

灾害性天气过程中气象要素 小尺度水平梯度分析

张 蕾 毛 夏

(广东省深圳市气象局, 518040)

提 要: 利用深圳机场跑道两端气象观测资料,统计了气象要素年平均小尺度水平梯度变化,并选择4个典型灾害性天气过程,分析不同天气条件下水平梯度变化的特征。两站气象观测记录的年平均值在探测精度范围内是相等的,标准差、偏度系数、峰度系数等的变化一致。年平均水平气压梯度为 0.0064hPa/km ,温度年平均水平温度梯度为 0.035°C/km ,年平均水平风速梯度 $1.1\times 10^{-4}/\text{s}$ 。飑线过程中水平气压梯度可达年均值的170倍以上,水平温度梯度最大 0.6°C/km ,风速最大相差 8m/s ,相当于 $5.3\times 10^{-3}/\text{s}$ 的水平风速梯度;强对流过程中气象要素及其水平梯度变化与飑线过程的基本一致;连续暴雨过程可以出现 0.15hPa/km 水平气压梯度、 0.5°C/km 水平温度梯度以及 90° 的风向偏差等稳定持续10小时的现象;冷空气影响期间 0.1hPa/km 的水平气压梯度可以持续30小时以上。

关键词: 灾害性天气 气象要素 小尺度 水平梯度

Analysis on Micro Scale Horizontal Gradient of Meteorological Elements in Disastrous Weather Cases

Zhang Lei Mao Xia

(Shenzhen Meteorological Observatory, Guangdong Province 518040)

Abstract: The data obtained at both ends of runway at Shenzhen airport is used to analyze the micro scale horizontal gradient variation, and four typical disastrous weather cases were chosen to do the detail analysis. It was found that the annual mean horizontal gradients of pressure, temperature and wind speed are 0.0064hPa/km , 0.035°C/km and $1.1\times 10^{-4}/\text{s}$, respectively. In the case of a squall, the longitudinal horizontal gradients of pressure, temperature and wind speed are 1.2hPa/km , 0.035°C/km and $5.3\times 10^{-3}/\text{s}$, respectively and the minus horizontal gradient of temperature and relative humidity maintained over 45 minutes until the squall reached. In the

case of thunderstorm the horizontal gradient of each element is similar to the case of squall, but no minus horizontal gradient of relative humidity occurred. In the case of continuous heavy rain, the 0.15hPa/km pressure gradient and 0.5℃/km temperature gradient and 90° wind direction difference were maintained over 10 hours. When a cold air arrived, the temperature and pressure gradient would reverse, but relative humidity gradient would keep invariable, and the gradients would last until the end of process.

Key Words: disastrous weather meteorological elements micro scale horizontal gradient

引 言

台风、暴雨等灾害性天气可以对生命、财产、环境以及来之不易的发展成果构成严重的影响^[1],伴随城市化、环境退化、气候变化、稀缺资源竞争、经济全球化等问题使得脆弱程度的加深,灾害风险日趋严重,识别、评估和监测灾害风险和加强预警已成为全世界减灾行动的重点。

灾害性天气通常都与中小尺度系统密切相关^[2],但中小尺度的短时临近预报却是个十分困难的问题,既受制于缺乏高时空分辨率的观测系统,也受制于缺乏基础性机理研究的重要突破。朱乾根等^[3]1992年提出了地面观测“大网套小网”的建网方式,即在大尺度观测网中布置中尺度观测网,再在中尺度观测网中布置若干个小尺度观测网。深圳市气象局参照以上方式,1995年开始在深圳1953km²区域范围内布置了由45个自动气象站(以下简称自动站)组成,空间分辨率为6.5km,时间分辨率为1小时的中尺度观测网。经过10多年的不断完善,截止2007年底,自动站总数已超过120个,空间分辨率提高到4.0km,时间分辨率提高到1分钟,并与深圳机场的小尺度观测系统相结合,构成了业务化运行的大网套小网观测系统。

