

煤气中毒事件气象条件初步分析

付桂琴¹ 李运宗¹ 尤凤春²

(1. 河北省气象科技服务中心, 石家庄 050021; 2. 北京市气象台)

提 要: 利用河北省疾病预防控制中心提供的 2006、2007 年冬季采暖期石家庄非职业性煤气中毒病例数据, 采用相关分析的方法, 从大尺度天气形势、气象要素变化两方面分析了发生煤气中毒事故与气象条件的关系。结果表明: (1) 煤气中毒事件主要发生在夜间到早晨时段, 特别是最寒冷的 12 月、1 月是煤气中毒的多发季节; (2) 风速小 (1~2 级)、近地面层有逆温、气温变化不大 ($\pm 3.0^{\circ}\text{C}$ 之内)、有雾霾等气象条件, 不利于污染物扩散, 易发生煤气中毒; (3) 500hPa 高空处于偏西气流、西来槽、高空槽等环流形势下, 地面受低压类、均压类、高压底部等天气系统影响, 不利于一氧化碳气体扩散, 发生煤气中毒的可能性大, 在预报服务中应重点考虑。

关键词: 煤气中毒 天气形势 相关分析 气象要素

Analysis on the Meteorological Conditions of Gas Poisoning Event

Fu Guiqin¹ Li Yunzong¹ You Fengchun²

(1. Hebei Province Meteorological Science and Technology Service Center, Shijiazhuang 050021;

2. Meteorological Observatory of Beijing)

Abstract: According to the gas poisoning data provided by Prophylaxis and the Control Center of Hebei province and the meteorological data in winter from 2006 to 2007 year in Shijiazhuang, the relationship between carbon monoxide poisoning events and the meteorological condition was analyzed. The results indicated that: (1) the gas poisoning event mainly occurs in the night to the morning, specially in the coldest December and January; (2) Small wind velocity (grade 1 to 2), surface layer with inversion temperature gradient, small temperature change (within $\pm 3.0^{\circ}\text{C}$), fog and haze are the meteorological conditions favorable to the gas poisoning; (3) 500 hPa upper air situations such as the west air current, westerly trough and upper-level trough, and the ground synoptic situations such as weak high pressure, low pressure and equal pressure, are favorable

北京区域中心 BRMCCJ200712 号课题资助。

收稿日期: 2008 年 3 月 7 日; 修定稿日期: 2008 年 9 月 27 日

to the poisoning event occurrence. In the forecast service these weather situations should be paid more consideration.

Key Words: gas poisoning synoptic situation correlation analysis meteorological element

引 言

近年来,各地非职业性一氧化碳中毒事件频繁发生。郑红^[1-2]等研究表明,在不利于气体扩散条件下,大气污染物浓度会急剧升高,是造成空气污染的主要气象条件。谢静芳^[3]、王晓明^[4]等通过分析吉林省延边市煤气中毒典型个例,分析了该事件发生的气象条件。李明天^[5]等分析了当地一氧化碳监测浓度与气象条件的关系,得出易出现一氧化碳中毒的地面天气形势。由于煤气中毒事件发生原因复杂,各地区气候差异大,生活习惯各不相同,具体分析发生煤气中毒事故与气象条件的相关研究还不多。石家庄地处河北平原,冬季采暖期曾多次出现过煤气中毒事件。这些事件的发生给人们的生命财产造成巨大的损失,引起各级政府的高度重视。作者根据河北省疾病预防控制中心提供的2006—2007年石家庄冬季采暖期,发生煤气中毒事故的详细数据及对应时段的常规气象资料,研究当地煤气中毒事件发生的气象条件,旨在为开展煤气中毒气象潜势预报服务提供参考依据,同时提醒人们提前防控,减少此类事件的发生,对保护人们的生命财产安全有着重要意义。

1 资料及方法

利用河北省疾病预防控制中心提供的2006、2007年冬季11月到翌年3月,石家庄煤气中毒报告病例数据,按照煤气中毒发生起数、涉及的中毒人数、导致死亡人数分别进行统计。规定:一天中一个地点报告中毒病

