

# 珠江口地区海陆风系的研究<sup>\*</sup>

张立凤 张 铭

(中国科学院大气物理研究所大气科学地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

林宏源

(香港中文大学物理系, 香港)

**摘 要** 选取香港、澳门、广州三站为珠江口地区的指标站, 对三站多年的观测资料进行统计分析, 得到了珠江口地区海陆风现象的一些特征。并用细网格 Mass 模式对该地区的海陆风风系作诊断研究, 得到了该地区海陆风风系的细致分布特征, 在指标站该诊断结果与观测资料相一致。

**关键词** 海陆风 观测研究 细网格模式

## 1 引言

海陆风是因海陆加热不同所导致的中尺度环流系统, 很早就引起人们的注意, 随后人们对此现象进行了大量的观测研究、理论研究和数值研究。Atkinson 在文献[1]中介绍了 70 年代前该方面的工作。Simpson 在文献[2]中系统地介绍了海陆风的研究成果。国内, 陈江等<sup>[3]</sup>对 Nickerson 的中尺度模式进行了改进, 使其具有较强的海陆风模拟能力, 柯史钊<sup>[4]</sup>对华南大范围的海陆风进行了数值模拟, 吴兑<sup>[5]</sup>对海口地区的海陆风作了研究。最近因人们对环境保护的重视, 海陆风现象的研究又倍受关注, 这是由于海陆风所造成的大气低层中尺度环流与空气污染问题有密切的关系<sup>[6,7]</sup>。海陆风是一个局地环流, 纬度、海岸线形状及沿海地形的不同, 可使不同地区的海陆风除具有共性的一面外, 还有局地个性的一面, 因而揭示所关心地区的海陆风的特征就成为海陆风研究中的一个重要方面。

珠江口地区位于华南珠江入海口处, 著名城市香港、澳门、广州分别位于其东岸、西岸和北部。该处是全球经济增长最快的地区之一, 工业发达, 商业繁荣, 一批城市群散落其间。该地区海陆风现象的研究, 除香港有少量工作外<sup>[8,9]</sup>, 其他更详尽的工作尚不多见。由于该地区的海陆风现象对气象保障、工业发展、城市规划、旅游开发 and 环境保护都有重要作用, 故该研究是一个很有意义的课题。

本文首先利用香港、澳门和广州三站的多年地面观测资料, 对该地区的海陆风现象作了统计研究。这三站均有全年每 3 小时一次的观测记录 (香港则有每小时 1 次的观测记录), 故其可作为研究该地区海陆风现象的指标站, 这也为我们研究该地区的海陆风现象提供了方便。由于利用目前常规台站的观测网很难得到该地区海陆风风系的细致结

1997-07-26 收到, 1998-05-13 收到修改稿

<sup>\*</sup> 香港 Groucher 基金会和香港中文大学资助课题

构,故在该三站观测研究的基础上,本文又利用一个一层的中尺度数值模式即 Mass 模式<sup>[10]</sup>,对该地区的海陆风风系进行了诊断分析,最后则对观测研究和诊断分析的结果进行了讨论。

## 2 观测研究

如图 1 所示,珠江口地区有着复杂的地形及海岸线。为了揭示这一地区海陆风的基本特征,考虑到珠江口地区的海岸线形状以及资料的限制,本文首先选取香港、澳门、广州三站为指标站,并作以下定义:风向有从偏北风到偏南风明显转变的日子作为一个海陆风日,当风向由偏北风转为偏南风时作为海风的开始,偏南风持续的时间为海风持续的时间。依该定义,我们对该地区的多年风场资料作了统计,从而得到了珠江口地区海陆风的开始时间、持续时间、出现频率等统计特征。这里需要说明的是,所用香港站的资料是长洲自动观测站的资料,对其从 1980 年到 1989 年作了 10 年资料的统计,澳门站和广州站则从 1985 年到 1989 年作了 5 年资料的统计。三个站多年资料的统计结果见表 1。

