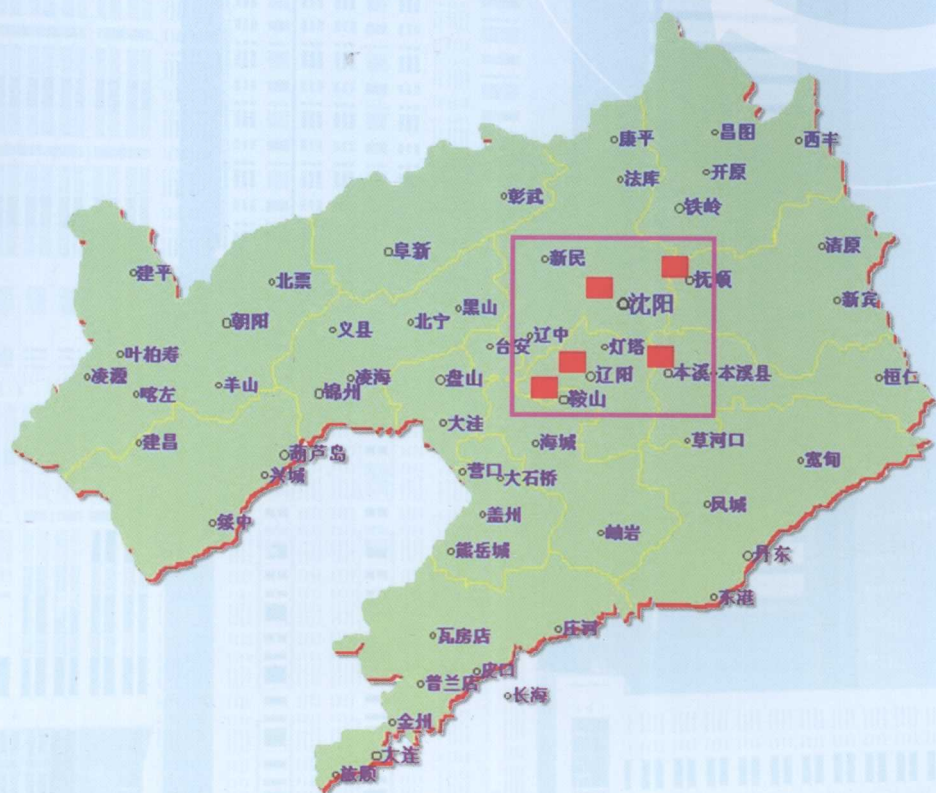


辽宁中部城市群 大气污染模拟及调控原理

马雁军◆主编



气象出版社

辽宁中部城市群 大气污染模拟及调控原理

马雁军 主编

气象出版社

内 容 简 介

全书共分9章,主要分析了辽宁中部城市群大气污染的分布特征,研究了城市群大气污染的扩散输送过程,模拟了辽宁中部城市群大气污染的分布特征,可使人们加深对“城市群”大气污染的理解,为进一步探讨城市群大气污染预测及调控机理、城市群大气污染的治理对策奠定了基础。

本书可供从事大气物理、防治大气污染和环境保护的科技工作者和有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

辽宁中部城市群大气污染模拟及调控原理/马雁军主编. —北京:气象出版社,2007.11
ISBN 978-7-5029-4420-9

I. 辽… II. 马… III. ①城市污染-空气污染-环境模拟-研究-辽宁省②城市污染-空气污染控制-研究-辽宁省 IV. X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 181810 号

出版者:气象出版社

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

电 话:总编室:010-68407112

发行部:010-68409198

责任编辑:李太宇 隋珂珂 章澄昌

终 审:陆同文

封面设计:张建永

责任校对:程铁柱

印刷者:北京中新伟业印刷有限公司

发行者:气象出版社

开 本:787mm×960mm 1/16 印 张:9.25 字 数:197 千字

版 次:2007 年 12 月第一版 2007 年 12 月第一次印刷

定 价:20.00 元

序 言

当前,世界城市化发展的一个重要趋势就是城市群体化,如日本以东京、名古屋、大阪为核心的东海道带状城市群、德国的莱茵—鲁尔城市群、美国的波士顿—华盛顿带状城市群。随着我国经济的快速发展,城市群的发展也十分迅速,目前已经形成了长江“三角洲”、珠江“三角洲”、京津唐、辽宁中部等规模较大的城市群。这些城市群在我国的经济发展中已经起着十分重要的作用。

