

1994 年华南暴雨期间夏季风的特征
及其对水汽的输送^①

吕 梅 成新喜 陈中一 陆汉城

(空军气象学院, 南京, 211101)

提 要

用拉格朗日方法计算等熵面上空气质点和物质线的轨迹。分析指出 1994 年华南暴雨和夏季风异常有密切的关系, 特别是东亚热带季风更是起着决定性的作用; 用这种方法可以追踪水汽的源地及演变过程, 分析气流对水汽的输送作用。

关键词 暴雨 拉格朗日方法 季风

分类号 P458.121.1

1 引 言

1994 年 6—7 月华南出现了特大的洪涝灾害, 暴雨过程持续时间长, 降水强度大, 危害严重。以往 6 月中旬, 随着副高的北跳, 大陆上的雨带已移至江淮流域一带, 进入江淮梅雨季, 华南雨量相应较小。但 1994 年 6 月, 我国的主要雨带位于江南到华南一带, 降水中心在广东、广西以及江西的部分地区。7 月中旬以后, 伴随西太平洋副高的第 2 次北跳, 我国的主要雨带北移到华北、东北平原一带, 但 1994 年华南地区受副高南侧东风带里的热带环流系统的影响, 华南又出现了持续的暴雨过程。由于强降水阶段的连续出现, 造成了华南地区 1994 年夏季出现了严重的洪涝灾害。

本文主要从流场上分析 6—7 月华南暴雨过程中印度西南季风和东亚季风的作用, 即夏季风特征; 用拉格朗日方法计算空气质点的轨迹及物质线的积分变化, 分析夏季风对水汽的输送作用。

2 资料和计算方法

利用广州区域气象中心提供的资料, 进行客观分析, 得到 0—50 N, 30—160 E 范围, 2.5 × 2.5 的网格点资料, 垂直方向共有 11 层(1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100hPa)。计算每个格点相当位温, 求出 15 层等 θ_s 面上各点的资料, 把等压面资料转换到等熵面上, 进行拉格朗日轨迹积分计算。

轨迹法是一种传统的计算方法, 它可确定物质扩散的源地, 反映输送过程。陆汉城

^① 1997—03—10 收到初稿, 1997—05—08 收到修改稿。本文为国家自然科学基金资助项目。

等^[1]的工作发展了在等熵面上研究大气环流的拉格朗日方法,并指出,对流层中几天以内有物质线可追寻。实际大气熵近于守恒,在等熵面上计算轨迹能够反映气流的三维运动情况。 θ_e 面上物质线的演变可以较好地表现大气的变化过程, θ_e 考虑了水汽的作用后,对保守大气的近似程度更高了,积分效果更好。

进行物质线轨迹计算涉及到资料转换、积分方程、积分方案、资料拟合和稳定性控制^①,用这种资料拟合方法计算轨迹,可以描述大尺度运动空气块的轨迹变化,而小尺度运动在轨迹计算中作为误差出现。在以等值线为初始物质线进行轨迹积分时,为了研究等值线演变的过程,在积分过程中不断加入新的点,以保持物质线上点的密度。

3 大尺度环流特征

1994 年 6-7 月华南地区连降暴雨,根据环流形势的演变可分为 3 个阶段,即 6 月 13-17 日,7 月 14-21 日,22-28 日。

6 月中旬,西太平洋副高位置偏南,西脊点在 110°E 以西,110-130°E 的脊线位置在 15°N 左右,副热带高压西侧有强西南气流。图 1 为 500hPa 纬向风在 105-115°E 之间平均值随时间和纬度的变化,可见 17 日以前,副高脊线基本位于 15°N 以南,6 月 20 日才越过 25°N,与正常年份相比,副高位置偏南。

