

山西大学

硕士学位论文

沙尘天气对呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

姓名：张剑

申请学位级别：硕士

专业：环境科学

指导教师：孟紫强

20070601

中文摘要

沙尘天气是干旱、半干旱区及邻近地域的一种恶劣的灾害性天气。进入 21 世纪以来, 沙尘天气的出现频率上升、发生时段延长, 且波及的地域越来越广, 造成的损失越来越严重。强烈的沙尘天气不仅对沙尘源区的环境造成重大影响, 而且对下游经过地区的大气环境造成不同程度影响。由于发生沙尘天气时大气颗粒物浓度急剧增加, 对人类生存环境的危害以及对人体健康尤其是呼吸及心血管系统的危害不容忽视。

本文利用甘肃省武威市 2004、2005 年 3~5 月份的沙尘天气观测资料、气象资料和呼吸及心血管系统疾病日门诊资料, 2004 年 3~5 月份大气颗粒物 (PM_{10} 和 $PM_{2.5}$) 的浓度资料与同期武威市的气象和气态污染物资料, 采用时间序列方法构建半参数广义相加模型 (Semi-parametric generalized additive model, GAM), 就沙尘天气及其颗粒物对我国沙尘天气高发地区居民呼吸和心血管系统健康的影响展开研究, 并较全面的分析了沙尘天气及其颗粒物的健康影响效应。主要研究结果如下:

(1) 沙尘天气发生时, 气温、相对湿度有下降趋势, 但与非沙尘天气比较差异无统计学意义; 大气压改变甚微, 气态污染物 SO_2 、 NO_2 质量浓度变化也不大, 且均未超过国家空气质量二级标准; 风速及大气颗粒物 (PM_{10} 、 $PM_{2.5}$) 质量浓度 (24 h 均值) 显著升高, 不同沙尘天气下的增高幅度依次为: 沙尘暴天气 > 扬沙天气 > 浮尘天气。

(2) 扬沙天气和沙尘暴的发生均与暴露居民心血管系统和呼吸系统疾病每日门诊相对危险度 (RR) 的增加有联系, 且表现为滞后效应。沙尘暴的影响大于扬沙天气。扬沙天气和沙尘暴对人群健康的影响既有年份差异又有性别差异。扬沙天气和沙尘暴可能与上述呼吸、心血管两大系统中多种疾病的发生和加重相关, 其原因可能与沙尘天气发生时颗粒物浓度骤然增加有关。

(3) 沙尘天气颗粒物可引起暴露居民多种呼吸疾病 (气管炎、上呼吸道感染 (URTI)、肺炎、慢性阻塞性肺部疾病 (COPD)) 和多种心血管疾病 (风湿性心脏病、高血压、缺血性心血管疾病、心律失常、充血性心力衰竭) 门诊人数增加, 且表现为滞后效应。颗粒物 (PM_{10} 、 $PM_{2.5}$) 浓度与呼吸及心血管疾病门诊相对危险度存在一定的剂量效应关系。男性与女性居民呼吸及心血管系统多种疾病日门诊 RR 随沙尘天气的强度增大而增大。

研究表明, 沙尘天气, 尤其是沙尘暴, 会对人体呼吸及心血管系统健康产

生不利影响，甚至导致呼吸与心血管系统疾病的发生和加重。这些结果为今后国家和当地政府制定环境保护政策提供了科学依据。同时，对提高全社会的环境保护意识和健康意识有一定的促进作用。

关键词：沙尘天气；颗粒物；呼吸系统；心血管系统；日门诊人数

Association between dust events and daily outpatient number for respiratory and cardiovascular diseases

Zhang Jian (Environmental science)

Directed by Prof. Meng Ziqiang

ABSTRACT

Dust event is a kind of severe weather in arid and semi-arid region. Since the 21st century, the frequency of dust events has been increasing, and its geographical spread has been getting wider, which cause serious damage. Strong dust events have a significant impact not only on the source region of dust events, but also on the atmosphere environment of the backward region. As a result of concentration of airborne particulate matters derived from dust events increased dramatically, the damage on the environment and the harm to human health, especially respiratory and cardiovascular systems should not be ignored.

The data for the dust events, meteorological factors and daily outpatient number of respiratory and cardiovascular diseases from March 1st to May 31st (2004, 2005) in Wuwei city; and the information for daily airborne particulate matters (PM₁₀ and PM_{2.5}), gaseous pollutants (SO₂ and NO₂), meteorological factors and daily outpatient number of respiratory diseases from March 1st to May 31st in 2004 in Wuwei city were used in this study. Based on the data above, using the Semi-parametric generalized additive model (GAM), the effects of dust events and its particulate matter on daily outpatient of respiratory and cardiovascular diseases in the region which dust events occurred frequently were estimated in this study. The conclusions can be summarized as follows:

- (1) When dust event occurs, temperature or relative humidity is on the

downward trend, but the difference from non-dust weather was not statistically significant. Change in atmospheric pressure and concentration of gaseous pollutants (SO_2 , NO_2) is weak and not more than national air quality standards. Wind speed and concentrations of particulate matter (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) increased significantly. The increased extent of different dust events was followed: dust events > blowing sand > floating dust.

(2) Dust storm and blowing sand were risk factors for daily outpatient number of respiratory and circulatory diseases with the effect across various lags, and the effect of the former was stronger than the latter; The influence of dust storms and blowing sand on human health vary with different years, which showed the influence could be affected by many other factors; The effect of dust events on the male are different from those of the female.

(3) Airborne particulate matter (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) derived from dust event were positively associated with the increasing number of respiratory and cardiovascular diseases outpatient for males and females with the effect across various lags. There is a dose-related manner between the concentration of particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$ or PM_{10}) and relative risks of respiratory and cardiovascular diseases. Because of strong association between concentrations of PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ and intensity of dust events, the relative risks of many respiratory and cardiovascular diseases increased with intensity of dust events.

The results showed that the dust events have an adverse impact on human respiratory and cardiovascular system health, even led to respiratory and cardiovascular diseases. These results provided scientific bases for national and local government in formulating environmental policy in future. Meanwhile, it enhanced the awareness of protecting environment and health to a certain extent.

Key words: Dust events; Particulate matter; Respiratory diseases; Circulatory diseases; Daily outpatient number

承 诺 书

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是在导师指导下独立完成的，学位论文的知识产权属于山西大学。如果今后以其他单位名义发表与在读期间学位论文相关的内容，将承担法律责任。除文中已经注明引用的文献资料外，本学位论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写过的成果。

学位论文作者（签章）：张剑

2007年6月7日

第一章 文献综述

1.1 沙尘天气的定义、特征与强度划分

1.1.1 沙尘天气的定义

沙尘天气是指强风从地面卷起大量尘沙,使空气混浊,水平能见度明显下降的一种天气现象,主要发生在干旱、半干旱及土地沙漠化比较严重的地区。根据中国气象局《沙尘天气预警业务服务暂行规定(修订)》(气发[2003]12号)(自2003年3月1日开始实行)对沙尘天气及沙尘天气过程进行了如下定义:沙尘天气分为浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴四类,其中浮尘指尘土、细沙均匀地浮游在空中,使水平能见度小于10 km的天气现象;扬沙指风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度在1~10 km以内的天气现象;沙尘暴指强风将地面大量尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度小于1 km的天气现象;强沙尘暴指大风将地面尘沙吹起,使空气非常混浊,水平能见度小于0.5 km的天气现象。对应地将沙尘天气过程分为四类:浮尘天气过程、扬沙天气过程、沙尘暴天气过程和强沙尘暴天气过程。浮尘(扬沙)天气过程:在同一次天气过程中,我国天气预报区域内5个或5个以上国家基本(准)站在同一观测时次出现了浮尘(扬沙)天气;(强)沙尘暴天气过程:在同一次天气过程中,我国天气预报区域内3个或3个以上国家基本(准)站在同一观测时次出现了(强)沙尘暴天气^[1]。

1.1.2 沙尘天气的特征

三种类型(沙尘暴、扬沙、浮尘)沙尘天气的共同特点是天空混浊、能见度降低、空气质量恶化。但也有所区别:沙尘暴是沙暴和尘暴二者的总称,是指强风把地面大量沙尘卷入空中,使空气特别浑浊,水平能见度低于1 km的天气现象,其中沙暴指大风把大量沙粒吹入近地层所形成的挟沙风暴;尘暴则是大风把大量尘埃及其它细粒物质卷入高空所形成的风暴。沙尘暴出现时能见度明显下降,出现时天空混浊,一片黄色,发生时风很大,能见度小于1 km;扬沙是由于本地或附近尘沙被风吹起而造成的,发生时能见度明显下降,天空混浊,一片黄色。扬沙天气时风较大,能见度在1 km到10 km之间。浮尘天气的强度最弱,它是由于远地或本地产生沙尘暴或扬沙后,尘沙等细粒浮游空中而形成,俗称“落黄沙”,出现时远方物体呈土黄色,太阳呈苍白色或淡黄色,能见度小于10 km,大于1 km,基本上没什么明显的风^[2]。

1.1.3 沙尘天气的强度划分

对于三种沙尘天气（浮尘、扬沙、沙尘暴）的等级划分，一般采用风速和能见度两个指标，这在它们各自的定义中已有所体现。另一方面，这两个指标是目前气象台站的常规观测项目，资料记录历史长，分布范围广，易于获取，而且因为能见度差和强风速是沙尘天气的两个最主要致灾因素。

对于沙尘暴的强度划分，不同的国家和地区标准有所不同，表 1-1 为适合我国西北地区沙尘天气强度的划分标准^[3]，许多气象台（站）都采用了此标准。

表 1-1 西北地区沙尘暴强度的划分标准

Tab. 1-1 Dust storm classification standard in Northwest China

| 强度 | 瞬间极大风速 | 最小能见度 |
|----|---------------|------------|
| 特强 | ≥10 级或≥25 m/s | <50 m |
| 强 | ≥8 级或≥20 m/s | <200 m |
| 中 | 6~8 级或≥17 m/s | 200~500 m |
| 弱 | 4~6 级或≥10 m/s | 500~1000 m |

注：当风力和能见度不协调时，沙尘暴强度的确定方式分两种情况：① 凡风速大、能见度也大时，强度以能见度对应级确定，如最大风速为 30 m/s，能见度为 100 m 时，则确定为强沙尘暴天气；② 当风速小、能见度也小时，则从原有风速对应级上升一级强度，如最大风速为 19 m/s，能见度为 100 m 时，上升一级定为强沙尘暴天气。

1.2 沙尘暴成因、时空分布与传输

1.2.1 沙尘暴的成因

沙尘暴作为危害最大，后果最为严重的沙尘天气，历来是人们研究的重点。它是在极有利的大尺度环境、高空干冷急流和强垂直风速、风向切变及热力不稳定层结条件下，引起锋区附近中小尺度系统生成、发展，加剧了锋区前后的气压、温度梯度，形成了锋区前后的巨大气压、温度梯度。在动量下传和梯度偏差风的共同作用下，使近地层风速陡升，掀起地表沙尘所形成的恶劣天气现象^[4]。

它的形成必须同时具备以下 3 个基本条件：

① 沙尘源，即地面上裸露的干燥、疏松的沙尘物质。这是形成沙尘暴的物质基础，决定了沙尘暴源地的空间分布。沙漠、退化的林草地、无植被覆盖的干松土地、城乡建筑工地的泥沙等都可能成为沙源。沙尘暴多发区多集中于沙漠附近或荒漠化地区，例如巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙漠及周边地区和塔克拉玛干沙漠及周边地区，这也从侧面印证了沙尘源对沙尘暴形成的重要作用。

② 大风，这是沙尘暴形成的动力基础，也是沙尘暴能够长距离输送的动力保证，主要决定了沙尘暴的强度、持续时间和移动路径。强冷空气是形成大风的气象动力因素，是沙尘天气形成的触发条件。强冷空气入侵时，穿越锋面的次级环流促使锋前动力强烈上升，锋后动力下传，导致锋前后的强变压梯度产生变压风，这是造成近地面大风的直接原因^[5]。我国沙尘暴天气绝大多数都发生在春季，主要是因为由于春季为季风环流的调整时期，冬、夏季风环流形式相互转变，3~4月份蒙古高压开始衰退，强度减弱，暖气团渐渐侵入我国北方，冷暖空气相互消长，锋面活动频繁，天气系统移动较快，强冷空气活动次数增多，寒潮出现频繁，导致春季风的频率高、强度大^[6]。根据周自江等对我国近47年沙尘暴气候特征的研究表明，沙尘暴与大风的年际振荡及多年变化趋势有一致性，单站相关系数可以达到0.5以上。通过对北京等六个代表站1954~2000年春季下午平均风速大于6 m/s的日数的逐年变化与对应代表站春季沙尘暴日数一一对应比较发现两者的年际振荡和多年变化趋势是相当一致的^[7]。这也说明了风力条件对沙尘暴增减趋势的影响的显著作用。

③ 不稳定的空气状态，这是重要的局地热力条件。不稳定的空气状态导致局地热对流猛烈发展，产生强大动力将沙尘卷入高空。由于沙漠地表的热力强迫作用和地表的热力、动力的不均匀性，使得沙尘暴中的湍流输送比较强烈，加剧了尺度范围更广的沙尘粒的向上输送。在沙漠化严重的沙尘暴多发区，地面植被稀少，裸露的地表升温回暖非常迅速，在连续多日晴天之后，在强烈的日光照射下，地面气温迅速升高，易形成以当地为中心的高温低压区，若遇上强冷空气过境，就会形成剧烈的空气扰动，就具备了空气不稳定的热力条件^[8]。这种情况尤其在晴朗无云的午后表现的更为突出：由于地表对日光的强烈反射导致靠近地表的下层大气强烈受热，获得强大的上升加速度，大气层结变得不稳定，使其产生对流作用，有利于加大风速，从而使大气中带起的沙尘颗粒获得的升力更大、速度更快，提供和加强了沙尘暴活动的动力条件。正因如此，沙尘暴的发生时间大多集中于中午至傍晚^[9]，夜间至上午相对较少。

除了上述三个基本条件之外，气温、降水量、特殊的地理地貌、人为活动干扰等因素对沙尘暴发生的频率和强度也起着非常重要的影响作用。

① 气温的影响

从宏观的角度来看，在“温室效应”所导致的全球性气候变暖的大背景下，西风急流轴向北移动，蒙古气旋减弱，冷空气活动减弱，风速减小；热带暖湿系统向

北移动,西北西部降水增加,沙尘暴减少。20世纪70年代亚洲西风急流轴在 40°N ,大风所经之路正是我国沙尘源区,造成70年代沙尘暴多发。20世纪80年代以来,由于气候变暖,蒙古气旋减弱,高压加强,阻挡了北方冷空气的南下,使得中国北方沙尘暴减少。90年代由于全球变暖,副热带系统加强北上,西风急流北移到 $45\sim 55^{\circ}\text{N}$,我国沙尘源区的西风比正常情况小,因此90年代沙尘暴仍然是减少趋势。蒙古气旋减弱,高压加强,北方冷空气活动减弱,是中国北方沙尘暴减少的最直接原因。2004年2~3月贝加尔湖地区500hPa高度场呈现明显的负距平,即蒙古气旋加强,北方冷空气频繁南下,影响西北地区,引起沙尘暴增多。西北地区气候由暖干向暖湿转型,降水增加,沙尘暴减少^[10]。一般地,冬季气温偏低,土壤冻结层厚,次年春季升温解冻后,松土层变厚是沙尘暴形成的有利条件。2000年前,我国北方持续干旱,夏季温度明显高于往年,冬季温度也由低于多年平均值,为2000年以后连续3多发沙尘暴天气提供了前期气温条件^[11]。

从微观的角度来看,从春季的3月份起气温开始明显回升,土壤解冻,加之我国北方春季降水稀少,植被覆盖率较低,蒸发旺盛,土壤因蒸发而干燥疏松,为沙尘暴的发生提供丰富的沙尘物质。另外,迅速上升的地表温度使下层大气强烈受热,大气层结变得不稳定,使对流及湍流作用的加强,有利于风速的加大和上升气流的产生,提供和加强风沙活动有利的动力条件。

② 降水量的影响

降水量减少,土壤表层因蒸发而干燥疏松,有利于沙尘暴的活动。降水可直接增加土层湿度,从而增加土粒、沙粒的固结性,减小沙尘暴发生的可能性;降水还可以促进植被的生长,植被覆盖状况,减小沙尘暴。当降水量充沛时,有利于植被生长,从而提高地表植被覆盖度,对沙尘暴的抑止作用强,沙尘暴发生的频率和强度相应会降低。反之,持续干旱会导致地表植被覆盖程度较差,裸露土地面积增加,土壤含水量也将减小,表层土壤土质变得疏松,沙尘暴发生的频率和强度将提高^[11]。

③ 地形地貌的影响

地形条件对强风气流的摩擦、阻挡、分支、绕流、狭窄效应,以及局部势力条件等使大风的风力和风向均有明显的影响。因此,地形地貌对沙尘暴的物质分布、移动路径均有显著作用。北方地区多为山地夹盆地,或高原与洼地相间,或高原高耸、断盆环套、山地围绕的地貌结构。山地夹平原或山地夹盆地等的独特地貌结构,对空气起“狭管”效应,加大了冷空气的流速,形成大风天气,易于沙尘暴天气的产生。例如河西走廊东西1000 km以上,东南为蜿蜒千里的祁连山,北部为

合黎、龙首山等低山区，中间形成狭窄的“走廊”地带。由于其特殊走廊地形，南北两山之间平均宽度 100~200 km，最狭窄处仅 100 km 左右，当冷空气进入河西走廊，在其“狭管效应”的作用下，风力可被加速至 1.6 倍^[12]。1983 年 5 月 18 日在玉门产生的沙尘暴和 1977 年 4 月 22 日在张掖产生的沙尘暴，主要是由于冷空气翻越天山，在南疆盆地形成大风和扬沙进入河西走廊，在其“狭管效应”的作用下，形成水平辐合，加大气压梯度和温度，促使冷锋加强，导致沙尘暴的产生。突起的山脉与盆地交接地带，尤其是背风坡的焚风响应区，也易形成沙尘暴。例如 1984 年 4 月 19 日和 25 日的河套沙尘暴，由于在甘肃河西形成大风，经阿拉善高原，在东移过程中，在贺兰山北面受阻，冷空气堆积，冷锋正处于“爬山”阶段，当一部分冷空气翻越贺兰山向银川盆地俯冲时，大量位能转化为动能，加之锋前高温，促使在银川盆地形成强烈的辐合上升运动，从而导致沙尘暴的形成^[13]。

④ 人为活动干扰

沙尘暴是一种自然现象，其根本的原因还是自然因素引起的，人类还没有能力改变大尺度、大范围的气候变化，对原生沙漠也不能治理，也就是说，人类不能消除沙尘暴。尽管如此，我们也不能简单的把沙尘暴完全归结为是自然活动的结果，它的发生频次与人类活动有一定关系，人类对大自然的破坏性活动，从一定程度上诱发和加强了沙尘暴。随着人口的迅猛增加、科学技术的不断发展，人类的作用不断加强，人类活动一不容忽视。滥垦、滥伐、滥牧等造成大面积植被的破坏，带来了沙化和沙漠化面积的增加，扩大了沙尘源区。可以说近几十年沙尘暴发展趋势剧增与不合理的人为活动干扰以及人类对自然资源过度开发利用造成的大面积植被破坏、沙化加剧、水土流失、土壤次生盐渍化密切相关^[14]。简而言之，正是不合理的人类活动加剧了沙尘暴的强度和频率，从而导致了沙尘暴愈演愈烈的趋势。

1.2.2 沙尘暴的时间分布

沙尘暴自古有之，据对深海岩心和冰盖沉积物的测定，早在距今 7000 万年前的白垩纪末，就有风沙尘暴出现^[15]。我国有关沙尘暴最早记载见于张华的《博物志》：“夏桀之时，为长夜宫于深谷之中，男女杂处，十旬不出听政，天乃大风扬沙，一夕填此空谷”。说明在公元前 16 世纪以前，我国就曾发生过很强烈的沙尘暴。我国有确切文字记载的沙尘暴发生于公元前 205 年：甘肃“夏四月，大西风，折木发屋，扬沙昼晦”。另据甘肃敦煌汉代悬泉置遗址的研究发现，从该遗址出土的一块官方文书汉简上记载了当时敦煌地区发生沙尘暴，某官府所派外出执行公务的人员“遗车失马”的事件。还有唐代边塞诗人岑参在《走马川行奉送封大夫出师西征》

中写道：“君不见，走马川行雪海边，平沙莽莽黄入天。轮台九月风夜吼，一川碎石大如斗，随风满地石乱走”等文字记载。公元 1020 年“宋真宗天禧四年四月丁亥，大风起西北，飞沙折木，昼晦数刻，五月乙卯，暴风起西北有声，黄土蔽天”，描述了春季在我国西北地区发生沙尘暴时飞沙走石、摧朽拔木、遮天蔽日的情景。此外，我国古代史书中还有如“黄风自西北来，拔树发屋”，“飞沙如雨”等关于沙尘现象的记载^[16]。

现代沙尘暴的详细记录是从新中国成立以后开始的。通过对我国西北地区近半个世纪以来沙尘暴的变化特点的研究发现^[15,17]：自 20 世纪 50~90 年代我国北方的沙尘暴频数呈波动减少之势。其中，20 世纪 50 年代沙尘暴发生日数最多；60 年代前期略有降低，60 年代后期的 1967 年和 1968 年降到最低，之后的 70 年代略有增加，60~70 年代沙尘频数总的趋势是波动上升，80~90 年代呈波动减少，且 90 年代减少更加明显。直至 90 年代末到二十一世纪初又有明显的增加，其中 2000 年的强沙尘暴频数骤增达 9 次之多。其原因可以从生态环境及气象条件的变化两方面来综合分析。一方面，人类在沙尘源区滥垦、滥伐、过度放牧、超采地下水等活动导致内蒙古草场退化，罗布泊和居延海也先后于 1972 及 1992 年完全干涸，塔里木河及黑河等内陆河断流。最终带来沙漠边缘隔离带缩小，地下水位明显下降，地表裸露面积扩大等等一系列生态恶果。另一方面，强风是沙尘暴的动力，大风日数的增减是气候周期性变化的反映，每年冬春季寒潮大风的出现与冬季风的强度有关。东亚季风在 10~50 年尺度有显著的变化，亚洲冬季风与厄尔尼诺现象关系密切，在厄尔尼诺年东亚冬季风强度弱，而在反厄尔尼诺年东亚冬季风势力强。在 70 年代，反厄尔尼诺现象占优势，我国北方由寒潮大风所引起的强沙尘暴天气出现很频繁；在 80~90 年代，厄尔尼诺现象占优势，由寒潮引起的强沙尘暴天气出现较少；而在 1999 年，这种形式发生了逆转，沙尘暴频繁爆发，因为 90 年代末，开始进入反厄尔尼诺现象时期，2000 年正处于 20 世纪最强的一次厄尔尼诺现象以后的反厄尔尼诺事件的高峰期^[18]。

我国沙尘暴有季节和月份变化的特点^[14,19]。冬、春季最多，夏、秋季较少；总体来看，春季沙尘暴的分布范围最广，发生频数最高，达到全年的 53%；秋季的分布范围最小，发生频数也最低，仅占 7%；按月份来看，沙尘暴主要出现于 2~7 月，其中 4 月份发生频率最高，3 月和 5 月次之，秋季的 9 月份最低^[20]。形成这种分布的主要原因是春季北方气温迅速回升，地表因解冻而变得疏松，而温度快速回升又易导致下层大气强烈受热，造成空气不稳定促使对流作用及湍流作用的加强，有利

于风速的加大和上升气流的产生,为风沙活动提供有利条件^[11]。加之,春季降水很少,冷空气活动频繁,因此容易形成较多较强的沙尘暴天气。到夏末秋初,地表的植被覆盖状况较好,大风天气少,因而沙尘暴较少。

沙尘暴也具有明显的日变化特征,主要发生在午后到傍晚时段内,占总数的65.4%^[9]。在河西走廊中部地区,黑风暴大都出现在中午12时至晚上22时的时段内^[21]。原因可能是在白天特别是午后晴朗的天气状态下,日光辐射十分强烈,地面温度迅速增高,而沙尘暴到来时,浓密的沙尘使太阳几乎无法直射地面,地面温度下降进一步造成锋面前后的温度梯度加大,促使沙尘暴强度增大并得以发展和维持。夜间锋前暖区的辐射降温明显,但锋后沙尘暴和云的保温作用使气温没有显著变化,导致锋面前后气温梯度减小,沙尘暴强度也明显减弱^[22]。

1.2.3 沙尘暴的空间分布

目前,全球陆地面积的四分之一遭到沙漠化的危害,世界上共有四大沙尘暴多发区,它们分别是:北美、澳洲、中亚以及包括中非和西亚在内的中东地区。北美洲的沙漠主要分布于美国西部和墨西哥的北部。在与沙漠接壤的荒漠干旱区,沙尘暴时有发生,甚至在大平原上爆发了历史著名的黑风暴,北美洲沙尘暴的原因主要是土地利用不当、持续干旱等原因。澳大利亚是个干旱国家,陆地面积的75%属于干旱和半干旱地区。澳大利亚有六个沙尘暴高发区:澳大利亚中部、昆士兰中部、小桉树、纳勒博东部和澳大利亚西海岸^[23],其中中部和西部海岸地区沙尘暴最为频繁,每年平均有五次之多。由于许多地方气候干燥,加上耕作和放牧,土壤表层缺乏植被的覆盖,导致了土地的逐渐沙漠化,一旦刮起大风,沙尘暴就会产生。亚洲中部的荒漠区也在不断扩大,前苏联的中亚五国是荒漠化比较严重的地区,总面积有近400万平方公里。中东地区的沙尘暴主要在非洲撒哈拉沙漠南缘地区,从20世纪70年代初到80年代中期,由于连年旱灾以及当地人过量放牧和开垦,造成草场退化,田地荒芜,沙漠化土地蔓延,沙尘暴加剧,当地人的生活环境急剧恶化。频繁的沙尘暴还殃及全球其它地区,沙尘颗粒随大气循环越过大西洋到达了南美洲亚马逊地区,甚至可以到达欧洲某些地区^[16]。

亚洲沙尘暴多发区位于 $35^{\circ} \sim 49^{\circ} \text{N}$, $74^{\circ} \sim 119^{\circ} \text{E}$ 的广大北方地区,主要发生在西北、华北大部和东北平原地区,其空间分布基本与亚洲北方沙漠和沙漠化土地分布一致。我国的沙尘暴属于中亚沙尘暴区的一部分,主要发生在北方干旱半干旱地区,是世界上唯一在中纬度地区发生沙尘暴最多的区域。沙尘暴频数较高的区域主要集中在内蒙古中西部、新疆大部、甘肃、宁夏和青藏高原等地区。其中巴丹

吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙漠及周边地区和塔克拉玛干沙漠及周边地区是两个十分显著的沙尘暴高发区，其次是青藏高原的西南偏东和中部偏北地区。钱正安等对 1952~2000 年间我国强或特强沙尘暴的研究发现，虽然我国西北、华北许多地区（甚至东北个别地区）都可能出现强或特强沙尘暴天气，但频数在 10 次以上的中心仅有三个地区，即① 以民勤为中心（达 43 次）的河西走廊及内蒙古阿拉善高原区；② 以和田为中心（达 42 次）的南疆盆地南缘区；③ 以朱日和为中心（达 10 次）的内蒙古中部区。另外，以宁夏盐池及内蒙古鄂托克旗为中心（达 5 次）的宁、蒙、陕交界处等也是相对高的强或特强沙尘暴活动中心区^[17]。而华北中北部和东北平原等地的发生频数则远比上述地区低；此外，全国其余地区的沙尘暴一般比较稀少。总的特点是西北多于东北地区、平原（或盆地）多于山区、沙漠及其边缘多于其它地区^[15]。河西走廊到内蒙古中西部、宁夏干旱区既是我国沙尘暴最主要的源地区，也是受沙尘暴影响最严重的地区；华北北部的广大地区为沙尘暴的扩散影响区。扬沙的影响范围比沙尘暴要大的多，向东扩展到东北和黄淮海平原，一直延伸到长江中下游地区，而浮尘天气的影响范围更加广阔，其影响区域辐射到四川盆地、南岭北侧、整个黄淮海平原、长江中下游等地区^[7,24]。

