

ERA-Interim 再分析数据在中国沿海的质量评估

高志刚^{1,2}, 骆敬新², 刘克修², 张庆河¹, 范文静², 武双全², 李响²

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘要: 本文采用 1979~2012 年的中国沿海台站观测数据对 ERA-Interim(简称“ERA-I”)的气温、气压和海温数据进行质量评估。结果表明: (1)从常年平均来看, ERA-I 气温、气压和海温多年月平均变化与观测数据吻合较好, 可以反映气候态的季节变化特征。与台站观测数据相比, ERA-I 气温平均偏高 0.19℃, 气压平均偏低 0.17 hPa, 海温平均偏高 0.70℃。 (2)从年际变化情况来看, ERA-I 和台站观测的气温、气压和海温变化趋势一致, 气温和海温呈上升趋势, 气压呈下降趋势。但在海南岛附近使用 ERA-I 气温做年际变化分析和在东海台湾海峡至北部湾沿岸使用 ERA-I 海温做年际变化趋势分析时要谨慎。 (3)从月均变化分析来看, ERA-I 月均气温、气压和海温数据与台站实测数据具有很好的一致性。从误差空间分布来看, ERA-I 气温在黄海沿岸平均误差最小, ERA-I 气压在渤海沿岸平均误差最小, ERA-I 海温在南海沿岸平均误差最小。需要特别指出的是, ERA-I 月均海温在渤海和台湾海峡附近沿岸平均误差较大(部分站均方根误差超过 2.5℃), 在上述区域使用 ERA-I 海温数据时应考虑其产品偏差。

关键词: 中国沿海; ERA-Interim 质量评估; 气温; 气压; 海温

中图分类号: p731 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)05-0092-14

doi: 10.11759/hyxx20140522001

随着全球气候变化研究的不断深入, 海洋气候变化研究领域对长序列的海上水文气象数据提出了需求。但是限于海上资料获取的代价较高, 很难通过设立大量长期观测站获得时空分辨率较高的连续数据, 一般会在沿海设立海洋观测台站进行水文、气象观测。尽管受观测条件和历史原因限制, 能够提供完整可靠数据序列的台站较少, 但在海洋气候变化研究领域一般采用台站数据作为权威数据来源。

20 世纪 90 年代后, 随着再分析资料的问世, 全球气候变化研究得到了迅速而广泛的发展。目前再分析资料在气候变化和变率、气候诊断和分析、海洋气候数值模拟等研究中得到了广泛地应用^[1-3]。与单站数据相比, 再分析的网格化数据可用来研究要素的趋势分析、空间分布特征, 但在使用之前必须对资料的可靠性进行全面评估^[4]。

对再分析资料的可信度进行评估, 最直接的办法就是将其与观测资料作比较, 虽然观测资料也不能被认为是完全真实的, 但是至少可以作为一个参考标准^[5-6]。研究表明, 在量值上, 再分析资料与实测资料存在一定偏差。赵天保等^[7]通过将 NCEP (National Center for Environmental Predictions)/NCAR (National Center for Atmospheric Research)和 NCEP/DOE(Department Of Energy)再分析资料与中国台站

观测资料进行比较分析, 认为再分析月平均气温较观测值普遍偏低, 而月降水总量普遍偏高。谢爱红等^[8]、魏丽等^[9-10], 也在高原地区对 NCEP/NCAR、NCEP/DOE 再分析资料作了分析, 结果表明, 气压、温度以及地面辐射值均系统性偏低。赵瑞霞等^[11]、何浪等^[12-13]将实测资料同 ERA-40 再分析资料作对比分析, 发现 ERA-40 再分析资料中的降水与实测也存在偏差, 只是不像 NCEP 资料那么显著。韩晋平等^[14]对 NCEP/NCAR 和 ERA-40 两种再分析资料在东亚夏季风年代际变化中表现出的特征进行了比较, 发现在内蒙古地区, 观测资料与 ERA-40 资料均一致显示为气压降低, 而 NCEP/NCAR 资料却为升高。

由此可见, 再分析资料与观测资料之间的差异不是个别现象, 再分析资料与观测资料之间数值上的差异是不可避免的。这种偏差主要是数值预报模式误差及同化方法误差等系统性误差和观测资料的

收稿日期: 2014-05-22; 修回日期: 2014-08-15

基金项目: 国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室开放基金(GCMAC1202); 国家自然科学基金(41406032; 41106159)

作者简介: 高志刚(1983-), 男, 山东滕州人, 汉族, 副研究员, 从事潮汐、海平面与气候变化相关研究, 电话: 022-24010850, E-mail: zhggao@sohu.com; 骆敬新, 通信作者, 高级工程师, 主要从事海洋信息处理及气候变化研究, 电话: 022-24010850, E-mail: luo_jingxin@163.com

非均一性(由观测系统的变更、观测位置的变迁和观测仪器的更换等产生)共同作用的结果。事实上,对于再分析变量存在的一些线性误差,如系统性偏高或偏低的问题,一般利用一些简单的经验关系和数理统计方法可以对其进行订正,使其对气候变化研究产生的影响降至最小。如果再分析数据存在一些系统性偏差或存在某些时间和空间规律特征时,可以对数据进行订正。

目前,已经有很多科学家针对各机构发布的再分析数据进行了检验和比较,但主要集中在大陆区域^[15-17],基于海洋观测数据对中国沿海再分析数据的评估工作尚未开展。之前的再分析数据如 NCEP、NCAR 和 JMA(Japan Meteorological Agency)等机构发布的再分析数据分辨率较低(一般为 0.25°~2.5°),欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)最近发布了较高分辨率(0.125°)的 ERA-I 2.0 数据,相比之下,高分辨率的数据与分散稀疏分布的台站数据距离更接近,可比性更高。本文首次采用中国海洋观测网台站观测数据对 ERA-I 的月平均气温、气压和海温再分析数据进行系统性的检验评估,以期为中国海洋气候变化研究提供借鉴和参考。

1 数据和方法

1.1 数据介绍

ERA-I 数据是 ECMWF 发布的 1979 年至今的全球气象再分析数据集。ERA-Interim 气象模型和再分析系统使用了 ECMWF 的 IFS(Integrated Forecast System)circle31r2,垂向分为 60 层,采用 T55 网格,同化了 ERA-40 及 ECMWF 业务上用的观测数据、卫星 Level-1C 辐射数据、无线电探空仪的数据、再加工过的气象卫星的风资料、卫星高度计数据、静止卫星的晴空辐射数据,并对受降水影响的 SSM/I 辐射数据进行了一维修复。本文所指 ERA-I 数据为 0.125°分辨率的月平均气温、气压和海温数据,其中气温为地面 2 m 气温,气压为平均海平面气压,海温为海表面温度(sea surface temperature, SST)。时间范围为 1979 年 1 月~2012 年 12 月。

台站观测数据是国家海洋局多年来获得的实测数据,资料质量相对较好,是开展气候变化研究、工程设计等的最可信的数据。本文所选取的台站观测数据包括我国沿岸海洋台站气温、气压和海温观测数据,观测频次为 4 次/d。为全面检验 ERA-I 数据

在中国沿海的质量,选取了 1979 年 1 月~2012 年 12 月期间资料相对完整的 32 个气温观测站、29 个气压观测站和 31 个海温观测站的数据作为实况依据。

1.2 分析方法

1.2.1 ERA-I 资料处理

本文分析中使用的资料为月均资料,为便于同我国沿海台站实测资料比较,在 ERA-I 资料选取中,如果有接近测站位置的格点,则取此点的值作为测站的 ERA-I 资料,如果没有特别接近的,则选用周围最近的 4 个点数做距离加权线性插值得到台站位置处的 ERA-I 资料。

1.2.2 台站数据处理

台站观测数据依据 GB/T14914《海滨观测规范》^[18]进行了质量控制处理,并进行各要素的逐年月平均值统计。对于缺测值和非均一性数据采用相邻最近、相关性最高站的观测数据进行差补替换,形成完整均一的资料序列,并在月平均数据的基础上计算各站逐年平均值。

