

文章编号:1673-8411 (2014) 02-0046-06

# 珠海机场平流雾特征分析及预报

唐忠莲<sup>1</sup>, 黄 滢<sup>2</sup>

(1.航珠海空管站气象台, 广东 珠海 519040; 2.防城港市气象局, 广西 防城港 538001)

**摘要:**通过对一次影响珠海机场航班调控和飞机起降的平流海雾过程进行天气形势、温湿条件、风廓线特征分析,结果表明:(1)850hPa以下持续暖湿平流是平流雾形成的基础;(2)近地层逆温及中低层多层逆温的温度层结和近地层的饱和湿层,以及适宜的地面风场是形成平流雾的有利条件,夜间的辐射冷却加强了贴地层大气的饱和度和形成平流雾;(3)风廓线资料分析表明边界层内东南~偏南风场保证了暖湿平流条件,而近地层偏北风干冷平流入侵并出现下沉气流、逆温层被破坏使雾趋于消散。

**关键词:**平流雾;特征分析;预报

中图分类号:P457

文献标识码:A

## Forecast and feature analysis of advection fog appearing in the airport of Zhuhai

Tang Zhong-lian, Huang Ying

(1.Zhuhai Aviation station Meteorological Observatory, Zhuhai Guangdong 519040;

2. Fangchenggang Municipal Meteorological Service, Fangchenggang Guangxi538001)

**Abstract:** Based on an impact of zhuhai airport flight control and aircraft take-off and landing of the weather situation for the process of sea advection fog, temperature humidity conditions, wind profile characteristics analysis, the results show that: (1) below 850 hPa continued warm wet advection is the basis of the advection fog formation; (2) the surface layer of inversion and the lower layers of inversion temperature stratification and nearly saturated wet layer formation, and suitable the ground wind field is the favorable conditions of forming advection fog, radiation cooling strengthened the ground layer in the night by the saturation advection fog atmosphere; (3) the wind profile data analysis showed that the southeast toward south wind field in the boundary layer ensure the conditions of warm wet advection, in the recent formation toward north dry wind invasions and sinking airflow appearance, the inversion layer was damaged to the fog dissipation.

**Key Words:** advection fog; analysis of characteristics; forecast

## 1 引言

雾是指大量微小水滴或冰晶微粒悬浮在大气中,使水平能见度小于1000m的天气现象<sup>[1]</sup>。平流雾是暖而湿的空气流经冷的地表面,或者海洋上暖而湿的空气流到冷的大陆上,贴近下垫面的空气冷却凝结而形成的雾。平流雾具有日变化不明显、来去突然、浓度大、维持时间长等特点,对航班调控和飞机起降影响很大<sup>[2]</sup>。珠海机场背山面海,春季常常受

平流海雾的影响,当珠海机场能见度低于600m(跑道视程低于550m)时,航班无法起飞,低于800m时航班无法降落,处置不当极易造成飞行事故。

平流雾的形成需要适宜的平流条件、冷却条件和湿度条件。平流雾的发生受到当时的天气系统、温度、湿度、风、大气成分等诸多条件的影响,与大气边界层结构及热量传导、辐射、平流、湍流、凝结、蒸发等相互作用种种因素密切相关<sup>[3]</sup>,形成的过程十分复杂,其物理机制尚未完全清楚,发生的空间和对