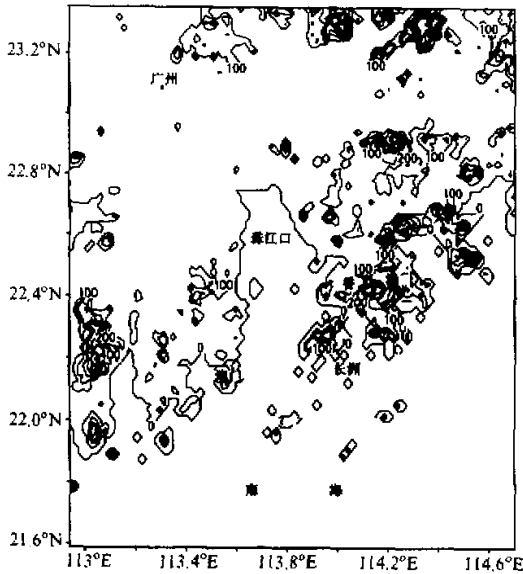


图 1 珠江口地区地形图

本特征,考虑到珠江口地区的海岸线形状以及资料的限制,本文首先选取香港、澳门、广州三站为指标站,并作以下定义:风向有从偏北风到偏南风明显转变的日子作为一个海陆风日,当风向由偏北风转为偏南风时作为海风的开始,偏南风持续的时间为海风持续的时间。依该定义,我们对该地区的多年风场资料作了统计,从而得到了珠江口地区海陆风的开始时间、持续时间、出现频率等统计特征。这里需要说明的是,所用香港站的资料是长洲自动观测站的资料,对其从 1980 年到 1989 年作了 10 年资料的统计,澳门站和广州站则从 1985 年到 1989 年作了 5 年资料的统计。

表 1 珠江口地区海陆风的统计结果

|                  | 香港  | 澳门   | 广州 |
|------------------|-----|------|----|
| 海陆风发生次数 ( $d$ )  | 69  | 55   | 2  |
| 海风开始时间 (北京时)     | 12  | 13   | /  |
| 海风持续时间 (h)       | 9   | 11.5 | /  |
| 海风最大风速 ( $m/s$ ) | 4.2 | 2.2  | /  |
| 达到最大海风所需时间 (h)   | 3.2 | 3.5  | /  |
| 陆风开始时间 (北京时)     | 21  | 24   | /  |
| 陆风持续时间 (h)       | 15  | 12   | /  |

从表 1 可见,出现海陆风的年平均日以香港为最多,每年平均有 69 次,其次是澳门,为 55 次,最低是广州,每年平均只有 2~3 次。以上统计结果显示,海陆风现象确是珠江口地区常见的一种天气现象。若出现海陆风现象,其开始时间、持续时间、最大

风速及达到最大风速所需的时间等统计特征，在珠江口东西两岸也有所不同。从表 1 还可见，海风开始时间是香港早于澳门，即珠江口东岸早于西岸，海风的最大风速也是东岸较大；而海风的持续时间和海风开始达到最大风速所需的时间却是澳门大于香港，即珠江口西岸大于东岸。陆风是香港的开始时间较早，且持续时间也较长，但无论是香港还是澳门，陆风的持续时间都大于海风的持续时间。

以上这些统计结果是随季节变化的，表 2 给出了三个指标站月平均的海陆风出现频率。从该表中可见，在珠江口地区，海陆风是一年四季皆可出现的天气现象，但不同季节出现的频率有所不同。总的来说，冬季海陆风出现的频率较高，夏季较低，如香港是 1 月、12 月频率最高，澳门是 11 月、12 月频率最高。这一现象与大尺度的环境场有关，在冬季珠江口地区，经常受大陆冷高压南伸的弱脊控制，天气晴朗，环境风场较弱，这有利于海陆风的形成。

表 2 指标站海陆风出现频率随季节变化

| 月份 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 香港 | 9.6 | 5.2 | 5.2 | 3.5 | 2.7 | 1.4 | 1.7 | 6.1 | 7.1 | 7.8 | 8.6 | 9.7 |
| 澳门 | 4.0 | 5.1 | 6.0 | 2.2 | 0.5 | 0.5 | 2.5 | 5.1 | 7.1 | 6.0 | 7.1 | 9.0 |
| 广州 | 0.2 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

