

## 环境管理

## 甘肃东部城市群空气质量演变特征研究

高文琪<sup>1</sup>, 吴守霞<sup>2</sup>, 李颖<sup>2</sup>

(1.兰州工业学院 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2.兰州工业学院 电子信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:**基于庆阳、平凉、天水3市2015年度空气质量监测数据,分析甘肃东部城市群空气质量月度和季度变化特征并进行综合评价。结果表明,3市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>浓度从3月开始呈下降趋势并于9月降至最低值,O<sub>3</sub>浓度变化呈倒“U”型。3市空气质量指数在3~9月呈平缓下降趋势,9~1月上升趋势较为明显。对于不同污染物之间的Spearman相关性,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>的相关系数介于0.589~0.979;对于不同城市同一污染物之间的Spearman相关性,除NO<sub>2</sub>外,其他相关系数均较高。

**关键词:**甘肃东部城市;空气质量;演变;对比研究

中图分类号:X821

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2019)03-0055-05

## Study on the evolution characteristics of air quality of the urban agglomeration in eastern Gansu

GAO Wen-qi<sup>1</sup>, WU Shou-xia<sup>2</sup>, LI Yin<sup>2</sup>

(1.College of Civil Engineering, Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou 730050, China;

2.College of Electronics and Information Engineering, Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:**Based on the monitored air quality data of Qingyang, Pingliang and Tianshui in 2015, the monthly and seasonal evolution characteristics of air quality in eastern cities of Gansu were analyzed. The results showed that the concentrations of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> in those three cities declined from March and reached the minimum in September. The concentration curve of O<sub>3</sub> appeared aninverted "U" shape. The air quality index (AQI) in these three cities declined steadily from March to September, and increased from September to January. The Spearman correlation coefficient between PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> was between 0.589 to 0.979. The coefficient of same pollutant in different cites was high for all the pollutants except NO<sub>2</sub>.

**Key words:** Eastern cities of Gansu; Air quality; Evolution; Comparative study

## 0 引言

改革开放以来,随着科技、经济的发展,我国经历了一个快速的工业化、城市化发展过程。随着工业化、城市化的逐步推进,我国城市空气质量也

受到不同程度的污染<sup>[1-2]</sup>。空气污染不仅会造成严重的经济损失<sup>[3-4]</sup>,也会与由气候变化而引起的空气质量变化叠加,对人类健康产生重大影响<sup>[5-15]</sup>。穆泉<sup>[16]</sup>等研究了2013年1月我国一次全国性的

收稿日期:2019-01-23

基金项目:兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(lzujbky-2017-sp30);甘肃省高等学校科研项目资助(2017A-102);兰州工业学院青年科技创新项目资助(17K-020)

第一作者简介:高文琪(1982-),男,甘肃宁县人,讲师,硕士。E-mail:shanshuiye@126.com

引用格式:高文琪,吴守霞,李颖.甘肃东部城市群空气质量演变特征研究[J].能源环境保护,2019,33(3):55-59+54.

大规模雾霾事件,利用公开报道的数据,估算出该事件对交通及健康造成的直接经济损失约 230 亿元。廖玉学等<sup>[17]</sup>研究了深圳市 2006~2016 年大气污染物浓度变化趋势,结果表明 2006~2016 年深圳市  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  浓度总体呈下降趋势,空气质量逐年明显改善,但与发达国家空气质量标准仍有较大差距。王涛等<sup>[18]</sup>研究了 2015 年南京市  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  的浓度特征和来源,结果显示南京市年均  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度较高,季节变化特征为:冬>春>秋>夏,浓度城区高于郊区,植被茂盛区域浓度较低。陈瑞等<sup>[19]</sup>收集了兰州市 2014~2015 年空气质量的监测数据并分析其演变规律,结果表明 2014~2015 年兰州市环境空气质量有所改善,采暖期与非采暖期空气污染物种类有所区别。高庆先等<sup>[20]</sup>利用中国环境监测总站的监测资料,对 2014 年北京奥体中心空气质量演变特征进行了分析,结果表明,2014 年北京奥体中心首要污染物为颗粒物,严重污染时  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  分别是 WHO《空气质量准则》推荐平均浓度准则值的 13 和 10 倍。现有的研究多集中于北京、上海、天津等直辖市和中东部的省会城市,甘肃省的相关研究也多集中于省会兰州市,而对于经济欠发达的甘肃省东部城市群的空气质量整体研究尚未见报道。

