

## 渤海海域海上观测站逐时气温和气压的质量控制分析

王敏<sup>1,2</sup>, 徐梅<sup>1\*</sup>, 年飞翔<sup>1</sup>, 任建玲<sup>1</sup>, 黄纯玺<sup>1</sup>, 郭阳<sup>1</sup>, 勾志竟<sup>1</sup>

(1.天津市气象信息中心,天津 300074;2.广东省韶关市气象局,广东 韶关 512026)

**摘要:** 为有效提高海洋观测质量,选取渤海海域2019年19个海上自动气象观测站的逐时气温和气压,利用界限值检查、气候变化范围检查、内部一致性检查、时间一致性检查和空间一致性检查方法,对数据进行质量控制分析。结果表明:逐时气压的数据质量优于逐时气温,所有站点逐时气压数据的可用率均在99%以上,而3个站点的逐时气温数据质量较差,可用率分别为88.9%、91.3%和92.3%,错误主要表现为连续一段时间内气温出现异常。经过质量控制剔除错误值后,站点观测资料数据与ERA5再分析资料的相关系数均有所提升;经质量控制后的观测气温和气压的均方根误差减小,相关系数增大。因此,经过上述质量控制方法可有效剔除不合理数值,避免其由于直接使用带来的偏差。

**关键词:** 质量控制;逐时数据;海上观测站;气温;气压

**中图分类号:** P732.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2023)03-0097-07

### 0 引言

海上自动气象观测站(简称海上站)作为现代海洋监测系统的重要组成部分,其观测具有连续、全天候自动等优点<sup>[1]</sup>,因此在海上大风、海雾等灾害性天气的监测、预报和服务中起着非常重要的作用<sup>[2]</sup>。为加强对环渤海海域天气的监测和预警,天津市气象局自2016年起逐步在渤海海域新设了15个海上站,并更新了已有的4个海上站的观测要素,丰富了海洋常规气象观测的种类,可更好地满足科研、业务等单位对渤海区域的观测需求<sup>[3-4]</sup>。

然而目前在海上站观测资料的应用中还存在一定问题。在实际观测过程中,受复杂的海上环境、仪器误差等因素影响<sup>[5]</sup>,直接使用未经质量控制的观测资料可能会由于资料要素值异常导致研究结果存在偏颇。为保障海洋观测资料能够真实有效地反映海洋信息,非常有必要对观测资料进行质量控制,以剔除不合理的观测值<sup>[6-7]</sup>。

研究表明我国气象观测资料的质量控制技术已取得突破性进展。目前国内对地面自动站等的观测资料已建立了系统的质量控制算法和完善的行业标准<sup>[8]</sup>,但算法多应用于地面和高空观测资料<sup>[9-10]</sup>。海上站由于通常建站较晚,对其观测资料设计的质量控制方案较少。目前海上站的质量控制算法研究多限于单个观测站或者风速、海温等单一要素<sup>[11-13]</sup>,研究方法主要包括气候学界限值检查、内部一致性检查、时间一致性检查、空间一致性检查等<sup>[14]</sup>。此外,为分析质量控制算法的效果,有必要利用其他资料与质量控制前后的观测资料进行对比分析。因海上资料较少,目前多数研究是将我国近海观测资料与欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium - Range Weather Forecasts, ECMWF)、美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)等机构的多种再分析资料进行评估,结果均表明ECMWF再分析资料与我国沿海观测资料的相关性优于

收稿日期: 2022-02-28。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41905132);天津市气象局科研项目(202119ybxm07)。

作者简介: 王敏(1992-),女,工程师,硕士,主要从事数据质量控制、评估及灾害性天气研究工作。E-mail: wmin820@126.com

\*通信作者: 徐梅(1978-),女,高级工程师,硕士,主要从事数据质量控制和开发研究工作。E-mail: littlelittlebear1997@sina.com

NCEP<sup>[14-17]</sup>,可用于海洋要素变化特征分析。基于上述研究结果,本文选取了ECMWF开发的第5代再分析资料(ERA5)作为参考资料,与质量控制前后的海上站观测资料进行对比分析。

