

# 一次大范围一氧化碳中毒事件的气象条件

王晓明<sup>1</sup> 孙 力<sup>2</sup> 刘海峰<sup>1</sup> 张智勇<sup>1</sup>

(1. 吉林省气象台, 长春 130062; 2. 吉林省气象局)

**提 要:** 冬季是燃煤居民一氧化碳中毒的多发季节。针对 2006 年 2 月 13—16 日发生在吉林省延边州罕见的大范围一氧化碳中毒事件,从大尺度环境条件、气象要素变化特征及与燃煤烟道排烟关系等方面进行了分析。分析延吉近 46 年冬季(1960—2005 年 11 月—2 月)气象观测资料,发现“2.13”一氧化碳中毒事件是在近地面出现强烈逆温、最大逆温层顶高度低、地面接近静风、同时气温明显回升、气压明显下降等气象条件下发生的。此气象要素组合在历史上实属罕见。一氧化碳中毒事件不是某单一气象要素决所定的,而是众多气象要素组合综合作用的结果。

**关键词:** 一氧化碳中毒 逆温层 静风

## Meteorological Condition for a Large-Scale CO Toxic Accident

Wang Xiaoming<sup>1</sup> Sun Li<sup>2</sup> Liu Haifeng<sup>1</sup> Zhang Zhiyong<sup>1</sup>

(1. The Meteorological Observatory of Jilin Province, Changchun 130062; 2. The Meteorological Bureau of Jilin Province)

**Abstract:** A serious CO toxic accident occurred in Yanbian, Jinlin Province in February 13-16, 2006. An analysis of the meteorological elements of the event is made. The result shows that the strong inversion occurs in the surface layer with a low height of maximal inversion top, and about zero-wind velocity occurs near the surface. Both are the main reasons to cause the event. At the same time, the temperature rises and the air pressure falls evidently. It is unusual in the last 46 years that the suitable meteorological element, but only when several meteorological elements control the same region together, will the CO toxic accident take place.

**Key Words:** CO toxic accident inversion layer wind shadow

### 引 言

北方的冬季漫长而寒冷,在城镇和城乡

结合部有相当一部分居民采用燃煤取暖,由于为了抵御寒冷和使室内保暖,大多居民门窗紧闭,通风条件较差,没有完全燃烧的煤所产生的一氧化碳仅能通过烟道排放,在烟道

排烟不畅的情况下,会导致室内一氧化碳积聚过多而引发一氧化碳中毒。2006年2月13—16日吉林省延边州六县市发生291人的一氧化碳中毒事件就是发生在室内,居民用燃煤取暖造成的。与此同时,与延边州相邻的黑龙江省牡丹江市也发生了此类事件。此类事件集中在某一特定地区、特定时间段,是历史上从所未闻的。导致室内一氧化碳中毒的原因是多方面的,其直接原因主要有:如居民用火不当,睡觉前没有将燃煤熄灭或让煤完全燃烧掉;室内通风差;烟道设计不合理或烟道不畅;有些居民火炕的灶坑与卧室没有分开等诸多因素有关;还有些居民防范意识淡薄。除此之外,天气条件和气象要素的变化、特定的地理环境等都可能对室内一氧化碳排放有所影响。以往这方面的研究总结工作不是太多,薛口波<sup>[1]</sup>等人曾对煤气中毒事件的气温、气压和风进行了分析,还有人<sup>[2-3]</sup>从气象与建筑的角度作过分析,均认为烟囱排烟与特定的气象条件有一定的关系。本文重点分析发生该一氧化碳中毒事件时的天气条件和气象要素变化的综合情况及其对烟道排烟的可能影响,并对近46年的历史同期资料进行对比分析,初步总结出易导致居室一氧化碳中毒的主要气象条件,对这类天气的分析预警具有一定的指导意义。

## 1 天气形势特点

分析本次一氧化碳中毒的大尺度环流形势有如下特点:一是自2月12日20时至14日20时,贝加尔湖以东的 $40^{\circ}\text{N}$ 以北自低层到高层均受暖脊控制,而且是前倾的暖脊,即越向高空暖脊越偏东(图1),这种温度场的垂直分布为平流逆温的形成创造了条件,一旦形成逆温,则尺度大、持续时间长。实况的确如此,12日08时在820hPa以上就有逆温存在,逆温持续至13日20时;二是500hPa

以上是暖高压脊,而700hPa和850hPa是暖脊与低槽相配合,850hPa还和500hPa有很强的西南急流与暖脊相伴,地面图上气压场呈南高北低形势,这是东北地区典型的西南大风升温形势,12日夜间东北平原的中西部和南部出现了6级左右的西南风,但由于地形作用长白山区风速较小,延边州地处山区盆地,风速在 $1\sim 2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右甚至静风;三是12日20时—13日17时, $40\sim 50^{\circ}\text{N}$ 受纬向低压带控制,其中有两个低压中心,一个位于东北地区东部,另一个位于 $43^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E}$ 附近,当前一个低压中心减弱东移,后一个低压中心东移继续影响吉林省,使得东北地区受低压影响时间较长。