1.2.4 沙尘暴的传输

从气候环境效应的角度来看，地面的沙尘颗粒物只有被卷扬到大气中，才能够对大气环境构成直接影响，所以我们在介绍沙尘暴的传输路径之前，先了解一下沙尘源区的基本情况。影响我国沙尘暴的源区分为境外源区和境内源区。境外源区主要有两个：① 蒙古国东南部戈壁荒漠区。戈壁荒漠区和草原荒漠区占蒙古国国土面积的近 40%，并且主要分布在与我国内蒙古自治区相邻的南部地区，干旱少雨，该地区发生的沙尘暴强度大，发生频次高，离华北距离近，是影响我国内蒙古、华北、北京乃至东北地区的主要源区。② 哈萨克斯坦东部沙漠区。它是影响我国新疆北部和河西走廊地区的主要源区之一。该源区沙尘暴发生频次少，而且仅在偶尔发生特强沙尘暴时才能波及到华北和北京地区。境内源区，是指中国境内开始起沙尘并形成的沙尘暴。主要有 4 个：① 内蒙古东部的苏尼特盆地或浑善达克沙地中西部；② 甘肃河西走廊及内蒙古阿拉善盟中蒙边界地区（巴丹吉林沙漠）；③ 新疆南疆的塔克拉玛干沙漠和北疆的库尔班通古特沙漠；④ 蒙陕宁长城沿岸。当沙尘暴从境外源区进入我国时，境内源区则成为加强源^[25]。在上述沙尘源区中，蒙古源区、以塔克拉玛干沙漠为中心的中国西部沙漠源区和以巴丹吉林沙漠为中心的中国北部沙漠沙尘源区贡献了亚洲粉尘释放总量的约 70%，它们可视为亚洲沙尘暴

的3个贡献量最大的源区^[26]。在西伯利亚强冷气流的冲击下,蒙古国的戈壁荒漠地区和哈萨克斯坦境内的沙漠地区的大量沙尘物质被卷入高空,随气流南下时,内蒙古和新疆沙漠地区的沙尘物质继续卷入,形成了威胁我国西北地区的沙尘暴。据国家气象局公布,2001年通过卫星、气象观测和沙尘暴地面监测网络观测的32次扬尘及沙尘暴事件中,有18次发生于蒙古国东南部戈壁荒漠区的沙尘暴,后移入到我国境内,占56%,这些沙尘暴在形成初期其规模和沙尘量一般并不是很大,而是在移动途中,受地形地貌、气象因素及沙尘源等影响逐渐加强,形成强沙尘暴,造成环境灾害;另外14次发生于我国内蒙古境内,占44%^[27]。

沙尘暴的传输分为4种类型:①高空传输过境型;②高空传输沉降型;③高空传输和地面扬沙混合型;④地面扬沙型^[28]。沙尘暴天气过程所产生的沙尘气溶胶微粒在输送过程中因自身的重力作用不断地沉降、扩散和稀释。有研究发现,粒径大于150 μm 的沙粒在空中只能停留几分钟到几小时,而不能漂浮到上空,而粒径小于40 μm 左右者可上升到4000 m高度,而且在离源地数百 km的下风地区沉降,粒径20 μm 左右者可输送到3000 km的下风向地区,粒径7 μm 的颗粒可传输到1万 km^[29],粒径在0.5~4.0 μm 的沙尘气溶胶粒子具有远距离输送的能力,可随大气环流输送到更远的地方去,对那里的天气和气候产生影响。因此,沙尘粒子的传输到底是近程还是远程传输主要取决于粒径的大小。粒度较大的粉尘大都沉降在就近的下游地区,而较细的粒子则靠悬移方式随大气运动的方向行进,在重力或雨水的作用下沉降到较远的地区,而粒度小于7 μm 左右粒子,则可随大气环流输送到日本、北太平洋地区。

西北地区沙尘暴天气的出现主要有3条移动路径(图1-1),即西北路径(冷空气源于北冰洋冷气团,强冷空气自西西伯利亚向东南经我国北疆、内蒙古西部入侵河西走廊,造成大风沙尘暴,穿过巴丹吉林和腾格里沙漠,然后东移至鄂尔多斯高原)、西方路径(主要发生在塔里木盆地、河西走廊西部、青海省等)、北方路径(从蒙古国经我国内蒙古中部到达宁夏、陕北、华北等地),其中西北路径沙尘暴天气最多,约占总数的68%,且该路径沙尘暴有移动迅速、强度大、影响范围广、灾害重的特点^[30]。这些沙尘源区的沙尘通过中国西北地区的沙尘暴天气过程不但影响源区的下游地区,还将当地的黄沙粒子输送到日本、韩国、台湾,甚至通过大气环流还可远程传输到遥远的北太平洋及其以远地区,作为该地上空冷却云中凝结核的一部分,起到增加降水的作用。撒哈拉及其周围干旱区的沙尘可由热带东风气流的携带,越过大西洋,输送到美洲大陆;还可通过沙尘暴过程输送沉降到欧洲中部、南

部以及德国北部地区等^[15]。对中国黄土高原洛川黄土来源的分析发现中亚粉尘源区具有千年尺度的摆动，在冰期来自中国西部沙漠的沙尘起主导作用，它与中纬度西风环流的加强相关，而间冰期北部（内蒙古中西部及蒙古地区）沙尘起主导作用，它则与中纬度西风环流的减弱相关，并认为这种源区的摆动反映了亚洲粉尘区域尺度输送与大尺度大气环流变化的紧密联系^[31]。研究认为中亚是全球沙尘最重要源地之一，每年约贡献 800 万 t 粉尘，其中有近一半被输送到遥远的北太平洋及其以远地区^[31]，为北太平洋提供了 95% 可用铁元素去参与地球化学循环^[32]。

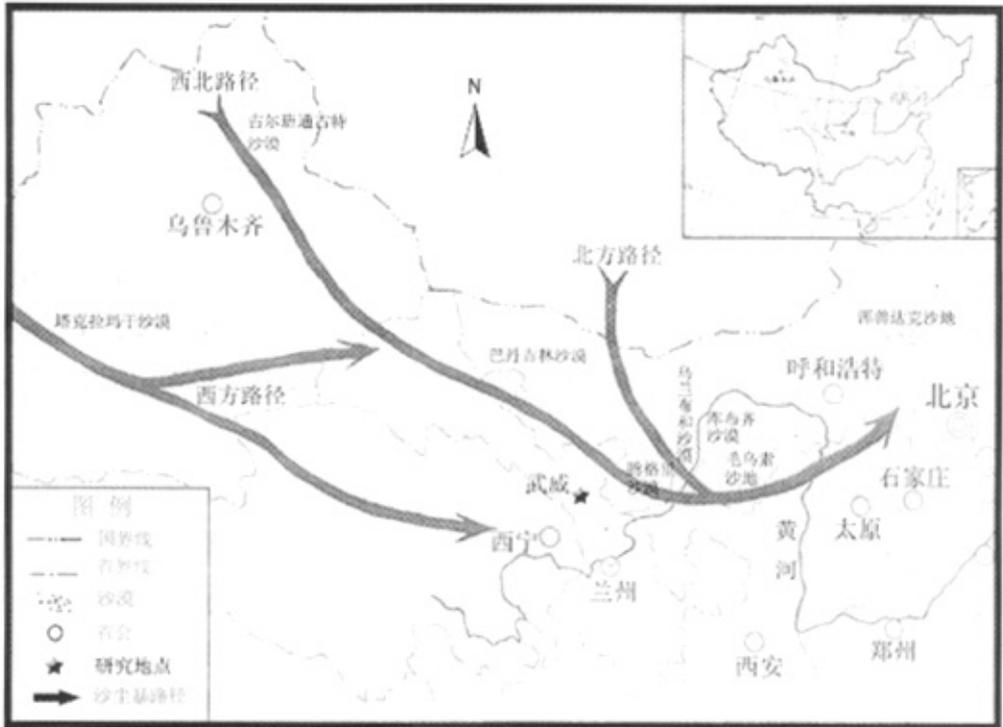


图 1-1 我国主要沙漠分布及西北地区沙尘暴移动路径示意图

Fig.1-1 Distribution of main deserts and dust storm mobile path in northwest of China

1.3 沙尘暴的危害

1.3.1 沙尘暴对生态环境的影响

沙尘暴携带大量沙尘，严重影响大气环境质量。大量的文献表明，沙尘暴期间大气总悬浮颗粒物（TSP，空气动力学当量直径 $\leq 100 \mu\text{m}$ 的颗粒物）、可吸入颗粒物（ PM_{10} ，空气动力学当量直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物）、细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ，空气动力学当量直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物）等含量大幅增加。庄国顺等报道，北京沙尘暴期间 TSP 可高达约 $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比平时高近 30 倍，而且其中 $\text{PM}_{9.0}$ 占 76.9%。

PM_{2.1}占16.1%，比正常天气均有大幅度增加；一些重金属元素（如Pb、Se、Zn、Cd、Cu）和类金属元素（如As）以及有机污染物在空气中的浓度也远高于平时^[33,34]。PM₁₀的日平均浓度为420 μg/m³，最大值为1700 μg/m³，远远超过了我国PM₁₀质量浓度日均值的二级标准。在2000年4月6日和25日发生的沙尘暴使大气PM₁₀日均值达1500 μg/m³、PM_{2.5}日均值达230 μg/m³，分别为平时的10倍和4倍^[35]；2002年3月20日的沙尘暴使大气TSP浓度甚至高达10900 μg/m³，超出国家标准约30倍^[36]，主要地壳源元素Ca、Al、Fe、Mg、Na、Ti等高达平日的30~58倍，污染元素Zn、Cu、Pb、As、Cd、S比平时高出数倍^[37]。另外，沙尘暴发生期间，大气二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、臭氧（O₃）浓度下降^[35]，而硫酸盐（SO₄²⁻）浓度略有上升。兰州春季背景大气TSP的质量浓度平均为0.4868 mg/m³，浮尘天气为1.4664 mg/m³，扬沙天气2.1305 mg/m³，而沙尘暴4.8615 mg/m³，分别为背景大气的10倍，浮尘天气的3.3倍，扬沙天气的2.28倍^[38]。

沙尘暴对环境的影响在很大程度上取决于其中的颗粒物。颗粒物对环境的影响总结起来有以下几点：① 恶化城市环境质量；② 降低大气能见度，大量沙尘蔽日遮光，天气阴沉，直接或间接反射太阳辐射，影响地球气候变化，即“阳伞效应”；③ 增加大气多相化学反应的场所；④ 长距离输送并沉降可导致区域性污染；⑤ 沙尘粒子还可以作为云凝结核影响云的形成、辐射特性和降水，产生间接的气候效应，即“冰核效应”^[29]。⑥ 大量的微生物伴随着沙尘暴侵入势必引起城市生态环境的改变，威胁到城市的生态安全^[39]。

1.3.2 沙尘暴对生产生活的危害

沙尘暴对生产生活的危害作用主要表现在以下几个方面：

① 对农业生产的危害。沙尘暴过程中，风沙流的吹蚀与磨蚀作用可使肥沃的土壤变得贫瘠，我国每年由沙尘暴产生的土壤细颗粒物流失高达10⁹~10¹⁰ kg，损失了大量的土壤有机质及氮、磷、钾。大风卷起的细沙尘土给农作物及各种农业设施带来巨大的危害，导致农作物减产甚至绝收^[40]。同时对土地造成了严重的风蚀，加速了水土流失，加剧了土地沙漠化。

② 加速土地荒漠化。沙尘暴时，在大风的吹动下，大量的沙粒可以流沙的形式掩埋农田、灌溉渠道、河道、草场、居民区、工矿、铁路、公路等大量可利用土地资源，每年给我国造成的损失高达540亿元人民币。

③ 对人民生命财产安全的危害。沙尘暴来势凶猛，伴随超强的风速，破坏力

巨大的风可以摧毁建筑物，袭击供电、交通和通讯等各种公共设施，毁坏树木，吹翻机动车辆，危害对人畜生命安全。1993年5月5日发生在我国西北地区“5.5”黑风暴事件，使新疆、甘肃、内蒙古、宁夏四省（区）的72个县旗，共造成死亡85人，伤264人，失踪31人，死亡和丢失牲畜12万头，受灾农田和林地达几十万公顷；数以百计的塑料大棚被毁，公路、铁路、供电线路、基础设施等破坏严重，经济损失数亿元^[2]。

1.3.3 对沙尘暴危害的不同见解

有研究表明，黄土高原可能是中国西部和北部沙漠中的粉尘通过沙尘暴由西北往东南的传输过程中受到秦岭、六盘山、吕梁山和太行山的阻挡，风速变小，粉尘沉积下来而形成的。大陆沙尘气溶胶因其“阳伞效应”、“冰核效应”和对海洋生物生长形成的“铁肥料效应”，导致CO₂下降和全球降温，部分抵消了因大气温室效应增强所造成的全球变暖，对区域和全球气候产生了重要影响。沙尘的传输对酸雨分布亦具有很大影响，亚洲内陆地区的沙尘粒子的碱性特征可中和酸雨中的酸性物质。同时，碱性的沙尘粒子沉降到地面还会改变土壤的酸碱度及营养供给，对农作物及其他植物产生影响^[22]。另外，沙尘气溶胶还可以大量吸收工业烟卤和汽车尾气中的氧化硫和氮氧化物，加上沙尘减弱阳光，降低气温，因而城市中出现沙尘天气时是不会出现阳光化学雾的。

1.4 沙尘天气对人体健康的影响

沙尘天气，尤其是沙尘暴可以对生命产生直接威胁。沙尘暴作为携带沙粒的风暴天气，它常在极短时间内由静风，突然转为10 m/s以上的大风，且伴随飞沙走石，能见度骤降，使人们害怕、精神紧张，或因大风袭击房屋被毁而死等等。除此之外，沙尘暴发生时，携带大量细颗粒物进入人口密集的城市，同时在颗粒物传输途中，尘埃中夹杂着细菌、病毒与有毒矿物质，对人体的身体健康产生了很大的伤害^[41]。沙尘天气对人体健康的影响主要体现在以下几个方面：

1.4.1 沙尘天气对感觉器官的影响

沙尘天气发生时，伴随大风把携带的尘埃颗粒、花粉、细菌、病毒及其他有害物质加以扩散，成为传播疾病的媒介，对人体产生损害。沙尘天气发生时，眼、鼻、喉、皮肤等直接接触沙尘的部位可出现一定的刺激症状（如口干唇裂、眼睛疼痛、流涕、流泪、咳嗽等）或过敏反应（如过敏性鼻炎、过敏性皮肤瘙痒症等），特别是一些首次或突然大量接触高密度沙尘的人可表现为各种刺激症状，如流鼻涕、流

泪、咳嗽、咯痰等，以及气短、乏力、发热、盗汗等全身症状；沙尘进入眼睛，可直接引起眼睛疼痛、流泪，如不及时清除沙尘，可能引起细菌性或病毒性眼病，严重的可以导致结膜炎等；进入耳朵引起外耳道炎症，影响了听力健康。颗粒物会阻塞皮肤皮脂腺和汗腺而形成痤疮，过敏体质的人还易发生各种过敏性皮炎、皮疹、过敏性皮肤瘙痒症等。此外，大风天气增加了皮肤表层水分的蒸发，导致皮肤粗糙、干裂、角质层老化、缺乏弹性，加速皮肤的老化。

1.4.2 沙尘天气对呼吸系统的影响

研究表明，沙尘暴与多种呼吸系统疾患有关，如引起支气管炎、支气管哮喘、肺气肿等疾病^[42,43]。美国华盛顿地区沙尘暴发生后，鼻窦炎和支气管炎的急诊量分别增加了 4.5%和 3.5%^[44]。一次严重的沙尘暴使美国加利福尼亚的圣华金山谷中 18 人感染了肺球形真菌病，其中 1 人死亡^[45]。受起源于蒙古和中国北方的沙尘暴所影响，韩国首尔浮尘天气发生后呼吸系统疾病所导致的日死亡率增加^[46]。台湾省台北市沙尘天气之后呼吸系统疾病住院人数、死亡率上升^[47]。黄玉霞等在研究呼吸道疾病发病人数与沙尘天气的关系中发现，呼吸道疾病发病人数与沙尘天气呈显著的正相关；当发生沙尘暴、扬沙天气或出现浮尘天气且无明显降水后的 1-2 天，呼吸道疾病可呈现高发趋势^[48]。沙尘暴可能会引起呼吸道刺激症状的发生，且多为急性效应。沙尘暴发生当天，无论是儿童还是成人，出现的阳性症状多为咳痰、眼睛干涩、打喷嚏等急性刺激症状^[49]。

这些都与沙尘天气发生时颗粒物浓度迅速增加有关。一般随颗粒物的减小，颗粒物在空中停留的时间越长，越容易进入人的呼吸道深处，毒性和危害也越大。粒径大于 10 μm 的颗粒物因其自身的重力作用易于下降，被呼吸道吸入的几率较小，即便被吸入也多沉积在上呼吸道，可通过纤毛运动而被推到咽部，随着人的咳嗽、打喷嚏排出体外，危害不大。而小于 10 μm 的小颗粒物为可吸入颗粒物，并吸附大量的重金属元素和有机污染物等有害物质，通过人的呼吸系统进入肺内气体交换区。粒径小于 2 μm 的颗粒物，90%~100%可进入肺泡区，对健康的危害最大。而在沙尘天气，由于颗粒物在短期内迅速增加，导致颗粒物的沉积量超过肺的自净能力，颗粒物积于胸腔内，会导致呼吸系统的损害。西雅图儿童哮喘急诊人数与粒径小于 1 μm 的细颗粒物的污染水平显著相关，当细颗粒物浓度上升 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时，急诊人数增加的相对危险度 (RR) = 1.15 (1.08~1.23) ^[50]。美国华盛顿也发现 PM₁₀ 与哮喘日门诊人数增加有关^[51]。在加拿大多伦多和中国香港均发现 PM₁₀ 与呼吸系

统疾病门诊人数的增加有关^[52]。上述流行病学调查均指出,随着空气中颗粒物的浓度增加,居民呼吸系统疾病的门诊率、入院率和死亡率增加;尤其是颗粒物短期内急剧增加的情况下对健康的危害更大,可引起暴露人群肺部疾病的发病率或加重率及死亡率明显增加。

1.4.3 沙尘天气对心血管系统的影响

受起源于蒙古和中国北方的沙尘暴所影响,韩国首尔沙尘天气发生后心血管系统疾病所导致的日死亡率也有所增加^[46];台湾省台北市沙尘天气之后心血管系统疾病死亡率上升 2.59%~3.65%,3 天之后脑中风人数显著上升,这些都与空气中 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度增加有关^[53,54]。伴随沙尘暴的出现,各种气象要素复杂多变,可能会导致人的神经系统功能紊乱,改变血管的正常运行,造成心血管系统损害。有人研究发现在沙尘暴天气,心肌梗死的病例增加了 2.5 倍,急性脑血管的意外发作增加了 1 倍,心绞痛和心律不齐增加了 50%,死亡增加了 20%^[55]。此外,许多国外文献认为心血管疾病与大气中颗粒物有关。美国 Los Angeles 的空气污染与每日入院量的关系,发现随着 PM₁₀ 的增加,原来患心血管疾病的人群入院率有明显的增加^[56]。另有文献报道,大气中 PM₁₀ 的水平与每日心肺疾病病死率和总死亡率有关,当 PM₁₀ 每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,总死亡率就增加 1%,心血管疾病死亡率增加 1.4%^[57],在一项大气颗粒物敏感人群的研究中证实 PM₁₀ 增加了患有慢性阻塞性呼吸系统疾病和肺炎患者因心脏传导紊乱和心律失常而住院的危险性,并可使哮喘病人和慢性心力衰竭病人接触空气颗粒物后的住院危险性增加两倍^[58]。

1.4.4 沙尘天气对身体健康的其他影响

在沙尘天气频度较高的地区,大量沙尘颗粒弥漫在空气中,会散射和吸收阳光,降低紫外线的辐射强度,导致儿童佝偻病的发病率上升。同时大风使地表面蒸发强烈,降低空气中的湿度,使人口干唇裂,鼻腔粘膜因干燥而弹性削弱,易出现微小裂口,影响到人体淋巴结、巨噬细胞的吞噬功能,导致免疫功能下降,增加对细菌感染的敏感性。此外有些气溶胶粒子含有各种微生物,在风的传播下,对人体可产生特定的危害。如携带结核杆菌的气溶胶可引发肺结核,而带有肺炎球菌、军团杆菌、各种厌氧菌者均可引发相应的病症。

此外,沙尘暴对人的心理健康也有很大的负面影响:当沙尘暴出现时,空气及沙尘冲撞摩擦产生音频的次声波,直接影响人体的神经系统,使人头晕、耳鸣、恶心、烦躁、失眠、精神错乱、四肢麻木等症状;猛烈的大风、沙尘常使空气中的负

氧离子严重减少, 导致一些对天气变化敏感的人身体不适, 让人感到神经紧张和疲劳; 加之能见度降低、光线阴暗, 使人的视野受到限制, 可能产生压抑和恐惧之感, 造成各种精神疾病。

1.5 沙尘天气对健康影响的毒理学机制

沙尘天气, 尤其是沙尘暴可通过大气输送对其下游广大地区的生态环境产生很大影响, 从而影响当地人民的身体健康。在沙尘天气导致空气中沙尘量急剧增加的过程中, 大颗粒沙尘的增加更为明显, 但大颗粒沙尘的重力沉降速度很快, 因而滞留在沙尘影响区上空的是大量细小沙尘, 由它们导致大气中 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度升高。一般来说, 粒径 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物, 在空气中可持续飘浮 $4\sim 9\ \text{h}$, $1\ \mu\text{m}$ 的颗粒物在 $19\sim 98$ 天才能降到地面, 更小的如 $0.4\ \mu\text{m}$ 的则需要 $120\sim 140$ 天才能落地。粒径较小的颗粒物, 由于其在空气中飘浮时间的长, 比表面积大, 因而越容易吸附有害气体、重金属元素、有机污染物、病原性微生物等物质, 造成的危害也越大。当可吸入颗粒物进入呼吸道后, 其上附着的有害物质可对呼吸道产生刺激和腐蚀作用, 易使呼吸道的防御系统遭到破坏, 如影响巨噬细胞的吞噬功能, 导致免疫功能下降, 引起多种疾病。由于 $PM_{2.5-10}$ 可沉积在气管和支气管, $PM_{2.5}$ 可到达肺泡, 其中可溶性成分可能被吸收进入血液, $< 0.1\ \mu\text{m}$ 的粒子更可通过肺间质直接进入循环系统。因此, 沙尘天气对人体健康的危害主要来自大气中增加的细小颗粒物 PM_{10} 或 $PM_{2.5}$, 即沙尘天气对人体或动物的毒性作用主要是由大气 PM_{10} 或 $PM_{2.5}$ 引起的。

1.5.1 大气颗粒物对呼吸系统的毒性

(1) 颗粒物的免疫毒性

吞噬细胞是机体的清道夫, 异物或炎症发生时首先出现在损伤部位, 吞噬、清除异物和炎性坏死细胞。在损伤或炎症发生部位分泌趋化因子及一些活性物质, 促使炎性细胞的聚集, 加速异物清除和炎症恢复速度。作为呼吸系统防御的第一道屏障, 颗粒物或其他外来抗原进入肺内后, 刺激肺泡巨噬细胞在局部聚集、活化、吞噬并清除颗粒物, 发挥其非特异性防御作用^[60]。沙尘暴 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 可对大鼠肺泡巨噬细胞的吞噬功能造成损伤, 削弱肺组织的非特异性免疫功能^[61]; 在沙尘颗粒物的刺激下肺泡巨噬细胞释放出一系列细胞因子和炎症因子, 如 NO、白细胞介素 8 (IL-8)、肿瘤坏死因子 (TNF- α), 导致炎症发生^[62]。扬沙或沙尘暴 $PM_{2.5}$ 对肺泡巨噬细胞的毒作用机制可能是通过诱发细胞内产生过量自由基或活性氧, 并使细胞抗氧化能力下降而引起细胞膜脂质过氧化, 细胞膜表层和膜脂疏水区流动性降低, 质膜

Na^+ - K^+ -ATP酶和 Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATP酶活性被抑制^[63], 且细胞质中LDH和ACP发生外渗, 说明肺泡巨噬细胞细胞膜受到损伤, 可能导致细胞膜对 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等阳离子通透性增加, 引起胞质内 K^+ 含量减少、 Ca^{2+} 浓度上升^[64], 造成细胞质内 Ca^{2+} 浓度升高。细胞内 Ca^{2+} 浓度的持续增高会抑制ATP的合成, 氧自由基生成增加, 从而引发一系列毒理效应, 加重组织损伤, 最终使细胞存活率下降^[65]。沙尘暴颗粒物损伤肺泡巨噬细胞的吞噬功能后, 必将削弱肺组织的非特异性免疫功能。

(2) 颗粒物对细胞的氧化损伤

自由基所产生的氧化损伤被认为是颗粒物产生生物活性的重要机制之一^[66]。自由基主要来自两个方面: ① 来自颗粒物本身。颗粒物吸附许多过渡金属元素如Fe、Cu等, 进入人体后, 可在局部释放出浓度较高的转运金属离子, 它们产生自由基的能力很强。另外, 超细颗粒物因其表面积大具有特殊的表面化学特征, 亦能产生自由基, 形成氧化损伤。不少研究发现如用金属螯合剂和自由基清除剂预处理, 则颗粒物的损伤效应能在很大程度上得到抑制^[67]。② 颗粒物由肺部进入体内, 与肺上皮细胞和肺巨噬细胞接触并相互作用释放出大量的细胞因子和活性氧(ROS)或活性氮(RNS)^[67], 这些自由基或ROS、RNS不但攻击富含不饱和脂肪酸的细胞膜、线粒体膜等膜性系统, 使膜结构受损、膜通透性和流动性改变, 而且攻击蛋白质、核酸等生物大分子, 使之发生链内或链间的交联、断裂, 导致细胞本身及邻近细胞受到损害, 其主要病理机制是引发脂质过氧化反应、削弱抗氧化能力, 导致组织内氧化与抗氧化系统的平衡失调, 使细胞产生氧化损伤, 进而可引起呼吸功能改变、肺纤维化、慢性支气管炎、肺气肿等疾病。

1.5.2 大气颗粒物对心血管系统的毒性

文献报道, 随 $\text{PM}_{2.5}$ 染毒浓度的增加, 大鼠心血管内皮细胞的诱导型一氧化氮合酶(iNOS)活力增高, 结构型一氧化氮合酶(cNOS)活力降低, 从而导致NO自由基释放增加。 $\text{PM}_{2.5}$ 对心血管内皮细胞的氧化应激损伤作用可能是其心血管毒性的作用机制之一^[68]。 $\text{PM}_{2.5}$ 甚至可以通过氧化损伤途径致血管内皮细胞死亡^[69]。血管内皮细胞死亡可以引起一系列改变, 从而导致心血管疾病的发生, 如由于血管内皮细胞不属于快速自我更新的细胞群体, 因此血管内皮细胞死亡致使血管内皮裂隙增大, 通透性增加, 促使脂质在血管内膜下沉积, 诱发动脉粥样硬化形成; 促进单核/巨噬细胞趋化并激活, 分泌各种炎症和细胞因子, 如IL-18、IL-8、IL-6、TNF-Q等, 这些细胞因子可使肝脏释放前凝聚因子, 令血管白细胞移动改变, 从而导致血液流动性降低; 引起血管重构, 使血管变得僵硬, 压力负荷增加, 促进高血压病的

发生等^[66]。在外界氧化应激及炎症因子的作用下，一些分布于呼吸道具有内分泌功能的神经末梢细胞会释放出某些神经递质，改变神经转导通路的正常功能。如改变调节心脏功能的自主神经系统的正常生理功能^[70]，导致心脏电生理的变化（ST段抬高）及心率失常^[71,72]。

颗粒物本身及其可溶性成分可能被吸收入血液，尤其是 $< 0.1 \mu\text{m}$ 的超细颗粒物，可通过肺间质直接进入血液循环发挥毒性作用。有研究表明，颗粒物暴露能引起人、大鼠、狗等动物血液循环中的中性粒细胞数目增多^[73,72]，还能引起骨髓释放的未成熟白细胞增多^[75]。流行病学研究也表明，PM_{2.5}污染水平上升与老年人及曾患有心肌梗死人群的心率变异度（HRV）的降低及心肌梗死的发病风险增高有关^[76-78]。PM浓度增高与一些心血管系统因素水平如：血黏度、血浆纤维蛋白原水平、C-反应蛋白（CRP）、内皮素水平、血压等存在密切相关^[79-85]。血黏度、C-反应蛋白都是人体急性期反应的标志物。血黏度主要由血浆纤维蛋白原水平决定；颗粒物经一系列反应刺激血浆纤维蛋白原水平升高，从而引起血黏度增高，使血液处于高凝状态，更易形成血栓。国外研究表明，血中CRP浓度增高与心血管病死亡率的增高密切相关，高水平的CRP可使脑卒中危险性增加2倍，心肌梗死增加3倍，是较敏感的心血管预测因子^[76]。内皮素是一种强力缩血管肽，可对血管和心脏产生强而持续的加压作用，并具有较强的收缩支气管作用，还能促进神经递质的释放。可见，颗粒物的吸入可引发机体急性反应，并可改变机体血液循环系统一些重要物质的浓度，从而导致心血管事件的发生。