本文参考海洋观测规范、地面观测质量控制行业标准及相关算法,结合海洋气象预报经验,选取渤海海域19个海上站观测的连续型变量气温、气压进行质量控制算法研究,利用ERA5再分析资料与质量控制前后气温与气压要素之间的相关性进行分析,评估质量控制算法的合理性,以期对渤海智能网格预报中海上气温、气压要素的协同订正提供实况保障。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

本文使用的海上站观测资料来源于天津市气象信息中心,包括渤海19个海上站2019年1—12月的逐时观测气温、气压。站点分布如图1所示。

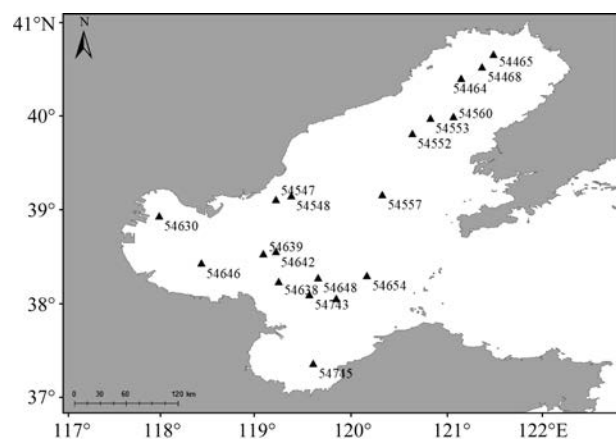


图1 渤海海域19个海上站的空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of 19 marine stations in the Bohai sea

本文所用的ERA5再分析资料来自ECMWF 2019年逐时气温和气压资料,分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 。采用双线性插值的方法将气温和气压数据插值到对应的站点,为便于后文分析,将双线性插值后的数据简称为ERA5-STA。

### 1.2 研究方法

因海上站受到独特的地理环境影响,本研究对

气温、气压进行质量控制检查的方法综合了地面气象观测质量控制行业标准、海滨观测规范<sup>[14]</sup>和预报经验,按照界限值检查、气候变化范围检查、内部一致性检查、时间一致性检查和空间一致性检查的顺序依次进行。对气温和气压进行质量控制检查时设置的参数结合了海上站气温、气压要素自身的变化特征及预报员丰富的预报经验。各项质量控制检查的判别条件如下:

①界限值检查:依据海上站仪器的观测范围设置阈值。气温为 $-50 \sim 50^\circ\text{C}$ ,夏季气温高于 $0^\circ\text{C}$ ,冬季气温低于 $30^\circ\text{C}$ ;气压为 $500 \sim 1\,100\text{ hPa}$ 。通过检查的数据继续进行下一项检查,否则视为错误不再进行其他检查。

②气候变化范围检查:依据海上观测要素自身的变化特性,计算各海上站建站以来逐时气温(气压)观测资料的多年平均值和对应标准差,设置气候变化阈值范围为多年平均气温(气压)值加减其5倍标准差。通过检查的数据继续进行下一项检查,否则视为错误不再进行其他检查。

③内部一致性检查:气温不高于最高气温且不低于最低气温,气压不高于最高气压且不低于最低气压。通过检查的数据继续进行下一项检查,否则视为错误不再进行其他检查。

④时间一致性检查:包括持续性检查和时变检查。在持续性检查中,如果连续10个时次气温和气压的标准差小于0.02,视其为错误,不再进行下一步检查;在时变检查中,认为气温每1 h变化阈值为 $6^\circ\text{C}$ ,每2 h变化 $8^\circ\text{C}$ ;气压每1 h变化3 hPa,每2 h变化6 hPa,如果在此变化范围内则认为合理,继续进行下一项检查,否则视为错误不再进行下一步检查。

⑤空间一致性检查:将气温和气压作为连续型变量,采用空间平均值比较法进行检查,即选取距离被检站最近的5个站点作为参考站,被检站气温与参考站的平均气温差值阈值选取为 $8^\circ\text{C}$ ,平均气压差值阈值为20 hPa,如超出阈值则视为错误数据。

