

NCEP 再分析资料和浮标观测资料计算海气热通量的比较

黄艳松^{1,2}, 宋金宝¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 对来自于美国国家环境预报中心公布的 NCEP1、NCEP2 再分析资料和来自于定点布放在黄海北部的浮标观测资料进行了比较和分析。结果是: NCEP 再分析资料中的海表气象参数(风速、湿度、气温、海表温度)是可信的。在统计意义上, NCEP2 给出的海表气象参数比 NCEP1 与浮标观测值更接近, 而净辐射通量则是 NCEP1 更接近于浮标观测值; 使用更合理的块体公式计算出的湍流热通量来代替 NCEP 数据库中已计算好的湍流热通量来驱动海洋模式是很有必要的; 与应用浮标观测资料计算的净热通量相比较, NCEP1 的再计算净热通量低估了 42%, 而 NCEP2 的再计算净热通量高估了 5%。使用混合风场(高风速下采用 NCEP1 的风速资料, 其余情况下使用 NCEP2 的风速资料)计算的再计算湍流热通量与浮标观测结果更加接近。这为研究中国近海选用合适的再分析资料提供了借鉴和参考。

关键词: NCEP 再分析资料; 浮标资料; 辐射通量; 感热通量; 潜热通量

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)12-0113-08

海-气热交换在海气相互作用过程中起着非常重要的作用。海表净热通量(F_{nh})包括向下短波辐射通量(F_{ds})、向下长波辐射通量(F_{dl})、向上短波辐射通量(F_{us})、向上长波辐射通量(F_{ul})、感热通量(H_s)和潜热通量(H_L)。这些通量被用来驱动海洋模式并检验气象预报模式结果的可信度。但由于现场观测资料的匮乏, 我们对这些通量参数了解很少。目前使用最广泛的用于为海洋、大气模式提供初始场且验证模式结果正确与否的通量产品来自于 NCEP 再分析资料。NCEP 再分析资料是由美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)协作, 对来源于地面、船舶、无线电探空、探空气球、飞机、卫星等气象观测资料进行同化处理, 研制的全球气象资料数据库, 包含一天 4 次、日平均和月平均 3 种时间格式的数据。NCEP 再分析资料分为两个版本, 即 NCEP1(NCEP/NCAR Reanalysis 1)和 NCEP2(NCEP/DOE Reanalysis 2)。NCEP2 是 NCEP1 的升级版, 两者具有相同的分辨率且用的是相同的原始观测数据, 其感热和潜热通量算法相同, 但两者在涉及到辐射通量的一些参数上、同化数据源和同化方法是不一样的^[1-3]。关于 NCEP 再分析资料在世界大洋各个区域的可信性评估前人已经作了很多工作, 包括: 阿拉伯海^[4]、热带太平洋^[5-7]、东北大西洋^[8-9]、拉布拉

多海^[10]、北大西洋的西边界流^[11]、南半球^[12]、印度洋^[13-14]、中国南海^[15]和中国东海^[16]。NCEP 再分析资料在不同区域表现不同, 文献[17]根据东南阿拉伯海的浮标资料结果指出 NCEP 再分析资料低估了海表气象学参数, 进而低估了海表的感热通量和潜热通量; 文献[4]应用阿拉伯海上另一点观测资料, 文献[9]应用东北大西洋的浮标观测资料分别指出 NCEP 再分析资料计算的湍流热通量存在高估现象。比较研究表明 NCEP 再分析资料与现场观测资料计算结果之间的差异在不同的区域甚至同一区域不同时间内都是表现不同的^[18-19]。

在本文研究中, 我们对 NCEP 再分析资料中的海表气象学参数及其海表热通量与布放在黄海北部的浮标观测资料及通量计算结果进行了比较。对其可信度进行了初步检验和评估, 以便为研究中国近海选用合适的再分析资料提供借鉴和参考。

收稿日期: 2011-01-25; 修回日期: 2011-10-07

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2011CB403501); 中国科学院创新重要方向项目群项目(KZCX2-YW-Q07-02); 国家基金委创新群体项目(40821004)

作者简介: 黄艳松(1983-), 女, 河北秦皇岛人, 博士研究生, 研究方向: 物理海洋学, E-mail: huangyansong.student@sina.com; 宋金宝, 通信作者, 电话: 0532-82898506; E-mail: songjb@qdio.ac.cn

1 观测数据及数据处理方法

本文资料对应时间为 2009 年 9 月 26 日到 2009 年 11 月 20 日(世界时)。现场观测资料来自于布放在黄海北部 122°44.355'E 和 39°02.908'N 的锚定浮标观测数据,关于该浮标的具体描述可见文献[20]。浮标上距离海面 6.8 m 左右的常规气象站可以每分钟输出一风速(U)、风向、大气温度(T_{air})、大气压力(P)和相对湿度,应用 T_{air} 、 P 和相对湿度,我们计算出比湿 Q ;海面以下 0.2 m 左右的水温仪每 5 s 观测一次水温,我们将其作为海表温度 T_{sea} ;另外,在距离海面 4 m 左右的浮标桁架上还安装了 4 个辐射仪,可以分别观测 F_{ds} 、 F_{dl} 、 F_{us} 和 F_{ul} ,辐射通量也是每分钟观测一次。所有的数据在使用之前都经过了质量控制。6.8 m 处常规风速仪观测到的风速通过中性条件下对数定律^[23]转换成 10 m 风速 U_{10} ;感热通量和潜热通量是通过 COARE3.0 块体通量程序^[22]计算得到的。为了与 NCEP 再分析资料进行对比,我们对浮标观测到的海表气象参数、辐射通量和湍流热通量进行日平均。