1.2.3 检验/评估方法

为比较再分析数据和实测数据的偏差,需进行偏差检验,计算各自算术平均值,比较二者均值之差。

统计再分析数据均方根误差 H_R , 计算公式为

$$H_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{\text{obs}} - V_{\text{ERA}})^2}{N}}, \text{ 其中 } V_{\text{obs}} \text{ 为台站观测数据,}$$

V_{ERA} 为 ERA-I 再分析数据, N 为检验样本数。计算再分析数据和实测数据的相关系数 r , 公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{\text{ERA}} - \overline{V_{\text{ERA}}})(V_{\text{obs}} - \overline{V_{\text{obs}}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (V_{\text{ERA}} - \overline{V_{\text{ERA}}})^2 \sum_{i=1}^N (V_{\text{obs}} - \overline{V_{\text{obs}}})^2}}。 \text{ 本文中变率}$$

指的是采用线性拟合方法计算线性拟合的斜率项,以检验再分析数据的趋势变化特征。

2 气温数据质量评估

2.1 季节变化分析

利用全部台站和对应的 ERA-I 资料统计全中国沿海平均气候态季节变化状况并进行比较,结果见图 1。从图 1 可以看出,ERA-I 和台站观测气温季节变化趋势一致,二者位相相同,8 月份气温最高,1 月份气温最低,吻合较好;整体上,ERA-I 平均值略高于观测平均值,略高月份主要集中在 1~7 月。

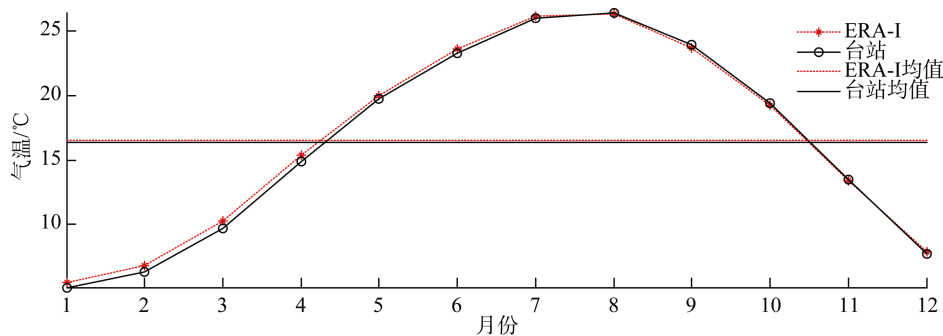


图 1 中国沿海气温季节变化 ERA-I 和台站比较

Fig.1 Comparison of seasonal air temperature between ERA-I and observation

统计中国沿海各站点处 ERA-I 气温和观测数据的平均偏差、最高/低值出现月份, 结果见表 1。从表 1 常年平均气温偏差来看, ERA-I 比台站观测值平均高 0.19℃。分海区来说, 渤海沿岸以偏低为主, 除辽东湾内葫芦岛和芷锚湾 2 站偏高外, 其余 5 站均偏低; 黄海沿岸以偏高为主, 9 个站中除千里岩和连云港 2 站偏低外, 其余各站均偏高; 东海沿岸以偏高为主, 11 个站中除大戢山和坎门偏低外, 其余各站均偏高; 南海除东方站偏低外, 其余各站均偏高。

从表 1 气温最高/低值出现月份比较来看, ERA-I 与台站观测数据较一致, 气温最高值出现在 7 月或 8 月, 气温最低值出现在 1 月或 2 月。分海区来说, 渤

海除鲅鱼圈、秦皇岛和龙口 3 站最高值出现月份不一致外, 各站最高/低值出现月份均一致; 黄海沿岸各站最高/低值出现月份均一致; 东海沿岸除吕泗、坎门和崇武最高值出现月份不一致以及崇武最低值出现月份不一致外, 各站最高/低值出现月份均一致; 南海沿岸除云澳最高值出现月份不一致外, 各站最高/低值出现月份均一致。

以上结果表明: ERA-I 的气温累年月平均变化特征和观测数据吻合较好, 可以反映气候态的季节变化特征。就中国沿海整体来说 ERA-I 气温比台站观测值略高, 但渤海西南部沿岸以偏低为主, 在使用该数据做分析时应考虑到二者的偏差。

表 1 中国沿海气候态气温比较

Tab. 1 Comparison of climatic air temperature along coast of China

海区	站位	平均偏差 (°C)	最高值月份		最低值月份		海区	站位	平均偏差 (°C)	最高值月份		最低值月份	
			ERA-I	台站	ERA-I	台站				ERA-I	台站	ERA-I	台站
渤海	葫芦岛	0.45	8	8	1	1	东海	吕泗	0.17	7	8	1	1
	鲅鱼圈	-0.22	8	7	1	1		大戢山	0.07	8	8	1	1
	芷锚湾	0.81	8	8	1	1		嵎山	0.15	8	8	1	1
	秦皇岛	-0.34	7	8	1	1		滩浒	-0.38	8	8	1	1
	塘沽	-0.28	7	7	1	1		坎门	-0.36	7	8	1	1
	北隍城	-0.23	8	8	1	1		平潭	1.10	8	8	2	2
	龙口	-0.23	7	8	1	1		崇武	0.62	7	8	1	2
	小长山	0.37	8	8	1	1		云澳	0.39	7	7	1	2
	老虎滩	0.42	8	8	1	1		遮浪	0.78	7	7	1	1
	烟台	0.12	8	8	1	1		大万山	0.77	7	7	1	1
黄海	成山头	0.48	8	8	1	1	南海	闸坡	0.09	7	7	1	1
	石岛	0.34	8	8	1	1		硃洲	0.39	7	7	1	1
	千里岩	-0.06	8	8	1	1		北海	0.18	7	7	1	1
	小麦岛	0.43	8	8	1	1		涠洲	0.56	7	7	1	1
	日照	0.33	8	8	1	1		海口	0.15	7	7	1	1
	连云港	-0.70	8	8	1	1		东方	-0.33	6	6	1	1
中国沿海平均			0.19	—	—	—							

2.2 年际变化分析

选取中国沿海台站 1979~2012 年历年年均气温数据与对应 ERA-I 数据, 计算年均气温均方根误差、相关系数及变化速率, 比较结果见图 2, 各站平均状况比较见表 2。由图 2 可以看出: 总体来说, 中国沿海 ERA-I 数据和台站观测的年均气温变化趋势一致, 均呈上升趋势, 年际变化特征显著。1994 年、1998 年、2004 年和 2008 年的气温极大值特征一致, ERA-I 数据和观测数据同步性较好, 能体现这些年份的特征。

全国沿海平均来看, 1979~2002 年 ERA-I 数据比实测值整体偏高 0.27°C , 2003~2012 年二者吻合较好, ERA-I 比实测值偏低 0.01°C , 说明中国沿海 ERA-I 气温数据在 2003 年后有较显著的改进。

从表 2 可以看出, ERA-I 年均气温较实测数据均方根误差平均为 0.31°C , 相关系数平均为 0.86, 且均

通过了 95% 的置信度检验。从变化率来看, 除东方外, 其余各站变化趋势均一致, 呈上升趋势, ERA-I 气温上升速率平均为 $0.023\ 4^{\circ}\text{C/a}$, 小于台站观测的 $0.032\ 7^{\circ}\text{C/a}$ 。由此可见: 中国沿海大部分站点 ERA-I 的气温变化趋势是可信的, 但在海南岛周边使用时需谨慎。分海区来看, ERA-I 气温在黄海沿岸质量最好, 年均气温均方根误差平均为 0.28°C , 相关系数平均为 0.90; 渤海沿岸其次, 均方根误差平均为 0.30°C , 相关系数为 0.89; 东海沿岸次之, 均方根误差平均为 0.33°C , 相关系数平均为 0.88; 南海沿岸误差最大, 均方根误差平均为 0.35°C , 相关系数平均为 0.76。

2.3 月均误差分析

选取中国沿海 34 个台站 1979 年 1 月~2012 年 12 月各月平均气温数据与对应 ERA-I 数据, 计算均方根误差, 结果见表 3。各站均方根误差平均为 0.83°C 。