甘肃东部城市包括庆阳、平凉和天水三个城市,东临陕西省延安市、咸阳市和宝鸡市,西连甘肃定西市、白银市,北临宁夏固原市,属于暖温带大陆性季风型气候,是甘肃省重要的工农业基地。本研究利用全国空气质量历史数据,对甘肃省东部 3 个城市 2015 年空气质量状况作以分析和评估,探讨甘肃省东部空气质量演变特征,以期对甘肃省大气环境控制和改善提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

2015 年甘肃省东部庆阳、平凉、天水 3 市空气质量数据来源于中国空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/>)。空气质量监测数据包括  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$  平均浓度等数据。

### 1.2 评价标准

评价标准参照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)<sup>[21]</sup>。

### 1.3 研究方法

主要利用统计学中的时间序列分析方法和多元回归方法进行分析。利用 Excel 2007 对数据进

行初级处理。采用 Origin 软件分析各市  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$  浓度变化趋势。采用 SPSS 软件分析各污染物以及各城市之间的相关性。季节以天文季节与气候季节相结合的方式划分,即春季(3~5月)、夏季(6~8月)、秋季(9~11月)和冬季(12~2月)。

## 2 污染物时空格局演变(结果与分析)

### 2.1 污染物月均质量浓度变化特征

图 1 为甘肃省 3 市 2015 年  $\text{PM}_{2.5}$  月均数据变化曲线图。由图可见,3 市的  $\text{PM}_{2.5}$  均呈“中间低,两边高,7 月小高峰”的特点。平凉市的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度略高于其他两市,最大  $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最小  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。庆阳市  $\text{PM}_{2.5}$  浓度变化幅度较小,最大  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最小  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

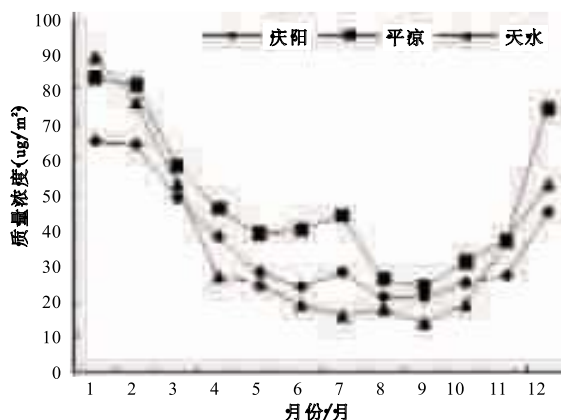


图 1 甘肃省东部 3 市 2015 年  $\text{PM}_{2.5}$  月均质量浓度变化曲线

图 2 为甘肃省 3 市 2015 年  $\text{PM}_{10}$  月均数据变化曲线图。由图可见,平凉市的  $\text{PM}_{10}$  浓度为 3 市最高,最大  $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最小  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

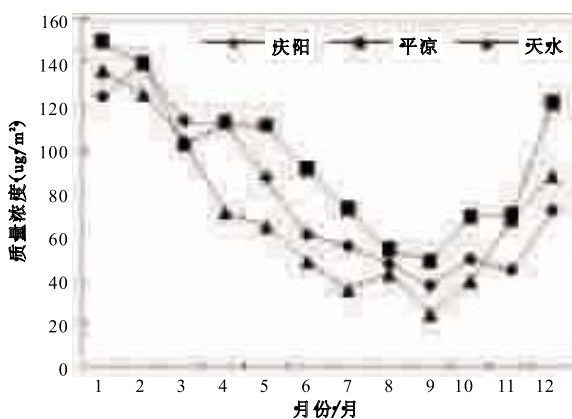


图 2 甘肃省东部 3 市 2015 年  $\text{PM}_{10}$  月均质量浓度变化曲线

图3为甘肃省3市2015年SO<sub>2</sub>月均数据变化曲线图。由图可见,3市SO<sub>2</sub>变化曲线呈“U”型,在4~10月SO<sub>2</sub>浓度在5~16 μg/m<sup>3</sup>之间,浓度较低,一致性较好,其他月份增加较明显。3~11月份又以平凉市的SO<sub>2</sub>浓度为最低,在27~45 μg/m<sup>3</sup>之间,较其他两市低。

