

# 延吉市 CO 中毒事件成因及 气象条件分析

谢静芳<sup>1</sup> 李 磊<sup>2</sup> 刘海峰<sup>1</sup> 张凤歧<sup>3</sup>

(1. 吉林省气象局, 长春 130062; 2. 北京市气候中心; 3. 延吉市气象局)

**提 要:** 对2006年2月13—14日延吉市CO中毒事件的成因及气象条件的影响进行了分析和探讨, 天气和数值模拟分析结果表明: 在这次CO中毒事件中, 持续弱风和大幅度升温是主要的气象影响因素, 同时, 逆温、弱气压场、云量多等气象条件对低空风速和湍流的持续抑制作用, 延长了不利气象因素的影响时间, 对中毒事件的发生也具有不可忽视的作用。延吉市CO中毒事件绝大多数死亡者和患者都住自建出租房, 这种房屋空间狭小、保温和通风性能差, 尤其是弱风条件下大幅度升温对其室内通风和供氧条件的不利影响, 是导致该事件发生的根本原因。

**关键词:** 一氧化碳(CO)中毒 成因 气象条件

## Carbon Monoxide Poisoning and Meteorological Influence in Yanji, Jilin Province

Xie Jingfang<sup>1</sup> Li Lei<sup>2</sup> Liu Haifeng<sup>1</sup> Zhang Fengqi<sup>3</sup>

(1. Jilin Meteorological Bureau, Changchun 130062; 2. Beijing Climate Center;  
3. Yanji Meteorological Office, Jilin Province)

**Abstract:** The cause for the carbon monoxide poisoning and the meteorological influence in Yanji during February 13—14, 2006 are analyzed. The results indicate that, both the durative breeze and the obvious rising of temperature are the main meteorological factors for the CO poisoning. In the meantime, weather conditions, such as temperature inversion, weak pressure field, cloudiness etc., constrain the surface wind and turbulence for longtime. The time of unfavorable weather factor influence is extended. Most of the people who died in the

accident and most sufferers live in narrow and small building, heat preservation and poor ventilation. When influenced by same meteorological conditions, poor ventilation and oxygen supply in these houses worse than normal cause CO to increase prominently in the combustion process and unable to discharge normally. This is the basic cause for the accident.

**Key Words:** the carbon monoxide (CO) poisoning meteorological conditions cause

## 引言

一氧化碳(CO)中毒又称煤气中毒,主要是由于人体吸入的CO进入血液后,与血红蛋白结合形成碳氧血红蛋白,使血液丧失输送氧气的功能,发生头痛、头昏等神经症状,严重者可导致昏迷甚至死亡。居室CO中毒的原理比较简单,但个体事件的影响因素往往比较复杂,燃煤方法不科学、居室环境不良、防范措施不力等都可能引发中毒事件。由于CO中毒是小概率事件,原因复杂、时空分布呈高度散发,系统完整地搜集资料十分困难,关于天气条件对CO中毒影响方面的分析研究工作也较少。薛葵波、汪德森等曾对烟台、北戴河、丹东等地较小范围内的CO中毒事件与气象条件的关系进行统计或个例分析,认为最低气温高、风速小、气压稳定等因素对排烟有一定的影响<sup>[1-3]</sup>。章澄昌认为,CO在室内的累积程度与室内、外温度差、风力、湿度以及近地层逆温强度有关<sup>[4]</sup>。

2006年2月13—14日,吉林省延边州6个市县发生多起CO中毒事件,就诊患者达291人,死亡16人。其中延吉市中毒148人、死亡10人。在这样短的时间和相邻近的地区内,发生多起CO中毒事件,引起社会的广泛关注和政府的高度重视。作者通过现场调查、气象条件分析和数值模拟试验,对延吉市CO中毒事件的成因及气象条件的影响进行分析和探讨。