例计为1起,多个地点报告煤气中毒病例,计为多起。每起事件中毒人数之和统计为中毒总人数,导致死亡人数之和为死亡总人数。选用对应时段内的500hPa高空和地面常规气象资料进行天气形势分析。样本总数303个,其中发生煤气中毒事件样本数177个。对煤气中毒事故与对应气象要素进行相关分析。鉴于资料原因,采用样本总数的百分率进行分析研究。

2 煤气中毒事故分析

2.1 煤气中毒事件在不同月份的分布情况

2006、2007年冬季,石家庄各县市发生煤气中毒事件共计566起,平均每月发生56.6起。两年来各月煤气中毒事故百分率与气温距平分布见图1。可见煤气中毒与气温距平呈反位相分布,气温越低,发生中毒的几率越大。从各月煤气中毒事故百分率与月平均气温、风速、相对湿度、降水的相关性初步分析看,与气温的负相关性最好,其相关系数达-0.861,而与风速、相对湿度、降水的相关性要远小于与气温的相关性。从气候上分析,这种分布主要是因为12月、1月是一年中寒冷的季节,气温低,日取暖时间相对其它月份要长,燃煤量相对偏多,有利于室内一

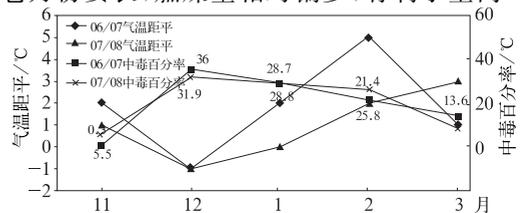


图1 2006、2007年冬季各月气温距平与煤气中毒百分率

氧化碳浓度的积累增加;另外由于气温低,人们御寒保暖的需要,窗门紧闭,室内通风相对较差,不利于一氧化碳气体扩散。

2.2 煤气中毒事故日变化

按照煤气中毒病例首次报告事件发生时间,统计分析了近 2 年石家庄冬季平均一天中各个时次发生煤气中毒事件,其样本百分率结果如图 2 所示。首次报告煤气中毒事件发生时间主要出现在上午 7—10 时,此时段报告发生煤气中毒事故占全天总事故的 47.2%,中毒人数占全天总中毒人数的 47.5%。可见,这个时间无论是报告中毒起数,还是中毒人数都处于一个高峰期。其它各个时间,均有煤气中毒事故发生,但发生概

率明显偏低。从煤气中毒引起的死亡人数分析看,有两个相对高峰时段,一个是早晨 8—9 时,与首次报告煤气中毒事故的高峰时段相对应,另一个相对高峰时间是 22 时。早晨煤气中毒事故偏多的原因主要是:(1)由于夜间人们都已熟睡,即使有中毒事件,也不容易发现,早晨起床后,才发现煤气中毒患者。因此,这个时段出现的煤气中毒高峰既包含早晨出现的中毒病例,又包含部分夜间已中毒,但没及时发现,到早晨才发现报告的病例。(2)夜间至凌晨地面辐射降温,容易形成近地面逆温层,不利于气体的垂直扩散。(3)石家庄晚上风速一般较小,不利于污染物的流通扩散。(4)夜间人们休息,窗门紧闭,室内通风不畅,容易造成一氧化碳浓度累积增多。

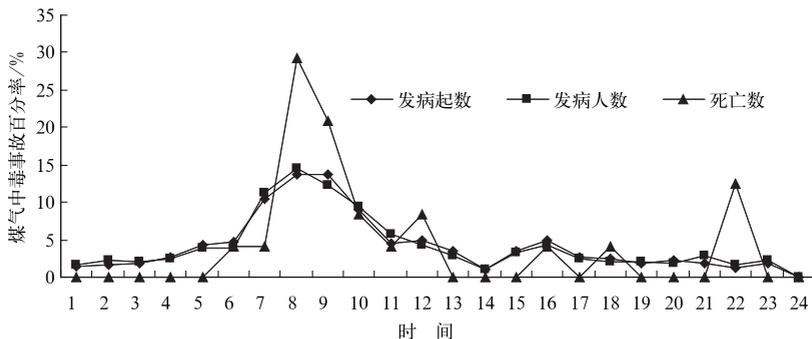


图 2 各个时次煤气中毒事故比例

3 煤气中毒事故天气形势分析

天气形势决定了气象要素的分布与变化,从而决定了大气的稳定程度与扩散能力^[6]。由于煤气中毒事件主要发生在夜间至次日早晨,因此,普查分析 2006 年、2007 年采暖期 11 月 15 日到翌年 3 月 31 日一天 20 时 500hPa 环流形势和地面天气图。在 30~45°N、105~120°E 范围内,根据天气形势出现频次及对应日煤气中毒发生起数,分为有利于一氧化碳扩散和不利于一氧化碳扩散两

