

个旧市城区大气环境影响因素分析

肖 娴*, 徐 松, 钱怡婷

云南省生态环境工程评估中心, 云南 昆明

Email: xian627rainbowsky@yeah.net

收稿日期: 2021年3月17日; 录用日期: 2021年4月18日; 发布日期: 2021年4月25日

摘 要

利用AERMOD模型, 模拟了个旧市城区周边污染源排放在气象条件、城市效应及地形作用下对个旧市城区SO₂、NO₂及PM₁₀的贡献及影响。结果表明: 基于城区周边污染源达标排放, 在不利气象条件下仍然会对个旧城区大气环境质量造成一定不利影响; 城市效应对大气环境影响不显著; 个旧地形复杂, 城区与两侧山体高差较大, 存在明显山谷风, 山体对污染物的输送和扩散造成了较大阻挡作用, 不利于污染物向外扩散, 是造成城区南部大气环境超标的主要原因。

关键词

污染物贡献, 气象条件, 城市效应, 地形

Analysis of the Influence Factors of the Atmosphere Environment in Gejiu

Xian Xiao*, Song Xu, Yiting Qian

Yunnan Appraisal Center for Ecological and Environmental Engineering, Kunming Yunnan

Email: xian627rainbowsky@yeah.net

Received: Mar. 17th, 2021; accepted: Apr. 18th, 2021; published: Apr. 25th, 2021

Abstract

In this study, AERMOD modeling system was used, to analyze how the pollution sources in the city surrounding area are influencing the air quality with the impact of different meteorological conditions, tropical island effect and complex topography. Results showed that emission resources within the standard will impact city atmosphere environment when meeting unfavorable meteo-

*第一作者。

rological conditions; the influence of tropical island effect was not strong; based on the complex terrain, topographic height difference was great, Mountain Valley Breeze (MVB) was obvious, and the existence of mountain obstructed the pollutant transportation and dispersion, which mainly led the air pollution on southern city.

Keywords

Pollutant Contribution, Meteorological Conditions, Tropical Island Effect, Complex Terrain

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

个旧市是云南省传统的有色金属冶炼地区, 有色金属冶炼产能大、企业密集度高[1] [2] [3]; 个旧市城区地处老阴山、老阳山之间, 地形条件对气象条件分割较为明显[4]。2014~2016 年期间, 个旧市城区空气质量无法稳定达到《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准, 个别污染物出现了超标。本文基于个旧市城区大气环境历史情况, 针对重点工业有组织污染源、气象条件和地形作用等影响因素开展了研究, 为实现个旧市城区环境空气质量逐步改善、制定环境空气质量改善方案提供理论及技术支撑。

2. 研究方法

2.1. 数据来源

本文使用的空气质量分析数据来源于个旧市环境监测站提供的 2016 年个旧市区 3 个常规环境空气质量监测点位(少年宫、建安仓库、宝华寺)监测数据, 监测因子包括 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 。地面气象数据来源于个旧站(站号 56984) 2016 年全年逐小时的地面气象数据; 云量数据来自生态环境部环境工程评估中心 2016 年全年逐小时遥感反演数据; 高空气象数据来源于距离个旧市城区 28 km 的蒙自站 2016 年的高空探空实测数据。

本文使用的污染源数据包括为出现空气质量污染期间个旧市城区及其附近涉及工业污染源, 包括: 个旧市西北侧的火谷都片区(个旧市金冶矿产有限公司、个旧市云新有色电解有限公司、个旧市自立矿业有限公司、云南锡业股份有限公司化工材料分公司)、位于个旧市城区东侧的小凹塘工业片区(个旧市锡城有色金属废渣处理厂、个旧市富祥工贸有限责任公司、红河州云祥矿业有限公司)以及位于个旧市的云南锡业股份有限公司冶炼分公司及云河药业共 9 家企业。

2.2. 研究方法

利用 AERMOD 模型, 通过分情景进行多次模拟预测, 解析气象条件、地形、热岛效应、不同区域污染排放源等对大气环境的影响。预测情景方案见表 1。

3. 结果与讨论

3.1. 基准方案下个旧市城区大气环境贡献影响

根据 AERMOD 预测结果, 最不利小时及日均气象状况及年均状况下现状污染源主要污染物对各关

心点及区域最大落地浓度贡献情况统计于表 2，该情境下超标范围示意图见图 1。

Table 1. Study and forecast case

表 1. 研究及预测情景方案

方案编号	模拟方案	模拟内容
1	考虑热岛效应、地形作用(基准方案)	敏感点、网格点小时、日均及年均浓度
2	基准方案	不同气象条件下浓度分布情况
3	不考虑热岛效应	敏感点、网格点小时、日均及年均浓度
4	不考虑地形影响	敏感点、网格点小时、日均及年均浓度
5	市区、小凹塘、火谷都片区超标排放	敏感点小时、日均及年均浓度