表 3、表 4 分别给出了海风和陆风开始时间随季节的变化。表中显示，无论是海风，还是陆风，其开始时间随季节有差异，这主要是因不同季节太阳辐射量不同的缘故。海风开始时间是冬季晚，夏季早。在香港最早是 7 月，10 时即可出现，在澳门是 5、6 月，12 时出现。而陆风的开始时间却是冬季早，夏季晚。香港冬季 20 时即可出现陆风，澳门冬季 23 时出现陆风。夏季太阳辐射较强，故海风出现得早，陆风出现得晚，冬季则相反。

表 3 香港和澳门的海风开始时间（时）随季节变化

| 月份 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 香港 | 13 | 13 | 12 | 12 | 11 | 12 | 10 | 11 | 12 | 12 | 13 | 13 |
| 澳门 | 14 | 13 | 12 | 13 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 |

表 4 香港和澳门的陆风开始时间（时）随季节变化

| 月份 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 香港 | 21 | 20 | 20 | 21 | 21 | 23 | 22 | 23 | 21 | 21 | 20 | 20 |
| 澳门 | 23 | 23 | 24 | 01 | 02 | 01 | 01 | 24 | 01 | 24 | 24 | 23 |

海陆风持续的时间随季节也是变化的，表 5、表 6 分别给出了香港和澳门海风和陆风持续时间随季节的变化。从表中可见，无论是香港，还是澳门，海风持续时间都是夏季长，冬季短；在香港最长可达 12 h，澳门最长可达 14 h；但两地海风最长持续时间出现的月份却略有不同，在香港海风持续时间最长的月份是 7、8 月，而澳门是 4、5

月。陆风则相反, 冬季持续时间较长, 在香港最长可达 17 h, 澳门最长可达 15 h; 夏季持续时间则较短, 在香港最短是 12 h, 澳门是 10 h。陆风最长和最短持续时间出现的月份在香港和澳门也略有差别。

表 5 香港和澳门的海风持续时间 (h) 随季节变化

| 月份 | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 香港 | 8 | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 12 | 9  | 9  | 7  | 7  |
| 澳门 | 9 | 9 | 12 | 14 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 |

表 6 香港和澳门的陆风持续时间 (h) 随季节变化

| 月份 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 香港 | 16 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 15 | 15 | 17 | 17 |
| 澳门 | 15 | 15 | 12 | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 2  | 13 | 13 | 14 |

海风出现后, 海风的最大风速及达到最大风速所需时间, 在珠江口的东西两岸随季节也是不同的, 见表 7 和表 8。表中显示, 香港的海风最大风速在一年中的各个季节总是大于澳门。海风出现后, 达到最大风速所需时间, 无论是香港, 还是澳门均是夏季长, 冬季短。夏季需要 5~6 h, 冬季需要 1~2 h。

表 7 香港和澳门的海风最大风速 (m/s) 随季节变化

| 月份 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 香港 | 2.4 | 3.0 | 3.5 | 5.2 | 5.2 | 4.9 | 5.4 | 4.6 | 4.8 | 4.2 | 3.4 | 3.8 |
| 澳门 | 1.2 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |

表 8 香港和澳门的海风达到最大所需时间 (h) 随季节变化

| 月份 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 香港 | 1.3 | 1.5 | 1.9 | 3.0 | 4.5 | 4.4 | 5.5 | 6.5 | 3.7 | 2.5 | 2.5 | 1.0 |
| 澳门 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 3.8 | 4.0 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 4.2 | 3.6 | 2.7 |

以上结果只是对所选指标站的观测资料进行统计后得到的, 尚不能完全揭示出珠江口地区细致的海陆风风系分布及其演变的特征。但对目前的观测网来说, 由于台站布网及观测时次的局限, 要得到该地区海陆风风系的细致分布还是比较困难的, 故有必要用一个数值模式对其进行诊断分析。

### 3 诊断分析

我们采用 Mass 模式对该地区的海陆风风系进行诊断分析, 该模式已在国内外广泛地应用于海陆风现象的诊断研究<sup>[4]</sup>。模式的计算区域如图 1 所示, 在该范围内取  $100 \times 100$  的网格点。为揭示该地区海陆风风系的细微结构, 计算中将网格距取为 2 km, 但这时要注意克服  $\sigma$  坐标在处理地形时所造成的误差。另外考虑到珠江口地区纬度较

