

# 1949—2020 年影响青岛的热带气旋气候特征

马 艳<sup>1,2,3</sup>, 郭丽娜<sup>2</sup>, 郝 燕<sup>2</sup>

(1. 青岛市气象灾害防御工程技术研究中心, 山东 青岛 266003; 2. 青岛市气象局, 山东 青岛 266003; 3. 山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南 250031)

**摘要:** 利用 1949—2020 年中国台风年鉴和热带气旋资料, 结合青岛地面气象观测记录, 从热带气旋频数、周期、强度以及给青岛地区带来的降水等方面分析了影响青岛的热带气旋气候特征。分析表明: 1) 1949—2020 年影响青岛的热带气旋个数整体呈现为减少的特点, 热带气旋个数多呈现出了 2a~4a 的显著变化周期。2) 登陆转向和登陆北上类路径占 8 类影响青岛的热带气旋路径的 47.9%, 7 月份影响青岛的热带气旋以登陆北上类型为主, 9 月份的以登陆转向类型为主。3) 影响青岛的热带气旋强度整体呈现为减弱的特点, 年代际变化特征明显; 气旋北上开始影响青岛期间的热带气旋强度变化不明显。4) 不同路径热带气旋带给青岛地区强降水具有空间差异性, 登陆北上类热带气旋带给青岛地区最强的日降水量和过程降水量, 近海转向类和远海影响类带来降水较小。

**关键词:** 热带气旋; 青岛; 气候特征

**中图分类号:** P466 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3096(2022)1-0044-12

**DOI:** 10.11759/hyqx20210121001

在全球气候正经历着一场以变暖为主要特征的变化过程中<sup>[1-2]</sup>, 热带气旋潜在破坏力、超强台风比例有明显增强和增多的趋势<sup>[3-4]</sup>, 沿海和近海地区受到台风活动影响所带来的损失呈现为上升的趋势<sup>[5]</sup>。热带气旋活动的季节、频数及登陆时的强度等气候特征的变化引起了科学家及社会各界的普遍关注。世界气象组织(WMO)的热带气旋国际研讨会(IWTC)认为温室气体的增加将使全球热带气旋的频数减少 6%~34%, 但强台风的比例将增大<sup>[6]</sup>。

我国毗邻西北太平洋, 自南向北、从春到夏均有热带气旋登陆影响我国沿海地区<sup>[7-8]</sup>。亚太台风委员会(ESCAP/WMO)认为西北太平洋热带气旋和台风的年频数有所减少, 登陆中国大陆的热带气旋频数呈减少趋势, 登陆中国的热带气旋的平均强度没有明显的变化趋势, 但登陆热带气旋的最大强度呈减弱的趋势<sup>[9]</sup>。雷小途等<sup>[10]</sup>指出影响和登陆中国的热带气旋频数呈弱的减少趋势、但达到台风等级的登陆气旋频数变化不明显或有所增加。应明等<sup>[11]</sup>指出我国影响东北地区的热带气旋频发的年份显著减少, 其他区域的影响频数及其分布均未有显著的变化; 热带气旋活动频次在南海西北部、广东省一带和山东半岛一带显著减少。台风降水最大值在台湾岛的中东部地区和海南岛的个别地区, 最小值在内蒙古、

山西、陕西、四川的部分地区<sup>[12]</sup>。

登陆中国的热带气旋向北移动可越过 50°N 地区, 约有 2.1% 的热带气旋北上登陆山东地区<sup>[13]</sup>。对于北上台风, 中纬转向、高纬转向和直接北上路径是造成北方强烈降水和大风的主要路径<sup>[14]</sup>, 登陆北上类的台风在北方产生暴雨的概率可达 100%<sup>[15]</sup>。金荣花等<sup>[16]</sup>、王秀萍等<sup>[17]</sup>以及周小珊等<sup>[18]</sup>针对不同时段的气象台站观测资料开展了北上热带气旋月际、年际和年代际气候变化特征分析, 反映出了北上热带气旋影响的时间和空间差异性特征。针对影响山东地区的热带气旋气候特征, 丛春华等<sup>[19]</sup>指出登陆山东地区的台风主要分布在鲁东南和山东半岛南部沿海地区, 其所带来的暴雨区主要集中出现在鲁东南、山东半岛南部和东部地区。高晓梅等<sup>[20]</sup>指出 1949—2015 年间影响山东台风以沿海北上类最多, 登陆填塞类最少; 存在显著的 26a 年代际尺度和 5a 年际尺度的周期变化。以上文献所开展的热带气旋气候特

收稿日期: 2021-01-21; 修回日期: 2021-06-15

基金项目: 青岛沿海地区大风预报预警技术研究与应用(2019qdxz01) [Foundation: Research and application of forecasting and warning technology for gale in Qingdao coastal area, No. 2019qdxz01]

作者简介: 马艳(1970—), 女, 宁夏银川人, 研究员, 主要从事天气预报技术研究, E-mail: qdyanma@163.com; 郭丽娜(1980—), 女, 通信作者, 工程师, 研究方向: 气候与气候变化, E-mail: yinlingr@126.com

征多是面向影响我国的热带气旋, 由于我国幅员辽阔, 热带气旋影响的区域差异性又非常大, 具有全国范围的总体特征与分区特征差异。青岛地处山东半岛东南部, 三面濒海, 也是台风北上影响的地区之一。近年来对影响青岛的热带气旋的研究增多了, 但是多集中在热带气旋影响的天气过程个例分析上<sup>[21-22]</sup>, 对其进行全面系统的气候分析研究工作还很少。再者, 受统计资料时段的限制, 以上文献的研究结论的适用范围也是有限的。本文利用1949—2020年的热带气旋资料对72a来影响青岛的热带气旋的频数、路径、强度以及造成的降水进行统计分析, 研究影响青岛的热带气旋活动规律及气候特征, 以期能对影响青岛的热带气旋预报和服务、海上活动和安全生产提供支撑。

## 1 资料与方法

利用中国气象局整编的《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》<sup>[23]</sup>, 结合青岛地面观测资料, 从1949—2020年共72a的台风过程中选取对青岛造成影响的热带气旋作为研究对象。选取标准如下: 该气旋影响青岛出现了5个观测站以上的降水且在5mm以上, 或者引起青岛5个测站以上出现平均风力6级及以上或阵风8级。表1为影响青岛的76个热带气旋信息。热带气旋等级采用《热带气旋等级》(GB/T19201—2006)进行等级划分<sup>[24]</sup>。其中, 影响青岛的热带气旋强度定义为热带气旋从源地生成到取消编号期间的最强级别; 影响青岛期间热带气旋级别则是定义为热带气旋北上后, 开始给青岛地区造成降水和大风天气期间的最强级别。

