

郑彬, 吴兑, 李菲, 等. 南海夏季风背景下的广州气溶胶光学特性变化特征[J]. 热带气象学报, 2013, 29(2): 207-214.

文章编号: 1004-4965(2013)02-0207-08

南海夏季风背景下的广州气溶胶光学特性变化特征

郑彬, 吴兑, 李菲, 邓涛

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/区域数值天气预报重点实验室, 广东 广州 510080)

摘 要: 利用广州番禺大气成分站观测的气溶胶资料和美国国家环境预报中心(NCEP)/美国国家大气研究中心(NCAR)再分析资料, 通过合成分析和物理诊断分析研究大尺度南海夏季风活动背景下, 广州气溶胶光学特性变化特征及其可能的原因。得到主要结果: 南海夏季风活跃期间, 广州气溶胶的消光特性经历了一个先增长后减弱的过程。资料分析表明, 行星边界层层结变化和环境风场对广州气溶胶光学特性的变化有明显的影响, 而南海夏季风活跃期间区域的非绝热加热和季风对流活动激发的气旋性环流异常则是行星边界层层结变化和环境风场变化的主要因素。

关键词: 气候学; 气溶胶光学特性; 合成分析; 南海夏季风

中图分类号: P462.4.1

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2013.02.004

1 引 言

大气气溶胶一般指悬浮在大气中的直径 10^{-3} 微米~几十微米的固体或液体粒子, 其来源可以是自然过程或人类活动。大气中气溶胶粒子的自然来源主要有火山灰、宇宙尘埃、海水飞沫、花粉、土壤沙尘等。工业化以来, 人类活动直接向大气排放大量粒子和污染气体, 污染气体通过非均相化学反应亦可转化形成气溶胶粒子, 其物质成份主要包括: 硫酸盐、硝酸盐、铵盐、有机碳、元素碳和矿物元素。气溶胶的研究始于 19 世纪中叶, 1869 年 Tyndall 进行的气溶胶光学试验和 1871 年的 Rayleigh 提出光的散射理论, 标志着近代气溶胶光学研究的开端。由于气溶胶对气候变化、云物理、能见度、环境质量、大气微量成分的循环及人类健康都有重要影响, 1970 年代开始, 气溶胶研究发展迅速, 逐渐成为多学科交叉的研究领域。其中, 科学家们不仅从众多事实上揭示

了大气气溶胶与气候变化的相关关系^[1-4], 还从科学实验^[5-7]、观测资料分析^[8-11]和数值模拟^[12-13]各方面证明了其辐射效应对气候变化的影响。作为全球变化的重要强迫因子, 近年来气溶胶辐射效应已成为科学家广泛关注的重要领域和当前全球变化研究的热点问题之一^[14-16]。

由于季风活动引起的洪涝干旱等自然灾害威胁着全球超过 60% 的人口, 因此近 10 年来, 气溶胶辐射强迫影响大尺度季风系统的研究也越来越被关注。已有研究表明, 气溶胶辐射强迫可以影响南亚季风区^[12, 17-19]、东亚季风区^[20-21]、非洲季风区^[22-23]、南美季风区^[24]的降水量或雨带分布。虽然有许多关于气溶胶辐射强迫与季风关系的研究, 但总体来说, 目前的关键还是观测资料缺乏, 许多研究使用的都是模式输出的气溶胶分布来进行辐射强迫的模拟, 这将导致更多的不确定性。同时, 由于气溶胶的时空变化较大, 不同时空变化可能导致其辐射效应有很大的差异。因此, 在观测资料基础上搞清楚其时空变化特征是

收稿日期: 2011-06-07; 修订日期: 2012-12-28

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划, 2011CB403403)资助

通讯作者: 郑彬, 男, 福建省人, 副研究员, 博士, 主要从事季风气候、中层大气研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

非常重要的。近年来,珠江三角洲地区的气溶胶污染日趋严重,大气透明度越来越差,EOS/MODIS 卫星遥感气溶胶光学厚度分布显示珠江三角洲城市群上空的大气气溶胶污染明显比周边地区严重^[25]。在研究珠三角气溶胶的气候效应前,应该了解其时空分布特征及其原因。以往的研究多是通过局地天气条件来解释气溶胶的分布变化特征,但从气候学角度来看,在大尺度气候背景下的气溶胶变化特征我们还了解不多。因此,本文利用中国气象局广州番禺大气成分站观测的气溶胶光学特性,在大尺度的南海夏季风活动背景下,研究其变化特征及其可能的原因。