Table 2. Pollution concentration of base case

表 2. 城区周边污染源达标排放污染物贡献情况

贡献浓度	模拟点	SO ₂		NO ₂		PM ₁₀	
		浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)
小时最大浓度	宝华寺	828.41 (*0.0683%)	165.68	304.70 (*0.0455%)	152.35	104.64	-
	少年宫	526.881 (*0.0114%)	105.38	176.828	88.41	103.52	-
	建安仓库	548.058 (*0.02%)	109.61	145.963	72.98	71.63	-
	网格最大点	14926 (*5.49%)	2985.2	3411.227 (*0.03%)	1705.61	1573.79	-
日均最大浓度	宝华寺	121.93	81.29	44.13	55.17	14.86	9.91
	少年宫	109.50	73	33.96	42.45	17.61	11.74
	建安仓库	58.00	38.66	16.08	20.09	7.22	4.81
	网格最大点	1302.22 (*0.19%)	868.15	302.41 (*0.02%)	378.01	135.60	90.4
年均浓度	宝华寺	7.51	12.52	2.42	6.05	0.87	1.24
	少年宫	11.91	19.84	3.77	9.41	1.45	2.07
	建安仓库	24.93	41.56	7.01	17.52	2.78	3.97
	网格最大点	248.95 (*0.53%)	414.91	57.96	144.9	26.76	38.23

*超标率。

在达标排放情况下，三个关心点 SO₂ 小时及日均浓度均出现了超标，其中宝华寺点超标最为严重，SO₂ 小时贡献浓度超标主要出现在个旧市区以外北部的山麓之间，金湖以北、以东及以南的城区均存在不同范围的小时超标的个例情况，但超标率很低；关心点 SO₂ 日均最大贡献浓度占标率满足二级标准相关要求，但区域日均最大贡献浓度依然超标，超标点位于城区以外，超标主要存在于北部山麓，同时城区外围靠近山体周围的区域也存在小范围的个例超标情况；个旧市城区范围内在云锡冶炼分公司北部存在 SO₂ 年均浓度小面积超标。三个关心点中，宝华寺 NO₂ 小时最大贡献浓度也出现了超标，区域小时最大落地浓度主要超标区域集中在火谷都片区，其次对城市北部及东部山脊附近城区易造成影响；区域日

均最大贡献浓度亦超标，超标区域在城区以外；各关心点以建安仓库年均浓度占标率最大，区域最大落地年均浓度同样超标，超标区域位于火谷都片区小范围区域； PM_{10} 日均最大贡献浓度及年均贡献浓度满足《环境空气质量标准》中二级标准限值。

