

金莉莉,何清,李振杰,等. 2016. 乌鲁木齐市低层大气稳定度分布特征的统计分析. 气象, 42(8): 996-1006.

乌鲁木齐市低层大气稳定度分布特征的统计分析^{*}

金莉莉^{1,2} 何 清^{1,2} 李振杰³ 缪启龙⁴ 买买提艾力·买买提依明^{1,2}

1 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002

2 塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站, 塔中 841000

3 云南省临沧市气象局, 临沧 677099

4 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044

提 要: 利用乌鲁木齐市 4 座 100 m 梯度气象塔 2013 年 6 月至 2014 年 4 月 10 min 气象资料, 对比分析了温差法、温差-风速法、风速比法、理查森数和总体理查森数法计算的 A~F 类大气稳定度的适用性, 表明温差-风速法更适合乌鲁木齐市大气稳定度的分类, 运用该方法计算出的 A~F 类稳定度进而统计分析乌鲁木齐市城区和郊区稳定度的频率分布特征。结果表明: 郊区稳定类所占比例高于城区, 城区中性类高于郊区, 南郊和城区不稳定类高于北郊。中性类在冬季较大, 春季和秋季较低; 不稳定类在 6 月最高、9 和 1 月最低; 稳定类在 10 和 1 月最高、6 和 7 月最低。白天以不稳定为主(占全天 88.3%~96.3%)、夜间以稳定为主(占全天 51.3%~60%), 夏季最明显。不稳定与中性、稳定的日变化相反, 郊区日出时和城区日出后 2 h 左右稳定类频率最大。中性(D 类)在日出和日落后 1~3 h 分别出现两个峰值。寒潮天气稳定性比高温天气强, 静风天气郊区稳定类比大风天气强, 扬沙发生前以中性和稳定类稳定度为主、发生时和发生后以不稳定为主, 降雨天气不稳定类比暴雪天气强。春季和夏季重污染天气 B、C 和 F 类为主, 夏季南郊和近北郊 C 和 F 类约 45%, 秋季 B 和 E 类为主, 约 40%~50%; 冬季城区 D 类频率最大, 南郊、北郊和近北郊 F 类频率最大。

关键词: 大气稳定度, 频率, 统计特征, 乌鲁木齐

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.08.010

Statistical Analysis of Low Layer Atmospheric Stability Distribution Characteristics in Urumqi

JIN Lili^{1,2} HE Qing^{1,2} LI Zhenjie³ MIAO Qilong⁴ ALI Mamtimin^{1,2}

1 Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002

2 Taklimakan Desert Atmosphere and Environment Observing and Experimental Station, Tazhong 841000

3 Lincang Meteorological Office of Yunnan, Lincang 677099

4 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: According to daily observation of four 100 m meteorological towers in Urumqi from June 2013 to April 2014 by 10 min meteorological data, this paper analyzes the A—F atmospheric stability applicability of the temperature difference method, temperature difference-wind speed method, wind ratio method, Richard method, and Overall Richardson number method. It is found that the temperature difference-wind speed method is more suitable for the classification of Urumqi City atmospheric stability. Using this method, we calculate the A—F stability and, further, conduct statistical analysis of the frequency distribution characteristics of Urumqi City and suburban stability. The results show that the frequency of stable

^{*} 中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2015009)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(IDM201505)及公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506001)共同资助