收稿日期:2013-11-18

作者简介:唐忠莲(1965-),女,主任工程师,从事航空气象预报工作。

间变化也很大,只要有适当的风向风速和雾源,生成于海面上的雾团就会随风移来而形成平流海雾。由于局地性雾的监测手段有限,观测资料的时空分辨率低,海上也没有常规气象资料可用;卫星云图对于局地性的精细化预报它的时空分辨率不够,垂直结构也难以体现,还往往被上层云遮挡,很难发挥作用;数值预报产品对于地面和边界层中小尺度物理过程描述的分辨率不够,不能准确地诊断雾。这种种的原因使得平流雾的预报困难重重。近年来不少学者进行了大量观测研究<sup>[4-12]</sup>,统计了雾的气候特征,提供了一些对预报业务有参考价值的方法。平流雾一般预报方法<sup>[13-15]</sup>,主要包括天气图分析、数值预报产品、地面要素、探空资料、卫星云图和雷达资料,加上预报员的经验。由于各种方法皆有其局限性,发展综合多源探测资料的天气监测和预报技术是未来天气业务中的重要方向。平流雾形成的前期条件是属于天气尺度的,但起显著作用的是中尺度或小尺度的过程。风廓线雷达资料对中小尺度的监测具有更多优势,美国、日本等已将风廓线仪组网并应用于气象业务当中<sup>[16]</sup>,在天气预报业务中如何分析和使用其资料成为我们面临的重要任务。

通过对 2 月 17~18 日天气形势、边界层内温湿风演变特征进行分析,找出珠海机场平流雾的天气预报着眼点,以利于做好平流雾天气下航班的气象保障服务工作。

## 2 珠海机场平流海雾特点

### 2.1 珠海机场平流海雾特点

由平流雾的定义<sup>[17]</sup>可知,平流雾形成的条件主要有两个:(1)暖湿空气与寒冷下垫面——地表之间有一定的温差,暖湿空气水平流经寒冷地表陆地或海面时,因暖湿空气受冷的地表影响,近地表气层的温度才能迅速降低,相对湿度不断增大而形成平流雾;(2)有适宜的风向和风速,使暖湿空气源源不断地流向冷的地面或海面,而且能产生一定强度的湍流,使雾达到一定的厚度。

珠海机场背山面海,西北为山,东南是海,春季常常受到平流海雾影响。当地平流海雾有以下特点:(1)具有很强的季节性。1~5 月份均有出现,2~4 月份最为常见。(2)生消迅速,日变化不明显,持续时间有短有长(几十分钟——几天),还常有反复。(3)局地性很强,有时覆盖整个机场;有时跑道一端跑道视程 2km 以上,另一端跑道视程只有 2~3 百米;有时

雾团在跑道上飘来飘去,导致跑道视程时而在标准之上,时而低于标准,甚至出现能清晰看到跑道上方即将降落的航空器,而飞行员却无法看到跑道而复飞或备降的情况,给管制指挥和飞机起降带来很大困难,严重威胁飞行安全。当平流海雾伴有低云和毛毛雨时,危害更大。

影响珠海机场的平流雾常见天气形势有:(1)入海变性高压西部;(2)西南低槽东部;(3)静止锋、冷锋前。

地面风一般为偏东风,最多见是  $60^{\circ}$ ~ $150^{\circ}$ ;风速 1~7m/s 均可出现,3~5m/s 比较多见。比较稳定的 2~4m/s 的东南风,往往使能见度变得更糟,风速增大到 5m/s 或以上或转北风时,有利能见度好转。受局地风场的影响也十分明显,一般来讲东北风时北头 23 跑道能见度较差,东南风时南头 05 跑道会更差,这可能跟地形有关系。

当气温在  $13^{\circ}\text{C}$ ~ $20^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 90%以上时有利于大雾出现。

## 3 2014 年 2 月 17 夜间~18 日平流雾过程分析

### 3.1 2 月 17~18 日平流雾过程概况

从自动观测记录的数据发现,2014 年 2 月 17~18 日的平流海雾过程能见度变化在珠海机场范围内具有明显的空间分布的局地性和时间分布的不连续性。在北头(23 跑道)能见度从 17 日 21:16 时开始迅速下降,到 22:00 时跑道视程降至 500m 以下,然后在大雾维持 2 两个半小时之后的 23:43 时跑道视程上升到 1.0~1.9km,在 00:28 时再次下降,最低降至 200m,直到 10:30 以后才上升到 800m~2100m 之间波动,12:30 以后稳定在 1000m 以上,相关要素变化情况见图 1。南头(05 跑道)的能见度要好得多,只在 18 日 01:30~09:10 时跑道视程下降到 800m 以下,最低到 225m,09:10~09:42 时在 700m~1400m 之间波动,09:42 以后稳定在 1000m 以上。

