

DOI: 10.3724/j.1007-6336.2025-0088

关联性在水文气象数据质控过程中的应用

雷发美^{1,3,4}, 甘露², 戴昊^{1,3,4}, 商少平^{1,3,4},
吴丹², 刘颖²

(1.厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005; 2.厦门海关技术中心, 福建 厦门 361026; 3.厦门大学海洋观测技术研发中心, 福建 厦门 361005; 4.厦门大学水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要:海洋环境观测中的水文气象资料提供了重要的海洋基础信息,能够科学地反映海洋环境的基本情况。然而,在实际观测过程中,一系列偶发因素都可能对观测结果产生影响,导致数据出现异常,对这些数据进行准确有效的质控是海洋工作者面对的重大挑战之一。在前人质控工作的基础上,本文从海洋观测要素之间的关联性着手,根据不同海洋要素的关联方式将其分为算法关联性质控和自然关联性质控,并选取了一些关联性比较显著的海洋观测要素进行测试,结果表明,关联性质控可以更加有效地检出异常数据和避免误删正确数据,为海洋观测数据提供了一种可靠的质控方法。

关键词:水文气象学; 关联性; 质量控制; 海洋观测数据

中图分类号:P73

文献标识码:A

文章编号:1007-6336(2026)02-0312-09

Application of association in the quality control process of hydro-meteorological data

Lei Famei^{1,3,4}, Gan Lu², Dai Hao^{1,3,4}, Shang Shaoping^{1,3,4}, Wu Dan², Liu Ying²

(1.College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2.Xiamen customs technology center, Xiamen 361026, China; 3.Institute of Ocean Exploration Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 4.Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The hydro-meteorological data in ocean environmental observation provide important basic information, which can scientifically reflect the basic situation of the ocean environment. However, in the actual observation process, a series of incidental factors may have an impact on the observation results, leading to abnormal data. Implementing accurate and effective quality control of these data is one of the major challenges faced by ocean workers. On the basis of previous quality control, this article focuses on the association between ocean observation elements for quality control, and according to the association of different ocean elements, divides the associated quality control into algorithmic associated quality control and natural associated quality control. The article conducted associated quality control on some ocean observation elements with significant association, and the results showed that associated quality control can more effectively detect abnormal data and avoid accidental deletion of normal data, and it would provide a reliable quality control method for ocean

收稿日期:2025-05-22, 修订日期:2025-07-02

基金项目:地市局(含县)资助项目(校合 20233160A0084, 校合 20233160A0532)

作者简介:雷发美(1984—),男,畲族,福建宁化人,工程师,硕士,主要从事海洋环境观测技术及数据质量控制研究, E-mail: lfm101659@163.com

通信作者:商少平(1962—),男,福建厦门人,教授,硕士,主要从事海洋环境数值计算、海洋遥感和信息安全技术研究, E-mail: spshang@xmu.edu.cn

observation data.

Key words: hydrometeorology; association; quality control; ocean observation data

海洋环境观测资料提供了重要的基础信息,在海洋环境预报、海洋工程建设、海洋灾害应对、海洋权益保障等方面,是不可缺少的依据。尤其是高质量的观测数据能够科学地反映海洋环境状况。然而,在实际观测过程中,数据采集、传输、保存、仪器故障、采样地点的偶发事件等一系列因素都可能对观测结果产生影响,导致数据出现异常。对这些数据实行准确有效的质量控制(以下简称质控)是海洋工作者面对的重大挑战之一。

为了对这些海洋观测数据进行有效质控,20世纪末开始,美国、日本等建立了一系列标准化的数据质控和评估方法^[1-3]。国内也更新或发布了相关的海洋数据质控规范,如《海洋观测规范 第6部分:数据处理与质量控制》(GB/T 14914.6-2021)^[4]、《海洋监测质量保证手册》^[5]和《海洋观测延时资料质量控制审核技术规范》(HY/T 0315-2021)^[6]等。

海洋观测数据具有多源性、多态性、多样性和区域性等特征,这就决定了对海洋观测数据的质控和评估不能一概而论,需要结合具体的观测方式、观测平台和观测区域来综合考虑。虽然前人在海洋数据质控方面已有大量研究成果^[7],方法和过程也非常多样化^[8],但是依然存在不少明显异常的数据无法被有效检出,以及有些正常数据因为变化剧烈被判定为异常数据等情况,但实际上这些数据的突变是对环境变化的真实描述。

在对多平台、长时间海洋观测数据进行质控的基础上,通过对这些漏检或者误删的数据进行梳理分析,发现部分通过常规质控难以判断数据异常的要素或多或少地与其他要素的变化存在一定的关联性。事实上,水文气象各观测要素之间存在千丝万缕的关系,它们相互影响,一起描述整个环境的变化状况。因此,可以尝试通过要素间的关联性来检出异常数据,但以往的质控方法对海洋观测要素之间的关联性分析较少,在一些文献中偶有提及,并称之为一致性或相关性检

