

利用浮标资料初步评估 NCEP 再分析湍通量

史 剑¹, 闻 斌², 王 凯¹

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 总参气象水文中心, 北京 100081)

摘 要:通过与浮标观测资料的对比分析, 指出 NCEP 动量通量、再计算 NCEP 热通量更能够代表 NCEP 再分析数据库的数值模拟效果。当风速大于 20m/s 时, 数值模拟的湍通量低于浮标块体湍通量, 当风速在 10 ~ 20m/s 时, 数值模拟的湍通量高于浮标块体湍通量。同时还发现数值模拟结果的延迟现象, 以及不能反映大风过后快速的海气温差变化而引起的感热通量变化。

关键词: 浮标资料; NCEP 再分析; 湍通量

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2007) 2 - 0074 - 09

1 引言

海-气界面之间的动量通量(风应力)和感热通量、潜热通量总称为湍通量。虽然海洋大气之间的很多物理交换过程已经被了解, 但是对现行模式中湍通量交换的模拟仍然面临很大的挑战。海洋-大气耦合模式的核心就是如何准确地对海-气界面之间的各种通量进行参数化。因此, 准确估计海-气界面的湍通量非常重要。

NCEP-NCAR (National Centers for Environment Prediction-Nation Center for Atmospheric Research) 再分析资料中的湍通量产品经常被作为驱动场用来驱动海洋、大气模式, 因此, NCEP-NCAR 再分析资料中的湍通量的精确程度直接影响到预报结果。Renfrew^[1], Sun^[2], Yu^[3] 曾将 NCEP-NCAR 再分析资料的湍通量(下文称该湍通量为 NCEP 湍通量)与由浮标的水文气象参数计算出的湍通量(下文称该湍通量为浮标块体湍通量)进行对比, 发现这两种湍通量存在较大的差异; Sun^[2], 史剑^[4] 细致的比较了 NCEP 湍通量与利用 NCEP-NCAR 再分析资料中的水文气象要素计算出的湍通量(下文称该湍通量为再计算 NCEP 湍通量), 认为这两种湍通量也存在较大的差异。本文利用 NCEP-NCAR 再分析资料和浮标观测资料, 对以上 3 种湍通量进行比较, 其目的就是评估浮标区内的 NCEP 湍通量、再计算 NCEP 湍通量的精确程度。

2 资料和方法

文中选取日本浮标(21004) 1999 年 5 月 5 日到 2000 年 7 月 10 日、(22001) 1999 年 10 月 27 日到 2000 年 10 月 21 日的 7.5m 高度处的大气温度、湿球温度、风速和 1m 水深

处的海水温度资料。浮标每 3 小时测 1 次数据，但当风速超过 18m/s 时就立即改为 1 小时测 1 次。这两个浮标分别位于 (29°00'N, 135°00'E)、(28°21'N, 126°20'E)。NCEP-NCAR 再分析资料选取的是日平均再分析资料，包括海面 2m 高度处的大气温度、比湿，海面表皮温度，海面 10m 高度处的风速，以及 NCEP-NCAR 提供的海气动量通量、感热通量、潜热通量。

将 NCEP-NCAR 再分析资料和浮标资料作对比时，在空间上如果最接近浮标的再分析资料的位置离浮标位置的距离小于 75km，则选取该再分析资料进行计算和比较；如果不是，则利用浮标位置处周围四点的再分析资料值进行双线性差值和浮标资料进行对比。在时间上，将由浮标的水文气象要素计算出来的浮标块体湍通量进行日平均，与 NCEP-NCAR 再分析资料在时间上匹配，便于比较分析。

NCEP-NCAR 再分析资料包括有 NCEP1 (NCEP/NCAR Reanalysis 1)、NCEP2 (NCEP/DOE Reanalysis 2) 资料。NCEP2 相对 NCEP1 较新，是 NCEP1 的升级版，但 NCEP2 和 NCEP1 的再分析-预报系统具有同样的分辨率且用的是相同的原始观测数据，且 NCEP2 和 NCEP1 中的湍通量算法也是一样的，但是 NCEP2 中一些大气模式中的参数与 NCEP1 不一样，如短波辐射和云的参数以及海面反射率等，同时 NCEP2 和 NCEP1 的同化数据源以及同化方法也不一样 [5 ~ 7]。