深圳的复杂地形和快速城市化导致自动站观测结果中,既有天气系统变化的信息,也有局地气象要素特殊变化的反应,从而使中

小尺度要素场分析,因剔除局地因素的复杂性而变得相当困难。本文尝试利用深圳机场相对均一下垫面的小尺度观测资料,对灾害性天气过程中气象要素小尺度水平梯度进行初步的分析,探讨水平梯度变化在短时临近预报中可能的应用,并期望成为下一步开展中小尺度要素场分析工作的基础。

1 资 料

深圳机场位于深圳市的西部,珠江入海口的东岸。除偏东方向约3km处有个高100m左右的山体外,机场四周相对空旷。机场气象观测系统沿154°方向设在跑道两端,南端自动站(AP1)与北端自动站(AP2)之间相距1783m,采用Vaisala生产的MIDAS机场气象观测系统,观测精度符合WMO-No. 8^[4]规范要求。本文采用AP1、AP2两站,2005—2006两年,每3分钟一次的6要素(温度、湿度、气压、雨量、风向、风速)观测资料。

2 气候分析

表1给出了AP1、AP2自动站各要素整年观测结果的气候统计,平均数说明分布的位置量数^[5],标准差表征分散量数,同时用偏度系数

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$$

和峰度系数

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3$$

分别表示分布的偏态和峰态,式中 μ_3 和 μ_4 分别是三次中心矩和四次中心矩, σ 为标准差。

表 1 AP1、AP2 站 2005—2006 年气候统计

气象要素	单位	年份	自动站	资料组数	平均值	标准差	偏度系数	峰度系数
气压	hPa	2005	AP1	172590	1013.05	7.10	0.108	-0.796
			AP2		1013.04	7.09	0.108	-0.796
		2006	AP1	172839	1012.65	6.45	0.019	-0.363
			AP2		1012.63	6.45	0.020	-0.362
温度	℃	2005	AP1	172588	23.40	6.29	-0.634	-0.563
			AP2		23.36	6.30	-0.641	-0.554
		2006	AP1	172845	23.89	5.46	-0.642	-0.273
			AP2		23.80	5.51	-0.643	-0.282
相对湿度	%	2005	AP1	172582	71.14	15.35	-1.199	1.201
			AP2		72.67	15.74	-1.035	0.903
		2006	AP1	172840	71.20	14.07	-1.060	0.807
			AP2		73.88	14.18	-0.994	0.713
风速	m/s	2005	AP1	172707	3.42	1.80	0.483	0.119
			AP2		3.55	1.84	0.433	0.135
		2006	AP1	172843	3.35	1.87	0.712	0.945
			AP2		3.42	1.98	0.534	0.720

从表 1 气候统计可知,AP1、AP2 两站各气象要素在探测精度范围内相等,而且标准差、偏度系数、峰度系数的数值和年际变化一致,同时也说明两站设备之间的一致性很好,其观测结果的差值可以真实地反映气象要素的水平梯度变化。

各气象要素之间,气候统计结果还存在一些细微的差别。

气压是偏差最小的量,2005—2006 两年观测结果,换算成年平均水平气压梯度相当于 0.0064hPa/km,与“天气尺度上水平气压梯度的量级为 0.01hPa/km”的结论一致,由于深圳地处华南沿海,纬度低,水平气压梯度小于 0.01hPa/km 也是合理的。在年平均气压值偏低的 2006 年,台风等低压系统影响多,水平气压梯度会明显增大。气象行业标准(QX/T 1-2000)规定的气压测量分辨率是 0.1hPa,准确度是 0.3hPa,根据此标准,计算了两站之间观测结果大于测量分辨力的累计时间是平均每年 57.401 天,而大于测量准确

度的累计时间仅有 0.439 天,说明两站之间在 99.88%的时间里,气压测量结果应视为相等。两站之间最大气压差是 2.2hPa,相当于 1.2hPa/km 的水平气压梯度。

