

玉门市规划工业园区 PM_{2.5} 和 O₃ 浓度预测： 基于 WRF-Chem 模型

白 婷^{1,2}, 王 振², 蔡永会²

(1. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730000; 2. 甘肃省化工研究院有限公司, 兰州 730000)

摘要: 为了解规划项目建成后对玉门市及周边县市区的大气环境影响,通过 WRF-Chem 模型方法研究两种情景下建成后项目 PM_{2.5} 和 O₃ 浓度,情景一和情景二下园区废气产生总量分别为 3 127.75 t/年和 5 112.74 t/年。结果表明:规划期常规污染物各环境敏感点 O₃ 叠加现状浓度后保证率下 8 h 平均浓度达标;情景一下 PM_{2.5} 叠加现状浓度后保证率下日均浓度和年均浓度均达标;情景二下麻黄滩核心区、麻黄滩缓冲区及南山自然保护区实验区边界 PM_{2.5} 叠加现状浓度后保证率下日均浓度和年均浓度有所超标,其他敏感点位达标。为了满足规划区的控制目标,建议执行更为严格的污染源削减措施,以保证 PM_{2.5} 浓度可得到持续改善。

关键词: WRF-Chem; 预测; 规划项目; 玉门市

中图分类号: X823 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)12-0196-10

工业是中国区域经济的重要组成部分,工业园区作为工业企业集聚的密集区域,是资源能源消耗和污染物排放的大户^[1-2]。随着近几年经济飞速发展,城市化进程加速,工业企业入园率的不断提升,不少城市尝试在郊区等地方规划建设工业园区,并将工业企业陆续搬离中心城区,工业园区在生态环境方面将面临更大的压力^[3]。随着环境污染问题的日益严重以及人们对环境质量要求的不断提升,使得人们的环境保护意识不断增强^[4],因此对拟建规划工业园区的环境预测及影响评价尤为重要。

大气环境影响评价中常用大气预测模型进行模拟,常用的大气预测模型为美国环保局法规大气扩散模型(AERMOD)、大气扩散模拟系统(ADMS)、加利福尼亚烟团扩散模型(CALPUFF)和网络模型。彭园花等^[5]使用网格化模式天气研究与预报模型(WRF-CMAQ)对预测园区进行模拟,正常排放时保护目标和网格点的 PM_{2.5} 日均浓度和年均浓度均超过《空气环境质量标准》(GB3095—2012)二级标准;唐芬等^[6]利用 CALPUFF 模型线性优化算出瑞丽开发区的 SO₂、NO₂、PM₁₀ 大气环境容量;谭娟等^[7]利用 CALPUFF 研究开发开放试

验区实施规划后排放的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 预测结果超标,建议慎重考虑规划片区产业定位,减少不利环境影响;郭朋恒等^[8]以昆明市海口化工园区为例,分别采用 AERMOD 和社区多尺度空气质量模拟系统模式(CMAQ)对 PM₁₀ 浓度进行预测,并对结果进行比对分析;李莉等^[9]利用 CMAQ 空气质量模式核算出河北省滦县 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 在不同达标率下 4 个季节的最大允许排放量,并得出环境容量的季节性差异特征;薛文博等^[10]基于全国大气污染物排放源清单和 WRF-CAMx 模式,采用环境质量目标约束下的大气环境容量迭代算法,计算得出全国 SO₂、NO_x、一次 PM_{2.5} 和 NH₃ 的环境容量;肖杨等^[11]基于 ADMS-Urban 模式和线性规划模型,建立了浓度-排放量反推模型,在环境质量目标约束条件下,估算出北京市通州区的 SO₂ 最大允许排放量为 41.311 t/年;燕鸥等^[12]利用 ADMS 对工业企业进行挥发性有机化合物(VOCs)排放源强进行定量估计,发现家具制造业排放源强较高。此外有些研究针对不同减排方法对大气的影响,蒋凯等^[13]以典型工业城市邢台市为对象研究 O₃ 污染成因及控制策略,结果表明 VOCs 与 NO_x 的最佳减排

收稿日期: 2024-12-05

基金项目: 精细化工功能助剂产品的开发及创新型人才培养项目(2024RCXM79)

作者简介: 白婷(1986—),女,甘肃兰州人,高级工程师,研究方向为环境大气治理;王振(1992—),男,甘肃定西人,研究方向为安全、环保工程咨询;蔡永会(1997—),男,甘肃临洮人,硕士,研究方向为水土界面过程与污染控制、污染物环境行为与效应。

分别为 1.5:1 和 1:1。杜小申等^[14]通过设定不同减排情景,估算 2020 年安阳市 PM_{2.5} 减排潜力分别为 398.72、11 623.87 和 14 072.27 t 时,分别占 2016 年工业源排放总量的 0.49%、14.34% 和 17.22%,可见安阳市 PM_{2.5} 具有较大减排潜力。潘瑞欣等^[15]对中国典型工业城市(淄博市)设置不同减排情景模拟,探讨不同前体物的管控策略对 O₃ 污染事件的控制效果,研究表明,实施大区域联防联控,大幅度削减区域 O₃ 前体物排放水平,有助于解决城市和区域 O₃ 污染问题。

工业园区是国家或区域通过行政手段,为保障经济社会发展划出一块区域,聚集并整合各种生产要素,优化园区功能布局,突出园区产业特色,增加工业集约强度。工业园区规划具有系统性、长期性、累积性、区域性等特点^[16],因此规划工业园区在环境影响识别过程中,最重要的是污染源分析,包括现有污染源和拟建污染源两部分。强化规划建设工业园区环境影响预测和评价,既能为园区外部项目筛选和内部功能布局提供决策依据,有利于集中治理污染,总量控制主要污染物^[17],为园区可持续发展提供指导。因此,本文使用 WRF-Chem 模型方法对玉门市拟建工业园区进行 PM_{2.5} 和 O₃ 浓度预测,评估规划项目建成后对玉门市及周边县市区的大气环境影响及是否满足规划区的控制目标。