关于 NCEP 再分析资料日平均 U_{10} 、 Q 、 T_{air} 、 T_{sea} 、 F_{ds} 、 F_{dl} 、 F_{us} 、 F_{ul} 、 H_s 和 H_L 来自于两个数据库 NCEP/NCAR Reanalysis 1 与 NCEP/DOE Reanalysis 2,分别命名为 NCEP1 和 NCEP2。为了与浮标数据进行对比,我们采用最邻近插值法将 NCEP 再分析资料空间插值到锚定浮标的位置。

为了更细致地比较 NCEP 再分析资料与浮标资料给出的海表气象学参数和热通量间的异同,我们考虑平均偏差、相对误差、均方根误差和相关系数 4 个统计量,计算公式如下:

$$\text{平均偏差} = |\bar{Y}| - |\bar{X}| \quad (1)$$

$$\text{相对误差} = [(|\bar{Y}| - |\bar{X}|) / |\bar{X}|] \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{均方根误差} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2} \quad (3)$$

$$\text{相关系数} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) / (\sigma_X \sigma_Y) \quad (4)$$

其中 X_i 表示浮标资料时间序列, Y_i 代表 NCEP 再分析资料时间序列,上划线代表平均值,“| |”表示取绝对值, σ 代表均方差。

2 结果

2.1 气象学参数比对

图 1 给出了来自于浮标、NCEP1 和 NCEP2 的

U_{10} 、 Q 、 T_{air} 、 T_{sea} 数据的日平均时间序列图。可以看出 NCEP 资料与浮标观测资料之间还是存在一定差异的。表 1 给出了 NCEP 资料与浮标观测资料中海表气象参数及各种热通量的对比,表 2 给出了 NCEP 再计算热通量(应用 NCEP1、NCEP2 海表气象资料而采用 COARE3.0 块体通量程序计算出的热通量)与浮标观测资料计算结果的对比,包括平均偏差、相对误差、均方根误差和相关系数,计算方法见公式(1)~(4),表格中的 F_{ns} 代表净短波辐射通量($F_{ns}=F_{us}-F_{ds}$), F_{nl} 代表净长波辐射通量($F_{nl}=F_{ul}-F_{dl}$), F_{nr} 代表净辐射通量($F_{nr}=F_{ns}+F_{nl}$)。

图 1(a)为海面 U_{10} 时间序列。可以看出, NCEP 再分析资料与浮标观测风速变化趋势基本一致(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相关系数分别为 0.76,0.79);在风速小于 11 m/s 时, NCEP1 和 NCEP2 风速资料一般要低于浮标观测风速, NCEP2 与浮标观测的风速更接近;当风速大于 11 m/s 时, NCEP1 和 NCEP2 一般要高于浮标观测风速, NCEP1 与浮标观测的风速更接近。该结果与文献[15,16]存在相似性。

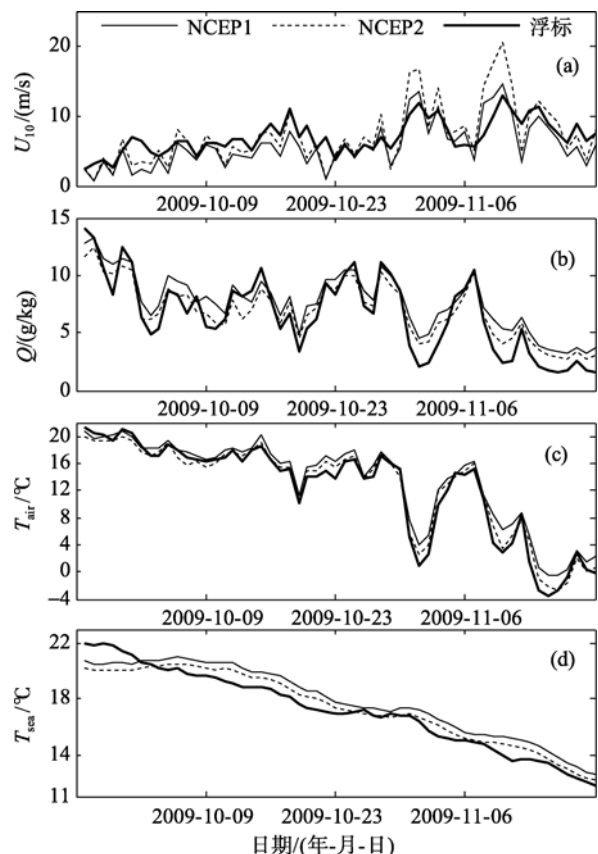


图 1 海表气象参数日平均值的时间序列

Fig. 1 Time series plots of daily averaged values of marine meteorological parameters