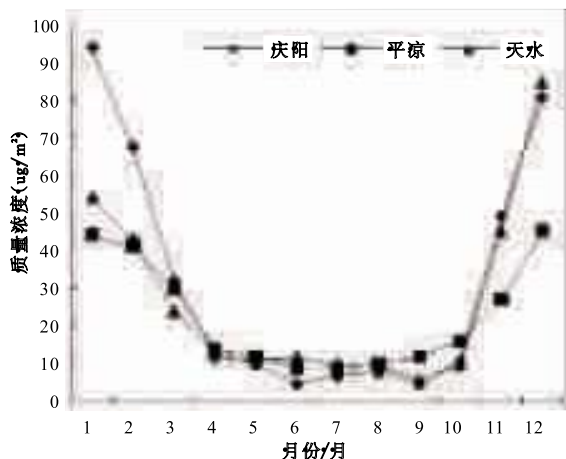


图3 甘肃省东部3市2015年SO<sub>2</sub>月均质量浓度变化曲线

图4为甘肃省3市2015年NO<sub>2</sub>月均数据变化曲线图。庆阳、平凉、天水3市的NO<sub>2</sub>年均浓度分别为20.42、44.33、33.8 μg/m<sup>3</sup>。平凉市、庆阳市的NO<sub>2</sub>浓度变化幅度小,但平凉的污染物浓度远大于庆阳。庆阳市NO<sub>2</sub>浓度最小,在12~95 μg/m<sup>3</sup>之间。天水市NO<sub>2</sub>浓度变化幅度最大,浓度介于两市之间。

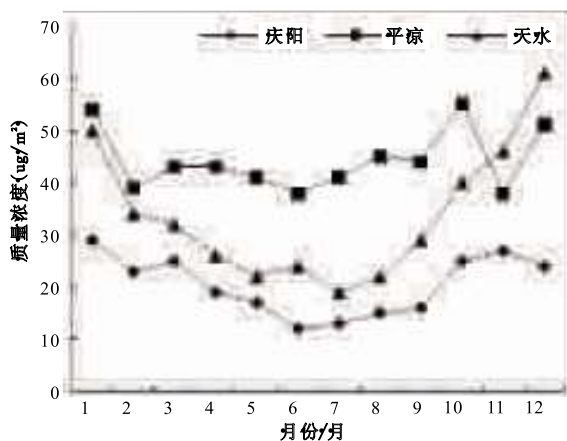


图4 甘肃省东部3市2015年NO<sub>2</sub>月均质量浓度变化曲线

图5为甘肃省东部3市2015年O<sub>3</sub>月均质量浓度变化曲线图。O<sub>3</sub>的变化曲线与其他污染物完全不同,呈现倒“U”型的特点。11月3市的O<sub>3</sub>浓度最低,在37~38 μg/m<sup>3</sup>之间,4~7月O<sub>3</sub>浓度高,庆阳市最高可达134 μg/m<sup>3</sup>。

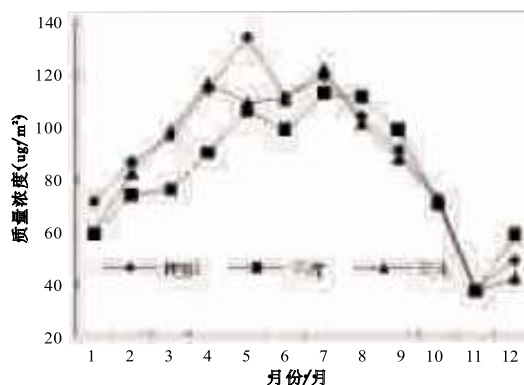


图5 甘肃省东部3市2015年O<sub>3</sub>月均质量浓度变化曲线

综上所述,甘肃东部3市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>浓度从3月开始呈下降趋势,至9月份,浓度降至最低,此后又逐步上升,其中SO<sub>2</sub>浓度在4~10月均维持在较低水平,此后浓度急剧增大。3市NO<sub>2</sub>浓度11、12月份略高。3市O<sub>3</sub>浓度变化与其他污染物不同,呈倒“U”型。