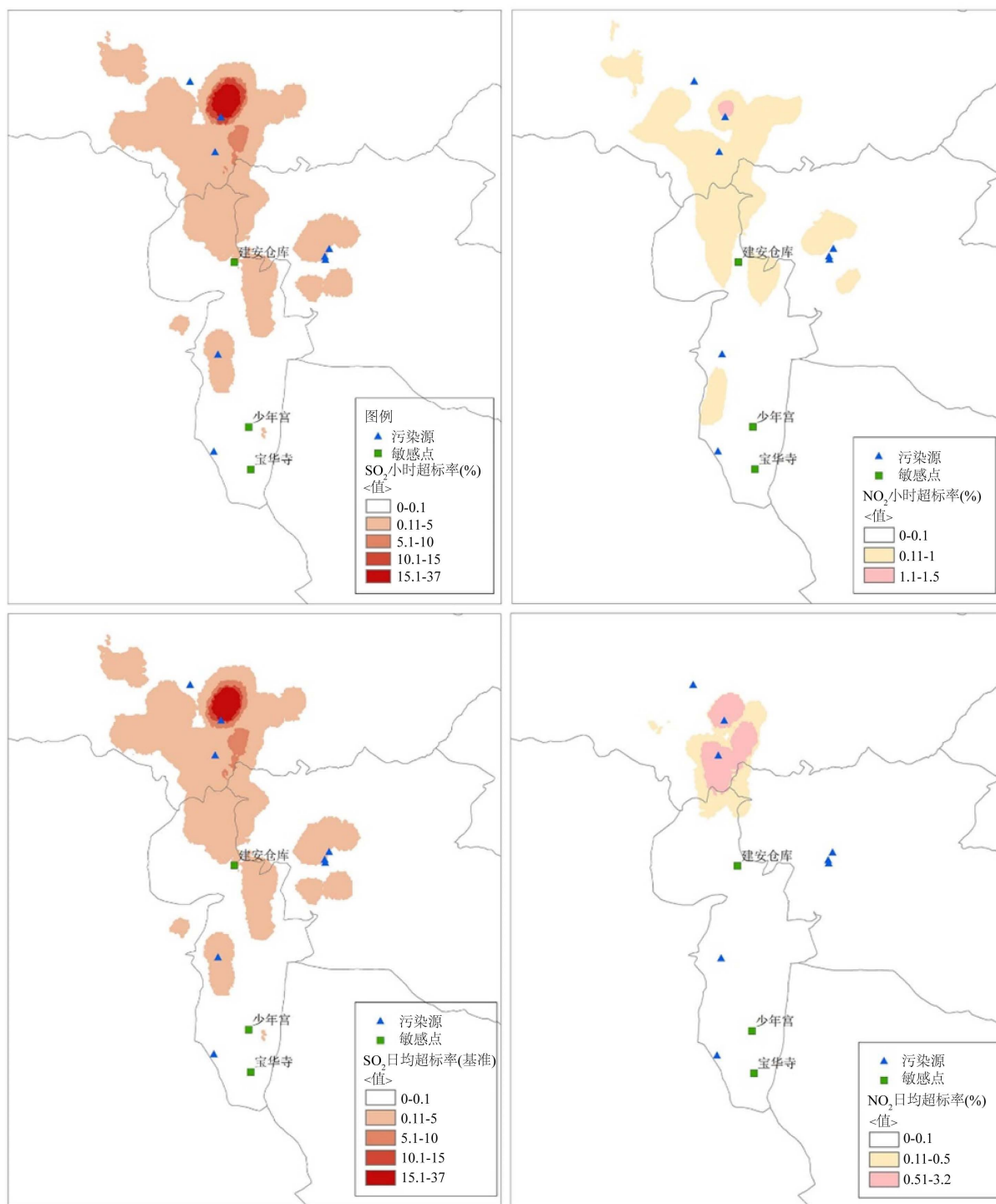


Figure 1. Distribution of exceeding standard rate of pollutant

图 1. 基本方案污染物超标率分布图

根据污染源达标排放情景下污染物贡献值与监测值对比结果(表 3), 污染源污染物达标排放时, 各重点污染源对各监测点 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 年均贡献浓度占监测浓度比例不大; 对各监测点 SO_2 及 NO_2 最大日均贡献浓度占监测浓度较大, 在假设达标排放的情况下, 部分站点污染物贡献值超过了监测值。

Table 3. Contrast of forecasting concentration and monitoring concentration

表 3. 基准方案预测浓度与监测浓度对比

污染物 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	模拟情景	最大日均浓度				年均浓度			
		预测 浓度	出现 日期	监测 浓度	比例(%)	预测 浓度	出现 日期	监测 浓度	比例(%)
SO_2	宝华寺	121.93	161002	177	68.89	7.51	-	61.06	12.31
	少年宫	109.5	161002	133	82.33	11.91	-	85.33	13.95
	建安仓库	58	160111	48	120.83	24.93	-	86.98	28.67
NO_2	宝华寺	44.13	161002	19	232.27	2.42	-	13	18.6
	少年宫	33.96	161002	22	154.37	3.77	-	18.8	20.1
	建安仓库	16.08	160111	29	55.43	7.01	-	14.5	48.2
PM_{10}	宝华寺	14.86	161002	60	24.77	0.9	-	31.9	2.7
	少年宫	17.61	161002	49	35.94	1.4	-	44.8	3.2
	建安仓库	7.22	160817	30	24.07	2.8	-	49.7	5.6

3.2. 不同气象条件污染物浓度贡献影响

基准方案所述污染物贡献浓度为最不利气象条件造成的最大贡献值, 为极端情况下的一次极值。由于大风天气往往利于污染物的输送和扩散, 带来清洁作用, 因此方案 2 主要考虑各季节平均风速以及最易造成污染物局部累计的静小风对污染物的日均贡献浓度分布的影响。

