

青藏高原加热与南海季风爆发

江宁波 罗会邦

(中山大学大气科学系, 广州 510275)

摘要 各季节青藏高原地面的感热加热相对周围地区强烈的辐射冷却而言始终是个热源. 地面向上的感热输送是高原大气热源的主要贡献者(干对流输送), 但在雨季潜热的贡献同样重要. 东亚季风爆发时高原东南部地区对流层大气爆发性增暖的主要原因是高原东南部的非绝热加热作用; 而这种增暖使得高原东部以南的温度梯度改变, 从而导致风压场的调整——东亚季风爆发.

关键词 热源, 季风爆发, 青藏高原, 南海

青藏高原作为一个抬升的热源对亚洲季风的建立和维持有重要影响, 但高原的热力和动力效应在季风活动中的作用究竟有多大, 目前尚无定论. 中国于90年代中期举行的第二次青藏高原观测试验(攀登项目)和中美双方合作计划90年代后期在中国南海及邻近地区举行的南海季风试验(SCS-MONEX)中, “青藏高原加热对季风环流的影响”是所要探讨的重点课题之一. 针对试验所要探讨的科学问题, 本文对近年来关于青藏高原加热和南海季风爆发关系方面的已有成果作一简要综述.

1 高原大气的加热状况

1.1 垂直积分值

关于垂直积分的高原热源的强度和分布情况, 使用不同计算方法(如正算法和倒算法)及不同资料的计算结果仍存在分歧.

早期, 叶笃正等^[1]在总结 FGGE以前中国关于青藏高原气象学研究工作时就曾指出, 青藏高原是一个强大的热源区. 他们分析了高原东西部(85°E)为界)区域平均的大气热源逐月变化(月平均值), 结果表明, 冬半年高原上对流层大气为一冷源, 最大冷却出现在12月; 夏半年高原大气则为一深厚的热源, 最强加热出现在6月. 全年各月份高原西部有净的加热, 这主要由于高原西部的感热通量较大(6月份达到最大); 而高原东部的凝结潜热的贡献比西部大, 且7月份达最大.

陈隆勋等^[2]以1974~1979年资料用正算法得到的亚洲季风区逐月大气热源的水

平分布图表明: 在青藏高原上空的大气, 从10月到次年3月, 大气均为冷源, 而3~9月大气为热源. 在冷源最强的12月, 整个高原(海拔3000m以上地区)整层大气平均冷却率为 $-0.8^{\circ}\text{C}/\text{d}$. 到2月份, 高原的大气冷源已变为十分微弱. 3月份则变为微弱的热源, 但中心在高原西部, 此中心只维持了一个月. 在整个夏季高原的热源并不强, 以最强的7月为例, 平均为 $1.04^{\circ}\text{C}/\text{d}$. 自春到夏的热源季节变化中, 亚洲主要热源中心分别位于孟加拉湾和南海东部, 相对这两个中心而言, 夏季青藏高原大气热源并不很强, 无热源中心存在, 且平均加热率也只相当季风区的 $1/4\sim 1/5$.

以后, 罗会邦和 Yanai^[3]用 FGGE-II b级资料, 罗会邦^[4]用1980~1986年 ECMWF 资料, Yanai等^[5]用 FGGE-II b结合 QXPME X (1979) 的详细资料及最近 Luo and Jang^[6]用1980~1986年 ECMWF 资料的分析结果表明(倒算法), 最强的加热中心位于高原南侧或以南地区, 数值与陈隆勋等的结果较接近.

由此看来, 虽然各种计算结果仍存在分歧, 但大多研究表明, 夏季亚洲最大加热中心不是青藏高原正上空, 而是偏于高原南侧的缅甸地区.

1.2 垂直分布

罗会邦和 Yanai^[3]使用 FGGE-II b级资料(1979年5月底到7月初)按倒算法第一次求得了高原上空热源分布的垂直剖面及垂直廓线(46天平均). 结果显示, 高原地区除靠近地面以外, 整个对流层为一深厚的热源所占据. 高原上空的加热有两种类型: 高原东部热源峰值出现在300~400hPa气层, 相伴水汽汇的贡献较大, 峰值在400~500hPa气层; 而高原西部热源峰值出现在200~500hPa层上, 并在低层有非常弱的水汽源相伴随.