2 资料简介

本文使用的气溶胶吸收系数(532 nm)和散射系数(525 nm)是由中国气象局广州番禺大气成分站的仪器观测计算得来,为 2008 和 2009 年的 5—9 月日均值。其中黑碳气溶胶浓度由黑碳仪(Magee scientific, AE31)测得的黑碳浓度值,代入文献[26]的公式(3)计算得出,散射系数是由浊度计(Ecotech, M9003)测得。季风背景场资料使用 NCEP/NCAR 的日平均再分析资料^[27],时间长度同样为 2008 和 2009 年的 5—9 月,变量包括 u 和 v 风场、气温场、湿度场、净长短波辐射通量、感热通量。此外,还有同时段的全球降水气候计划(GPCP)卫星红外窗口导出的全球降水资料(GPI)^[28]。文中所有资料都经过 5 天的滑动平均,一定程度上去除了高频的天气影响。根据文献[29],本文定义南海夏季风活动的环流指数为:

$$I_u = u_{200} - u_{850}, (105 \sim 120^\circ\text{E 平均}) \quad (1)$$

$$I_v = v_{200} - v_{850}, (105 \sim 120^\circ\text{E 平均}) \quad (2)$$

当 I_u 和 I_v 同时小于零,且上下层反号,则满足南海夏季风活跃的环流条件,若 $105 \sim 120^\circ\text{E}$, $5 \sim 20^\circ\text{N}$ 平均的降水距平也大于零且维持 1 候以上,则定义南海夏季风活跃。本文同时从环流和对流角度来定义南海夏季风的活跃,可以更准确地描述南海夏季风的活动^[30]。此外,当南海夏季风活跃期间,若 5°N 附近有明显的环流指数(式(1)和

(2))极值中心,则定义为南海夏季风显著活跃期。本文所指的南海区域为 $105 \sim 120^\circ\text{E}$, $5 \sim 20^\circ\text{N}$,南海夏季风活跃与否也是针对该区域而言,其余地区满足以上条件为南海夏季风影响区域。

3 资料分析

3.1 2008 和 2009 年南海夏季风活动特征及广州气溶胶的光学特性变化

图 1a 是 2008 年南海地区平均降水的逐日变化,可以看到有 5 个连续的降水时段,它们分别对应环流指数小于零的区域(图 1b),其中 5 月 9—17 日、7 月 22 日—8 月 11 日和 9 月 6—30 日 3 个时段的降水对应的环流指数在 5°N 附近都有明显的中心,极值分别在 5 月 15 日、8 月 3 日和 9 月 25 日,表明这 3 个时段的南海夏季风非常活跃;而 6 月 20—24 日和 7 月 2—8 日两个时段的降水距平虽然大于零,但环流指数的中心并不显著,因此这两个时段的南海夏季风虽然也是活跃,但活跃强度偏弱。图 1c 是标准化的广州气溶胶吸收系数(实线)和散射系数(虚线)。标准化即以其原值除以其标准差,得到的结果即标准化值,无单位,方差为 1。从图 1c 可看到,广州气溶胶光学特性的季节内尺度时间变化明显,特别是在南海夏季风活跃期的变化十分突出。在南海夏季风每个典型的活跃期开始后,广州气溶胶的消光特性都开始增大,一般在活跃盛期前后达到最大的消光特性,之后消光特性开始减弱。

从图 2 中同样可以看到,2009 年南海夏季风活跃的 4 个时段,分别是 7 月 9—21 日、7 月 28 日—8 月 4 日、8 月 30 日—9 月 14 日和 9 月 20—30 日。对应的环流指数中心分别在 7 月 15 日、8 月 3 日、9 月 8 日和 9 月 25 日。图 2c 显示的广州气溶胶的消光特性在南海夏季风的活跃期同样也有先增长后减弱的过程。为了更清楚地看到这种变化,以活跃期环流指数中心对应的日期进行合成。需要说明的是,虽然气溶胶的消光系数有年际上的变化,但是本文分析季节内尺度问题,即在季风期的气溶胶消光的相对大小,因此年际差异对

分析结果没有影响。由于 2008 年 9 月下旬的气溶胶消光特性缺测,因此合成时不包含 2008 年 9 月的时段。图 1 和图 2 都显示出南海夏季风环流指数中心一般都处于活跃的中后期,所以选取中心前 10 日到后 5 日的合成(图 3)。

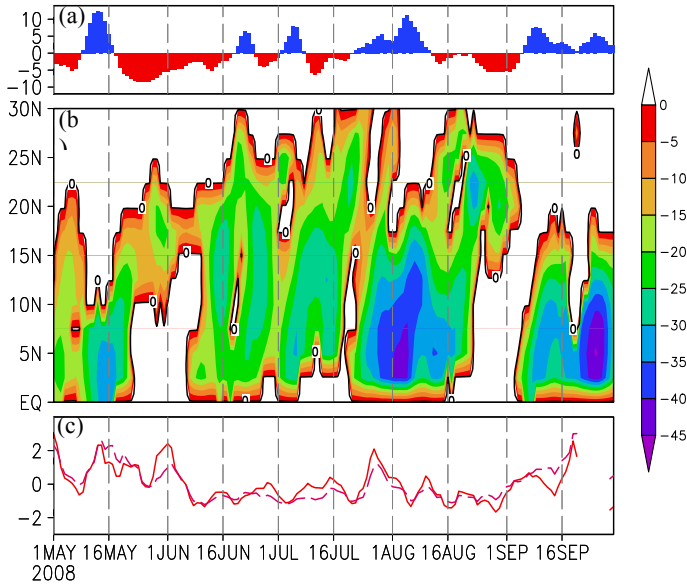


图 1 2008 年 5—9 月的南海地区(105 ~ 120 °E 5 ~ 20 °N) 平均逐日降水距平值(mm, a),南海夏季风环流指数(m/s), 阴影区为横向和经向环流指数都小于零的区域(b), 广州气溶胶的吸收(实线)和散射(虚线)系数的标准化值(c)

