

天津气象塔风温梯度观测资料的统计特征

解以扬

刘学军

(天津市气象科学研究所,300074)

(天津市气象局影视中心)

提 要

利用天津气象塔风温梯度观测资料对其统计特征及平均风温廓线的日变化规律进行了分析,特别是分析了稳定层结的风温廓线特征,还给出了几种典型天气的低层大气结构的个例分析。

关键词: 气象塔 风温廓线 统计分析

引 言

近几年城市气象服务的发展进程表明,在气候和大尺度天气系统背景下,城市尺度的气象条件明显影响着以城市为载体的现代化经济运行、大气环境质量以及居民生活等诸多方面。几百米低层大气的城市尺度气象场结构是大气边界层的重要组成部分,充分表现出下垫面动力作用和热力作用的直接影响结果以及中小尺度天气系统的部分特征,它们反过来又作用于大气污染、人类生活和生产活动的许多方面。研究低层大气气象场结构,可以满足城市气象预报业务的需要。边界层气象学是一门实验性很强的科学,理论上的发展应以观测事实为基础。天津市250米气象塔自1984年建塔以来,积累了大量观测资料。充分利用该塔全天候的连续观测资料,有助于深入细致地了解城市低层大气气象场结构变化规律。

1 风温廓线资料的统计特征

天津市气象塔高250m,共有15层观测平台(高度分别为5、10、20、30、40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、250m),常年观测风向、风速、温度等气象要素,观测资料的采样间隔为10秒钟一次。本文取1995年11月27日~1996年11月30日期间风温廓线的10分钟平均值进行统计特征分析,

资料共计21462组。

本文按刘学军等^[1]的做法,采用梯度理查逊数 R_i 进行廓线分类。 R_i 计算公式如下:

$$R_i = \frac{g}{T_0} \left[\frac{\Delta T}{\sqrt{z_1 z_2 \ln \frac{z_2}{z_1}}} + \gamma_d \right] \times \left[\frac{\sqrt{z_1 z_2 \ln \frac{z_2}{z_1}}}{\Delta u} \right]^2 \quad (1)$$

其中 $\sqrt{z_1 z_2}$ 是几何平均高度, T_0 是地面2m气温, u 为风速, g 为重力加速度, γ_d 为干绝热温度递减率。考虑铁塔周围建筑物的影响,计算时采用20m和60m两层的温度和风速实测值。按照 $R_i \leq -0.1$ 为不稳定层结, $-0.1 < R_i < 0.1$ 为中性层结, $R_i \geq 0.1$ 为稳定层结进行分类,获得不稳定风温廓线5733组,占总样本数的27%;中性廓线7269组,占34%;稳定廓线8460组,占39%。

分别统计各类样本在白天和夜间出现的频次,结果见表1。表1表明,不稳定情况多

表1 各类廓线的日夜分布特征

稳定度分类	频数	夜间 (18:00~8:00)		白天 (8:00~18:00)	
		频数	频率	频数	频率
不稳定	5733	356	6%	5377	94%
中性	7269	4319	59%	2950	41%
稳定	8460	7300	86%	1160	14%

出现在白天,稳定情况多出现在夜间。其中,

在夜间出现不稳定的 356 个样本中,发生在夏季(6~9月)的有 325 个,占 91%;发生在冬春季(11~4月)的仅 31 个,占 9%。进一步分析表明,这 31 个样本中,20 个发生在春季的早晨,3 个发生在春季的傍晚,其余 7 个均与大风和降水天气有关。而在白天出现稳定的 1160 个样本中,发生在夏季(6~9月)的仅有 48 个,占 4%。本文对白天出现稳定的样本,按风向进行统计,其中风向为 E—SW 的 286 次,NE—E 的 23 次,NW—NE 的 160 次,SW—NW 的 691 次。表明 NE—E 风多与降水系统有关,白天出现稳定的概率较小,SW—NW 风多与高压系统有关,白天出现稳定的概率较大。