气温在雾的生成阶段下降,从  $18.9^{\circ}\text{C}$  逐渐下降到  $16.8^{\circ}\text{C}$ ;在雾的维持阶段,当温度上升时能见度一般也随之有上升的趋势;在雾的消散阶段上升,10:30 时上升到  $18.6^{\circ}\text{C}$ ,13:00 前后上升到  $21.4^{\circ}\text{C}$ (是全天的最高温度),之后因冷空气影响气温降低。

相对湿度在大雾过程前从 86% 逐渐上升到 94%,大雾过程中维持在 96%~99%(温度露点差在  $0.64^{\circ}\text{C}$ ~ $0.16^{\circ}\text{C}$ ),11 时以后湿度逐渐下降到 85% 以下,

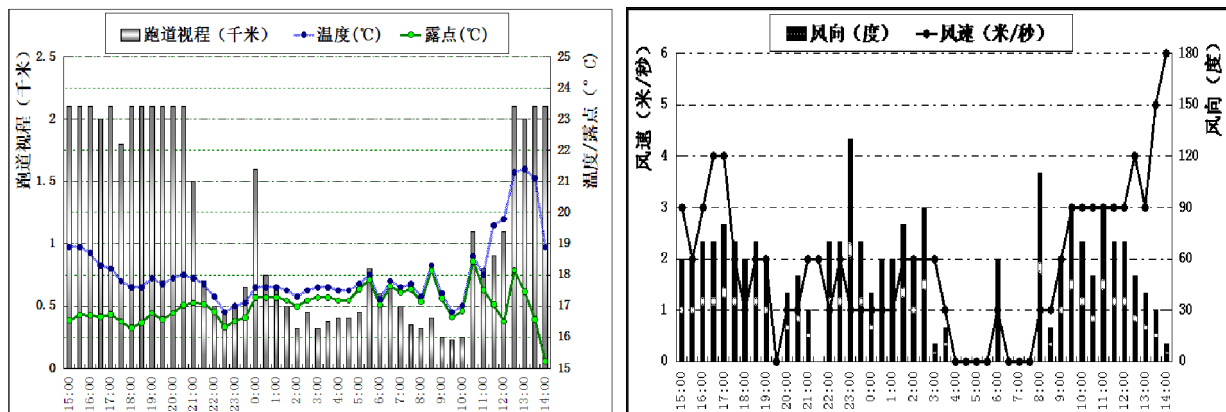


图1 2014年2月17-18日珠海机场北头(23跑道)的自动观测半小时要素图

与能见度变化有较好的一致性。

大雾过程前,风向在 $60^{\circ}$ 左右,风速多在 $1\sim 4\text{m/s}$ ;大雾维持过程中风速较小,为 $0\sim 3\text{m/s}$ ,风向多为 $20^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ;大雾消散后转为逐渐增大的偏北风。

另外,需要指出的是,这一过程,邻近的澳门机场的大雾现象与跟珠海机场较为一致,17日21:05起雾,18日13:10消散;而周边的香港、深圳机场只是18日早上才出现短暂的雾且并未覆盖全部跑道,航班基本未受影响。说明此次大雾也具有区域差异较大的特征。

### 3.2 天气形势分析

雾的生消首先由大尺度环流决定<sup>[18]</sup>,形势场分析是平流雾预报的第一步,一旦出现适宜的形势场配置就进入警戒状态。珠海机场有利于平流雾形成的500hPa形势通常是槽前、多波动的偏西-西南偏西风场或是弱脊控制;850hPa到925hPa多是西南-南-东南暖湿平流;地面是变性高压西部、西南低槽东部或静止锋冷锋前部。

