

青藏高原水汽输送路径的探讨

林振耀 吴祥定

(中国科学院 地理研究所)

提 要: 青藏高原的水汽主要来源于印度洋, 其水汽输送路径可分为东西两条. 东线为印度洋暖湿气流自孟加拉湾沿布拉马普特拉河、雅鲁藏布江(或横断山三江河谷)伸入高原北部边缘地带, 为念青唐古拉山冰川发育提供物质基础, 另一支西线来自印度洋阿拉伯海, 其输送路线因季节不同而有差异, 云团或自印度半岛腾空跨入高原, 或自印巴次大陆经帕米尔高原沿南疆盆地南缘进入西藏阿里, 为西喜马拉雅山、喀喇昆仑山和昆仑山丰厚的冰川积累起着重要作用。

水汽输送路径探讨, 对合理开发利用青藏高原水资源具有理论和生产意义。

主题词: 水汽输送 青藏高原

多年青藏高原综合科学考察的研究表明, 高原夏季水汽主要来源于印度洋的孟加拉湾和阿拉伯海。本文试图探讨孟加拉湾和阿拉伯海的水汽, 在青藏高原上的主要输送路径及其波及范围。

一、孟加拉湾水汽输送的主要路径

从卫星云图可以较清晰地看到, 大量的热带云团从孟加拉湾沿河谷北上, 暖湿气流不断地向高原涌入。每当深秋和初冬来临时, 孟加拉台风还常袭击高原, 引起暴雨或大雪。根据降水资料所得到的高原东南部年降水量分布表明^[1, 2], 孟加拉湾沿岸的年降水量为3000—4000mm, 以北的卡西山地南麓年降水量可达10870mm, 是世界上最大降水中心, 管中窥豹, 可见孟加拉湾水汽之丰沛, 水汽溯布拉马普特拉河而上, 进入雅鲁藏布江大拐弯后, 以明显的“湿舌”状伸入高原腹地易贡、嘉黎一带, 充沛的水汽为念青唐古拉山海洋性冰川提供了大量物质基础。根据高原及其周围台站的观测资料, 计算了向高原输送水汽量为500—1000g/cm·s, 其中沿雅鲁藏布江大拐弯向高原输送水汽量比高原四周, 或横断山三江流域都要大得多。另外, 510hpa高度上, 水汽平均输送量和输送方向图表明^[3], 春季孟加拉湾水汽从西南进入高原后, 沿雅鲁藏布江北上, 然后转向西北伸入高原北缘。由此可知, 实测降水与水汽输送方向路径相一致。至于孟加拉湾水汽可输送至何地, 可从以下几个方面进行探讨。

1. 若羌大暴雨 地处我国两大干旱盆地的若羌, 年平均降水量(1954—1980年)为17.4mm, 但1981年7月4日夜至5日上午, 短短十几小时内降了一场大暴雨, 雨量达73.5

mm,暴雨成灾,房屋倒塌,公路冲毁,通往外地青海、库尔勒和且末的3条公路全部中断,给若羌国民经济带来巨大损失,是历史上少有的。这场暴雨改变了若羌降水的一系列气候统计特征量,它使多年7月份平均降水量增加43%,年降水量增加11%。一场降水居然能引起气候统计量如此大的变动,实属少见。有关这场大暴雨,新疆气象工作者进行了大量有关天气气候的分析研究^[4,5],在此不一一介绍,归纳起来说,这次暴雨的水汽主要来自孟加拉湾,加之相适应的环流形势配合而产生的。卫星云图显示出,7月2至3日孟加拉湾急流云带由西南向东北伸,从高原东南的雅鲁藏布江,横断山三江河谷进入高原,云团北端沿高原涡北侧(或柴达木高压南侧)偏东气流西伸进入南疆盆地东部,7月4日茫崖站观测到地面风向为东南风,并以10m/s风速吹入若羌。据统计,南疆东部地区的降水,其水汽几乎全靠盆地东口输入进来,与东风关系密切。夏季有东风有降水的百分比相当高,为96%,有东风无降水的现象只占4%,低空东风成为南疆东部降水的一个重要因素。由高原进入若羌的水汽输送,还有一特点,即无论是纬向还是经向输送,都是低层的比高层的输送量多,水汽通量和水汽辐合最大的层次约在700hpa,此层以下的水汽量占总的90%以上。上述因素有利于这场大暴雨的生成。