个旧市四个季节的主导风向区间均为 SSE~SW, 根据表 4, 可以看出由于主导风向变化不大, 因此各季节污染物分布形势差别亦不大, 主要是在静小风下污染物输送作用弱, 污染物通过扩散及湍流容易在下风向局部累积[5] [6] [7] [8] [9]。影响最大的区域主要集中在火谷都片区及附近的山麓, 四季中秋季的扩散能力最差, 造成 SO_2 及 NO_2 容易出现大幅度超标的极端情况。

Table 4. Pollution concentration in calm breeze and different season

表 4. 不同季节静小风控制下污染物贡献浓度

季节	模拟关心点	SO_2		NO_2		PM_{10}	
		最大日均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)	最大日均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)	最大日均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)
春季	宝华寺	40.4	26.93	11.8	29.50	3.96	2.64
	少年宫	49.1	32.73	14	35.00	4.8	3.20
	建安仓库	36.2	24.13	10.3	25.75	3.82	2.55
	最大落地浓度	424	282.67	98.900	247.25	44.7	29.80
夏季	宝华寺	27.3	18.20	7.87	19.68	3.07	2.05
	少年宫	32.9	21.93	9.81	24.53	4.01	2.67
	建安仓库	40	26.67	10.9	27.25	4.64	3.09
	最大落地浓度	599	399.33	139	347.50	62.9	41.93

Continued

秋季	宝华寺	36.6	24.40	11.8	29.50	4.79	3.19
	少年宫	50.3	33.53	13.7	34.25	5.57	3.71
	建安仓库	42	28.00	12.4	31.00	5.61	3.74
	最大落地浓度	854	569.33	200	500.00	90.5	60.33
冬季	宝华寺	23.5	15.67	8.73	21.83	2.75	1.83
	少年宫	43.2	28.80	12.2	30.50	4.61	3.07
	建安仓库	35.1	23.40	10.4	26.00	4.89	3.26
	最大落地浓度	464	309.33	109	272.50	51.3	34.20

个旧市常年主导风向区间为 SSE~SW，除云锡冶炼分公司及云河药业位于个旧市城区范围内，火谷都及小凹塘片区均位于常年主导风的下风向，对个旧市城区的长期影响不大。但全年有小部分时间会出现偏北风(NW~N 及 N~NE)，全年风频共 6.76%。根据统计结果(表 5)，偏北风控制时，各关心点各污染物最大日均贡献浓度占标率明显高于主导风向控制下，特别是宝华寺监测点污染物浓度明显增加且超过少年宫站监测点；事实上，偏北风控制下，污染物会向南扩散，对个旧市城区及各监测点影响较大；特别是当风速较小时，局地风环流影响更为明显[10] [11] [12]，造成污染物无法向山谷外扩散，从而影响个旧市城区。在小时风向条件下，更容易出现个旧市南部城区污染物瞬时较高贡献浓度。通过现场调查，该点位建筑物密集且起伏较大，而模型仅考虑了地形的起伏及地表粗糙度，未考虑由于过于复杂的下垫面而造成的局地污染物累积及微尺度环流及气团湍流，这可能也是造成此该点 SO₂ 异常升高的重要原因。

Table 5. Pollution concentration in northerly wind

表 5. 偏北风控制下污染物贡献浓度

贡献浓度	模拟点	SO ₂		NO ₂		PM ₁₀	
		浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)
日均最大浓度	宝华寺	25.4	16.93	8.35	10.44	2.58	1.72
	少年宫	16.7	11.13	5.46	6.83	2.22	1.48
	建安仓库	35.6	23.73	9.94	12.43	3.97	2.65
	网格最大点	510	340.00	117	146.25	54.5	36.33

3.3. 热岛效应对个旧市城区大气环境贡献影响

个旧市城区地处山谷中，城市聚集了超过 18 万的常住居民，由于生活生产产生的热量造成城市下垫面温度高于郊区，当温差较大时由于气压差异，周围地区近地面空气向城市中心辐合[13] [14] [15]。在不考虑热岛效应的前提下，主要污染物对各关心点及区域最大落地浓度贡献情况统计于表 6，超标区域分布图如图 2。

由表 6 可知，不考虑热岛效应，在达标排放的前提下，2016 年个旧市城区周边重点企业污染源在各模拟关心点造成的污染物浓度与超标情况与基准方案有微小的减少，但差别不大。