2月17-18日的平流雾过程就是发生在冷锋锋前,从2月8日开始地面一直处于冷湿气团的控制造成冷而湿的下垫面,而后从15日开始850hPa以下持续的暖湿平流造成水汽输送和低层逆温,高空脊后槽前西南偏西风场控制形成稳定层结。这种环流背景有利于雾的形成和发展。

各层形势场演变过程:

地面形势分析:2月8日冷锋过境后持续受冷高脊控制。15日冷高中心入海,低压倒槽发展。17日北方冷空气南下,倒槽锋生并南压,华南沿海一带受锋面倒槽控制,珠海机场处于锋前暖区。随后冷锋缓慢南压,至18日14:25冷锋过境转偏北大风。实况上从2月8日持续阴雨天气,只在14日白天短暂转

少云天气,到夜间又转阴天,云层低且厚,能见度下降到 $2\sim 5\text{km}$ ,此后一直维持着这样的天气状况。可见下垫面接收太阳辐射极少,下垫面是冷而湿的,气温升高主要是因为平流的因素。

925hPa形势:15日转高后东南偏东风,湿度接近饱和(选取离本场最近的高空站香港为参考点,下同),此后一直维持高湿状态;16日转东南-南风 $8\sim 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,温度持续升高;17日为槽前南风 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,华南沿海一带有高温舌从西南向东北伸展,升温总幅度达 $12^{\circ}\text{C}$ ,温度露点差在 $2^{\circ}\text{C}$ 以内。

850hPa形势:15日开始转受槽前强盛西南暖湿平流影响。17日华南沿海一带存在高温舌向东北伸展,切变线南压逼近两广,本场处于西南急流右侧下沉气流区。持续的暖湿平流使上空增温增湿明显,有利于水汽输送和形成低层逆温。

500hPa形势场:17日孟湾南支槽发展,同时北方冷温槽发展加深东移南下,珠海机场转脊后槽前西南偏西风场控制。

可见珠海机场上空15日后850hPa以下持续有来自南海的暖湿平流影响,特别是925hPa,始终保持比较大的湿度,而增温幅度相当大,达 $9\sim 12^{\circ}\text{C}$ 。暖湿空气遇到冷而湿的下垫面使贴地层大气降温逐渐达到饱和,并在近地面形成逆温层。加上整个气层的稳定层结,在冷锋前形成平流雾就不稀奇了。

### 3.3 温湿条件分析

平流雾的形成必须要有充足的暖湿空气,还要与地表之间有一定的温差。只有当暖湿空气与冷地表之间有较大温差时,近地表气层的温度才能迅速降低达到饱和而形成平流雾。同时,在近地表气层中形成平流逆温,就更有利于平流雾的形成。

根据海雾理论<sup>[19]</sup>,冬季,由于我国海区盛行东北



季风, 大陆沿岸存在一股自北向南的冷洋流, 受其影响, 南海沿岸近海的表层水温存在一个带状的冷水区域, 它有利于南海中南部平流来的暖湿气流迅速冷却, 当气流与海岸线有较大交角时, 有上升运动, 发生膨胀冷却, 常常形成海雾。在我国沿海地区, 当海洋上的暖湿空气流向较冷的海面或地面时, 常常形成平流雾。这种平流雾对珠海机场的影响十分明显。从前形势分析看, 珠海机场 2 月 17–18 日的平流雾过程恰好具备了这样的温湿条件和环流条件。850hPa 以下持续暖湿平流, 风向与海岸线有较大交角, 冷海面及冷地面, 这些都有利于平流雾发生。

天气图分析发现整个过程包括之前数天, 中低层水汽一直很充足, 850hPa 华南沿海相对湿度 80% 以上。从 15 日开始 850hPa 华南南部盛行暖湿平流, 出现西南急流; 16 日开始沿海一带出现大范围的正变温区, 升温十分明显, 24 小时达变温  $4^{\circ}\text{C}$ – $6^{\circ}\text{C}$ , 使低层温度层结发生巨变。可见大形势场温湿条件是有利的。

