

# 贡嘎山极高山区的降水分布特征探讨\*

程根伟

(中国科学院、水利部、成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

**提 要** 从贡嘎山东坡的河川径流观测数据,根据径流形成原理反推高海拔地带的降水变化趋势,发现海拔 $>3\,600\text{m}$ 的地区降水仍在增长.利用径流、蒸发和冰雪消融资料算出极高山区降水的垂直梯度值 $19\text{--}66\text{mm/hm}$ ,其结果与较低位置相邻雨量站观测值( $74\text{ mm/hm}$ )相吻合.通过降水与气温的垂直梯度变化规律,还可以掌握高山无人带的雨雪变化动态,这对于阐明林线附近的水分特征,研究冰川物质的来源具有重要的参考价值.

**关键词** 贡嘎山 降水梯度 河川径流

降水大小及其分布是山地环境中最重要的条件之一,它对当地气候特点、径流形成、植物分布以至动物栖息都有决定性的意义,也是山区地貌塑造中的外力条件.为研究高山区自然环境的状态与变迁,首先应了解降水大小及其空间分布,但是在极高山区(海拔 $>3\,500\text{m}$ 的地带),受恶劣的自然条件限制,很难建立长期的雨量观测站,一般的观测点都处于高山坡脚或流域中下部,这样的降水数据对于极高山区没有代表性.

贡嘎山是中国西南极高山地中研究得较多的地方,然而其中的雨量站仍主要集中在海拔 $1\,000\text{--}3\,000\text{m}$ 范围内,在更高的海拔( $3\,600\text{m}$ , $3\,700\text{m}$ , $5\,000\text{m}$ )只有短期的降水记录<sup>[1]</sup>.为了研究高山林带及灌丛草甸区植被的生存环境,探讨冰川物质来源及动态,必须掌握林线至粒雪盆区域的降水大小、时程分配和雨雪比例,这必须采用间接的分析方法来推算.

在陆地水文循环中,降水和径流是流域系统的输入和输出,地面对水体起着存储、调蓄、分配和转化的作用.由于流域内所有的水质点都将转化为径流或蒸发,因此只要有这两种观测数据,就可以根据径流的成因,反推出流域面上的降水大小和过程,从而避免极高山地资料短缺的困难.实际上在降水反演分析中还应考虑其它影响因素,如降雪的积累,地下水的补给以及冰川的消融.为了避免流域调蓄因素对水量分配的影响,最好暂不考虑降水过程分配,而只计算降水的总量与形态,这样可以简化问题,提高分析成果的精度.

## 1 地貌与观测站网

贡嘎山区地处青藏高原东缘,是横断山系最高峰,也是我国大陆由西部高原向东部丘陵急剧过渡的地带.本区地形起伏大(海拔 $1\,000\text{--}7\,756\text{m}$ ),海拔 $>6\,000\text{m}$ 的山峰达45

\* 国家“八五”攀登计划:(编号:KJ85—07—04—01)之部分研究成果.

本文收稿日期:1995-09-04,改回日期:1996-04-17.

座,且有我国分布最低的海洋性冰川,也是西南动植物种类集中的地方,研究贡嘎山区的地质、地貌、气候及物种对于了解青藏高原隆起的影响,认识西南山地的生态环境演变具有重要的意义。

贡嘎山区岭谷高差悬殊,由大渡河至贡嘎山主峰,水平距离仅 29km,而垂直高差达 6 500m,在如此巨大的地形起伏下,气候分带性特别明显,如沿海螺沟河谷而上,气候可呈现从亚热带—暖温带—寒温带—寒带—寒漠永冻带的变化。贡嘎山还是西南水汽的屏障,该地降水量大,地形增雨作用明显,河川径流特别丰沛。

