

1994年前汛期广东区域水汽输送分析^{*}

高绍凤 罗会邦

(中山大学大气科学系, 广州 510275)

摘要 分析了1994年前汛期广东区域大气水汽与水汽输送, 指出了这段时期水汽含量和水汽输送特征, 水汽通量散度时空分布及变化, 水汽突变 (主要由高空湿层增厚引起) 与夏季风建立和“94 6”暴雨的关系. 观测研究表明, 在暴雨期, 在时间尺度上水汽散合是短周期的, 在垂直方向上有多个水汽无辐散层.

关键词 水汽输送, 水汽含量, 前汛期

分类号 P 434. 5

近10多年来, 在东亚季风、热带天气的研究中, 许多研究者对水汽和水汽输送做了许多工作. 文献 [1~ 4] 重点讨论了我国南部、东部的大气水汽、水汽输送及与降水的关系. 本文根据1994年4月16日~ 6月30日广东区域气象资料, 逐日计算了逐层大气水汽及变化、水汽通量及水汽通量散度, 希望得到较具体的水汽、水汽输送和水汽通量散度的时空分布和变化图象, 并探讨了与夏季风建立、“94 6”暴雨的关系.

广东区域取22°~ 26°N, 108°~ 118°E. 区域平均水汽通量散度用下式求得:

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{g} qV \right] = \frac{1}{e} \oint_L \frac{1}{g} qV \, dl$$

1 华南水汽含量及其变化

计算了这段时间华南站广州、南宁、福州及成都各标准等压面上的平均比湿随高度的变化. 计算表明, 南部 (广州) 和西部 (南宁) 比湿较大, 地面平均为16~ 18 g/kg, 东部 (福州) 和长江流域的成都较小, 地面比湿平均为13~ 15 g/kg. 地面相差较大, 高空相差较小, 到300 hPa层, 各站比湿已经减为0.5~ 0.6 g/kg, 到100 hPa层, 比湿已很小, 广州为0.1 g/kg, 成都为0.12 g/kg. 比湿随高度的变化, 从地面到高空, 呈“线性”锐减. 平均气柱水汽含量, 南宁为57.5 mm, 广州为59.2 mm, 福州为49.7 mm, 成都为39.0 mm. 与地面比湿一样, 也是南部、西部大, 东部、北部小. 根据计算, 不管南部、北部, 300~ 100 hPa层间水汽含量已不足整层气柱水汽含量的1% (广州为0.6%, 成都为0.9%), 因此, 不考虑300 hPa层以上的水汽不会影响水汽含量和输送的性质.

图1为华南站及河内的气柱水汽含量 $[\bar{n}(\text{H}_2\text{O})]$. 福州、赣州的水汽含量明显比其他各

* 广东省自然科学基金 (940622) 资助项目

收稿日期: 1997-11-15 高绍凤, 男, 54岁, 副教授

站小, 位相差别也较大. 在夏季风建立前的 4 月, 所有各站的气柱水汽含量和位相都比较一致, 这可能是由于当时广大区域受一致的西南气流 (西南槽前) 影响, 强度和变化差异不大. 在“94 6”暴雨期间的 6 月, 只有广州、海口关系最密切, 位相变化较一致, 而与河内位相几乎相反. 从这一角度来看, 华南“94 6”暴雨洪水的水汽主要应来自南方的南海.

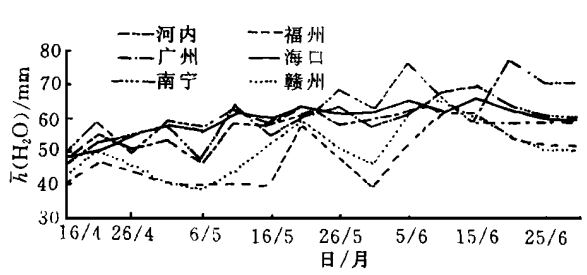


图 1 广州与邻近 5 站候平均气柱水汽含量

Fig. 1 Average pentad column water vapor for Guangzhou and five nearby stations

2 广州水汽变化和水汽输送分析

从图 2a 可以看到, 5 月 3 候 (夏季风建立) 后水汽含量明显增大, 候平均水汽含量稳定大于 55 mm, 6 月后稳定大于 60 mm, 尤其是“94 6”广东暴雨洪水期水汽含量更高达 65 mm 以上. 由图可以看出 2 个明显特征: 夏季风建立前夕的 5 月 3 候, 水汽含量出现一个显著低谷, 候平均水汽含量不足 50 mm; 广东“94 6”暴雨前夕的 6 月 3 候也出现一个低谷, 候平均水汽含量不足 60 mm. 这 2 个特征有助于研究和预测夏季风的建立和暴雨的发生.

