



The air pollution early-warning system with the mechanism of dynamic evaluation

李冉冉

燕山大学

统计与财务大数据研究实验室

面向美丽中国建设的环境影响评价学术会议
暨第七届中国环境影响评价学术研讨会·香港



目录

1

研究背景

2

研究问题

3

研究方法

4

研究结果

5

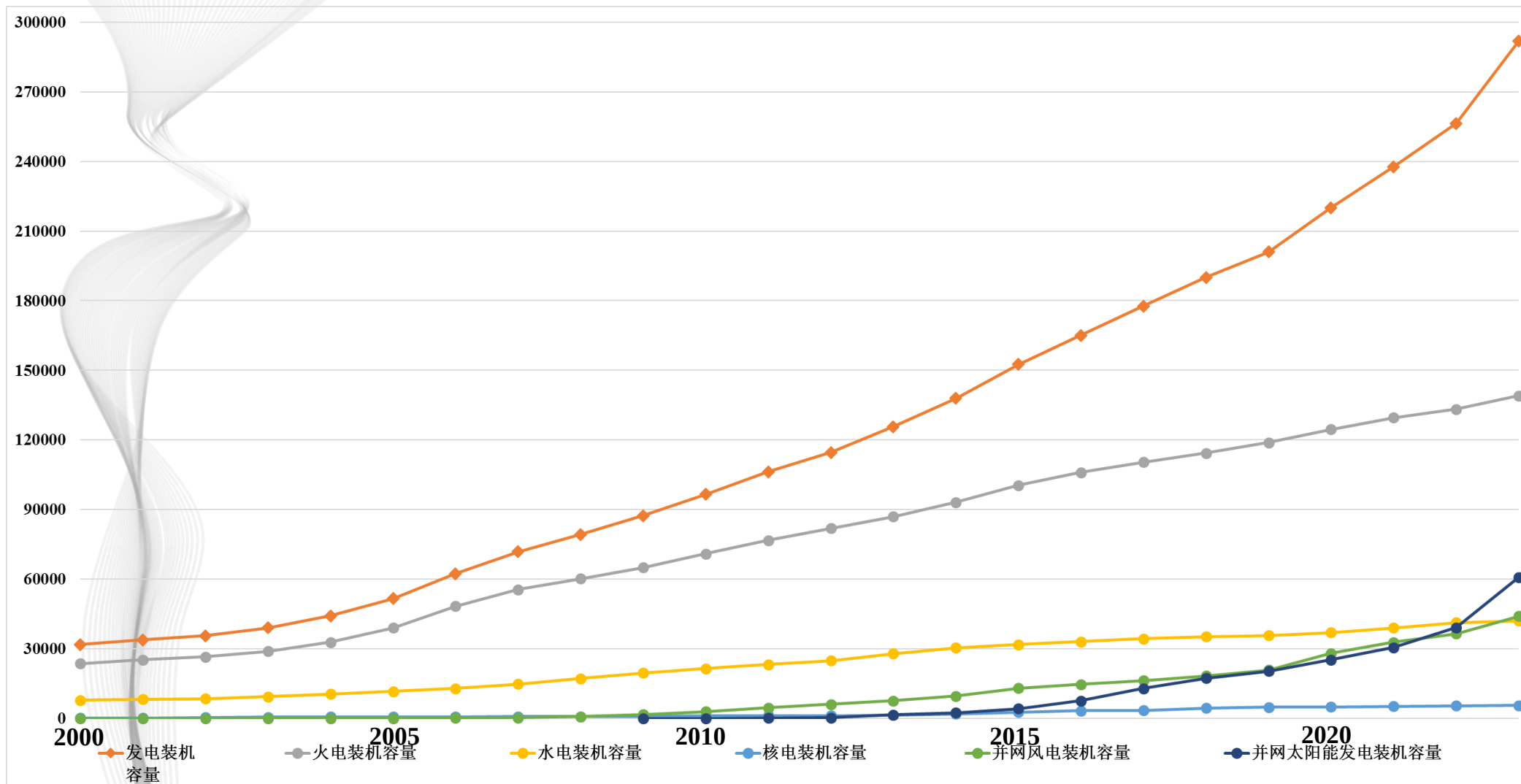
研究结论





1. 研究背景