类天气形势进行对比分析。

3.1 500hPa 环流形势

将影响石家庄的高空形势分为 5 类,分别为:偏北气流型、高压脊前型、偏西气流型、西来槽型和高压槽型。各类天气分型对应出现的中毒百分率见表 1,环流分型图见图 3。

有利于一氧化碳气体扩散的高空环流形势主要有高空偏北气流型和高压脊前型。不利于污染物扩散的高空环流形势(图 3)主要有:偏西气流型、西来槽型和高压槽型。不利于污染物扩散的高空环流形势特点主要是冷

表 1 各类天气形势下发生煤气中毒事件百分率

天气分型	500hPa					地面			
	利于污染物扩散		不利污染物扩散			利于污染物扩散		不利污染物扩散	
	偏北气流	高压脊前	偏西气流	西来槽型	高空槽型	冷高压、高压前、冷锋后	高压底部 弱高压	均压场 鞍型场	冷锋前、低压、 地形槽、回流
有煤气中毒/%	0	24.7	79.1	67.7	80.4	25.4	80.6	79.4	88.1
无煤气中毒/%	100	75.3	20.9	32.3	19.6	74.6	19.4	20.6	11.9

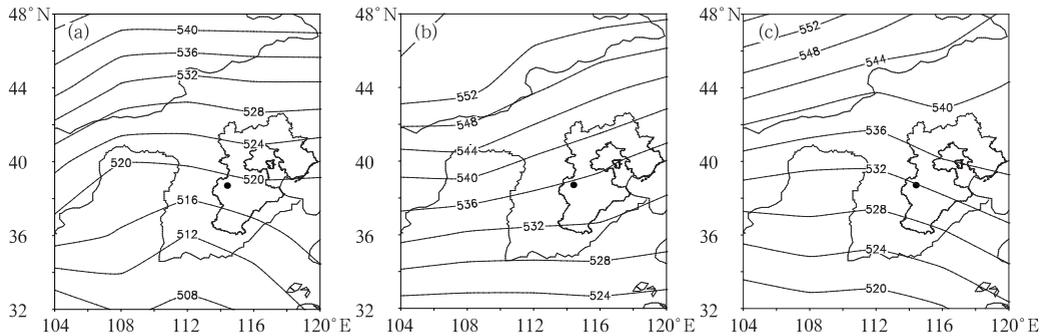


图 3 不利于污染物扩散的 500hPa 天气型

(a) 偏西气流型; (b) 西来槽型; (c) 高空槽型

空气势力较弱,或处于冷空气前的暖气团里,气温变化不大或有回升,地面风速较小,近地面多伴有不同程度的逆温。

3.2 地面天气分型

利于一氧化碳扩散的地面形势主要有:冷高压、高压前部或冷锋后部。不利于污染物扩散的地面气压场主要有三类:高压类、均压类和低压类(见图 4)。其中高压类又包括高压底部、弱高压两种。均压类地面天气形

势包括均压场和鞍型场,均压场以石家庄为中心,在 300km 半径内,气压场分布较均匀,气压梯度 $\Delta p \leq 0.5 \text{ hPa}/100 \text{ km}$ ^[7]。当控制石家庄的高压主体分裂,石家庄处于对称的 2 个高压、2 个低压间的均压场内,即为鞍型场。低压类主要包括:冷锋前或低压、华北地形槽、回流等。