表 1 NCEP 再分析资料与浮标观测资料之间的比对

Tab. 1 Comparison of NCEP reanalysis and buoy data

参数	平均误差		相对误差(%)		均方根误差		相关系数	
	NCEP1	NCEP2	NCEP1	NCEP2	NCEP1	NCEP2	NCEP1	NCEP2
U_{10} (m/s)	-1.22	0.22	-17.69	3.19	2.43	2.82	0.76	0.79
Q (g/kg)	1.1	0.3	16.18	4.64	1.6	1.2	0.96	0.96
T_{air} ()	1.22	0.27	9.96	2.24	1.69	1.02	0.99	0.99
T_{sea} ()	0.70	0.22	1.08	0.34	1.00	0.75	0.97	0.97
F_{ds} (W/m ²)	44.56	45.56	34.13	34.89	56.69	59.91	0.77	0.71
F_{dl} (W/m ²)	-13.30	-26.07	-4.24	-8.31	22.97	31.43	0.90	0.93
F_{us} (W/m ²)	21.47	1.33	201.98	12.55	21.96	3.12	0.63	0.63
F_{ul} (W/m ²)	9.15	10.94	2.33	2.78	13.57	16.35	0.95	0.91
H_s (W/m ²)	28.83	44.69	41.41	64.19	59.25	81.00	0.96	0.97
H_L (W/m ²)	50.95	90.96	32.19	57.47	91.59	128.69	0.92	0.93
F_{ns} (W/m ²)	23.09	44.23	19.26	36.88	40.91	57.77	0.77	0.71
F_{nl} (W/m ²)	22.45	37.01	28.16	46.43	27.54	39.15	0.83	0.90
F_{nr} (W/m ²)	0.65	7.22	1.61	17.95	33.52	36.83	0.68	0.67
F_{nh} (W/m ²)	79.14	128.44	42.16	68.44	152.27	210.85	0.95	0.96

表 2 NCEP 再计算湍流热通量与浮标观测资料计算结果的对比

Tab. 2 Comparison of NCEP recomputed turbulence heat fluxes and that from buoy data

参数	平均偏差		相对误差(%)		均方根误差		相关系数	
	NCEP1	NCEP2	NCEP1	NCEP2	NCEP1	NCEP2	NCEP1	NCEP2
H_s (W/m ²)	-23.01	9.21	-33.04	13.22	35.61	35.82	0.98	0.96
H_L (W/m ²)	-52.00	7.39	-32.85	4.67	70.40	54.02	0.92	0.90
F_{nh} (W/m ²)	-75.66	9.37	-40.31	5.00	101.38	93.35	0.96	0.94

文献[15]给出了中国南海现场观测资料和 NCEP2 资料的对比, 除科学 3 号比较结果外其他 4 组比较结果均在风速小于 10 m/s 时, NCEP2 风速资料要低于浮标观测风速。文献[16]应用东海浮标资料指出当风速处于 10~20 m/s 之间时, NCEP 再分析资料中的动量通量要高于浮标资料计算的结果, 因为动量通量高也代表着风速高, 所以这一点与本文风速的比较结果是一致的。对于整个比较期间, NCEP1 风速与浮标风速之间的平均误差为-1.22 m/s, 平均低估风速达 17.69%, NCEP2 风速与浮标风速之间的平均误差为 0.22 m/s, 平均高估风速为 3.19%, NCEP2 风速的长期平均值更接近于浮标风速的长期平均值。

图 1(b)为海面以上 2 m 处 Q 日平均值的时间序列。NCEP1、NCEP2 和浮标的 Q 变化趋势基本一致 (NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相关系数分别为 0.96,0.96), NCEP1、NCEP2 的 Q 在相对湿度较低时存在高估现象, NCEP2 的 Q 更接近于浮标测量值。 Q 高估会造成潜热通量结果低估。文献[25]也指出在地球热带之外, NCEP1、NCEP2 的 Q 普遍存在高估现

象。对于整个比较期间, NCEP1 的 Q 与浮标 Q 之间的平均误差为 1.1 g/kg, 平均高估 Q 达 16.18%, NCEP2 的 Q 与浮标 Q 之间的平均误差为 0.3 g/kg, 平均高估 Q 为 4.64%, NCEP2 的 Q 的长期平均值更接近于浮标 Q 的长期平均值。

图 1(c)为海面 T_{air} 日平均值时间序列。与 Q 比较结果相类似, NCEP1、NCEP2 和浮标的 T_{air} 结果变化趋势基本一致(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相关系数分别为 0.99,0.99); 在开始风速较弱的 6 d 里, NCEP1、NCEP2 的 T_{air} 存在低估现象; 6 d 之后, NCEP1、NCEP2 的 T_{air} 结果普遍存在高估现象, 尤其是相对湿度比较低时更明显; NCEP2 的 T_{air} 结果更接近于浮标观测值。文献[17]指出在季风爆发前即弱风下 NCEP 再分析气温资料存在低估现象, 这与本文在弱风下得到的结论相一致。文献[23]指出在地球热带之外, NCEP1、NCEP2 的大气温度结果普遍存在低估现象, 这与本文结果不太一致。对于整个比较期间, NCEP1 的 T_{air} 与浮标 T_{air} 之间的平均误差为 1.22 , 平均高估 T_{air} 达 9.96%, NCEP2 的 T_{air} 与浮标 T_{air} 之