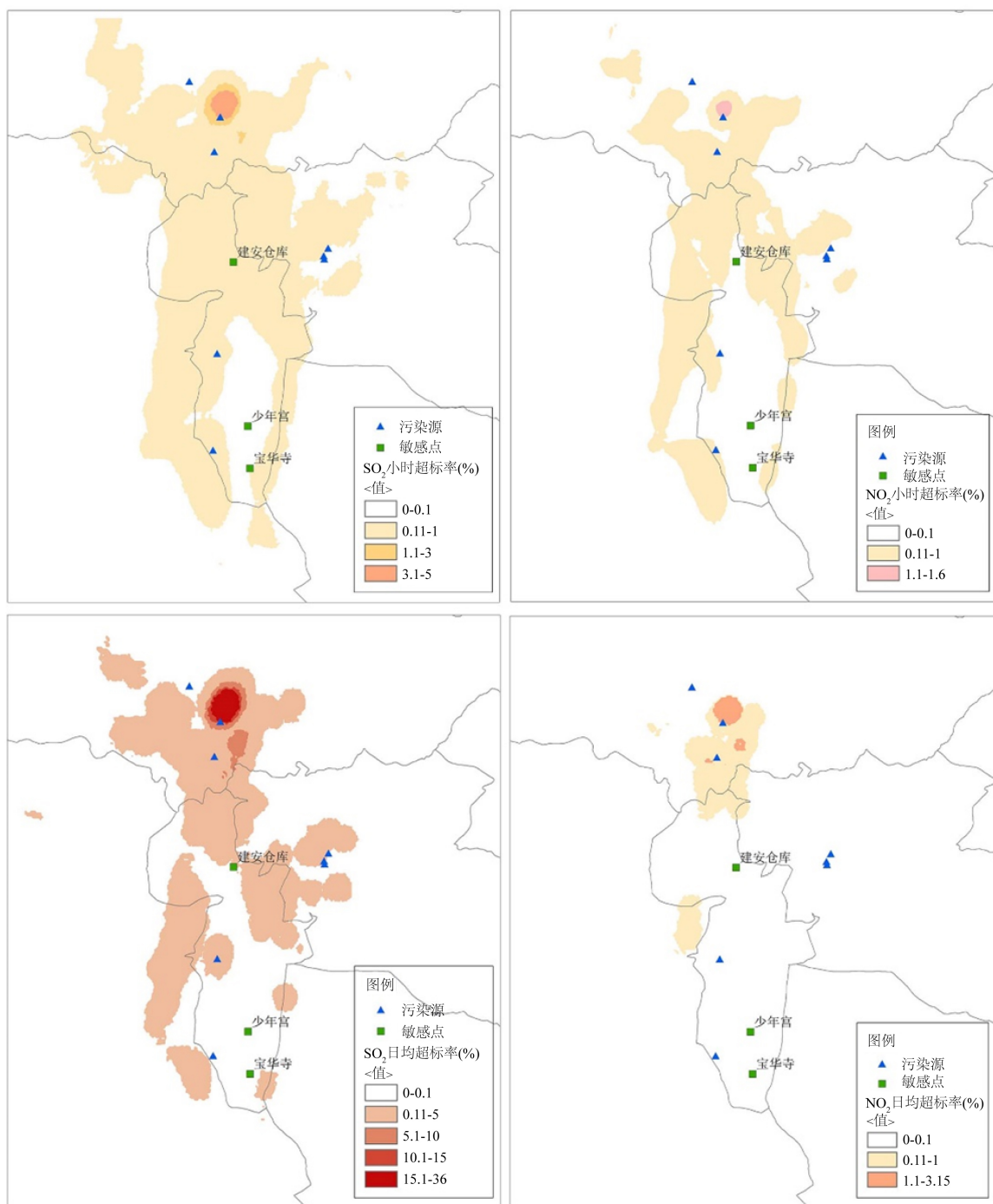


Figure 2. Distribution of exceeding standard rate of pollutant without tropical island effect
图 2. 不考虑热岛效应污染物超标区域分布图

3.4. 地形作用对个旧市城区大气环境贡献影响

个旧市城区被老阴山和老阳山所包围，东侧山体高于西侧山体，城区与山体最大高差超过 900 m；复杂地形会改变局地的风向等气象条件，同时对污染物的输送和扩散造成影响[16] [17]。因此本方案在保持污染源达标排放及其他参数不变的前提下，采用平坦地形进行模拟；在忽略地形对污染物分布造成的