此外,本文对可用率的计算参照文献[4]进行。

## 2 研究结果

### 2.1 界限值检查和气候变化范围检查

气温界限值检查结果表明有3个站点的气温出

现错误(图略),其中54642站未通过界限值检查的数据最多,达711条,其次为54548站和54630站,未通过界限值检查的数据分别为46条和24条。分析其错误原因,发现54642站的9月气温多次出现为0℃的情况,54548站的1月气温达到了40℃以上,54630站的5月气温为0℃以下,这显然不符合渤海海域特征,判定其为错误。在气压界限值检查中发现54553站的气压有4次未通过检查(图略),气压值分别为1 304.7 hPa、1 305.4 hPa、1 305.1 hPa和1 486.2 hPa,超出了气压表的观测阈值,视其为错误。未通过界限值检查的气温和气压不再进行其他项检查。

结合渤海气候变化特征,对通过界限值检查的

气温和气压进行气候变化范围检查。图2为渤海19个海上站未通过气候变化范围检查的气温和气压错误条数。有4个站点的气温未通过气候变化范围检查,其中54548站的气温错误条数达389条,54642站和54630站的气温错误条数分别为161条和96条,54552站的气温错误条数为5条。选取54548站2019年6月未通过气候变化范围检查的气温与邻近站(54547站,此站并未检测出错误)进行对比(见图3),发现54548站检验出来的错误气温值明显高于54547站,因此认为筛选出的错误值合理<sup>[3]</sup>。气压未通过气候变化范围检查的站点为54654站、54553站和54649站,错误条数分别为5条、3条和1条。

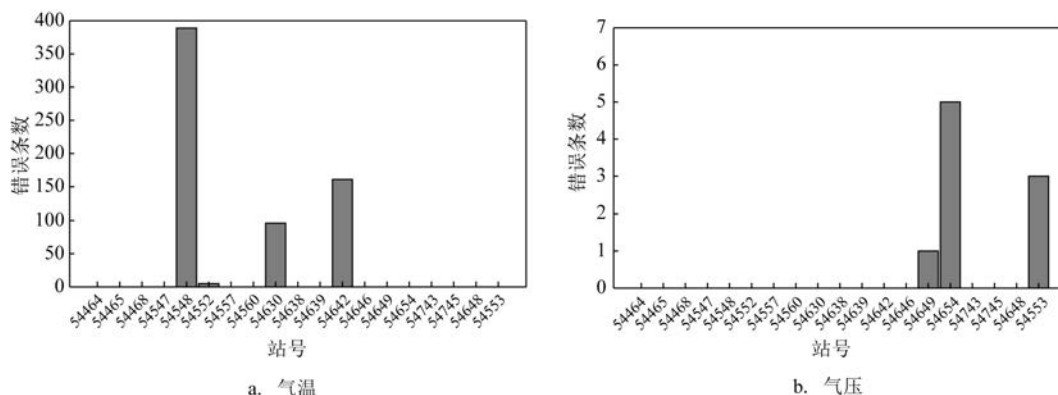


图2 渤海19个海上站2019年观测资料未通过气候变化范围检查的错误条数

Fig.2 The numbers of errors that hourly data of 19 marine stations failed to pass the main climatological changing range check in the Bohai sea in 2019

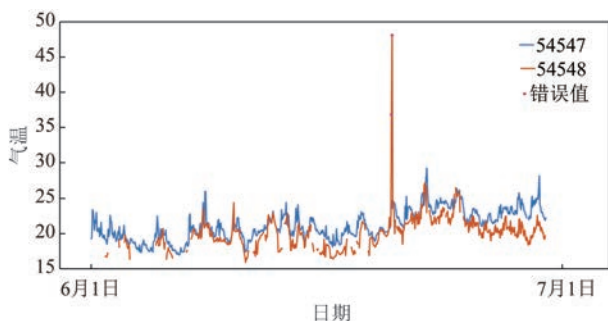


图3 渤海54548站与54547站的气温时间序列图

Fig.3 Time series of station observation temperature in 54548 and 54547 stations in the Bohai sea

