青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度及其与海面风和能见度的关系

于清溪[1]，王志勇[2]，张玉强[1]，陈艳丽[1]，姜雯斐[1]，焦艳[2]

（1. 国家海洋局北海信息中心　青岛　266061；2. 国家海洋局北海预报中心　青岛　266061）

摘要：文章基于小麦岛海洋环境监测站的相关数据，对 2016 年 1－10 月青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度的月平均变化特征、日平均变化特征和日变化特征进行研究，研究结果表明：$PM_{2.5}$ 浓度在 20 $\mu g/m^3$ 和 30 $\mu g/m^3$ 区间的发生天数最多，日均浓度最高值为 277.7 $\mu g/m^3$，重度污染共出现 7 d；$PM_{2.5}$ 浓度与近海海域气温和边界层高度有关，清晨偏高，午后偏低；$PM_{2.5}$ 浓度冬季普遍比夏季高，而夏季日较差比冬季大。结合对海面风的风速和风向以及海面能见度的观测，对 $PM_{2.5}$ 浓度与二者的关系进行研究，研究结果表明：风速越大，$PM_{2.5}$ 浓度越小；$PM_{2.5}$ 浓度高值出现在西南风到西北风和东北风，谷值出现在东风到南风和北风，这与地形和海、陆 $PM_{2.5}$ 浓度差异密切相关；$PM_{2.5}$ 浓度越高，海面能见度越低，且可利用指数曲线估计海面能见度。

关键词：$PM_{2.5}$；空气质量；大气污染；海洋气象；海洋观测

中图分类号：P732；X131.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005－9857(2018)06－0039－04

$PM_{2.5}$ Mass Concentrations and Its Relationship with Sea-surface Wind and Visibility in Coastal Area of Qingdao

YU Qingxi[1], WANG Zhiyong[2], ZHANG Yuqiang[1], CHEN Yanli[1], JIANG Wenfei[1], JIAO Yan[2]

(1. North China Sea Data and Information Service, SOA, Qingdao 266061, China;
2. North China Sea Marine Forecasting Center, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: Monthly variation, daily variation and diurnal variation of $PM_{2.5}$ mass concentrations were investigated based on observation data from January to October, 2016, in Xiaomaidao station in Qingdao. The results showed that the daily concentrations of $PM_{2.5}$ occurred most frequently around 20 $\mu g/m^3$ or 30 $\mu g/m^3$, with the maximum value up to 277.7 $\mu g/m^3$, and the total number of heavy pollution day was 7 in this period. The concentration of $PM_{2.5}$ had good relationship with air temperature and boundary layer height, which led to higher in the early morning and lower in the afternoon. The $PM_{2.5}$ concentration was lower in summer than that in winter, while the diurnal

收稿日期：2017-10-20；**修订日期：**2018-04-25

基金项目：海洋公益性行业科研专项项目“海洋站生态环境长期综合观测系统集成技术研究与示范”(201505007).

作者简介：于清溪，助理工程师，硕士，研究方向为海洋数据资料分析、管理和应用

range was greater in summer than that in winter. Combined with the observation of sea-surface wind and visibility, it could be concluded that, the $PM_{2.5}$ concentrations increased with the decrease of wind speed; the concentrations were relatively high when the wind came from the southwest to the northwest, but low when the wind came from the east to the south, as well as the north, which was caused by topography and difference of $PM_{2.5}$ concentration between land and sea. Besides, the higher $PM_{2.5}$ concentrations were there, the lower visibility became, and the exponential curve could be used to estimate visibility.