由于最初城市群的发展大都是自发的,没有把单一城市纳入城市群作为一个统一整体考虑,从而带来了一系列的环境问题,其中大气环境问题尤其突出。这些大面积城市群的出现改变了整个区域下垫面的动力与热力结构特征,并与单个城市大气污染相互影响、相互作用,使得这些城市群大气污染的特点、输送规律与单一城市大气污染不同,在多尺度的大气环流影响下,多个城市羽流混合或扩大,形成了区域性大气污染,影响到了区域经济的可持续发展。因此,区域大气污染的预测预报及调控机理的研究,特别是“城市群”大气污染预测预报的研究,越来越受到各国政府与科学工作者的强烈关注。

辽宁是我国的老工业和重工业大省。以沈阳、鞍山、抚顺、本溪和辽阳等城市组成的辽宁中部城市群,在辽宁的经济发展中起着龙头作用。该城市群处于东亚季风区内,主要气候特征为大陆性季风气候。组成辽宁中部城市群的这5个城市都是国家确定的辽宁省 SO_2 控制区。该区域的大气污染具有以下特点:(1)属煤烟、汽车尾气和自然扬尘混合型污染,其中以煤烟型污染为主,大气中的主要污染物为可吸入颗粒物 PM_{10} 和 SO_2 ,与“长江三角洲”和“珠江三角洲”地区的酸雨污染不同。(2)特殊的地形和气象条件,不利于大气污染物的稀释和扩散。该城市群既有平原地区的沈阳、鞍山、辽阳;也有地形较复杂、四面被群山包围的山城本溪;以及东西长、南北窄,处在低山丘陵地带的带状城市抚顺,从而使得该城市群大气污染物扩散与输送的主要控制因子十分复杂;该区域冬季取暖期长,昼夜温差大,5个城市冬季逆温出现的频率平均为75%,使得该区域逆温层类似“大锅盖”效应十分突出,严重地抑制和影响了大气污染物的扩散与输送。由于受季风的影响,该区域冬季、春季频繁出现的大风天气,亦使得空气中含有大量的沙尘,进一步加重了该城市群的大气污染。

该书是对科技部公益性研究专项“辽宁中部城市群大气污染数值模拟及其调控原理”的总结。书中分析了城市群大气污染的时空分布格局;研究了辽宁中部城市群大气环境输送场的分布特征及污染输送通道;引进了美国第三代空气质量模式系统 Models-3,模拟了城市群污染物浓度的时空分布;研究了城市间大气污染的相互影响,定量计算了不同城市对城市群大气污染的贡献;分析了城

市化发展对城市群大气环境的影响;研究了不同结构污染源对不同城市污染物浓度的贡献,提出了改善区域城市环境质量所应采取的防范措施。该书将为探讨城市群大气污染的扩散输送研究及城市群区域大气污染的治理对策提供一定的技术方法与示范。

王江山*

2007年12月10日

* 王江山,辽宁省气象局局长,正研级高级工程师

前 言

科技部公益性研究专项“辽宁中部城市群大气污染模拟及调控原理”,以辽宁中部城市群为研究区域,以工业污染物 SO_2 、烟尘及 NO_x 为主要研究对象,采用资料综合分析、野外调查、模型模拟等研究方法,研究了辽宁中部城市群大气污染的时空分布特征,辽宁中部城市群大气环境输送场特征及城市间大气污染的相互影响及贡献,并对辽宁中部城市群大气污染的影响进行了预测评估。

本书是对上述研究成果全面的综合和总结,由参加项目的全体研究人员在总结各自研究成果的基础上集体撰写而成。

全书分工如下:

序 言:王江山

第一章:马雁军、杨洪斌

第二章:张云海、马雁军

第三章:马雁军、刘宁微、洪也

第四章:马雁军、张云海

第五章:刘宁微、马雁军

第六章:马雁军、王扬锋、左洪超、惠小英

第七章:王扬锋、马雁军

第八章:马雁军、王扬锋

第九章:刘宁微、王扬锋、马雁军

参加本书编写工作的还有周德平、赵先丽、贾庆宇、张运福、关颖、李金义、吴晓鸣、张森堂等。

该项目在实施的过程中得到了辽宁省气象局领导及中国气象局沈阳大气环境研究所领导的大力支持,在此表示衷心的感谢。

本书受科技部公益性研究专项(2003DIB3J121)和国家自然科学基金面上项目(40575067)共同资助。

目 录

序 言	
前 言	
第一章 辽宁中部城市群大气污染的现状分布特征	(1)
1.1 辽宁中部城市群的自然状况	(1)
1.2 中部城市群大气质量现状分布	(2)
1.3 辽宁中部城市群首要大气污染物现状分析	(4)
1.4 城市群 1987—2004 年大气污染物浓度年际变化趋势	(5)
1.5 辽宁中部城市群大气污染特征分析	(7)
1.6 小结	(9)
第二章 辽宁中部城市群大气环境数据库的建立	(10)
2.1 系统功能的实现	(10)
2.2 系统功能	(11)
2.3 系统运行特点	(12)
2.4 功能模块	(13)
2.5 小结	(14)
第三章 影响城市群大气污染的主要气象因子及其与大气污染的关系	
3.1 辽宁中部 5 城市风的变化特征	(15)
3.2 城市群大气稳定度分布	(22)
3.3 城市群温度的年际变化特征分析	(24)
3.4 城市群湿度的年际变化特征分析	(24)
3.5 城市群大气能见度变化特征分析	(24)
3.6 辽宁中部城市群雾的年际变化特征	(25)
3.7 大气污染与各种气象因子之间的关系	(26)
3.8 能见度与各种气象因子的相关关系分析	(27)
3.9 辽宁中部城市群冬季典型污染日与气象条件的关系分析	(28)
3.10 小结	(35)

第四章 辽宁中部城市群天气形势及大气环流分布	(37)
4.1 气候环境特征	(37)
4.2 四季天气形势分布特征	(38)
4.3 影响辽宁中部城市群空气质量的主要天气形势	(40)
4.4 辽宁中部城市群空气质量出现污染时的天气形势	(42)
4.5 大气环流对污染物传输影响的个例分析	(44)
4.6 重污染个例的模拟分析	(46)
4.7 小结	(48)
第五章 辽宁中部城市群大气边界层特征	(50)
5.1 所用模式及模拟范围	(50)
5.2 城市群大气环境输送场(风场)分布特征	(51)
5.3 城市群温度场特征分析	(67)
5.4 城市群湿度场特征分析	(76)
5.5 小结	(77)
第六章 辽宁中部城市群大气污染影响预测评估	(79)
6.1 国内外大气污染数值模拟研究现状	(79)
6.2 模式的选择	(79)
6.3 城市群大气污染的时空分布特征	(84)
6.4 污染物在不同高度上的浓度分布	(101)
6.5 辽宁中部城市群各城市未来大气污染发展趋势预测	(104)
6.6 小结	(105)
第七章 城市间大气污染的相互影响及不同城市对城市群大气污染的贡献	(107)
7.1 不同风向下城市群各城市污染物的相互影响	(107)
7.2 不同城市污染物排放对城市群的贡献	(110)
7.3 城市群城市之间大气污染的相互影响	(111)
7.4 重污染时不同城市排放对城市群的贡献	(115)
7.5 轻污染时不同城市排放对城市群的贡献	(116)
7.6 小结	(117)
第八章 城市化发展对城市群大气污染的影响与对策	(118)
8.1 城市化发展对城市群气象要素的影响	(118)
8.2 城市化发展对城市群大气污染浓度的影响	(123)
8.3 对策分析	(124)
8.4 小结	(126)

第九章 辽宁中部污染源结构调控及其对不同城市污染物浓度的贡献	(127)
9.1 不同高度的污染源对城市群大气污染的贡献	(127)
9.2 三类源排放对辽宁中部城市群大气污染浓度的贡献率	(134)
9.3 调控对策分析	(136)
9.4 小结	(138)

第一章 辽宁中部城市群 大气污染的现状分布特征

1.1 辽宁中部城市群的自然状况

沈阳、鞍山、抚顺、辽阳、本溪这五个大工业城市组成的辽宁中部城市群位于东经 $122^{\circ}\sim 125.5^{\circ}\text{E}$ 、北纬 $40^{\circ}\sim 43.5^{\circ}\text{N}$ 范围之内,东西宽约 250 km,南北长约 300 km,总面积约 75000 km^2 ,人口近 2000 万。包括沈阳、抚顺、本溪、鞍山和辽阳等五市。浑河、太子河流由东向西流经该地区,地势东高西低。区域内东为千山山脉,平均海拔 500 m 以下,其他部分为浑河、太子河冲积平原,平原地区平均海拔 100 m 以下,该区域位于辽东半岛以北,紧邻渤海(图 1.1 中的方框为辽宁中部城市群的地理位置)。