夏季风建立前后, 低层水汽含量没有明显增加, 上层水汽含量在夏季风建立后明显增加, 图 2b 水汽含量百分比曲线明显下凹. 与 4 月中旬相比, 850 hPa 以上水汽含量约增加

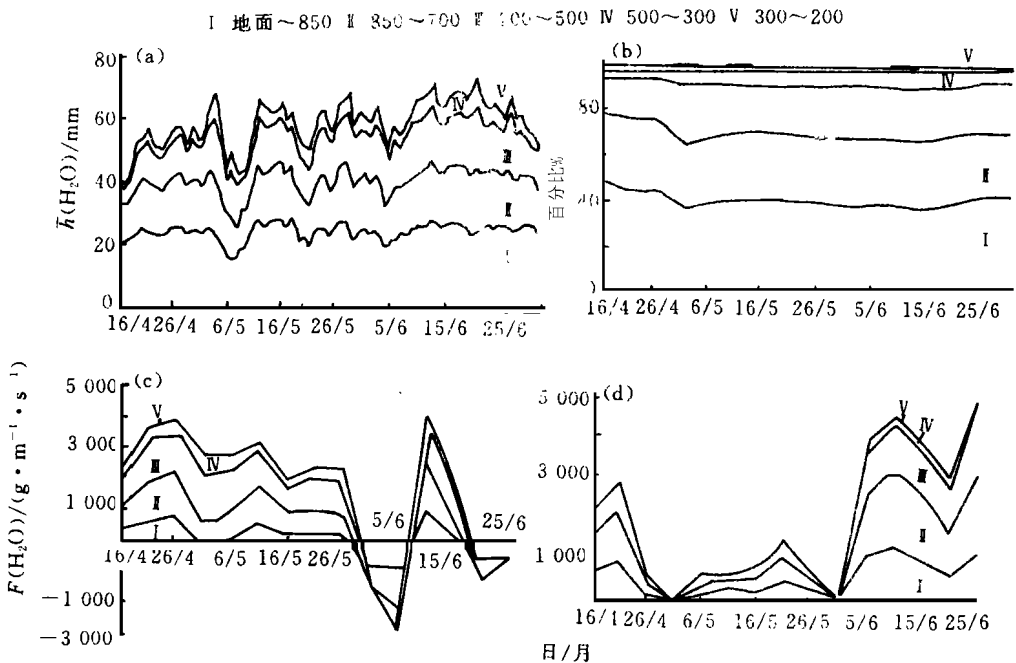


图 2 广州 1994 年 4 月 16-6 月 30 日水汽含量

Fig. 2 Daily water vapor over Guangzhou during April 16 - June 30 of 1994

10% . 因此, 我们认为湿层的增厚导致了夏季风的建立. 类似的, “94 6” 暴雨期间, 广州低层水汽含量变化不大, 而上层水汽含量增加了. 平均来看, 越向上水汽含量越少, 各层间水汽含量的比例: 地面~ 850 hPa 为 41. 7% , 850~ 700 hPa 为 28. 4% , 700~ 500 hPa 为 21. 8% , 500~ 300 hPa 为 7. 5% .

图 2c, d 为广州候平均各标准等压面层之间的纬向和经向水汽输送通量 $[F(H_2O)]$. 从图可以明显看到, 当夏季风建立后, 不论纬向还是经向水汽输送通量都是明显减少而不是增加, 尤其是经向水汽输送通量, 5 月份的平均水汽通量值约为 4 月份的一半. 在 6 月暴雨洪水前夕, 几乎没有经向水汽输送, 纬向输送转为东风输送, 其值与 5 月西风输送值相当. 6 月 2 候以后暴雨洪水期间, 水汽输送通量大增, 都达到前汛期最大值, 尤其是经向输送, 平均约为 4 月的 2 倍, 5 月的 3 倍. 从水汽通量增加随高度的变化来看, 经向通量各层都增大, 尤其 700~ 500 hPa 层; 纬向通量则主要在低层 (地面~ 700 hPa 层) 有明显增大. 经向水汽通量值大于纬向水汽通量值, 说明 6 月暴雨洪水期间水汽主要来之于其南方的南海.