表1 76个影响青岛的热带气旋信息

Tab. 1 Information of 76 tropical cyclones affecting Qingdao

序号	编号	名称	台风生命史期间		影响青岛地区和近海期间				
			台风中心最低气压/hPa	台风中心最大风速/(m·s <sup>-1</sup> )	台风中心最低气压/hPa	最大风速/(m·s <sup>-1</sup> )	过程平均降水量/mm	过程最大降水量/mm	日最大降水量/mm
1	4906	Gloria	960	50	978	37.2	(-)	(-)	(-)
2	4908	Irma	980	30	(-)	25.0	(-)	(-)	(-)
3	5010	(一)	983	30	992	12.0	(-)	(-)	(-)
4	5116	Marge	886	90	946	17.0	(-)	(-)	(-)
5	5207	Gilda	985	30	994	19.0	(-)	(-)	(-)
6	5213	Karen	955	50	975	11.0	(-)	(-)	(-)
7	5216	Mary	983	35	984	14.0	(-)	(-)	(-)
8	5310	Nina	895	90	986	17.0	(-)	(-)	(-)
9	5411	(一)	994	25	994	20.0	(-)	52.0	(-)
10	5417	June	901	85	956	13.0	(-)	(-)	(-)
11	5507	Clara	918	75	985	16.0	(-)	180.6	135.0
12	5521	(一)	990	25	995	17.0	(-)	(-)	(-)
13	5612	Wanda	905	90	951	25.0	(-)	56.1	28.1
14	5622	Dinah	970	45	985	20.3	(-)	269.7	269.7
15	5710	Agnes	906	80	944	13.0	(-)	104.1	72.4
16	5901	毕莉	968	45	990	12.0	66.1	103.9	99.5
17	5904	琼恩	885	100	982	12.0	149.3	264.0	199.4
18	5905	鲁依丝	964	60	994	20.0	100.0	120.9	78.2
19	6005	宝莉	950	70	980	18.0	39.0	68.9	34.3
20	6007	雪莉	910	70	992	16.0	17.1	28.1	14.4
21	6014	卡门	975	40	980	18.0	(-)	(-)	(-)
22	6126	蒂达	935	60	988	18.0	4.4	13.5	13.5
23	6205	凯特	967	40	992	22.0	37.5	75.3	41.2
24	6207	娜拉	968	40	975	18.0	14.1	26.7	20.9
25	6208	欧珀	900	75	988	20.0	48.1	64.2	60.6
26	6214	艾美	935	65	982	34.0	39.4	56.0	54.3
27	6306	温迪	924	70	993	24.0	64.0	178.7	73.9

续表

序号	编号	名称	台风生命史期间		影响青岛地区和近海期间				
			台风中心 最低气压/hPa	台风中心最大 风速/(m·s <sup>-1</sup> )	台风中心最低 气压/hPa	最大风速/ (m·s <sup>-1</sup> )	过程平均 降雨量/mm	过程最大 降雨量/mm	日最大 降雨量/mm
28	6408	芙劳西	980	40	980	14.0	41.9	85.6	85.6
29	6510	哈莉	977	45	995	20.0	104.6	165.6	113.0
30	6513	玛丽	940	75	992	28.0	8.6	17.6	9.3
31	6612	温妮	973	35	994	12.0	0.1	0.2	0.2
32	6615	寇拉	918	65	978	28.0	6.6	11.2	11.2
33	6705	黛特	976	35	989	18.0	40.9	72.8	54.9
34	6911	艾尔西	888	85	1002	17.0	46.9	59.0	44.2
35	7003	(一)	992	20	996	13.0	23.4	37.0	37.0
36	7008	毕莉	945	55	949	14.0	143.3	189.7	150.7
37	7123	贝丝	905	65	995	21.0	65.0	104.5	91.2
38	7203	莉泰	911	65	970	25.0	41.3	52.3	31.1
39	7303	毕莉	917	65	965	24.0	50.5	93.6	74.0
40	7308	艾瑞丝	972	40	980	13.0	17.7	49.5	49.2
41	7416	(一)	980	30	980	27.0	7.5	25.5	13.4
42	7504	婀拉	970	40	992	10.7	195.0	308.6	208.6
43	7708	宝佩	906	70	930	27.0	11.6	24.4	19.0
44	7909	欧文	955	40	970	22.0	0.2	0.7	0.7
45	8114	艾妮丝	949	45	955	28.0	4.7	10.3	9.1
46	8211	西仕	917	60	980	27.0	3.7	11.3	11.3
47	8406	艾德	947	55	989	17.0	44.8	87.1	63.3
48	8411	裘恩	980	30	990	21.0	41.1	73.5	44.2
49	8509	玛美	980	35	981	25.7	317.1	430.8	159.2
50	8707	亚力士	970	35	992	17.0	3.6	5.6	4.2
51	8923	薇拉	980	30	998	14.3	4.0	7.1	6.5
52	9005	欧菲莉	965	40	995	11.0	42.1	84.0	68.0
53	9015	埃布尔	955	45	985	13.3	17.9	24.7	20.2
54	9112	葛拉丝	975	30	985	10.0	19.5	41.0	25.9
55	9216	宝莉	975	35	978	24.0	118.5	146.7	133.5
56	9219	泰德	975	35	985	16.0	2.8	9.6	9.6
57	9406	Tim	935	55	992	12.4	1.4	2.5	2.3
58	9414	道格	935	50	985	10.6	73.7	120.0	86.7
59	9415	爱丽	960	40	985	15.1	26.9	39.0	38.1
60	9711	温妮	920	60	980	16.0	242.3	481.8	303.5
61	0108	桃芝	965	40	993	14.7	186.8	232.6	219.1
62	0209	风神	925	55	1002	11.3	40.6	41.2	26.7
63	0509	麦莎	950	45	995	28.5	89.6	138.4	120.3
64	0515	卡努	945	50	995	23.4	69.8	106.7	83.4
65	0713	韦帕	935	55	950	28.2	175.8	245.6	203.7
66	0807	海鸥	975	33	985	18.6	99.7	182.3	92.9
67	0808	凤凰	955	45	995	17.5	19.4	63.9	54.1
68	1105	米雷	975	30	975	21.8	33.6	55.5	52.8
69	1109	梅花	915	65	970	25.8	19.4	26.8	25.8
70	1210	达维	960	40	988	31.9	74.8	136.6	136.6