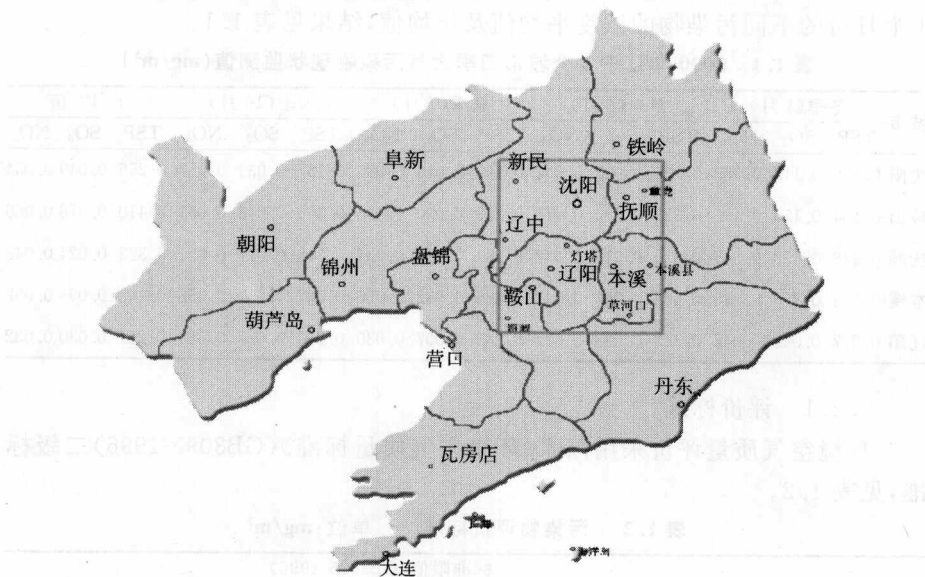


图 1.1 辽宁中部城市群的地理位置分布

现在辽宁中部的大部分地区已经开垦为耕地,其中沈阳耕地面积 68.6 万 hm^2 ,鞍山 24.5 万 hm^2 ,抚顺 13.0 万 hm^2 ,本溪 7.0 万 hm^2 ,辽阳 18.0 万 hm^2 。主要的土壤类型是草甸土,土质疏松,通透性良好,分布于中部浑河、太

子河等河流的广阔冲积平原。区域森林覆盖率为 31.0%，人均森林面积 0.14 hm^2 ，其中本溪地区森林覆盖率为 66.4%，沈阳地区森林面积为 1470 km^2 ，森林覆盖面积为 11.30%，草地覆盖面积为 6.33%。

辽宁中部城市群人口密集，工业集中，大气污染严重，空气质量较差，最主要的大气污染物是 TSP 和 SO_2 。该区域冬季采暖期，大气中的 TSP 和 SO_2 浓度值高，主要来源于民用和锅炉采暖燃煤、区域供暖厂和热电厂；且冬季取暖期长，昼夜温差大，5 个城市冬季逆温出现的频率平均为 75%，使得该区域逆温层类似“大锅盖”效应十分突出，严重地抑制和影响了大气污染物的扩散与输送。由于受季风的影响，该区域冬季、春季频繁出现的大风天气，亦使得空气中含有大量的沙尘，进一步加重了该城市群的大气污染。城市之间所排放的大气污染物相互作用、相互影响，形成了特有的“城市群”污染。因此，分析该城市群大气污染的分布特征是很重要的。

1.2 辽宁中部城市群大气质量现状分布

根据辽宁中部城市群 2000 年大气污染物(TSP、 SO_2 、 NO_x)的现状监测资料，分析了这 5 个城市的大气污染现状，统计计算了每个城市代表不同季节的 4 个月份的不同污染物的浓度平均值及年均值，结果见表 1.1。

表 1.1 2000 年辽宁 5 个城市四季大气污染物现状监测值(mg/m^3)

城市	冬季(1月)			春季(4月)			夏季(7月)			秋季(10月)			年均值		
	TSP	SO_2	NO_x	TSP	SO_2	NO_x	TSP	SO_2	NO_x	TSP	SO_2	NO_x	TSP	SO_2	NO_x
沈阳	0.352	0.113	0.083	0.326	0.033	0.042	0.160	0.015	0.035	0.187	0.033	0.057	0.256	0.049	0.054
鞍山	0.554	0.156	0.105	0.525	0.084	0.075	0.255	0.030	0.033	0.306	0.043	0.051	0.410	0.078	0.066
抚顺	0.478	0.058	0.045	0.320	0.013	0.042	0.187	0.008	0.034	0.308	0.017	0.051	0.323	0.024	0.043
本溪	0.573	0.215	0.046	0.458	0.066	0.048	0.388	0.032	0.050	0.347	0.057	0.058	0.442	0.093	0.052
辽阳	0.277	0.048	0.045	0.345	0.038	0.027	0.243	0.007	0.030	0.260	0.027	0.026	0.281	0.030	0.032

