



邹 滨 湛飞并 曾永年 著

SPATIAL-TEMPORAL

MODELING AND RISK ASSESSMENT OF
AIR POLLUTION EXPOSURE

**空气污染暴露
时空建模与风险评估**

中国环境科学出版社

013041461

X510.3
01

空气污染暴露 时空建模与风险评估

邹 滨 湛飞井 曾永年 著



X510.3
01

中国环境科学出版社·北京



北航

C1649854

图书在版编目 (CIP) 数据

空气污染暴露时空建模与风险评估/邹滨, 湛飞并, 曾永年著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.9

ISBN 978-7-5111-1106-7

I. ①空… II. ①邹…②湛…③曾… III. ①空气污染监测—建立模型②空气污染监测—风险评价
IV. ①X831

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 206415 号

责任编辑 孔 锦
责任校对 尹 芳
封面设计 刘丹妮

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67187041 (学术著作图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 11 月第 1 版
印 次 2012 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 19.25 彩插 8
字 数 360 千字
定 价 58.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

序

自 20 世纪世界著名的五大空气污染公害事件相继爆发以来,人类开始从真正意义上认识到空气污染对人体健康的巨大危害。世界经济合作与发展组织(OECD)在 2008 年 7 月 17 日公布的《OECD 中国环境绩效评估》报告中曾指出:“中国每年约有 2 000 万人患呼吸道疾病,550 万人患慢性支气管炎,预计到 2020 年,每年约有 60 万城市人口将因空气污染而死亡……”在当前全球各大城市空气污染进一步加剧的背景下,如何控制空气污染、降低空气污染对人体健康的危害已成为世界各国环境、卫生,以及公共安全领域共同面临的挑战。

空气污染与人类健康研究是环境与健康研究领域的一个重要方面。空气污染是否会对人体健康造成损害,主要取决于作为受体的人在时间和空间场中的空气污染物的种类及人体暴露的强度。尽管早在 1854 年英国伦敦宽街水井污染与霍乱暴发的流行病学分析研究中就已经开始运用环境与健康关联分析的思想,但直接面向空气污染暴露健康危害的研究实质上是发生在约 140 年之后。20 世纪 90 年代以来,伴随着地理空间分析、环境模拟、地学统计等多种技术手段的进步,全球各国空气污染健康危害研究的发展极为迅速,已经从最开始的受体是否存在空气污染暴露的定性评估转向了顾及受体时空活动格局特征的空气污染暴露强度定量评估。这一研究方向的转变极大地推动了空气污染暴露健康危害的甄别向精、准道路发展,空气污染健康危害研究自此也成了环境与健康、地理信息科学等领域共同关注的热点与难点研究问题之一。

目前,国内外学者围绕空气污染暴露健康危害主题已经在空气污染分布模拟、受体暴露评估方法、污染物健康效应识别等方面取得了可喜的成绩,研究成果也正逐步在城市规划、环境规划、疾病防控等领域推广应用。需要注意的是,在一个较大的地理范围内,空气污染特征和个体活动特征往往存在很大的时空差异,受体空气污染暴露的过程也更加复杂,因而有必要在明确典型空气污染物各类特征基础上理清一定地理范围内受体空气污染暴露的过程与风险。至今,国内外已经有多部有关空气污染扩散模拟、环境暴露流行病学分析的研究著作,但还没有专门针对空气污染暴露人体健康危害时空甄别的学术著作出现。为此,作者结合近几年在环境健康领域的研究成果与思考,尝试撰写了该本题为空气污染暴露时空建模与风险评估的学术著作。本书旨在向相关研究人

员提供一本覆盖空气污染与人类健康研究基础理论、方法和应用研究案例的专业性、实用性、指向性书籍。书中内容是在对国内外现有相关研究成果进行简略梳理的基础上,对作者在空气污染暴露时空建模与风险探测领域一些研究成果与见解的总结,希望能够促进空气污染与人类健康这一边缘交叉前沿科学问题的深入、系统研究。