间的平均误差为 0.27，平均高估 T_{air} 为 2.24%，NCEP2 的 T_{air} 长期平均值更接近于浮标 T_{air} 的长期平均值。

图 1(d)为海表水温日平均值时间序列。可以看出，NCEP1、NCEP2 的 T_{sea} 资料与真实的 T_{sea} 总体变化趋势相似(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的 R 分别为 0.97,0.97); 在大部分时间里 NCEP1、NCEP2 的 T_{sea} 资料存在高估现象; 9月末 NCEP1、NCEP2 的 T_{sea} 资料存在低估现象; NCEP2 的 T_{sea} 结果更接近于浮标观测值。另外，NCEP 再分析 T_{sea} 资料指的是皮温，而我们浮标观测到的 T_{sea} 指的是水下 0.2 m 左右的海水温度，关于这两种温度的关系在文献[24]中有详细介绍。对于整个比较期间，NCEP1 T_{sea} 与浮标 T_{sea} 之间的平均误差为 0.70，平均高估 T_{sea} 达 1.08%，NCEP2 T_{sea} 与浮标 T_{sea} 之间的平均误差为 0.27，平均高估 T_{sea} 为 0.34%，NCEP2 T_{sea} 的长期平均值更接近于浮标 T_{sea} 的长期平均值。

2.2 通量对比

2.2.1 辐射通量

海面辐射通量由 F_{ds} 、 F_{dl} 、 F_{us} 和 F_{ul} 四部分组成。

图 2 给出了来自于 NCEP1、NCEP2 和浮标的辐射通量日平均值时间序列图。图 2(a)为 F_{ds} 日平均值时间序列，可以看出 NCEP1、NCEP2 的 F_{ds} 与浮标观测值之间存在一定的差异，普遍大于浮标观测值，存在高估现象(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的平均误差分别为 44.56,45.56 W/m^2)，变化趋势大体一致(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相关系数分别为 0.77,0.71); NCEP2 的 F_{ds} 相对于 NCEP1 改变不大，基本相等(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相对误差分别为 34.13%, 34.89%)。图 2(b)为 F_{dl} 日平均值时间序列，可以看出 NCEP1、NCEP2 的 F_{dl} 普遍小于浮标观测值，存在低估现象(NCEP1、NCEP2 与浮标的平均误差分别为 -13.3, -26.07 W/m^2)，变化趋势大体一致(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相关系数分别为 0.90,0.93); NCEP1 的 F_{dl} 大于 NCEP2，与浮标观测值更接近(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的相对误差分别为 -4.24%, -8.31%)。图 2(c)为 USWR 日平均值时间序列，可以看出 NCEP2 的 F_{us} 与浮标观测值比较接近，而 NCEP1 要比浮标观测值高很多 (NCEP1、NCEP2 与浮标的平均误差分别为 21.47, 1.33 W/m^2)。图 2(d)为 F_{ul} 日平均值时间序列，可以看出除了在 9 月末之外，NCEP1、NCEP2 的 F_{ul} 普遍大于浮标观测

值，存在高估现象(NCEP1、NCEP2 与浮标观测值的平均误差分别为 9.15,10.94 W/m^2); NCEP 再分析 F_{ul} 资料不能反映出真实 F_{ul} 的巨大变化; NCEP2 的 F_{ul} 相对于 NCEP1 改变不大，基本相等(NCEP1、NCEP2 与浮标的相对误差分别为 2.33%,2.78%)。从表 1 中可以看出，NCEP 再分析资料中的海面吸收的 F_{ns} 、海面释放的 F_{nl} 与浮标观测资料相比存在高估现象，这与文献[9]中表 2b 中的结果相一致; 而针对于 F_{nr} 而言，NCEP1、NCEP2 的平均值都要高于浮标观测值且 NCEP1 的 F_{nr} 更接近浮标观测值(NCEP1、NCEP2 与浮标 F_{nr} 的平均误差分别为 0.65,7.22 W/m^2)。

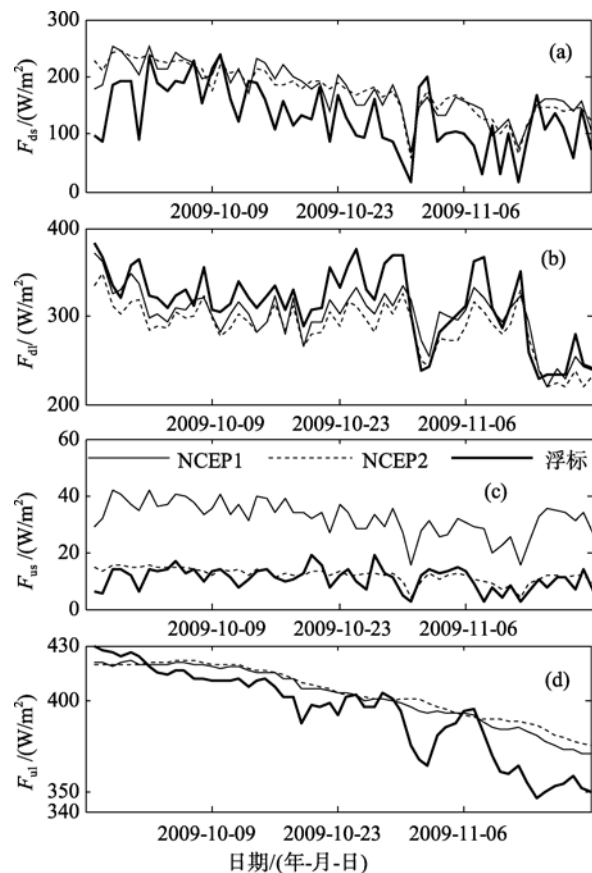


图 2 辐射通量日平均值的时间序列

Fig. 2 Time series plots of daily averaged values of radiative flux

2.2.2 湍流热通量

海表面的湍流热通量指的是 H_s 和 H_L 。图 3 给出了湍流热通量日平均值的时间序列图。该图中正通量代表热量从海洋传到大气; NCEP1 和 NCEP2 代表 NCEP 再分析资料中直接下载的湍流热通量值; NCEP1-COARE 和 NCEP2-COARE 分别代表应用 NCEP1 和 NCEP2 各自数据库中的海表面气象参数，