文中利用水文气象参数计算湍通量时，用的是空气动力学块体算法 COARE3 (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment version 3.0) [8]，该算法被认为是目前能最准确的计算出湍通量的块体算法之一 [9]，并被国内外研究者广泛运用 [3、4、10]。

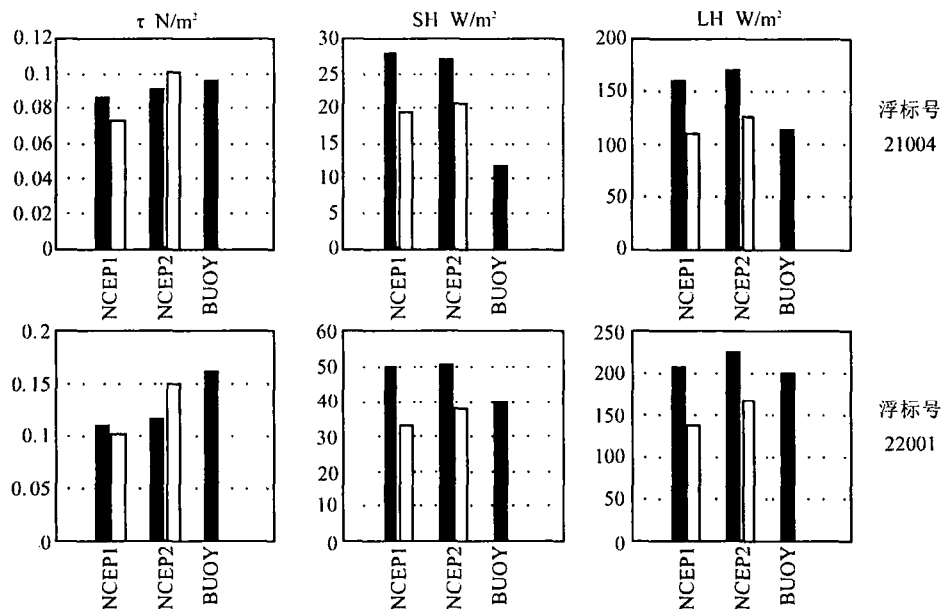


图 1 NCEP1 的湍通量、NCEP2 的湍通量以及浮标块体湍通量的均值

3 对比湍通量

图 1 显示了 NCEP1 的湍通量、NCEP2 的湍通量以及计算出的浮标块体湍通量在本文给出的时间段内的平均值。在图中，黑色柱型条分别代表 NCEP1 湍通量、NCEP2 湍通量、浮标块体湍通量，白色柱型条分别表示再计算 NCEP1 湍通量、再计算 NCEP2 湍通量。图中清晰显示出 NCEP 动量通量均低于浮标的动量通量，而 NCEP 感热、潜热通量均高于浮标的感热、潜热通量，但再计算 NCEP 湍通量并未较 NCEP 湍通量更接近所有的浮标块体湍通量。

为了能更细致的比较各种湍通量，这里引入平均偏差、均方根误差、相关系数 (ME ， RMS ， R) 三个统计量，如下：

$$ME=\overline{Y}-\overline{X}$$
(1)

$$RMS=\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(Y_i-X)^2\right]^{1/2}$$
(2)

$$R=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(X_i-\overline{X})(Y_i-\overline{Y})/\sigma_x\sigma_y$$
(3)

其中 X 表示浮标块体湍通量， Y 表示 NCEP 湍通量或再计算 NCEP 湍通量。

表 1 浮标 21004 处 NCEP 湍通量以及 NCEP 再计算湍通量的 ME、RMS、R

	动量通量	感热通量	潜热通量	湍通量类型
ME	-0.009	16.04	45.77	NCEP1
	-0.023	7.620	-3.754	NCEP1（再计算）
	-0.005	15.16	55.03	NCEP2
	0.005	8.838	11.51	NCEP2（再计算）
RMS	0.050	27.91	67.78	NCEP1
	0.060	13.09	43.95	NCEP1（再计算）
	0.051	30.07	220.4	NCEP2
	0.071	17.66	45.13	NCEP2（再计算）
R	0.846	0.948	0.28	NCEP1
	0.803	0.936	0.915	NCEP1（再计算）
	0.846	0.950	0.912	NCEP2
	0.793	0.941	0.909	NCEP2（再计算）