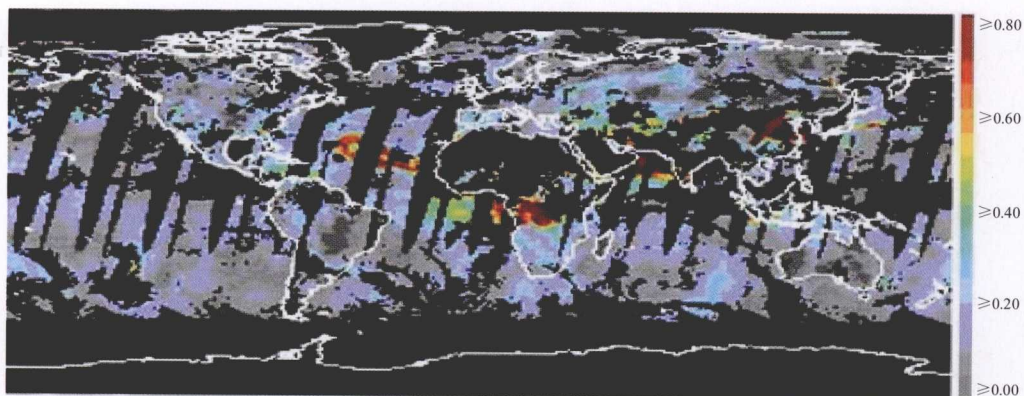
本书研究内容是环境科学、公共卫生科学、地理信息科学等多学科和技术交叉的产物,具体内容分为四篇。第一篇包括第1章和第2章,主要介绍了本书的写作背景和写作目的,空气污染与人类健康主题的基本术语、统计度量方式、文献资料获取方式和常用软件工具,并从空气污染概述、全球空气污染状况、空气污染对人体健康的危害、降低空气污染健康危害潜在途径四个方面阐述了空气污染相关背景知识。第二篇包括第3~9章,主要首先从空气污染与人类健康研究理论基础角度出发对空气污染毒理、空气污染健康风险评价、空气污染与人类健康研究国内外研究进展、“3S”基本理论、空间依赖与GIS空间分析方法在环境与健康研究中的特殊贡献进行了概述;然后着重介绍了空气污染浓度数据、空气质量分级数据和空气污染排放数据的获取方式,以及当前主流的空气污染暴露评估方法。第三篇包括第10章和第11章,主要以新生儿低体重缺陷和免唇缺陷两个实例向读者展示了空气污染暴露评估方法在空气污染与人体健康研究中的应用过程。第四篇是第12章,主要从全球背景下的空气污染、空气污染暴露公正评价和空气污染暴露多尺度评估三个方面论述了当前空气污染暴露评估的潜在研究热点。

本书出版得到了中南大学博士后基金、中南大学升华猎英计划高层次人才资助项目(1681-7601110176)、国家自然科学基金青年项目(41201384)、湖南省科技计划项目(2011FJ4167)、武汉大学长江学者湛飞并建设资助经费(205-276359)、数字制图与国土应用工程国家测绘地理信息局重点实验室开放基金(GCWD201104)的联合资助。感谢彭芬、罗艳青、吴孔江、郑忠、于菲菲、陈思莹等研究生在本书写作过程中的资料收集与整理工作。特别感谢中南大学地球科学与信息物理学院副院长朱建军教授,测绘与国土信息工程系李志伟教授、邓敏教授,武汉大学资源与环境科学学院刘耀林教授、蔡忠亮教授、焦利民副教授、魏秀琴老师、美国得克萨斯大学Brownsville分校Jeff G. Wilson副教授、美国内布拉斯加大学医学中心健康服务研究与管理系万能博士、英国牛津大学地理与环境科学学院Troy Strenberg博士等在本书写作过程中给予的指导、关心与支持!

空气污染与人类健康关系的研究目前无论在理论、方法,还是在应用方面都还处于起步阶段,作为第一本直接探讨空气污染暴露时空建模与风险探测研究的学术著作,尽管作者在写作过程中力求内容的系统、完整、完美,但限于作者学识与经验,不妥之处在所难免,敬请各位专家、读者不吝批评指正。

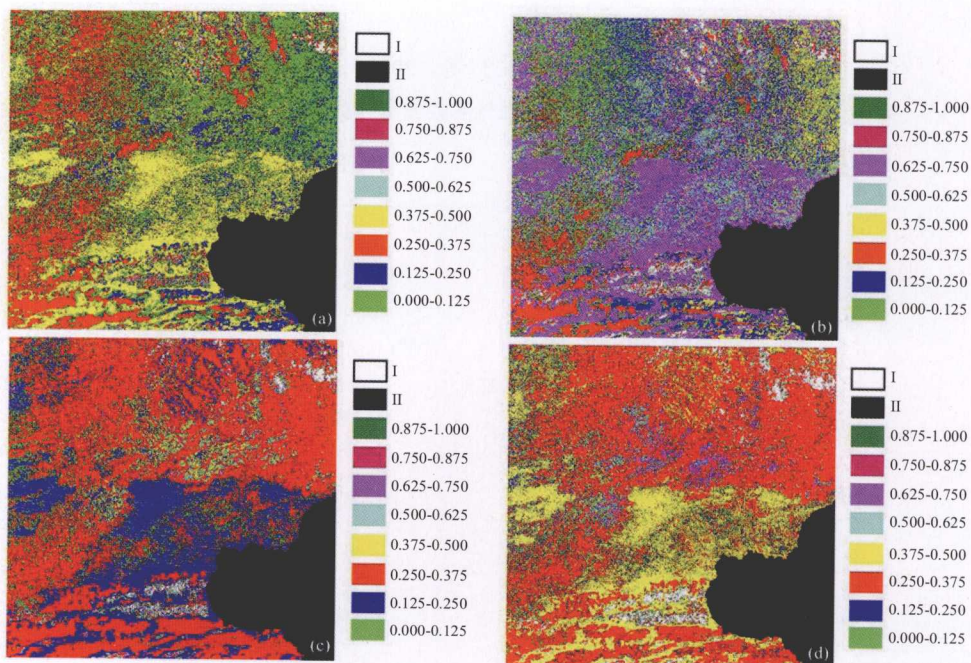
作者

2012年8月



(源自: http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/-IMAGES/mod08d_menu_c51.html)

