

纵向岭谷区的怒江跨境径流量变化特征

尤卫红¹, 吴湘云², 郭志荣^{1,3}

(1 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091; 2 云南省丽江教育学院, 云南 丽江 674109

3. 南京信息工程大学大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 以纵向岭谷区的怒江跨境径流量观测数据为基础, 应用统计分析方法, 研究了怒江跨境径流量的变化特征和规律。结论为: 怒江的跨境径流量主要集中在雨季(5~10月), 其间的径流量约占全年的 82%, 径流量的这种年内变化特征说明怒江在年内为雨水补给为主的河流; 雨季的怒江跨境径流量在年跨境径流总量中的比重从 20 世纪 60年代中期以来总体是呈下降的趋势; 从年际变化上来说, 怒江属于高山冰雪融水和雨水混合补给型河流, 从 20世纪 70年代开始, 怒江跨境径流量的年际变化就开始呈显著增加的时间演变趋势; 径流量最长有可达 6个月的持续性, 出现在 9月; 总体来看, 怒江跨境径流量的年代际大尺度变化特征主要表现在 20世纪 80年代的中期以前, 径流量相对来说是比较少的, 而从 80年代的中期以后有明显增加的趋势; 怒江跨境径流量的变化主要是由于纵向岭谷区西南季风环流系统活动的变化造成的, 至少在夏季风活动期间是这样。

关键词: 纵向岭谷区; 怒江; 跨境径流量; 变化特征

中图分类号: P343

文献标识码: A

怒江—萨尔温江在中国境内称为怒江, 发源于青海省唐古拉山南麓, 流经西藏后在贡山县进入云南境内, 经怒江州、保山地区、临沧地区, 于德宏州潞西县出境, 最后流入孟加拉湾。怒江属于云南省的三大国际河流之一, 位于 $90^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}$, $20^{\circ}\text{N} \sim 33^{\circ}\text{N}$ 之间, 进入云南省后, 在高黎贡山和怒山的夹持下, 自北向南奔流而下。在碧江以上, 河道坡降大, 两岸为悬崖峭壁, 河道深切, 水流湍急, 支流短小, 呈羽毛状排列; 在碧江以下, 地势渐缓, 河道也稍见开阔, 直至施甸县境内才有较大支流汇入。主要支流有勐波罗河、南汀河等。怒江流域是云南省雨季开始最早, 结束最迟的河流, 在每年的 2~4月就有桃

花汛, 可造成大洪水, 而在 11月出现年最大流量的年份也屡见不鲜。

近年来, 随着“澜沧江—湄公河次区域经济合作”、“中国—东盟自由贸易区建设”和“中、日、韩+东盟 10国区域合作”等重大战略的实施, 在纵向岭谷区包括怒江在内的国际河流的生态系统变化及其跨境影响, 特别是水文水资源系统的变化及其跨境影响, 已成为人们关注和研究的焦点^[1-10]。

纵向岭谷区以其南北向发育、东西向展布的巨大山系和深切河谷为格局, 对流经该区的东亚季风和南亚季风同时起着东西向的阻隔作用和南北向的通道作用, 相应地, 纵向岭谷区的天气、气候和江河

收稿日期 (Received date): 2007-08-20; 改回日期 (Accepted): 2007-12-11.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目“纵向岭谷区的气候变化及其对江河跨境径流量的影响” (40575046); 国家重大基础研究发展计划 (973计划)“纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究” (2003CB415100); 云南省自然科学基金项目“澜沧江—湄公河月季年径流量变化的气候成因及预测研究” (2004D0005M) [National Natural Science Foundation of China “Climate Change of the Longitudinal Range Gorge and Its Influence on the Transboundary Flows of the Rivers”, No. 40575046; National Basic Research Program of China “Study of Ecosystem Changes in the Longitudinal Range Gorge Region and Transboundary Eco-security in Southwest China”, No. 2003CB415100; Natural Science Foundation of Yunnan Province “Climate Causes and Forecast of Monthly Seasonal and Yearly Variations for the Lancang Mekong River Flows”, No. 2004D0005M]