2 平均风温观测值的日变化规律

近地层内气象要素的周期变化——日变化非常明显,认识日变化规律对于搞清边界层物理机制有一定帮助,并且具有实用价值。为此,本文统计了天津气象塔冬季(1995 年 11 月 27 日~1996 年 2 月 29 日)和夏季(1996 年 6 月 20 日~1996 年 9 月 14 日)不同时刻、不同高度的平均温度和风速。图 1 和图 2 反映了冬季天津气象塔不同高度平均温度和风速的日变化曲线,由图 1 可以看出,各个高度都显现出温度的日变化波形,但高度越高,波形振幅越小,且温度最大时位相随高度增加而滞后。由图 2 可以看出,近地层风速也存在日变化,但随高度不同而有一

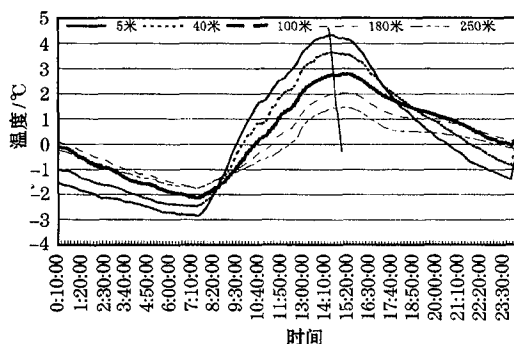


图 1 冬季气象塔不同高度平均温度日变化

定差异,高度越低,日变化幅度越小,低层白天风速变大,夜间变小,高层则相反,夜间变大,白天变小,风速日变化振幅在 $0.7\sim 3.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间。

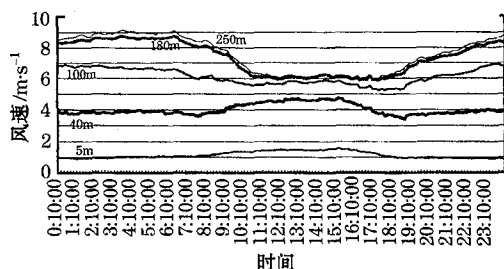


图 2 冬季气象塔不同高度平均风速日变化

夏季各个高度温度的日变化波形和振幅(图略)同冬季相似,但温度最大时位相随高度增高而滞后的情况则不明显。对风速的日变化而言,夏季近地层风速日变化同冬季近似,风速日变化振幅在 $0.8\sim 4.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间。

考虑到风向通常与天气系统有关,为此本文统计了不同风向下天津气象塔各层次的平均温度和风速。统计表明,在偏南风、偏西风和偏北风的情况下,多为晴好天气,温度和风速的日变化同冬季的情况近似(图略),有明显的日变化规律。而在偏东风的情况下,常有降水天气相伴随,温度和风速的日变化波动较大,且各层温度趋于一致,40m 以上各层的风速差异偏小,反映出中性和不稳定的特征(图 3、图 4)。由于天津气象塔湿度资料不好,故未分析潜热对温度变化的影响,而偏东风情况下相对湿度往往较大。