不利于污染物扩散的地面天气特点是:地面气压场较弱,风速较小,近地面层常伴有逆温、雾霾天气出现。

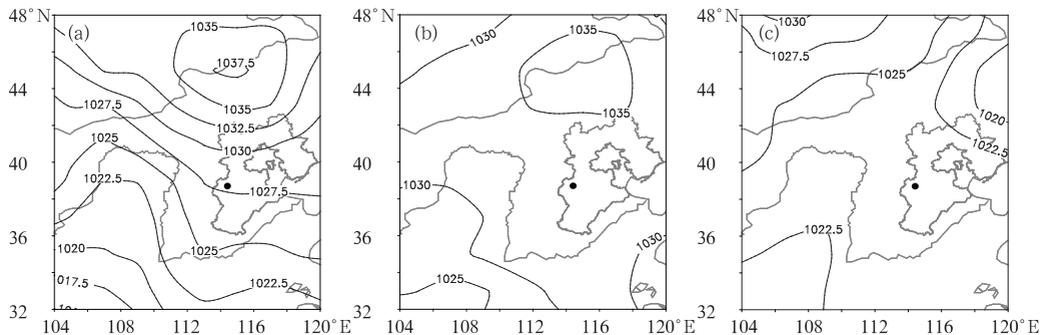


图 4 不利于污染物扩散的地面天气分型图

(a) 高压底部; (b) 均压场; (c) 冷锋前

4 煤气中毒与气象要素、天气现象的相关性分析

采用相关分析的方法,对上述两年冬季发生煤气中毒事件与气象要素进行相关分析^[8],给定信度 $\alpha=0.05$, $F_{\alpha}=3.84$,当 $F>F_{\alpha}$ 时,表示两者间相关显著。发生煤气中毒

事件与当日的逆温、逆温层厚度、风速、气压、最低气温、最高气温、平均气温、相对湿度、有无降水、雾霾天气的相关性计算结果见表 2。可见日煤气中毒事件发生起数与风速、最低气温、最高气温、平均气温为负相关,与其它要素为正相关。其中与逆温强度、逆温层厚度、风速、最低气温、平均气温、有无雾霾呈显著相关。

表 2 煤气中毒事件与气象要素的相关性

	相关系数 r	F 值		相关系数 r	F 值
逆温	0.1444	5.538*	气压	0.0893	2.074
逆温厚度	0.2684	20.19*	最低气温	-0.1574	6.556*
风速	-0.1269	10.19*	最高气温	-0.1139	3.384
有无降水	0.0298	0.231	平均气温	-0.1462	5.638*
有无雾霾	0.1809	8.731*	相对湿度	0.0517	0.692

* 表示显著相关,逆温是用那台站探空资料代替计算的。

4.1 逆温、逆温层厚度对一氧化碳扩散的影响分析

对一个地区而言,在污染源相对稳定的情况下,污染物浓度的高低主要取决于大气的扩散能力。气温的垂直分布是判断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,从而影响着污染物的排放和扩散。由静风与稳定条件下烟气抬升公式^[9]:

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

式中, ΔH 为烟气抬升高度, Q_h 为排热率 ($\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}$), $\frac{\partial T}{\partial Z}$ 为排放源高度上的环境温度变化率。可见烟气抬升高度与环境温度的变化率呈反比,当 $\frac{\partial T}{\partial Z} > 0$ 时,表示有逆温,大气处于稳定层结,对近地面层的气体垂直交换起到抑制作用,不利于烟气的抬升,不利于污染物的扩散或稀释,且 $\frac{\partial T}{\partial Z} > 0$ 值越大,逆温越强,越不利于烟气的抬升。石家庄 2006、

2007 年冬季发生煤气中毒事故当日,近地面层都有逆温存在,逆温层底高度在 1034~724hPa 之间,平均逆温层底高 981.3hPa,逆温层厚度在 1~205hPa,平均逆温层厚度 46.1hPa,逆温值最大为 12℃,平均逆温值 2.9℃。

另外,根据式(1),逆温底的高度越低,与烟气抬升高度差越小,越不利于烟气的抬升扩散。因此,分析出现煤气中毒事故当日 08 时探空资料,根据煤气中毒事故日平均发生起数,在超过日平均发生起数 2 倍的个例中,有 78% 的逆温底高度在 1000hPa 以下,逆温底几乎接地。大气逆温层好比一个锅盖覆盖在城市上空,对大气污染物垂直扩散有着直接的影响作用。

