

海陆风及其应用

于恩洪等 编著



气象出版社

海陆风及其应用

于恩洪等 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书是作者在多年从事海陆风的观测试验和诊断研究的基础上编著的。全书共分为六章,第一章分析了海陆风的成因及国内外的研究概况;第二、三、四章以大量的历史和试验资料叙述了海陆风的地面、高空天气气候特征及影响海陆风的因素;第五、六章分析了海陆风与天气、空气污染、风暴潮、旅游和军事等的关系,并介绍了沿海地区风能综合利用开发利用的新途径。

本书适用于气象、海洋、农业、环保、旅游、军事等专业技术人员和有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海陆风及其应用/于恩洪等编著. —北京:气象出版社
1997. 5
ISBN 7-5029-2318-7

I. 海… II. 于… III. ①海风-研究②陆风-研究 IV. P
425. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06756 号

海陆风及其应用

于恩洪 马富春 编著
陈 彬 秦 庚

责任编辑:王桂梅 终审:刘树泽、周诗健

封面设计:田春耕 责任技编:席大光 责任校对:邓陈

* * *

气象出版社 出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店总经销

* * *

开本:787×1092 1/32 印张:4.875 字数 109 千字

1997 年 5 月第一版 1997 年 5 月第一次印刷

印数:1—1000 定价:8.00 元

ISBN 7-5029-2318-7/P · 0853

序

随着对对流层天气尺度系统的研究,特别是对暴雨天气的研究,中小天气尺度系统的研究显得越来越重要。我国沿海地区,不仅暴雨多,而且大风、龙卷风、冰雹等强对流天气也较多,而这些天气的发生发展,现在认识到与海陆风有关。同时,我国有很长的海岸线,有好几个省份受海陆风及与其相关联的中小尺度系统的综合影响。20年代后期开始重视这方面的探测与诊断研究。本书作者是这方面的主要研究者。书中有许多特点,我认为主要有如下三个方面。

本书用相当大的篇幅讲述了海陆风的地面和高空的气候特征,所述特征大都是根据我国沿海地区所获得的资料,其中有些资料是作者在渤海湾进行的、规模较大的对海陆风观测及试验所获得的。由于本书取材以“我”为主,对从事我国海陆风的研究、近海天气预报以及海陆风的利用等方面的人员有一定的参考价值。

沿海地区的地理条件较复杂,不仅有海陆风,而且还有山谷风、大城市热岛而产生的城市风等等。这些中小尺度系统又要与天气尺度系统发生较复杂的相互作用。至于它们之间发生怎样的相互作用以及在各大沿海地区又是怎样的不同,这些常成为实际工作者需要深入认识的问题。本书通过在渤海以海陆风为主题的观测试验资料为例,说明了海陆风与城市热岛的相互作用、海陆风与天气系统的叠加过程、海锋和海风急流的发展及其在强对流天气过程的作用等等。这些新事实为日常天气预报分析增加了新的依据。

11-126/10

本书还有很重视海陆风的应用的特点。提出了许多应用的观点。例如海陆风与空气污染分布、海陆风与旅游胜地的开发、海陆风与军事活动等关系,并特别着重讨论沿海地区的风能在排咸改碱中的应用。为了这种应用,提出了空间匹配和时间匹配的观点。经天津地区试验及应用,取得了很大的成功。从这个角度来看,海陆风不仅是沿海地区一种重要大气物理现象,还是一种自然资源。

最后,对于有着漫长海岸线的我国来说,是很需要有关海陆风这方面的专著。该书的出版,填补了这方面的空白,将受到研究工作者和广大实际工作者的重视。

仇永炎

于北京大学

1996年7月

前 言

海陆风及沿海风能利用研究,是根据天津市气象科学研究所于 1983~1984 年,在渤海湾地区进行的五次海陆风试验的基础上,收集和整理了全国近百个气象站的历史资料,对海陆风进行了较全面的研究,系统地揭示了海陆风的气候特征和三度空间的物理特征;分析了海陆风中尺度系统与天气尺度系统的叠加及其与当地雷雨云团等小尺度的关系;依海陆风的水平和垂直分布,从时空上揭示了沿海地区风能所具有的供能高峰与盐碱地改造等的用能高峰是相互匹配的,并介绍了沿海地区风能在排咸改碱应用中的具体方案。为我国沿海地区低风能的开发提出了一条新的途径。

