

杨家康, 单韬, 张万诚. 云南低纬高原地区大气污染与逆温强度关系研究[J]. 灾害学, 2021, 36(4): 27–30, 53. [ YANG Jiakang, SHAN Tao and ZHANG Wancheng. Study on the Relationship Between air Pollution and Inversion Intensity in Yunnan Low Latitude Plateau[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(4): 27–30, 53. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.04.005. ]

# 云南低纬高原地区大气污染与逆温强度关系研究<sup>\*</sup>

杨家康<sup>1,2</sup>, 单 韬<sup>3</sup>, 张万诚<sup>1,2</sup>

(1. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034; 2. 中国气象局横断山区低纬高原灾害性天气研究中心,  
云南 昆明 650034; 3. 云南中环正浩环境科技有限公司, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 利用云南省10个环境影响评价个例及2019年昆明市臭氧监测资料中发生轻度污染的8个个例, 分析研究了逆温的强度特征与大气污染的关系, 逆温强度对常规大气污染物浓度有较好的正相关, 逆温强度越大, 大气污染物浓度越大。分析表明逆温强度大于等于 $1.2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 的逆温才会对常规大气污染物传输和分布产生影响, 对常规大气污染物传输和分布产生影响的逆温统计频率与常规统计的逆温频率相差较大。臭氧污染浓度与同期逆温相关性较差, 逆温不是影响臭氧生成、传输和分布的主要气象因素。

**关键词:** 逆温强度; 大气污染; 关系研究; 低纬高原; 云南

**中图分类号:** P49; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2021)04–0027–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.04.005

1999—2013年短暂的增温停滞期后, 全球变暖重新加剧, 极端灾害频发。为了应对工业化带来的大气污染物对气候变化的影响, 中国将采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和, 为此, 有关的基础研究和技术进步也能为碳中和作出贡献。大气中的很大部份 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 是人类活动产生的大气污染物, 也是大气中的主要碳源, 在大气中碳源碳汇的评估存在很大的不确定性, 一定程度上与大气状态的复杂多变有关。很多研究表明, 近地面大气污染物的分布及其浓度与天气状况和气象条件密切相关, 大气污染物扩散过程很大程度上取决于气象条件, 并受到天气系统和大气边界层的制约<sup>[1–2]</sup>, 国内外在观测和研究大气边界层参数对大气污染形成的影响机理方面已有很多的研究。DUPONT E等<sup>[3]</sup>用巴黎冬季边界层探测试验资料(ECLAP)对造成大气污染增加的大气边界层参数和垂直结构进行了研究。ROTH<sup>[4]</sup>对近年来城市湍流观测结果和大气扩散问题进行了详细综述。周淑贞等<sup>[5]</sup>对上海、北京、广州、天津和沈阳等大城市的边界层气象与大气污染问题进行了综述。王勇等<sup>[6]</sup>对雾霾与气象条件的相关性研究中, 发现风速变化与 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 变化呈负相关, 而水汽变化与 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 变化呈正相关。郭荣芬等<sup>[7]</sup>分析了昆明一次空气污染事件的成因, 指出气象条件也是形成空气污染的主要因

