

大气污染物含量分布与环境气象条件的关系

梁汉明 董保群

(南京气象学院, 210035)

任阵海

吴中勇

陈隆勋

(中国环境科学研究院)

(国家环境监测中心)

(中国气象科学研究院)

提 要

将 1981—1986 年我国大气降尘量、 SO_2 、 NO_x 及降水物 pH 平均值的分布特征与同期的平均雨量、雨日、相对湿度和地面风场等的分布作了对照, 发现其间存在一定关系, 当上述环境气象场发生变动或出现反常时, 这些大气污染物的分布也将发生变化。

关键词: 大气污染物 环境 气候变化

1 概述

近年来我国大气污染对环境和气候变化的影响已愈来愈受到重视和研究^[1-3]。污染物在大气中随气流迁移、扩散、流动和转化。其全国性的平均分布特征与气象因子的关系过去很少进行系统的研究。本文试图从近几年来我国大气污染物的平均分布特征与某些环境气象条件、地面流场的分布关系进行分析比较, 以便弄清我国大气污染物的分布特点与环境气象条件的关系, 为制定环境治理对策, 减轻大气污染提供依据。

2 资料及分析方法

2.1 污染物资料为 1981—1986 年逐年 1, 4, 7, 10 各月我国一些城市的大气污染物的日(月)均值(范围限于 100°E 以东地区)。主要污染物有降尘量、二氧化硫(SO_2)、氮氧化物(NO_x)及降水物酸度(pH)等, 并同时统计累年日(月)均值, 绘出含量等值线。由于监测站点不很密, 等值线分析可能不够严格, 具有一定的主观性, 但大体上能反映出浓度分布的一般状况。

2.2 气象资料为相应各年(以 1, 4, 7, 10 月平均表示)的雨量、雨日、相对湿度以及地面月、年平均风向、风速和累年平均值, 并分析其等值线、流线(范围同前)。分别讨论、比较分析逐年及累年各种污染物含量和气象因子的全国分布特点, 对照每种污染物含量与各个气象因子, 找出其间关系。

3 各种污染物年日(月)均值的分布特征

3.1 城市降尘量年月均值分布

从 1981—1986 年各年及累年月均值分布(图 1)看出, 35°N 以北的我国西北地区东部、黄土高原、华北、东北地区为高值区, 而包头、太原附近及唐山、鞍山一带累年月平均在 $60\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ 以上, 是最大降尘区, 另外在武汉、郑州、长沙附近也是一相对大值区; 而 35°N 以南为相对低值区; 沿海城市(除上海外)降尘值最小, 只有北方的 $1/5$ 到 $1/7$ 。

各年之间数值略有差别, 高、低值区位置稍有变动。

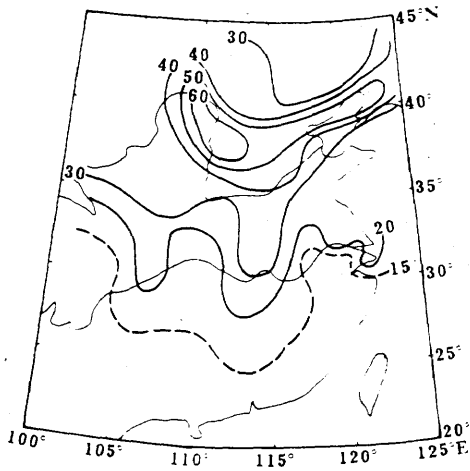


图1 1981—1986年降尘量累年
月均值 / $t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1}$

3.2 SO₂ 年日均值分布

总的说 SO₂ 浓度历年分布特点为 35°N 以北、河套以东直到东北为一高值区，同时我国西南的重庆、贵阳附近为另一高值区，而且数值达最大，是北方高值中心的近 2 倍。在长江下游的沪、宁、杭地带亦有一相对高值区，其余地区为相对低值，其中江淮流域的中游地区有一低值中心；另外渤海湾附近及辽东半岛也是一相对低值区（图 2）。年际之间也大同小异，只是数值和范围略有差别。