本书是天津市气象科学研究所试验、研究的成果,是由课题组成员合作完成的。仇永炎教授对本书进行了审稿。参加本书部分工作的还有刘月坤、白玉荣、张敏、王彦芬等同志,方维模先生对本书的编著提出了宝贵意见,在此一并致谢。

1996 年 8 月

目 录

序

前言

第一章 海陆风的成因及研究概况	(1)
§ 1 海陆风的成因	(1)
§ 2 海陆风的观测及研究	(8)
§ 3 海陆风研究的目的	(11)
第二章 海陆风的地面气候特征	(15)
§ 1 海陆风的统计	(15)
§ 2 海陆风频率的变化	(18)
§ 3 海陆风风向的变化	(22)
§ 4 海陆风随经纬度的变化	(34)
§ 5 海陆风风速的变化	(35)
第三章 海陆风的高空气候特征	(39)
§ 1 高空风资料及有关规定	(40)
§ 2 海陆风在单站上空的特征	(41)
§ 3 海陆风空间温度场的特征及其变化	(46)
§ 4 海陆风场的空间分布及其变化	(53)
§ 5 海风急流	(60)
第四章 影响海陆风因素的分析	(66)
§ 1 大尺度系统对海陆风的影响	(66)
§ 2 地理因子对海陆风的影响	(79)
§ 3 影响海陆风风向变化因素的分析	(84)
§ 4 城市热岛对海陆风的影响	(86)

§ 5 稳定度和摩擦对海陆风的影响	(90)
第五章 海陆风与天气	(94)
§ 1 沿海地区的中尺度系统	(94)
§ 2 海陆风与平均降水量的分布	(98)
§ 3 海风中尺度系统及其与天气尺度叠加	(107)
§ 4 海陆风与台风登陆	(123)
§ 5 海陆风与沿海地区的大风天气	(124)
第六章 海陆风的应用	(126)
§ 1 海陆风与沿海地区的风能资源	(126)
§ 2 海陆风与大气污染	(131)
§ 3 海陆风与风暴潮	(141)
§ 4 海陆风与旅游	(142)
§ 5 海陆风与军事	(145)
参考文献	(146)

第一章 海陆风的成因及研究概况

§ 1 海陆风的成因

1. 海岸线的特征与海陆风

我国位于世界最大的欧亚大陆东部,面临世界最大的海洋——太平洋,仅就海岸线而论,南北跨越 40 多个纬距,沿岸有黄海、东海、南海和内海渤海,还有山东、辽东和雷州等许多半岛,再加上台湾、海南等 6000 多个近海岛屿,海岸线形态奇特、半岛与海岛之多是世界之最。北起辽宁的鸭绿江口,中间经过河北、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、台湾、海南等省市,到最西边的广西北仑河口止,不包括岛屿的海岸线就有 18000 多 km。无论向水域一侧,还是向陆域一侧,地形、水深及水流速度等都很复杂,海岸线两侧的气温与气流差别则更大。海陆风就是在这样极其复杂的陆域及海域情况下形成的。

我国海岸线的陆域一侧,由长白山山脉的延伸部分及其支脉千山山脉组成的辽东丘陵,海拔高度一般在 400m 以下,其西部的辽河平原海拔高度较低,但也在 50~100m;山东丘陵是山东半岛的主要组成部分,平均海拔高度在 300m 以下;华北平原,地势低而平坦,大部在 50m 以下;仙霞岭和武夷山以东的浙、闽丘陵和南岭以南的两广丘陵,地势较高,山脉起伏,山间峡谷弯曲,但长江下游平原和珠江三角洲平原地势较低。在这样的地势下,我国的海陆风往往与山谷风相叠加;太

