程变化的规律，也与降水量随高程变化一样，中小尺度与大尺度是不同的。对于中小尺度的范围，径流量是随高程增加而增加的。如湖南地区（图 13），秦岭南北坡（图 14）和天山南北坡（图 15）。对大尺度范围而言，由于流域最高处远离汽源，沿途能量已大部释放。故径流量随高程的增大而减小。如澜沧江、怒江流域（图 16）。

### 四、水文要素与高程关系规律的应用

以下简要阐述降水、蒸发、径流随高程的变化规律在四个方面的应用。

1、为改革径流等值线的绘制创造条件。传统的径流等值线表示“面”的情况，它与代表“点”的降水量等值线是不配套的，根据小尺度范围径流随高程增大而增加的规律，可以绘出“点”的径流等值线。图 12 是一例子。关于绘制径流等值线的新方法可参阅文献<sup>[6]</sup>。

2、求取若干“点”径流，以提高径流地区分配的精度。水文站总是比雨量站少，所以一个地区的径流点常常较稀，用来绘制等值线时任意性较大，精度较差。例如福建全省仅有 20 多个长系列的流量站资料，用这些资料绘制等值线精度较低。利用上述概念，根据众多的雨量站资料可以计算出

200 多个径流点，比原来的点子多 10 倍，因而提高了勾绘等值线的精度。

3、解决了四川西部一些地区水量不平衡问题。川西山高谷深，交通不便，雨量站网很稀且多布设在交通方便的河谷，山上极少设站。用河谷实测雨量资料代表流域平均值显然偏少。往往径流深大于降水深，径流系数大于 1，所以只得舍弃这些资料。现在利用降水与高程的关系，依据地形图绘制出高山上的降水等值线，从而纠正了径流系数大于 1 的问题。

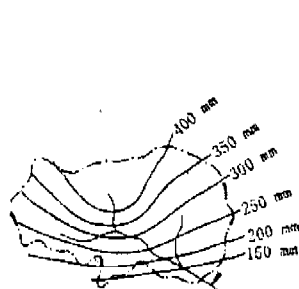


图 12 面积仅 5.4km<sup>2</sup>的金星河流域的径流等值线图  
The runoff isopleth of a small watershed (5.4km<sup>2</sup>) — Jinxing He

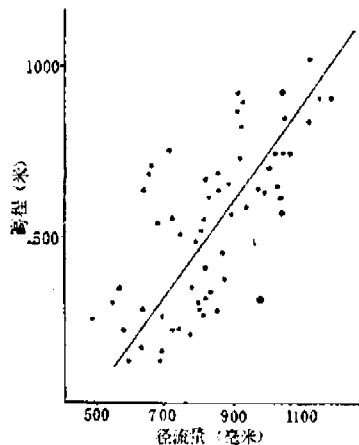


图 13 湖南地区径流量与高程关系  
Relation between annual runoff and elevation in Hunan Province region

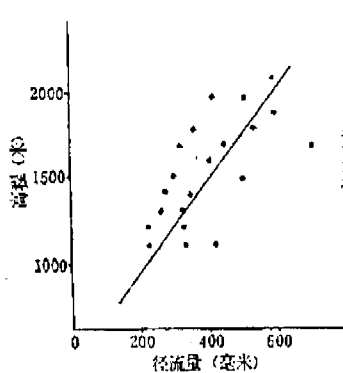


图 14 秦岭南北坡径流量与高程关系  
Relation between annual runoff and elevation in Chinlin mountain region

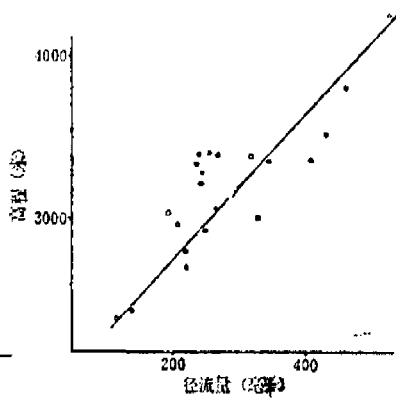


图 15 天山南北坡径流量与高程关系  
Relation between annual runoff and elevation in Tianshan mountain region