贡嘎山主峰区的中心面积约 4 000km<sup>2</sup>,四周发育有磨西河(东)、田湾河(西、南)和折多河(北),环绕主峰有海螺沟冰川、燕子沟冰川、磨子沟和贡巴冰川,区内冰川和常年积雪面积达 573km<sup>2</sup>,森林面积 735km<sup>2</sup>。贡嘎山区共有康定、贡嘎寺、大泥口、城门洞和三营 5 个水文站和 11 个雨量站(图 1),其中康定站观测时间最长(35a),贡嘎寺站为 1982 年冰川考察所设临时站,只有 1 年代表性资料,而城门洞和三营水文站为中科院贡嘎山高山生态站所设立,具有 4 年不完整径流记录,这两个流域的降水是由出口处的三营气象站代表。

## 2 降水及径流特征

贡嘎山区在海拔 1 200—3 700m 有雨量站 11 个,比较均匀地分布在各个坡向,但在海拔 >3 000m 没有固定的雨量站。目前分布最高的正规雨量点是在海拔 3 000m 的海螺沟三营的气象站,在更高的地方(3 600m,5 000m)只有短期的(10d)野外记录。

从现有的低中海拔(<3 700m)山区的降水数据看,此区降水有随海拔而增大的趋势,如东坡的泸定、磨西和三营,年降水从 640mm,1 000mm 至 1 900mm 递增(表 1),年降水的垂直梯度为 74mm/hm。而西坡的生古桥、新都桥和贡嘎寺,年降水也分别从 705mm,930mm 到 1 150mm 变化,降水梯度也为 74mm/hm。但在更高的山区,降水的变化特征则众说纷纭,一种观点认为在海拔 3 000m 处是最大降水高度带,在此之上降水将减小<sup>[2]</sup>;另一种看法认为在海拔 5 000m 处存在第二大降水带,以满足冰川物质平衡<sup>[3,4]</sup>;还有人认为在海拔 >3 000m 降水都呈增加趋势<sup>[5]</sup>,但以上各种看法都缺乏观测数据支持,难以验证。

贡嘎山区共有水文站 5 个,尤其是中科院贡嘎山高山生态站的冰川区(城门洞)和非冰川区(三营)水文站具有 4 年观测记录,是高山区难得的水文资料。根据已有的径流观测数据统计,这两站的年径流深分别达到 3 000mm 和 2 700mm,均超过相邻的三营气象站的实测降水值(1 900mm),即使扣除可能的冰川消融(可看作历史降水的延期释放),河

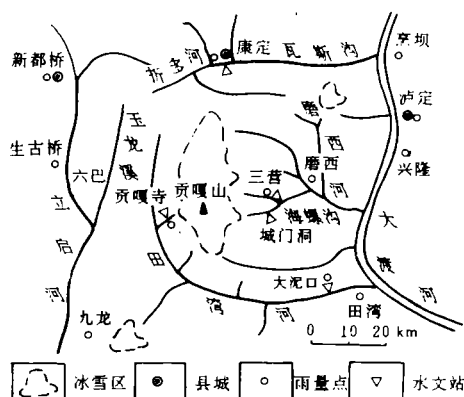


图 1 贡嘎山区水系与站网分布

Fig. 1 The river-net and hydrological-rainfall stations in the region of Mt. Gongga

川径流也将大于流域下部的年降水量(见表 1),这说明流域上部的极高山地的降水仍可能在增大,为此可作更详细的分析.

表 1 贡嘎山区年降水及径流统计  
Table 1 Annual precipitation and runoff in the region of Mt. Gongga

水 文 站						雨 量 站		
站名	河名	流域面积(km <sup>2</sup> )	海拔(m)	年降水(mm)	年径流(mm)	站名	海拔(m)	年降水(mm)
康 定	折多河	669.0	2661	805	968.9	新都桥	3461	934
大泥口	田湾河	1394.0	1200	1257	1041.5	烹 坝	1400	515
贡嘎寺	贡巴沟	72.3	3700	1151	1973.2	泸 定	1320	644
城门洞	海螺沟	80.5	2910	—	2964.0	磨 西	1600	993
三 营	黄崩溜沟	7.5	3000	1900	2764.0	兴 隆	1280	607
						九 龙	2987	888
						生古桥	3100	767

3 径流-降水反演

从表 1 的观测数据看,黄崩溜沟的实测年径流深超过三营地降水约 850mm,而海螺沟的径流深比流域下部降水大 1 000mm 以上. 据分析,这里有两个主要的原因,一个是在流域中上部的极高山区,降水量将远远超过流域出口(三营)的观测值;另一个原因是冰川强烈消融,使近年的径流加大. 黄崩溜沟以上无冰川,应是第一个因素起作用,而海螺沟则是两者共同的效果.