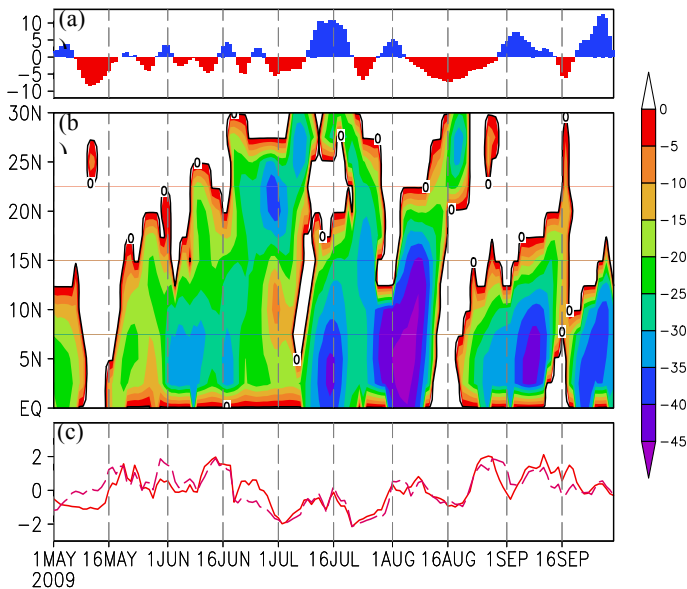


图 2 同图 1, 但为 2009 年。

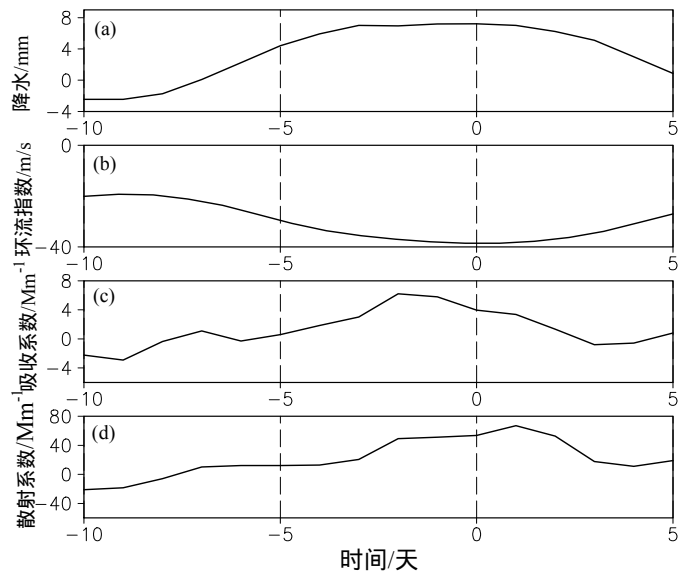


图 3 南海地区平均降水距平(mm, a), 105 ~ 120 °E, 5 ~ 7.5 °N 平均的南海夏季风环流指数(m/s, b), 广州气溶胶吸收系数距平(Mm⁻¹, c)和散射系数距平(Mm⁻¹, d)的合成 时间 0 点对应环流指数中心的日期, 负值表示中心日期之前, 正值表示中心日期之后。

从图 3 可以看到,南海夏季风环流指数达到极值时,南海地区降水已经持续一段时间的高值,环流指数绝对值开始减小时,南海地区的降水也开始减小。由图 3a 和 3b 可知,合成的南海夏季风活跃期为 -7 日— +5 日。图 3c 和 3d 的消光特性合成显示,广州气溶胶的吸收系数和散射系数都有一个先增长后减弱的过程,二者的差异在于吸收系数的极大值在 0 时刻前几天,而散射系数的极大值出现在 0 时刻后几天。

3.2 南海夏季风活动影响广州气溶胶的光学特性变化的机理分析

3.2.1 行星边界层层结变化

在行星边界层的层结稳定背景下,气溶胶较难扩散,有利于消光系数的增长。图 4 显示了温度距平(115 ~ 120 °E, 22.5 ~ 25 °N 平均)时间变化率的合成,自南海夏季风活跃开始,行星边界层的温度层结就逐渐趋于稳定,直到 -3 日之后,温度层结开始趋于不稳定。这与该时段吸收系数的变化非常一致(图 3c),而散射系数的变化虽然在南海夏季风最活跃之后才开始减小,但是在 -2 日也有一个明显的拐点,说明温度层结的变化在南

