

七台河市冬季大气边界层特征研究

曲艳秀¹, 刘运武², 张志国³

(1. 七台河市气象局, 七台河 154600; 2. 鹤岗市气象局, 鹤岗 154100; 3. 黑龙江气象科学研究所, 哈尔滨 150030)

摘要: 利用实际观测的资料, 对七台河市大气边界层内的风场、温度场和大气混合层高度的特征分别进行了研究, 采用 ATDL 模式计算方法进行了风速与烟源有效高度分析, 提出了浑浊气体排放的最佳时间。

关键词: 大气边界层; 温度廓线; 风速廓线; 风速廓线指数; 大气混合层

中图分类号: P42 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2008)01-0055-03

Study on the Characteristic of Atmospheric Boundary Layer in Winter in Qitaihe City

QU Yan-xiu¹, LIU Yun-wu², ZHANG Zhi-guo³

(1. Meteorological Department of Qitaihe, Qitaihe 154600; 2. Meteorological Department of Hegang, Hegang 154100; 3. Heilongjiang Institute of Meteorological Science, Harbin 150030)

Abstract: The wind field and temperature field of the atmospheric boundary layer, height traits of atmospheric mix layer were studied respectively according to the actual observation data. The model of ATDL was adopted to analyze the effective height of wide velocity and smoke source, then provided the best effluent time of muddy gas.

Key words: atmospheric boundary layer; temperature profile; wind profile; wind profile index; atmospheric mixed layer

大气边界层又称行星边界层, 通常是指从地面到高度为 1 000 ~ 1 500 m 之间的气层。在这一层中, 大气直接受地球表面的影响^[1]。大气边界层的研究对区域变化和环境生态的研究具有重要意义, 同时对天气预报和气候理论的发展等问题也具有重要意义, 与国民经济、国防建设、大气污染和大气公害研究、农作物生长的气象条件研究等有密切关系。

本研究旨在明确七台河区域大气边界层中的湍流特征和各物理量的湍流输送和扩散, 气象要素的铅直分布及随时间的变化规律等, 以及现有理论在农业气象、大气污染和扩散、大气边界层物理以及波动(光、声和电磁波)传播等方面的应用。

1 材料与方法

2004 年 3 月 23 ~ 29 日, 利用 KT—II 型低空探空仪, 对七台河市的大气边界层进行了探测, 根据探测所得的资料, 对七台河市的大气边界层的特征进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 大气边界层风场特征

2.1.1 风速特征 (1) 风速廓线特征: 从历年观测资料统计来看, 七台河市的大气边界层风速廓线呈两高两低的形状, 即由地面随高度的增加风速是增大的。到 350 ~ 450 m 的高度风速出现了极大值, 平均风速为 $7.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。随高度增加风速开始急剧减小, 到 950 ~ 1 050 m 高度上, 风速出现了极低值, 平均风速为 $4.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。到 1 250 m 的高度上, 风速出现了第二个较高值, 平均风速为 $5.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。风速廓线顶部的风速出现了第二个较低值, 平均风速为 $5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。表明, 七台河市的大气边界层内, 低空和上空存在着两个大气扩散区, 特别是近地面层的大气扩散能力较强。

(2) 300 m 以下平均风速的变化: 七台河市 2004 年 3 月 23 ~ 29 日 300 m 以下的平均风速随高度的增加而增加。特别是 250 m 高度层平均风速增大得尤为明显。由此可见, 七台河市近地面层的风速特征对大气扩散是有利的。

(3) 风速廓线指数特征: 大气边界层通常可以分为表面边界层和埃克曼(Ekman)边界层。表面边界层又称为近地面层。有时又称为常通量层。其厚度各处不一样, 与近地面大气的温度层结有关, 通常在

收稿日期: 2007-09-10

第一作者简介: 曲艳秀(1977-), 女, 黑龙江省宾县人, 大专, 助理工程师, 主要从事预报、专业气象服务和大气物理方面的研究。
E-mail: ssj19700515@sina.com.

300 m 以下。在这一层中,由于此层很薄,各种物理属性如动量、热量和水汽的垂直湍流输送通量都可以认为几乎不随高度而变化。因此,风向也几乎不随高度而变化,随此层中的温度垂直分布不同而有很大的差异^[1]。

通过对近地面层风速观测资料的分析表明,在中性层结的情况下,此层中的平均风速随高度成对数变化,而在非中性层结的情况下成指数分布,即

$$\left(\frac{V_0}{V}\right)=\left(\frac{H_0}{H}\right)^P \tag{①}$$

①式两边取对数,则得: $\ln\left[\frac{V_0}{V}\right]=P\ln\left[\frac{H_0}{H}\right]$, $P=\ln\left[\frac{V_0}{V}\right]/\ln\left[\frac{H_0}{H}\right]$ ②