1 数据与方法

1.1 模式简介

WRF(weather research and forecasting)模式系统是由美国气象界联合开发的新一代中尺度预报模式和同化系统,常被用于全球的区域尺度、中小尺度数值模拟、物理参数化方案研究、实时业务天气预报、数据同化研究、区域气候模拟及耦合空气质量模式^[18]。WRF-Chem 模式是将 WRF 与化学模块(chemistry, Chem)实现完全在线耦合的区域大气动力-化学模式^[19-20]。WRF-Chem 模式的气象场和化学场具有相同的水平和垂直坐标、参数化方案和微物理过程,不仅可以预测包括温度场、风场、云雨等物理量的气象要素,也可以预测包括颗粒物和臭氧等气体的浓度、扩散及相互作用^[21]。

1.2 模式设置

模式垂直方向设置为 48 层,水平方向采用 3 层网格嵌套,三层网格分辨率分别为 27、9、3 km,3 层模拟区域网格格点数为 100×100、100×100 和 120×110。使用的排放源数据为清华大学 MEIC

2020 排放源清单,数据为 0.25°×0.25°的网格,空气质量的模拟范围包含整个规划新建区及其周边县市区,预测范围如图 1 所示。模拟时段为 2022 年 1、4、7 和 10 月,分析时间间隔为 6 h。

WRF 模型描述了重要的物理过程并将其作为过程参数化方案,不同的方案在系统设计的工作原理和计算时间等方面可能存在一些差异,因此应选择适当的物理参数化方案。本文用到的参数化方案如表 1 所示。

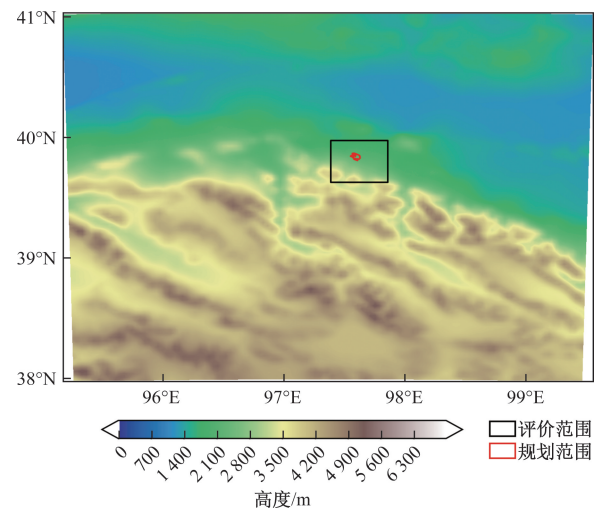


图 1 预测范围示意图

表 1 参数化方案的选择

物理参数化	方案
微物理化	Morrison 2-Moment
长波辐射	RRTM
短波辐射	Goddard
边界层方案	YSU
陆面方案	Unified Noah
积云参数化方案	Grell 3D Ensemble
城市地表	Urban Canopy Model
表层参数化方案	Revised MM5
光解方案	TUV

在模拟中,初始场和边界场使用区域大气化学模型(community atmosphere model with chemistry, CAM-Chem),该边界条件可根据地球系统模型的输出进行调整。

1.3 数据资料

本次研究项目属于规划项目,规划建成后 SO₂ 和 NO_x 的年排放总量为 2 351.91~3 119.68 t/年(大于 500 t/年),NO_x 和 VOCs 的年排放总量为 1 590.8~2 462.28 t/年(最大值大于 2 000 t/年)。SO₂ 和 NO₂ 的总排放量大于 2 000 t/年,因此采用网络模型进行模拟。本次模拟制作了 3 个排放源清

单:一是现状排放源清单,玉门市及其区域外现状工业源和民用源数据来自清华大学建立的中国多尺度高分辨率排放清单(MEIC)模型所提供 2020 年国家排放源清单,采用网格插值将 MEIC 网格插值到本次模拟网格;二是情景一下规划项目建成后的污染源清单,情景一下园区废气产生总量为 3 127.75 t/年;三是情景二下规划项目建成后的污染源清单,情景二下园区废气产生总量为 5 112.74 t/年。统计评价范围内其他新增污染源,主要包括规划区新增污染源排放,将范围内其他新增污染源合并到总污染源清单中。不同情景下主要污染物排放量如表 2 所示。

1.4 模型验证

利用 WRF-Chem 模型模拟 2022 年 1、4、7 和 10 月 PM_{2.5} 和 O₃ 空气质量指标模拟值,并与观测值逐日曲线对比,以此来检验模拟的准确性,具体情况如图 2 和图 3 所示。可以看出空气质量指标监测值与模拟值的逐日曲线大致相似,说明 WRF-Chem 模式对区域大气污染物的模拟基本可行。虽然通过与观测值的逐日曲线对比表明模型的模拟结果与实际观测值大致相符,但模型预测结

果的准确性受到多个因素的影响,包括但不限于输入数据的不确定性、边界条件的设置、排放源的准确性及微物理过程参数化方案的选择。

表 2 情景一和情景二下园区主要污染物排放汇总

序号	项目	产生量/(t·年 ⁻¹)	
		情景一	情景二
1	SO ₂	910.31	1 190.29
2	NO _x	1 441.6	1 929.39
3	VOCs	149.20	532.89
4	颗粒物	486.12	1 048.43
5	氟化物	3.19	21.84
6	氯气	4.57	12.10
7	氯化氢	32.21	105.91
8	一氯甲烷	0.64	0.86
9	二氯甲烷	2.22	2.99
10	氨气	85.05	114.04
11	硫化氢	0.33	0.12
12	硫酸雾	2.25	16.46
13	甲苯	0.12	3.81
14	甲醇	9.71	121.38
15	二甲苯	0.23	4.05
16	二氯乙烷	—	4.68
17	CO	—	3.50