海螺沟以上冰川面积约 29.66km<sup>2</sup>,据 1990 年中苏联合冰川考察时进行的 1 年完整的冰面消融观测,其冰川中下部(海拔 3 000—3 600m)的年消融深度达 4 200mm<sup>[1]</sup>,取全冰川平均消融强度为最大值的一半,则折合为全流域冰川径流深 774mm,由此可得海螺沟上游降水产生的径流深在 2 200—2 700mm 之间,这包括降雨产生的直接径流、地下径流和当年降雪消融的来水,但不包括冰川融化的增水.

贡嘎山区地势高耸,年平均气温<4.0℃、雨日达 260d/a、年均湿度 90%,故蒸发很小. 根据三营气象站三年的观测,海拔 3 000m 处的 20cm 蒸发皿中的年蒸发量仅为 460mm,折合为 E601 标准蒸发皿(折算系数 K=0.711)的蒸发量为 327mm/a. 据研究,在湿润条件下的陆面蒸发与 E601 测量得的水面蒸发最为接近,故可用该值作为流域蒸发的量.

根据径流形成原理,流域面上降水量 P 可由径流量 R、蒸发量 E、冰川消融量 M 和流域蓄水增量 DW 反推得到

$$P = R + E - M + DW. \quad (1)$$

对于较长时段(月或年),流域蓄水增量 DW、可以忽略不计,而各月的冰川消融 M 可由年消融总量按月正气温线性分配,即冰川融水量与当月正气温成正比,而其总和等于 774 mm/a.

按公式(1),选择贡嘎山海螺沟和黄崩溜沟较可靠的几年水文气象数据,计算这两个流域中的各年面平均雨量,结果均已折合成流域深度值(表 2).

从水量平衡法推得的几年的降水过程(见表 2),贡嘎山极高山区的降水均超过三营

站的观测值(见表1),一般可比海拔3000m站实测值大300—900mm,其中黄崩溜沟小流域比海螺沟上游的降水更大.

表2 贡嘎山东坡流域降水反演计算

Table 2 Precipitation computation for east slope of Mt. Gongga

项目	站名	代表 年	月												年径 流深
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
气温(℃)	三营	平均	-5.0	-3.7	-0.8	3.8	7.6	10.8	12.5	12.1	9.0	4.2	0.8	-2.9	4.0
消融(mm)	冰面	平均	0	0	0	48.4	96.8	137.5	159.1	154.0	114.5	53.5	10.2	0	774
蒸发(mm)	三营	平均	10.6	14.3	24.1	33.5	39.9	36.8	48.3	40.5	25.8	19.7	16.3	17.7	327
总径流 (mm)	黄崩溜	1990	56.6	54.2	32.0	92.5	77.4	342.9	346.9	387.0	422.2	279.0	201.9	179.4	247
		1991	35.2	42.2	21.1	17.6	70.4	168.8	379.9	496.0	372.9	263.8	211.1	70.4	2149
		1992	31.7	31.7	17.6	14.0	200.5	418.6	464.4	471.4	446.8	260.3	175.9	102.0	2635
	海螺沟	1990	56.8	60.8	128.0	186.2	287.1	413.5	524.2	482.7	395.5	259.7	160.4	96.0	3051
		1994	62.1	58.1	52.6	95.4	171.5	334.8	379.2	706.1	591.8	222.8	119.8	83.0	2877
降水量 (mm)	黄崩溜	1990	67.2	68.5	56.1	126.0	117.3	379.7	397.2	427.5	448.0	298.7	218.2	197.1	2799
		1991	45.8	56.5	45.2	51.1	110.3	205.6	428.2	536.5	398.7	283.5	227.4	86.7	2477
		1992	42.3	46.0	41.7	47.5	240.4	455.4	512.7	511.9	472.6	280.0	192.2	118.3	2962
	海螺沟	1990	67.4	75.1	152.1	171.3	230.2	312.8	413.4	369.2	306.8	225.9	166.5	113.7	2604
		1994	72.7	72.4	76.7	80.5	114.6	234.1	268.4	592.6	503.1	189.0	125.9	100.7	2431