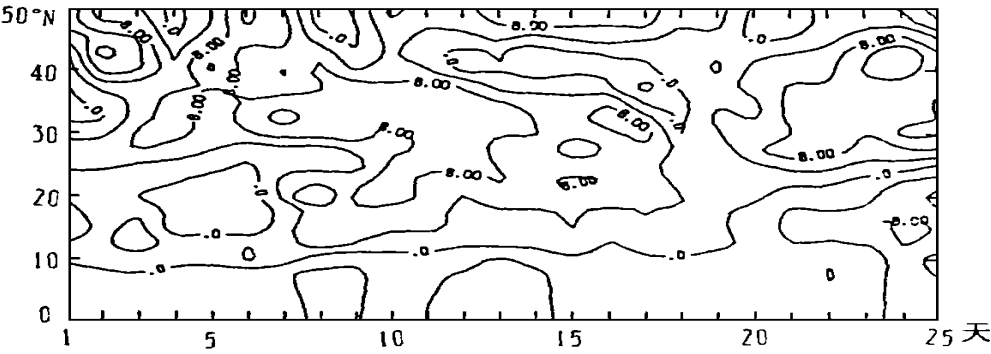


图 1 1994 年 6 月 500hPa 上 105-115°E 之间
纬向风(m/s) 随时间和纬度的变化

Fig. 1 Variation of latitudinal wind(m/s) of 105-115°E
of 500hPa along time and latitude in June 1994.

7 月上旬(图略)副高迅速北上东退,脊线越过 33°N,此后至下旬中期脊线就一直稳定在 33-35°N 之间。7 月华南主要受副高南侧偏东风里的热带天气系统及印度西南季风影响。

图 2 为 850hPa 平均流场。图 2a 为 6 月 13-17 日平均流场,最明显的特征是:中低纬度地区明显存在一支经印度半岛、孟加拉湾和中南半岛自西向东的西南季风气流,15°N 的印度地区的平均西风达 15.3m/s。孟加拉湾季风活跃,长期维持一低压槽。印度西南季

① 成新喜,大气环流异常变化的拉格朗日分析和诊断,空军气象学院硕士研究生论文,1995。

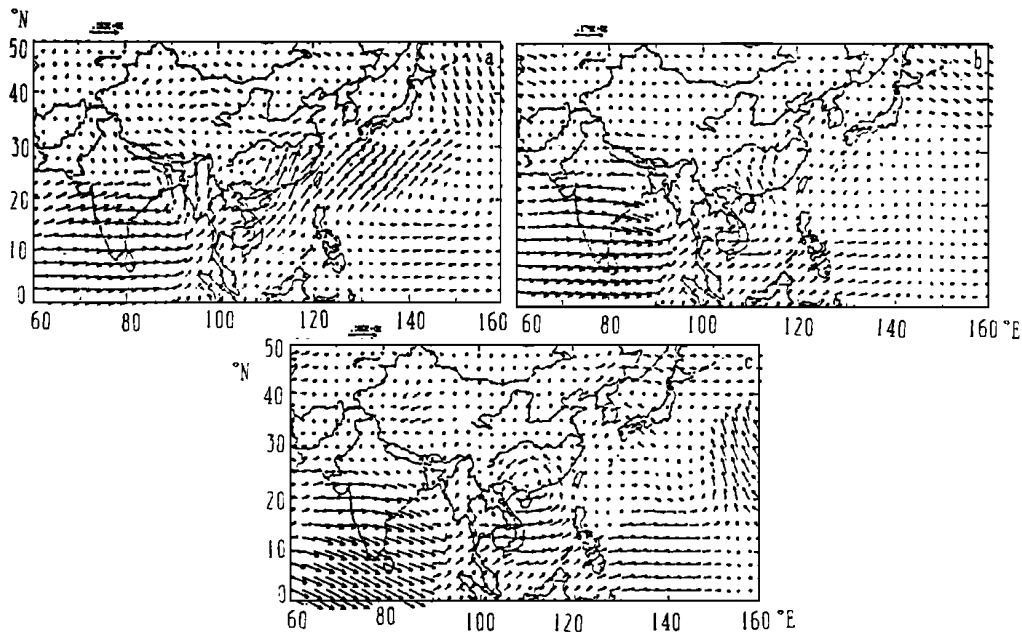


图 2 850hPa 平均流场 a. 6 月 13- 17 日; b. 7 月 15- 19 日; c. 7 月 24- 28 日。

Fig. 2 Average flow field of 850hPa (a) Day 13- 17 for June, (b) Day 15- 19 for July, (c) Day 24- 28 for July.