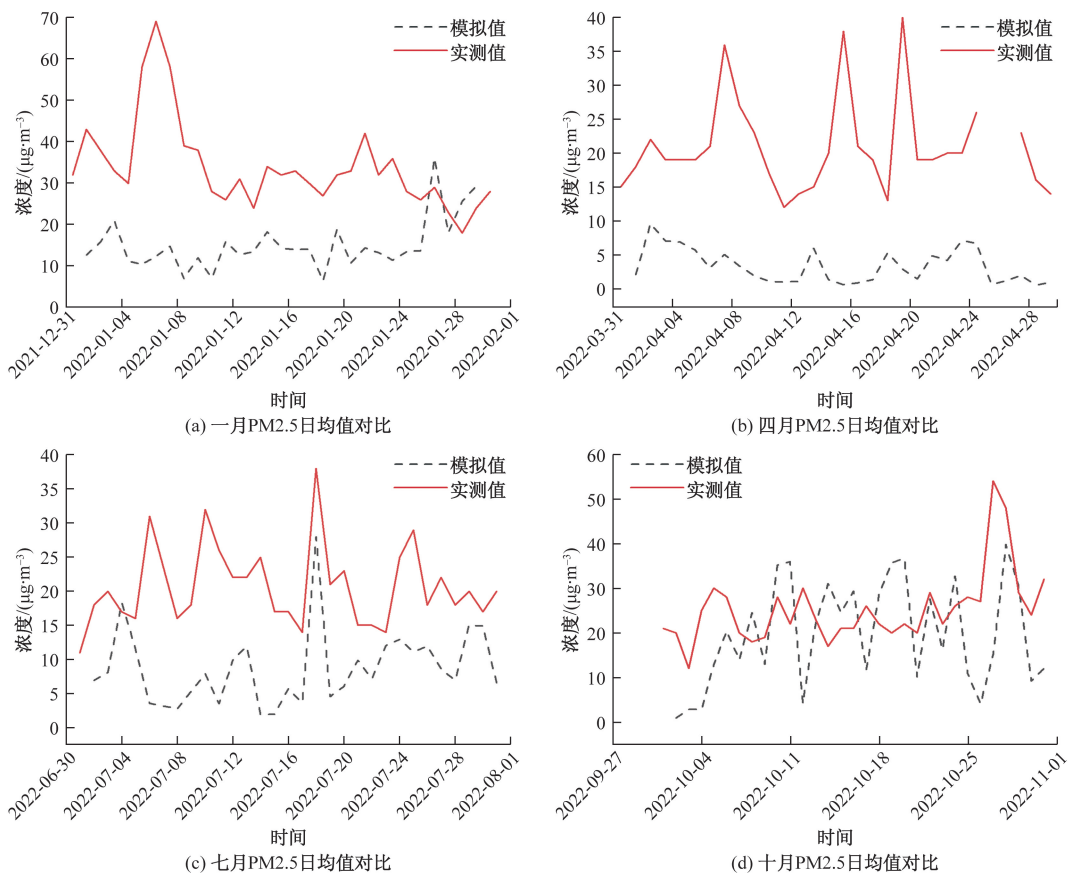
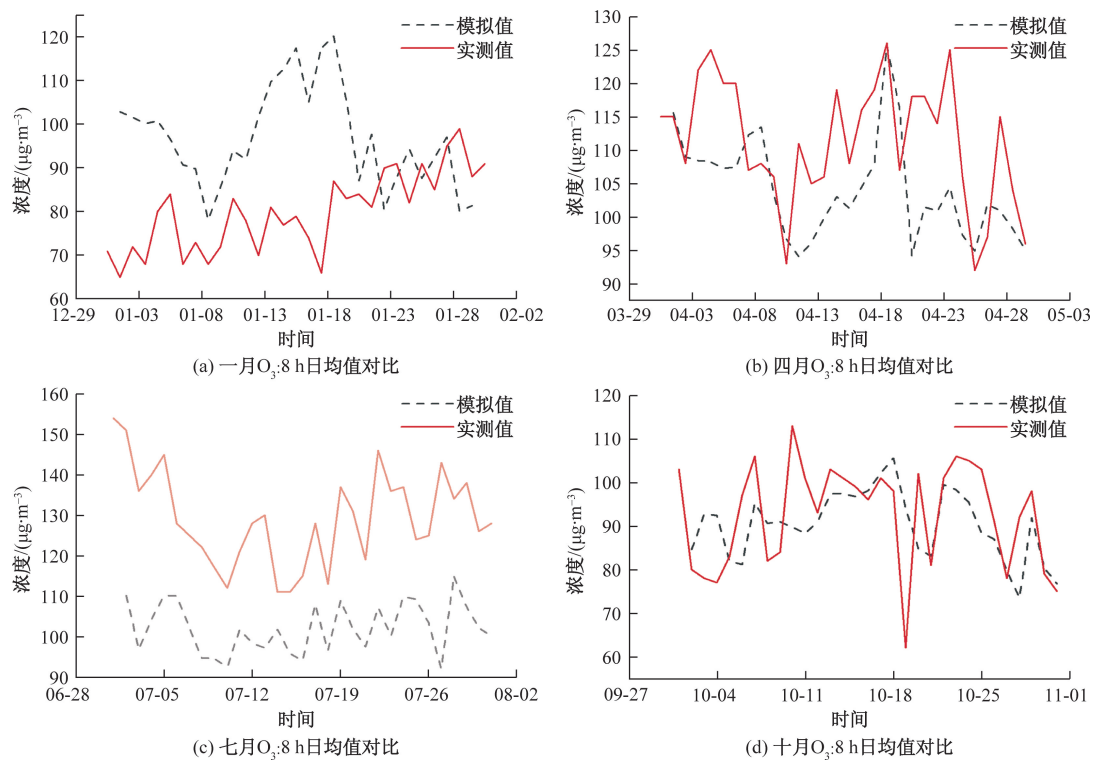


图 2 园区 PM_{2.5} 模型模拟值与监测值对比

图3 园区 O₃-8 h 模型模拟值与监测值对比

1.5 现状浓度叠加方法

根据《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ 2.2—2018)^[22],大气环境影响预测叠加按照导则 8.8 章节进行计算。

$$C_{\text{叠加值}(x,y,t)} = C_{\text{本项目}(x,y,t)} + C_{\text{现状}(x,y,t)} \quad (1)$$

