

呼和浩特城区气候与大气环境适宜性相关 指标变化分析评价

郝润全¹ 高建国¹ 乐寒松¹ 杨勇²

(1 内蒙古气象局气象科技服务中心, 呼和浩特 010051; 2 内蒙古托县气象局, 托县 010200)

摘要 基于呼和浩特市 1961—2006 年主要气象要素和 2001—2006 年主要污染物平均浓度资料, 利用数理统计方法和气象环境评价指标, 分析由于气候变化对呼和浩特市气象环境所产生的影响。结果表明: ①呼和浩特城区近 50 年气候变暖明显, 热岛效应显著, 呈现降水量减少趋势及暖干化的气候特征明显。②呼和浩特城区的主要气象灾害呈减少趋势, 尤其是沙尘暴、大雾等灾害性天气的逐年减少, 降低了大气颗粒物(PM₁₀)的浓度。③呼和浩特市的首要污染物 PM₁₀ 主要发生在集中采暖和风沙较大的冬半年, 且冬季辐射逆温、热岛效应有增强趋势, 对污染物扩散不利。④呼和浩特城区冬半年寒冷程度不太明显, 夏半年舒适度指数虽有上升趋势, 但低于偏热不舒适标准, 比较适合避暑休闲。

关键词 大气环境 舒适度 PM₁₀

引言

随着城市化进程的加快, 城镇人口急剧增长, 城市规模不断扩大, 因而改变了城区土地利用结构和大气层下垫面特性, 同时城市工业排放的大量烟尘、气溶胶以及汽车尾气和扬尘等对于城市的气温、湿度、能见度、风和降水都有影响, 对城市人居环境产生了多方面的影响^[1]。此前有关工作虽然研究了城区发展对气温、降水、湿度等气象要素影响^[2-3], 但没有涉及到气候变化对人体舒适程度的定量评价, 因此, 本文在这方面进行尝试性分析。

呼和浩特市作为内蒙古自治区首府, 近年来经济发展迅速, 由此引发的城区气象环境问题也较为突出。1961—2005 年呼和浩特市 GDP 年均增长率为 2.3%, 但从 2000 年之后增幅明显加大, 近 6 年时间增加了约 3 倍, 增长速度非常快。并且此期间也伴随着人口急剧膨胀, 资源大量消耗, 环境污染加剧, 自然生态系统破坏等一系列环境问题^[4]。因此, 在呼和浩特市城区的发展建设中, 既要考虑经济的发展, 又要重视气候变化与气象环境问题, 从科学的角度分析评价呼和浩特市城区气象环境的适宜性, 对建设资源节约型、环境友好型宜居城市具有重要意义。

1 资料和方法

1.1 资料来源及说明

呼和浩特市 1961—2006 年平均气温、降水量、平均风速、大风日数等气象要素和高温、暴雨、沙尘、扬沙、雾等气象灾害资料以及呼和浩特市郊区站 1981—2006 年平均气温资料均来源于内蒙古气象信息中心; 白塔机场 1993—2006 年平均气温资料来源于呼和浩特白塔国际机场气象观测站。呼和浩特市 2001—2006 年逐日 PM₁₀ 平均浓度资料来源于呼和浩特市环保局。

呼和浩特市郊区站位于市区站南部, 在建站的 1981—1994 年期间, 郊区站周边建筑物很少, 基本属于人类影响较小的地区, 而从 1995 年开始随着城区扩展, 测站环境破坏严重, 台站代表性下降。而白塔站位于市区站东部, 周边空旷, 从 1993 年开始才有逐日平均气温观测资料, 因此, 呼和浩特市热岛效应分 1981—1994 年和 1994—2006 年两个时段进行分析比较。

1.2 分析方法

(1) 人体舒适度。冬季利用风寒指数(Q)经验公式^[5]进行计算:

中国气象局 2007 年多轨道业务建设项目“城市规划气候可行性论证业务系统”资助

作者简介: 郝润全, 男, 1960 年生, 高级工程师, 主要从事专业气象预报工作, Email: nmghrq@sina.com

收稿日期: 2009 年 3 月 10 日; 定稿日期: 2010 年 5 月 20 日

$$Q=(10\sqrt{U}+10.45-U)(33-T) \quad (1)$$

式中 U 为风速, T 为气温。风寒指数的物理意义是指皮肤温度为 $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 体表单位面积的散热量。