## 2.2 内部一致性检查

对通过界限值和气候变化范围检查的气温和

气压进行内部一致性检查,结果表明气温未通过内部一致性检查的站点为54548站和54642站,错误条数分别为213条和1条(图略),其余17个站点的气温均通过了内部一致性检查。进一步检查发现,错误的气温记录主要出现在2019年1—3月。气压均通过了内部一致性检查。

## 2.3 时间一致性检查

时间一致性检查包括持续性检查和时变检查,表示气温、气压随时间的变化情况是否在合理的范围内。

因海上站地理位置特殊,无法实时对观测仪器进行维护。结合渤海海域气象变化特征,对气温和气压进行持续性检查后发现(图4),气温未通过持

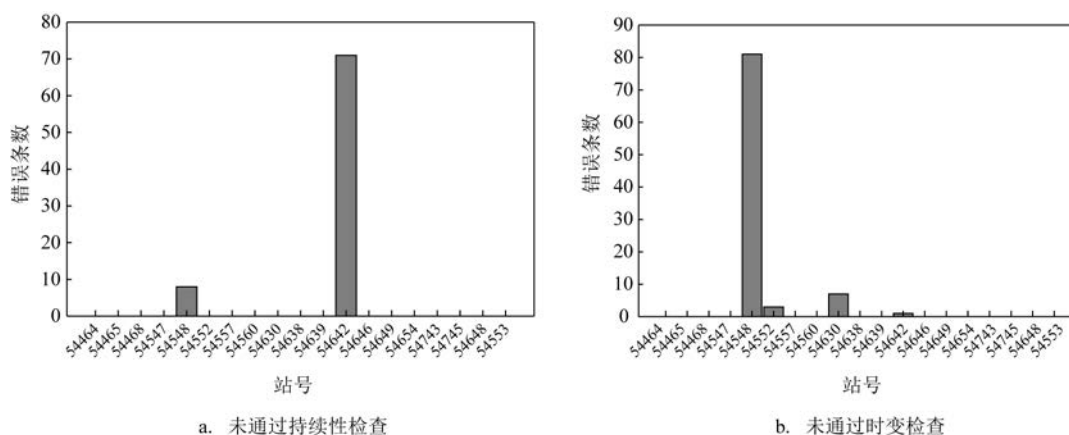


图4 渤海19个海上站2019年逐时气温未通过持续性检查和时变检查的错误条数

Fig.4 Number of errors in hourly temperature data from 19 offshore stations that did not pass the persist-ence check and temporal variation check in the Bohai Sea in 2019

续性检查的为54548站和54642站,其中54642站错误条数为71条,54548站错误条数为8条,错误原因均为连续一段时间的气温为0℃(图略)。所有站点的气压均通过了持续性检查。

气温的时变检查结果表明有4个站点未通过检查(见图4b),其中54548站错误记录为81条,54630站、54552站和54642站也均有未通过检查的气温记录,但错误记录均未超过10条。所有站点的气压均通过了时变检查。

## 2.4 空间一致性检查

从图5中可以看到,共有8个站点的逐时气温未通过空间一致性检查。54630站的错误气温条数达538条,主要出现在1月和4月,表现为气温异常低于邻近站点(1月均低于-10℃,4月低于0℃)。为了进一步验证空间一致性结果在该站检测出的错误气温是否合理,利用2019年ERA5-STA气温与54630站气温进行对比(图略),结果表明观测气温在2019年1月和4月均出现异常偏低的情况,低于ERA5-STA资料10℃左右,而其他月份两者的结果非常接近;此外还对比了54630站在2018年和2020年的同期气温,均未发现气温异常偏低的情况,因此认定气温记录错误是合理的。54548站气温错误条数为235条,参照54630站进行了检验,此处不再赘述。54642站和54639站气温错误条数分别为29条和17条,此外54547站、54552站、54745站和54648站气温错误条数均低于5条。