式中: $C_{\text{叠加值}(x,y,t)}$ 为在 t 时刻,预测点 (x,y) 叠加各污染源及现状浓度后的环境质量浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; $C_{\text{本项目}(x,y,t)}$ 为在 t 时刻,本项目对预测点 (x,y) 的贡献浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; $C_{\text{现状}(x,y,t)}$ 为在 t 时刻,预测点 (x,y) 的环境质量现状浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

对于保证率日平均质量叠加浓度,对该预测点所有日平均质量叠加浓度从小到大进行排序,根据各污染物日平均质量浓度的保证率(p),计算排在 p 百分位数的第 m 个序数,序数 m 对应的日平均质量浓度即为保证率日平均浓度 C_m 。其中,序数 m 的计算方法公式为

$$m = 1 + (n - 1)p \quad (2)$$

式中: p 为该污染物日平均质量浓度的保证率,按 HJ663 规定的对应污染物年评价中 24 h 平均百分位数取值,%; n 为 1 个历年内单个预测点上的日平均质量浓度的所有数据个数,个; m 为百分位数 p 对应的序数(第 m 个),向上取整数。

本次模拟范围内只存在二类环境功能区。二类环境功能区内 PM2.5、O₃导则 8.8 进行计算。

2 预测结果

2.1 情景一下环境空气影响叠加预测结果与评价

情景一下 PM2.5 叠加规划新建源和现状值后,对评价区域内各环境敏感点 95%保证率下的日平均浓度预测值为 23.03~23.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 30.71%~67.23%,均达标。区域最大地面浓度为 22.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 30.52%,达标。

情景一下 PM2.5 叠加规划新建源和现状值后,对评价区域内各环境敏感点的年平均浓度预测值为 9.26~26.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 61.76%~75.53%,均达标。区域最大地面浓度为 26.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 75.57%,达标。

各敏感点 O₃90%保证率下日 8 h 平均浓度叠加预测结果如表 5 所示,预测区域网格分布如图 6 所示。可以看出,情景一下 O₃叠加规划新建源和现状值后,评价区域内各环境敏感点 90%保证率下 O₃日 8 h 平均浓度预测值为 143.99~153.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 89.99%~95.80%,均达标。区域最大地面浓度为 153.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 96.04%,达标。

表3 情景一下叠加PM2.5 95%保证率日均质量浓度预测

敏感点	平均时段/h	出现时间	变化值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)		占标率/%	现状值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	叠加值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	达标情况
			一次	二次					
麻黄滩核心区	24	2023-01-05	0.05	0.13	0.18	23.00	23.18	66.22	达标
麻黄滩缓冲区	24	2023-01-05	0.09	0.26	0.35	23.00	23.35	66.73	达标
南山自然保护区实验区边界	24	2023-01-05	0.10	0.20	0.27	23.00	23.30	66.57	达标
南山核心区	24	2023-01-05	0.03	0.23	0.31	23.00	23.27	66.48	达标
南山缓冲区	24	2023-01-05	0.19	0.34	0.46	23.00	23.53	67.23	达标
南山村	24	2023-01-12	0.01	0.07	0.09	23.00	23.08	65.93	达标
园区管委会	24	2023-01-05	0.10	0.42	0.56	23.00	23.51	31.35	达标
玉门市油城学校	24	2023-01-05	0.10	0.42	0.56	23.00	23.51	31.35	达标
北坪小学	24	2023-01-05	0.13	0.42	0.55	23.00	23.55	31.40	达标
玉门市逸夫小学	24	2023-01-05	0.13	0.42	0.55	23.00	23.55	31.40	达标
老市区医院	24	2023-01-05	0.10	0.42	0.56	23.00	23.51	31.35	达标
玉门石油管理局	24	2023-01-05	0.10	0.42	0.56	23.00	23.51	31.35	达标
玉门铁人干部学院	24	2023-01-05	0.10	0.42	0.56	23.00	23.51	31.35	达标
玉门油城幼儿园	24	2023-01-05	0.10	0.42	0.56	23.00	23.51	31.35	达标
和平村	24	2023-01-05	0.02	0.07	0.10	23.00	23.09	30.79	达标
东湖村	24	2023-01-05	0.00	0.04	0.05	23.00	23.04	30.72	达标
营门村	24	2023-01-04	0.01	0.05	0.07	23.00	23.06	30.74	达标
钱家庄	24	2023-01-04	0.01	0.05	0.07	23.00	23.06	30.74	达标
西湖村	24	2023-01-04	0.01	0.05	0.07	23.00	23.06	30.74	达标
白土梁村	24	2023-01-05	0.01	0.02	0.03	23.00	23.04	30.72	达标
清泉村	24	2023-01-05	0.01	0.03	0.04	23.00	23.03	30.71	达标
中沟村	24	2023-01-05	0.02	0.03	0.04	23.00	23.05	30.71	达标
区域最大落地浓度	24	2023-01-04	0.01	-0.12	-0.10	23.00	22.89	30.52	达标

表4 情景一下叠加PM2.5 年均质量浓度预测

敏感点	平均时段	变化值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)		占标率/%	现状值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	叠加值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	达标情况
		一次	二次					
麻黄滩核心区	年平均	0.21	0.05	0.15	9	9.26	61.76	达标
麻黄滩缓冲区	年平均	0.22	0.06	0.18	9	9.28	61.89	达标
南山自然保护区实验区边界	年平均	0.23	0.10	0.28	9	9.33	62.22	达标
南山核心区	年平均	0.29	0.09	0.25	9	9.37	62.49	达标
南山缓冲区	年平均	0.30	0.14	0.39	9	9.44	62.94	达标
南山村	年平均	0.29	0.09	0.25	9	9.38	62.53	达标
园区管委会	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.37	75.33	达标
玉门市油城学校	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.37	75.33	达标
北坪小学	年平均	0.25	0.07	0.20	26	26.32	75.20	达标
玉门市逸夫小学	年平均	0.25	0.07	0.20	26	26.32	75.20	达标
老市区医院	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.37	75.33	达标
玉门石油管理局	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.37	75.33	达标
玉门铁人干部学院	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.37	75.33	达标
玉门油城幼儿园	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.37	75.33	达标
和平村	年平均	0.24	0.03	0.09	26	26.27	75.07	达标
东湖村	年平均	0.23	0.03	0.09	26	26.26	75.04	达标
营门村	年平均	0.25	0.02	0.06	26	26.27	75.06	达标
钱家庄	年平均	0.25	0.02	0.06	26	26.27	75.06	达标
西湖村	年平均	0.25	0.02	0.06	26	26.27	75.06	达标
白土梁村	年平均	0.34	0.07	0.20	26	26.41	75.46	达标
清泉村	年平均	0.29	0.07	0.20	26	26.36	75.30	达标
中沟村	年平均	0.37	0.06	0.18	26	26.44	75.53	达标
区域最大落地浓度	年平均	0.30	0.15	0.40	26	26.45	75.57	达标

