

CNIC-01285

CIRP-0023

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

某滨海核电厂址大气弥散试验研究

THE STUDY OF ATMOSPHERIC DISPERSION
TEST ON THE SITE OF A COASTAL
NUCLEAR POWER PLANT

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01285 CIRP-0023: 某滨海核电厂址大气弥散试验研究/胡二邦等著. —北京: 原子能出版社, 1998. 12

ISBN 7-5022-1935-8

I. 中… II. 胡… III. 核技术-中国-研究报告 IV. TL-

2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 34433 号

某滨海核电厂址大气弥散试验研究

胡二邦等著

©原子能出版社, 1998

原子能出版社出版发行

责任编辑: 孙凤春

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16 · 印张 4.4 · 字数 50 千字

1998 年 12 月北京第一版 · 1998 年 12 月北京第一次印刷

定价: 5.00 元

胡二邦：研究员，中国辐射防护研究院环境科学所所长。中国环境评价学会常务副主任，中国大气环境学会副主任，中国环境评价学会环境风险专业委员会主任，国家环保局核环境专家技术委员会成员。享受政府特殊津贴，被授予部级“有突出贡献的中青年专家”称号。作为主持人完成的科研项目中，获国家级科技进步三等奖一项，部级二等奖三项，部级三等奖三项，在国内外杂志及学术会议上发表论文 70 余篇，1964 年毕业于清华大学工程物理系。



Hu Erbang: Professor, director of Environmental Science Institute, China Institute for Radiation Protection; executive deputy president of Chinese Association for Environment Assessment (CAEA); deputy president of Chinese Association for Atmospheric Environment (CAAE); director of Speciality Committee of Environment Risk, CAEA; Member of Specialist Committee for Nuclear Environment, NEPA. Enjoy special government allowance and being granted the Ministry-level Outstanding Young and Middle-aged Specialist, CNNC. Win some prizes for progress of science and technology of third class at national-level, second and third class at ministry-level respectively in these research projects which he took charge of. More than 70 papers were published in international or domestic journals and symposiums. Graduated from Department of Engineering Physics, Tsinghua University in 1964.

CNIC-01285

CIRP-0023

某滨海核电厂址大气弥散试验研究

胡二邦 张茂栓 王守恕
李正德 姚仁太 高占荣 姜 钢 王书献

(中国辐射防护研究院, 太原, 030006)

陈家宜

(北京大学环境科学中心, 北京, 100871)

摘 要

描述了1995年4月至1996年4月在我国东部沿海某待建核电厂址进行的为期一年的大气弥散试验。主要实验包括百米气象铁塔四个高度整年风、温逐时观测;地面风场、海陆风及内边界层的观测与分析;湍流与扩散参数测量;风洞模拟实验等。在现场实验基础上尝试提出了计算滨海核电厂址年均大气扩散因子的新模型,此模型既考虑了向岸流与离岸流的区别,又考虑了混合层与内边界层、混合释放与扩散参数随陆距变化等诸因素的综合影响。此外又提出了一套估算事故冲洗因子的确定论模式与概率论模式。讨论了事故工况下,内边界层对事故剂量的影响及冲洗沉积剂量的贡献。

**The Study of Atmospheric Dispersion
Test on the Site of a Coastal Nuclear Power Plant**
(*In Chinese*)

HU Erbang ZHANG Maoshuan WANG Shoushu LI Zhengde
YAO Rentai GAO Zhanrong JIANG Gang WANG Shuxian
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan, 030006)

CHEN Jiayi
(Peking University Environmental Science Center)

ABSTRACT

An atmospheric dispersion test on the site of a coastal nuclear power plant located in the east part of China from April, 1995 to April, 1996 is described. The main content is as follows: observation hourly of wind and temperature on the 4 heights of tower of 100 m for 1 year; observation and analysis of surface wind field, sea and land breeze and internal boundary layer; measuring of turbulence and diffusion parameters; wind tunnel simulation experiment and so on. Based on above field test, a new model is developed for estimating the annual mean atmospheric dispersion factor for a coastal site of nuclear power plant in which not only the difference between on-shore and off-shore but also the comprehensive effect of following factors are considered: mixed layer and internal boundary layers, mixing release and variation of diffusion parameters due to the distance from coast and so on. A set of deterministic and probabilistic model for estimating the accident washout factor is developed and established. The effect of internal boundary layer on dose and the contribution to dose from the washout deposition pathway are discussed.

引言

1995年4月至1996年4月我们在某滨海核电厂址进行了一年的大气弥散试验研究。该厂址位于福建省泉州湾北岸玉前村,南临泉州湾海域,其余三面与广阔的陆域相接。

试验主要内容为:百米气象铁塔与地面气象站的观测与分析;区域气候和常规气象观测资料的收集及统计分析;地面风场、海陆风与内边界层的观测与分析;湍流测量与扩散参数估算;风洞模拟实验;正常运行及事故工况下的大气扩散因子与冲洗因子的估算。

本文在上述试验资料的基础上,尝试提出了一个考虑了混合释放、内边界层与混合层影响及扩散参数随风向与陆距改变等因素综合影响的估算滨海核电厂址年均大气扩散因子的新模型及相应计算公式;此外也尝试给出了估算事故冲洗因子的确定论与概率论模式,并分析了湿沉积对事故剂量的贡献。

1 试验概况及其主要结果

1.1 铁塔气象观测与分析

1995年4月15日至1996年4月15日应用中国辐射防护研究院研制的TQX-II型铁塔自动监测系统在百米气象铁塔的10 m, 30 m, 50 m和100 m四个高度上进行了一整年风速、风向与温度的逐时观测,结合同步进行的地面气象站的观测数据,获得了有关厂址风向、风速、稳定性和雨况的四维联合频率数据。逐时气象观测数据总获取率高达99.89%,其中温度与风数据的获取率分别为99.92%与99.86%。

为了定期检验铁塔观测仪器是否正常运行,利用大气湍流和风温廓线的相似理论,对各季度的观测资料作了下述统计分析,并选取有代表性的东北和西南风(离岸流、向岸流)作出 $u_1^*/u_{10} - \Delta Q_{30-10}/u_{10}^2$ 的半对数离散图(u_1^* 代表100 m, 70 m和30 m的风速)。结果表明,东北风各高度风速比随稳定度的变化规律保持恒定,证明气象塔风速观测质量稳定,同时说明温度差的观测质量稳定。作为示例,图1给出各季度30 m与10 m的风速比(u_{30}/u_{10})随稳定度参数 $[(Q_{30}-Q_{10})/u_{10}^2]$ 的变化。