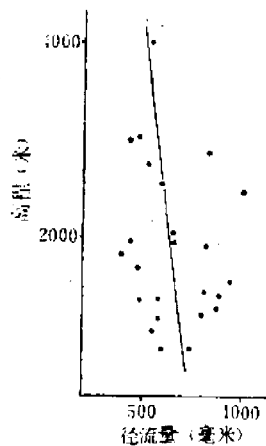


图 16 澜沧江怒江地区径流量与高程关系  
Relation between annual runoff and elevation in LancangJiang and Nu-Jiang regions

4、解决水文站网稀少地区的等值线绘制问题。西藏雅鲁藏布江中下游及藏南诸河水文站网极稀，平均每站控制面积达 18000km<sup>2</sup>，而且站几乎均设在河谷中，尤其是藏南诸河的印度控制区内几无能选用的雨量站，根据已掌握的河谷雨量站资料计算径流数成批出现不合理现象。如表 1。

表 1 雅鲁藏布江部分测站的径流系数  
Runoff coefficient of partial gauging station in Yaluzangbo jiang

站 名	江孜	羊八井	拉 萨	沃 卡	八一村	羊村奴下	606	贡 德	嘎布通
面积 $km^2$	6216	2495	26225	1434	297	26652	2079	10917	1653
降水量 $mm$	351	394	509	507	642	625	911	802	927
径流量 $mm$	123	232	341	410	1222	837	1443	1158	2456
径流系数 $\alpha$	0.35	0.59	0.67	0.81	1.90	1.33	1.58	1.44	2.65

移用上述规律于西藏地区，主要依据高程，参照水汽输送方向和流域下垫面情况，勾绘三要素等值线。首先绘制降水等值线，然后根据陆地蒸发高程递减的规律，参照同纬度地区陆地蒸发的量级，绘制陆地蒸发等值线，用降水等值线与蒸发等值线的交点的差值，绘制径流等值线，以求积仪量出降水总量与径流总量。求出控制断面上的实测径流量与计算径流量的差值，其误差符合要求，否则修改等值线直至符合要求为止。这样不仅给出历史上没有过的新等值线，而且把水资源初帐成果纠正到比较合理的基础之上：雅鲁藏布江的水资源由初帐的 1380 亿  $m^3$  修改为 1650 亿  $m^3$ ，增加 17%。察隅曲的水资源由初帐的 244 亿  $m^3$  修改为 328 亿  $m^3$ ，增加 27%。丹巴曲由 207 亿  $m^3$  修改为 447 亿  $m^3$ ，增加 54%。……这样仅西藏地区细帐比初帐增加约 900 亿  $m^3$  的水资源，相当于黄河和海滦河的总水量。这些利用新概念求得的新数据，得到国外资料的验证<sup>[3]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] S.Lawrence Dingman, Elevation, a major influence on the Hydrology of New Hampshire and Vermont USA, Hydrological Sciences Bulletin, 26, 4, 12/1981;
- [2] 叶笃正等：青藏高原气象学，科学出版社，1979 年；
- [3] K.L.Rao.: India's Water wealth, Oreient Longman Limited, New Delhi, 1979;
- [4] 刘国伟：地形对降水的影响及其估算，水文，第 2 期，1982 年；
- [5] L.Kelaton, Distribution and stochastic generation of annual and monthly precipitation on a mountainous watershed in Southwest Idaho Water Resources Bulletin Vol.18, No.3 1982;
- [6] 金栋梁：改革径流蒸发等值线绘制方法的建议，人民长江，第 1 期，1984 年；
- [7] 金栋梁、杨世才：用普遍气象资料计算土壤蒸发量的方法，人民长江，第 4 期，1981 年。

[刊于《地理研究》1987 年第 2 期]