续表

序号	编号	名称	台风生命史期间		影响青岛地区和近海期间				
			台风中心最低气压/hPa	台风中心最大风速/(m·s <sup>-1</sup> )	台风中心最低气压/hPa	最大风速/(m·s <sup>-1</sup> )	过程平均降雨量/mm	过程最大降雨量/mm	日最大降雨量/mm
71	1410	麦德姆	955	42	992	31.4	188.9	306.6	240.8
72	1810	安比	980	28	990	29.7	54.7	114.2	114.2
73	1814	摩羯	980	28	992	27.1	20.0	44.3	44.3
74	1818	温比亚	982	25	990	29.3	64.7	127.8	127.8
75	1909	利奇马	915	62	970	38.0	84.9	142.5	136.7
76	2008	巴威	950	45	950	15.7	66.3	185.7	177.6

## 2 结果分析

### 2.1 热带气旋频数特征

1949—2020年期间共有76个热带气旋影响青岛,平均每年有1.06个,其中1962年4个,为热带气旋影响最多的年份,无热带气旋影响的年份有23年,占研究年份的30.3%;1949—1973年是热带气旋影响青岛的高频期,25年中有40个热带气旋影响青岛,年平均达到了1.6个,尤其是1959—1963年,有12个热带气旋影响,年平均2.4个,其后开始明显减少,即使在20世纪90年代前期热带气旋的影响存在略

有增多的现象(图1a)。1995年以来热带气旋影响仍然较少,1995—2020年共26年只有17个热带气旋影响,年平均0.7个,明显少于平均值。总的来看,20世纪50、60年代到70年代前期热带气旋影响频繁,80年代和本世纪的热带气旋影响明显减少;1949—2020年影响青岛的热带气旋个数整体呈现为减少的特点,台风个数的3年滑动平均序列也反映出了减少的变化特征(图1)。热带气旋个数的线性减小速率为1.643个/10a。但是由于影响青岛的热带气旋气旋在72a间只有76个,个数比较少,其变化趋势并没有通过显著性检验。

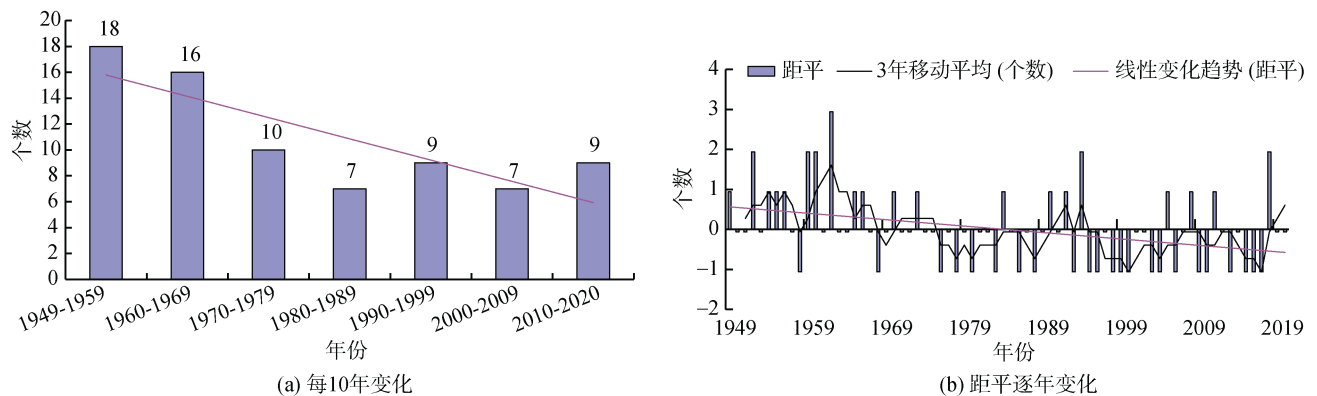


图1 1949—2020年影响青岛的热带气旋个数序列

Fig. 1 Time series of tropical cyclone numbers affecting Qingdao in 1949—2020

采用 Morlet 小波功率谱分析和交叉小波分析方法,分析影响青岛的热带气旋个数的周期变化。由图2可知,影响青岛地区的热带气旋个数在1949年至20世纪70年代初、20世纪80年代至20世纪末,以及本世纪初至今有显著的2~4 a周期。由于边界影响问题,20世纪50年代前期和本世纪近5年两个时段的周期需要另外确定。

热带气旋影响青岛的时间最早出现在6月,最晚出现在10月。8月最多,占影响青岛总热带气旋

数量的45.1%,10月最少,仅出现1次。1949年以来分别有6007号“雪莉”、8509号“玛美”、0108号“桃芝”和1909号“利奇马”4个热带气旋在青岛登陆。登陆青岛的四个热带气旋均出现在8月份,其中8月上旬占登陆总数的75%。登陆山东的热带气旋主要集中在7月中旬至8月下旬,其中7月下旬最多,占总数的40%;最早登陆山东的热带气旋出现在6月下旬,最晚登陆出现在9月中旬<sup>[25]</sup>。



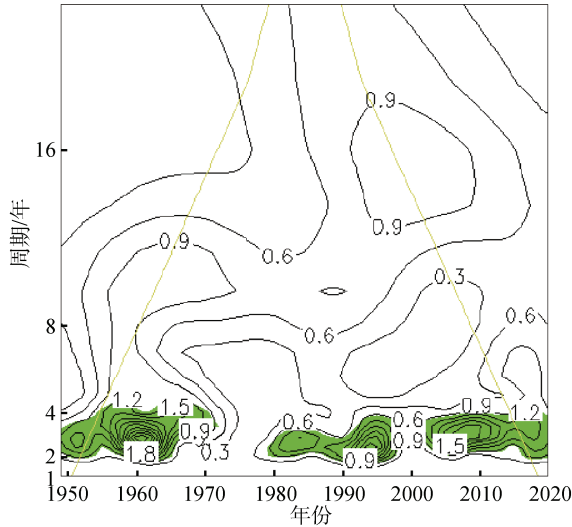


图 2 影响青岛的热带气旋小波功率谱分析

Fig. 2 Morlet wavelet power spectrum analysis for tropical cyclones affecting Qingdao

注: 阴影部分为通过 95%红噪音信度检验; 黄色细弧线以下区域为小波头部影响区

## 2.2 热带气旋路径特征

基于山东地区热带气旋路径分类的研究成果<sup>[19]</sup>, 本文也将将影响青岛的热带气旋路径依据其运动轨迹划分为登陆转向、登陆北上、高纬西进、黄海西折、近海转向、近海北上、登陆填塞和远海影响 8 类, 如图 3 所示。这 8 类热带气旋路径通道定义如下:

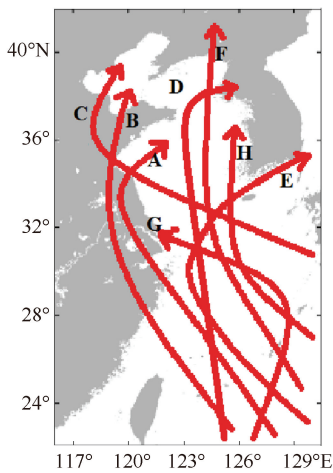


图 3 影响青岛的热带气旋 8 类路径示意图

Fig. 3 Diagram for the eight tracks of the tropical cyclone affecting Qingdao

(1) 登陆转向类: 源地多集中在菲律宾以东洋面, 向西北方向移动, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 25°N)和(128°E, 10°N), 与 24 h 警戒线

的交点为(127°E, 27°N)和(122°E, 19°N), 在厦门与上海之间登陆, 之后在 30°N 以南转向东北方向移动, 经江苏省入海, 在成山头以南继续东北行, 通道最南至朝鲜半岛南端。

(2) 登陆北上类: 源地多集中在菲律宾以东洋面, 向西北方向移动, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 24°N)和(130°E, 13°N), 与 24 h 警戒线的交点为(127°E, 26°N)和(122°E, 19°N), 通道略窄于登陆转向类, 在厦门与上海之间登陆, 之后北上并多在 33°N 以北转向东北方向移动, 穿过山东省在成山头以北继续东北行, 通道最南至三八线附近。

(3) 高纬西进类: 大多数此类气旋源地明显偏北, 在较高纬度向西北行进, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 31°N)和(132°E, 15°N), 与 24 h 警戒线的交点为(127°E, 34°N)和(127°E, 22°N), 在大连以西和连云港以北继续向西北方向移动。

(4) 黄海西折类: 源地多集中在菲律宾以东洋面, 向西北方向移动, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 19°N)和(130°E, 13°N), 与 24 h 警戒线的交点为(127°E, 22°N)和(124°E, 20°N), 通道较偏南且较窄, 向西可登陆台湾, 之后向北在 121°E 到 125°E 之间北上至黄海后转向西北移动, 其路径通道在青岛与大连之间。

(5) 近海转向类: 源地多集中在菲律宾以东洋面, 向西北方向移动, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 22°N)和(132°E, 15°N), 与 24 h 警戒线的交点为(127°E, 30°N)和(127°E, 22°N), 在 124°E 以东和 127°E 以西北上并在 30°N 以南转向东北方向移动, 其东北行通道位于三八线与济州岛之间。

(6) 近海北上类: 与近海转向类相似, 源地多集中在菲律宾以东洋面, 向西北方向移动, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 30°N)和(132°E, 15°N), 与 24 h 警戒线的交点为(127°E, 33°N)和(127°E, 23°N), 比近海转向类明显偏北, 在 122°E 以东和 125°E 以西北上, 其北上通道位于沈阳和平壤之间。

(7) 登陆填塞类: 源地偏东, 向西北方向移动, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 22°N)和(130°E, 13°N), 多在温州到上海一带登陆, 之后向西或西北移动并逐渐填塞消失, 其西行通道位于郑州到长沙之间。

(8) 远海影响类: 北上的路径偏东, 其通道与台风 48 h 警戒线的交点为(132°E, 28°N)和(132°E,

18°N), 明显偏北, 多在 125°E 以东和 130°E 以西的通道中北上, 之后向东北移动, 并通常在首尔以东沿朝鲜半岛北上。

对青岛造成影响的热带气旋中, 以登陆转向和登陆北上的热带气旋最多, 共占 47.9%。登陆北上类的 56% 出现在 7 月, 38% 出现在 8 月; 登陆转向类的 61% 出现在 9 月, 其他月份出现较少; 高纬西进类的热带气旋全部出现在 7—8 月; 近海北上类的 80% 出现在 8 月; 近海转向类的 86% 出现在 8 月。登陆青岛的 4 个热带气旋中, 6007 号为登陆转向类, 8509、0108 和 1909 号热带气旋均为登陆北上类。概括来讲, 7 月影响青岛的热带气旋以登陆北上类型为主, 9 月影响青岛的热带气旋以登陆转向类型为主, 8 月份各类型热带气旋都有可能出现, 但以登陆北上、近海转

向和高纬西进类居多。

### 2.3 热带气旋强度特征

1949—2020 年期间影响青岛的热带气旋共有 30 个 (41.5%) 达到超强台风级别, 13 个 (13.5%) 为强台风级别, 19 个 (26.6%) 是台风级别 (图 4 和表 2)。影响青岛的热带气旋多集中在台风以上级别, 其中登陆北上类、登陆转向类、登陆填塞类、远海影响类和黄海西折类 5 类路径的热带气旋强度有 60% 以上集中在强台风以上级别。热带低压和热带风暴无论什么路径都较难影响到青岛。登陆青岛的 4 个热带气旋中, 登陆时为热带风暴级的分别是 6007 号和 1909 号台风, 8509 台风是以强热带风暴级别登陆的, 0108 号台风登陆青岛时已减弱为热带低压。

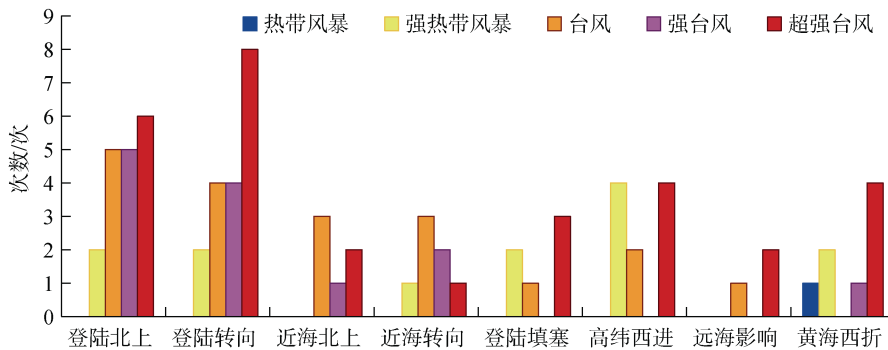


图 4 8 类路径热带气各强度出现频数

Fig. 4 Frequency of intensity for eight tropical cyclone tracks

表 2 8 类热带气旋各级强度百分比 (%)

Tab. 2 Percentage of intensity for eight tropical cyclones (%)

分类	级别					
	1	2	3	4	5	6
	热带 低压	热带 风暴	强热带 风暴	台风	强台风	超强 台风
登陆北上	0.0	0.0	11.1	27.8	27.8	33.3
登陆转向	0.0	0.0	11.1	22.2	22.2	44.4
近海北上	0.0	0.0	0.0	50.0	16.7	33.3
近海转向	0.0	0.0	14.3	42.9	28.6	14.3
登陆填塞	0.0	0.0	33.3	16.7	0.0	50.0
高纬西进	0.0	0.0	40.0	20.0	0.0	40.0
远海影响	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	66.7
黄海西折	0.0	12.5	25.0	0.0	12.5	50.0
平均	0.0	1.6	16.9	26.6	13.5	41.5

