

河北省 1960~2002 年城市大气能见度的变化趋势

范引琪¹ 李二杰¹ 范增禄²

1 河北省气象科学研究所, 石家庄 050021

2 河北省气候中心, 石家庄 050021

摘 要 用累积百分率分析法、Ridit 分析法和“非常好”能见度出现频率分析法分别对河北省 11 个城市 1960~2002 年的大气能见度进行了研究和分析。结果表明, 河北省 11 个城市大气能见度的地理分布大致呈现自北向南其值由高到低的势态; 43 年来由于空气污染, 11 个城市的大气能见度均显著下降, 夏季能见度下降的幅度最大。1979~1981 年为大气能见度变化的转折期, 在此期间 11 个城市的能见度迅速降低、“非常好”能见度出现频率很快下降。1998~2002 年, 石家庄、承德、秦皇岛、唐山、邯郸的大气能见度出现上升趋势, 沧州、邢台、廊坊、张家口的大气能见度维持不变, 保定和衡水的大气能见度继续下降。

关键词 大气能见度 累积百分率 Ridit 分析法 “非常好”能见度 空气污染

文章编号 1006-9895(2005)04-0526-10

中图分类号 P463

文献标识码 A

Visibility Trends in 11 Cities of Hebei Province During 1960 - 2002

FAN Yin-Qi¹, LI Er-Jie¹, and FAN Zeng-Lu²

1 *Meteorological Institute of Hebei Province, Shijiazhuang* 050021

2 *Climate Center of Hebei Province, Shijiazhuang* 050021

Abstract Visibility data have been examined for 11 cities' meteorological stations in Hebei Province. The trends of visibility from 1960 to 2002 have been analyzed by using three different statistical methods: cumulative percentiles, Ridit analysis, and frequency of “very good” visibility. The result shows that from north to south of Hebei Province, the distribution character of visibility is from high to low. The visibility of 11 cities has declined notably over the past 43 years, and the largest range of visibility declining is in summer. The turning period of visibility change took place during 1979 - 1981, and both the visibility and “very good visibility” frequency of the 11 cities decreased rapidly at that time. This is consistent with the economic development. During 1998 - 2002, the visibility had a rising trend in Shijiazhuang, Chengde, Qinhuangdao, Tangshan and Handan, and remained unchanged in Cangzhou, Xingtai, Langfang and Zhangjiakou, but declined continually in Baoding and Hengshui.

Key words visibility, cumulative percentiles, Ridit analysis, “very good”visibility, air pollution

1 引言

影响大气能见度的因素包括人为的和自然的两种, 人为因素是指污染物排放所造成的空气污染; 自然因素是指影响大气能见度的天气现象, 如降水、雾、大风、沙尘暴、扬沙等。在没有污染的大气中,

能见度可达到 250 km^[1]。大气受到污染后, 由于颗粒状污染物对光线的散射和吸收作用, 所以有降低能见度的效应^[2]。通常颗粒物浓度达 0.1 μg · m⁻³ 时, 能见度开始下降, 浓度达 0.15 μg · m⁻³ 时, 阳光中的紫外线将减少 7.5%, 浓度达 0.25 μg · m⁻³ 时, 大气能见度下降 52.7%, 太阳辐射损失 12% 以上,

浓度达 $0.50 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 大气能见度再下降 80.8%^[3]。因此, 大气能见度的变化反映了环境空气质量的优劣, 是空气中颗粒物污染的重要标志。

美国、英国等国家从 20 世纪 60 年代起就开始了大气能见度变化趋势的研究工作。他们将能见度变化趋势进行定量化分析, 并以此作为衡量空气污染的指标, 分析空气污染的变化规律。1979 年, Craig 等^[4]将 Ridit 分析法引入了大气能见度的研究。1982 年 Sloane^[5, 6]对累积百分率和 Ridit 这两种能见度趋势研究方法进行了详细的比较和分析, 并采用这两种分析法对美国中东部 15 个地面气象观测站 1948~1978 年的能见度观测资料进行了统计分析。1983 和 1984 年 Sloane^[7, 8]又继续研究了气象因子对大气能见度的影响以及有效提取这些因子的方法。Lee^[9~12]于 1983、1988、1990 和 1994 年分析了英国能见度的变化趋势。2002 年 Doyle 等^[13]用 4 种统计方法研究了英国 1950~1997 年大气能见度的变化趋势, 以及 40 多年来英国空气污染的变化情况。1990 年以来, 美国继续对大气能见度进行研究, 分析了美国大陆能见度降低的趋势与空气中颗粒物($\text{PM}_{2.5}$, 硫酸盐和硝酸盐)浓度的关系, 得出影响大气能见度的因素除降水和水汽形成的雾外, 大气层中的气溶胶($\text{PM}_{2.5}$, 硫酸盐和硝酸盐)浓度与能见度密切相关。

20 世纪 80 年代我国开始了大气能见度的研究^[14, 15]。90 年代以来, 梁秀婷等^[16]对呼和浩特市区的能见度与大气污染的关系进行了分析, 赵习方等^[17]对北京地区低能见度的区域分布进行了初探, 王淑英等^[18]又进一步对北京地区大气能见度的变化规律及影响因子作了统计分析, 廖代强等^[19]对重庆市 1954~1999 年的能见度变化进行了统计分析。总体上, 我国目前关于大气能见度的研究只是简单的统计分析, 能见度变化趋势的研究很少。本文在借鉴国外研究的基础上, 应用累积百分率分析法、Ridit 分析法和“非常好”能见度出现频率分析法, 对河北省 11 个城市(石家庄、张家口、承德、秦皇岛、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸)的大气能见度资料及相关的地面气象常规资料(1960~2002 年)进行了分析, 目的是研究 43 年来 11 个城市大气能见度的变化趋势, 以及城市空气污染的变化趋势。

