第18卷第2期
1995年6月

南京气象学院学报
Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol. 18 No. 2
Jun. 1995

山东半岛的海陆风环流及其影响

薛德强　郑全岭　钱喜镇　孟昭翰

（山东省应用气候研究所，济南，250031）

摘要　利用山东半岛32个气象站1987～1991年自记风资料，分析了山东半岛海陆风环流的特征。包括：海陆风的强度和频数、生消时间、水平及垂直伸展距离等。结果表明，白天山东半岛有海风生成时，半岛中部常存在一条辐合线，在夏秋季节常伴随阵雨与雷暴的生成，有时可诱发强对流天气。

关键词　海陆风，环流特征，强对流

分类号　P434

海陆风是由于水面与地面受热（降冷）性质不同而发生在海陆交界处的中尺度大气环流。从本世纪二十年代人们就开始对其进行观测与理论分析，五十年代后开始数值模拟的研究。1974年Pielke研究了佛罗里达海风对当地天气的影响，发现在没有明显的有组织的天气扰动位于佛罗里达南部上空的日子里，云和降雨区的位置主要由海风辐合区决定[1]。国内从七十年代末期开始对海陆风进行观测、研究*，对我国沿海不同地区的海陆风特征及其对天气气候影响已有不少研究[2～7]。山东半岛三面环海，海岸线曲折漫长达3000km，海陆风环流十分明显。但到目前为止，针对山东半岛海陆风的研究尚不多，只有一些局地性的研究[8]。本文就整个山东半岛各地海陆风的特征差异、分布规律及其对天气气候的影响进行了深入分析。

1　山东半岛海陆风环流的特征

由于海陆风常与其他尺度的天气过程相伴出现，因此准确地判断其生消有不少困难，国内外至今对海陆风的判别分析方法尚见不多。本文选择1987年至1991年山东半岛32个测站各月自记风资料，利用作者提出的判别分析方法[9]分析山东半岛海陆风环流的特征。

1.1　山东半岛海陆风日频数

对沿海某地，白天出现海风时，则作为一个海陆风日。表1为半岛南岸海阳、青岛、胶南日照、北岸莱州、龙口、烟台、威海每月海陆风日的多年平均频数。各站海陆风日数以夏季、秋季较多，春季次之，冬季最少。并且半岛北部岸段各站比南部岸段各站频数有所偏多，莱州、龙口、烟台、威海年平均频数分别为78.2、90.6、86.8、82.0日，而海阳、青岛、胶南、日照，分别为74.8、80.6、77.6、79.6日。由于影响海陆风生成的主要因子是海陆表面温差，因此参考半岛沿海海洋测站表层水温资料，用龙口、烟台、青岛、日照多年平均各月14时表面地温减去相应站滨海海面表层水温求得各月海陆温差，发现各地春季海陆温差最大，夏、秋季次之，冬季最小；并且

* 北京大学大气湍流组．锦西沿岸的海风，1979

收稿日期：1994－01－16；改回日期：1994－05－07

各季北岸海陆温差均比南岸大，从而支持了上述的分析结果。值得注意的是，春季山东半岛多大风日，强风引起的温度平流及垂直混合会完全破坏海风生成的条件，故春季海陆风日频数没有夏季多。同时因为海陆风是在天气晴好的弱环流形势下生成，而半岛南北两岸一天中天气形势基本一致，故两岸海陆风的生成日期基本一致。

表 1 山东半岛沿海 8 站各月海陆风日频数

Table 1 Monthly mean sea/land winds from 8 coastal stations of Shandong

站 点	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
烟台	2.6	2.8	6.8	7.8	8.4	10.0	7.6	15.0	9.2	8.2	5.2	3.2
威海	2.6	2.8	6.8	6.8	8.0	10.2	7.6	12.0	9.2	8.2	4.8	3.0
龙口	2.4	4.8	6.8	6.0	7.2	10.8	9.4	14.0	13.2	10.0	3.6	2.4
莱州	2.6	4.0	5.6	6.2	7.0	9.6	8.6	10.0	10.2	9.2	3.0	2.2
海阳	2.0	3.4	6.0	6.4	7.6	9.8	8.4	8.8	9.4	8.4	2.6	2.0
青岛	2.8	3.2	6.8	7.0	8.2	9.6	9.2	10.0	9.6	8.6	3.0	2.6
胶南	2.6	3.0	5.2	6.6	7.6	9.6	8.8	10.2	10.0	8.4	3.0	2.6
日照	3.6	3.0	5.0	6.6	7.6	9.8	9.0	10.4	10.0	8.8	3.2	2.6

