

大气折射指数垂直分布的气候特征计算^{*}

詹煜¹⁾ 戴铁丕²⁾ 张培昌²⁾

(1)南京气象学院基础科学系,2)南京气象学院大气物理学系,南京 210044)

摘要 建立了南京地区大气折射指数垂直分布关系式,并计算了不同气候时段下分布参数、拟合误差以及 N 单位垂直变化梯度。结果表明:不同气候时段的累年年平均垂直分布参数不同,但差异并不明显;逐年年平均垂直分布参数间的差异较明显;累年逐月平均垂直分布不同月份间的参数差异很大,具有明显的季节性;逐年逐月平均垂直分布较全面地反映出分布的气候时段性、年际特性、季节特性及月际特性。还建立了一种考虑随机时间序列振动位相的多元统计预报模式,并对逐年逐月平均垂直分布参数进行了预报研究。

关键词 大气折射指数,垂直分布,气候特征,预报模式,通讯工程

分类号 P406

关于大气折射指数垂直分布已有过研究^[1,2]。由于通讯工程方案论证、通讯传输系统实时控制以及工程精密测量、GPS 空间定位技术、火箭制导、天文观测等的需要,大气折射指数计算及其垂直分布越来越受到重视。但过去的研究多集中在分布的建立以及在不同区域分布的代表性上。大气折射指数垂直分布不仅随区域而异,且在同一区域随时间也有很大变化,这种变化又直接影响着上述的实时控制、测量精度。因此进一步研究大气折射指数垂直分布的气候变化特征和规律并作出及时的预报,具有一定的实际意义。

本文选取南京站 1980~1988 年每月月平均的温、压、湿探空资料(从地面到 200hPa,共 9 层)和 1960~1969 年累年月平均的探空温、压、湿资料,利用折射指数与温、压、湿的关系

$$N = (n - 1) \times 10^6 = 77.6 \frac{p}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

计算得 N 单位值。式中, T 为气温(K); p 为大气压(hPa); e 为水汽压(hPa); n 为折射指数; N 为折射指数 N 单位(简称 N 单位)。本式适用于纯洁大气中微波段电磁波的情况。

此外,选用的拟合大气折射指数垂直廓线的分布为指数分布 $N(h) = Ae^{-Bh}$, 式中 h 为海拔高度(km); A 、 B 为分布参数。该分布形式简洁,物理意义较为明确,且便于计算大气偏折角。

1 年平均垂直分布变化特征

(1)累年年平均垂直分布 对南京的两个气候时段,分别计算了两个累年年平均垂直分布,1960~1969 年的 A 、 B 分别为 330.24、0.12972,1980~1987 年的 A 、 B 分别为 327.96、

* 本文由“八五”气象科学基金资助

收稿日期:1994-11-01;改回日期:1995-04-03

0.12846。从对比中可以看出,参数间差别并不大,说明这类分布的统计稳定性较好。另外从计算结果可得南京海拔 1km 处的 N 单位垂直变化梯度 dN/dh , 约为 -37km^{-1} , 与采用标准大气条件建立的 4/3 等效地球半径分布计算出的 -39km^{-1} 明显不同, 累年年平均指数分布精度有明显提高。

(2) 逐年年平均垂直分布 利用南京 1980~1987 年逐年的年平均探空资料, 建立逐年的年平均垂直分布关系, 从结果(略)可知每年的分布参数值不同, 有的甚至相差很大。A、B 参数的变化范围分别为 5.93、0.0037, 反映了年际变化特征。采用逐年年平均垂直分布将比累年年平均垂直分布的精度要高, 但该分布仍未反映出季节和月际的变化。

2 月平均垂直分布的变化特征

(1) 累年逐月平均垂直分布 从两气候时段累年逐月平均垂直分布可知, 不同季节或不同月份间分布参数的差异很大。7、8 月份参数 A、B 值最大, 12、1、2 月份则最小。6 月份垂直分布拟合误差最大, 12、1、2 月份则最小。7、8 月份 dN/dh 最大, 12、1、2 月份则最小。以 1980~1987 年时段为例, 不同月份间 A 参数的变化范围达 57.31, B 参数变化范围达 0.0131, 1km 处 dN/dh 变化范围达 11.99km^{-1} 。这些值几乎是年际变化范围值的 10 倍, 可见季节、月份的影响相对年际和气候时段的影响要大得多, 因此建立月平均垂直分布将大大提高 N 单位垂直分布的精度。