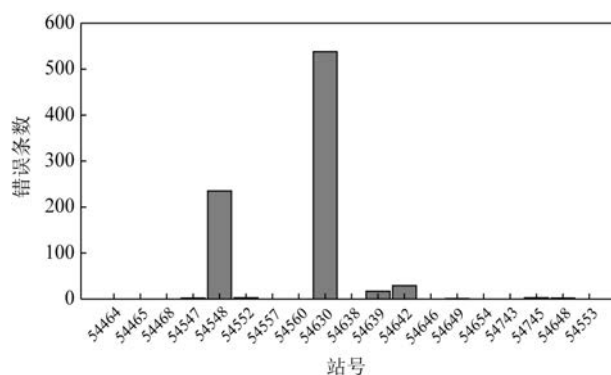


图5 渤海19个海上站2019年逐时气温未通过空间一致性检查的错误条数

Fig.5 Number of errors in hourly temperature data from 19 offshore stations that did not pass the spatial consistency check in the Bohai Sea in 2019

## 2.5 质量综合分析

综合上述分析结果发现,在渤海海域19个海上站2019年全年观测气温记录中,共计6个站点检测出错误气温(见图6a),其中3个站点的气温记录质量较差,54642站的错误记录最多,数据可用率为88.9%,其次为54548站和54630站,数据可用率较低,分别为91.3%和92.3%,54639站、54557站和54745站的气温错误条数均在20条以下。其余13个站点的气温未检测出错误,数据质量相对较好,可为海洋气象分析等提供支撑。

与观测气温相比,观测气压的质量明显更好



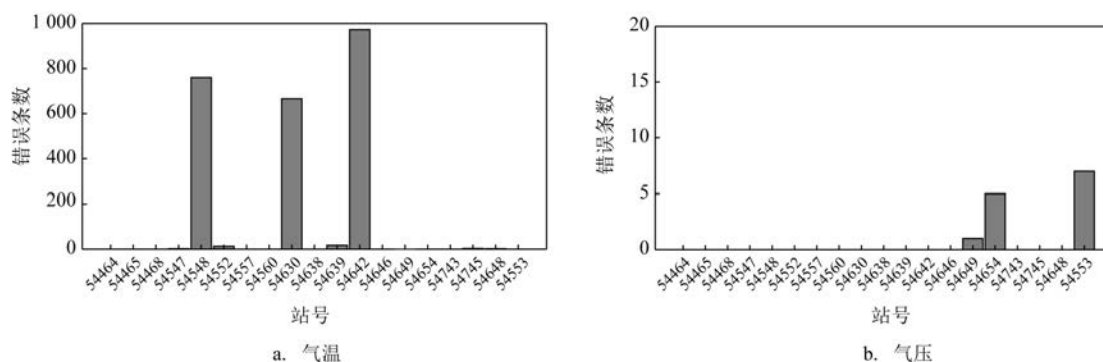


图6 渤海19个海上站2019年逐时观测资料质量综合分析的错误条数

Fig.6 Total number of errors in the quality comprehensive analysis of hourly observation data from 19 offshore station in the Bohai Sea in 2019

(见图6b),所有观测气压数据的可用率均达99.9%以上,其中16个站点的气压未检测出错误,仅有3个站点(S4553站、S4654站和S4649站)的气压出现错误,错误条数均低于10条。

分析错误气温和气压的出现规律,发现错误值都集中于一段时期内,分析原因主要是由于海上自动站无法进行实时维护,因此非常有必要及时对数据进行质量控制,避免其由于直接使用带来的误差。

## 2.6 质量控制结果分析

为检验质量控制算法的合理性,以ERA5-STA资料作为参考序列,计算2019年海上站质量控制前的观测气温、气压和经过质量控制剔除错误值后的观测气温、气压与ERA5-STA资料的相关系数,结果见图7。气温的相关系数结果表明(见图7a),经过

质量控制检测出错误数较多的S4642站、S4548站和S4630站的气温与ERA5-STA气温的相关性有了大幅提升,各站的相关系数均提升至0.95以上,表明经质量控制后剔除了异常气温值。气压的相关系数结果表明(见图7b),经质量控制后S4553站的气温相关系数由原来的0.5提升至0.99。综上说明,通过质量控制算法可以合理地剔除错误值,质量控制算法合理。

