

# 胶州湾大雾特征分析及不同下垫面气象要素对比分析

刘雪映<sup>1</sup>, 时晓曦<sup>2</sup>

(1. 胶州市气象局, 山东 胶州 266300; 2. 青岛市气象台(青岛市海洋气象台), 山东 青岛 266003)

**摘要:** 利用2013—2019年胶州湾观测站的地面观测数据,探究胶州湾大雾的气候特征及不同下垫面的气象要素变化特征。研究表明:根据下垫面、大雾季节分布及类型占比,可将胶州湾观测站分为3类:第一类站点海雾占比较大,第二类站点辐射雾占比大,第三类站点海雾和辐射雾占比相当。胶州湾年平均雾日数44 d,大雾季节变化明显,多发生于冬季,夏末初秋最少。第一类站点大雾多发于5—7月,一天中雾出现的峰值时间为04—07时,消散时次集中在06—09时;第二类站点大雾多发生在冬季,开始时次集中在22时—次日05时,结束时次集中在06—08时;第三类站点大雾季节分布较均匀,日变化兼具海雾和辐射雾的特点。胶州湾内盛行的东南风为西部站点提供了更有利于大雾发展的充足水汽及适宜温度,湾区西部站点的雾日数多于东部。

**关键词:** 胶州湾大雾;气候特征;下垫面;气象要素

**中图分类号:** P732.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)04-0059-10

## 1 引言

大雾天气的低能见度会对航空、航运和公路交通产生严重危害,大雾已成为影响经济发展的重要灾害性天气之一。胶州湾位于黄海中部,不仅拥有中国沿海重要的吞吐口岸,也位于国内重要的区域性枢纽机场的降落区。胶州湾及沿岸地区的大雾天气对胶州湾海陆空交通安全具有十分重要的影响。

目前针对沿海海雾的机理分析和数值模拟已有较为深入的研究<sup>[1-8]</sup>,但海湾内大雾的研究成果较少。早在1902年,Proctor<sup>[9]</sup>发现巴泽滋湾内的夏季雾盛行西南风,海湾沿岸的陆地地形对大雾的产生和引导有重要作用。Varney<sup>[10]</sup>通过对加利福尼亚湾的一次大雾过程进行分析后发现,湾内海岸线的摩擦作用会使湾区内暖空气移动速度减慢,形成楔形斜面,冷空气沿斜面上升形成对流冷却从而使水汽凝结形成大雾。我国东海和南海不同位置湾区的大雾特征不同。湄洲湾最常见的海雾类型为平流

辐射雾,由于“热岛效应”和地形的共同影响,湾内偏内陆的莆田站雾日数比沿海站雾日数明显降低<sup>[11]</sup>。宁波湾海雾通常出现在江淮气旋和冷空气影响前以及梅雨锋中低涡东移前,且自西向东具有不同的雾频分布特点,在一定的气象条件下,该湾海雾的发生概率随着湿度的增加和气压的减小而增加<sup>[12]</sup>。北部湾的气温、相对湿度和风速是大雾形成的关键影响因子<sup>[13]</sup>,湾区中辐射雾的气温与能见度呈同位相变化,锋面雾的气温和露点温度与能见度分别呈反相和同相变化,平流雾的气温和露点温度呈逐日升高趋势<sup>[14]</sup>。

下垫面的特征对大雾的形成有重要作用。史得道等<sup>[15]</sup>通过分析黄渤海春季一次海雾过程的下垫面海洋特征发现,雾区的分布与相对湿度大于90%和海气温差在4℃以内的区域分布较一致,海雾形成的水汽来源于黄海南部的水汽输送大值中心。Wang等<sup>[16]</sup>对梅雨季节杭州湾的一次浓雾过程进行研究,发现陆地-海洋的热对比度在大雾过程中起

收稿日期: 2021-12-06; 修回日期: 2022-02-24。

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC3090200); 环渤海区域气象科技协同创新基金项目(QYXM202110); 青岛市气象局青年专项项目(2021qdxq07); 青岛市气象局海洋气象研发重点项目(2019qdxz02)。

作者简介: 刘雪映(1992-),女,助理工程师,硕士,主要从事海雾和数值模拟研究。E-mail: liuxueying1213@163.com

通讯作者: 时晓曦(1987-),女,高级工程师,博士,主要从事海雾和大气边界层研究。E-mail: shi198710@126.com

重要作用。目前针对湾区大雾的研究聚焦于湾内雾的气候特征和发展机理,但未考虑到湾内地形影响下下垫面差异对大雾的影响。胶州湾地处黄海西北部,三面被陆地环抱,南面与黄海相连,地形复杂,同时受海洋和陆地的影响,湾内不同位置的大雾受海洋和陆地的影响程度不同。目前还没有研究对胶州湾不同下垫面的大雾特点进行系统分析。作为三面环陆的海湾,不同湾区的大雾特征具有相似性,胶州湾作为我国沿海地区的代表性湾区,探究湾内不同下垫面影响下的大雾气候特征,能够为其他湾区的大雾研究提供借鉴。

## 2 资料和方法

本文使用的资料包括:2013—2019年胶州湾沿岸及跨海大桥上17个自动气象观测站(具体位置见图1,各站代码见表1,本文提到的站点均用代码表示)的10 min平均能见度观测资料和地面气象要素

(温度、相对湿度、10 min平均风向、10 min平均风速、降水量)逐小时观测资料。17个观测站均为江苏省无线电科学研究所DZZ4型自动气象站。该自动气象站基于现代总线和嵌入式系统技术构建,可完成对气温、湿度和能见度等要素的数据采集、质控和存储传输。观测数据均根据《自动气象站观测规范》和《气象资料业务系统数据质量控制作业指导书》相关要求进行了质量控制。