海夏季风活跃前期对气溶胶吸收系数和散射系数都有明显的影响,同时也说明这个阶段的散射系数还有其他重要的影响因子。但是图 4 显示从 0 日,即南海夏季风最活跃时开始,行星边界层又

逐渐趋于稳定,而此时的吸收系数依然是减小的,散射系数在+1 日之后也开始减小。这表明在南海夏季风活跃的后期,有其他更重要的因子促使消光系数变小。

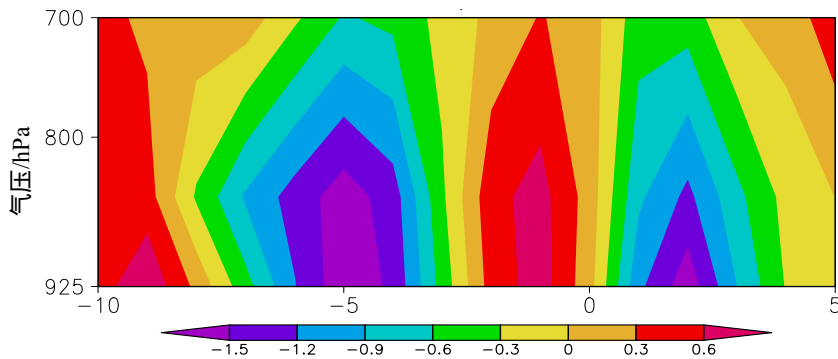


图 4 115 ~ 120 °E, 22.5 ~ 25 °N 平均的温度距平时间变化率($10^{-6} \times K/s$)的合成图
时间 0 点对应环流指数中心的日期, 负值表示中心日期之前, 正值表示中心日期之后。

下面分析 -5 日和 -1 日这两个高变化区的变化原因,至于+2 日的高变化区,由于不是这个阶段的主要影响因子,因此下面不再讨论。主要从平流、绝热和非绝热加热讨论温度距平变化(图 5)。

水平平流项计算:

$$HA = -u \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - v \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + \bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \quad (3)$$

其中“-”为时间平均,本文指 2008 和 2009 年 5 月 1 日—9 月 30 日平均。

垂直平流项计算:

$$VA = -\omega \frac{\partial \bar{T}}{\partial p} \quad (4)$$

绝热项:

$$AH = \omega \frac{RT}{c_p P} \quad (5)$$

非绝热项:

$$DH = \Delta T / \Delta t - HA - VA - AH \quad (6)$$

图 5a 左图是 115 ~ 120 °E, 22.5 ~ 25 °N 区域 -5 日 925 hPa 温度距平时间变化的各项收支。图中显示平流项和非绝热项与温度距平的时间变化符号一致,表明它们对温度距平的时间变化都有正的贡献,其中垂直平流贡献略大一些。图 5a 右图显示 -1 日 925 hPa 的绝热项和非绝热项与温度距平变化同号,其中绝热项基本平衡了平流项。

图 5b 显示的 -7 日和 -1 日 700 hPa 温度距平时间

变化较小,平流、绝热和非绝热项基本达到平衡。此外,从图 5 可以看到,垂直平流项总为负值,而绝热项总为正值。经过分析可知,-5 日到 -1 日行星边界层的气压垂直速度为正值,即下沉运动为主,因此,绝热项总表现为正值。而通过分析垂直平流项发现垂直速度对平均温度的平流是负值,与图 5 一致;而垂直速度对温度距平的平流则是正值。可见,后者抵消了部分垂直速度对平均温度的平流。

从表面净长波、短波辐射和感热通量的计算可知(图略), -5 日净长波辐射距平为正值,而净短波辐射和感热通量距平皆为负值,可见长波辐射和感热通量都将冷却表层大气,而短波辐射将加热表层大气,它们的净热通量为冷却表层大气,与图 5a 左图一致; -1 日净长波辐射和感热通量距平为正值,而净短波辐射距平皆为负值,可见长波辐射冷却表层大气,而短波辐射和感热通量将加热表层大气,它们的净热通量为加热表层大气,这也同图 5a 右图非绝热项表现一致。

以上分析表明,表层的温度距平变化是决定行星边界层层结变化的主体。从南海夏季风活跃开始到活跃盛期前 1 天, 115 ~ 120 °E, 22.5 ~ 25 °N 区域的平流项对表层温度距平变化的影响从