目前研究发现核转录因子（NF- κ B）的激活与心血管疾病的发生、发展同样存在关联。Ritchie等发现，在急性冠脉综合征患者存在着血白细胞NF- κ B显著激活。心力衰竭时，心脏可表达多种炎症因子，而许多炎症因子均利用NF- κ B通路作为其激活、产生和持续释放的机制之一。另外，NF- κ B的激活可使血管细胞黏附分子（VCAM-1）表达增高，促使细胞间粘附加强，产生持续性心肌损害。NF- κ B的激活有可能是大气颗粒物对心血管毒性作用的重要机制之一^[66]。

1.5.3 大气颗粒物的致突变性和潜在致癌性

颗粒物粒径愈小，所吸附的有毒重金属和挥发及半挥发性有机物愈多，其致突变能力愈强。国内外有利用细颗粒物所做的一些短期遗传毒性实验，如微核实验、SCE、UDS、Ames实验、彗星实验等，均为阳性结果，且大多数有剂量-反应关系，从不同水平表明细颗粒物可能对细胞产生遗传毒性。原福胜等^[87]研究不同粒径

颗粒物的金属分布及其对人双核淋巴细胞微核率的影响发现,颗粒物诱发微核率的强度与其金属元素含量分布基本一致;魏爱丽等发现沙尘暴 $PM_{2.5}$ 使淋巴细胞微核率 (MNF) 显著增高,核分裂指数 (NDI) 显著下降^[88];此外, $PM_{2.5}$ 还可引起肺泡巨噬细胞 DNA 损伤,并且随着 $PM_{2.5}$ 浓度的增加及染毒时间的延长而加剧^[89]。

研究发现,将 RLE 细胞系的 II 型肺泡上皮暴露于大气颗粒物悬液中,可在细胞内检测到磷酸化 C-jun 蛋白含量及转录因子 AP-1 转录活性和 C-jun 蛋白激酶活性明显增高。转录因子 AP-1 活化蛋白是由癌基因 jun 和 fos 表达的蛋白所形成的同源或异源二聚体。jun 和 fos 基因均可因外界刺激使基因结构改变而被激活,其蛋白形成的二聚体 (AP-1) 可结合到许多与细胞增殖和转化有关的基因的增强子上,导致靶基因表达增强,AP-1 的激活可能成为颗粒物致癌的潜在机制之一^[90]。细胞间隙连接通讯 (GJIC) 是细胞间通讯的重要方式,是细胞间许多小分子物质交换的通道,在细胞增殖、增生和转化控制中发挥的重要调节作用。GJIC 丧失时,可能使开始癌变的细胞摆脱其周围正常细胞的控制获得自主性生长。颗粒物可以抑制体外细胞的间隙连接,提示可能在癌症的发生过程中起促进作用^[91]。

1.6 减少沙尘天气危害的对策

1.6.1 沙尘天气防治措施

(1) 实行综合治理,加强国际合作

沙尘天气尤其是沙尘暴是个全球性的问题,已引起全世界的密切关注。沙尘暴的形成和影响也往往是国际性的,影响我国的沙尘暴的沙源就有境内和境外之分。就影响范围来说,我国西部受到来自蒙古和哈萨克斯坦的沙尘暴的影响。同时我国的沙尘暴也影响到了东部日本、韩国等国家。为了减少春季沙尘暴的发生,韩国政府决定从 2002 年开始,为中国的沙漠造林工程提供支持,共同建立沙尘暴监视网络;我国在《北京宣言》的基础上要尽快与蒙古、哈萨克斯坦等国制订防治沙尘暴的框架协议,实施“国际沙尘暴研究计划”,从沙尘暴的源头入手寻找解决办法。对治理沙尘暴要综合考虑,全面规划,要求科研院所、生产部门和当地群众密切配合,采取不同形式加强地区之间、国家之间的合作。

(2) 加强立法监督,加大执法力度

沙尘暴是荒漠化的重要标志,荒漠化的发展也为沙尘暴提供了更多的物质来源。超载放牧、滥垦滥伐加快了我国荒漠化发展速度。因此必须制止滥垦滥伐、超载放牧等行为,加强立法监督工作,加大执法力度,把生态环境保护纳入法制化轨

道。全国各地区要认真贯彻执行国家的《环境保护法》、《土地法》、《草原法》、《森林法》、《水土保持法》、《防沙治沙法》等法律法规。同时针对这些法律法规在地区管理上比较概括等状况，加快制订配套的专项法律和地方性法规，对概括性的法律法规作具体的规定，建立和健全法律体系，对违反法律法规的单位和个人进行严肃处理，真正做到有法可依、有法必依、执法必严、违法必究。

（3）加强生态保护与建设

沙尘暴是由天气过程和地面过程共同作用的产物。但是目前人类控制天气的能力还很有限，减缓沙尘暴灾害频度与强度的关键在于搞好地面的生态保护与建设。坚持“预防为主、保护优先、防治并重”的生态保护与建设方针；在已经沙化的地区，实施生物措施与工程措施相结合，保护好沙区现有天然植被，封沙封滩，乔木、灌木、草本植物种植相结合，育草育林，建立起遏制沙漠化推进的生态屏障，增加地面覆盖度，扩展沙漠绿洲。同时，根据当地降水量、土壤储水量及水资源利用情况，合理安排作物种植，大力推广节水灌溉技术，提高水的利用率，严防地下水采用过度、水位下降。在生态脆弱区实行退耕还林还草和生态环境建设，严禁草场过度放牧。在西部生态脆弱区停止导致生态环境继续恶化的一切生产活动，对于超出生态承载能力的地区要采取一定的生态移民措施，用生态移民的办法建立生态无人区，靠自然生态的自我修复功能达到恢复生态的目的。

（4）加强沙尘暴的预测预报

加强对沙尘暴形成的天气动力条件、沙尘暴形成和发展的物理过程的研究；发展沙尘暴的监测网，信息传递和预警系统，掌握沙尘暴发生发展的机制和规律。利用卫星、雷达等各种先进装备开展沙尘暴天气的临近预报和警报。在沙尘暴低发期和缩小期，抓住有利时机，创造有利于植被生长的环境。在沙尘暴高发期和扩大期，及时预报预警，大力普及防灾知识，提高群众防灾意识，作好防护准备工作。

（5）调整产业结构，促进经济建设与生态环境的可持续发展

为了适应国际经济形势的发展和全面实施西部大开发战略，必须调整产业结构。改变“靠山吃山，靠水吃水”的观念，进一步加大对农业的科技投入，提高农业的科技含量，建设农业科技园，发展生态农业，推动我国西部地区的农业发展；在农牧交错带，对农业结构内部也要视具体情况科学地进行战略性调整，使部分地区退林还草、退耕还牧和封育撤人等；减少西部缺水地区耗水量大的工农业；增加牧民收入，减轻草场放牧压力，适当培育特色产业，针对西部地区独特而丰富的旅游等资源，积极发展西部旅游等第三产业。西部大开发战略的实施给西部地区的发

展提供了机遇也带来了挑战,要考虑整体的利益和长远利益,以发展的眼光看问题,自发保护生态环境,加强西部和其他地区以及国际间的联系,大力发展区域经济一体化,发展外向型经济,实现既发展经济,又治理沙尘暴^[92]。

1.6.2 沙尘天气时的个人防护

第一,作好自我防护。沙尘暴来临时要减少外出机会,尽量呆在室内并及时关闭门窗。户外工作者应暂停工作,如因职业或工作需要必须在室外活动时,应远离沟渠池塘防止落水,避开残垣断壁以防墙壁倒塌致伤。最好使用防尘、滤尘口罩,或用湿毛巾、纱巾保护眼、耳、口、鼻等。其它保护措施包括戴合适的眼镜,穿戴防尘的手套、鞋袜、衣服,勤洗手脸。在沙尘暴退去前,各级学校应暂时停止户外活动。如儿童不能在沙尘暴来临之前回家,应组织其在教室或其它可靠的建筑物躲避。此外,还应注意保护家禽和畜群,防止牲畜失散或致死,及时切断电源防止电火花引起火灾等有效措施。

第二,一旦发生持续咳嗽、气短、发作性喘憋及胸痛等不适症状时,应尽快就诊。

第三,在沙尘天气多发季节,应多喝水、多吃蔬菜水果等清淡食物,抵抗力较差的老年人、婴幼儿以及患有呼吸道过敏性疾病者在风沙季节更应该注意保健,尽可能远离沙尘。

第四,要防患于未然,避免受到沙尘伤害主要重在预防。为了有效预防沙尘的侵害,市民应关注当地气象部门发布的沙尘暴气象预警信号。

附:沙尘暴气象预警信号^[93]

沙尘暴预警信号分三级,分别以黄色、橙色、红色表示(图 1-2)。

(1) 沙尘暴黄色预警信号该信号的含义是:24 小时内可能出现沙尘暴天气(能见度小于 1000 米)或者已经出现沙尘暴天气并可能持续。

防御指南:① 做好防风防沙准备,及时关闭门窗;② 注意携带口罩,纱巾等防尘用品,以免沙尘对眼睛和呼吸道造成损伤;做好精密仪器的密封工作;③ 把围板、棚架、临时搭建物等易被风吹动的搭建物固紧,妥善安置易受沙尘暴影响的室外物品。

(2) 强沙尘暴橙色预警信号该信号的含义是:12 小时内可能出现强沙尘暴天气(能见度小于 500 米),或者已经出现强沙尘暴天气并可能持续。

防御指南:① 用纱巾蒙住头以防御风沙的行人要保证有良好的视线,注意交通安全;② 注意尽量少骑自行车,刮风时不要在广告牌、临时搭建物和老树下逗留;

③ 驾驶人员注意沙尘暴变化，小心驾驶；④ 机场、高速公路、轮渡码头注意交通安全；⑤ 各类机动交通工具采取有效措施保障安全；⑥ 其他同沙尘暴黄色预警信号。

(3) 特强沙尘暴红色预警信号该信号的含义是：6 小时内可能出现特强沙尘暴天气（能见度小于 50 米），或者已经出现特强沙尘暴天气并可能持续。

防御指南：① 人员应当呆在防风安全的地方，不要在户外活动；推迟上学或放学，直至特强沙尘暴结束；② 相关应急处置部门和抢险单位随时准备启动抢险应急预案；③ 受特强沙尘暴影响地区的机场暂停飞机起降，高速公路和轮渡暂时封闭或者停航；④ 其他同沙尘暴橙色预警信号。



图 1-2 沙尘暴预警信号示意图

Fig.1-2 Early Warning Signal for dust storm

1.7 课题的背景、意义及研究内容

沙尘天气作为一种灾害性的天气现象，自古有之。近 50 年来，我国北方地区沙尘天气发生日数呈减少趋势，但近年来的沙尘天气次数陡增，发生时间提前，而且发生期较长，其造成的影响和损失明显增加，使沙尘天气再次引起世人关注。强沙尘天气如沙尘暴扬起的沙尘气溶胶不仅会从我国北方广大地区扩散到南方一些城市，还会长距离输送到香港、台湾地区以及毗邻的韩国和日本，乃至影响到大洋彼岸的美国。它不仅造成空气质量恶化、对人体健康构成极大威胁，而且对气候变化的影响作用也越来越受到人们的重视。目前的文献主要集中于沙尘暴起源、分布、传输路径、颗粒成分分析等物理和化学机制的报道上，对沙尘天气及其颗粒物造成人群健康的危害，尤其在沙尘暴及其携带的可吸入颗粒物（ PM_{10} ）或细颗粒物（ $PM_{2.5}$ ）对呼吸系统、心血管系统等疾病或症状发作的流行病学调查方面尚未进行过系统和全面的研究。因此，本论文的工作富有创新性和一定的应用价值，可以初步揭示沙尘天气对健康影响的特点和规律，为制定沙尘天气防治政策提供依据。

论文的工作分三部分，一是文献综述，就沙尘天气的定义、特征、发生规律、对人类的危害、对人体健康的急慢性影响以及沙尘天气的防治措施作了较完整的阐述；二是通过流行病学调查，分析沙尘天气对武威市呼吸系统与心血管系统日门诊人数的影响；三是分析沙尘天气高发期间大气颗粒物污染对武威市呼吸和心血管系统日门诊人数的影响。通过本研究有助于全面了解沙尘天气引起的急性健康危害效应。

本论文研究内容是导师孟紫强教授主持的国家自然科学基金重点项目(30230310)“沙尘暴细颗粒物的理化特性及其对人体健康的影响”中的一部分，它对于丰富沙尘天气公共卫生的理论知识、揭示沙尘天气对人体的危害机理、促进全社会对沙尘天气和环境问题的重视将起重要的推动作用。

第二章 资料简介、研究内容与方法

2.1 研究地点的选择

2.1.1 研究地点的地理特征

本次研究的所选取的研究地点为位于我国西北河西走廊东端的甘肃省武威市(101°49'~104°43'E, 36°29'~39°27'N)。武威市处于黄土、青藏、蒙新三大高原的交汇地带,海拔 1020~4874 m,地势南高北低,由西南向东北倾斜。河西走廊东西长超过 1 000 km,东南为蜿蜒千里的祁连山,北部为合黎、龙首山等低山区,中间形成狭窄的“走廊”地带。它既是地理走廊,同时又是一个特殊气候带,由于其特殊走廊地形,南北两山之间平均宽度 100~200 km,最狭窄处约 100 km 左右,当冷空气进入河西走廊,在其“狭管效应”的作用下,风力可被加速 1.6 倍^[12],是沙尘暴形成的动力条件。此外,武威市紧邻巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠,这两大沙漠又提供了沙尘暴的形成的物质条件。

2.1.2 研究地点的气候特征

武威市属于温带大陆性干旱气候,由于地处青藏高原东北侧,高原主体对大气环流的阻挡作用导致海洋暖湿气流不易到达该区,而在该处形成绕流高压区,导致该地区气候干旱。武威市年均气温 7.8 °C,降水量 60~610 mm,蒸发量 1400~3100 mm,民勤县年均气温 7.2~7.8 °C,降水量 80~160 mm,蒸发量 1112~2635 mm,两地均太阳辐射强,日照充足,降水稀少,蒸发量大;夏季短而较热,冬季长而寒冷,年温差大;干燥少雨,春季多风沙。

2.1.3 研究地点的污染特征

武威市以农业为主,人为工业污染较少,2004 年年均 SO₂ 质量浓度 21 μg/m³,NO₂ 年均质量浓度为 26 μg/m³,均达到国家二级标准;由于武威市是沙尘暴高频区之一,特别是春季,每年有大量的细小沙尘漂浮在该市上空,造成该市空气质量下降。根据武威市环境质量公报,2001 年武威市月平均自然降尘量为 37.68 t·km⁻²,其中春季 3~5 月自然降尘量为 179.10 t·km⁻²,月均值为 59.7 t·km⁻²,超过全年月均值 58%,占全年自然降尘总量的 39.64%。由此可见,自然源是春季的主要影响源,由沙尘天气引起的沙尘颗粒物对该市春季大气污染影响最大^[94]。

2.2 研究时段的选择

由于长期冬春干旱少雨,暖冬现象严重,致使解冻后大面积表层土壤干燥、疏

松, 为沙尘天气发生提供物质基础, 在大风等气象因素的作用下非常容易发生沙尘天气。河西走廊东部武威市5站(凉州区、民勤县、永昌县、古浪县和乌鞘岭) 1971~2000年期间发生在3~5月份的沙尘暴日数占全年沙尘暴总日数的63%, 春季的沙尘暴日数占全年沙尘暴日数的百分率呈上升趋势, 其中, 20世纪90年代以来3~5月沙尘暴日数占全年沙尘暴总日数的87%左右^[94]。因此, 本次研究选择每年春季的3~5月作为研究时段。

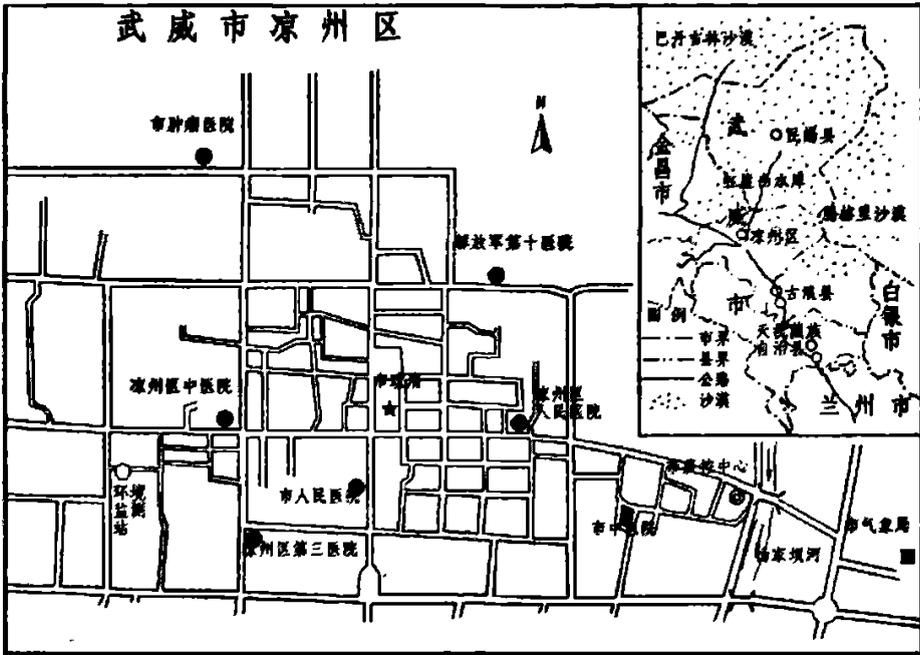


图 2-1 武威市行政区划及调查医院分布示意图

Fig.2-1 Sketch map for district and investigated hospitals of Wuwei

2.3 资料简介

2.3.1 气象资料

2004、2005年3月1日~5月31日武威市的沙尘天气发生日期、日均气温(°C)、大气压(hPa)、相对湿度(%)、风速(m/s)等地面气象资料由武威市气象局提供。

2.3.2 污染资料

2004、2005年3月1日~5月31日武威市大气污染物指标的每日平均质量浓度数据取自武威市环境监测站, 主要包括: SO₂、NO₂、PM₁₀。PM_{2.5}每日平均浓度数据由北京大学环境学院胡敏教授提供, 该数据是由PM_{2.5}大流量大气采样器(Thermo Andersen) 24 h连续现场采样所得。

2.3.3 疾病资料

2004、2005 年武威市呼吸和心血管系统疾病日门诊资料均取自甘肃省武威市七所大中型医院（武威市人民医院、武威市中医院、凉州区人民医院、凉州区中医院、甘肃省肿瘤医院、解放军第十医院、凉州区第三人民医院）。

呼吸系统疾病包括国际疾病分类（ICD-10）^[95]编码为 J00-J99 之内的疾病，心血管系统疾病包括编码为 I00-I55 之内的疾病，同时剔除因意外、手术等人为原因造成的呼吸和心血管系统疾病以及外地人员在当地就诊的疾病资料。

2.4 资料录入与分析

2.4.1 数据录入与预处理

把从医院收集的门诊病例按次序编号，逐个录入到用 Epidata 3.0 编好的程序中，核查、纠错后转入 SPSS 13.0 行归类整理和统计分析。在资料整理和数据录入时采用 Epidata 3.0 软件进行逻辑检错并进行双遍录入，录入后对变量进行了区间检错和逻辑检错。

气象及污染数据均从相关监测部门获取，并建立数据库。进行逻辑检验、异常值筛查、缺失值分析。

2.4.2 资料的基本描述和分析

① 对 2004、2005 年 3~5 月武威市的呼吸和心血管疾病门诊资料按性别分布特点加以描述。同时进行描述性分析，计算出每日门诊均值、标准差、四分位数、四分位间距等指标。

② 根据国家环境空气质量标准^[96]，对武威市 2004、2005 年 3~5 月份三种主要大气污染物 PM₁₀、SO₂、NO₂ 的总体污染状况进行描述性分析，计算出每日门诊均值、标准差、四分位数、四分位间距等指标。同时，比较发生不同沙尘天气期间主要大气污染物（PM₁₀、SO₂、NO₂）的污染状况。

③ 对武威市 2004、2005 年 3~5 月份气象条件进行描述性分析，计算出每日门诊均值、标准差、四分位数、四分位间距等指标。同时，比较发生不同沙尘天气期间气象条件的基本状况。

2.5 研究内容及方法

本论文研究沙尘天气及其颗粒物对居民呼吸和心血管系统日门诊人数的影响。研究内容包括以下 2 个部分：

2.5.1 春季（3~5月）不同沙尘天气对武威市呼吸系统与心血管系统日门诊人数的影响（2004、2005年）

由于研究时期不是连续序列，因此本研究首先应用 GAM 模型分别探讨每年沙尘天气（分为浮尘、扬沙和沙尘暴）对居民呼吸系统日门诊人数的影响，并观测沙尘天气的影响是否存在滞后效应，从而得到沙尘天气对呼吸系统与心血管系统日门诊人数的影响。日门诊人数对于整个居民总体来说属于小概率事件，其实际分布近似于泊松分布，因此本研究采用时间序列的泊松回归模型，在排除日门诊人数的长期趋势、日历效应（day of the week）等的条件下进行。

由于气象因素与大气污染物浓度和呼吸及心血管疾病门诊都有关系，可以视为一个混杂因素，故在所有模型中（包括下述的多污染物模型）均纳入非参数平滑样条函数加以控制，其滞后效应视为与大气污染物同步。

具体模型如下：

$$\log[E(Y_k)] = \alpha + DOW + \beta X_k + s(\text{time}) + s(Z_k) \quad (1)$$

其中：

$E(Y_k)$ 响应变量 Y 为在 k 日的住院人数预期值；

α 为截距；

DOW 为反映日历效应的虚拟变量（dummy variable）；

βX_k 为 GAM 模型中的参数部分，分类变量 X （虚拟变量）包括非沙尘天气、浮尘、扬沙、沙尘暴； β 为回归系数；

s 为非参数平滑样条函数（smoothing spline function）；

time 指日期；

Z_k 为在 k 日的气象因子变量，包括日均气温、气压、水汽压、相对湿度、定时最小能见度。

本研究采用 Akaike 信息标准（Akaike's Information Criterion, AIC）作为评判标准^[97]，对各年回归模型进行因子选择与优度检验。

根据模型估算出大气污染物的回归系数 β ，计算当污染物变化单位浓度（四分位间距（IQR））时，居民每日呼吸与心血管疾病门诊数自然对数的相对改变量。相对危险度 $RR = \exp(\beta \times IQR)$ ，并在此基础上计算 RR 的 95% 的可信区间（95% CI）^[81]。

研究采用 S-Plus 6.2 软件进行统计过程的处理。

2.5.2 沙尘颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

本部分不但分析PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂分别单独对居民呼吸及心血管系统日门诊人数的影响（单污染模型），以及PM₁₀和PM_{2.5}分别与SO₂和/或NO₂的共同作用（多污染模型）。而且也有必要探讨在不同沙尘天气浓度水平下的颗粒物对日门诊人数的影响是否存在潜在的浓度效应关系。

A. 单污染与多污染模型

每日居民因呼吸与心血管疾病而去医院门诊相对居民总体来说是小概率事件，其统计学分布近似于泊松分布，因此本研究采用对数线性模型基础上的半参数广义相加泊松回归模型（GAM），在排除了长期趋势、日历效应、气象因素等混杂因素影响的基础上，将逐日PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂浓度作为线性变量引入模型，分析大气污染物对呼吸与心血管疾病日门诊人数的影响。具体模型为：

$$\log[E(Y_k)] = \alpha + DOW + \beta X_k + s(\text{time}) + s(Z_k)$$

其中： X_k 为在 k 日大气污染物浓度，包括PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂日平均浓度；

Z_k 为在 k 日的气象因素变量，包括日最低气温、日均气压、日均相对湿度、日最大风速。

采用Akaike信息标准（AIC）进行模型拟合优度检验^[97]。

根据模型估算出大气污染物的回归系数 β ，计算当污染物变化单位浓度（四分位间距（IQR））时，居民每日呼吸与心血管疾病门诊数自然对数的相对改变量。相对危险度RR= $\exp(\beta \times IQR)$ ，并在此基础上计算RR的95%的可信区间（95% CI）^[35]。

研究采用S-Plus 6.2软件进行统计过程的处理。

B. 颗粒物浓度分类模型

研究期间正是该地沙尘天气高发季节，PM₁₀和PM_{2.5}的浓度大小与沙尘天气的发生直接相关，不同沙尘天气水平的颗粒物浓度对呼吸和心血管系统健康的影响在一定程度上可反映出不同沙尘天气的健康危害。同时可以确定自然起源颗粒物对居民健康影响的浓度阈值，为探讨自然起源颗粒物的健康影响机理提供依据。

本研究根据空气质量标准以及当地发生沙尘天气时颗粒物浓度分布情况，分别将PM_{2.5}和PM₁₀分为4个水平，并将其作为分类变量引入GAM模型重新估计，以此来检验是否存在剂量效应关系^[98]。

分类方法如下：

根据研究期间武威市PM_{2.5}浓度分布情况，本研究将PM_{2.5}浓度分为4个水平：

① $\leq 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （美国EPA空气质量标准，本研究定义为清洁天PM_{2.5}水平）；

② $65.1-95.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (高于 EPA 空气质量标准的非沙尘天气, 本研究定义为轻度污染及浮尘天 $\text{PM}_{2.5}$ 水平);

③ $95.4-167.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (本研究定义为扬沙天 $\text{PM}_{2.5}$ 水平);

④ $>167.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (本研究定义为沙尘暴天 $\text{PM}_{2.5}$ 水平)。

根据研究期间武威市 PM_{10} 浓度分布情况, 本研究将 PM_{10} 浓度分为 4 个水平:

① $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (本研究定义为清洁天 PM_{10} 水平);

② $101-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (本研究定义为轻度污染及浮尘天 $\text{PM}_{2.5}$ 水平);

③ $150-250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (本研究定义为扬沙天 PM_{10} 水平);

④ $>250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (本研究定义为沙尘暴天 PM_{10} 水平)。

在进行 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度等级与居民日门诊人数关系的分析中, 本研究均选择在单污染模型中有统计学意义或效应值 (RR) 最大的滞后天进行分析。

第三章 沙尘天气对呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

3.1 前言

扬沙和沙尘暴是我国北方春季多发、且影响较为严重的沙尘天气，它们严重影响大气环境质量，危害人民的健康。尤其以沙尘暴的危害最大，它可将细颗粒物长途传输数千公里而进入人口密集的城市，因而产生更加严重的健康影响^[41]，甚至远征数千至上万公里沉降到韩国、日本等地，最远可以到达北太平洋西海岸，因此可以说是一种全球性的自然灾害。由于毗邻腾格里与巴丹吉林两大沙漠，武威市发生扬沙天气和沙尘暴期间 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 瞬时值均非常高，其中沙尘暴发生时的 PM₁₀ 瞬时值甚至高达 3400 μg/m³，因此研究如此高浓度的大气颗粒物对人群心血管系统和呼吸系统健康的不利影响是十分重要的。

文献报道，沙尘暴颗粒物(PM₁₀、PM_{2.5})不但可以对大鼠肺泡巨噬细胞的吞噬功能造成损伤，削弱其特异性防御能力，导致免疫功能下降^[60]。本实验室研究也指出，沙尘暴 PM_{2.5} 能引起大鼠肺泡巨噬细胞的氧化损伤，增大质膜通透性和膜脂流动性，使细胞内 Ca²⁺浓度升高，产生细胞毒性^[62-74]。国外文献报道，大气中 PM_{2.5} 浓度的增高与一些心血管系统因素水平如血黏度、血浆纤维蛋白元水平、C-反应蛋白(CRP)、内皮素水平、血压等的变化密切相关^[79-85]。但是，关于扬沙天气和沙尘暴对人群健康影响的流行病学研究甚少。因此，为了探讨扬沙天气和沙尘暴对人体健康的影响，本文对我国西北沙尘天气高发区——甘肃省武威市大中型医院 2004、2005 年沙尘天气与居民呼吸系统、心血管系统疾病医院日门诊人数的关系进行了研究。