3 广东区域水汽通量和水汽输送

从实际计算知, 本区水汽输送主要集中在 850~ 500 hPa 层进行. 这是由于本区地面水汽含量大, 但输送风速小, 高层输送风速大, 但水汽含量小, 所以水汽输送量都较小. 因此下面我们主要分析 850~ 700 和 700~ 500 hPa 2 层水汽输送情况.

图 3a 为东经 113° 附近的纬向水汽输送的时间剖面. 由图可见, 水汽输送中心主要位于广州、赣州之间, 就是海口, 水汽输送量也并不大. 汉口与海口、广州、赣州的水汽输送通量和位相有明显差异, 应不属于同一系统. 从图 3a 可以看到:

(1) 水汽输送通量与暴雨有较好的关系. “94 6” 华南暴雨期的 6 月 2~ 4 候, 从 850~ 500 hPa 都有强大的水汽输送通量, 先从海口开始, 逐渐发展到广州、赣州, 中心位于广州、赣州之间, 不论 850~ 700 hPa 层, 还是 700~ 500 hPa, 西风输送值都达到前汛期最大值, 其

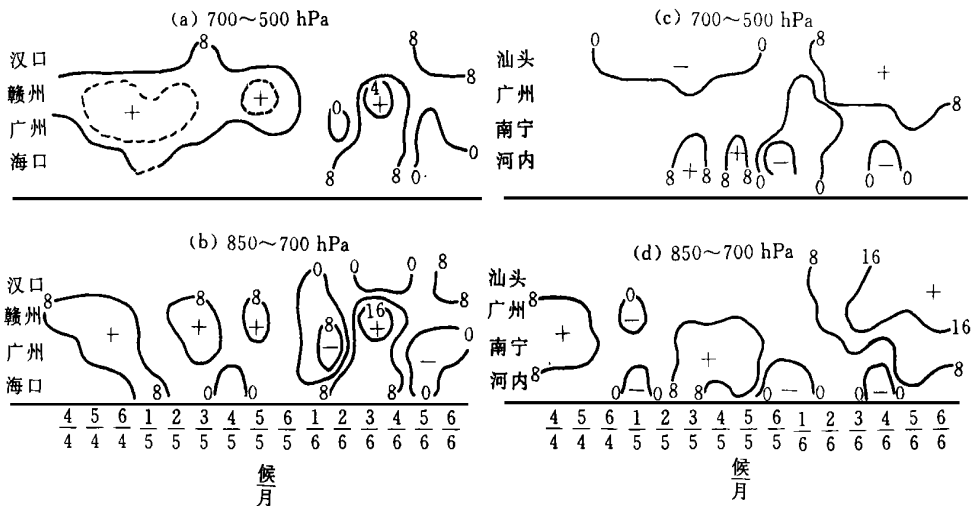


图 3 广东区域经纬向逐候水汽通量 ($\times 0.1$) 随时间演变

Fig. 3 Change of pentad water vapor with date over Guangzhou

中心分别为 $2\ 180\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $1\ 870\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.

(2) 暴雨出现前两气层都有明显的东风水汽输送, 其中心位置稍低, 都在广州附近, 中心数值较大, 分别达到 $-1\ 110\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-630\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. 暴雨开始, 强大的东风输送突转为强大的西风输送. 通过大量个例统计, 定出输送量指标, 可能可以从这里找出一个暴雨前期的预报因子, 它可以反映环流 (风) 和温度 (水汽) 状况.

图 3b 为北纬 23° 附近的经向水汽输送通量时间剖面. 河内和南宁属一个系统, 广州和汕头属另一个系统. 在 $700\sim 500\ \text{hPa}$ 层间, 5 月份广州、汕头为北风输送, 河内、南宁为南风输送, 而 6 月份广州、汕头转为南风输送, 河内却出现北风输送; 在 $850\sim 700\ \text{hPa}$ 层, 河内、南宁为大南风输送, 广州、汕头却为北风或小南风输送, 6 月份广州、汕头出现大南风输送, 而河内、南宁却出现北风或小南风输送, 反映了河内、南宁与广州、汕头的经向水汽输送位相几乎是相反的.