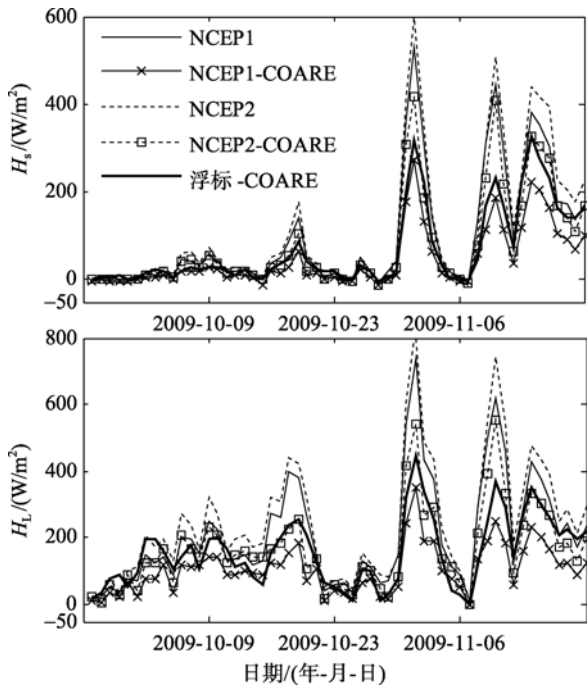


图 3 湍流热通量日平均值的时间序列

Fig. 3 Time series plots of daily averaged values of turbulent heat flux

采用 COARE3.0 块体通量计算程序获得的感热通量和潜热通量, 参考文献[16]我们将其称为“再计算感热通量”和“再计算潜热通量”, 合称为“再计算湍流热通量”; 浮标-COARE 代表应用浮标观测到的海表面气象参数, 同样采用 COARE3.0 块体通量计算程序获得的湍流热通量结果。可以看出, NCEP 再分析资料中的感热通量和潜热通量都存在很大程度上的高估现象, 很多前人的研究都证实了这一点^[9, 23], 这与模式计算中采用了过大的交换系数有关。当我们采用块体通量计算程序 COARE3.0 来计算湍流热通量时, 发现与 NCEP 再分析资料中提供湍流热通量相比较, 再计算湍流热通量大大地减小了, NCEP1 再计算湍流热通量与浮标计算的湍流热通量相比存在低估现象, NCEP2 再计算湍流热通量与浮标计算的湍流热通量相比发现在较低风速下存在低估现象, 而高风速下由于 NCEP2 的风速要远大于浮标观测风速, 造成此时 NCEP2 再计算湍流热通量要大于浮标计算的湍流热通量。文献[12, 17]都指出再计算湍流热通量存在低估现象。从表 1 可知, 对于整个比较期间, NCEP1 与浮标 H_s 、 H_L 之间的平均误差分别为 28.83 和 50.95 W/m^2 , 平均高估 H_s 、 H_L 分别为 41.41% 和 32.19%, NCEP2 与浮标 H_s 、 H_L 之间的平均误差分别为 44.69 和 90.96 W/m^2 , 平均高估 H_s 、 H_L 分别为

64.19% 和 57.47%, NCEP1 中 H_s 、 H_L 的长期平均值更接近于浮标 H_s 、 H_L 的长期平均值。从表 2 可知, 对于整个比较期间, NCEP1-COARE 与浮标 H_s 、 H_L 之间的平均误差分别为 -23.01 和 -52.00 W/m^2 , 平均低估 H_s 、 H_L 分别为 -33.06% 和 -32.85%, NCEP2-COARE 与浮标 H_s 、 H_L 之间的平均误差分别为 9.21 和 7.39 W/m^2 , 平均高估 H_s 、 H_L 分别为 13.22% 和 4.67%, NCEP2-COARE 中 H_s 、 H_L 的长期平均值更接近于浮标 H_s 、 H_L 的长期平均值。

2.2.3 净热通量

海表面的净热通量 $F_{nh} = F_{us} + F_{ul} - F_{ds} - F_{dl} + H_s + H_L$ 。

图 4 给出了 5 种海表面 F_{nh} 日平均值的时间序列。NCEP1 和 NCEP2 分别代表各自数据库中直接下载的 F_{ns} 、 F_{nl} 和湍流热通量值计算的 F_{nh} 结果; NCEP1-COARE 和 NCEP2-COARE 分别代表应用 NCEP1 和 NCEP2 各自数据库中的 F_{ns} 、 F_{nl} 和再计算湍流热通量得到的再计算净热通量; 浮标-COARE 代表应用浮标观测到的净辐射通量和湍流热通量计算的浮标净热通量。可以看出, 除了 9 月末 10 月初之外, NCEP1 和 NCEP2 的净热通量结果要高于浮标计算结果; 但用再计算湍流热通量替代 NCEP 再分析资料中的湍流热通量之后, 再计算净热通量大大地降低, NCEP1 再计算净热通量与浮标计算的净热通量相比除了 9 月末两者符号相反外其他时间存在低估现象, NCEP2 再计算净热通量与浮标计算的净热通量相比在 10 月 9 日左右、10 月末和 10 月 10 日左右存在高估的现象, 9 月末两者符号相反, 其他时