素。谈建国等<sup>[8]</sup>与丁国安等<sup>[9]</sup>研究指出气象因素不仅影响臭氧生成反应的条件, 还影响臭氧的分布与传输。

逆温是一种不利于大气污染物扩散的不利气象条件, 也是影响大气污染物时空分布的重要因素, 也对大气中的 $\text{CO}_2$ 分布有着不利影响。在污染气象条件中, 逆温是一个重要的参数。因此研究逆温等污染气象条件对于区域的社会、经济发展具有明显的现实意义。按照逆温的定义, 出现温度随高度上升而增高即可判定为一次逆温。蒋瑞宾等<sup>[10]</sup>对北京冬季城区和郊区辐射逆温的变化过程进行了研究, 结果表明, 辐射逆温强度与大气污染物浓度有较好的正相关, 逆温层对大气污染物的垂直扩散起到抑制作用。杨彬<sup>[11]</sup>根据吉林省近地层大气逆温测试结果, 分析了大气温度层结与大气质量、大气污染范围及程度的相关性, 总结了我国北方工业城市大气污染与逆温的关系。2018年中科院大气所对北京市的观测研究表明, 由不同气团交汇产生的平流逆温会影响 $\text{PM}_{2.5}$ 或雾霾的垂直分布。彭仲仁等在长三角地区进行了长期的大气污染跟踪监测实验, 证实了逆温层对 $\text{PM}_{2.5}$ 扩散的不利影响, 王晓云等<sup>[12]</sup>通过对北京城区冬季空气污染物垂直分布与近地层气象要素的观测分析, 认为接地逆温层不利于 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 等污染物的扩散。周颖等<sup>[13]</sup>通过分析成都市冬季逆温的时间和空间分布特征, 表明成都市冬

\* 收稿日期: 2021–05–03 修回日期: 2021–07–10

基金项目: 国家自然科学基金项目(42075013; 41765003)

第一作者简介: 杨家康(1963–), 男, 纳西族, 云南丽江人, 高级工程师, 主要从事应用气象研究. E-mail: 1400613105@qq.com

通讯作者: 张万诚(1965–), 男, 汉族, 云南通海人, 正研级高级工程师, 主要从事天气气候研究. E-mail: wanzhangcheng@163.com

季逆温对大气污染物扩散有着明显不利影响。姚青等<sup>[14]</sup>分析天津市逆温和大气稳定度对 PM<sub>2.5</sub>的影响表明, PM<sub>2.5</sub>产生超标污染的发生频率与逆温发生频率呈正相关关系。王骥等<sup>[15]</sup>统计分析了 2006—2013 年 8a 间兰州市逆温时空分布与首要污染指数(API)的关系, 结果表明, 接地逆温对兰州市首要污染指数(API)有直接影响。郑红等<sup>[16]</sup>利用监测资料分析研究了哈尔滨市 2000—2003 年的大气污染物浓度变化状况, 以及发生大气污染时的气象条件, 指出逆温强度和厚度对大气污染影响的正比关系, 并表明逆温强度越大, 污染越重。

显然逆温强度与大气污染浓度密切相关, 但这方面的分析研究还较缺乏, 以昆明为例, 昆明 2017—2019 年逆温统计频率平均为 97.2%, 具有极高的逆温频率, 但统计 2017—2019 年逆温强度大于 1.0 °C/100 m 的逆温频率 3 年平均仅为 33.2%。显然不是所有逆温均会对大气污染扩散过程产生影响, 一定强度的逆温才会对大气污染物以及 CO<sub>2</sub> 的扩散起到抑制的作用。因此, 分析研究逆温的强度特征与大气污染的关系, 对研究边界层中污染物分布规律和区域污染防控具有十分重要的意义。

## 1 研究方法及资料

为分析空气污染浓度与逆温强度的关系, 利用云南省建设项目环境影响评价(以下简称环评)10 个个例中预测的主要大气污染物区域最大日平均浓度, 与同日期大气温度层结特征值进行对比分析, 统计其逆温特征, 并利用 2019 年昆明市臭氧监测资料中发生轻度污染的 8 个个例与同日期大气温度层结特征值进行对比分析, 进而研究臭氧污染与逆温的关系, 逆温强度统一换算为 °C/100 m。

区域污染预测采用《HJ2.2—2008 环境影响评价技术导则 - 大气环境》推荐的 AERMOD 预测模式, 其基本原理如下:

AERMOD 模式是一个稳态烟羽扩散模式, 在考虑地形(包括地面障碍物)对污染物浓度分布的影响时, 模式系统将扩散流场分为 2 层结构, 上层流场则抬升越过障碍物, 而下层的流场保持水平绕过障碍物(即分界流线的概念)。任意网格点的浓度为 2 种烟羽浓度加权之后的和。AERMOD 模式使用每小时连续预处理气象数据模拟大于等于 1 h 平均时间的浓度分布。