3.2 结果

3.2.1 气象条件和大气污染物浓度资料分析

表 3-1 描述了 2004、2005 年 3 月 1 日~5 月 31 日武威市气象资料和大气污染物浓度的频数分布。从表 3-1 可知：研究期间主要大气污染物中 SO₂、NO₂ 的日平均值均低于国家空气质量二级标准^[96]。

如表 3-2 所示，沙尘天气发生时，大气压改变不大，气温、相对湿度有下降趋势，但与非沙尘天气比较差异无统计学意义。大气污染物 SO₂、NO₂ 质量浓度变化也不大，且均未超过国家空气质量二级标准；与非沙尘天气相比，2004 年风速在三种沙尘天气时均显著增高($P \leq 0.05$)，而 2005 年风速在沙尘暴时显著增高($P \leq 0.05$)；

两年中 PM₁₀ 在扬沙与沙尘暴发生时均显著增高($P \leq 0.01$), 不同沙尘天气下的增高幅度依次为: 沙尘暴天气 > 扬沙天气 > 浮尘天气。

表3-1 2004、2005年3月~5月武威市气象和大气污染物浓度频数分布(24h均值)

Tab. 3-1 Description of daily averages of environmental levels and meteorologic factors form March 1st to May 31st annually in 2004 and 2005, Wuwei city, Gansu province, China (average of 24h)

| 年份 | 项目 | 指标 | \bar{x} | s | Min | P ₂₅ | P ₅₀ | P ₇₅ | Max |
|-----------------|---|------------------|-----------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2004 | 气象 | 风速(m/s) | 6.28 | 3.60 | 2.62 | 3.51 | 5.05 | 7.78 | 20.48 |
| | 条件 | 气温(°C) | 11.86 | 6.66 | -4.20 | 6.65 | 12.90 | 17.43 | 23.00 |
| | | 相对湿度(%) | 33.83 | 13.44 | 14.00 | 25.00 | 29.50 | 38.75 | 84.00 |
| | | 大气压(hPa) | 845.59 | 4.81 | 834.30 | 842.03 | 845.35 | 848.58 | 856.30 |
| | 大气污染物浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM ₁₀ | 120.79 | 66.14 | 39.00 | 71.25 | 95.50 | 149.50 | 294.00 |
| | | SO ₂ | 30.73 | 28.00 | 8.00 | 15.75 | 28.00 | 41.38 | 104.00 |
| NO ₂ | | 12.75 | 4.74 | 3.52 | 9.61 | 12.72 | 16.73 | 26.28 | |
| 2005 | 气象 | 风速(m/s) | 7.58 | 5.25 | 2.65 | 3.81 | 5.07 | 10.58 | 20.52 |
| | 条件 | 气温(°C) | 8.72 | 7.43 | -6.51 | 3.38 | 9.68 | 15.19 | 20.52 |
| | | 相对湿度(%) | 40.43 | 13.43 | 26.57 | 30.19 | 34.55 | 48.25 | 84.80 |
| | | 大气压(hPa) | 850.00 | 13.71 | 828.57 | 841.11 | 845.68 | 854.21 | 887.52 |
| | 大气污染物浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM ₁₀ | 104.58 | 76.59 | 45.80 | 62.14 | 76.43 | 115.01 | 516.30 |
| | | SO ₂ | 50.60 | 18.23 | 16.05 | 35.31 | 51.22 | 62.78 | 97.52 |
| NO ₂ | | 12.75 | 3.72 | 6.16 | 9.81 | 12.45 | 14.98 | 22.13 | |

表3-2 2004、2005年3月~5月武威市沙尘天气与非沙尘天气气象和大气污染物指标的比较

Tab. 3-2 Comparison of daily averages of environmental levels and meteorologic factors between dust events and non-dust events form March 1st to May 31st annually in 2004 and 2005 in Wuwei city, Gansu province, China (average of 24h)

| 年份 | 天气 状况 | 时间 (d) | 大气压 (hPa) | 气温 (°C) | 相对湿度 (%) | 风速 (m/s) | PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|------|-------------|------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|--|---|---|
| 2004 | 非沙尘 (3月) | 79 (29) | 845.7±4.9 (847.8±3.6) | 12.1±6.5 (4.7±3.9) | 34.5±13.7 (34.8±12.1) | 5.8±3.0 (9.6±3.1) | 108±59 (137±66) | 33.0±19.8 (43.7±17.8) | 12.8±4.8 (23.3±19.4) |
| | 浮尘 | 2 | 848.0±0.8 | 6.0±5.2 | 26.5±2.1 | 11.3±3.5* | 140±93 | 35.9±5.8 | 14.5±6.0 |
| | 扬沙 | 11 | 844.3±4.6 | 12.2±8.0 | 31.3±13.5 | 12.4±5.3* | 205±41** | 47.5±20.5 | 11.5±4.6 |
| | 沙尘暴 | 2 | 846.2±1.9 | 5.4±5.7 | 28.0±1.4 | 13.6±6.1* | 285±49** | 50.6±14.7 | 15.9±0.1 |
| 2005 | 非沙尘天气 | 82 | 851.2±14.0 | 10.6±7.3 | 41.0±14.1 | 8.5±6.7 | 68±41 | 34.8±26.7 | 12.3±4.0 |
| | 浮尘 | 6 | 842.7±6.5 | 16.3±4.1 | 32.6±9.3 | 3.6±0.3 | 104±48 | 46.1±30.5 | 16.1±4.2 |
| | 扬沙 | 7 | 842.3±5.9 | 14.5±4.2 | 39.0±7.4 | 8.5±4.0 | 251±45** | 55.4±28.3 | 9.8±5.1 |
| | 沙尘暴 | 3 | 850.2±22.9 | 10.8±7.5 | 38.2±6.5 | 18.1±4.3* | 368±163* | 36.7±3.7 | 8.0±1.5 |

注: ① 各指标为 24 hr 质量浓度平均值。② 运用单因素方差分析, 与非沙尘天气(对照)相比, * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, 其中由于 2004 年沙尘暴均发生在 3 月, 当年沙尘暴是与 3 月非沙尘天气相比。③ 统计值采用

“ $\bar{x} \pm s$ ”的形式。

3.2.2 门诊情况描述

表 3-3 列出了 2004、2005 年 3 月 1 日~5 月 31 日期间，武威市七所大中型医院呼吸及心血管系统疾病每日门诊人数的基本情况。呼吸系统疾病主要包括上呼吸道感染(占 68%)，鼻、喉、扁桃体、声带等疾病(占 11.5%)，肺炎(占 8.8%)，气管炎(占 8.7%)；心血管系统疾病主要包括高血压及有关疾病(占 26.7%)，心律失常、心内膜炎、心包炎等(占 19.9%)，冠心病、冠状动脉缺血、心绞痛、心肌梗塞等(占 19.5%)，脑血栓、动脉硬化等(占 11.2%)，心肌病、风湿性心脏病等(占 10.1%)。

表3-3 2004、2005年3月~5月武威市大中型医院呼吸及心血管系统疾病门诊人数的频数分布
Tab. 3-3 Description of daily respiratory hospitalization from March 1st to May 31st annually in 2004 and 2005, Wuwei city, Gansu province, China

| 疾病分类 | 年份 | 性别 | \bar{x} | s | Min | P ₂₅ | P ₅₀ | P ₇₅ | Max |
|-------|------|----|-----------|-------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| 心血管系统 | 2004 | 男 | 14.63 | 6.34 | 1 | 11 | 15 | 19 | 27 |
| | | 女 | 15.93 | 6.82 | 1 | 10 | 17 | 21 | 31 |
| | 2005 | 男 | 11.87 | 5.79 | 1 | 9 | 11 | 15 | 30 |
| | | 女 | 16.32 | 7.68 | 1 | 11 | 15 | 21 | 40 |
| 呼吸系统 | 2004 | 男 | 78.35 | 27.09 | 26 | 53 | 83 | 95 | 140 |
| | | 女 | 62.33 | 23.94 | 12 | 44 | 64 | 77 | 145 |
| | 2005 | 男 | 80.31 | 29.39 | 18 | 60 | 81 | 96 | 155 |
| | | 女 | 68.51 | 23.52 | 21 | 51 | 72 | 86 | 140 |

3.2.3 GAM 分析结果

表 3-4 中列出了 2004、2005 年 3~5 月扬沙天气和沙尘暴滞后第 0 天(即当天, Lag0)到滞后第 6 天(Lag6)对所调查医院呼吸系统、心血管系统疾病每日门诊人数影响的 GAM 模型分析结果。虽然两年中沙尘暴都对呼吸及心血管系统疾病日门诊人数有影响, 且均表现为滞后效应, 但不同性别、不同年份所受影响的程度不同。对于呼吸系统疾病来说, 2004 年男性门诊 RR 在扬沙天气滞后第 2 天(RR=1.58(95% CI 1.13~2.20))及沙尘暴滞后第 2、3 天有统计学意义(RR 分别是: 1.55(95% CI 1.01~2.38), 1.67(95% CI 1.03~2.70)), 而女性门诊 RR 在沙尘暴滞后第 1 天有统计学意义(RR=1.97(95% CI 1.08~3.58)); 2005 年男性门诊 RR 在沙尘暴滞后第 1、3 天有统计学意义(RR 分别是: 1.43(95% CI 1.05~1.94)、1.48(95% CI 1.02~2.15)), 而女性门诊 RR 在扬沙天气滞后第 2 天(RR=1.49(95% CI 1.01~2.19))及沙尘暴滞后第 1 天有统计学意义(RR=1.53(95% CI 1.06~2.21))。

对于心血管系统疾病来说, 2004 年男性门诊 RR 在扬沙天气滞后第 4 天

(RR=1.45(95% CI 1.11~1.89))和沙尘暴滞后第 2、3 天有统计学意义(RR 分别是: 1.54(95% CI 1.07~2.21)、1.77(95% CI 1.24~2.52)), 而女性门诊 RR 在沙尘暴滞后第 3 天有统计学意义(RR=1.63(95% CI 1.02~2.61)); 2005 年男性门诊 RR 在扬沙天气滞后第 2 天(RR=1.52(95% CI 1.18~1.97))和沙尘暴滞后第 2、4 天有统计学意义(RR 分别是: 1.87(95% CI 1.12~3.11)、1.81(95% CI 1.23~2.66)), 而女性门诊 RR 在扬沙天气滞后第 2 天(RR=1.29(95% CI 1.02~1.63))及沙尘暴滞后第 4 天有统计学意义(RR=1.53(95% CI 1.07~2.19))。

表 3-4 2004、2005 年 3 月~5 月沙尘天气对武威市大中型医院呼吸、心血管疾病门诊人数影响的 GAM 分析结果

Table 3-4 Results of GAM modeling on the association of dust events with daily respiratory and circulatory outpatient number from March 1st to May 31st annually in Wuwei city (2004, 2005)

| 疾病 | 年份 | 沙尘天气 | 性别 | RR (95% CI) | | | | | | |
|-------|------|------|----|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | Lag0 | Lag1 | Lag2 | Lag3 | Lag4 | Lag5 | Lag6 |
| 呼吸系统 | 2004 | 扬沙 | 男 | 0.84(0.59-1.19) | 0.95(0.64-1.40) | 1.58(1.13-2.20)* | 1.01(0.80-1.27) | 0.81(0.61-1.08) | 1.08(0.83-1.40) | 1.14(0.82-1.58) |
| | | | 女 | 1.01(0.69-1.48) | 1.03(0.78-1.36) | 1.06(0.84-1.34) | 1.09(0.75-1.58) | 1.07(0.80-1.42) | 1.12(0.82-1.52) | 1.04(0.74-1.47) |
| | | 沙尘暴 | 男 | 1.22(0.67-2.21) | 1.32(0.85-2.06) | 1.55(1.01-2.38)* | 1.67(1.03-2.70)* | 1.11(0.67-1.85) | 1.15(0.69-1.91) | 1.25(0.80-1.95) |
| | | | 女 | 1.18(0.80-1.74) | 1.97(1.08-3.58)* | 1.39(0.87-2.23) | 1.61(0.90-2.87) | 1.25(0.75-2.09) | 1.35(0.85-2.15) | 1.16(0.67-2.01) |
| | 2005 | 扬沙 | 男 | 0.86(0.59-1.25) | 0.79(0.62-1.00) | 0.92(0.67-1.27) | 1.21(0.96-1.52) | 0.84(0.59-1.19) | 0.93(0.71-1.21) | 1.19(0.81-1.74) |
| | | | 女 | 1.31(0.94-1.82) | 1.02(0.77-1.36) | 1.49(1.01-2.19)* | 0.78(0.58-1.05) | 1.00(0.70-1.44) | 0.97(0.66-1.42) | 0.86(0.63-1.18) |
| | | 沙尘暴 | 男 | 1.27(0.90-1.78) | 1.43(1.05-1.94)* | 1.21(0.85-1.72) | 1.48(1.02-2.15)* | 0.92(0.63-1.34) | 0.75(0.49-1.15) | 1.09(0.77-1.54) |
| | | | 女 | 1.01(0.70-1.47) | 1.53(1.06-2.21)* | 1.12(0.70-1.79) | 1.36(0.87-2.13) | 1.20(0.77-1.86) | 0.75(0.51-1.1) | 1.00(0.64-1.56) |
| 心血管系统 | 2004 | 扬沙 | 男 | 0.86(0.64-1.15) | 0.85(0.67-1.07) | 0.93(0.75-1.16) | 1.04(0.78-1.40) | 1.45(1.11-1.89)* | 1.25(0.97-1.61) | 1.12(0.87-1.44) |
| | | | 女 | 0.94(0.56-1.58) | 0.98(0.67-1.43) | 0.93(0.64-1.35) | 0.9(0.64-1.27) | 1.03(0.73-1.46) | 1.01(0.72-1.41) | 0.99(0.71-1.39) |
| | | 沙尘暴 | 男 | 1.02(0.73-1.42) | 1.51(0.98-2.32) | 1.54(1.07-2.21)* | 1.77(1.24-2.52)* | 1.10(0.80-1.51) | 1.14(0.69-1.89) | 1.24(0.89-1.72) |
| | | | 女 | 1.17(0.65-2.10) | 1.28(0.71-2.30) | 1.3(0.88-1.92) | 1.63(1.02-2.61)* | 1.13(0.59-2.16) | 1.06(0.52-2.15) | 1.24(0.59-2.62) |
| | 2005 | 扬沙 | 男 | 0.88(0.64-1.20) | 1.02(0.79-1.31) | 1.52(1.18-1.97)* | 1.13(0.82-1.55) | 1.01(0.71-1.43) | 0.89(0.65-1.22) | 1.01(0.76-1.33) |
| | | | 女 | 0.97(0.73-1.29) | 1.20(0.93-1.54) | 0.88(0.67-1.16) | 1.29(1.02-1.63)* | 0.78(0.62-0.98) | 1.20(0.93-1.55) | 1.07(0.73-1.57) |
| | | 沙尘暴 | 男 | 1.00(0.65-1.53) | 1.01(0.62-1.65) | 1.87(1.12-3.11)* | 1.12(0.74-1.70) | 1.81(1.23-2.66)* | 1.29(0.87-1.92) | 0.80(0.47-1.35) |
| | | | 女 | 1.04(0.62-1.74) | 1.21(0.74-1.98) | 1.27(0.86-1.87) | 1.26(0.88-1.80) | 1.53(1.07-2.19)* | 1.02(0.65-1.59) | 1.40(0.95-2.06) |

注: * 表示该天RR有统计学意义($P \leq 0.05$)。

3.3 讨论

本研究应用 GAM 模型分析 2004、2005 年 3~5 月扬沙天气、沙尘暴与呼吸及心血管系统疾病日门诊人数之间的联系。考虑到两年之间存在着差异且非连续序列,

因此分别对每年建立回归方程并将日门诊人数作为一个时间序列进行研究, 由于时间序列自身的特点, 日门诊人数受到许多随时间变化的混杂因子的影响, 比如人群特征和数量的变化、社会经济情况、健康行为的变化(饮食习惯、工作强度、锻炼身体等)、医疗水平、社会保障系统等等。如果不控制这些因素对日门诊人数的影响, 就很容易产生混杂偏倚, 甚至生态学谬误。然而, 由于这些因素多是随时间变化的, 或呈现长期趋势, 或呈现季节变化, 所以, 在 GAM 分析中通过利用时间的非参数样条函数以达到控制这些与时间相关的混杂因素的目的, 从而最大限度地减少了混杂偏倚和生态学谬误的发生。这也是当前 GAM 模型分析被环境流行病学广泛应用的主要原因之一。

本研究结果表明, 扬沙天气与沙尘暴的发生与居民呼吸及心血管系统疾病日门诊 RR 的增加有密切的关系。扬沙天气和沙尘暴的主要特征是风速大, 空气中不同粒径颗粒物急剧增加。庄国顺等报道, 沙尘暴期间 TSP 可高达约 $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 而且其中 $\text{PM}_{9.0}$ 占 76.9%, $\text{PM}_{2.1}$ 占 16.1%, 比正常天气均有大幅度增加; 一些重金属元素(如 Pb, Se, Zn, Cd, Cu)和类金属元素(如 As)以及有机污染物在空气中的浓度也远高于平时^[33,34]。文献报道, 随着空气中 PM_{10} 的浓度增加, 居民呼吸和心血管系统疾病的门诊率、入院率和死亡率增加; 尤其是 PM_{10} 短期内急剧增加的情况下对健康的危害更大, 可引起暴露人群疾病的发病率或加重率及死亡率明显增加^[41]。Pope 等报道, 空气中 PM_{10} 超过 $150 \text{ mg}/\text{m}^3$ (24 h 均值)时, 儿童入院人数增加 3 倍; 成人增加 44%^[41]。在加拿大多伦多和中国香港均发现 PM_{10} 与呼吸系统疾病门诊人数的增加有关^[51]。美国华盛顿也发现 PM_{10} 与哮喘日门诊人数增加有关^[35]。文献报道, 韩国首尔浮尘天气发生后呼吸及心血管系统疾病所导致的日死亡率增加了 4.1%^[46]; 台北市沙尘天气之后呼吸系统疾病住院人数、死亡率上升, 还发现心血管系统疾病死亡率及脑中风人数显著上升^[53,54]。本文表 3-1 指出, 武威市发生沙尘暴期间空气 SO_2 、 NO_2 浓度未见显著变化, 甚至还有降低的趋势, 而 PM_{10} 浓度(24 h 均值)在非沙尘天气为 $68\sim 108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、扬沙天气为 $205\sim 251 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、沙尘暴天气为 $285\sim 368 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 表明扬沙天气和沙尘暴对居民呼吸及心血管系统疾病日门诊 RR 的增加的影响, 可能主要与沙尘天气期间 PM_{10} 在短期内急剧增高有关。本文对沙尘暴事件短期内 PM_{10} 如此急剧增高而导致呼吸及心血管系统疾病日门诊 RR 显著增加的报道, 在国内外尚属首次。

本研究结果也指出, 沙尘暴对呼吸和心血管系统疾病日门诊人数增加的影响比扬沙天气更为严重(表 3-4), 由于扬沙天气 PM_{10} 在空气中的浓度远低于沙尘暴期间的

PM₁₀水平,这在一定意义上也说明,沙尘天气PM₁₀浓度与这两种系统疾病的发生或加重存在一定程度的剂量-效应关系,提示对于以高浓度颗粒物为特征的沙尘天气的健康危害作用及防护应引起高度重视。

表 3-4 指出,扬沙天气和沙尘暴对疾病日门诊人数增加的影响是一种滞后效应,对于扬沙天气滞后第 2~4 天 RR 值的增加有统计学意义,对于沙尘暴滞后第 1~4 天 RR 值的增加有统计学意义。沙尘天气滞后效应的发生可能是由于:① 沙尘天气结束后的若干天内,细颗粒物继续滞留在空气中,随着目标人群暴露天数的增加,吸入的颗粒物也随之增加,导致体内颗粒物剂量累积增加,颗粒物累积到足够剂量时引发或加重呼吸及心血管系统疾病的发生,使日门诊 RR 的增加在统计学上有意义。② 漂浮在空气中的细颗粒物可吸附有害气体、重金属元素、有机污染物及各种致病菌,随滞留在空气中时间的延长,吸附越来越多,使细颗粒物毒害作用增高,导致沙尘天气之后在一定滞后日期内滞后越久,颗粒物毒性越大,目标人群吸入毒性较强的这些颗粒物对健康影响较大,从而引起 RR 增加;③ 人体受到吸入颗粒物的攻击之后,到出现病理生理变化及疾病出现,需要有一定过程,即需要一定的“潜伏期”,尤其是一些低浓度非刺激性有毒化学物的毒性作用若属慢性作用则需要作用之后一定时间才能出现病症;④ 人体受到吸附在颗粒物上的病原微生物(如流感病毒、肺炎球菌等)攻击或感染之后,这些微生物需要一定时间在人体内繁殖增长达到足够致病的数量后才能引发疾病,从而导致滞后效应的发生。另外,可能一些心理因素也会影响沙尘天气医院就诊人数,例如扬沙天气和沙尘暴发生时恶劣的天气情况使当地居民为了避开大风和沙尘的袭击而延迟去医院就诊和治疗时间,导致扬沙天气和沙尘暴当日的各个疾病门诊 RR 较低;居民经济收入状况也会影响医院就诊人数,风沙高发区往往经济欠发达,人均收入较低,在发病初期患者往往克己忍耐或自我治疗,直到拖延至病情严重时才去医院诊治等情况也会导致沙尘天气之后呼吸和心血管系统疾病日门诊 RR 上升滞后的现象。有的沙尘暴发生在下午或晚上也是导致当日 RR 较低的原因之一。从表 3-4 可见,沙尘天气对疾病日门诊 RR 的影响存在年度差异。2004~2005 年两年间,扬沙天气或沙尘暴事件引起的 RR 值的大小和滞后效应发生的滞后日不同,有的情况甚至差别很大,其原因可能是由于:① 不同年份沙尘暴发生的季节或月份不同,例如 2004 年 2 次沙尘暴均发生在 3 月份,而 2005 年共发生了 3 次沙尘暴,3~5 月每月均发生一次。3~5 月正是季节转折期,不同月份的气温、气湿、风速等气象因子和环境因子(如 SO₂、NO₂ 等)差别很大。这些因素对沙尘暴的健康效应有不可忽视的影响;② 扬沙天气和沙尘暴对居

民健康的影响,还受到当时当地生态条件、社会经济状况、文化心理素质及居民健康意识等多种因素的影响,从而导致不同年份扬沙天气和沙尘暴对人群健康影响的滞后效应有所不同。

本文结果亦表明,扬沙天气和沙尘暴对人群健康的影响不论在 RR 的大小上还是在滞后日期上都存在性别差异。结果指出,就呼吸系统而言,在 2004 年扬沙天气引起男性居民 RR 有统计学意义,而对女性无意义;在 2005 年扬沙天气引起女性居民 RR 有统计学意义,而对男性无意义。2004~2005 两年中每年在沙尘暴滞后第 1~3 天男性居民有两日的 RR 有统计学意义,而对女性居民每年均在沙尘暴滞后第 1 天 RR 有统计学意义。对于心血管系统的影响也表现有性别差异,其变化情况与呼吸系统类似。有文献报道,性激素分泌的不同对呼吸道炎症、平滑肌和血管功能的影响有潜在差异,甚至指出 PM_{1.0} 在女性肺部沉积的量要大于男性,使女性对呼吸系统疾病的易感性较高^[35]。作者认为,性别之间的差异也可能与二者的劳动分工不同有关,男性多在户外工作,劳动强度也较大,故肺通气量和肺血流量较大,使男性不但对沙尘天气不良因素的暴露时间长,剂量高,而且穿过肺泡进入血液的细颗粒物或其有害成分也较多,使男性心血管及其它内脏受到的攻击更为严重。为了阐明沙尘天气健康效应的性别差异,进一步研究是必要的。

本文研究发现,在风沙高发区的高发时段,武威市的呼吸系统疾病主要是上呼吸道感染(占 68%),肺炎和支气管炎(占 17.5%)。表明扬沙天气和沙尘暴主要引发上呼吸道感染及肺炎与支气管炎。其引发机理可能是由于大气可吸入颗粒物在强风的推动下,呼吸系统尤其是上呼吸道是这些不利因素直接攻击的靶器官,细颗粒物还可以通过呼吸道抵达肺泡壁并沉积在气道不同部位引起慢性阻塞性肺部疾病。文献报道,空气颗粒污染物的表面吸附了大量有毒气体、金属和有机物,可以刺激呼吸道粘膜,诱发呼吸系统疾病,如支气管炎、哮喘等^[99]。研究指出,沙尘暴中的 PM₁₀、PM_{2.5} 均能对肺泡巨噬细胞的吞噬功能造成损伤,导致免疫功能下降^[60]。最近本室对包头和武威地区 2004 和 2005 两年沙尘暴和扬沙天气 PM_{2.5} 的毒理学效应进行了一系列研究,发现该 PM_{2.5} 可引起大鼠肺组织细胞和肺泡巨噬细胞脂质过氧化损伤,还可引起肺泡巨噬细胞死亡,膜流动性改变,膜 K⁺-Na⁺-ATP 酶、Ca⁺-Mg⁺-ATP 酶活性改变,酸性磷酸酶活性升高,细胞内 Ca²⁺ 含量增加^[62-64]。结果指出,该 PM_{2.5} 的毒性虽然比污染城市的空气 PM_{2.5} 的毒性偏低,但无统计学差异。这表明沙尘暴也是一个污染暴和灾害暴。肺泡巨噬细胞受到损害之处,降低了呼吸系统的免疫防御功能,对空气中致病微生物的侵染抵抗能力降低,使暴露居民易于发生上呼吸道

感染、支气管炎及肺炎等疾病，从而引起呼吸系统疾病日门诊 RR 增高。

在本文研究的扬沙天气和沙尘暴期间，多种心血管系统疾病患者去医院诊治，其中主要包括高血压及有关疾病(占 26.7%)，心律失常、心内膜炎、心包炎等(占 19.9%)，冠心病、冠状动脉缺血、心绞痛、心肌梗塞等(占 19.5%)，脑血栓、动脉硬化等(占 11.2%)以及心肌病、风湿性心脏病等(占 10.1%)。虽然这些疾病与沙尘天气颗粒物之间的关系还有待进一步研究，但从目前空气颗粒物与心血管疾病之间关系的已有报道中，也可以看出颗粒物浓度的增高确实是心血管病发生和加重的元凶。

近年来空气颗粒污染物对心血管疾病的引发和加重作用备受重视。研究指出，细颗粒物进入肺部并沉积于肺泡壁引发慢性阻塞性肺部疾病，从而继发肺心病、肺性高血压等疾病^[100]。流行病学调查发现空气颗粒物与人体血液粘稠度上升、心率增加、心率变异性降低、心肌缺血增加等相关，并在动物实验中得到验证^[101]。也有报道，空气中的悬浮物质的短期暴露会对健康成年人的心脏自律功能产生不良的影响^[77]。PM_{2.5} 进入呼吸道后，通过炎症刺激损伤呼吸系统，导致免疫介导的炎症因子分泌增多，使血管内皮通透性增加，间接地影响心血管系统的健康^[90]。此外，细颗粒物吸附的有害化学成分也可溶于粘膜的水层而通过呼吸道屏障进入心血管系统，随着血流进入心血管组织及其它内脏，直接引起心血管和其它内脏疾病的发生和加重。沙尘天气中的超细颗粒物，也可直接通过呼吸道屏障进入心血管系统，对体内脏器引起损害作用。

3.4 小结

本章探讨了 2004 年、2005 年春季沙尘暴高发时段(3 月 1 日至 5 月 31 日)武威市扬沙和沙尘暴对当地居民呼吸和心血管系统疾病日门诊人数的影响。主要结论如下：

① 扬沙和沙尘暴对主要气象因子如大气压、气温、相对湿度、露点温度等有一定影响，但未达到统计学检验的显著性水平；对气态污染物 SO₂、NO₂ 质量浓度影响不大。扬沙和沙尘暴发生时，大气 PM₁₀ 质量浓度、风速显著升高。