此外,考虑到气温与气压之间具有相关性<sup>[10]</sup>,为进一步验证质量控制结果的合理性,以2019年S4642站的观测气温与气压为例,进行两要素的相关性分析(见图8)。该站检测出的错误气温记录最多,但未检测出错误气压。质量控制前气温与气压的均方根误差为6.8,相关系数为0.5,质量控制后两者的均方根误差为6.0,相关系数为0.7,表明经过质量控制后的气温与气压之间的相关性更强,说明通

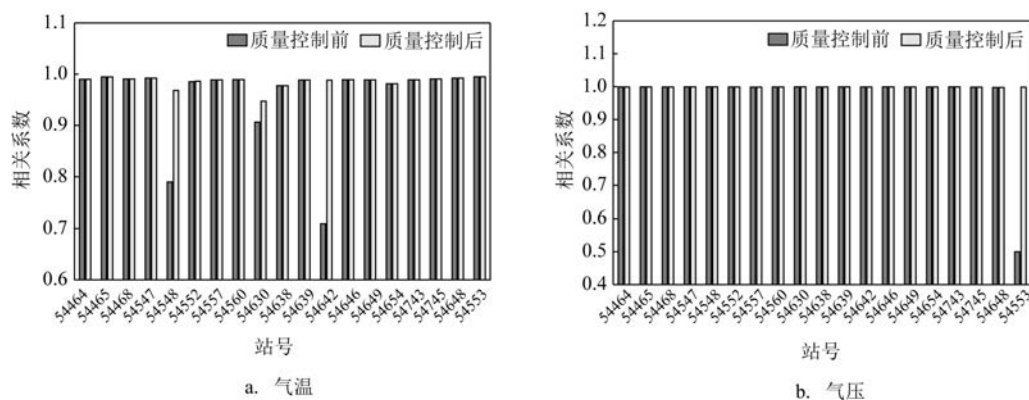


图7 渤海2019年海上站逐时观测资料与ERA5-STA资料的相关系数

Fig.7 Correlation coefficient between marine observation station data and ERA-STA data in the Bohai sea in 2019

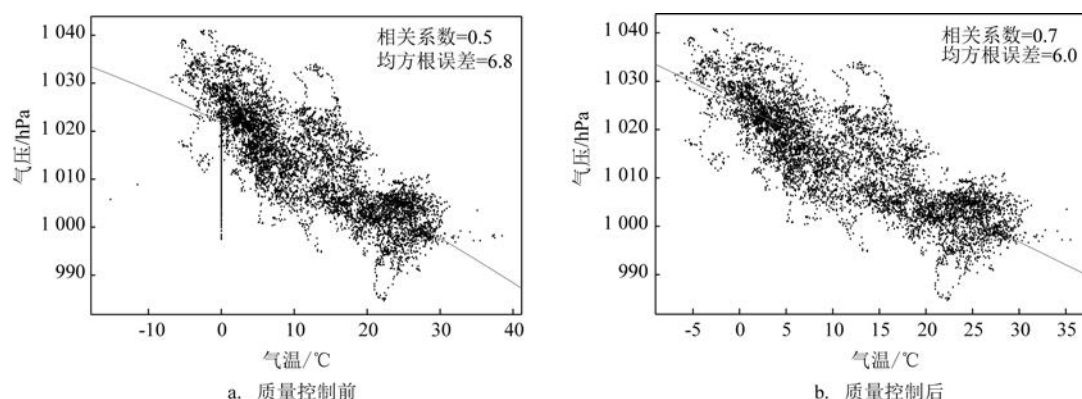


图8 渤海54642海上站2019年质量控制前后的逐时气温和气压的散点图及曲线拟合

Fig.8 The scatter plots of the temperature and pressure datasets before and after quality control at 54642 station in the Bohai sea in 2019