1.2 海陆风与内边界层的观测与分析

1.2.1 研究区域和资料获取

风场分析区域示于图2。其水平尺度为南北向160 km,东西向240 km,区域东南部为海面,西北角为戴云山山区。惠安厂址位于解析区的中部。诊断模式的网格距水平方向10 km见方,垂直方向不等距划分为15层;预报模式水平方向网格距为5 km,垂直方向从地面至2000 m高度与诊断模式相同,2000 m以上的增加三层。中尺度风场计算主要依据12个地面气象站和1个气象塔资料,地转风取自厦门气象台早晚高空风资料。此外,于1995年7月5日至8月15日和1996年1月4日至20日组织了冬、夏两期的低空风,温廓线的观测,以为中尺度风场及热内边界层的深入分析提供必要的资料,观测期间夏季作业点取3个:下洋、埕边、东园;冬季只在下洋进行观测。

1.2.2 中尺度风场的一般特征

本文的重点是海陆风,作为背景有必要对中尺度风场的一般特征预先做简要说明。

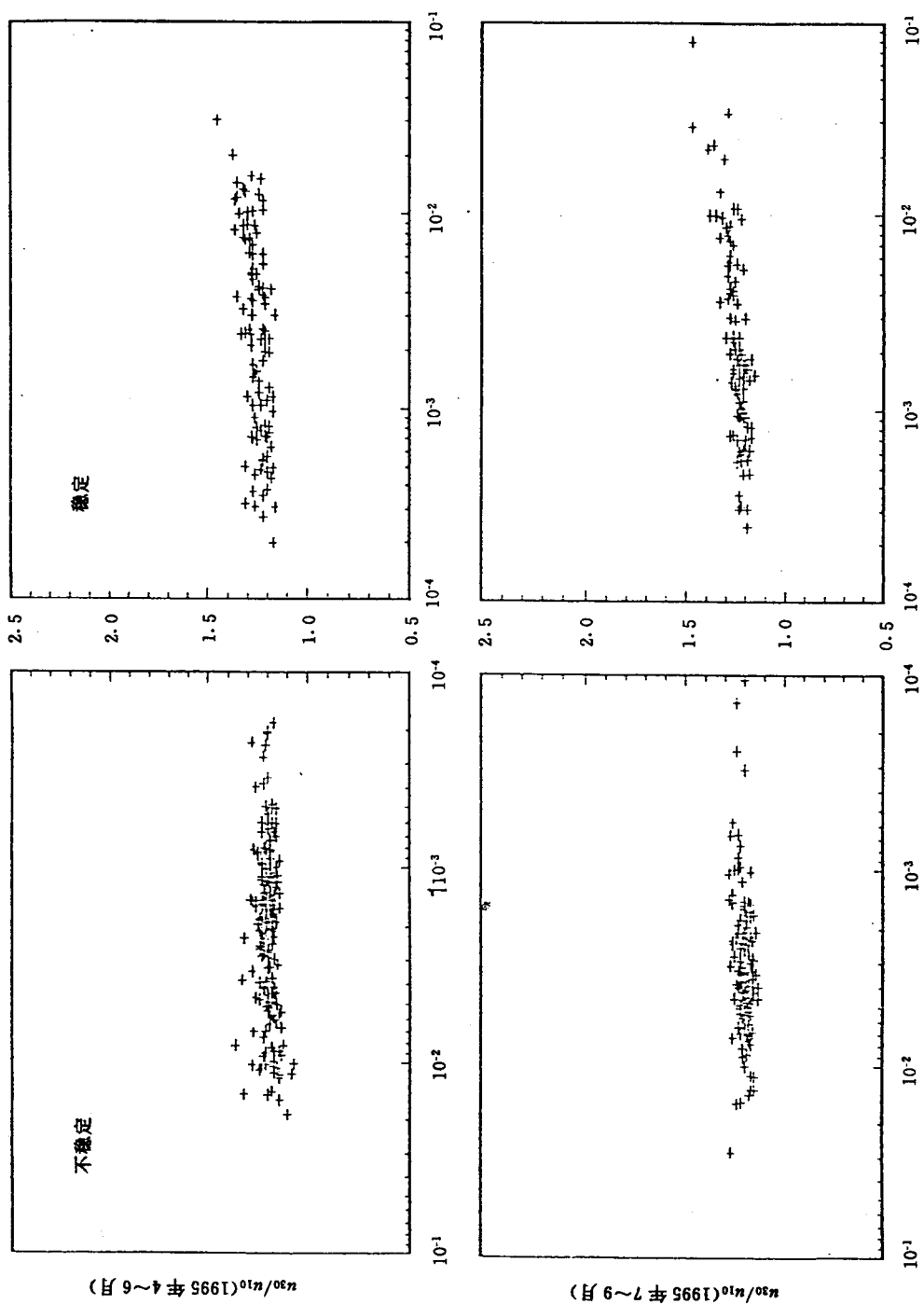
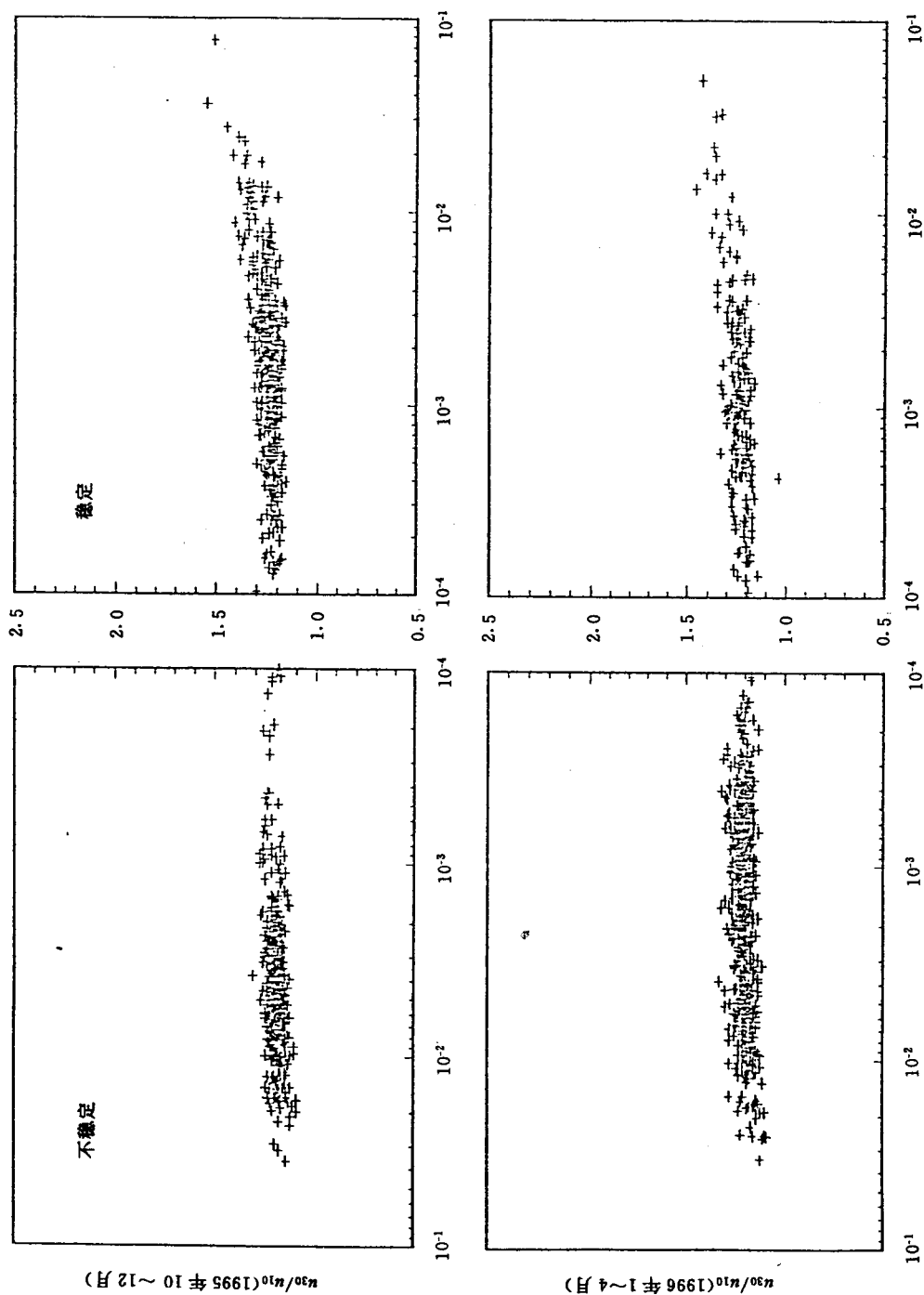