② 扬沙天气和沙尘暴的发生均与暴露居民心血管系统和呼吸系统疾病每日门诊 RR 的增加有联系，且表现为滞后效应。

③ 沙尘暴的影响大于扬沙天气。

④ 扬沙天气和沙尘暴对人群健康的影响既有年份差异又有性别差异。

⑤ 扬沙天气和沙尘暴可能与上述呼吸、心血管两大系统中多种疾病的发生和加重相关，其原因可能是沙尘天气发生时颗粒物浓度骤然增加，对此有待进一步研究。

第四章 沙尘颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

4.1 前言

在上一章研究发现,扬沙天气和沙尘暴的发生均与暴露居民心血管系统和呼吸系统疾病每日门诊人数的增加有联系,而且起主导作用的原因可能与发生沙尘天气时沙尘颗粒物的骤然增大有关。大量研究发现,大气颗粒物,尤其是细颗粒物能引起呼吸与心血管器官的损害并导致呼吸与心血管系统患病率、死亡率的上升[50-52,55-58],但绝大多数研究所涉及到的都是由于交通与工业污染引起的人为源的颗粒物对健康的影响。对于沙尘天气所引起的自然源颗粒物对人体健康的影响鲜有报道。因此,本章对我国西北沙尘天气高发区——甘肃省武威市大中型医院 2004 年沙尘天气高发期间(3~5月)颗粒物与居民呼吸、心血管系统多种常见疾病日门诊人数的关系进行了研究,探讨沙尘天气颗粒物对人体健康的影响。

4.2 结果

4.2.1 描述性统计

表 4-1 描述了 2004 年 3 月 1 日~5 月 31 日武威市人民医院等全部大中型医院(共 7 所)呼吸、心血管疾病每日门诊人数的频数分布。研究期间武威市 7 所大中型医院呼吸与心血管疾病门诊总数为 15754 人次,男女比例为 1:0.84。表 4-2 指出了同期武威市气象条件、大气污染物浓度的频数分布。从表 4-2 可知:主要气态大气污染物中 SO₂、NO₂ 的日均浓度均低于国家空气质量二级标准^[96]。PM_{2.5} 日均值高于美国 EPA 的空气质量标准(PM_{2.5} 日均值 ≤ 65 μg/m³)。

表 4-1 2004 年 3 月~5 月武威市大中型医院呼吸与心血管疾病门诊人数的频数分布
Tab. 4-1 Description of daily respiratory and cardiovascular outpatient number form March 1st to May 31st in 2004, Wuwei city, Gansu province

| 分类 | 疾病 | 性别 | \bar{x} | s | Min | P ₂₅ | P ₅₀ | P ₇₅ | Max |
|------|------|----|-----------|-------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| 呼吸疾病 | 气管炎 | 男 | 10.12 | 5.75 | 0 | 6 | 10 | 13 | 37 |
| | | 女 | 8.07 | 4.36 | 0 | 5 | 8 | 11 | 24 |
| | URTI | 男 | 40.84 | 14.95 | 13 | 30 | 40 | 52.75 | 76 |
| | | 女 | 33.89 | 14.19 | 8 | 24 | 33 | 43 | 90 |
| | 肺炎 | 男 | 14.59 | 7.9 | 1 | 8 | 13 | 20 | 39 |
| | | 女 | 8.16 | 4.72 | 0 | 4.25 | 7 | 11 | 21 |
| | COPD | 男 | 9.92 | 5.13 | 1 | 6 | 10 | 14 | 21 |
| | | 女 | 9.33 | 5.79 | 0 | 5 | 8 | 14 | 28 |

第四章 沙尘颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|---------|-------|-------|------|----|------|----|-----|
| 呼吸疾病 | | 男 | 78.35 | 27.09 | 26 | 53 | 83 | 95 | 140 |
| | | 女 | 62.33 | 23.94 | 12 | 44 | 64 | 77 | 145 |
| 心血管疾病 | 风湿性心脏病 | 男 | 1.9 | 1.48 | 0 | 1 | 2 | 2 | 6 |
| | | 女 | 3.02 | 2.49 | 0 | 1 | 3 | 4 | 14 |
| | | 高血压 | 男 | 3.48 | 2.18 | 0 | 2 | 3 | 5 |
| | | | 女 | 4.44 | 3.02 | 0 | 2 | 4 | 6 |
| | | 缺血性心血管病 | 男 | 3.12 | 2.39 | 0 | 1 | 3 | 4 |
| | | | 女 | 3.22 | 2.33 | 0 | 1 | 3 | 5 |
| | | 心律失常 | 男 | 2.48 | 2.26 | 0 | 1 | 2 | 4 |
| | | | 女 | 2.25 | 2.09 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | | 充血性心力衰竭 | 男 | 1.53 | 1.39 | 0 | 0.25 | 1 | 2 |
| | | | 女 | 1.1 | 1.41 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| | | 心血管疾病 | 男 | 14.63 | 6.34 | 1 | 11 | 15 | 19 |
| | | | 女 | 15.93 | 6.82 | 1 | 10 | 17 | 21 |

表4-2 2004年3月~5月武威市气象和大气污染物浓度频数分布(24h均值)

Tab.4-2 Description of daily averages of environmental levels and meteorologic factors form March 1st to May 31st in 2004, Wuwei city, Gansu province, China (average of 24 h)

| 指标 | | \bar{x} | s | Min | P ₂₅ | P ₅₀ | P ₇₅ | Max | IQR |
|---|-------------------|-----------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-------|
| 气象条件 | 风速(m/s) | 6.28 | 3.60 | 2.62 | 3.51 | 5.05 | 7.78 | 20.48 | 4.27 |
| | 气温(°C) | 11.86 | 6.66 | -4.20 | 6.65 | 12.90 | 17.43 | 23.00 | 10.78 |
| | 相对湿度(%) | 33.83 | 13.44 | 14.00 | 25.00 | 29.50 | 38.75 | 84.00 | 13.75 |
| | 大气压(hPa) | 845.59 | 4.81 | 834.30 | 842.03 | 845.35 | 848.58 | 856.30 | 6.55 |
| 大气污染物浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM _{2.5} | 84.67 | 35.67 | 38.8 | 60.53 | 72.33 | 99.02 | 192.8 | 38.49 |
| | PM ₁₀ | 120.79 | 66.13 | 39 | 71.25 | 95.5 | 149.5 | 294 | 78.25 |
| | SO ₂ | 30.73 | 28.00 | 8.00 | 15.75 | 28.00 | 41.38 | 104.00 | 25.63 |
| | NO ₂ | 12.75 | 4.74 | 3.52 | 9.61 | 12.72 | 16.73 | 26.28 | 7.12 |

表4-3 2004年3月~5月武威市沙尘天气与非沙尘天气气象和大气污染物指标的比较(24h均值)

Tab.4-3 Comparison of daily averages of environmental levels and meteorologic factors between dust events and non-dust events form March 1st to May 31st in 2004 in Wuwei city, Gansu province, China (average of 24 h)

| 天气状况 | 持续时间(d) | 大气压(hPa) | 气温(°C) | 相对湿度(%) | 风速(m/s) | PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|--|---|--|--|
| 非沙尘天气 | 79 | 845.7±4.9 | 12.1±6.5 | 34.5±13.7 | 5.8±3.0 | 75.8±26.9 | 108±59 | 33.0±19.8 | 12.8±4.8 |
| 浮尘 | 2 | 848.0±0.8 | 6.0±5.2 | 26.5±2.1 | 11.3±3.5* | 107±7 | 140±93 | 35.9±5.8 | 14.5±6.0 |
| 扬沙 | 11 | 844.3±4.6 | 12.2±8.0 | 31.3±13.5 | 12.4±5.3* | 131.4±36.1** | 205±41** | 47.5±20.5 | 11.5±4.6 |
| 沙尘暴 | 2 | 846.2±1.9 | 5.4±5.7 | 28.0±1.4 | 13.6±6.1* | 171.3±16.6** | 285±49** | 50.6±14.7 | 15.9±0.1 |

注: ① 各指标为 24 h 质量浓度平均值; ② 运用单因素方差分析, 与非沙尘天气(对照)相比, * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$; ③ 统计值采用“平均值±标准差”的形式。

表 4-3 可知, 与非沙尘天气相比, 风速与 $PM_{2.5}$ 在扬沙和沙尘暴发生时均显著增高, 而其余气象因素、 SO_2 和 NO_2 差异均无统计学意义。 $PM_{2.5}$ 在非沙尘天气和沙尘天气下均高于美国 EPA 的空气质量标准($PM_{2.5}$ 日均值 $\leq 65\mu g/m^3$), 且扬沙和沙尘暴发生日 $PM_{2.5}$ 日均值分别为该标准的 2 倍和 2.6 倍。

表 4-4 总结了研究期间大气污染物每日浓度的相关分析。结果显示: $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 之间、 $PM_{2.5}$ 与 SO_2 之间均存在显著正相关。

表4-4 2004年3月~5月武威市大气污染物浓度Pearson相关分析

Tab.4-4 Analysis on pearson correlation coefficients among daily averages of environmental levels form March 1st to May 31st in 2004, Wuwei city, Gansu province, China

| | Pearson 相关系数 | | | |
|------------|--------------|------------|--------|--------|
| | PM_{10} | $PM_{2.5}$ | SO_2 | NO_2 |
| PM_{10} | 1 | | | |
| $PM_{2.5}$ | 0.409* | 1 | | |
| SO_2 | 0.201 | 0.260* | 1 | |
| NO_2 | -0.102 | -0.172 | -0.093 | 1 |

注: * $P \leq 0.05$

4.2.2 单污染模型拟合结果

表 4-5、4-6 分别显示了在单污染模型下大气 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 日平均浓度每上升 1 个 IQR 时, 居民呼吸与心血管疾病日门诊 RR 及其 95% CI。

$PM_{2.5}$ 与男、女总呼吸系统疾病门诊人数有正向联系且滞后时间较短, 但男性与女性门诊 RR 有意义的滞后天数略有不同, 分别在滞后 2d (lag2)和 1d 的联系有统计学意义; PM_{10} 与男、女总呼吸系统疾病门诊人数均在 lag2 的联系有统计学意义; 此外, SO_2 与男、女总呼吸系统疾病门诊人数分别在滞后 4d 和 5d 的联系有统计学意义。 NO_2 与男、女呼吸系统疾病门诊人数的联系均没有统计学意义。 $PM_{2.5}$ (lag1)、 SO_2 (lag5)对男性气管炎门诊人数的影响有统计学意义, $PM_{2.5}$ (lag3)对女性气管炎门诊人数的影响有统计学意义; PM_{10} 与气管炎门诊人数均在 lag2 的联系有统计学意义。 $PM_{2.5}$ (lag2)、 NO_2 (lag4)对男性上呼吸道感染 (URTI)门诊人数的影响有统计学意义, $PM_{2.5}$ (lag2)、 SO_2 (lag3)对女性 URTI 门诊人数的影响有统计学意义; PM_{10} 与男、女 URTI 门诊人数均在 lag2 的联系有统计学意义。 $PM_{2.5}$ 分别在滞后 3d 和 2d 对男性和女性肺炎门诊人数的影响有统计学意义; $PM_{2.5}$ (lag2)、 PM_{10} (lag2)、 NO_2 (lag4)、 SO_2 (lag5)对男性 COPD 门诊人数的影响有统计学意义, 而对女性 COPD 门诊人数的影响在 lag1 有统计学意义。

$PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 与男、女总心血管系统疾病门诊人数有正向联系且均有统计

学意义。PM_{2.5}与男、女总心血管系统疾病门诊人数均在滞后 3d 的联系有统计学意义；PM₁₀与男、女总心血管系统疾病门诊人数均在 lag2 的联系有统计学意义；NO₂与男、女总心血管系统疾病门诊人数均在滞后 2d 的联系有统计学意义，SO₂与男、女总心血管系统疾病门诊人数分别在滞后 3d 和 5d 的联系有统计学意义。PM_{2.5}(lag0)、PM₁₀(lag3)、SO₂(lag5)对男性风湿性心脏病门诊人数的影响有统计学意义，PM_{2.5}(lag1)、PM₁₀(lag4)、NO₂(lag2)、SO₂(lag1)对女性风湿性心脏病门诊人数的影响有统计学意义；PM_{2.5}与男性高血压门诊人数滞后 1d 的联系有统计学意义；PM₁₀与男、女性高血压门诊人数均在 lag2 的联系有统计学意义。PM_{2.5}(lag1)、PM₁₀(lag2)、NO₂(lag2)、SO₂(lag3, lag5)对男性缺血性心血管疾病门诊人数的影响有统计学意义，PM_{2.5}(lag5)、PM₁₀(lag4)对女性缺血性心血管疾病门诊人数的影响有统计学意义。PM_{2.5}(lag3)、PM₁₀(lag4)、NO₂(lag2)对男性心律失常门诊人数的影响有统计学意义；对女性心律失常门诊人数的影响在 lag5 有统计学意义；PM_{2.5}分别在滞后 5d 和 2d 对男性和女性充血性心力衰竭门诊人数的影响有统计学意义；而 PM₁₀分别在 lag5 和 lag1 对男性和女性充血性心力衰竭门诊人数的影响有统计学意义。

表4-5 单污染模型下呼吸疾病日门诊RR (95% CI)

Tab.4-5 Relative risks of the association between PM_{2.5}, PM₁₀,NO₂,SO₂ and daily respiratory outpatient number in single-pollutant model

| 疾病 | 污染物 | 性别 | 滞后天数 | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | lag0(当天) | lag1 | lag2 | lag3 | lag4 | lag5 | lag6 | |
| 支气管炎 | PM _{2.5} | 男 | 0.927(0.806,1.067) | 1.196(1.049,1.363)* | 0.963(0.848,1.094) | 1.124(0.981,1.288) | 0.944(0.818,1.091) | 1.07(0.928,1.233) | 1.034(0.894,1.196) | |
| | | 女 | 0.939(0.823,1.071) | 1.081(0.944,1.239) | 1.000(0.880,1.138) | 1.212(1.087,1.351)* | 0.952(0.837,1.083) | 1.05(0.924,1.192) | 1.074(0.950,1.214) | |
| | PM ₁₀ | 男 | 0.989(0.86,1.137) | 1.117(0.977,1.277) | 1.188(1.031,1.37)* | 0.935(0.812,1.077) | 1.154(0.986,1.349) | 0.981(0.846,1.138) | 0.981(0.839,1.149) | |
| | | 女 | 0.955(0.903,1.011) | 1.051(0.988,1.117) | 1.097(1.035,1.162)* | 0.971(0.916,1.03) | 1.003(0.949,1.06) | 0.996(0.941,1.055) | 0.947(0.890,1.008) | |
| | NO ₂ | 男 | 0.916(0.774,1.084) | 1.054(0.917,1.212) | 1.115(0.971,1.281) | 0.909(0.791,1.044) | 0.973(0.851,1.112) | 0.971(0.846,1.114) | 1.026(0.929,1.132) | |
| | | 女 | 1.133(0.986,1.301) | 0.869(0.752,1.004) | 1.097(0.955,1.261) | 0.915(0.793,1.055) | 0.885(0.781,1.004) | 0.891(0.784,1.013) | 1.092(0.963,1.238) | |
| | SO ₂ | 男 | 0.914(0.775,1.078) | 0.981(0.842,1.143) | 0.891(0.787,1.01) | 1.053(0.909,1.219) | 1.058(0.926,1.21) | 1.146(1.011,1.3)* | 1.014(0.893,1.152) | |
| | | 女 | 0.939(0.806,1.094) | 1.096(0.928,1.295) | 0.926(0.805,1.064) | 0.99(0.836,1.172) | 0.892(0.771,1.031) | 1.115(0.964,1.29) | 0.923(0.78,1.092) | |
| | 上呼吸道感染 | PM _{2.5} | 男 | 0.96(0.899,1.025) | 1.000(0.941,1.062) | 1.103(1.042,1.167)* | 1.047(0.983,1.116) | 1.025(0.963,1.091) | 0.95(0.889,1.015) | 0.939(0.879,1.004) |
| | | | 女 | 0.956(0.895,1.022) | 1.063(0.996,1.135) | 1.141(1.07,1.217)* | 1.057(0.988,1.132) | 0.99(0.925,1.06) | 0.993(0.928,1.063) | 0.980(0.916,1.048) |
| PM ₁₀ | | 男 | 0.895(0.782,1.023) | 1.023(0.898,1.167) | 1.161(1.013,1.331)* | 1.063(0.937,1.207) | 1.07(0.942,1.215) | 0.981(0.863,1.116) | 1.006(0.871,1.163) | |
| | | 女 | 0.924(0.852,1.002) | 1.073(0.998,1.154) | 1.205(1.121,1.295)* | 1.042(0.971,1.118) | 1.065(0.996,1.139) | 0.945(0.88,1.014) | 0.959(0.884,1.041) | |
| NO ₂ | | 男 | 1.054(0.981,1.132) | 0.947(0.884,1.014) | 1.045(0.977,1.118) | 0.96(0.9,1.025) | 1.093(1.031,1.158)* | 0.984(0.93,1.04) | 1.046(0.986,1.11) | |
| | | 女 | 1.097(0.998,1.205) | 0.937(0.862,1.019) | 1.074(0.986,1.17) | 0.989(0.916,1.068) | 1.01(0.942,1.082) | 1.014(0.947,1.085) | 1.043(0.975,1.115) | |
| SO ₂ | | 男 | 1.048(0.876,1.253) | 1.076(0.837,1.383) | 0.98(0.818,1.175) | 1.163(0.917,1.476) | 0.903(0.742,1.098) | 1.159(0.982,1.369) | 0.839(0.684,1.03) | |

沙尘天气对呼吸与心血管系统疾病日门诊人数的影响

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 肺炎 | PM _{2.5} | 女 | 0.916(0.765,1.095) | 0.905(0.77,1.064) | 1.02(0.872,1.193) | 1.207(1.032,1.411)* | 1.092(0.934,1.276) | 1.002(0.862,1.165) | 0.701(0.598,0.822) | |
| | | 男 | 0.951(0.873,1.037) | 1.078(0.992,1.172) | 1.032(0.95,1.122) | 1.117(1.025,1.216)* | 0.999(0.912,1.095) | 1.075(0.984,1.173) | 1.049(0.958,1.149) | |
| | PM ₁₀ | 女 | 0.955(0.846,1.079) | 1.014(0.886,1.16) | 1.15(1.014,1.304)* | 1.062(0.942,1.198) | 1.025(0.899,1.167) | 0.854(0.773,1.011) | 1.025(0.900,1.167) | |
| | | 男 | 0.885(0.784,0.999) | 1.099(0.975,1.238) | 1.147(1.026,1.283)* | 0.984(0.874,1.107) | 1.075(0.954,1.212) | 0.972(0.86,1.097) | 0.901(0.792,1.025) | |
| | NO ₂ | 女 | 1.131(0.983,1.3) | 1.007(0.881,1.151) | 1.097(0.967,1.244) | 1.014(0.888,1.157) | 1.008(0.881,1.154) | 0.875(0.764,1.002) | 1.003(0.862,1.166) | |
| | | 男 | 0.997(0.87,1.142) | 0.925(0.823,1.039) | 1.028(0.909,1.162) | 1.014(0.906,1.136) | 0.964(0.871,1.067) | 0.994(0.901,1.096) | 1.052(0.948,1.168) | |
| | SO ₂ | 女 | 0.929(0.819,1.054) | 0.889(0.787,1.005) | 1.027(0.916,1.152) | 1.034(0.916,1.168) | 0.9(0.805,1.007) | 0.921(0.825,1.028) | 1.052(0.98,1.13) | |
| | | 男 | 1.044(0.838,1.3) | 1.227(0.949,1.587) | 1.03(0.833,1.274) | 1.135(0.911,1.414) | 1.064(0.845,1.339) | 1.01(0.828,1.23) | 1.23(0.997,1.517) | |
| | COPD | PM _{2.5} | 男 | 1.006(0.897,1.129) | 0.92(0.815,1.040) | 1.129(1.009,1.263)* | 0.972(0.871,1.084) | 1.027(0.917,1.149) | 0.913(0.807,1.034) | 1.051(0.934,1.183) |
| | | | 女 | 0.918(0.810,1.040) | 0.954(0.843,1.079) | 1.078(0.954,1.218) | 1.041(0.921,1.177) | 1.006(0.886,1.141) | 0.892(0.779,1.021) | 0.947(0.838,1.07) |
| | | PM ₁₀ | 男 | 0.934(0.821,1.062) | 0.999(0.884,1.129) | 1.148(1.012,1.301)* | 0.987(0.865,1.126) | 0.99(0.874,1.12) | 0.941(0.829,1.069) | 1.004(0.883,1.142) |
| | | | 女 | 1.049(0.909,1.21) | 1.18(1.016,1.37)* | 1.13(0.998,1.278) | 1.055(0.92,1.209) | 1.084(0.952,1.235) | 1.047(0.916,1.197) | 0.927(0.81,1.061) |
| NO ₂ | | 男 | 1.054(0.981,1.132) | 0.947(0.884,1.014) | 1.045(0.977,1.118) | 0.96(0.9,1.025) | 1.093(1.031,1.158)* | 0.984(0.93,1.04) | 1.046(0.986,1.11) | |
| | | 女 | 0.929(0.819,1.054) | 0.889(0.787,1.005) | 1.027(0.916,1.152) | 1.034(0.916,1.168) | 0.9(0.805,1.007) | 0.921(0.825,1.028) | 1.052(0.98,1.13) | |
| SO ₂ | | 男 | 1.061(0.887,1.269) | 1.068(0.904,1.261) | 1.054(0.889,1.249) | 1.161(0.973,1.385) | 1.141(0.977,1.333) | 1.186(1.004,1.4)* | 0.909(0.768,1.075) | |
| | | 女 | 1.073(0.93,1.237) | 1.105(0.96,1.271) | 1.032(0.906,1.175) | 1.103(0.962,1.265) | 0.995(0.869,1.14) | 1.1(0.965,1.254) | 0.909(0.797,1.037) | |
| 呼吸系统 | | PM _{2.5} | 男 | 0.966(0.694,1.343) | 0.788(0.544,1.14) | 1.389(1.019,1.891)* | 1.216(0.863,1.713) | 0.758(0.525,1.094) | 0.911(0.644,1.29) | 0.95(0.676,1.335) |
| | | | 女 | 1.142(0.99,1.318) | 1.232(1.078,1.408)* | 0.933(0.765,1.137) | 1.042(0.79,1.375) | 1.056(0.916,1.216) | 0.956(0.851,1.075) | 1.05(0.942,1.17) |
| | | PM ₁₀ | 男 | 0.952(0.903,1.004) | 1.013(0.963,1.065) | 1.128(1.071,1.187)* | 0.976(0.926,1.029) | 1.03(0.974,1.089) | 0.979(0.928,1.034) | 0.987(0.932,1.044) |
| | | | 女 | 1.049(0.99,1.111) | 1.039(0.98,1.101) | 1.192(1.124,1.264)* | 0.977(0.922,1.037) | 1.01(0.948,1.075) | 1.005(0.945,1.069) | 0.981(0.921,1.044) |
| | NO ₂ | 男 | 1.001(0.947,1.058) | 0.993(0.936,1.054) | 1.005(0.952,1.061) | 0.967(0.912,1.026) | 1.011(0.953,1.073) | 1.045(0.982,1.112) | 0.968(0.903,1.038) | |
| | | 女 | 0.997(0.951,1.046) | 0.956(0.909,1.006) | 1.015(0.971,1.062) | 0.977(0.931,1.026) | 1.02(0.971,1.072) | 1.025(0.971,1.082) | 0.964(0.907,1.024) | |
| | SO ₂ | 男 | 1.124(0.949,1.33) | 0.94(0.805,1.099) | 0.966(0.839,1.114) | 1.102(0.941,1.29) | 1.195(1.037,1.378)* | 1.04(0.955,1.132) | 0.963(0.838,1.107) | |
| | | 女 | 1.107(0.966,1.268) | 0.98(0.860,1.117) | 0.992(0.881,1.117) | 0.998(0.874,1.14) | 0.984(0.876,1.105) | 1.151(1.02,1.299)* | 1.055(0.982,1.133) | |

注: * 表示该天RR有统计学意义($P \leq 0.05$)

表4-6 单污染模型下心血管系统疾病日门诊RR (95% CI)

Tab.4-6 Relative risks of the association between PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂ and daily cardiovascular outpatient number in single-pollutant model

| 疾病 | 污染物 | 性别 | 滞后天数 | | | | | | |
|--------|-------------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | | | Lag0(当天) | lag1 | lag2 | lag3 | lag4 | lag5 | lag6 |
| 风湿性心脏病 | PM _{2.5} | 男 | 1.252(1.008,1.556)* | 0.95(0.752,1.2) | 0.981(0.79,1.22) | 1.122(0.913,1.379) | 0.924(0.721,1.183) | 1.174(0.945,1.459) | 0.842(0.672,1.056) |
| | | 女 | 0.946(0.768,1.166) | 1.302(1.031,1.643)* | 0.821(0.637,1.058) | 1.184(0.983,1.426) | 1.009(0.814,1.251) | 1.235(0.981,1.555) | 0.949(0.762,1.183) |
| | PM ₁₀ | 男 | 1.124(0.895,1.412) | 1.086(0.862,1.368) | 1.016(0.785,1.313) | 1.268(1.007,1.595)* | 0.816(0.645,1.032) | 0.889(0.694,1.139) | 0.898(0.686,1.176) |
| | | 女 | 0.719(0.578,0.894) | 1.193(0.968,1.471) | 1.144(0.933,1.401) | 1.127(0.923,1.377) | 1.282(1.065,1.543)* | 0.888(0.739,1.066) | 0.929(0.746,1.157) |
| | NO ₂ | 男 | 1.014(0.749,1.372) | 0.842(0.625,1.135) | 1.077(0.815,1.423) | 1.089(0.806,1.471) | 1.01(0.772,1.321) | 0.8(0.611,1.049) | 1.105(0.957,1.275) |
| | | 女 | 0.928(0.736,1.17) | 0.904(0.729,1.122) | 1.235(1.001,1.524)* | 0.889(0.698,1.134) | 1.021(0.838,1.245) | 1.056(0.852,1.309) | 1.056(0.945,1.18) |
| | SO ₂ | 男 | 0.975(0.689,1.381) | 0.955(0.64,1.425) | 0.864(0.604,1.237) | 1.278(0.917,1.782) | 0.755(0.524,1.089) | 1.6(1.102,2.324)* | 0.939(0.673,1.311) |
| | | 女 | 1.181(0.85,1.642) | 1.447(1.03,2.033)* | 0.893(0.609,1.309) | 0.73(0.493,1.081) | 1.231(0.813,1.863) | 1.145(0.767,1.71) | 1.185(0.774,1.816) |