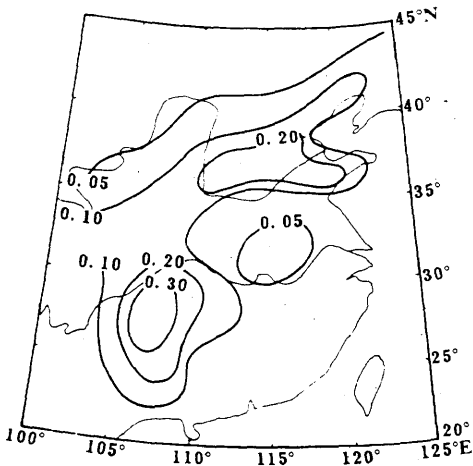


图2 1981—1986年SO₂平均年
日均值 / $mg \cdot m^{-3}$

3.3 NO_x 年日均值 / $mg \cdot m^{-3}$ 分布

从历年平均值分布图看出（图 3），主要有 2 个高值区，一在东北、华北和兰州以东的河套地区；一在西南的重庆、贵阳附近。此外在长江下游的沪、宁、杭一带及广州附近也是相对高值区，其余为低值区。各年之间只是位置、强度及范围略有变化。

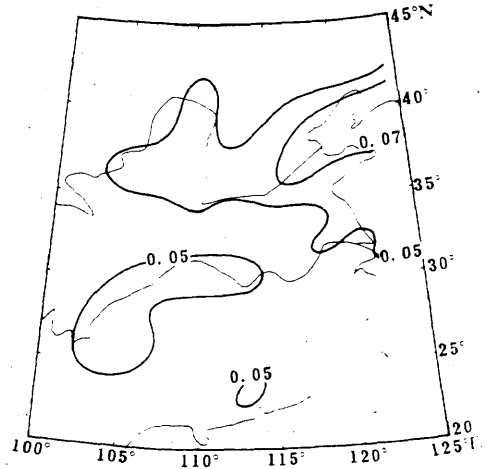


图3 1981—1986年NO_x平均年
日均值 / $mg \cdot m^{-3}$

另外，1985 年冬季的季日均值大于年日均值（少数站除外），但 25°N 以南地区两者数值相近。而 SO₂ 浓度冬季的季日均值几乎所有城市都远高于年日均值，少数城市高出 2 倍以上（图略），这可能与冬季燃煤用量增加有关。

3.4 降水物酸度（pH 值）的分布

从逐年平均分布图看出：根据有关规定，降水物的 pH < 5.6 定义为酸雨。则我国 pH < 5.6 的范围是 105°E 以东地区，包括山东半岛、经江苏东北、湖北北部、大巴山南、四川盆地、贵州、广西东部到雷州半岛；pH < 5 的地区包括长江流域以南、重庆、贵阳和南宁以东为酸雨严重地区；而 pH > 7 值的地区为西北、河套以北、内蒙及东北北部（图 4）。这说明我国 32°N 以南、105°E 以东各大中城市均属酸雨范围，