Key words: $PM_{2.5}$, Air quality, Air pollution, Oceanographic meteorology, Ocean observation

大气气溶胶是大气与悬浮其中的固体和液体微粒共同组成的多相体系[1]。大气气溶胶粒子通过对太阳辐射的散射和吸收，改变地气系统的能量平衡，进而影响地区的天气和气候，甚至影响人类健康和生态平衡[1-3]。近年来，随着经济的迅速发展，越来越多的颗粒物被排放到大气中，如 $PM_{2.5}$（环境空气中空气动力学当量直径不大于 2.5 μm 的颗粒物，也称细颗粒物），我国《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）中已增加 $PM_{2.5}$ 的浓度限值。

青岛市近海海域位于山东半岛蓝色经济区，是国内外著名的滨海旅游目的地和帆船赛事比赛地，也是海洋资源开发利用和海洋工程建设的活跃区，海洋环境空气质量直接影响近海海域的海上活动。目前国内对 $PM_{2.5}$ 的研究多集中于城区内部[4-6]，对近海海域 $PM_{2.5}$ 的研究较少。本研究利用 2016 年 1－10 月小麦岛海洋环境监测站 $PM_{2.5}$ 浓度（质量浓度）和气象要素的连续监测和观测资料，对青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度及其与海面风和能见度的关系进行研究，以期为海上活动以及相关部门制定防范措施和应急预案等提供科学依据。

1 数据来源

国家海洋局小麦岛海洋环境监测站（以下简称“海洋站”）建于 1959 年 7 月，位于青岛市崂山区小麦岛，是全国为数不多的观/监测项目齐全的海洋环境监测站，也是最早实施自动化海洋观测的国家级示范站。小麦岛东、南、西三面临海，海域开阔，通过修建海堤与陆地相连，岛上无常住居民，观/监测资料能较好地反映青岛市近海海域海洋环境的基本特征和变化规律。

$PM_{2.5}$ 浓度、海面风的风速和风向以及能见度实现同地点和同时次的监测和观测。①$PM_{2.5}$ 浓度利用美国 5030 型颗粒物同步监测仪（Thermo Scientific），采用光散射法和 β 射线吸收法进行实时连续监测，时间分辨率为 1 h；该 $PM_{2.5}$ 浓度监测技术已获得美国 EPA 认证，是目前国际较通用的监测方法。②海面风的风速和风向通过安装于海洋站气象观测场的自动气象站进行观测，选用 10 min 平均风速和风向数据，时间分辨率为 1 h。③能见度通过海洋站的观测员于每日 08 时、14 时和 20 时进行人工观测。

2 $PM_{2.5}$ 浓度监测结果

2.1 月平均变化特征

2016 年 1—10 月，青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度月际变化明显，平均值 1 月最高、8 月最低，且夏季明显低于冬季（表 1）。

表 1 2016 年 1—10 月青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度

μg/m³

月份	平均值	中值	标准差
1 月	82.3	54.1	67.9
2 月	53.0	47.7	31.0
3 月	47.5	35.7	31.1
4 月	63.4	44.0	47.8
5 月	50.3	41.6	29.6
6 月	31.1	23.3	20.5
7 月	37.4	32.9	22.0
8 月	18.5	20.4	5.5
9 月	38.5	25.5	28.9
10 月	31.9	27.7	19.5

2.2　日平均变化特征

$PM_{2.5}$ 浓度在 20 μg/m³ 和 30 μg/m³ 区间的发生天数最多，分别为 66 d 和 70 d，共占总天数约 45%；随着浓度的增大，发生天数呈减少趋势（图 1）。

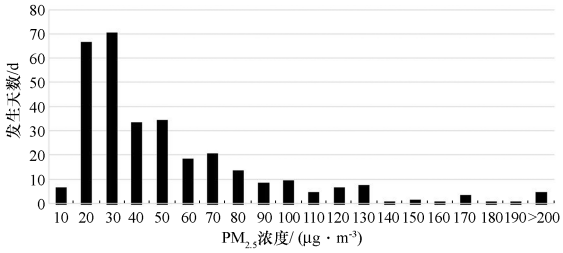

图 1　2016 年 1—10 月青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度日均值分布

根据《环境空气质量标准》（GB 3095—2012），$PM_{2.5}$ 日平均质量浓度的一级和二级标准分别为 35 μg/m³ 和 75 μg/m³。2016 年 1—10 月，青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度一级和二级的达标率分别为 52.8% 和 84.6%；$PM_{2.5}$ 浓度最高值出现在 1 月 3 日，日均浓度为 277.7 μg/m³；重度污染（$PM_{2.5}$ 浓度大于 150 μg/m³）共出现 7 d，分别为 1 月 2 日、3 日、10 日、15 日、16 日和 4 月 8 日、22 日（图 2）。