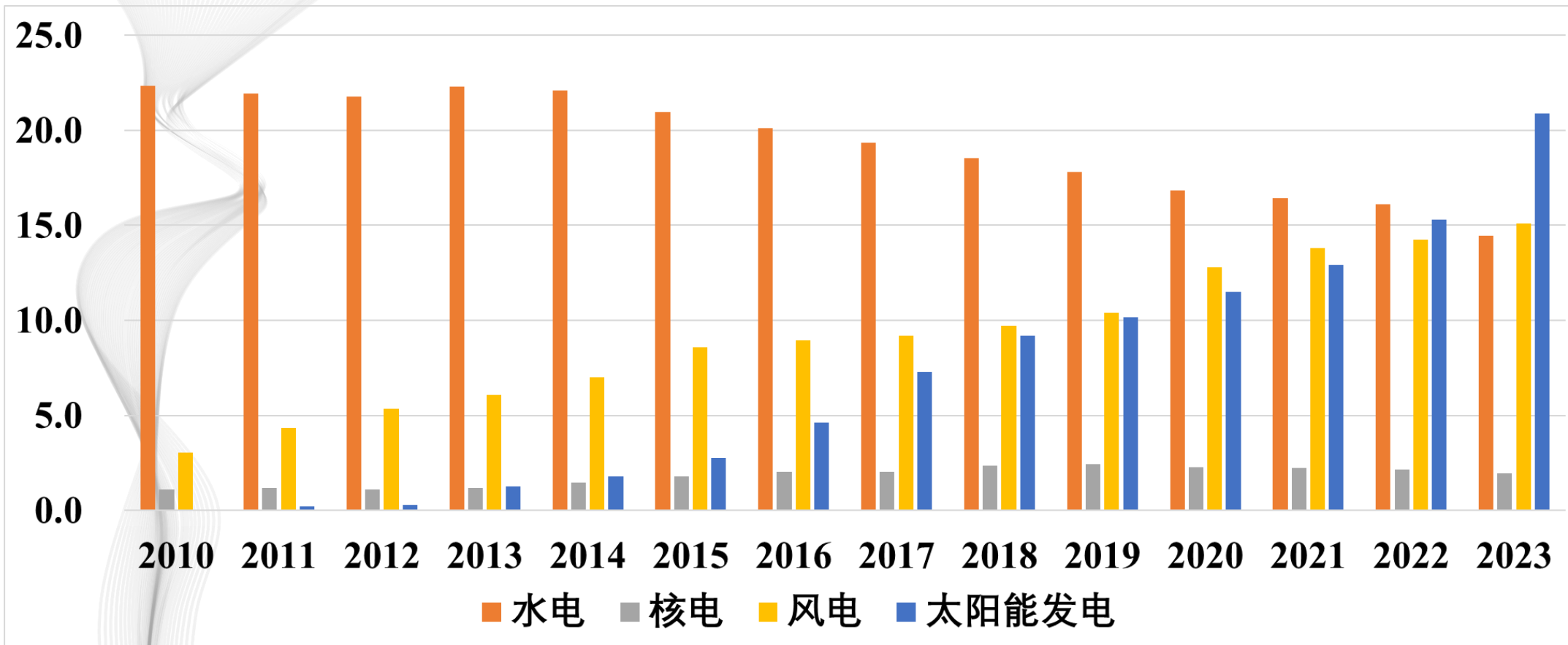
单位：万千瓦





1. 研究背景

历年发电装机比重（ % ）

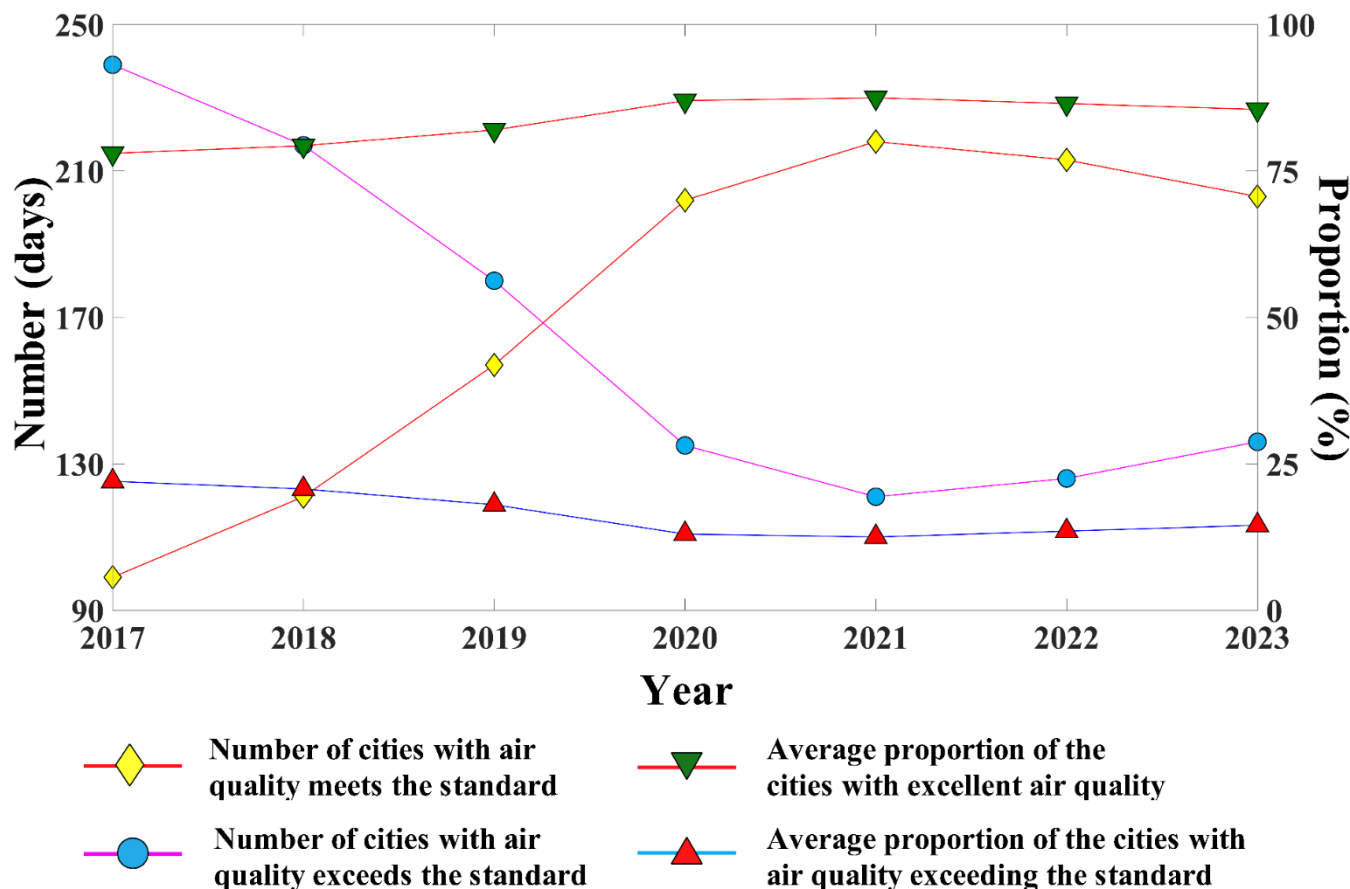


年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
火电比重	73.4	72.3	71.5	69.2	67.6	65.9	64.3	62.2	60.2	59.2	56.6	54.6	52.0	47.6



