

邓明仔,何清,阿力木·阿巴斯,等.巴基斯坦瓜达尔港气象要素特征分析[J].海洋气象学报,2020,40(4):124-132.  
DENG Mingzi, HE Qing, Alim Abbas, et al. Analysis of meteorological elements at Gwadar Port of Pakistan[J]. Journal of Marine Meteorology, 2020, 40(4): 124-132. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2020.04.014. (in Chinese)

## 巴基斯坦瓜达尔港气象要素特征分析

邓明仔<sup>1,2</sup>,何清<sup>2</sup>,阿力木·阿巴斯<sup>2,3</sup>,金莉莉<sup>2</sup>,周成龙<sup>2</sup>,杨锐<sup>4</sup>

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆 乌鲁木齐 830054; 2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002; 3.新疆大学资源与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830046; 4.克拉玛依市气象局,新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:**利用克拉玛依-瓜达尔友好城市气象站2018年1月1日至2019年12月31日逐日及逐小时气温、气压、降水、相对湿度、水汽压、风向风速观测资料,对瓜达尔港的气象要素特征进行分析。结果表明:1)瓜达尔港属热带沙漠气候,年平均气温为26.9℃,最热月为5—7月,最冷月为1月。瓜达尔港气温年较差、日较差分别为12.5℃和6.5℃,各季节间气温差异较小。其极端高温达42.7℃,极端低温为11.9℃。2)瓜达尔港年平均气压为1 009.1 hPa,气压最大值出现在12月和1月,最小值出现在7月,季节差异明显。3)瓜达尔港受制于副热带高压,常年干旱少雨,降水年季之间分布不均,差异明显。2018年年降水量为0.3 mm,集中于冬季;2019年年降水量为67.6 mm,主要集中于秋冬两季。相对湿度和水汽压年均值分别是67.3%和24.3 hPa。4)瓜达尔港年平均风速为2.4 m·s<sup>-1</sup>,白天风速大于夜晚风速。四季中春季风速偏大,夏季、秋季次之,冬季偏小。风向季节性变化明显,盛行风向除东北风外,还包括西南风。出现频率最高的是2级风,其次是1级风和3级风,6级以上大风出现频率为0。

**关键词:**中巴经济走廊;瓜达尔港;气象要素特征;变化特征

**中图分类号:** P732 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2020)04-0124-09

**DOI:**10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2020.04.014

## Analysis of meteorological elements at Gwadar Port of Pakistan

DENG Mingzi<sup>1,2</sup>, HE Qing<sup>2</sup>, Alim Abbas<sup>2,3</sup>, JIN Lili<sup>2</sup>, ZHOU Chenglong<sup>2</sup>, YANG Rui<sup>4</sup>

(1. School of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 3. School of Resource and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 4. Karamay Meteorological Bureau, Karamay 834000, China)

**Abstract** The meteorological elements of Gwadar Port are analyzed using the observation data from the meteorological station of Karamay-Gwadar sister city from 1 January 2018 to 31 December 2019, including daily and hourly air temperature, atmospheric pressure, precipitation, relative humidity, water vapor pressure, wind direction, and wind speed. The results are shown below. 1) Gwadar Port has a tropical desert climate and the annual mean air temperature is 26.9 °C. At Gwadar Port, the hottest period is from May to July and the coldest month is January. The annual and daily air temperature ranges are 12.5 °C and 6.5 °C, respectively, and the air temperature difference between seasons is small. The maximum air temperature is 42.7 °C and the minimum is 11.9 °C. 2) The annual mean atmospheric pressure at Gwadar Port is 1 009.1 hPa with the maximum in December and January and the minimum in July, and the

收稿日期:2020-09-05; 修订日期:2020-11-02

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK010206)

第一作者:邓明仔,女,硕士研究生,主要从事干旱区环境演变与灾害防治研究,d19915069629@163.com。

通信作者:何清,男,博士,研究员,主要从事沙漠气象研究,qinghe@idm.cn。

seasonal differences are significant. 3) Gwadar Port is subject to subtropical high, resulting in the dry climate with little rainfall throughout the year, and the distribution of annual and seasonal precipitation is both uneven with obvious differences. The annual precipitation in 2018 is 0.3 mm, mainly in winter, while the annual precipitation in 2019 is 67.6 mm, mainly in autumn and winter. The annual mean values of relative humidity and water vapor pressure at Gwadar Port are 67.3% and 24.3 hPa. 4) Gwadar Port has an annual mean wind speed of  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , and the wind speed in the daytime is higher than that in the nighttime. In the 4 seasons, the mean wind speed is the highest in spring, followed by that in summer and autumn, and smallest is in winter. The seasonal variation of wind direction is obvious, and the prevailing wind includes southwesterly winds besides northeasterly winds. The highest frequency of wind is light breeze, followed by light air and gentle breeze, and the frequency of wind above scale 6 is zero.