验^[6]。本文在分析各观测要素之间可能存在的关联性的基础上,总结了关联性的基本规律,并选取一些关联性比较显著的海洋观测要素进行质控分析。首先对选取的各种海洋观测数据进行常规质控,再用要素之间的关联性进行质控,以此来检出异常数据。我们把这种通过观测要素之间的关联性检出异常数据的方法称为关联性质控方法。

1 数据与方法

1.1 海洋观测数据

本文数据来源于福建省海洋预报台的海洋环境监测浮标(各浮标位置见网址https://www.fjhyyb.cn/Ocean863Web_MAIN/default.aspx?r=1#dwjs)和厦门大学“嘉庚号”科考船,预报台浮标数据时间跨度为2017年1月1日至2022年12月31日,共有8个大浮标和40个小浮标,不同浮标观测时间段不同。主要包括流速、流向、风速、风向、波高、波向、波高周期、波数(测波个数)、水温、电导率、盐度、气温、气压、能见度、相对湿度、露点等环境要素以及时间、纬度、经度、仪器状态等基本信息。嘉庚号科考船数据时间跨度为2017年5月26日至2022年12月27日,包括气温、气压、能见度、相对湿度、露点、降雨量、太阳短波辐射等环境要素以及时间、纬度、经度、仪器状态等基本信息。

1.2 关联性质控方法

关联性是变量间一种广义的关联,包括各要素之间的相互联系和相互影响,用于描述系统内部各要素之间的相互依赖和相互作用。在特定时间、地点获取的各种要素观测值都应该存在一定的关联性。与之不同的是相关性,相关性是指示两个随机变量之间关系强度的指标,用于探索两个变量之间的统计依赖关系,以确定它们之间是否存在因果关系^[9]。虽然有些文献把关联性检验称为相关性检验,但也明确指出这个检验是用于检测项目之间是否存在一定的关联或关系^[10]。

在自然界中,大气海洋过程通常伴随着气温、湿度、风速、气压、水温、盐度、流速以及生物、化学等要素的同步与关联变化。通过对大批量、长时间观测数据的整理和归纳,根据要素之间的关联方式可将关联性分为自然关联和算法关联。自然关联是指自然现象中某种要素的变化引起另一要素相应变化的关联性,如风、浪、流之间的关联。算法关联是指某种要素与其他要素之间存在特定算法的关联性,如电导率、温度、压力和盐度的关联。

一般来说,自然关联是自然界中的一种现象,比较难用准确的方法或者公式对其描述,但在长期的观测中,可通过对一些主要的要素观测结果进行归纳总结,得出变化规律。对于常用的几种要素,国家标准^[6]中有较详细的列举,例如,波高和风速之间的对应关系以及天气现象、云量和能见度之间的相互关系等,可在需要使用时查表获得。

算法关联通常较隐蔽,不从测量方法或者原理上分析较难确定其中的关系。就目前而言,各要素的测量方法通常不止一种,但在特定时间、特定领域内会采用一种主流的测量方法,质控时可针对当前主流的测量方法,对测量要素之间可能存在的关联性进行分析。当无法确定两个要素是否存在算法关联时,可以联系设备厂商,进一步了解仪器的工作原理,以此来确定两个要素是否存在算法关联。正常情况下,基础数据异常时不应导出衍生数据,但现在的仪器大都内置数据衍生功能,仪器本身无法判断出基础数据的所有异常值,导致基础数据异常时仍会导出对应的衍生数据。

观测记录一般包括时间、地点、仪器状态等基本信息,若这些基本信息异常,则对应的观测数据可能异常。例如,观测时间有可能记错或者漏记,也有可能仪器记录的系统时间出现错误。观测站点一般用经纬度表示,可分为固定平台和移动平台。若固定平台出现了移动,比如浮标跑标,则对应数据应判断为异常;若移动平台位置出现跳跃,两点之间的平均速度超出合理范围,一般也认为该点数据出现异常。同时,还应根据仪器状态来检验数据是否异常,通常只保留仪器

正常工作状态下的数据,仪器故障、维修等情况下的数据不应使用。

盐度与电导率、温度、压力等具有典型的关联性。目前主要采用基于高精度电导率法的温盐深仪 (conductivity-temperature-depth profiler, CTD)^[11] 测量盐度,该方法的测量结果是由包括电导率、温度、压力等3个参数的函数推导得出的^[12]。

相对湿度是空气中实际所含水蒸气密度与同温度下饱和水蒸气密度的百分比值,目前主要采用由特种感温、感湿材料制成的温湿计来对其进行测量,若气温出现异常,将直接导致相对湿度出现异常。

同一要素在采用不同观测频率或不同统计方式时获取的观测值之间存在关联性,比如定时或逐时记录值不能超出极值;不同频率同一时刻的数值应相等;最大波高 $\geq 1/10$ 大波波高 $\geq$ 有效波高 $\geq$ 平均波高,等等。若不满足这些关系,则对应的观测值可能存在异常。

