

南海台风状况下海气界面热量交换研究^{*}

吴迪生

(国家海洋局广州海洋预报台, 广州 510300)

(北京大学暴雨监测与预测国家重点实验室, 北京 100871)

邓文珍

(中国民航中南管理局空中交通管理局气象中心技术科研资料室, 广州 510405)

张俊峰 何一金 白毅平 宋萍萍

詹进源 林晓能 陈惠君 郭卫平

王祖渊 曹勇生 蔡扬

(国家海洋局广州海洋预报台, 广州 510300)

唐元春

(中山大学, 广州 510275)

摘 要 根据国家海洋局南海分局的 Marex (马瑞克斯) 数据浮标观测资料、南海断面线调查资料和西沙海洋站资料, 计算了南海海气界面热量交换值。研究结果表明: 不论是夏季还是秋季, 在台风环流内海气界面热量交换均非常强烈, 主要贡献来自潜热通量 (Q_v), 位于 (20.49°N, 114.14°E) 附近海域。夏季台风环流内显热通量 (Q_k) 出现负值, 海面有效反射辐射 (Q_e) 出现减弱现象; 秋冬季节台风环流内 Q_k 量值增加显著均为正值, Q_e 有加强的现象。分析实测资料发现: 1961~1989 年 8 次 El Niño 事件过程中, 西沙海洋站水温比赤道太平洋水温提早出现增暖现象的有 4 次, 水温推迟出现增暖现象的也是 4 次。西沙海洋站水温增暖出现在 12 月的仅有 1 次。El Niño 事件发生后, 南海水温异常增暖, 但是海气界面热量交换反而减弱。

关键词: 南海; 台风; 热量交换

1 引言

南海台风状况下海气界面热量交换研究, 是南海台风研究中一个极为基本而又重要的问题。南海台风状况下海气界面热量交换涉及极为复杂的大气物理和海洋物理结构变化过程, 它往往导致南海台风的突变, 尤其是近海台风突然加强在广东沿海登陆, 给人们造成巨大灾害和重大损失。

目前, 国内外对台风状况下海气界面热量交换研究进展十分缓慢, 原因是缺少台风内部观测资料。

1999-04-22 收到, 1999-12-28 收到再改稿

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分和国家自然科学基金资助项目 49675264 共同资助

2 资料和计算方法

本文采用国家海洋局南海分局的马瑞克斯(Marex)数据浮标(1986年4月~1987年5月)资料、南海断面线调查(1980~1989年)资料和西沙海洋站观测资料(1961~1989年),根据实测资料分析了南海台风状况下海气界面热量交换特征和事件过程中南海海面风场、气温、水温变化特征。本文气候季节是参照天文季节划分。

海洋的热量平衡计算方程可以写成如下形式:

$$Q_1 = Q_s - (Q_e + Q_v + Q_k), \quad (1)$$

式中 Q_1 、 Q_s 、 Q_e 、 Q_v 、 Q_k 分别表示总热量交换、海面吸收的短波辐射、海面有效反射辐射、潜热通量、显热通量^[1]。通常以 Q_s 表示海洋获得的热量,以 Q_e 、 Q_v 、 Q_k 表示海洋对大气的加热或冷却, Q_1 表示海气间的热量交换值即总热量交换值,本文主要对这几项进行讨论。下列(2)~(5)式引自文献[1]。

$$Q_s = Q_0(1 - ac - bc)(1 - r), \quad (2)$$

$$Q_e = S\sigma Q_w^4(0.39 - 0.058\sqrt{e_a})(1 - KC^2) + 4S\sigma Q_w^3(T_w - T_a), \quad (3)$$

$$Q_v = \rho_a C_e L(q_w - q_a)|V|, \quad (4)$$

$$Q_k = \rho_a C_e c_p(T_w - T_a)|V|, \quad (5)$$

式中 Q_0 为晴空时到达海面的太阳总辐射量^[2,3]; a 、 b 均为常数(取0.36)^[1]; C 为总云量(按10成来分); r 为海面对于短波辐射的平均反射率(取为0.06)^[2]; S 为海面长波辐射与完全黑体辐射之比(本文取0.95)^[2]; σ 为Stefan-Boltzmann常数, Q_w 为表层海水的绝对温度; e_a 为空气的水汽压(hPa); K 为云遮系数($K=0.50$)^[2]; T_w 和 T_a 分别为海面水温 and 气温; ρ_a 为空气密度(取 $1.17 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$); L 为水汽潜热^[1],本文取 $4.1868(597-0.6T_w) \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$; C_e 为水汽交换系数, C_e 的取值是一个十分重要而又比较复杂的问题,由于测量仪器和方法不统一,测量误差较大,至今仍未得到一个公认的量值,本文采用Bunker的计算结果^[4]。 q_w 为海面在表层水温下的饱和比湿; q_a 为空气的比湿; V 为全风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); $c_p = 1\,006.088\,04 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; (1)~(5)式计算结果的单位原为 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,现将各热量的计量单位统一表示为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$,日总量的单位均转化为 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

3 海气界面热量交换特征

3.1 夏季海气界面热量交换逐时变化特征

1号浮标位于(20.49°N, 114.14°E)附近所获8607号和8609号台风,4号浮标位于(22.26°N, 116.21°E)附近所获8616号台风过程实测资料,用上述方法计算海气界面间潜热 Q_v 、显热 Q_k 、海面有效反射辐射 Q_e 及海面吸收的短波辐射 Q_s ,并将部分计算结果绘成图1。图1a表明,1986年7月10日08时(北京时,下同)至7月28日