其中西南地区及长江下游为两个酸度较大中心区。年际间虽略有差别，但基本特征是相似的。

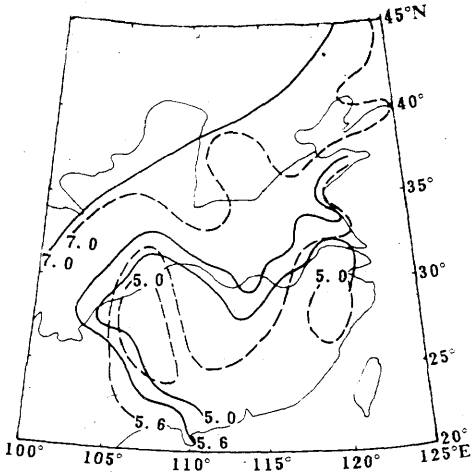


图4 pH值分布图

实线为1988年，虚线为1986年

4 某些环境气象因子平均值分布特点

4.1 平均雨量、雨日分布

从历年平均雨量图看到(图5): 在33°N以南为大值区, 以北为相对小值区,

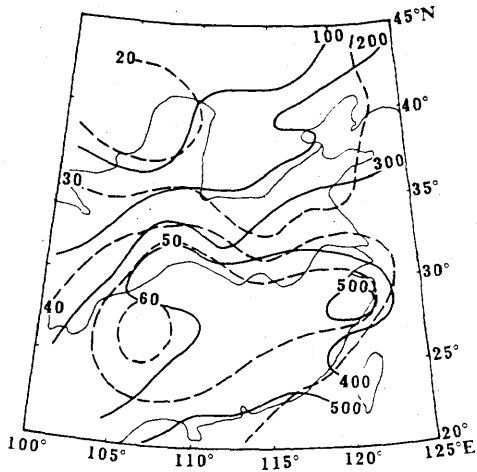


图5 1981—1986年平均雨量(实线)、雨日(虚线)分布

我国东南沿海及华南沿海雨量较大, 年际间大值中心变化较大。同时从历年平均雨日分布图(图5)中亦同样看到33°N以南地区

雨日较多, 以北则较少, 最少是河套西北部, 最多是我国西南地区, 这与雨量最多在南方沿海地区不同, 而且年际间变化不如雨量大。

从上看出雨量大不一定雨日最多, 反之亦然。但基本特征是明显的, 即33°N以北地区雨量少, 雨日也少, 以南雨量大, 雨日也相对多, 但年际间的数值、范围、高低值中心位置则略有差异。

4.2 平均相对湿度分布

由历年平均相对湿度图得出(图6): 大体上33°N以北为低值区, 以南为高值区, 而且北方一些城市相对湿度仅是南方高值区的50%—60%。南方高值中心一个位于大巴山以南的西南及中南地区, 另一个在东南和华南沿海地区。年际间除数值及大值区范围稍有差别外, 其余特点是相似的(图略)。

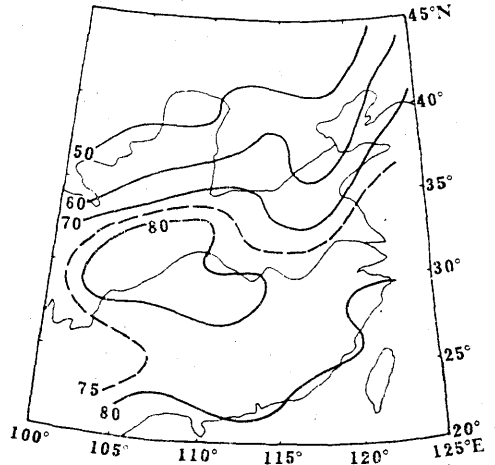


图6 1981—1986年平均相对湿度/%分布

4.3 地面平均流场的分布特征

由逐年及历年的地面平均流场图(图7)知: 与日本地面风场分布有很大差异^[4]。各年共同特点为:

(1) 淮河以南115°E以东地区基本上吹偏东风, 平均风速在0.5—1.0m·s⁻¹之间。

(2) 东北及华北北部为两支气流的辐合区，它是由内蒙的西—西北风与华北的偏南风交汇而形成，这使东北平原气流交汇处风速也增大，平均为 $1-2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而且年间变化不大。

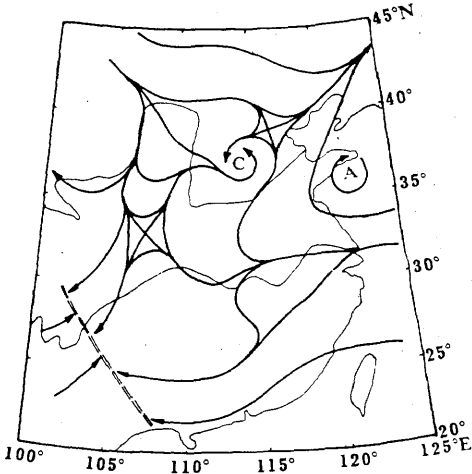


图7 1981—1986年地面平均流场分布

(3) 京、津、唐、石家庄附近为一鞍形场，只是各年位置稍有差别。

(4) 河套附近及其东侧常维持一个气旋性环流区，有时还出现环流中心，只是各年出现位置不一，最东位于太原、石家庄附近，最西在延安西侧。在河套西侧地区则为反气旋性环流所控制，各年均如此。

(5) 西南地区为风场的辐合区，它是由昆明附近的西南风与从西北地区南下的东北风和贵阳附近的偏东风辐合而成，而且年间均相似，这就是气象上所说的昆明准静止锋的平均位置。

(6) 在 108°E 以东、 $30-35^{\circ}\text{N}$ 附近为东西向反气旋性环流所控制，黄海北部并出现反气旋中心， 108°E 以西也是反气旋性环流。因此在 $30-35^{\circ}\text{N}$ ， $105-110^{\circ}\text{E}$ 范围内经常出现一鞍形场，各年间位置稍有差别罢了。另外在长沙和南昌附近有一风向辐合处，而且呈气旋性弯曲，各年均较明显，只是风速略有差异而已，这可能是气象上两湖盆地多气旋形成的原因之一。