用 1980~1987 年累年逐月资料计算得出的累年月平均垂直分布参数 A、B 与时间 t (月份) 的回归式为: $A(t) = 276.82 + 19.39t - 1.38t^2$, $B(t) = 0.10898 + 0.00741t - 0.00053t^2$ 。它们可简洁地表示累年垂直分布。

(2) 逐年逐月平均垂直分布 这类分布最真实地反映了气候时段、年际、季节、月际的变化特性, 但不同年份、月份的分布参数变化很大。表 1 给出南京 1980~1987 年逐年逐月平均垂直分布参数值变化范围, 5、6 月参数值变化最大, dN/dh 变化也最大, 1 月份参数值变化最小, dN/dh 变化也最小。其原因可能是南京在 5、6 月间处于气候转型阶段, 而每年的气候转型起止时间变化较大, 因而影响了分布参数值。1 月份处于冬季, 每年冬季气象要素垂直分布变化相对较小。

表 1 南京 1980~1987 年逐年逐月平均分布参数变化范围
Table 1 Domain of variation in monthly mean distribution parameters based on 1980~1987 data from Nanjing and its surroundings

月份	A 变化值	B 变化值	1km 处 $\frac{dN}{dh}$ 变化值	月份	A 变化值	B 变化值	1km 处 $\frac{dN}{dh}$ 变化值
1	1.80	0.00153	0.56	7	8.00	0.00282	1.74
2	5.20	0.00450	1.64	8	17.22	0.00319	2.97
3	6.43	0.00285	1.39	9	23.81	0.00640	4.47
4	8.65	0.00397	1.92	10	16.22	0.00530	3.16
5	24.28	0.00951	5.14	11	9.48	0.00408	2.04
6	23.19	0.02167	8.29	12	5.44	0.00239	1.15

图 1 和图 2 给出了两个具体月份 N 单位垂直廓线与指数分布计算值的比较曲线, 可以看出不管什么季节指数分布拟合都较准确, 但存在一定的差异, 这种差异在不同季节都有相似之

处,3、4km 处和 9km 以上差异最大,1km 和 7km 处差异最小。

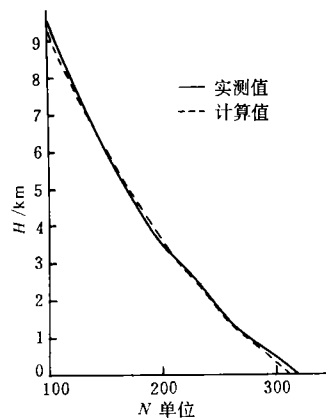


图1 南京 1987 年 2 月 N 单位

垂直廓线与分布计算值的比较

Fig. 1 N -unit vertical profile

in comparison to the distribution

calculation for February, 1987 in the study area

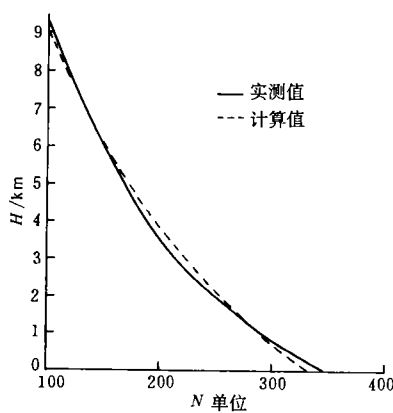


图2 南京 1987 年 6 月 N 值单位

垂直廓线与分布计算值的比较

Fig. 2 As in Fig. 1 but for June

3 预报试验^[3]

(1) 数学模型 考虑到分布参数的变化既受前期值的影响,又受自身演变规律(包括周期、位相)的影响,另外时间序列的统计特性也可能具有一定的时变性,故将统计模型取为

$$y(k) = \alpha_1(k) y(k-1) + \alpha_2(k) y(k-2) + \cdots + \alpha_n(k) y(k-n) \\ + \beta_1(k) \sin \left[\frac{2\pi}{T_1(k)} k + \theta_1(k) \right] + \cdots + \beta_m(k) \sin \left[\frac{2\pi}{T_m(k)} k + \theta_m(k) \right] + \varepsilon(k) \\ = \sum_{i=1}^n \alpha_i(k) y(k-i) + \sum_{i=1}^m \beta_i(k) \sin \left[\frac{2\pi}{T_i(k)} k + \theta_i(k) \right] + \varepsilon(k)$$