4.2 煤气中毒与风速风向的关系

风对污染物起到输送和稀释的作用。风的输送和稀释可将污染物由一处扩散到高空或其它地方,同时使污染物浓度降低^[10]。因此在污染源相对稳定的情况下,风速越大,越有利于气体流动,有利于污染物的稀释和扩

散;风速越小,越不利于空气流动,容易造成空气污染。由于煤气中毒事件主要发生在夜间至次日早晨,因此统计分析发生煤气中毒事件前一天 20 时和当日 08 时的风速发现,08 时,有 83.3%的煤气中毒事件出现在风速小于 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况下,有 14.7%的煤气中毒事故出现在风速 $1.6 \sim 3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2 级)之间。20 时,风速 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1 级)以下,出现煤气中毒事件占样本总数的 73.5%,有 24.5%的煤气中毒事故出现在风速 $1.6 \sim 3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2 级)之间。无论是早晨还是晚上,煤气中毒事件出现在风速大于 $3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的仅占总样本的 2%,其结果见表 3。由此可见,煤气中毒事件主要发生在风速(1~2 级)较小的天气。

表 3 煤气中毒日前一天 20 时和当日 08 时不同风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)所占比率

风速	≤ 1.5	$1.6 \sim 3.0$	> 3.0
前一天 20 时	73.5%	24.5%	2%
当日 08 时	83.3%	14.7%	2%
平均	78.4%	19.6%	2%

对发生煤气中毒事件前一天 20 时与当日 08 时风速对应的风向出现频次统计分析,分 8 个方向。结果发现:煤气中毒事件前一天 20 时,风向以东南风和西北风出现频率最高,分别为 25.5%和 24.5%;其次是西风和北风,均占 13.7%,排序第三的是东北风和西南风,南风出现频次最少,所占比率仅为 1%。08 时,其风向主要以西北风出现频次最多,占样本总数的 27.5%。北风、西风出现频次基本相当,仅次于西北风,三个风向频率之和占样本总数的 69.6%;南风、东风出现较少。由此可见,石家庄冬季各个风向均有煤气中毒事件发生,其中东南风、偏北风天气发生煤气中毒事件较多,南风和西南风天气出现煤气中毒事故较少。

4.3 煤气中毒与气温的关系

日平均气温的变化可以反映天气回暖趋

势和气团的稳定程度。分析煤气中毒事件当日平均气温(T_d)与前一日平均气温(T_{d-1})之差时发现,日平均气温比前一日升高的 159 天,占 52.5%;日平均气温比前一日降低的有 144 天,占 47.5%。日平均气温变化幅度在 $\pm 3.0^\circ\text{C}$ 以内,代表没有明显的冷、暖空气影响,气团比较均一,占到 87.7%,变化幅度在 $\pm (3 \sim 5)^\circ\text{C}$ 之间,代表有中等强度冷、暖空气影响的占到 10.0%。日平均气温变化幅度超过 $\pm 6^\circ\text{C}$ 以上,代表有强冷、暖空气影响,所占比率 2.3%。可见煤气中毒事件多发生在日平均气温起伏变化较小的情况下。

4.4 雾霾天气与近地面逆温的关系分析

石家庄冬季雾霾天气较多。雾霾天气主要出现在稳定的天气形势之下,在此,分析石家庄出现大雾、轻雾或霾对应当天 08 时有无逆温进行了统计,结果发现所有的雾霾日均有逆温,说明石家庄冬季雾霾日与逆温之间有着紧密的联系。表 4 为 2006、2007 年冬季 11 到翌年 3 月雾霾日与逆温对应关系表。从各月的分布情况看,12 月出现雾霾日最多 42 天,其次是 1 月 34 天,11 月 23 天。2 月、3 月持平,从各月雾霾日对应出现煤气中毒事故的百分比看,1 月达到 85.3%,且 1 月雾霾日平均逆温底高度最低,为 1012.8hPa,逆温层厚度 47.7hPa,排序第二。12 月雾霾日对应出现煤气中毒事故 84.2%,虽然 12 月平均逆温层底高相对较高,但 12 月逆温层厚度 70.6hPa,排序第一。3 月雾霾日出现煤气中毒事故达 85.0%,仅次于 1 月,逆温底高与 12 月基本相当,但逆温层厚度不及其它月份。各月雾霾日与逆温及出现煤气中毒的对应关系可以进一步说明,冬季低空逆温层的存在是产生大雾的主要气象条件,这种气象条件,对空气污染物的扩散有较大的影响^[11],容易出现煤气中毒事故。