第四章 沙尘颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 高血压 | PM _{2.5} | 男 | 1.042(0.873,1.243) | 1.285(1.089,1.518)* | 0.879(0.734,1.051) | 1.158(0.99,1.354) | 1.005(0.847,1.192) | 1.096(0.916,1.312) | 0.909(0.767,1.077) | |
| | | 女 | 0.872(0.737,1.031) | 1.018(0.866,1.198) | 1.12(0.963,1.304) | 1.117(0.968,1.289) | 0.85(0.721,1.001) | 0.865(0.723,1.034) | 0.989(0.845,1.158) | |
| | PM ₁₀ | 男 | 0.964(0.786,1.183) | 1.088(0.901,1.314) | 1.255(1.038,1.518)* | 1.031(0.853,1.247) | 1.134(0.938,1.372) | 0.834(0.686,1.014) | 0.917(0.733,1.147) | |
| | | 女 | 0.952(0.797,1.137) | 0.846(0.713,1.004) | 1.112(0.943,1.311) | 0.952(0.801,1.133) | 0.912(0.772,1.076) | 0.872(0.735,1.036) | 0.76(0.628,0.92) | |
| | NO ₂ | 男 | 1.185(0.883,1.591) | 0.842(0.627,1.129) | 1.099(0.834,1.448) | 1.009(0.761,1.338) | 1.171(0.896,1.53) | 0.927(0.708,1.213) | 1.075(0.932,1.239) | |
| | | 女 | 0.996(0.98,1.012) | 0.985(0.97,1) | 1.01(0.995,1.025) | 0.996(0.98,1.011) | 0.992(0.977,1.007) | 0.988(0.972,1.003) | 0.975(0.959,0.992) | |
| SO ₂ | 男 | 1.179(0.851,1.633) | 0.873(0.621,1.228) | 1.061(0.774,1.455) | 1.269(0.912,1.765) | 0.917(0.639,1.314) | 1.146(0.8,1.641) | 0.858(0.586,1.257) | | |
| | 女 | 0.966(0.734,1.273) | 0.784(0.584,1.054) | 1.037(0.791,1.361) | 0.966(0.723,1.291) | 0.699(0.509,0.959) | 1.05(0.761,1.448) | 0.617(0.439,0.867) | | |
| 缺血性心血管疾病 | PM _{2.5} | 男 | 0.842(0.698,1.016) | 1.217(1.014,1.461)* | 1.178(0.992,1.399) | 1.12(0.95,1.32) | 0.873(0.722,1.055) | 1.06(0.881,1.275) | 1.088(0.915,1.293) | |
| | | 女 | 0.784(0.638,0.964) | 1.19(0.998,1.419) | 0.989(0.838,1.167) | 0.883(0.741,1.053) | 1.047(0.882,1.243) | 1.201(1.005,1.436)* | 0.846(0.706,1.014) | |
| | PM ₁₀ | 男 | 0.928(0.763,1.13) | 0.958(0.788,1.165) | 1.319(1.074,1.621)* | 1.071(0.89,1.288) | 1.05(0.87,1.266) | 1.071(0.889,1.289) | 0.929(0.754,1.143) | |
| | | 女 | 0.771(0.616,0.966) | 1.088(0.874,1.353) | 1.101(0.901,1.346) | 1.083(0.871,1.345) | 1.143(0.939,1.391) | 0.967(0.788,1.185) | 1.065(0.84,1.351) | |
| | NO ₂ | 男 | 0.99(0.965,1.015) | 0.996(0.972,1.022) | 1.037(1.009,1.066)* | 1.011(0.987,1.035) | 1.007(0.983,1.031) | 1.006(0.982,1.03) | 0.991(0.964,1.018) | |
| | | 女 | 0.977(0.957,0.997) | 1.008(0.988,1.028) | 1.009(0.991,1.027) | 1.007(0.988,1.027) | 1.012(0.994,1.03) | 0.997(0.979,1.016) | 1.006(0.984,1.028) | |
| | SO ₂ | 男 | 1.146(0.898,1.463) | 1.077(0.802,1.446) | 1.204(0.962,1.506) | 1.229(1.002,1.658)* | 0.909(0.706,1.171) | 1.403(1.055,1.866)* | 0.783(0.608,1.009) | |
| | | 女 | 0.594(0.351,1.003) | 1.181(0.807,1.728) | 0.982(0.679,1.421) | 0.853(0.562,1.294) | 0.858(0.56,1.315) | 1.313(0.878,1.964) | 0.908(0.557,1.479) | |
| | 心律失常 | PM _{2.5} | 男 | 0.971(0.779,1.21) | 1.245(0.996,1.556) | 0.914(0.715,1.168) | 1.332(1.09,1.629)* | 0.846(0.659,1.085) | 1.087(0.865,1.367) | 0.6(0.475,0.758) |
| | | | 女 | 0.943(0.754,1.18) | 1.02(0.813,1.279) | 0.942(0.737,1.204) | 1.142(0.916,1.424) | 1.018(0.789,1.315) | 1.062(0.833,1.354) | 0.934(0.73,1.194) |
| | | PM ₁₀ | 男 | 0.832(0.676,1.025) | 1.029(0.838,1.265) | 0.889(0.723,1.093) | 0.953(0.784,1.16) | 1.096(0.898,1.337) | 0.708(0.569,0.882) | 0.805(0.635,1.019) |
| | | | 女 | 1.081(0.817,1.431) | 0.938(0.717,1.228) | 1.186(0.899,1.565) | 1.078(0.823,1.412) | 1.162(0.885,1.525) | 1.19(0.898,1.578) | 1.19(0.898,1.578) |
| NO ₂ | | 男 | 0.938(0.821,1.073) | 0.995(0.88,1.125) | 1.147(1.014,1.298)* | 1.013(0.91,1.127) | 1.021(0.912,1.143) | 1.011(0.902,1.134) | 0.942(0.83,1.069) | |
| | | 女 | 1.007(0.982,1.033) | 0.994(0.97,1.019) | 1.016(0.99,1.042) | 1.007(0.982,1.032) | 1.014(0.989,1.039) | 1.016(0.99,1.042) | 0.988(0.96,1.016) | |
| SO ₂ | | 男 | 1.103(0.789,1.541) | 1.115(0.764,1.628) | 1.366(0.938,1.987) | 0.907(0.599,1.375) | 1.228(0.784,1.924) | 0.61(0.36,1.034) | 1.324(0.824,2.127) | |
| | | 女 | 0.958(0.639,1.437) | 0.558(0.357,0.872) | 1.231(0.867,1.747) | 0.998(0.67,1.487) | 1.106(0.684,1.788) | 0.739(0.423,1.294) | 1.042(0.596,1.822) | |
| 充血性心力衰竭 | | PM _{2.5} | 男 | 0.957(0.746,1.227) | 0.897(0.681,1.182) | 1.089(0.848,1.398) | 1.073(0.854,1.348) | 0.837(0.64,1.094) | 1.399(1.093,1.79)* | 0.611(0.454,0.823) |
| | | | 女 | 0.799(0.559,1.141) | 0.97(0.713,1.32) | 1.44(1.026,2.021)* | 1.338(1.1,1.792) | 1.055(0.79,1.41) | 1.307(0.956,1.788) | 0.975(0.72,1.321) |
| | | PM ₁₀ | 男 | 1.067(0.981,1.161) | 1.056(0.97,1.15) | 0.914(0.836,1) | 0.924(0.837,1.02) | 0.719(0.578,0.894) | 1.193(0.968,1.471) | 1.144(0.933,1.401) |
| | | | 女 | 0.962(0.552,1.677) | 1.534(0.898,2.618) | 1.387(0.83,2.317) | 1.067(0.635,1.791) | 1.175(0.734,1.88) | 1.339(0.826,2.17) | 1.149(0.712,1.856) |
| | NO ₂ | 男 | 0.966(0.921,1.014) | 0.99(0.952,1.03) | 1.036(0.999,1.075) | 1.009(0.975,1.043) | 0.993(0.958,1.029) | 1.018(0.984,1.054) | 0.993(0.956,1.031) | |
| | | 女 | 0.996(0.947,1.048) | 1.04(0.99,1.092) | 1.03(0.983,1.079) | 1.006(0.96,1.054) | 1.015(0.972,1.059) | 1.027(0.983,1.073) | 1.013(0.97,1.058) | |
| | SO ₂ | 男 | 1.06(0.718,1.565) | 0.609(0.371,1.001) | 1.088(0.689,1.719) | 1.255(0.819,1.924) | 1.307(0.809,2.111) | 1.524(0.929,2.501) | 0.856(0.492,1.488) | |
| | | 女 | 0.804(0.31,2.087) | 1.1(0.537,2.256) | 1.022(0.507,2.057) | 0.459(0.183,1.153) | 0.829(0.346,1.987) | 0.903(0.372,2.04) | 0.609(0.237,1.566) | |
| | 心血管系统 | PM _{2.5} | 男 | 0.947(0.853,1.052) | 1.081(0.978,1.196) | 1.103(0.993,1.225) | 1.255(1.134,1.389)* | 1.024(0.924,1.135) | 1.016(0.916,1.126) | 0.904(0.809,1.01) |
| | | | 女 | 0.936(0.849,1.032) | 1.065(0.966,1.173) | 1.021(0.927,1.124) | 1.127(1.033,1.229)* | 0.96(0.868,1.062) | 1.009(0.907,1.123) | 0.927(0.838,1.027) |
| | | PM ₁₀ | 男 | 0.92(0.838,1.009) | 1.057(0.965,1.157) | 1.147(1.049,1.255)* | 1.067(0.981,1.161) | 1.056(0.97,1.15) | 0.914(0.836,1) | 0.924(0.837,1.02) |
| | | | 女 | 0.986(0.893,1.089) | 0.988(0.899,1.086) | 1.139(1.04,1.247)* | 0.991(0.899,1.094) | 1.078(0.985,1.179) | 0.939(0.857,1.03) | 0.989(0.892,1.098) |
| NO ₂ | | 男 | 1.005(0.878,1.151) | 0.911(0.818,1.015) | 1.155(1.038,1.286)* | 0.988(0.887,1.101) | 0.911(0.823,1.009) | 0.969(0.88,1.066) | 1.048(0.981,1.118) | |
| | | 女 | 0.994(0.87,1.137) | 0.916(0.823,1.021) | 1.14(1.027,1.265)* | 0.976(0.878,1.085) | 0.918(0.83,1.015) | 0.966(0.878,1.064) | 1.032(0.973,1.094) | |
| SO ₂ | | 男 | 1.077(0.923,1.256) | 1.038(0.865,1.245) | 1.142(0.963,1.353) | 1.223(1.023,1.463)* | 0.955(0.74,1.233) | 1.252(0.99,1.583) | 0.875(0.683,1.123) | |
| | | 女 | 0.888(0.752,1.049) | 1.092(0.918,1.299) | 1.078(0.908,1.28) | 0.999(0.832,1.2) | 1.201(0.948,1.521) | 1.291(1.038,1.605)* | 1.065(0.839,1.352) | |

注：* 表示该天RR有统计学意义(P ≤ 0.05)

4.2.3 双/多污染模型拟合结果

分别将 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 与气态污染物 (SO_2 和/或 NO_2) 同时引入 GAM 方程进行多污染模型分析, 分析在调整了其他污染物后各污染物对呼吸系统日门诊人数的影响, 把其中有统计学意义的滞后天数及其 RR 值列于表 4-7~表 4-10 中。

从表 4-7 可知, 在调整了 SO_2 和/或 NO_2 后, $PM_{2.5}$ 对男、女性呼吸系统日门诊的影响有所降低, 但仍然均有统计学意义。然而在分别调整了其他污染物后, SO_2 和 NO_2 变得无统计学意义。从表 4-8 可知, 在调整了 SO_2 和/或 NO_2 后, $PM_{2.5}$ 对男、女性心血管系统疾病门诊人数的影响均有所下降, 但仍有统计学意义。对于男性门诊人数, 在分别调整了其他污染物后, SO_2 的影响仍具有统计学意义; 且在调整了 SO_2 与 $PM_{2.5}$ / SO_2 之后, NO_2 的影响具有统计学意义。而对于女性, 在分别调整了其他污染物后, SO_2 和 NO_2 均变得无统计学意义。

从表 4-9 可知, 在调整了 SO_2 和/或 NO_2 后, PM_{10} 对男、女性呼吸系统日门诊的影响有所降低, 但仍然均有统计学意义。然而在分别调整了其他污染物后, SO_2 和 NO_2 变得无统计学意义。从表 4-10 可知, 在调整了 SO_2 和/或 NO_2 后, PM_{10} 对男、女性心血管系统疾病门诊人数的影响均有所下降, 但仍有统计学意义。然而在分别调整了其他污染物后, SO_2 和 NO_2 变得无统计学意义。

第四章 沙尘颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

表4-7 PM_{2.5}、NO₂、SO₂双污染模型与多污染模型下呼吸疾病门诊RR(95% CI)
 Tab.4-7 Relative risks of the association between PM_{2.5}, NO₂, SO₂ and daily respiratory outpatient number in co-pollutant model and multi-pollutant model

| 疾病 | 性别 | 污染物 (最佳滞后日) | 双污染模型 | | | 多污染模型 |
|--------|----|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | PM _{2.5} | NO ₂ | SO ₂ | |
| 气管炎 | 男 | PM _{2.5} (1) | - | 1.182(1.057,1.323)* | 1.107(0.966,1.268) | 1.147(1.017,1.294)* |
| | | NO ₂ (2) | 1.098(1.023,1.178) | - | 1.088(1.006,1.178) | 1.075(0.997,1.16) |
| | | SO ₂ (5) | 1.071(0.945,1.214) | 1.042(0.946,1.149) | - | 1.098(0.983,1.226) |
| | 女 | PM _{2.5} (3) | - | 1.252(1.112,1.411)* | 1.074(0.969,1.191) | 1.132(1.02,1.255)* |
| | | NO ₂ (0) | 1.085(0.935,1.258) | - | 1.097(0.961,1.253) | 1.095(0.976,1.227) |
| | | SO ₂ (5) | 1.079(0.966,1.205) | 1.074(0.937,1.23) | - | 1.064(0.947,1.195) |
| 上呼吸道感染 | 男 | PM _{2.5} (2) | - | 1.081(1.018,1.148)* | 1.072(1.004,1.144)* | 1.09(1.026,1.158)* |
| | | NO ₂ (4) | 1.042(0.978,1.111) | - | 1.064(0.996,1.136) | 1.058(0.993,1.127) |
| | | SO ₂ (3) | 1.032(0.998,1.068) | 1.012(0.982,1.042) | - | 1.014(0.983,1.046) |
| | 女 | PM _{2.5} (2) | - | 1.119(1.016,1.231)* | 1.078(1.003,1.159)* | 1.102(1.027,1.183)* |
| | | NO ₂ (0) | 1.093(0.984,1.215) | - | 1.085(0.982,1.199) | 1.059(0.961,1.167) |
| | | SO ₂ (3) | 1.023(0.961,1.089) | 1.053(0.995,1.114) | - | 1.011(0.943,1.084) |
| 肺炎 | 男 | PM _{2.5} (3) | - | 1.068(0.965,1.181) | 1.083(0.99,1.184) | 1.106(1.007,1.215)* |
| | | NO ₂ (6) | 1.014(0.951,1.082) | - | 1.03(0.965,1.099) | 1.033(0.968,1.102) |
| | | SO ₂ (1) | 1.046(0.995,1.099) | 1.05(0.974,1.131) | - | 1.035(0.992,1.079) |
| | 女 | PM _{2.5} (2) | - | 1.082(0.954,1.226) | 1.036(0.946,1.134) | 1.075(0.982,1.177) |
| | | NO ₂ (6) | 1.011(0.933,1.096) | - | 1.024(0.944,1.11) | 1.026(0.945,1.113) |
| | | SO ₂ (6) | 1.053(0.806,1.376) | 1.023(0.833,1.256) | - | 1.035(0.791,1.353) |
| COPD | 男 | PM _{2.5} (2) | - | 1.081(0.983,1.19) | 1.116(1.013,1.229)* | 1.072(0.973,1.181) |
| | | NO ₂ (4) | 1.05(0.975,1.131) | - | 1.027(0.951,1.11) | 1.056(0.976,1.143) |
| | | SO ₂ (5) | 1.035(0.979,1.094) | 1.022(0.964,1.083) | - | 1.033(0.971,1.098) |
| | 女 | PM _{2.5} (2) | - | 1.065(0.949,1.196) | 1.054(0.84,1.323) | 1.026(0.822,1.281) |
| | | NO ₂ (6) | 1.052(0.987,1.122) | - | 1.019(0.955,1.087) | 1.042(0.977,1.112) |
| | | SO ₂ (1) | 1.021(0.978,1.066) | 1.012(0.974,1.05) | - | 1.018(0.973,1.065) |
| 呼吸系统 | 男 | PM _{2.5} (2) | - | 1.346(1.078,1.681)* | 1.244(1.027,1.507)* | 1.317(1.08,1.606)* |
| | | NO ₂ (5) | 1.008(0.98,1.037) | - | 1.016(0.986,1.046) | 0.978(0.95,1.008) |
| | | SO ₂ (4) | 1.086(0.891,1.323) | 1.133(0.964,1.33) | - | 1.156(0.991,1.347) |
| | 女 | PM _{2.5} (1) | - | 1.207(1.062,1.372)* | 1.192(1.032,1.376)* | 1.175(1.025,1.347)* |
| | | NO ₂ (5) | 1.029(0.995,1.063) | - | 1.016(0.968,1.067) | 1.029(0.98,1.081) |
| | | SO ₂ (5) | 1.081(0.939,1.244) | 1.146(0.998,1.318) | - | 1.119(0.987,1.269) |

注: * 表示该天RR有统计学意义(P ≤ 0.05)

沙尘天气对呼吸与心血管系统疾病日门诊人数的影响

表4-8 PM_{2.5}、NO₂、SO₂双污染模型与多污染模型下心血管系统疾病门诊RR(95% CI)
Tab.4-8 Relative risks of the association between PM_{2.5},NO₂,SO₂ and daily cardiovascular outpatient number in co-pollutant model and multi-pollutant model

| 疾病 | 性别 | 污染物 (最佳滞后日) | 双污染模型 | | | 多污染模型 |
|----------|----|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | PM _{2.5} | NO ₂ | SO ₂ | |
| 风湿性心脏病 | 男 | PM _{2.5} (0) | - | 1.233(1.003,1.515)* | 1.182(0.966,1.445) | 1.162(0.944,1.429) |
| | | NO ₂ (6) | 1.037(0.92,1.168) | - | 1.049(0.934,1.178) | 1.037(0.92,1.168) |
| | | SO ₂ (5) | 1.378(1.031,1.84)* | 1.395(1.041,1.869)* | - | 1.362(1.018,1.822)* |
| | 女 | PM _{2.5} (1) | - | 1.132(0.946,1.354) | 1.096(0.910,1.320) | 1.037(0.857,1.255) |
| | | NO ₂ (2) | 1.022(0.955,1.093) | - | 1.046(0.978,1.118) | 1.047(0.976,1.123) |
| | | SO ₂ (2) | 1.254(0.964,1.632) | 1.214(0.936,1.573) | - | 1.268(0.963,1.67) |
| 高血压 | 男 | PM _{2.5} (1) | - | 1.168(1.019,1.337)* | 1.21(1.046,1.399)* | 1.208(1.042,1.402)* |
| | | NO ₂ (0) | 0.997(0.93,1.07) | - | 0.987(0.918,1.06) | 0.994(0.924,1.07) |
| | | SO ₂ (3) | 0.889(0.668,1.182) | 0.989(0.785,1.247) | - | 0.879(0.659,1.172) |
| | 女 | PM _{2.5} (3) | - | 1.01(0.882,1.156) | 1.061(0.923,1.221) | 1.06(0.917,1.224) |
| | | NO ₂ (2) | 0.983(0.925,1.046) | - | 0.975(0.914,1.041) | 0.827(0.447,1.529) |
| | | SO ₂ (5) | 0.893(0.507,1.573) | 0.866(0.683,1.097) | - | 0.674(0.361,1.26) |
| 缺血性心血管疾病 | 男 | PM _{2.5} (1) | - | 1.15(1.008,1.311)* | 1.065(0.916,1.239) | 1.079(0.925,1.259) |
| | | NO ₂ (2) | 1.012(0.937,1.092) | - | 0.998(0.923,1.079) | 1.002(0.926,1.083) |
| | | SO ₂ (5) | 1.245(1.008,1.537)* | 1.299(1.07,1.576)* | - | 1.247(1.006,1.544)* |
| | 女 | PM _{2.5} (5) | - | 1.026(0.858,1.227) | 0.999(0.828,1.205) | 0.906(0.764,1.074) |
| | | NO ₂ (4) | 0.996(0.885,1.121) | - | 0.88(0.732,1.056) | 0.851(0.716,1.01) |
| | | SO ₂ (5) | 1.389(1.031,1.87)* | 1.412(1.06,1.882) | - | 1.233(0.947,1.606) |
| 心律失常 | 男 | PM _{2.5} (3) | - | 1.233(1.003,1.515)* | 1.182(0.966,1.445) | 1.162(0.944,1.429) |
| | | NO ₂ (2) | 1.038(0.933,1.154) | - | 1.049(0.934,1.178) | 1.037(0.92,1.168) |
| | | SO ₂ (2) | 1.378(1.031,1.84)* | 1.395(1.041,1.869)* | - | 1.362(1.018,1.822)* |
| | 女 | PM _{2.5} (3) | - | 0.877(0.694,1.108) | 0.865(0.676,1.108) | 0.863(0.674,1.106) |
| | | NO ₂ (5) | 0.99(0.872,1.124) | - | 1.017(0.907,1.14) | 0.996(0.876,1.133) |
| | | SO ₂ (2) | 1.083(0.813,1.443) | 1.123(0.854,1.478) | - | 1.079(0.804,1.449) |
| 充血性心力衰竭 | 男 | PM _{2.5} (5) | - | 1.228(1.005,1.499)* | 1.255(1.018,1.547)* | 1.239(1.004,1.53)* |
| | | NO ₂ (2) | 1.077(0.98,1.184) | - | 1.053(0.956,1.159) | 1.27(0.895,1.802) |
| | | SO ₂ (5) | 0.888(0.628,1.256) | 1.168(0.847,1.611) | - | 1.013(0.925,1.11) |
| | 女 | PM _{2.5} (2) | - | 1.364(1.045,1.78)* | 1.359(1.008,1.83)* | 1.329(1.004,1.76)* |
| | | NO ₂ (2) | 0.99(0.857,1.143) | - | 0.971(0.826,1.141) | 0.931(0.784,1.105) |
| | | SO ₂ (1) | 0.603(0.358,1.014) | 0.661(0.412,1.06) | - | 0.614(0.367,1.026) |
| 心血管系统 | 男 | PM _{2.5} (3) | - | 1.171(1.087,1.263)* | 1.14(1.053,1.234)* | 1.146(1.056,1.243)* |
| | | NO ₂ (2) | 1.015(0.978,1.054) | - | 1.138(1.049,1.235)* | 1.13(1.039,1.228)* |
| | | SO ₂ (3) | 1.214(1.068,1.38)* | 1.26(1.115,1.424)* | - | 1.193(1.047,1.36)* |
| | 女 | PM _{2.5} (3) | - | 1.093(1.009,1.185)* | 1.092(1.007,1.186)* | 1.105(1.017,1.201)* |
| | | NO ₂ (2) | 1.012(0.978,1.047) | - | 0.99(0.954,1.028) | 1.002(0.966,1.039) |
| | | SO ₂ (5) | 0.888(0.764,1.033) | 0.961(0.838,1.101) | - | 0.863(0.737,1.011) |

注: * 表示RR有统计学意义($P \leq 0.05$);

第四章 沙尘颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响

表4-9 PM₁₀、NO₂、SO₂双污染模型与多污染模型下呼吸疾病门诊RR(95% CI)
Tab. 4-9 Relative risks of the association between PM₁₀,NO₂,SO₂ and daily respiratory outpatient number in co-pollutant model and multi-pollutant model

| 疾病 | 性别 | 污染物 (最佳滞后日) | 双污染模型 | | | 多污染模型 |
|--------|----|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | PM ₁₀ | NO ₂ | SO ₂ | |
| 气管炎 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.232(1.059,1.434)* | 1.195(1.018,1.403)* | 1.186(1.006,1.398)* |
| | | NO ₂ (2) | 1.098(0.931,1.295) | - | 1.08(0.926,1.259) | 1.07(0.925,1.237) |
| | | SO ₂ (5) | 1.362(1.065,1.742)* | 1.388(1.087,1.773)* | - | 1.35(1.054,1.728)* |
| | 女 | PM ₁₀ (2) | - | 1.195(1.02,1.401)* | 1.169(1.015,1.347)* | 1.184(1.021,1.373)* |
| | | NO ₂ (0) | 1.088(0.893,1.326) | - | 1.12(0.926,1.354) | 1.083(0.882,1.33) |
| | | SO ₂ (5) | 1.165(1.016,1.336)* | 1.324(1.137,1.541)* | - | 1.252(1.075,1.457)* |
| 上呼吸道感染 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.062(1.023,1.103)* | 1.076(1.036,1.117)* | 1.066(1.026,1.107)* |
| | | NO ₂ (4) | 1.108(1.002,1.225)* | - | 1.328(1.139,1.55)* | 1.022(0.906,1.154) |
| | | SO ₂ (3) | 1.24(1.128,1.362)* | 1.174(1.085,1.271)* | - | 1.254(1.146,1.373)* |
| | 女 | PM ₁₀ (2) | - | 1.035(0.978,1.096) | 1.085(1.019,1.155)* | 1.113(1.04,1.19)* |
| | | NO ₂ (0) | 1.163(1.05,1.288)* | - | 0.946(0.856,1.045) | 1.193(1.026,1.387)* |
| | | SO ₂ (3) | 0.961(0.808,1.142) | 0.848(0.714,1.006) | - | 1.188(0.977,1.444) |
| 肺炎 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.001(0.876,1.143) | 0.982(0.852,1.132) | 1.024(0.861,1.218) |
| | | NO ₂ (6) | 1.091(0.905,1.315) | - | 1.049(0.821,1.341) | 1.072(0.822,1.398) |
| | | SO ₂ (1) | 0.706(0.488,1.022) | 0.675(0.461,0.989) | - | 0.704(0.472,1.05) |
| | 女 | PM ₁₀ (2) | - | 0.994(0.878,1.125) | 1.012(0.876,1.169) | 0.987(0.835,1.167) |
| | | NO ₂ (6) | 0.995(0.842,1.175) | - | 1.049(0.81,1.36) | 1.023(0.754,1.386) |
| | | SO ₂ (6) | 0.937(0.627,1.401) | 1.104(0.751,1.624) | - | 1.105(0.717,1.701) |
| COPD | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.018(0.917,1.129) | 1.013(0.911,1.127) | 1.022(0.913,1.144) |
| | | NO ₂ (4) | 1.193(1.028,1.385) | - | 1.168(0.955,1.429) | 1.221(0.993,1.502) |
| | | SO ₂ (5) | 1.027(0.79,1.336) | 1.109(0.823,1.494) | - | 1.129(0.849,1.5) |
| | 女 | PM ₁₀ (1) | - | 0.937(0.83,1.057) | 0.971(0.859,1.098) | 0.878(0.759,1.017) |
| | | NO ₂ (6) | 1.093(0.92,1.299) | - | 0.924(0.756,1.129) | 0.834(0.654,1.063) |
| | | SO ₂ (1) | 1.13(0.807,1.584) | 0.887(0.616,1.279) | - | 0.91(0.589,1.406) |
| 呼吸系统 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.179(1.07,1.299)* | 1.137(1.034,1.25)* | 1.121(1.012,1.243)* |
| | | NO ₂ (5) | 1.061(0.988,1.139) | - | 1.186(0.66,2.131) | 1.098(0.933,1.293) |
| | | SO ₂ (4) | 1.093(0.908,1.315) | 1.22(0.994,1.496) | - | 1.193(0.929,1.532) |
| | 女 | PM ₁₀ (2) | - | 1.109(1.052,1.169)* | 1.061(1.007,1.118)* | 1.108(1.02,1.203)* |
| | | NO ₂ (5) | 1.045(0.971,1.124) | - | 1.083(0.965,1.215) | 1.026(0.903,1.165) |
| | | SO ₂ (5) | 1.019(0.894,1.161) | 1.002(0.844,1.189) | - | 1.068(0.866,1.316) |

注: * 表示RR有统计学意义($P \leq 0.05$);

沙尘天气对呼吸与心血管系统疾病日门诊人数的影响

表4-10 PM₁₀,NO₂,SO₂双污染模型与多污染模型下心血管疾病门诊RR(95% CI)