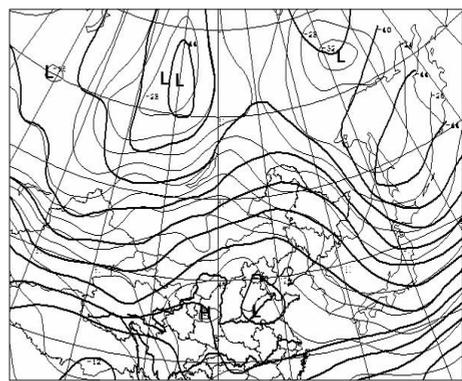


图1 2006年2月12日20时850hPa高度场(粗线)和温度场(细线)分布

上述环流形势特征不仅使近地面层气温升高明显、易形成逆温,同时受低压控制天空云量多,空气湿度大,尤其是山区盆地风速小等,都是不利于空气污染物扩散和烟道排烟的。

## 2 气象要素变化特征及与烟道排烟关系分析

### 2.1 逆温

气温的垂直分布是判别大气层结是否稳定的条件之一,它直接影响着大气湍流和对流活动,从而影响污染物的排放和扩散。当层结不稳定时,会促使或加剧湍流和对流运动的发

展,使污染物的排放、扩散和稀释能力加强,反之当大气处于稳定层结时,则对湍流起抑制作用,使污染物的排放、扩散和稀释能力减弱。逆温会使大气层结变得异常稳定,它的形成有效的阻挡了空气的上下交换。根据我国国标 GB3840-83<sup>[2]</sup>推荐的静风与稳定条件下烟气抬升公式为:

$$\Delta H = 0.98Q_h^{1/4} \left( \frac{\partial T_a}{\partial z} + 0.0098 \right)^{-3/8} \quad (1)$$

式中  $\Delta H$  为烟气抬升高度,  $Q_h$  为排热率 ( $\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $\frac{\partial T_a}{\partial z}$  为排放源高度以上的环境温度变化率。

由式(1)可见,烟气抬升高度与排热率成正比,与环境温度梯度的变化率成反比,环境温度梯度正值越大,越不利于烟气上升,逆温越强,烟气抬升高度越低。

表 1 是 2006 年 2 月 13 日 08 时延吉站的探空情况,当时的地面气温为  $-7.3^\circ\text{C}$ ,而在离地面仅 51m 的高度气温为  $-1.3^\circ\text{C}$ ,升高了  $6^\circ\text{C}$ ,是常规温度直减率的数十倍,在距地面 230m 高度上气温为零上  $2.7^\circ\text{C}$ ,此处逆温达最强,与地面温差为  $10^\circ\text{C}$ ,至 700hPa 温度仍高于地面。由此可见,该逆温特点一是近地面层温度升高迅速即温度梯度大;二是最大逆温处的逆温层低;三是逆温层厚达 3 千余米;四是逆温的持续时间长,从 12 日 08 时就有逆温存在,持续至 13 日 20 时,其中 13 日 08 时逆温达最强(图 2)。

在微风或静风条件下本身就不利于空气的流动,若有逆温存在就好比是雪上加霜,逆温不仅使空气中的污染物不易扩散重要的是它也阻碍了烟道中的烟气上升,使得烟道排烟不畅,室内污染物积聚增多。逆温层顶越低、逆温越强,越不利于烟道排烟,阻挡着上下层的气流交换。

表 1 2006 年 2 月 13 日 08 时延吉站探空情况

气压/hPa	975	969	948	925	850	700	600
高度/m	地面	51	230	426	1100	2621	3815
温度/ $^\circ\text{C}$	-7.3	-1.3	2.7	1.6	-4.2	-6.5	-10.0