1.2.1 评价标准

环境空气质量评价采用国家《环境空气质量标准》(GB3095-1996)二级标准，见表 1.2。

表 1.2 污染物评价标准 单位： mg/m^3

评价项目	标准限值(GB3095-1996)					
	日标准			年标准		
	一级标准	二级标准	三级标准	一级标准	二级标准	三级标准
PM_{10}	0.05	0.15	0.25	0.04	0.1	0.15
TSP	0.12	0.30	0.50	0.08	0.20	0.30
SO_2	0.05	0.15	0.25	0.02	0.06	0.10
NO_2	0.08	0.08	0.12	0.04	0.04	0.08

1.2.2 TSP 污染现状分析

从表 1.1 可知,2000 年辽宁中部城市群的 5 个城市 TSP 监测值的年均值全部超过国家二级标准 0.2 mg/m^3 ,其中,本溪的年均值为 0.442 mg/m^3 ,是国家二级标准的 2.21 倍,鞍山的年均值为 0.41 mg/m^3 ,是国家二级标准的 2.05 倍,这 5 个城市中,沈阳的年均值最小为 0.256 mg/m^3 ,也是国家二级标准的 1.28 倍。通过分析可知,辽宁中部城市群这 5 个城市 TSP 污染是很严重的。

1.2.3 SO_2 污染现状分析

从表 1.1 可知:2000 年辽宁中部城市群的 5 个城市 SO_2 监测值的年均值本溪、鞍山的监测值超过国家二级标准 0.06 mg/m^3 。本溪的年均值为 0.093 mg/m^3 ,是国家二级标准的 1.55 倍;鞍山的年均值为 0.078 mg/m^3 ,是国家二级标准的 1.3 倍,其他城市的年均值均没有超过国家二级标准。辽宁中部城市群 5 个城市中,本溪 SO_2 污染最重,鞍山第 2。

1.2.4 NO_x 污染现状分析

从表 1.1 可知:2000 年鞍山的监测值为 0.066 mg/m^3 ,超过国家二级标准,是国家二级标准的 1.53 倍;本溪的年均值为 0.056 mg/m^3 ,超过国家二级标准,是国家二级标准的 1.12 倍;沈阳的年均值为 0.054 mg/m^3 ,也超过国家二级标准。辽阳、抚顺的年均值没有超过国家二级标准。可见辽宁中部城市群 5 个城市中, NO_x 的污染还是很重的。

1.2.5 辽宁中部城市群大气污染季节变化特征分析

从表 1.1 可以看出,辽宁中部这 5 个城市 TSP 污染最重的月份是 1 月份(冬季),其次是 4 月份(春季)。污染最重的城市是本溪,其次是鞍山。夏季(7 月份)是 TSP 浓度值最小的季节。通过分析可知,TSP 的浓度值有明显的季节变化,冬季污染最重,春季次之,夏季最轻。原因是冬季采暖季节燃煤量大,排放大量的烟尘,导致空气中 TSP 的浓度增大;春季风大,吹起大量的沙尘,使得大气中 TSP 的含量增大。

SO_2 的现状监测值有明显的季节变化,冬季(1 月份)是辽宁中部这 5 个城市 SO_2 污染最重的季节,夏季(7 月份)是 SO_2 污染最轻的季节。污染最重的城市是本溪,其次是鞍山。冬季是采暖期,燃煤量大,排放大量的 SO_2 ;夏季是非采暖期,燃煤量最小,排放的 SO_2 最少。

从表 1.1 可以看出,除鞍山和沈阳外,其他城市 NO_x 浓度没有明显的季节变化。辽宁中部这 5 个城市 NO_x 污染最重的城市是鞍山,这可能是由于鞍山的特殊污染源鞍钢排放大量的 NO_x 所致。沈阳位居第 2。从 NO_x 监测值的四季变化可知,汽车尾气是辽宁中部城市群大气中 NO_x 的重要来源之一。通过上述分析可知,辽宁中部城市群的大气污染存在着明显的季节变化,冬季(1 月份)是大气污染最严重的季节;夏季(7 月份)是大气污染最轻的季节。

1.3 辽宁中部城市群首要大气污染物现状分析

1.3.1 空气污染指数(API)的计算及分级

(1) 污染指数(API)的计算公式

API 的基本计算公式如下:

$$I = (I_{\text{大}} - I_{\text{小}}) / (C_{\text{大}} - C_{\text{小}}) * (C - C_{\text{小}}) + I_{\text{小}}$$

式中 C 为污染物的日均值, $C_{\text{大}}$ 与 $C_{\text{小}}$ 为 API 分级表中最贴近 C 的两个值, $C_{\text{大}}$ 为大于 C 的限值, $C_{\text{小}}$ 为小于 C 的限值; $I_{\text{大}}$ 与 $I_{\text{小}}$ 为 API 分级表中最贴近 I 的两个值, $I_{\text{大}}$ 为大于 I 的限值, $I_{\text{小}}$ 为小于 I 的限值。