能见度的测量有目测法和器测法,国内气象台站已普遍采用能见度仪开展大气能见度的测量,主要有透射式能见度仪和散射式能见度仪,且以前向散射式能见度仪为主^[13],能见度和云量、天气现象存在一定的关联性。

太阳辐射一般采用太阳辐射测量仪进行测量^[14],太阳辐射依赖于太阳,与日出、日落时间相关,可以根据当地的日出、日落时间核对时间记录是否准确。

矢量较特殊,包括大小和方向,如风速和风向、流速和流向、波高和波向等,一般认为矢量的大小和方向有一个异常,则另一个也标记为异常。去除异常矢量后再分解为东分量和北分量进行质控,若两个分量中有一个异常,则该矢量判定为异常。日常生活对风速、流速、波浪等矢量的方向关注较少,但在科学研究领域,如数值模型的风场驱动等,则需要确保风矢量方向的准确性。

针对这些有关联的要素,可在质控过程中引入关联性质控方法,流程如图1所示。导入的数据包含时间、地点等基础信息,常规质控是指除关联性质控方法之外目前常用的质控方法,包括

阈值检验、莱特检验(3倍标准差检验)、奈尔检验、Grubbs检验、Dixon检验、峰度检验、梯度检验、尖峰检验、僵值检验(也称卡值检验)、可视化人工检验等质控方法。然后根据要素之间的关联性对常规质控后的数据再次进行关联性质控,若为自然关联,则主要检验关联要素之间观测值是否合理,以此来判断数据是否异常;若为算法关联,则由异常数据导出的所有衍生数据均应判定为异常。根据质控结果,如果需要可以重复以上步骤,直至不再检出异常值。

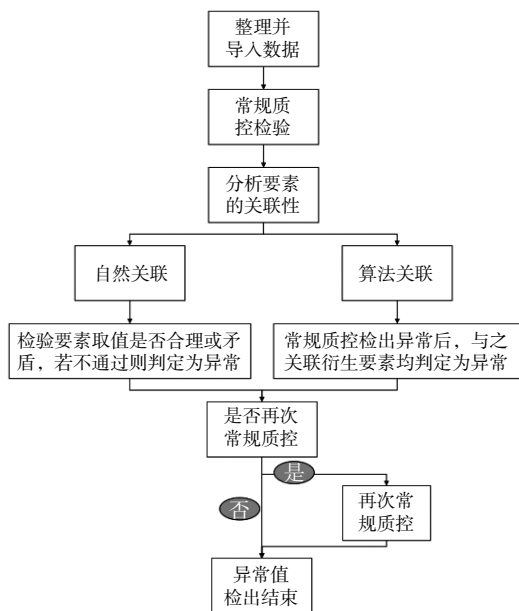


图1 关联性质控方法流程

Fig. 1 Process of association quality control

2 结果与讨论

2.1 自然关联质控结果

2.1.1 时间关联

对于单个观测载体或平台来说,是在同一环境下对各水文气象要素进行观测,当环境发生变化时,各要素的测量值一般会做出相应的改变来对环境进行描述,因此,各要素之间或多或少存在一些关联。

太阳短波辐射与时间紧密相关,其强度受当地日出、日落的限制,日落后应该接近0,若在夜间出现较高的太阳短波辐射,则可能是时间出现异常。例如,2017年5月29日的“嘉庚号”太阳短波辐射强度(图2),峰值出现在晚上,而中

午12点接近0,这不符合常规。通过进一步查验原始数据,确认记录的时间是北京时间,同时考虑到船是移动平台,也有可能是不同地区的日出、日落时间不同造成的。经查验,当天的经度为117.982 5°E,纬度为24.455 7°N,24 h内几乎没变,即停泊在厦门岛西侧,可排除时区的影响。因此,可确定时间记录有误,与之相关的数据均可判定为异常。通过质控发现,2017年5月27日至30日这几天的太阳短波辐射强度值均有此问题,这很有可能是由仪器时间设置错误或者不同时区进行转换造成的。

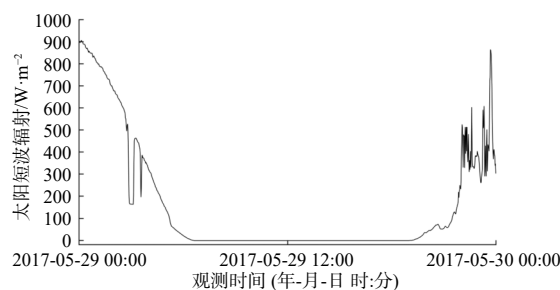


图2 嘉庚号2017年5月29日的太阳短波辐射

Fig. 2 Solar shortwave radiation on the R/V Tan Kah Kee on May 29, 2017

2.1.2 位置关联

观测位置一般用一组经纬度来表示,海上定点观测的浮标在观测过程中跑标事件时有发生,而其间对各要素的观测仍在继续。这些数据本身没有问题,但是对于定点观测的浮标来说意义不大,应该判定为异常数据。例如,福建省海洋预报台的4号大浮标在2017年4月29日早晨开始跑标,其经纬度变化如图3所示,跑标或移标期间该浮标的观测数据均判定为异常。