Tab.4-10 Relative risks of the association between PM₁₀,NO₂,SO₂ and daily cardiovascular outpatient number in co-pollutant model and multi-pollutant model

| 疾病 | 性别 | 污染物 (最佳滞后日) | 双污染模型 | | | 多污染模型 |
|----------|----|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | PM ₁₀ | NO ₂ | SO ₂ | |
| 风湿性心脏病 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.107(1.013,1.209)* | 1.094(1.004,1.192)* | 1.118(1.033,1.21)* |
| | | NO ₂ (0) | 1.16(0.982,1.369) | - | 1.157(0.959,1.395) | 1.115(0.92,1.351) |
| | | SO ₂ (0) | 1.053(0.92,1.205) | 1.045(0.912,1.199) | - | 1.065(0.943,1.202) |
| | 女 | PM ₁₀ (2) | - | 1.348(1.089,1.669)* | 1.301(1.015,1.668)* | 1.291(1.016,1.64)* |
| | | NO ₂ (1) | 1.164(0.999,1.356) | - | 1.203(0.986,1.468) | 1.132(0.946,1.354) |
| | | SO ₂ (3) | 1.162(0.806,1.675) | 1.112(0.849,1.455) | - | 1.075(0.825,1.401) |
| 高血压 | 男 | PM ₁₀ (1) | - | 1.277(1.038,1.57)* | 1.171(0.941,1.458) | 1.255(1.05,1.499)* |
| | | NO ₂ (6) | 1.039(0.867,1.245) | - | 1.028(0.875,1.207) | 1.033(0.878,1.215) |
| | | SO ₂ (5) | 1.062(0.977,1.155) | 1.034(0.922,1.159) | - | 1.054(0.984,1.13) |
| | 女 | PM ₁₀ (2) | - | 1.218(1.067,1.39)* | 1.188(1.023,1.379)* | 1.167(1.04,1.31)* |
| | | NO ₂ (6) | 1.05(0.936,1.179) | - | 1.068(0.966,1.18) | 1.081(0.963,1.213) |
| | | SO ₂ (3) | 1.032(0.94,1.133) | 1.043(0.949,1.147) | - | 1.035(0.939,1.142) |
| 缺血性心血管疾病 | 男 | PM ₁₀ (3) | - | 1.287(1.021,1.62)* | 1.248(0.99,1.573) | 1.279(1.007,1.624)* |
| | | NO ₂ (0) | 1.141(0.971,1.341) | - | 1.066(0.913,1.245) | 1.132(0.949,1.35) |
| | | SO ₂ (5) | 1.011(0.888,1.152) | 1.009(0.877,1.162) | - | 1.011(0.928,1.102) |
| | 女 | PM ₁₀ (5) | - | 1.314(1.099,1.571)* | 1.206(1.035,1.405)* | 1.368(1.082,1.73)* |
| | | NO ₂ (1) | 1.174(0.934,1.476) | - | 1.112(0.941,1.315) | 1.208(0.998,1.463) |
| | | SO ₂ (5) | 1.029(0.888,1.194) | 1.016(0.856,1.206) | - | 1.026(0.942,1.118) |
| 心律失常 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.149(0.965,1.368) | 1.095(1.048,1.143)* | 1.067(1.02,1.116)* |
| | | NO ₂ (2) | 1.031(0.845,1.258) | - | 1.03(0.852,1.246) | 1.069(0.942,1.212) |
| | | SO ₂ (2) | 1.083(0.935,1.256) | 1.104(0.891,1.369) | - | 1.114(0.899,1.381) |
| | 女 | PM ₁₀ (4) | - | 1.047(0.875,1.252) | 1.06(0.889,1.263) | 1.102(0.895,1.356) |
| | | NO ₂ (0) | 1.111(0.935,1.32) | - | 1.041(0.878,1.234) | 1.08(0.898,1.299) |
| | | SO ₂ (3) | 1.099(0.935,1.292) | 1.118(0.966,1.293) | - | 1.063(0.903,1.252) |
| 充血性心力衰竭 | 男 | PM ₁₀ (3) | - | 1.263(0.901,1.771) | 1.196(0.857,1.67) | 1.264(0.997,1.603) |
| | | NO ₂ (2) | 1.095(0.878,1.365) | - | 1.104(0.874,1.396) | 1.047(0.835,1.313) |
| | | SO ₂ (2) | 1.112(1.03,1.201) | 1.075(0.936,1.234) | - | 1.076(0.941,1.23) |
| | 女 | PM ₁₀ (5) | - | 1.105(1.013,1.205)* | 1.074(0.967,1.194) | 1.103(0.988,1.23) |
| | | NO ₂ (1) | 1.016(0.973,1.06) | - | 1.024(0.986,1.063) | 1.037(0.992,1.084) |
| | | SO ₂ (6) | 1.217(0.906,1.634) | 1.245(0.95,1.632) | - | 1.196(0.918,1.558) |
| 心血管系统 | 男 | PM ₁₀ (2) | - | 1.178(1.049,1.323)* | 1.117(0.985,1.267)* | 1.13(1.004,1.272)* |
| | | NO ₂ (3) | 1.065(0.93,1.219) | - | 1.096(0.878,1.367) | 1.038(0.822,1.309) |
| | | SO ₂ (4) | 1.192(0.913,1.557) | 1.175(0.876,1.577) | - | 1.163(0.863,1.566) |
| | 女 | PM ₁₀ (3) | - | 1.115(1.021,1.216)* | 1.1(1.001,1.209)* | 1.111(1.003,1.23)* |
| | | NO ₂ (3) | 1.008(0.872,1.165) | - | 1.004(0.84,1.198) | 1.069(0.89,1.283) |
| | | SO ₂ (3) | 1.127(0.875,1.451) | 1.163(0.882,1.535) | - | 1.087(0.815,1.452) |

注: * 表示RR有统计学意义(P ≤ 0.05):

4.2.4 颗粒物 (PM_{2.5}、PM₁₀) 浓度分类模型拟合结果

图 4-1~图 4-11 显示了男、女呼吸与心血管疾病门诊 RR_L (不同 PM_{2.5} 或 PM₁₀ 浓度水平下门诊 RR) 在不同 PM_{2.5} 浓度水平下的变化情况。可以看出, 由于性别以及疾病的差异, 使得不同性别于不同疾病的门诊 RR_L 又略有不同。但总的趋势是随着 PM_{2.5} 浓度水平的增大, 各种疾病门诊 RR_L 也随之增高, 表现出了一定的剂量效应关系。图 4-12~图 4-22 显示了男、女呼吸与心血管疾病门诊 RR_L 在不同 PM₁₀ 浓度水平下的变化情况。其变化情况与 PM_{2.5} 相似, 即随着 PM₁₀ 浓度水平的增大, 各种疾病门诊 RR_L 也随之增高, 表现出了一定的剂量效应关系。

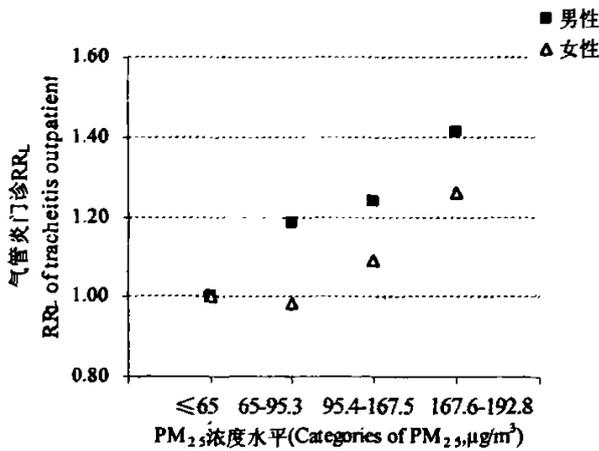


图4-1. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民气管炎门诊RR_L

Fig. 4-1 RR_L of male and female tracheitis outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

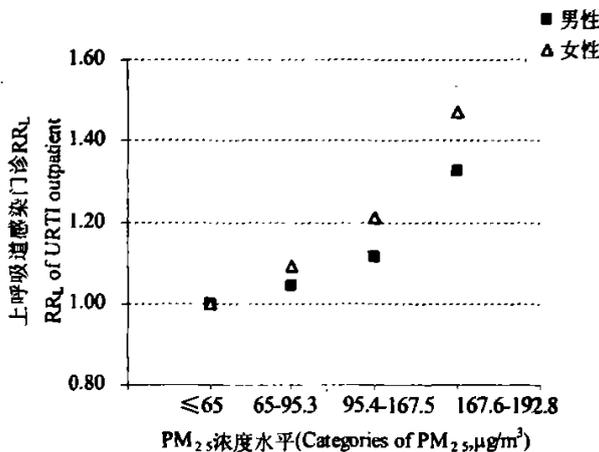


图4-2. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民上呼吸道感染门诊RR_L

Fig. 4-2 RR_L of male and female URTI outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

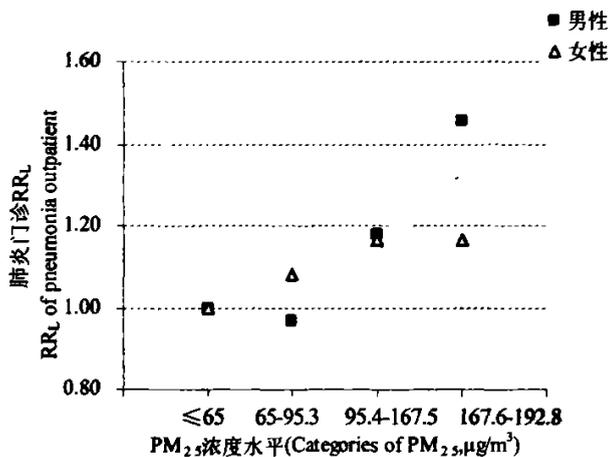


图4-3. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民肺炎门诊RR_L
 Fig.4-3 RR_L of male and female pneumonia outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

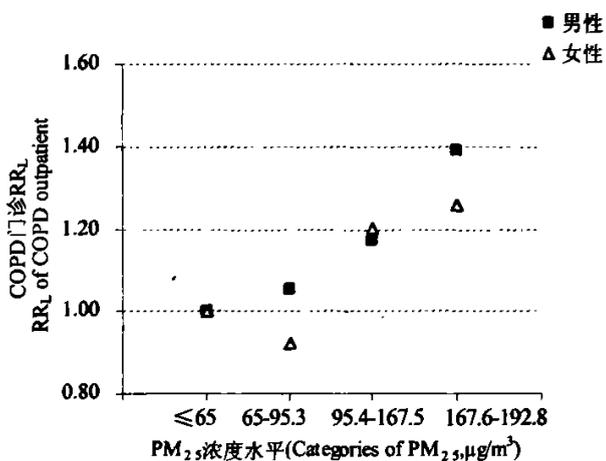


图4-4. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民COPD门诊RR_L
 Fig. 4-4 RR_L of male and female COPD outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

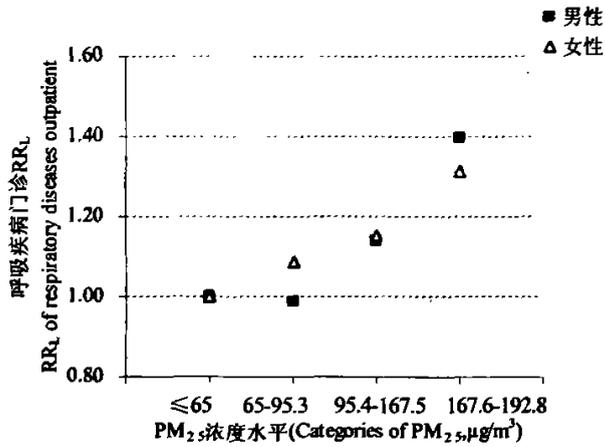


图4-5. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民呼吸系统疾病门诊RR_L
 Fig. 4-5 RR_L of male and female respiratory diseases outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

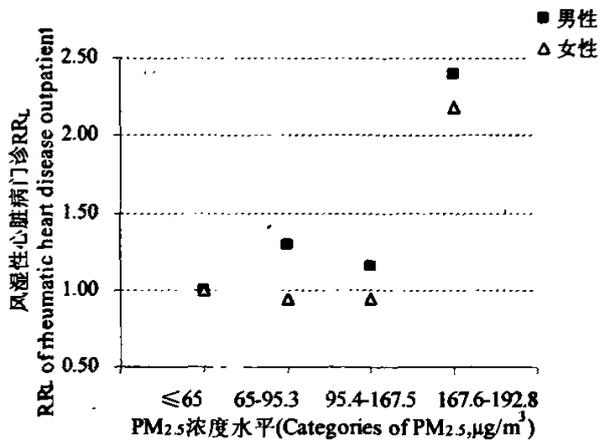


图4-6. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民风湿性心脏病门诊RR_L
 Fig.4-6 RRL of male and female rheumatic heart disease outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

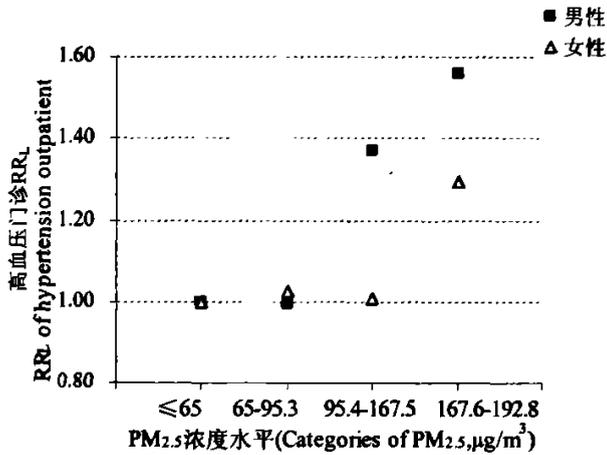


图4-7. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民高血压门诊RR_L
 Fig.4-7 RR_L of male and female hypertension outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

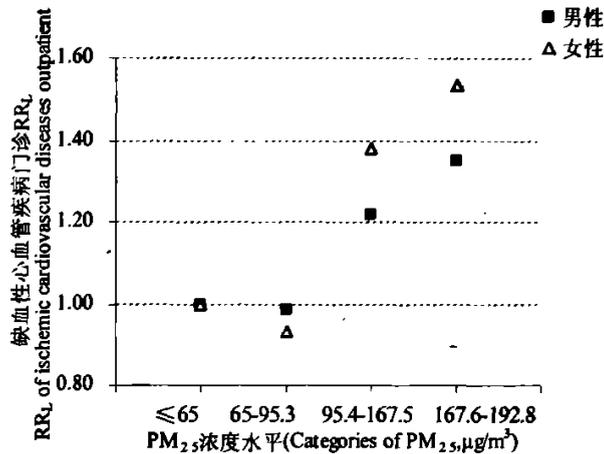


图4-8. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民缺血性心血管疾病门诊RR_L
 Fig. 4-8 RR_L of male and female ischemic cardiovascular diseases outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

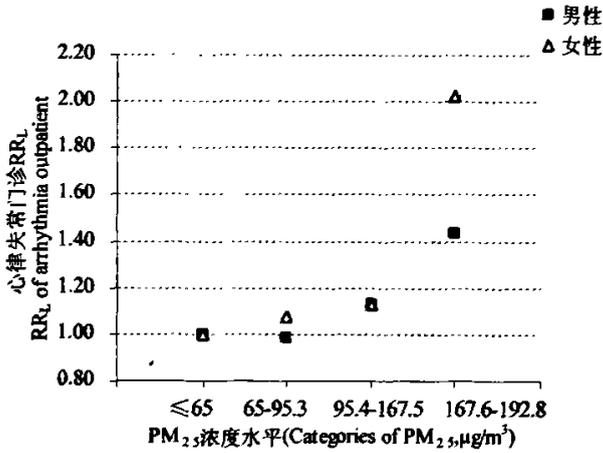


图4-9. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民心律失常门诊RR₁
 Fig. 4-9 RR₁ of male and female arrhythmia outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

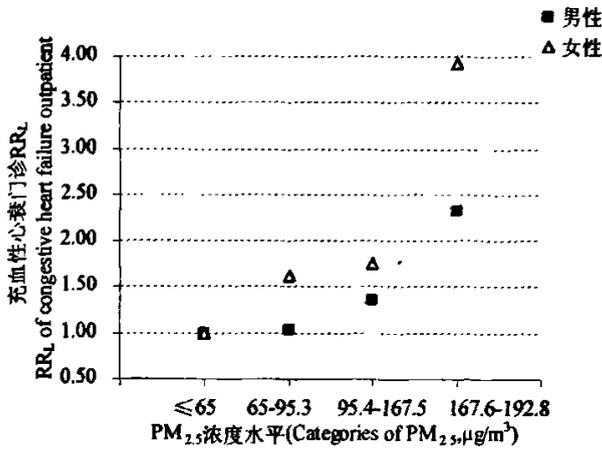


图4-10. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民充血性心力衰竭门诊RR₁
 Fig. 4-10 RR₁ of male and female congestive heart failure outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

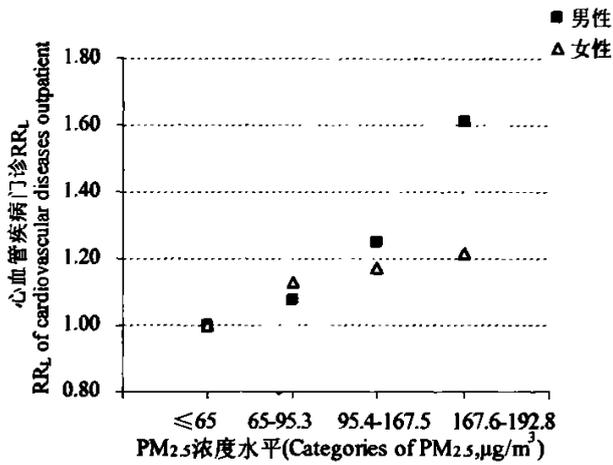


图4-11. 不同沙尘天气PM_{2.5}水平下的男、女性居民心血管疾病门诊RR_L
 Fig. 4-11 RR_L of male and female cardiovascular diseases outpatient according to categories of PM_{2.5} owing to dust events, respectively.

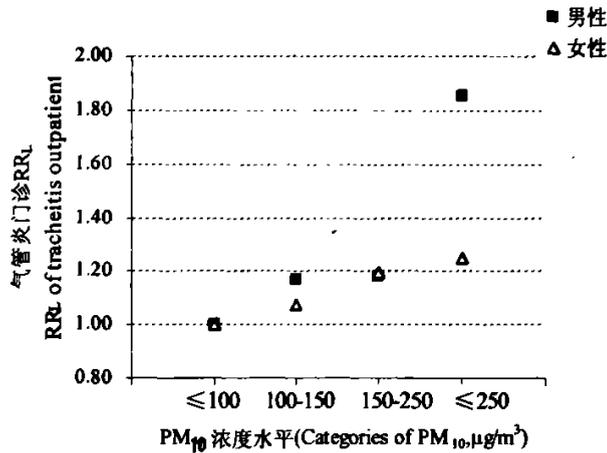


图4-12. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民气管炎门诊RR_L
 Fig. 4-12 RR_L of male and female tracheitis outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

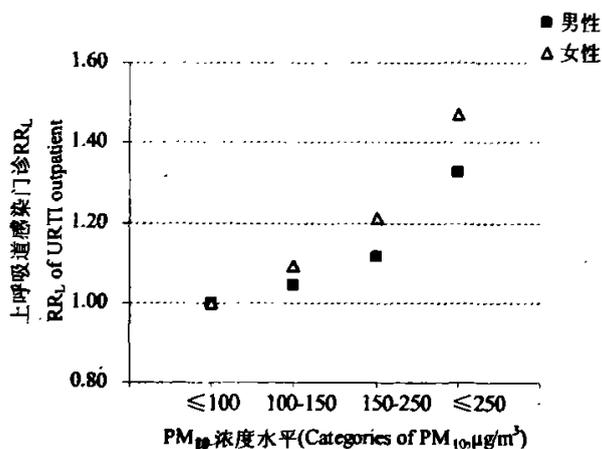


图4-13. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民上呼吸道感染门诊RR_L
 Fig. 4-13 RR_L of male and female URTI outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

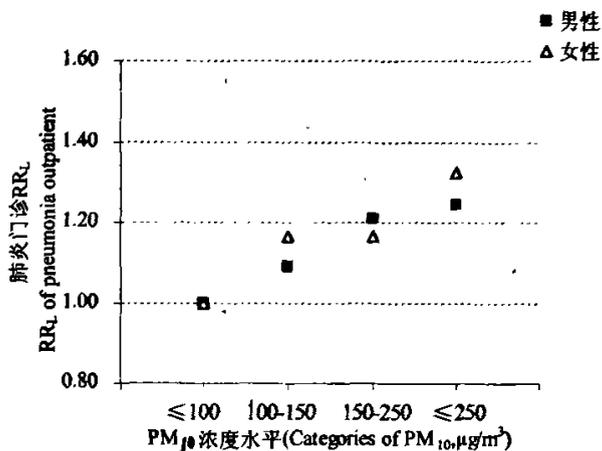


图4-14 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民肺炎门诊RR_L
 Fig. 4-14. RR_L of male and female pneumonia outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

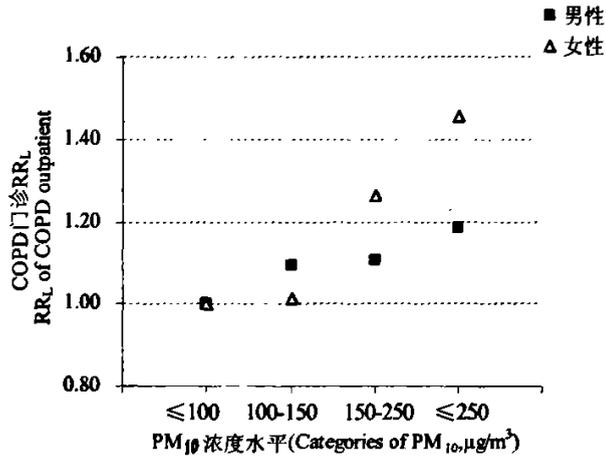


图4-15. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民COPD门诊RR_L
 Fig. 4-15 RR_L of male and female COPD outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

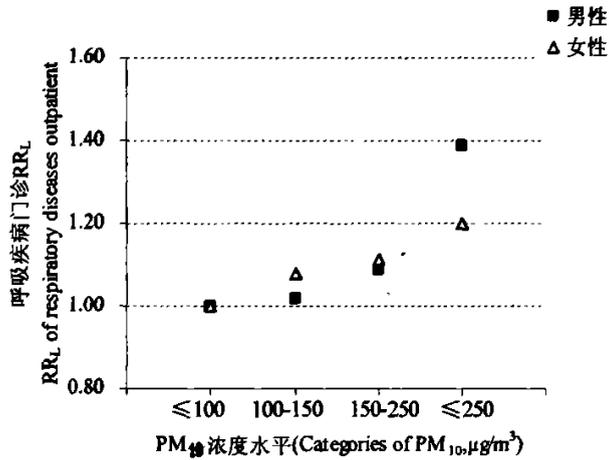


图4-16. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民呼吸系统疾病门诊RR_L
 Fig. 4-16 RR_L of male and female respiratory diseases outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

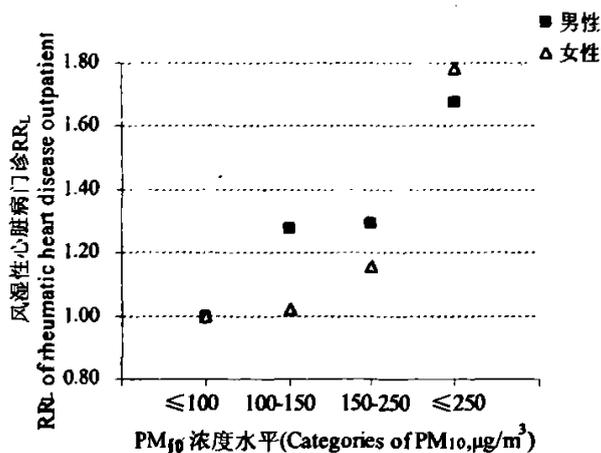


图4-17. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民风湿性心脏病门诊RR_L
 Fig. 4-17 RR_L of male and female rheumatic heart disease outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

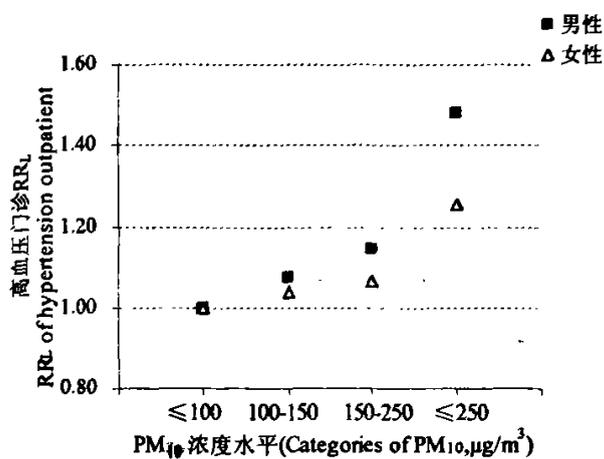


图4-18. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民高血压门诊RR_L
 Fig. 4-18 RR_L of male and female hypertension outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

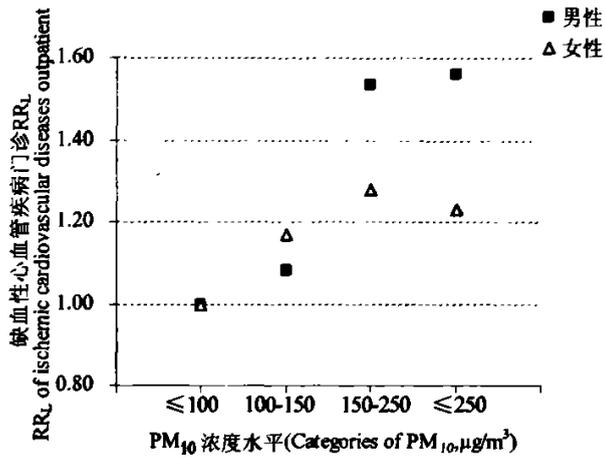


图4-19. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民缺血性心血管疾病门诊RR_L
 Fig. 4-19 RR_L of male and female ischemic cardiovascular diseases outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

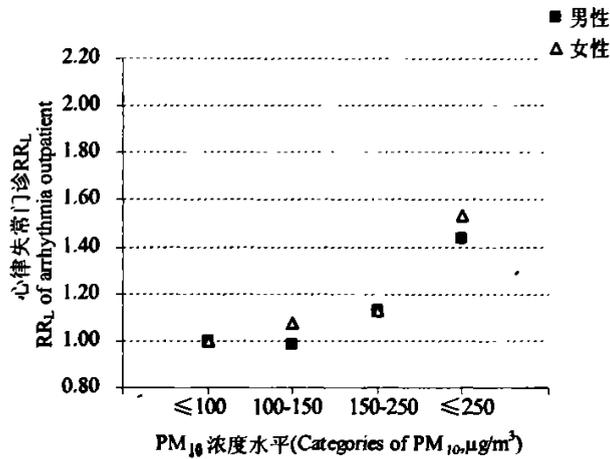


图4-20. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民心律失常门诊RR_L
 Fig. 4-20 RR_L of male and female arrhythmia outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

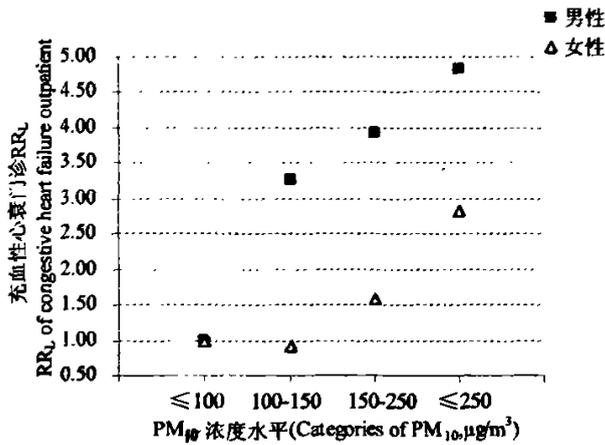


图4-21. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民充血性心力衰竭门诊RR_L
 Fig. 4-21 RR_L of male and female congestive heart failure outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

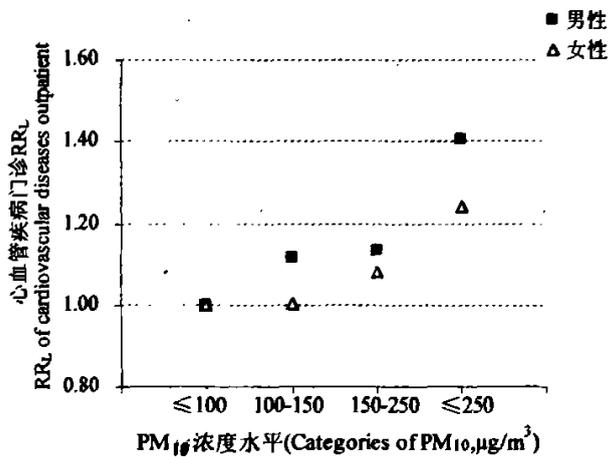


图4-22. 不同沙尘天气PM₁₀水平下的男、女性居民心血管疾病门诊RR_L
 Fig. 4-22 RR_L of male and female cardiovascular diseases outpatient according to categories of PM₁₀ owing to dust events, respectively.