行山等近似为南北走向的山脉,在对流层中,偏西风过山后,往往有背风波出现,而背风波环流也与海陆风相叠加;我国沿海地区经济发达,大城市较多,由热岛效应产生的城市风明显,于是海陆风、山谷风、城市风和部分地区的背风波经常叠加在一起。在这些地区,山谷风、城市风和背风波能使海陆风加强或减弱,而海陆风也能使山谷风、城市风和背风波得到加强或减弱,共同制约着一个地区的天气气候变化。

我国海岸线的海域一侧,由于陆与海相连,露出水面的地表面为陆地,被海水淹没的地面为海底,在海边与陆域相连而突入海里的陆地为半岛,从水表面来看,不与大陆相连而孤立存在于海面上的陆域为海岛。海底是陆面的延续,如眼观沿海陆地地势,沉思近海海底地形,其复杂性也就不言而喻了。

海域的地理环境、海岸的走向、形态以及海峡、海湾、海岛或半岛的分布及其面积的大小,直接影响着近海岸流、潮汐、海浪。这些海况不仅影响着沿海温度的变化,而且影响着海面风的变化,由此又影响着海陆风的发生发展。沿海人民群众中广泛流传着“风随潮来,潮大风大”,就是潮汐等与海陆风之间关系的写照。

海陆两种不同的下垫面,产生了海陆温度的差异,由此直接影响着海陆风的形成与发展;陆域和海域地形的不同,又影响着季风和天气尺度系统等的风向和风速,而不同的风向风速,也影响着海陆风的形成与发展。所以,不同的海岸线特征,带来了不同的海陆风特征,决定着海陆风的生成与发展。

2. 海陆风成因分析

海陆风是发生在海陆两侧不同下垫面上的一种局地大气物理现象。就一般情况,入射到地球的太阳能,被地球表面吸收的约43%。地球表面吸收了这些热量后,又以潜热、感热和

辐射的形式通过大气边界层全部返回到大气中去,三者分别返回的比例为 23%、6% 和 14%^[1]。白天太阳放射热量被地球表面吸收而增温,而地球外围大气直接吸收的太阳能很少,它主要是以吸收地球放射出的长波辐射而增温。

地球表面是由两种不同性质的陆地和水面所包围,下垫面性质不同,热容量不一样,地表面升温也不一样,如水的热容量为 $1\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ^①,按重量热容量,沙土和粘粒土为 $0.18 \sim 0.23\text{cal} \cdot (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 。所以,土的热容量仅为水的 $1/5$ ^[2]。同样的热量,使 1g 水升高 1°C ,而 1g 土可升高 5°C 。

水表面增温以后,不仅能在垂直方向进行交换,把热量向深水中传递,还可以在水平方向进行交换,特别是在南北方向上的交换,如海洋中的冷流与暖流;海水为透明液体,光线可以透射到海面以下很深的地方,结果使水温均匀化,于是海面温度升高缓慢。土壤为固体,光线只能透射到十分之几 cm 的深度,完全把热量集中在表面层。地表面也没有水的性能,不能像水那样通过各种方式,将吸收的热量向外输送,只能使地表面增温。

白天,在同一纬度的海岸线上,海陆接受的太阳辐射热是相同的,由于海陆两种下垫面性质的不同,陆面温度升高的快,而海面温度升高的慢,形成海陆温差。

海陆不同下垫面的温度,又直接影响着其上空的气温。据 1976~1985 年的资料,在渤海湾的海陆之间,1 月份的 14 时,陆地平均气温比同时间的海面气温高 2.1°C 。假定海陆间原来的等温面是水平的,由于白天陆地气温高于海面气温,于是等温面在陆地一侧上抬而形成倾斜。随着气温的升高,陆地低层