本文的雾日判别标准:10 min平均能见度数据低于1 km且持续30 min以上、出现雾的站数超过总站数的1/4( $\geq 5$ 个)并且剔除雨雪影响,算作一个雾日。剔除雨雪影响的方法为根据人工观测经验,利用观测站逐小时降水量数据,若能见度低于1 km时有超过0.0 mm的降雨(雪)量,则判断低能见度受雨(雪)影响,剔除该雾日。

大雾分类方法为:将大雾过程中胶州湾观测站和青岛黄海沿岸观测站的大雾开始时间进行对比,并结合国家卫星气象中心下发的卫星产品进行分



图1 胶州湾观测站分布  
Fig.1 Distribution of observation stations in Jiaozhou Bay

表1 胶州湾3类观测站代码表  
Tab.1 Codes of three types of observation stations in Jiaozhou Bay

类别	站点(代码)			
第一类	大桥2(DQ2)	大桥3(DQ3)	大桥4(DQ4)	
第二类	流亭双埠(LTS)	土埠台(TBT)	双埠高速(SBG)	龙泉(LQ)
第三类	胶州(JZ)	谭家营(TJY)	大沽河(DGH)	河洛埠(HLB)
	大桥1(DQ1)	大桥5(DQ5)	34中(34Z)	肖家村(XJC)
	大港码头(DGM)	河套高速(HTG)		

类。青岛的海雾类型主要为平流雾<sup>[1,17-19]</sup>,胶州湾内的海雾主要为青岛沿海平流雾入侵导致。如果雾区仅限于胶州湾区域,则判定此次大雾个例为局地辐射雾;如果两地均有大雾,黄海沿岸观测站的大雾开始时间早于胶州湾观测站,则说明胶州湾大雾为青岛平流雾入侵。如果胶州湾观测站的大雾开始时间早于黄海沿岸,且卫星产品未显示在黄海海岸线形成大范围雾区,则为辐射雾。

### 3 站点分类方法及结果

胶州湾地形复杂,不同观测站所处的下垫面不同,各站大雾受海洋和陆地的影响程度不同,大雾类型及特征均不相同。根据观测站的地理位置、雾日季节分布特征以及大雾类型占比将胶州湾观测站进行分类。

研究表明,山东半岛辐射雾多发于冬季,青岛海雾多在4—7月生成<sup>[1]</sup>。分类方法如下:主要受海洋下垫面影响,大雾季节特征与海雾接近,大雾主要类型为海雾的站点为第一类站点;受陆地下垫面影响,雾日季节分布特征与辐射雾接近,主要受辐射雾影响的站点为第二类站点;能同时受海洋和陆地影响,雾日季节分布较均匀,海雾和辐射雾占比

接近的站点为第三类站点。

依据站点分类方法分析每个观测站的地理位置、雾日季节分布特征及大雾类型占比,将胶州湾观测站分为3类(见图1b)。第一类站点(红色站点)均位于跨海大桥上,主要受海洋影响,雾日季节分布与海雾相似,海雾占比均在70%以上(见图2),大雾类型主要为海雾;第二类站点(紫色站点)位于湾区内陆或东北方向,主要受陆地影响,大雾季节分布与辐射雾接近,海雾占比在50%以下;第三类站点(绿色站点)位于胶州湾沿岸或西北方向,所处位置同时受海洋和陆地下垫面影响,海雾和辐射雾占比相当。

为验证上述分类的准确性,本文分别选取影响3类站点、每个季节均有发生、持续时间为8~36 h的20次大雾过程,统计每类站点大雾发生时的平均温度日变化(见图3)。结果表明:第一类站点大雾发生时的温度为12~16℃,日变化较小,最高和最低温度仅相差3.0℃;第二类站点的温度日变化较明显,最高与最低温度相差8.0℃,20时—次日07时(北京时,下同)温度不断下降至6.1℃,之后温度开始回升,15时达到最高14.1℃;第三类站点的温度日变化特点介于第一、二类之间,温度的日变化趋势与第二类站点基本相同,但变化幅度远小于第

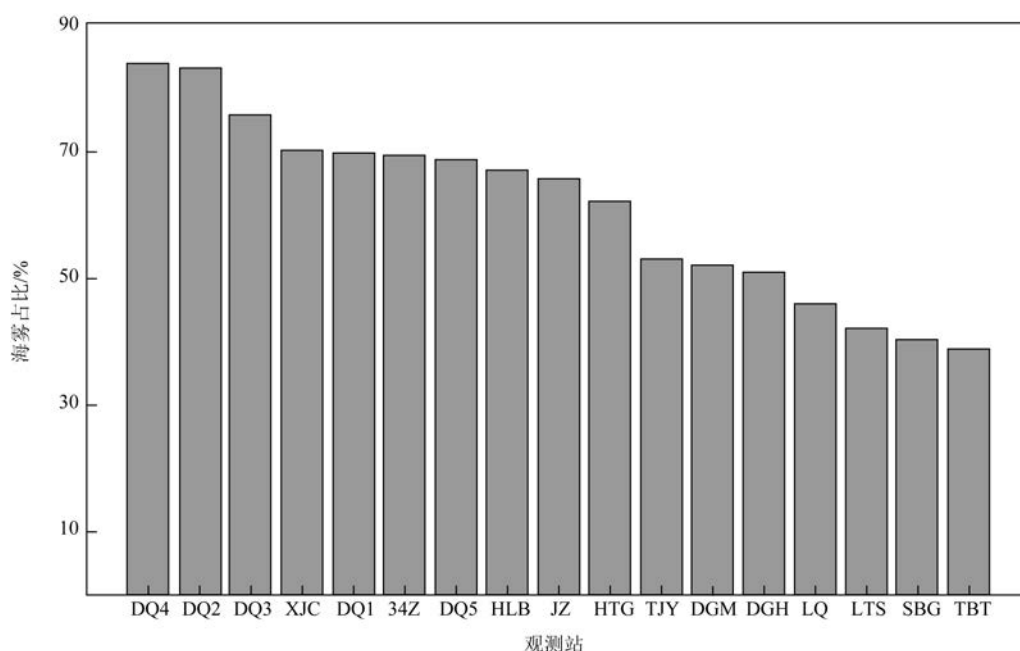


图2 胶州湾观测站2013—2019年海雾占比

Fig.2 Proportion of sea fog at Jiaozhou Bay observation stations from 2013 to 2019