影响的前提下，主要污染物对各关心点及区域最大落地浓度贡献情况统计于表 7。

Table 6. Pollution concentration without tropical island effect

表 6. 不考虑热岛效应污染物贡献浓度

	模拟点	SO ₂		NO ₂		PM ₁₀	
		浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)
小时最大 浓度	宝华寺	673.74 (*0.0342%)	134.75	272.62 (*0.0342%)	136.31	79.85	-
	少年宫	354.28	70.86	104.67	52.33	70.44	-
	建安仓库	548.06 (*0.02%)	109.61	145.96	72.98	71.63	-
	网格最大点	14926.00 (*0.0852%)	2985.2	3411.227 (*0.0004%)	1705.61	1573.79	-
日均最大 浓度	宝华寺	84.97	56.65	33.35	41.69	10.59	7.06
	少年宫	50.98	33.99	14.22	17.78	7.82	5.21
	建安仓库	55.63	37.09	15.37	19.22	6.98	4.65
	网格最大点	1302.22 (*0.211%)	868.15	302.41 (*0.0179%)	378.01	135.60	90.4
年均 +7 浓度	宝华寺	5.33	8.88	1.81	4.51	0.63	0.9
	少年宫	8.41	14.02	2.82	7.05	1.05	1.5
	建安仓库	22.83	38.04	6.44	16.1	2.54	3.63
	网格最大点	247.30 (*1.03%)	412.16	57.49 (*0.04%)	143.73	26.57	37.96

*超标率。

Table 7. Pollution concentration without complex terrain effect

表 7. 不考虑地形作用污染物贡献浓度

	模拟点	SO ₂		NO ₂		PM ₁₀	
		浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)	浓度(μg/m ³)	占标率(%)
小时最大 浓度	宝华寺	297.36	59.47	112.92	56.46	104.64	-
	少年宫	451.58	90.32	130.07	65.03	103.52	-
	建安仓库	457.61	91.52	157.83	78.91	71.63	-
	网格最大点	1691.50 (*0.0164%)	338.3	403.302 (*0.00001%)	201.65	1573.79	-
日均最大 浓度	宝华寺	60.51	40.34	18.19	22.74	14.86	9.91
	少年宫	94.53	63.02	26.55	33.19	17.61	11.74
	建安仓库	61.26	40.84	17.15	21.44	7.22	4.81
	网格最大点	444.26 (*0.001%)	296.17	103.08 (*0.1039%)	128.85	135.60	90.4
年均 浓度	宝华寺	7.38	12.3	2.34	5.86	0.87	1.24
	少年宫	12.20	20.33	3.96	9.89	1.45	2.07
	建安仓库	25.65	42.75	7.25	18.13	2.78	3.97
	网格最大点	194.36 (*0.13%)	323.94	45.82 (*0.04%)	114.55	26.76	38.23

*超标率。

由表 7、图 3 可知, 不考虑地形影响, 2016 年个旧市城区周边污染源达标排放对各模拟关心点造成的 SO_2 及 NO_2 小时最大贡献浓度均达标, 区域 SO_2 及 NO_2 小时最大落地贡献浓度占标率分别为 338.30% 及 201.65%。关心点 SO_2 及 NO_2 日均最大贡献浓度占标率均达标且较小, SO_2 区域小时最大落地贡献浓度占标率 296.17%, 超标区域位于污染源偏北方向, 超标范围较小; NO_2 区域日均最大贡献浓度占标率 128.85%, 超标范围位于火谷都片区北部, 范围很小; PM_{10} 日均最大贡献浓度满足二级标准。 SO_2 及 NO_2 年均浓度存在超标。