2. 伍道梁夏季东风 风是暴雨过程中最活跃的因素,高原西北部的暴雨常有一低空偏东风带的存在,它对中低层水汽向西输送起着关键的作用,如果没有东风输送,涌入高原的孟加拉湾水汽是不大可能自东向西,从南疆盆地东口进入南疆的。当高空出现中亚低槽时,其前部西南风可伸到高原,从500hpa平均流场看出,柴达木盆地上空有一稳定的高压,南侧低空有一支暖湿东风,这与高原涡北侧偏东气流相一致,利于水汽向西输送,有时西伸的副热带高压西侧偏南气流也能引导水汽北上,而后受偏东气流影响向西伸。位于柴达木盆地以南的伍道梁、托托河地面盛行风频率说明了夏季偏东风的存在,全年有8—9个月以西为主,夏季(6、7、8月)则以偏东风为主(表1)。

其次,南疆盆地的地势,北部为天山,南为昆仑山,西为帕米尔高原,只有东部地势开阔低平,有利于东风气流流入,更为明显的是若羌全年几乎都盛行东北风(表1),特别是

表 1 伍道梁,托托河,若羌各月盛行风向及其频率
The prevailing wind direction and its frequency
in Wudaolang, Tuotuohe and Ruoqing

地点	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
伍道梁	风向	W	W	W	W	C, W	C, NE	C, E	C, E	C, NE	W	W	W
	频率	40	36	28	17	15, 9	17, 12	18, 12	20, 12	19, 10	18	29	39
托托河	风向	W	W	W	W	W	C, NE	C, NE	C, NE	C, W	W	W	W
	频率	35	39	34	27	16	16, 12	17, 10	17, 12	19, 11	22	29	32
若 羌	风向	C, SW	C, NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	C, NE	C, NE	C, SW
	频率	32, 14	25, 14	24	25	25	25	24	27	27	27, 22	35, 15	35, 12

低层, 使东风气流在若羌附近得以加强。除有利的大气环流型和地形条件外, 关键要有水汽的输送。根据 7 月份沿 90°E 纬向水汽平均输送量垂直分布, 若羌、格尔木一带为东风纬向输送, 水汽输送量可达 $1-0.25\text{g}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa}$ (图 1 a), 其经向输送, 从 7 月至 10 月, 高原上南风输送量和地域范围都有所扩大, 连格尔木地区也有较强的偏南水汽输送 (图 1 b)。将上述经纬两个分量合成, 高原北部夏季以东南向的水汽输送量为主。