正贡献逐渐变为抑制作用，而绝热项则从抑制作用转变为正贡献。值得提到的是，非绝热项对表
层温度距平变化在这个阶段始终是正贡献。

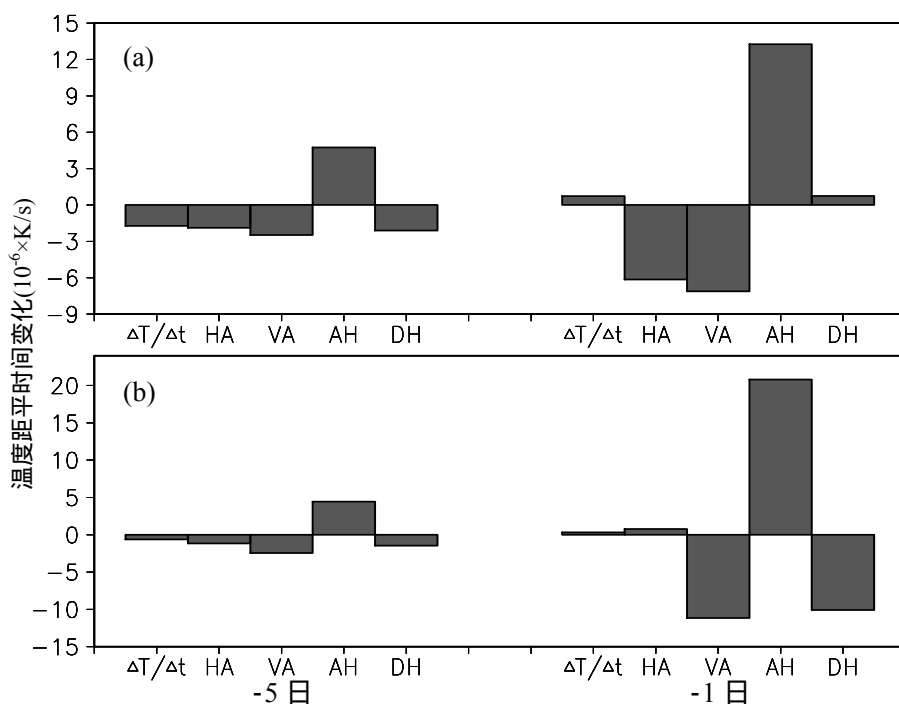


图5 115 ~ 120 °E , 22.5 ~ 25 °N 平均的温度距平时间变化率及各项收支(10⁻⁶×K/s)的合成图 a. 925 hPa; b 700 hPa. 左图为-5日, 右图为-1日。ΔT/Δt: 温度距平时间变化率; HA: 温度距平水平平流项; VA: 温度距平垂直平流项; AH: 绝热项; DH: 非绝热项。

3.2.2 环境水平风场变化

环境风场由平均风场和距平风场组成，图6是925 hPa 平均风场的分布，115 ~ 120 °E , 22.5 ~ 25 °N 的环境风场为弱的偏南风，而南海区域为强的西南风，即南海夏季风。该区域的环境风场主要来自于南海的西南气流和西北太平洋副热带高压西南侧的东南气流。下面看看合成的风场距平是如何演变的(图7)。从图7a可见，南海夏季风活跃盛期的前2候(即-10日)，南海地区季风不活跃，因此在南海地区没有明显的距平环流存在，反而是在西北太平洋地区有一个明显的气旋性距平环流。此时该区域的环境距平风场虽然也是弱的偏南风，但是它与平均风场叠加后，增强了环境风速。环境平均风速为1.83 m/s，而增强后的风速为2.98 m/s。增强后的风场和此时的行星边界层层结条件(图4)都有利于气溶胶的扩散，从而使气溶胶的总体消光减弱(图4c、4d)。

南海夏季风活跃盛期前1候，南海夏季风开始变得越来越活跃。此时的南海地区已出现气旋

性涡度(图7b)。此时的涡度中心仍在菲律宾以东，但是气旋的西北部已影响到115 ~ 120 °E , 22.5 ~ 25 °N 区域，而且与环境平均风场基本相反，从而减弱了环境风速，不利于气溶胶的扩散。

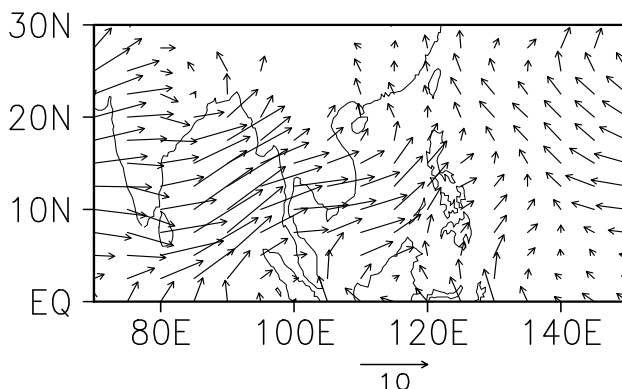


图6 2008和2009年5月1日—9月30日平均的925 hPa 风场(m/s)

南海夏季风活跃盛期，南海地区的对流最强，形成的气旋涡度在南海地区达到极值(图7c)。此时115 ~ 120 °E , 22.5 ~ 25 °N 区域正处于距平环

流北部,环境距平风场非常大,虽然抵消了部分平均风场,但是最后的环境风速依然达到 4.66 m/s,非常有利于气溶胶的扩散,从而解释了图 3 中气溶胶吸收系数在南海夏季风活跃盛期前几天开始减弱,此时的散射系数也有一个明显的拐点。这同样也解释了南海夏季风活跃盛期后的行星边界层层结趋于稳定,而气溶胶的消光依然减小。