## 2.2 空气质量指数月均变化特征

空气质量指数(AQI)是国际上普遍采用的定量评价空气质量好坏的重要指标,大小分为六级,指数越大,级别越高说明污染的情况越严重,具体如表1所示。

表1 空气质量指数的等级及类别

空气质量指数	空气质量指数级别	空气质量指数类别
0~50	一级	优
51~100	二级	良
101~150	三级	轻度污染
151~200	四级	中度污染
201~300	五级	重度污染
>300	六级	严重污染

将2015年甘肃省东部3市空气质量指数进行统计,得到3市空气质量指数变化曲线图,如图6所示。3市3~9月空气质量指数平缓下降,9月至1月上升比较明显。3市均处于关中平原东部,气候相近,人口差别不大,空气质量指数变化趋势一致性较高。

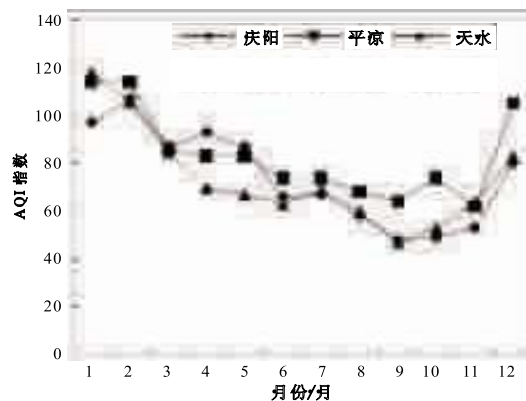


图6 甘肃省东部3市2015年AQI指数变化曲线图

### 2.3 主要污染物季节变化特征

统计3市主要污染物季节均值,其结果如表2所示。3市的PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>均呈现夏秋低、冬春高的特点,其中冬季又高于春季。3市的PM<sub>2.5</sub>冬季介于58~79 μg/m<sup>3</sup>之间,春季介于38~48 μg/m<sup>3</sup>之间;3市的PM<sub>10</sub>冬季介于112~136 μg/m<sup>3</sup>之间,春季介于80~108 μg/m<sup>3</sup>之间。3市的SO<sub>2</sub>夏季低,春秋居中,冬季居高不下。3市的SO<sub>2</sub>夏季介于7~11 μg/m<sup>3</sup>之间,春秋季介于16~22 μg/m<sup>3</sup>之间,冬季介于43~80 μg/m<sup>3</sup>之间。3市NO<sub>2</sub>变化趋势夏季稍低,冬季略高,但春秋冬季节变化不明显,平凉NO<sub>2</sub>高于其他2市。3市的O<sub>3</sub>呈现春夏高、秋冬低的特点。

表2 甘肃省东部3市主要污染物季均值统计表

城市	季节	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
庆阳	春	38	104	18	20	115
	夏	24	55	7	13	111
	秋	24	44	22	23	67
	冬	58	112	80	25	69
平凉	春	48	108	19	42	91
	夏	37	73	9	41	107
	秋	31	63	18	46	68
	冬	79	136	43	48	64
天水	春	35	80	16	27	108
	夏	18	43	11	22	111
	秋	23	44	20	38	66
	冬	73	116	60	48	61