各层次温湿变化情况如图 2, 看到 2 月 16 日升温剧烈, 24 小时变温 850hPa 是  $6^{\circ}\text{C}$ , 925hPa 是  $7^{\circ}\text{C}$ , 地面  $5^{\circ}\text{C}$ 。从前期天气实况演变过程看到, 从 8 日开始的阴冷雨天一直持续, 只在 14 日白天短暂转少云天气, 到夜间又转阴天, 云层低且厚, 而且能见度也开始下降, 维持 2–5km 的轻雾天气。可见下垫面接收太阳辐射极少, 下垫面是冷而湿的, 当 925hPa 剧烈升温就极易在近地层形成逆温。而来自南海的水汽源源不断, 持续两天的轻雾使凝结核聚集有利于提高气层饱和度。图上也看到 925hPa 以下湿度很大。

利用探空资料可以分析温度湿度垂直分布情况。香港是距离本场最近的探空站, 通过香港探空

图看到, 16 日起 850hPa 以下出现两层逆温, 下层逆温底部逐渐降低, 上层逆温顶部向上伸展(图略)。17 日 08 时探空资料(图略)上看到, 近地层逆温在 162m (1000hPa)–555m (955hPa), 第二层逆温在 717m (937hPa)–1561m (848hPa), 第三层逆温在 2279m (778hPa)–3048 (709hPa)m; 在 1336m (871hPa) 以下气层接近或达到饱和状态, 2600m (746hPa) 以上很干燥。到 17 日 20 时, 下层逆温底部接近地面, 逆温层顶以下接近或到达饱和, 顶部以上湿度递减较快。可见层结条件是有利于雾的形成的: 整个大气层结稳定, 具有明显上干下湿的结构; 近地面逆温有利于近地面水汽积聚, 上层的逆温形成暖盖, 限制低层水汽向上传递; 在 955hPa 以下气层有  $10\text{--}17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的偏东气流有利于这种稳定层结的形成和加强。不能不说使用香港探空资料也有局限性, 它远离本场 100km, 时空分辨率低, 难于区分局地性雾的微小差别。事实上香港只在 18 日 08:30–13:00 出现了不均匀碎雾, 并未覆盖全部跑道, 各条跑道的跑道视程差别很大, 在 0.4–2km 之间波动。这说明雾分布不均, 或许有团雾隐藏其中。

从以上分析得到, 上空三层逆温结构保证大气层结稳定, 850hPa 以下持续暖湿平流, 地面与近地面层水汽充足, 空气湿度达到饱和或者接近饱和, 这样的温湿条件加上近地面层存在有利的湍流条件, 促使雾的发生。

### 3.4 风场特征分析

适当的风向和风速是平流雾形成的必要条件。适宜的风向和风速不但使暖湿空气源源不断地流向冷的地面或海面, 而且能产生一定强度的湍流, 使雾达到一定的厚度。

#### 3.4.1 大尺度流场特征

从天气图上我们看到, 17 日 08 时华南沿海 500hPa 是  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的西南偏西风; 700hPa 也是西南偏西风,  $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 850hPa 处于急流右侧下沉气流区, 吹  $4\text{--}8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  西南偏西风, 切变线南压逼近两广; 925hPa 图上看出, 温度梯度大, 但本场气压梯度弱(基本为均压场), 切变线在粤北, 香港吹  $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  偏南风(图 3); 在地面风场上, 本场处于辐合线附近, 辐合明显(图 4)。地面辐合线的维持有利于饱和湿空气在其附近聚集, 同时在其附近和南侧的偏南气流区产生浅层抬升。可以看到整个流场配置是稳定的, 只在近地层有辐合, 850hPa 以下都有暖湿平流从南海输送水汽。