低, 地形较复杂, 而模式计算的区域又不太大, 故对 Mass 模式的初始场、摩擦系数及环境风场的强迫作了类似文献[11]的修改。模式中的非绝热强迫项  $Q$  随时间的变化如图 2 所示, 最大加热率在陆上为  $1 \text{ K/h}$ , 海上为  $0.25 \text{ K/h}$ , 夜间冷却率为最大加热率的  $1/4$ 。

### 3.1 海陆风风系分布

通常, 海陆风都出现在环境风场较弱的条件下, 故首先讨论无环境风场时的海陆风风系分布。图 3 给出了环境风场为静风时海风 (14 时) 和陆风 (02 时) 的风系分布, 从图上明显可见, 吹海风时在珠江口东海岸吹西风, 西海岸吹东风, 北海岸吹南风, 沿珠江口的海岸线形成一个扇形风系。而珠江口中心海面则存在辐散。在珠江口东面的香港地区存在偏东、偏西、偏南三支海风 (详见文献[11]), 长洲站为偏南风。在珠江口的西海岸, 也存在偏东和偏南两支海风, 澳门则为偏南风。珠江口地区复杂的海岸线和地形造成了不同方向的海风, 而不同方向的海风必然会造成一些辐合区, 最明显的是扇形风系在陆地上形成的辐合带。珠江口东岸, 由于珠江口和大鹏湾两侧海风的共同作用, 存在一条辐合线, 在珠江口的西岸, 其偏东风和南部海上的偏南海风也形成了“人”字形辐合带。

陆风时 (见图 3b), 珠江口东西两岸分别有偏东陆风和偏西陆风, 东西风在珠江口

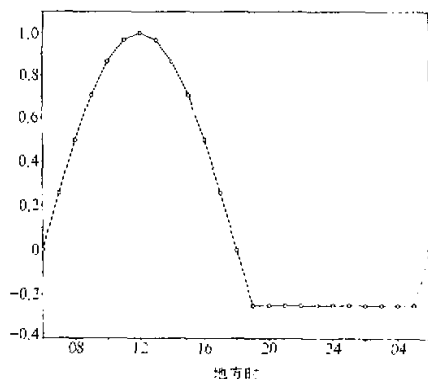


图 2 非绝热加热率随时间的变化分布

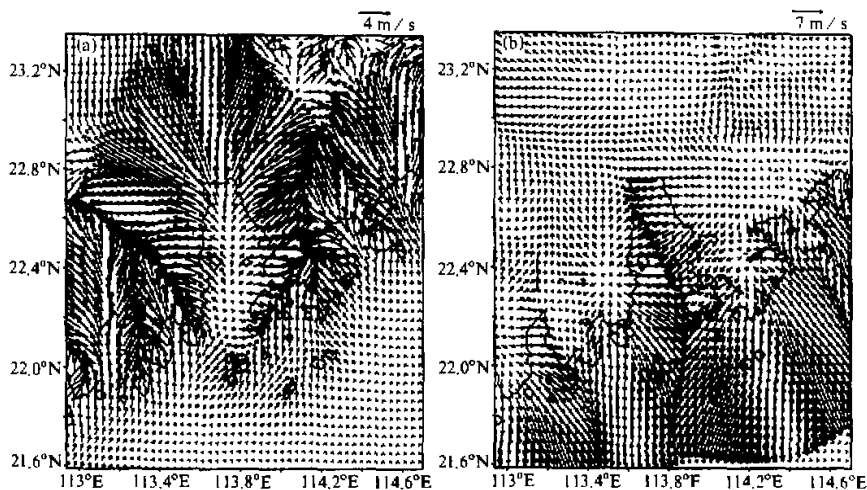


图 3 无环境风场时海陆风的风系  
(a) 海风 (14 时); (b) 陆风 (02 时)

形成一条辐合带,而在珠江口以南的海面上则均是偏北风。香港、澳门也为偏北风。偏北的陆风在南海海面造成一条辐合线。

值得注意的是广州站在海风最强时会受其影响,出现偏南风,但在陆风期间却没有明显的西北风出现。这是由于广州站离海岸较远,受海陆风环流影响较小的缘故,这也与广州站海陆风出现频率很低的观测事实相一致。