在上述气旋环流中心及鞍形场附近，往往因各种污染气体的汇聚而产生化学反应。

5 各种污染物分布与气象因子的关系

5.1 城市降尘量与气象因子的关系

5.1.1 降尘量与雨量及雨日关系

比较图1与图5，可以看出它们有较好的对应关系。即雨量、雨日少的地区降尘量多，反之就少。因此可以认为我国 100°E 以东、 35°N 以北地区降尘量多于以南地区。从年际变化看，1982年和1985年华北的太原、石家庄附近降尘量比其它年份高出几乎1倍，而同期太原雨日分别为19天和14天，其余年份超过20天（图略）。另外，1984年石家庄东西两侧为降尘量大值区，同期雨日为15—18天，亦比多年平均少（图略）。

降尘量与雨量也有类似关系。在我国的东北地区上述各年的雨量变化不显著，因而降尘量变化亦不大。只是1986年东北沈阳、长春地区雨量、雨日增加较多，使该年两地降尘量相对减少（图略）。在我国南方也有类似现象。

从上述分析对照中可以看到，降水对大气含尘量的冲刷净化作用是明显的。

5.1.2 降尘量与年平均相对湿度的关系

比较图1与图6可以看到： 35°N 以北我国低湿地区对应高降尘区，反之则对应低降尘区。但也有个别年份和地区关系不理想，这表明一些地区降尘量月均值还取决于其它因素。

5.1.3 用雨量、雨日、相对湿度估计降尘量

为了定量计算降尘量与雨量、雨日、相对湿度的相关，采用各站累年降尘量月均值与累年雨量、雨日、相对湿度平均值计算相关，得相关系数分别为 $r_1=-0.702$ ， $r_2=-0.689$ ， $r_3=-0.680$ ，若取置信度 $\alpha=0.05$ ，经统计检验均大于临界值（样本

数 55)。取回归数学模型为:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$$

式中 x_1 、 x_2 、 x_3 分别为测站降水量、雨日、相对湿度平均值; a_0 、 a_1 、 a_2 为相应系数。经计算得方程为:

$$Y = 89.23 - 0.021x_1 - 0.19x_2 - 0.71x_3$$

用上述方程计算降尘量年月均值与实测值相比,大(小)值分布对应较好,只是最大(小)值略有差异(图略)。因此在资料缺测和稀少地区,采用上述方法估算降尘量年月均值可作为参考。

5.1.4 降尘量与地面平均流场关系

比较图 1 与图 7 后看到:华北、东北两支气流的辐合区正好与该地区降尘量带状大值区走向一致;河套以东的太原、石家庄附近降尘量大值区正好处于从蒙古南下的西北到西风与来自 35°N 以南地区的偏南风交汇处,前已指出该地区是气旋性环流辐合区,并不时有气旋性环流中心出现,配合蒙古和黄土高原沙尘的影响,加上城市本身排放源的迭加作用,从而形成该地区的降尘量大值区,年际间只是数值及范围稍有变化而已。

5.1.5 其它因素对降尘量的影响

a. 排放源作用。这是主要的和决定性的。在沪、宁、杭地区中,宁、沪两地的降尘量比附近城市(如南通、苏州、合肥)高得多,但雨量(日)、湿度条件、流场等气象条件近似相同(个别年除外)。

b. 地形影响。从累年及逐年降尘量分布知,由于秦岭、大巴山的阻挡作用,其南北两侧城市的差异达一倍以上,同样使两侧雨量(日)、湿度等环境气象因子相差较大。另外沿海城市均比内陆降尘量小。

从以上分析知,城市降尘量除与本身排放量有关外,它与雨量(日)、湿度、地面流场有较好的对应关系。一旦各年环境气象条件有差别或出现反常时,也使降尘量的大值区(北方)和小值区(南方)产生波动或异常。如 1983 年由于 35°N 以南出现较大