①式中 P 为不同大气稳定度的风速廓线指数; V_0 和 H_0 分别为近地面层的风速和高度; V 是 H 高度的风速。②式为计算 P 值的数学表达式。并由②式便可计算出不同大气稳定度的 P 值(见表 1)。

表 1 七台河市 2004 年 3 月 23 ~ 29 日
300 m 以下风速廓线指数

| 项目 | A | B | C | D | E | F |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 平均 P 值 | 0 | 0.1 | 0.16 | 0.23 | 0.29 | 0.34 |
| 国 标 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 |

由表 1 看出,七台河市大气边界层 300 m 以下的风速廓线指数与国标相近,差值 ≤ 0.05 。特别是 E 类和 F 类大气稳定度的风速廓线指数与国标只相差 0.01。

同时, A 类大气稳定度的 P 值为零, B、C 类大气稳定度的 P 值与国标相差稍大。

(4)各规定层不同风向的平均风速特征:由表 2 可见,七台河市大气边界层内 NE、ENE、E、NW 和 NNW 风,即 1、4 象限的风,各规定层基本无零风速。特别是 NE 和 ENE 风,不但无零风速,而且各层的风速都比较大。表明在 1、4 象限的风大气扩散能力较强。

相反,SSW、SW、ESE、SSE 和 S 风,即 2、3 象限的风,各规定层的零风速层在 5 层以上,特别是 SSE 和 SSW 风,不但零风速次数多,而且各层的风还特

别小,表明 2、3 象限的风大气扩散能力较弱。

2.1.2 风向特征 七台河市大气边界层各规定层的风向频率见表 3。由表 3 可见,NE、ENE、E、NW 和 NNW 风各规定层的风向频率都比较高,各层基本无零频率;而 SSE、SSW 和 SW 风各规定层的风向频率都较小,并有 5 层以上的层次为零频率。这与各规定层不同风向的平均风速具有相同的特征。由 NNE 至 NE 和 ENE,再由 SW 至 WSW 和 WNW 风,随着各规定层的高度增加风频率有所加大,表明各规定层内,风随高度的增加,有风向右旋转的趋势。

2.2 大气边界层温度场特征

2.2.1 温度廓线特征 七台河市大气边界层温度廓线有如下特点:第一,地面至 1 500 m 高度内,温度随高度的增加都是递减的。但各高度的递减率不同。地面至 1 000 m 温度递减率比较大,为 $0.012\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$; 100 ~ 400 m 温度递减率比较小,为 $0.003\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$; 400 m 以上温度递减率稍有增大。第二,近地面层 100 m 内,温度递减率很大,表明近地面层出现接地逆温的频率较低,并强度较弱。第三,100 ~ 400 m 温度递减率只有 $0.003\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$,接近等温,说明在这一高度层内,多出现低层逆温,但强度较弱。

2.2.2 逆温层特征 逆温层是一种极端稳定的大气层结。七台河市出现辐射逆温,辐射逆温是由长波辐射引起的,常发生在大气和地面的交界区域^[2]。

(1)逆温出现的频率:由表 4 可见,逆温出现的总频率为 23%。其中接地逆温出现的频率为 8%;单层逆温出现的频率为 8%;双层逆温出现的频率为 5%;多层逆温出现的频率为 2%;等温出现的频率为 5%;还有 14%的频率无逆温。(2)逆温层强度:由表 5 可见,各种逆温中,以接地逆温的强度最强,平均逆温强度为 $0.041\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$,平均逆温厚度为 76 m,最强的接地逆温为 $0.063\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 。低层逆温强度较弱,平均逆温强度为 $0.024\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$,最强的低层逆温为 $0.060\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$ ^[3]。此地出现等温的频率比较高,并且等温层比较厚,有的等温层可达数百米。