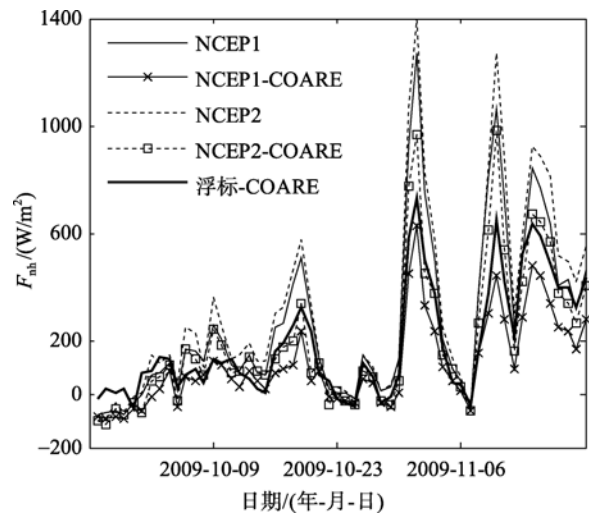


图 4 净热通量日平均值的时间序列

Fig. 4 Time series plots of daily averaged values of net heat flux

间点两者比较接近。结合表 1 和表 2 中的 F_{nr} 、 H_s 、 H_L 和 F_{nh} ，可知与浮标观测数据计算得到的海面净热通量相比，NCEP1 净热通量(NCEP1 再计算净热通量)高估(低估)了 42%(40%); NCEP2 净热通量(NCEP2 再计算净热通量)高估(高估)了 68%(5%); 对于 NCEP1 数据库来讲，海面净热通量的高估主要取决于 H_s 和 H_L 的高估，海面再计算净热通量的低估主要取决于 H_s 和 H_L 的低估; 对于 NCEP2 数据库来讲，海面净热通量的高估同样主要取决于 H_s 和 H_L 的高估，但海面再计算净热通量的高估主要取决于 H_s 、 H_L 和 F_{nr} 的高估。

3 讨论

在资料分析过程中发现 NCEP2 的再计算湍流热通量与 NCEP1 相比要更接近于浮标观测值，但在 11 月 1 号和 10 号两天也存在较大的误差，试验观测数据正好在两个版本的中间。针对这一问题我们采取了如下处理方式，即计算两个版本的再计算湍流热通量平均值，然后与浮标计算得到的湍流热通量进行比较，两者之间的平均偏差、相对误差、均方根误差和相关系数 4 个统计量分别为 -29.21 W/m^2 、 -12.81% 、 65.68 W/m^2 和 0.95，而 NCEP1(NCEP2)的再计算湍流热通量与实际观测到的湍流热通量之间的 4 个统计量分别为： $-75.01 \text{ W/m}^2(16.60 \text{ W/m}^2)$ 、 $-32.91\%(7.28\%)$ 、 $102.36 \text{ W/m}^2(84.41 \text{ W/m}^2)$ 和 0.96(0.94)。从统计量上来讲，NCEP1 和 NCEP2 之间的平均再计算湍流热通量要比 NCEP1 再计算湍流热通量更接近于观测值，但其平均偏差要大于 NCEP2 再计算湍流热通量与浮标之间的平均偏差。图 5 为采用新的组合方式计算的湍流热通量日平均值和浮标观测结果的时间序列比较图，这里的混合风场指的是在风速 $U_{10} < 11.5 \text{ m/s}$ 时，风速取为 NCEP2 的风速资料，在风速 $U_{10} > 11.5 \text{ m/s}$ 时，风速取为 NCEP1 的风速资料。从图 5 可以直观地看出，对于 11 月 1 号和 10 号两天来讲，NCEP1、NCEP2 之间的再计算湍流热通量平均值要明显的好于 NCEP1 或 NCEP2 的再计算湍流热通量。

另外，11 月 1 号和 10 号两天 NCEP2 的再计算湍流热通量与浮标观测值误差较大的原因在于两者海表气象参数之间的差异，尤其是海面上 10 m 风速的差异。通过比较可以发现，在高风速下($U_{10} > 11.5 \text{ m/s}$)，NCEP1 的风速会更接近于浮标测量风速，则我们又考虑了另外一种处理方式，即在高风速下，利用

NCEP1 的风速代替 NCEP2 的风速，重新计算 NCEP2 的再计算湍流热通量，最后得到其与浮标数据之间的平均偏差、相对误差、均方根误差和相关系数 4 个统计量分别为 8.17 W/m^2 、 3.58% 、 65.39 W/m^2 和 0.95，这一结果要优于 NCEP1 或 NCEP2 的再计算湍流热通量，从图 5 中也可以看出使用混合风场计算的再计算湍流热通量非常地接近。所以说，针对本文的分析结果来讲，这也许给我们以后应用 NCEP 数据库的数据提供了一个新的思路：在使用块体通量程序 COARE3.0 计算湍流热通量的过程中，可以考虑使用混合风场，即高风速下采用 NCEP1 的风速资料，其余情况下使用 NCEP2 的风速资料，当然这一想法还需要通过更多的实测资料来获得验证。