作者简介 (Biography): 尤卫红 (1962-) 男 (汉), 云南人, 1998年毕业于南京大学气候学专业并获理学博士学位, 现任教授、博士生导师, 主要从事天气、气候和水文水资源变化研究。E-mail: youweih@sinahome.com [You Weihong (1962-), Male, Ph.D. of Climatology, Nanjing University, 1998, Professor, Researches on Weather, Climate, Hydrology and Water Resource]

径流量变化也必然表现出这种阻隔和通道作用下的一些显著特征和规律。已有的一些初步研究表明^[11-15], 在低纬高原的纵向岭谷区, 不仅中小尺度的天气系统活动频繁, 而且由于这些地形的东西向阻隔作用, 由东北季风带来的冷空气影响的气候变化差异相对来说是比较小的, 而由西南季风带来的水汽影响的气候变化差异却比较显著, 这主要是在大气中的水汽含量在低层较多, 因此西南暖湿气流在地形的动力抬升和强迫作用下形成降水, 水汽沿途被不断消耗掉, 从而使该区域降水量的分布呈西南多东北少、山区多河谷坝区少的显著区域特征, 并导致了该区域江河径流量变化上的一些显著特征和规律。

本文以纵向岭谷区的怒江跨境径流量观测数据为基础, 应用统计分析方法, 研究了纵向岭谷区的怒江跨境径流量变化特征和规律。

1 资料及方法

本文使用的数据为中国云南境内怒江道街坝水文站 ($98^{\circ}53'E$, $24^{\circ}59'N$) 1956—01~2000—12 的逐月径流量观测数据, 由于该水文站的地理位置离我国国境线已不是很远, 因此在文中以该水文站的径流量来作为怒江跨境径流量的代表。

本文主要采用统计分析^[16]的研究方法。

2 径流量的年内变化特征

2.1 年内变化

地表水资源即径流量的年内变化主要取决于径流的补给来源。通常情况下, 高山冰雪融水和雨水混合补给型河流的径流量年内变化相对稳定, 而以雨水补给为主的河流年内变化较为不稳定。

在图 1 中给出了 1956~2000 年 45 a 平均的怒江跨境径流量的年内距平百分率变化曲线。从图 1 可以看出, 怒江的跨境径流量在 1 月处于最低值, 2~4 月开始缓慢上升, 至 5 月急剧增加, 7 月达到最大值, 9 月后开始明显减少, 直至 12 月接近最小值。也就是说, 径流量主要集中在雨季 5~10 月, 其间的径流量约占全年的 82%, 为干季的 4 倍多。径流量的这种年内变化特征说明了在较小的时间尺度上怒江为雨水补给为主的河流。

根据李栋梁等^[17]的划分方法, 对怒江跨境月径

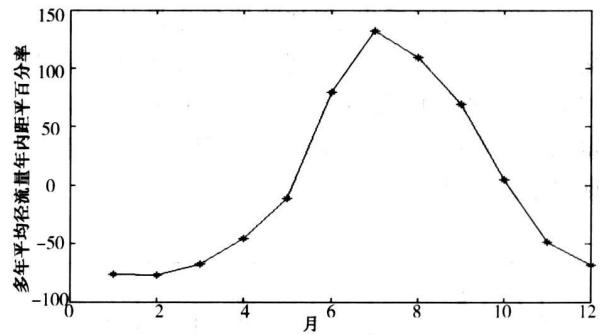


图 1 怒江 45 a 平均跨境径流量的年内距平百分率变化曲线

Fig 1 Mean variation of transboundary flow anomaly percentage of the Nujang River within a year

流量按其距平百分率划分为 5 个等级: 距平百分率 $< -40\%$ 为枯水; $-40\% \leq$ 距平百分率 $< -20\%$ 为偏枯; $-20\% \leq$ 距平百分率 $\leq +20\%$ 为正常; $+20\% <$ 距平百分率 $\leq +40\%$ 为偏丰; 距平百分率 $> +40\%$ 为丰水。那么由图 1 可以看出, 怒江跨境月径流量在 1~4 月和 11~12 月为枯水, 在 5 月和 10 月为平水, 在 6~9 月为丰水。枯水期最枯在 1~2 月, 在此之前为消退期, 之后为逐渐回升期。在 10~11 月的季节转换阶段, 径流量仍占有较大的比重, 反映在这个阶段内的径流量消退很快, 径流量的变化幅度较大。在 12~2 月, 由于地表径流亏尽, 径流量的消落主要取决于地下水, 因而其退水平缓, 变化幅度较小, 并达到全年的最低值。之后, 由于 2~4 月在怒江流域的桃花汛, 径流量的过程线开始缓慢回升, 但在 3 月的回升幅度还不是太大, 变化较为平缓, 在 3 月以后降水的影响开始显著, 径流量迅速上升, 涨幅增大, 到 7 月达到最大值。