在南海夏季风活跃盛期后 1 候,季风向北推进,逐渐影响到南海以北地区。此时的对流中心位于南海北部,相应的气旋性环流也向北移动,115~120 °E,22.5~25 °N 区域位于环流中心边缘,部分地区风速偏小,但是区域平均风速依然较大,有利于气溶胶的扩散。

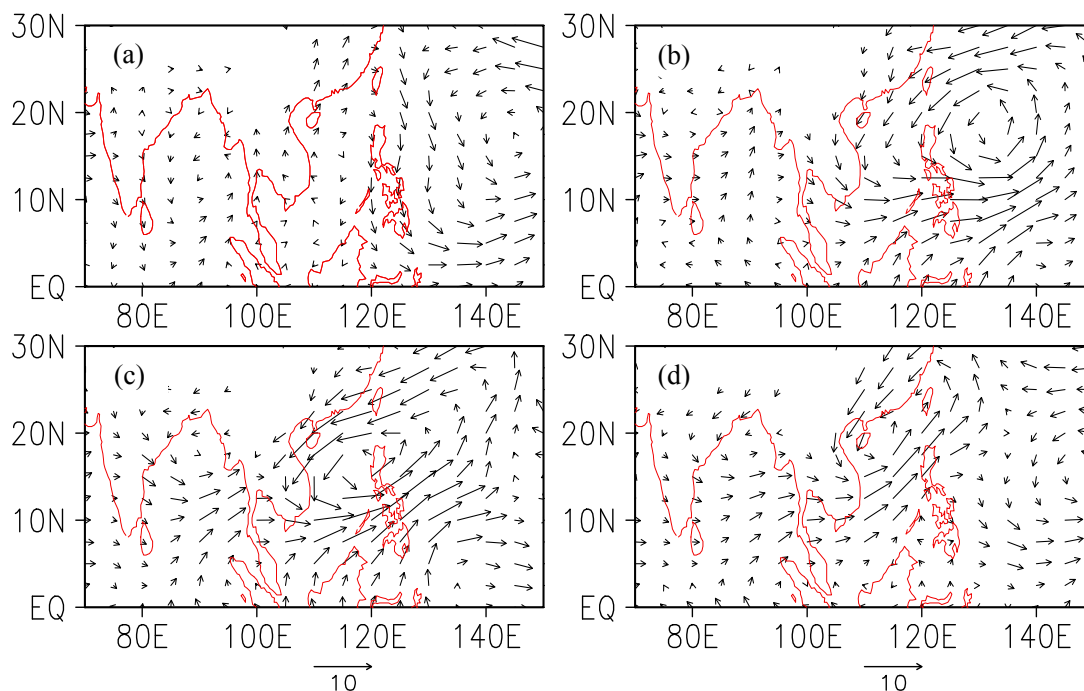


图 7 925 hPa 距平风场(m/s)合成图

a. -10 日; b. -5 日; c. 0 日; d. +5 日平均。

4 结论和讨论

(1) 南海夏季风活跃期,广州气溶胶的消光先增大后减弱,转折日期在南海夏季风活跃盛期前后。吸收系数在南海夏季风活跃盛期前 2 日达到极大,而散射系数在后 1 日达到极大。

(2) 非绝热过程在南海夏季风活跃期对行星边界层层结变化都有重要影响;平流项在南海夏季风活跃的前期对行星边界层层结变化有正贡献,在盛期则抑制了层结变化;绝热项与平流项正好相反。

(3) 南海夏季风活跃的前期,南海地区的对流活动较弱,对流中心位于西北太平洋地区,区域 115~120 °E,22.5~25 °N 的异常环流与平均

气流正好相反,大小相当,使得区域环境的风速较小;活跃盛期和后期,对流中心位于南海并向北推进,区域位于异常气旋性环流的北部,异常环流风速明显大于平均气流,从而使得区域环境的风速较大。

(4) 从南海夏季风开始活跃到盛期,区域的环境行星边界层层结经历了稳定倾向到不稳定倾向的变化,环境风场也经历了从小到大的改变,这些条件促使了气溶胶从积聚到扩散的变化,也使得消光系数从增长到减弱。南海夏季风盛期后,区域的环境行星边界层层结趋于稳定,但环境风场依然达到一定的强度,从而使气溶胶依然较易扩散,消光系数继续减弱或基本维持不变。

在环境风场很大时,一般风场的影响要比行星边界层层结变化更重要;但是当环境风场不是

很大，而行星边界层层结又越来越稳定，则二者的作用可能会相互抵消。如图 3c 和 3d、图 4 和图 7 所示，风场对气溶胶的影响在南海夏季风活跃期后起主要作用，但是在 +5 日前后，由于行