图 5 统计分析了 1949—2020 年影响青岛和影响青岛期间的热带气旋级别的逐年变化特征。其中

图 5a 反映了 76 个热带气旋从台风源地生成后到北上影响青岛期间的最强级别, 而图 5b 则是反映了这 76 个热带气旋北上后, 开始给青岛地区造成降水和大风天气期间的最强级别。由于在一些年份有多个热带气旋影响到青岛, 本文只是统计了其中的最强级别。在台风源地生成后北上影响青岛的热带气旋强度整体呈现为减弱的趋势, 平均每 10 a 会降低 0.117 个级别 (图 5a); 其年代际变化特征明显, 表现为在 20 世纪 50 年代、90 年代和本世纪 00 年代影响青岛的热带气旋强度是增强的趋势, 在 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代和 21 世纪 10 年代影响青岛的热带气旋强度是减弱的特征 (图略)。由图 5b 可知, 在影响青岛期间, 热带气旋的平均强度在 3 级左右, 较图 5a 的平均 5 级的热带气旋强度有一个非常明显的减弱。这应和热带气旋北上过程中, 与中纬度相互作用以及下垫面拖曳和降温作用等, 热带气旋的强度通常会有所减弱有关。青岛

市处于暖温带半湿润区和北亚热带湿润区过渡带,在近 72 a 期间,热带气旋北上影响青岛期间的强度减弱的年际变化趋势并不明显(图 5b),但其年

代际特征表现为热带气旋在 20 世纪 80 年代和本世纪 10 年代是减弱的趋势,其余年代均为增强的变化特点(图略)。

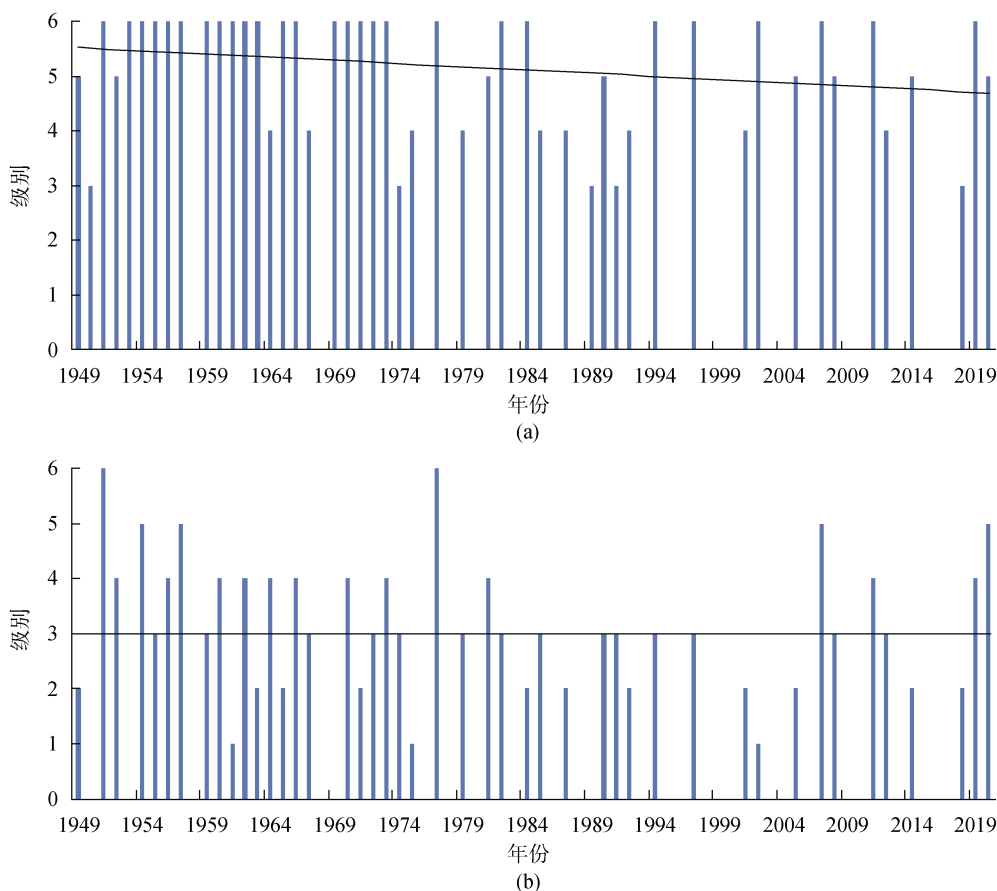


图 5 1949—2020 年影响青岛的热带气旋最强级别(a)和影响青岛期间的热带气旋最强级别(b)  
Fig. 5 Strongest level of tropical cyclones affecting Qingdao (a) and affecting the Qingdao period (b)  
注: 图中实线为线性变化趋势线

## 2.4 热带气旋降水特征

基于降水资料的完整性,本文统计了 1961—2020 年共 52 次热带气旋影响青岛地区的单站最大过程降水量。最大过程降水量变化很大,单站最大过程降水量最多达到 481.8 mm,最少仅有 5.6 mm。其中登陆北上类带来的单站最大过程降水量较大,平均值达到 182.5 mm,近海转向类带来的单站最大过程降水量较小,平均仅有 18.5 mm(图 6)。8 类路径热带气旋带来的单站最大过程降水量分级统计表明,青岛地区的单站最大过程降水量有 60% 达到暴雨以上量级,其中,登陆北上类、登陆转向类、近海北上类、高纬西进类、黄海西折类这 5 类热带气旋带给青岛地区的单站最大过程降水量有一半以上超过暴雨量级。带来降水最强的是登陆北上类,单站最大过程降

水量有 92.9% 集中在暴雨以上量级,大暴雨以上量级占 71.4%;近海转向类和远海影响类带来降水较小,单站最大过程降水量都在大雨量级以下。

就日降水量分析,如表 3 所示,登陆北上类的气旋对青岛全市及青岛市区都影响最大,其次是登陆转向类、登陆填塞类,近海转向类和远海影响类的影响较小。登陆北上类个例中,平均每个过程全市有 6.7 个日降水量大于 50 mm 的记录,其中大于 100 mm 的有 3.1 个;登陆转向类个例中,平均每个过程全市有 1.6 个日降水量大于 50 mm 的记录,其中大于 100 mm 的有 0.5 个。登陆北上类的热带气旋造成的日降水量相比其他路径类别影响尤为显著。就过程降水量分析,同样是登陆北上类的气旋对青岛全市及青岛市区影响最大,其次是登陆填塞类、登陆转向类。