在此基础上, Yanai等^[5,7]用 FGGE-II b结合 QXPME X (1979) 资料更详细地讨论了高原上空大气热源 Q 和水汽汇 Q_2 的分布(1978年12月~1979年8月), 东西部区域平均的 Q_1 , Q_2 的垂直廓线表明: 冬季, 高原东西部 Q_1 皆为负值(冷源), Q_2 值很小(西部为正, 东部偏负值); 春季, 东西部热源 Q_1 变为正值, 但 Q_2 为西正东负, 只是数值较小; 到夏季, 两地区的最大加热层在300~500hPa, Q_1 皆为正值, 其中高原东部潜热的贡献也很重要(约占高原加热的40%), 这与 Nitta^[8]及 [3] 的结果一致.

1.3 加热性质

多数研究结果表明, 印度季风爆发前(干季), 热源的主要分量是来自地面感热. 由高原地面对流的干对流是大气加热的主要机制——通过干对流, 热泡可以把感热输送到对流层上层(可达300~400hPa高度), 但干对流的产生并非同时发生在整个高原上; 季风雨季开始后, 积云对流活动对高原东部的热量输送同样重要, 这时凝结潜热的贡献不容忽视.

2 高原加热与南海季风爆发的关系

南海季风的爆发一般发生在5月中旬, 表现为南北半球低纬大尺度环流的一次突变: 在高空, 位于孟加拉湾的高空反气旋由 $10\sim 15^{\circ}\text{N}$ 北跳到 $15\sim 20^{\circ}\text{N}$, 南半球热带反气旋增强, 南海北部高空由西风转为东风; 与此同时, 低空孟加拉湾的气旋性环流北移, 并以倒槽形式伸展到中南半岛北部及中国西南地区, 南海北部地区由偏东风转为西南风, 并且印度尼西亚一带的赤道缓冲带增强(参见文献^[6]). 南海季风爆发的详细物理过程(尤

其是爆发机制)目前还不十分清楚. 一些研究表明, 青藏高原作为一个抬升的热源对南海季风爆发有着重要作用, 下面回顾这方面的研究结果.

2.1 早期研究

早期 (FGGE以前)的研究主要讨论了高原地面加热场特征及高原上热力反气旋环流的存在, 初步提出高原加热与大气环流尤其是亚洲季风环流可能存在一定关系. 如 Flohn^[9-11]提出高原西部半干旱地区的感热通量和喜马拉雅山、阿萨姆、孟加拉及附近山区的潜热释放对高原上空反气旋之暖中心的建立和维持较为重要; 并推测青藏高原的季节加热作用和由此引起的 35°N 以南经向温度、气压梯度的反转可能是激发东亚大尺度环流转变和印度季风爆发的机制. Koteswaram^[12], Murakami^[13]等也提出了类似的看法.

另一方面, 陈隆勋等^[2]则认为, 青藏高原作为热源的作用不能忽略, 但不能过高估计其热力作用. 南亚季风的形成机制在于孟加拉湾热源中心, 而次强的南海热源中心和澳大利亚的冷源中心构成的藕合系统则是东亚季风系统经圈环流上升和下沉支的主要维持机制之一.

与此同时, 为了证实青藏高原热力和动力作用对季风环流的重要影响, 人们进行了许多数值模拟 (Godbol^[14]; Manabe and Terpstra^[15]; Hahn and Manabe^[16]; Kuo and Qian^[17,18]; Chen and Li, Yeh^[19-23]). 结果表明, 高原加热导致高层出现闭合反气旋和底层出现气旋性环流; 高原的存在有利于加强潜热释放, 导致对流层中高层温度升高, 因而有利于季风槽的建立.

2.2 近年来的研究

早期高原加热与季风关系的研究不够深入, 一个重要原因是缺乏观测资料. 在 1978~1979年间 WMO-ICSU 组织举行了 GARP 的第一次全球试验 (FGGE), 较系统地收集了一批资料. 相应于 FGGE, 中国也在 1979年 4~8月开展了青藏高原实验 (QXPMEX79), 在资料缺乏的高原中部和西部临时增设了高层大气和辐射观测站点. 由此获得的这套资料是 FGGE观测资料的较好补充. 在这以后, 有关方面又多次组织观测试验, 使得观测资料不断丰富. 在此基础上, 人们得以利用地面及高空资料开展较深入的研究, 对高原加热与南海季风爆发的关系有了新的认识. 这里主要参考 He等^[24]使用 FGGEII-b 资料, Yanai等^[5]使用 FGGEII-b 和 QXPMEX 资料以及 Luo and Jiang^[6]使用 ECMWF1980~1986年资料的分析结果概述如下:

(1) 各季节高原地面的感热加热相对周围地区强烈的辐射冷却而言始终是个热源. 在南海季风爆发期间高原东南部及以东的中国平原地区热源有明显增强现象 (另外, 相应南海地区大气热源也出现明显增强, 但比风场变化滞后 5~10天).