2 资料

本文使用河北省 11 个城市地面气象站(见图 1)1960~2002 年的常规观测资料, 分析的要素包括大气能见度、天气现象代码和相对湿度。由于历史原因, 邢台、邯郸、廊坊和衡水 4 个站 1960~1970 年的地面气象观测资料缺测过多, 资料不连续、代表性差, 因此, 这 4 个站的资料从 1971 年开始, 其他 7 个站的资料从 1960 年开始(见表 1)。

我国的《地面气象观测规范》^[20]规定, 地面气象站大气能见度观测分为 9 个级别, 自近而远分布



图 1 河北省 11 个城市气象站地理位置图
Fig. 1 Location of 11 meteorological observing stations in Hebei Province

表 1 各气象站资料年限
Table 1 The length of datasets for each station

站名	Station	资料年限	Length of dataset
石家庄	Shijiazhuang	1960~2002 (43 a)	
张家口	Zhangjiakou	1960~2002 (43 a)	
承德	Chengde	1960~2002 (43 a)	
唐山	Tangshan	1960~2002 (43 a)	
秦皇岛	Qinhuangdao	1960~2002 (43 a)	
保定	Baoding	1960~2002 (43 a)	
沧州	Cangzhou	1960~2002 (43 a)	
邢台	Xingtai	1971~2002 (32 a)	
邯郸	Handan	1971~2002 (32 a)	
廊坊	Langfang	1971~2002 (32 a)	
衡水	Hengshui	1971~2002 (32 a)	

在观测站各方向、各距离上的目标物分别代表 0.1 km、0.2 km、0.5 km、1.0 km、2.0 km、5.0 km、10.0 km、20.0 km、50.0 km，最大的能见度观测距离为 50.0 km，最小的距离为 0.1 km。每天进行 4 次定时观测，观测时间为 02 时（北京时间，下同）、08 时、14 时和 20 时。1980 年前，能见度的观测值以 m 为单位记录，1980 年以后，能见度的观测值以 km 为单位记录，并保留一位小数。为统一起见，将 1980 年以前的能见度资料转换为以 km 为单位，并保留一位小数。

本文选 14 时的观测资料进行能见度趋势分析，因为该时刻的观测值比其他时刻更能代表所在区域的大气能见度水平。08 时的能见度观测值受两方面的影响：一是早晨出现的辐射雾，二是由于夜间形成的接地逆温未被破坏，导致此时大气中颗粒物浓度升高。通常这些现象都会在中午消散，因此，08 时的观测值不能代表日间的能见度状况。02 时和 20 时分别属夜间和傍晚观测，这两个观测时刻所选的目标物与白天目标物不同，易造成观测资料的不一致性。

本文研究的重点是由于空气污染对大气能见度所造成的影响。然而，降水、雾、大风、沙尘暴、扬沙和高湿（相对湿度 $\geq 90\%$ ）等气象因素也可导致能见度下降。因此，首先对能见度资料进行筛选，将气象因素的影响从中剔除。用天气现象代码^[21]可将降水、雾、大风、沙尘暴、扬沙等天气事件筛选出来。代码 01~05 表示没有以上这些天气现象出现，代码 01 表示露，02 表示霜，03 表示结冰；代码 04 表示烟幕，与人类活动有关；代码 05 表示霾，与大气中二次污染物的浓度有关。代码 10 表示轻雾，轻雾与霾的观测有时很难分辨。当相对湿度小于 90% 时，雾很难形成，因此，本文要求相对湿度必须小于 90%。这样既可把轻雾中被误报的霾分离出来，又可把霾中被误报的轻雾分离出去。

综上所述，用于能见度趋势分析的大气能见度观测资料必须同时满足以下三个条件：时间为 14 时、相对湿度小于 90%、天气现象代码为 01、02、03、04、05、10。

为了避免较大的季节波动对给定年份带来影响，经筛选后的能见度资料被分成重叠的三年一组进行分析，其结果由中间年份作为代表年份表示出来^[6]。例如，1961 年代表 1960~1962 三年的分析

结果，若对 1960~2002 年的观测资料进行分析，则分析结果由 1961~2001 年表示出来。

3 方法

本文将大气能见度分为 5 个区间（分别为 0~1.9 km、2~9 km、10~19 km、20~39 km、 >40 km），用三种统计方法对能见度变化趋势进行研究和分析，它们是累积百分率分析法、Ridit 分析法和“非常好”能见度出现频率分析法。

3.1 累积百分率分析法

大气能见度是观测员在当时天气条件下和规定时间内，能够从天空背景中看到和辨认出的目标物的最大水平距离，但实际能见度等于或超过观测得到的能见度。第 i 段能见度累积百分率定义为所有观测到的能见度等于或超过第 i 段区间能见度的百分率^[8]。因此，能见度资料很适合用累积百分率处理。

能见度的累积频率分布函数由下式给出：

$$\frac{n_i}{n} = \int_{v_i}^{\infty} f(v) dv,$$

式中， $f(v)$ 表示能见度概率密度函数， v_i 表示第 i 段的能见度， n 表示能见度总的观测次数， n_i 表示在 n 次观测中有 n_i 次能见度等于或超过 v_i 的值。因此， $n_i/n \times 100\%$ 表示第 i 段能见度的累积百分率。计算出各段能见度的累积百分率后，即可做出累积百分率分布图。