式中, $y(k)$ 为预报对象; $y(k-1), \cdots, y(k-n)$ 为 $y(k)$ 的前期值; $T_1(k), \cdots, T_m(k)$ 为 m 个时变周期; $\theta_1(k), \cdots, \theta_m(k)$ 为 m 个时变相位; $\alpha_i(k), \beta_i(k)$ 为时变参数; $\varepsilon(k)$ 为随机噪声。在建立预报方程时不考虑随机误差,即视 $\varepsilon(k)$ 为预报误差。

上述模型的关键是怎样筛选预报因子,并得到各自的权重系数。本文采用逐步回归方法来筛选预报因子并确定出预报方程的各项参数。

(2) 计算方法与预报结果 为了建立较准确的预报模型,采用了谱分析技术,对分布参数时间序列进行诊断分析,在已有的数据资料中最大限度地提取有用的信息,从而做出合理的预报。首先找到预报对象的前期值,作为自回归因子,如前 1 年、前 2 年因子,然后采用最大熵谱分析方法诊断出分布参数时间序列的周期。被诊断出的周期,随着不断引入新的数据,将会有一定的变化,因此每向前预报一步都要适时提取一次序列的周期。而最大熵谱分析方法具有高分辨率、高灵敏度的特点,尤其适合于对较短时间序列的周期提取。

以往的周期分析研究中没有考虑振动周期的位相问题,这是一个不足。从振动的物理机制上来说,振动周期的位相与预报对象的变化很重要,因此必须考虑振动位相,建立一个物理机制更为完善的预报模型。采用交叉谱分析方法可以计算出周期项与预报对象时间序列的位相差。这个位相差对不同周期将会不同,在不同预报时刻也会不同。

在每一次预报中,按照逐步回归方法,用给定的 F 检验水平对经过粗选的回因子,周期项因子进行引入和剔除,凡被引入的因子其权重系数也同时计算出来。显然,被引入的因子是对预报贡献大的因子,或是显著的周期,或是较准确的位相。当然,随着预报时刻的变化,被选入的因子不同,或权重系数发生变化,正是由于这种变化,可以适应序列统计特性的变化,产生出具有时变特点的模式。

本文对南京 1980~1986 年逐年逐月平均 N 单位垂直分布参数 A 、 B 分别组成 12 个时间序列,分别建立了 12 个预报方程(见表 2、表 3)。预报公式中的 X_1 是前一年自回归因子; X_2 、

表 2 南京 1987 年逐月平均分布参数 A 的预报公式
Table 2 Prediction formulae for the monthly mean distribution parameter
 A for 1987 over the project area

月 份	公 式	月 份	公 式
1	$Y=572.4417-0.8462X_1-0.4929X_2$ $T=3.88a \quad \theta=22.52^\circ$	7	$Y=364.9826$
2	$Y=615.8041-0.9868X_1-2.2800X_2$ $T=2.88a \quad \theta=-131.93^\circ$	8	$Y=361.6488$
3	$Y=311.9857+1.3460X_3$ $T=2.43a \quad \theta=82.30^\circ$	9	$Y=344.5640$
4	$Y=979.1202-2.0904X_1+2.8795X_2$ $+3.1807X_3$ $T_1=3.95a \quad \theta_1=-127.83^\circ$ $T_2=2.43a \quad \theta_2=-53.59^\circ$	10	$Y=595.2631-0.8177X_1$
5	$Y=326.9419+6.4284X_2+6.7252X_3$ $T_1=7.69a \quad \theta_1=-127.83^\circ$ $T_2=2.43a \quad \theta_2=58.22^\circ$	11	$Y=572.4484-0.8067X_1-3.4193X_2$ $T=2.63a \quad \theta=-125.62^\circ$
6	$Y=559.4515-0.6495X_1-13.3877X_2$ $T=9.09a \quad \theta=-130.63^\circ$	12	$Y=309.0840$

表 3 南京 1987 年逐月平均分布参数 B 的预报公式
Table 3 Same as in Table 2 but for the parameter B

月 份	公 式	月 份	公 式
1	$Y=0.12144$	7	$Y=0.188-0.3242X_1+0.005X_2$ $T=3.44a \quad \theta=175.32^\circ$
2	$Y=0.156-0.2833X_1+0.001X_2$ $T=3.12a \quad \theta=124.25^\circ$	8	$Y=0.296-1.0898X_1+0.002X_2$ $T=3.17a \quad \theta=117.15^\circ$
3	$Y=0.177-0.4465X_1$	9	$Y=0.243-0.8293X_1+0.01X_2$ $T=10.00a \quad \theta=102.16^\circ$
4	$Y=0.189-0.5205X_1$	10	$Y=0.222-0.7224X_1$
5	$Y=0.171-0.3179X_1-0.001X_2$ $T=7.14a \quad \theta=45.15^\circ$	11	$Y=0.047+0.6198X_1-0.0079X_2$ $T=2.56a \quad \theta=51.50^\circ$
6	$Y=0.281-1.0867X_1-0.01X_2$ $T=6.67a \quad \theta=18.40^\circ$	12	$Y=0.121+0.0061X_2$ $T=2.40a \quad \theta=143.31^\circ$