(2) 首要污染物的选取

首要污染物的选取如下:

如果有 n 种污染物, 分别计算出这 n 种污染物的污染指数, $I_1, I_2 \cdots I_n$, 取它们中的最大值, 做为该区域或城市的首要大气污染物, 大气污染指数如下:

$$API = \max(I_1, I_2 \cdots I_n)$$

表 1.3 出了我国城市空气质量日报 API 分级标准、表 1.4 给出了空气污染指数范围及相应的空气质量类别。

表 1.3 空气污染指数对应的污染物浓度限值

污染指数	污染物浓度(mg/m³)				
API	SO ₂ (日均值)	NO ₂ (日均值)	PM ₁₀ (日均值)	TSP(日均值)	
50	0.050	0.080	0.050	0.120	
100	0.150	0.120	0.150	0.300	
200	0.800	0.280	0.350	0.500	
300	1.600	0.565	0.420	0.625	
400	2.100	0.750	0.500	0.875	
500	2.620	0.940	0.600	1.000	

表 1.4 空气污染指数范围及相应的空气质量类别

空气污染指数 API	空气质量状况	对健康的影响	建议采取的措施
0~50	优	可正常活动	
51~100	良		
101~150	轻微污染	轻微污染易感人群症状有轻度加剧, 健康人群出现刺激症状	心脏病和呼吸系统疾病患者应减少体力消耗和户外活动
151~200	轻度污染		
201~250	中度污染	心脏病和肺病患者症状显著加剧, 运动耐受力降低, 健康人群中普遍出现症状	老年人和心脏病、肺病患者应在停留在室内, 并减少体力活动
251~300	中度重污染		
>300	重污染	健康人运动耐受力降低, 有明显强烈症状, 提前出现某些疾病	老年人和病人应当留在室内, 避免体力消耗, 一般人群应避免户外活动

1.3.2 辽宁中部城市群首要污染物分析

分别计算 5 个城市三种污染物的日均污染指数,取最大值做为城市的首要大气污染物。表 1.5 为 2004 年 5 个城市首要污染物统计分布。经过计算比较,沈阳市的首要污染物 304 天是 PM_{10} 、3 天是 SO_2 ;抚顺市的首要污染物 303 天是 PM_{10} 、1 天是 SO_2 、3 天是 NO_2 。其他城市的分布状况见表 1.5。

表 1.5 2004 年 5 个城市首要污染物统计分布

城市	监测天数	首要污染物天数		
		PM_{10}	SO_2	NO_2
沈阳	307	304	3	0
鞍山	304	256	48	0
抚顺	307	303	1	3
本溪	304	300	3	1
辽阳	306	289	17	0

1.4 城市群 1987—2004 年大气污染物浓度年际变化趋势

图 1.2 为辽宁中部 5 个城市 1987—2004 年颗粒物(TSP 或 PM_{10})的年均浓度变化曲线。从图中可以看出,沈阳 1987—2000 年颗粒物监测的是 TSP ,2000 年以后颗粒物监测的是 PM_{10} ,为了便于比较,根据 PM_{10} 和 TSP 的比,将 PM_{10} 转换成 TSP 。

从图 1.2 可以看出,沈阳市的 TSP 年均浓度 1987 年污染最严重,年均值为 0.645 mg/m^3 ,是国家二级标准(0.2 mg/m^3)的 3.255 倍;鞍山市 1992 年污染最严重,为 0.788 mg/m^3 ,是国家二级标准的 3.94 倍;本溪市 1987 年污染最重,为 0.606 mg/m^3 ,是国家二级标准的 3.03 倍;抚顺市 1993 年污染最严重,为 0.692 mg/m^3 ,是国家二级标准的 3.46 倍;辽阳市 1992 年污染最严重,为 0.528 mg/m^3 ,是国家二级标准的 2.64 倍。通过分析可以看出,颗粒物年均浓度的总趋势是逐年减小近几年维持稳定的趋势,但颗粒物年均浓度全