### 2.4 主要污染物超标率评价

超标率指在统计月份内某一污染物的日均质量浓度超过《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中的二级限值的天数占总监测天数的比值,其结果如表3所示。由表3可见,3市超标率较高的均为颗粒物,但特点又各不相同。庆阳市PM<sub>10</sub>超标率略高于PM<sub>2.5</sub>,5~12月份其PM<sub>10</sub>超标率分别为6.5%、29%、42.9%、19.4%、23.3%、9.7%;平凉市和天水市细颗粒物超标率高于粗颗粒物,其中又以1月份最高,分别达到51.6%和77.4%。平凉市12~4月份PM<sub>2.5</sub>超标率分别为38.7%、51.6%、42.9%、25.8%、13.3%,天水市12~4月份PM<sub>2.5</sub>超标率分别为9.7%、77.4%、39.3%、16.1%、0。SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>超标率低,全年仅个别月份超标。

### 2.5 不同城市各空气污染物相关性分析

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析,从而衡量两个变量因素的相关密切程度的一种方法。

甘肃省东部3市同一城市不同污染物之间Spearman相关性分析结果如表4所示。

表3 甘肃省东部3市主要污染物超标率统计表

城市	污染物	各月污染物超标率/%											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
庆阳	PM <sub>2.5</sub>	25.8	25.0	19.4	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.3	19.4
	PM <sub>10</sub>	29.0	42.9	19.4	23.3	9.7	3.3	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	6.5
	SO <sub>2</sub>	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	NO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	O <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平凉	PM <sub>2.5</sub>	51.6	42.9	25.8	13.3	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	38.7
	PM <sub>10</sub>	41.9	35.7	16.1	20.0	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	29.0
	SO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	NO <sub>2</sub>	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0
	O <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
天水	PM <sub>2.5</sub>	77.4	39.3	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7
	PM <sub>10</sub>	32.3	17.9	9.7	6.7	3.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	6.5
	SO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
	NO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
	O <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表4 甘肃省东部3市2015年各污染物Spearman相关系数

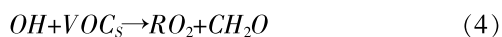
城市	污染物	1	2	3	4	5
庆阳	PM <sub>2.5</sub>	1				
	PM <sub>10</sub>	.882**	1			
	SO <sub>2</sub>	.814**	.589*	1		
	NO <sub>2</sub>	.569	.289	.839**	1	
	O <sub>3</sub>	-.207	.102	-.648*	-.739**	1
平凉	PM <sub>2.5</sub>	1				
	PM <sub>10</sub>	.937**	1			
	SO <sub>2</sub>	.628*	.618*	1		
	NO <sub>2</sub>	-.004	-.018	.351	1	
	O <sub>3</sub>	-.396	-.389	-.844**	-.192	1
天水	PM <sub>2.5</sub>	1				
	PM <sub>10</sub>	.979**	1			
	SO <sub>2</sub>	.915**	.887**	1		
	NO <sub>2</sub>	.685*	.567	.713**	1	
	O <sub>3</sub>	-.523	-.385	-.556	-.907**	1

\*\* .在0.01级别(双尾),相关性显著。\* .在0.05级别(双尾),相关性显著。

由表 4 可见,3 市  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$  之间正相关,相关性较强,其相关系数介于 0.589~0.979 之间;庆阳市和平凉市  $NO_2$  与  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$  之间正相关,平凉市为负相关。庆阳市、天水市的  $O_3$  与  $NO_2$  呈极强的负相关。这是因为城市地区近地面空气中的  $O_3$  是由其前体物  $NO_x$  发生一系列的光化学反应而生成<sup>[22]</sup>:



而在真实的环境中,由于存在氧化性更强的自由基,该自由基会与  $NO$  反应,导致式 1 至 3 的零循环反应终止,从而形成  $O_3$  浓度的积累<sup>[22]</sup>,如式(4)和式(5)。



从以上的反应可以看出, $O_3$  产生的最根本原因是  $NO_2$  的光解<sup>[23]</sup>。因而  $NO_2$  作为  $O_3$  的前体物之一,与浓度呈现很好的负相关关系。而平凉市由于  $NO_2$  浓度全年均处于较高的水平,加之由于化工等行业产生的挥发性有机物(VOCs)等污染物的影响<sup>[24]</sup>,导致  $O_3$  与  $NO_2$  相关性弱。