假定一网格点(x, y, z)在平坦地形上(即不考虑地形影响时)的质量浓度表达式为 C(x, y, z), C(x, y, z)的一般形式是:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{u} P_y(y, x) P_z(z, x). \quad (1)$$

式中: Q 为污染源排放率; u 为有效风速; P<sub>y</sub>(y, x), P<sub>z</sub>(z, x)分别为水平方向和垂直方向浓度分布的概率分布函数。

则考虑地形(或障碍物)影响的总质量浓度公式为:

$$C_r(x, y, z) = f \cdot C(x, y, z) + (1-f) C(x, y, z). \quad (2)$$

式中: f 为 2 种烟羽状态的权函数。

$$f = 0.5(1 + \theta); \quad (3)$$

$$\theta = \frac{\int_0^H C(x, y, z) dz}{\int_0^H C(x, y, z) dz}. \quad (4)$$

式中: H<sub>c</sub> 为分界流线高度。

采用 AERMOD 模式预测的大气污染物区域最大日平均浓度为全年各网格点逐日最大值, 预测网格点网格距为 250 m, 预测范围以主要大气污染物排放源为中心点, 东南西北各 5 km, 进行区域污染预测的大气污染排放参数均为正常工况下的参数(具体参数略)。

逆温统计资料为当地探空站每日两次的探空资料(探空站与项目相距 50 km 内)或同期中尺度大气模式模拟的距项目最近网格点的探空模拟数据(探空站与项目距离超过 50 km), 为更好的分析影响大气污染物扩散的逆温, 对当年的探空资料按 m 数量级进行了解算。区域污染预测模式(AERMOD 模式)所用地面气象数据采用当地气象站地面观测资料, 高空气象数据与前述逆温统计采用的资料相同。涉及的资料主要为 2010、2012、2013、2017、2018、2019 年小时资料。

地形数据采用从 <http://srtm.csi.cgiar.org/seleciton/inputcoor.asp> 下载 90 m × 90 m 分辨率的地形高程分区数据文件(.asc), 选择完全包含预测范围的区域, 生成 AERMAP 所需的数字高程 DEM 文件, 采用 AERMOD 模式系统 AERMAP.exe 程序生成计算点地面高程和山体控制高度数据。

## 2 低纬高原的逆温特征

云南省气象科学研究所长期观测分析表明<sup>[17]</sup>, 低纬高原主要以辐射逆温为主, 占到总逆温的 80% 以上, 同时还有地形逆温及平流逆温。辐射逆温为晴天夜间地面辐射降温导致地面气温迅速降低, 而近地面空气降温慢, 从而形成辐射逆温, 一般出现在凌晨及上午, 持续时间短, 午后即消散; 地形逆温则与低纬高原山地特点有关, 主要出现在盆地和谷地中。平流逆温则与天气系统有关, 出现频率低, 但持续时间长。

低纬高原逆温分接地逆温和离地逆温两种, 前者是从地表面开始的逆温; 后者则是从离开地面一定高度开始的逆温, 低纬高原逆温可以是 1 个接地逆温或 1 个离地逆温, 也有 2 层或多层逆温, 以 2 层或多层逆温居多。

以昆明 2017—2019 年逆温为例分析, 图 1 为昆明接地逆温频率统计, 图 2 为昆明接地逆温强度 ≥1.0°C 的逆温频率统计。两者均具有明显的年变化特征, 接地逆温频率峰值出现在春季, 但接地逆温强度 ≥1.0°C 的逆温频率要小得多, 尤其在夏季, 频率几乎为零。