1.2 山东半岛海陆风的生消时间

用 1 月、4 月、7 月、10 月分别作为冬季、春季、夏季、秋季的代表月份，在半岛北岸选龙口、烟台，南岸选择海阳、日照，挑出各代表月份中 4 站同为海陆风日的日子，求得月平均情况下一日内半岛 32 测站海陆风场随时间的变化。从中分析各月各站陆风转海风与海风转陆风时间。7 月陆风转海风时间等值线基本上与海岸线平行，成带状分布(图 1a)，半岛北岸陆风转海风时

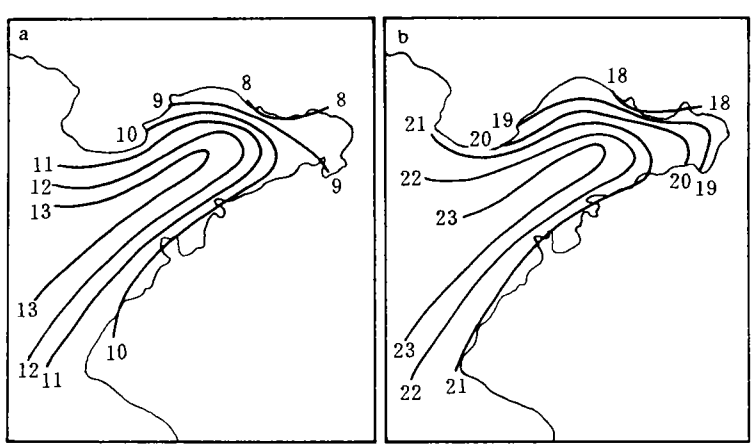

图 1 山东半岛 7 月陆风转海风(a)与海风转陆风(b)时间分布

Fig. 1 Temporal pattern of land to sea wind transition (a) and v. v. (b) in July over the study area

间最早，北岸海边测站比半岛其他地区海边测站提早 1～2h，并随着向内陆伸入，转换时间逐渐推迟，转换早迟可相差 5h 左右。同时半岛东部等值线较密，半岛东南部较稀，这说明半岛东部地区海陆风向内陆扩展较慢，东南部向内陆扩展较快。因为半岛东部愈向内陆海拔高度较高，昆嵛山、艾山、大泽山等几座高山都分布于此，而东南沿海地势相对平坦。同时从图 1b 看到，凡是陆风转海风早的测站，海风转陆风也早，即愈向内陆，海风转陆风的时间愈推迟，转换早迟同样相差 5h 左右。并且海陆风日间转换存在着季节变化，夏季各测站转海风时间较其他

季节早 1h 左右，而海风转陆风时间又较其他季节迟 1h，也即夏季海风持续时间较其他季节长 2h。对于海岸附近测站，夏季海风可持续 10～11h，其他季节则持续 8～9h。

1.3　山东半岛海陆风强度

海陆风的相互交替，使得山东半岛沿海地区一天中海陆风场主要呈现海风型与陆风型二种类型，海陆风强度是指当海陆风发展到最盛时的风速值。从海陆风场日变化资料分析知道，海陆风一般是在海陆温差达到最大值后发展到最盛，由此我们分别用 15 时、03 时半岛地区的风场作为海风型、陆风型的代表以分析其风速风向的分布。图 2 为夏季 7 月份平均的海陆风场分布，一般海风风速从沿海向内陆逐渐减小，沿海风速一般 3.5m·s^{-1}，最大可达 4.5m·s^{-1}，半岛内陆风速可小到 0.5m·s^{-1}。海风风速也存在季节变化，一般夏季、秋季风速最大，春季较小，冬季最小，冬季海岸最大海风风速不到 2.5m·s^{-1}。夏季陆风风速分布规律同海风风速分布相似，沿海地区风速可达 2.5m·s^{-1}，陆风风速也存在季节变化，冬季 1 月份陆风风速较大，海岸线附近最大可达 3.5m·s^{-1}。