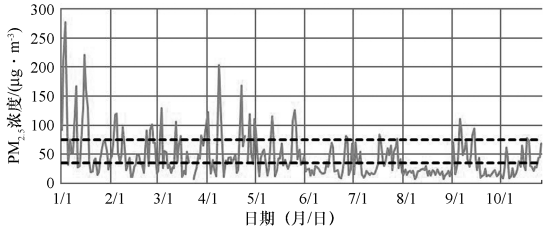

图 2　2016 年 1—10 月青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度日均值变化曲线

2.3　日变化特征

$PM_{2.5}$ 浓度日变化特征主要与近海海域气温和边界层高度有关：清晨气温和高度最低，垂直扩散条件较差，导致 $PM_{2.5}$ 浓度偏高；午后气温和高度最高，垂直扩散条件较好，导致 $PM_{2.5}$ 浓度偏低。值得注意的是，$PM_{2.5}$ 浓度冬季（1 月）普遍比夏季（7 月）高，而夏季日较差比冬季大，这主要是受海面风的影响。

$PM_{2.5}$ 浓度日变化曲线及其季节差异如图 3 所示。

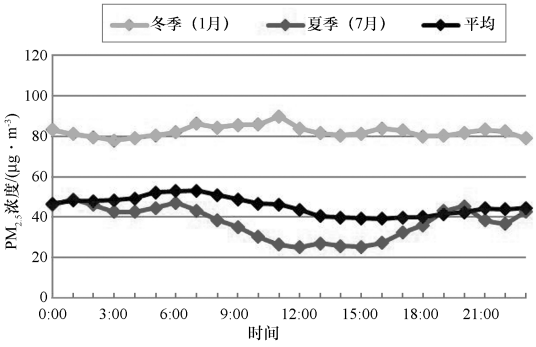

图 3　2016 年 1—10 月青岛市近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度日变化曲线及其季节差异

3　$PM_{2.5}$ 浓度与海面风和能见度的关系

3.1　与海面风的关系

海面风是近海海域最重要的气象要素之一，近海海域 $PM_{2.5}$ 浓度受海面风影响明显，其与风速和风向的关系如图 4 所示。

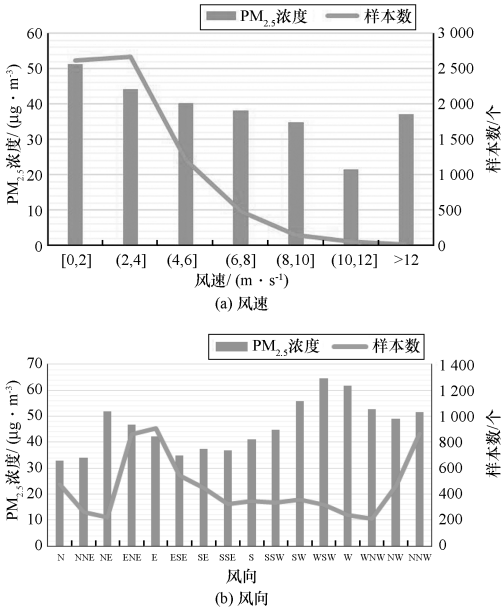

图 4　$PM_{2.5}$ 浓度与风速和风向的关系

由图 4(a) 可以看出，当风速为 0～2 m/s 时，$PM_{2.5}$ 平均浓度超过 50 μg/m³；随着风速的增大，$PM_{2.5}$ 平均浓度逐渐降低；当风速大于 12 m/s 时，由于样本数过少，$PM_{2.5}$ 平均浓度受单次污染过程影响有所上升。总体来说，风速越大，$PM_{2.5}$ 浓度越小。