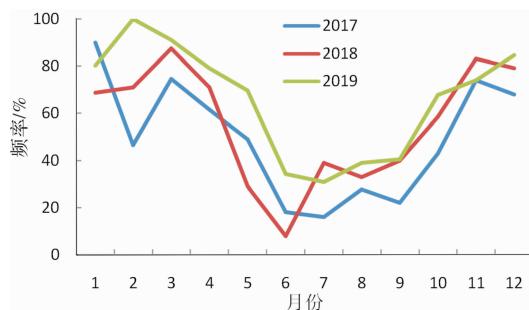


图 1 2017—2019 年昆明接地逆温频率年变化

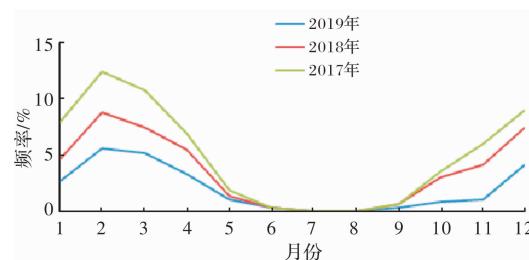
图 2 2017—2019 年昆明逆温强度  $\geq 1.0^{\circ}\text{C}$  接地逆温频率年变化

表 1 为昆明 2017—2019 年离地逆温频率, 3 a 平均频率为 97.2%, 统计出的离地逆温频率较高。表 2 为昆明 2017—2019 年逆温强度  $\geq 1.0^{\circ}\text{C}$  离地逆温频率, 3 a 平均频率仅为 15.0%。

表 1 2017—2019 年昆明离地逆温频率

年份	2017	2018	2019	3 a 平均
频率/%	97.5	97.3	96.7	97.2
<b>表 2 2017—2019 年昆明逆温强度 <math>\geq 1.0^{\circ}\text{C}</math> 离地逆温频率</b>				
年份	2017	2018	2019	3 a 平均
频率/%	12.5	17.4	15.1	15.0

表 3 大气污染物最大日均浓度预测结果及逆温统计表

个例	主要污染物	预测日均区域最大值/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	出现时刻/(YYMMDD)	逆温强度/( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )	逆温特征
某铁合金项目	PM <sub>10</sub>	0.675 6	20191224	2.2	140 m 以下有逆温
某垃圾热裂解处理项目	NO <sub>2</sub>	15.44	20191023	4.3	900 ~ 1 060 m 有逆温
某磷酸钙盐生产线	PM <sub>10</sub>	3.47	20180724	2.0	500 ~ 760 m 有逆温
某磷酸钙盐生产线	磷酸雾	0.241 8	20180226	2.5	90 m 以下有逆温
某水泥窑协同处置危废项目	HCl	5.543 2	20180105	4.4	1 270 m 以下有 3 层逆温
某醋酸纤维扩建项目	SO <sub>2</sub>	4.964 5	20170410	2.7	200 m 以下有 2 层逆温
某钛业项目	SO <sub>2</sub>	73.24	20130112	2.2	1050 ~ 1 120 m 有逆温
某陶瓷项目	NO <sub>2</sub>	52.71	20120217	3.4	100 m 以下有逆温
某 2 000 t/d 水泥熟料项目	NO <sub>2</sub>	101.24	20120107	3.5	60 ~ 120 m 有逆温
某 $10 \times 10^4$ t 硅锰合金项目	SO <sub>2</sub>	39.38	20101031	3.4	120 m 以下有逆温

表 4 昆明 2019 年臭氧发生轻度污染时监测浓度及逆温统计表

昆明市监测点	主要污染物	日最大 8 h 平均监测值/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	出现时刻/(YYMMDD)	逆温强度/( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )	逆温特征
呈贡	臭氧	200	20190512	2.8	90 m 以下有逆温
呈贡	臭氧	188	20190520	0.6	90 m 以下有逆温
呈贡	臭氧	180	20190523	1.5	900 ~ 940 m 有逆温
呈贡	臭氧	181	20190603		无逆温
西山	臭氧	190	20190702		无逆温
西山	臭氧	215	20190811		无逆温
呈贡	臭氧	212	20190826	1.0	340 ~ 360 m 有逆温
西山	臭氧	164	20190928	1.0	390 ~ 320 m 有逆温