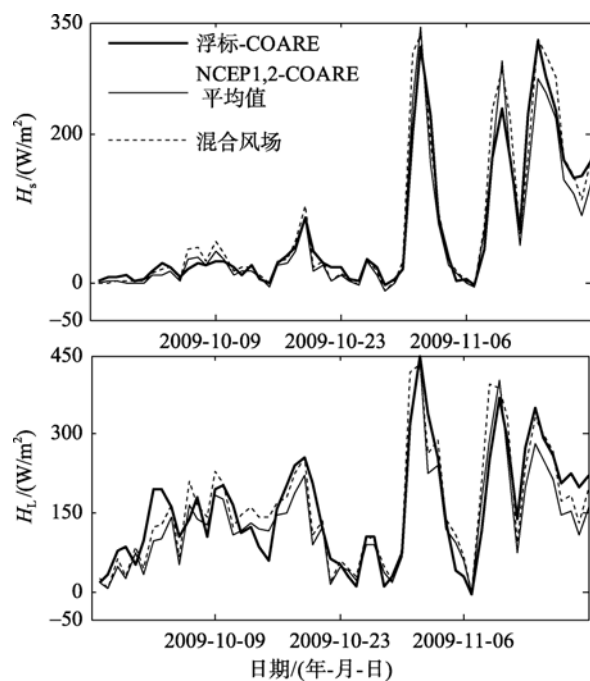


图 5 采用新的组合方式计算的湍流热通量日平均值的时间序列

Fig. 5 Time series plots of daily averaged values of turbulent heat flux by new recomposed way

4 结论

本文对 NCEP 再分析资料中的海表气象学参数及海表热通量日平均值与定点布放在黄海北部的浮标观测资料及通量计算结果进行了比较分析。比较时间从 2009 年 9 月 26 日至 2009 年 11 月 20 日。统计量平均偏差、相对误差、均方根误差和相关系数比对表明：NCEP1 和 NCEP2 再分析资料中海表气象学参数及海表热通量日平均值的时间序列与浮标结

果变化趋势基本一致,但 NCEP1 对风速存在低估现象,对大气比湿、大气温度和海表温度存在高估现象,NCEP2 中海表气象学参数都存在高估现象但更接近浮标观测资料;虽然在向上短波辐射通量上 NCEP2 比 NCEP1 更接近浮标观测值,但 NCEP1 的净辐射通量值更接近浮标观测值。对湍流热通量而言,与 NCEP1 和 NCEP2 再分析资料中自带的感热通量和潜热通量及 NCEP1 再计算湍流热通量相比,NCEP2 再计算湍流热通量最接近于浮标资料计算的湍流热通量。对于海表净热通量而言,应用 NCEP1 和 NCEP2 资料提供的湍流热通量计算的结果要普遍高于浮标计算结果;但用再计算湍流热通量替代 NCEP 再分析资料中的湍流热通量之后,再计算净热通量大大地降低,NCEP1 的再计算净热通量低估了 42%,而 NCEP2 的再计算净热通量高估了 5%;对于 NCEP1 数据库来讲,海面净热通量的高估主要取决于感热和潜热通量的高估,海面再计算净热通量的低估主要取决于感热和潜热通量的低估;对于 NCEP2 数据库来讲,海面净热通量的高估同样主要取决于感热和潜热通量的高估,但海面再计算净热通量的高估主要取决于感热、潜热通量和净辐射通量的高估。

海面风场的比对表明,在风速小于 11 m/s 时,NCEP1 和 NCEP2 风速资料一般要低于浮标观测风速,NCEP2 与浮标观测的风速更接近;当风速大于 11 m/s 时,NCEP1 和 NCEP2 一般要高于浮标观测风速,NCEP1 与浮标观测的风速更接近。针对该分析结果来讲,这也许给我们以后应用 NCEP 数据库的数据提供了一个新的思路:在使用块体通量程序 COARE3.0 计算湍流热通量的过程中,可以考虑使用混合风场,即高风速下采用 NCEP1 的风速资料,其余情况下使用 NCEP2 的风速资料,计算海面上的湍流热通量。当然这一想法还需要通过更多的实测资料来获得验证。

研究表明,NCEP 再分析资料中的海表气象参数是可信的,在统计意义上,NCEP2 给出的海表气象参数比 NCEP1 与浮标观测值更接近,而净辐射通量则是 NCEP1 更接近于浮标观测值;使用更合理的块体公式计算出的湍流热通量来代替 NCEP 数据库中已计算好的湍流热通量来驱动海洋模式是很有必要的;NCEP2 的再计算湍流热通量与 NCEP1 相比要更接近于浮标观测值。使用混合风场计算的再计算湍流热通量与浮标观测结果更加符合。

参考文献:

- [1] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The ncep/ncar 40-year reanalysis project [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 437-471.
- [2] Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woolen J, et al. Overview of ncep/doe reanalysis-2 [EB/OL]. [2011-01-02]. <http://dss.ucar.edu/datasets/ds091.0/docs/ncep-docs/r2sumshort.pdf>.
- [3] Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woolen J, et al. The ncep-doe amip- II reanalysis (r-2) [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2002, 83: 1631-1643.
- [4] Weller R A, Baumgartner M F, Josey S A, et al. Atmospheric forcing in the Arabian Sea during 1994-1995: observations and comparisons with climatology and models [J]. Deep-Sea research Part II-Topical Studies in Oceanography, 1998, 45B: 1961-1999.
- [5] Weller R A, Anderson S P. Surface meteorology and air-sea fluxes in the western equatorial Pacific warm pool during the toga coupled ocean-atmosphere response experiment [J]. Journal of Climate, 1996, 9: 1959-1999.
- [6] Zeng Xubin, Zhao Ming, Dickinson R E. Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using toga coare and tao data [J]. Journal of Climate, 1998, 11: 2628-2644.
- [7] Wang W, McPhaden M J. What is the mean seasonal cycle of surface heat flux in the equatorial Pacific? [J]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 2001, 106: 837-857.
- [8] Moyer K A, Weller R A. Observations of surface forcing from the subduction experiment: a comparison with global model products and climatological datasets [J]. Journal of Climate, 1997, 10: 2725-2742.
- [9] Josey S A. A comparison of ecmwf, ncep-ncar, and soc surface heat fluxes with moored buoy measurements in the subduction region of the Northeast Atlantic [J]. Journal of Climate, 2001, 14: 1780-1789.
- [10] Renfrew I A, Moore G W K, Guest P S, et al. A comparison of surface layer and surface turbulent flux observations over the Labrador Sea with ecmwf analyses and ncep reanalyses [J]. Journal of Physical Oceanography, 2002, 32: 383-400.
- [11] Moore G W K, Renfrew I A. An assessment of the surface turbulent heat fluxes from the ncep-ncar reanalysis over the western boundary currents [J]. Journal of Climate, 2002, 15: 2020-2037.
- [12] Rouault M, Reason C J C, Lutjeharms J R E, et al. Underestimation of latent and sensible heat fluxes above the Agulhas Current in ncep and ecmwf analyses [J]. Journal of Climate, 2003, 16: 776-782.
- [13] Goswami B N, Sengupta D. A note on the deficiency of ncep/ncar reanalysis surface winds over the equatorial Indian Ocean [J]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 2003, 108(C4): 3124. doi: 10.1029/2002JC001497.

- [14] Goswami B N, Rajagopal E N. Indian Ocean surface winds from ncmrwf analysis as compared to quikscat and moored buoy winds [J]. Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Earth and Planetary Sciences, 2003, 112: 61-77.
- [15] 张增海, 姜华, 王辉, 等. 南海西南季风期 NCEP2 湍流热通量的质量分析[J]. 海洋学报, 2006, 2: 29-38.
- [16] 史剑, 赵栋梁, 孙建. 利用浮标资料初步评估 NCEP 再分析湍流通量[J]. 海洋预报, 2007, 2: 74-82.
- [17] Swain D. Comparison of ncep turbulent heat fluxes with in situ observations over the south-eastern Arabian Sea [J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2009, 104: 163-175.
- [18] Curry J A, Clayson C A, Rossow W B, et al. High-resolution satellite-derived dataset of the surface fluxes of heat, freshwater, and momentum for the toga coare iop [J]. Bulletin of The American Meteorological Society, 1999, 80: 2059-2080.
- [19] Halpern D, Freilich M H, Weller R A. Ecmwf and ers-1 surface winds over the Arabian Sea during July 1995 [J]. Journal of Physical Oceanography, 1999, 29: 1619-1623.
- [20] 黄艳松, 宋金宝, 范聪慧. 海气通量涡相关法计算中的时间尺度分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(11): 114-119.
- [21] Panofsky H A, Dutton J A. Atmospheric turbulence [M]. New York: Wiley, 1984: 397.
- [22] Fairall C W, Bradley E F, Rogers D P, et al. Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean global atmosphere coupled ocean atmosphere response experiment [J]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 1996, 101: 3747-3764.
- [23] Sun B, Yu L, Weller R A. Comparisons of surface meteorology and turbulent heat fluxes over the Atlantic: nwp model analyses versus moored buoy observations [J]. J Clim, 2003, 16: 679-695.
- [24] Donlon C W, Minnet P J, Gentemann C, et al. Towards improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research [J]. J Clim, 2002, 15: 353-369.

Comparison of air-sea heat fluxes calculated from national centers for environmental prediction (NCEP) reanalysis data and moored buoy measurement data

HUANG Yan-song^{1,2}, SONG Jin-bao¹

(1. Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Jan., 25, 2011

Key words: national centers for environmental prediction (NCEP) reanalysis data; buoy data; radiation flux; sensible heat flux; latent heat flux

Abstract: In this paper, the U.S. national centers for environmental prediction (NCEP 1 and 2) reanalysis data and the data come from measurement of the moored buoy located in the north of the Yellow Sea are compared and the analysis shows that the NCEP reanalyzed marine meteorological parameters including the wind speed, humidity, air temperature and the ocean surface temperature are reliable. The marine meteorological parameters come from NCEP2 are more close to those come from the buoy measurement, while the net radiation flux computed from NCEP1 is more close to that comes from the buoy measurement. A more appropriate bulk algorithm to recalculate air-sea heat fluxes is recommended. The NCEP1 recalculated net heat flux is underestimated by 42% while the NCEP2 recalculated net heat flux is overestimated by 5% compared with buoy measurement data. The recalculated turbulent heat flux calculated using the combined wind field (the high wind speed is from NCEP1 while the low wind speed is from NCEP2) is much closer to the buoy measurement data. All these provide valuable information for how to select proper reanalysis data for Chinese ocean research.

(本文编辑: 刘珊珊)