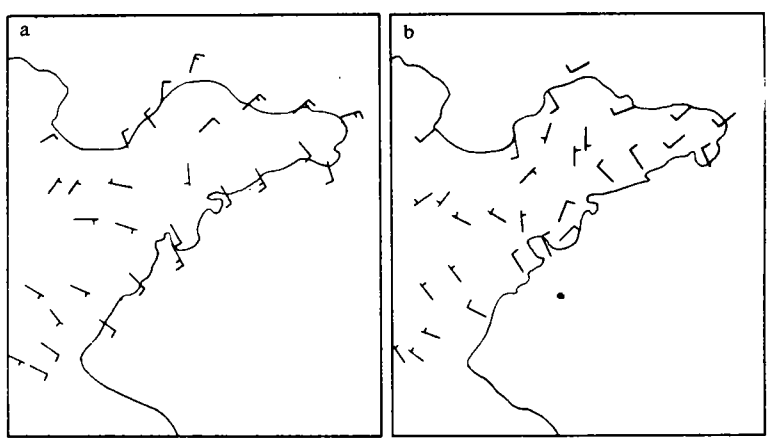

图 2　山东半岛 7 月份海风风场(a)与陆风风场(b)分布

Fig. 2　July Shandong windfield for sea breeze at 1500 BST (a) and the land component at 0300 (b)

同时从海陆风场可见，由于半岛南北两岸海陆风方向的不同，15 时海风盛行时在半岛中部安丘、平度、莱阳一线存在一条辐合线，而 03 时陆风盛行时此处又变为一条辐散线。

1.4　海陆风环流的水平范围

海陆风的日变化规律在沿海最为清晰，其特点是：海陆风风速较大，转换时间很短，且转换界限分明，愈往内陆，海上变化规律愈不清楚。为分析海风向内陆水平扩展情况，在半岛东北部选滨海站龙口、内陆站栖霞(离海岸最近处 55km)，在半岛东南部选日照、莒县、莒南、沂水为滨海站，莒县、莒南、沂水离岸最近处距离分别为 40km、60km、95km。图 3 为各站 7 月份向岸风分量日变化曲线。龙口海陆风最为明显，风速较大，海陆风转换界限分明，栖霞虽存在海陆风的转换，但风速很小。同样，半岛东南部，日照海陆风最明显，莒南、莒县向岸风分量日变化与日照相似，风速逐渐减小，到沂水后向岸风分量基本在零值附近变化，海陆热力差异造成的地面风日变化基本上对它影响不大。由此可知，半岛地区海陆风向内陆伸展距离为 60km 左右。半岛东部，因南北两岸宽度为 120km 左右，故南北两岸海陆风恰好在半岛中部辐合，形成东西向的辐合线。而在半岛东南部沿海，因地形较为平坦，海陆风向内陆伸展距离稍远，但到沂水已基本不明显了。

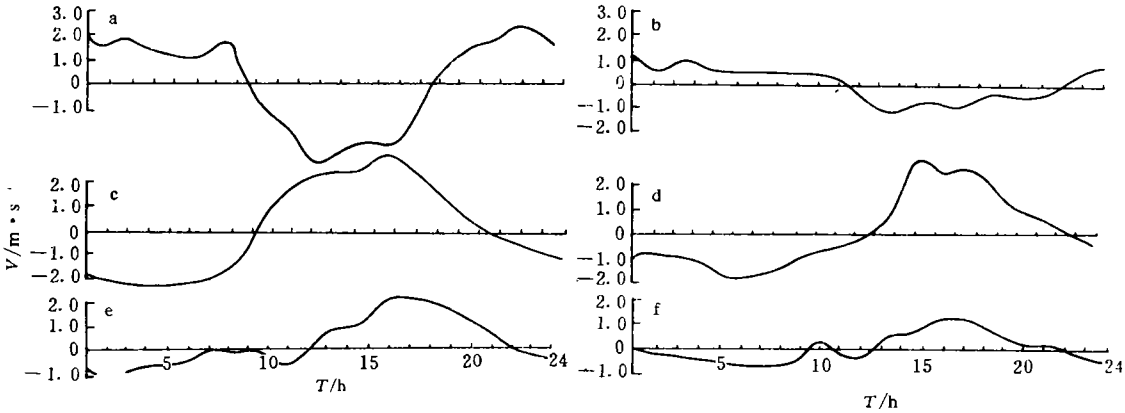

图3 山东半岛的龙口(a)、栖霞(b)、日照(c)、莒南(d)、莒县(e)、沂水(f)7月份海陆风日向岸风分量日变化(注:向岸风分量 u 坐标东南方为正)

Fig. 3 Diurnal variation in landward wind component measured at Longkou (a), Qixia (b), Rizhao (c), Junan (d), Juxian (e) and Yisui (f), with Cartesian coordinates used, positive being u -aix directed SE