夏季是怒江跨境径流量最多的时期, 这主要是怒江流域受夏季风影响所形成的降水所致。由于怒江流域地处东亚和南亚季风区, 其降水量的季节性变化特征是比较显著的, 所以怒江的跨境径流量变化也有明显的丰、枯季之分。

2.2 丰枯率变化

丰枯率 β 的计算公式为: $\beta = R5-10 / R11-4$ 其中 $R5-10$ 为每年 5~10 月的径流总量, $R11-4$ 为每年 11 月~翌年 4 月的径流总量。丰枯率 β 实际上是雨季的径流总量与干季的径流总量之间的比值, 是反映地下水补给量占年径流量比重大小的一种指标^[18]。在图 2 中给出了怒江跨境径流量的丰枯率 β 值随时间的变化曲线及其相应的主值函数随时间的变化曲线。

从图 2 可以看出,怒江跨境径流量的丰枯率变化,在 20 世纪 60 年代中期以来表现为总体呈波动状减小的时间演变趋势,说明雨季的怒江跨境径流量在年跨境径流总量中的比重从 20 世纪 60 年代中期以来总体是呈下降的趋势。

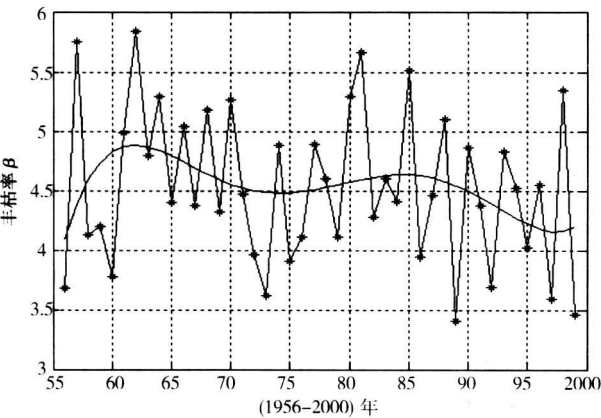


图 2 怒江跨境径流量丰枯率 (β) 的时间变化及其趋势曲线
Fig 2 Interannual variation and tendency of the plentiful/withered rate (β) of the transboundary flow in the Nu River

3 径流量的年际变化特征

3.1 径流量的年变差系数

年变差系数 C_v 的计算公式为: $C_v = \sigma_R / \bar{R}$ $\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$, 其中 R 为年径流量, \bar{R} 为多年平均的年径流量。一般来说,以季节积雪融水或雨水补给为主的河流,由于径流量补给来源的年际变化较大,使河流径流量存在着较为显著的年际差异,因此其年变差系数的值较大,而以高山冰雪融水与雨水混合补给的河流,由于径流量补给来源中的高山冰雪融水与雨水在不同的年份起到相互补充的作用,即在气温偏高的年份降水量偏少,这时冰雪融水补给量增加而雨水补给量减少,相反在雨水偏

多的年气温较低,雨水补给量增多而冰雪融水补给量减少,最终反映在径流量的变化上就比较稳定,其年变差系数的值较小。汤奇成等^[9]认为,高山冰雪融水和雨水混合补给型河流的值在 0.12~0.20 之间,而以季节积雪融水或雨水补给型河流的值在 0.25~0.45 间。

经计算,怒江跨境径流量的年变差系数 = 0.13 因此在较大的时间尺度上怒江是属于高山冰雪融水和雨水混合补给型的河流。

3.2 径流量的年际变化特征

在图 3 中给出了怒江跨境径流量年际变化的距平百分率变化曲线及其趋势。从图 3 中可以看出,径流量在 1956~2000 年的 45 a 中以正常年份居多,只在 1959、1972 和 1986 这 3 a 出现了偏枯年,在 1980、1990、1991、1993、1998 和 2000 这 6 a 出现了偏丰年。从图 3 中还可以看出,怒江跨境径流量年际变化的正距平年有明显增加的时间演变趋势,特别是在 20 世纪的 90 年代以来,其正距平年占到了 70% 以上,偏丰年也大都出现在这一时期,说明径流