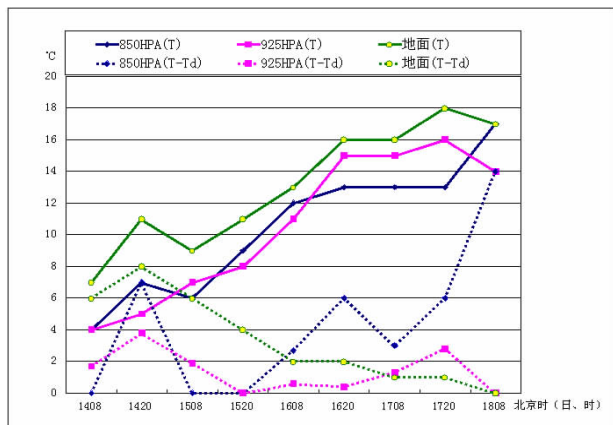


图 2 珠海机场地面、香港 925 及 850hPa 温度、温度露点差

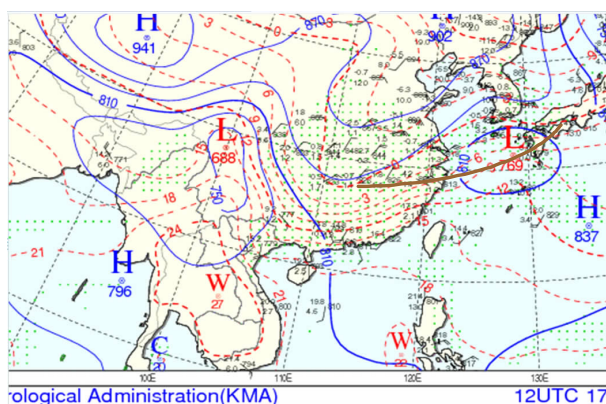


图3 17日20时925hPa天气图截图(绿色区域为温度露点差 $<2^{\circ}\text{C}$ )

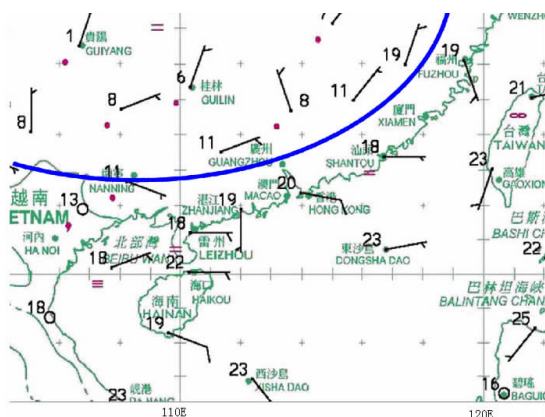


图4 17日20时地面风场(形势场上是锋面倒槽)

### 3.4.2 边界层风廓线特征分析

雾的发生发展除了受大尺度流场影响,往往还受边界层内中小尺度系统影响。多普勒雷达远在90km之外,对于边界层内风场鞭长莫及。我们试着用珠海机场的风廓线雷达资料进行中尺度的分析。

风廓线雷达是以晴空湍流为探测对象的新型测风雷达,可以连续提供大气水平风场、垂直气流、大气折射率常数等要素随高度和时间的变化,具有很高的时空分辨率,是对常规探空观测的有力补充,在中小尺度天气系统的监测和研究方面具有特殊优势<sup>[20]</sup>。本文采用珠海机场的四创公司802边界层风廓线仪获取的水平风、垂直气流和大气折射率常数等观测资料分析边界层中小尺度特征对雾所起的作用。

水平风的廓线特征(图5):17日20时以前1200m以下均为东南风。到17日20:30时近地层转东北-东风,500m以下风向随高度顺转,500m至1200m高度从东南风转为南风,风速 $6\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。说明东南及偏南气流从海上为低层输送了较多水汽。风

向垂直切变层基本上都在500m的高度上下,说明此层湍流较强,将上层水汽向下输送。在1400m以上西南风风速增大且高度逐渐降低,说明暖湿平流加强且向下传递。在雾的维持阶段,风向随高度基本上是东-东南-南-西南顺时针旋转,保证了平流条件。18日09:00时400m以下开始转东风,低层一小切变线过境。到09:30时500m以下转为北-西北风,风随高度逆时针旋转,表明有冷平流入侵,而500m以上转为一致西南风,破坏了暖湿平流和近地层逆温条件。到10:30大雾基本消散了。