夏季用温湿指数或舒适度指数^[5] (E_T) 进行计算:

$$E_T=T_d-0.55(1-r)(T_d-58) \quad (2)$$

式中 T_d 为干球温度, r 为相对湿度。

(2)城市热岛。城市热岛强度(H_t)为同一时间城市与其附近郊区气温的对比^[1], 即:

$$H_t=T_c-T_s \quad (3)$$

式中 T_c 为城区气温, T_s 为郊区气温。

(3)城市逆温强度。逆温强度是指每 100 m 气温递增的度数。根据贴地逆温层厚度和逆温层顶部与底部的温差来确定逆温强度评估因子^[1] (C), 即:

$$C=(T_1-T_2)/H \quad (4)$$

式中 T_1 为逆温层顶部气温, T_2 为底部气温, H 为厚度。

(4)污染系数。污染系数表示风向、风速对空气污染的综合作用^[6]。在静风频率较高的呼和浩特市地区, 其污染系数(P_i)为:

$$P_i=Nf_iu/u_i+uf_0/0.75 \quad (5)$$

式中 N 为风向方位值($N=16$), f_i 为 i 方向风向频率, f_0 为静风频率, u 为多年平均风速, u_i 为 i 方位风向的平均风速, 其中 $i=1, 2, \dots, 16$ 。

2 气候变化特征

在全球变暖的背景下, 近 50 年呼和浩特市气温

增温趋势明显, 增温率为 $0.57\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 而降水呈现不断减少趋势, 减少率为 $4.1\text{ mm}/10\text{a}$ (图 1)。尤其是在 20 世纪 80 年代后期增暖趋势更为明显, 增温率达 $0.64\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 近年来暖而干的气候是呼和浩特市的主要特征之一。

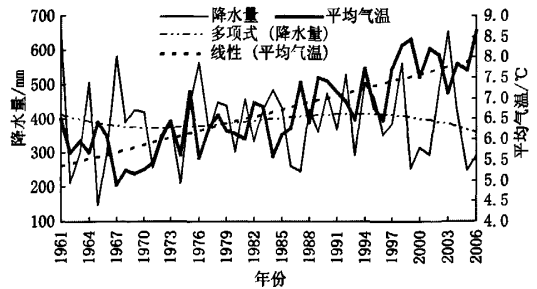


图 1 呼和浩特市近 50 年气温和降水变化趋势

IPCC 第 4 次评估报告指出, 随着全球气候变暖, 极端气候事件发生频率和强度呈增加趋势^[6], 但位于土默川平原的呼和浩特市, 其变化与此不同(表 1)。主要气象灾害出现日数除高温日数略增加外, 其余灾害均呈减少趋势。其中寒冷日数和大风日数减少趋势最为明显, 近 50 年减少 30 天左右; 其次为扬沙、沙尘暴和浮尘日数, 近 50 年减少 10 天左右; 暴雨日数和大雾日数减少趋势不显著, 近 50 年仅减少 1~3 天。呼和浩特市主要气象灾害出现频次的逐年减少, 对城区人居与生活较为有利。

表 1 呼和浩特市主要气象灾害出现日数变化趋势

	暴雨	大风	浮尘	沙尘暴	雷暴	大雾	高温	寒冷	扬沙
趋势变化率(每 10 年)	0.134	-5.92	1.41	-1.59	-1.195	-0.673	0.276	-6.709	-2.686
50 年变幅	-0.7	-29.6	-7.1	-8.0	-6.0	-3.4	1.4	-33.6	-13.4

3 大气环境适宜性变化分析

城市大气环境的优劣取决于污染源的多寡、性质和排放强度, 也与城区气象条件密切相关^[1]。决定污染物在大气中积聚和扩散的主要气象因子有风速、风向、温度层结等。

3.1 主要污染物变化

呼和浩特市的大气污染物主要来源于工业和民用燃烧的排放物, 其次是交通工具的尾气及沙尘等, 燃料结构主要以燃煤为主, 大气环境中主要是以 PM10 为主的煤烟和沙尘污染^[7]。

呼和浩特市主要污染物 PM10 集中出现在冬半年, 且污染程度远远高于夏半年(图 2)。究其原因, 是由于冬季呼和浩特市上空多为冷高压控制, 小风、静风频率高, 昼夜温差大, 在夜间易形成强度较大的辐射逆温, 空气层结稳定, 使污染物扩散受到抑制, 特别是冬半年的采暖期, 煤烟不易扩散, 空气污染较重。