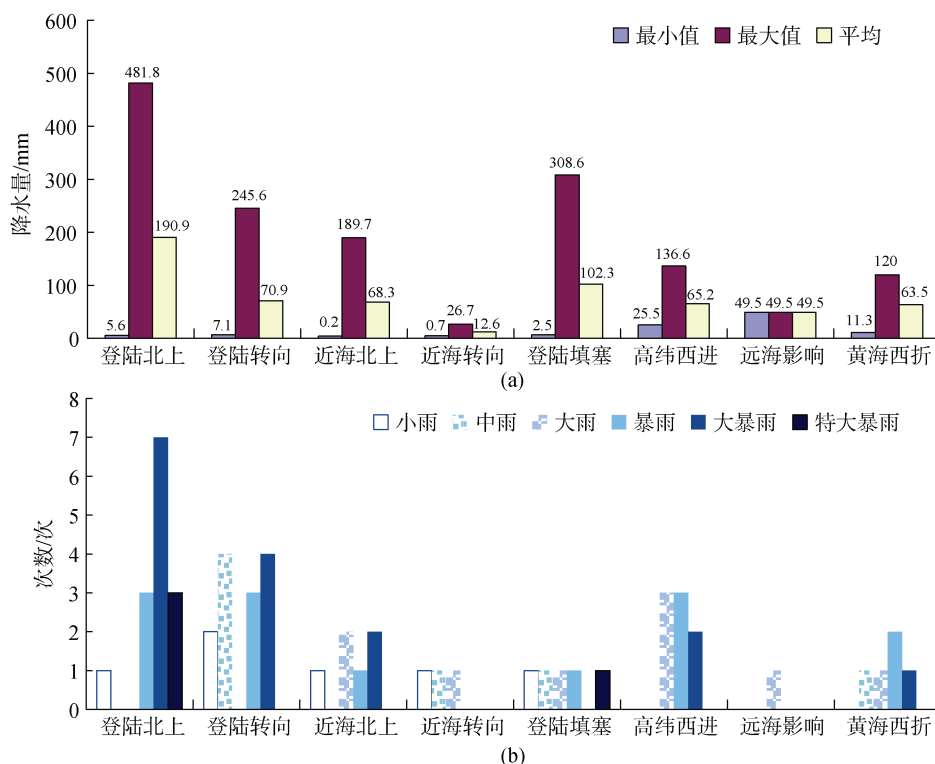


图 6 青岛单站最大过程降水量及分级

Fig. 6 Maximum precipitation for a process at a single weather station and its level in Qingdao

表 3 8 类热带气旋路径对应的降水量最大值和全市平均值(mm)

Tab. 3 Maximum and average precipitation for eight tropical cyclone tracks (mm)

路径类别	最大的日降水量			最大的过程降水量		平均过程降水量	
	全市平均	各站	青岛站	全市平均	青岛站	全市	青岛站
登陆北上	167.6	303.5	219.1	317.1	266.4	118.4	108.0
登陆转向	145.1	203.7	164.0	175.8	211.1	44.8	57.0
登陆填塞	103.9	208.6	91.5	195.0	156.1	62.3	62.1
近海北上	77.6	150.7	67.6	143.3	139.0	46.3	41.9
高纬西进	74.8	136.6	67.0	74.8	72.8	38.5	35.0
黄海西折	56.1	86.7	39.3	73.7	46.1	37.0	26.9
近海转向	7.9	20.9	20.9	14.1	21.8	4.9	7.3
远海影响	5.6	20.5	3.2	9.2	4.4	17.7	4.4

青岛市辖管 7 个市辖区(市南、市北、李沧、崂山、黄岛、城阳、即墨), 代管 3 个县级市(胶州、平度、莱西)。其中市区(市南、市北、李沧)、崂山区、黄岛区位于南部沿海地区, 城阳区、即墨区和胶州市位于青岛市中部平原丘陵地区, 平度市和莱西市则是处在北部内陆地区。青岛市自西北到东南方向, 海洋性气候特点愈加明显。分析各站平均过程降水量(图略), 登陆北上类的热带气旋造成青岛地区过程降水量最大的是在即墨、黄岛、胶州, 其次依次是崂山、莱西、青岛、平度, 且各站过程降水量都大于

100 mm; 当登陆转向类的热带气旋影响时, 降水量最大的是青岛、黄岛; 当登陆填塞类的热带气旋影响时, 最大的则是崂山、即墨; 而近海北上类的热带气旋造成的过程降水量最大的是即墨。另外, 高纬西进类对黄岛影响较大, 而黄海西折类对莱西平度影响较大。总之, 有热带气旋影响青岛地区时, 即墨、黄岛、崂山、青岛等沿海地区相对其他内陆地区, 过程降水量更大, 日降水量也更大。

图 7 分析了 4 个登陆青岛的热带气旋对国家基本气象站青岛、崂山、胶南、即墨、胶州、平度和



莱西站的平均降水量分布,在胶南站最大,达到了181.9 mm,其次是平度、即墨、胶州、崂山和青岛站,在莱西站最小。从地理位置来看,青岛、崂山和胶南位于南部沿海地区,易受台风倒槽和低压环流影响;处于北部内陆地区的平度和莱西以及中部的即墨和胶州则更易受到台风倒槽和西风槽的共同影响。对于台风低压环流系统,青岛站所处的主城区近地面层主导风向通常为东风或东北风,胶南位于其下风向和迎风面;而对于有冷空气侵入影响的西风槽系统,近地面层主导风向通常为南风或西南风,即墨则位于主城区的下风向和迎风面。研究表明<sup>[26-28]</sup>,随着城市化进程加快,强降水向山前迎风区,主城区及城区下风侧集中;城市下风方的降水远大于上风方的降水;城市热岛的影响是影响降水分布不均的主要原因。在考虑天气系统和地形的影响之外,这可能是登陆台风带来的降水在胶南和即墨站较大,在青岛站相对较小的原因之一。当然,城市化对台风降水的影响机制还需要进一步探究。