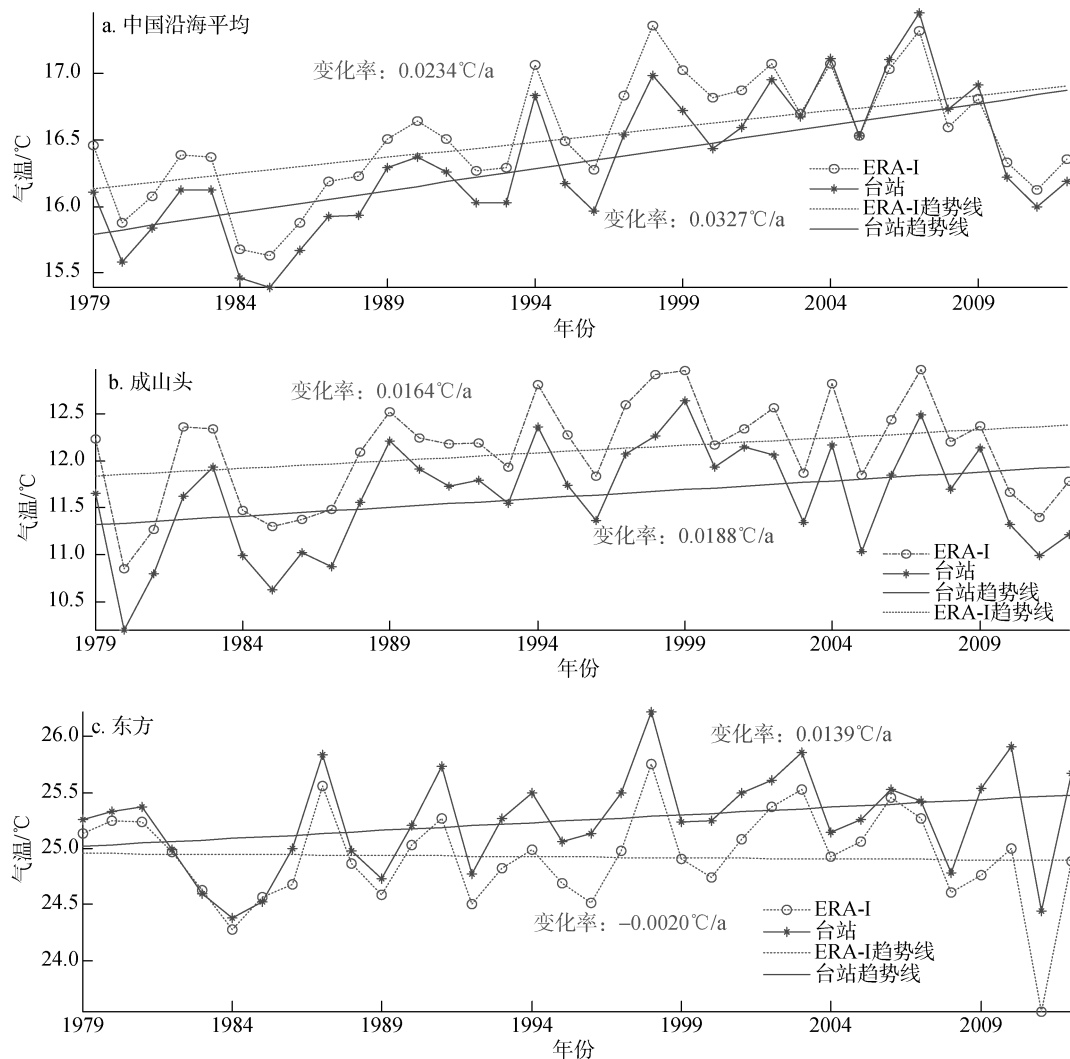


图 2 ERA-I 和台站年均气温比较

Fig.2 Comparison of annual mean air temperature between ERA-I and observation

表 2 中国沿海年均气温比较

Tab. 2 Comparison of annual mean air temperature along coast of China

海区	站位	均方根 误差(℃)	相关 系数	置信度 (%)	ERA-I 变 化率(℃/a)	观测变化 率(℃/a)	海区	站位	均方根 误差(℃)	相关 系数	置信度 (%)	ERA-I 变 化率(℃/a)	观测变化 率(℃/a)
渤海	葫芦岛	0.29	0.90	100	0.0225	0.0206	东海	吕泗	0.25	0.95	100	0.0622	0.0433
	鲅鱼圈	0.43	0.83	100	0.0238	0.0496		大戢山	0.38	0.89	100	0.0449	0.0610
	芷锚湾	0.23	0.92	100	0.0278	0.0217		嵎山	0.20	0.95	100	0.0446	0.0420
	秦皇岛	0.26	0.94	100	0.0375	0.0517		滩浒	0.32	0.91	100	0.0483	0.0553
	塘沽	0.42	0.81	100	0.0295	0.0435		坎门	0.26	0.90	100	0.0393	0.0298
	北隍城	0.32	0.88	100	0.0170	0.0349		平潭	0.40	0.82	100	0.0201	0.0475
	龙口	0.16	0.96	100	0.0343	0.0334		崇武	0.51	0.75	100	0.0203	0.0543
	海区平均	0.30	0.89	100	0.0275	0.0365		海区平均	0.33	0.88	100	0.0400	0.0476
	小长山	0.22	0.94	100	0.0159	0.0288		云澳	0.65	0.54	99.9	0.0085	0.0424
	老虎滩	0.17	0.96	100	0.0141	0.0248		遮浪	0.28	0.84	100	0.0205	0.0203
黄海	烟台	0.45	0.72	100	0.0301	0.0127	南海	大万山	0.26	0.83	100	0.0122	0.0323
	成山头	0.15	0.97	100	0.0164	0.0188		闸坡	0.33	0.73	100	0.0047	0.0275
	石岛	0.35	0.85	100	0.0177	0.0427		硃洲	0.35	0.65	100	0.0013	0.0161
	千里岩	0.53	0.80	100	0.0278	0.0514		北海	0.33	0.76	100	0.0029	0.0268
	小麦岛	0.20	0.94	100	0.0299	0.0195		涠洲	0.34	0.87	100	0.0000	0.0045
	日照	0.22	0.94	100	0.0285	0.0290		海口	0.24	0.92	100	0.0120	0.0156
	连云港	0.19	0.94	100	0.0353	0.0312		东方	0.25	0.83	100	-0.0020	0.0139
	海区平均	0.28	0.90	100	0.0240	0.0288		海区平均	0.35	0.76	99.99	0.0047	0.0222
中国沿海平均									0.31	0.86	99.99	0.0234	0.0327

表 3 中国沿海逐年各月气温比较

Tab. 3 Comparison of monthly mean air temperature along coast of China

海区	站位	均方根误差(°C)	海区	站位	均方根误差(°C)
渤海	葫芦岛	1.01	东海	吕泗	0.91
	鲅鱼圈	0.78		大戢山	0.64
	芷锚湾	1.06		嵎山	0.55
	秦皇岛	1.10		滩浒	0.71
	塘沽	0.99		坎门	0.61
	北隍城	0.76		平潭	1.56
	龙口	0.83		崇武	1.17
	海区平均	0.93		海区平均	0.88
	小长山	0.73		云澳	0.94
	老虎滩	0.63		遮浪	1.10
黄海	烟台	0.83	南海	大万山	0.89
	成山头	0.81		闸坡	0.55
	石岛	0.64		硃洲	0.86
	千里岩	0.83		北海	0.74
	小麦岛	0.82		涠洲	0.85
	日照	0.65		海口	0.39
	连云港	0.84		东方	0.76
	海区平均	0.75		海区平均	0.79
中国沿海平均			0.83		

分海区来看, 渤海沿岸误差为 0.76~1.10℃, 平均为 0.93℃; 黄海沿岸误差为 0.63~0.84℃, 平均为 0.75℃; 东海沿岸误差为 0.55~1.56℃, 平均为 0.88℃; 南海沿岸误差为 0.55~1.10℃, 平均为 0.79℃。