2015 年 6 月 1 日收稿; 2016 年 1 月 20 日收修定稿

第一作者: 金莉莉, 主要从事大气边界层和陆面过程模拟研究. Email: jinlili1984@126.com

通信作者: 何清, 主要从事沙漠气象研究. Email: qinghe@idm.cn

condition is higher in suburbs than in urban area and the frequency of neutral condition is higher in urban than in suburb, and the frequency of unstable conditions is higher in southern suburbs and urban than in northern suburbs. The frequency of neutral condition is the highest in winter but the lowest in spring and autumn. The frequency of unstable condition is the highest in June but lowest in September and January. The frequency of stable condition is the highest in October and January but lowest in June and July. The proportion of the unstable is the maximum (88.3%—96.3% of all day) during daytime in summer, but minimum (51.3%—60%) in winter. The daily variation of unstable condition is in inverse of neutral and stable conditions. The frequency of stable condition is the highest at sunrise moment in suburb and 2 hours after sunrise in urban. The neutral condition at sunrise and 1—3 hours after sunset respectively reach their two peaks. The frequency of stable condition is higher in cold weather than in hot weather, and it is higher in calm weather than in windy weather in suburb, and the frequency of unstable condition is higher in rain weather than in heavy snow weather. The frequency of neutral and stable conditions are the highest before blowing sand but the unstable condition is the highest during and after sand blowing. The high frequency of atmospheric stability is in B, C and F category in spring and summer; the frequency of C and F category in summer in south suburbs and north suburbs is about 45%. The high frequency of atmospheric stability is B and E category in autumn (about 40%—50%). The high frequency of atmospheric stability is D category in urban, while is F category in south suburbs, north suburbs and north rural.

Key words: atmospheric stability, frequency, statistical characteristics, Urumqi

引 言

大气稳定度与空气污染有密切的关系,大气稳定度是衡量大气污染严重程度的重要指标之一(李宗恺等,1985)。污染物在大气中扩散的速度、距离和范围受大气稳定度的影响,当大气层结处于稳定状态时,污染物不易扩散,即扩散缓慢、扩散范围小,污染物浓度大,反之,污染物容易扩散(杨贤为等,2002)。近年来的研究表明,大气稳定度指数在强对流天气和沙尘暴天气中可为预报员决策提供有效的辅助信息(王伏村等,2012;贺哲,2012;刘辉等,2014;孙永刚等,2014;钱莉等,2015)。

自 20 世纪 80 年代以来,我国学者在大气稳定度方面已经开展了大量的研究工作,对不同稳定度的分类结果进行了比较。李祥余(2007)和刘强等(2009)分析了塔克拉玛干沙漠腹地大气稳定度特征;刘焕彬等(2005)指出沂蒙南部山区冬季阴天或下雪天白天大气边界层以 D 类为主,夜间以 F 类和 D 类为主;杨振等(2007)研究表明西双版纳热带雨林林冠上方大气稳定度频率分布存在明显日变化;康凌等(2011)对比研究了 3 种不同下垫面(戈壁沙漠、丘陵、沿海)7 种不同的大气稳定度分类方法,表明辐射法的结果最好;刘立忠等(1998)指出南京近

郊冬季边界层稳定度变化与风切变关系密切;朱业玉等(2011)统计了河南省近 40 年来不稳定和稳定类稳定度有上升趋势,中性类有显著下降趋势;杨勇杰等(2006)统计了上海近 15 年来以中性类稳定度为主,且季节变化不明显,而稳定类和不稳定类季节变化明显,云量是影响稳定度年际变化的主要原因;蔡新玲等(2007)统计了西安市近 10 年来以稳定类稳定度为主,不稳定和稳定有缓慢上升趋势,且季节变化不明显,中性有缓慢下降趋势;陈建文等(2013)利用 GIS 系统研究了陕西省大气稳定度分布特征,表明不稳定类出现频率夏季最高、冬季最低,中性类秋季最高、冬和春季最低,不稳定类出现频率高的区域,稳定类频率出现亦高;管振宇等(2013)利用 NCEP/NCAR 再分析资料分析了华东区域夏季行星边界层大气稳定度的气候学特征,表明东亚夏季风盛行时期华东区域边界层大气稳定度呈现出均匀分布的特征,北部较为稳定、南部较为不稳定,并存在 3~5 a 以上和 10 a 以上的周期。虽然也有科研工作者研究了乌鲁木齐市大气稳定度与空气污染的关系(杨静等,2011),但这些研究主要基于单点观测资料,稳定度的分类也只使用了一种方法,其适用性未进行探讨。乌鲁木齐市在冬季是中国西部地区大气污染最为严重的城市,1998 年即被列为世界 10 大污染城市之一(Mamtimin et al, 2007)。研究乌