从表 1 中可以看出，再计算 NCEP1(NCEP2)感热、潜热通量的 ME、RMS 较 NCEP1 (NCEP2) 感热、潜热通量的 ME、RMS 要小，同时他们的 R 非常的接近，说明再计算 NCEP 热通量的值更接近浮标湍通量；再计算 NCEP1 (NCEP2) 动量通量的 ME、RMS 较 NCEP1 (NCEP2) 动量通量的 ME、RMS 大或相接近，且再计算 NCEP1 (NCEP2) 动量通量的 R 较 NCEP1 (NCEP2) 动量通量的 R 小，可以认为 NCEP 动量通量更接近浮标块体湍通量。

表 2 浮标 22001 处 NCEP 湍通量以及 NCEP 再计算湍通量的 ME、RMS、R

	动量通量	感热通量	潜热通量	湍通量类型
ME	-0.051	9.853	8.945	NCEP1
	-0.059	-6.955	-60.62	NCEP1 (再计算)
	-0.046	10.35	26.32	NCEP2
	-0.012	-2.014	-31.95	NCEP2 (再计算)
RMS	0.151	28.88	66.40	NCEP1
	0.157	18.85	63.23	NCEP1 (再计算)
	0.142	32.05	258.5	NCEP2
	0.149	18.76	57.99	NCEP2 (再计算)
R	0.613	0.919	0.882	NCEP1
	0.585	0.917	0.881	NCEP1 (再计算)
	0.659	0.924	0.873	NCEP2
	0.623	0.922	0.870	NCEP2 (再计算)

表 2 给出了浮标 22001 处 NCEP 湍通量以及 NCEP 再计算湍通量的 ME、RMS、R。由表可知，除了浮标 22001 处再计算 NCEP1 潜热通量的 ME 比 NCEP1 潜热通量的 ME 大、再计算 NCEP2 潜热通量的 ME 与 NCEP2 潜热通量的 ME 较接近，其余情况下的再计算 NCEP1 (NCEP2) 感热、潜热通量的 ME、RMS 比 NCEP1 (NCEP2) 感热、潜热通量的 ME、RMS 要小或较接近，同时他们的 R 非常接近，可以认为在大部分情况下的再计算 NCEP 热通量较 NCEP 热通量更接近浮标块体湍通量；除了浮标 22001 处再计算 NCEP2 动量通量的 ME 较 NCEP2 动量通量的 ME 小之外，其余情况下的再计算 NCEP 动量通量的 ME、RMS 较 NCEP 动量通量的 ME、RMS 大，且再计算动量通量的 R 较 NCEP 动量通量的 R 略小，这说明在大部分情况下，NCEP 动量通量较再计算 NCEP 动量通量更接近浮标块体湍通量。

综合以上分析，认为在浮标 21004、22001 附近，再计算 NCEP 热通量的值更接近浮标湍通量，NCEP 动量通量更接近浮标块体湍通量。

4 大风过程中湍通量之间的差异

经过上面的分析比较，NCEP 动量通量、再计算 NCEP 热通量更能够代表 NCEP 再分析资料的数值模拟效果，并且由于 NCEP2 是 NCEP1 升级版，因此下面利用 NCEP2 动量通量、再计算 NCEP2 热通量与浮标块体湍通量进行比较。由于 NCEP 动量通量、再计算 NCEP 热通量均是直接或间接的来自 NCEP-NCAR 再分析预报系统，因此，下文统称为数值模拟的湍通量。