垂直风廓线分析(图略):17日20时以前1100m以下有微弱下沉气流,可以认为是积聚水汽的阶段。弱下沉运动限制边界层之上的混合作用,形成下沉逆温(对应20时香港探空图上看到820hPa以下有逆温-等温层)。从17日20:30时近地层开始出现上升气流,高度逐渐升高,可以认为是湍流混合阶段。2030时300m以下出现 $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的正速度,到21:30时800m以下出现 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的正速度,22:00时1100m以下出现 $0.5\sim 1.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的正速度。上升气流抬升逆温层和饱和层高度。其上为极小量级的下沉气流,产生小尺度的辐合。说明在雾的生成阶段,近地层大气处于弱的不稳定状态,雾是在弱的湍流条件下形成的。在22:30以后各层未见超过 $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的垂直运动,说明湍流停息时,有利于雾的发展。18日09:00时以后相反,900m以上出现上升气流,其下是微弱的下沉气流,产生小尺度辐散。

折射率结构常数 $\text{Cn}^2$ :主要受湍流强度和水汽分布的影响。从 $\text{Cn}^2$ (图略)垂直分布上看,最大值一直保持在250m的高度,但水平风切变和垂直风速最大值并不出现在此高度层,因而此层的湍流强度不是最大,说明在该高度为一个最大湿层; $\text{Cn}^2$ 值最

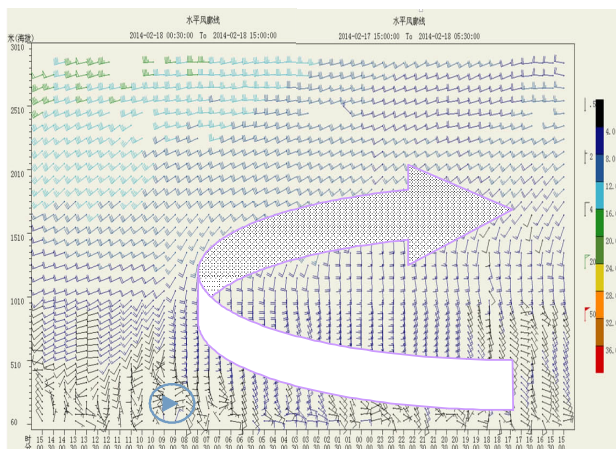


图5 水平风廓线半小时图



大阶跃在 1000m 高度, 对应于对流边界层顶。 $C_n^2$  随时间变化特征: 在雾的持续时段  $C_n^2$  值较小, 由前面的分析我们知道, 整个过程水汽供应都比较充足, 说明是因受稳定的大气层结的抑制作用使湍流强度较弱而造成的。

## 4 珠海机场平流雾预报着眼点

(1) 满足大雾产生的弱天气形势:

高空形势: 500hPa 形势通常是槽前、多波动的偏西-西南偏西风场或是弱脊控制。低层 850hPa 形势: 西南-南或东南风暖湿平流。地面形势: ①入海变性高压西部; ②西南低槽东部; ③静止锋前或冷锋前。

(2) 平流条件: 要有适宜的风速和风向。对珠海机场而言, 为东南风 1~7m/s。850hPa 以下持续有来自南海的暖湿平流影响。

(3) 温湿条件: 暖湿空气与下垫面之间有较大的温差近地表气层的温度才能迅速降低达到饱和而形成平流雾。

(4) 层结条件: 较稳定的层结及近地层的逆温是平流雾预报的一项重要指标。

(5) 垂直条件: 边界层低层弱的上升气流及上层弱下沉气流形成的小尺度辐合是有利于雾的生成。

从南海中南部平流来的暖湿气流遇到冷的海面与更冷的陆地, 在夜间辐射冷却作用下逐渐达到饱和后形成, 是比较典型的平流辐射雾。

## 5 结论

(1) 平流雾的预报首先要根据天气图和数值预报确定可能发生平流雾的天气形势, 再利用地面要素、探空资料、卫星云图和雷达等多种资料综合分析温湿风的三维演变过程是否有利于平流雾形成发展。