## 1 事件经过及相关情况调查

### 1.1 事件经过

医院记载的最早患者就诊时间为13日17时,患者就诊高峰为13日晚至14日凌晨。但调查发现,13日中午开始就陆续有患者出现中毒症状甚至有昏迷者,并有多位患者去诊所或医院就诊,但不知道是CO中毒。有一家夫妻二人,13日18时左右出现症状,到医院就诊按感冒治疗后症状消失,21时多返回家中后很快又出现了症状,再去医院才确诊为CO中毒。由此分析,中毒事件开始的时间应该是13日中午,事发高峰也早于就诊和确诊高峰。天气条件、居民晚上用火和在室内的时间比白天明显增多等,可能对就诊患者数量随时间的变化也有一定影响。

### 1.2 现场情况调查

延吉市CO中毒者绝大多数住在平房集中的棚户区,而且是租住平房居民在自家房屋旁边搭建的出租房(当地称“偏厦子”)的外来打工者或其他人员。这种自建的出租房屋室内高度约为2~2.3m,面积为10~15m<sup>2</sup>,墙体厚度多为240mm或370mm(标准住房为500mm)。室内空间低矮、面积狭小、保暖性差,室温比当地居民家明显偏低,在天冷时不少家的室内墙壁上甚至挂着霜。为保暖,大多数住户将门窗用塑料薄

膜或其它材料封闭, 室内的通风条件很差。

延吉市区冬季风力较小, 影响自然排烟, 一些住户在烟囱上安装了排风扇帮助排烟。事发当天, 在中毒患者家中, 有开排风扇的也有未开的。大多数患者家在烧炕时并没有倒烟现象, 屋内也没有感觉出有烟, 中毒完全是在不知不觉的情况下发生的。在部分中毒死亡者家的炉膛内, 有未完全燃烧的煤块, 说明在煤炭燃烧过程中氧气不充足。

## 2 天气形势特征及影响分析

### 2.1 天气形势分析

2006 年 2 月 12—14 日, 延吉市有一次高空槽和地面低压系统影响过程。12—13 日, 东北区位于蒙古东部的高空槽前并在地面低压暖区控制下 (见图 1), 吉林省大部分地区位于低压暖区内, 由于暖空气势力较强、冷空气偏后, 低压系统移动缓慢, 低压中心气压场梯度很弱、风力也较小。12—13 日, 延吉市一直位于低压前部的弱辐合区内, 13 日受强暖空气影响气温大幅度升高, 14 日白天冷空气到达延吉。

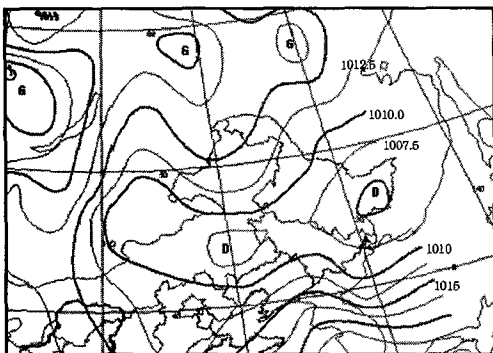


图 1 2006 年 2 月 13 日 08 时东北区地面气压形势场

▲处为延吉

### 2.2 近地面逆温层及变化特征分析

延吉市冬季经常出现低空逆温现象。2006 年 1 月 1 日—2 月 14 日 45 天中有 32 天近地面出现逆温层, 此间逆温层的平均厚度 298m、最大厚度 618m; 平均逆温率  $1.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 最大达  $6.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。11 日 20 时—13 日 20 时, 延吉市持续出现接地的近地面逆温层 (表 1), 其中强度和厚度最大的时刻出现在 13 日 08 时事件发生前, 其它时间的逆温强度和厚度差异不大。13 日 08 时逆温层的厚度和强度明显增大的主要原因, 是由于 500~850hPa 气流下沉增温的影响, 其中 850hPa 下沉气流速度达  $11\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。13 日白天, 受地面大幅度升温影响, 逆温层厚度和强度又明显减小。13 日 13 时地面气温比 08 时升高了  $14.7^{\circ}\text{C}$ , 而 850 和 950hPa 的气温 13 日 20 时仅比 08 时升高了  $1^{\circ}\text{C}$ 。在事件发生过程中, 低空逆温层的强度和厚度为减弱趋势, 但大气层结依然是稳定的, 其对低空风速和湍流的抑制作用, 对排烟和通风产生不利影响。14 日 08 时逆温层消失。