**Key words** China-Pakistan Economic Corridor; Gwadar Port; characteristics of meteorological elements; characteristics of variation

## 引言

瓜达尔深水港(25.2°N, 62.19°E)位于巴基斯坦西南部俾路支斯坦省瓜达尔市,地区面积 14 637 km<sup>2</sup>。瓜达尔港受副热带高压和信风交替控制,属热带沙漠气候,干旱少雨且风沙较多;年平均气温高,又因临近海洋,使得气温变化具有均匀性。瓜达尔港还处在向赤道低压带移动的东北信风路径上,来源于印度洋上的东南信风穿越赤道后受地球自转偏向力影响转向西南方向,由此瓜达尔港盛行风向除东北风外还包括西南风。

作为巴基斯坦第三大港口,东亚国家转口贸易及中亚内陆国家出海口,瓜达尔港南临印度洋的阿拉伯海,紧挨波斯湾,距霍尔木兹海峡约 400 km,是中巴经济走廊的终点,同时又是 21 世纪海上丝绸之路和陆上丝绸之路的关键节点<sup>[1-4]</sup>。研究其气象要素特征对于当地的经济建设、生态环境,海运及航空等方面都有重要影响,对于中巴走廊以及丝绸之路建设也有重要意义<sup>[5-6]</sup>。ZHENG et al.<sup>[7-8]</sup>及郑崇伟等<sup>[9-10]</sup>利用 ERA-Interim 风场资料对瓜达尔港的风能资源进行了分析与评估,指出瓜达尔港风能资源常年可用,表现出单峰型月变化特征,峰值出现在 4—5 月,波谷出现在 11—12 月,且夏季的风能资源比冬季丰富,稳定性也明显优于冬季。根据分析风能玫瑰图,瓜达尔港的风能常年稳定由偏西南(SW)向的风贡献,其 6 级及以上大风频率常年在 1.5%以内,出现频率最高的为 3 级风,其次是 4 级风和 2 级风。目前关于瓜达尔港气象要素的研究还较为稀少,亟需开展更为详细的研究。

本文采用克拉玛依-瓜达尔友好城市气象站 2018—2019 年逐日及逐小时气温、气压、降水、相对

湿度、水汽压、风向风速等气象数据,分析了瓜达尔港气象要素特征,揭示其变化原因,以期合理开发利用气候资源,保护和改善瓜达尔港的生态环境,推动地方社会经济与生态环境协调可持续发展提供科学依据。

## 1 资料来源

中亚五国和巴基斯坦大部分区域气象观测设施缺乏,个别气象站点甚至处于停止运行状态,目前这些地区仅有的可正常运行的观测站点远远不能满足其气候研究和灾害监测、预报预警的需求<sup>[11]</sup>。2017 年底,克拉玛依-瓜达尔友好城市气象站建立。整个气象站由一套先进的自动气象采集设备组成,采用太阳能供电,是中巴经济走廊首座完全自动化的多要素气象观测站<sup>[12-13]</sup>。自动气象站落成以来,通过北斗卫星和 GPRS 无线传输数据,探测获取的要素包括温度、相对湿度、降水以及风向风速等。本文所涉及气象要素观测仪器均来自于航天新气象科技有限公司,其中温湿传感器型号为 DHC2,观测高度为 1.5 m;气压传感器型号为 DYC1,观测高度为 1.2 m;降水采用翻斗雨量传感器,其型号为 SL3-1,观测高度为 0.7 m;风向风速传感器型号为 ZQZ-TF,观测高度为 10 m。

本文利用 2018 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日克拉玛依-瓜达尔友好城市气象站所探测的逐日及逐小时气温、气压、降水、相对湿度、水汽压、风向风速观测资料,采用平均分析法和对比分析法等统计方法<sup>[14-15]</sup>,分析瓜达尔港基本气象要素特征。文中分别以 2、5、8、11 月作为冬、春、夏、秋季的代表月,小时资料统一采用地方时。巴基斯坦时区上属于东五区,自 2008 年 6 月 1 日起为节省电力而实行

夏时制,地方时早于协调世界时6 h。由于仪器发生故障、系统误差以及数据传输和记录过程出现错误等原因,须先对数据进行误差订正或剔除无效数据。其中,由于自动气象观测站采集仪器出现异常,2019年6月整月的气温、气压、降水及风向风速等数据缺失。

## 2 瓜达尔港气象要素特征

### 2.1 气温

瓜达尔港2018年和2019年年平均气温为26.9℃。其中,2018年年平均气温为27.5℃,年平均最高气温为30.2℃,年平均最低气温为23.6℃;

2019年年平均气温为26.3℃,年平均最高气温为29.7℃,年平均最低气温为23.2℃。瓜达尔港位于北回归线附近,受副热带高压控制,其属于热带沙漠气候,故呈现出常年高温的特征。

#### 2.1.1 月气温

根据表1可知,瓜达尔港2018年气温最高月为6月,月平均气温达31.6℃;其次是5月,为31.3℃;气温最低月为1月,为17℃。极端高温出现在5月,达到42.7℃,极端低温出现在2月,为12.2℃。2019年气温最高月为7月,月平均气温达30.4℃;最冷月为1月,月平均气温为20.0℃。极端高温出现在9月,为40.1℃;极端低温出现在1月,为11.9℃。

表1 2018年和2019年瓜达尔港平均、最高、最低气温和气温日较差

Table 1 Mean, maximum, and minimum air temperature and daily air temperature range at Gwadar Port in 2018 and 2019 °C