过质量控制可以有效剔除不合理的观测值。

### 3 结论和讨论

本研究通过对渤海19个海上站2019年观测的逐时气温和气压要素进行界限值检查、气候变化范围检查、内部一致性检查、时间一致性检查和空间一致性检查,结合ERA5再分析资料,对无法直接判定的错误值进行对比分析。结果表明,观测气压的数据质量优于气温,所有站点的观测气压质量稳定,仅在3个站点中检测出13条错误记录;16个站点的气温未通过率在1%以下,而另外3个站点的气温数据质量较差,可用率分别为88.9%、91.3%和92.3%,主要表现为在连续时段内观测气温值突变。对比质量控制前后的观测资料与ERA5再分析资料的相关性,以及典型代表站点气压和气温的相关性变化来验证质量控制算法的合理性,结果表明经质量控制后的气温和气压之间的相关性更高,均方根误差更小。因此,上述质量控制算法可有效剔除不合理的观测值。

本研究虽然对观测气温和气压设计了一套综合质量控制流程,筛选出了合理的错误值,但质量控制参数还有待进一步完善,以保证对观测的质量检查更为合理;此外还应合理利用卫星遥感等非常规探测和其他再分析方法,针对海上观测开展更为精细的质量控制方法研究。

#### 参考文献:

[1] 李帅,郭俊如,姜晓轶,等. 海洋水文气象多时空尺度资料来源分

析[J]. 海洋通报, 2020, 39(1): 24-39.

LI S, GUO J R, JIANG X Y, et al. Sources and analysis of multi-temporal-spatial scale marine hydrometeorology data[J]. Marine Science Bulletin, 2020, 39(1): 24-39.

[2] 王亚男,刘一玮,易笑园. 渤海西部雷雨大风统计特征及对流参数指标分析[J]. 气象, 2020, 46(3): 325-335.

WANG Y N, LIU Y W, YI X Y. Statistical characteristics and convection indexes of thunderstorm and gale over western Bohai Sea[J]. Meteorological Monthly, 2020, 46(3): 325-335.

[3] 司鹏,朱男男,苏杭,等. 绥中36号海上石油平台站业务评估及其风速资料的质量检测[J]. 海洋预报, 2019, 36(1): 27-36.

SI P, ZHU N N, SU H, et al. Operational evaluation and wind speed data quality check of a station on Suizhong 36 offshore oil platform[J]. Marine Forecasts, 2019, 36(1): 27-36.

[4] 司鹏,梁冬坡,朱男男,等. 黄渤海海域16个石油平台站风速资料的初步质量检测[J]. 海洋预报, 2020, 37(1): 43-49.

SI P, LIANG D P, ZHU N N, et al. Preliminary quality verification of wind speed data observed by 16 oil platform monitoring stations in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Marine Forecasts, 2020, 37(1): 43-49.

[5] 杨扬,苗庆生,韦广昊,等. 海洋站观测资料的质量控制方法及其应用[J]. 海洋开发与管理, 2017(10): 109-113.

YANG Y, MIAO Q S, WEI G H, et al. Quality control methods and application for the oceanic station observed data in the delayed mode[J]. Ocean Development and Management, 2017(10): 109-113.

[6] 刘玉龙,王国松,侯敏,等. 基于深度学习的海温观测数据质量控制应用研究[J]. 海洋通报, 2021, 40(3): 283-291.

LIU Y L, WANG G S, HOU M, et al. Quality control of sea temperature observation data using deep learning neural networks [J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(3): 283-291.

[7] YANG H, GAO Q Q, JI H F, et al. Sea surface temperature data from coastal observation stations: quality control and semidiurnal characteristics[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 38(11): 31-39.