温度是偏差较小的量,换算成年平均水平温度梯度相当于 0.035℃/km,温度在平均值高的年份,水平梯度也增大,两站标准差之间的差别增大,年与年之间由于平均温度的不同,峰度系数会出现明显的变化,2005 年 AP1 的峰度系数小于 AP2 的值,2006 年则相反,偏度系数的变化规律基本保持一致。按照 QX/T 1-2000 标准,温度测量分辨率是 0.1℃,准确度是 0.2℃,两站之间观测结果大于测量分辨力的累计时间是平均每年 302.579 天,而大于测量准确度的累计时间仅有 210.449 天,说明两站之间在 42.34%的时间里,温度测量结果应视为相等。温度的局地变化明显高于气压。

相对湿度由于探测精度的原因,数据的水平差异较大,但各项统计值的变化趋势是

一致的。风速有相当明显的局地差异,换算成年平均水平风速梯度(南北方向)相当于 $1.1 \times 10^{-4}/\text{s}$ 。两站之间风速的标准差、偏度系数、峰度系数都不完全一致,说明机场周边地形对风有一定的影响。

3 过程分析

3.1 飚线过程

2005 年第 10 号热带风暴珊珊于 8 月 13 日中午 12 时 45 分在汕头市登陆,登陆时风暴中心最大风速 10 级($28\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),阵风 12 级,登陆后继续向西北偏北方向移动。受“珊珊”外围环流影响,8 月 13 日 16:20 开始,一次飚线过程影响深圳机场,图 1 给出飚线影响前后 3 小时测站的气象要素及其水平梯度变化。

从图 1 可知,飚线过境时地面气象要素出现急剧变化,最早变化的是气压,从 15:50 开始 30 分钟内涌升 1.8hPa;其次是风向,

15:55 开始 20 分钟内从 170° 连续稳定地顺转到 350° ,16:05 开始 15 分钟内风速从 $3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 攀升到 $22\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上大风仅持续约 5 分钟;在风速达到极大值前 3 分钟,开始急剧降温降湿,10 分钟内,温度降 9°C ,湿度降 8% 后急速上升 18%,同时伴有持续 15 分钟的强降水,最大雨强达到 $50\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$;大风结束后,约 50 分钟,各要素陆续恢复正常。

系统过境时,两站间气压最大相差 2.2hPa,相当于 $1.1\text{hPa}/\text{km}$ 的水平气压梯度,达到年平均水平气压梯度值的 170 倍以上,系统过境前会出现振幅达 0.8hPa 的水平气压梯度的波动;温度最大相差 1.1°C ,相当于 $0.6^\circ\text{C}/\text{km}$ 的水平温度梯度,达到年平均水平温度梯度值的 15 倍以上;风速最大相差 $8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,相当于 $5.3 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水平风速梯度,达到年平均水平风速梯度值的 80 倍以上;在系统过境前风向顺时针旋转期间,两站之间的风向差为稳定的负值,在系统过境后风向逆时针旋转期间,两站之间的风向差为