上述分析表明, 昆明较易出现逆温, 逆温出现频率高, 但强度  $\geq 1.0^{\circ}\text{C}$  的逆温频率较小。因此, 在进行逆温频率统计分析时, 仅按逆温的定义进行统计还不够, 有必要进一步深入按一定逆温强度进行统计分析。

### 3 大气污染浓度与逆温的关系分析

表 3 为 10 个环评个例主要大气污染物区域最大日平均浓度预测结果与逆温特征统计表, 从表可见, 大气污染物浓度与逆温密切相关, 预测出的区域最大日平均浓度对应日期均有逆温出现, 且逆温强度均较大, 逆温强度在  $2.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  以上, 逆温特征表现较为复杂, 有接地逆温, 离地逆温, 多层逆温。

表 4 为昆明 2019 年臭氧发生轻度污染(昆明目前为止仅监测到轻度污染)时监测浓度及逆温统计表, 从表 4 可见, 臭氧轻度污染与同期逆温相关性较差, 2019 年发生臭氧轻度污染的 8 个日次, 有 3d 无逆温出现, 1d 有强度  $2.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  的逆温出现, 其余 4d 有逆温, 但逆温强度均较小。其中出现逆温时既有接地逆温又有离地逆温。

常规大气污染物(如 PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 等)的传输与浓度分布与气象条件(如温度、风速、风向、逆温等)密切相关, 对表 1 的个例分析也表明了区域内大气污染物浓度达最高时均有较强逆温出现, 因此, 逆温是影响常规污染物传输和分布的主要气象因素。

表5 大气污染物排序前5%日平均预测浓度对应逆温强度统计表

个例	主要污染物	最小逆温强度/(℃/100 m)	最大逆温强度/(℃/100 m)
某铁合金项目	PM <sub>10</sub>	1.6	2.8
某垃圾热裂解处理项目	NO <sub>2</sub>	3.1	4.3
某磷酸钙盐生产线	PM <sub>10</sub>	1.6	2.5
某磷酸钙盐生产线	磷酸雾	1.7	2.5
某水泥窑协同处置危废项目	HCl	2.9	4.4
某醋酸纤维扩建项目	SO <sub>2</sub>	1.8	2.7
某钛业项目	SO <sub>2</sub>	1.2	2.3
某陶瓷项目	NO <sub>2</sub>	2.5	3.8
某2 000 t/d水泥熟料项目	NO <sub>2</sub>	2.4	3.5
某10×10 <sup>4</sup> t硅锰合金项目	SO <sub>2</sub>	2.0	3.4

国内外研究显示，臭氧作为光化学反应生成的二次污染物，与光化学反应前体物(CO、NO<sub>x</sub>、VOCs等)的浓度和气象环境条件有关<sup>[18-20]</sup>，研究认为，太阳辐射、温度、相对湿度不仅决定臭氧生成反应的条件，还影响臭氧的传输与分布，有利于臭氧的生成<sup>[8-9]</sup>，但逆温对臭氧的影响研究相对较少，对表4的臭氧轻度污染监测值与逆温的分析表明，臭氧轻度污染与同期逆温相关性较差，逆温不是影响臭氧生成、传输和分布的主要气象因素。

#### 4 大气污染浓度与逆温强度分析

对昆明2017—2019年逆温进行统计，其3 a平均逆温频率为97.2%，但统计2017—2019年逆温强度≥1.0℃的逆温频率3 a平均仅为33.2%，表明按强度统计的逆温频率与常规统计的逆温频率相差较大。逆温层强度是大气层结稳定状况的一个重要指标，逆温是影响常规大气污染物传输和分布的主要气象因素，为了解常规大气污染物传输和分布与逆温层强度的关系，把表3环评个例中主要大气污染物全年日平均浓度按95%保证率选取，即对网格点全年所有日平均浓度预测值从大到小排序，选取排序在5%以前的日平均浓度预测值，统计分析对应日期的逆温层强度，统计结果见表5。从表5可见，最小逆温层强度在1.2~3.1℃/100 m，最大逆温层强度在2.5~4.4℃/100 m，从本次统计的个例表明逆温强度大于等于1.2℃/100 m的逆温才会对常规大气污染物传输和分布产生影响。