(2) 由于高原的加热作用, 高原上存在一个大尺度的热力直接垂直环流, 这个热力环流最初与和主要雨带相联系的垂直环流 (低层特征为西南风, 高层存在南亚高原) 同时存在且相互分离, 随着南海季风的爆发两者合二为一. 高原上强烈的上升运动的范围由冬到夏随季节的推移自高原西部向东部扩展, 强度不断加强——4~5月间出现一次明显增强过程. 高原热力垂直环流的存在在周围的沙漠地区反映为强烈的下沉运动.

(3) 南海季风爆发伴随高原东南部和中国东部平原地区 (85°E 以东) 的对流层大气的爆发性增暖. 这种增暖使得高原东部以南的温度梯度反向, 导致风压场的调整.

(4) 200~500h Pa厚度层增暖的分析表明,东亚季风爆发时高原东南部大气增暖的主要原因是高原非绝热加热作用。

基于以上结果, Yanai等人认为亚洲大气环流自春到夏的演变可以描述为高原热力直接垂直环流与北移的季风系统相互作用的过程, 相互作用的特征是高原大气的爆发性增暖和高原热力垂直环流与季风垂直环流的合并。这种相互作用可能是南海季风爆发的关键。南海季风爆发的过程为: 由于高原非绝热加热抵消了冷平流和绝热冷却, 导致5月份高原东部对流层大气增暖; 高原热力直接垂直环流的下沉支则引起高原东部及邻近地区的大气增温, 而长江流域的增暖主要是暖平流作用。增暖导致了 80°E 以东 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 地区对流层平均的经向温度梯度反向, 从而使低层出现西南风, 而阿萨姆孟加拉湾地区、中印半岛和中国南海进入初夏季风雨季——即南海季风爆发。

另外, 谢立安^[25]从能量变化角度分析了非均匀加热对南海季风建立与维持的重要性, 指出南海夏季风活动对非均匀加热的响应较敏感。实际的加热梯度可以分解为纬和经向两个分量, 初夏主要表现为纬向型加热梯度, 盛夏则表现为经向型加热梯度, 从这个角度考虑, 高原的非绝热加热状况无疑会影响季风区加热场的分布(特别是南海地区与其他地区的相对加热差异), 从而影响南海季风的活动。

3 结 语

综上所述, 有关高原热源与南海季风建立的关系已经做了不少工作, 说明标志亚洲大气环流第一次突变的南海季风爆发与高原加热作用有密切关系。但仍有许多问题有待深入研究。例如:

(1) 高原上与东亚季爆发密切相关的关键区域究竟在高原的哪个部位, 以及它们与环流突变(南海季风爆发)关系的机理尚有待通过南海季风实验作深入研究, 这对于南海季风爆发时间的预测是很重要的。

(2) 已有研究多数侧重从天气学或热力学过程角度分析南海季风爆发与高原热源的关系, 季风环流转换的动力学过程有待深入研究, 特别是爆发涡旋的形成机制和南亚高压涡度平衡机制有待深入探讨。

(3) 已有工作所用资料的时段仍较短, 高原上资料较缺乏, 故难于较彻底了解高原加热与东亚季风爆发的相互关系。

(4) 另外, 在南海季风爆发期间, 南海北部大气热源的变化比风场突变落后, 但南海西沙海温的变化却与季风爆发时间比较一致^[6], 海温变化、季风爆发、高原热源间的关系有待深入研究。

因此, 在未来的观测试验中加强高原及附近地区(尤其高原东南坡)、南海及附近地区的气象观测, 以获取较长时段可靠资料, 这对深入开展季风研究, 加强季风天气预报乃至全球的天气气候的预报有重要意义。