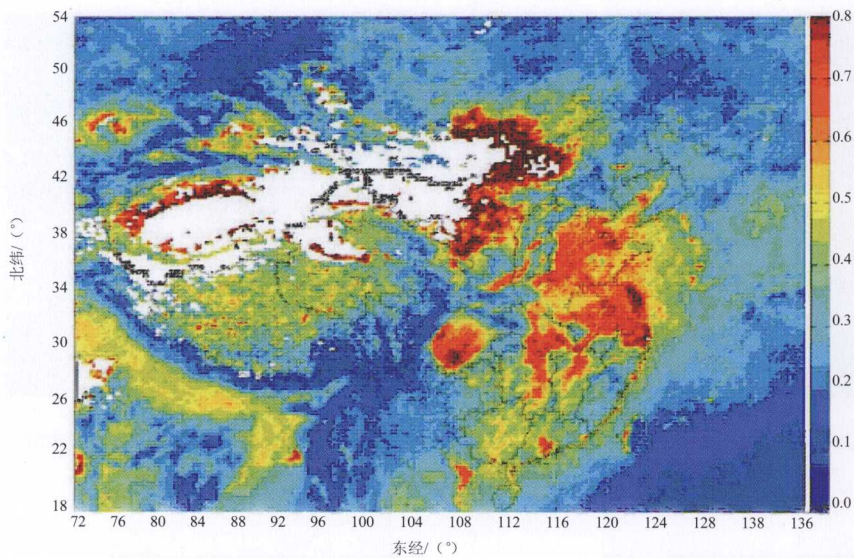
彩图 1 MODIS 2011 年 8 月 13 日全球气溶胶光学厚度分布图



(a) Terra/MODIS 波段 1 气溶胶光学厚度, (b) Terra/MODIS 波段 3 气溶胶光学厚度, (c) Aqua/MODIS 波段 1 气溶胶光学厚度, (d) Aqua/MODIS 波段 3 气溶胶光学厚度; I 为云, II 为水体 (源自: 唐家奎 等, 2005)

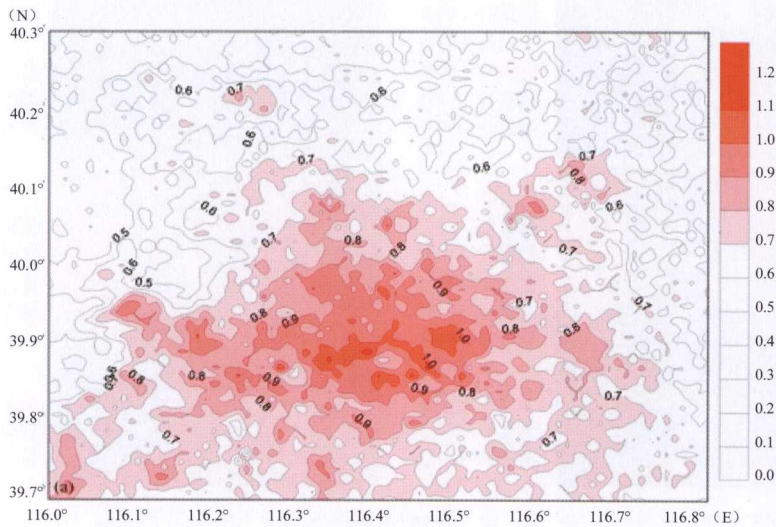
彩图 2 Terra-MODIS 和 Aqua-MODIS 波段 1 ($0.66 \mu\text{m}$) 和波段 3 ($0.47 \mu\text{m}$)

反演的气溶胶光学厚度 (卫星过境时间 2004 年 6 月 1 日)