表 1 2006 年 2 月 11—13 日延吉市地面气象要素及近地面逆温特征

时间	11 日 20 时	12 日 08 时	12 日 20 时	13 日 08 时	13 日 20 时
本站气压/hPa	988	991	979	975	977
气温/ $^{\circ}\text{C}$	-11.8	-13.1	-5.8	-7.3	4.5
风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	3.9	0.3	1.8	1.0	0.8
逆温层厚度/m	131	178	154	231	171
逆温强度/ $^{\circ}\text{C}(100\text{m})^{-1}$	1.00	0.79	0.78	4.20	0.76

### 2.3 地面气象要素特征及影响分析

气压的变化。12—14 日延吉市受地面低压系统的影响, 气压持续偏低。13 日平均本站气压为 975.6hPa, 是 2005 年 12 月 1 日至 2006 年 2 月 13 日期间的最低值, 但并

不是延吉市历史同期的最低值,与13日吉林省境内的最低气压918hPa(长白县和抚松县)相比也不算低。从图2气压的逐时变化看,13日凌晨气压开始下降,13日06时气压为974hPa,是12—14日期间的最低值。13日6时至14日15时气压稳定少变,14日16时以后。随着冷空气的侵入气压开始明显上升。在中毒事件过程中,气压的主要特点是持续偏低并且变化幅度很小。在这种气压场形势下,地面风速也持续偏小,从而对排烟通风产生不利影响。薛葵波的研究也表明,在低压中心、高压中心或高压后部,系统稳定、气压梯度小、气压较稳定时,易发生煤气中毒事件<sup>[1]</sup>。

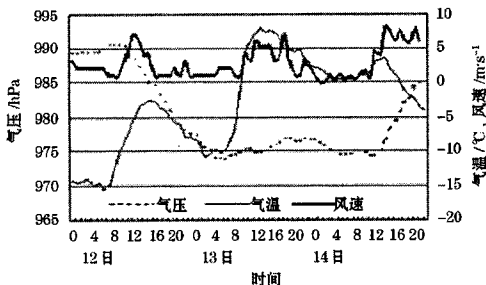


图2 2006年2月12—14日地面气象要素逐时变化

风速的变化。风速是影响室内通风排烟的主要因子。12—14日,延吉市近地面风速较小,尤其是夜间风速很小。12日和13日延吉市的平均风速分别为 $2.5$ 和 $2.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,略小于2005年12月1日至2006年2月15日延吉市的平均风速 $3.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。白天风速比较大,夜间风速明显减小。12日16时至13日9时,平均风速为 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,13日10—19时,平均风速为 $4.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,13日20时至14日10时,平均风速降至 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。13日风速的减小与就诊患者增加有很好的对应关系。同时,由于延吉市居民区位于盆地当中,高度明显低于气象

站,棚户区建筑又十分密集,其实际风速明显小于气象站观测的风速。由此可见,天气系统、特殊地形和建筑环境的共同影响造成的弱风条件,是影响CO中毒事件的主要气象和环境因素之一。