图1 东北风30 m与10 m的风速比 u_{30}/u_{10} (纵轴) 随稳定度参数 $(Q_{30}-Q_{10})/u_{10}^2$ (横轴) 的变化



续图1 东北风 30 m 与 10 m 的风速比 u_{30}/u_{10} (纵轴) 随稳定度参数 $(Q_{30}-Q_{10})/u_{10}^2$ (横轴) 的变化

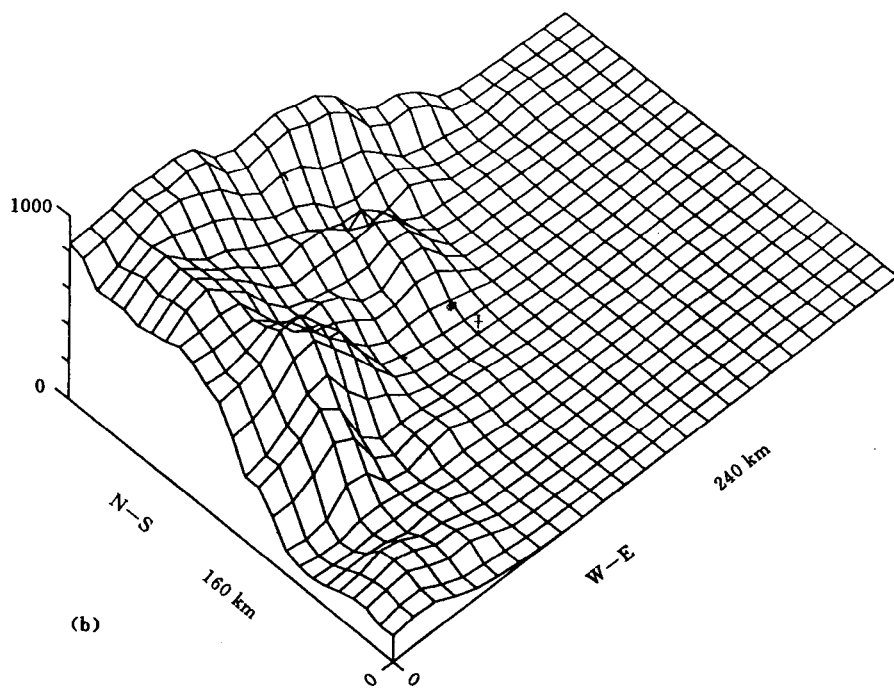
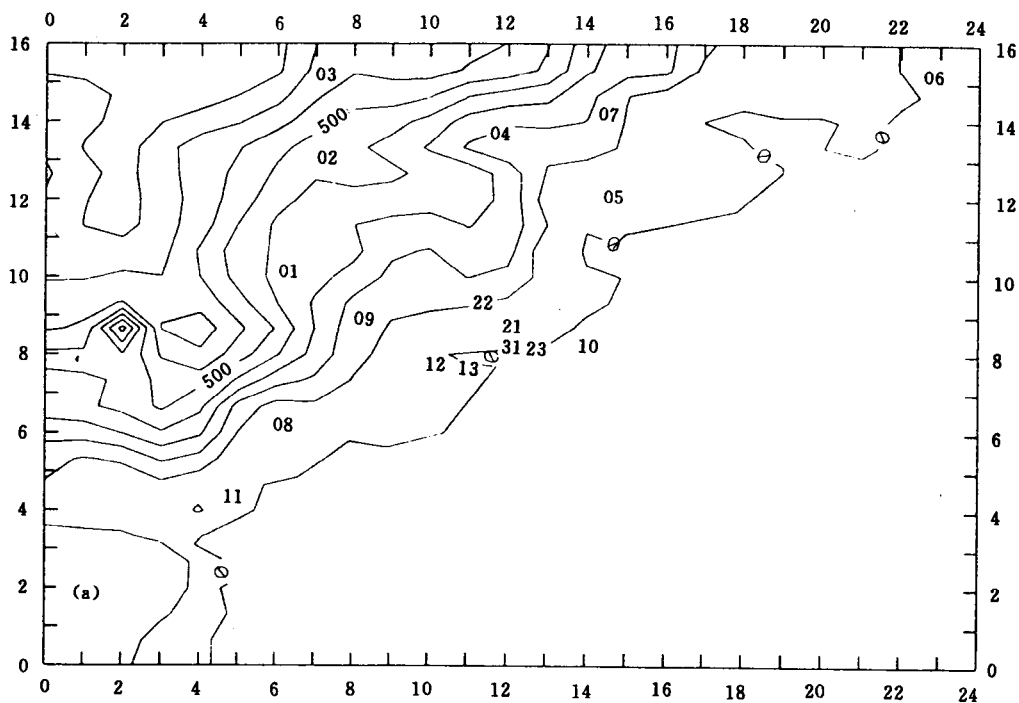