以上结果表明: ERA-I 月均气温数据与台站实测数据具有较好的一致性。从误差空间分布来看, 黄海沿岸平均误差最小, 数据质量优于其他海区。

3 气压数据质量评估

3.1 季节变化分析

中国沿海各站气压平均气候态季节变化状况比较见图 3。从图 3 可以看出, ERA-I 和台站观测气压季节变化趋势一致, 二者位相相同, 1 月份气压最高, 7 月份气压最低, ERA-I 平均值略低于台站观测平均值。

统计中国沿海各台站气压观测数据平均偏差、最高/低值出现月份结果见表 4, 从表 4 常年平均气压偏差来看, ERA-I 气压比台站观测值平均低 0.17 hPa。分海区来说, 渤海沿岸整体偏低, 除鲅鱼圈和蓬莱 2 站偏高外, 其余 5 站均偏低; 黄海沿岸整体偏低, 除小长山和成山头 2 站偏高外, 其余 6 站均偏低; 东海沿岸整体偏低, 除厦门站偏高外, 其余 4 站均偏低; 南海各站均偏低。

从表 4 气压最高/低值出现月份来看, ERA-I 与台站观测数据较一致, 气压最高值出现在 12 月或 1 月, 气压最低值出现在 7 月或 8 月。分海区来说, ERA-I 数据和观测数据相比, 渤海、黄海沿岸各站气压最高/低值出现月份均一致; 东海沿岸除厦门站最高值出现月份不一致外, 各站最高/低值出现月份均一致; 南海沿岸除云澳最高值出现月份不一致外, 各站最高/低值出现月份均一致。

以上结果表明: ERA-I 的气压累年月平均变化特征和观测数据吻合较好, 可以反映气候态的季节变化特征。就中国沿海整体来说 ERA-I 气压比台站观测值略低, 在使用该数据做分析时应考虑二者之平均偏差。

3.2 年际变化分析

选取中国沿海台站 1979~2012 年历年平均气压观测数据, 计算 ERA-I 年均气压均方根误差、相关系数及变化速率, 平均状况比较见图 4, 各站比较结果见表 5。由图 4 可以看出, 中国沿海 ERA-I 数据和台站观测的年均气压变化趋势一致, 均呈下降趋势。气压年际变化特征显著, 就 1993 年、1997 年、2003 年和 2011 年的气压极大值特征而言, ERA-I 数据和观测数据同步性较好, 能体现这些年份的特征。分时

表 4 中国沿海气候态气压比较

Tab. 4 Comparison of climatic air pressure along coast of China

海区	站位	平均偏差(hPa)	最高值月份		最低值月份	
			ERA-I	观测	ERA-I	观测
渤海	鲅鱼圈	0.01	1	1	7	7
	芷锚湾	-0.03	1	1	7	7
	秦皇岛	-0.25	1	1	7	7
	塘沽	-0.35	1	1	7	7
	北隍城	-0.26	1	1	7	7
	龙口	-0.19	1	1	7	7
	蓬莱	0.17	1	1	7	7
	海区平均	-0.13	—	—	—	—
	小长山	0.13	1	1	7	7
	老虎滩	-0.07	1	1	7	7
黄海	烟台	-0.15	1	1	7	7
	成山头	0.09	1	1	7	7
	石岛	-0.20	1	1	7	7
	千里岩	-0.14	1	1	7	7
	日照	-0.15	1	1	7	7
	连云港	-0.24	1	1	7	7
	海区平均	-0.09	—	—	—	—
	中国沿海平均					
东海	吕泗	-0.23	1	1	7	7
	大戢山	-0.01	1	1	7	7
	滩浒	-0.02	1	1	7	7
	崇武	-0.39	12	12	8	8
	厦门	0.03	12	1	8	8
	海区平均	-0.12	—	—	—	—
	云澳	-0.43	12	1	8	8
	遮浪	-0.52	12	12	8	8
	大万山	-0.59	12	12	8	8
	闸坡	-0.20	12	12	8	8
南海	碇洲	-0.19	12	12	7	7
	北海	-0.12	12	12	7	7
	清澜	-0.05	12	12	8	8
	东方	-0.12	12	12	7	7
	西沙	-0.42	1	1	8	8
	海区平均	-0.29	—	—	—	—
	中国沿海平均					