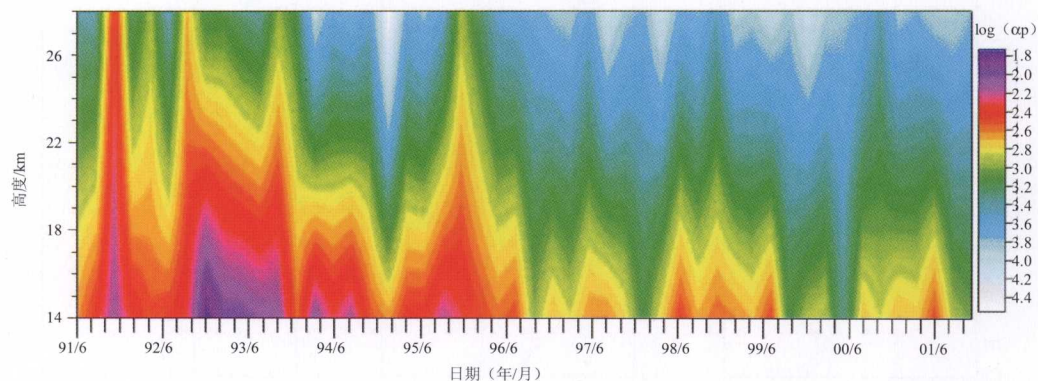
(修改自：李成才 等，2003)

彩图 3 基于 MODIS 反演的我国陆地气溶胶光学厚度年均分布 (2002 年)



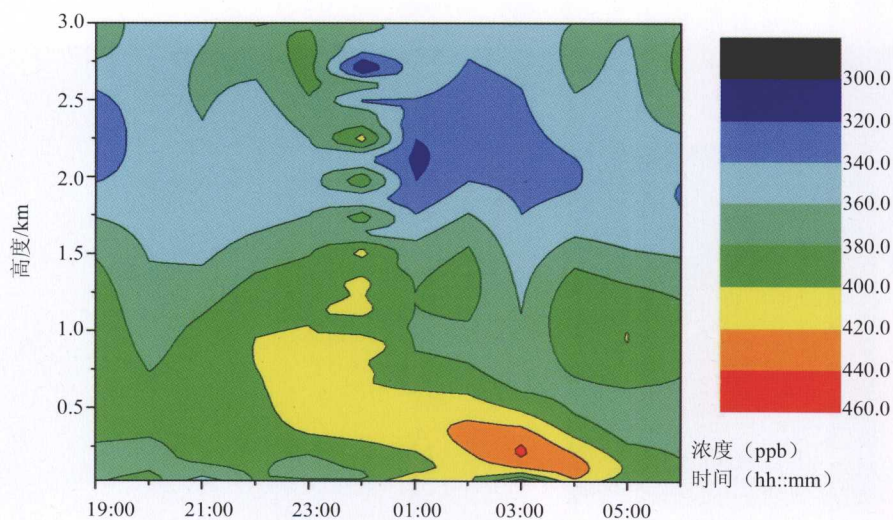
(修改自：李成才 等，2005)

彩图 4 利用 MODIS 资料反演的北京市及城区周边气溶胶光学厚度年平均分布 (2003)



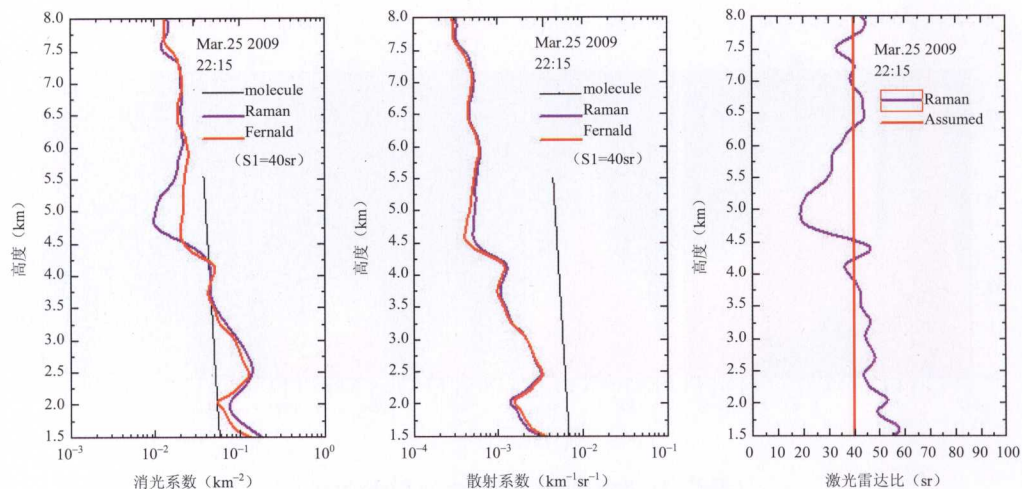
(修改自: <http://lidar.aiofm.ac.cn/L625.html>)