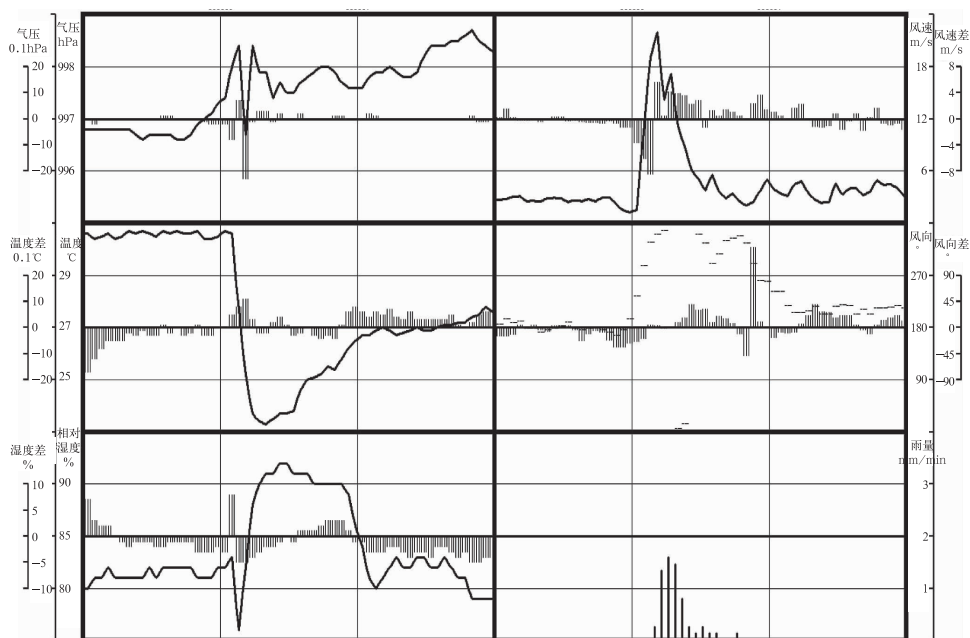


图 1 2005 年 8 月 13 日飚线过程中气象要素小尺度及其水平梯度变化

稳定的正值,风速 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,最大风向差可达 40° ,系统影响结束时,出现的最大风向差为 140° (当时风速 $3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

从风速、风向的水平梯度变化还可以粗略地判别出系统的移向和移速。这次过程中系统是由偏北向偏南方向移动,沿两站连线方向的移动速度约 20km/h 。

3.2 强对流过程

2005 年 5 月 6 日凌晨受高空槽和弱冷

空气影响,一次强对流天气过程经过深圳机场,出现强降雨、强雷电和短时大风。图 2 给出强对流影响前后 6 小时测站的气象要素及其水平梯度变化。

从图 2 可知,强对流天气过程影响期间,气象要素及其水平梯度变化与上节热带风暴外围飊线过程的要素变化基本一致。如以风速最大值出现时间 1:50 为系统过境时间,则在系统过境前 30 分钟,气压开始涌升,在系统过境 15 分钟后气压达到最高,涌升 2.8hPa ;风