X_3 是周期项; T 是振动周期; θ 是振动的初位相。从结果(见表 4)可以看出,不同月份不同参数的预报公式完全不同,另外冬季等的预报效果比夏季好,6 月份的预报误差相对较大。

表 4 南京 1987、1988 年逐月平均分布参数预报结果

Table 4 Predicted values of parameters A and B for 1987 and 1988 (Cf. Tables 2 and 3)

月 份	1987 年				1988 年			
	A (真实值)	A (预报值)	B (真实值)	B (预报值)	A (真实值)	A (预报值)	B (真实值)	B (预报值)
1	309.29	310.61	0.12191	0.12144	308.30	310.37	0.12061	0.12144
2	310.45	312.06	0.12154	0.12278	310.58	308.25	0.12149	0.12156
3	312.54	311.72	0.12253	0.12131	311.90	311.81	0.12223	0.12229
4	314.06	310.93	0.12516	0.12518	313.30	324.32	0.12328	0.12385
5	326.52	329.73	0.12479	0.12851	330.30	322.96	0.13012	0.13132
6	329.48	336.96	0.13222	0.15192	344.20	346.89	0.13544	0.13732
7	366.72	364.98	0.14287	0.14345	370.27	364.98	0.14404	0.14168
8	369.02	361.65	0.14264	0.14320	352.22	361.65	0.13886	0.14055
9	333.86	344.56	0.13205	0.12864	338.60	344.56	0.13272	0.13349
10	330.02	333.39	0.12719	0.12474	329.30	325.41	0.12868	0.13012
11	318.38	320.30	0.12503	0.12474	306.70	318.81	0.12041	0.12449
12	306.62	309.08	0.12165	0.12130	310.90	309.08	0.12178	0.12100
相对误差(%)	1.13		2.17		1.63		1.02	

4 结 语

通过本文的计算和分析,基本找出大气折射指数 N 单位垂直分布的气候变化规律。可以看出不同气候时段的垂直分布差别较大,这种差别正是影响垂直分布精度的关键。因此在实际选用垂直分布时不应只用一种传统的单一不变的标准分布套合在任一个时空段上,而应因时因地采用与实际资料符合较好的分布。在气候概念的时段内,季节和月际的影响和变化最大,若采用月平均垂直分布,将会大大提高工程的精度。在对工程进行设计和控制时,还需预先估计出分布的变化,本文的预报试验给出了一种可供参考的思路。

参 考 文 献

1 Bean B R, Dutton E J. Radio meteorology. New York: Dover Publications Inc,1968. 49~87
2 张培昌,戴铁丕,郑学敏. 我国部分地区大气折射指数垂直分布统计模式的建立与分析. 气象科学,1991,(4):402~413
3 詹煜,戴铁丕,张培昌. 长期大气折射指数预报研究. 气象科学,1993,(4):427~431

CALCULATED CLIMATIC FEATURES OF VERTICAL DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC REFRACTIVITY INDEX

Zhan Yu

(Department of Basic Courses, NIM, Nanjing 210044)

Dai Tiepi Zhang Peichang

(Department of Atmospheric Physics, NIM, Nanjing 210044)

Abstract Based on 1980~1987 temperature, pressure and humidity soundings measured in Nanjing and its surroundings an expression is formulated for the vertical distribution of atmospheric refractivity index and used to calculate the distribution parameters, fitting errors and N unit vertical change gradients at a range of climate intervals. Results show that the annual mean vertical parameter differs slightly at these intervals but they are different considerably one from another on a yearly mean basis. The vertical distribution parameters differ from each other greatly on a monthly mean basis for each year, showing pronounced seasonality. The distribution of the monthly mean parameters in each of the years gives a clear picture of characteristics of climatic intervals, the interannual, seasonal and intermonthly characters. Finally, a multivariant statistical prediction model is constructed with random vibration phases of a time series considered and used to make forecasts of the vertical distribution of monthly mean parameters for each of the years.

Keywords atmospheric refractivity index, vertical distribution, climatic feature, prediction model, communication construction