1. 研究背景

- 根据《中国生态环境状况公报》数据，城市空气污染问题尚没有得到彻底解决，不少城市存在污染反弹。
- 中国空气质量达标的城市数量没有稳步增加（有逐渐减少趋势），空气质量优良的城市比例存在下降态势。
- 从空气质量达标城市的数量和空气质量优良城市的平均比例看出，城市存在污染扩大风险。
- 总体反映出空气污染存在反弹现象，经济活动已显示出从2022年开始恢复增长的明显迹象。



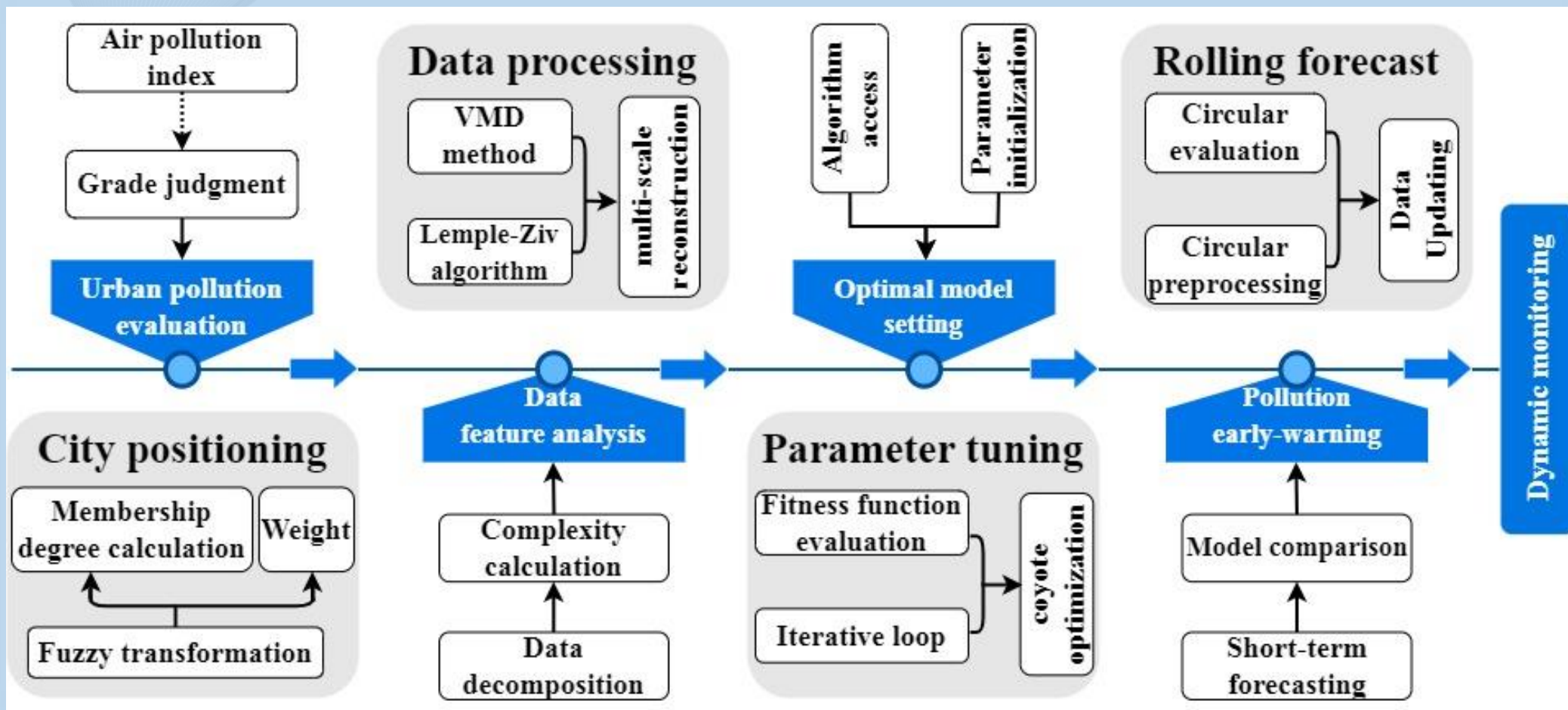


2. 研究问题

- 空气污染水平受诸多因素的影响，提高重污染天气预防预警、应急响应能力至关重要。
- 在国务院《空气质量持续改善行动计划》要求下，如何强化空气污染精细化管理水平，完善大气环境管理体系？
- 在生态环境部《进一步深化环境影响评价改革的通知》背景下，如何实现优化空气环境评价分类管理？
- 是否存在合适的空气污染预警管理模型，如何运用统计方法建立科学有效的空气污染预警模型？



3. 研究方法



Step 1: 因子矩阵转化

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6\} \quad \& \quad V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$$

Step 2: 隶属函数确定

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq S_{ij} \\ \frac{x_i - S_{i(j+1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)} \\ 0 & x_i \geq S_{i(j+1)} \end{cases} \quad y_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq S_{i(j-1)} \text{ or } x_i \geq S_{i(j+1)} \\ \frac{x_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} < x_i < S_{ij} \\ \frac{x_i - S_{i(j+1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} & S_{ij} \leq x_i \leq S_{i(j+1)} \end{cases} \quad y_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq S_{i(j-1)} \\ \frac{x_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} < x_i < S_{i(j+1)} \\ 1 & x_i \geq S_{ij} \end{cases}$$