近年来随着呼和浩特城区实施集中供暖以来, PM10 浓度呈现出明显下降趋势(图 3), 特别是从 2004 年开始基本位于平均值以下。标准偏差用来度量数据分布的分散程度, 是衡量数据值偏离算术

平均值的程度^[8]。呼和浩特市 2001—2007 年 PM10 标准偏差为 0.1040,而 PM10 多年平均值为 0.1096,略低于平均状态,说明呼和浩特市 PM10 年际间变率接近平均值,PM10 浓度的多年变化主要集中在平均值区域,波动性较小。

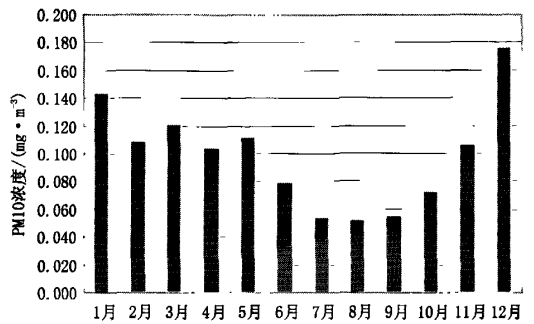


图 2 2001—2006 年呼和浩特市主要污染物 PM10 逐月变化趋势

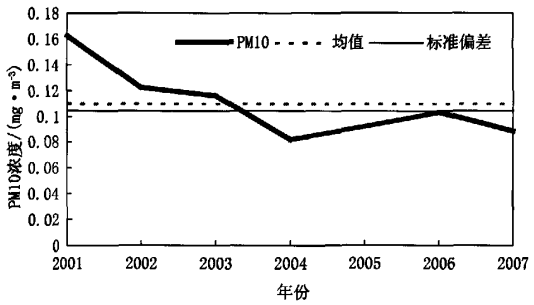


图 3 2001—2006 年呼和浩特市主要污染物 PM10 逐年变化趋势

3.2 气象环境变化分析

3.2.1 风的影响

呼和浩特市多年平均风速呈波动式减小、大风日数呈波动式快速减少趋势(图略),近 50 年分别减少了 1 m/s 和 30 天左右,且多年平均风速主要位于 0~4.5 m/s 之间(图 4),出现频率为 90%左右,说

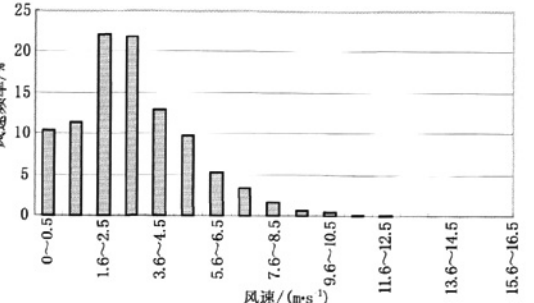


图 4 呼和浩特市各等级风速频率分布

明呼和浩特地区由于受到大青山脉阻挡,平均风速较低,对污染物扩散较为不利。

污染物的浓度与风速大小以及风向关系密切^[1]。呼和浩特市污染系数较低,仅为 0.02(图 5),污染影响较明显的风向范围为南风区(S—SW)、东北风区(E—NE)和西北风区(NW),这些地区不适宜居民居住。

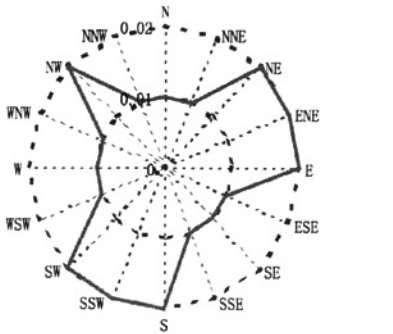


图 5 呼和浩特市污染系数分布

3.2.2 大气状态影响

温度层结是大气垂直运动稳定与否的标志。呼和浩特城区逆温一年四季均可出现,年出现频率为 82%,且早晨多于晚上^[9]。冬季逆温出现频率最高,其次是秋季,夏季频率最低。其强度也以冬季最强,1 月 07:00 平均逆温强度可达 1.6 °C/hm;夏季逆温最弱,平均强度仅为 0.5 °C/hm。逆温层厚度也以冬季最厚,达 1000 m 以上,夏季较薄,仅为 200 m 左右。呼和浩特市冬季逆温和静风的频繁出现以及强度增强,使气流上升运动受到抑制,尤其是在早晨和傍晚,在风速较小或无风的条件下,污染物不易扩散,易出现空气污染,影响人们户外活动。