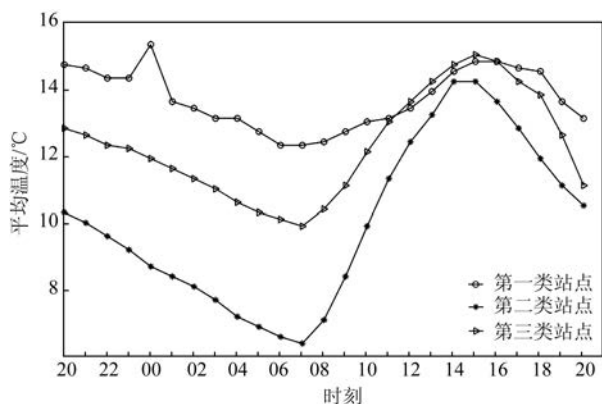


图3 3类站点大雾过程的平均温度日变化

Fig.3 Daily variation of average temperature during heavy fog events at three types of stations

二类站点,高于第一类站点,温度变化范围为9.9~15.0℃。海雾发生时温度平稳,变化范围较小,而辐射雾由于夜间辐射冷却作用,地面散热迅速,降温幅度较大。由此验证胶州湾观测站的分类较为准确,可以作为后续分析的基础。

## 4 胶州湾大雾气候特征

利用2013—2019年胶州湾观测站10 min平均能见度数据,分析胶州湾大雾整体气候特征,并依据站点分类结果,对各类站点的季节和日变化特征进行分类探究。

### 4.1 湾区大雾年际变化特征

胶州湾沿岸观测站2013—2019年平均雾日年际变化特征表明(见图4),湾区平均雾日44 d,雾日最多年份为2014年和2016年,两年合计占比34.6%,雾日最少年份为2019年,仅有35 d。我国不同湾区的雾日年际差异较明显,福建海岸的湄洲湾1974—2003年年平均雾日数整体呈下降趋势,最多雾日天数与最少雾日天数差值为17~44 d<sup>[11]</sup>;2002—2011年,渤海的辽东湾西岸海雾雾日数在2010年最多,为33 d,2002年最少,为10 d<sup>[20]</sup>。胶州湾位于黄海,其地理环境与其他海湾均不相同,雾日年际变化特点与其他湾区具有差异性。

### 4.2 湾区大雾季节变化特征

2013—2019年胶州湾观测站总雾日数占比的

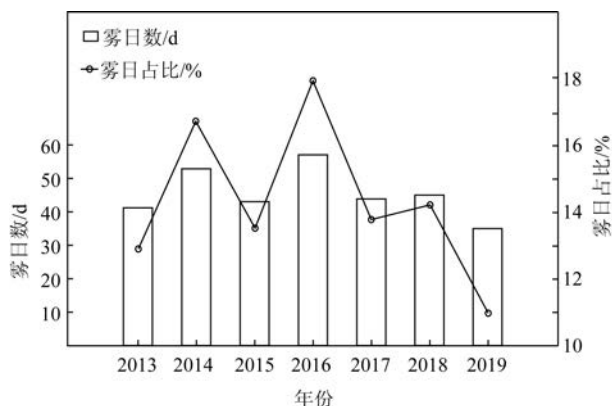


图4 2013—2019年胶州湾观测站平均雾日年际分布

Fig.4 Interannual distribution of average foggy days at Jiaozhou Bay observation stations from 2013 to 2019

季节变化显示(见图5),湾内每月均有大雾发生,其中1月和12月的雾日占比最多,分别为11.5%和13.6%;8月和9月雾日发生频次最少,合计占比仅为12.0%。由此可见,胶州湾大雾的季节变化特征为大雾多发生在冬季,晚夏和初秋最少。青岛市雾季一般为4—7月,海雾占比达50%以上,6—7月为海雾高发期,而3月之前和8月之后海雾发生较少<sup>[9]</sup>。由此可见,胶州湾虽位于青岛地区,但由于湾区特殊的地理环境,其大雾季节变化特征与青岛市有很大区别。

统计胶州湾3类观测站的平均雾日季节分布特征发现(见图5),不同类型站点的大雾季节分布互不相同。第一类站点位于距离海面上方50 m的跨海大桥上,主要受海洋下垫面影响,其平均雾日的季节变化特征与海雾接近。大雾集中在5—7月,总占比达42.2%,8—9月雾日最少,占比仅为5.4%。

第二类站点位于胶州湾内陆与东北方向,受胶州湾东南海风影响较小,黄海海雾对站点的影响较低,发生的大雾多为内陆辐射雾,过程大多发生在深秋和冬季。其雾季分布规律与第一类站点相反,大雾多发生于1—2月和11—12月,合计占比达到59.6%,6—8月雾日最少,仅占全年的10.5%。雾季分布规律与辐射雾相似,主要受辐射雾影响。