气温的变化。冬季天气寒冷,住户门窗紧闭,室内、外空气交换量很小。当风力较小时,由于热压作用通过门窗缝隙和烟道口产生的室内、外空气交换对于保持室内空气新鲜具有重要作用,而在季节转暖后,住户门窗常开,热压对通风的重要性明显减小。12—14日延吉市气温变化的最显著的特点是事发当日气温大幅度升高。12日平均气温为 $-9^{\circ}\text{C}$ ,比历年同期略高。13日08—13时,气温从 $-6.8^{\circ}\text{C}$ 猛升到 $7.9^{\circ}\text{C}$ ,5个小时内气温升高了 $14.7^{\circ}\text{C}$ ,这在冬季是极为少见的。气温大幅度上升并持续偏高,使室内、外温差明显减小,对通风产生不利影响。比较表1中12日20时和13日20时各种气象因素,其它条件差异均不大,但气温升高了 $10^{\circ}\text{C}$ 。尤其是“偏厦子”室温比正常室温明显偏低,升温对其通风的不利影响也更加显著。

### 3 自然通风排烟及气象条件的影响

#### 3.1 自然排烟及气象条件的影响

自然排烟主要靠燃烧产生的热压、室外烟囱口处风速产生的负压(抽吸作用)及炉灶与烟囱排烟口之间气压差等产生的动力作用。炉火越旺盛、室外风速越大、烟囱越高,排烟效果也就越好<sup>[5]</sup>。

利用北京市气候中心引进的CFD(Computational Fluid Dynamics)软件Fluent,参照现场建立二维模型,对室内燃烧排放气体浓度与炉膛排放气体的温度(热压条件)和风速的关系进行模拟试验,结果表

明: 风速增大或提高排放气体的温度, 都有利于减小室内燃烧排放气体浓度, 模拟与理论分析的结果一致。

烟气从烟囱口排出后, 其在大气中抬升高度和扩散速度与大气的稳定度有显著关系, 低空逆温对烟气的抬升和扩散有显著的不利影响<sup>[6,7]</sup>。但大气稳定度对烟气在由炉膛经过烟道向外排出过程的影响, 尚未见到相关的研究和报道。同时, 由于逆温层在地表面的特性十分复杂, 也给分析研究带来很大困难, 相关工作还有待于今后进一步研究探讨。

### 3.2 自然通风及气象条件的影响

居室的自然通风主要是在室外风速和室内、外空气温度差的作用下, 由于建筑物门窗或排风口两侧的气压差(即风压和热压), 使室内、外空气产生流通和交换<sup>[8]</sup>。风压与气流在冲击建筑物的瞬间风速的平方成正比<sup>[9,10]</sup>, 室外的风速越大, 就越有利于室内、外空气流通和交换。热压主要与室内、外温度差有关, 当通风孔大小不变时, 温度差越大, 通风效果越好<sup>[11]</sup>, 自然通风的排风体积流量与室内、外温度差呈正比<sup>[12]</sup>。

利用 Fluent 并参考现场实况建立精细的三维数学模型, 就升温过程对室内自然通风的影响进行模拟试验。模型中整个计算区域为 80m×80m×32m, 房屋的尺寸为 5m×3m×2.5m, 屋内煤炉尺寸为 0.8m×0.8m×1.0m, 煤炉与房屋内部空间的进气孔为 0.6m×0.6m, 烟囱尺寸为 0.2m×0.2m×3.5m。在房屋的墙上设计一个 0.1m×0.1m 的通风孔, 用以等效地描述门窗缝隙的通风状况。同时, 为了得到更为准确的模拟结果, 对整个模拟区域作了高质量的矩形网格划分, 网格总数约为 90 万个。方案设计中, 室外温度根据 13 日延吉市气温变化特征选取, 室内温度参照标准住房和

“偏厦子”平均情况近似选取。通风口孔处气流平均速度的模拟结果由表 2 给出。

表 2 室、内外温度差影响通风的数值实验方案及结果(空气流入室内为负值)