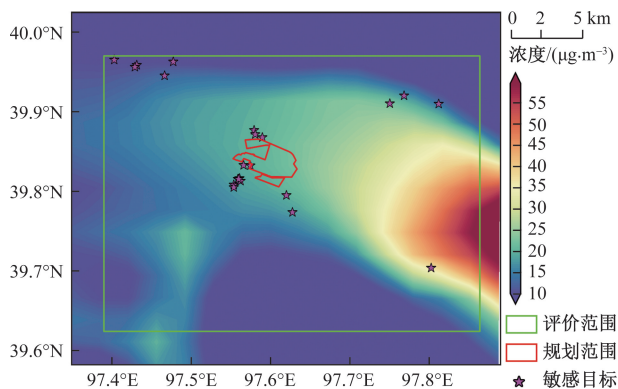


图 4 情景一下 PM_{2.5} 595%保证率下日平均叠加浓度分布

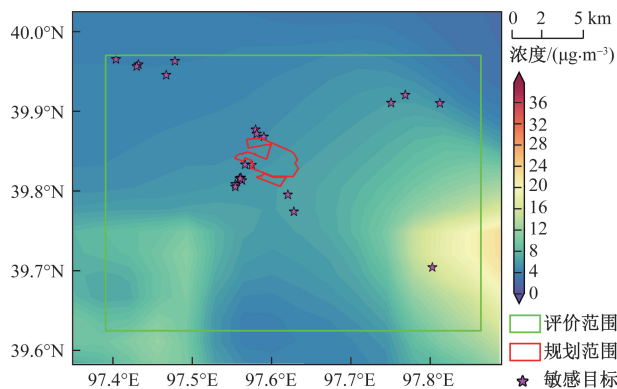


图 5 情景一下 PM_{2.5} 年平均叠加浓度分布

表 5 情景一下叠加 O₃ 90%保证率 8 h 平均质量浓度变化值预测结果

敏感点	平均时段/h	出现时间	变化值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	现状值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	叠加值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	达标情况
麻黄滩核心区	8	2023-07-01	5.51	3.44	144.77	150.27	93.92	达标
麻黄滩缓冲区	8	2023-07-01	7.04	4.40	144.91	151.95	94.97	达标
南山自然保护区实验区边界	8	2023-07-01	5.67	3.54	144.68	150.35	93.97	达标
南山核心区	8	2023-07-01	0.10	0.06	145.41	145.51	90.94	达标
南山缓冲区	8	2023-07-01	0.37	0.23	145.20	145.57	90.98	达标
南山村	8	2023-07-01	0.05	0.03	143.94	143.99	89.99	达标
园区管委会	8	2023-07-01	5.74	3.59	145.41	151.15	94.47	达标
玉门市油城学校	8	2023-07-01	5.74	3.59	145.41	151.15	94.47	达标
北坪小学	8	2023-07-01	8.19	5.12	145.09	153.29	95.80	达标
玉门市逸夫小学	8	2023-07-01	8.19	5.12	145.09	153.29	95.80	达标
老市区医院	8	2023-07-01	5.74	3.59	145.41	151.15	94.47	达标
玉门石油管理局	8	2023-07-01	5.74	3.59	145.41	151.15	94.47	达标
玉门铁人干部学院	8	2023-07-01	5.74	3.59	145.41	151.15	94.47	达标
玉门油城幼儿园	8	2023-07-01	5.74	3.59	145.41	151.15	94.47	达标
和平村	8	2023-07-01	2.89	1.81	143.11	146.00	91.25	达标
东湖村	8	2023-07-01	4.02	2.51	143.09	147.10	91.94	达标
营门村	8	2023-07-01	2.67	1.67	143.96	146.63	91.64	达标
钱家庄	8	2023-07-01	2.67	1.67	143.96	146.63	91.64	达标
西湖村	8	2023-07-01	2.67	1.67	143.96	146.63	91.64	达标
白土梁村	8	2023-07-01	0.51	0.32	144.55	145.07	90.67	达标
清泉村	8	2023-07-01	0.43	0.27	144.51	144.95	90.59	达标
中沟村	8	2023-07-01	0.45	0.28	144.61	145.05	90.66	达标
区域最大落地浓度	8	2023-07-01	12.38	7.74	141.29	153.67	96.04	达标