图2 惠安厂址中尺度风场解析区的范围和地形
 上图：水平投影，数字1~13，21~23，31标明站位
 下图：地形三维图

因受大气环流系统和海峡地形的作用,研究区的常年边界层主导气流是东北风。夏季偏南风也较盛行。分析表明,中尺度流场大体上可划分为:秋冬季东北风和春夏季东北风,西南风(夏季),海陆风,其他(包括夏秋季风台风,系统性的南北风转换等)四种类型。按空间区域划分,可区分为海区和沿岸区及陆地两部分。海区和沿岸区盛行 NNE-NE 或 SSW-SW-S 气流,风速大,流场均匀,日夜变化稍小;海陆风时段为较均匀的偏东气流,有沿木兰溪,晋江河谷,九龙江河谷汇流的趋势。陆地风速显著小于海区,地形效应明显;河谷地带夜间风速不大,风向混乱,白天即顺主流或河谷方向流动,离地面 100 m 以上流动场较均匀,地形影响明显减少。

1.2.3 海陆风的单站分析、个例和频率

(1) 单站风向风速日变速

图 3 是各代表性月份气象塔逐时风向风速的变程。图中风矢以线段表示,站位定于横轴上,长短表示风速大小,尺度示于图左。由图显见,仅气象塔单站地面风向风速已可大体上指示当地中尺度风场的类型。例如,1995 年 10 月绝大多数属于系统性东北风风场,7 月上旬大部分属于西南风类。

我们注意到,1995 年 4 月下旬起至 5 月中旬的绝大部分时间,7 月 17 日~26 日,1996 年 1 月 5 日~7 日,还有其他离散的日子,正午前后起至傍晚时分均呈向陆风向,与早晨常见的小风或系统性流向截然有异。不难判断这种规律性改变是海陆风过程在单站记录上的反映。值得指出的是,除了出现海陆风外,海陆热力差异的作用在系统风很强盛的情况下仍很显著,表现为午后风向向陆地方向的偏转,其中 10 月份最为典型。

(2) 海陆风个例

分析发现该区不乏较典型的海陆风个例。本文只给出其中一个资料齐全,而且同时用诊断模式和动力模式模拟的个例进行讨论。

图 4a, b 分别是 1995 年 7 月 21 日的水平风场和垂直剖面,是诊断模式的结果,动力模式模拟结果类同。当日清晨以前高空为静风,全区地面风速很小,风向时空变化不定。500~1000 m 气层是偏北风。09 时起海上和沿岸即有偏东风分量出现,11 时底层 200 m 左右转为鲜明的海风流。这时陆地上风速仍较小,但近岸区已可见入陆气流。随后海风层厚度增至 300 m 上下(14 时),往上为反向气流。由逐时的水平和垂直风场可见本例海域和沿岸带海风风速和厚度于 14 时和 15 时时最强,但陆域最强的时刻是 17 时和 18 时。18 时沿岸的崇武站,气象塔站一带出现局地对流天气,风向突然转为北风,风速也较大,海区的向岸流即告结束。入夜以后海区风速很小,陆地下谷风加强并逐渐加深。虽然本例午后有局地对流的干扰而使海风结束较早,因系统性气流不强,海陆风环流比较典型。海风层和回向流界线分明,午后分界高度可达 300~400 m 左右。

夏季的个例分析发现,陆域东北角的兴化湾和木兰溪河谷是向岸流汇流的主要区域,其次是泉州湾和晋江河谷,而夜间河谷出现解风居多。

冬季和春季个例的综合分析表明,春季海陆风日的向岸流风速较大,并经常在陆地上维持至深夜,向岸流的主要区域在晋江河谷。冬季海风流动的结构也甚典型,但持续时间较短。反之,夜间陆域上的下谷风和海岸位置的离岸流比春夏季强,持续时数也长。冬季的观测发现,冬季大气边界层上部盛行 WNW, NW 气流,山地冷却也强,机械和热力两种因素都促进了下坡和下谷流的发展。