能见度趋势就是与某一特定的累积百分率相对应的能见度随时间的变化。通常，这个代表趋势的、特定的累积百分率为 50%。如果能见度资料连续且其概率分布范围大，则 50% 就是累积百分率的中值。但在实际应用中，对于某些年代，50% 的累积百分率只能由外推得到。由于实际的累积百分率曲线并不是线性的，外推困难，即便推出结果，其误差也会很大。因此，这个外推结果既与累积百分率的中值没有对应关系，又不代表等于或超过 50% 的累积百分率所对应的能见度。此时，用 50% 的累积百分率作趋势分析就不能反映出真实的大气光学质量，应根据能见度频率分布的实际情况选择作趋势分析的特定的累积百分率。

根据累积百分率的定义和本文对能见度的分段，对 11 个气象站的能见度资料进行了计算。结果显示：在 1960~1970 年期间，河北省 11 个城市

的能见度水平普遍很高,能见度在 50 km 以上的出现频率占 60%左右。因此,本文选 60%累积百分率所对应的能见度进行“能见度中值”趋势分析,90%累积百分率所对应的能见度进行“能见度低值”趋势分析。“能见度中值”代表年(季)平均的能见度水平。“能见度低值”代表年(季)较差的能见度水平。

3.2 Ridit 分析法

Ridit 分析法^[13]是一种统计学方法,主要用来分析边缘(序数)变量。这些边缘变量可被定性地划分为三个等级,如:严重的、中度的、较轻的,也可用数值定量划分。在该方法中,用于测量边缘变量的观测系统主要依赖于观测方法、观测中的技术要求和观测人员的技术水平。人工观测的大气能见度就属于边缘变量,观测员的技术水平是得到准确、可靠的观测值的关键。边缘变量不适合用 χ^2 检验和 t -检验这些常用的统计检验方法分析,因为这些检验是在假设观测值相互独立、互不相关的前提下对变量进行的分析,而对能见度而言,由于观测的时间间隔过短,这种假设通常是不成立的。

Ridit 值定义为某一给定时段的能见度好于总体能见度的概率。本文中,各气象站 1960~2002 年的能见度观测资料分别代表各站的总体能见度,它的概率分布称为参考分布,可直接计算出来。

令 $f_A(v)$ 为某一给定时段的能见度概率密度函数(简称 A 分布), $f_R(v')$ 为总体的(1960~2002 年)能见度概率密度函数(简称参考分布或 R 分布), F_R 表示参考分布的累积百分率分布函数。则 A 分布中某一能见度观测值(v_A)大于 R 分布中某一能见度观测值(v'_R)的概率 $[P(v_A > v'_R)]$ 由下式给出:

$$P(v_A > v'_R) = \int_0^{\max} \int_0^v f_A(v) f_R(v') dv' dv = \int_0^{\max} f_A(v) F_R dv,$$

式中,积分上下限的单位为 km,上限(max)应取最远目标物的距离或最大的能见度(本文取 50 km)。如果用 f_{Ai} 和 f_{Ri} 分别代表各自分布中第 i 段能见度出现的频率,则 Ridit 中值的计算公式为

$$R = \sum_{i=1}^K f_{Ai} \left(\sum_{j=1}^{i-1} f_{Rj} + \frac{1}{2} f_{Ri} \right),$$

式中, R 表示 Ridit 中值;对于 A 分布, $f_{Ai} = n_{Ai}/n_A$

, n_{Ai} 是能见度出现在第 i 段区间的观测次数, n_A 是 A 分布中总的观测次数;同理,对于 R 分布而言, $f_{Ri} = n_{Ri}/n_R$, n_{Ri} 是能见度出现在第 i 段区间的观测次数, n_R 是 R 分布中总的观测次数; k 表示能见度被分为 k 段进行概率统计(本文 $k=5$)。

本文用 Ridit 分析法,分别对各站长期的能见度观测资料进行了年、夏季和冬季的趋势分析。在计算各站年的 Ridit 中值时,参考分布用整个年的资料(1~12 月),计算各季的 Ridit 中值时,参考分布分别用各季节的资料(夏季用 6、7、8 月的资料,冬季用 12、1、2 月的资料)。

3.3 “非常好”能见度频率分析法

这是一种比较简单的分析方法,先计算出各段能见度出现频率,再确定出“非常好”的能见度所占的频率。本文将大于 19 km 的能见度定义为“非常好”的能见度,因为 19 km 是判断外来大气污染物影响夏季能见度水平的一个非常好的标志^[22]。

4 结果与分析

4.1 累积百分率法结果分析

累积百分率法得出的计算结果可以进行不同站的比较,同一站还可进行不同年代的比较。但在资料的使用上,累积百分率法去掉了观测中低能见度资料,因此,该分析法对能见度观测值的概率分布非常敏感。

图 2 表示 11 个站能见度中值的变化趋势,表 2 表示 11 个站能见度低值的变化趋势。

将代表年份 1961~2001 分为 4 段,1961~1978 年称为“前期”,1979~1981 年称为“转折期”,1982~1997 年称为“过渡期”,1998~2001 年称为“近期”。由图 2 可见,在各个时期,各站代表年、夏季和冬季的三条能见度中值曲线的变化趋势基本一致。前期,夏季中值大于年中值,年中值大于冬季中值;转折期,三条曲线都下降了一个台阶;过渡期,三条曲线的差距逐渐缩小;近期,三条曲线基本趋于一致。这说明大气能见度的季节差异在逐渐减小,夏季的大气能见度下降最明显。(1) 前期,石家庄、保定、唐山、沧州、邢台、邯郸、廊坊和衡水 8 个站,年中值分别在 42~48 km、42~45 km、49~59 km、45~52 km、33~39 km、44~48 km、48~49 km、45~47 km 之间,冬季中值分别