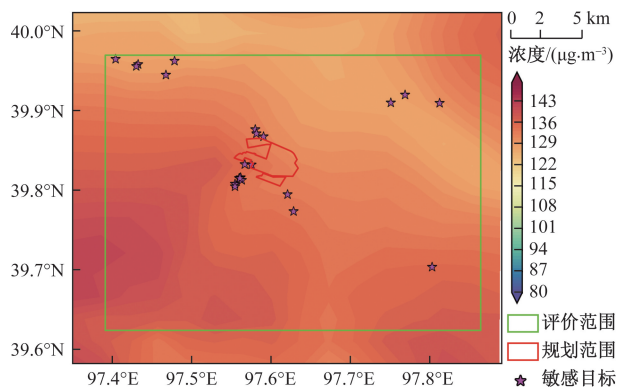


图 6 情景一下 O₃ 90%保证率下日最大 8 h 叠加浓度分布

2.2 情景二下环境空气影响叠加预测结果与评价

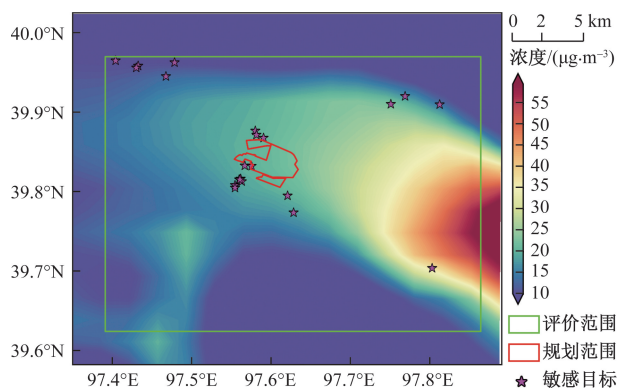
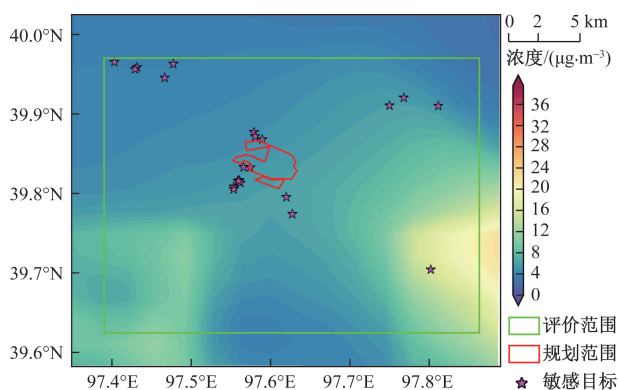
各敏感点 PM_{2.5} 日均、年均浓度叠加预测结果如表 6 和表 7 所示,预测区域网格分布图如图 7 和图 8 所示。可以得出,情景二下 PM_{2.5} 叠加规划新建源和现状值后,对评价区域内各环境敏感点 95% 保证率下的日平均浓度预测值为 23.03 ~ 67.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 30.70%~193.18%,保护区内麻黄滩核心区、麻黄滩缓冲区及南山自然保护区实验区边界三个敏感点位超标,其他敏感点位达标。区域最大地面浓度为 22.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 30.63%,达标。

表6 情景二下叠加PM2.5 95%保证率日均质量浓度预测结果

敏感点	平均时段/h	出现时间	变化值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)		占标率/%	现状值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	叠加值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	达标情况
			一次	二次					
麻黄滩核心区	24	2023-01-05	1.11	21.25	0.33	23.00	45.36	129.60	超标
麻黄滩缓冲区	24	2023-01-05	3.21	37.47	0.62	23.00	63.67	181.93	超标
南山自然保护区实验区边界	24	2023-01-05	4.22	40.39	0.52	23.00	67.61	193.18	超标
南山核心区	24	2023-01-05	0.08	0.36	0.48	23.00	23.44	66.96	达标
南山缓冲区	24	2023-01-05	0.42	0.66	0.87	23.00	24.08	68.79	达标
南山村	24	2023-01-12	0.02	0.09	0.12	23.00	23.10	66.01	达标
园区管委会	24	2023-01-05	0.21	0.66	0.89	23.00	23.88	31.84	达标
玉门市油城学校	24	2023-01-05	0.21	0.66	0.89	23.00	23.88	31.84	达标
北坪小学	24	2023-01-05	0.30	0.70	0.94	23.00	24.00	32.00	达标
玉门市逸夫小学	24	2023-01-05	0.30	0.70	0.94	23.00	24.00	32.00	达标
老市区医院	24	2023-01-05	0.21	0.66	0.89	23.00	23.88	31.84	达标
玉门石油管理局	24	2023-01-05	0.21	0.66	0.89	23.00	23.88	31.84	达标
玉门铁人干部学院	24	2023-01-05	0.21	0.66	0.89	23.00	23.88	31.84	达标
玉门油城幼儿园	24	2023-01-05	0.21	0.66	0.89	23.00	23.88	31.84	达标
和平村	24	2023-01-05	0.04	0.13	0.17	23.00	23.17	30.89	达标
东湖村	24	2023-01-05	0.02	0.07	0.09	23.00	23.09	30.78	达标
营门村	24	2023-01-05	0.01	0.07	0.10	23.00	23.08	30.78	达标
钱家庄	24	2023-01-05	0.01	0.07	0.10	23.00	23.08	30.78	达标
西湖村	24	2023-01-05	0.01	0.07	0.10	23.00	23.08	30.78	达标
白土梁村	24	2023-01-05	0.005	0.02	0.03	23.00	23.03	30.70	达标
清泉村	24	2023-01-05	0.001	0.03	0.05	23.00	23.04	30.71	达标
中沟村	24	2023-01-05	0.01	0.02	0.03	23.00	23.03	30.70	达标
区域最大落地浓度	24	2023-01-04	0.01	-0.04	-0.05	23.00	22.97	30.63	达标