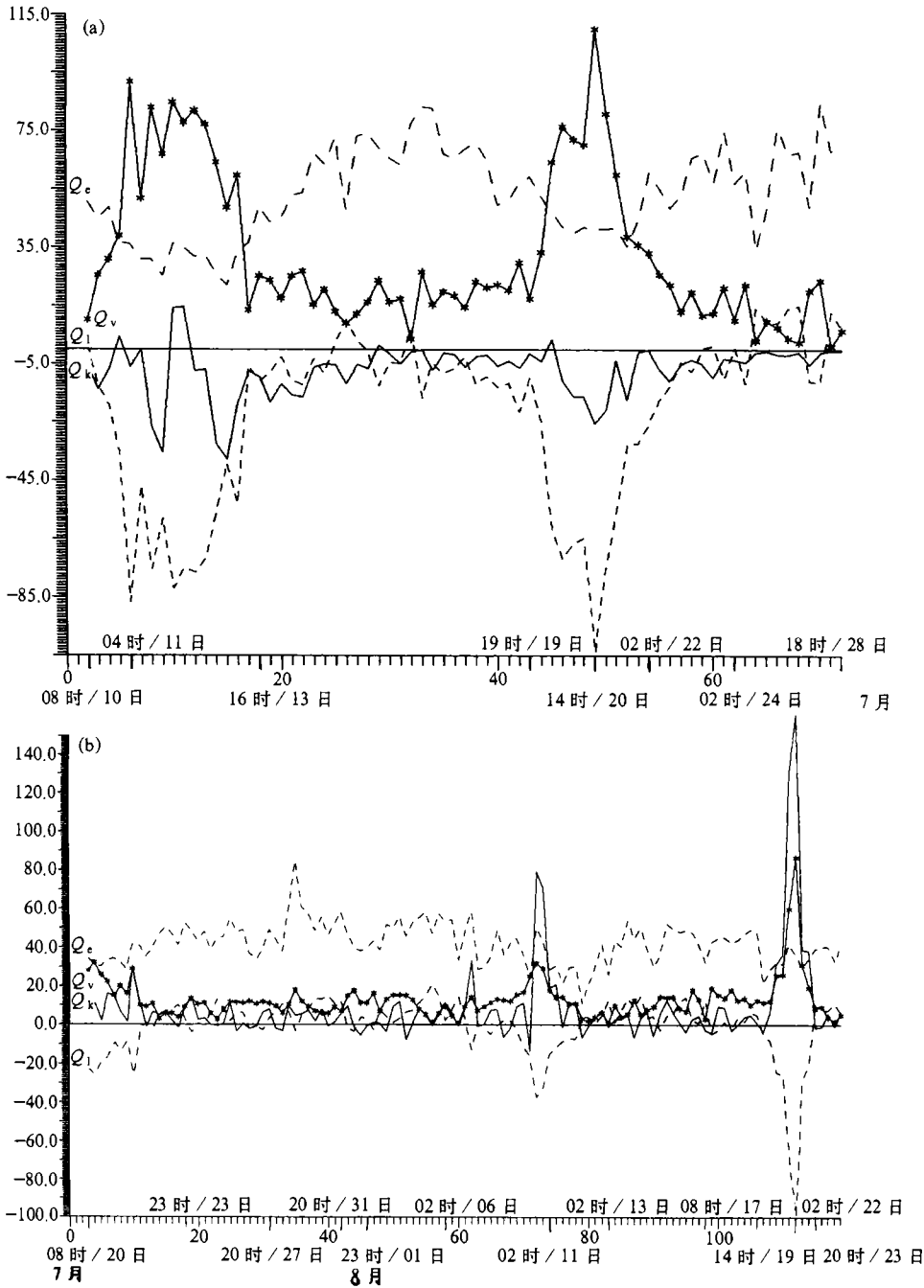


图1 海气界面热量平衡逐时变化曲线
纵坐标为海气界面热量(Q_e 、 $Q_v \times 10$ 、 $Q_l \times 10$ 、 Q_k , 单位: $W \cdot m^{-2}$)
(a) 1号浮标; (b) 4号浮标

18时, 1号浮标经历2次台风过程, 第一次是7月11日02时至13日16时, 第二次是7月19日19时至22日02时, 显著特点是 Q_e 、 Q_k 值明显减弱, 尤其是 Q_k , 有台风出现时变得更小。7月10日08时, 1号浮标实测气压999.5 hPa, 风向40°, 风速3.5

$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 表层水温 29.7°C , 气温 31.7°C , 相对湿度 38.4%, 总云量 7 成 (本文的云量均采用日本静止气象卫星 GMS-3 同步观测资料), 最大波高 3.3 m, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_1 分别为 $50.71 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $101.15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-5.51 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $160.56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $14.21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。这时 8607 号台风位于 (19.5°N , 119.4°E), 中心气压 950 hPa, 近中心风速 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。1 号浮标远离台风中心 580 km 不受台风环流影响, 虽然水温较高, 相对湿度较小, 但是, 气温比水温高 2°C , 风速也较小, 所以海气热量交换较弱。7 月 11 日 04 时, 台风中心位于 (21.6°N , 116.4°E) 附近, 中心气压 976 hPa, 近中心风速 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。1 号浮标离台风中心约 300 km, 进入 7 级台风环流内, 浮标实测气压 992.3 hPa, 风向 278° , 风速 $15.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水温 29.0°C , 气温 29.2°C , 相对湿度 50.8%, 最大波高 4.5 m, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_1 分别为 $36.11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $917.04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-6.18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $78.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-868.32 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。7 月 13 日 16 时, 8607 号台风位于 (23.2°N , 107°E) 附近已登陆减弱为低气压。1 号浮标不再受台风环流影响, 浮标实测值气压 1 005.6 hPa, 风向 160° , 风速 $5.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、水温 28.5°C 、气温 30.1°C 、相对湿度 60.4%, 最大波高 3.4 m, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_1 值分别为 $36.52 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $135.58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-7.31 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $107.98 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-56.81 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。第二次台风过程是 7 月 19 日 19 时至 7 月 22 日 02 时, 各种热量通量值的变化与第一次台风过程相类似。图 1b 表明, 在天气情况良好时, 海洋对大气加热过程中, 主要的贡献来自 Q_v 和 Q_e 。8 月 19 日 14 时, 8616 号台风位于 (17.7°N , 114.9°E), 中心气压 980 hPa, 近中心风速 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。4 号浮标远离 8616 号台风 530 km, 未受台风环流影响, 实测气压 1 005.6 hPa, 风向 52° , 风速 $5.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水温 29.5°C , 气温 29.4°C , 相对湿度 76%, 最大波高 2.1 m, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_1 值分别为 $47.88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $127.22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $0.83 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $224.27 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $48.34 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。台风系统到来之前, 天气晴好, 风速较小, 海水大量吸热。8 月 21 日 08 时, 8616 号台风位于 (22.3°N , 116.0°E), 中心气压 970 hPa, 最大风速 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (台风年鉴)。8 月 21 日 08 时 4 号浮标实测气压 957.1 hPa, 风向 167° 、风速 $36.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、水温 28.5°C 、气温 26.5°C 、相对湿度 96%, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_1 值分别为 $36.57 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $869.03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $161.38 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $78.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-988.33 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、海洋向大气大量输送热量。8 月 23 日 20 时, 8616 号台风位于 (24.3°N , 124.4°E), 中心气压 985 hPa, 近中心风速 $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。台风已远离 4 号浮标 900 km, 不受台风环流系统影响, 4 号浮标实测气压 1 007.0 hPa, 风向 69° 、风速 $3.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、水温 28.3°C 、气温 27.3°C 、相对湿度 81%, 最大波高 2.0 m, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_1 值分别为 $41.05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $51.49 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $6.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $160.56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $61.37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 这时大气向海洋大量输送热量, 海洋大量吸热^[5]。