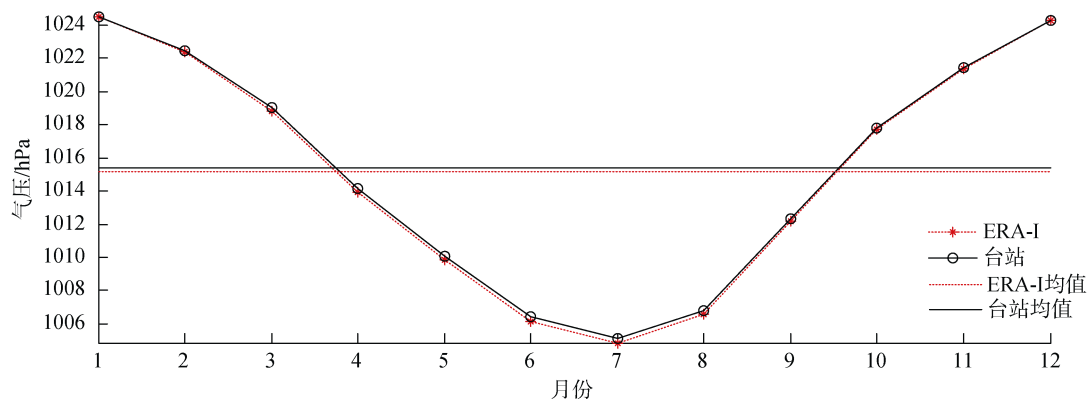


图 3 中国沿海平均气压季节变化 ERA-I 和台站比较

Fig.3 Comparison of seasonal air pressure between ERA-I and observation

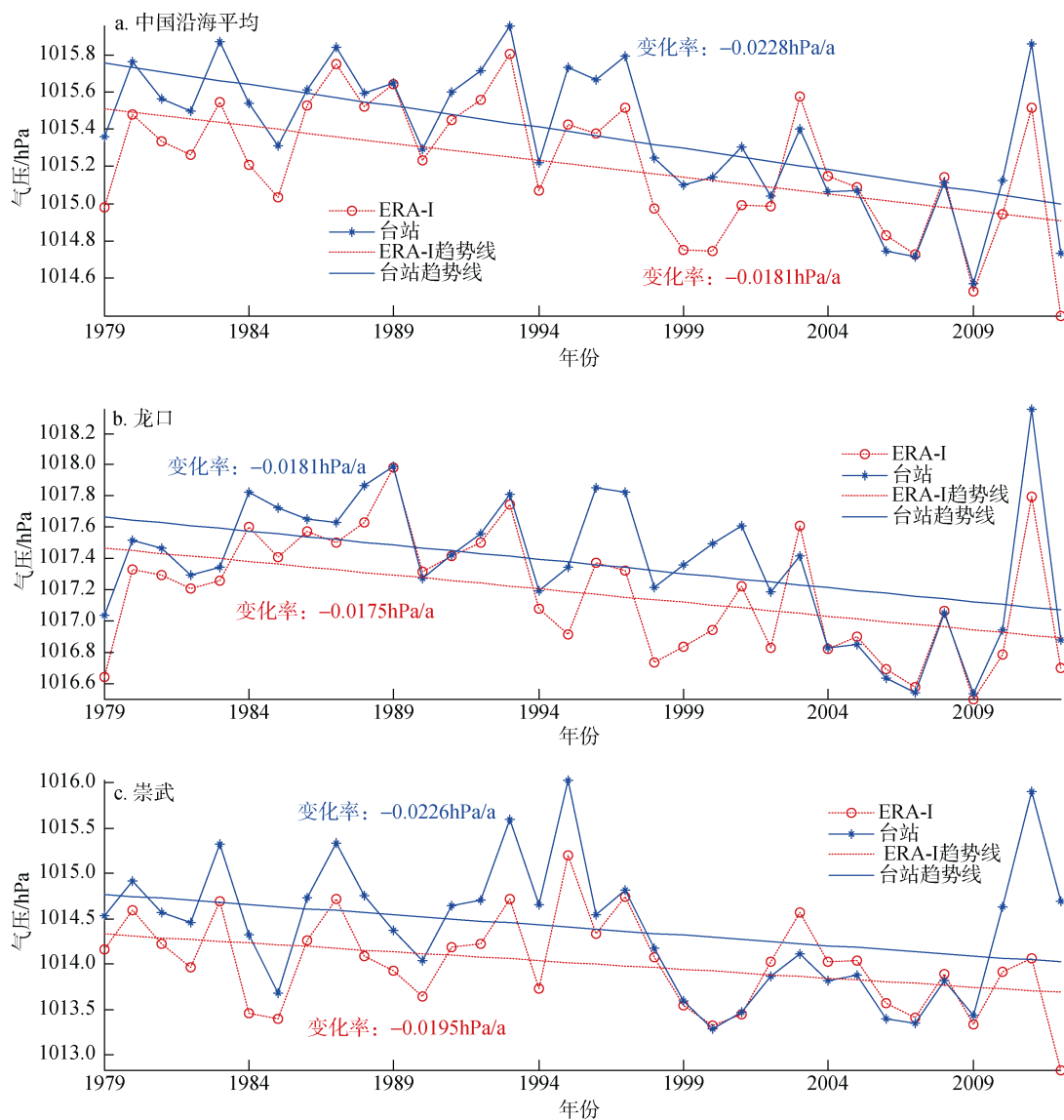


图 4 ERA-I 和台站的年均气压变化比较

Fig.4 Comparison of annual mean air pressure between ERA-I and observation

间段来看,与实测值相比,1986~1990 年和 2004~2010 年 2 个时间段 ERA-I 气压数据和实测数据一致性较好,其余时间段均小于实测值。

从表 5 可以看出,ERA-I 年均气压较实测数据均方根误差平均为 0.32 hPa,相关系数平均为 0.78,且均通过了 95%的置信度检验,各站变化趋势均一致,呈下降趋势,ERA-I 气压下降速率平均为 0.018 1 hPa/a,小于台站观测的 0.022 8 hPa/a。由此可见,中国沿海

大部分站点 ERA-I 气压年际变化趋势是可信的。分海区来看,ERA-I 年均气压在各海区质量相当,其中渤海沿岸年均气压均方根误差平均为 0.31 hPa,相关系数平均为 0.75;黄海沿岸年均气压均方根误差平均为 0.30 hPa,相关系数平均为 0.75;东海沿岸年均气压均方根误差平均为 0.35 hPa,相关系数平均为 0.80;南海沿岸年均气压均方根误差平均为 0.35 hPa,相关系数平均为 0.79。

表 5 中国沿海年均气压比较

Tab. 5 Comparison of annual mean air pressure along coast of China

海区	站位	均方根误差(hPa)	相关系数	置信度 (%)	ERA-I 变化率(hPa/a)	观测变化率(hPa/a)	海区	站位	均方根误差(hPa)	相关系数	置信度 (%)	ERA-I 变化率(hPa/a)	观测变化率(hPa/a)
渤海	鲅鱼圈	0.24	0.84	100.00	-0.0114	-0.0114	东海	吕泗	0.35	0.75	100.00	-0.0273	-0.0158
	芷锚湾	0.26	0.81	100.00	-0.0091	-0.0253		大戢山	0.36	0.84	100.00	-0.0264	-0.0430
	秦皇岛	0.40	0.63	99.99	-0.0100	-0.0244		滩浒	0.24	0.87	100.00	-0.0277	-0.0169
	塘沽	0.47	0.63	99.99	-0.0126	-0.0360		崇武	0.51	0.70	100.00	-0.0195	-0.0226
	北隍城	0.31	0.65	100.00	-0.0166	-0.0057		厦门	0.29	0.86	100.00	-0.0191	-0.0272
	龙口	0.21	0.88	100.00	-0.0175	-0.0181		海区平均	0.35	0.80	100.00	-0.0240	-0.0251
	蓬莱	0.27	0.80	100.00	-0.0173	-0.0095		云澳	0.23	0.90	100.00	-0.0177	-0.0242
	海区平均	0.31	0.75	100.00	-0.0135	-0.0186		遮浪	0.21	0.94	100.00	-0.0197	-0.0337
	小长山	0.30	0.73	100.00	-0.0152	-0.0221		大万山	0.38	0.73	100.00	-0.0197	-0.0124
	老虎滩	0.36	0.57	99.95	-0.0160	-0.0081		闸坡	0.55	0.58	99.96	-0.0184	-0.0030
黄海	烟台	0.25	0.82	100.00	-0.0181	-0.0196	南海	硃洲	0.35	0.75	100.00	-0.0167	-0.0290
	成山头	0.27	0.80	100.00	-0.0186	-0.0315		北海	0.28	0.82	100.00	-0.0144	-0.0174
	石岛	0.27	0.79	100.00	-0.0190	-0.0266		清澜	0.50	0.71	100.00	-0.0174	-0.0451
	千里岩	0.27	0.81	100.00	-0.0199	-0.0238		东方	0.31	0.80	100.00	-0.0142	-0.0283
	日照	0.40	0.60	99.98	-0.0213	-0.0148		西沙	0.31	0.85	100.00	-0.0210	-0.0274
	连云港	0.25	0.87	100.00	-0.0231	-0.0386		海区平均	0.35	0.79	100.00	-0.0177	-0.0245
	海区平均	0.30	0.75	99.99	-0.0189	-0.0231		—	—	—	—	—	
	中国沿海平均							0.32	0.78	100.00	-0.0181	-0.0228	

3.3 月均误差分析

选取中国沿海台站 1979 年 1 月~2012 年 12 月各月平均气压数据,计算 ERA-I 月均气压均方根误差,结果见表 6。中国沿海各站均方根误差平均为 0.49 hPa。分海区来看,渤海沿岸误差为 0.30~0.74 hPa,平均为 0.46 hPa;黄海沿岸误差为 0.32~0.51 hPa,平均为 0.40 hPa;东海沿岸误差为 0.29~0.75 hPa,平均为 0.51 hPa;南海沿岸误差为 0.46~0.80 hPa,平均为 0.58 hPa。以上结果表明:ERA-I 月均气压数据与台站实测数据具有较好的一致性。从误差空间分布来看,黄海沿岸平均误差最小,其次为渤海和东海沿岸,南海沿岸平均误差最大。

4 海温数据质量评估

4.1 季节变化分析

中国沿海各站海温气候态平均状况比较见图 5,可以看出,ERA-I 和台站观测海温季节变化趋势一致,二者位相相同,8 月份海温最高,2 月份海温最低,吻合较好;ERA-I 平均值高于台站观测平均值,偏高的月份主要集中在冬半年(11 月~次年 3 月)。

统计中国沿海各台站海温观测数据平均偏差、最高/低值出现月份结果见表 7,从表 7 常年平均海温偏差来看,ERA-I 海温比台站观测值平均高 0.70℃。分海区来说,渤海沿岸整体偏高,塘沽和北隍城 2 站偏

表 6 中国沿海逐年各月气压比较

Tab. 6 Comparison of monthly mean air pressure along coast of China

海区	站位	均方根误差(hPa)	海区	站位	均方根误差(hPa)
渤海	鲅鱼圈	0.30	东海	吕泗	0.75
	芷锚湾	0.36		大戢山	0.43
	秦皇岛	0.53		滩浒	0.29
	塘沽	0.74		崇武	0.71
	北隍城	0.46		厦门	0.38
	龙口	0.35		海区平均	0.51
	蓬莱	0.46		云澳	0.56
	海区平均	0.46		遮浪	0.59
	小长山	0.39		大万山	0.80
	老虎滩	0.44	南海	闸坡	0.71
黄海	烟台	0.36		硃洲	0.46
	成山头	0.32		北海	0.47
	石岛	0.39		清澜	0.54
	千里岩	0.38		东方	0.46
	日照	0.51		西沙	0.63
	连云港	0.38		海区平均	0.58
	海区平均	0.40		—	—
中国沿海平均			0.49		