选取个例中某醋酸纤维扩建项目SO<sub>2</sub>全年排序前5%日平均浓度预测值与对应逆温强度进行统计，统计结果见图3，从图可见，逆温强度对SO<sub>2</sub>日均浓度有较好的正相关，大气污染物浓度越大，对应的逆温强度越大。

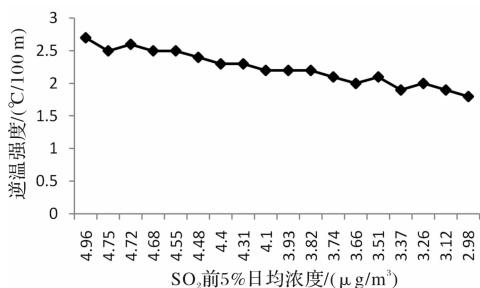


图5 某醋酸纤维项目SO<sub>2</sub>全年排序前5%日平均浓度预测值与对应逆温强度

#### 5 结论与讨论

通过以上个例的分析，得到如下结论：

(1) 逆温是影响常规大气污染物传输和分布的主要气象因素，研究分析表明区域内常规大气污染物达到前5%的较高浓度时，均有较强逆温出现；本文的统计分析表明逆温强度大于等于1.2℃/100 m的逆温才会对常规大气污染物传输和分布产生影响。

(2) 逆温强度对常规大气污染物浓度有较好的正相关，逆温强度越大，大气污染物浓度越大。

(3) 臭氧污染浓度与同期逆温相关性较差，逆温不是影响臭氧生成、传输和分布的主要气象因素。

(4) 对常规大气污染物传输和分布产生影响的是具有一定强度的逆温，其统计频率与常规统计的逆温频率相差较大。

基于目前对逆温的统计分析均未考虑逆温强度，在进行逆温频率统计分析时，应进一步深入按一定逆温强度进行统计分析。对逆温强度与常规大气污染物的传输和分布关系有必要作进一步分析研究，加大分析的个例及区域，对影响常规大气污染物的逆温强度进行科学界定，以便更加客观的统计分析逆温。

#### 参考文献：

- [1] 谈建国, 陆国良, 耿福海, 等. 上海夏季近地面臭氧浓度及其相关气象因子的分析和预报[J]. 热带气象学报, 2007, 23(5): 515~520.
- [2] 马井会. 上海近地面臭氧浓度与气象因子关系与预报研究[C]//2011年第二十八届中国气象学会年会论文集, 2011: 457~469.
- [3] DUPONT E, MENUT L, CARISSMO J, et al. Comparison between the atmospheric boundary layer in Paris and its rural suburbs during the ECLAP experiment [J]. Atm. Environment, 1999, 33: 979~994.
- [4] ROTH M. Review of atmospheric turbulence over Cities[J]. Q. J. R. L. MeteorolSoc, 2000, 126: 941~990.
- [5] 周淑贞, 束炯. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 244~404.
- [6] 王勇, 刘严萍, 李江波, 等. 水汽和风速对雾霾中PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>变化的影响[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 5~7.
- [7] 郭荣芬, 黎成超, 邓聪, 等. “2015. 3. 22”云南大范围空气污染事件气象成因分析[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 91~95.