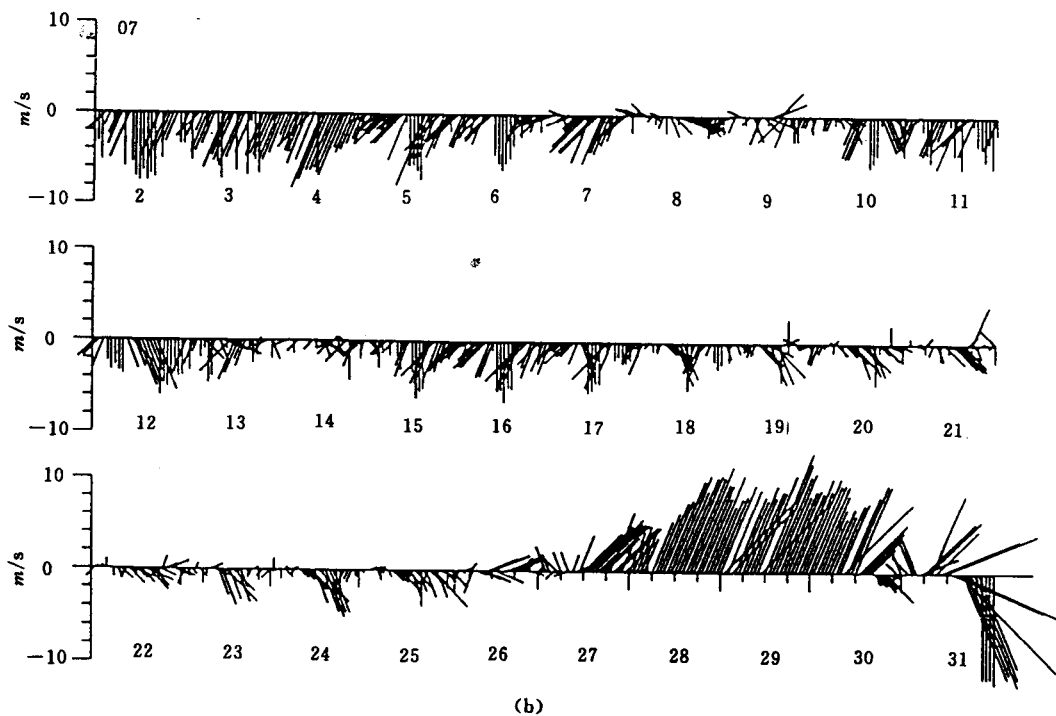
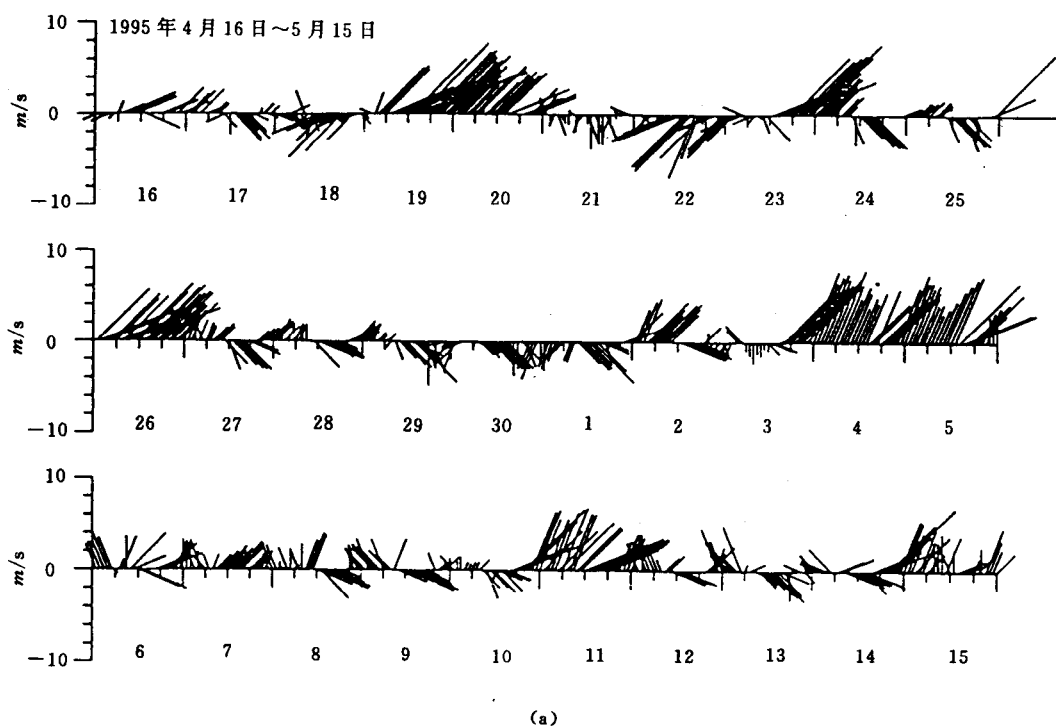
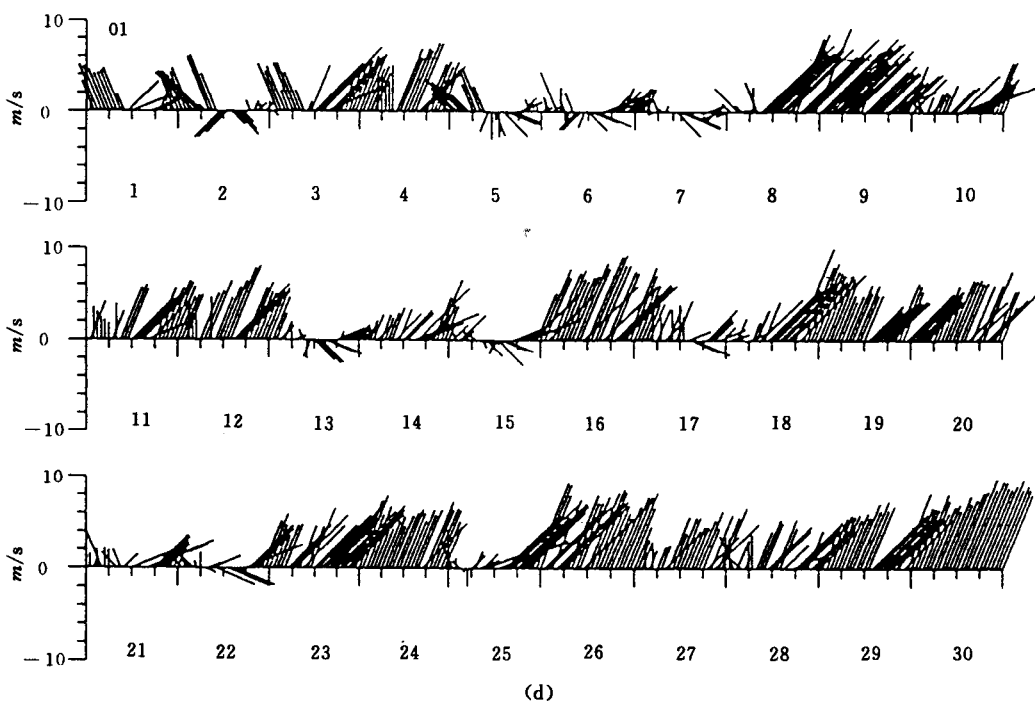
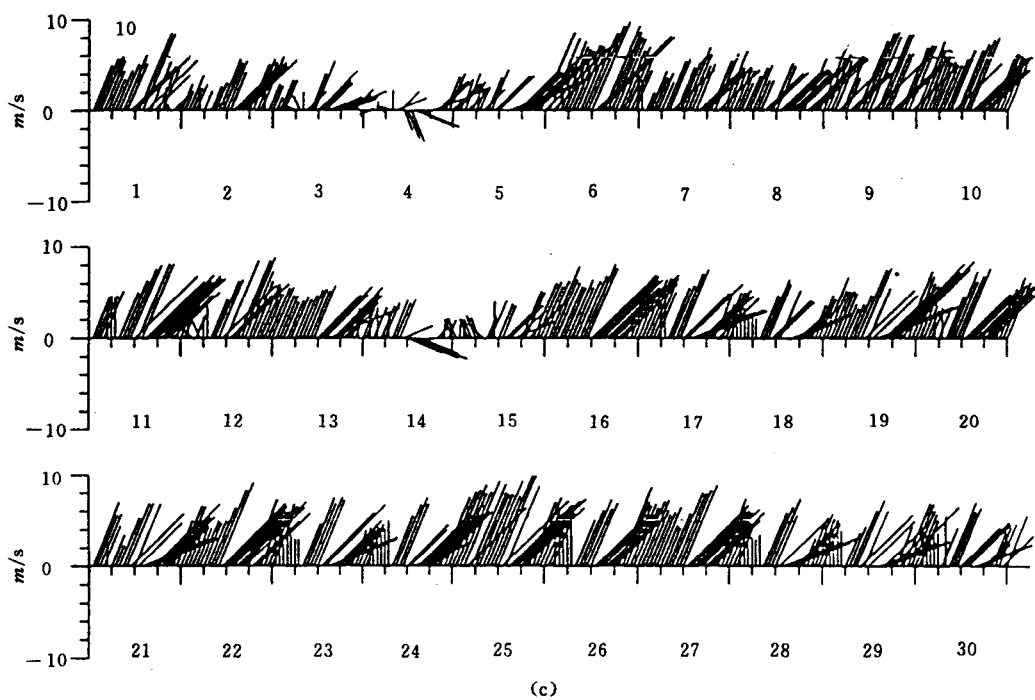