表 7 中国沿海气候态海温比较

Tab. 7 Comparison of climatic sea surface temperature along coast of China

海区	站位	平均偏差 (℃)	最高值月份		最低值月份		海区	站位	平均偏差 (℃)	最高值月份		最低值月份	
			ERA-I	观测	ERA-I	观测				ERA-I	观测	ERA-I	观测
渤海	葫芦岛	-0.79	8	8	2	12	东海	滩浒	-0.02	8	8	2	2
	芷锚湾	-0.03	8	8	2	12		石浦	1.19	8	8	2	2
	秦皇岛	-0.86	8	8	2	12		坎门	0.92	8	8	2	2
	塘沽	0.30	8	8	2	1		平潭	2.45	8	9	2	2
	龙口	-0.52	8	8	2	1		崇武	2.39	8	8	2	2
	北隍城	1.30	8	8	2	2		厦门	1.64	8	8	2	2
	小长山	1.11	8	8	2	2		遮浪	1.47	8	8	1	2
	老虎滩	1.10	8	8	2	2		大万山	0.78	8	7	1	2
黄海	烟台	0.58	8	8	2	2	南海	闸坡	1.23	8	8	1	1
	成山头	2.24	8	9	2	2		硃洲	0.85	8	8	2	2
	石岛	1.97	8	9	2	2		北海	1.07	8	7	2	1
	千里岩	0.36	8	8	2	2		涠洲	0.53	8	7	2	2
	小麦岛	0.65	8	8	2	2		海口	0.28	8	7	2	2
	日照	0.50	8	8	2	2		东方	-0.52	8	6	2	1
	连云港	0.41	8	8	2	1		莺歌海	-0.84	8	6	2	1
	—	—	—	—	—	—		西沙	-0.18	6	6	1	1
中国沿海平均						0.70	—	—	—	—			

低, 其余 4 站均偏高; 黄海沿岸各站均偏高; 东海除滩浒站略低外, 其余 5 站均偏高; 南海除海南岛周边东方、莺歌海和西沙 3 站偏低外, 广东、广西沿海各

站均偏高。

从表 7 海温最高/低值出现月份来看, ERA-I 与台站观测数据较一致, 海温最高值出现在 6~9 月, 海温

最低值出现在 12~次年 2 月。分海区来说,渤海沿岸各站海温最高值出现月份为 8 月,ERA-I 和观测数据一致,但观测的最低月份局地特征明显,辽东湾及秦皇岛沿岸出现在 12 月份,渤海湾和莱州湾沿岸出现在 1 月份,渤海海峡沿岸出现在 2 月份,而 ERA-I 数据则均出现在 2 月份;黄海沿岸除成山头 and 石岛最高值出现月份以及连云港最低值出现月份不一致外,各站最高/低值出现月份均一致;东海沿岸除平潭最高值出现月份不一致外,各站最高/低值出现月份均一致;南海沿岸除东方和莺歌海 2 站最高/低值出现月份不一致外,各站最高/低值出现月份均一致。

以上结果表明: ERA-I 的海温累年月平均变化特征和观测数据基本一致,可以反映气候态的季节变化特征。就中国沿海整体来说, ERA-I 海温常年平均值比实测值偏高,偏高的月份主要集中在冬半年(11 月~次年 3 月),在使用该数据时应加以注意。

4.2 年际变化分析

选取中国沿海台站 1979~2012 年历年平均海温数据,计算 ERA-I 年均海温均方根误差及变化速率,平均状况比较见图 6,各站比较结果见表 8。

由图 6 可以看出,中国沿海 ERA-I 数据和台站观测的年均海温变化趋势一致,均呈上升趋势,但 ERA-I 海温整体偏高。海温年际变化特征显著,就 1994 年、1998 年、2004 年和 2007 年的海温极大值以及 1996 年、2011 年的海温极小值特征而言, ERA-I 数据和观测数据同步性较好,能体现这些年份的特征。

从表 8 可以看出, ERA-I 年均海温较实测数据均方根误差平均为 0.48°C , 相关系数平均为 0.56。中国沿海各站平均变化趋势来看, ERA-I 和观测一致,均呈上升趋势, ERA-I 海温上升速率平均为 0.0023°C/a , 小于台站观测的 0.0135°C/a 。由此可见,用 ERA-I 海温数据分析中国沿海平均状况是较可靠的,但就空间分布来看误差分布不均匀。黄海沿岸质量最好,年均海温均方根误差平均为 0.48°C , 相关系数平均为 0.72; 渤海沿岸其次,均方根误差平均为 0.47°C , 相关系数为 0.61; 东海和南海沿岸较差,相关系数较小,部分站未通过 95%的置信度检验,误差较大的区域集中在东海台湾海峡至北部湾及海南岛东侧沿岸,相关系数较低且长期变化趋势相反。因此,使用 ERA-I 海温资料做年际变化趋势分析时在台湾海峡至北部湾沿岸海域要谨慎。

表 8 中国沿海年均海温比较

Tab. 8 Comparison of annual mean sea surface temperature along coast of China

海区	站位	均方根 误差(℃)	相关 系数	置信度 (%)	ERA-I 变 化率(℃/a)	台站变化 率(℃/a)	海区	站位	均方根 误差(℃)	相关 系数	置信度 (%)	ERA-I 变化 率(℃/a)	台站变化 率(℃/a)
渤海	葫芦岛	0.53	0.50	99.72	-0.0003	-0.0201	东海	滩浒	0.50	0.63	99.99	0.0201	0.0295
	芷锚湾	0.47	0.57	99.96	0.0128	-0.0100		石浦	0.34	0.73	100.00	0.0047	0.0265
	秦皇岛	0.43	0.60	99.98	0.0128	-0.0022		坎门	0.44	0.62	99.99	0.0005	0.0233
	塘沽	0.46	0.65	100.00	0.0040	0.0126		平潭	0.71	0.12	51.83	-0.0213	0.0204
	北隍城	0.41	0.75	100.00	0.0129	0.0039		崇武	0.69	0.26	86.64	-0.0179	0.0149
	龙口	0.50	0.60	99.98	0.0251	-0.0017		厦门	0.96	-0.06	25.76	-0.0428	0.0261
	海区平均	0.47	0.61	99.94	0.0112	-0.0029		海区平均	0.61	0.38	77.37	-0.0095	0.0235
	小长山	0.47	0.73	100.00	0.0179	0.0274		遮浪	0.40	0.51	99.81	-0.0059	0.0192
	老虎滩	0.38	0.76	100.00	0.0121	0.0220		大万山	0.51	0.26	86.94	-0.0144	0.0244
	烟台	0.42	0.82	100.00	0.0144	0.0064		闸坡	0.60	0.13	52.43	-0.0286	0.0211
黄海	成山头	0.49	0.67	100.00	0.0201	-0.0001	南海	硃洲	0.64	0.14	58.49	-0.0314	0.0239
	石岛	0.47	0.77	100.00	0.0139	0.0199		北海	0.39	0.58	99.96	-0.0194	0.0062
	千里岩	0.46	0.81	100.00	0.0339	0.0174		涠洲	0.41	0.63	99.99	-0.0154	0.0084
	小麦岛	0.54	0.69	100.00	0.0343	0.0222		海口	0.55	0.29	90.83	-0.0314	0.0139
	日照	0.69	0.49	99.65	0.0145	0.0096		东方	0.28	0.84	100.00	0.0049	0.0108
	连云港	0.43	0.70	100.00	0.0126	0.0225		莺歌海	0.17	0.86	100.00	0.0120	0.0107
	海区平均	0.48	0.72	99.96	0.0193	0.0164		西沙	0.20	0.85	100.00	0.0160	0.0084
	—	—	—	—	—	—		海区平均	0.42	0.51	88.85	-0.0114	0.0147
中国沿海平均									0.48	0.56	92.00	0.0023	0.0135