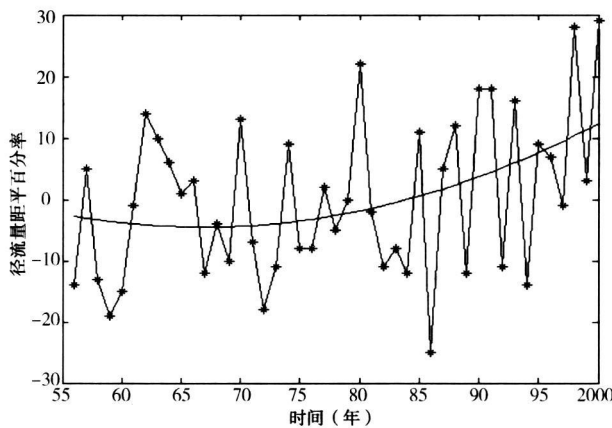


图 3 怒江跨境径流量年际变化的距平百分率曲线及其趋势
Fig 3 Interannual variation and tendency of the transboundary flow anomaly percentage in the Nujiang River

表 1 怒江跨境月径流量变化的滞后自相关系数
Table 1 Lag correlation coefficients of the transboundary monthly flow in the Nujiang River

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.78	0.52	0.63	0.50	0.31	0.51	0.43	0.68	0.48	0.65	0.87	0.75
2	0.45	0.33	0.47	0.25	0.30	0.22	0.35	0.31	0.53	0.65	0.69	0.54
3	0.26	0.35	0.12	0.20	0.13	0.20	0.21	0.39	0.65	0.51	0.44	0.36
4	0.38	-0.02	0.27	0.11	0.13	-0.14	0.19	0.47	0.55	0.44	0.32	0.26
5	0.15	0.08	0.05	0.09	0.10	0.02	0.30	0.36	0.34	0.31	0.20	0.21
6	0.17	0.25	-0.08	0.15	0.27	0.10	0.27	0.22	0.35	0.19	0.13	0.13

量的年际变化有显著增加的时间演变趋势。由图 3 中的多项式模拟的趋势变化曲线则可以清楚地看出, 从 20 世纪 70 年代开始, 径流量的年际变化就开始呈显著增加的时间演变趋势。显然, 这与人们普遍认为的随着全球气温的升高, 实际蒸发耗损量增大, 流域的径流深和水储量会相对减少的结论不相一致。这说明怒江跨境径流量的年际变化是有其独特的区域特征和规律的。