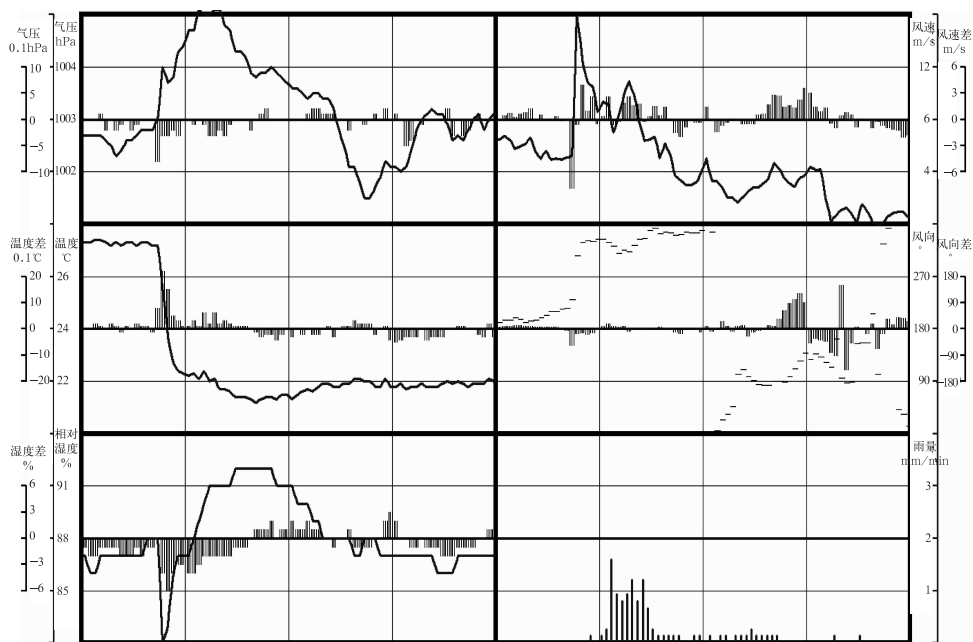


图 2 2005 年 5 月 6 日强对流过程中气象要素小尺度及其水平梯度变化

向在系统过境时间 30 分钟开始连续稳定地顺转到,从 190° 一直顺转,跨过 360° 后直转到 135° ,期间风速从 $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 攀升到 $16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,极大风速维持了 3 分钟;系统过境开始急剧降温降湿,10 分钟内,温度降 5°C ,湿度降 5% 后急速上升 10% ;系统过境 15 分钟后开始出现强降水, 30mm/h 雨强的降水持续了 30 分钟。这次过程前后持续约 2 小时,全过程雷暴高压维持,低温高湿,风速逐

渐减小,风向稳定,降雨持续。

系统过境时,两站间气压最大相差 0.8hPa ,相当于 0.5hPa/km 的水平气压梯度;温度最大相差 2.2°C ,相当于 1.2°C/km 的水平温度梯度,达到年平均水平温度梯度值的 40 倍以上;风速最大相差 $8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,相当于 $5.3 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水平风速梯度;在系统过境时,最大风向差达 50° ,系统影响结束时,出现的最大风向差为 150° (当时风速

$2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。强降雨期间,雷暴高压维持,API 站气压持续偏低 $0.1 \sim 0.3\text{hPa}$,温度持续偏高 $0.3 \sim 0.5^\circ\text{C}$,风速持续偏高 $1 \sim 3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.3 连续暴雨过程

2006 年 9 月 13—14 日,受在广东省阳江市附近地区登陆的南海低压的外围环流影响,深圳出现连续暴雨过程,累积雨量达 212.6mm 。图 3 给出连续暴雨过程前后 48 小时的气象要素及其水平梯度变化。

从图 3 可知,降雨时段从 12 日 22 时开始,直到 14 日凌晨 1 时结束,持续时间长达 27 小时,其中主要降水时段集中在 13 日的上午和 13 日的夜间。从气压曲线可以看出,强降水时段出现在半日波的升压阶段;强降水发生前会出现明显的升温降湿,升温 $1 \sim 3^\circ\text{C}$,降湿 6% 左右,持续时间 $1 \sim 2$ 小时;整个过程中风向稳定,平均风速从 8m/s 逐渐下降到 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,过程结束后,风向开始出现

连续的顺转,从 30° 逐渐转到 290° 。

连续暴雨过程中,气象要素水平梯度具有明显的规律性变化。强降水开始前,天气不稳定,水平气压梯度出现明显的波动,但振幅很小, 0.1hPa/km , 温度出现稳定的正偏差,平均水平温度梯度约 0.3°C/km , 风速以负偏差为主,平均可达 $1 \times 10^{-3}/\text{s}$ 的水平风速梯度,由于风速较大,两站之间风向保持一致。在第一次强降水期间,气压水平梯度达到 0.3hPa/km , 温度水平梯度达到 0.9°C/km , 最大风速差达到 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在两次强降水期间,出现了难得一见的持续稳定的水平气压梯度和温度梯度, 0.15hPa/km 水平气压梯度和 0.5°C/km 的水平温度梯度持续了约 10 小时。在第二次强降水中,气压和温度的水平梯度不明显,但水平风速梯度的方向与第一次相反,从第二次强降水开始,在不到 1.9km 的水平距离上, 90° 的风向偏差稳定持续了将近 10 小时。