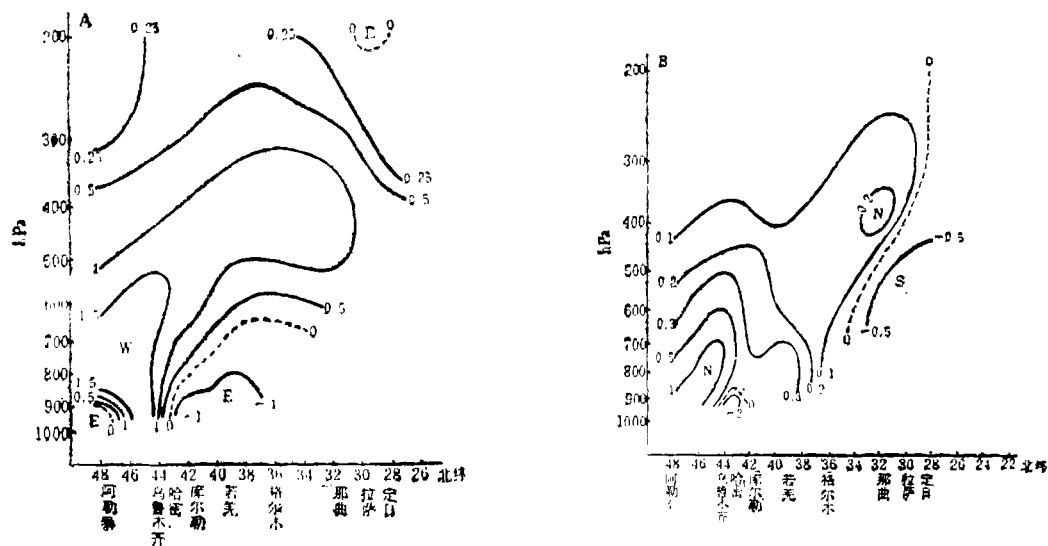


图 1 7 月 90°E 经纬向水汽平均输送量垂直剖面图 ($\text{g}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa}$) *

The vertical profile of the latitudinal and
meridional transportation at 90°E in July

总之, 夏季印度季风的暖湿气流沿雅鲁藏布江大拐弯 (或横断山三江河谷) 北上, 伸入高原东部, 按反时针沿高原北缘自东向西缓慢地伸展将水汽输送至南疆盆地东部的若羌地区, 由于长途跋涉, 水汽消耗殆尽, 所以发生若羌大暴雨的机率是极低的。

3. 1988 年 7 月, 若羌降水量的正距平为全国之冠 1988 年 7 月青藏高原西部干旱区降水普遍增加, 整个西部地区出现了降水的正距平, 其中以若羌降水正距平最高达 807%, 为全国之冠。若羌于 7 月 23 日 20 时起至 25 日 3 时, 连续 29 个小时共降水 48.2mm, 公路被洪水冲毁, 全县小麦因发芽、霉烂约 $100 \times 10^4\text{kg}$, 损失严重。此间, 中国科学院喀喇昆仑、昆仑山综合考察队在去若羌途中, 因洪水困扰, 只得风餐露宿于公路旁等待洪水退却。这场大雨仅次于 1981 年 7 月的暴雨, 天气图表明, 整个高原处于伊朗副高压分裂后的副热带低槽之中, 印度洋水汽自南向广阔高原上输送, 使日喀则以西至噶尔同样发生明显高于正常年份降水的现象。高原西部干旱区括包若羌在内为降水正距平区, 可是其西边的南疆盆地和高原东部地区都处于降水的负距平区 (图 2)。不难看出, 如果没丰沛的水汽来源, 在如此广大的高原面上, 多处发生大雨是不大可能的, 还说明, 若羌大雨的水汽来源与高原同属一个体系。