参 考 文 献

- 1 叶笃正, 高由禧等. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979
- 2 陈隆勋, 李维亮. 亚洲季风区各月的大气热源结构. 全国热带夏季风学术会议文集 (1982), 云南: 云南人民出版社, 1982. 248~ 258
- 3 Luo H, M Yanai. The large-scale circulation and heat sources over the Tibetan Plateau and surrounding areas during the early summer of 1979. Part II : Heat and moisture budgets. *Mon Wea Rev*, 1984, 112: 966~ 989
- 4 Luo H. The mean heat sources over Asian monsoon region during the period from April to October of 1980~ 1983. *EAST ASIA AND WESTERN PACIFIC METEOR OLOGY AND CLIMATE*. World Scientific, Singapore, 1990. 58~ 67
- 5 Yanai M, C Li, Z Song. Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1992. 70: 189~ 221
- 6 Luo H, Jiang N B. The first transition of the circulation in Asia around mid-May from 7-year mean ECMWF data. *The 5TH PRC-US MONSOON WORKSHOP*, 1993, HANGZHOU, CHINA
- 7 Yanai M Li C. Mechanism of heating and boundary layer over the Tibetan Plateau. *The 5TH PRC-US MONSOON WORKSHOP (PROGRAM)*, 1993, HANGZHOU, CHINA
- 8 Nitta T. Observational study of heat sources over the eastern Tibetan plateau during the summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1983, 61: 590~ 605
- 9 Flohn H. Large-scale aspects of the "summer monsoon" in South and East Asia. *J Meteor Soc Japan* (75th Ann. Vol.), 1957, 180~ 186
- 10 Flohn H. Recent investigations on the mechanism of the "summer monsoon" of southern and eastern Asia. *Monsoons of the World*. The Manger of publications, Civil Lines, Delhi, India, 1960, 75~ 88
- 11 Flohn H. Contributions to a meteorology of the Tibetan Highland. *Atmos. Sci. Paper No. 130*, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, 1968. 120
- 12 Koteswaram P. The easterly jet stream in the tropics. *Tellus*, 1958, 10: 43~ 57
- 13 Murakami T. The sudden change of upper westerlies near the Tibetan Plateau at the beginning of summer season. *J Meteor soc Japan*, 1958, 36: 239~ 247
- 14 Godbole R. V Numerical simulation of the Indian summer monsoon. *Indian J Meteor Geophys*, 1974, 24: 1~ 14
- 15 Manabe S, Terpstra T B. The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments. *Atmos Sci*, 1974, 31: 3~ 42
- 16 Hahn D G, Manabe S. The role of mountains in the South Asia monsoon circulation. *J Atmos Sci*, 1975, 32: 1515~ 1541
- 17 Kuo H L, Qian Y F. Influence of the Tibetan Plateau on cumulative and diurnal changes of weather and climate in summer. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 2337~ 2356
- 18 Kuo H L, Qian Y F. Numerical simulation of the development of mean monsoon circulation in July. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 1879~ 1897

- 19 Yeh T C, Chang C C. A preliminary experimental simulation on the heating effect of the Tibetan Plateau on the general circulation over eastern Asia in summer. *Sci Sin*, 1974, 17: 397 ~ 420
- 20 Chang K S, Chen C C, Chou M Y et al. The annulus simulation of the movement of Tsinghai-Tibetan high and its application to the forecast of summer flow pattern of high troposphere. *Sci Sin*, 1977, 20: 631~ 634
- 21 Yang G, Wang X, Wang G et al. An annulus experimental simulation of the influence of the Qinghai-Tibetan Plateau on the wind field over its adjacent regions in winter. *Acta Meteorologica Sinica*, 1980, 38: 16~ 26
- 22 Chen R, Li G. An experimental simulation on the mechanical effect of Tibetan Plateau on zonal circulation of stratified atmosphere. *Scientia Sinica*, 1982, B25: 1091~ 1102
- 23 Yeh T C. Some characteristics of the summer circulation over the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its neighborhood. *Bull Amer. Meteor Soc*, 1981, 62: 14~ 19
- 24 He H, McGinnis J W, Song Z et al. Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 1966~ 1995
- 25 谢立安. 南海夏季风活动的诊断分析. *南京气象学院学报*, 1986, 2: 129~ 124

Effects of the Heating of the Tibetan Plateau on the Onset of the East Asian Summer Monsoon

Jiang Ningbo Luo Huibang*

Abstract Based on the past studies on the relationship between the heating of the Tibetan Plateau and the onset of the East Asian monsoon, a review was given in this paper as part of the preparation task of the coming SCS-MONEX. The air above the Plateau is a relative heat source in all seasons compared with the air over the surrounding areas at the same level and the same latitude. The major source of the heating above the Plateau is provided by the sensible heat transports with the mechanism of the dry thermal convection rising from the heated plateau surface, which produces the tropospheric heating over the Plateau. But the contribution from the precipitation is also important in the rainy season when the cumulus convection plays a significant role in the heating over the southeastern Plateau. The diabatic heating over the eastern Plateau is the primary cause of mid-May atmospheric warming from the eastern Plateau to the central China Plain, which leads to the reversal of the meridional temperature gradient of the troposphere east of 80°E, which results in the commencement of the East Asian monsoon.

Keywords heat sources, onset of monsoon, Tibetan Plateau, Nanhai

* Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275