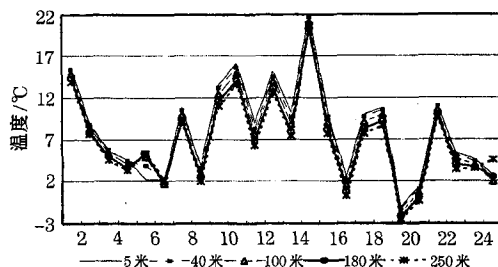


图 3 偏东风情况下各层平均温度日变化

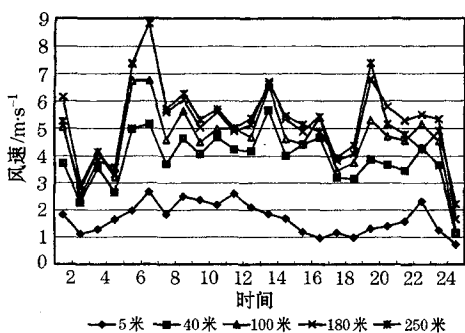


图4 偏东风情况下各层平均风速日变化

本文统计了春夏秋冬铁塔 180m 高度与地面 2m 气温的平均温差的日变化曲线,尽管夏季温差都为负值,没有逆温,但三个季节高低层温差的波形相当接近(图略),表明不同季节高低层温差都存在明显日变化。各季节层结转换的时间有明显的不同,夏季早,冬季晚;冬季的逆温强于春季。

3 稳定层结的风温廓线特征

根据 1995 年底至 1996 年底天津气象塔的观测结果,获取 8460 组稳定层结的风温廓

表3 稳定层结下逆温层顶高度和最大风层高度的出现频次

高度/m	5	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	250
逆温层顶频次	708	743	307	132	413	414	317	584	413	1304	270	994	159	637	1065
最大风层频次	0	0	0	7	24	94	475	367	600	716	2074	695	114	2305	989
平均温度/℃	3.55	3.66	3.68	3.69	3.74	3.78	3.71	3.75	3.79	3.86	3.81	3.84	3.73	3.72	3.62
平均风速/m·s ⁻¹	1.22	2	2.8	3.26	3.62	4.23	4.97	5.37	5.86	6.32	6.97	6.95	6.95	7.04	7.04

表4 稳定层结逆温强度及最大风层风速频次分布

温差/℃	逆温强度		最大风层				
	频次	温差/℃	频次	风速/m·s ⁻¹	频次	风速/m·s ⁻¹	频次
0	782	8	53	1	0	11	432
1	2329	9	45	2	33	12	328
2	1346	10	37	3	313	13	243
3	1251	11	11	4	708	14	138
4	1195	12	9	5	985	15	69
5	621	13	4	6	1073	16	59
6	533	14	1	7	1258	17	43
7	243	15	0	8	1231	18	2
				9	811	19	3
				10	709	20	2

本文以逆温层顶气温与地面 2m 气温的差值代表逆温强度,分析了逆温强度分布频

率,这些廓线中出现在 9:00~17:00 的仅 188 组,占 2%,其余大量发生在夜间、早晨和黄昏。稳定层结下近地层温度场的主要特征是逆温的存在,而风场的主要特征则是在某高度存在最大风层。统计得到逆温层顶和最大风层的平均高度(见表 2)。

表2 逆温层顶高度和最大风层高度的统计特征

统计特征	逆温层顶高度/m	最大风层高度/m
平均	123	172
中值	140	160
最小值	5	30
最大值	≥250	≥250

表 2 表明最大风层的平均高度大于逆温层顶平均高度,反映出动量在逆温层顶堆积,产生最大风层,甚至出现急流型廓线。表 3 给出了稳定层结下逆温层顶和最大风层高度的出现频次以及各层次的平均温度和平均风速,可见逆温层顶可以出现在各高度,出现频率最多的层次为 140m;而最大风层则出现在 40m 以上,出现频率多的层次为 220m 和 160m。

率(表 4),可以看出,温差主要分布在 8℃ 以内,出现频率最多的为 1℃。表 4 还给出了稳定情况下最大风层的风速分布频率,由表可见,风速一般在 3~14m·s⁻¹ 之间,以 7~8m·s⁻¹ 为最多,≥8m·s⁻¹ 的占 34%,≥12m·s⁻¹ 的占 7%。

4 典型天气的低层大气结构特征

为了更直观地了解不同类型天气下低层大气的结构特征,本文给出晴天多云天气、大风、雷暴前及大雾天气的时空剖面图。

图 5 为 1995 年 12 月 1 日的风温时空剖面图。这一天是冬季的晴天多云天气,风速小,早晨有轻雾。从温度廓线的演变可以看

出,夜间的逆温现象比较明显,并逐渐加厚,属稳定层结。7:00至8:00逆温逐渐消失,不稳定层结持续到下午16时,17时开始又有逆温出现,层结趋于稳定。对应风速廓线(图略)的演变表明,稳定层结下,近地面层风速梯度变化层比较厚,而不稳定层结下,风速梯度变化层比较薄。