降水,使该年长江流域及其以南多数城市降尘量偏小,而华北及河套北侧的部分城市雨量偏少,造成部分城市降尘量出现高值。

5.2 SO₂ 浓度与气象因子关系

5.2.1 SO₂ 浓度与雨量、雨日、相对湿度关系

比较 4 种图表后可知,大致说雨量(日)大和相对湿度大值区,SO₂ 浓度低,反之是高值区。但沪、宁、杭附近以及重庆、贵阳西南地区例外,这可能与城市排放源及地形特点有关。1983 年 105°E 以东的长江流域以南、25°N 以北地区的雨量(日)都比其它年份多,同期 35°N 以南地区相对湿度比历年平均值高,因而当年 SO₂ 浓度在该地区相对降低。

5.2.2 SO₂ 浓度与地面风场关系

分析对比两种图表后得到:在华北、东北的 SO₂ 高浓度地带与偏南及西北气流的交汇地区相一致,高浓度轴线走向与两支气流辐合带走向相同。在西南地区 SO₂ 高浓度区与重庆、贵阳附近的东北风及昆明附近的偏西风形成的辐合线有一定关系,而且这一风场的辐合带位置比较稳定,年际变化不大。

河套东侧的太原、石家庄附近维持气旋性环流辐合中心正是北方 SO₂ 浓度值较大中心之处。1984 年该辐合中心西移,使当年该地区 SO₂ 浓度较低,其西侧 SO₂ 浓度则有所增高。另外 105°E 以东 30—35°N 附近 SO₂ 浓度相对低值区则与地面风场呈反气旋性环流有联系。

从以上分析知,一般高浓度区与地面两支气流汇合(辐合)区相联系,低浓度区和气流辐散区有关。若这些气流辐合、辐散区位置发生变化,则浓度值也产生变化。

5.2.3 SO₂ 浓度与其它因子关系

西南地区的重庆、贵阳 SO₂ 高浓度区为全国之冠,除与当地燃煤的含硫量高有关

外, 加上城市的集中排放源的影响而形成高浓度值。另外我国西南地区地形复杂、多山、风速小、低空常形成一稳定浅层, 从而使 SO_2 等污染物在局地积聚而不易扩散稀释。另外冬半年我国北方许多地方无降水时经常在近地面层形成辐射逆温, 早晚尤为严重, 使工矿区附近及城市上空排放的 SO_2 被这一浅层滞留不易很快扩散, 从而出现高浓度值。

5.3 NO_x 与气象因子关系

5.3.1 NO_x 浓度与雨量、雨日及相对湿度关系

对照几种分布图可以看到, 一般说雨量小、雨日少、湿度低的 35°N 以北地区对应 NO_x 浓度高值区, 反之 35°N 以南对应低值区。但西南地区及长江下游附近对应关系不理想, 可能其它因素起作用。但是 1983 年江南及云贵地区雨量 (日)、相对湿度比其它年份多和大, 出现异常, 使当年该两地区 NO_x 浓度比累年平均值低; 1981 年重庆、成都、贵阳雨日特别多, 该年这三处 NO_x 浓度也出现相对低值区。

5.3.2 NO_x 浓度与地面平均风场关系

分析两种分布图后知, NO_x 浓度的 3 个高值区和地面风场两支气流汇合区、风场辐合区、气旋性环流区对应。与前述几个污染物分布相同, 南通、苏州和营口均比附近城市的 NO_x 浓度值略小, 这是城市排放源差异造成的。广州附近各年 NO_x 浓度均高于附近城市是和城市车辆排放废气有关, 而气象条件的反常情况不足以改变其浓度大值区; 只是数值上略有变动罢了。

由以上分析可见西南地区若雨水偏少, 则大气中的 SO_2 及 NO_x 浓度会更高, 从 1985 年冬季两种气体季日均值高于当年平均值便可证明 (图略)。

5.4 降水物酸度 (pH 值) 与气象因子的关系

5.4.1 pH 值与雨量、雨日、相对湿度关系

比较上述几种平均图后看到: 一般雨量小、雨日少、湿度低对应 pH 大值区, 反之为小值区。而且看出 $\text{pH} = 5.6$ 的等值线与平均雨量为 300mm、平均雨日为 40 天、相对湿度为 75% 的等值线走向及包括的地区范围较为相似, 这是酸雨的影响范围。年际间略有变化, 少数地区有些差异。