风到孟加拉湾东南部分成两段,一部分流向印度东北部呈气旋性流型,构成印度北部的季风低压,对应印度季风槽;另一部分经中南半岛流向华南。南海和华南处在副高西北侧强西南气流影响之下。

第二支主要气流是 100 E 附近的越赤道气流,它的增强引发南海季风增强。

90- 110 E 之间从 6 月 3 日起一直维持偏南风的越赤道气流,气流强盛且稳定(图 3),可影响南海和西太平洋地区。据各年平均情况,6 月上中旬,该地区越赤道气流平均

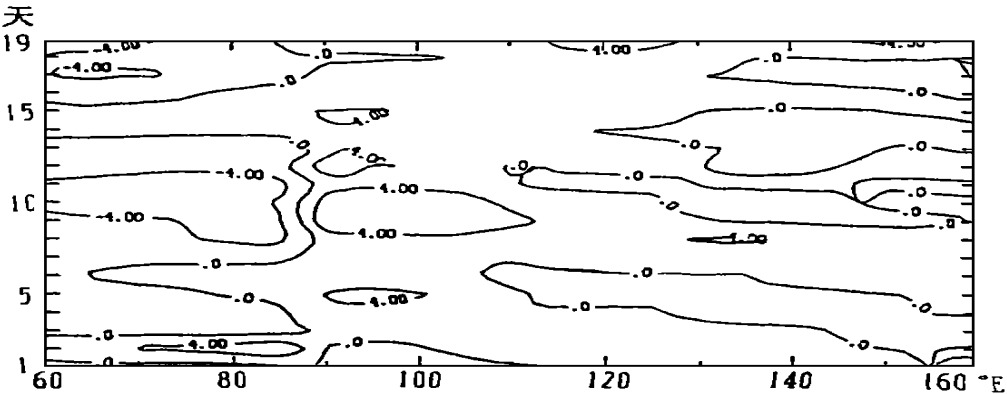


图 3 6 月 1- 25 日 850hPa 赤道上径向风分量(m/s)沿经度的分布

Fig. 3 The distribution of longitudinal wind(m/s) of 850hPa on equator along longitude, day 1- 25 for June.

不足 2m/s , 而 1994 年 100°E 附近, 2 候平均值为 4.8m/s , 3 候为 6.2m/s , 8–16 日始终维持 4m/s 以上南风, 9 日达 7.7m/s , 13 日为 7.5m/s , 这表明 100°E 附近亚洲热带季风非常活跃, 而 125°E – 130°E 苏拉威西越赤道气流和 150°E 附近的中太平洋越赤道气流并不明显, 且有间断出现, 1994 年华南异常涝年, 越赤道气流通道区的强度和位置与常年比较较大的差异。由孟加拉湾季风和南海季风合并的位于中南半岛至南海的热带夏季风成为强西南风带。6 月华南暴雨在中低纬度主要受印度西南季风和东亚热带季风的共同影响。

7 月中下旬的两次暴雨过程, 印度西南季风强度依旧。在 90°E – 110°E 附近仍存在一稳定偏南气流通道, 14–21 日的暴雨过程中, 越赤道气流东扩且范围加大。由于此时副高东退北抬, 副高控制着日本海、黄海等地区, 脊线稳定在 33°N – 35°N 之间, 副高南侧的偏东气流从海上一直抵达华南(图 2b)。所以 7 月中旬的暴雨过程中, 除上述的印度西南季风和南海季风外, 东亚副热带季风也是重要的影响系统。

7 月下旬, 日本南部、北部湾和孟加拉湾分别为低压中心, 北部湾低压最强, 3 个低压以明显的辐合带连接起来, 比常年偏北 5 个纬度左右, 且持续时间较长。7 月份, 异常活跃的热带系统频频影响也是造成华南暴雨的主要原因。

4 夏季风对水汽的输送

从以上分析可知华南暴雨是南北半球相互影响、东西风带扰动交互作用的结果, 它和低纬海区关系密切, 低纬海区是大气热量、水汽和动量中心, 是华南暴雨天气系统发生发展的重要源泉。华南夏季水汽来源既受印度西南季风和西太平洋东南季风的影响, 同时还受来自南半球越赤道气流折向而成的西南气流的影响, 这几支来自海洋的暖湿气流将丰沛的水汽源源不断地向华南输送, 所以华南水汽依赖于夏季风的输送。