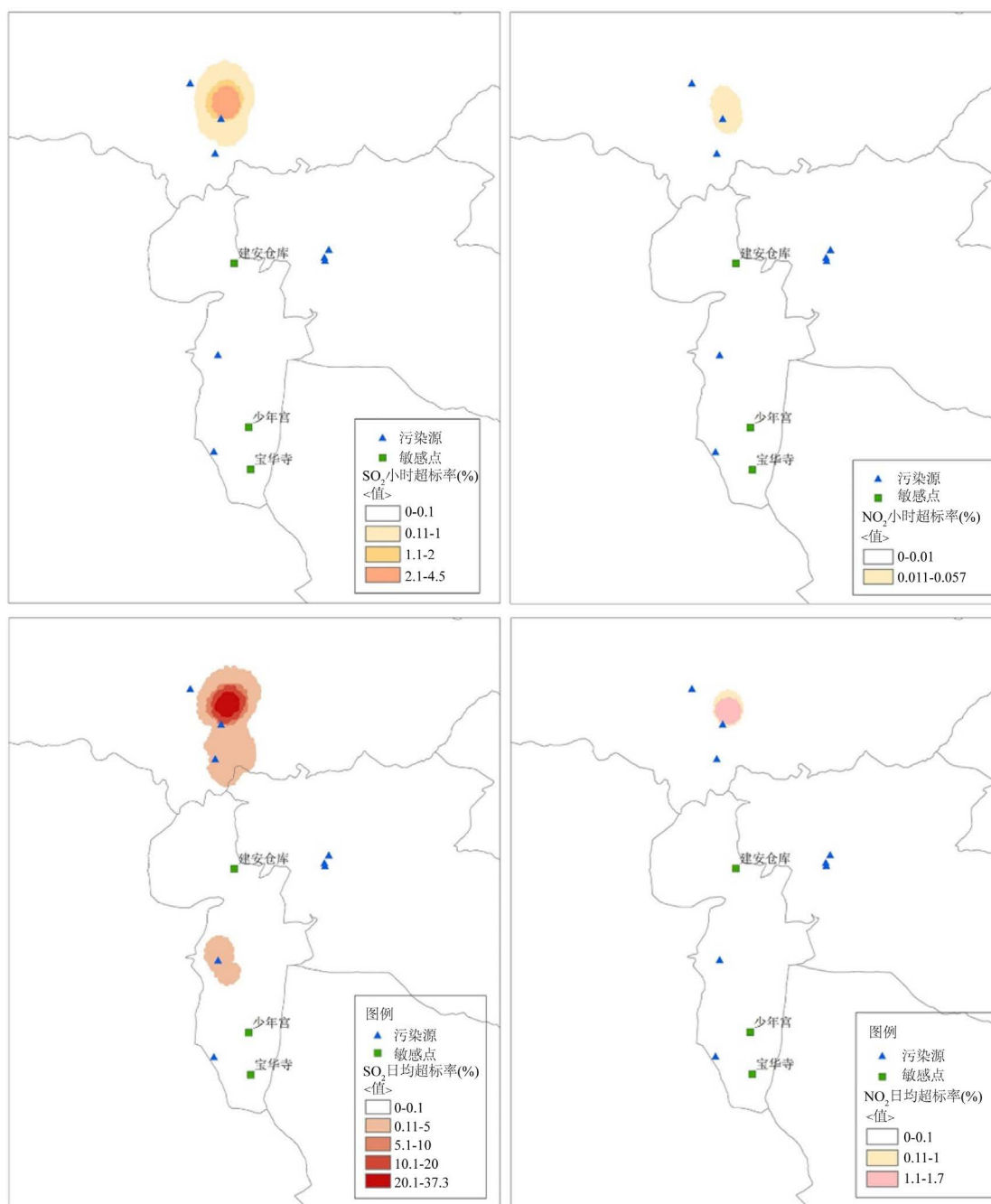


Figure 3. Distribution of exceeding standard rate of pollutant without complex terrain effect
图 3. 不考虑地形作用污染物超标区域分布图

根据分析结果,不考虑地形影响时,区域宝华寺及建安仓库关心点污染物贡献浓度均有所减少,三个关心点贡献浓度分布较为均匀,宝华寺小时及日均贡献浓度占标率降低最为明显;区域污染物小时及日均最大贡献浓度亦明显减少,污染物年均贡献浓度占标率变化不大。

4. 结论与建议

4.1. 结论

1) 当各工业污染源达标排放时,在不利的天气条件下,仍然会对个旧城区大气环境空气质量造成一定不利影响;因此要加强重点工业污染源的监管,避免非正常排放情况发生对大气环境造成影响。

2) 秋季主导风向区间静小风控制下,污染源对个旧市北部有较大影响,超标范围位于火谷都及下凹塘片区及周边山麓;当区域受偏北风控制且风速较小时,区域存在明显的山谷风环流,造成夜间个旧市城区南部污染物逐渐升高,在日出后由于太阳辐射对气流的加热作用,造成污湍流作用加强;从而造成日出后个旧市南部出现污染物瞬间极高值。

3) 由于城区与山体高差较大(超过 900 m),山体对污染物的输送和扩散造成了较大阻挡作用,不利于污染物向外扩散;同时由于山体的存在改变了局地的气象条件,造成气流的转向及局地环流的存在,因此对个旧市城区大气环境质量造成影响。