3.3 径流量变化的持续性

根据怒江道街坝水文站 1956 ~ 2000 年的逐月径流量资料, 在表 1 中分别给出了后延 1 ~ 6 个月的

滞后自相关系数。表 1 中的黑体数据是表示通过了 95% 信度水平检验的数据, 竖着的月表示的是滞后的月数。

从表 1 可以看出, 怒江跨境径流量最长有可达 6 个月的持续性, 出现在 9 月, 春夏季怒江跨境径流量的持续性较差, 次之是冬季, 秋季的持续性较好。

4 径流量的年代际变化特征

图 4 给出了怒江跨境径流量年际变化的距平值直方条和 11 a 滑动平均曲线。

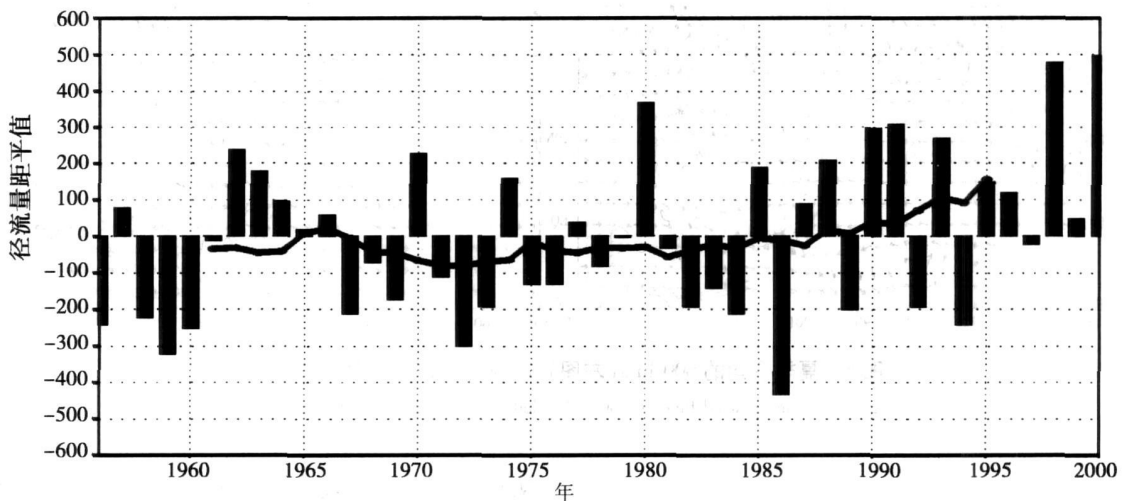


图 4 径流量距平的年际变化 (直方条) 和 11 a 滑动平均曲线 (折线)

Fig 4 The interannual variation (bar) and 11 years moving average curve (fold line) of the flow anomalies

从图 4 可以看出, 径流量的年代际变化特征是明显的, 即在 1980 年代的中期以前径流量相对来说是比较少的, 1980 年代中期以后有明显增加的趋势。径流量的这种年代际大尺度变化特征, 与黄荣辉等^[20]利用 1951 ~ 1994 年我国夏季降水量资料得出的我国夏季降水在 1965 年前后发生了一次气候跳跃, 并在华北地区表现出 1965 年以后的夏季降水明显减少、干旱化趋势明显的结果有相似的变化特征。刘燕等^[21]和郑春怡等^[22]都分析发现, 云南夏季降水在近 50 a 中主要有三个变化阶段, 即 1970 年代中期以前的多雨, 1970 年代中期至 1990 年代中期的少雨以及 1990 年代中期以后的多雨, 其中以 1960 年代中期降水峰值达最大, 与怒江跨境径流量有相似的变化特征, 也似乎与姜大膀等^[23]最近呈现的始于 20 世纪 60 年代中期的东亚夏季风年代际尺

度减弱事实, 以及东亚夏季风系统在 20 世纪 60 年代中期和 70 年代中后期发生的两次年代际突变事件有某种必然的联系。此外, 杨建平等^[24]也分析发现, 东南季风、西南季风、高原季风基本上都在 20 世纪 50 年代至 60 年代中期为强盛期, 1960 年代末期至 1980 年代初期为衰弱期, 1980 年代中期之后又处于强盛期。显然, 这些结果都表明, 怒江跨境径流量的年代际变化与东亚季风环流系统的年代际变化之间是存在有某种关系的。

5 影响径流量的高低空风场结构特征

为了说明怒江跨境径流量变化与纵向岭谷区的季风环流系统活动是有某种关系的, 在图 5 中分别给出了 1956 ~ 2000 年夏季平均的 600 hPa (左图) 和

150 hPa(右图)等压面上的风场矢量图。

从图 5 可以看出,夏季在我国境内的整个怒江流域附近及西南地区,在较低层的 600 hPa 等压面上基本为西南风气流所控制,特别是在怒江流域区则主要为偏南风气流所控制。而在较高层的 150 hPa 等压面上,在 30°N 以南的我国东部地区和整个怒江流域附近及西南地区则基本上都为东北风气流

所控制,在 30°N 以北地区则主要为西北风气流所控制。由于道街坝水文站位于 $98^{\circ}53'\text{E}$ $24^{\circ}59'\text{N}$ 而整个怒江流域也主要位于 32°N 以南的纵向岭谷区,因此高低空等压面上的这种风场结构特征也确实能够说明,怒江跨境径流量的变化主要是由于纵向岭谷区西南季风环流系统活动的变化造成的,至少在夏季风活动期间是这样。