### 3.2 环境风场对海陆风的影响

在环境风场适中时,同样会出现海陆风环流。本文分别计算了环境风场风速为  $2 \text{ m/s}$  但风向不同时海陆风的风系分布。

与无环境风场时相比,吹海风时,无论环境风场的风向如何,珠江口沿岸的扇形风系及其对应的扇形辐合带,珠江口东西两岸的辐合带都依然存在。但扇形风系的伸展受环境风场的影响,珠江口南部海上的偏南风强度也受环境风场的影响。当环境风场为偏南风时,南部海上的偏南风增强;当环境风场为偏北风时,南部海上的偏南风减弱,甚至被偏北风代替。总之,当环境风场与海风风向一致时,则使其加强,相反时则使其减弱。

在吹陆风时,对于不同风向的环境风场,珠江口海面上仍然存在两岸陆风的辐合,而南海海面上偏北陆风伸展的距离则受环境风场的影响较明显。当环境风场为偏北风时,偏北陆风在海上伸展较远。当环境风场为偏南风时,偏北陆风南伸的距离较小,并随偏南风的增大,陆风与环境风场的辐合带还可出现在香港附近。由于偏南气流可带来充足的水汽,在合适的条件下,这会造成香港夏季早晨的阵雨<sup>[9]</sup>。

### 3.3 海风向陆风的转换

由于模式中存在加热率随时间的变化(图2),故在本文积分的24 h内存在海风向陆风的转换。随着加热强迫的增大,海风首先形成于沿岸附近,然后逐渐向内陆伸展,珠江口沿岸的扇形风系在10时已在珠江口沿岸形成,但伸展距离只有20 km左右(图4a),而在14时(图3a),扇形风系伸展最远,已达模式的北边界。随着加热变为冷却,海风减弱,沿岸附近首先转为陆风。在22时(图4b)陆风风系已形成,珠江口海面上的辐合带也已存在,但在南部海上偏北陆风伸展的距离还较小,02时(图3b)陆风伸展距离已明显增大,在模式计算区域内的南海海面上几乎完全被偏北陆风控制。

表9、表10给出了香港(长洲)、澳门两站1996年9月2日的实测风和相应用Mass模式的诊断风随时间的变化(受资料和篇幅所限,风向风速每隔3小时给出一次,风速单位为 $\text{m/s}$ )。从表中可见,当有海陆风时香港和澳门有明显的风向日变化,诊断出的风场也随时间存在偏南风向偏北风的转换,但两地的转换时间稍有不同,这些结果与以上观测资料的统计结果是一致的。但由于模式中加热率随时间的变化取的是理想的情况,故具体的海陆风开始时间及持续时间与实际观测的略有差异。

表9 1996年9月2日香港实测风和诊断风随时间变化(风速单位:  $\text{m/s}$ )

| 时间(时) | 02  | 05  | 08 | 11  | 14 | 17 | 20  | 23  |
|-------|-----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|
| 实测风向  | N   | NNE | NE | SE  | SE | SE | N   | NNE |
| 实测风速  | 2   | 5   | 2  | 6   | 6  | 6  | 2   | 2   |
| 诊断风向  | NNE | NNE | SE | SSE | S  | SW | NNW | NNE |
| 诊断风速  | 2   | 2   | 1  | 2   | 2  | 2  | 2   | 2   |

表 10 1996 年 9 月 2 日澳门实测风和诊断风随时间变化 (风速单位: m/s)

| 时间 (时) | 02  | 05  | 08 | 11  | 14 | 17  | 20 | 23 |
|--------|-----|-----|----|-----|----|-----|----|----|
| 实测风向   | WSW | WSW | N  | NNW | SE | SE  | SE | SE |
| 实测风速   | 2   | 2   | 4  | 2   | 2  | 6   | 2  | 2  |
| 诊断风向   | NW  | NW  | SE | SE  | SE | SSE | NW | NW |
| 诊断风速   | 2   | 2   | 1  | 2   | 2  | 2   | 1  | 2  |