第三类站点位于湾内沿海地区及西北方向,能同时受到胶州湾东南海风和陆地影响,辐射雾和海雾占比相当。平均雾日的季节分布较均匀,每月雾日占比集中在6%~14%之间,1月和12月雾日最

多,但和夏季差距较小。

### 4.3 湾区大雾日变化特征

对胶州湾3类观测站大雾过程起、止时次的日变化特征进行分类统计(见图6、7)。第一类站点大雾的日变化特征为开始时次分布较均匀,每个时次均有大雾生成,但04—07时发生大雾最多,合计占比32.9%,其次为19—23时,发生大雾也较多,合计占比21.2%;大雾结束时次集中在06—09时和22时,合计占比达41.2%。青岛海雾易在03—06时和17—19时出现,08—11时和22时消散<sup>[17]</sup>。国内不

同湾区海雾生消时次接近,海雾出现的峰值时间为03—07时,消散峰值为06—10时<sup>[11, 20-21]</sup>。第一类站点与海雾起、止时次的日变化特征接近。

第二类站点大雾的日变化特征为开始时次集中在22时一次日05时,合计占比68.2%,11—14时大雾生成较少;大雾结束时次集中在06—08时,占比为39.9%,16—23时雾消散频次较低。辐射雾在20时一次日08时最容易生成,大多数辐射雾在07—14时消散,08—11时雾消散频率较高<sup>[22]</sup>。对比发现,第二类站点大雾起、止时次的日变化特征与辐射雾吻合。

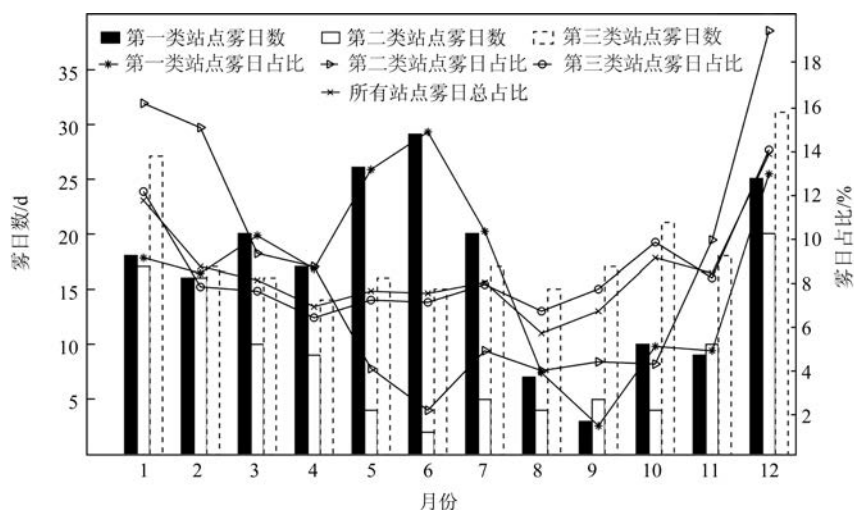


图5 2013—2019年3类站点平均雾日及所有站点总雾日的季节分布

Fig.5 Seasonal distribution of average foggy days at three types of stations and total foggy days at all stations from 2013 to 2019

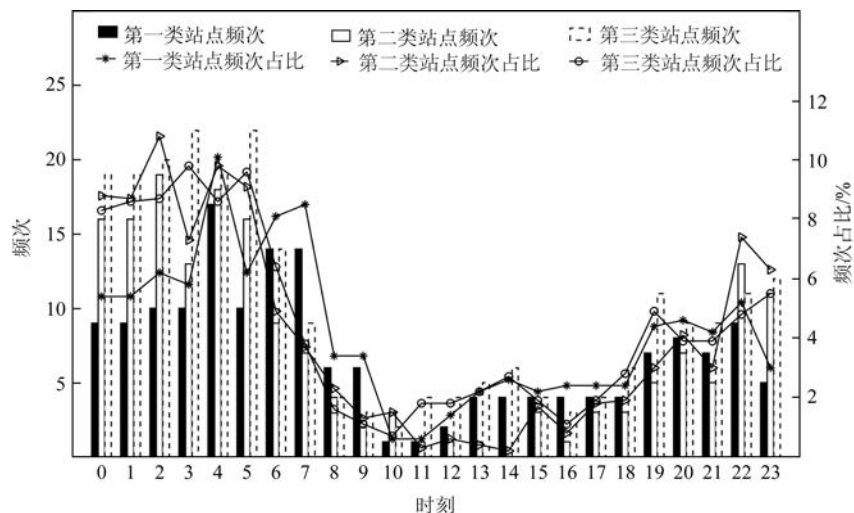


图6 3类站点大雾开始时次的日变化

Fig.6 Daily variation of the beginning time of heavy fog events at three types of stations

第三类站点大雾开始时次集中在00—05时和19—23时,结束时次集中在06—08时,开始时次兼具辐射雾和海雾的特点,而结束时次早于海雾,与辐射雾接近。第三类站点11—21时大雾生成频次高于第二类站点,大雾日变化特征整体与第二类站点接近,但由于受辐射雾影响的同时还受海雾影响,所以11—21时大雾生成频次比第二类高。第三类站点大雾的发生和结束时次规律介于第一、二类站点之间。

以上分析表明,胶州湾内不同类型的站点由于所处下垫面的不同,受海雾和辐射雾影响的比例也

不同,其大雾季节和日变化特征均不相同。第一类站点主要受海洋影响,大雾季节和日变化特征与海雾接近;第二类站点受海洋影响少,主要受陆地下垫面影响,其大雾季节和日变化特征与辐射雾相似;第三类站点同时受海洋和陆地下垫面影响,大雾季节和日变化规律介于第一、二类站点之间。