从图 2a 中可以清楚地看到, 7 月 10 日 08 时至 7 月 12 日 04 时 8607 号台风期间, 及 7 月 19 日 19 时至 7 月 22 日 02 时 8609 号台风期间, 台风环流内, 表层水温及气温均是下降趋势, 水温的下降速度比气温还快。8 月 20 日 08 时至 8 月 22 日 08 时 4 号浮标受 8616 号台风环流影响, 表层水温及气温迅速下降, 但是, 气温的下降速度比水温快。图 2b 表明, 台风环流内空气的相对湿度较小时, 水温的下降速度比气温快, 反之则气温的下降速度比水温快。分析表明: (1) 台风环流内海气热量交换非常强烈, 海气热量交换主要贡献来自 Q_v , 海洋向大气输送热量为主。(2) 台风环流内水温、气温均

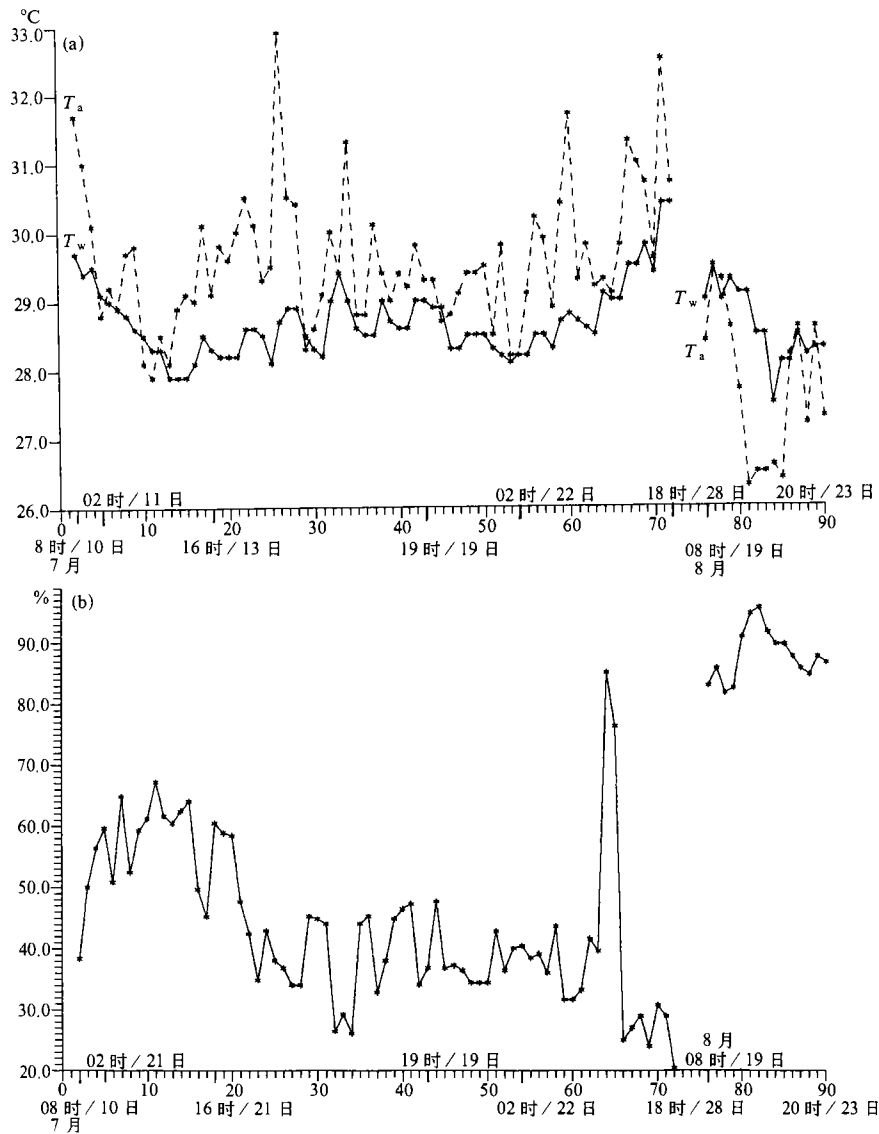


图2 水温、气温、相对湿度逐时变化曲线
(a) 水温(T_w)和气温(T_a); (b) 相对湿度

是下降趋势。相对湿度较小时, Q_e 出现减弱, Q_k 出现负值, 水温比气温下降更为显著^[6]; 相对湿度较高时, Q_v 、 Q_k 、 Q_e 值明显加强均为正值, 但气温比水温下降更快。

3.2 秋季海气热量交换逐时变化特征

1 号浮标所获冷空气过程, 及 8625 号台风过程中逐时水文气象资料 (1986 年 10 月 8 日 23 时至 1986 年 11 月 24 日 14 时), 用上述方法计算其海气热量交换值, 并将部分计算结果绘成图 3。由图 3 可见, 冷空气未到达之前即 28 日 14 时, 浮标实测值气压 1 009.9 hPa, 风速 $3.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水温 $26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 气温 $29.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 79.2%, 云量为 10 成, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_l 值分别为 $12.15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $30.12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 -7.50