进一步分析同一污染物不同城市之间 Spearman 相关性,其结果如表 5 所示。除平凉与庆阳、天水 2 市的  $NO_2$  相关系数外,其他的相关系数均接近或大于 0.8,相关性极强。由图 5 可知,平凉市的  $NO_2$  浓度全年均处于较高的水平上,导致庆阳-平凉、平凉-天水的  $NO_2$  相关系数在 0.3~0.4 之间。有研究表明,机动车对  $NO_2$  贡献率约占 60%左右<sup>[25-27]</sup>。虽然平凉市汽车保有量不高,但是作为甘肃省重要的产煤区,2015 年全年原煤产量达 2 135.56 万 t<sup>[28]</sup>。除开采、加工外,大量原煤运输带来的尾气排放远大于其他 2 市,这也是造成这一现象的重要原因。

表 5 甘肃省东部不同城市同一污染物 Spearman 相关系数

污染物	城市	庆阳	平凉	天水
$PM_{2.5}$	庆阳	1		
	平凉	.944**	1	
	天水	.873**	.828**	1
$PM_{10}$	庆阳	1		
	平凉	.918**	1	
	天水	.827**	.867**	1
$SO_2$	庆阳	1		
	平凉	.935**	1	
	天水	.878**	.795**	1
$NO_2$	庆阳	1		
	平凉	.347	1	
	天水	.835**	.361	1
$O_3$	庆阳	1		
	平凉	.886**	1	
	天水	.958**	.869**	1

\*\* . 在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

### 3 结论

综上所述,本文的主要结论如下:

(1) 3 市  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$  浓度从 3 月开始呈下降趋势,至 9 月份,浓度降至最低,此后又逐步上升,其中  $SO_2$  浓度在 4~10 月均维持在较低水平,此后浓度急剧增大。平凉市的  $NO_2$  浓度是庆阳市的 2.17 倍,天水市的 1.31 倍。3 市  $O_3$  浓度变化与其他污染物不同,呈倒“U”型。

(2) 3 市的空气质量指数变化特征一致性较高,3~9 月平缓下降,9 月至 1 月上升比较明显。

(3) 季节变化特征来说,3 市  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  均呈现“夏秋低、冬春高”的特点,其中冬季又高于春季。3 市的  $SO_2$  夏季低,春秋居中,冬季居高不下。3 市  $NO_2$  夏季稍低,冬季略高,但春秋冬季节变化不明显。3 市的  $O_3$  呈现“春夏高、秋冬低”的特点。

(4) 3 市超标率较高的均为颗粒物,但庆阳市  $PM_{10}$  超标率略高于  $PM_{2.5}$ ,平凉市和天水市细颗粒物超标率高于粗颗粒物。而  $SO_2$ 、 $NO_2$  超标率低,全年仅个别月份超标, $O_3$  不超标。

(5) 分析 3 市不同污染物之间的 Spearman 相关性, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$  的相关系数介于 0.589~0.979 之间,相关性较强。分析不同城市同一污染物之间的 Spearman 相关性,除  $NO_2$  外,其他相关系数均较高。

甘肃省东部的庆阳、平凉、天水 3 市地理位置相同,气候相似,空气中  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $O_3$  变化特征相似性较高,这也与孙荣国<sup>[29]</sup>等学者对北方城市的研究结果相吻合。平凉市作为煤炭资源型城市,原煤开采、加工及运输产生大量  $NO_2$ ,全年  $NO_2$  浓度均较高,导致与其他 2 市为 Spearman 弱相关。

### 4 展望

本文利用中国空气质量在线监测分析平台的历史数据,对甘肃省东部的庆阳、平凉和天水 3 市空气质量演变特征加以分析。甘肃省东部 3 市地理位置相近、气候类型相同,社会经济发展水平相近,其空气中各污染物变化特征一致性较高。平凉市由于煤炭加工、生产、运输产生废气造成空气中  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  污染物浓度略高于其他 2 市, $NO_2$  浓度分别是庆阳和平凉的 2.17 倍和 1.31 倍。同样定位于陇东能源基地的庆阳市,应吸取平凉市的教训,加快推进产业升级,提高科技创新能力,避免

(下转第 54 页)