彩图 5 基于米散射激光雷达的合肥地区上空菲律宾 Pinatobu 火山灰
(1991 年 6 月中旬爆发) 气溶胶分布



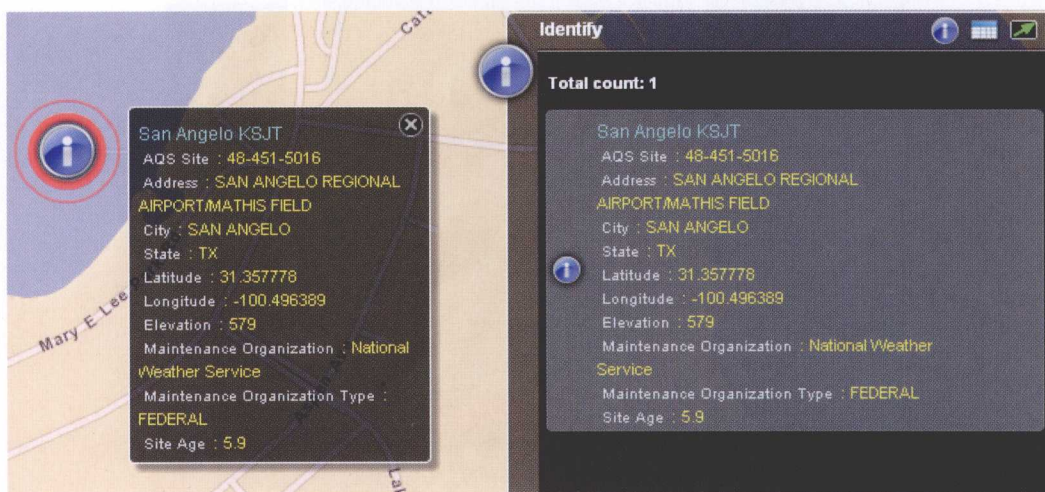
(修改自: <http://lidar.aiofm.ac.cn/AML.htm>)

彩图 6 基于拉曼散射激光雷达的合肥地区垂直 CO₂ 浓度



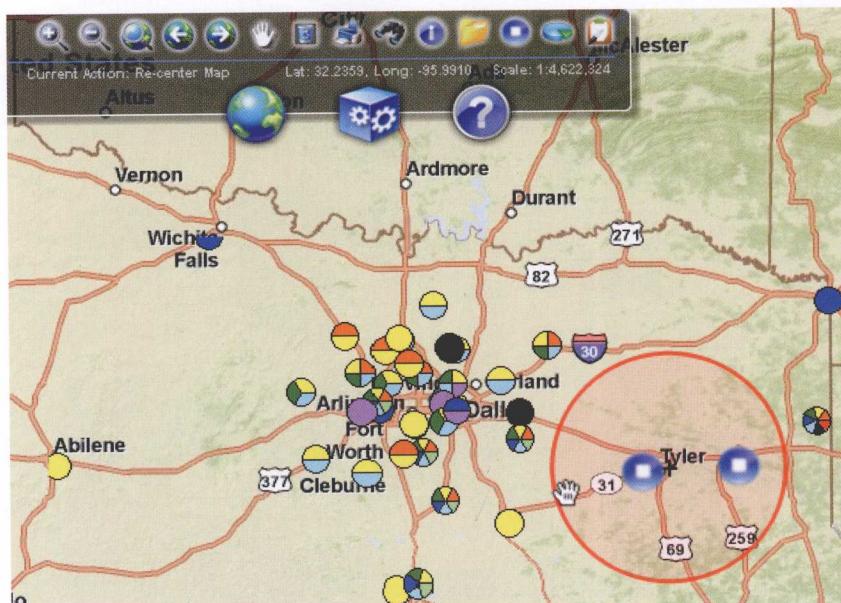
(修改自: <http://lidar.aiofm.ac.cn/CZL.htm>)

彩图 7 基于差分吸收激光雷达的大气气溶胶消光系数、后向散射系数和雷达比测量结果



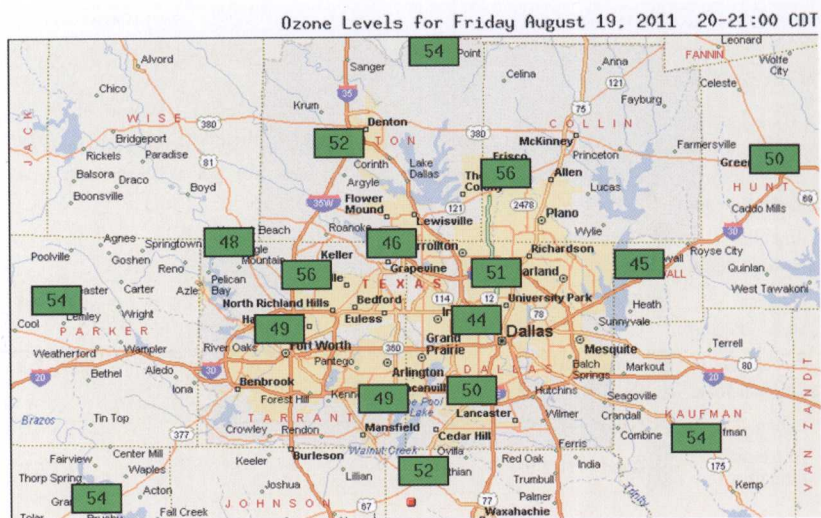
(源自: <http://gis3.tceq.state.tx.us/geotam/index.html>)