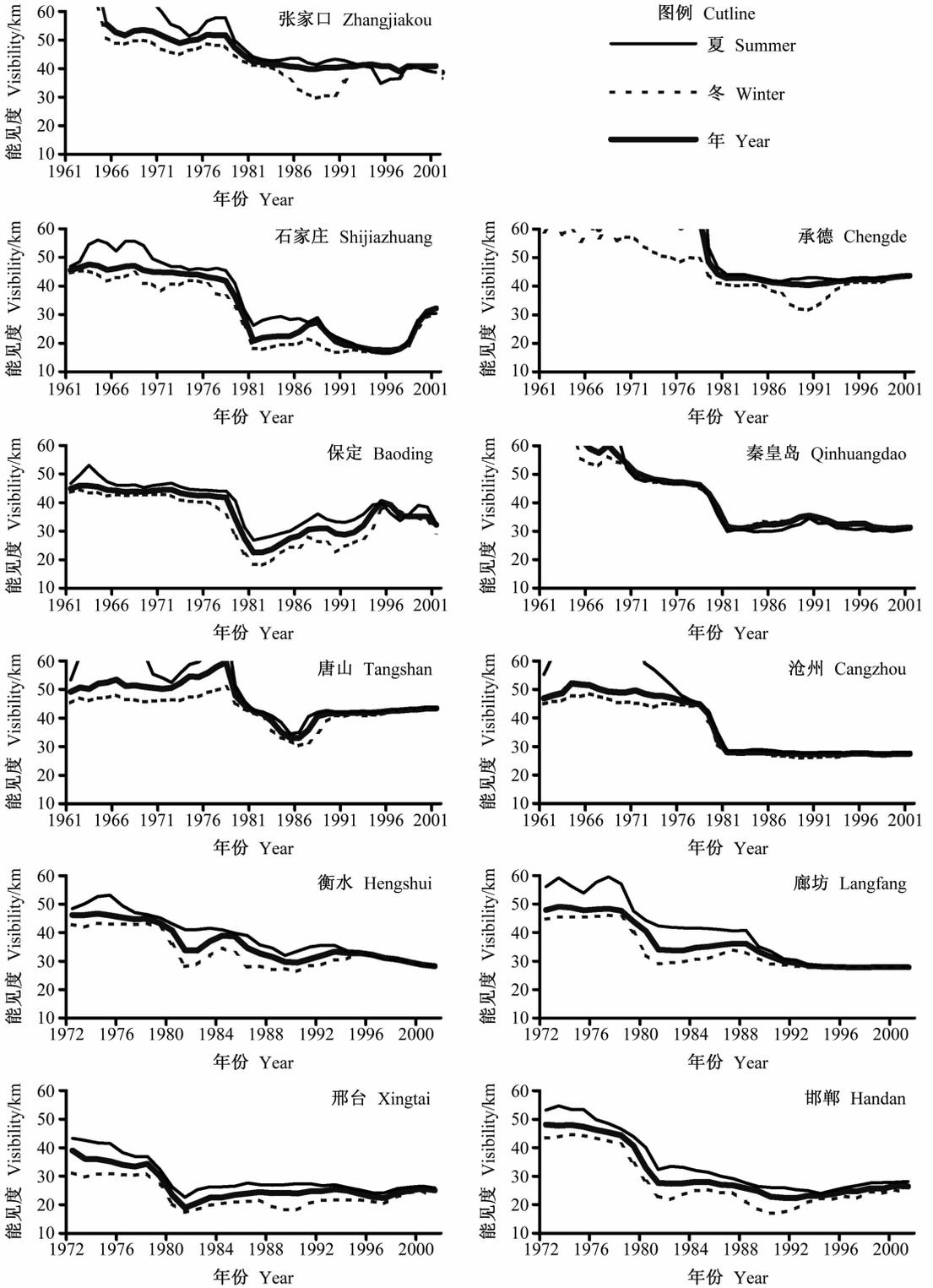


图2 能见度中值的变化趋势
Fig. 2 The Variation trend of the median visibility

在 36~45 km、36~44 km、45~50 km、44~48 km、30~31 km、41~45 km、45~46 km、42~43

km 之间浮动。此间，张家口、承德和秦皇岛 3 个站的能见度变化很大，1962~1964 年，3 个站的能

能见度水平非常高, 年、夏季和冬季能见度等于及超过 50 km 的频率均大于 70%, 中值只能外推得到; 1965~1978 年 3 个站的中值变化较平稳, 年中值分别在 49~55 km、60~68 km、46~62 km 之间, 冬季中值分别在 45~51 km、48~61 km 和 45~56 km 之间浮动。由于当时夏季能见度水平较高, 除邢台站(夏季中值在 37~43 km 之间)外, 其他 10 个站的夏季中值大部分需要外推得到, 其准确性很差, 未给出数值。(2) 转折期, 11 个站的能见度中值均显著下降。(3) 过渡期, 石家庄、保定、唐山、衡水 4 个站的中值上下波动明显, 其他 7 个站的中值变化较平稳。石家庄、保定、唐山、衡水年中值在 17~27 km、23~40 km、33~43 km、29~39 km 之间上下波动, 张家口、承德、秦皇岛、沧州、邢台、邯郸、廊坊 7 个站的年中值分别在 39~42 km、40~43 km、31~35 km、27~28 km、21~25 km、22~28 km、28~36 km 之间浮动。(4) 近期, 石家庄、承德两个站的年中值呈上升趋势, 石家庄从 20 km 上升至 32 km, 承德从 42 km 上升至 44 km。张家口、唐山、秦皇岛、沧州、廊坊、邯郸 6