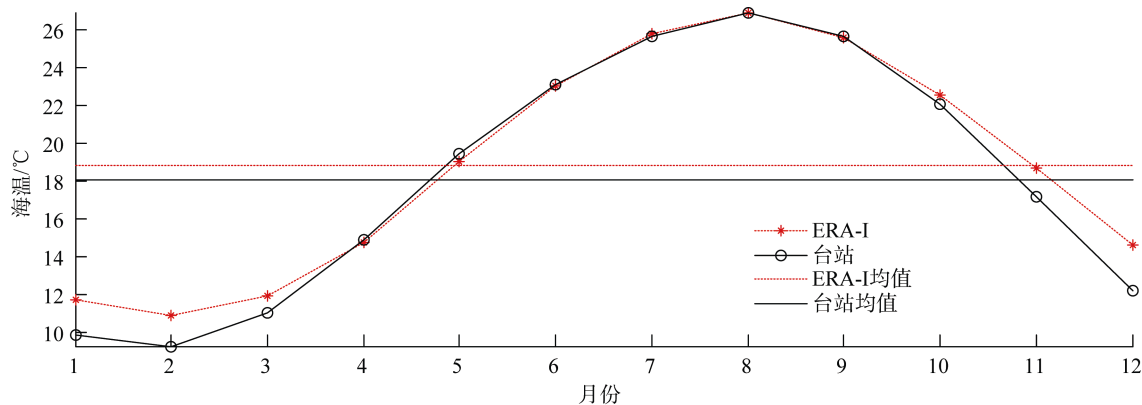


图 5 中国沿海台站平均海温季节变化 ERA-I 和台站比较

Fig. 5 Comparison of seasonal sea surface temperature between ERA-I and observation

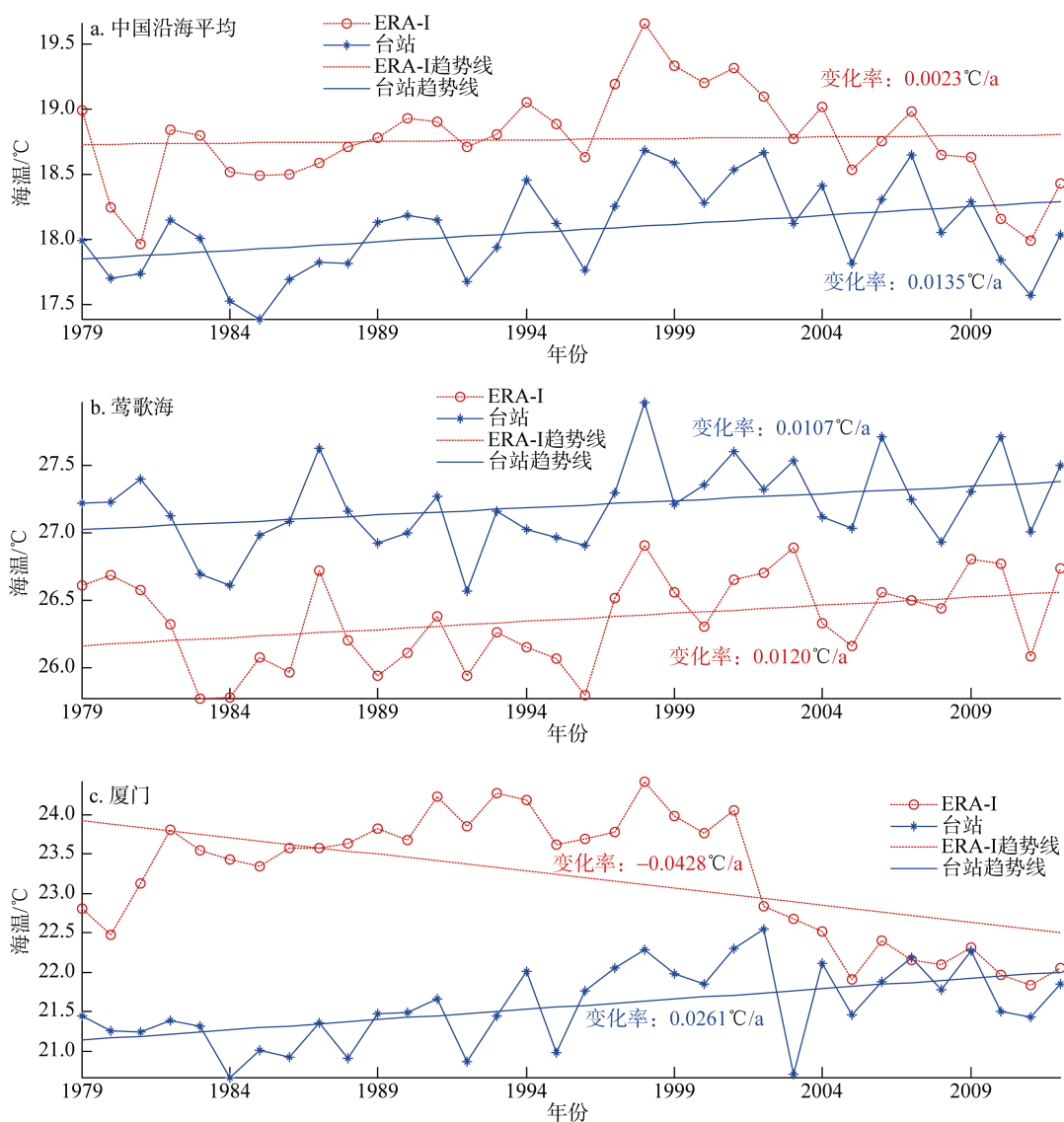


图 6 ERA-I 和台站年均海温变化比较

Fig. 6 Comparison of annual mean sea surface temperature between ERA-I and observation

4.3 月均误差分析

选取中国沿海台站 1979 年 1 月~2012 年 12 月各月平均海温数据, 计算 ERA-I 海温均方根误差, 结果见表 9。各站均方根误差平均为 2.16℃。分海区来看, 渤海沿岸误差为 2.61~3.87℃, 平均为 3.03℃; 黄海沿岸误差为 1.21~3.03℃, 平均为 1.96℃; 东海沿岸误差为 1.84~3.11℃, 平均为 2.50; 南海沿岸误差为 0.62~2.33℃, 平均为 1.63℃。从站位分布来看,

北隍城、千里岩、大万山、涠洲和西沙等海岛站误差显著小于各自附近的沿岸站。

以上结果表明: ERA-I 月均海温数据与台站实测数据具有较好的一致性。从误差空间分布来看, 离岸海岛站数据优于近岸区域, 南海沿岸平均误差最小, 渤海沿岸平均误差最大(均方根误差均超过 2.5℃); 台湾海峡附近沿岸误差较大(平潭至厦门一带均方根误差均超过 2.5℃), 在上述区域使用 ERA-I 海温数据时应考虑其产品偏差。

表 9 中国沿海逐年各月海温比较

Tab. 9 Comparison of monthly mean sea surface temperature along coast of China

海区	站位	均方根误差(℃)	海区	站位	均方根误差(℃)
渤海	葫芦岛	2.90	东海	滩浒	1.84
	芷锚湾	3.01		石浦	2.19
	秦皇岛	2.88		坎门	2.30
	塘沽	3.87		平潭	2.91
	北隍城	2.61		崇武	3.11
	龙口	2.92		厦门	2.67
	海区平均	3.03		海区平均	2.50
	小长山	1.70		遮浪	2.20
	老虎滩	1.96		大万山	1.60
	烟台	1.63		闸坡	2.25
黄海	成山头	3.03	南海	碇洲	1.78
	石岛	2.54		北海	2.33
	千里岩	1.21		涠洲	1.40
	小麦岛	1.38		海口	1.20
	日照	1.72		东方	1.59
	连云港	2.45		莺歌海	1.29
	海区平均	1.96		西沙	0.62
	—	—		海区平均	1.63
		中国沿海平均			2.16

5 结论

5.1 气温质量评估结论

ERA-I 气温累年月平均变化特征和观测数据吻合较好, 可以反映气候态的季节变化特征。就中国沿海整体来说 ERA-I 气温比台站观测值高 0.19℃, 在使用该数据做分析时应考虑到二者之平均偏差。