4) 热岛效应作用使得各监测点污染物贡献浓度有轻微上升,但变化很小,总体来说热岛效应对城区大气环境有一定影响,但作用不显著。

4.2. 建议

1) 推行个旧市城市污染源清单调查。应开展无组织源、交通源、生活源及外来源对大气环境的影响调查,逐步建立个旧市城区大气污染源清单。

2) 降低生活及交通源对大气污染的可能。排查和治理城区范围内的小作坊及用煤户,避免生活源对空气质量造成瞬时影响;合理控制车流及确保交通顺畅,减少交通拥堵及车辆低速行驶的状况。

3) 做好区域大气污染的联防联控。个旧市区域地形复杂,局地气候条件差异较大,加强个旧城区与沙甸、鸡街片区之间的大气污染联防联控有利于减少外来污染物对个旧市城区的影响,使片区大气环境整体改善。

4) 应急状况下做好对周边重点工业源的管控。在空气质量存在恶化或污染的短期时间内,由环保局连同其他各相关部门对周边重点企业进行排污限制,避免空气质量持续恶化。

5) 淘汰粗放高污染设备,积极推进涉重企业清洁生产审核,提高企业环境管理水平。

6) 开展周边区域环境综合整治工作。对城区周边小凹塘、火谷都工业片区开展环境综合整治,改善工业片区环境质量,确保工业污染源稳定达标排放。同时小凹塘、火谷都工业片区不再审批新建涉重金属项目和有色金属产品初加工项目。

参考文献

- [1] 赵珍珠. 近代云南蒙自开关影响个旧大锡产量辨析(1889年-1936年)[J]. 昆明学院学报, 2018, 40(5): 116-122.
- [2] 赵小平. 近代云南大锡贸易与世界经济[J]. 思想战线, 2017, 42(2): 138-145.
- [3] 谈树成, 郭翔宇, 何小虎, 谢志鹏, 张亚辉, 李惠民, 等. 云南个旧锡多金属矿床锡石矿物化学特征及其成因意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(3): 736-753.
- [4] 姜平, 刘晓冉, 朱浩楠, 朱宇, 曾文馨. 复杂地形下局地山谷风环流的理想数值模拟[J]. 高原气象, 2019, 38(6): 1272-1282.
- [5] 贾小芳, 颜鹏, 孟昭阳, 汤洁, 张勇, 颜旭. 2016年11-12月北京及周边重污染过程PM_{2.5}特征[J]. 应用气象学报,

- 2019, 30(3): 302-315.
- [6] 余倩楠, 徐茜, 周陶冶, 冯通, 任浙豪, 刘敏. 长三角地区 2015 年大气重污染特征及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2018, 38(8): 3185-3196.
- [7] 孙雪, 罗小三, 陈燕, 赵朕, 徐江兵, 张丹, 等. 环境管理强化后南京市 2013-2016 年大气污染物的时空特征和气象影响[J]. 地球环境学报, 2017, 8(6): 506-515.
- [8] 许文轩, 田永中, 肖悦, 江汶静, 田林, 刘瑾. 华北地区空气质量空间分布特征及成因研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(8): 3085-3096.
- [9] 赵敬国, 王式功, 张天宇, 余世旺, 胡钰玲, 朱哲, 等. 兰州市大气重污染气象成因分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1547-1555.
- [10] 姜平, 刘晓冉, 朱浩楠, 朱宇, 曾文馨. 复杂地形下局地山谷风环流的理想数值模拟[J]. 高原气象, 2019, 38(6): 1272-1282.
- [11] 田越, 苗峻峰. 中国地区山谷风研究进展[J]. 气象科技, 2019, 47(1): 41-51.
- [12] 董群, 赵普生, 王迎春, 苗世光, 高健. 北京山谷风环流特征分析及其对 PM_{2.5} 浓度的影响[J]. 环境科学, 2017, 38(6): 2218-2230.
- [13] 李红梅, 樊万珍. 西宁城市热岛效应分析[J]. 气象科学, 2019, 39(4): 562-568.
- [14] 魏雪梅, 马卫春, 孔丽. 中小城市地表温度变化与下垫面关系[J]. 遥感信息, 2019, 34(3): 115-119.
- [15] 苑睿洋, 黄凤荣, 唐硕. 城市热岛效应研究综述[J]. 国土与自然资源研究, 2019(1): 11-12.
- [16] 唐敬, 蔡旭晖, 康凌, 张宏升, 王雷. 复杂地形低风速气象特征分析[J]. 气象科学, 2011, 31(4): 542-547.
- [17] 王颖, 隆霄, 余晔, 左洪超, 梁依玲. 复杂地形上气象场对空气质量数值模拟结果影响的研究[J]. 大气科学, 2013, 37(1): 14-22.