1.5 海陆风环流的垂直分布

由于山东半岛只有青岛、成山头二处探空站,探空时间青岛为07:00、13:00、19:00,成山头为07:00、19:00。龙口1987年前虽有小球探空业务,但探测时间也只有早、晚两次,考虑到海陆风的生消规律,统计近5年来青岛海陆风日13:00探空资料,计算各高度的东南(向岸风)、西北(离岸风)分量,当边界层内某一高度出现西北向分量时,即认为这一高度以下出现海风转向。结果发现300m以下出现转向的海风占21%,300～600m之间出现转向的海风占23%,600～900m之间出现转向的海风占4%,另有52%的海风日转向高度不好确定。因为青岛夏季盛行偏南风,相当部分海风日为向岸风加强型,边界层内从下到上风向变化不大。

为分析半岛北岸海风垂直分布特征,课题组于1993年8月19～26日于龙口气象站进行了为期一周的边界层探测,项目为双经纬仪测风,低空探空仪测温。其间有3个典型的海风日,例如8月22日上午天气晴朗少云(表2),从地面风场变化看,海风于10时左右生成,生成后风速迅速增加,比生成前增加2～3m·s^{-1},相对湿度虽处于日变化中的下降期,但从10时到12时却上升了4%,气温从10时到11时停止了上升,气压也略有上升,显示出海风生成的迹象,至中午前后有低云生成。图4为近地层风场的日间变化。从中可见,11时海风发展到400m,14时,从地面到500m左右都被海风所控制,到17时海风风场减弱为250m,20时整个边界层内已转为吹陆风。另外从海风生成后温度廓线的变化可发现(图略),当海风气流从水面吹向陆面的时候,低层空气很快增温,温度层结自下向上转向超绝热状态,形成热内边界层,热内边界层以上空气仍维持水面气层特征,从而在热内边界层顶出现拐点。一般热内边界层厚度与海陆表面温差、风速、离岸距离及下垫面特征等有关,海陆温差越大,风速越小,测点离岸

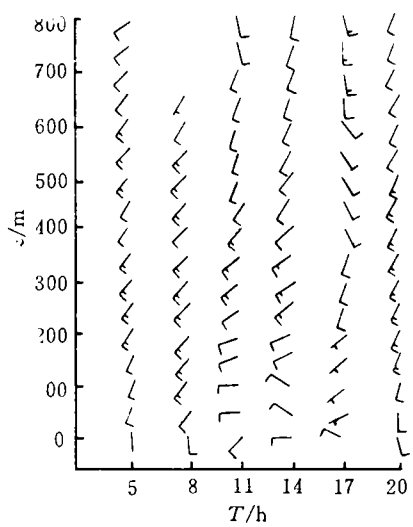

图4 1993年8月22日龙口近地层风场变化

Fig. 4 Variation of Longkou near-surface wind for August 22, 1993

距离越远，热边界层厚度越厚，反之越薄。当天 11 时热内边界层厚度为 150m，14 时因海风来向的变化，测点离岸边距离变近，热内边界层厚度为 100m，17 时海风风速减弱，热边界层厚度又增到 150m 左右。

表 2　1993 年 8 月 22 日龙口地面气象要素日变化

Table 2　Diurnal variations in surface elements obtained on August 22, 1993 at Longkou

时　间	要　素						
	气　压	温　度	湿　度	风　向	风　速	总云量	低云量
05	1015.5	20.9	85	S	2	0	0
06	1015.9	20.5	86	S	2	0	0
07	1016.5	22.1	82	S	2	0	0
08	1016.9	24.1	75	S	4	0	0
09	1017.0	25.7	67	SSW	3	0	0
10	1017.5	27.6	61	WSW	5	0	0
11	1017.4	27.6	64	WSW	4	2	2
12	1017.3	28.0	65	WNW	4	1	1
13	1016.9	29.0	63	W	5	1	1
14	1016.6	29.1	61	W	4	0	0
15	1016.3	29.1	55	W	3	0	0
16	1015.9	29.1	57	W	3	0	0
17	1015.5	29.0	58	NNW	1	0	0
18	1015.3	28.2	60	SE	2	0	0
19	1015.4	26.7	58	SSE	3	1	0
20	1016.0	25.5	60	S	4	0	0
21	1016.1	24.6	59	SSE	4	0	0