① $1\text{cal}=4.1868\text{J}$,下同。

的空气就膨胀上升。又假定整个空气柱质量不变,依静力方程:

$$dP = - \rho g dZ$$

式中, dP 为地面气压的变化量; ρ 为空气密度; g 为重力加速度; dZ 为高度变化量。膨胀上升的结果,在某一高度上,气压就会升高,相对于海面的同一高度上,陆上气压高于海上,于是空气由陆地上空流向海面上空。由于空气的流动,陆地单位面积的空气柱质量减少,地表面气压下降,而海面单位面积空气柱质量增加,海表面气压上升,于是在近地面层,空气又从海面流向陆地。人们最早并没有发现这种流动是一种上下相反的运动,而只知道地面层空气是由海面流向陆地,于是以地面空气的流动方向而定,把这种上下相反的环流运动叫做海风。

白天陆地吸收太阳辐射升温比海面快,到夜间放射降温也比海面快,出现陆地温度低于海面;海表面降温以后,不仅通过乱流和对流,得到下层的热量补充,而且在海面上,低层空气中的水汽多于陆地上空,水汽如同被子似的保护着海面热量的辐射,使海面温度不易降低,于是海面温度在夜间又高于陆地。在太阳落入地平线以后,气温是逐渐降低的,在1月份,06~07 时左右达到最低值,此时海陆温差最大,而且随着向内陆的深入,温差越来越大。

在海面上,气温升高,空气膨胀上升,出现与白天相反的现象,与海风环流相似,从某一高度上,空气自海面上空流向陆地,在近地面层,空气又从陆地流向海面,依此叫做陆风。这也是由于人们原先对陆风没有垂直环流运动的概念,以近地面层风的流动而取名的。

在海陆间两种下垫面上的温度变化,是海陆风生成的物理机制。可以说,没有海陆温差的存在,就没有海陆风的生成。

在以后各章中,从对海陆风的分析可以充分看出,也正是由于不同的海岸线,出现了不同的海陆温差,从而决定了各地海陆风的基本特征。

3. 海陆温差与海岸锋及海陆风锋

(1) 海岸锋与海陆风锋:一年四季,海陆温差经常存在。但这种温差出现以后,在不具有非地转中尺度辐合流场的情况下,海陆间的温度急剧变化带是不会移动的,而静止在海岸线附近,对此称为海岸锋;一旦出现非地转中尺度辐合流场,则辐合流场与海陆间温度不连续带(锋区)一起移动。此时向陆地一侧移动的,称为海风锋,向海面一侧移动的,称为陆风锋。所以,海陆风锋必须具有海陆温差和非地转中尺度辐合流场。

依渤海湾西部地区的 56 个海陆风日,并以近海岸线的陆地塘沽与海面灯塔站 14 时气温为准进行统计的结果:海陆风锋的启动温差(即有海陆风日的温差) $\geq 2.0^{\circ}\text{C}$,此种状况有 49 次,占总数的 87.5%,其中发生在 $2.0\sim 4.6^{\circ}\text{C}$ 为 35 次,占总数的 62.5%(见表 1-1)。

表 1-1 海陆风锋生成时的启动温差

温 度($^{\circ}\text{C}$)	≥ 1.0	≥ 2.0	≥ 2.6	≥ 3.6	≥ 4.6	≥ 5.6	≥ 6.6	≥ 7.6
出现次数	7	10	12	4	9	3	5	6
占总数比(%)	12.5	17.9	21.4	7.1	16.1	5.4	8.9	10.7

海陆风锋生成时,除要具有一定的海陆温差,还要有相应的海陆温度梯度,如 7 月份,有海陆风和无海陆风,在 14 时的海陆温差是一样的(见表 1-2),都是 2.5°C ,但在有海陆风的夜间段,其温差是海面高于陆地,即具有从陆地指向海面的温度梯度,而无海陆风时,其 02 时的温差为零,08 时陆地气温高于海面。此时,不仅不具备从陆地指向海面的温度梯度,而