月份	2018年	2019年	2018年最高气温		2019年最高气温		2018年最低气温		2019年最低气温		2018年 气温日 较差	2019年 气温日 较差
	平均 气温	平均 气温	最大值	平均值	最大值	平均值	最小值	平均值	最小值	平均值		
1	17.0	20.0	25.4	23.0	—	—	12.7	16.7	11.9	17.2	7.1	0.2
2	27.1	21.7	29.0	27.1	28.3	25.7	12.2	18.8	13.2	18.6	8.3	7.5
3	30.3	23.8	40.8	30.3	37.1	28.1	16.7	21.5	15.5	19.6	8.7	8.5
4	28.7	28.0	37.4	33.0	39.5	32.9	23.0	25.0	18.2	24.6	8.1	8.4
5	31.3	29.4	42.7	36.1	38.6	33.4	24.9	27.7	22.9	26.2	8.3	7.2
6	31.6	—	41.1	34.9	—	—	26.6	29.0	—	—	5.9	—
7	30.5	30.4	34.5	33.0	35.6	33.4	27.6	28.8	27.2	28.8	4.2	4.6
8	28.9	29.8	33.2	31.6	34.6	32.8	25.0	27.2	25.9	27.6	4.4	5.2
9	28.2	30.2	34.0	31.5	40.1	34.1	23.3	25.5	24.4	27.2	6.0	6.9
10	28.2	29.1	39.5	33.7	37.1	33.1	20.1	23.7	22.5	25.4	10.0	7.6
11	27.8	25.7	35.4	32.6	34.1	29.7	18.6	23.5	15.2	20.6	9.0	9.1
12	20.0	21.0	18.4	15.9	27.1	21.2	12.7	15.7	13.1	19.1	0.9	3.0

2018年月平均气温年较差为14.6℃,2019年月平均气温年较差为10.4℃,2018—2019年月平均气温年较差仅相差4.2℃,均值为12.5℃。瓜达尔港处于中低纬度地区,并且靠近印度洋的阿拉伯海,深受海洋影响,故气温变化较为平缓。

综上,瓜达尔港最热月为5—7月,最冷月为12月和1—2月。南亚地区是典型的热带季风气候,5月正处在一年中季风抵达前的干热高温季节,高温天气异常强势。随着6月22日太阳直射北回归线,达到全年太阳辐射最强,气温受地面长波辐射影响,大气受热相对滞后,造成7月大气温度也相对升高。同理,1—2月和12月太阳直射点位于南半球,导致了北半球地区获得太阳辐射热量少,气温较低。

#### 2.1.2 日气温

瓜达尔港平均气温、最高气温和最低气温日变

化峰值、谷值出现时间较为一致(图1)。分析平均气温、最高气温和最低气温的日变化,最小值同时出现时间为08:00,分别为24.2℃、24.5℃和23.9℃;最大值同时出现时间为15:00,分别为30.2℃、30.8℃和29.7℃。

根据表1可知,瓜达尔港2018—2019年平均气温日较差均值为6.5℃。其中,2018年平均气温日较差为6.7℃,10月气温日较差最大,为10.0℃,12月最小,为0.9℃。2019年平均气温日较差为6.2℃,气温日较差最大月为11月,达9.1℃,最小月为1月,为0.2℃。瓜达尔港两年气温日较差变化较为相似,都是3—5月和9—11月气温日较差较大,6—8月、12月、1—2月气温日较差较小,即春秋两季昼夜温差较大,夏冬两季昼夜温差较小。

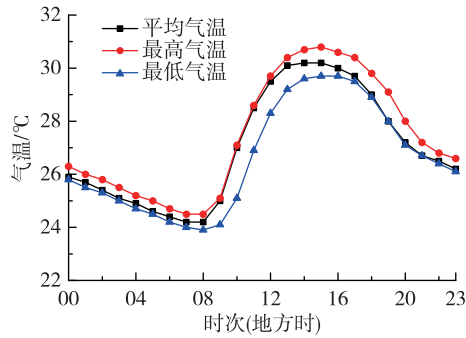


图1 2018—2019年瓜达尔港平均气温、最高气温和最低气温日变化

Fig.1 Diurnal variation of mean, maximum, and minimum air temperature at Gwadar Port from 2018 to 2019

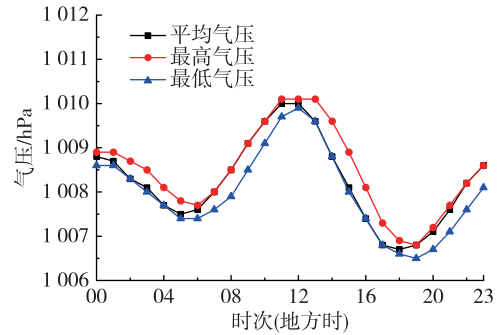


图2 2018—2019年瓜达尔港平均气压、最高和最低气压日变化

Fig.2 Diurnal variation of mean, maximum, and minimum atmospheric pressure at Gwadar Port from 2018 to 2019

## 2.2 气压

瓜达尔港2018年年平均气压为1 008.3 hPa,最高气压年均值为1 010.2 hPa,最低气压年均值为1 005.9 hPa。2019年年平均气压为1 009.9 hPa,最高气压年均值为1 012.0 hPa,最低气压年均值为1 007.6 hPa。2018—2019年年平均气压仅相差1.6 hPa,均值为1 009.1 hPa。

### 2.2.1 月气压

2018年平均气压、最高气压与最低气压最大值均出现在12月,分别为1 016.6 hPa、1 018.9 hPa和1 014.2 hPa;其次出现在1月,分别为1 015.2 hPa、1 017.2 hPa和1 013.0 hPa。最小值均出现在7月,分别为997.2 hPa、998.7 hPa和994.8 hPa。