图3 气象塔逐时风向变程图



续图 3 气象塔逐时风向变程图

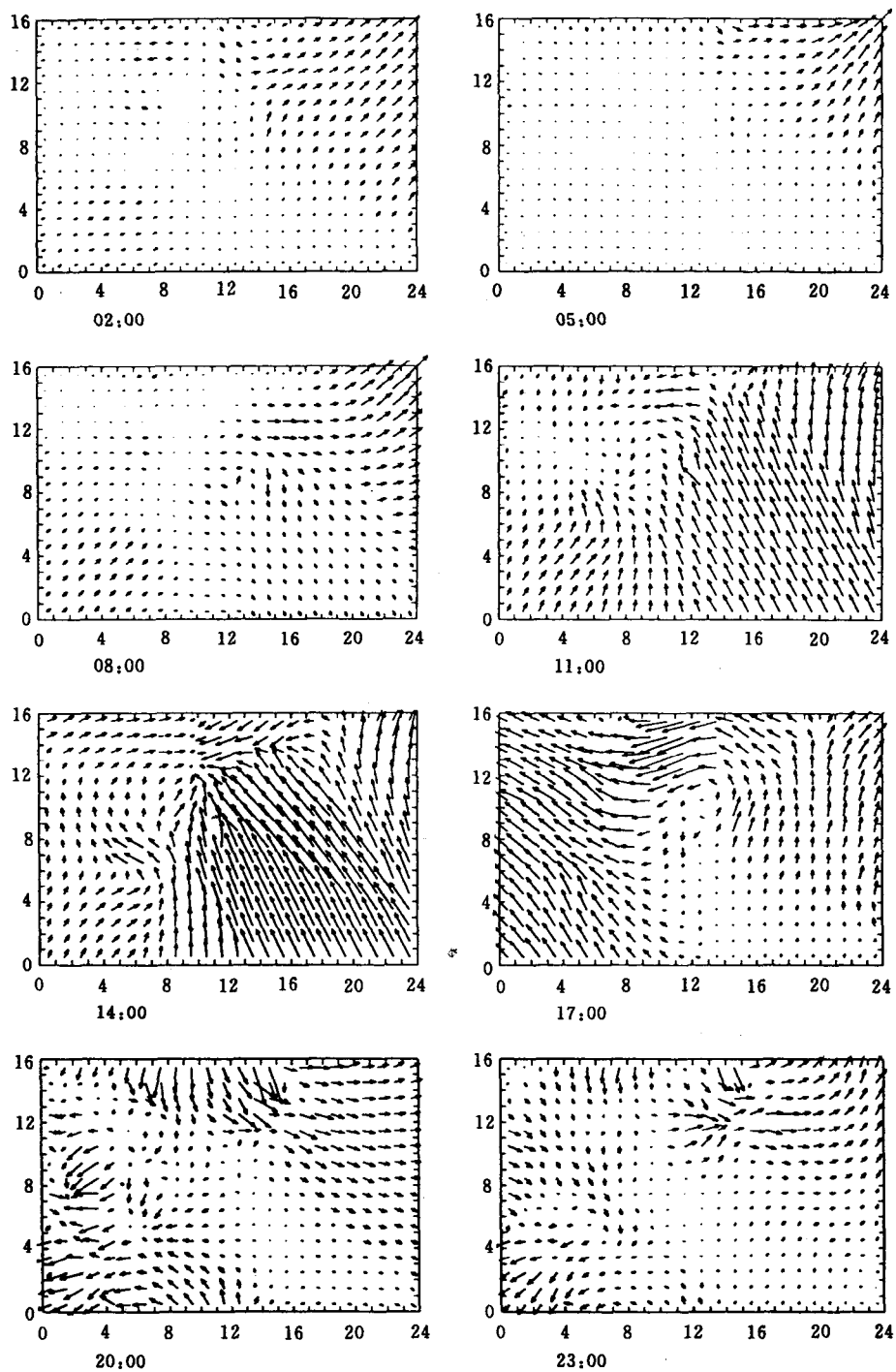


图 4 a 夏季海陆风的水平风场个例

1995 年 7 月 21 日, $\rightarrow$ 2 m/s, 高度: 10 m, $\sqcup$ 10 km。

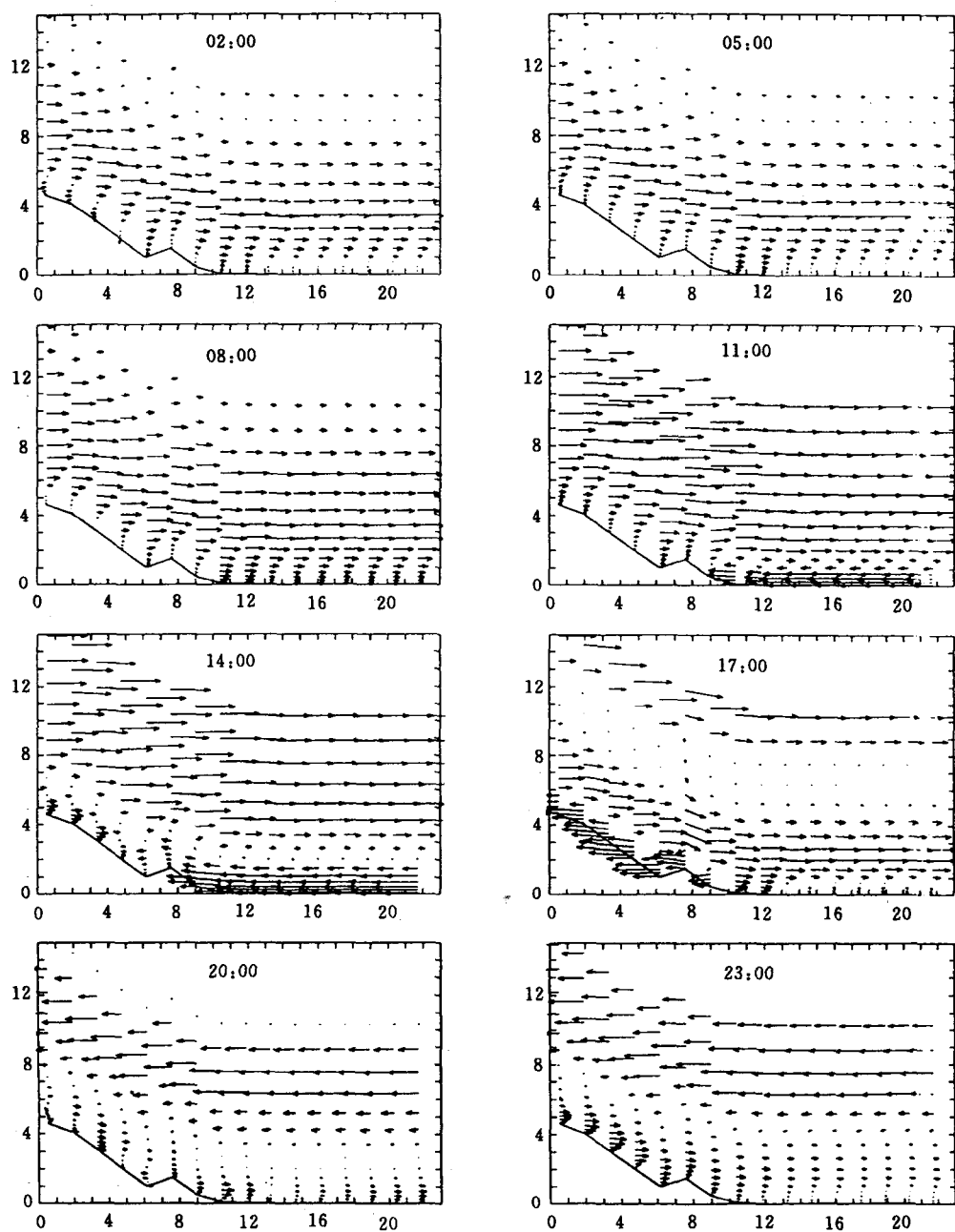


图 4 b 风场垂直剖面

1995 年 7 月 21,

↑ 0.2 m/s
→ 2 m/s

(3) 海陆风事件日的频数

惠安厂址所在地区海陆的热差及山地和平地的热差使得中尺度风场的扰动和日夜演变是通常的现象。除了海陆风之外,上下坡风和山谷风也可使污染物出现往复搬运。为此我们规定有污染气象学意义的“海陆风事件日”并统计其出现频率,其充分必要条件如下:

(a) 以气象塔逐时资料为准,白天出现 SE、ESE、E、ENE 风向 4 h 以上,其中至少有 3 h 为持续出现;日夜风向有达 90° 的变化或夜间地面风速小于 2 m/s,风向不定。

(b) 日间沿岸带呈均匀向岸流至少持续 3 h。

(c) 以惠安厂址为源地的污染物向岸和离岸输送交替出现并在陆域至少出现一次返回输送;或虽然在解析区陆域未见返回但输送轨迹曲折停滞,并最终沿同一地带越出边界。

以上从污染物输送扩散观点做规定,实用意义明确。但是并不意味着所有事件日的风场都属于气象学上具有上下反向气流的典型海陆风。

表 1 列出各代表性月“海陆风事件日”的出现频数和频率。为了对各种流场类型出现频率(数)有一个全貌了解,其他类型也同时给出。其中 1, 4, 7, 10 月的频数按上列指标综合判断得到,其他月份只靠单站记录分析得出。表列数据表明,各季节中尺度风场的类型比较单一。除了系统风之外,海陆风流场的出现频率较高,是核电厂事故工况下应关注的气象条件。

表 1 “海陆风事件日”和其他风场类型的频率(频数)*

日 期	海陆风	偏北风	偏南风	其 他
1995-04-16~30	7 (47)	5 (33)	3 (20)	0 (0)
1995-05-01~15	7 (47)	6 (40)	0 (0)	2 (13)
1995-07	11 (36)	0 (0)	15 (48)	5 (16)
1995-08	15 (48)	2 (7)	10 (32)	4 (13)