为了更好地理解流域上部的降水分布,将反演所得的流域平均降水量视作为流域中心的降水值,则可得到海螺沟上游海拔4500m处的降水量为2604mm(1990年)或2431mm(1994年),黄崩溜沟海拔4200m处的降水为2799mm(1990年),2476mm(1991年)和2962mm(1992年).对照海拔3000m站各年的降水量,求得海螺沟上游和黄崩溜沟上游的降水梯度分别为38.3mm/hm和66.2mm/hm.

这两个流域的降水梯度差异除了与地形朝向有关外(黄崩溜沟流域正朝水汽来路,而海螺沟上游呈一大转弯,左岸山坡处于雨荫下),另一个重要原因是两者的海拔不同所致.黄崩溜沟分水线海拔在4400—5400m之间,此为水汽主要聚集带,在此范围内地形抬升可以产生最大的降水效应,而海螺沟的分水岭高达海拔6000—7550m,地形抬升的增水主要发生在流域中部(海拔4000—5000m),此后的水汽含量减少,进一步的抬升形成的降水也就不多,这使得全流域平均的降水梯度下降.若以66mm/hm作为中等海拔(3000—5000m)的降水梯度,则极高山区(海拔5000—7500m)的降水梯度(按面积比例推算)约为19mm/hm.

表3 贡嘎山相邻低海拔区观测降水梯度

Table 3 The increasing rate of observed precipitation in the lower regions of Mt. Gongga

项 目	贡嘎山西坡			贡嘎山东坡			二郎山西坡				
	生古桥	新都桥	贡嘎寺	泸定	磨西	三营	泸定	甘谷地	凉风顶	别托	垭子口
海拔 $H$ (m)	3100	3461	3700	1320	1600	3000	1320	1400	1760	2040	2840
降水量 $P$ (mm)	705	934	1151	644	993	1892	646	666	704	795	1008
降水梯度 $\Delta P/\Delta H$ (mm/hm)		64	90		125	64		20	11	32	27
平均 $\Delta P/\Delta H$		74.5			74.2			25.1			

以上为河川径流反推的贡嘎山极高山区的降水量和降水梯度,这与贡嘎山东坡低海拔区( $<3\,700\text{m}$ )的降水梯度( $74\text{mm/hm}$ )基本相符.表 3 还给出了贡嘎山西坡和二郎山西坡各站观测的年降水量和降水梯度,可作一对照.

#### 4 极高山区降水的形态

以上探讨了贡嘎山极高山区的降水分布,即降水有沿高度增长的趋势,在海拔 $<3\,600\text{m}$ 的降水垂直梯度约为 $74\text{mm/hm}$ ,海拔 $3\,600\text{—}5\,000\text{m}$ 的梯度是 $66\text{mm/hm}$ ,即使在海拔 $>5\,000\text{m}$ ,降水仍可能增大,其梯度减为 $19\text{mm/hm}$ 左右.

在极高山区,有相当比例的固体降水(雪).降水的具体形态主要取决于当时的气温正负情况,而气温则随高度和季节变化.依据贡嘎山东西坡各月平均气温和气温梯度,可算出这两个坡面各月的零气温线的高度<sup>[5]</sup>,超过这一高度的地方的降水应视作固体降水.

贡嘎山海拔 $>4\,000\text{m}$ 的降水多为固体形态,其中海拔 $>5\,000\text{m}$ (雪线)的当年降雪可以积蓄到次年夏季才消融,或转化为冰川物质补给,具有较长的持留期.在海拔 $4\,000\text{—}5\,000\text{m}$ 地带的降雪可在当年内完全消融,海拔 $<4\,000\text{m}$ 的地区则可划分为干季(11—4月)和湿季(5—10月),湿季以降雨为主,干季以降雪为主,而且干季的降雪通常在10—20d内融化掉.