2019年平均气压、最高气压与最低气压最大值出现在1月,分别为1 019 hPa、1 021.2 hPa和1 016.5 hPa;其次出现在12月,分别为1 016.5 hPa、1 018.7 hPa和1 014.3 hPa。最小值与2018年一样出现在7月,分别为999.1 hPa、1 000.6 hPa和996.5 hPa。

### 2.2.2 日气压

瓜达尔港平均气压、最高和最低气压日变化曲线(图2)相似,其中平均气压最大值出现在11:00和12:00,为1 010 hPa;最高气压最大值出现在11:00—13:00,为1 010.1 hPa;最低气压最大值出现在12:00,为1 009.9 hPa。平均气压谷值出现在05:00和18:00,为1 007.5 hPa和1 006.7 hPa;最高气压谷值出现时间在06:00和19:00,分别为1 007.7 hPa和1 006.8 hPa;最低气压谷值出现时间在05:00、06:00和19:00,分别为1 007.4 hPa、1 007.4 hPa和1 006.5 hPa。

## 2.3 降水、相对湿度与水汽压

### 2.3.1 降水

瓜达尔港位于北回归线附近,受副热带高压下沉气流控制,属热带沙漠气候,常年干旱少雨。2018年累计降水量为0.3 mm,总降水日数为1 d。2019年累计降水量为67.6 mm,总降水日数为20 d(图3a)。通过对比发现,2018年降水量偏少,2019年降水量偏多,2019年降水量是2018年降水量的225倍。2018年降水日数偏少,2019年降水日数偏多,两者之间相差19 d,2018年降水日数仅为2019年降水日数的5%。

由图3可以看出,瓜达尔港降水量月际分布不均。2018年仅3月出现降水,降水日数为1 d,降水量为0.3 mm。2018年日降水量最大值是0.3 mm,出现在2018年3月3日(图3a)。2019年降水量较2018年充沛,降水主要集中在1—3月和10—12月,其中降水量最大值出现在11月,达到54.7 mm,其次是12月,为9.0 mm(图3b和图3c)。月累计降水日数最多为6 d,出现在2月;其次是12月,共4 d;3月、10月以及11月降水日数相同,均为3 d。2019年日降水量最大值是29.6 mm,出现在2019年11月22日。

瓜达尔港终年降水较少,主要集中在冬季,这源自冬季来自阿拉伯海的暖湿气流导致降水较多;夏秋季节虽然湿度较大,但受副热带高压下沉气流控制,干旱少雨。除冬季海洋带来的湿润气流,中纬度地区的低压系统有时会导致西南亚的气旋穿过地中海向东进入伊朗、阿富汗、巴基斯坦和印度,则被称为西风扰动并导致狂风、多云和降雨,瓜达尔港正处于其冬季(12月至次年2月)路线<sup>[16]</sup>。

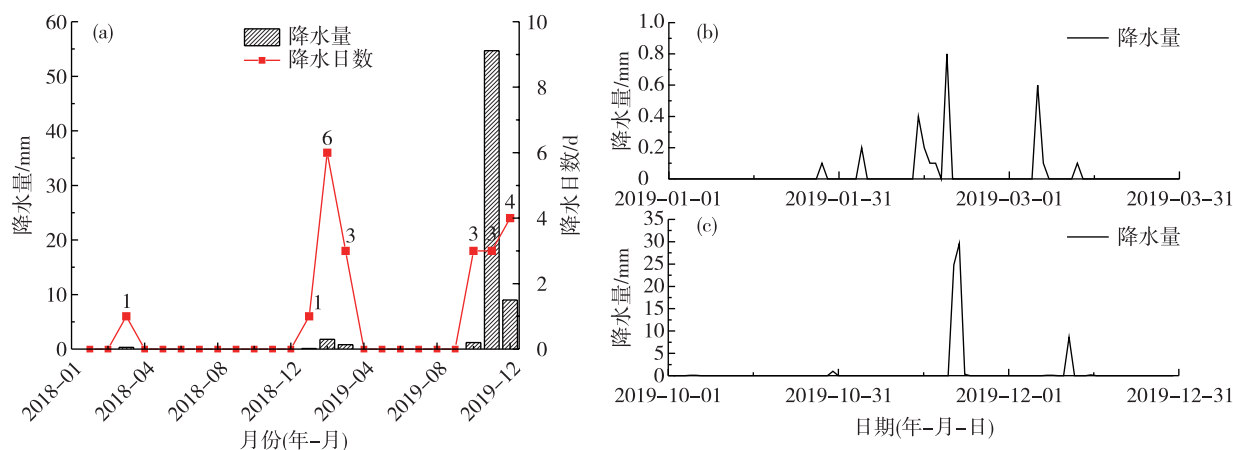


图3 2018—2019年瓜达尔港降水情况(a)和2019年降水量月际分布(b. 1—3月, c. 10—12月)

Fig.3 Precipitation information from 2018 to 2019 (a) and monthly distribution of precipitation in 2019 (b. from January to March, c. from October to December) at Gwadar Port

### 2.3.2 相对湿度与水汽压

2018年相对湿度年均值为68.5%,水汽压年均值为25.0 hPa。2019年相对湿度年均值为66.1%,水汽压年均值为23.7 hPa。2018—2019年相对湿度和水汽压的年均值分别为67.3%和24.3 hPa。