表7 情景二下叠加PM2.5 年均质量浓度预测结果

敏感点	平均时段	变化值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)		占标率/%	现状值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	叠加值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	达标情况
		一次	二次					
麻黄滩核心区	年平均	1.24	6.09	0.26	9	16.33	108.88	超标
麻黄滩缓冲区	年平均	1.26	8.11	0.32	9	18.37	122.46	超标
南山自然保护区实验区边界	年平均	2.31	17.19	0.54	9	28.50	189.99	超标
南山核心区	年平均	0.33	0.16	0.45	9	9.49	63.24	达标
南山缓冲区	年平均	0.39	0.26	0.73	9	9.65	64.35	达标
南山村	年平均	0.30	0.12	0.34	9	9.42	62.79	达标
园区管委会	年平均	0.33	0.12	0.34	26	26.44	75.55	达标
玉门市油城学校	年平均	0.33	0.12	0.34	26	26.44	75.55	达标
北坪小学	年平均	0.29	0.12	0.35	26	26.41	75.46	达标
玉门市逸夫小学	年平均	0.29	0.12	0.35	26	26.41	75.46	达标
老市区医院	年平均	0.33	0.12	0.34	26	26.44	75.55	达标
玉门石油管理局	年平均	0.33	0.12	0.34	26	26.44	75.55	达标
玉门铁人干部学院	年平均	0.33	0.12	0.34	26	26.44	75.55	达标
玉门油城幼儿园	年平均	0.33	0.12	0.34	26	26.44	75.55	达标
和平村	年平均	0.26	0.05	0.15	26	26.31	75.16	达标
东湖村	年平均	0.24	0.05	0.14	26	26.29	75.11	达标
营门村	年平均	0.25	0.04	0.11	26	26.29	75.12	达标
钱家庄	年平均	0.25	0.04	0.11	26	26.29	75.12	达标
西湖村	年平均	0.25	0.04	0.11	26	26.29	75.12	达标
白土梁村	年平均	0.36	0.10	0.28	26	26.46	75.59	达标
清泉村	年平均	0.30	0.10	0.28	26	26.40	75.42	达标
中沟村	年平均	0.40	0.09	0.26	26	26.49	75.68	达标
区域最大落地浓度	年平均	0.24	0.18	0.50	26	26.42	75.49	达标

图 7 情景二下 PM_{2.5} 95%保证率下日平均叠加浓度分布图 8 情景二下 PM_{2.5} 年平均叠加浓度分布

情景二下 PM_{2.5} 叠加规划新建源和现状值后,对评价区域内各环境敏感点的年平均浓度预测值为 9.42~28.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 62.79%~189.99%,保护区内麻黄滩核心区、麻黄滩缓冲区及南山自然保护区实验区边界三个敏感点位超标,其他敏感点位达标。区域最大地面浓度为 26.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 75.49%,达标。

各敏感点 O₃ 90%保证率下日 8 h 平均浓度叠加预测结果如表 8 所示,预测区域网格分布图如图 9 所示。可以看出,情景二下 O₃ 叠加规划新建源和现状值后,评价区域内各环境敏感点 90%保证率下 O₃ 日 8 h 平均浓度预测值为 144.19~154.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 90.12%~96.55%,均达标。区域最大地面浓度为 153.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占标率为 95.83%,达标。

3 结论

本文基于玉门市规划项目建成后园区废气产生总量,利用 WRF-Chem 模型评估了对两种不同情境下的 22 个环境敏感点 PM_{2.5} 和 O₃ 叠加现状浓度后的达标情况,主要得到以下结论。

(1) WRF-Chem 模拟范围包含了整个规划新建区及其周边县市区,通过比对 2022 年 1 月、4 月、7 月和 10 月 PM_{2.5} 和 O₃ 模拟值和监测站日变化

表 8 情景二下叠加 O₃ 90%保证率 8 h 平均质量浓度变化值预测结果

敏感点	平均时段/h	出现时间	变化值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	现状值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	叠加值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	达标情况
麻黄滩核心区	8	2023-07-01	6.66	4.16	144.77	151.42	94.64	达标
麻黄滩缓冲区	8	2023-07-01	8.30	5.19	144.91	153.22	95.76	达标
南山自然保护区实验区边界	8	2023-07-01	6.23	3.89	144.68	150.91	94.32	达标
南山核心区	8	2023-07-01	0.10	0.06	145.41	145.51	90.94	达标
南山缓冲区	8	2023-07-01	0.46	0.29	145.20	145.65	91.03	达标
南山村	8	2023-07-01	0.25	0.16	143.94	144.19	90.12	达标
园区管委会	8	2023-07-01	6.72	4.20	145.41	152.13	95.08	达标
玉门市油城学校	8	2023-07-01	6.72	4.20	145.41	152.13	95.08	达标
北坪小学	8	2023-07-01	9.39	5.87	145.09	154.48	96.55	达标
玉门市逸夫小学	8	2023-07-01	9.39	5.87	145.09	154.48	96.55	达标
老市区医院	8	2023-07-01	6.72	4.20	145.41	152.13	95.08	达标
玉门石油管理局	8	2023-07-01	6.72	4.20	145.41	152.13	95.08	达标
玉门铁人干部学院	8	2023-07-01	6.72	4.20	145.41	152.13	95.08	达标
玉门油城幼儿园	8	2023-07-01	6.72	4.20	145.41	152.13	95.08	达标
和平村	8	2023-07-01	3.66	2.28	143.11	146.77	91.73	达标
东湖村	8	2023-07-01	4.99	3.12	143.09	148.08	92.55	达标
营门村	8	2023-07-01	3.42	2.14	143.96	147.38	92.11	达标
钱家庄	8	2023-07-01	3.42	2.14	143.96	147.38	92.11	达标
西湖村	8	2023-07-01	3.42	2.14	143.96	147.38	92.11	达标
白土梁村	8	2023-07-01	0.53	0.33	144.55	145.08	90.68	达标
清泉村	8	2023-07-01	0.44	0.28	144.51	144.96	90.60	达标
中沟村	8	2023-07-01	0.45	0.28	144.61	145.06	90.66	达标
区域最大落地浓度	8	2023-07-01	12.03	7.52	141.29	153.32	95.83	达标

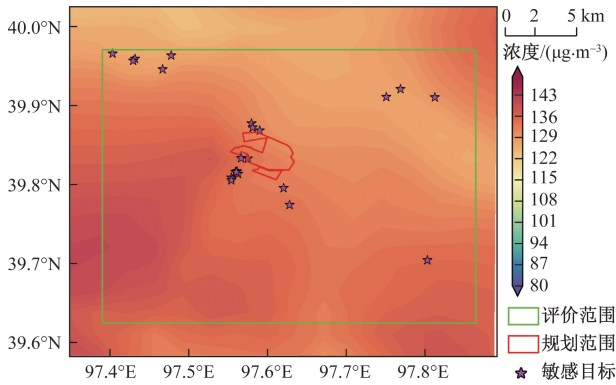


图 9 情景二下 O_3 90% 保证率下日最大 8 h 叠加浓度分布

曲线可知,观测值与模拟值的逐日曲线大致相似,说明 WRF-Chem 模式对区域大气污染物的模拟基本可行。

(2)经模型验证,规划期常规污染物各环境敏感点 O_3 叠加现状浓度后保证率下 8 h 平均浓度达标。

(3)情景一下 $PM_{2.5}$ 叠加现状浓度后保证率下日均浓度和年均浓度均达标。情景二下麻黄滩核心区、麻黄滩缓冲区及南山自然保护区实验区边界 $PM_{2.5}$ 叠加现状浓度后保证率下日均浓度和年均浓度有所超标。