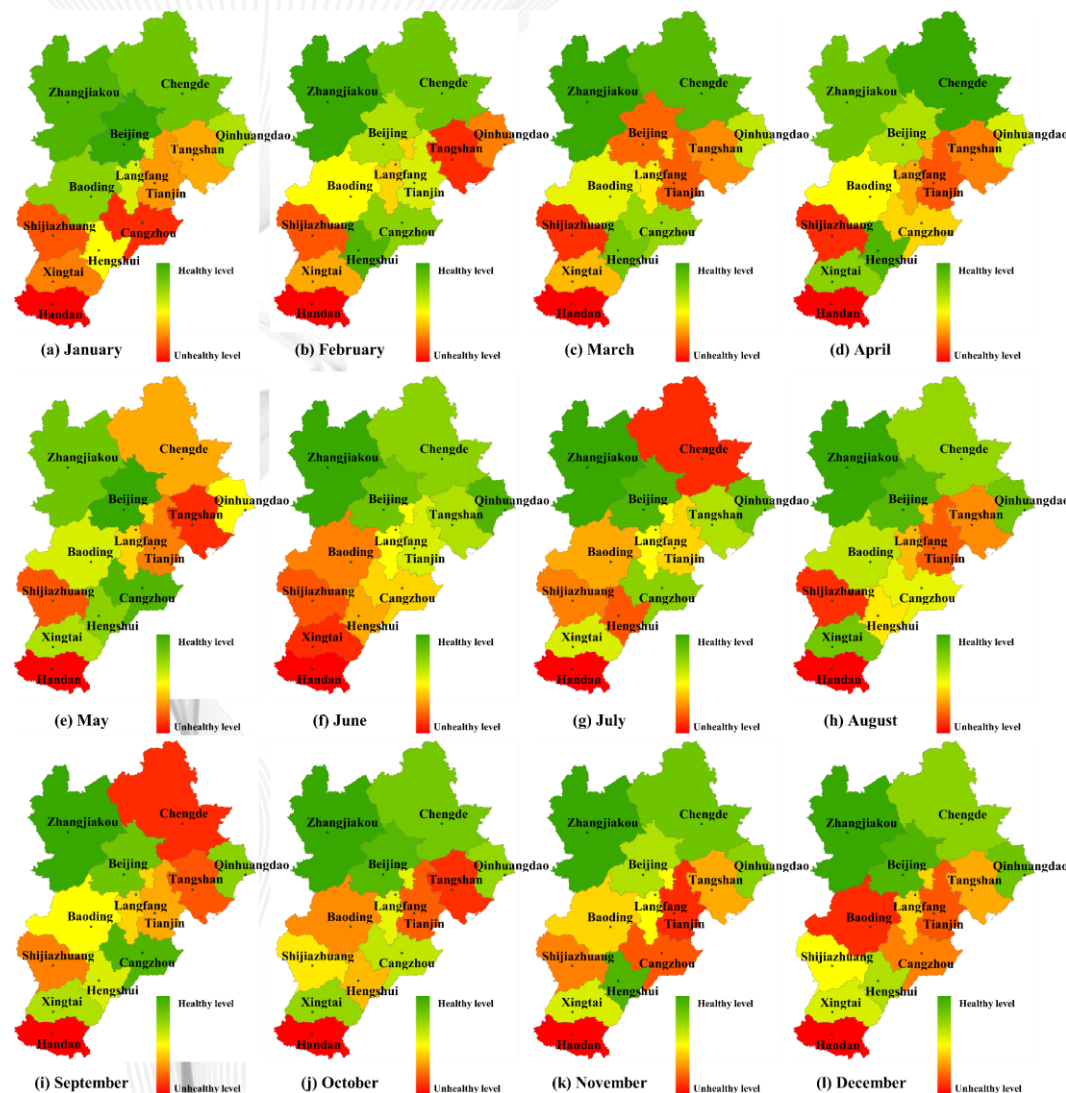
Step 3: 熵权计算

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum E_j} \quad E_j = - \frac{\sum_{i=1}^m P_{ij} \log_{10} P_{ij}}{\ln m}$$

Step 4: 等级评价输出

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} = w \bullet R$$

城市污染评估过程



- 该图显示出京津冀地区空气环境的相对污染程度。
- 从颜色比较来看，该地区北部的空气质量优于南部，且冬季的空气质量通常比夏季的空气质量差，原因之一：煤炭仍然是中国北方供暖的主要能源。
- 从空气污染水平的相对变化来看，邯郸的空气质量最为严重，钢铁是邯郸最大的主导产业，也是碳排放量最高的行业。

Fig. 1. Relative changes in air pollution of Jing-Jin-Ji area in 2021.