如表2所示,2018年相对湿度最小月是12月,

为56.0%,最大月是6月,为76.8%;月平均水汽压最大值为35.6 hPa,出现在6月,最小值是14.5 hPa,出现在1月。2019年相对湿度最小月是11月,为50.2%,最大月是9月,为76.5%;月平均水汽压最大值为32.6 hPa,出现在9月,最小值是15.3 hPa,出现在2月。

表2 2018年和2019年瓜达尔港相对湿度和水汽压月均值

Table 2 Monthly mean relative humidity and water vapor pressure at Gwadar Port in 2018 and 2019

年份	月份	相对湿度/%	水汽压/hPa	年份	月份	相对湿度/%	水汽压/hPa
2018	1	58.8	14.5	2019	1	62.2	16.7
	2	74.6	20.8		2	57.2	15.3
	3	67.6	21.7		3	65.2	19.0
	4	69.0	26.8		4	65.6	24.0
	5	65.3	29.0		5	71.2	29.0
	6	76.8	35.6		6	—	—
	7	75.2	32.7		7	74.0	32.0
	8	75.1	29.8		8	75.0	31.3
	9	75.6	28.8		9	76.5	32.6
	10	70.6	26.3		10	71.3	28.4
	11	57.8	19.1		11	50.2	16.1
	12	56.0	15.2		12	58.5	15.9

整体而言,瓜达尔港6—9月相对湿度值较高,6—7月水汽压值较高。其中,7—8月为季风季节,即季风季节及其前后相对湿度和水汽压值较高。

根据图4中瓜达尔港相对湿度和水汽压日变化曲线可知,相对湿度最大值出现在08:00,为78.6%;谷值出现在14:00,为54.8%。即清晨相对湿度较大,午间相对湿度值较小。水汽压曲线呈现

“W”形分布特征,峰值出现在00:00时为25.6 hPa,出现在09:00、10:00时为25.0 hPa,出现在22:00、23:00时为25.7 hPa。水汽压谷值出现在07:00时为24.5 hPa,出现在13:00、14:00时为24.0 hPa。即水汽压值在夜间较大,白天较小。

### 2.4 风向风速

瓜达尔港2018年10 min平均风速年均值为 $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大风速年均值为 $5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。瞬时风

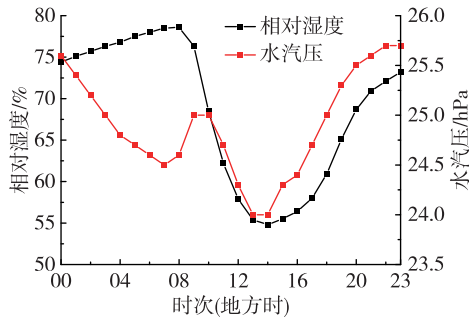


图4 2018—2019年瓜达尔港相对湿度和水汽压平均日变化

Fig.4 Diurnal variation of relative humidity and water vapor pressure at Gwadar Port from 2018 to 2019

速年均为  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 极大风速年均为  $8.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 2019年10 min 平均风速年均为  $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最大风速年均为  $5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。瞬时风速年均为  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 极大风速年均为  $9.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2018—2019年10 min 平均风速年均为  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最大风速年均为  $5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。瞬时风速年均为  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 极大风速年均为  $8.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

#### 2.4.1 月风速

根据表3可知, 2018年10 min 平均风速最大值出现在5月, 为  $3.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值出现在12月, 为  $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。最大风速最大值出现在4月, 为  $6.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 最小值出现在1月和12月, 均为  $4.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。瞬时风速最大值出现在4月和5月, 均为  $3.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值出现在12月和1月, 均为  $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。极大风速的最大值出现在4月, 为  $11.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值是  $6.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 出现在1月。

2019年10 min 平均风速最大值出现在4月, 为  $3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值出现在11月和12月, 为  $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。最大风速最大值出现在4月, 为  $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值出现在12月, 为  $4.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。瞬时风速最大值出现在4月, 为  $3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值出现在12月, 为  $1.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。极大风速的最大值出现在4月, 为  $11.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最小值是  $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 出现在12月。

综上, 10 min 平均风速、最大风速、瞬时风速和极大风速值整体偏小, 年变化不大, 可能与自动气象站建于瓜达尔港港区围墙内, 围墙的遮挡对风速的削弱有一定作用有关。一年中风速最大值均出现在4月和5月, 最小值均出现在1月和12月。即瓜达尔港平均风速春季偏大; 夏、秋季次之; 冬季偏小。

表3 2018年和2019年瓜达尔港风速月变化情况

Table 3 Monthly variation of wind speed at Gwadar Port in 2018 and 2019  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

年份	月份	10 min 平均风速	最大风速	瞬时风速	极大风速
2018	1	1.9	4.4	1.7	6.8
	2	2.0	4.9	1.9	7.8
	3	2.8	6.4	2.8	10.2
	4	3.0	6.7	3.1	11.1
	5	3.1	6.6	3.1	10.8
	6	2.7	6.0	2.7	9.9
	7	2.8	5.2	2.8	8.8
	8	2.7	5.1	2.5	8.9
	9	2.2	4.9	2.1	8.7
	10	2.0	5.1	2.0	8.0
	11	1.9	5.2	2.4	8.2
	12	1.8	4.4	1.7	7.1
2019	1	2.3	5.0	2.3	8.3
	2	2.5	5.1	2.3	8.5
	3	2.7	5.7	2.6	9.3
	4	3.3	7.0	3.3	11.6
	5	2.7	6.1	2.7	10.3
	6	—	—	—	—
	7	2.7	5.1	2.6	8.9
	8	2.5	5.2	2.4	8.8
	9	2.3	5.8	2.2	9.7
	10	2.2	5.4	2.2	9.0
	11	2.0	4.7	2.0	7.2
	12	2.0	4.4	1.9	7.0