另外，探测期间 8 月 21 日测得海风转向最大高度为 750m，8 月 24 日仅为 100m 左右。同时我们也借鉴了部分单位近几年在半岛的边界层探测资料*，发现由于不同地区，不同时间生成的海风环流强弱不同，转向高度也不同，一般都在 600m 以下。

2　山东半岛海陆风对天气气候的影响

海陆风是局地的中尺度环流，对当地的天气会产生重要影响[4]，周钦华[6]指出海陆风对浙江沿海暴雨的生成有重要作用。山东半岛地理环境独特，白天海风生成后，半岛中部地面存在一条横贯东西的辐合线，夜晚盛行陆风时，半岛中部又可分析出一条弱辐散线。选择 7 月份 03 时、15 时半岛的海陆风场分别代表陆风型流场与海风型流场，利用有限元方法分别计算其水平散度场，发现夜里陆风维持阶段，半岛内陆是辐散区，两个辐散中心分别位于莱阳及安丘附近，数值分别为 $4.5\times10^{-5}s^{-1}$，$3.8\times10^{-5}s^{-1}$，莱州湾沿海与半岛南部沿海为弱辐合区，白天转海风时，上述陆风散度场被海风散度场取代，半岛中部地区为辐合区，有 3 个较强的辐合中心，分别位于半岛西部的安丘、中部的平度、东部的文登附近，最大值分别为 $-5.2\times10^{-5}s^{-1}$、$-7.1\times10^{-5}s^{-1}$、$-5.8\times10^{-5}s^{-1}$，而莱州湾沿海及半岛南部沿海为弱辐散区。与海陆风相应，海

* 山东省环保咨询中心．岚山液体石油化工产品码头工程环境影响报告书．1990 年 3 月
北京市环境评价公司秦皇岛经理部．山东烟台水泥厂环境影响报告书．1987 年 3 月
山东省气象局．龙口行星边界层气象考察报告．1980 年 9 月
西北电力设计院．龙口电厂三期工程环境影响评价报告．1987 年 12 月

风型散度场中心强度强，维持时间短；陆风型散度场中心强度弱，维持时间长。另外要说明的是，对于较强的海陆风日，其散度场将更加可观。通常，当海风发展到最盛时，在半岛中部辐合线附近会有对流云出现，间或伴随着阵雨与雷暴发生，但雨量不大，一般在几毫米以下，个别达十几毫米。图 5a 为 1987～1991 年半岛南北两岸当有海风出现时，白天 08～20 时阵雨出现频

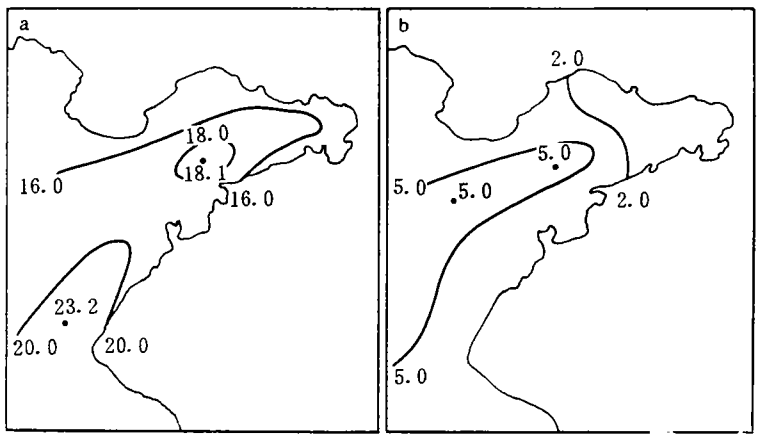

图 5 山东半岛海陆风日阵雨(a)及雷暴(b)频率

Fig. 5 Frequency of showers (a) and thunderstorms (b) during the occurrence of sea-land breezes for the research region

率。可见从沿海向内陆阵雨频率逐渐增大，东南沿海内陆有一大值中心，数值 22%，半岛东部内陆也有一大值中心，为 18%，同样从图 5b 知雷暴生成频率分布规律与阵雨分布相似。因为半岛海风一般在上午 10 时左右生成，随着海风锋面逐渐向内陆移动，其辐合上升区的位置也在向内陆移动。午后海风发展到最强盛时，大气层结不稳定性增强，极易生成对流云而产生阵雨或雷暴天气。从阵雨及雷暴出现的月际变化看，夏季出现频率最大，冬季基本不出现。