星边界层层结越来越稳定，而风场相对而言有所减弱，此时的气溶胶消光系数则基本没有变化，甚至略有上升。关于二者与气溶胶的定量关系，还需要进一步研究。

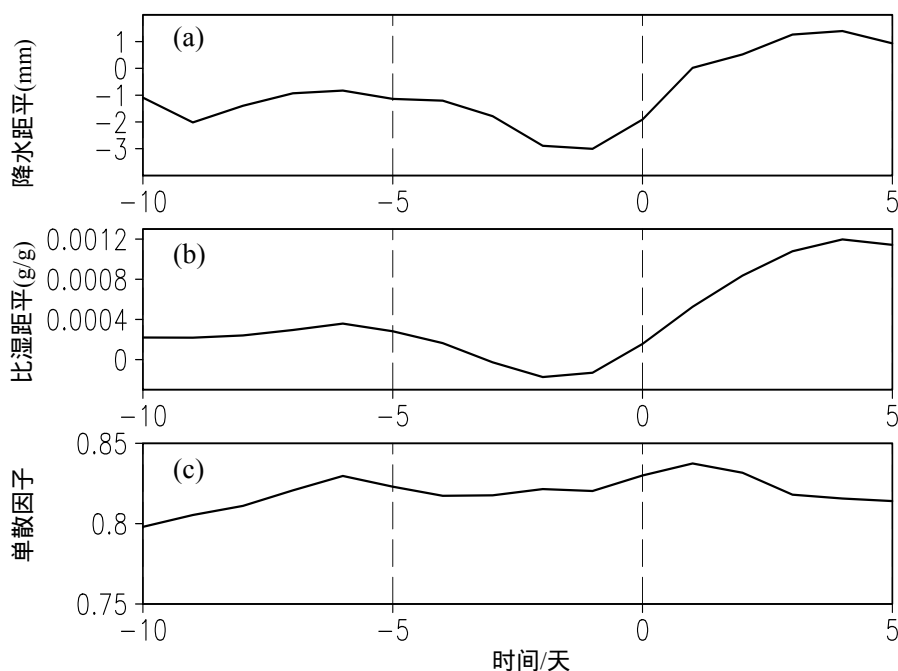


图 8 同图 3，但为 115~120°E, 22.5~25°N 平均降水距平(mm, a), 115~120°E, 22.5~25°N 平均比湿距平(g/g, b), 广州气溶胶单次散射因子(525 nm, c)。

此外，注意到南海夏季风活跃期间的吸收系数变化与环境风场和行星边界层层结变化关系虽然很好，但是在南海夏季风活动盛期前 2 日到后 1 日，散射系数在行星边界层趋于不稳定，而且环境风场又很大的情况下，依然保持上升趋势，这与前面的理解似乎存在矛盾。我们分析区域 115~120°E, 22.5~25°N 的环境平均比湿距平的变化，可以发现湿度从 -1 日开始有一个明显的增长过程(图 8b)，与降水的增加(图 8a)非常吻合。随着湿度的增大，气溶胶会吸湿增长从而增加其

散射特性^[26]。图 8c 显示的单次散射因子在 -1—+1 日的显著增大表明了气溶胶散射特性的增强，这很可能是气溶胶粒子吸湿后的散射贡献。但是随着降水的增大，湿清除作用使气溶胶粒子明显减少，从而使南海夏季风活跃期后的气溶胶散射系数开始减小。由此可见，南海夏季风活跃期间，广州气溶胶散射特性的变化与气溶胶的吸湿增长及降水的湿清除也有联系，这方面的研究也非常值得关注。

参 考 文 献：

- [1] BABU S S, MOORTHY K K. Anthropogenic impact on aerosol black carbon mass concentration at a tropical coastal station: a case study[J]. *Curr Sci*, 2001, 81(9): 1 208-1 214.
- [2] MEINRAT, O A. The dark side of aerosols[J]. *Nature*, 2001, 409(6821): 671-672.
- [3] MENON S, HANSEN J, NAZARENKO L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. *SCIENCE*, 2002, 297(5590): 2 250-2 253.
- [4] HOUGHTON J T, DING Y, GRIGGS D J, et al. IPCC Climate Change 2001: The Scientific Basis, Radiative forcing of climate change[R]. Cambridge, U K, Cambridge University Press, 2001.
- [5] RAMANATHAN V, CRUTZEN P J, MITRA A P, et al. The Indian Ocean Experiment and the Asian Brown Cloud[J]. *Current Science*, 2002, 83(8): 947-955.