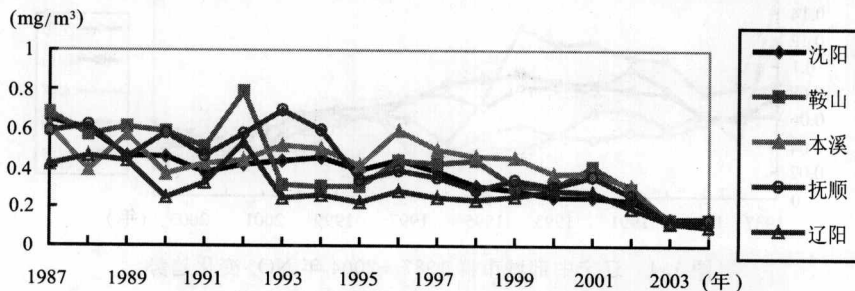


图 1.2 辽宁中部城市群 1987—2004 年颗粒物浓度年际变化趋势

部超标。

图 1.3 为辽宁中部 5 个城市 1987—2004 年 SO_2 的年均值变化曲线。从图中可以看出,沈阳市 SO_2 污染 1991 年最重,年均值为 0.15 mg/m^3 ,是国家二级标准 (0.06 mg/m^3) 的 2.5 倍;鞍山市 1994 年污染最严重,为 0.155 mg/m^3 ,是国家二级标准的 2.58 倍;本溪市 1987 年污染最严重,年均值为 0.369 mg/m^3 ,是国家二级标准的 6.15 倍;抚顺市 1987 年污染最严重,年均值为 0.094 mg/m^3 ,是国家二级标准的 1.57 倍;辽阳市 1991 年污染最严重,年均值为 0.115 mg/m^3 ,是国家二级标准的 1.92 倍。

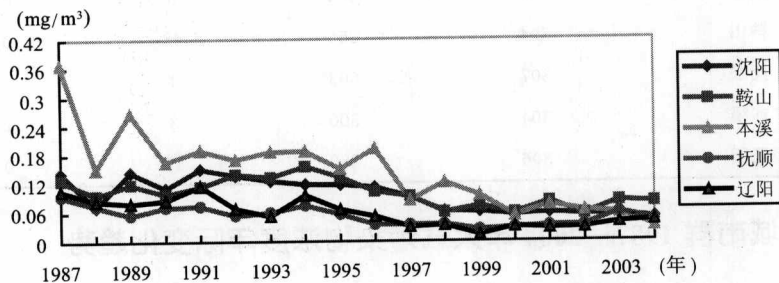


图 1.3 辽宁中部城市群 1987—2004 年 SO_2 变化趋势

图 1.4 为辽宁中部 5 城市 1987—2000 年 NO_x 年均浓度值变化曲线。从图可以看出,沈阳市的 NO_x 污染 1991 年最重,年均值为 0.096 mg/m^3 ,是国家二级标准 (0.05 mg/m^3) 的 1.92 倍;鞍山市 1994 年污染最重,为 0.092 mg/m^3 ,是国家二级标准的 1.84 倍;本溪市 1987 年污染最重,为 0.158 mg/m^3 ,是国家二级标准的 3.16 倍;抚顺市 1994 年污染最重,为 0.127 mg/m^3 ,是国家二级标准的 2.54 倍;辽阳市 1987 年污染最重,为 0.127 mg/m^3 ,是国家二级标准的 2.54 倍。

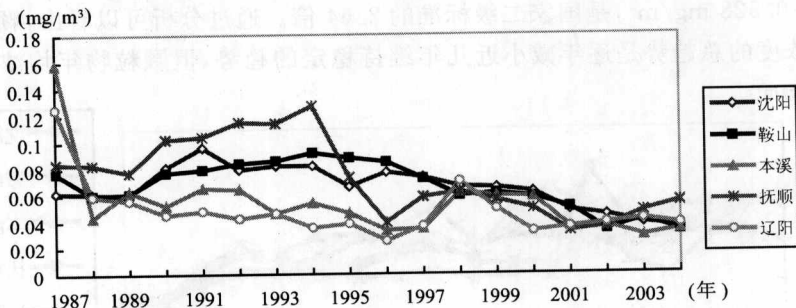


图 1.4 辽宁中部城市群 1987—2004 年 NO_x 变化趋势

通过以上分析可知,辽宁中部城市群大气污染物浓度总体是随着时间而降低的, SO_2 和 NO_x 年均浓度呈先增加后减小又保持稳定且缓慢增加的变化趋势。

到 2004 年,5 个城市 SO_2 浓度已经有 4 个城市(沈阳、抚顺、本溪、辽阳)达到国家二级标准(0.06 mg/m^3),只有鞍山一个城市超过国家标准,这说明各级政府对大气污染已经采取了有效的治理措施,并且已经初见成效。

到 2004 年 PM_{10} 年均浓度 5 个城市的值只有辽阳达到国家二级标准,这可能是近年来由于气候的不断恶化,沙尘天气的不断增加,致使大气中的颗粒物(TSP)浓度高的原因。