#### 2.4.2 日风速

根据图5可知, 冬季, 10 min 平均风速在17:00和19:00达到最大值, 最大风速在19:00达到最大值, 瞬时风速在18:00达到最大, 极大风速在19:00达到最大。10 min 平均风速在09:00为最小值, 最大风速在05:00—09:00为最小值, 瞬时风速在04:00—06:00和09:00为最小值, 极大风速在09:00为最小值。

春季, 10 min 平均风速和最大风速分别在17:00和18:00达到最大, 瞬时风速在20:00达到最大, 极大风速在18:00达到最大。10 min 平均风速在07:00和08:00为最小值, 最大风速在07:00为最小值, 瞬时风速在08:00为最小值, 极大风速在07:00为最小值。

夏季, 10 min 平均风速、最大风速、瞬时风速均在17:00达到最大, 极大风速在18:00达到最大。

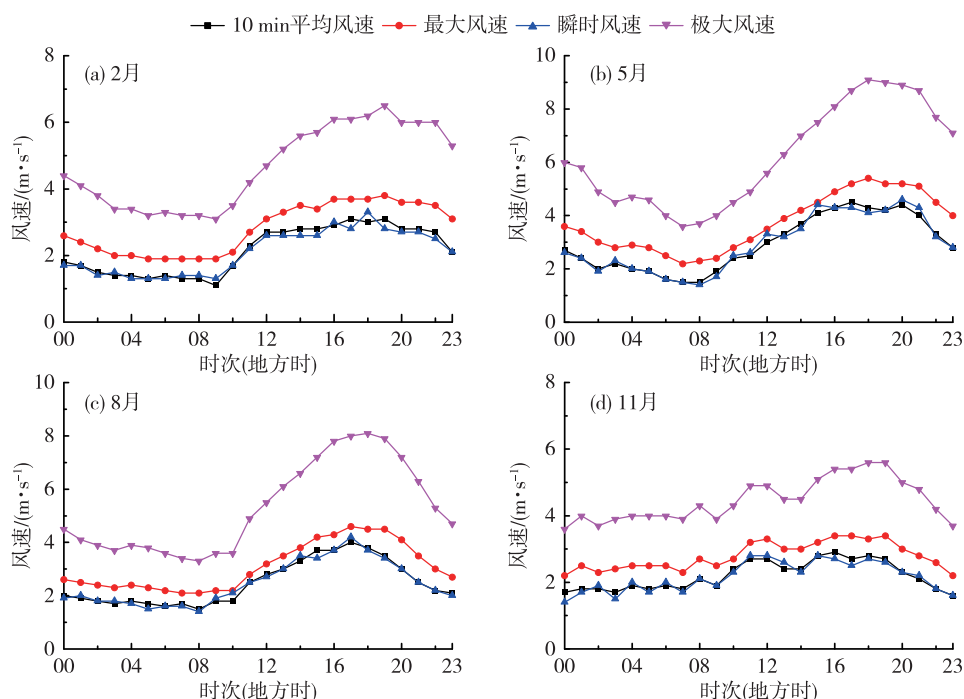


图5 瓜达尔港风速不同季节日变化(a. 2月代表冬季,b. 5月代表春季,c. 8月代表夏季,d. 11月代表秋季)

Fig.5 Diurnal variation of wind speed at Gwadar Port in different seasons (a. February represents winter, b. May represents spring, c. August represents summer, d. November represents autumn)

10 min 平均风速、瞬时风速、极大风速均在 08:00 出现最小值,最大风速在 07:00 和 08:00 为最小值。

秋季,10 min 平均风速在 16:00 达到最大,最大风速在 16:00、17:00、19:00 达到最大,瞬时风速在 11:00、12:00 和 15:00 达到最大,极大风速在 18:00、19:00 达到最大。10 min 平均风速在 23:00 为最小值,最大风速在 23:00 和 00:00 为最小值,瞬时风速和极大风速在 00:00 为最小值。

综上,10 min 平均风速、最大风速、瞬时风速和极大风速在各季白天风速大于夜晚风速。

#### 2.4.3 风向

在港口风能资源开发过程中,风向频率是十分重要的因素。风向稳定,或者有一至两个主导风向,将有利于风能资源的捕捉和转换。瓜达尔港临近阿拉伯海,日风向变化为白天吹海风,夜晚吹陆风,海风风力一般强于陆风,海风风速也大于陆风。为分析不同季节风向的变化,本文将风向分为 16 个方位,统计每个方位不同等级风出现的频率,分别以 2、5、8、11 月作为冬、春、夏、秋季的代表月,绘制瓜达尔港各季 10 min 平均风速风向玫瑰图(图 6)<sup>[10]</sup>。