#### 4.4 湾区大雾空间分布特征

2013—2019年胶州湾17个站点的雾日频次显示(见图8),胶州湾西部地区雾日频次明显多于东部地区,西部站点JZ、DGH、TJY、TBT、LQ和HTG

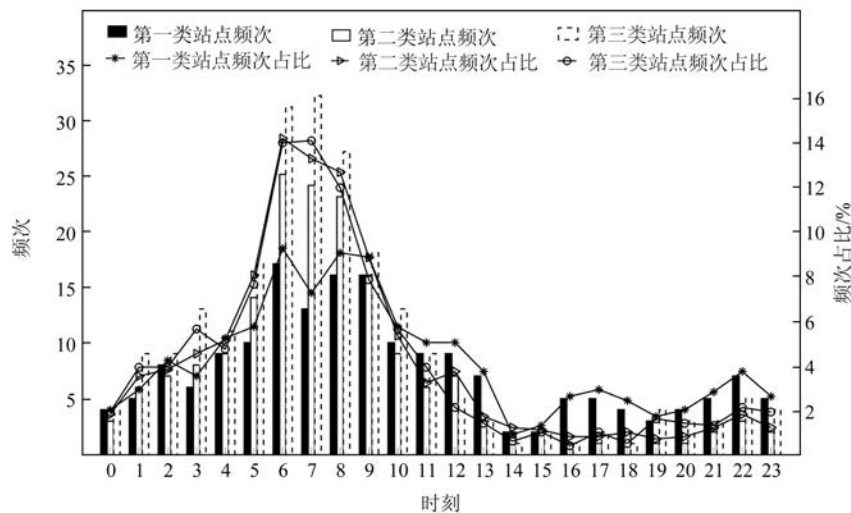


图7 3类站点大雾结束时次的日变化

Fig.7 Daily variation of the end time of heavy fog events at three types of stations

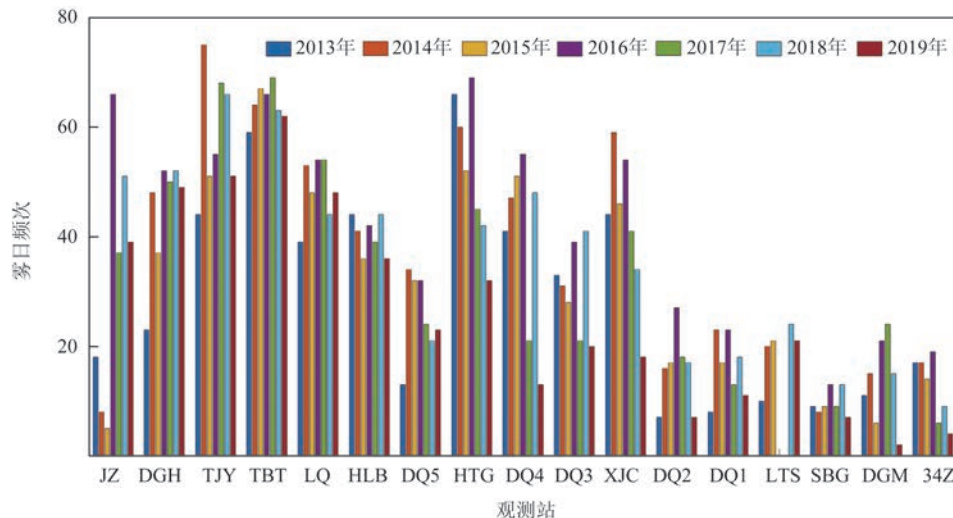


图8 2013—2019年胶州湾自西向东站点的雾日频次

Fig.8 Frequency of foggy days at the stations from west to east in Jiaozhou Bay from 2013 to 2019



雾日频次占有所有站点的51.5%。胶州湾大雾呈现“西多东少”的空间分布特征。第5部分将通过分析不同大雾类型中受不同下垫面影响的东、西站点气象要素的变化规律讨论胶州湾大雾“西多东少”空间分布的原因。

## 5 海雾和辐射雾影响下不同下垫面的气象要素变化

### 5.1 个例对比分析

本文选取胶州湾的两次典型大雾过程,分别分析东、西部受不同下垫面影响的典型站点SBG和DGH在两次大雾过程发生前6 h、发生过程中、发生后6 h地面各气象要素的演变过程,探究湾内大雾“西多东少”空间分布的原因。两次过程分别为2014年4月2日04—09时的海雾过程(以下简称A过程)和2018年12月21日19时—22日11时的辐射雾过程(以下简称B过程)。A过程中黄海海雾于2日04时入侵胶州湾(见图9),09时结束,西部站点能见度下降,而对东部站点无影响。B过程开始于温度较低的夜晚,在温度较高的中午结束,不仅使西部站点能见度降低,还对SBG和LTS等东部站点能见度有所影响。

受观测站分布密度和再分析数据分辨率的限制,现有数据不能精细地刻画大雾发展过程,但可以大致描述大雾发展过程中受不同下垫面影响站点的气象要素变化。本文选取的SBG站位于胶州湾东北部,主要受陆地下垫面影响,DGH站位于胶州湾西北部,同时受海洋和陆地下垫面影响。