中国沿海 ERA-I 年均气温和台站观测的数据变化趋势一致, 均呈上升趋势, 年际变化特征一致。从变化率来看, 除东方外, 其余各站变化趋势均一致, 呈上升趋势, ERA-I 上升速率平均为 0.023 4℃/a, 小于台站观测的 0.032 7℃/a。ERA-I 年均气温较实测数

据均方根误差平均为 0.31℃, 相关系数平均为 0.86; ERA-I 气温在黄海沿岸质量最好, 年均气温均方根误差平均为 0.28℃, 相关系数平均为 0.9。

中国沿海 ERA-I 月均气温数据与台站实测数据具有较好的一致性, ERA-I 月均气温较实测数据均方根误差平均为 0.86℃。从误差空间分布来看, 黄海沿岸平均误差最小, 数据质量优于其他海区。

5.2 气压质量评估结论

ERA-I 气压累年月平均变化特征和观测数据吻合较好, 可以反映气候态的季节变化特征。就中国沿海整体来说 ERA-I 气压比台站观测值平均低 0.17 hPa, 在使用该数据做分析时应考虑到二者之平均偏差。

中国沿海 ERA-I 数据和台站观测的年均气压变化趋势一致,均呈下降趋势,ERA-I 气压下降速率平均为 0.018 1 hPa/a,小于台站观测的 0.022 8 hPa/a,均方根误差平均为 0.32 hPa,相关系数平均为 0.78,其中渤海沿岸质量最好,黄海沿岸其次,南海沿岸次之,东海沿岸最差。

ERA-I 月均气压数据与台站实测数据具有较好的一致性,均方根误差平均为 0.49 hPa。从误差空间分布来看,黄海沿岸平均误差最小,其次为渤海和东海沿岸,南海沿岸平均误差最大。

5.3 海温质量评估结论

ERA-I 海温累年月平均变化特征和观测数据基本一致,可以反映气候态的季节变化特征。就中国沿海整体来说 ERA-I 海温常年平均值比实测值平均高 0.70℃,偏高的月份主要集中在冬半年(11 月~次年 3 月),在使用该数据时应加以注意。

ERA-I 年均海温较实测数据均方根误差平均为 0.48℃,相关系数平均为 0.56。中国沿海各站平均变化趋势来看,ERA 和观测一致,均呈上升趋势,ERA 海温上升速率平均为 0.002 3℃/a,小于台站观测的 0.013 5℃/a。黄海沿岸质量最好,渤海沿岸次之,东海和南海沿岸稍差。误差较大的区域集中在东海台湾海峡至南海北部湾沿岸,相关系数较低且长期变化趋势相反,在台湾海峡至北部湾沿岸海域使用 ERA-I 数据进行海温年际变化趋势分析时要谨慎。

ERA-I 月均海温数据与台站实测数据具有较好的一致性,平均误差 2.16℃。从误差空间分布来看,海岛站优于沿岸站,南海沿岸平均误差最小,渤海沿岸平均误差最大(各站均方根误差均超过 2.5℃),台湾海峡附近沿岸误差较大(平潭至厦门一带均方根误差均超过 2.5℃),在上述区域使用 ERA-I 海温数据时应考虑其产品偏差。

参考文献:

[1] Boyle J S. Comparison of variability of the monthly mean temperature of the ECMWF and NCEP reanalyses and CCM3 and CSM simulation[R]. Lawrence: Lawrence Livermore National Laboratory, 2000 .

[2] Hnilo J J, Santer B D, Boyle J, et al. Research activities at the program for climate model diagnosis and intercomparison[R]. Lawrence: Lawrence Livermore National Laboratory, 1999.

[3] Lambert S J, Mitchell H L. The Canadian Meteorological

Centre (CMC) global analyses (1991-1996) an evaluation by comparison with the ECMWF and NCEP analysis[J]. Atmosphere-Ocean, 1998, 36 (4): 385-404.

[4] 谢潇,何金海,祁莉. 4 种再分析资料在中国区域的适用性研究进展[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(5): 58-65.

[5] 邓小花,翟盘茂,袁春红. 国外几套再分析资料的对比与分析[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 1-8.

[6] 赵宗慈. 当前气候变化研究的热点问题-IUGG2003 会议介绍[J]. 气候变化通讯, 2003, 2(4): 14-15.

[7] 赵天保,艾丽坤,冯锦明. NCEP 再分析料和中国站点观测资料的分析比较[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(2): 278-294.

[8] 谢爱红,秦大河,任贾文,等. NCEP/NCAR 再分析资料在珠穆朗玛峰一念青唐古拉山脉气象研究中的可信性[J]. 地理学报, 2007, 62(3): 268-278.

[9] 魏丽,李栋梁. NCEWNCAR 再分析资料在青藏铁路沿线气候变化研究中的适用性[J].高原气象, 2003, 22(5): 488-494.

[10] 魏丽,李栋梁. 青藏高原地区 NCEP 新再分析地面通量资料的检验[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 478-487.

[11] 赵瑞霞,吴国雄. 黄河流域中上游水分收支以及再分析资料可用性分析[J]. 自然科学进展, 2006, 16(3): 316-324.

[12] 赵瑞霞,吴国雄. 长江流域水分收支以及再分析资料可用性分析[J]. 气象学报, 2007, 65(3): 416-427.

[13] 何浪,吴洪宝,赵晓川. 3 种再分析资料基本统计量比较[J]. 南京气象学院学报, 2009, 32(1): 54-63.

[14] 韩晋平,王会军. 东亚夏季风年代际变化的若干重要特征及两份大气再分析资料的异同[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1666-1676.

[15] 宋丰飞,周天军. 2012. 20CR 再分析资料在东亚夏季风区的质量评估[J].大气科学, 36(6): 1207-1222.

[16] 徐影,丁一汇,赵宗慈. 美国 NECP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度初步分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3): 337-347.

[17] 赵天保,符淙斌. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 14-32.

[18] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.GB/T14914-2006 海滨观测规范[S].北京: 国家标准出版社, 2006.

Evaluation of ERA-Interim reanalysis data along coast of China

GAO Zhi-gang^{1, 2}, LUO Jing-xin², LIU Ke-xiu², ZHANG Qing-he¹, FAN Wen-jing², Wu Shuang-quan², LI Xiang²

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. National Marine Data & Information Service, Tianjin 300171, China)

Received: May, 22, 2014

Key words: coast of China; ERA-Interim evaluation; air temperature; air pressure; sea surface temperature

Abstract: In this paper, the reliability of air temperature (AT), air pressure (AP) and sea surface temperature (SST) of ERA-Interim (ERA-I for short) reanalysis dataset along coast of China is appraised according to the data observed from stations along coast of China. It indicates that: (1) Climatic mean values of AT, AP and SST of ERA-I could reflect the character of seasonal variation, which have good agreement with the observed data. Compared with the observed data from the stations, the ERA-I AT is 0.19°C higher, ERA-I AP is 0.17 hPa lower and ERA-I SST is 0.70°C higher. (2) Analysis of inter-annual variability shows that annual mean values of AT, AP and SST of ERA-I and observed data have the same trends, in which AT and SST rise and AP declines. But ERA-I AT in the vicinity of Hainan Island and ERA-I SST from the Taiwan Strait to the Beibu Gulf have poor correlation with the observed data, which need more attention. (3) From the analysis of the average monthly change character, ERA-I monthly mean AT, AP and SST data have a good consistency with station observed data. The results showed that ERA-I AT along coast of the Yellow Sea is of the best quality, ERA-I AP along coast of the Bohai Sea is of the best quality, and ERA-I SST along coast of the South China Sea is of the best quality, when compared to another areas. It is worth noting that ERA-I monthly mean SST along coast of the Bohai Sea and the Taiwan Strait is of poor quality (root-mean-square error of some stations exceeds 2.5°C). More attention should be paid when ERA-I SST data in the above areas are used.

(本文编辑: 李晓燕)