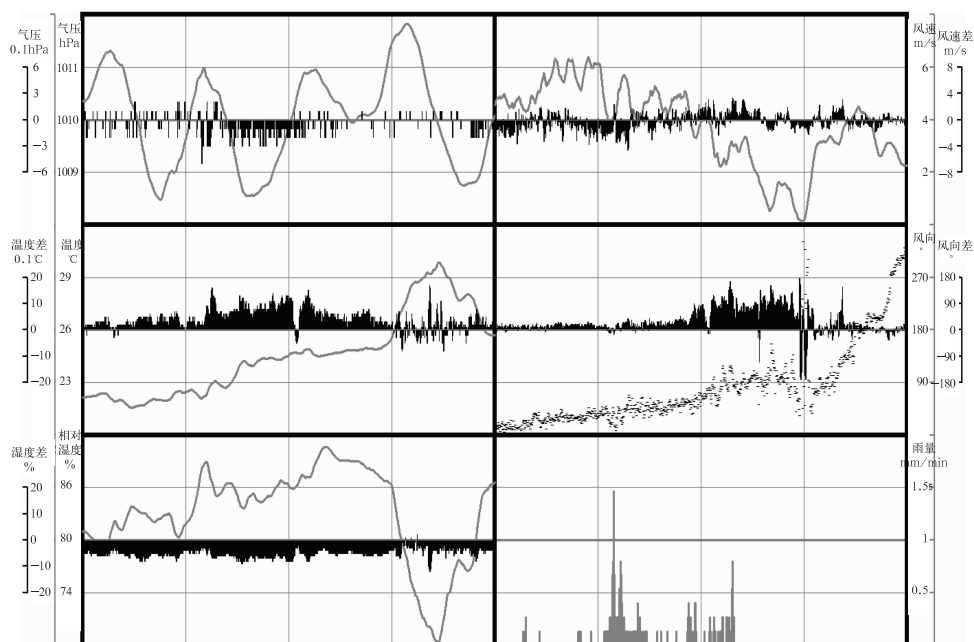


图 3 2006 年 9 月 13 日前后连续暴雨过程中气象要素小尺度及其水平梯度变化

3.4 冷空气过程

2006 年 1 月 20 日凌晨一股冷空气抵达深圳,之后冷空气不断补充,深圳出现持续降温过程。图 4 给出这次冷空气过程前后 72 小时的气象要素及其水平梯度变化。整个过程中最高气温和最低气温相差 16°C ,最大 24 小时降温 10.5°C ,如果以风向从 110° 跳转到 102° 作为冷空气到达时间,则在冷空气过境前 10 小时降温过程已开始,连续降温持续时间约 40 小时,冷空气过境时风速明显增大,并伴有小雨。

气象要素水平梯度变化并不十分明显,

冷空气过境前,有弱的正(南高北低)水平气压梯度,平均值约 $0.1\text{hPa}/\text{km}$,冷空气过境后,转为负梯度,平均值略高于 $0.1\text{hPa}/\text{km}$,持续时间长达 30 小时以上;冷空气过境时出现了 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 的水平温度梯度,并持续约 4 小时;整个冷空气影响期间风速水平梯度呈现均匀脉动状态,风向偏差很小并保持稳定。在冷空气过境前,会有小股冷空气渗透的现象发生,表现为风速突增($2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 上升到 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),湿度急降(87% 降到 64%),水平温度梯度短时间达到 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{km}$,并出现 30° 以上的风向差。