5.4.2 pH 值与地面风场关系

沿长江流域偏东风的流线走向与 $\text{pH} = 5.6$ 的等值线走向近似, 而且江南呈气旋性弯曲的偏东风与西南地区二支气流的辐合区和 pH 的小值区相接近。

通常认为酸雨主要是大气中 SO_2 及 NO_x 分别转化成硫酸和硝酸所形成^[1], 而西南地区 SO_2 和 NO_x 均为大值。有人指出重庆酸雨由雨滴降落酸化而成^[5], 加上降水多, 流场辐合使 pH 值在西南地区为小值中心, 沪、宁、杭亦有类似情形。

6 问题与讨论

6.1 上述几种污染物的累年或逐年变化, 其最大与最小值之差都较大, 只有 NO_x 浓度值例外, 这可能与 NO_x 气体在空气中转换快有关^[6]。

6.2 不同气象因子对同一种污染物分布影响和同一种气象因子对不同污染物影响可能有差异, 但内在机制还有待深入研究。从 SO_2 、 NO_x 及降尘量部分有代表性的城市 1981—1986 年日 (月) 平均值曲线逐年演变 (图略) 可知: 各城市的逐年污染物浓度值都是呈锯齿状变化, 只有个别城市呈现稳定升高或下降, 这表明除污染源作用外, 环境条件变化起着重要作用。1981 年全国很多城市 SO_2 、 NO_x 及降尘量浓度值都较高或出现正距平, 是污染明显年份; 而 1983 年我国不少城市上述 3 种污染物浓度较低或负距平, 属较轻污染年份之一, 与这两年一些气象因子出现异常现象有关。

6.3 目前污染物浓度监测站点仅限于少数大中城市,一些地区还是空白,故增加监测网点,统一监测手段和方法,积累资料并进一步弄清某些大气污染物浓度分布是重要的。

另外,综合治理是根本方法。但充分利用某些环境气象条件对我国大气污染物分布所起的作用及影响的规律,为大气环境规划、管理、污染防治及城市建设规模、工业布局、制定合理的能源政策提供参考依据是可行的。

7 主要结论

7.1 我国大气中污染物的分布有一定特征,平均说降尘量北方多、南方少,沿海是小值区;SO₂及NO_x浓度除华北、东北、西南为高值区外,长江下游附近也常有大值区出现;长江流域以南属酸雨范围,其中西南及长江下游以南为两个较重酸雨区。年际之间上述污染物浓度值及范围略有变化。

7.2 污染物的浓度分布除排放源是重要因素外,还与环境气象条件有一定关系。当一些气象因子发生变化或出现异常时,能使浓

度值产生相应的变化或波动。

7.3 降尘量与降水、湿度、地面流场型式有较好的对应关系,得出一个估算降尘量年月均值的回归方程,可作为资料缺乏地区参考。SO₂、NO_x浓度分布与流场关系比与降水、湿度关系更明显。酸雨的北界范围分别与一定数值的雨量(日)、湿度范围有关,与地面平均偏东气流的北界近似。

参考文献

- 1 莫天麟.酸雨研究进展.南京气象学院学报.1984年1期.
- 2 曹文俊等.微风时局地大气扩散及SO₂浓度分布的初步研究.南京气象学院学报.1988年3期.
- 3 桑建国.空气污染的长距离输送模式.气象学报.1987年;45(3).
- 4 河村武.全国地上风分布图.气象厅技术报告第91号.气象厅.1977.
- 5 黄美元等.重庆地区云水和雨水酸度及其化学组分的观测分析.大气科学,1988.12(4)
- 6 Kley, D. and M. Mcfarland. Chemiluminescence Detector for NO and NO₂. Atmospheric Technology, 12:63-69, 1980.

Relationship between the Distribution of Air Pollutants and Meteorological Elements in China

Liang Hanming Dong Baoqun

(Nanjing Institute of Meteorology, 210035)

Ren Zhenhai

(Chinese Research Academy of Environment Science)

Wu Zhongyong

(State Environmental Monitoring Centre)

Chen Longxun

(Chinese Academy of Meteorological Science)

The mean distributions of dustfall amount, SO₂ and NO_x contents in air, and the pH values of precipitation from 1981 to 1986 in China are compared with the meteorological elements, such as precipitation, humidity and surface wind field at the same time. The results show the relations between them. The distributions of these pollutants change depending on the change or the abnormal states of the meteorological elements.

Key words: air pollutants environment climatic variation