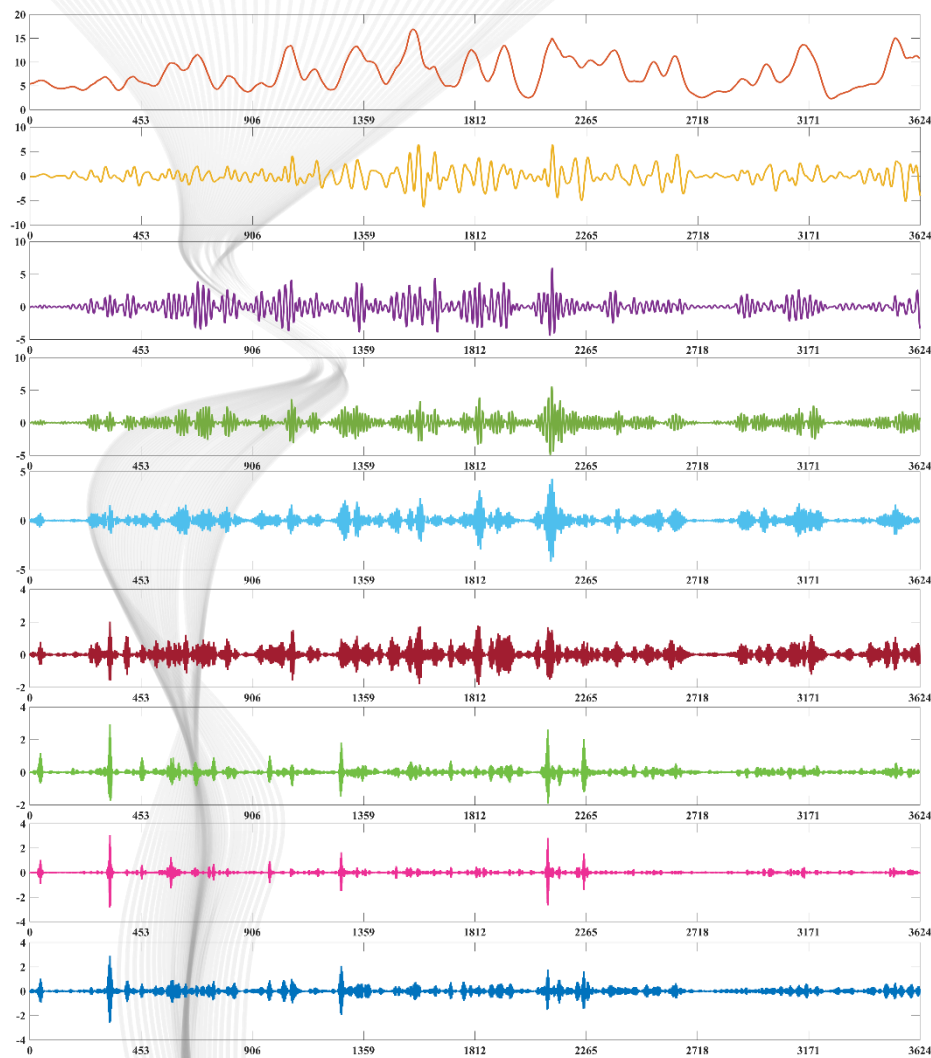


Fig. 2. VMD-based analysis decomposition procedure.

污染时序数据受多重因素的影响，呈现出非线性、非平稳、高复杂性、高波动性的特点。

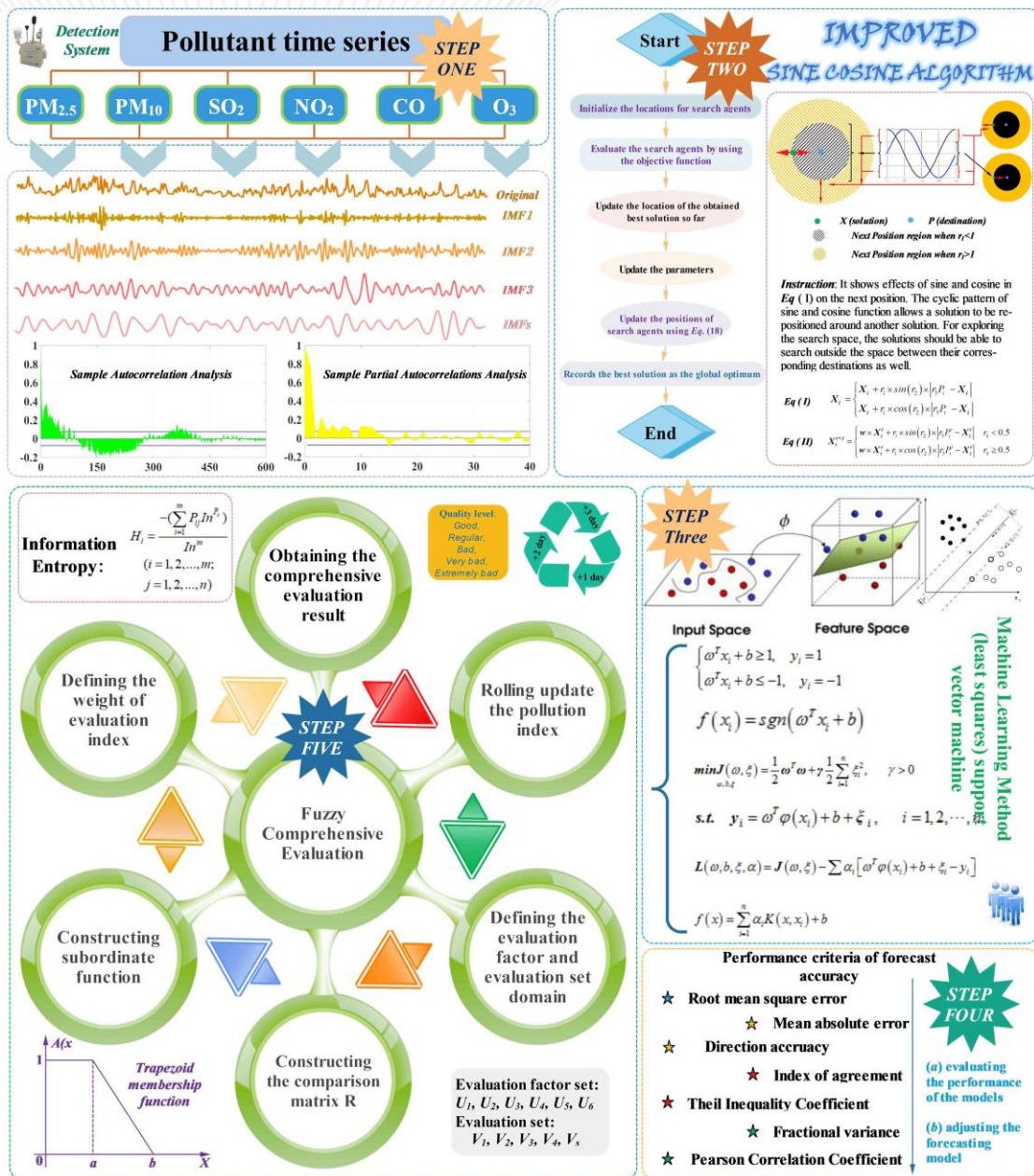
在本研究中，提出基于VMD分解的方法框架，将原始高复杂的污染时序进行分解，并根据分解序列的复杂度重构为长期趋势项、短期扰动项等。

“分解-集成-重构”方法还可以选择EMD、EEMD等，但VMD方法的自适应性更强，更适用于对高复杂度、强非线性特征的时序数据。

Table 1. Results of the Lempel-Ziv computational complexity index.

		VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8	VM9
Shijiazhuang	SO ₂	0.052	0.232	0.330	0.365	0.418	0.447	0.610	0.506	0.480
	NO ₂	0.098	0.320	0.365	0.427	0.463	0.467	0.574	0.525	0.424
	CO	0.049	0.166	0.307	0.418	0.434	0.522	0.607	0.545	0.382
	O ₃	0.082	0.254	0.320	0.440	0.460	0.457	0.571	0.525	0.418
	PM _{2.5}	0.052	0.147	0.271	0.401	0.460	0.473	0.591	0.515	0.496
	PM ₁₀	0.042	0.160	0.290	0.359	0.444	0.460	0.604	0.519	0.470
Tangshan	SO ₂	0.108	0.326	0.427	0.388	0.470	0.489	0.594	0.499	0.460
	NO ₂	0.069	0.284	0.264	0.352	0.372	0.467	0.600	0.643	0.199
	CO	0.098	0.316	0.408	0.434	0.480	0.489	0.577	0.529	0.460
	O ₃	0.095	0.290	0.339	0.330	0.440	0.483	0.584	0.519	0.258
	PM _{2.5}	0.042	0.147	0.297	0.356	0.427	0.463	0.584	0.542	0.463
	PM ₁₀	0.062	0.170	0.307	0.336	0.437	0.506	0.594	0.509	0.515
Handan	SO ₂	0.085	0.320	0.405	0.440	0.486	0.486	0.564	0.431	0.558
	NO ₂	0.075	0.303	0.382	0.427	0.470	0.405	0.561	0.548	0.414
	CO	0.091	0.307	0.362	0.362	0.470	0.453	0.581	0.568	0.434
	O ₃	0.085	0.254	0.310	0.434	0.476	0.434	0.561	0.542	0.418
	PM _{2.5}	0.039	0.147	0.395	0.414	0.473	0.519	0.607	0.620	0.307
	PM ₁₀	0.049	0.179	0.320	0.356	0.486	0.424	0.545	0.577	0.418

数据预测框架



为了获得最佳的预测性能，采用群智能优化方法对预测模型的初始参数进行微调，其中优化过程主要通过适应度函数来修改和训练数据，进而实现收敛速度更快和精度更高。

空气污染数据分解后，通过优化后的线性和非线性模型对不同的子序列进行预测。之后，通过重建高频、低频和趋势分量的所有预测值来加成最终预测。

Table 2. Findings of multiple technical model pollution concentration calculations in Tangshan

		NAïVE	ARMA	ENN	ELM	GRU	LSTM	<u>svm</u>	<u>VMD-svm</u>	VMD-ARMA	VMD- <u>svm</u> -ARMA
SO ₂	MAE	2.204	1.520	2.703	1.402	1.928	1.708	1.350	1.348	1.519	0.559
	MAPE	26.966	22.326	46.577	18.331	24.268	22.292	<u>16.801</u>	16.820	22.386	8.053
	RMSE	4.350	2.623	3.777	2.637	3.561	3.057	2.644	2.635	2.620	0.916
	P	0.759	0.899	0.785	0.899	0.804	0.872	0.896	0.897	0.900	0.988
NO ₂	MAE	8.131	4.283	4.744	4.606	4.561	4.453	4.432	4.385	4.319	2.120
	MAPE	32.995	<u>17.782</u>	20.954	20.066	18.359	18.557	18.264	18.012	18.160	9.208
	RMSE	11.709	6.462	6.968	6.746	6.910	6.762	6.712	6.676	6.451	3.154
	P	0.909	0.972	0.967	0.969	0.968	0.969	0.970	0.970	0.972	0.993
CO	MAE	0.187	0.109	0.137	0.108	0.127	0.134	0.109	0.109	0.108	0.055
	MAPE	23.532	14.722	20.229	14.627	17.152	18.031	14.261	<u>14.251</u>	14.584	7.734
	RMSE	0.322	0.177	0.212	0.178	0.200	0.220	0.184	0.184	0.176	0.085
	P	0.834	0.942	0.916	0.941	0.924	0.908	0.937	0.937	0.942	0.987
O ₃	MAE	9.481	5.331	6.443	5.798	7.040	5.298	5.598	5.612	5.359	1.929
	MAPE	33.136	22.159	25.206	23.017	41.614	21.317	20.047	<u>19.995</u>	22.335	9.334
	RMSE	13.060	7.719	8.651	8.127	9.615	7.819	8.161	8.167	7.782	2.778
	P	0.865	0.955	0.948	0.951	0.926	0.952	0.950	0.950	0.953	0.994
PM _{2.5}	MAE	8.431	4.891	5.031	4.885	5.135	5.059	4.819	4.806	4.845	3.008
	MAPE	26.143	14.851	15.911	14.706	17.584	17.047	14.178	<u>14.112</u>	14.632	9.570
	RMSE	14.233	8.998	9.222	8.987	8.762	9.071	8.988	8.984	8.983	5.095
	P	0.926	0.970	0.969	0.970	0.972	0.970	0.970	0.970	0.970	0.990
PM ₁₀	MAE	12.620	7.699	7.858	7.906	9.453	9.470	7.484	7.466	7.669	4.817
	MAPE	22.793	14.903	15.464	15.517	17.956	20.107	<u>14.309</u>	14.332	14.873	9.530
	RMSE	20.253	14.969	14.986	15.000	18.273	16.485	13.773	13.767	15.020	8.528
	P	0.934	0.963	0.963	0.963	0.945	0.957	0.969	0.969	0.963	0.988



4. 研究结果

Table 3. Findings of multiple technical model pollution concentration calculations in Tangshan