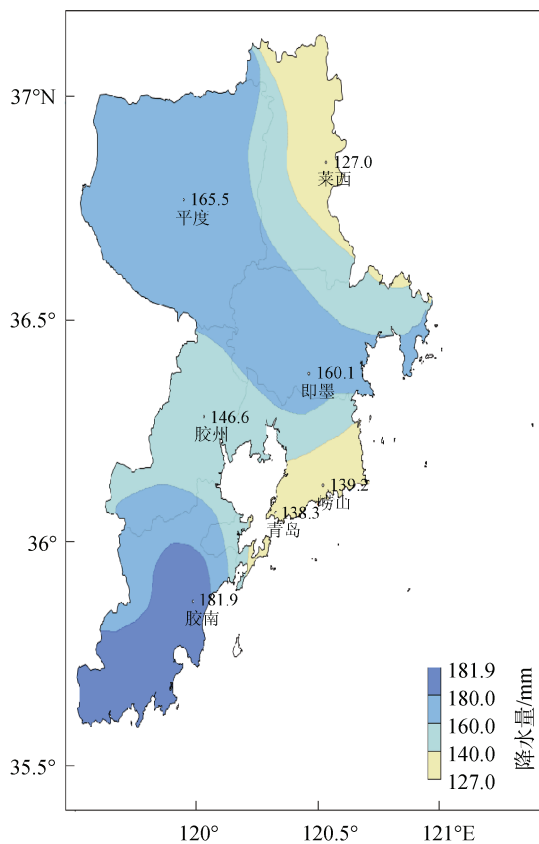


图7 4个登陆热带气旋影响下青岛7个国家基本气象站平均降水量(mm)  
Fig. 7 Average rainfall at seven national basic weather stations at Qingdao during four landing typhoons (mm)

### 3 结论和讨论

1) 1949—2020年共有76个热带气旋影响青岛,且影响青岛的热带气旋频数和强度均呈减少特点;频数减小速率为1.764个/10a,热带气旋强度级别平均每10a会降低0.117个级别。热带气旋个数在1949年至20世纪70年代初、20世纪80年代至上世纪末,以及本世纪初至今有显著的2~4a周期。

2) 影响青岛的热带气旋最多出现在8月,占影响青岛热带气旋总数的45.1%;登陆转向和登陆北上类路径占影响青岛热带气旋8类路径的47.9%,7月影响青岛的热带气旋以登陆北上类型为主,8月份以登陆北上、近海转向和高纬西进类居多,9月影响青岛的热带气旋以登陆转向类型为主。

3) 1949—2020年影响青岛的热带气旋81.6%集中在台风以上级别,其中登陆北上类、登陆转向类、登陆填塞类、远海影响类和黄海西折类5类路径的热带气旋强度有60%以上集中在强台风以上级别。热带低压和热带风暴无论什么路径都较难影响到青岛。影响青岛的热带气旋强度有减小趋势,但气旋北上直接影响青岛时的强度变化不明显。

4) 1949—2020年登陆北上类、登陆转向类、近海北上类、高纬西进类、黄海西折类热带气旋带给青岛地区的单站最大过程降水量50%以上为暴雨量级,且以登陆北上类带来降水最强。登陆北上类的热带气旋造成的青岛地区过程降水量最大的是在即墨、黄岛、胶州,其次依次是在崂山、莱西、青岛、平度。

在全球气候变暖的背景下,再叠加区域城市化的影响,北上热带气旋影响的气候特征对空间尺度的变化会有一定程度的依赖性;再者,因不同来源或不同时段热带气旋监测手段、定强技术指标的不同会造成统计结论存在一定的差异。虽然本文从热带气旋频数、路径、周期、强度以及降水量等方面分析了1949—2020年影响青岛的热带气旋气候特征,能够为热带气旋的预报服务提供有益的帮助,但是所获得的结论在时间和空间上也是具有一定的局限性。

#### 参考文献:

[1] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.  
DING Yihui, DAI Xiaosu. Temperature variation in China during last 100 years[J]. Meteorological Monthly,

- 1994, 20(12): 19-26.
- [2] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近 45 年气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271.  
CHEN Longxun, ZHU Wenqin, WANG Wen, et al. Studies on climate change in China in recent 45 years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1998, 56(3): 257-271.
- [3] EMANUEL K A. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. Nature, 2005, 436: 686-688.
- [4] WEBSTER P J, HOLLAND G J, CURRY J A, et al. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment[J]. Science, 2005, 309: 1844-1846.
- [5] ZHANG Q, WU L, LIU Q. Tropical cyclone damages in China: 1983-2006[J]. Bull. Ameri. Meteor. Soc., 2005, 90(4): 489-495.
- [6] KNUTSON T, MCBRIDE J, BRUYERE C, et al. TC activity on climate time scales, IWTC-VII, <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/tmr/otherfileformats/IWTCVII-documentation.html>.
- [7] 炎利军, 黄先香, 于玉斌, 等. 近 58 年西北太平洋热带气旋频数的气候变化特征[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S2): 62-64.  
YAN Lijun, HUANG Xianxiang, YU Yubin, et al. Climate change on tropical cyclones frequencies in Northwest Pacific in recent 58 years[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2007, 28(S2): 62-64.
- [8] 李力, 江静, 周洋. 全球变暖背景下西北太平洋热带气旋活动的气候特征[J]. 南京大学学报(自然科学)2012, 48(2): 228-235.  
LI Li, JIANG Jing, ZHOU Yang. Climatic characteristics of tropical cyclones activities in the western North Pacific under the global warming[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 2012, 48(2): 228-235.
- [9] LEE T C, LEE W J, NAKAZAWA T, et al. Assessment reports on impacts of climate change on tropical cyclone frequency and intensity in the Typhoon Committee region[R]. ESCAP/WMO Typhoon Committee, 2001, TC/TD-No.0001.
- [10] 雷小途, 徐明, 任福民. 全球变暖对台风活动影响的研究进展[J]. 气象学报, 2009, 67(5): 679-688.  
LEI Xiaotu, XU Ming, REN Fumin. A review on the impacts of global warming on tropical cyclones activities[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2009, 67(5): 679-688.
- [11] 应明, 杨玉华, 陈葆德, 等. 近 50 年影响中国热带气旋的气候变化特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(9): 1352-1364.  
YING Ming, YANG Yuhua, CHEN BAODE, et al. Climatic variation of tropical cyclones affecting China during the past 50 years[J]. Sci China Earth Sci, 2011, 41(9): 1352-1364.
- [12] 王咏梅, 任福民, 李维京, 等. 中国台风降水的气候特征[J]. 热带气象学报, 2008, 24(3): 233-238.  
WANG Yongmei, REN Fumin, LI Weijing, et al. Climatic characteristics of typhoon precipitation over China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(3): 233-238.
- [13] 李英, 陈联寿, 张胜军. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20(1): 14-23.  
LI Ying, CHEN Lianshou, ZHANG Shengjun. Statistical characteristics of tropical cyclone making landfalls on China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2004, 20(1): 14-23.
- [14] 高松影, 赵婷婷, 宋丽丽, 等. 1949-2015 年北上热带气旋特征[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 313-323.  
GAO Songying, ZHAO Tingting, SONG Lili, et al. Study of Northward Moving Tropical Cyclones in 1949-2015[J]. Meteorological Science and Technology, 2017, 45(2): 313-323.
- [15] 顾润源, 李昌义, 张少林, 等. 影响我国北方不同路径热带气旋平均环流特征及暴雨落区[J]. 山东气象, 1999, 19(3): 14-17.  
GU Runyuan, LI Changyi, ZHANG Shaolin, et al. Average circulation patterns and rainstorm fields of the various tracks tropical cyclones influenced North China[J]. Journal of ShanDong Meteorology, 1999, 19(3): 14-17.
- [16] 金荣花, 高拴柱, 顾华, 等. 近 31 年登陆北上台风特征及其成因分析[J]. 气象, 2006, 32(7): 33-39.  
JIN Ronghua, GAO Shuanzhu, GU Hua, et al. An analysis on characteristics of landing and going northward typhoons and its causes during 1975-2005[J]. Meteorological Monthly, 2006, 32(7): 33-39.
- [17] 王秀萍, 梁军. 近 52 年北上热带气旋的若干气候特征[J]. 气象, 2006, 32(10): 76-80.  
WANG Xiuping, LIANG Jun. Some climatic features of tropical cyclones influencing northern China for recent 52 years[J]. Meteorological Monthly, 2006, 32(10): 76-80.
- [18] 周小珊, 杨阳, 杨森, 等. 北上热带气旋气候特征分析[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(6): 1-5.  
ZHOU Xiaoshan, YANG Yang, YANG Sen, et al. Climatic characteristics of north-going tropical cyclone[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2007, 23(6): 1-5.
- [19] 丛春华, 吴炜, 孙莎莎. 1949—2012 年影响山东地区热带气旋的特征[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(5): 67-73.  
CONG Chunhua, WU Wei, SUN Shasha. Characteristics of tropical cyclones influencing Shandong province