表 4 雾霾日与逆温的对应关系

	11月	12月	1月	2月	3月
雾日天数/天	23	42	34	20	20
雾日有逆温的天数/天	23	42	32	20	20
平均逆温底/hPa	982.8	973.6	1012.8	975.1	960.8
逆温层厚度/hPa	44.5	70.6	47.7	42.5	43.2
煤气中毒百分比/%	17.4%	84.2%	85.3%	80.0%	85.0%

5 结 语

通过对石家庄市 2006、2007 年冬季采暖期非职业性煤气中毒事故发生时间特征及对应的气象条件分析,得出以下结论:

(1) 石家庄非职业性煤气中毒事故主要在夜间到早晨,从气候角度看,最寒冷的 12 月、1 月,是煤气中毒事故的高发期。

(2) 500hPa,石家庄在偏西气流、西来槽和高空槽前等天气形势影响下,不利于一氧化碳气体扩散,是发生煤气中毒的主要高空环流形势;而在高空西北气流或高压脊前,利于气体扩散,不易发生煤气中毒。

(3) 石家庄地面处于不利于一氧化碳气体扩散的高压类、均压类和低压类天气形势控制之下,易发生煤气中毒事故,而处于利于一氧化碳扩散的冷高压、高压前部、冷锋后等形势控制之下,不易发生煤气中毒事件。

(4) 石家庄冬季近地面层逆温日较多。逆温层的存在阻碍了污染物的垂直扩散,是造成雾霾天气及煤气中毒的重要气象条件。

(5) 煤气中毒事故多发生在日风速较小的天气里,70%以上的中毒事件出现在风速小于 $1.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。且在东南风与偏北风情况下,发生煤气中毒事故要远远大于南风 and 西南风。所以,在预报东南风或偏北风 1~2 级时,要注意室内通风,防范煤气中毒事故发生。

(6) 煤气中毒事故主要出现在大气稳定,气团比较均一的天气里。87.7%的煤气中毒事故出现在日平均气温较前一日变化幅度在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 之内。长时间持续稳定天气,预报气温变化不大时,要提高预防煤气中毒的警惕性。

(7) 煤气中毒事故发生原因复杂,气象条件是其客观因素。不利于污染物扩散的高空环流形势、地面影响系统以及当地逆温、风向风速、气温变化、雾霾天气等因素的综合作用,是发生煤气中毒的主要气象条件。

参考文献

- [1] 郑红,郑凯,张桂华,等. 哈尔滨冬季大气污染及逆温对污染物扩散影响[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):39-43.
- [2] 薛口波,曲海涛. 烟台市煤气中毒气象要素分析及等级预报[J]. 气象科技,2002,30(6):362-368.
- [3] 谢静芳,李磊,刘海峰,等. 延吉市 CO 中毒事件成因及气象条件分析[J]. 气象,2006,32(12):107-112.
- [4] 王晓明,孙力,刘海峰,等. 一次大范围一氧化碳中毒事件的气象条件[J]. 气象,2007,33(2):102-106.
- [5] 李明香,何晓东,郭兆丽,等. 营口市一氧化碳中毒事件发生日气象条件分析[J]. 气象与环境学报,2007,23(4):25-28.
- [6] 徐晓峰,李青春,张小玲. 北京一次局地重污染过程气象条件分析[J]. 气象科技,2005,33(6):543-547.
- [7] 孟燕军,程丛兰. 影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J]. 气象,2002,28(4):42-47.
- [8] 潘娅英,陈武. 引发公路交通事故的气象条件分析[J]. 气象科技,2006,34(6):778-782.
- [9] 毛文永,邢文发,王辉民,等. 环境影响评价技术方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2007:124-126.
- [10] 张书余. 城市环境气象预报技术[M]. 北京:气象出版社,2002:164-165.
- [11] 徐怀刚,邓北胜,周小刚,等. 雾对城市边界层和城市环境的影响[J]. 应用气象学报,2002,13(特刊):170-176.