4 水汽通量散度与降水的关系

图 4 为广东区域逐层逐候水汽通量散度. 在整个前汛期, 尤其是夏季风建立后, 一直维持低层辐合、高层辐散的形势, 水汽无辐散层约位于 $700\ \text{hPa}$ 层, 比约位于 $500\ \text{hPa}$ 层的气流无辐散层明显偏低. 在“94 6”暴雨期间, $500\ \text{hPa}$ 以上的高层仍维持辐散, 量值亦无大的变化, 但 $700\ \text{hPa}$ 以下的低层水汽散合强烈, 大致以候为周期, 强烈辐合和强烈辐散相互交替, 散合量都达到前汛期的最大值.

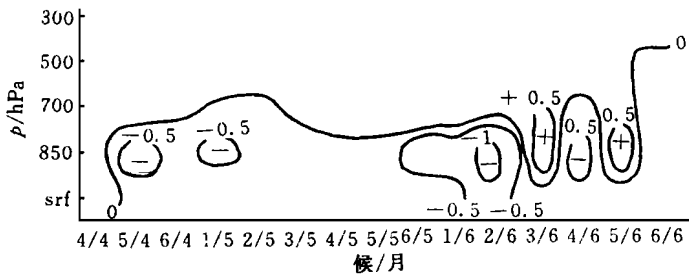


图 4 广东区域逐层逐候水汽通量散度 ($\times 10^{-8}$)

Fig. 4 Layer-pentad divergence of water vapor flux ($\times 10^{-8}$)

图 5 为广东区域西、南、东、北四条边界各标准等压面上单位气压 (hPa) 厚度水汽通量值, 图 5a 为前汛期平均, 图 5b 为“94 6”暴雨期 (6 月 8~17 日) 平均. 从图 5 可见, 水汽进出通量主要在南北两边界, 东西边界较小, 且东边界输出的水汽比西边界输入的水汽大. 从层次看, $850\ \text{hPa}$ 和 $700\ \text{hPa}$ 层水汽通量大, 其次是 $500\ \text{hPa}$ 层; 地面和 $300\ \text{hPa}$ 层, 除地面南边界有较明显水汽输入外, 其余各边界都很小. 图 5c 表明, 前汛期平均区域净通量, 在 $850\ \text{hPa}$ 和 $700\ \text{hPa}$ 之间有一个水汽辐散, 辐合量最大值在 $850\ \text{hPa}$ 层, 辐散量最大在 $500\ \text{hPa}$ 层, 图 5d 为“94 6”暴雨期平均区域净通量, 其分布情况与前汛期有很大不同:

- (1) 水汽输送值比前汛期约大 1 倍 (注意图 5c, d 的横坐标刻度).
- (2) “94 6”期间平均最大区域辐合量在地面, 平均最大区域辐散量在 $700\ \text{hPa}$, 都比前汛期平均值低一个层次.
- (3) 与前汛期单纯的低层辐合、高层辐散形势相比, “94 6”暴雨期在垂直方向出现多

次辐合辐散, 有 3 个水汽无辐散层: 850~ 700, 700~ 500 和 500~ 300 hPa 间. 说明“94 6”暴雨在垂直方向上受多个系统的叠加影响.

图 5c, d 的曲线和纵坐标所围面积, 即为该区域整层水平水汽输送散含量. 从图 5c 可以看到, 正、负面积基本相当, 即水汽输入输出差额不大, 因此区域蒸发可能对降水水汽供应起不可忽视作用; 而图 5d 情况则有很大不同, 正面积远大于负面积, 说明有大的水汽盈余, 由于这时是暴雨期, 比湿近饱和, 蒸发量小, 暴雨水汽应主要由水汽辐合供应.