- from 1949 to 2012[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2016, 32(5): 67-73.
- [20] 高晓梅, 江静, 刘畅, 等. 近 67a 影响山东台风频数的变化特征及其与若干气候因子的关系[J]. *气象科学*, 2018, 38(6): 749-758.  
GAO Xiaomei, JIANG Jing, LIU Chang, et al. Frequency variation characteristics of typhoons affecting Shandong in recent 67 years and their relationship with several climate factors[J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2018, 38(6): 749-758.
- [21] 毕玮, 万夫敬, 高山. 2011—2012 年近海北上热带气旋对山东半岛风雨影响的分析[J]. *山东气象*, 2014, 34(1): 1-5.  
BI Wei, WAN Fujing, GAO Shan. Influence of wind and rain caused by Offshore northward tropical cyclone on Shandong peninsula during 2011-2012[J]. *Journal of Shandong Meteorology*, 2014, 34(1): 1-5.
- [22] 郑怡, 杨晓霞, 孙晶. 台风“温比亚”(1818)造成山东极端强降水的成因分析[J]. *海洋气象学报*, 2019, 39(1): 106-115.  
ZHEN Yi, YANG Xiaoxia, SUN Jing. Causal analysis of extremely heavy precipitation in Shandong Province caused by Typhoon RUMBIA (2018)[J]. *Journal of Marine Meteorology*, 2019, 39(1): 106-115.
- [23] 中国气象局. 台风年鉴/热带气旋年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 1949-2019.  
China Meteorological Administration. Tropical cyclone yearbook[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1949-2019.
- [24] 钱传海, 高栓柱, 许映龙, 等. GB/T 19201—2006, 热带气旋等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.  
QIAN Chuanhai, GAO Shuangzhu, XU Yinglong, et al. GB/T 19201—2006 Grade of tropical cyclone[S]. Beijing: China Standard Press, 2006.
- [25] 高晓梅, 江静, 马守强, 等. 影响山东的热带气旋年际和年代际变化[J]. *气象*, 2008, 34(3): 78-85.  
GAO Xiaomei, JIANG Jing, MA Shouqiang, et al. The inter annual and inter decadal variation of tropical cyclone affecting shandong province[J]. *Meteorological Monthly*, 2008, 34(3): 78-85.
- [26] SHERPARD J M, PIERSE H, NEGRIRI A J. Rainfall modification by major urban areas: Observation from spaceborne rain radar on the TRMM satellite[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2002, 41: 689-701.
- [27] 吴风波, 汤剑平. 城市化对 2008 年 8 月 25 日上海一次特大暴雨的影响[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2011, 47(1): 71-81.  
WU Fengbo, TANG Jiangping. The impact of urbanization on a heavy rainfall case in Shanghai on 25 August 2008[J]. *Journal of Nabjing University( Natural Sciences)*, 2011, 47(1): 71-81.
- [28] 李书严, 马京津. 城市化进程对北京地区降水的影响分析[J]. *气象科学*, 2011, 31(4): 414-421.  
LI Shuyan, MA Jingjin. Impact of urbanization on precipitation in Beijing area[J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2011, 31(4): 414-421.

# Climate characteristics of tropical cyclones affecting Qingdao during 1949–2020

MA Yan<sup>1, 2, 3</sup>, GUO Li-na<sup>2</sup>, HAO Yan<sup>2</sup>

(1. Qingdao Engineering Technology Research Center for Meteorological Disaster Prevention, Qingdao 266003, China; 2. Qingdao Meteorological Bureau, Qingdao 266003, China; 3. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China)

**Received:** Jan. 21, 2021

**Key words:** tropical cyclone; qingdao; climate characteristics

**Abstract:** The climate characteristics of tropical cyclones affecting Qingdao during 1949–2020 were analyzed in terms of numbers, period, intensity, and precipitation caused by tropical cyclones. For this analysis, Typhoon Yearbook, tropical cyclone data as well as surface observations in the region of Qingdao were used. The results showed that the tropical cyclone numbers affecting Qingdao tended to decrease and mostly took on the feature of 2a to 4a period. The tracks of the tropical cyclones affecting the area were classified into eight categories, and those changing directions or moving northward after making landfall accounted for 47.9%. The track of making landfall and then moving northward was dominant in July, whereas the track that steered after landfall was mainly dominant in September. The intensity of tropical cyclones affecting Qingdao showed a weakening tendency with a clear decadal feature. During the period in which tropical cyclones affected Qingdao, the variation in tropical cyclone strength was not obvious. There was a clear spatial difference in the heavy precipitation area for various tracks. Tropical cyclones with the track of making landfall and then moving northward caused the strongest daily and process precipitation in the Qingdao region. In contrast, tropical cyclones with offshore steering tracks and tracks at the ocean had less influence on the rainfall.

(本文编辑: 康亦兼)