彩图 8 空气质量监测站点识别示意图



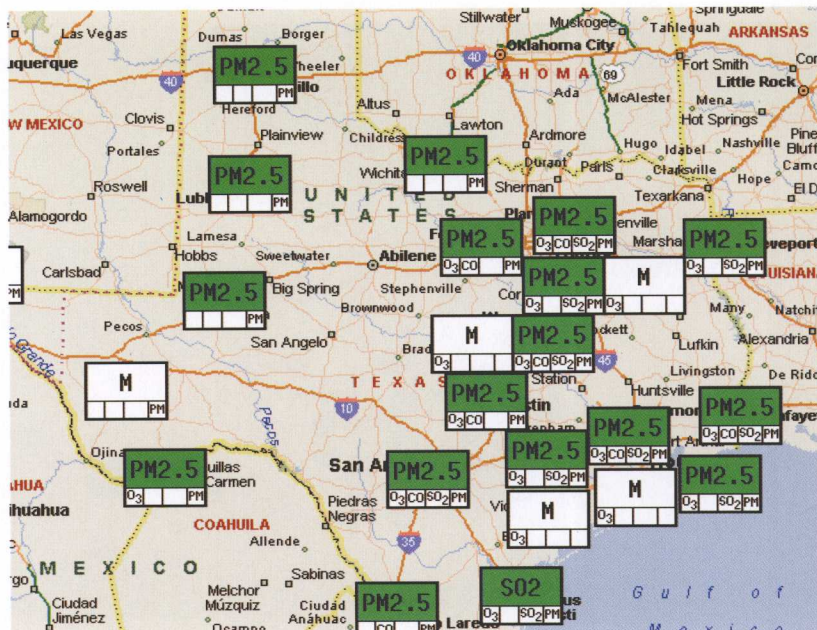
(源自: <http://gis3.tceq.state.tx.us/geotam/index.html>)

彩图 9 基于缓冲区的空气污染源潜在作用区域探测



(单位: ppb, 源自: <http://www.tceq.texas.gov/cgi-bin/compliance/monops/>)

彩图 10 空气污染浓度查询示意图



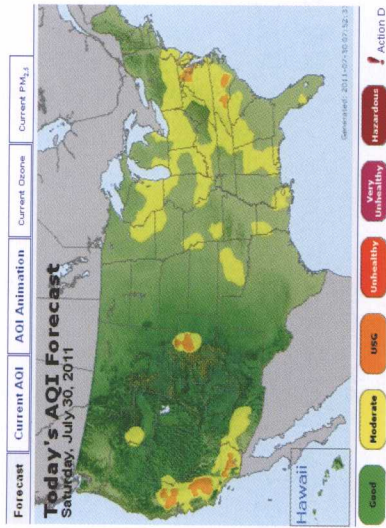
(源自: http://www.tceq.texas.gov/cgi-bin/compliance/monops/air_map.pl)

彩图 11 空气污染指数查询示意图

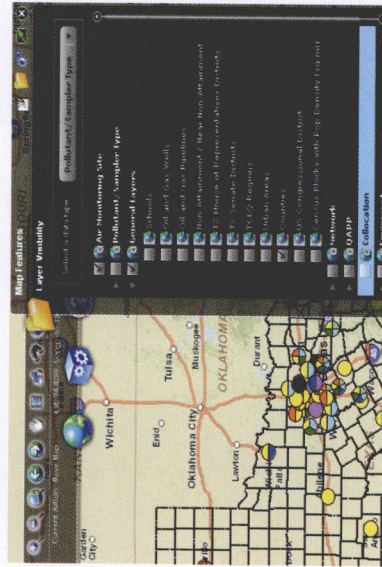
Reporting for July 30, 2011 as of 2:12 am CDT														
July 30 2011 Select a Different Date														
Metropolitan Area or Non-Metropolitan County	Air Quality	Critical Pollutant	Air Quality Index Rating											
			Ozone				Carbon Monoxide	Sulfur Dioxide	PM-10 (Std Cond)	PM-2.5 (Lcl Acpt)				
			1-Hour		8-Hour		8-Hour	24-Hour †	24-Hour †	24-Hour †				
			AQI	ppb	AQI	ppb	AQI	ppm	AQI	ppb	AQI	ug/m3	AQI	ug/m3
Amarillo – Region 1														
Amarillo	Good	PM-2.5											38	11.7
Lubbock – Region 2														
Lubbock	Good	PM-2.5											24	7.4
Abilene – Region 3														
Wichita Falls	Good	PM-2.5											27	8.3
Dallas-Fort Worth – Region 4														
Dallas 1	Good	PM-2.5	*	26	‡			5	3				14	4.2
Fort Worth-Arlington 1	Good	PM-2.5	*	41	‡		\$						19	5.8