* 取自《中国水分气候图集》

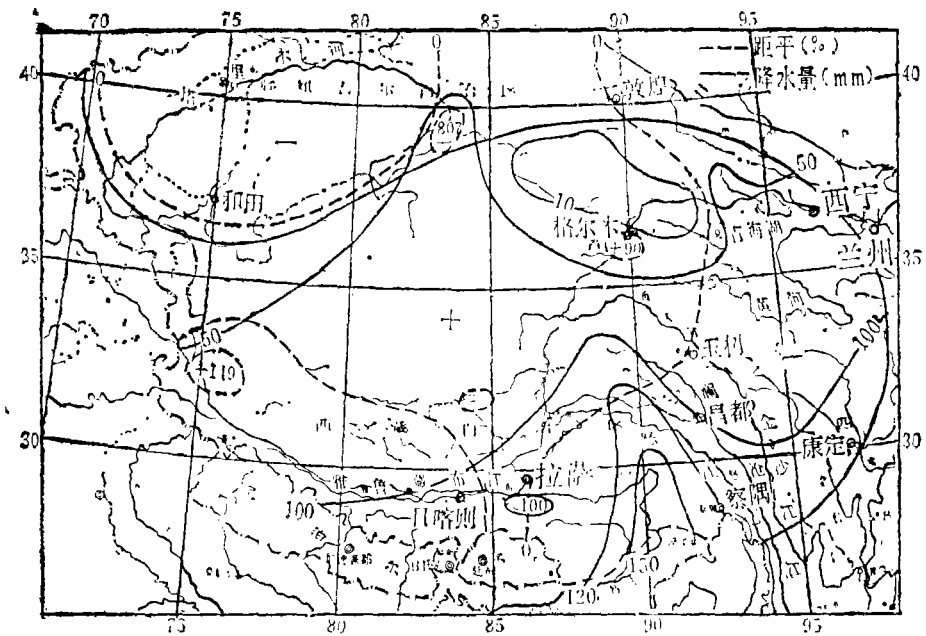


图 2 1988年7月降水量及距平百分率图

—降水量 距平(%)

The precipitation and its anomalous percentage
in July 1988

二、阿拉伯海水汽输送

青藏高原的水汽除来自孟加拉湾,还有一部分来自阿拉伯海,这部分水汽在输送路径上因季节不同而有差异。由于高原西部的气象观测站点稀少,有关水汽输送路径不得不利用卫星云图,从大范围云系的分布、移动和演变来探讨水汽输送的路径。夏季,印度半岛和阿拉伯海热低压活动频繁,随着南支槽槽前较强的西南和偏南气流,大量对流云和大面积积云云团直驱北上,跨入青藏高原的玛法木错湖以西,然后向北至南疆。冬季,阿拉伯海上空宽阔的急流云系向高原西端的帕米尔高原伸来时,常形成涡旋云系,缓慢地东移,造成南疆盆地边缘降水,甚至波及到西藏阿里地区。如同孟加拉台风一样,阿拉伯海也有风暴生成对高原产生影响带来降水,像1975年10月21日,在 60°E , 15°N 的阿拉伯海域有一气旋生成,此时阿富汗、帕米尔高原、北疆一带高空为西南,东北向的低槽存在;22日风暴前缘云系抵达印度、巴基斯坦地区;23日风暴登上印巴次大陆,云系伸长,前缘云系到达青藏高原;24日风暴中心停留印巴一带并减弱,云系发展影响高原;25日印巴的风暴消失,高原云系开始减少并有积雪。这次阿拉伯海风暴对高原的影响是明显的。卫星云图中,云团的移动表明,暖湿的阿

拉伯海水汽为西喜马拉雅山、喀喇昆仑山和昆仑山地的降雪和冰川发育提供丰沛的水资源。另外，实地野外考察也证实有大量水汽自南向北进入高原^[6]，1985—1987 年 新疆叶尔羌河考察时，发现喀喇昆仑山地的阵性降水，就与来自南(或西南)方向的气流密切相关，并且在神仙湾观测到有云系由喀喇昆仑山口进入，而后蔓延整个天空，地面吹 南 风，500hpa 天气图上有“湿舌”伸向高原并产生降水。通过上述分析，可得到青藏高原水汽 输 送 路 径 示 意 图。