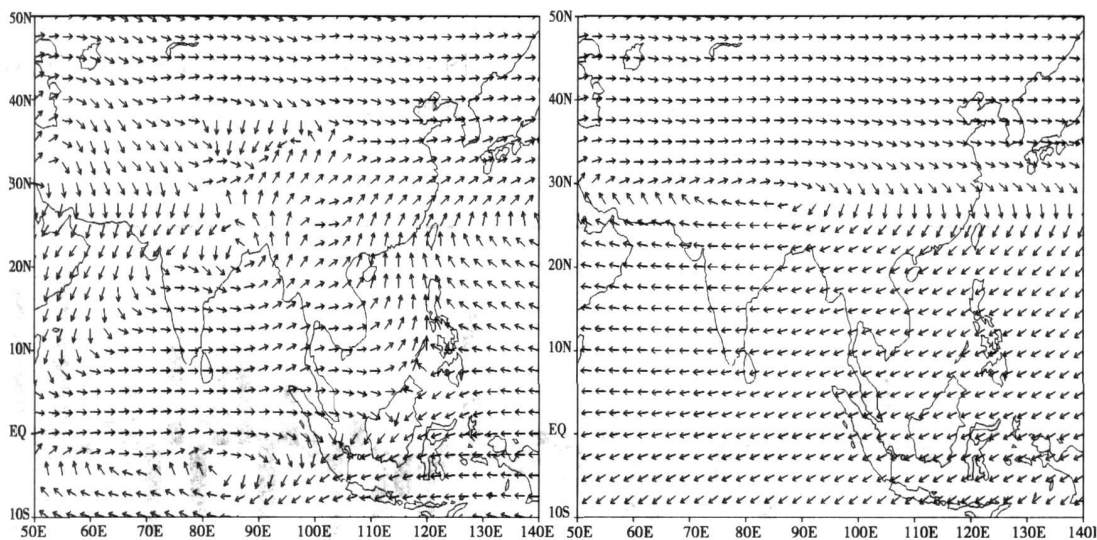


图 5 夏季平均的 600 hPa(左图)和 150 hPa(右图)风场矢量图

Fig 5 The mean wind fields on 600 hPa(left) and 150 hPa(right) in summer

6 结 论

本文以纵向岭谷区的怒江跨境径流量观测数据为基础,应用统计分析方法,研究了纵向岭谷区的怒江跨境径流量变化特征和规律。得到的结果和结论如下:

1. 怒江的跨境径流量主要集中在雨季 5~10 月,其间的径流量约占全年的 82%,为干季的 4 倍多。月径流量在 1~4 月和 11~12 月为枯水,在 5 月和 10 月为平水,在 6~9 月为丰水。枯水期最枯在 1~2 月,在此之前为消退期,之后为逐渐回升期。径流量的这种年内变化特征说明怒江在年内即在较小的时间尺度上为雨水补给为主的河流。

2. 怒江跨境径流量的丰枯率变化在 20 世纪 60 年代中期以来表现为总体呈波动状减小的时间演变趋势,说明雨季的径流量在年径流总量中的比重从 20 世纪 60 年代中期以来总体是呈下降的趋势。

3. 怒江跨境径流量的年变差系数为 0.13 因此

从年际变化即在较大的时间尺度上来说,怒江属于高山冰雪融水和雨水混合补给型河流。从 20 世纪 70 年代开始,径流量的年际变化就开始呈显著增加的时间演变趋势。显然,这与人们普遍认为的随着全球气温的升高,实际蒸发耗损量增大,流域的径流深和水储量会相对减少的结论不相一致。这说明怒江跨境径流量的年际变化是有其独特的区域特征和规律的。

4. 怒江跨境径流量最长有可达 6 个月的持续性,出现在 9 月。春夏季径流量的持续性较差,次之是冬季,秋季的持续性较好。

5. 怒江跨境径流量的年代际大尺度变化特征主要表现在 20 世纪 80 年代的中期以前,径流量相对来说是比较少的,而从 80 年代的中期以后有明显增加的趋势。

6. 夏季是怒江跨境径流量最多的时期,夏季在我国境内的整个怒江流域附近及西南地区,在较低层的 600 hPa 等压面上基本为西南风气流所控制,特别是在怒江流域则主要为偏南风气流所控制。而

在较高层的 150 hPa 等压面上, 在 30°N 以南的我国东部地区和整个怒江流域附近及西南地区则基本上都为东北风气流所控制, 在 30°N 以北地区则主要为西北风气流所控制。由于道街坝水文站位于 $98^{\circ}53'\text{E}$ 、 $24^{\circ}59'\text{N}$ 而整个怒江流域也主要位于 32°N 以南的纵向岭谷区, 因此高低空等压面上的这种风场结构特征表明, 怒江跨境径流量的变化主要是由于纵向岭谷区西南季风环流系统活动的变化造成的, 至少在夏季风活动期间是这样。