2.1.3 风、浪、流关联

风、浪、流三者之间具有非常复杂的非线性相互作用。当持久的风作用于海面时,海水将会产生流动,形成风海流。与此同时,风吹到海面,与海水摩擦,形成风浪,风浪离开风场后会变成涌浪,随着风场加大、时间持续,风浪、涌浪都可能成为滔天巨浪^[15]。例如,北碚小浮标2017年7月29日至30日的最大波高突然变大(图4),究其原因,是1710号台风“海棠”于7月30日晚上在福建福清登陆。北碚小浮标测

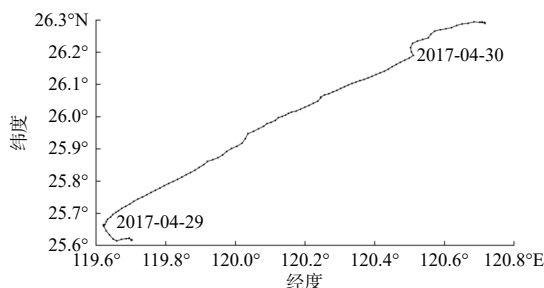


图3 预报台4号大浮标2017年4月29至30日移动轨迹

Fig. 3 Movement trajectory of buoy No. 4 of Fujian Marine Forecasts from April 29th to 30th, 2017

得的最大风速如图5所示,若单独对波高进行数理统计质控,很容易把台风期间波高的最大值误判为异常数据。相关国家标准指出,当风速大于30 m/s时,波高分布区间为2.5~17.0 m,再结合波高与最大风速的曲线分布,可以看到波高的最大值稍微滞后于最大风速的最大值,因此,该风速对应的波高最大值属于正确值,不应剔除。

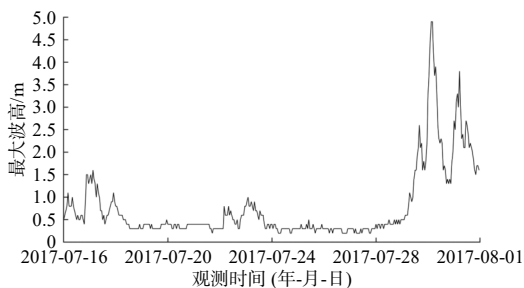


图4 2017年7月16日至31日北礮浮标最大波高

Fig. 4 The maximum wave height of the Beishuang buoy from July 16th to 31st, 2017

2.2 算法关联质控结果

2.2.1 盐度关联

有些要素无法直接测量得到数据,需要由若干其他要素的测量结果通过依据定义或规律导出的关系式进行计算获得数据。

海水盐度不容易直接测量,根据联合国教科文组织2010年推出的海水状态方程表达式TEOS-10^[16],将原来广泛采用的实用盐度修订为更准确的绝对盐度,但仍然需要由包括温度、压力、电导率等参数的函数推导得出其测量值。例如,通过对福建省海洋预报台的海峡2号浮

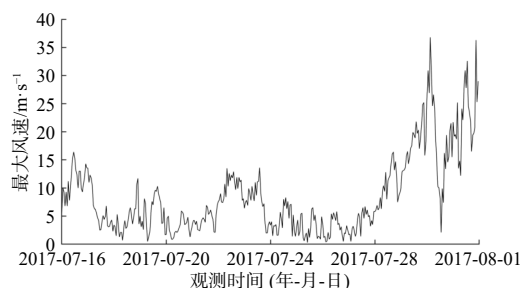


图5 2017年7月16日至31日北礮浮标最大风速

Fig. 5 The maximum wind speed of the Beishuang buoy from July 16th to 31st, 2017

标2017年12月下半月水温与表层盐度质控前后对比(图6和图7)可以看出,图6中的水温数据出现了明显的异常,异常值主要在0℃和2℃附近,通过阈值质控方法很容易把异常数据剔除,但是同时图7中的盐度数据也出现异常,其走势大致分为3条曲线,很显然其中2条是错的,因为同一个水体的盐度随时间变化不会出现如此跳跃的现象,但3条曲线的数值看起来都合理,常规的质控方法无从下手。考虑到盐度和温度相关,这种情况可能是温度异常导致盐度异常,因此可以把图6中水温异常的部分一一对应到盐度,剔除对应的盐度数据。质控后的盐度分布结果如图7所示,可以看出,质控后仅保留了盐度大约为14的一条曲线。现场测量的数据表明,通过该质控获得的盐度结果与实测盐度是相符的。因此,通过关联性质控,盐度质控取得较好的结果。