由图 6 可知,瓜达尔港的 10 min 平均风速风向明显具有季节性变化。冬、春季以东北和东北东风为主,夏季主要是东北风和北风,秋季除东北东

向风外,还包括西南西向风。瓜达尔港在各季盛行风向会有所差异,但主要盛行东—北向风和西—南向风。这可能源于瓜达尔港处于向赤道低压带移动的东北信风路径上,东北信风与来自南半球的东南信风在赤道附近合并,东北信风减弱,东南信风穿过赤道,被科里奥利力偏转,变成西南风在印度洋上空发生风型和方向上的完全反转。

#### 2.4.4 风力等级频率

以蒲氏风力等级表为标准<sup>[10]</sup>,统计了瓜达尔港 2018—2019 年各季节风力等级频率分布情况,见表 4。

表 4 瓜达尔港 2018—2019 年不同季节风力等级频率分布  
Table 4 Frequency distribution of wind scale at Gwadar Port in different seasons from 2018 to 2019

风力等级	风速范围/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	风力等级频率/%				
		2月	5月	8月	11月	全年
0	0~0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.3~1.5	0.25	0.02	0.05	0.23	0.16
2	1.6~3.3	0.67	0.69	0.87	0.71	0.70
3	3.4~5.4	0.08	0.27	0.08	0.06	0.13
4	5.5~7.9	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
5	8.0~10.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\geq 6$	$\geq 10.8$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注:2月代表冬季,5月代表春季,8月代表夏季,11月代表秋季。

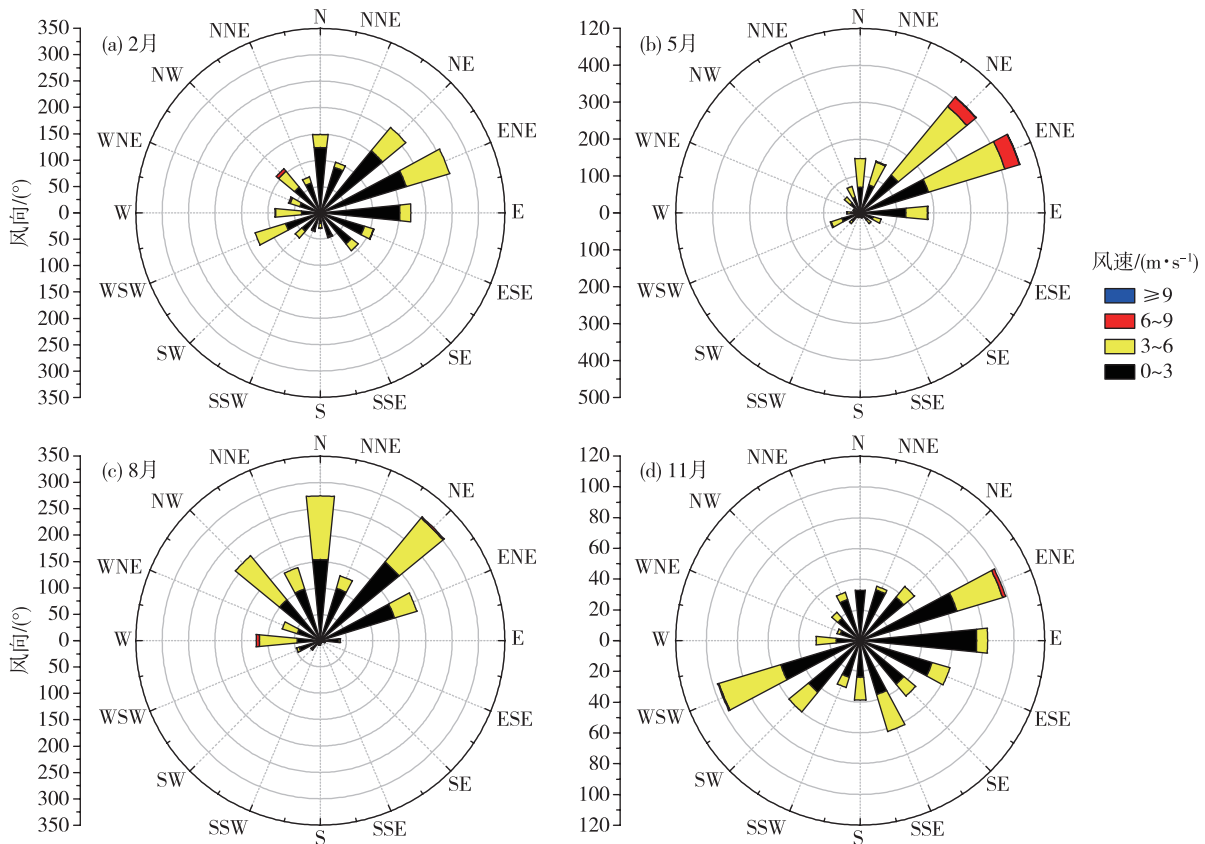


图6 不同季节 10 min 平均风速风向(a. 2月代表冬季,b. 5月代表春季,c. 8月代表夏季,d. 11月代表秋季)  
 Fig.6 Ten-min mean wind speed and direction in different seasons (a. February represents winter, b. May represents spring, c. August represents summer, d. November represents autumn)