(源自: http://www.tceq.texas.gov/cgi-bin/compliance/monops/air_rpt.pl)

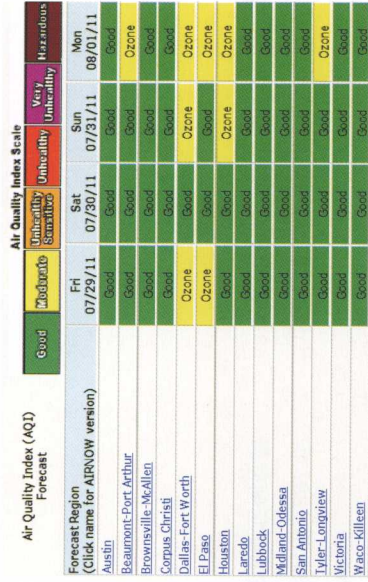
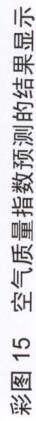
彩图 12 空气质量数值模拟预报结果示意图 1



(源白: http://www.airnow.gov/index.cfm?action=airnow_noaamaps)



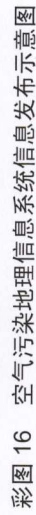
(源白: <http://www.tceq.texas.gov/airquality/monops/forecast.today.html>)



(源白: [http://www.tceq.texas.gov/airquality/monops/forecast today.html](http://www.tceq.texas.gov/airquality/monops/forecast%20today.html))



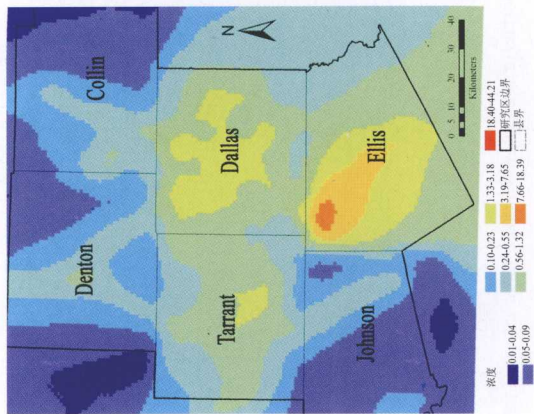
(源白: <http://gis3.tceq.state.tx.us/geotam/index.html>)





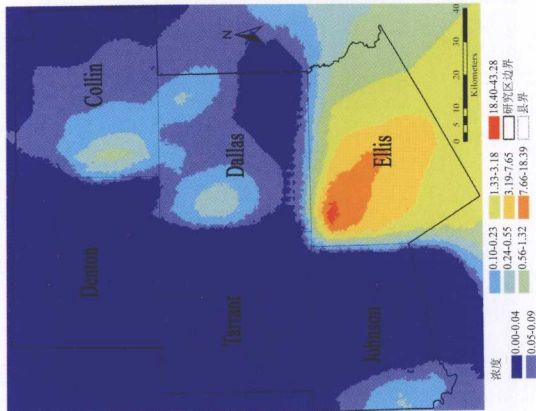
北航

C1649854



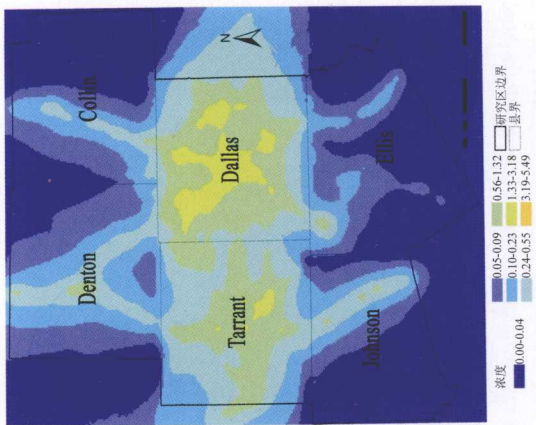
(单位: $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

彩图 17 点&线复合污染源输入下 1997 年
研究区 SO_2 年均暴露浓度空间差异



(单位: $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

彩图 18 点污染源输入下 1997 年
研究区 SO_2 年均暴露浓度空间差异



(单位: $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

彩图 19 线污染源输入下 1997 年
研究区 SO_2 年均暴露浓度空间差异

目 录

第一篇 引 言

1 导 论	1
1.1 背景与目标	1
1.2 全书结构	3
1.3 基本术语	4
1.4 常见统计度量方式	8
1.5 相关文献资源	13
1.6 软件和工具介绍	17
2 空气污染与健康危害防治概述	21
2.1 空气污染概述	21
2.2 全球空气污染概况	34
2.3 空气污染对人体健康的危害	40
2.4 降低空气污染健康危害的潜在途径	44