和其他 4 个城市相比,辽阳 NO_x 的浓度较低,1987—1989 年、1997 年超过国标,其他年份全部符合国家二级标准;沈阳、鞍山两个城市 NO_x 污染较重,到 2002 年沈阳 NO_2 一直超过国家二级标准,2003 年以后达到国家二级标准;由于随着城市化的高度发展,汽车保有量每年以 8.3% 的递增速度不断增加,致使向大气中排放的汽车尾气不断增加, NO_x 是汽车排放的主要尾气之一。

1.5 辽宁中部城市群大气污染特征分析

1.5.1 大气污染特征

根据辽宁中部城市群能源结构及多年大气环境监测结果分析表明,辽宁中部城市群的大气污染属于煤烟、汽车尾气和自然扬尘混合型污染,其中以煤烟型污染为主,大气中的主要污染物为颗粒物(TSP、 PM_{10})和 SO_2 。大气环境质量按 GB3095-1996《环境空气质量标准》中的二级标准来要求,5 个城市的 TSP 浓度均超标; SO_2 、 NO_x 浓度存在明显的季节变化,冬季浓度值很高,夏季浓度值较低。

1.5.2 原因分析

(1) 特殊的地形和气象条件,不利于大气污染物的稀释和扩散

a. 特殊的地形

辽宁中部城市群地形具有多样性,沈阳、鞍山、辽阳属平原地区;本溪地形较复杂,四面被群山包围;抚顺东西长、南北窄,处在低山丘陵地带。地形的多样性,使得局地受热和冷却不均匀而形成中尺度地方风系(山谷风等),不利于整个区域大气污染物的扩散。

b. 地面风

表 1.6 为 5 城市 1987—2004 年地面风向频率分布,通过分析可知,辽宁中部各城市的静风频率都很高,且该地区常年受长白山小高压的影响,大气状态比较稳定,不利于污染物的扩散输送;冬季、春季的大风天气,加重了城市的沙尘污染。

表 1.6 辽宁中部 5 城市 1987—2004 年风向频率分布 (单位: %)

城市	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
沈阳	5.7	7.8	6.3	7.4	3.1	1.3	2.1	4.9	10.2	14.6	8.2	3.8	3.2	2.9	3.0	4.7	10.9
鞍山	3.9	9.1	7.0	3.1	1.4	4.1	9.0	9.1	7.7	11.3	4.8	4.5	3.1	4.1	3.6	3.7	10.4
本溪	2.2	1.6	2.9	13.2	16.3	4.4	2.0	1.9	4.9	4.5	7.5	6.3	6.9	4.0	4.4	1.6	15.4
抚顺	5.4	15.4	15.2	4.5	3.3	1.4	1.8	2.0	3.2	3.8	5.4	7.3	5.6	3.1	2.9	3.5	16.4
辽阳	6.4	6.5	6.1	2.1	3.7	4.6	3.6	7.2	9.7	6.9	7.4	6.4	4.8	2.9	4.1	5.0	12.5

(2) 逆温

通过收集各城市历年的低空探空资料,分析了 5 个城市逆温的强度及出现的频率(见表 1.7),从表中可知,该地区冬季逆温比较严重,抑制了污染物的扩散输送,加重了该地区城市的大气污染。

表 1.7 辽宁中部 5 城市大气边界层冬季逆温特征分布

城市	接地逆温强度 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)	厚度(m)	非接地逆温强度 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)	厚度(m)	逆温出现频率(%)
沈阳	2.6	150	1.2	282	95.2%
鞍山	0.9	190	1.3	150	100%
本溪	1.2	75	1.4	214	96.6%
抚顺	2.2	169	1.2	169	98.0%
辽阳	2.1	110	1.1	142	97.6%

(3) 城市之间所排放的大气污染物相互作用、相互影响

由于城市化的发展,城市之间已经没有明显的界限,城市之间所排放的大气污染物相互作用、相互影响。如:辽阳处在鞍山主导风向的下风向,鞍山的大气污染物通过大气的输送就可以影响辽阳,沈阳和抚顺两城市之间大气污染物互相影响,由此形成了特有的“城市群”污染。

(4) 工业布局和能源利用不合理

辽宁中部城市群由于历史的原因工业布局不合理,城市行业门类齐全,包括能源、原材料、石油、化工、冶金、煤炭、机械、电子、电力、轻工、纺织等等。许多工业区和居民区混杂在一起,有的居民区甚至在工业区的下风向,加重了工业排放造成的对居民区的大气污染。工业生产、居民生活等大量的燃煤、各种低矮面源、烧烤等造成的近地面排放污染严重,尤其在冬季采暖期,燃煤量显著增加,各类污染物的日平均浓度明显增大。

(5) 恶劣的沙尘天气使大气污染加重

近年来,辽宁省城市环境空气沙尘污染日趋严重,颗粒物始终是影响中部