City	Num	SO ₂			NO ₂			CO			O ₃			PM _{2.5}			PM ₁₀		
		Min.	Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.
Beijing	12	1.9	3.0	9.0	4.3	28.6	82.9	0.2	0.6	2.3	3.0	58.9	155.5	3.2	34.9	234.6	6.3	68.1	1770.3
Tianjin	9	3.4	8.4	19.9	10.3	38.4	102.6	0.3	0.8	2.0	3.6	60.6	177.1	3.6	40.5	205.9	5.0	79.7	866.6
Shijiazhuang	7	2.4	8.6	40.1	7.1	29.9	74.4	0.2	0.7	2.5	8.9	70.0	177.4	9.6	47.2	188.6	12.5	97.2	819.7
Tangshan	4	2.5	10.1	38.2	9.6	40.0	92.5	0.2	1.0	3.3	4.0	57.9	175.9	8.0	44.2	177.4	9.9	86.2	749.9
Qinhuangdao	4	2.8	11.4	45.6	7.5	31.8	92.5	0.2	0.7	3.9	10.4	63.4	164.9	4.4	35.8	165.4	8.6	67.9	484.0
Handan	4	2.1	10.5	42.6	3.1	29.2	74.5	0.2	0.8	5.9	5.0	67.6	161.6	5.0	47.9	205.9	7.0	94.3	769.9
Baoding	6	3.4	8.1	35.5	10.1	35.4	88.5	0.2	0.6	1.8	3.6	63.4	162.1	8.5	43.2	193.3	13.2	88.2	581.1
Zhangjiakou	4	3.5	9.1	39.6	4.8	19.2	63.8	0.1	0.5	2.0	16.2	70.8	139.3	6.4	28.4	281.4	8.7	66.5	845.5
Chengde	5	2.6	10.4	44.6	7.0	28.2	67.4	0.3	0.8	2.8	3.8	51.2	142.1	9.6	31.3	121.1	9.1	61.4	444.0
Langfang	3	1.0	7.5	18.6	11.1	36.2	100.7	0.2	0.6	1.8	3.2	61.3	167.5	5.7	38.8	222.1	10.5	82.2	824.0
Cangzhou	3	2.3	8.2	29.8	6.5	30.7	84.5	0.2	0.6	2.3	6.3	67.1	155.0	8.1	41.1	179.9	10.1	79.4	1006.0
Hengshui	2	3.2	12.3	36.4	5.6	28.2	78.0	0.2	0.6	1.9	6.7	69.8	178.4	6.7	43.1	165.4	6.4	80.0	725.7
Xingtai	4	2.6	9.7	36.3	7.1	31.2	72.8	0.2	0.8	2.7	6.0	66.7	161.6	5.6	45.2	202.5	10.3	88.6	729.6



4. 研究成果

Table 4. Days of each air quality level of A1029 in 2021.

Month	I	II	III	IV	V	VI	VII
January	3	11	6	1	6	1	3
February	0	13	11	0	4	0	0
March	2	8	9	0	10	2	0
April	2	12	13	0	2	1	0
May	1	19	8	0	2	0	1
June	1	19	2	0	8	0	0
July	9	16	0	0	6	0	0
August	2	26	0	0	3	0	0
September	9	15	6	0	0	0	0
October	3	20	7	0	1	0	0
November	3	16	3	1	7	0	0
December	0	23	5	1	2	0	0

Table 5. Average air quality levels in Jing-Jin-Ji area in February, 2021.

City	I	II	III	IV	V	VI	VII
Beijing	5	13	7	0	3	0	0
Tianjin	3	13	10	0	2	0	0
Shijiazhuang	1	14	9	0	4	0	0
Tangshan	2	10	7	1	8	0	0
Qinhuangdao	2	13	11	0	2	0	0
Handan	1	11	8	0	1	0	7
Baoding	3	17	5	0	3	0	0
Zhangjiakou	6	17	4	0	1	0	0
Chengde	4	15	8	0	1	0	0
Langfang	3	14	8	0	3	0	0
Cangzhou	1	18	8	0	1	0	0
Hengshui	2	20	5	1	0	0	0
Xingtai	2	16	7	0	3	0	0



4. 研究结果

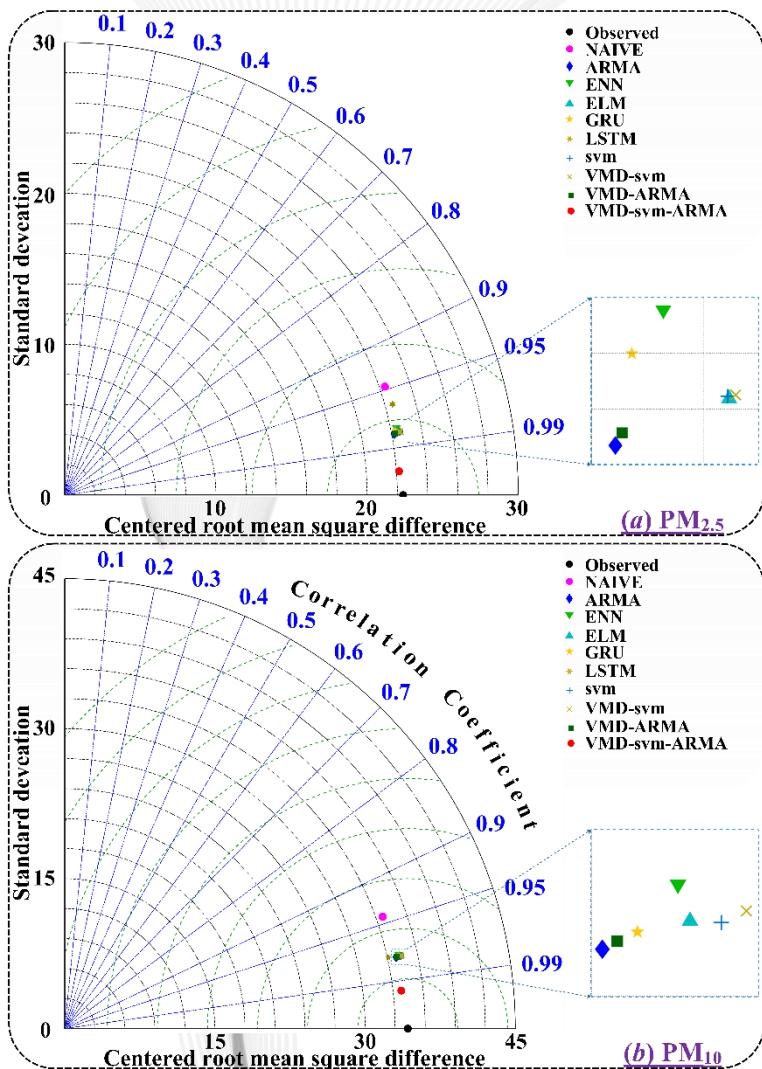


Fig. 3. Taylor diagram for the forecast of Shijiazhuang's $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations.