6 月中旬暴雨期间 850hPa 上 θ_e 的分布图上(图略), 华南始终处在等 θ_e 线密集带的南侧的 θ_e 大值区, 此条密集带对应华南静止锋。由于华南暴雨期间, 水汽非常充沛, 虽然冷空气有一定作用(7 月则冷空气不重要), 但主要表现为夏季风的活跃占重要地位, 此时等 θ_e 线主要反映的是水汽的影响, 锋面为一条相当位温锋。

310K 等 θ_e 面上 6 月 13–17 日 q 场分布图上(图略), 赤道低纬地区为一范围较大的比湿大值区, 阿拉伯海、孟加拉湾地区及南海、华南都处在比湿大值区中, 华南北侧有一比湿密集带, 基本呈东西向。

前面用欧拉观点分析了 850hPa 上的 θ_e 场及等熵面上的比湿分布特征, 但印度西南季风和东亚季风对水汽的输送作用如何具体表现呢? 为了更好描述水汽等的输送过程, 利用拉格朗日方法进行物质线的轨迹积分。等熵面上的等比湿线在保守大气中是严格意义下的物质线, 考虑水汽影响之后, θ_e 面上的 q 线仍是近似程度较高的物质线, 它的演变可以较好地反映大尺度水汽的输送过程。

4.1 q 系统的演变

在 $\theta_e = 310\text{K}$ 等熵面上, 选择几个较明显的 q 系统, 对其进行轨迹积分。选择 $q = 14\text{g/kg}$ 的等值线作为积分物质线的初始状态线。图 4a 中位于中南半岛至我国西南地区的比湿 q 大值中心, 经过 6 月 13–17 日 5 天的轨迹积分, 南北方向压缩, 东西方向伸展, 在印

度西南季风和 100°E 附近的越赤道东亚热带季风的共同作用下, 先向东输送, 再向北输送, 将大值水汽中心向华南输送。图 4b, 位于印度洋上的比湿大值中心, 经过 5 天的轨迹积分, 先移向孟加拉湾, 后移至中南半岛。

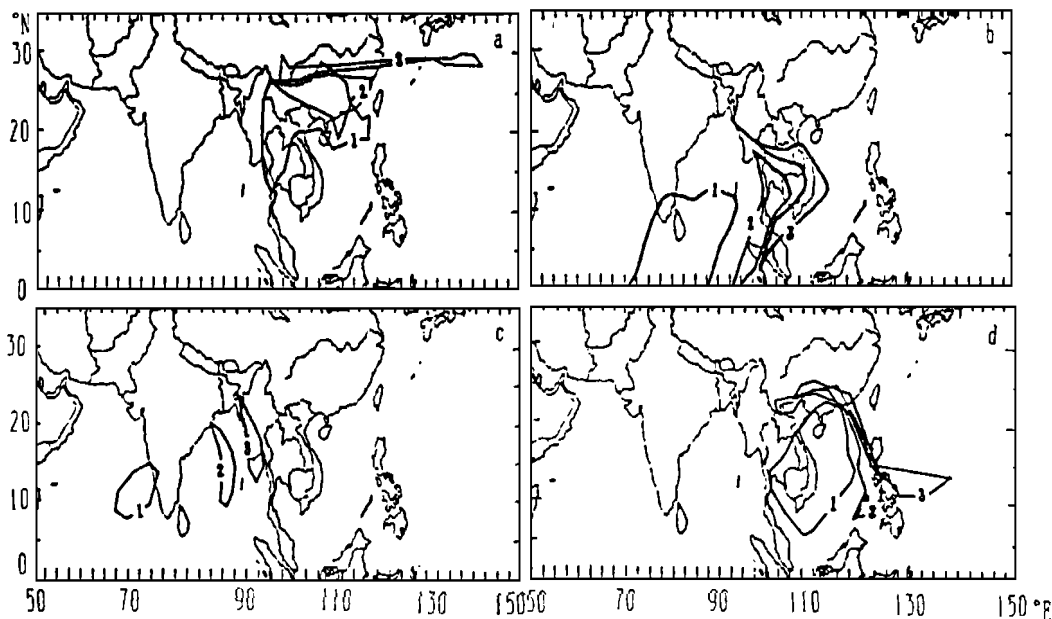


图 4 310K 等熵面上 $q = 14\text{g/kg}$ 系统的演变 图中的 1, 2, 3 分别为初始, 积分 2.5 天和 5 天的等比湿线。a. 6 月 13- 17 日; b. 6 月 13- 17 日; c. 7 月 15- 19 日; d. 7 月 24- 28 日。

Fig. 4 The evolution of material line of $q = 14\text{g/kg}$ at $\theta_e = 310\text{K}$ (In Fig., 1, 2 and 3 are position of initial, 2.5 day and 5 day of iso-specific humidity line respectively,) (a) Day 13- 17 for June, (b) Day 13- 17 for June, (c) Day 15- 19 for July, (d) day 24- 28 for July.