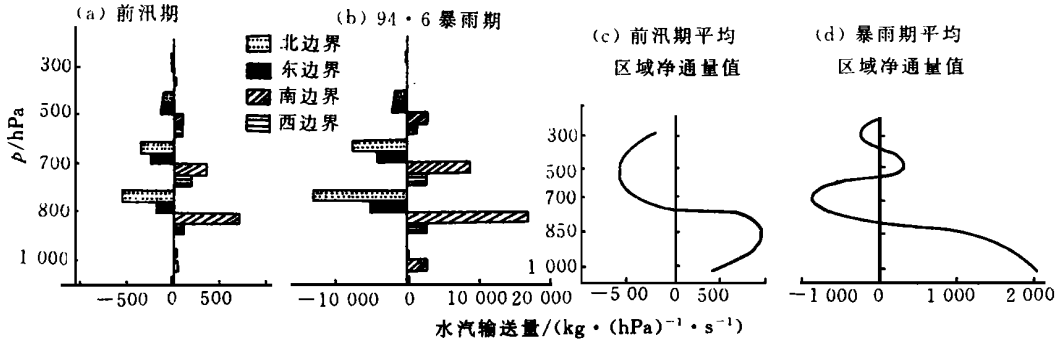


图 5 广东区域四边界标准等压上单位气压水汽通量值

Fig. 5 Water vapor fluxes per hPa for four boundaries of Guangdong area

从广东区域平均降水量和水汽通量散度曲线图上 (图略), 大的水汽辐合 (负值) 过程对应大的降水过程, 关系较好, 尤其是 6 月暴雨期的上、中、下旬 3 场大雨都有大的水汽辐合与之对应. 从图还可看到, 往往一个降水过程包含几个水汽散合过程, 水汽散合周期普遍比降水周期短.

5 讨论和结论

(1) 夏季风的建立与大气水汽含量有明显的关系. 5 月 3 候 (夏季风建立) 后大气水汽含量明显增大, 候平均水汽含量稳定大于 55 mm. 因此我们认为, 也可以以候平均水汽含量稳定大于 55 mm 作为华南夏季风建立的指标.

(2) 在夏季风建立前的 5 月 2 候和“94 6”暴雨洪水出现前的 6 月 1 候, 都有一个落差约为 5 mm 的水汽含量低谷, 这可以认为是夏季风建立和大暴雨两发生的前期征兆.

(3) 在前汛期, 广东区域最大水汽辐合层在 850 hPa, 最大辐散层在 500 hPa, 850~ 700 hPa 间有一水汽无辐散层, 把气柱明显分为两截: 其下为水汽辐合, 其上为水汽辐散. 在“94 6”暴雨期, 最大水汽散合层都下移一个等压面层, 最大水汽辐合在地面, 最大辐散在 700 hPa, 同时出现 3 个水汽无辐散层, 分别位于 850~ 700, 700~ 500, 500~ 300 hPa 层间. 区域整层水汽辐合量明显超过辐散量.

参 考 文 献

- 1 陈世训, 高绍凤, 杨崧. 5~ 6 月长江以南地区和南海的水汽输送和平衡. 见: 陈隆勋主编, 全国热带夏季风会议文集 (1982). 昆明: 云南人民出版社, 1983. 111~ 123

- 2 陈世训, 高绍凤, 杨崧. 5~6 月我国南方降水的水汽来源及其异常. 见: 陈隆勋主编. 全国热带夏季风会议文集 (1982). 昆明: 云南人民出版社, 1983. 97~110
- 3 罗绍华. 盛夏期间我国大陆东南部低纬地区的水汽输送和水汽平衡. 见: 陈隆勋主编. 全国热带夏季风会议文集 (1981). 昆明: 云南人民出版社, 1982. 142~151
- 4 刘蕙兰. 1979 年 6 月我国东部地区的大尺度涡旋水汽输送. 热带气象, 1987, 3 (2): 129~133

Water Vapor Over Guangdong Area in First-Half Rain Season in 1994

Gao Shaofeng^{*} *Luo Huibang*

Abstract The atmospheric moisture and the transfer of water vapor over Guangdong area in the first-half rain season in 1994 are analyzed. The feature, the distribution and variation of water vapor divergence and relation between water vapor and onset of summer monsoon and occurrence of heavy rain are studied. The results show that the fluctuation of water vapor is in short-period and there are more than one non-divergence layers during heavy rain.

Keywords water vapor, transfer, rain season

^{*} Department of Atmospheric Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China