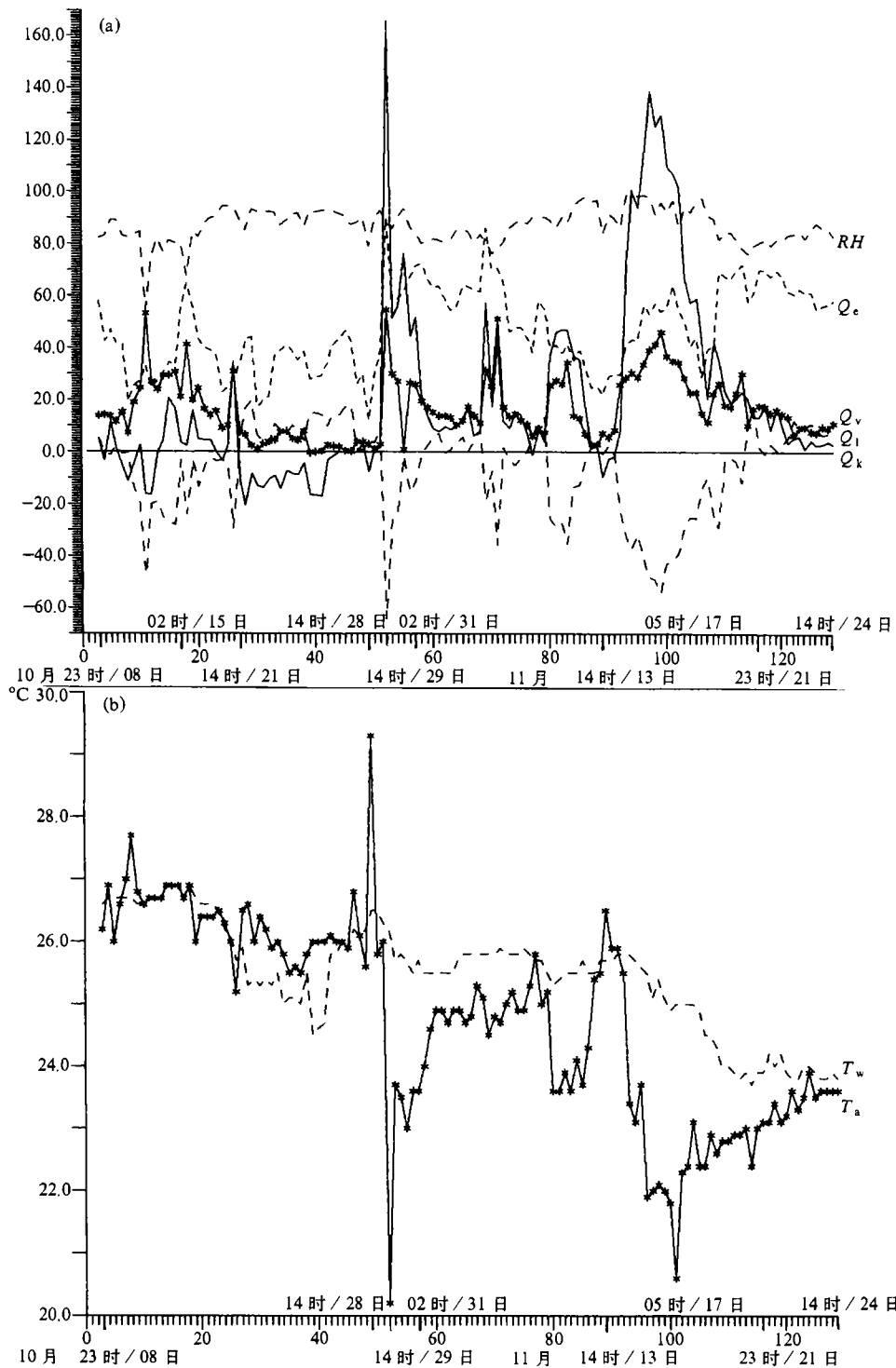


图3 海气界面热量交换、水温(T_w)和气温(T_a)逐时变化曲线

(a) 海气界面热量交换; (b) 水温(T_w)和气温(T_a)

(a) 中纵坐标为海气界面热量(Q_e 、 $Q_v \times 10$ 、 $Q_l \times 10$ 、 Q_k , 单位: $W \cdot m^{-2}$) 及相对湿度

$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $78.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $43.88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 这时大气向海洋大量输送热量。29 日 14 时冷空气到达后, 浮标实测气压 1017.3 hPa , 风速 $13.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水温 $26.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 气温 $20.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 88.8% , 24 h 内气温下降了 $9.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_l 值分别为 $90.03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $548.69 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $166.01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $160.56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-644.17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。由于水温比气温高 $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 风速较大, 相对湿度较大, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 迅速跃升, 这时海洋向大气大量输送热量。11 月 13 日 24 时至 21 日 23 时是台风及冷空气共同作用过程, 其显著特点是 Q_e 、 Q_v 、 Q_k 迅速跃升, 全部为正值, 气温、水温迅速下降。11 月 13 日 14 时 8625 号台风位于 (13.0°N , 121.9°E), 中心气压 990 hPa , 近中心风速 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。1 号浮标远离台风 1200 km , 冷空气也还未到达 1 号浮标附近的海域, 1 号浮标实测气压 1012.9 hPa , 风向 237° , 风速 $7.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水温 $25.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 气温 $26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 84% , 云量为 10 成, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_l 值分别为 $22.05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $73.32 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-9.47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $78.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-7.25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。17 日 05 时 8625 号台风位于 (17.8°N , 115.2°E) 附近, 在台风和冷空气的共同作用下浮标实测气压 1011.4 hPa , 风向 197° , 风速 $13.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水温 $25.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 气温 $20.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 96.8% , 最大波高 6.0 m , 云量 9 成, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 、 Q_s 、 Q_l 值分别为 $64.56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $351.59 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $107.31 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $107.98 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $-415.48 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在台风环流内, 气温下降了 $5.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 水温仅下降 $0.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 海气界面热量交换非常强烈, Q_e 、 Q_v 、 Q_k 全部为正值, 海洋向大气大量输送热量。分析表明: (1) 秋季, 台风环流内 Q_e 、 Q_v 、 Q_k 值全部为正值, 均显著增加, 气温、水温均是下降趋势。(2) 冷空气和台风共同作用下, Q_k 跃升最为显著。冷空气到来时, 气温迅速下降, 水温比气温高 $4.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 造成空气层结不稳定和强烈的垂直运动, 将低层的热量和水汽向上输送, 促进了海气界面的蒸发和热量交换^[7]。