2.2.2 相对湿度关联

相对湿度与两个量有关,一个是空气中实际所含的水蒸气密度,另一个是同温度下饱和水蒸气密度,后者一般根据温度查表获得,所以温度异常必将导致相对湿度异常。福建省预报台的1号大浮标2017年8月上半月气温质控前后对比如图8所示。从图8可以看出,2017年8月1日至7日,气温值一直不变,这不符合常理,通过僵值检验^[8]可以很容易将其判定为异常值,与气温对应的相对湿度也都显示为100%,可以认为气温的异常直接导致相对湿度的异常,通过关联性质控,把对应的相对湿度全部判断为异常值,质控结果如图9所示。

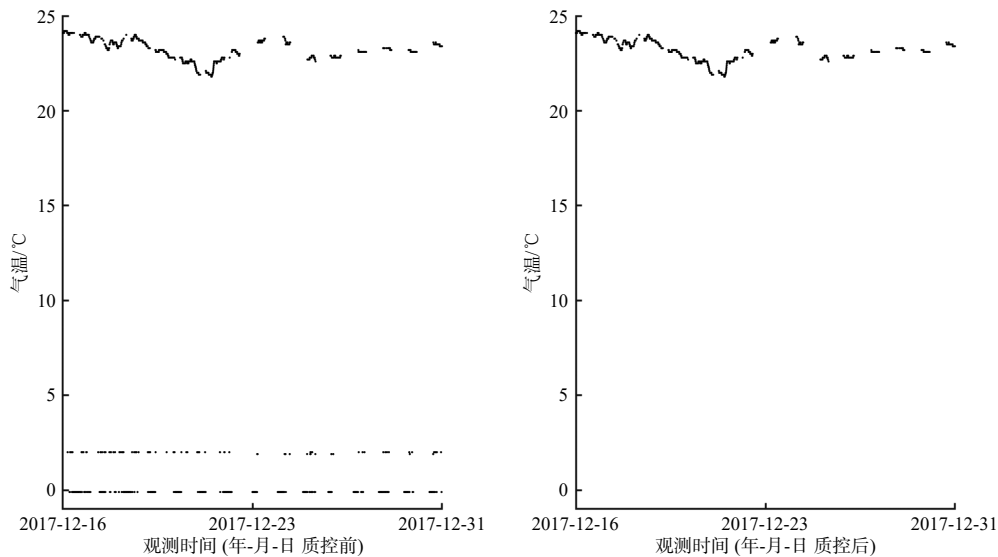


图6 海峡2号浮标2017年12月16日至31日表层水温质控前后对比

Fig. 6 Comparison of sea surface temperature between before and after quality control of the Haixia No.2 buoy from December 16th to 31st, 2017

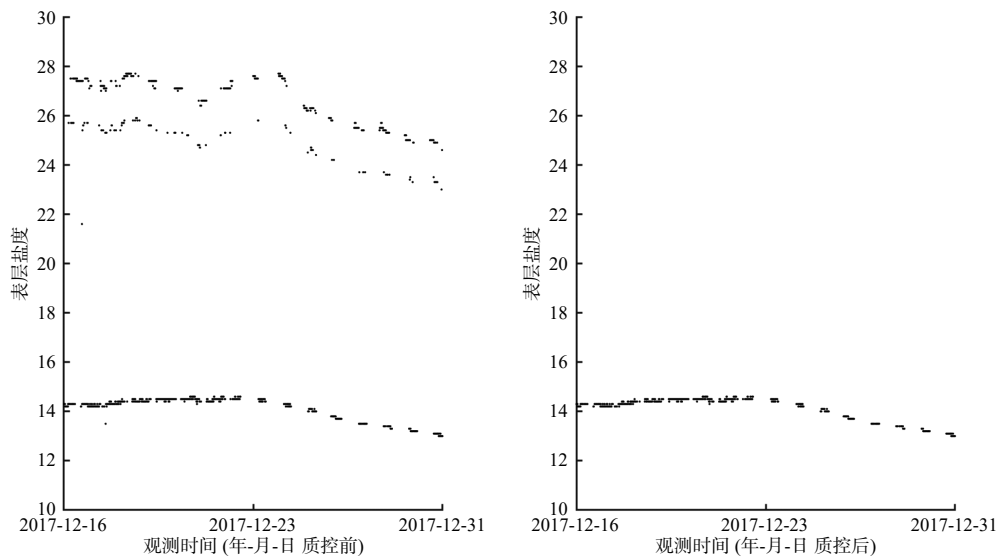


图7 海峡2号浮标2017年12月16日至31日表层盐度质控前后对比

Fig. 7 Comparison of sea surface salinity between before and after quality control of the Haixia No.2 buoy from December 16th to 31st, 2017