且有着与产生陆风时相反的温度梯度。这种复杂情况的出现都是由于天气尺度系统(背景风场)影响的结果。

表 1-2 海陆温差(负为陆温低于海温)

时 间	02	08	14	20
有海陆风时的平均温度差	-0.6	-0.2	2.5	1.3
无海陆风时的平均温度差	0.0	0.3	2.5	0.9

从温度场与风场相适应的观点来看,有了海陆间的温度差异,而没有中尺度辐合流场,则海陆风不可能产生。但海陆间的温差增大到一定程度时,可以产生中尺度辐合流场。从渤海湾的统计结果来看,随着海陆温差的加大,在海面的东南风增加到 $>4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,而陆地一侧的西南风的风速 $<4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或东北风 $\leq 2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,则海风开始向陆地移动,使海岸锋变成海风锋。当温差减小到一定程度时(一般在 2°C 以下),也可能使原有的中尺度辐合流场减弱以至消失。所以,在海陆风时期,温度场与风场总是处于相互制约的变化过程中。温度的日变化与风的日变化总是相互适应的。

(2) 海陆间的温度梯度与气压梯度力:海陆风的生成是由海陆温差导致气压场变化引起的。同时,从气候统计结果来看,海陆风发生的频率,最高是在海岸线两侧。海陆风的频率从海岸线向陆地或向海面延伸都是逐渐减少的。这种分布也是由于海陆间的温度差异分布不同所造成的。从渤海湾地区7月份的44个海陆风日的统计,其14时的平均气温,由海向陆地是逐渐升高的,温度梯度逐渐减小,到天津市台附近,温度梯度很小,基本上变成了均温区。海陆间最大温度梯度是在海岸线两侧25km左右的范围以内。

同样依据上述 44 个海陆风日,统计海陆各站气压的日变化(见图 1-1)。这里我们以日平均气压减去 14 时的平均气压。显然,这种气压差完全能够反映气压的日变化。由图可知,在 14 时,海面站的气压差为正值,最大为 0.2hPa,而陆地站,气压差都为负值,最低为 -0.5hPa。14 时是气温最高的时间,而气压场也确实存在着由海面指向陆地的变压梯度,使空气受到自海面流向陆地的气压梯度力;08 时的平均气压与日平均气压差,见图 1-2。此时,虽然海面与陆地气压差都为正值,但海面差值比陆地小。显然,变压梯度是由陆地指向海面。从海陆间最大变压差的对比,14 时相差 0.7hPa,而 08 时相差 0.5hPa。这就从变压梯度说明海风应比陆风强。变压梯度的最大值也是在海岸线两侧附近,这与海陆风频率在海岸线两侧附近出现最多也是一致的。