取浮标 21004 处由 2000 年 1 月 11 日至 2000 年 3 月 30 日 80 组的日平均资料，浮标 22001 处由 2000 年 7 月 4 日至 2000 年 9 月 21 日 80 组日平均资料进行比较分析。利用 COARE3 算法将资料全部统一到海面 10m 高度处，以方便比较。在图 2 中，细实线代表浮标数据，粗实线代表数值模拟的结果。选取这两个时间段是因为在这两个时间段内均

有大风过程,具有很好的代表性。

图2显示在2月8日和2月16日附近出现了大风过程,数值模拟的动量通量在这两个时间均较大,且2月8日数值模拟的动量通量比2月16日的略大,但在2月16日处,无论是浮标块体动量通量还是浮标测得的风速均比2月8日处的大,因此,可认为NCEP2动量通量在大风时出现了不稳定的现象。对比数值模拟的动量通量和浮标块体动量通量可知,在2月8日和2月16日附近,数值模拟的结果高估了动量通量。

海气温差在1月20日和1月27日附近均有较大的值(见图3),这就导致海气感热通量的值比较大。同时,也可以看出1月20日和1月27日附近的海气温差比2月8日和2月16日附近略大,但1月20日和1月27日附近的感热通量却比2月8日和2月16日附近的小。对比风速可以看出,1月20日和1月27日附近的风速比2月8日和2月16日附近的要小,可见风是造成1月20日和1月27日附近的感热通量比2月8日和2

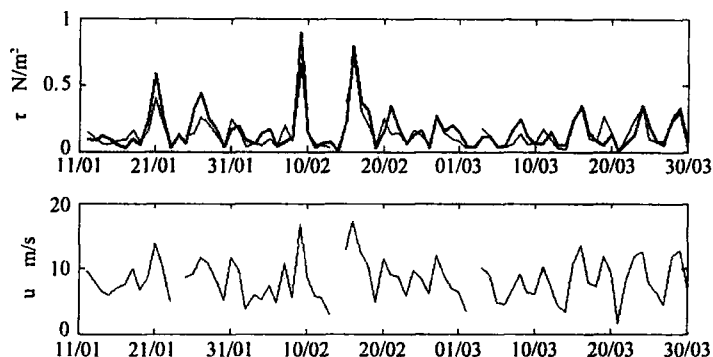


图2 浮标21004处日平均的动量通量和10m高度处的风速

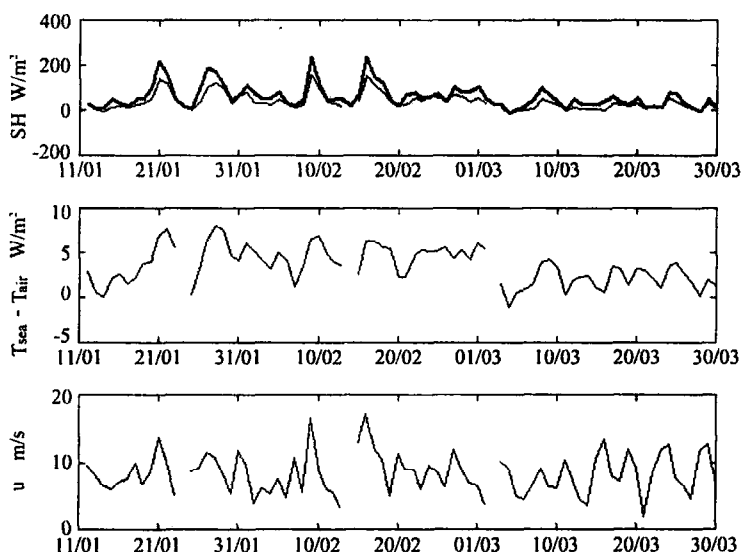


图3 浮标21004处日平均的感热通量,10m高度处的空气温度与海表面空气温度的海气温度差,10m高处的风速

月 16 日附近小的原因，即风对感热通量的影响很大，风越大使得海气之间感热交换越强烈。对比数值模拟的感热通量和浮标的块体感热通量，发现数值模拟的结果高估了感热通量，在海气温差大和风速大的地方，高估明显。