A过程只影响了胶州湾西部观测站,DGH站和SBG站的能见度与相对湿度呈反位相变化。DGH站的能见度于1日22时开始下降,2日06时达到最低的0.197 km,产生浓雾。SBG站的能见度为2~5 km,没有大雾生成。DGH站在海雾过程中的相对湿度均在70%以上,在海雾发生时维持在90%以上,为海雾的发展提供了充足的水汽条件。SBG站的相对湿度在50%~80%,不能为海雾的维持提供充足的水汽条件。在A过程中,两站温度变化幅度较平缓,与能见度呈同位相变化,DGH站的温度一直低于SBG站且变化幅度比SBG站小,DGH站的温度降低有利于水汽凝结形成水滴,为海雾的维持发展提供条件。SBG站由于温度偏高,水汽无法凝结形成雾滴,不能形成雾。在1日22时—2日08时海雾发生前及过程中,DGH站一直为东南风,09时海雾结束后转为西南风。SBG站在海雾发生前及过程中主要为偏北风,短时偏南风。东南风将黄海沿岸的平流海雾通过湾口输送进胶州湾西北部,同时将黄海的暖湿水汽带到胶州湾西部,使胶州湾西部水汽条件优于东部,为海雾的持续发展提供条件。东部站点在A过程中主要为偏北风,无法从黄海为站点提供充足的水汽供应,故没有海雾发展。

B过程中,两站的能见度与相对湿度呈反位相变化,与温度呈同位相变化。21日17时开始能见度下降,22日01时和06时DGH站与SBG站分别达到最低能见度0.062 km和0.086 km,两站均有辐射雾发生且DGH站的强度高于SBG站。21日21时—22日12时,DGH站的相对湿度维持在90%~100%,SBG站在过程中的相对湿度一直在80%~

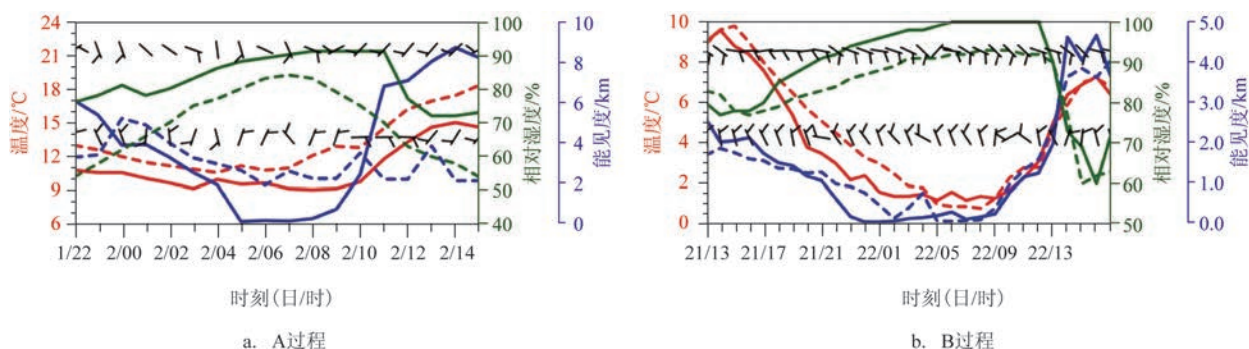


图9 A和B大雾过程DGH(实线,上排风向杆)和SBG(虚线,下排风向杆)的地面气象要素演变情况

Fig.9 Evolution of surface meteorological elements at DGH (solid line, upper row wind shaft) and SBG (dotted line, lower row wind shaft) during heavy fog processes A and B

95%,相对湿度低于DGH站。22日12时之后,两站相对湿度开始降低,辐射雾消散。整个辐射雾过程中,DGH站一直为东南风,SBG站主要为西北风,东南风将湾区内海洋的暖湿水汽输送到DGH站,因此DGH站的水汽条件好于SBG站,水汽更充足。在大雾过程中,两站均受地面辐射冷却作用形成辐射雾,由于DGH站有东南风提供的充足水汽,辐射冷却作用更强,辐射雾强度也更强,因此在大雾发展前期温度下降幅度大,但整个辐射雾过程中,SBG站由于主要受陆地下垫面影响,热容量小,降温幅度最高达9℃,大于DGH站。

## 5.2 风向统计分析

根据两次个例的气象要素变化结果可知,胶州湾内的风场使东西两边站点的温度和湿度产生较大差异,从而影响大雾的发展,这是胶州湾大雾形成“西多东少”空间分布的关键因素。为探究胶州湾内海雾和辐射雾发生时的盛行风向,本文分别选取2013—2019年10个只影响西部站点的辐射雾、同时影响东部和西部的辐射雾、只影响西部的海雾以及同时影响东部和西部的海雾个例,分别以DGH站和SBG站为西部和东部站点代表,对大雾发生前6h、大雾发生时以及发生后6h的风向进行平均,统计结果如表2所示。

在海雾发生的前、中、后期,DGH站和SBG站均为东南风(129°~185°),海雾发生时,胶州湾内盛行东南风,能够将黄海的海雾沿东南方向吹向湾内西部地区,为西部站点持续提供暖湿空气,形成平流

海雾,所以西部站点的水汽条件优于东部,西部海雾多于东部。在辐射雾发生过程中,DGH站均为东南风(99°~106°),湾区内的海洋下垫面可以为DGH站提供充足的水汽,为辐射雾的辐射冷却提供水汽条件;SBG站平均风向为东北风(67°),带来干空气,水汽条件较差,不利于SBG站辐射雾的生成,东部水汽条件差,辐射雾仅在西部生成。所以西部站点海雾和辐射雾的数量均多于东部。胶州湾内盛行的东南风是胶州湾西部大雾多于东部至关重要的因素。

胶州湾内的风场对胶州湾东、西部的湿度和温度均有影响,从而造成大雾“西多东少”的空间分布特征。胶州湾东北部站点主要受陆地下垫面影响,胶州湾盛行的东南风影响微弱,水汽条件较差,大雾类型多为辐射雾。西部站点由于位于近海区域,同时受海洋和陆地的影响,且胶州湾内盛行的东南风可以将黄海沿岸的海雾及暖湿空气吹向西部站点,为站点提供充足的水汽和适宜的温度条件,因此西部站点的相对湿度高于东部,能够为海雾及辐射雾的辐射冷却作用提供更充足的水汽条件,所以西部站点的海雾和辐射雾均多于东部。