2.2.3 矢量关联

矢量包括大小和方向,水文气象中的矢量主要有风、流、浪等。2013年3月1日—5日在漳州附近海域布设5个浮标,测得的平均风速和风速矢量如图10和图11所示。从图10可以看出,风速大小基本正常,但从图11可以看出,B站位的浮标在3月2日下午风向数据出现明显异常,其余个别站点的风向数据也出现异常。

如果仅对风速进行质控,则难以检验出异常值,但将风速分成东分量和北分量分别对其进行数理统计质控^[8],则可以检出分量的异常值,两个分量只要一个出现异常,就可判定原矢量存在异常。从质控后的风速矢量(图12)可以看出,异常值基本被检出并剔除。

2.3 讨论

在实际观测中,造成数据异常的原因是多样

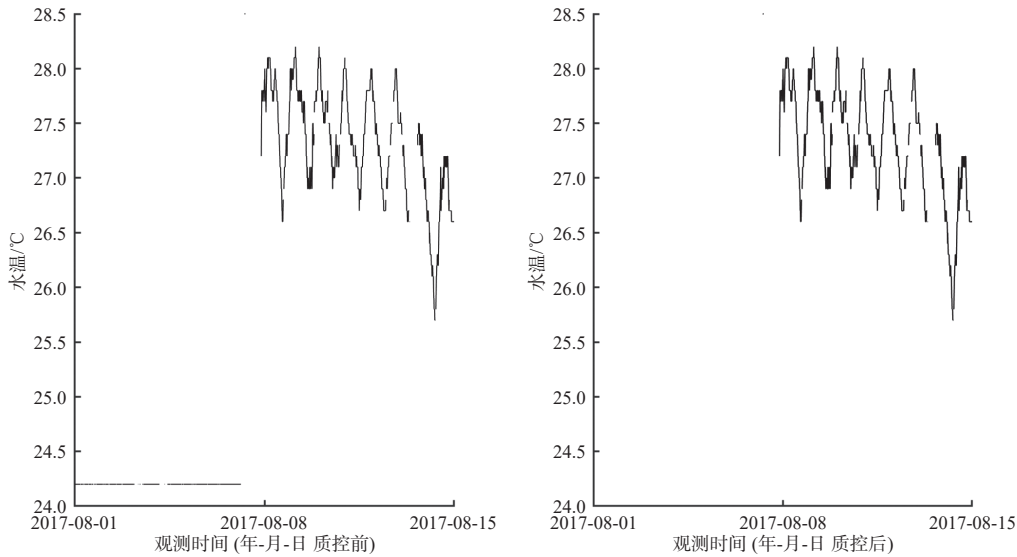


图 8 预报台 1 号大浮标 2017 年 8 月 1 日至 15 日气温质控前后对比

Fig. 8 Comparison of temperature between before and after quality control of the No 1 large buoy from August 1st to 15th, 2017

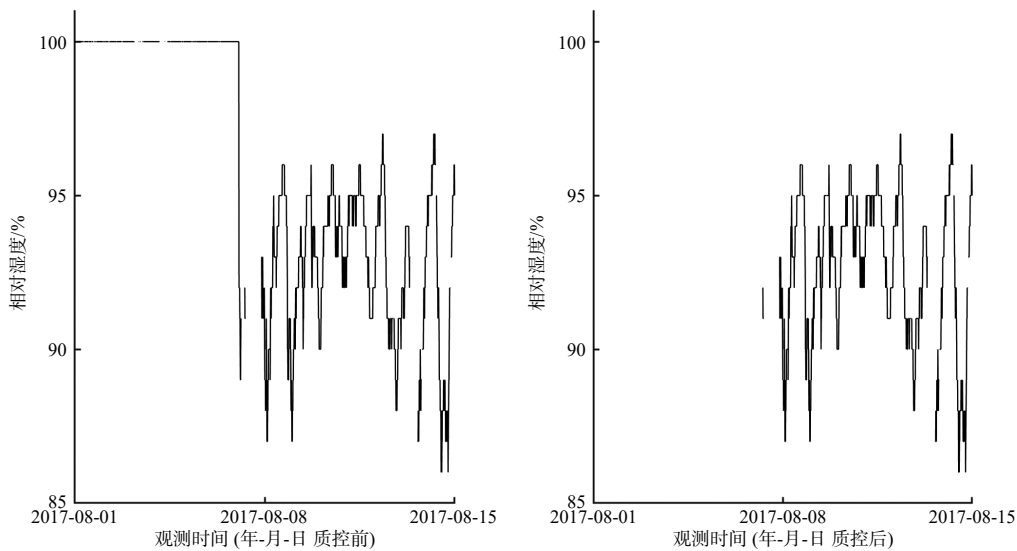


图 9 预报台 1 号大浮标 2017 年 8 月 1 日至 15 日相对湿度质控前后对比

Fig. 9 Comparison of relative humidity between before and after quality control of the No 1 large buoy from August 1st to 15th, 2017