3.3 夏、秋季节海气热量交换逐日变化

将 1 号浮标每天各时次观测的海面有效反射辐射 Q_e 求平均, 代表海面有效反射辐射, 同理可得潜热 Q_v 、显热 Q_k 和海面吸收的短波辐射 Q_s , 计算结果绘成图 4。由图 4 可见, 夏季南海水温虽然较高, 但海气界面热量交换反而减弱, 在海气界面热量交换的过程中, 主要是大气向海洋输送热量; 秋季南海水温虽然比夏季低, 但海气界面热量交换反而加强, 主要是海洋向大气输送热量。这一重要现象说明海洋对大气加热场的变化与海表面温度的变化并不一致, 海洋对大气加热场发生变化不仅是海表面温度的变化, 还有其他因子起着更为重要的作用。分析表明: (1) 这一海域台风环流内 Q_e 、 Q_k 夏季减弱秋季则加强, Q_e 、 Q_k 的值与相对湿度呈正相变化, Q_v 的值与相对湿度呈反相变化, Q_v 与风速、水气温差呈正相变化。(2) 夏季南海对大气的加热, 主要贡献来自 Q_v 和 Q_e 两个大项, 但在秋季冷空气过程及台风环流内 Q_k 的值比 Q_e 还要大。因此, 南海对大气提供加热及其变化不仅取决于海气温差的大小, 而且受海面上风场强度, 海洋上空云的情况, 空气中水汽含量及气候季节等因子的影响^[8]。

4 海气界面热量交换的季节变化

南海断面线调查 (1980~1988 年) 的水文气象实测资料计算结果(图 5)表明: 南海

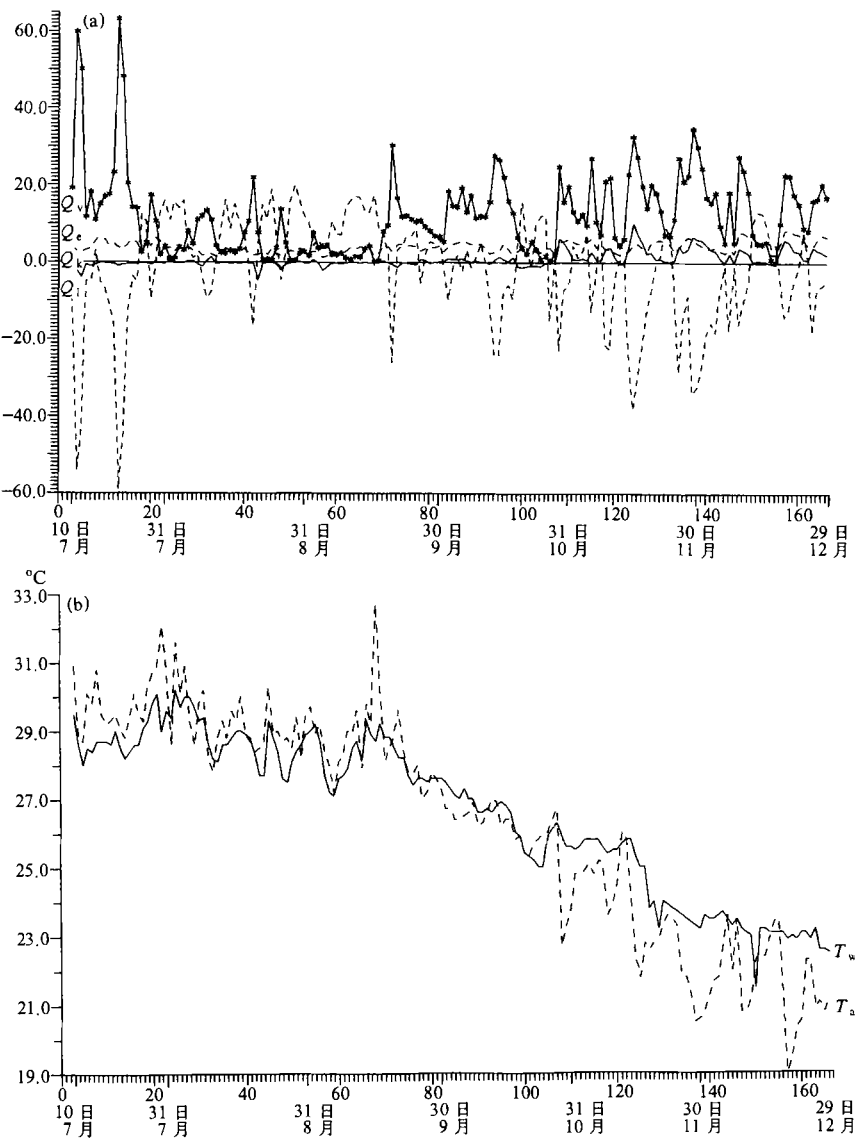


图4 海气界面热量交换日总量、水温、气温、风速、相对湿度日平均值变化曲线
(a) 海气界面热量交换日总量; (b) 水温(T_w)、气温(T_a);
(a) 中纵坐标为海气界面热量交换日总量(Q_v 、 Q_e 、 Q_k 、 Q_l , 单位: $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

北部海域,春、夏季主要是大气对海洋加热,总热量交换值 Q_l 为正值。春、夏季天气晴好,海面主要受西南季风控制,海面风速较小,气温高于水温,在海气交换过程中,大气向海洋输送热量的同时,海洋大量吸收太阳的短波辐射。秋、冬季节 Q_l 为负值,海气热量交换过程中海洋向大气大量输送热量,即海洋对大气加热。秋、冬季海面受东北季风控制,冷空气不断南下影响南海,海面风速较大,气温迅速下降,水温高于气温,水气温差加大,垂直运动加强,海气热量交换反而加强。海气界面热量交换春、夏减弱秋、冬季加强的现象还有待作更多的现场实测。