表 2 七台河市各规定层平均风速统计 m · s⁻¹

| 风速高度/m | 风 向 | | | | | | | | | | | | | | | | 平均风速 |
|--------|-----|---------|-------|---------|-----|---------|--------|---------|-----|---------|-------|---------|-----|---------|-------|---------|------|
| | 北 N | 北北东 NNE | 北东 NE | 东北东 ENE | 东 E | 东南东 ESE | 东南 S E | 南南东 SSE | 南 S | 南南西 SSW | 南西 SW | 西南西 WSW | 西 W | 西北西 WNW | 北西 NW | 北北西 NNW | |
| 50 | 6.3 | 4.8 | 4.5 | 5.0 | 3.0 | — | — | — | 2.0 | — | — | — | — | — | 4.0 | 4.6 | 4.5 |
| 150 | 6.6 | 10.8 | 5.0 | 6.8 | 6.0 | — | 4.5 | 3.0 | — | — | — | — | 6.0 | 5.2 | 1.7 | 5.6 | — |
| 250 | — | 10.8 | 7.3 | 5.9 | 5.8 | — | 1.0 | — | 3.0 | — | — | — | — | 5.6 | 5.8 | 5.0 | 6.3 |
| 350 | — | 14.5 | 10.7 | 6.6 | 5.4 | — | 2.0 | — | 3.5 | — | 3.0 | 3.0 | 6.5 | 6.5 | 6.2 | 5.5 | 7.0 |
| 450 | 4.0 | 8.0 | 13.4 | 5.7 | 3.0 | — | — | 3.0 | — | 4.0 | — | — | 6.8 | 7.9 | 7.0 | — | 7.2 |
| 550 | 2.0 | — | 5.6 | 7.2 | 3.8 | — | — | 3.0 | — | 3.0 | 4.0 | — | 4.7 | 7.5 | 6.0 | 3.0 | 6.4 |
| 650 | — | — | 11.7 | 6.3 | 4.8 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | — | — | — | — | 7.5 | 7.0 | 5.8 | 4.5 | 6.0 |
| 750 | — | — | 10.7 | 5.4 | 4.5 | 2.5 | 3.0 | — | 2.0 | — | — | 8.0 | 6.7 | 6.8 | 5.6 | 4.0 | 5.7 |
| 850 | 4.5 | 3.5 | 14.0 | 8.7 | 3.6 | — | 3.5 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 6.8 | 5.3 | 6.0 | 5.0 | 5.1 |
| 950 | 4.0 | 8.0 | 5.5 | 7.0 | 4.7 | 2.0 | — | 3.0 | 2.0 | 4.0 | — | 3.5 | 6.2 | 4.5 | 6.5 | 4.0 | 4.8 |
| 1050 | 3.7 | 6.0 | 6.7 | 8.5 | 4.7 | 3.0 | 2.7 | — | — | 4.0 | — | 4.2 | 6.5 | 4.0 | 4.0 | 5.3 | 4.8 |
| 1150 | 4.0 | 5.3 | 8.7 | 7.0 | 5.3 | 6.0 | 2.0 | 3.0 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 6.7 | 8.0 | — | — | 4.5 | 5.1 |
| 1250 | — | 5.0 | 6.8 | 5.8 | 6.0 | 6.0 | — | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 5.3 | 8.0 | — | 5.5 | 4.0 | 5.8 |
| 1350 | — | — | 6.0 | 7.6 | 4.0 | 5.0 | 6.3 | — | 3.5 | 3.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | — | 6.0 | 3.5 | 5.4 |
| 1450 | — | — | 5.5 | 5.7 | 7.2 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 6.0 | 2.0 | — | — | 4.0 | 5.8 |

表 3七台河市各规定层风向频率统计

%

| 风速高度/ m | 风 向 | | | | | | | | | | | | | | | | 温度 /℃ |
|---------|-----|---------|-------|---------|-----|---------|-------|---------|-----|---------|-------|---------|-----|---------|-------|---------|-------|
| | 北 N | 北北东 NNE | 北东 NE | 东北东 ENE | 东 E | 东西东 ESE | 南东 SE | 南南东 SSE | 南 S | 南南西 SSW | 南西 SW | 西南西 WSW | 西 W | 西北西 WNW | 北西 NW | 北北西 NNW | |
| 50 | 6 | 18 | 8 | 8 | 10 | 6 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | 2 | 10 | 29 |
| 150 | 10 | 8 | 10 | 10 | 8 | — | 4 | 4 | — | — | — | — | — | 2 | 20 | 6 | 18 |
| 250 | — | 11 | 9 | 15 | 9 | — | 2 | — | 6 | — | — | — | — | 17 | 13 | 4 | 13 |
| 350 | — | 4 | 15 | 17 | 11 | — | 2 | — | 4 | — | 2 | 2 | 4 | 13 | 13 | 4 | 9 |
| 450 | 2 | 2 | 12 | 16 | 9 | — | — | 2 | — | 5 | — | — | 9 | 19 | 14 | — | 9 |
| 550 | 2 | — | 12 | 12 | 15 | — | 5 | — | 2 | 2 | 2 | — | 7 | 31 | 5 | 2 | 2 |
| 650 | — | — | 8 | 14 | 11 | 5 | 3 | 8 | — | — | — | — | 11 | 18 | 14 | 5 | 3 |
| 750 | — | — | 8 | 14 | 11 | 6 | 6 | — | 3 | — | — | 3 | 8 | 17 | 14 | 8 | 3 |
| 850 | 6 | 5 | 6 | 8 | 13 | — | 6 | 3 | 3 | 2 | 3 | 8 | 9 | 11 | 8 | 7 | 2 |
| 950 | 3 | 3 | 12 | 6 | 9 | 3 | — | 3 | 3 | 3 | — | 6 | 18 | 6 | 9 | 17 | — |
| 1050 | 10 | 3 | 9 | 7 | 10 | 7 | 9 | — | — | 3 | — | 14 | 7 | 3 | 7 | 12 | — |
| 1150 | 13 | 13 | 10 | 3 | 15 | 3 | 3 | 3 | 7 | 3 | 7 | 10 | 3 | — | — | 7 | — |
| 1250 | — | 3 | 25 | 10 | 16 | 7 | — | 3 | 3 | 3 | 3 | 14 | 3 | — | 7 | 3 | — |
| 1350 | — | — | 14 | 19 | 4 | 4 | 12 | — | 8 | 4 | 7 | 4 | 12 | — | 4 | 8 | — |
| 1450 | — | — | 18 | 12 | 21 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | — | — | 8 | — |