4.3 讨论

本文研究发现沙尘天气细颗粒物可引起暴露居民多种呼吸疾病（气管炎、上呼吸道感染、肺炎、COPD）和多种心血管疾病（风湿性心脏病、高血压、缺血性心血管疾病、心律失常、充血性心力衰竭）门诊人数增加，其原因可能与沙尘天气细颗粒物的高浓度、高毒性有关。众所周知，肺泡巨噬细胞受到损害时，呼吸系统的免疫防御功能降低，对空气中致病微生物的侵染抵抗能力减弱，使暴露居民易于发生上呼吸道感染、气管炎及肺炎等疾病，从而可引起呼吸系统疾病日门诊RR增高。文

献报道, $PM_{2.5}$ 可以通过氧化损伤途径致血管内皮细胞死亡,引起血管重塑,使血管变得僵硬,压力负荷增加,血压升高,导致心血管疾病的发生^[69]。短期的 $PM_{2.5}$ 暴露会引起健康者心率变异性的减低。心率变异性是反映心脏自主神经张力的最敏感指标,它的减少与严重心律失常事件及心脏病猝死等密切相关,可视为心肌自主功能紊乱的一个参考指标^[77]。

我们的结果与国内外一些权威部门的研究结果和认识是一致的。目前公认的各种大气污染物中,颗粒物,特别是细颗粒物,已被公认为对人体健康危害最大且代表性最强的大气污染物,WHO、美国环境保护署(EPA)、欧盟等诸多国际机构在评价大气污染的健康危害时均选择颗粒物作为代表性大气污染物^[102]。 $PM_{2.5}$ 由于其比表面积较大而易成为其他有毒有害物质的运载体或反应体,其表面可吸附大量的有毒有害物质(如有毒重金属、酸性氧化物、有机污染物、细菌和病毒等),且能较长时间停留在空气中通过呼吸沉积在肺泡并进入血液,从而对人体的呼吸及心血管系统健康造成损害^[99]。

本研究发现沙尘天气对多种疾病影响的主要因子是大气颗粒物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)的结果,与文献报道的正常天气和污染天气颗粒物流行病学研究结果也是一致的。长期以来,大量流行病学研究发现大气颗粒物,尤其是细颗粒物浓度的增高与心肺疾病的超额发病率、死亡率相关,尤其是在原先患有呼吸、心血管系统疾病的人群及身体状况不佳的老年人中^[103]。Schwartz利用时间序列分析方法发现当大气中 $PM_{2.5}$ 浓度增加 $10\mu g/m^3$ 时,研究人群的总死亡率上升,并发现肺炎、心脏病及其它一些疾病的死亡率上升的效应随着暴露时间的延长而增强^[104]。国内研究发现,空气中 $PM_{2.5}$ 与儿童呼吸系统患病发生率呈线性正相关关系其影响比 SO_2 、 NO_x 更密切^[88]。美国一项为期16年(1982-1998)的研究显示, $PM_{2.5}$ 平均浓度每增加 $10\mu g/m^3$,年总死亡率、心肺疾病死亡率以及肺癌的死亡率分别增加4%、6%和8%。而其中缺血性心脏病的相对危险度增加最大^[105]。加拿大的多伦多 $PM_{2.5}$ 每上升 $1.0\mu g/m^3$,因呼吸系统及心血管系统疾病入院人数上升3.3%;每上升 $10\mu g/m^3$,心律失常的入院人数增加4.33%;每上升 $3.0\mu g/m^3$,缺血性心脏病和心衰的入院人数分别增加5.73%及4.70%^[106]。Holguin等在墨西哥城调查了 $PM_{2.5}$ 对老年人心率可变量(HRV)的影响,发现当地 $PM_{2.5}$ 日平均浓度每上升 $10\mu g/m^3$ 会引起HRV高频部分明显下降(5%),患高血压者下降幅度更大(7.1%)^[107]。但这些研究都是针对发达地区城市大气的污染情况,其 $PM_{2.5}$ 主要来源于交通和工业污染,对于自然源的 $PM_{2.5}$,尤其是沙尘暴所引起 $PM_{2.5}$ 短期内骤然增加,对呼吸与心血管健康的影响还未见报道。沙尘细颗粒物在大气中停留时间更长、

输送距离更远、且可能途经污染严重的地区，使PM_{2.5}的浓度和毒性随迁移而增高，危害更加严重^[42]。

4.4 小结

本章探讨了春季沙尘天气高发时期（3月1日至5月31日），武威市大气颗粒物对当地居民呼吸和心血管系统疾病日门诊人数的影响。主要结论如下：

① 沙尘天气对主要气象因子如大气压、气温、相对湿度、露点温度等有一定影响，但未达到统计学检验的显著性水平；对气态污染物SO₂、NO₂质量浓度影响不大。扬沙和沙尘暴发生时，大气颗粒物（PM₁₀、PM_{2.5}）质量浓度、风速显著升高。

② 沙尘天气颗粒物可引起暴露居民多种呼吸疾病（气管炎、上呼吸道感染、肺炎、COPD）和多种心血管疾病（风湿性心脏病、高血压、缺血性心血管疾病、心律失常、充血性心力衰竭）门诊人数增加。

③ 颗粒物（PM₁₀、PM_{2.5}）浓度与呼吸及心血管疾病门诊相对危险度存在一定的剂量效应关系。

④ 男性与女性居民呼吸及心血管系统多种疾病日门诊相对危险度随沙尘天气的强度增大而增大。

第五章 结论

本文探讨了春季沙尘暴高发时期(3月1日至5月31日)武威市沙尘天气及其颗粒物对当地居民呼吸和心血管系统疾病日门诊人数的影响。

主要结论如下:

一、沙尘天气时,大气颗粒物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)质量浓度、风速显著升高。

出现沙尘天气时,大气压改变甚微,气温、相对湿度有下降趋势,但与非沙尘天气比较差异无统计学意义;大气污染物 SO_2 、 NO_2 质量浓度变化不大,且均未超过国家空气质量二级标准;风速及大气颗粒物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)质量浓度(日均值)显著升高,不同沙尘天气下的增高幅度依次为:沙尘暴天气>扬沙天气>浮尘天气。

二、沙尘天气的发生会导致呼吸及心血管系统疾病每日门诊RR增加。

扬沙天气和沙尘暴的发生均与暴露居民呼吸及心血管系统疾病每日门诊RR的增加有联系,且表现为滞后效应。沙尘暴的影响大于扬沙天气。扬沙天气和沙尘暴对人群健康的影响既有年份差异又有性别差异。扬沙天气和沙尘暴可能与上述呼吸、心血管两大系统中多种疾病的发生和加重相关,其原因可能与沙尘天气发生时颗粒物浓度骤然增加有关。

三、沙尘颗粒物浓度与呼吸及心血管系统多种疾病每日门诊RR有联系。

沙尘天气颗粒物可引起暴露居民多种呼吸疾病(气管炎、上呼吸道感染、肺炎、COPD)和多种心血管疾病(风湿性心脏病、高血压、缺血性心血管疾病、心律失常、充血性心力衰竭)门诊人数增加,且表现为滞后效应。颗粒物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)浓度与呼吸及心血管疾病门诊相对危险度存在一定的剂量效应关系。男性与女性居民呼吸及心血管系统多种疾病日门诊RR随沙尘天气的强度增大而增大。

总而言之,本论文通过大量工作研究了沙尘天气对人体呼吸及心血管健康的影响,成果富有创新性和一定的实际意义,在国际国内沙尘天气研究领域上处于较前沿位置,填补了沙尘天气在环境医学研究中的空白。研究结果再一次提示人们沙尘天气对人类生存环境的危害以及对人体健康尤其是呼吸及心血管系统的危害不容忽视,防治沙尘天气、减轻沙尘颗粒对人体健康的危害刻不容缓。

参 考 文 献

- [1] 中国气象局. 沙尘天气预警业务服务暂行规定(修订)(气发[2003]12号).
- [2] 高庆先,任阵海. 沙尘暴—自然对人类的报复[M]. 北京: 化学工业出版社,2002,8-18.
- [3] 张广兴,李霞. 沙尘暴观测及分级标准研究现状[J]. 中国沙漠,2003,23(5): 586-591.
- [4] 赵光平,王连喜,杨淑萍. 宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统[J]. 中国沙漠,2001, 21(2):175-181.
- [5] 范一大. 中国北方沙尘暴天气时空分布特征和成因[J]. 中国减灾,2004,5: 38-40.
- [6] 赵景波,杜娟. 沙尘暴发生的条件和影响因素[J]. 干旱区研究,2002,19(1): 58-62.
- [7] 周自江,王锡稳,牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究[J]. 应用气象学报, 2002,13(2): 193-200.
- [8] 马国顺,屈建军. 沙尘暴成因的气象因子分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版). 2003,39(4): 28-30.
- [9] 王式功,杨德保,周玉素,等. 我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨[J]. 中国沙漠,1995, 15(4): 332-338.
- [10] 李栋梁,王涛,钟海玲. 中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J]. 中国沙漠, 2004,24(3): 376-379.
- [11] 范一大,史培军,朱爱军,等. 中国北方沙尘暴与气候因素关系分析[J]. 自然灾害学 报,2005,15(5): 12-18.
- [12] 陈敏连. 西北地区强沙尘暴研究的进展[J]. 甘肃气象,1996, 1: 8-10.
- [13] 黄美元,徐华英,王庚辰. 大气环境学/现代大气科学丛书[M]. 北京: 气象出版 社,2005,121-146.
- [14] Wang S, Wang J, Zhou Z, *et al.* Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(3): 509-520.
- [15] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠,2000,20(4): 349-356.
- [16] 林志. 沙尘暴: 春天的灾难轮回[J]. 国土资源,2006,5: 39-41.
- [17] 钱正安,宋敏红,李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中 国沙漠, 2002, 22(2): 106-111.
- [18] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 关于中国华北地区沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地 理学报, 2000,55(5): 513-521.

- [19] Feng Q, Endo KN, Cheng GD. Dust storms in China: a case study of dust storm variation and dust characteristics [J]. *Bull Eng Geol Env*, 2002, 61(3): 253-261.
- [20] 赵景波,杜娟,黄春长.沙尘暴发生的条件和影响因素[J].干旱区研究, 2002,19(1): 58-62.
- [21] 付有智,刘坤训,丁荣,等.甘肃河西黑风成因及预报[J].气象,1994,2(12): 50-53.
- [22] 方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[M].北京:气象出版社,1997,31-36.
- [23] 王伟,方宗义.沙尘暴天气及其研究进展综述[J].应用气象学报,2004,15(3): 366-381.
- [24] 王式功,王金艳,周自江等.中国沙尘天气的区域特征[J].地理学报.2003,58(2): 193-200.
- [25] 周濂.降服“黄龙”会有时—访国家环保总局“沙尘暴与黄沙”项目组组长全浩[J].Newton-科学世界.2002,4: 26-28.
- [26] Zhang XY, Gong SL, Shen ZX. Characterization of soil Dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia:1.Network observations[J]. *J.Geophys Res.*, 2003,108(D9): 8032-8039.
- [27] 邱新法,曾燕.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001,56(3): 316-322.
- [28] 杨维西.北京沙尘天气的沙尘来源及其治理[J].林业经济, 2002,7: 19-22.
- [29] 韩永翔,张强,董光荣,等.沙尘暴的气候环境效应研究进展[J].中国沙漠,2006,26(2): 307-310.
- [30] 李耀辉.近年来我国沙尘暴研究的新进展.中国沙漠, 2004, 24(5): 616-622.
- [31] 张小曳.亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积[J].第四纪研究,2001,21(1): 29-40.
- [32] Duce RA, Unni CK, Ray BJ, *et al.* Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability [J]. *Science*, 1980,209: 1522-1524.
- [33] 庄国顺,郭敬华,袁蕙等,2000年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响 [J],科学通报,2001,46(3): 191-196.
- [34] 张兴赢,庄国顺,陈建民等,沙尘暴颗粒物表面的元素存在形态和组成 [J],科学通报,2004,49(24): 2544-2550.
- [35] Xie S, Yu T, Zhang Y, *et al.* Characteristics of PM₁₀, SO₂, NO_(x) and O₃ in ambient

- air during the dust storm period in Beijing[J]. *Sci Total Environ*, 2005, 345(1-3): 153-164.
- [36] 国家环保局.环境空气质量标准(GB 3095—1996).
- [37] 孙业乐,庄国顺,袁惠,等.2002 年北京特大沙尘暴的理化特性及其组分来源分析[J].科学通报,2004,49(4): 340-346.
- [38] 奚晓霞,李杰,权建农.兰州市春季沙尘气溶胶质量浓度的若干研究[J].干旱区研究,2004,21(2): 112-116.
- [39] 胡克,吴东辉,杨德明,等.远源沙尘暴对城市生态环境影响的初步研究[J].长春科技大学学报, 2001,31(2): 176-179.
- [40] 卞学昌,张祖陆.我国沙尘暴产生的原因、危害及防治对策[J].国土与自然资源研究.2002,2: 60-61.
- [41] 孟紫强,胡敏,郭新彪,等.沙尘暴对人体健康影响的研究现状[J].中国公共卫生,2003,19(4): 471-472.
- [42] Kwaasi A A,Parhar R S,al-Mohanna F A,*et al*. Aeroallergens and vianle microbes in sandstorm dust. Potential triggers of allergic and nonallergic respiratory ailments[J]. *Allergy*,1998,53(3): 255-265.
- [43] Korenyi-Both A L, Sved L, Korenyi-Both G E, *et al*. The role of the sand in chemical warfare agent exposure among Persian Gulf War veterans: Al Eskan disease and "dirty dust" [J].*Mil Med*,2000,165(5): 321-336.
- [44] Hefflin B J, Jalaludin B, McClure E, *et al*. Surveillance for dust storms and respiratory diseases in Washington State, 1991[J]. *Arch Environ Health*, 1994, 49(3): 170-174.
- [45] Williams P L, Sable D L, Mendez P, *et al*. Symptomatic coccidioidomycosis following a severe natural dust storm. An outbreak at the Naval Air Station, Lemoore, Calif[J]. *Chest*, 1979,76(5): 566-570.
- [46] Kwon H J, Cho S H, Chun Y, *et al*. Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea[J].*Environ Res*, 2002,90(1): 1-5.
- [47] Chen Y S, Sheen P C, Chen E R, *et al*. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan[J]. *Environ Res*, 2004, 95(2): 151-155.
- [48] 黄玉霞,王宝鉴.兰州市呼吸道疾病与沙尘天气关系的分析(J).甘肃气象,2001, 19(3): 41-43.

- [49] 彭瑞玲,潘小川,张翼翔,等.包头市沙尘暴与人群急性健康效应关系的初步研究 [J].环境与健康,2005,22(4): 249-251.
- [50] Norris G, Young Pong SN, Koenig JQ, *et al.* An association between fine particles and asthma emergency department visits for children in Seattle [J]. *Environ Health Perspect*, 1999, 107(6): 489-493
- [51] Schwartz J, Slater D, Larson TV, *et al.* Particulate air pollution and hospital emergency visits for asthma in Seattle [J]. *Am Rev Respir Dis*, 1993, 145: 600-604.
- [52] Isaac N L, Karen Y F, Kevin M G. Association of Ambient Air Pollution with Respiratory Hospitalization in a Government-Designated "Area of Concern": The Case of Windsor, Ontario [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2005, 113: 290-296.
- [53] Yang C Y, Chen Y S, Chiu H F, *et al.* Effects of Asian dust storm events on daily stroke admissions in Taipei, Taiwan [J]. *Environ. Res*, 2005, 99(1): 79-84.
- [54] Chen Y S, Yang C Y. Effects of Asian dust storm events on daily hospital admissions for cardiovascular disease in Taipei, Taiwan [J]. *J Toxicol Environ Health A*, 2005, 68 (17-18): 1457-1464.
- [55] Gurfinkel'InI, Kuleshova VP, Oraevskii VN. Assessment of the effect of a geomagnetic storm on the frequency of appearance of acute cardiovascular pathology [J]. *Biofizika*, 1998, 43: 654-658.
- [56] William S, Yaga S, Henry G, *et al.* Air pollution and daily hospital admissions in metropolitan Los Angeles [J]. *Environ Health Perspect*, 2000, 108: 427-434.
- [57] Anon. Health effects of outdoor air pollution. Committee of the environmental and occupational health assembly of the American Thoracic Society [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1996, 153: 3-50.
- [58] Zanobetti A, Schwartz J, Gold D, *et al.* Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles? [J]. *Environ Health Perspect*, 2000, 108(7): 841-845.
- [59] Lukacs NW, Strieter RM, Kunkel SL. Leukocyte infiltration in allergic airway inflammation [J]. *AM J Respir Cell Mol Biol*, 1995, 13(6): 1-6.
- [60] 黄雪莲, 金昱, 郭新彪. 沙尘暴 PM_{2.5}, PM₁₀ 对大鼠肺泡巨噬细胞吞噬功能的影响 [J]. 卫生研究, 2004, 33(2): 154-157.
- [61] 黄雪莲, 金昱, 郭新彪, 等. 沙尘暴 PM_{2.5}-PM₁₀ 对大鼠肺泡巨噬细胞炎性因子分泌

- 的影响[J].环境与健康杂志,2004, 21(1): 38-40.
- [62] 耿红, 孟紫强, 张全喜.沙尘暴PM_{2.5}水溶和有机成分对巨噬细胞的损伤[J].中国环境科学,2006,26(1): 20-24.
- [63] 耿红,孟紫强,张全喜.沙尘暴细颗粒物对大鼠肺泡巨噬细胞膜损伤[J],中国公共卫生.2006.22(2): 144-146.
- [64] 耿红,孟紫强,张全喜.沙尘暴细颗粒物对大鼠肺泡巨噬细胞钙水平和脂质过氧化的影响[J],环境科学学报.2005.25(6): 845-850.
- [65] MacNee W, Donaldson K. Exacerbations of COPD: Environmental Mechanisms [J]. *Chest*, 2000, 117(5): 390-397.
- [66] 戴海夏, 宋伟民.大气颗粒物健康效应生物学机制研究进展[J].环境与职业医学 2003,20(4): 308-311.
- [67] Martin LD, Krunkosky TM, Dye JA. *et al.* The Role of Reactive Oxygen and Nitrogen Species in the Response of Airway Epithelium to Particulate[J]. *Environmental Health Perspective*, 1997,105(5): 1301-1307.
- [68] 张蕴晖,丁佳玮,曹慎,等.2006.大气细颗粒物(PM_{2.5})对心血管内皮细胞 NOS 的影响[J].环境科学学报,26(1): 142-145.
- [69] 董晨,宋伟民,施焯闻.PM 颗粒物引起血管内皮细胞氧化损伤的研究[J].卫生研究.2005,34(2): 169-171.
- [70] Barnes P J. Neurogenic inflammation in the airways[J].*Respir Physiol*,2001, 125 (1-2): 145-154.
- [71] Kodavanti UP, Schladweiler MC, Ledbetter AD, *et al.* The spontaneously hypertensive rat as a model of human cardiovascular disease: Evidence of exacerbated cardiopulmonary injury and oxidative stress from inhaled emission particulate matter[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*,2000, 164(3): 250-263.
- [72] William PW, Matthew JC, Daniel LC. Cardiac arrhythmia induction after exposure to residual oil fly ash particles in a rodent model of pulmonary hypertension[J]. *Toxicological Sciences*,1998, 41(2): 209-216.
- [73] Salvi S ,Blomburg A ,Rudell B ,*et al.* Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers[J]. *Am J Respir Crit Care Med*,1999 ,159(1): 702-709.
- [74] Clarke RW,Coull B,Reinisch U,*et al.* Inhaled concentrated ambient particles are

- associated with hematologic and bronchoalveolar lavage changes in canines[J]. *Environ Health Perspect*,2000,108(5): 1179-1187.
- [75] Terashima T, Wiggs B, English D, *et al*. Phagocytosis of small carbon particles (PM₁₀) by alveolar macrophages stimulates the release of polymorphnuclear leukocytes from bone marrow[J]. *Am J Respir Crit Med*,1997,155(4): 1441-1447.
- [76] Gold DR, Litonjua A, Schartz J, *et al*. Ambient pollution and heart rate variability[J]. *Circulation*,2000,101(11): 1267-1273.
- [77] Magari SR, Hauser R, Schwartz J, *et al*. Association of heart rate variability with occupational and environmental exposure to particulate air pollution[J]. *Circulation*, 2001, 104(9): 986-991.
- [78] Peters A, Liu E, Verrier RL, *et al*. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction[J]. *Circulation*,2001,103(23): 2810-2815.
- [79] Salvi S, Blomburg A, Rudell B, *et al*. Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers[J]. *Am J Respir Crit Care Med*,1999,159(3): 702-709.
- [80] Pekkanen J, Brunner EJ, Anderson HR, *et al*. Daily concentrations of air pollution and plasma fibrinogen in London[J]. *Occup Environ Med*,2000,57: 818-822.
- [81] Peters A, Doring A, Wichmann HE, *et al*. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: A link to mortality? [J] *Lancet*, 1997,349(14): 1582-1587.
- [82] Seaton A, Soutar A, Crawford V, *et al*. Particulate air pollution and the blood[J]. *Thorax*, 1999,54(3): 1027-1032.
- [83] Schwartz J. Air pollution and blood markers of cardiovascular risk[J]. *Environ Health perspect*,2001,109(suppl 3): 405-409.
- [84] Peters A, Frohlich M, Doring A, *et al*. Particulate air pollution in associated with an acute phase response in men; results from the MONICA-Augsburg Study[J]. *Eur Heart J*,2001,22(7): 1198-1204.
- [85] Ibald-Mulli A, Stieber J, Wichmann HE, *et al*. Effects of air pollution on blood pressure: A population-based approach [J]. *Am J Public Health*, 2001,91: 571-577.
- [86] Ridker PM, Cushman M, Stampher MJ, *et al*. Plasma concentration of reactive protein and risk of developing peripheral vascular disease [J]. *Circulation*, 1998,97(16): 425-428.

- [87] 原福胜,马亚萍,武忠诚.不同粒径大气颗粒物中金属元素含量及其对人双核淋巴细胞微核率的影响[J].卫生研究,1999,28(1): 21-22.
- [88] 魏爱丽,孟紫强,牛瑞芳. 2006.沙尘暴细颗粒物对人外周血淋巴细胞微核形成的影响[J].环境科学学报, 26(3): 509-514
- [89] 孟紫强,张全喜.大气细颗粒物致大鼠肺泡巨噬细胞DNA损伤 [J].中国环境科学,2005,25(1): 15-17.
- [90] Timblin C,BeruBe K,Churg A,*et al.*Ambient particulate matter causes activation of the c-jun Kinase/Stress-activated protein kinase cascade and DNA synthesis in lung epithelial cells[J]. *Cancer Res*,1998 ,58: 4543-4547.
- [91] 王秦徐,东群.细颗粒物遗传毒性研究中的基本科学问题[J].中国环境卫生.2004,7(3): 139-142.
- [92] 熊佳蕙,闫峰.沙尘暴成因及人文思考[J].灾害学,2004,19(1): 92-96.
- [93] 中国气象局.突发气象灾害预警信号发布试行办法.(气发[2004]206号)
- [94] 罗晓玲,李岩瑛,李耀辉,等.河西走廊东部沙尘天气与武威市大气污染的关系研究[J].中国沙漠,2004,24(5): 642-646.
- [95] 卫生部卫生统计信息中心,北京协和医院世界卫生组织疾病分类合作中心,国际疾病分类(ICD-10)应用指导手册[M].北京:中国协和医科大学出版社.2001.187-229
- [96] GB 3095-1996,环境空气质量标准[S].
- [97] Akaike H. Factor Analysis and AIC [J]. *Psychometric*, 1987,52 (3): 317-332.
- [98] Lin CA, Amador Pereira LA, de Souza Conceicao GM, *et al.* Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits[J].*Environmental Research*.2003,92(1): 57-63
- [99] 孟紫强主编.环境毒理学[M].北京:中国环境出版社,2000,372-377.
- [100] 张蕴晖,曹慎,丁佳玮,等. 炎性因子在大气细颗粒物(PM_{2.5})心血管毒性中的作用 [J],中国环境科学,2006,26(1): 16-19.
- [101] Zanobetti A, Schwartz J, Dockery D W. Airborne Particles Are a Risk Factor for Hospital Admissions for Heart and Lung Disease [J], *Environ Health Perspect*, 2000, 108(11): 1071-1078.
- [102] 谢昱姝.大气颗粒物对人体健康影响研究进展[J].铁道劳动安全卫生与环保,2006, 33(4): 205-208.

- [103] 戴海夏,宋伟民.大气PM_{2.5}的健康影响[J].国外医学卫生学分册,2001,28(3): 298-303.
- [104] Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality[J].*Am J Epidemiol*,2000,151(5): 440-448.
- [105] Pope CA, Burnett RT, Thurston GD, *et al.* Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease[J]. *Circulation*, 2004, 109(1): 71-77.
- [106] Burnett RT, Smith D M, Stieb D,*et al.*Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations[J].*Arch Environ Health*,1999,54(2): 130-139.
- [107] Holguin F, Tellez-Rojo MM, Hernandez M, *et al.* Air pollution and heart rate variability among the elderly in Mexico City[J].*Epidemiology*,2003,14(5): 521-527.

附录 发表文章目录

1. 孟紫强, 张剑, 耿红, 卢彬, 张全喜. 沙尘暴对呼吸及循环系统疾病日门诊量的影响[J]. 中国环境科学, 2007, 27(1): 116-120.
2. 孟紫强, 张剑, 卢彬, 胡敏, 耿红, 张全喜. 沙尘天气细颗粒物对高血压日门诊人数的影响[J]. 环境与职业医学 (已接收)
3. 孟紫强, 张剑, 卢彬. 沙尘天气细颗粒物对多种呼吸及心血管疾病日门诊人数的影响[J]. 环境与职业医学 (已投出)
4. 孟紫强, 卢彬, 潘竞界, 耿红, 张剑, 杨振华, 张欣. 沙尘天气与呼吸系统疾病日入院人数关系[J]. 中国公共卫生, 2007, 23(3): 284-286.
5. 孟紫强, 卢彬, 周义, 黄文清, 王彤, 耿红, 张剑. 沙尘天气对呼吸系统疾病日入院人数影响的时间序列研究(1995~2003年). 环境科学学报[J]. 2006, 26(11): 1900-1908.

致 谢

光阴似箭，日月如梭，研究生生涯即将结束。三年来，我得到了许多老师和朋友的帮助和鼓励，在此我向他们表示最诚挚的谢意。

使其流时思其源，成吾学时念吾师。在这篇论文完成之时，我最应当感谢的人是导师孟紫强教授。本论文是在他的精心指导下完成的，从最初的选题、设计到最终的修改和审定，无不凝聚着他的心血和智慧。三年前是孟老师将当时学术上懵懵懂懂无知的我引入了环境科学的巍峨殿堂，三年来老师的耳濡目染、潜移默化、严格要求和悉心指导，使我不仅接受了全新的思想观念，树立了宏伟的学术目标，掌握了学科的研究方法，而且还明白了许多待人接物和为人处世的道理。老师平易近人的人格魅力，高瞻远瞩的学术思想，严谨求实的治学精神，精益求精的工作作风和乐观豁达的生活态度将是我今后生活工作中永远的榜样。此时此刻，老师平日对我的关怀帮助一幕幕得现在眼前，令我如沐春风，倍感温馨。桃李不言，下自成蹊；师恩深厚，不敢言报，唯有今后以百倍热情工作、学习，力争有所建树，以报师恩于万一。

在资料收集、数据分析的过程中，我得到了北京大学环境学院胡敏教授、兰州大学公共卫生学院牛静萍教授、山西医科大学王彤教授、梁洪川硕士、武威环境监测站刘迎伟站长、扬毅工程师等老师和朋友的热情帮助，在此表示感谢。

感谢与我朝夕相处、共度难关的耿红老师和卢彬、张雷、张全喜、张欣、杨林华等同学，没有他们，本次流行病学调查和统计分析工作难以顺利完成。感谢张建彪、董秀清两位老师在我的硕士工作和生活中所提供的便利。

感谢我所有师兄、师姐、师弟、师妹、同学、朋友们，是你们的情谊和帮助，让我在学术上日益精进的同时还得到了日积月累的真挚友情。

最后感谢我的父母，乌得谦草，言树之背，养育之恩，无以回报。愿您们在今后的日子里能永远健康、快乐。

春华秋实，寒暑七易，仿佛不经意间，我在山大的学习生涯就要结束了。七年来，令我感动的时刻数不胜数，母校带给我太多太多的美好回忆。在即将离别的时刻，我祝福母校的明天更加灿烂辉煌。

张剑

2007年5月20日

个人简况及联系方式

个人简介:

姓名: 张剑

性别: 男

出生年月: 1981.10

籍贯: 山西省洪洞县

联系电话: 0351-7011011

E-mail: life_sxu@163.com

学习经历:

2004.9~2007.6 山西大学环境科学与工程研究中心 环境科学专业
攻读工学硕士学位

2000.9~2004.6 山西大学生命科学与技术学院 食品科学与工程专业
工商管理(电子商务方向)专业
获工学与管理学双学士学位

获奖情况:

2007.5 山西大学优秀毕业生

工作去向:

国家统计局社会与科技司