在图 4 中，数值模拟的潜热通量与浮标块体潜热通量吻合的很好。同图 4 中的感热通量一样，在 2 月 8 日和 2 月 16 日附近，潜热通量较大，这主要是由风速较大引起的，即风对潜热通量的影响同样很大，大风对应着较强烈的潜热交换。

数值模拟结果在 8 月 8 日、9 月 12 日附近明显低估了动量通量（如图 5），而在 8 月 28 日附近明显高估了动量通量。从图 5 中可知，在 8 月 8 日、9 月 12 日处风速均超过 20m/s。而在 8 月 28 日风速在 10 ~ 20m/s 之间。因此，可以认为数值模拟结果在风速大

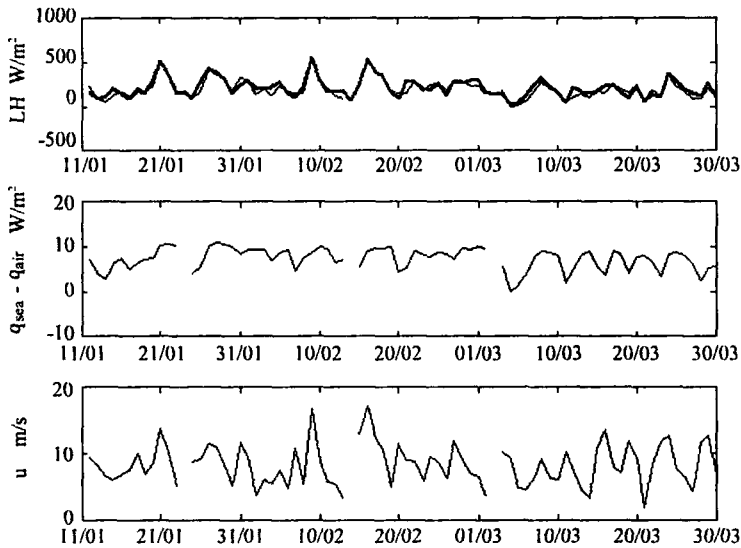


图 4 浮标 21004 处日平均的潜热通量，10m 高处的空气湿度与海表面的空气湿度的海气湿度差，10m 高处的风速

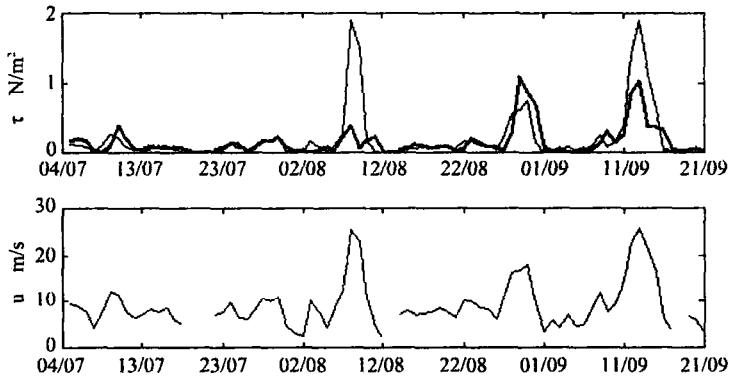


图 5 浮标 22001 处日平均的动量通量，10m 高度处的风速

于 20m/s 时低估了动量通量,而风速在 10 ~ 20m/s 之间时高估了动量通量。浮标 21004 附近的两次大风过程中出现的数值模拟的动量通量被高估,也是可以得出同样的结论,因为其中的两次大风过程风速也未超过 20m/s。