个站的年中值基本维持不变, 其年中值分别为 41 km、43 km、31 km、27 km、28 km、26 km。邢台的年中值呈波动趋势, 其值在 24~26 km 之间波动。保定、衡水两个站的年中值呈下降趋势, 保定从 35 km 下降至 32 km, 衡水从 31 km 下降至 28 km。(5) 代表年份 2001 年, 11 个站按能见度年中值从大到小的排列顺序依次为: 承德(44 km)、唐山(43 km)、张家口(41 km)、石家庄(32 km)、保定(32 km)、秦皇岛(31 km)、廊坊(28 km)、衡水(28 km)、沧州(27 km)、邯郸(26 km)、邢台(25 km)。

由表 2 可见, 43 年中, 11 个站的能见度低值显著下降。前期, 11 个站的年能见度低值在 23~54 km 之间浮动。转折期, 11 个站的能见度低值显著下降。过渡期, 11 个站的能见度低值在 11~30 km 之间浮动。近期, 石家庄、张家口、承德、唐山、邯郸 5 个站的能见度低值呈上升趋势; 秦皇岛、沧州、邢台、廊坊、衡水 5 个站的能见度低值呈平稳趋势; 保定站的能见度低值呈下降趋势。代表年份 2001 年, 11 个站按年能见度低值从大到

表 2 各站年能见度低值的变化趋势 (单位: km)

Table 2 The poor visibility trend at each station (units: km)

代表年份	石家庄	张家口	承德	秦皇岛	唐山	保定	沧州	邢台	邯郸	廊坊	衡水
Representative year	Shijiazhuang	Zhangjiakou	Chengde	Qinhuangdao	Tangshan	Baoding	Cangzhou	Xingtai	Handan	Langfang	Hengshui
1961	38	42	50	48	38	40	41				
1963	40	46	50	54	41	40	42				
1965	31	39	45	45	38	36	42				
1967	30	40	44	43	39	31	42				
1969	28	41	44	43	41	36	42				
1971	27	40	46	42	41	40	41				
1973	26	37	45	41	41	29	41	23	40	41	34
1975	28	40	44	41	42	26	41	23	40	41	38
1977	24	41	43	41	44	24	41	23	31	41	34
1979	16	31	40	27	41	17	26	16	22	28	27
1981	12	22	27	22	29	13	22	12	15	23	18
1983	13	21	32	22	24	13	22	13	15	23	21
1985	12	19	27	23	22	15	21	13	16	24	20
1987	13	17	24	23	23	17	21	14	14	24	16
1989	12	17	24	23	24	16	21	13	13	23	16
1991	11	17	25	23	25	15	21	14	12	22	18
1993	11	17	26	23	27	17	21	15	12	22	20
1995	11	16	29	23	28	21	21	13	13	22	21
1997	11	16	29	23	30	20	21	13	14	22	22
1999	14	17	33	22	34	21	21	15	16	22	22
2001	21	18	40	22	40	20	21	15	17	22	22

小的排列顺序依次为：承德(40 km)、唐山(40 km)、秦皇岛(22 km)、廊坊(22 km)、衡水(22 km)、石家庄(21 km)、沧州(21 km)、保定(20 km)、张家口(18