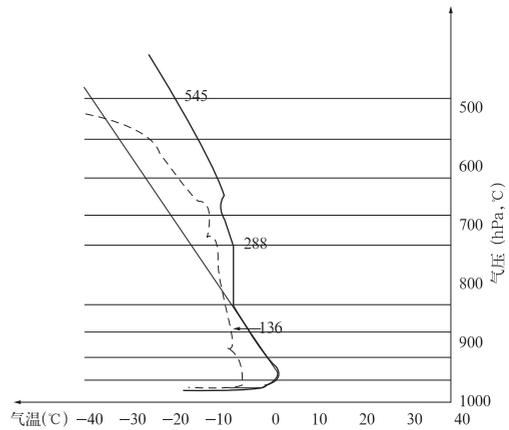


图 2 2006 年 2 月 13 日 08 时延吉探空曲线  
粗实线为气温,虚线为露点温度

## 2.2 风 速

风速的大小与大气中污染物的扩散与排放成正比关系。在大风天气时,不仅有利于室内外空气流通,而且当风在烟囱口横向或沿排气方向移过时瞬间会使其空气压力减小,利于烟道中的气体排出而起到抽气作用,但在风速很小或静风的情况下,空气流动速度缓慢甚至呈准静止状态,这显然对烟道排烟是极为不利的。图 3 是 2 月 12—14 日延吉风速的逐时变化,可见白天风速较大,多在  $4\sim 8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  之间,入夜后风速迅速减小,尤其是 13 日的后半夜(即 14 日凌晨 1 点)至 14 日的 11 时,有长达 11 个小时风速  $\leq 1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其中有 5 个小时为静风,而且自地面到 230m 高度存在很强的逆温,由烟气抬升公式可知,此

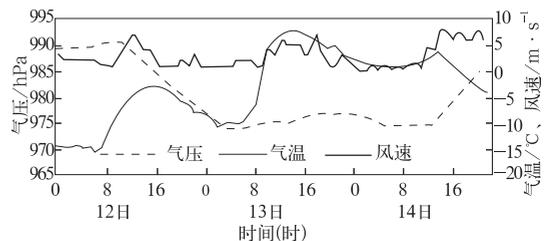


图 3 2006 年 2 月 12—14 日延吉气压、气温、风速逐时变化曲线

时不利于烟气抬升,炉内产生的大量一氧化碳在室内积聚过多,且后半夜正是人们熟睡的时候,其所带来的危害是不言而喻的。

### 2.3 气温

2月13日延吉市气温明显升高(见图3细实线),日平均气温为 $1.6^{\circ}\text{C}$ ,日最高气温为 $7.9^{\circ}\text{C}$ ,日最低气温为 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,较12日分别升高 $7.7^{\circ}\text{C}$ 、 $10.5^{\circ}\text{C}$ 和 $12.3^{\circ}\text{C}$ ,日平均气温较常年同期升高 $8.7^{\circ}\text{C}$ 。由式(1)可知,在环境温度梯度不变的情况下,烟气抬升高度与排热率成正比,即炉火越旺排热率越大,烟气抬升越高,即有利于烟道排烟,反之不利于烟道排烟。根据国家标准 GB/T13201-91 中给出的计算公式<sup>[5]</sup>,排热率为:

$$Q_h = 0.35 \times P \times Q_v \times \frac{\Delta T}{T_s} \quad (2)$$

式中 $\Delta T = T_s - T_a$ ( $T_s$ 和 $T_a$ 分别为空气和烟气温度), $P$ 为气压, $Q_v$ 为实际排烟率( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )。

式(2)表明,排热率与空气和烟气温度之差成正比,也就是说烟道内外温差越大,越有利于排烟;烟道内外温差小则不利于烟道排烟。此次一氧化碳中毒过程中的气温异常升高尤其是夜间气温异常升高,使得夜间本来就不旺的炉火烟道内外温差降低,导致炉内烟气上升速度减慢甚至停滞,使污染气体在室内积聚。

### 2.4 气压、湿度和云量

气压是影响排热率的因子之一,由式(2)可见,排热率与气压高低成正比,即气压高,则排热率大,有利于烟气上升;气压低,则排热率小,不利于烟气上升。2月13日延吉本站日平均气压最低为 $975.9\text{hPa}$ (见图3断线),较前一日降低 $10.1\text{hPa}$ ,气压之低和气压降幅之大的确罕见,12—16日延吉本站日平均气压维持在 $975.9 \sim 988.6\text{hPa}$ 之间,其中13日凌晨到14日白天气压在 $975\text{hPa}$ 附近,这在冬季还是比较低的。

另外,气压场的分布特征会引起气象要

素的系列变化,首先从大尺度形势特征分析可见,在此次一氧化碳中毒过程中,低压尺度大、持续时间较长而且气压梯度较小,海平面气压场分布较为均匀,处于盆地的延边州风速甚小;其次处于低压前部的暖区内使气温升高;第三地面层的弱辐合使天空中云量增加从而湿度增大等,从延吉的日平均相对湿度和日平均总云量来看,都有一个明显的增加过程。在有逆温的情况下,湿度和云量的增加无疑更加阻碍了近地面层污染的排放。在此次一氧化碳中毒事件的前一天(12日)晚上和13日上午,延吉站还观测到了很强的烟和霾现象,能见度较差仅为 $3\text{km}$ ,从而使不利烟道排烟的因素增多。