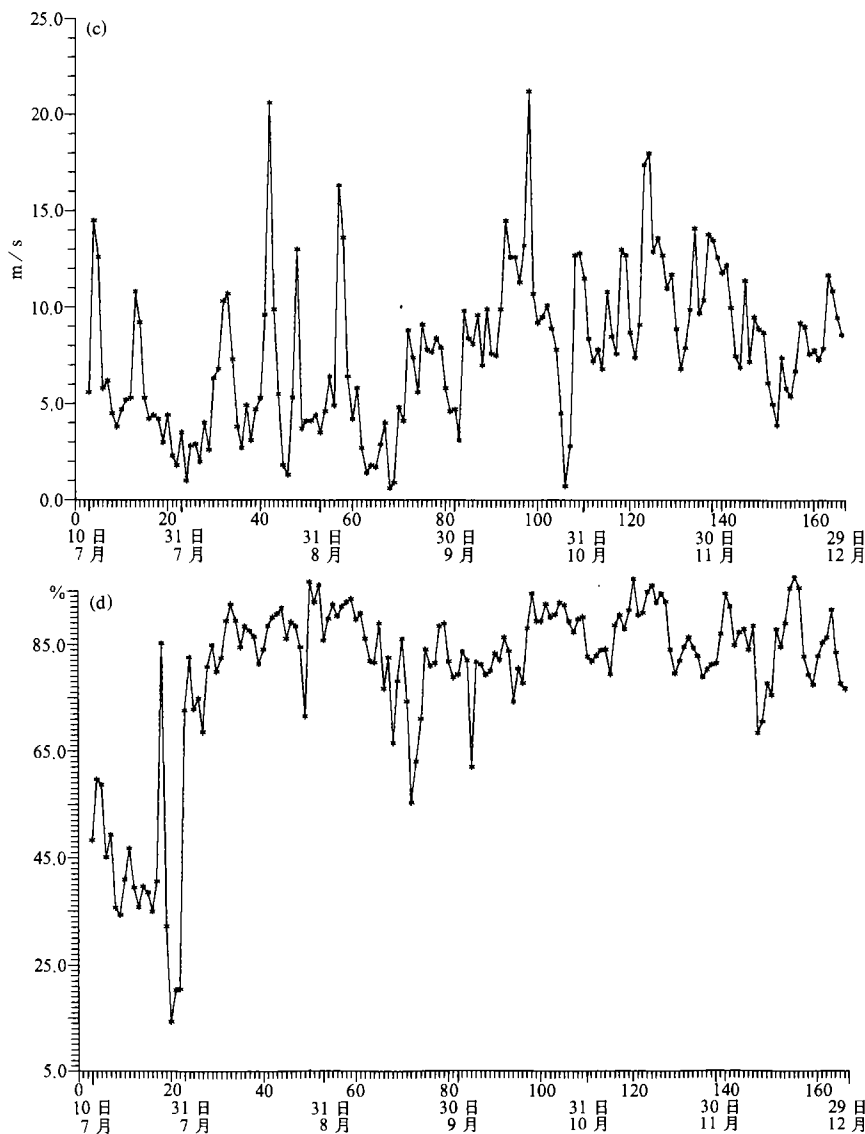


图 4 (续) 海气界面热量交换日总量、水温、气温、风速、相对湿度日平均值变化曲线
(c) 风速 (V); (d) 相对湿度

5 海气热量交换的变化与 El Niño 的关系

图 5 还表明, 1987 年 2 月虽然日平均水温、气温比 1986 年 2 月分别高 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 但是潜热 (Q_v)、显热 (Q_e) 却分别比 1986 年 2 月减少 $17.2\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $4.5\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 风速也减小 $3.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。1986 年 4 月南海水温开始出现增暖现象, 1986 年 8 月东太平洋热带海域水温出现增暖现象^[9], 说明 El Niño 事件发生前, 南海对大气加热非常强烈; El Niño 事件发生后, 南海对大气加热反而减弱, 大气对南海的加