图 4c 是 7 月 15- 19 日 310K 的 θ_e 面上 q 系统轨迹积分变化。位于阿拉伯海的水汽大值中心, 在印度西南季风的作用下, 移至孟加拉湾。孟加拉湾的水汽有一部分来源于阿拉伯海的蒸发及水汽输送, 图 4c 正是反映了这一特点。位于南海附近的大值中心 (图 4d), 在南海季风作用下, 其北端移至华南, 还有一部分向东移动。

由此可见: 低纬海区、阿拉伯海、南海和孟加拉湾等地的水汽源地, 在印度季风和东亚热带季风的作用下, 把 q 的大值中心向孟加拉湾、中南半岛及华南输送。在此仅举几个例子, 这种源源不断的输送过程, 使 1994 年华南暴雨得以长时间维持并加强。3 次过程的时间平均垂直积分的水汽通量分析也表明, 主要存在两支水汽输送带: 一支为印度季风的水汽输送带, 除直接向华南输送水汽外, 还向南海输送水汽; 另一支是自赤道 (90- 105°E) 由西南向东北的越赤道气流的水汽输送带, 经中南半岛、南海向华南输送水汽。7 月份的过程中还存在一支副高南侧的偏东气流的水汽输送带^[2]。

4.2 空气质点的轨迹

前面以拉格朗日观点, 用等 q 线的轨迹积分给出水汽输送的情况, 为更直观地说明水

汽的路径,在 310K 等熵面上取沿纬圈上的点进行轨迹积分,由空气质点的轨迹分析气流对 q 的输送作用。

图 5a 是取 0–50°N 纬圈上的点进行轨迹积分。90°E 以西的 0 和 10°N 纬圈上的点基本向东偏北移动,到孟加拉湾后分为两支,一部分折向印度东北部,另一支经中南半岛流向南海和华南。而 90°E 以东 0–10°N 纬圈上的点,反映了较强的越赤道气流的作用,由图可见,越赤道气流相对于印度西南季风起着更重要的作用。这些点向东北方向移动,它直接将低纬的水汽输送向南海,再由南海送至华南,由于 6 月副高位置偏西偏南,使得其西北侧的西南气流的输送更加明显。

图 5a 中沿 20°N 纬圈上空气质点向北的运动,与沿 30°N 纬圈上空气质点向南的运动,在华南形成一种强的辐合带,为暴雨发展提供上升运动的条件。

图 5b, 90°E 以西的中低纬为一致的西风气流输送, 90°E 以东仍能反映越赤道热带季风的输送。120–140°E 范围沿 30°N、25°N 及 20°N 纬圈气流向西南运动,此时副高已经北抬,这支气流反映了副高南侧偏东气流的输送过程,它将太平洋上的水汽输送到华南。

由此可见,南海的水汽主要来自孟加拉湾和 100°E 附近的越赤道气流的输送作用;而孟加拉湾的水汽主要来自于 45°E 附近的越赤道索马里急流将低纬和阿拉伯海水汽的输送。而华南的水汽源地主要来自孟加拉湾和南海,7 月还有一部分来自西太平洋。