的,不同要素产生异常值的原因也不尽相同。时间要素异常值出现的原因比较常见的是记录错误或者漏记、观测仪器时间设置错误,以及时区(如东八区和世界时)或时间进制(如 12 小时和 24 小时制)不同导致的时间混乱等。在质控过程中,若发现时间记录异常,可以通过检查数据内部结构或查验同期其他辅助资料等进行纠正,对于无法纠正的,其对应的观测要素应标识为可

疑或错误。

经纬度除记错或者漏记出现异常之外,还有一个原因是单位不同造成的混乱,记录经纬度可能用度、度分、度分秒或省略单位等表示方法,各种记录方法应转换成一致的单位后再做检验。对于不同的观测载体,经纬度变化的规律也不相同,可以通过经纬度随时间的变化来判断观测载体是否异常。若观测载体是船舶,有可能是

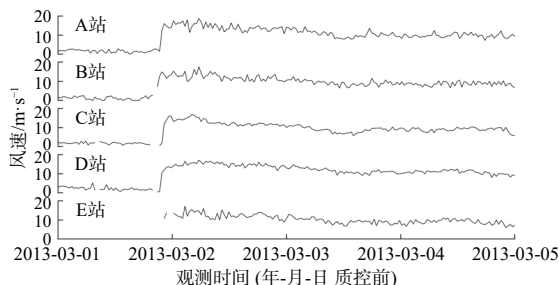


图 10 漳州附近海域 2013 年 3 月 1 日至 5 日 5 个浮标风速

Fig. 10 Wind speed magnitude of 5 buoys in the offshore area of Zhangzhou from March 1st to 5th, 2013

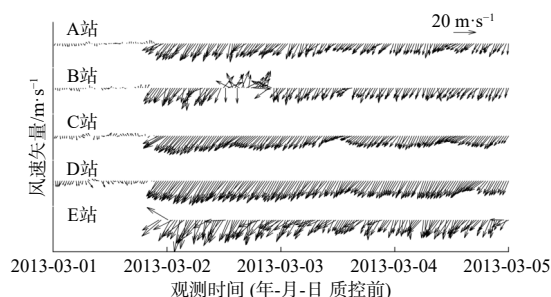


图 11 漳州附近海域 2013 年 3 月 1 日至 5 日 5 个浮标质控前风速矢量

Fig. 11 Wind vector of 5 buoys in the offshore area of Zhangzhou from March 1st to 5th, 2013

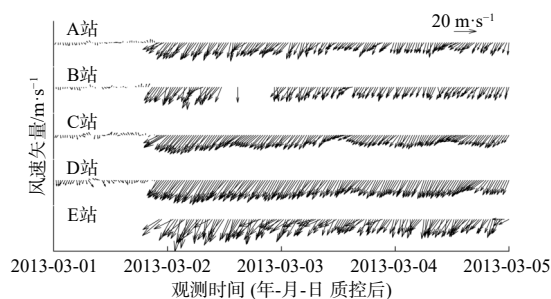


图 12 漳州附近海域 2013 年 3 月 1 日至 5 日 5 个浮标质控后风速矢量

Fig. 12 Wind vector of 5 buoys after quality control in the offshore area of Zhangzhou from March 1st to 5th, 2013

定点或者走航观测;若是表面漂流浮标,则应该随着海流移动;而定点观测浮标正常情况下不移动,只是随着潮流在特定的区域内摆动。经纬度变化异常且无法纠正的,其对应的观测数据应标识为可疑或错误。

海洋中风、浪、流之间的关联性,难以用参数直接描述,全区间的相关性是否都一致也不确定。但有一点比较确定,风的变化比较容易预测或者观测,当风变化幅度较大时,浪和流的突然变化应视为正常现象,不应将这些观测数据剔除。

盐度是电导率、温度、压力的函数,只要其中一个参数异常,对应的盐度就应该判定为异常。正常情况下,若前导参数异常则不应该衍生出盐度数据,但在实际观测过程中,异常数据的判定极其复杂,对于一般的盐度观测仪器(如CTD),只要参数不缺测且在限定的范围内就可以导出盐度数据,这必然会把前导参数的误差或错误传入盐度的计算结果中。在近岸时,盐度变化较大难以质控,但温度和电导率比较容易质控,可以用温度和电导率的质控结果对盐度进行关联性质控,从而剔除盐度的异常数据。

此外,还可能存在较大关联性的要素有温度和露点、天气现象和能见度、最大波高和有效波高、最大波高和平均波高、走航观测的流速和船的姿态数据等,充分了解这些要素间的关联性后再进行质控,往往可取得较好效果,但在质控过程中,需要了解各要素的观测方式,进而判断要素之间是否确实存在关联性,防止对不存在关联性的要素过度质控。