1995-10	2 (7)	29 (93)	0 (0)	0 (0)
1995-11	4 (13)	26 (87)	0 (0)	0 (0)
1996-01	9 (29)	22 (71)	0 (0)	0 (0)
1996-04-01~15	2 (13)	13 (87)	0 (0)	0 (0)

* 其他类型包括夏秋季台风和系统性风过渡;括号中为频率%

1.2.4 大气污染物的中尺度散布

(1) 海陆风日的输送

从 43.5 m 高的逐时水平风场线性内插为 20 min 间隔的风场数据再计算污染物的轨道,用以揭示大气污染物的中尺度的输送行为。该高度可近似代表一般核电厂烟云的有效高度,也与地面高度接近。

图 5 是几个海陆风日的输送轨道。各轨道起点在惠安厂址,隔 3 h 的到达位置以一小“×”号标识,轨线最多延续 72 m。各轨线终点以 A, B, C, D, ..., U, V, W, X 标示 01, 02, 03, 04, ..., 21, 22, 23, 24 各释放时刻。图 5a, 5b 是 7 月 21 日和 22 日的情形。该两日处于逐日重复出现海陆风期间。21 日夜间污染物排放后随很微弱的离岸流向南移动。上午至午后随海风的进入折向西北偏西方向输送,入夜随山风的出现向相反方向运动,

至次日海风或谷风出现又再次向山里输送。这批示踪物进入内陆最初阶段基本上沿晋江西溪河谷,往返区域即在西溪中上游。22日的输送行为与21日大体相同。此例代表夏季海风风速较大而陆风较小的中小尺度流动状况。影响位置主要在晋江西溪和东溪流域的河谷和山区。

图5c是冬季海陆风日的代表性扩散图象。此例当日午前为西北风,午后转向NE、ENE,入夜转回NW和NNW,并于次日中午由SW转向SE。最初的排放物以稍高速度向东南方向外海输送,随着午前偏东风的出现转向陆地。入夜以后陆域风向也转为NW下谷、离岸方向,但是风速小,导致污染物只返回到海岸带附近,于次日又随海风的发生再次返回陆地。午后排放的污染物即直接向陆地输送,参与上述往复搬运。冬季夜间离岸流速度相对大,各轨道盘旋扩散的区域偏南。

图5d是春季海陆风日的输送。本例有春季海陆风日输送的代表性,表现出海风时段偏东风较强,而夜间下谷风分量弱,甚至经常仍是偏东风的输送特征。这时污染物在河谷中停滞盘旋的事件相对较少,主要沿晋江西溪河谷溯流而上,受影响地段很集中。