参考文献 (References)

- [1] TERRA The business of climate change[J]. *Watershed* 2001, 7 (1): 2~68
- [2] Dalby S. Security and ecology in the age of globalization[R]. ECSP Report (Issue 8) 2002 95~108
- [3] Michel T. K. Resource wars: The new landscape of global conflict. Henry Holt & Company[M]. LLC New York 2002 1~26
- [4] Nations U. Programmed D. United Nations Environment Programme World Bank World Resources Institute World Resources 2000~2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life[M]. WRI Press 2000 200~210
- [5] Wolff T. A. Sandra L. P. Dehydrating conflict[K]. *Foreign Policy* 2001, (9): 2~9
- [6] Badenoch N. Transboundary environmental governance: principles and practice in Mainland Southeast Asia[R]. World Resources Institute 2002 2~9
- [7] Goh E. Environmental security in Southeast Asia[R]. United Nations Headquarters 2002 1~9
- [8] He D M. Zhao W J. Feng Y. Research progress of international rivers in China[J]. *Journal of Geographical Sciences* 2004 14 (Suppl.): 21~28
- [9] He Daming. Wu Shadong. Peng Hua et al. A study of ecosystem changes in Longitudinal Range Gorge Region and transboundary eco-security in southwest China[J]. *Advances in Earth Science* 2005 20(3): 338~344 [何大明, 吴绍洪, 彭华, 等. 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究[J]. *地球科学进展*, 2005 20(3): 338~344]
- [10] He Daming. Feng Yan. Gan Shu et al. Transboundary hydrological effects of hydropower dam construction on the Lancang River[J]. *Chin Sci Bull* 2006 51(Sup): 14~20 [何大明, 冯彦, 甘淑, 等. 澜沧江干流水电开发的跨境水文效应[J]. *科学通报*, 2006 51(增刊): 14~20]
- [11] Duan Xu. Zhang Xianxin. Xu Meiling. Temporal and spatial features of medium-scale convection systems in the regions around Yunnan[J]. *Acta Meteorologica Sinica* 2004 62(2): 243~249 [段旭, 张秀年, 许美玲. 云南及其周边地区中尺度对流系统时空分布特征[J]. *气象学报*, 2004 62(2): 243~249]
- [12] Duan Xu. Li Ying. Xu Meiling et al. Medium-scale Weather Analysis and Forecast in the Lower Latitude and Plateau Regions[M]. Beijing Meteorological Press 2004 1~30 [段旭, 李英, 许美玲, 等. 低纬高原地区中尺度天气分析与预报[M]. 北京: 气象出版社, 2004 1~30]
- [13] You Weihong. He Daming. Duan Changchun. Climate change of the Longitudinal Range Gorge in Yunnan and its influence on the river flow[J]. *Acta Geographica Sinica* 2005 60(1): 95~105 [尤卫红, 何大明, 段长春. 云南纵向岭谷地区气候变化对河流径流量的影响[J]. *地理学报*, 2005 60(1): 95~105]
- [14] You Weihong. Duan Changchun. He Daming. Climatic difference in dry and wet season under effect of the Longitudinal Range Gorge and its influence on transboundary river runoff[J]. *Chin Sci Bull* 2006 51(Sup): 56~65 [尤卫红, 段长春, 何大明. 纵向岭谷作用下的干湿季气候差异及其对跨境河川径流量的影响[J]. *科学通报*, 2006 51(增刊): 56~65]
- [15] You Weihong. Zhang Ling. Zhao Fuzhu. Characteristic timescales and temporal-spatial changes of precipitation resource interannual variability over the low latitude plateau area[J]. *J Mount Sci* 2006 24(4): 395~402 [尤卫红, 张玲, 赵付竹. 低纬高原地区降水量资源年际变化的特征时间尺度及其时空演变[J]. *山地学报*, 2006 24(4): 395~402]
- [16] Huang Jiayou. Statistical Analyse of Meteorology and Forecast Method[M]. Beijing Meteorological Press 2000 1~28 [黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000 1~28]
- [17] Li Dongliang. Zhang Jiali. Jing Jianrui et al. Studies on the change Features and factors of the runoff in the up Yellow River[J]. *Advances in Water Science* 1998(3): 22~28 [李栋梁, 张佳丽, 全建瑞, 等. 黄河上游径流量演变特征及成因研究[J]. *水科学进展*, 1998(3): 22~28]
- [18] Li Ling. Zhang Gueshen. Wang Qinchun et al. Influence of dry climate on the surface water resource in Qinghai[J]. *Climate and Environment Research* 2000 5(2): 221~227 [李林, 张国胜, 汪青春, 等. 干旱气候对青海地表水资源影响的研究[J]. *气候与环境研究*, 2000 5(2): 221~227]
- [19] Tan Qichen. Qu Yanguan. Zhou Lihao et al. Use of Hydrology and Water Resource in the Dry Regions of China[M]. Beijing Science Press 1992 44~80 [汤奇成, 曲耀光, 周聿超, 等. 中国干旱区水文及水资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992 44~80]
- [20] Huan Ronghui. Xu Yuhong. Zhou Liantong. Decadal changes of summer precipitation and the trendence of Hubei drought in China[J]. *Plateau Meteor* 1999 18(4): 465~476 [黄荣辉, 许予红, 周连通. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. *高原气象*, 1999 18(4): 465~476]
- [21] Liu Yuan. Wang Qianqian. Chen Zhenqian. Regional features of the summer precipitation anomaly in the south-west of China[J]. *J Nanjing Institute of Mete* 2002 25(1): 105~110 [刘燕, 王谦谦, 程正泉. 我国西南地区夏季降水异常的区域特征[J]. *南京气象学院学报*, 2002 25(1): 105~110]
- [22] Zhen Chunyi. Huan Feng. Pu Guiming. Annual and decadal change features of precipitation in rainy season and its relationship with the thermal of the tropical ocean[J]. *J Tropical Mete* 2003 19(3): 299~307 [郑春怡, 黄菲, 普贵明. 云南省雨季降水的年际年代际变化特征及其与热带上层海洋热含量分布的关系]