- [8] 中国气象局. QX/T 118-2020 气象观测资料质量控制 地面[S]. 北京: 气象出版社, 2020: 1-8.  
China Meteorological Administration. QX/T 118-2020 Quality control of meteorological observation data-surface[S]. Beijing: China Meteorological Press, 2020: 1-8.
- [9] 王海军, 杨志彪, 杨代才, 等. 自动气象站实时资料自动质量控制方法及其应用[J]. 气象, 2007, 33(10): 102-109.  
WANG H J, YANG Z B, YANG D C, et al. The method and application of automatic quality control for real time data from automatic weather stations[J]. Meteorological Monthly, 2007, 33(10): 102-109.
- [10] 任芝花, 张志富, 孙超, 等. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统研制[J]. 气象, 2015, 41(10): 1268-1277.  
REN Z H, ZHANG Z F, SUN C, et al. Development of three-step quality control system of real-time observation data from AWS in China[J]. Meteorological Monthly, 2015, 41(10): 1268-1277.
- [11] QIAN C C, LIU A C, HUANG R, et al. Quality control of marine big data—a case study of real-time observation station data in Qingdao[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2019, 37(6): 1983-1993.
- [12] 江益, 王立俊, 羊清雯, 等. 南海区域站气象资料质量控制方法改进[J]. 气象科技, 2018, 46(3): 474-478.  
JIANG Y, WANG L J, YANG Q W, et al. Improvement of quality control method for real time meteorological data from regional automatic stations on South China Sea[J]. Meteorological Science and Technology, 2018, 46(3): 474-478.
- [13] 郭春迎, 李天然, 胡东明, 等. 南海北部测站风速质量的控制方法[J]. 广东气象, 2016, 38(1): 44-48.  
GUO C Y, LI T R, HU D M, et al. Quality Control methods of wind speed at the northern South China Sea station. Guangdong Meteorology, 2016, 38(1): 44-48.
- [14] DECKER M, BRUNKE M A, WANG Z, et al. Evaluation of the reanalysis products from GSFC, NCEP, and ECMWF using flux tower observations[J]. Journal of Climate, 2011, 25(6): 1916-1944.
- [15] 申华羽, 吕劲文, 涂小萍, 等. ERA-Interim 和 NCEP/NCAR 再分析资料在我国东南近海适用性分析[J]. 海洋预报, 2019, 36(2): 9-20.  
SHEN H Y, LYU J W, TU X P, et al. The applicability of ERA-Interim and NCEP / NCAR reanalysis datasets in the adjacent waters of the southeast China Sea[J]. Marine Forecasts, 2019, 36(2): 9-20.
- [16] 谭海燕, 邵珠晓, 梁丙臣, 等. ERA5 风场与 NCEP 风场在黄海、东海波浪模拟的适用性对比研究[J]. 海洋通报, 2021, 40(5): 524-540.  
TAN H Y, SHAO Z X, LIANG B C, et al. A comparative study on the applicability of ERA5 wind and NCEP wind for wave simulation in the Huanghai Sea and East China Sea[J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(5): 524-540.
- [17] KEARNS E, WOODY C, BUSHNELL M. QARTOD-I Report. First workshop report on the quality assurance of real-time ocean data[R]. Boston: National Data Buoy Center, 2004.

## Quality control analysis for hourly air temperature and pressure observations from marine observation stations in the Bohai Sea

WANG Min<sup>1,2</sup>, XU Mei<sup>1\*</sup>, NIAN Feixiang<sup>1</sup>, REN Jianling<sup>1</sup>, HUANG Chunxi<sup>1</sup>, GUO Yang<sup>1</sup>, GOU Zhijing<sup>1</sup>

(1. Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin 300074, China; 2. Shaoguan Meteorological Service, Shaoguan 512026, China)

**Abstract:** To effectively advance the quality of marine observation data, quality control analysis are applied to the hourly air temperature and pressure observations from 19 marine stations in the Bohai Sea in 2019. The quality control methods include maximum-minimum checking, climatological changing range checking, internal consistency checking, temporal consistency checking and spatial consistency checking. The results demonstrate that: the data quality of the observed pressure is better than that of the observed temperature, data availability rate of hourly pressure is above 99% for all the stations, however data availability rate of hourly temperature at 3 of the stations are relative low, with values of 88.9%、91.3% and 92.3%, and the abnormal temperature data appears in a continuous period. Comparison between the hourly observations and ERA5 reanalysis data shows that, after applying the quality control analysis, the root mean square error between the observations and reanalysis data has decreased, and their correlation coefficient has increased. Therefore the quality control methods can effectively eliminate the unreasonable value of data.

**Key words:** quality control; hourly data; marine observation station; temperature and pressure