(2) 2 月 17-18 日的平流雾发生在冷锋锋前, 850hPa 以下持续暖湿平流是形成平流雾的基础, 近地层逆温及中低层多层逆温的温度层结和上干下湿的湿度层结及适宜的地面风场是形成平流雾的有利条件。随着冷空气南下, 近地层的逆温结构被破坏, 雾慢慢抬升成低云。

(3) 风廓线雷达资料分析表明: 边界层内东南-偏南风场保证了暖湿平流条件, 而近地层偏北风干冷平流入侵是雾消散的主要因素; 边界层低层弱的上升气流及上层弱下沉气流形成的小尺度辐合是有利于雾的生成的, 而在雾的维持阶段湍流减弱或停

歇, 在雾的消散阶段则是低层出现下沉气流和小尺度辐散。

致谢: 本文的写作得到成都军区空军气象中心张杰教授的精心指导和帮助, 在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 蒋静, 凌宗良. 防城港市大雾气候特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (4): 18-21.
- [2] 周建华. 航空气象业务. 北京: 气象出版社, 2011.
- [3] 赵鸣, 苗曼倩, 王彦昌. 边界层气象学教程. 北京: 气象出版社, 1991.
- [4] 邓英姿, 胡宗煜, 黎颖智. 2008~2011 年南宁冬春季雾天气特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (1): 21-23.
- [5] 李生艳, 周能, 苏洵. 广西大雾天气的气候及环流形势特征 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (4): 14-17.
- [6] 陈元昭, 彭勇刚, 王明洁, 等. 深圳大雾的气候统计及特征分析 [J]. 广东气象, 2008, 30 (5): 26-32.
- [7] 屈凤秋, 刘寿东, 易燕明, 等. 一次华南海雾过程的观测分析 [J]. 海洋气象学报, 2008, 24 (5): 490-496.
- [8] 严文莲, 濮梅娟, 王巍巍, 等. 一次罕见的辐射-平流雾研究 (I) ——生消物理过程分析 [J]. 气象科学, 2009, 29 (1): 9-16.
- [9] 潘杰丽, 潘静, 谢仁忠. 钦州市一次春季连续性大雾气象特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (1): 45-47.
- [10] 李萍, 刘峰. 广州白云机场一次罕见浓雾的成因 [J]. 广东气象, 2010, 32 (1): 22-24.
- [11] 钟加杰, 刘峰. 华南春季一次锋面大雾的边界层特征 [J]. 广东气象, 2000, (1): 2-4.
- [12] 高建秋, 肖伟生. 北京地区一次持续性大雾的宏观物理特征 [J]. 广东气象, 2009, 31 (2): 10-14.
- [13] 郭秀英. 华南沿海春季海雾与天气型关系的统计分析及预报 [J]. 广东气象, 1991, (1) 25-28.
- [14] 宋润田, 金永利. 一次平流雾边界层风场和温度场特征极其逆温控制因子的分析 [J]. 热带气象学报, 2001, 17 (4): 443-451.
- [15] 黎颖智, 邓英姿, 刘世学, 等. 广西高速公路雾预报系统设计与实现 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (3): 43-46.
- [16] 张小文, 郑永光, 吴蕾. 风廓线雷达资料在天气业务中的应用现状与展望 [J]. 天气预报, 2013, 5 (6): 1-8.
- [17] 黄继雄, 窦利军. 首都机场平流雾特征分析与预报 [J]. 气象科技, 2011, 39 (1): 50-55.
- [18] 邓英姿, 李勇, 等. 广西沿海地区大范围雾气候特征与天气形势分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (4): 20-22.
- [19] 孙安健等. 海雾理论 [M]. 北京: 气象出版社, 1985.