表 4七台河市 2004 年 3 月 23~29 日逆温频率统计

%

| 逆温总频率 | 无逆温频率 | 接地逆温频率 | 单层逆温频率 | 双层逆温频率 | 三层逆温频率 | 等温频率 |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| 23 | 14 | 8 | 8 | 5 | 2 | 5 |

表 5七台河市 2004 年 3 月 23~29 日逆温强度统计

| 时间 | 接地逆温 | | | 低层逆温 | | | |
|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| | 顶高/ m | 厚度/ m | 强度/℃·m ⁻¹ | 底高/ m | 顶高/ m | 厚度/ m | 强度/℃·m ⁻¹ |
| 4∶00 | 92 | 92 | 0.042 | 207 | 271 | 64 | 0.020 |
| 6∶00 | 60 | 60 | 0.048 | 208 | 286 | 78 | 0.031 |
| 8∶00 | — | — | — | 227 | 292 | 65 | 0.026 |
| 17∶00 | — | — | — | — | — | — | — |
| 19∶00 | 75 | 75 | 0.032 | 71 | 100 | 29 | 0.018 |
| 21∶00 | 77 | 77 | 0.040 | 78 | 120 | 42 | 0.027 |
| 平均 | | 76 | 0.041 | 158 | 214 | 56 | 0.024 |
| 极大值 | | 150 | 0.063 | 440 | 490 | 160 | 0.060 |

2.2.3 逆温层的生消过程 七台河市大气边界层的逆温层,每天从 16∶00 时开始形成,并由低层逐渐向高层发展。到 20∶00 逆温层已基本形成,首先形成的是接地逆温,而后形成的是低层逆温和多层逆温。

第二天 8∶00 逆温层逐渐开始消失,并且由低层向高层消失。逆温层消失后,经常在上空保留一段时间的等温层,而后完全消失。

2.3 大气边界层中的混合层特征研究

在大气边界层内,由于热力和动力过程的原因,经常会产生上下层湍流强度的不连续。若下部湍流强,上部气层湍流弱,则中间会存在一个湍流特征不连续的界面,通常把下部能够在强烈湍流混合的层次称为大气混合层,其厚度称为混合层高度。混合层高度可以用温度对数压力图求解^[3]。

由于混合层产生的主要特征是温度层结的不连续,所以混合层经常与逆温的形成和消散过程相联系。当太阳出来以后,辐射加热的地面,使逆温层从低层开始消散,在逆温顶盖下将会产生一混合层,混合层中的湍流量,确定它的扩散特征,直接影响着大气扩散的能力^[4]。

3 结 论

利用实测资料,计算出了七台河市不同时间大气边界层内的混合高度,找出适合排放的最佳时间。由表 6 可见,不同时间的混合层高度是不一样的。早晨 8∶00 由于低层逆温已消失,逆温层顶有所抬升,所以混合层高度比较高,适合排放,到 21∶00 时,由于接地逆温已形成,所以混合层高度比较低,不适合烟的排放。

表 6七台河市 2004 年 3 月 23~29 日
大气混合层高度

| 时间 | 8∶00 | 17∶00 | 19∶00 | 21∶00 |
|-------|------|-------|-------|-------|
| 高度/ m | 251 | 177 | 61 | 53 |

参考文献:

[1] 谷清. 风速与烟源有效高度、地面浓度的关系[J] . 上海环境科学, 1988, 7(6): 16-19.
[2] 李宗恺, 潘云仙, 孙润桥. 空气污染气象学原理及应用[M] . 北京: 气象出版社, 1985: 222-427.
[3] 帕斯奎尔 F, 史密斯 F B. 大气扩散[M] . 北京: 科学出版社, 1989: 201-220.
[4] 谷清. 烟气抬升公式计算对比[J] . 环境科学研究, 1991, 4(3): 25-32.