图6为1995年12月23日地面出现大风前后的风温时空剖面图。可以看出,日出后近地层的迅速增温并没有使250m高度内的夜间逆温逐渐消失,而是在140m以上出现一个暖区,这可能与大风前的下沉逆温有关。当日起风时间为13:10,大风出现后,逆温层不复存在,不稳定特征明显。

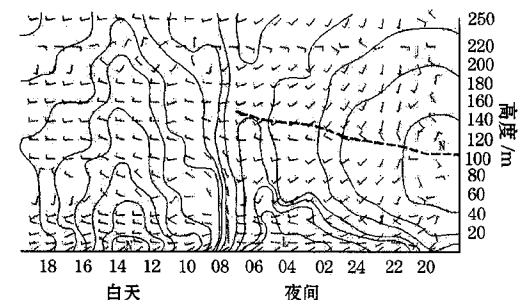


图5 冬季晴天多云天气下风温时空剖面图,黑实线为等温线,黑虚线为逆温层顶

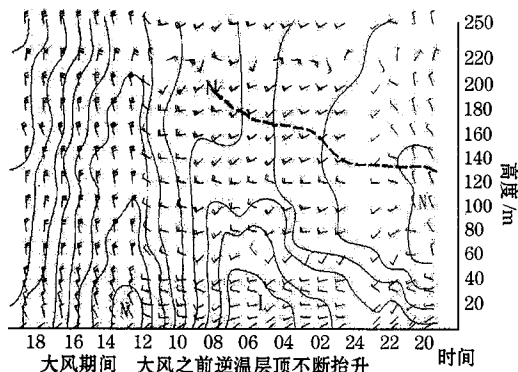


图6 大风情况下的风温时空剖面图,黑实线为等温线,黑虚线为逆温层顶

图7为1996年4月15日出现雷暴前的风温时空剖面图,雷暴发生时间为19:35,雷暴出现前的夜间,近地层的温度层结先是出

现多层逆温;21时至24时为中性层结;24时之后为弱不稳定层结,对流逐渐加强;日出后低层大气层结不稳定性逐渐加剧发展,并一直持续到18时左右;雷雨发生前,200m以上有逆温出现,大概与雷暴天气的下沉气流有关。

图8是1996年11月26日一次大雾天气过程的风温时空剖面。这次大雾属于典型的锋前平流雾,大雾由夜间01至02时开始,持续到上午11:00左右。从剖面图上看,存在明显的雾界,雾界处温度水平梯度大,垂直梯度趋于中性;在雾区内,温度分布十分复杂,近地层有很强的逆温,近地层以上出现多个冷暖中心。分析认为,这与大雾过程中不同时间、不同高度的湿度变化有关。而大雾消散时,风温廓线呈现不稳定状况,当日14:00还出现了大风天气。