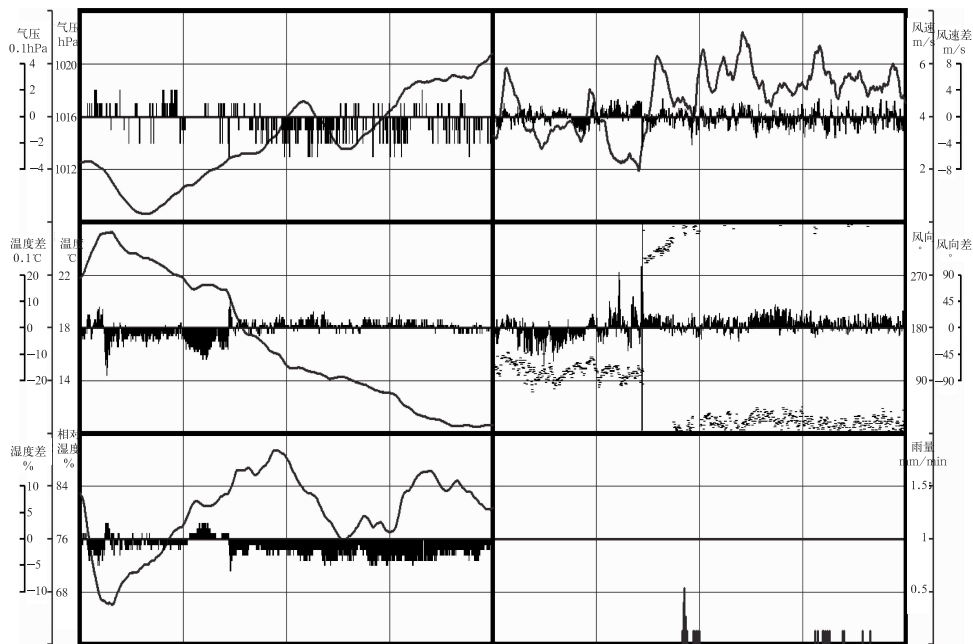


图 4 2006 年 1 月 20 日前后冷空气过程中气象要素小尺度及其水平梯度变化

4 结 语

本文利用深圳机场跑道两端相距 1.783km 的两个自动气象站,2005—2006 两年的观测资料,统计了气象要素年平均的小

尺度水平梯度变化,并选择 4 个典型的灾害性天气过程,分析了不同天气条件下气象要素水平梯度变化的特征,主要结论如下:

(1) 气候统计表明,AP1、AP2 两站各气象要素在探测精度范围内相等,而且标准差、偏度系数、峰度系数的数值和年际变化一致,

其逐时观测结果差值可以真实地反映气象要素在水平梯度上的变化。

(2) 深圳机场气压的年平均水平气压梯度为 0.0064hPa/km , 最大气压差是 2.2hPa , 相当于 1.2hPa/km 的水平气压梯度; 温度年平均水平温度梯度为 0.035°C/km , 相对湿度由于探测精度的原因, 数据的水平差异较大, 风速有相当明显的局地差异, 年平均水平风速梯度 $1.1 \times 10^{-4} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3) 飑线过程中水平气压梯度可达 1.1hPa/km , 是年均值的 170 倍以上; 水平温度梯度最大 0.6°C/km , 风速最大相差 $8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 相当于 $5.3 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水平风速梯度, 当风速 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 最大风向差可达 40° 。

(4) 强对流过程中气象要素及其水平梯度变化与飑线过程的基本一致。水平气压梯度 0.5hPa/km , 水平温度梯度 1.2°C/km 。强降雨期间, 雷暴高压维持, AP1 站气压持续偏低 $0.1 \sim 0.3\text{hPa}$, 温度持续偏高 $0.3 \sim 0.5^\circ\text{C}$, 风速持续偏高 $1 \sim 3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(5) 连续暴雨过程中, 出现了难得一见

的现象, 0.15hPa/km 水平气压梯度和 0.5°C/km 的水平温度梯度持续了约 10 小时; 在不到 1.9km 的水平距离上, 90° 的风向偏差稳定持续了将近 10 小时。

(6) 冷空气过程中, 气象要素水平梯度变化并不十分明显, 在冷空气过境前, 会有小股冷空气渗透的现象发生, 表现为风速突增, 湿度急降, 冷空气影响期间 0.1hPa/km 的水平气压梯度可以持续时间长达 30 小时以上。

参考文献

- [1] United Nations. Building the resilience of nations and communities to disasters: [Hyogo] Framework for action 2005—2015[C]. World conference on disaster reduction, 2005, A/CONF.206/L.2. 21-24.
- [2] 赵思雄. 中尺度动力学与暴雨等灾害性天气预测理论的研究[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 503-510.
- [3] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 417-418.
- [4] WMO. 2006, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8, 3. 11-3. 14.
- [5] 幺枕生. 气候统计学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 125-128.