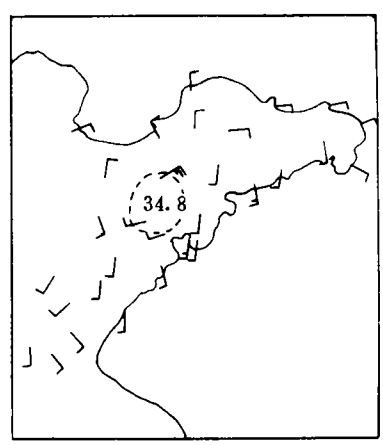

图 6 1991 年 8 月 5 日 15 时山东半岛风场及雨区位置(虚线)

Fig. 6 The windfield and rainband (broken line) at 1500 BST, August 5, 1991

一般情况下，半岛中部的辐合线并不会造成剧烈的天气现象，但当大气层结不稳定具备了强对流天气发展的形势时，在辐合线上常能派生出中小尺度系统，触发不稳定能量的释放，导致强对流天气发生。1991 年 8 月 5 号就是一个典型的例子，该日 08 时 500hPa 及 700hPa 在朝鲜半岛到我国东北有一低压，山东半岛受低压西北冷气流控制，而地面到 850hPa 却存在暖平流，有明显的增温，大气层结极不稳定。上午山东半岛天气晴朗，11 时半岛两岸海风生成，半岛中部安丘、平度、莱阳、文登可分析出一条辐合线。14 时由于海风的充分发展，辐合线得到明显加强。15 时在辐合线上的平度附近有涡旋发展(图 6)，涡旋直径 40km 左右，中心散度值为 $-1.24\times10^{-4}s^{-1}$，导致一次强对流天气。平度 14：50 开始有雷暴并伴随大雨，到 15：40，降水量达 34.8mm。因此在做山东半岛天气预报，尤其是夏季天气预报时，海风对天气的影响应引起重视。

3 结　语

本文分析了山东半岛海陆风环流的特征及对天气气候的影响，结论如下。

山东半岛沿海海陆风日年频数 80 天左右，夏季、秋季较多，冬季最小。7 月份半岛陆风转海风时间 10 时左右，海风转陆风时间 21 时左右。海陆风强度从沿海向内陆减小，夏季沿海海风风速一般 3.5m·s^{-1}，陆风风速 2.5m·s^{-1}，海风向陆伸入距离估计可达 60km 左右，海风垂直转向高度一般在 600m 以下。

山东半岛白天海风生成时，半岛内陆可分析出一条地面辐合线，夏季秋季节常伴随阵雨与雷暴发生。在特定的天气形势下，在辐合线周围，可诱发强对流天气。

参　考　文　献

1　Pielke A. A three dimensional numerical model of the sea breezes over south florida. Mon Wea Rev, 1974, 102(1): 115～139

2　于恩洪，陈　彬，白玉荣．渤海湾西部海陆风的空间结构．气象学报，1987，45(3)：379～387

3　陈丕宏．辽东半岛南部海陆风分析．辽宁师大学报，1988，(3)：64～70

4　翟子航．七月份海南岛海陆风的若干统计特征．空气气象学院学报，1989，10(4)：21～28

5　徐金辉．广东沿海地区海陆风特征及其分布规律．气象科学，1992，12(2)：188～199

6　周钦华．浙江沿海海陆风环流特征研究．杭州大学学报，1987，14(1)：109～119

7　彭怡民．厦门的海陆风．气象，1988，14(9)：

8　王赐震．山东半岛北部沿海海陆风．海洋学报，1988，10(6)：678～686

9　薛德强．龙口的海风．将发表于“海洋湖沼通报”

FEATURES OF SEA-LAND BREEZE CIRCULATION WITH ITS INFLUENCE OVER SHANDONG PENINSULA

Xue Deqiang　Zheng Quanling　Qian Xizhen　Meng Zhaohan

(Shandong Institute of Applied Climatology, 250031, Jinan, PRC)

Abstract　The 1989～1991 autographic records of wind from 32 weather stations in Shandong Peninsula are used to invedtigate the features of sea-land breeze circulation, including the frequency and vigor of the winds, transition intervals of both, horizontal/vertical scales. Evidence shows that with the sea breeze prevailing, a convergent zone occurs in the central Peninsula, often accompanied by showers and thunderstorms that are sometimes responsible for intensely convective weather.

Keywords　sea-land breeze, circulation features, severe convection