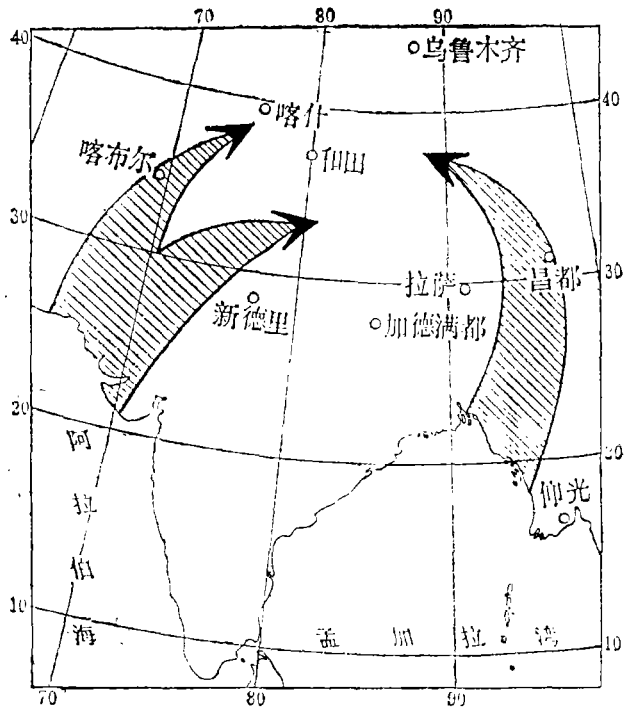


图 3 青藏高原水汽输送路径示意图

The tracks of the moisture transportation on the
Qinghai-Xizang plateau

图3表明,在青藏高原南部有东西两条水汽输送路径伸入高原腹地,东线的路径较长,波及范围直到藏北高原,这是因为藏东南离孟加拉湾距离近,地势低平,少高大的山体迎面阻挡,强劲的印度洋暖湿气流沿河谷长驱直入,形成“湿舌”伸入高原北部边缘地带,并为念青唐古拉山冰川发育,提供水汽来源;西线较短,对高原影响范围较小,这是由于远离阿拉伯海,重重高山叠障造成的,虽也有一“湿舌”自阿富汗、巴基斯坦伸向高原西南部,但绝大部分水汽被西喜马拉雅山、喀喇昆仑山、昆仑山截留,形成中纬度地区最为壮观的冰川群,进入高原腹地的水汽所剩无几。

三、降水稀少的山间低地

孟加拉湾、阿拉伯海热带暖湿云团进入印度半岛后, 云层增厚, 截盖着喜马拉雅山、喀喇昆仑山, 而喜马拉雅山与冈底斯山之间, 喀喇昆仑与昆仑山之间的低地, 往往晴空无云。当气流再度翻越冈底斯山时, 它的北侧地区, 昆仑山东侧地区, 要比山间低地更为干旱, 降水更为稀少。弗龙^[7]指出, 喜马拉雅山(大约 78°E — 89°E)常常布满对流云, 但山体北侧则很少有云。西部山区(78° — 83°E)沿山脊散布对流云, 山谷清晰可辨, 这与实地考察结果相一致。表明地形对降水产生重要的影响。实际上, 地形对降水影响的因素是多方面的, 除海拔高度, 还有坡向、坡度、开阔度以及山脉走向和大尺度天气气候等, 为了能从理论上概述山体对降水影响, 林贤超等人曾将Alpert公式进行修正*, 利用地形高度和气象资料, 得到喜马拉雅山降水分布的气候学估算, 与 87°E 经向降水分布的实测值比较吻合(见图4)。