(下转第53页)

peratures in the forest fire areas of New South Wales are higher than normal, about  $0.8^{\circ}\text{C} \sim 1^{\circ}\text{C}$ , and the rainfall was less than normal, about  $20 \sim 40\%$ . During the fire outbreak period from September to January 2010, the temperatures are higher than normal, about  $1.0^{\circ}\text{C} \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ , and the rainfall is less than normal, about  $40 \sim 60\%$ . In 2019, the Australian winter monsoon (AWM) is strong and lasted for a long time, leading to the late establishment of the Australian summer monsoon (ASM). The establishment time of EAWM is normal, but the intensity is obviously weak. The intensity of the CF located at  $105^{\circ}\text{E}$  is weak, while the intensity of the CF located at the east of  $125^{\circ}\text{E}$  was strong during the transition period of winter and summer circulation (November 2019 to January 2020). The wind configuration of the upper and lower levels in the low-latitudes of the southern hemisphere hindered the seasonal evolution of the CF.

**Key words:** Australia; bushfire; Asian-Australian monsoon; cross-equatorial flows

(上接第30页)

- [8] 谈建国, 陆国良, 耿福海, 等. 上海夏季近地面臭氧浓度及其相关气象因子的分析和预报[J]. 热带气象学报, 2007, 23(5): 515–520.
- [9] 丁国安, 罗超, 汤洁, 等. 清洁地区气象因子与地面 O<sub>3</sub> 关系的初步研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 350–355.
- [10] 蒋瑞宾, 吴永莲. 北京冬季城郊辐射逆温的分析[J]. 气象, 1990, 16(1): 33–36.
- [11] 杨彬. 逆温与大气污染[J]. 东北师范大学报, 1991, 41(1): 107–112.
- [12] 王晓云, 潘莉卿, 吕伟林, 等. 北京城冬季空气污染物垂直分布与气象状况的观测分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3): 279–286.
- [13] 周颖, 靳小兵, 曾涛. 成都市冬季逆温对大气污染的影响分析[J]. 气象与环境, 2006, 26(2): 22–23.
- [14] 姚青, 刘敬乐, 蔡子颖, 等. 天津大气稳定度和逆温特征对 PM<sub>2.5</sub> 污染的影响[J]. 中国环境科学, 2018, 38(8): 2865–2872.
- [15] 王骥, 杨银, 张生财. 兰州市逆温时空分布特征及其与 API 首要污染指数的关系[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(5): 195–198.
- [16] 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.
- [17] 云南气象科学研究所. 昆明污染气象特征研究[R]. 昆明: 云南气象科学研究所, 2008.
- [18] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 北京市区大气污染的时空特征[J]. 应用气象学报, 2002, 13(S1): 92–99.
- [19] 汤洁, 张晓山, 郑向东, 等. 青海瓦里关山地区大气过氧化氢的观测与分析[J]. 自然科学进展, 2002, 12(2): 161–165.
- [20] 王木林, 程红兵, 丁国安. 北京地区大气中 VHCs 观测结果的初步分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(5): 600–607.

## Study on the Relationship between Air Pollution and Inversion Intensity in Yunnan Low Latitude Plateau

YANG Jiakang<sup>1,2</sup>, SHAN Tao<sup>3</sup> and ZHANG Wancheng<sup>1,2</sup>

(1. *Yunnan Institute of Meteorological Sciences, Kunming 650034, China;*

2. *Research Center for Disastrous Weather in Hengduan Mountains, CMA, Kunming 650034, China;*

3. *Yunnan Zhonghuan Zhenghao Environmental Technology Co., Ltd., Kunming 650034, China*)

**Abstract:** Based on 10 environmental impact assessment cases in Yunnan Province and 8 slightly-polluted cases in monitoring data of ozone in Kunming in 2019, the relationship between inversion intensity and air pollution is analyzed. Inversion intensity has a good positive correlation with the concentration of conventional air pollutants. The higher the inversion intensity, the higher the concentration of air pollutants. This statistical example shows that the inversion intensity of  $1.2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  or more will have an impact on the transmission and distribution of conventional air pollutants, and the inversion statistical frequency that has an impact on the transmission and distribution of conventional air pollutants is quite different from that of conventional statistics. The correlation between ozone pollution concentration and inversion is poor, and inversion is not the main meteorological factor affecting ozone generation, transmission and distribution.

**Key words:** inversion intensity; air pollution; relationship research; low Latitude plateau; Yunnan