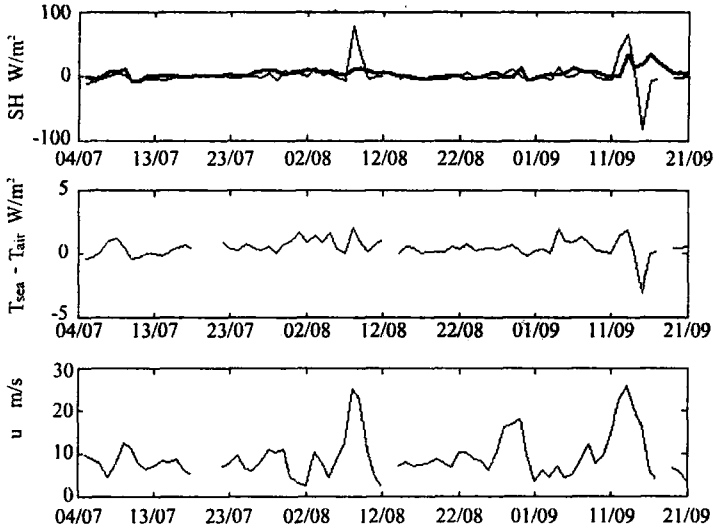


图 6 浮标 22001 处日平均的感热通量, 10m 高处的空气温度与海表面的空气温度的海气温差, 10m 高处风速

由图 6 可知,在 8 月 8 日、9 月 13 日处数值模拟的感热通量明显被低估,而在 8 月 28 日附近略高估了感热通量,因此,数值模拟的感热通量与数值模拟的动量通量有一定的相似之处,即在风速大于 20m/s 被低估,风速在 10 ~ 20m/s 时被高估。在 9 月 15 日附近,即大风过后,感热通量有一个明显减小的情况,这主要因为海气温差引起的,但这在 NCEP2 中没有体现。同时,值得注意的是在 8 月 8 日、8 月 28 日处 NCEP2 感热通量的峰值均偏后浮标的感热通量,即出现了延迟现象。从图中可知,在 8 月 8 日、8 月 28 日、9 月 13 日附近感热通量较大,而对应的海气温差并不大,因此,这 3 处较大的感热通量主要也是风引起的。

8 月 8 日、9 月 13 日处数值模拟的潜热通量明显被低估(见图 7),而在 8 月 28 日附近高估了潜热通量,与数值模拟的动量通量的情况很相似,因此,数值模拟的潜热通量在风速大于 20m/s 被低估,风速在 10 ~ 20m/s 时被高估。

值得注意的是,在 8 月 8 日、8 月 28 日、9 月 13 日处 NCEP2 潜热通量的峰值均偏后浮标块体潜热通量,即出现了严重的延迟现象。从图中可知,在 8 月 8 日、8 月 28 日、9 月 13 日附近潜热通量较大,而海气湿度差较大值出现在 7 月 8 日、8 月 2 日、9 月 5 日、9 月 16 日、9 月 20 日附近,潜热通量较大处与海气湿度差较大并不对应。因此,可以认为这 3 处较大的潜热通量主要也是由风引起的。

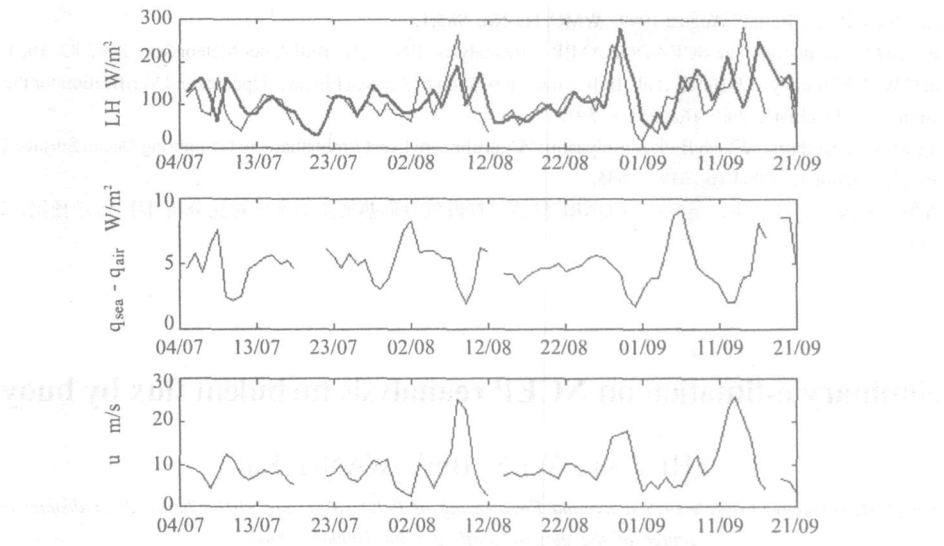


图 7 浮标 22001 处日平均潜热通量，10m 高处的空气湿度与海表面的

5 结论与讨论

本文对比了浮标块体湍通量与 NCEP 湍通量以及再计算 NCEP 湍通量的 ME、RMS、R，发现 NCEP 动量通量、再计算 NCEP 热通量更能够代表 NCEP 再分析数据库的数值模拟效果。