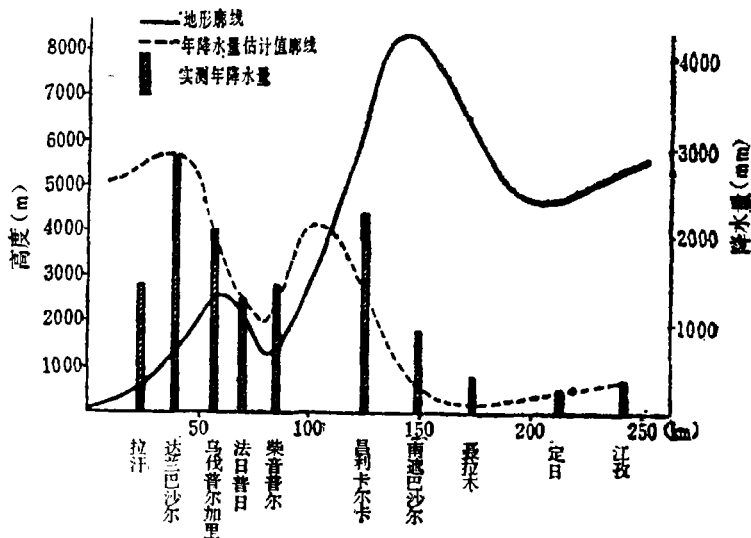


图4 沿 87°E 经向降水分布

The rainfall meridional distribution along 87°E

喜马拉雅山区的降水并不随高度呈线性增加, 因地形差异可出现2个或3个最大降水高度, 其高度也不尽同。在迎风坡, 对于每次山脉台地的抬升, 可出现一个极大的降水带, 其高度总是移向比最陡坡处要低的高度。一般来说, 由于有效水汽含量随高度递减的缘故, 低海拔处抬升所产生极大降水量比高海拔处抬升的要大。对单一山峰只有一个最大降水高度的存在, 如果要有次大降水高度的出现, 那么起码要有两次山峰或台地的抬升过程。此时山前降水较多, 两山之间的低地降水少, 理论计算与实地考察相符合。

山区的降水是复杂的, 与水汽输送路径有关, 还受天气形势和地形的影响。即使在水平

* 见“喜马拉雅山脉降水分布的气候估算”一文, 待发表。

距离很近时，由于下垫面状况的不连续，从干旱沙漠转变为半干旱草原，或半湿润草甸时，热力差异和动力的作用，往往使局地形成对流性的不稳定，产生降水的差异。如沙漠边缘民丰县与相距60km山地上的阿勒吞不拉克草原站（相对高差2000m）降水量进行比较，发现同是6月，草原站的降水量为114.0mm，而民丰只有14.5mm（表2）。前者约是后者的8倍，这不能不引起人们在关注水汽输送路径时，还要考虑山区降水的特殊性。

表 2 1988年6月民丰与阿勒吞不拉克各候降水量比较
The comparison of the precipitation on the Minfeng
and Aleitunbulake

候平均 (mm) \ 日期 地点	1—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	月值 (mm)
民丰	1.7	12.8		0	—	0	14.5
阿勒吞不拉克	66.2	32.8	4.5	10.0	—	0.5	114.0

参 考 文 献

- 〔1〕 林振耀、吴祥定：南迦巴瓦峰地区气候基本特征，山地研究，第四期，1985年。
- 〔2〕 杨逸畴等：雅鲁藏布江下游河谷水汽通道初探，中国科学（B），8月，1987年。
- 〔3〕 陆淦蓉，高国栋：中国水分气候图集，气象出版社，1984年。
- 〔4〕 张家宝，邓子风：新疆降水概论，气象出版社，1987年。
- 〔5〕 新疆短期天气预报指导手册，新疆人民出版社，1986年。
- 〔6〕 李江风：塔克拉玛干沙漠气候和利用，干旱区研究，第1期，1989年。
- 〔7〕 弗龙：对西藏高原气象学的某些贡献，国外气象参考资料（第一辑），科技文献出版社，1976年。

A PRELIMINARY ANALYSIS ABOUT THE TRACKS OF MOISTURE TRANSPORTATION ON THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Lin Zhenyao Wu Xiangding

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and
State Planning Commission of The People's Republic of China)

Subject terms: Moisture transportation Qinghai-Xizang Plateau

Abstract

In this paper, the tracks of moisture transportation on the Qinghai-Xizang Plateau are discussed. It is found that the warm wet current in Tibet from Indian Ocean. There are two tracks of moisture transportation, the one is east way, from Bay of Bengal, along the Brahmaputra, Yarlungzangbo River northward into the northern region of the plateau and its tributaries are represent the form of "wet tongue"; the other is the west way, but it varies with the seasons, or from India direct leap over the Himalaya mountains into the plateau, or from Pakistan, Afghanistan through the Pamir plateau and gets into Ngari Region in Tibet.

The relationship between the moisture transportation tracks and the distribution of modern mountain glaciers in Tibet are discussed too.