由图 4(b)可以看出，随着风向的变化，$PM_{2.5}$浓度大致呈现“双峰”结构。主峰值出现在西南风到西北风，次峰值出现在东北风，2 个谷值出现在东风到南风和北风。风向对近海海域 $PM_{2.5}$浓度的影响与地形和海、陆 $PM_{2.5}$浓度差异密切相关。小麦岛位于山东半岛南部沿岸，海岸线为 NE—SW 向，主峰值所在的 SW—NW 向是广阔的陆地，而陆地 $PM_{2.5}$浓度要远高于海洋；同样，当风向为东北风时，风所经过的陆地范围较大，导致 $PM_{2.5}$浓度较高。2 个谷值的形成原因有所不同：当风向为东风到南风时，风从海洋吹向陆地，$PM_{2.5}$浓度较低；当风向为北风时，多出现在冬季，通常伴随冷空气，且风速较大，导致细颗粒物被吹散，$PM_{2.5}$浓度降低。

2.1 节和 2.3 节指出，$PM_{2.5}$浓度冬季比夏季高，而夏季日较差比冬季大，这是由于近海海域环境空气质量的变化受季风和海陆风影响显著。季风冬季由陆地吹向海洋，夏季由海洋吹向陆地，因此在仅考虑风向而不考虑排放源的情况下，$PM_{2.5}$浓度冬季高于夏季；海陆风夜间由陆地吹向海洋，日间由海洋吹向陆地，季风与海陆风叠加，夏季日间由海洋吹向陆地的风较强，因此 $PM_{2.5}$浓度夏季日较差较大。

3.2 与海面能见度的关系

在相对湿度小于 90%，即排除降雨和雾天干扰的情况下，$PM_{2.5}$浓度越高，海面能见度越低。

分别用直线曲线($y=-0.117\ 6x+20.404$)和指数曲线($y=128.41x^{-0.745}$)对二者的关系进行拟合，相关系数分别为 0.53 和 0.60，均通过 1%的显著性检验。由于指数曲线对 $PM_{2.5}$浓度和海面能见度的关系拟合较好，当 $PM_{2.5}$浓度可测且相对湿度小于 90%时，可应用该公式估计海面能见度。

$PM_{2.5}$浓度与能见度的散点分布和拟合曲线如图 5 所示。

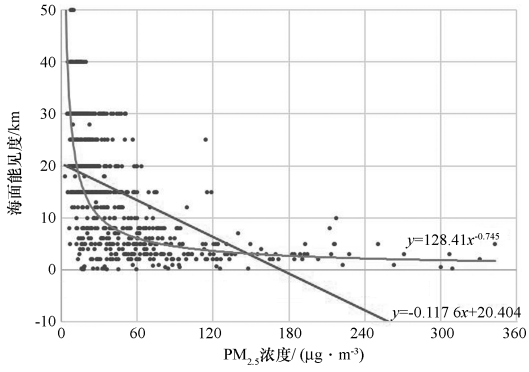

图 5 $PM_{2.5}$浓度与能见度的散点分布和拟合曲线

参考文献

[1] 王明星.大气化学[M].北京：气象出版社，1999.

[2] KAPPOS A D，BRUCK M，EIK M，et al.Health effects of particles in ambient air[J].International Journal of Hygiene and Environmental Health，2004，207(4)：399－407.

[3] WEI H，TAN J，KAN H，et al.Visibility，air quality and daily mortality in Shanghai，China[J].Science of the Total Environment，2009，407(10)：3295－3300.

[4] 荆俊山，张仁健，陶俊.北京郊区夏季 $PM_{2.5}$和黑碳气溶胶的观测资料分析[J].气象科学，2011，31(4)：510－515.

[5] 焦艳.上海城区大气 $PM_{2.5}$浓度及气溶胶光学特性的观测研究[D].青岛：中国海洋大学，2013.

[6] 黄容，郭丽娜，马艳，等.2006－2012 年青岛市空气质量与气象条件的关系[J].气象与环境学报，2015，31(2)：37－43.