### 3 主要气象要素的变化与历史同期比较

使用近46年冬季(1960—2005年)延吉气象观测资料,分析“2.13”一氧化碳中毒时主要气象要素变化特征的历史发生情况(见表2)可见,冬季延吉出现逆温和地面风速小于 $1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 发生概率较高,其次是强逆温发生概率约占整个冬季的11%,而其它与此次

表2 延吉发生一氧化碳中毒时的主要气象要素历史发生情况

	冬季发生 概率/%	2006年2月 13日
逆温	37.2	有逆温
逆温值 $\geq 10^{\circ}\text{C}$	10.96	$10^{\circ}\text{C}$
逆温自地面开始至逆温 最大处高度 $< 230\text{m}$	2.5	230m
风速 $< 1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	31.7	$< 1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
日平均气温较 常年升高 $\geq 8^{\circ}\text{C}$	4.7	$8.7^{\circ}\text{C}$
日平均气温较前 日升高 $\geq 7^{\circ}\text{C}$	3.3	$7.7^{\circ}\text{C}$
日最低气温较前 日升高 $\geq 12^{\circ}\text{C}$	1.86	$12.3^{\circ}\text{C}$
日最高气温较前 日升高 $\geq 10^{\circ}\text{C}$	0.9	$10.5^{\circ}\text{C}$
日平均气压较前 日下降 $\geq 10\text{hPa}$	1.7	$10.1\text{hPa}$

一氧化碳中毒时相近的气象要素在历史上都有一定的比率出现,但发生的几率较小,都不足 5%。那么与“2.13”相近的气象要素组合历史发生概率又如何呢?通过近 46 年的历史资料统计和计算分析,发现这种气象要素的组合在历史上实属罕见。

#### 4 地形影响

不同的地形条件其下垫面的动力学和热力学特征有所差异,对烟囱排烟扩散也会造成不同影响,延边地区地处长白山腹地的盆地之中,延吉站的海拔高度为 178m,其四周山的高度约在 1000m 左右,形成约 200 多平方公里的盆地。气象要素变化与平原相比有很大差异,一是由于地形阻挡风速小,二是易形成强逆气温,三是气象要素日变化大,四是云停滞的时间长、湿度大等,这些都是不利于空气污染物扩散的因素。

#### 5 小 结

通过对 2006 年 2 月 13 日延边州大范围一氧化碳中毒事件气象条件分析,可初步得出以下结论:

(1) 燃煤居民室内一氧化碳中毒多发生在烟道排烟不畅的情况下,烟道排烟与众多因素有关,但天气条件和气象要素的变化对烟道排烟有很重要的影响。“2.13”一氧化碳中毒事件是在近地面出现强烈逆温(逆温值达  $10^{\circ}\text{C}$ )、最大逆温顶处高度低(仅距地面 230m)、地面静风或风速  $<1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的时间长(达 11 小时),同时气温明显回升(日最高、日最低气温较前

日升高均  $>10^{\circ}\text{C}$ )、气压明显下降(较前日下降达 10hPa)等气象条件下发生的。

(2) 在影响烟道排烟的众多气象要素中,近地面层有逆温而且最大逆温处的高度越低、逆温强度越强,越不利于烟道排烟。在强逆温出现的同时伴有地面静风或风速很小 ( $<2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、气温明显回升、气压明显下降则是不利于烟道排烟的高危气象条件。

(3) 在高危气象条件发生的同时能见度差(可观测到烟或霾)、湿度大、云量增多等,更增加了不利烟道排烟的因素。

(4) 不利于居民燃煤烟道排烟的气象要素有风、大气稳定度、气温、气压、湿度等,最不利于烟道排烟、易导致室内一氧化碳含量过多则是多种不利的气象条件同时存在。

(5) 与“2.13”一氧化碳中毒时相近的每个气象要素在历史上都有一定的比率出现,但与“2.13”相近的气象要素组合在历史上确是罕见的。因此,可以将“2.13”的气象要素组合作为不利于烟道排烟的最高气象预警条件,在预报服务中可适当降低标准参考使用。

#### 参考文献

- [1] 薛夔波,曲海涛. 烟台市区煤气中毒气象要素分析及等级预报[J]. 气象科技, 2002, 30(6): 362-363.
- [2] 孟昭翰,王栋成,郑全岭,等. 气象因素在建筑设计中的重要作用[J]. 山东气象, 1998, 74(4).
- [3] 陈鸣峰. 烟囱排烟扩散的影响因素初步研究[J]. 上海环境科学, 2004, 23(6).
- [4] 朱兆瑞. 应用气候手册[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 206-209.
- [5] 蒋维楣,孙鉴泞,曹文俊,等. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社. 2004: 134-139.