km)、邯郸(17 km)、邢台(15 km)。

4.2 Ridit 结果分析

Ridit 中值表示某一给定时段内的能见度好于

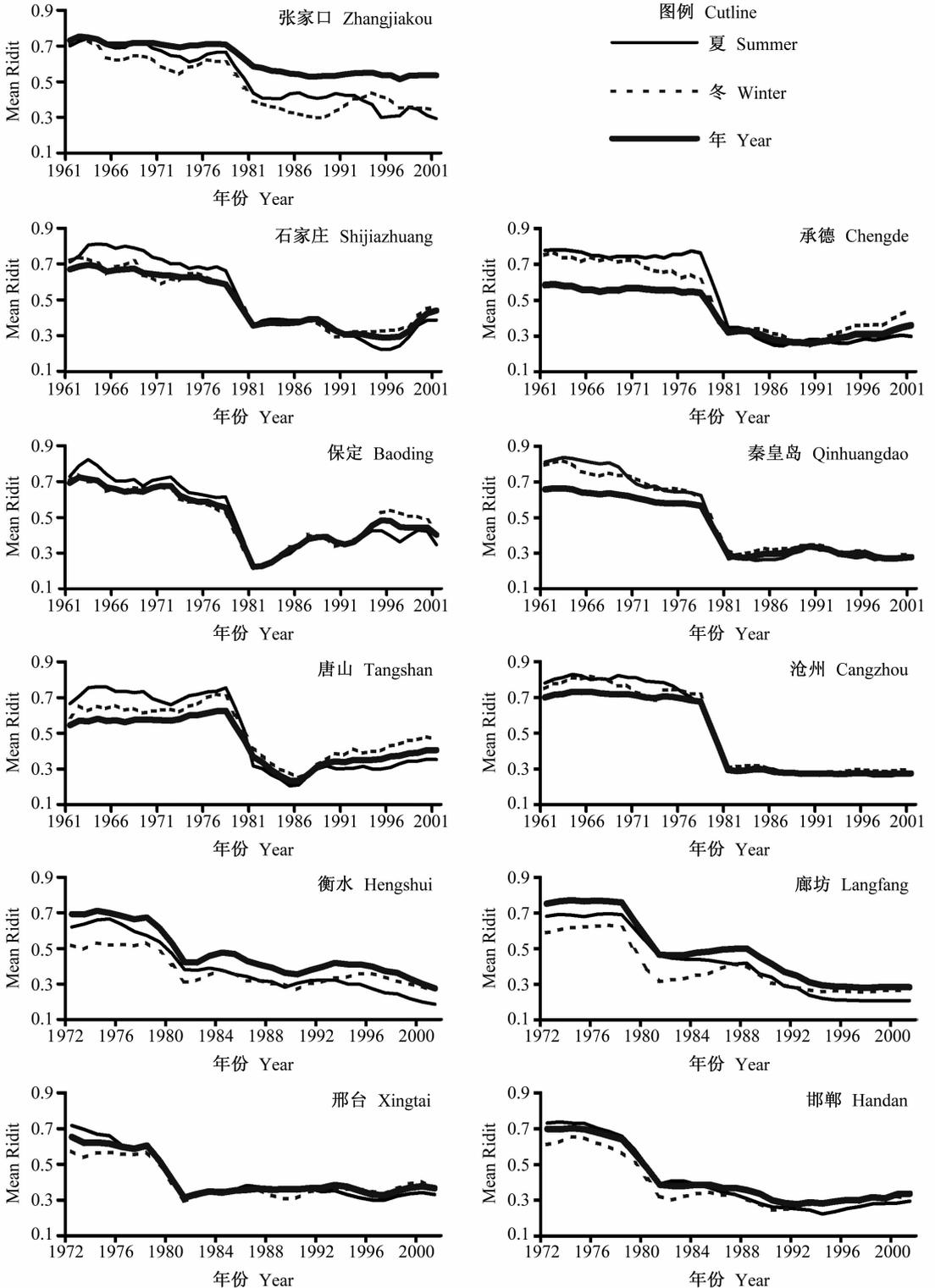


图3 Ridit 中值的变化趋势

Fig. 3 The variation trend of mean Ridit for 11 stations

“总体平均能见度”(参考分布)的概率^[5]。当某年份的 Ridit 中值大于 0.5 时,表示该年份的能见度要好于 43 年(32 年)的平均能见度。当某年份的 Ridit 中值小于 0.5 时,表示该年份的能见度要差于 43 年(32 年)的平均能见度。Ridit 中值曲线能反映出能见度上升或下降的趋势^[13]。

图 3 是 11 个站年、夏季和冬季 Ridit 中值的变化曲线图。可见,各站 Ridit 中值曲线的变化趋势与图 2 中各站能见度中值曲线的变化趋势基本一致,这说明用 60% 的累积百分率作为能见度中值是合适的。

43 年中 11 个站年、夏季和冬季的 Ridit 中值曲线都呈下降趋势,且变化趋势一致。前期,三条曲线值都在 0.5 以上;转折期,三条曲线值先后降

至 0.5 以下;过渡期,三条曲线值都在 0.5 以下波动;近期,各站的三条曲线值仍处于 0.5 以下(张家口站年的 Ridit 中值例外,它的曲线也呈下降趋势,但始终在 0.5 以上)。1997 年后,各站年、夏季和冬季的 Ridit 中值变化趋势列于表 3。

4.3 “非常好”能见度出现频率分析

43 年中,11 个站“非常好”能见度年出现频率均呈下降趋势(见图 4)。前期,张家口、唐山、沧州、承德、秦皇岛、邯郸、廊坊、衡水 8 个站的“非常好”能见度年出现频率都在 80% 以上,保定站在 70% 以上,石家庄站在 60% 以上,邢台站在 40% 以上。转折期和过渡期间,沧州、廊坊、邢台、邯郸、衡水、秦皇岛 6 个站的下降趋势明显,其中沧州、

表 3 1997 年后 Ridit 中值的变化趋势

Table 3 The variation trend of mean Ridit after 1997

	石家庄 Shijiazhuang	张家口 Zhangjiakou	承德 Chengde	秦皇岛 Qinhuangdao	唐山 Tangshan	保定 Baoding	沧州 Cangzhou	邢台 Xingtai	邯郸 Handan	廊坊 Langfang	衡水 Hengshui
年 Year	上升 Ascend	平稳 Stable	上升 Ascend	上升 Ascend	上升 Ascend	下降 Descend	平稳 Stable	平稳 Stable	上升 Ascend	平稳 Stable	下降 Descend
夏季 Summer	上升 Ascend	下降 Descend	平稳 Stable	上升 Ascend	波动 Fluctuate	下降 Descend	上升 Ascend	波动 Fluctuate	上升 Ascend	平稳 Stable	下降 Descend
冬季 Winter	上升 Ascend	下降 Descend	上升 Ascend	上升 Ascend	波动 Fluctuate	下降 Descend	上升 Ascend	波动 Fluctuate	波动 Fluctuate	波动 Fluctuate	下降 Descend