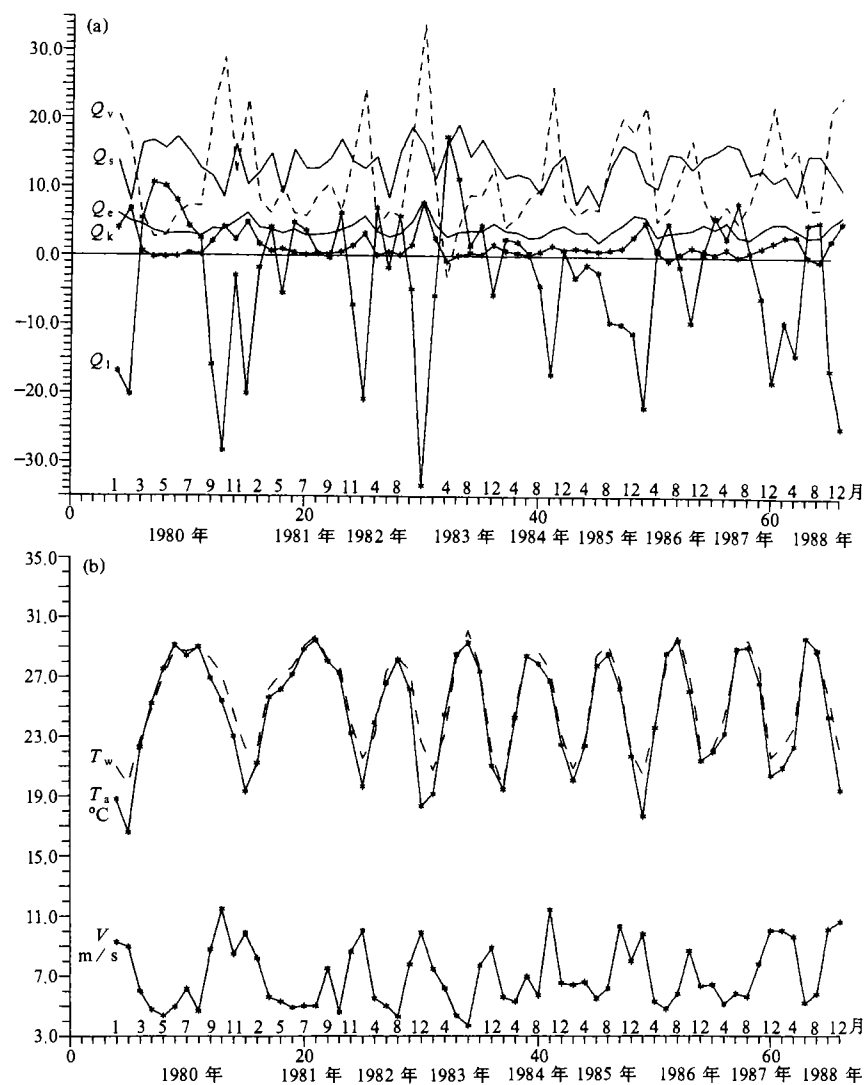


图5 南海(1980~1988年)海气界面热量交换日总量、水温、气温、风速各月日的平均值
(a) 海气界面热量交换日总量; (b) 水温(T_w), 气温(T_a), 风速(V)
(a) 中纵坐标为海气界面热量交换日总量(Q_s 、 Q_v 、 Q_e 、 Q_k 、 Q_i , 单位: $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

热加强。1982~1983年El Niño事件发生时,南海也出现类似的情况。1981年12月由于南海东北季风较强,风速达到 $10.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,南海海气热量交换非常强烈, Q_v 值达到 $24.4\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,1982年3月南海水温出现增暖现象。1982年El Niño事件发生后,即1982年12月南海东北季风加强,日平均风速 $9.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,气温为 $18.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,水温为 $22.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,南海海气热量交换更加强烈, Q_v 、 Q_k 值分别达到 $33.8\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $7.74\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。结果1983年春、夏季大气对南海加热进一步加强,1983年8月南海出现暖池现象^[10]。分析表明:El Niño事件发生后,南海水温虽然增暖,但是春、夏季节海气界面间的热量交换反而减弱,南海SST增暖区的海面上却是潜热(Q_v)、显热(Q_k)通量的低值区,1983年4月 Q_v 、 Q_k 还出现负值现象,海洋中的大量热量

并没有被释放到大气中去。为什么在 El Niño 年增暖强烈的南海海气热量交换反而减弱呢？从目前的实测资料研究后认为，事件发生时，南海春、夏季的平均风速比常年减弱，水温虽然比常年增暖，但气温也比常年增暖，海气温差变小，造成海气界面的垂直运动减小，海气热量交换减弱。这一现象还需要作更多的现场观测和研究。

南海西沙海洋站的水温观测资料（图 6）表明：1961~1989 年赤道太平洋共发生了 8 次 El Niño 事件^[9]，从水温增暖的情况来看，南海也有 8 次水温增暖的过程，其中 4 次增暖现象比赤道太平洋提早出现，1979 年 1 月南海西沙水温开始出现增暖现象，比赤道太平洋提早 7 个月^[9]。另外 4 次是推迟出现，1972 年 10 月南海西沙水温开始出现增暖现象，比赤道太平洋推迟 8 个月^[9]。南海西沙水温从增暖开始的时间看，在上半年开始增暖仅有 3 次，其余 5 次是在下半年开始增暖，发生在 12 月开始增暖的仅有 1 次（1986 年）。

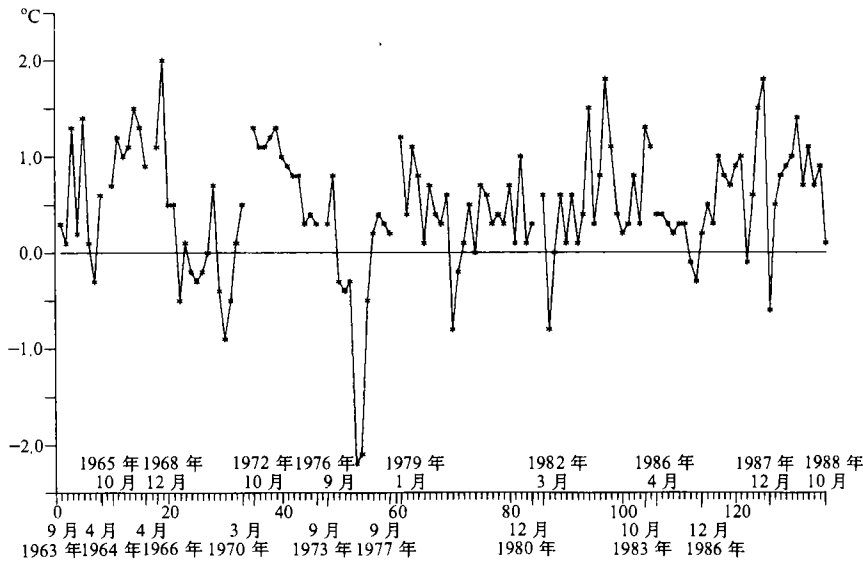


图 6 南海西沙海洋站（1961~1989 年）水温逐月距平时间序列（单位：℃）

6 结论

- (1) 在台风环流内海气界面热量交换非常强烈。
- (2) 夏季，位于（20.49°N，114.14°E）附近海域的台风环流内，潜热通量与显热、海面有效反射辐射通量变化的趋势不一致。
- (3) 秋季，在台风环流内，潜热、显热及海面有效反射辐射变化趋势比较一致。
- (4) 南海海气界面热量交换的变化与海表面温度（SST）变化趋势不一致。
- (5) 春、夏季节海气界面热量交换过程中，主要是海洋吸收太阳的短波辐射，海洋对大气加热现象减弱；秋、冬季节，海洋对大气加热现象加强。
- (6) El Niño 事件发生前，南海海气热量交换非常强烈；El Niño 事件发生后，南海海气热量交换反而减弱。

(7) 1961~1989 年赤道太平洋共发生 8 次 El Niño 事件, 其中 4 次南海西沙水温增暖现象比赤道太平洋提早出现, 另外 4 次是推迟出现。12 月西沙水温发生增暖现象的仅有 1968 年。