根据以上研究,贡嘎山区降水具有随高度增加而增加的特点,在海拔 $1\,000\text{—}2\,000\text{m}$ 的年降水梯度为 $120\text{mm/hm}$ ,海拔 $2\,000\text{—}3\,600\text{m}$ 的梯度是 $74\text{mm/hm}$ ,海拔 $3\,600\text{—}5\,000\text{m}$ 的梯度为 $66\text{mm/hm}$ ,海拔 $>5\,000\text{m}$ 地区的降水梯度约为 $19\text{mm/hm}$ .由此可得海拔 $4\,000\text{m}$ 处的年降水约 $2\,560\text{mm}$ ,海拔 $5\,000\text{m}$ 处年降水 $3\,200\text{mm}$ ,海拔 $6\,000\text{m}$ 处年降水 $3\,400\text{mm}$ ,其中海拔 $>5\,000\text{m}$ 常年降雪,是冰川粒雪盆的补给源.高山超常的降水和冰川强烈的消融是本区河川径流深普遍超过观测降雨量的原因.

#### 参 考 文 献

- [1] Liu Shiyin, Xie Zichu, Su Zhen, *et al.* Accumulation, ablation and ice formation of Hailuoguo Glacier in the Gongga Mountain. In: *Glaciers And Environment in the Qinghai-Xizhang (Tibet) Plateau*(1), The Gongga Mountain, Xie Zichu, Kotlyakov VM eds, Beijing, Science Press, 1994. 65—80.
- [2] 何毓成. 贡嘎山地区河川水文. 见:中国科学院成都地理研究所. 贡嘎山地理考察. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 47—54.
- [3] 高生淮, 彭继伟. 贡嘎山山地气候研究. 见:中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站. 贡嘎山高山生态环境研究. 成都:成都科技大学出版社, 1993. 59—68.
- [4] Cao Zhen tang, Cheng Genwei. Preliminary analyses of hydrological characteristics of hailuoguo glacier on the easter slope of the Gongga Mountain. In: *Glacier And Environment in the Qinghai-Xizhang (Tibet) Plateau*(1), The Gongga Mountain, Xie Zichu, Kotlyakov VM eds, Beijing, Science Press, 1994. 143—156.
- [5] 程根伟. 贡嘎山海洋性冰川区河流水文特征. 见:中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站. 贡嘎山高山生态环境研究. 成都:成都科技大学出版社, 1993. 69—79.

## EXPLORATION OF PRECIPITATION FEATURES ON EXTRA-HIGH ZONE OF MT. GONGGA

Cheng Genwei

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences &  
Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

### Abstract

In southwest part of China, most rain gauges are located on positions within 1 000—3 000m above sea level. Seldom records can be found in higher area that leads to lack of information on the precipitation in alpine region. The changing tendency of precipitation in extra-high zone is explored by means of rainfall-runoff generation mechanics. The rainfall increases in region above 3 600 m which causes extra large stream flow. By analyses from runoff, evaporation and snow-ice melting data, the vertical increasing rate of annual precipitation has been derived as 19—66mm/hm in extra-high zone (3 600—6 000m), which can be compared with 74—120mm/hm for lower zone ( $<3\ 000\text{m}$ ). According to the vertical distribution of temperature and precipitation, the forms of precipitation (rainfall or snowfall) on extra-high region can be determined as well. These characteristics are important in explaining the existing environment of alpine vegetations and material supply of glaciers in Mt. Gongga.

**Key words** Mt. Gongga, precipitation, rainfall-runoff

## 《山地研究》为中国科学引文数据库收录期刊

《山地研究》是中国科学引文数据库首批收录的 315 种期刊之一。

《中国科学引文索引》印刷版和光盘版已于近日出版。若想了解以上两种产品的详细情况及引文数据库的服务情况,可与中国科学引文数据库联系。

联系地址:北京中关村科学院南路 8 号;

邮 编:100080;

电 话:62564354;

传 真:62566846.

中科院文献情报中心中国科学引文数据库课题组