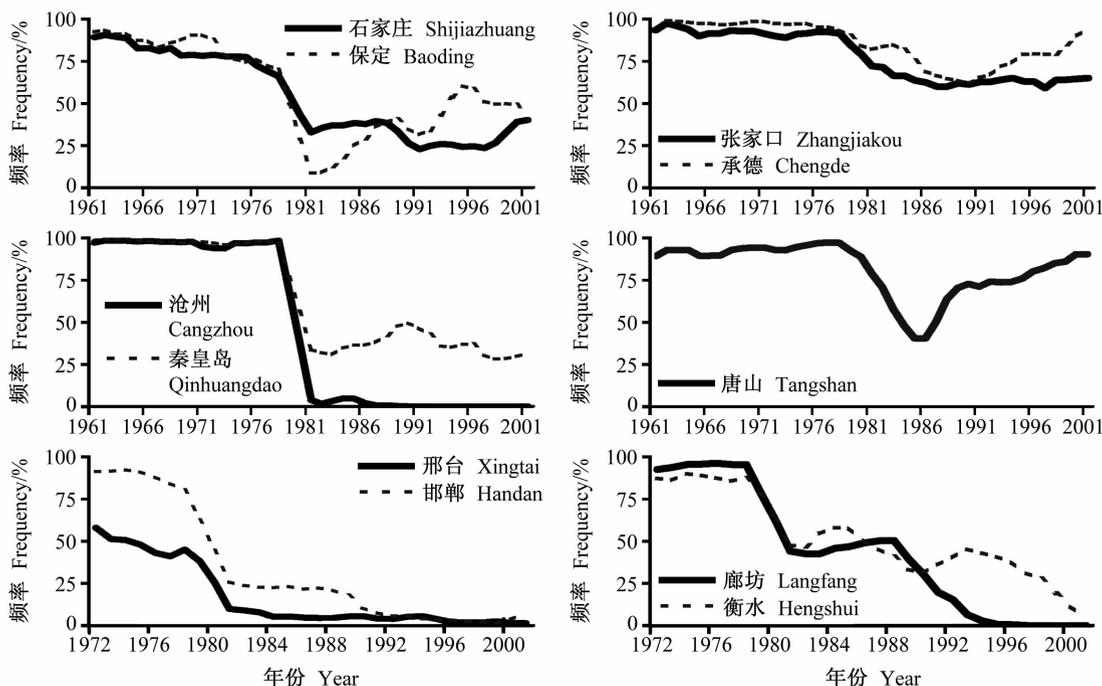


图 4 “非常好”能见度(>19 km)年出现频率变化趋势

Fig. 4 Variation trend of frequencies for “very good”(>19 km) visibility

廊坊分别于代表年份 1992、1997 年起不再出现“非常好”能见度；石家庄、保定呈波动趋势；张家口站呈平稳状态，其频率在 65% 左右浮动；唐山、承德分别于代表年份 1985、1990 年达到最低点，随后开始上升。近期，石家庄、唐山、承德、张家口、秦皇岛、邯郸 6 个站“非常好”能见度的年出现频率呈上升趋势，衡水、邢台、保定 3 个城市的年出现频率呈下降趋势，沧州、廊坊均未出现该频率。代表年份 2001 年，11 个站按“非常好”能见度出现频率从大到小的排列顺序依次为：承德(93.9%)、唐山(90.3%)、张家口(64.7%)、保定(40.4%)、石家庄(40.1%)、秦皇岛(31.1%)、邯郸(6.9%)、衡水(5.2%)、邢台(1.2%)、沧州(0)、廊坊(0)。这说明：近年来，承德、唐山受区域性大气污染的影响小，沧州、廊坊、邢台、衡水、邯郸 5 个城市受区域性大气污染的影响非常大。

5 结论与讨论

(1) 1960~2002 年，由于空气污染的影响，河北省 11 个城市的大气能见度均呈下降趋势。能见度的季节差异逐渐缩小，夏季能见度下降幅度最大。

(2) 河北省 11 个城市的大气能见度有明显的地区性差异，地理分布特征大致呈现为自北向南能见度由高到低的势态。1979 年前，张家口、承德、唐山、秦皇岛的能见度年中值大都在 50 km 或 50 km 以上，廊坊、保定、沧州、石家庄、衡水、邯郸的年中值在 40~50 km 之间，邢台的年中值在 30~40 km 之间。1982 年后，张家口、承德、唐山的大气能见度年中值大都在 40~50 km 之间，秦皇岛、廊坊、保定、沧州、衡水的年中值在 20~40 km 之间，石家庄、邢台、邯郸的年中值在 15~30 km 之间。这说明北部城市的空气质量较中南部城市的空气质量好，石家庄、邢台、邯郸的空气质量较差。

(3) 河北省 11 个城市的大气能见度有明显的年代分布特征。1979 年前，经济发展速度较慢，燃煤量低(见图 5^[23])，污染物排放量少，空气质量好，各城市的能见度水平较高。1979~1981 年，经济快速增长，燃煤需求量增加，加之环保法规及制度的不完善，污染物排放量大大增加，导致空气质量降低、各城市能见度迅速下降。1997 年后，随着我国环保法规及制度的逐渐完善、能源结构的不断调整，燃煤量开始下降，污染物排放量逐年减少，空

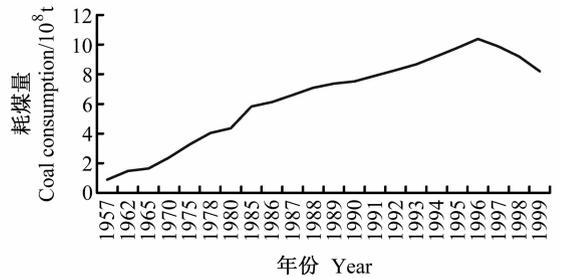


图 5 1957~1999 年中国的耗煤量变化曲线

Fig. 5 Coal consumption curve from 1957 to 1999 in China

气质量恶化的趋势开始缓解，部分城市的大气能见度出现上升趋势。

(4) 1960~2002 年，受区域性大气污染的影响，河北省 11 个城市“非常好”能见度出现频率均呈下降趋势。2000~2002 年，11 个站按“非常好”能见度出现频率从大到小的排列顺序依次为：承德(93.9%)、唐山(90.3%)、张家口(64.7%)、保定(40.4%)、石家庄(40.1%)、秦皇岛(31.1%)、邯郸(6.9%)、衡水(5.2%)、邢台(1.2%)、沧州(0)、廊坊(0)。承德、唐山受区域性大气污染的影响很小，沧州、廊坊、邢台、衡水、邯郸 5 个城市受区域性大气污染的影响非常大。