3.2.3 热岛效应

1981—1994 年呼和浩特市本站比郊区站平均每年增温 0.2 °C,1994—2006 年呼和浩特市本站比白塔站增温约 1.0 °C,城区热岛效应非常显著,尤其是在气温显著升高的 90 年代之后,城区的迅速发展使城郊间温度差异加大,热岛效应更为明显。对呼和浩特市城区地表温度的模拟结果显示(图 6),无论冬季还是夏季(冬季图略),呼和浩特城区中心的温度最高,并逐渐向周边递减,这也进一步验证了呼和浩特城区存在热岛效应。热岛效应会引起城区空气上升,而周围郊区空气向城市辐合,并进一步影响污染物混合扩散^[10]。

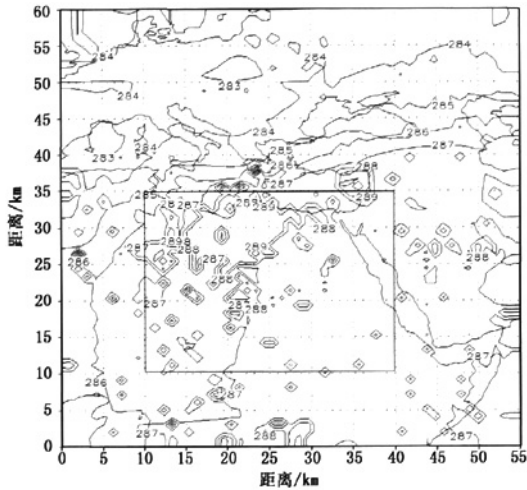


图 6 呼和浩特市夏季地表温度(K)
(小方框为城区位置)

4 人体舒适程度分析评价

城市环境的适宜与否首先是人体感觉的舒适程度。冬季人对温度高低的感受不仅与周围环境温度有关,而且受风速大小影响,风转移皮肤表面的空气,促使蒸发和传导,即对流热散发。据统计,风速每增大 1 m/s,使人感觉到气温降低 2~3 ℃^[11-13]。呼和浩特市冬季气温较低,偶有寒潮大风天气发生,其风寒程度的高低直接影响人们的日常生活与舒适程度。

在人体寒冷程度的舒适评价中^[5],风寒指数在 1000 以上人体有寒冷的感觉,在 1000 以下有冷或凉的感觉。呼和浩特市冬半年风寒指数均在 1000 以下(表 2),尤其是在冬季(12 月至次年 2 月),人们在户外活动时有冷的感觉。

表 2 呼和浩特市冬半年风寒指数

	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
风寒指数	562.8	763.2	908.4	964.5	902.1	766.3

夏季人体舒适与否,根据人体对周围自然环境适应程度主要考虑与气温有关的湿度、风速等的影响。一般认为舒适度指数超过 70、75、80 时,有 10%、50%或 100%的人感到不舒适^[6]。

呼和浩特市夏季舒适度指数在 25~36 之间波动并呈逐渐上升趋势(图 7),增加率为 0.5/10a,且从 1987 年之后增大趋势更为明显,大部分年份超过平均值。随着气候变暖,呼和浩特市从 1987 年之后

气温显著升高,使舒适度指数增大,但按照舒适度指数的划分标准^[5],舒适度达 25.6 以下为冷而不舒适的感觉,在 70 以上为偏热的感觉,而呼和浩特整个夏季舒适度均在 25.6~70 之间,人体无不舒适的感觉,因此,呼和浩特市夏季气候非常适宜人们避暑休闲。

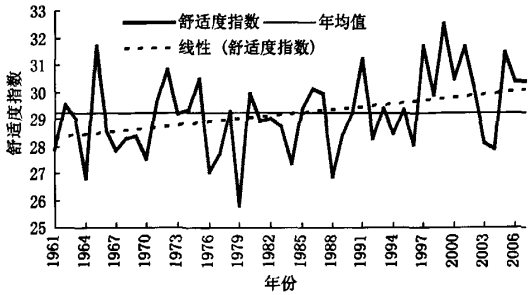


图 7 呼和浩特市夏季舒适度变化趋势

5 结论与讨论

(1)呼和浩特城区近 50 年气候变暖明显,热岛效应较为明显,但降水量呈现减少的趋势及暖干化的气候特征明显。这与全球变暖以及此期间城市规模扩张、城市人口增加、城区下垫面类型变化密切相关。