## 6 结论与展望

本文利用2013—2019年胶州湾沿岸17个气象观测站的观测资料,对胶州湾大雾的气候特点和气象要素特征进行了统计分析。结论如下:

(1)根据下垫面及每个站点的雾日季节分布规律,将胶州湾沿岸观测站分为3类:位于跨海大桥上的站点,主要受海洋影响,大雾季节分布与海雾相似,主要为海雾;位于胶州湾内陆及东北方向的站点,主要受陆地下垫面影响,大雾类型主要为辐射雾;位于胶州湾沿岸及西北方向的站点,所处位置同时受海洋和陆地下垫面影响,大雾同时具有海雾和辐射雾的气候特征。

(2)胶州湾大雾具有显著的年际、季节、日变化及空间分布特征。胶州湾平均雾日为44d,2014年和2016年雾日最多,为57d,最少年份为2019年,仅有35d。胶州湾冬季1月和12月大雾过程最多,晚夏和初秋8—9月雾日最少。由于胶州湾3类站点海雾和辐射雾的占比不同,大雾起、止时次的日变

表2 DGH和SBG不同类型大雾个例的平均风向(单位:°)  
Tab.2 Average wind directions of different types of heavy fog at DGH and SBG(units:°)

时间	观测站	只影响西部		同时影响西部和东部	
		海雾	辐射雾	海雾	辐射雾
大雾前6h	DGH	172	171	165	120
	SBG	129	103	155	152
大雾过程中	DGH	165	106	135	99
	SBG	132	67	150	123
大雾后6h	DGH	149	176	146	157
	SBG	163	138	185	255



化特征及季节特征也互不相同,分别接近各类站点的主类型大雾特征。湾区大雾日数的空间分布特征为西部多东部少。

(3)大雾发生时,胶州湾西部站点大雾强度高于东部,水汽条件好于东部,且西部站点盛行东南风,东部站点盛行偏北风。胶州湾内盛行的东南风是胶州湾西部大雾多于东部的重要原因。东南风将黄海沿岸的海雾及暖湿空气吹向西部,为站点提供充足的水汽及适宜的温度条件,西部站点相对湿度高于东部,为海雾及辐射雾的辐射冷却作用提供更充足的水汽条件,所以西部站点的海雾和辐射雾均多于东部。

本文根据观测资料分析总结出了胶州湾大雾的气候特征及气象要素变化特点。但针对不同下垫面气象要素变化的研究,本文选取的个例较少,得到的结论是否具有普适性还需要进一步探究。后期需要利用数值模式来验证风场等物理量对湾内大雾的影响,进一步提高胶州湾大雾的预报水平。

#### 参考文献:

- [1] 张苏平, 鲍献文. 近十年中国海雾研究进展[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(3): 359-366.  
ZHANG S P, BAO X W. The main advances in sea fog research in China[J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(3): 359-366.
- [2] ZHANG S P, XIE S P, LIU Q Y, et al. Seasonal variations of Yellow Sea fog: observations and mechanisms[J]. Journal of Climate, 2009, 22(24): 6758-6772.
- [3] 高山红, 齐伊玲, 张守宝, 等. 利用循环3DVAR改进黄海海雾数值模拟初始场I: WRF数值试验[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(10): 1-9.  
GAO S H, QI Y L, ZHANG S B, et al. Initial conditions improvement of sea fog numerical modeling over the Yellow Sea by using cycling 3DVAR Part I: WRF numerical experiments[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(10): 1-9.
- [4] 高山红, 张守宝, 齐伊玲, 等. 利用循环3DVAR改进黄海海雾数值模拟初始场II: RAMS数值试验[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(11): 1-10, 18.  
GAO S H, ZHANG S B, QI Y L, et al. Initial conditions improvement of sea fog numerical modeling over the Yellow Sea by using cycling 3DVAR-Part II: RAMS numerical experiments[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(11): 1-10, 18.
- [5] 高山红, 王永明, 傅刚. 一次黄海海雾的集合预报试验[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2014, 44(12): 1-11.  
GAO S H, WANG Y M, FU G. Ensemble forecast of a sea fog over the Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2014, 44(12): 1-11.
- [6] WANG S K, YI L, ZHANG S P, et al. The microphysical properties of a sea-fog event along the west coast of the Yellow Sea in Spring[J]. Atmosphere, 2020, 11(4): 413.
- [7] 史得道, 吴振玲, 高山红, 等. 渤海海雾数值预报系统建立及应用[J]. 海洋预报, 2021, 38(5): 60-66.  
SHI D D, WU Z L, GAO S H, et al. Establishment and application of a sea fog numerical forecasting system for the Bohai Sea[J]. Marine Forecasts, 2021, 38(5): 60-66.
- [8] SHI X M, LIU X Y, GU Y, et al. Analysis of meteorological conditions for a sea fog process in 2016[J]. Atmospheric and Climate Sciences, 2021, 11(3): 419-425.
- [9] PROCTOR F W. A study of the summer fogs of Buzzards Bay[J]. Monthly Weather Review, 1903, 31(10): 467-472.
- [10] VARNEY B M. A fog phenomenon of San Francisco Bay[J]. Monthly Weather Review, 1920, 48(6): 337-338.
- [11] 林卫华, 蒋荣复, 王正廷. 湄洲湾海雾的发生规律和成因分析[J]. 海洋学研究, 2008, 26(3): 71-76.  
LIN W H, JIANG R F, WANG Z T. Analysis of the occurrence and origin of heavy fog in Meizhouwan Bay[J]. Journal of Marine Sciences, 2008, 26(3): 71-76.
- [12] 孔扬, 王科, 申华羽, 等. 宁波舟山港海雾特征及观测站点评估[J]. 中国水运, 2020(2): 108-111.  
KONG Y, WANG K, SHEN H Y, et al. Characteristics of sea fog and evaluation of observation stations in Ningbo Zhoushan port[J]. China Water Transport, 2020(2): 108-111.
- [13] 陈燕丽, 郭晓薇, 黄永璘, 等. 广西北部湾海雾天气形成预测研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(27): 133-137.  
CHEN Y L, GUO X W, HUANG Y L, et al. Beibuwan sea fog prediction using meteorological data[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(27): 133-137.
- [14] 古明悦, 韦晶晶, 郑凤琴, 等. 北部湾典型大雾过程环流特征及气象要素对比分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(3): 47-51, 67.  
GU M Y, WEI J J, ZHENG F Q, et al. Circulation features and meteorological elements of typical heavy haze processes in the Beibu Gulf[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2019, 40(3): 47-51, 67.
- [15] 史得道, 黄彬, 吴振玲. 2016年春季一次黄渤海明显海雾过程的大气海洋特征分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(5): 85-92.  
SHI D D, HUANG B, WU Z L. Analysis of atmosphere and sea characteristics under an obvious sea fog process over the Bohai and Yellow Sea in spring 2016[J]. Marine Forecasts, 2018, 35(5): 85-92.
- [16] WANG Q, ZHANG S P, WANG Q, et al. A fog event off the coast of the Hangzhou Bay during Meiyu period in June 2013[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2018, 18(1): 91-102.
- [17] 任兆鹏, 李昊倩, 鞠霞, 等. 青岛地区海雾分布及大气边界层条件分析[J]. 海洋科学, 2020, 44(5): 96-106.