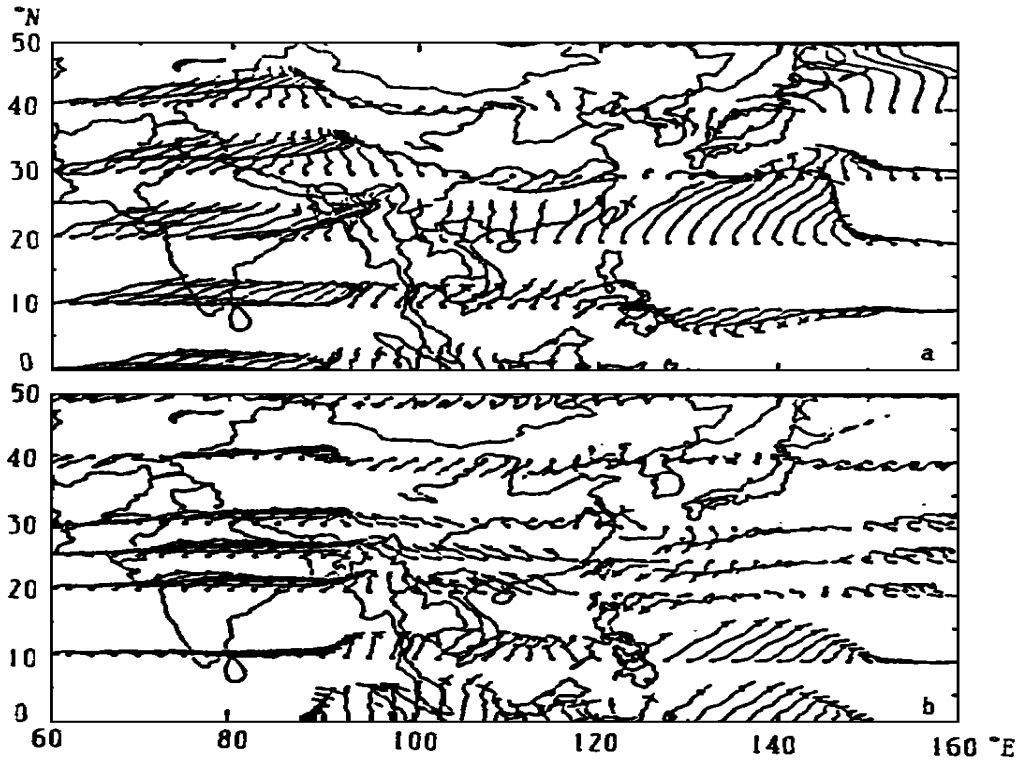


图 5 沿纬圈上的空气质点五天的轨迹积分 a. 6 月 13–17 日; b. 7 月 15–19 日。

Fig. 5 Trajectory path of particles based on a 5-day integration on latitudinal sphere. (a) Day 13–17 for June, (b) Day 15–19 for July.

5 结 语

本文第一部分利用对流层低层等压面资料, 分析了印度西南季风和东亚季风对华南暴雨的作用。由此可见, 华南暴雨和夏季风的异常变化有关, 特别是东亚热带季风起着重要作用, 1994 年的华南涝年, 100 E 附近的越赤道气流的异常强盛决定了东亚热带季风的强度。

文中第二部分利用拉格朗日方法, 在等熵面上进行轨迹积分, 比湿大值中心的等值线作为物质线积分的初始状态线, 分析其轨迹积分变化, 以反映水汽的源地及演变过程; 沿纬圈上的空气质点的轨迹积分, 可更直接反映气流对水汽的输送作用。

参 考 文 献

- 1 Lu Hancheng, Lei Zhaochong. Lagrangian method used in the research of atmospheric circulation. *Acta. met. Sinica*, 1991, 5: 129– 140.
- 2 陈中一, 杨信杰. 1994 年 6、7 月华南暴雨的大尺度水汽输送分析. 1994 年华南特大暴雨洪涝学术研讨会论文集, 北京: 气象出版社, 1996. 142– 144.
- 3 梁必骥. 南海热带大气环流系统. 北京: 气象出版社, 1991, 205– 227.
- 4 Chen T H, Byron-Scott R A D. Bifurcation in cross-equator air flow: a nonlinear characteristic of lagrangian modeling. *J. A. S.*, 1995, 52: 1383– 1400.

THE CHARACTER OF SUMMER MONSOON AND ITS TRANSPORT TO MOISTURE IN THE RANGE OF SOUTH-CHINA HEAVY RAIN OF 1994

Lü Mei Cheng Xinxí Chen Zhongyi Lu Hancheng

(Air Force Meteorology Institute, Nanjing, 211101)

Abstract

In this paper, the trajectory of particles and material line are calculated with the lagrangian method on an isentropic surface. The analysis shows that the heavy rain of South China is relative to Summer monsoon closely, in which the monsoon of East-Asia plays an important role. The method can be used to track source area and evolution process of moisture and to analyse the effect of air current transport to moisture.

Key words Heavy rain Lagrangian method Monsoon