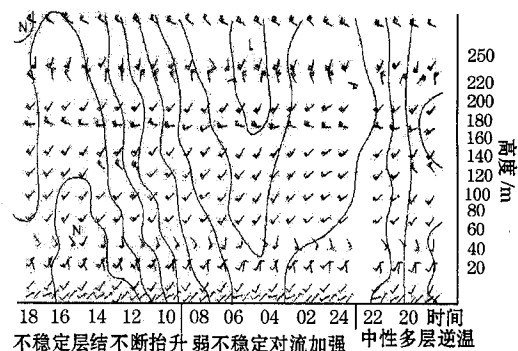


图7 雷暴前的风温时空剖面图

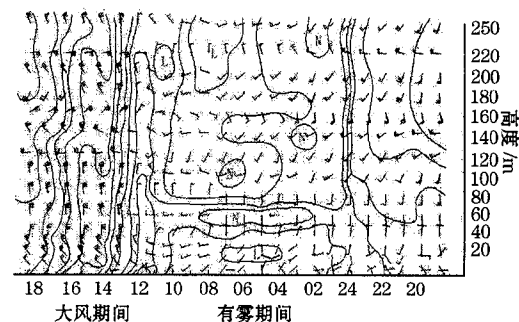


图8 大雾情况下的风温时空剖面

5 小结

①本文分析了天津气象铁塔风温廓线的

统计特征。分析表明,不稳定情况多出现在白天,稳定情况多出现在夜间。在夏季夜间也可出现不稳定,多与大风和降水天气有关。NE—E 风多与降水系统有关,白天出现稳定的概率较小,SW—NW 风多与高压系统有关,白天出现稳定的概率较大。

②近地层内气象要素的日变化非常明显。对温度而言,不同季节高低层温差存在明显日变化,高度越高,温度变化的振幅越小,冬季温度峰值的位相随高度增加而滞后,夏季则不明显。近地层风速也存在着日变化,但随高度不同而有一定差异,高度越低,日变化幅度越小,低层白天风速变大,夜间变小,高层则相反,夜间变大,白天变小。各季层结转换的时间有明显的不同,夏季早,冬季晚。

③稳定层结下常存在逆温和最大风速层,逆温层顶可以出现在各高度,出现频率最多的层次为 140m;而最大风层则出现在 40m 以上,出现频率多的层次为 220m 和 160m;最大风层的风速大量分布在 $3 \sim 14 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,以 $7 \sim 8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为最多, $\geq 8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的占 34%, $\geq 12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的占 7%。

④本文还给出几种典型天气条件下的风温廓线演变图和时空剖面图,较好地反映出

几类天气过程中的低层大气风温场的结构演变特征。冬季的晴间多云天气,近地层风速小;夜间稳定,逆温层逐渐加厚,风速梯度变化层较厚;白天转为不稳定层结,风速梯度变化层较薄。大风前存在下沉逆温,大风出现后转为不稳定,逆温层消失。雷暴前的近地层经历了稳定、中性、弱不稳定、对流逐渐加强的过程,雷雨发生前较高层的逆温可能与下沉气流有关。平流雾天气存在明显的雾界,雾界处温度水平梯度大,垂直梯度趋于中性,雾区内近地层有很强的逆温和多个冷暖中心,当再次呈现明显的雾界时,雾将消散。

参考文献

- 1 刘学军,吴丹朱,马富春.天津市 250m 低层大气风廓线模式的试验研究.大气科学,1991,5:33~39.
- 2 赵鸣,苗曼倩,王彦昌.边界层气象学教程.北京:气象出版社,1991.
- 3 蒋维楣,曹文俊,蒋瑞斌.空气污染气象学教程.北京:气象出版社,1993.
- 4 李宗凯,潘云仙,孙润桥.空气污染气象学原理及应用.北京:气象出版社,1985.
- 5 D. A. 豪根主编,李兴生等译.微气象学,北京:科学出版社,1984.
- 6 Roland B. Stull 著,杨长新译.边界层气象学导论.北京:气象出版社,1991.

A Statistical Analysis of Wind and Temperature Gradient Data from Tianjin Meteorological Tower

Xie Yiyang

(Tianjin meteorological Institute, 300074)

Liu Xuejun

(Sci. & Tech. Service Center of Tianjin Met. Bureau)

Abstract

Using the wind/temperature gradient data from the Tianjin meteorological tower, the statistical characteristics and diurnal variability of average wind and temperature profiles are analysed. Especially the wind and temperature profile characteristics under condition of stable stratification are examined. Some typical case analyses in the structure of lower atmosphere are introduced.

Key Words: meteorological tower wind and temperature profile statistical analysis