方案	室内温度/℃	室外温度/℃	对应时间	气流平均速度/m·s <sup>-1</sup>
1	8	-7	13 日 08 时	-0.12
2	8	8	13 日 13 时	0.00
3	8	5	13 日 20 时	-0.01
4	8	4	13 日 22 时	-0.06
5	18	8	14 日 13 时	-0.12
6	18	5	14 日 20 时	-0.14
7	18	4	14 日 22 时	-0.14

模拟分析表明: 由于“偏厦子”室温明显偏低, 13 日延吉市的升温过程对其通风的影响程度远远大于正常房屋。13 日 13—20 时, 在模拟“偏厦子”的通风口处几乎没有空气流入室内, 而标准房屋的空气流入量是“偏厦子”的 13 倍。尽管模拟与实际情况有一定的偏差, 但其结果能很好地反映出弱风条件下升温过程对“偏厦子”的不利影响, 同样条件下升温对室温正常的房屋通风的影响要小得多。

从 CO 中毒的成因分析, 造成 CO 中毒事件的根本原因是 CO 的产生和聚积。煤炭正常燃烧时主要排放物为 CO<sub>2</sub>, 只有当氧气不足时, 燃烧排放物中才会有大量的 CO。由于“偏厦子”空间狭小, 弱风和大幅度升温又严重影响其通风排烟, 室内氧气被消耗减少后没有充足的新鲜空气补充, 燃烧过程中氧气不足而导致室内 CO 显著增加和聚积, 这是造成 CO 中毒事件异常集中地发生在“偏厦子”的根本原因。这种升温影响过程与延吉市中毒事件的开始和高发时间也非常吻合。

## 4 结 论

风速和气温是影响自然通风排烟的主要

气象因素。2006年2月13日延吉市CO中毒事件的主要气象影响因素是持续弱风和大幅度升温。同时,逆温、弱气压场、云量多等对低空风速和湍流的持续抑制作用,延长了不利气象条件的影响时间,对中毒事件的发生也有不可忽视的作用。

延吉市CO中毒事件绝大多数死亡者和患者都住自建出租房,这种房屋空间狭小、保温和通风性能差,室温明显偏低。弱风尤其是大幅度升温对其室内通风和供氧条件的不利影响,致使燃烧过程中氧气供应不足、CO显著增加且无法正常排放,是导致该事件异常集中发生于特定住房居民家中的根本原因。

在弱风条件下,由于热压作用通过门窗缝隙和烟囱口产生的室内、外空气交换对于保持室内空气新鲜和防止CO中毒具有重要作用。由于初春天气较冷,北方居民家仍然是门窗紧闭,而这时的明显升温过程气温更容易接近室温,对居室通风的影响也更大。这也是冬春之交时更容易发生CO中毒事件的一个主要原因。

### 参考文献

- [1] 薛葵波,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] 汪德森. 一次大规模一氧化碳中毒事件的气象条件分析 [J]. 气象, 1983, 9 (12): 25.
- [3] 辽宁丹东市气象台. 积极开展预防煤气中毒的气象服务 [J]. 气象, 1975, 1 (10): 22.
- [4] 章澄昌. 产业工程气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 1997: 41.
- [5] 张吉光, 史自强, 崔红社. 高层建筑和地下建筑通风与防排烟 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 38.
- [6] 朱瑞兆. 应用气候手册 [M]. 北京: 气象出版社, 1991: 206-211.
- [7] 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): 273.
- [8] 赵平歌, 宋惠. 建筑自然通风的影响因素及实现途径 [J]. 房材与应用, 2005, 33 (5): 54-56.
- [9] 高绍凤, 陈万隆, 朱超群. 应用气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 169.
- [10] 陆耀庆. 供暖通风设计计算手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994: 628-636.
- [11] 孙一坚. 工业通风 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994: 171-187.
- [12] 马超, 黄晨, 高健. 热压作用下自然通风量的理论计算及实测验证 [J]. 制冷空调与电力机械, 2005, 26 (6): 28-30.
- [1] 薛葵波, 曲海涛. 烟台市区煤气中毒气象要素分析