3 结论

从以上几种要素的关联性质控来看,结果还是比较令人满意的,既可以通过时间、地点等信息判断观测数据是否异常,又可以通过各要素之间的关联性来确定观测数据是否异常。在使用算法关联性质控时,需要配合其他质控方法,某个要素的观测数据在被判定为异常数据后,与之关联的衍生数据均可判断为异常,而在使用自然关联质控时,主要是检验各要素之间的取值是否合理。若某种要素与其他不同要素之间既有算法关联又有自然关联,则优先使用算法关联质控剔除异常值,再使用自然关联质控对剩余数据进行检验。但需要注意的是,关联性质控方法仅限于存在关联的要素,不可随意使用,以免过度质控,争取在有效检出异常数据的同时也避免误删

正确数据,以此来获得完整、准确、质量可靠的海洋观测数据。

通过对现有观测数据使用关联性质控方法进行质控,可发现其优点在于以下几点。

(1)提升数据准确性:通过挖掘各要素间的关联性,能够检出常规质控方法无法检出的异常数据。比如在盐度关联性质控中,借助温度和电导率的质控结果,可有效识别出盐度异常值,极大地提高数据准确性,为后续基于这些数据的分析、研究及应用筑牢根基。

(2)避免误判误删:对于一些因环境变化而出现突变的数据,传统方法易将其误判为异常并删除,而关联性质控方法是在充分考虑要素间的内在联系的基础上进行质控,一定程度上可避免这种情况。以风、浪、流关联为例,当风大幅变化时,可据此合理判断浪和流的突然变化属于正常现象,避免将这些真实反映环境变化的数据误删,保证了数据的完整性。

(3)流程清晰易操作:整理数据→常规质控→分析要素关联性并依此质控,整个流程逻辑清晰,便于海洋工作者理解与操作,即使是初学者,也能依据流程按部就班地对水文气象数据进行质控。

(4)适用性广泛:关联性质控涵盖多种要素,从时间、地点到温度、盐度、矢量等,适用于各类水文气象数据场景。不管是海洋监测浮标数据,还是科考船数据,都能运用该方法进行有效质控,该方法可广泛应用于海洋环境预报、海洋工程建设、海洋灾害应对等众多领域。

(5)延展性强:随着对水文气象要素间关联性研究的不断深入,可将新发现的关联关系融入方法中。后续若发现新的要素存在某种关联,可直接添加到现有的关联性质控体系中,持续优化数据质控效果,以适应不断变化的水文气象数据处理需求。

致谢:感谢福建省海洋预报台及厦门大学“嘉庚号”科考船船舶管理中心为本文提供水文气象数据。

参考文献:

- [1] United States Environmental Protection Agency. Data quality assessment: a reviewer's guide[EB/OL]. (2006-02)[2024-10-10]. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/g9r-final.pdf>.
- [2] United States Environmental Protection Agency. Data quality assessment: statistical methods for practitioners[EB/OL]. (2006-02)[2024-10-10]. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/g9s-final.pdf>.
- [3] The Oceanographic Society of Japan. Guideline of ocean observations[M]. 4th ed. Tokyo: The Oceanographic Society of Japan, 2020.
- [4] GB/T 14914.6—2021 海洋观测规范 第6部分: 数据处理与质量控制[S].
- [5] 《海洋监测质量保证手册》编委会. 海洋监测质量保证手册[M]. 北京: 海洋出版社, 2000.
- [6] HY/T 0315—2021 海洋观测延时资料质量控制审核技术规范[S].
- [7] 刘首华, 陈满春, 董明媚, 等. 一种实用海洋浮标数据异常值质控方法[J]. 海洋通报, 2016, 35(3): 264-270.
- [8] 雷发美, 万艳, 商少平, 等. 海洋浮标表层环境要素质控流程和方法的研究[J]. 海洋技术学报, 2022, 41(4): 10-25.
- [9] 施雨, 赵小艳, 李耀武, 等. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2021.
- [10] 郑琳, 刘艳, 崔文林, 等. 海洋监测数据质量评估研究[J]. 海洋通报, 2014, 33(2): 228-234.
- [11] 赵勇, 胡开博, 陈世哲, 等. 海水盐度检测技术的最新进展[J]. 光电工程, 2008, 35(11): 38-44.
- [12] 李青侠, 张靖, 郭伟, 等. 微波辐射计遥感海洋盐度的研究进展[J]. 海洋技术, 2007, 26(3): 58-63.
- [13] 傅刚, 李晓岚, 魏娜. 大气能见度研究[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(5): 855-862.
- [14] 韦博, 林冠宇, 段民征, 等. 一款新型太阳辐射测量仪的结构设计与热仿真[J]. 计算机仿真, 2021, 38(9): 251-256, 287.
- [15] 刘红兵, 陈国明, 吕涛, 等. 海洋工程数值风-浪-流水池模拟及分析[J]. 中国海上油气, 2019, 31(6): 154-159.
- [16] IOC, SCOR, IAPSO. The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties[EB/OL]. (2013-05)[2024-10-11]. https://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10_Manual.pdf.

(本文编辑: 曲丽梅)