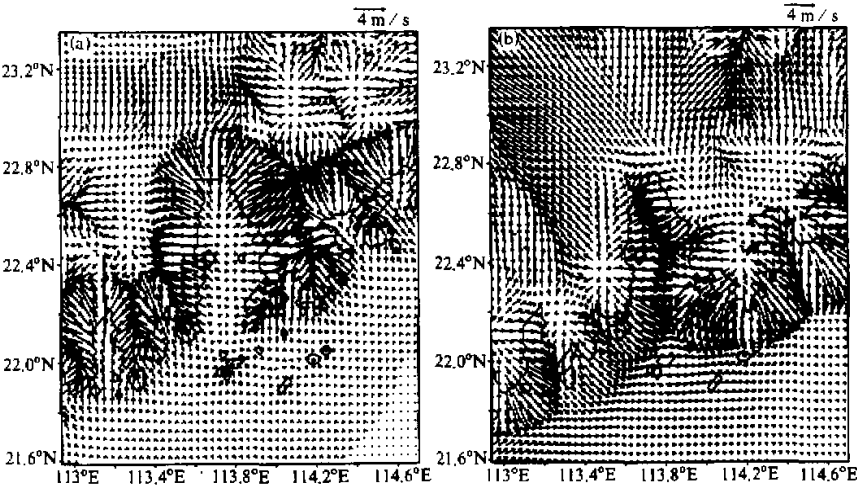


图 4 海陆风风系分布  
(a) 海风 (10) 时; (b) 陆风 (22 时)

3.4 影响海陆风环流的因子

为探讨该问题, 本文还对地形、海陆加热及海陆摩擦这几个因子分别作了诊断实验。计算中没有考虑环境风场。

在没有地形, 但仍保留真实海岸线形状的条件下, 诊断出的海风仍存在扇形风系及对应的岸边辐合。这时海风除强度明显减小外, 其向陆上伸展的范围也明显减小, 同样陆风的风速也明显减小, 珠江口海面上的辐合带与有地形相比则有些东移。由此可见, 海陆风风系的分布, 主要决定于海岸线的形状, 但地形可使其强度增强, 伸展范围增大。特别是珠江口东岸, 地形可使其风速明显增大。

若将海上和陆上的加热率都减小一半, 这时陆上的最大加热率为 0.5 K/h, 海上为 0.125 K/h, 计算出的海陆风风系分布无大变化, 只是其强度和伸展范围都有减小。若陆上最大加热率不变仍为 1 K/h, 而海上的最大加热率减小至 0.083 K/h, 这时海陆加热率之差增大, 计算出的海陆风风系分布也基本不变; 但海风和陆风的强度均有增强, 海风扇形风系向北伸展的范围增大, 而偏北陆风在南海上伸展的距离却略有减小。若海上的最大加热率不变仍为 0.25 K/h, 而陆上最大加热率减小至 0.58 K/h, 计算出的海陆风风系分布仍无大的改变; 但这时由于海陆加热率之差的减小, 海陆风的

强度略有减小, 伸展的距离也减小了。

最后讨论摩擦系数的影响。若海上的摩擦系数增大, 陆风向海上的伸展范围减小, 若陆上的摩擦系数增大, 不仅海风向内陆伸展的距离减小, 而且陆风在海上伸展的距离也减小。由此可见, 海风受陆上摩擦的影响较大, 而陆风既受海上摩擦的影响, 也受陆上摩擦的影响。

比较以上几个实验可知, 海陆风的发生与海陆的热力差异有关, 但其风系分布主要决定于海岸线的形状, 而海陆热力差异的大小、地形和海陆摩擦的大小则对海陆风的强度及其伸展范围也有不同程度的影响。

## 4 结束语

本文在对香港、澳门和广州三个指标站的观测资料进行统计分析的基础上, 用 Mass 模式对珠江口地区的海陆风风系作了诊断研究, 得到了该地区比较细致的海陆风风系分布, 并讨论了海陆风的周期变化及影响海陆风发展的因子。最后得到以下有意义的结论:

(1) 海陆风是珠江口地区常见的一种天气现象。海陆风的持续时间比海风长, 海陆风的出现频率以冬季最高。在珠江口的东西两岸海陆风的其统计特征并不完全相同, 东岸的海风最大风速要大于西岸。

(2) 由 Mass 模式的诊断结果可得珠江口地区海陆风风系分布的概念模式。吹海风时, 珠江口沿岸存在扇形风系和扇形辐合带。吹陆风时珠江口海面上存在东西两岸陆风的辐合, 在南海上还存在一条辐合带。