- [6] WON, J G, YOON S C, KIM S W, et al. Estimation of Direct Radiative Forcing of Asian Dust Aerosols with Sun/Sky Radiometer and Lidar Measurements at Gosan, Korea[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2004, 82(1), 115-130.
- [7] LAU K M, RAMANATHAN V, WU G X, et al. The Joint Aerosol-Monsoon Experiment: A New Challenge for Monsoon Climate Research[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2008, 89(3): 369-383.
- [8] JACOBSON M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols[J]. Nature, 2001. 409(6821): 695-697.
- [9] LOHMANN U, LESINS G. Stronger constraints on the anthropogenic indirect aerosol effect[J]. Science, 2002, 298(5595): 1 012-1 015.
- [10] CAO J J, LEE S C, HO K F, et al. Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(11): 1 451-1 460.
- [11] PENNER J E, DONG X Q, CHEN Y. Observational evidence of a change in radiative forcing due to the indirect aerosol effect[J]. Nature, 2004, 427 (6971): 231-234.
- [12] 周秀骥, 李维亮, 罗云峰. 中国地区大气气溶胶辐射强度及区域气候效应的数值模拟[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 418-427.
- [13] 胡荣明, 石广玉. 中国地区气溶胶的辐射强迫及其气候响应试验[J]. 大气科学, 1998, 22(6): 919-925.
- [14] 刘毅, 王明星, 张仁健. 中国气溶胶研究进展[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(4): 406-414.
- [15] 罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 572-581.
- [16] REDDY, M S, VENKATARAMAN C. Atmospheric optical and radiative effects of anthropogenic aerosol constituents from India[J]. Atmos Environ, 2000, 34(26): 4 511-4 523.
- [17] DEVARA P C S, RAJ P E, PANDITHURAI G, et al. Relationship between lidar-based observations of aerosol content and monsoon precipitation over a tropical station, Pune, India[J]. Meteorological Applications, 2003, 10(3): 253-262.
- [18] CHEN W T, LIAO H, SEINFELD J H. Future climate impacts of direct radiative forcing of anthropogenic aerosols, tropospheric ozone, and long lived greenhouse gases[J]. J Geophys Res, 2007, 112, D14209, doi:10.1029/2006JD008051.
- [19] WANG C, KIM D, EKMAN A M, et al. Impact of anthropogenic aerosols on Indian summer monsoon[J]. Geophys Res Lett, 2009, 36, L21704, doi:10.1029/2009GL040114.
- [20] GU Y, LIU K N, XUE Y, et al. Climatic effects of different aerosol types in China simulated by the UCLA general circulation model[J]. J Geophys Res, 2006, 111, D15201, doi:10.1029/2005JD006312.
- [21] HUANG Y, CHAMEIDES W L, DICKINSON R E. Direct and indirect effects of anthropogenic aerosols on regional precipitation over East Asia. J Geophys Res, 2007, 112, D03212, doi:10.1029/2006JD007114.
- [22] SOLMON F, MALLETT M, ELGUINDI N, et al. Dust aerosol impact on regional precipitation over western Africa, mechanisms and sensitivity to absorption properties[J]. Geophys Res Lett, 2008, 35, L24705, doi:10.1029/2008GL035900.
- [23] HUANG J, ZHANG C, PROSPERO J M. Large-scale effect of aerosols on precipitation in the West African Monsoon region[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2009, 135(640): 581-594.
- [24] LIN J C, MATSUI T, PIELKE R A, et al. Effects of biomass burning derived aerosols on precipitation and clouds in the Amazon Basin: a satellite based empirical study[J]. J Geophys Res, 2006, 111, D19204, doi:10.1029/2005JD006884.
- [25] 吴兑. 华南气溶胶研究的回顾与展望[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 145-151.
- [26] 吴兑, 毛节泰, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特性的观测研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(11): 1 542-1 553.
- [27] KALNAY, E, KANAMITSU M, KISTLER R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(3): 437-472.
- [28] JANOWIAK, J E, ARKIN P A. Rainfall variations in the tropics during 1986-89, as estimated from observations of cloud-top temperature[J]. J Geophys Res, 96(Suppl): 3 359-3 373.
- [29] 郑彬, 林爱兰, 谷德军, 等. 利用大尺度环流确定 2006 年南海夏季风爆发日期[J]. 热带气象学报, 2009, 25(6): 690-696.
- [30] 郑彬, 蒙伟光. 2004 年南海夏季风的爆发及中南半岛陆面过程的可能影响 I: 诊断分析[J]. 气象学报, 2006, 64(1): 72-80.

VARIATION OF AEROSOL OPTICAL CHARACTERISTICS IN GUANGZHOU ON A BACKGROUND OF SOUTH CHINA SEA SUMMER MONSOON

ZHENG Bin, WU Dui, LI Fei, DENG Tao

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology/Key Laboratory of Regional Numerical Weather Prediction, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract: In order to study the variation of Guangzhou's aerosol optical characteristics on a large-scale background of South China Sea summer monsoon (SCSSM) and its possible cause, aerosol data derived at Panyu Atmospheric Composition Watch Station in Guangzhou and National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (USA) reanalysis data are used to take composite analysis and do physical diagnoses. Main results showed that aerosol extinction in Guangzhou increases first and then decreases during the active period of SCSSM. The data analyses indicate that stratification variation of the planetary boundary layer and environmental winds play important roles in affecting Guangzhou's aerosol optical characteristics. To a great extent, stratification of the planetary boundary layer is modified by regional diabatic heating and anomalous cyclonic circulation excited by monsoon convection would induce the environmental winds anomalies.

Key words : climatology; aerosol optical characteristics; composite analysis; South China Sea Summer monsoon