第二篇 空气污染暴露评估理论与方法

3 空气污染与人类健康研究理论基础	49
3.1 空气污染毒理学基础	49
3.2 空气污染健康风险评价	54
3.3 空气污染与人类健康国内外研究进展	58
3.4 空间依赖与 GIS 空间分析方法的特殊贡献	62
4 空气污染数据获取	68
4.1 空气污染浓度数据获取方法	68
4.2 空气污染分级数据	84

4.3	空气污染物排放数据	88
5	空气污染地理信息系统	93
5.1	空气污染地理信息系统概述	93
5.2	空气污染地理信息系统设计与实现基础	94
5.3	空气污染地理信息系统构建与应用案例	102
6	主流空气污染暴露评估方法介绍	109
6.1	空气污染暴露及其测量方法概述	109
6.2	邻近性模型	113
6.3	空间插值模型	114
6.4	土地利用回归模型	116
6.5	空气污染扩散模型	118
6.6	个体吸入式模型	120
6.7	混合模型	121
6.8	“3S”技术支持下的空气污染暴露评估	124
7	基于 EWPM 的空气污染暴露评估研究	127
7.1	引言	127
7.2	EWPM 原理与实现	128
7.3	EWPM 可靠性评估	129
7.4	Geo-statistical-EWPM 空气污染暴露评估模式	133
8	基于 AERMOD 的空气污染暴露评估研究	142
8.1	引言	142
8.2	AERMOD 基本原理与实现	143
8.3	AERMOD 可靠性评估	145
8.4	Geo-statistical-AERMOD 空气污染暴露评估	164
8.5	城市人口空气污染暴露源贡献解析研究	171
9	EWPM 与 AERMOD 空气污染暴露风险评估方法对比研究	181
9.1	引言	181
9.2	数据收集与预处理	182
9.3	基于空气质量观测浓度的 EWPM 与 AERMOD 模型空气污染暴露 风险评估精度分析	183

9.4 EWPM 对 AERMOD 的可替代性分析	186
9.5 研究局限性分析	191

第三篇 空气污染健康风险研究案例

10 基于 Geo-statistical-AERMOD 的新生儿低体重风险分析	195
10.1 引言	195
10.2 数据收集与预处理	196
10.3 基于 Geo-statistical-AERMOD 模式的母亲妊娠期 SO ₂ 暴露评估	203
10.4 新生儿低体重风险统计分析方法	205
10.5 新生儿低体重风险基本特征	207
10.6 母亲妊娠期 SO ₂ 暴露下新生儿低体重风险特征	209
10.7 研究局限性分析	218
11 基于 TPM 与 HEM-Screen 的新生儿兔唇缺陷风险对比研究	220
11.1 引言	220
11.2 数据收集与预处理	221
11.3 TPM 与 HEM-Screen 支持下的母亲 VOCs 暴露评估	225
11.4 新生儿兔唇缺陷风险统计分析方法	238
11.5 新生儿兔唇缺陷风险基本特征分析	240
11.6 母亲 VOCs 暴露下新生儿兔唇缺陷风险特征分析	244

第四篇 展望

12 全球变化背景下的空气污染研究热点	257
12.1 CO ₂ 温室效应	257
12.2 O ₃ 空洞	261
12.3 酸雨	264
12.4 空气污染暴露公正评价	266
12.5 空气污染暴露多尺度评估	276
参考文献	281

第一篇 引言

1 导论

【本章导读】本章首先介绍了全书的写作背景、写作目的和目标读者范围；然后对全书结构及与书中内容相关的基本学术术语和常见统计度量方式进行了说明；最后对空气污染与环境健康研究领域的相关文献资源和软件工具进行了详细介绍。

1.1 背景与目标

历经农业社会、工业社会，人类社会的发展正迈向信息化。在此过程中，人类与自然的关系也由整体和谐、局部紧张，演变为当前的全球范围紧张态势。人类对自然规律的干扰、对资源的消耗、对污染物的肆意排放，在全球很多地区都已经超过当地自然承载力和环境容量。人类正在遭受自然的严重报复，一系列典型的“环境事件”和一连串的“污染数据”时刻让我们去思考、正视环境破坏留给我们深刻而惨痛的教训。

20 世纪，世界各国先后出现了严重的空气污染公害事件，人类大范围自食空气污染苦果，空气污染问题从此引起了人类的广泛关注。世界著名的五大空气污染公害事件如下：

(1) 1930 年比利时马斯河谷事件：1930 年 12 月 1—5 日，马斯河谷工业区工厂排放的有害气体使空气中二氧化硫 (SO_2) 浓度高达 $25\sim 100\text{ mg/m}^3$ ，一周内造成约 60 人死亡。

(2) 1943 年美国洛杉矶烟雾事件：1940 年初，洛杉矶市汽车排放的尾气在日光作用下产生了持续几天的光化学烟雾，造成大多数居民出现眼肿、流泪、喉痛、胸痛等症状，65 岁以上老人死亡 400 余人。