- REN Z P, LI H Q, JU X, et al. Distribution of sea fog and analysis of boundary layer conditions in Qingdao[J]. Marine Sciences, 2020, 44(5): 96-106.
- [18] 王厚广, 曲维政. 青岛地区的海雾预报[J]. 海洋预报, 1997, 14(3): 52-57.
- WANG H G, QU W Z. Sea fog forecast in Qingdao[J]. Marine Forecasts, 1997, 14(3): 52-57.
- [19] 马艳, 郝燕, 王颖. 青岛地区海雾分布特征及风险评估[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(11): 11-15, 29.
- MA Y, HAO Y, WANG Y. Characteristics of sea fog and risk assessment for fog disaster in Qingdao[J]. Periodical of Ocean University of China, 2014, 44(11): 11-15, 29.
- [20] 王玉国, 章晗, 朱苗苗, 等. 辽东湾西岸海雾特征分析[J]. 海洋预报, 2013, 30(4): 65-69.
- WANG Y G, ZHANG H, ZHU M M, et al. Characteristics of sea fog along the west coast of Liaodong Bay[J]. Marine Forecasts, 2013, 30(4): 65-69.
- [21] 郑凤琴, 周绍毅, 韦晶晶, 等. 北部湾海雾特点及海陆大雾差异分析[J]. 气象科技, 2020, 48(5): 717-722.
- ZHENG F Q, ZHOU S Y, WEI J J, et al. Characteristics of sea fogs in Beibu Gulf and differences between heavy fogs over sea and land[J]. Meteorological Science and Technology, 2020, 48(5): 717-722.
- [22] 刘畅, 高留喜, 王西磊, 等. 山东省大雾的气候特征分析[J]. 山东气象, 2014, 34(2): 26-31.
- LIU C, GAO L X, WANG X L, et al. Climatic characteristics of heavy fog in Shandong Province[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2014, 34(2): 26-31.

## Analysis of heavy fog characteristics and comparative analysis of meteorological elements on different underlying surfaces in Jiaozhou Bay

LIU Xueying<sup>1</sup>, SHI Xiaomeng<sup>2</sup>

(1. Jiaozhou Meteorological Bureau, Jiaozhou 266300, China; 2. Qingdao Meteorological Observatory (Qingdao Marine Meteorological Observatory), Qingdao 266003, China)

**Abstract:** Based on the ground observation data of observation stations in Jiaozhou Bay from 2013 to 2019, the climatic characteristics of heavy fog in Jiaozhou Bay and the variation characteristics of meteorological elements on different underlying surfaces are analyzed. The researches show that according to the underlying surface, seasonal distribution and type proportion of heavy fog, the observation stations in Jiaozhou Bay can be divided into three categories: the advection fog accounts for a larger proportion in the first type of stations, the radiation fog accounts for a larger proportion in the second type of stations, and the advection fog and radiation fog account for nearly the same proportion in the third type of stations. The annual average number of foggy days in Jiaozhou Bay is 44 days, and the seasonal variation of heavy fog is significant, which mostly occur in winter, and the least in late summer and early autumn. Heavy fog events at the first type of stations mostly occur from May to July with the peak time of fog appearing in a day between 04:00 and 07:00, and the peak time of fog dissipation between 06:00 and 09:00. Heavy fog events at the second type of stations mostly occur in winter with the fog beginning time mostly between 22:00 and 05:00 of the following day and the fog ending time mostly between 06:00 and 08:00. The heavy fog events at the third type of station have uniform seasonal distribution and the daily variations have both the characteristics of sea fog and radiation fog. The prevailing southeast wind in Jiaozhou Bay provides sufficient water vapor and suitable temperature which are more conducive to the development of heavy fog for the western stations, which causes the number of foggy days at the western stations in the bay area is more than that at the eastern stations.

**Key words:** heavy fog in Jiaozhou Bay; climatic characteristics; underlying surface; meteorological elements