(2)呼和浩特城区的主要气象灾害扬沙、沙尘暴、雷暴、大雾等日数均呈减少趋势。尤其是沙尘暴、大雾等灾害性天气的减少,降低了大气颗粒物(PM10)的浓度,对城区人们居住与生活比较有利。

(3)大气颗粒物(PM10)是呼和浩特市的首要污染物。呼和浩特市冬半年 PM10 明显高于夏半年,其原因是由于采暖燃煤加上风速小,不利于污染物扩散。

(4)呼和浩特市由于受到地形抬升和热力结构的影响,冬季辐射逆温强且频发,热岛效应明显,污染物不易扩散,如遇不利于扩散的天气形势,极易出现严重污染

(5)呼和浩特城区冬半年风寒指数为 550~1000,寒冷程度不太明显;夏半年舒适度为 25~36,远远低于 70 偏热不舒适的指标,感觉较为舒适,比较适合人们休闲避暑。

参考文献

[1] 周淑贞,束炯.城市气候学[M].北京:气象出版社,1994.

[2] 刘宁微,马雁军. 城市化发展对气象要素的影响[J]. 气象, 2006,32(9):15-20.

[3] 程胜龙,王乃昂. 近 60 年兰州城市发展对城市气候环境的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2006,42(3):9-14.

[4] 内蒙古自治区统计局编. 内蒙古统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2006.

[5] 朱瑞兆. 应用气候手册[M]. 北京:气象出版社,1991:329-343.

[6] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社,2007.

[7] 司瑶冰, 宫春宁, 郑有飞. 呼和浩特市大气污染与天气气候的关系[J]. 气象科技,2005,33(2):78-82.

[8] 么枕生,丁裕国. 气候统计[M]. 北京:气象出版社,1991:11-73.

[9] 邱海涛,徐桂梅. 呼和浩特市低空逆温特征分析[J]. 内蒙古气象. 2003(3):25-26.

[10] 王郁,胡非. 近 10 年来北京夏季城市热岛的变化与环境效应的分析研究[J]. 地球物理学报,2006,49(1):29-34.

[11] 邸瑞琦,白美兰,樊建平. 内蒙古地区气候因子与旅游活动的关系[J]. 内蒙古气象,2002, (1):5-8.

[12] 周蕾芝,周国模,应娜. 旅游活动的适宜气候指标分析[J]. 气象科技,1998,26(1):61-64.

[13] 何萍,李宏波. 云贵高原中小城市热岛效应分析[J]. 气象科技, 2002,30(5):33-36.

Analysis and Assessment of Comfortableness Index Change of
Climate and Atmospheric Environment in Hohhot Urban Area

Hao Runquan¹ Gao Jianguo¹ Le Hansong¹ Yang Yong²

(1 Inner Mongolia Meteorological Scientific and Technological Center, Hohhot 010051;

2 Tuoxian meteorological Bureau, Inner Mongolia, Tuoxian 010200)

Abstract: Based on the meteorological data and the average concentration data of main pollutants from 1961 to 2006 at Hohhat, the impacts of climate warming on atmospheric environment and comfortableness at Hohhat are analyzed by using the statistical method and meteorological environment assessment indexes. The results indicate that:(1) In the urban area of Hohhot in the recent 50 years, climate warming was obvious; the heat island effect was remarkable; precipitation showed a reduction tendency; the climatic characteristic of warm-drought was obvious. (2) The main meteorological disasters showed a reduction tendency, especially sandstorm and heavy fog, resulting in the reduced concentration of atmospheric particles (PM10). (3) The main pollutant PM10 peaked in winter during the heating period and the time in windy and sandy weather. At the same time, temperature inversion and heat island effect have an enhanced trend, which is disadvantageous for pollutants diffusion. The comfortableness index in summer increased, which is still in the range of comfortable feeling and suitable for living and spending holidays for people.

Key words: climate change, atmospheric environment, comfortableness, assessment