- [J]. 热带气象学报, 2003 19(3): 299 ~ 307]
- [23] Jiang Daban, Wang Huijing. Natural interdecadal weakening of East Asia summer monsoon in the late 20th century[J]. Chin Sci Bull 2005 50(20): 2256 ~ 2262 [姜大膀, 王会军. 20 世纪后期东亚夏季风年代际减弱的自然属性[J]. 科学通报, 2005 50(20): 2256 ~ 2262]
- [24] Yang Jianping, Ding Yongjian, Chen Rensheng. Oscillations and factors of the dry and wet climate in China in recently 50 years[J]. Acta Meteorologica Sinica 2003 61(3): 364 ~ 374 [杨建平, 丁永建, 陈仁升. 近 50 年中国干湿气候界线波动及其成因初探[J]. 气象学报, 2003 61(3): 364 ~ 374]

Transboundary Flow Change Features of the Nujiang River in the Longitudinal Range-Gorge Region

YOU Weihong¹, WU Xiangyun², GUO Zhirong^{1, 3}

(1. School of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China)

2. Lijiang University of Education, Lijiang 674100, China

3. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing Information Engineering University, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the observed data of the transboundary flow from the Nujiang River and using the statistics method, the transboundary flow change features of the Nujiang River in the Longitudinal Range-Gorge Region are investigated. The results show that the transboundary flow from the Nujiang River is mainly in the rainy season (5—10), it is about 82% of the yearly flow. The Nujiang River is the river supplied by rain water within a year. The proportion of the rainy season flow to the yearly flow has been decreasing since the middle period of the 60th in century 20. As for the interannual variability, the Nujiang River is the river supplied by ice-snow meltwater of alps and rainy water. The transboundary flow changes of the Nujiang River appear obviously a tendency to increase since the 70th in century 20. The longest duration of the Nujiang River is 6 months in Sept. In general, the transboundary flow of the Nujiang River is the lesser before the middle of 1980s, but it is increasing after the middle of 1980s. The main reasons for the transboundary flow changes of the Nujiang River are the changes of the activity of the south-west monsoon circulation system, specially is in the summer monsoon period.

Key words: longitudinal range-gorge region; Nujiang River; transboundary flow; change feature