冬季,出现频率最高的是2级风,其次是1级风以及3级风,6级及以上大风频率为0。春季,出现频率最高的是2级风,其次是3级风,1级风和4级风次之,6级及以上大风频率为0。夏季,出现频率最高的是2级风,其次是3级、1级风,6级及以上大风频率为0。秋季,出现频率最高的是2级风,其次是1级风和3级风,6级及以上大风频率为0。从全年来看,出现频率最高的是2级风,其次是1级风和3级风,4级风次之,6级及以上大风频率为0。

综上,瓜达尔港以2级风为主,其次是1级风和3级风,4级风次之,6级以上大风出现频率为0。与 ZHENG et al.<sup>[8]</sup> 得出的瓜达尔港6级及以上大风频率常年在1.5%以内,出现频率最高的为3级风,其次是4级风和2级风的结论有所差异,本研究所得结论整体偏小。可能是因为自动气象站建于瓜达尔港港区围墙内,围墙的遮挡对于风速有削弱作用,对风频等级也造成了一定的影响。

### 3 结论

本文基于克拉玛依-瓜达尔友好城市气象站2018年1月1日至2019年12月31日逐日及逐小时气温、气压、降水、相对湿度、水汽压、风向风速等观测资料,对瓜达尔港的气象要素特征进行了初步分析。基于以上论述,可得出瓜达尔港2018—2019年气象要素有如下特征:

1) 瓜达尔港处于北回归线附近,受副热带高压控制,属热带沙漠气候,年平均气温较高。其年平均气温达到26.9℃,一年中最热月为5—7月,最冷月为1月,极端高温达42.7℃,极端低温为11.9℃。由于瓜达尔港邻近阿拉伯海,受到海洋的影响,气温变化较为平缓,气温年较差与气温日较差均较小,分别为12.5℃和6.5℃。

2) 瓜达尔港年平均气压值为1 009.1 hPa。气压值最大月为12月和1月,此后开始下降至7月,7月之后气压开始回升。瓜达尔港的气压分布在夏季和冬季表现出明显的对比,夏季气压值较低,而



冬季气压值较高。

3) 瓜达尔港邻近阿拉伯海,其年相对湿度和水汽压分别为 67.3% 和 24.3 hPa,且相对湿度和水汽压值具有明显的季节变化规律,其中季风季节,即雨季及其前后值较大,旱季较小。瓜达尔港处于北回归线附近,受副热带高压控制,呈现出热带沙漠气候的干旱少雨特征,降水年季之间分布不均,变化较大。2018 年年降水量为 0.3 mm,集中于冬季;2019 年年降水量为 67.6 mm,主要集中于秋冬两季。

4) 瓜达尔港年平均风速为  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。白天风速大于夜晚风速,四季中春季平均风速偏大,夏季、秋季次之,冬季偏小。瓜达尔港除盛行东北风外,还包括西南风,四季和全年出现频率最高的是 2 级风,其次是 1 级风和 3 级风,6 级以上大风出现频率为 0。

#### 参考文献:

- [1] 郑崇伟,黎鑫,陈璇,等.经略 21 世纪海上丝路:海洋资源、相关国家开发状况[J].海洋开发与管理,2016,33(3):3-8.
- [2] 郑崇伟,孙威,黎鑫,等.经略 21 世纪海上丝路:重要航线、节点及港口特征[J].海洋开发与管理,2016,33(1):4-13.
- [3] 黑耀光,刘文萍.打破马六甲困局,为海上丝绸之路提供安全保障的两个港口:瓜达尔港、皇京港[J].地理教学,2017(11):53-55.
- [4] 杨航.试析瓜达尔港开发对“一带一路”战略的影响[J].发展研究,2015(9):19-23.
- [5] 王维国,王莉萍,孙敏,等.“一带一路”建设气象服务能力分析[J].海洋气象学报,2017,37(4):19-24.
- [6] 李田,董元元,李方明,等.气象服务保障“一带一路”建设的总体布局与对策建议[J].吉林农业,2018(10):102.
- [7] ZHENG C W, LI C Y, WU H L, et al. Climatic trend and prediction of the wind energy in the Gwadar Port [M]//21st Century Maritime Silk Road: Construction of remote islands and reefs.2019.
- [8] ZHENG C W, LI C Y, WU H L, et al. Wind energy resource assessment in the Gwadar Port [M]//21st Century Maritime Silk Road: Construction of remote islands and reefs. 2019.
- [9] 郑崇伟,高悦,陈璇.巴基斯坦瓜达尔港风能资源的历史变化趋势及预测[J].北京大学学报(自然科学版),2017,53(4):617-626.
- [10] 郑崇伟,李崇银,杨艳,等.巴基斯坦瓜达尔港的风能资源评估[J].厦门大学学报(自然科学版),2016,55(2):210-215.
- [11] 朱玉洁,周彦均.“一带一路”话气象[J].知识就是力量,2018(3):30-31.
- [12] 刘月玲,王震.区域自动站在气象服务中的重要作用[J].新农业,2020(5):77.
- [13] 孙楠,倪永强,王瑾,等.擘画中国方案 彰显气象担当[N].中国气象报,2018-01-04(2).
- [14] 周成龙,杨兴华,霍文,等.塔克拉玛干沙漠腹地降水特征[J].中国沙漠,2017,37(2):343-348.
- [15] 周成龙,杨兴华,钟昕洁,等.塔克拉玛干沙漠腹地沙尘天气特征[J].干旱区研究,2017,34(2):324-329.
- [16] KHAN F K. Pakistan: Environment, people and economy [M].4th ed.Oxford:Oxford University Press,2015.