为了评估高风速过程中数值模式的湍通量模拟的精确度，选取大风时段进行对比，发现浮标 21004、22001 处，风速大于 20m/s 时数值模拟的湍通量偏低与浮标块体湍通量，当风速在 10 ~ 20m/s 时，数值模拟的湍通量偏高与浮标块体湍通量。

浮标 22001 处数值模拟的结果没有体现出大风过后因快速的海气温差变化而引起的感热通量变化，同时也发现数值模式的结果相对于浮标块体湍通量有延迟的情况，但在浮标 22001 处的潜热通量较明显。

参考文献：

[1] Renfrew I A, G W K Moore, P S Guest, K Bumke. A comparison of surface layer and surface turbulence flux observation over the Labrador Sea with ECMWF analyses and NCEP reanalyses [J]. J Phys Oceanogr., 2002,32 : 383 ~ 400.

[2] Sun Bomin, Lisan Yu, Robert A. Weller. Comparisons of Surface Meteorology and Turbulent Heat Fluxes over the Atlantic : NWP Model Analyses versus Moored Buoy Observations [J]. J Climate, 2003,16 :679 ~ 695.

[3] Yu Lisan, Robert A , Weller, Bomin Sun. Mean and Variability of the WHOI Daily Latent and Sensible Heat Fluxes at In Situ Flux Measurement Sites in the Atlantic Ocean [J]. J Climate, 2004,17 :2096 ~ 2118.

[4] 史 剑, 赵栋梁, 孙 建. 块体空气动力算法的再计算湍通量与 NCEP 湍通量的比较 [J]. 中国海洋大学学报. 2006, 36 :15 ~ 19.

[5] Kalnay E ,coauthors. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996,77 : 437 ~ 471.

- [6] Kanamitsu M , coauthors. Overview of NCEP/DOE reanalysis-2, Proceedings of the Second WCRP International Conference on Reanalysis [C]. UK, 237 August 1999, WMO/TD-No. 985,1.
- [7] Kanamitsu M, coauthors. The NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2002,83 :1631 ~ 1643.
- [8] Fairall C W, E F Bradley, J E Hare, et al. Bulk Parameterization of Air-Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm [J]. J Climate, 2003,16 : 571 ~ 591.
- [9] Brunke M A , coauthors. Which Bulk Aerodynamic Algorithm are Least Problematic in Computing Ocean Surface Turbulent Fluxes [J]. J Climate, 2003,16 :619 ~ 635.
- [10] 杨清华, 张蕴斐, 孙兰涛, 吴辉碇. COARE 算法估算海气界面热通量的个例对比分析 [J]. 海洋预报, 2005,22 : 1 ~ 13.

A preliminary estimation on NCEP reanalysis turbulent flux by buoy data

SHI Jian¹, WEN Bin², WANG Kai¹

(1. College of Meteorology, Institute of Science and Engineering of P LA, Nanjing 21101 China ; 2. Hydrometeorological center of the general staff, Beijing 100081 China)

Abstract : The comparisons and analysis of turbulent flux between NCEP reanalysis data and buoy data show that NCEP momentum flux and recalculated NCEP heat flux can represent the effect of numerical simulation of NCEP reanalysis database better. When wind speed exceeds 20m/s, the turbulent flux of numical simulation is smaller than buoy bulk turbulent flux. When wind speeds occur from 10m/s to 20m/s, the turbulent flux of numical simulation is larger than buoy bulk turbulent flux. Meantime, the delay phenomena of numical simulation result is found, and the change of sensitive heat flux caused by the quickly change of air sea temperature difference after large wind can not be expressed well.

key words : Bouy data ; NCEP reanalsis ; turbulent flux