(4)为满足规划区的控制目标,建议执行更为严格的污染源削减措施,以保证 $PM_{2.5}$ 浓度可得到持续改善。综上本规划项目实施后,经模型模拟大气环境影响可以接受。

参考文献

- [1] 郝吉明,田金平,卢琬莹,等. 长江经济带工业园区绿色发展策略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 155-165.
- [2] 于淼,胡山鹰,陈定江,等. 中国不同类型工业园区的能耗、水耗及污染物排放量调查与分析[J]. 环境污染与防治, 2021, 43(11): 1465-1467.
- [3] 杜真,陈吕军,田金平. 中国工业园区生态化轨迹及政策变迁[J]. 中国环境管理, 2019, 11(6): 107-112.
- [4] 管志军. 工业园区环境影响评价大气污染物总量控制的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(15): 70-71.
- [5] 彭园花,郭奇,张慧,等. WRF-CMAQ 模型在工业园区规划环评的应用[J]. 煤炭与化工, 2022, 45(4): 150-160.
- [6] 唐芬. CALPUFF 模型在瑞丽国家重点开发开放试验区大气容量测算中应用[C]// 2014 年中国环境影响评价研讨会大会报告集. 北京: 环境保护部环境工程评估中心, 2014: 23.
- [7] 谭娟,杜文静,丁祖高,等. CALPUFF 模型在某开发开放试验区规划环评大气环境影响预测中的应用研究[J]. 环境科学导刊, 2024, 43(6): 82-85.
- [8] 郭朋恒,李丽珍,张文字,等. AERMOD 与 CMAQ 模式在园区规划环评大气颗粒物浓度预测中的运用对比[J]. 环境科学导刊, 2024, 43(1): 92-96.
- [9] 李莉,程水源,陈东升,等. 基于 CMAQ 的大气环境容量计算方法及控制策略[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(8): 162-166.
- [10] 薛文博,付飞,王金南,等. 基于全国城市 $PM_{2.5}$ 达标约束的大气环境容量模拟[J]. 中国环境科学, 2014, 34(10): 2490-2496.
- [11] 肖杨,毛显强,马根慧,等. 基于 ADMS 和线性规划的区域大气环境容量测算[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 13-16.
- [12] 燕鸥,王体健,阮兆元,等. 基于 ADMS 模型的工业园区 VOCs 排放源强反演[J]. 环境科学, 2025, 46(3): 1340-1349.
- [13] 蒋凯,侯晓松,程水源. 典型工业城市 O_3 污染成因及控制策略研究[J/OL]. 中国环境科学, 1-15[2025-01-07]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20250107.012>.
- [14] 杜小申,燕丽,贺晋瑜,等. 安阳市典型工业源 $PM_{2.5}$ 排放特征及减排潜力估算[J]. 环境科学, 2019, 40(5): 2043-2051.
- [15] 潘瑞欣,王芳婷,赵秀颖,等. 典型工业城市臭氧污染事件调控路径模拟研究[J]. 环境科学学报, 2024, 44(9): 21-31.
- [16] 耿秀华,陆志家. 印染园区规划环境影响评价资源环境制约因素研究[J]. 绿色科技, 2020(24): 119-121.
- [17] 胡亚琛. 园区环境影响评价的忧与思[J]. 环境经济, 2012(11): 42-47.
- [18] GRELL G A, PECKHAM S E, SCHMITZ R, et al. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(37): 6957-6975.
- [19] 宋鹏程,张馨文,黄强,等. 我国城市环境空气质量预报主要模型及应用[J]. 四川环境, 2019, 38(3): 70-76.
- [20] 沈劲,王雪松,李金凤,等. Models-3/CMAQ 和 CAMx 对珠江三角洲臭氧污染模拟的比较分析[J]. 中国科学: 化学, 2011, 41(11): 1750-1762.
- [21] 王晓彦,刘冰,李建军,等. 区域环境空气质量预报的一般方法和基本原则[J]. 中国环境监测, 2015, 31(1): 134-138.
- [22] 生态环境部. 环境影响评价技术导则大气环境. HJ 2.2—2018[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.

Prediction of PM_{2.5} and O₃ Concentrations in the Planned Industrial Park of Yumen City: Based on the WRF-Chem Model

BAI Ting^{1,2}, WANG Zhen², CAI Yonghui²

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730000, China;

2. Gansu Research Institute of Chemical Industry Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: To understand and grasp the impact of the planned project on the atmospheric environment of Yumen City and the surrounding counties and cities after its completion, the WRF-Chem model method was used to study the PM_{2.5} and O₃ concentrations in Yumen City after the completion of the project. Two scenarios were predicted. Scenario One, where the total amount of waste gas generated in the industrial park after the completion of the project is 3 127.75 t/a, and Scenario Two, where the total amount of waste gas generated is 5 112.74 t/a. The model simulation results indicate that during the planning period, the 8-hour average concentration of O₃ at each environmentally sensitive point, when added to the current concentration, meets the standards under the guaranteed rate. Under Scenario One, both the daily average and annual average concentrations of PM_{2.5}, when added to the current concentration, meet the standards. Under Scenario Two, the daily average and annual average concentrations of PM_{2.5} at the boundaries of the Mahuangtan core area, Mahuangtan buffer zone, and the experimental area of the Nanshan Nature Reserve exceed the standards when added to the current concentration, while other sensitive points meet the standards. To meet the control targets of the planning area, it is recommended to implement stricter pollution source reduction measures to ensure continuous improvement of PM_{2.5} concentrations.

Keywords: WRF-Chem; forecasting; planning projects; Yumen City