致谢: 感谢罗会邦教授、贺海晏教授、高绍凤教授对本文的指导。

参 考 文 献

- 1 国家海洋局, “向阳红09”海洋调查船中太平洋西部调查报告, 北京: 海洋出版社, 1981, 12~39.
- 2 布德科, 地表热量平衡, 北京: 科学出版社, 1960, 28~45.
- 3 范隆, H. 编, 许启望等译, 大洋气候, 北京: 海洋出版社, 1990, 275~286, 386~387.
- 4 Bunker, A. F., computations of surface energy flux and annual air sea interaction cycles of the North Atlantic ocean, *Mon. Wea. Rev.*, 1976, **104**, 1122~1140.
- 5 吴迪生, 热带西太平洋海—气热量交换特征研究, 中国科学技术协会首届青年学术年会论文集 (理科分册), 北京: 科学出版社, 1992, 611.
- 6 吴迪生, 热带西太平洋海—气热量通量研究II, 热带气旋状况下海—气热量交换的特征, 大气科学, 1996, **20** (5), 533~540.
- 7 吴迪生, 热带西太平洋海—气热量交换研究, 海洋学报, 1995, **17** (4), 41~54.
- 8 国家海洋局科学技术司, 热带西太平洋海气相互作用综合研究, 北京: 海洋出版社, 1993, 35~112, 174~217.
- 9 王世平, 埃尔尼诺事件的判据、分类和特征, 海洋学报, 1991, **13** (5), 612~620.
- 10 吴迪生, 南海水温变化对中国降水的影响, 南海资源与环境研究文集, 广州: 中山大学出版社, 1999, 322~330.

A Research on Air-Sea Interface Heat Exchange under the Typhoon over the South China Sea

Wu Disheng

(Guangzhou Marine Observatory, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300)

(Laboratory for Severe Storm Research, Peking University, Beijing 100871)

Deng Wenzhen

(Meteorological Center of Air Traffic Administration of the Mid-Southern China Technology Research and Information Office, Guangzhou 510405)

Zhang Junfeng, He Yijin, Bai Yiping, Song Pingping, Zhan Jinyuan,
Lin Xiaoneng, Chen Huijun, Guo Weiping, Wang Zuyuan,
Cao Yongsheng and Cai Yang

(Guangzhou Marine Observatory, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300)

Tang Yuanchun

(Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract On the basis of data collected by the South China Sea Branch Marex buoy, science research of the South China ocean and observation station on Xisha, we computed the value of air-sea heat exchange over the South China sea. The research results show that in the circumfluence of the ty-

phoon, the air-sea heat exchange is very strong in summer and autumn. The main contribution to the heat is from latent heat fluxes (Q_v). In summer, there is negative sensible heat fluxes (Q_k) near the ocean of (20.49°N, 114.4°E), and the net long wave radiation appears to be very weak. But in autumn and winter, in the same area, the sensible heat fluxes (Q_k) is added so much that its value becomes positive. At the same time, the net long-wave radiation (Q_e) becomes stronger in the two seasons than that in summer. Analysing the data from the SST of Xisha, we can find that in the eight El Niño events of 1961 to 1989, there are four El Niño events during which SST of Xisha became warm earlier than that of the equatorial Pacific and the other four El Niño events during which the SST of the Xisha became warm later than SST of the equatorial Pacific. There was only one event during which the SST in Xisha became warm in December. When El Niño occurred, the sea surface temperature of the South China Sea became warmer. However, the air-sea heat exchange became weaker.

Key words: South China Sea; typhoon; heat exchange

著名气象学家高由禧院士逝世

我国著名气象学家高由禧院士, 因病于 2001 年 3 月 3 日在兰州逝世, 终年 82 岁。

高由禧院士 1920 年 2 月生于福建省福清市, 1944 年夏季毕业于当时的重庆中央大学(现南京大学)地理系, 1945 年起先后在原南京中央气象研究所、北京中国科学院地球物理研究所工作。1959 年任中国科学院兰州地球物理研究所副所长, 1974 年后任中国科学院兰州高原大气物理研究所研究员、所长、名誉所长。1980 年当选为中国科学院院士。高由禧院士还是《大气科学》的顾问编委。

高由禧先生 1948 年发表了他的第一篇论文《东亚自由大气之运行》, 首先提出中国有冬季风的新概念。他先后从事台风、东亚季风气候、青藏高原气象、干旱气候以及华南气候等领域的研究, 撰写或合作撰写论文近百篇, 编著或合作编著专著 8 本。在这些论著中, 先生详尽地探讨了东亚季风气候的形成原因和季风进退的某些特征, 提出我国主要雨带随东亚夏季风的北进南退而北进南退的观点, 是开创我国东亚季风早期研究的前辈和权威。先生提出了全球有海陆季风、南北半球季风、对流层行星季风、平流层季风 and 高原季风等五种季风及相应的形成机制; 提出了季风区是全球大气运动最重要的能量源区。先生还和合作者们提出了青藏高原地区是大气变化的敏感区、能汇区、启动区和扰动区等概念。

高由禧院士参与策划并组织领导了我国多项重要研究项目。1972~1982 年任青藏高原气象科研协作领导小组副组长(首席科学家), 卓有成效地组织了南亚高压、青藏高原气候图集和青藏高原低涡等三大会战研究; 1978~1982 年任青藏高原气象科学试验领导小组组长, 于 1979 年 5~8 月在人烟稀少的青藏高原上开展了我国第一次大型野外观测试验, 开创了我国高原气象研究的新阶段; 1982 年 7 月~1983 年 6 月组织领导了兰州高原大气物理研究所连续一年的高原地面热源观测试验。高由禧院士还于 1987~1994 年间任中日合作的、中国科学院和国家自然科学基金委重大项目《黑河地区地气相互作用观测试验研究》项目负责人, 揭示了干旱区地气相互作用的若干新事实。在这些项目中, 先生辗转各地, 亲自选择观测站址, 组织课题, 检查执行情况, 精心筹划, 呕心沥血, 为我国青藏高原气象科学的发展, 为干旱区的地-气相互作用研究作出了重大贡献。

(钱正安、汤懋苍)