(3) 海陆风风系的分布主要决定于海岸线的形状, 海陆风的强度及伸展距离则还受到海陆加热差异大小、地形、环境风场和海陆摩擦的影响。

海陆风环流是中尺度环流, 其往往被大尺度环流所掩盖, 故从常规天气图上很难追踪这一现象。但在层结稳定度及水汽条件适当的情况下, 海陆风也可触发对流性降水。这样就可通过追踪雨区的发展, 发现海陆风的风系及辐合分布。最近陈柏纬等<sup>1)</sup>分析了 1996 年 9 月 2 日至 4 日香港地区的六次降水过程, 日间和夜间各三次。他发现这六次降水过程就是由这三日连续的海陆风环流引起的。日间海风在陆上形成辐合, 造成陆上降水; 夜间陆风在海上形成辐合, 造成海上降水; 而且夜间在珠江口还可产生稳定的降水区。从这一连续海陆风环流造成的降水分析可看出, 其雨区分布与本文概念模式的风系及辐合分布是非常一致的。从而说明本文在 Mass 模式计算中, 虽然用的是典型参数, 但诊断结果是符合实际的。不过由于 Mass 模式是一层模式, 故只能诊断出海陆风风系的水平分布, 不能给出其垂直环流及讨论垂直环流的伸展范围和影响因子, 而要弥补这一不足则必须用三维模式进行数值模拟。

致谢: 衷心感谢香港中文大学物理系杨纲凯讲座教授对本文工作的关心和帮助。香港天文台的林超英先生、潘海涛先生、李国麟先生及郑元仲先生对本工作也提供了许多资料并与我们进行了有益的讨论, 在此也深表感谢。

1) 陈柏纬, 马伟民, 1997, 初秋时分香港的对流天气, 香港天文台内部交流。



## 参 考 文 献

- 1 Atkinson, B. W., 1981, *Meso-Scale Atmospheric Circulations*, London: Academic Press.
- 2 Simpson, J. E., 1994, *Sea Breeze and Local Winds*, New York: Cambridge University Press.
- 3 陈江等, 1993, 二维海陆风环流的数值研究, *大气科学*, 17(3), 359~368.
- 4 柯史钊, 1993, 华南海陆风的数值模拟, *热带气象学报*, 9(2), 169~176.
- 5 吴兑, 1995, 海口地区近地层流场与海陆风结构的研究, *热带气象学报*, 11(4), 306~314.
- 6 Lalas, D. P., 1983, Sea-breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece, *Atmos. Environ.*, 17, 1621~1632.
- 7 Lu, R. and R. P. Turco, 1994, Air pollutant transport in a coastal environment, two-dimensional simulations of sea breeze and mountain effects, *J. Atmos. Sci.*, 51(15), 2285~2308.
- 8 Wai, Mickey Man-Kui, 1993, Diurnal atmospheric secondary circulation over Hong Kong, *HKMetS Bulletin*, 3(2), 9~20.
- 9 Chan, J. C. Z. and Man-Hin Ng, 1993, Morning showers over Hong Kong during summer, *HKMetS Bulletin*, 3(1), 14~24.
- 10 Mass, C. F. and D. P. Dempsey, 1985, A one-level mesoscale model for diagnosing surface wind in mountainous and coastal regions, *Mon. Wea. Rev.*, 113(7), 1211~1227.
- 11 张铭、张立凤, 1998, 香港地区海陆风的观测研究和诊断分析, 东亚季风和中国暴雨, 北京: 气象出版社.

## Study of Sea-Land Breeze System in the Mouth Area of the Zhujiang River

Zhang Lifeng and Zhang Ming

(State Key Laboratory of Numerical Modelling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,  
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Lam Patrick

(Department of Physics, The Chinese University of Hong Kong)

**Abstract** Hong Kong, Macau and Guangzhou are chosen as index station in the mouth area of the Zhujiang River. The statistical characteristics of sea-land breeze are obtained by analyzing many years observational data of three stations. The diagnostic study of sea-land breeze is carried out also by Mass model of fine-mesh. The distribution characteristics of wind system is obtained, which is not obtained to use observational network. The diagnostic results are agreed with the known observational data at index stations.

**Key words** sea-land breeze observational research fine-mesh mode