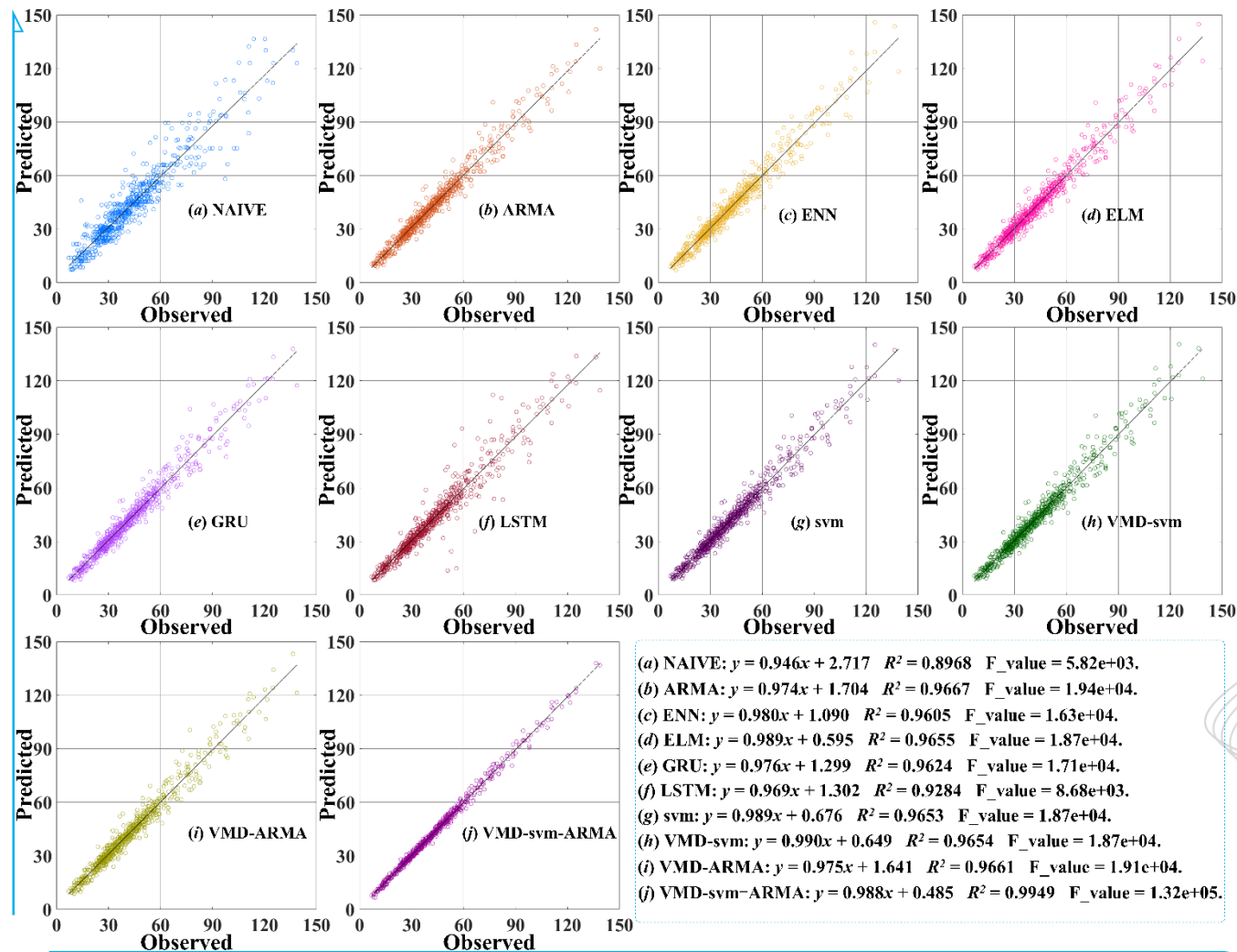


Fig. 4. Scatter plot of the forecasted data and the observed PM_{10} concentration data in Handan.



5. 研究结论

- 构建空气污染预警系统需要有效的**数据分析工具**作为研究基础。一方面，数据预处理分析框架可以对缺失样本信息进行有效的插值补充，并解决建模过程中数据量纲不一致的问题；另一方面，针对非平稳时间序列数据的噪声项，该框架通过引入**去噪算法**能够有效提取数据中的有价值信息。
- 针对当前时序分解集成模式下预测模型的**精度提升问题**，研究基于**分解模态集成优化**的组合预测模型，解决空气污染趋势预测精度提升的问题。首先，利用分解与集成理论建立多尺度组合预测模型，并以**聚类**方法为工具对分解模态进行集成项的优化重构，解决预测模型在分解集成阶段的优化问题；然后，根据多尺度重构项的频率特征，选择与之**相适应**的预测方法，解决空气污染实时预测中的稳定性问题。



未来关注

- ▣ 空气污染预警管理模型如何改进？。
- 预测模型选择问题的思考？
- 空气污染具有区域异质性特征，空气污染的预测也需要考虑不同地区的影响因素，即滞后变量+横向变量。
- 空气污染是否需要加入新型污染物？

The air pollution early-warning system with the mechanism of dynamic evaluation



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

感谢关注
李冉冉 燕山大学

面向美丽中国建设的环境影响评价学术会议
暨第七届中国环境影响评价学术研讨会·香港