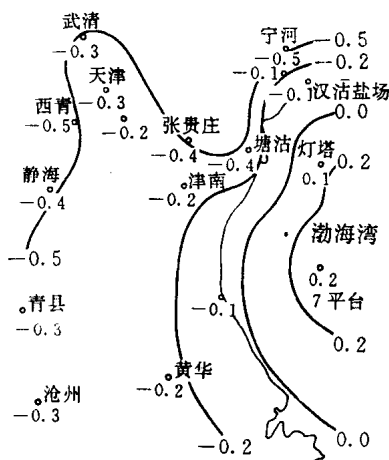


图 1-1 7 月 14 时平均气压差

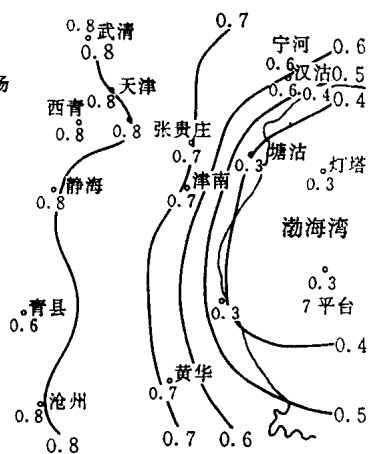


图 1-2 7 月 08 时平均气压差

§ 2 海陆风的观测及研究

1. 国外对海陆风的观测和研究

海陆风作为一门科学,进行观测和分析研究,世界各地都开始的较晚。最初的观测也很少用仪器,后来有些仪器也仅限于地面。1801年 Capper 依观测的结果,提出风随太阳在一日内旋转 360 度的观点^[3],以后许多人对这一现象都从观测实践和理论上予以肯定。尽管当时他并没有提出这种现象的实质,但可以认为他是提出海陆风受科氏力影响的先驱。

进入本世纪后,人们使用高空测风气球进行了大量的探测,得出起因于海陆间温度差异的海陆风,有着穿过海岸两侧垂直面的完整环流;1922年 Jeffreys 把海陆风看成是由海陆温差而引起的气压梯度力同摩擦力平衡的摩擦风,从而奠定了海陆风定量理论研究的基础。在本世纪 50 年代以前,有关海陆风的热力学研究都限制在分析线性化的运动方程中,属于古典的研究,但却由此得到了一些基本的认识。50 年代初开始,计算机的问世意味着运动方程的非线性项可以用数值方法求解,从那时起,海陆风研究进入了一个新的时期。

在第二次世界大战之后的 15 年(1945~1960 年),出现了五篇有关海陆风问题的重要分析文章(Haurwitz, 1947, 1959; Schmidt, 1947; Pierson, 1950; Defant, 1950)。它们全是关于解释温度、摩擦和科里奥利力等因素对海陆风特征影响的问题。1947 年 Haurwitz 首次提出了海陆风的理论模式,即考虑海陆风环流发生在 XY 平面上,且 X 轴与海岸线垂直,先只分析摩擦力的影响。在一系列的假定和数学处理,最后得到:

$$V = C_e^{-1/2} + A(K^2 + \Omega^2)^{-1/2} \cos(\Omega t - \alpha)$$

式中, V 为平均风速; $\tan \alpha = \Omega/K$; K 为摩擦系数; Ω 为地转角速度; t 是从最大温差开始算起的时间^[4]。由此可以看出, 如果考虑摩擦作用, 当摩擦增大, 相差逐渐减小, 最强海风与最大温差出现的时间和实际情况逐渐一致。因此, 在海陆风的分析研究中, 除了考虑摩擦力以外, 如科氏力以及其他非线性项的影响因子也应考虑进去。

关于海陆风环流的线性理论研究, 主要是 Haurwitz 完成的, 他的工作是开创性的, 以后许多研究都是在他工作的基础上的继续和发展, 得出了许多由大型计算机处理的海陆风数值模式。

国外有关海陆风的研究尽管较早, 但在 1976 年以前的非线性理论研究中, 都是在一个平直的海岸线上, 并没有考虑山脉等复杂地形下的海陆风特征。1977 年 Wahrer 和 Pielke 把海陆风数值模拟应用于真正的海岸线上, 得出白天和夜间的海陆风环流和山谷风环流组合在一起, 其强度较二者作用分开时大。此后, 海(湖)陆风的数值模拟研究进入了实际应用阶段。

2. 我国对海陆风的观测与研究

我国对海陆风的观测和研究是从 50 年代开始的。首先是朱抱真对“台湾的海陆风”^[5]分析研究, 该文从海陆风的年、日变化和海陆风所及高度、海陆风出现时的天气形势以及海陆风影响下的气象要素等多方面进行了分析, 开创了我国对海陆风的研究。

进入 70 年代, 由于污染气象学的发展, 特别是随着沿海及大水体旁的工业开发和大型火电厂、核电站的建设, 人们对海(湖)陆风的观测研究更重视了。北京大学地球物理系, 于