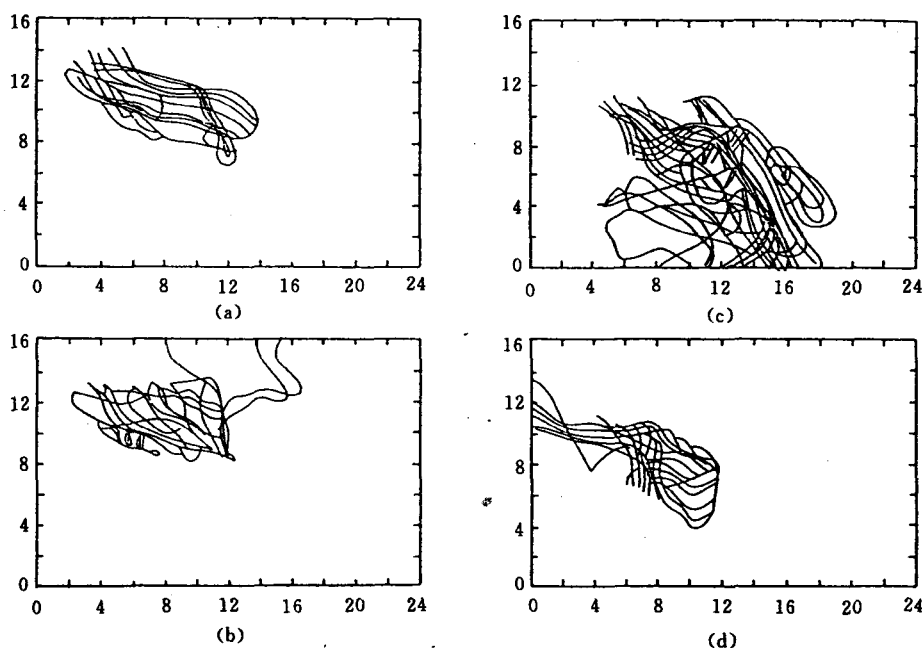


图5 海陆风事件日的污染物输送轨道

- (a) 1995年7月21日各时刻起 (b) 1995年7月22日各时刻起
(c) 1996年1月1日各时刻起 (d) 1995年4月27日各时刻起

Z: 43 m, 10 km

(2) 季节性的散布特征

图6给出模拟的污染物到达位置的散点图,用来表征各季节污染物的散布区域。由图可见,各季节散布范围十分好地表现了上述的海陆风事件日与盛行风日的叠加。其特征可概括为:春季,污染物顺泉州湾进入晋江西溪河谷,其次是厂址西南的厦门市和西北的莆田一带;夏季,散布在厂址以北,大部分经莆口、仙游一带,然后进入木兰溪并往上进入

上游的山谷, 散布到南边的情况极少; 秋季, 散布在厂址西南向, 包括泉州湾口-厦门市-漳州市海岸沿线, 并有相当一部分拐向九江下游谷地和平原, 到达莆田和外海的情况没出现; 冬季和秋季的形势大体相同, 不过散布范围较宽, 到达晋江西溪的机会多于秋季, 少于春季。偶尔也散布到外海。

综合四季节的散布形势不难发现, 一年中污染物的主要影响地域依次为厂址西南方向的海岸线方向, 晋江西溪中下游及上游山谷, 正北方向仙游-莆田一带(木兰溪中下游)及向西跨越晋江东溪上游。除正南方向的外海, 其他海域很少出现。

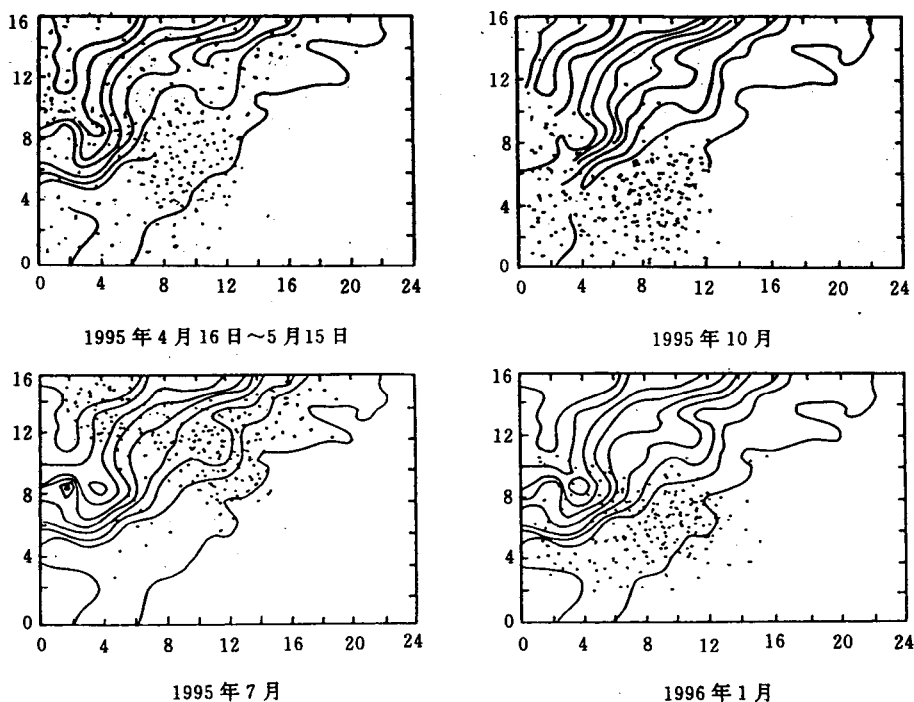


图6 各代表性月份污染物的散布范围

Z: 43 m, 10 km

1.2.5 海陆风成因分析

以上事实都一致表明闽南沿海地区边界层底部具有海陆风的向岸、离岸流日夜循环的特征显著, 出现频率高的特点。在系统性气流很强的日子, 向岸流分量也有鲜明的日变化。海陆热力性质差别是产生以上规律的原因之一。另一方面, 西北方向的陆域地势自西北向东南倾斜, 山地-平原(海面), 山顶-河谷因高度差势力驱动的山地-平原风、山谷风、上下坡风也会大大增强单一因子引起的海陆风。由此可以合理解释当地“海陆风事件日”频率高和冬季也可出现较多“海陆风”的原因。冬季资料分析指出, “海陆风事件日”几乎都出现于冷空气南下变性回暖的天气条件, 从背景上为冬季“海陆风”的出现提供了有力的佐证。

我们利用动力模式做了一系列不同地形和地表热状况的数值实验, 其中包括一边是海洋, 一边是不同坡度的陆地, 也包括经不同压缩高度的实际地形的情况。结果指出, 单纯由于海陆温差所产生的海陆风强度弱, 环流范围小。随着陆面高度升高, 环流强度的范围