(5) 1998~2002 年，石家庄、承德、秦皇岛、唐山、邯郸 5 个城市的年大气能见度呈上升趋势，沧州、邢台、廊坊、张家口 4 个城市维持不变，仅保定、衡水呈下降趋势。同时，石家庄、张家口、承德、秦皇岛、唐山、邯郸 6 个城市“非常好”能见度出现频率呈上升趋势，衡水、邢台、保定 3 个城市呈下降趋势，沧州、廊坊均无“非常好”的能见度出现。

(6) 大气能见度还与风向、风速有关，本文没有考虑，将在以后的研究中进一步探索。

参考文献 (References)

- [1] Leavey M, Sweeney J. The influence of long-range transport of air pollutants on summer visibility at Dublin. *Int. J. Climatol.*, 1990, **10**: 191~201
- [2] 周淑贞, 张超. 城市气候学导论. 上海: 华东师范大学出版社, 1985. 196pp
Zhou Shuzhen, Zhang Chao. *Urban Climatology Introduction* (in Chinese). Shanghai: East China Normal University Press, 1985. 196 pp
- [3] 国家环境保护局科技标准司. 大气污染物综合排放标准详解. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 68pp
The Science and Technology Department of State Environ-

- mental Protection Administration. *The Explanations of State Emission Comprehensive Standard for Air Pollutions* (in Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1997. 68pp
- [4] Craig C D, Faulkenberry G D. The application of ridit analysis to detect trends in visibility. *Atmos. Environ.*, 1979, **13**: 1617~1622
- [5] Sloane C S. Visibility trends —I. Methods of analysis. *Atmos. Environ.*, 1982, **16**: 41~51
- [6] Sloane C S. Visibility trends —II. Mideastern United Sates 1948 - 1878. *Atmos. Environ.*, 1982, **16**: 2309 ~2321
- [7] Sloane C S. Summertime visibility declines; meteorological influences. *Atmos. Environ.*, 1983, **17**: 763~774
- [8] Sloane C S. Meteorologically adjusted air quality trends; visibility. *Atmos. Environ.*, 1984, **18**: 1217~1229
- [9] Lee D O. Trends in summer visibility in London and southern England. *Atmos. Environ.*, 1983, **17**: 151~159
- [10] Lee D O. The choice of visibility statistics in the analysis of long term visibility trends in southern England. *Weather*, 1988, **43**: 332~338
- [11] Lee D O. The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in southern England. *Atmos. Environ.*, 1990, **24A**: 195~201
- [12] Lee D O. Regional variations in long-term visibility trends in the UK, 1962 - 1990. *Geography*, 1994, **79**: 108~121
- [13] Doyle M, Dorling S. Visibility trends in the UK 1950 - 1997. *Atmos. Environ.*, 2002, **36**: 3161~3172
- [14] 郑景春. 上海的能见度. 城市气候论文集. 华东师范大学地理系, 1982
Zheng Jingchun. The visibility in Shanghai. Papers on City Climate (in Chinese). The Department of Geography, East China Normal University, 1982
- [15] 苏维瀚, 张秋彭, 沈济, 等. 北京地区大气能见度与大气污染的关系初探. *大气科学*, 1986, **10**(2): 138~144
Su Weihhan, Zhang Qiupeng, Shen Ji, et al. The relationship between visibility and air pollution in Beijing, *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1986, **10**(2): 138~144
- [16] 梁秀婷, 王丽春, 宋学峰, 等. 呼和浩特市区能见度与大气污染的特性分析. *内蒙古气象*, 1995, **1**: 35~38
Liang Xiuting, Wang Lichun, Song Xuefeng, et al. The analysis on the visibility of Huhehaote and the atmospheric pollution. *Inner Mongolia Meteorology* (in Chinese), 1995, **1**: 35~38
- [17] 赵习方, 徐晓峰, 王淑英, 等. 北京地区低能见度区域分布初探. *气象科技*, 2001, **29**(4): 19~22
Zhao Xifang, Xu Xiaofeng, Wang Shuying, et al. The regional distribution of poor visibility in Beijing. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2001, **29**(4): 19~22
- [18] 王淑英, 张小玲, 徐晓峰. 北京地区大气能见度变化规律及影响因子统计分析. *气象科技*, 2003, **31**(2): 109~114
Wang Shuying, Zhang Xiaoling, Xu Xiaofeng. Analysis of variation features of visibility and its effect factors in Beijing. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2003, **31**(2): 109~114
- [19] 廖代强, 马力. 重庆市市区能见度变化分析. *重庆气象*, 2003, **4**: 11~12
Liao Daiqiang, Ma li. The analysis on the visibility in Chongqing City. *Chongqing Meteorological Quarterly* (in Chinese), 2003, **4**: 11~12
- [20] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979. 16~20
China Meteorological Administration. *The Surface Meteorological Observation Norm* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1979. 16~20
- [21] 中国气象局预测减灾司. 常规气象资料信息化模式文本汇编. 北京: 气象出版社, 2001. 34~56
Department of Forecasting Services and Disaster Mitigation. *The Compilation of Routine Meteorological Data Information Model* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 34~56
- [22] Gomez B, Smith C G. Visibility at Oxford 1926 - 1985. *Weather*, 1987, **42**: 98~106
- [23] <http://www.stats.gov.cn/ndsj/zgnj/2000/G02c.htm>