乌鲁木齐市大气稳定度分布特征,可以为改进城市空气污染预报和污染治理提供科学依据。因此,本文利用位于乌鲁木齐市南郊至北郊的 4 座 100 m 气象塔 2013 年 6 月至 2014 年 4 月观测资料分析不同大气稳定度分类方法在乌鲁木齐市的适用性,进而统计分析乌鲁木齐市城区和郊区大气稳定度频率分布特征和四季、逐月和逐日(包括不同天气)演变规律。

1 观测地点、观测仪器和数据处理

1.1 观测地点

乌鲁木齐市位于亚欧大陆腹地,地处天山北麓、准噶尔盆地南缘,地处 $42^{\circ}45'32''\sim 44^{\circ}08'00''\text{N}$ 、 $86^{\circ}37'33''\sim 88^{\circ}58'24''\text{E}$,全市面积 14216 km^2 ,其中建成区面积 365.88 km^2 ,海拔 $580\sim 920\text{ m}$,自然坡度 $12\%\sim 15\%$,属于中温度大陆性干旱气候。乌鲁木齐市三面环山,城区主体在新疆中天山北部的冲积平原上,北部为倾斜、开阔的准噶尔盆地,东面有博达山、喀拉塔格山和东山,西面有喀拉扎山和西山,南面有伊连哈比尔尕山东段(天格尔山)和土格达坂塔格等,市区大体呈开口朝北的“喇叭口”地形(王春华等,2010)。

本研究所用资料的站点为乌鲁木齐市 4 座 100 m 气象铁塔,其分布位置如图 1 所示,具体信息见表 1。

4 座 100 m 气象铁塔分别位于乌鲁木齐市南郊(燕南立交,YNLJ)、北郊(米东,MD)、近北郊(红光山,HGS)、城区(鲤鱼山,LYS)。4 座气象铁塔的分布范围的跨度为:南北长约 37.6 km 。4 座铁塔均采用正南正北走向。

北郊米东的气象铁塔位于戈壁与农田过渡地带,风臂朝向东北,铁塔东侧为一公路,西南侧 420 m 处有村庄。位于乌鲁木齐市南郊的燕南立交气象铁塔风臂朝向西南偏西,铁塔向西约 6 m 、向东约 430 m 、向南约 1830 m 、向北约 880 m 范围外开始出现集中在交通线周围狭长区域内的建筑,铁塔东偏北方向 1880 m 处有一水库(红雁池),东侧 4 m 处有一水沟。

位于近北郊的红光山气象铁塔相对高度约为 27 m ,铁塔建于红光山东北部山包上,风臂朝向西;铁塔向西约 630 m 、向东约 755 m 、向南约 1120 m 、向北约 670 m 范围外开始分布有 $5\sim 60\text{ m}$ 高度的建筑群。

位于城区的鲤鱼山气象铁塔相对高度(相对于离铁塔最近的交通主干道,下同)约为 28 m ,铁塔建于鲤鱼山中偏南部位,风臂朝向西;铁塔向西约 190 m 、向东约 115 m 、向南约 580 m 、向北约 1400 m 范围外开始分布有 $5\sim 80\text{ m}$ 高度的建筑群。这个气象铁塔周围环境基本上代表了乌鲁木齐城市的典型环境。

表 1 乌鲁木齐市 4 座 100 m 气象铁塔位置

Table 1 The information of four 100 m towers

站点位置	铁塔高度/m	经度/ $^{\circ}\text{E}$	纬度/ $^{\circ}\text{N}$	海拔高度/m
燕南立交	100	$87^{\circ}34'47''$	$43^{\circ}42'19''$	1009
鲤鱼山	100	$87^{\circ}34'45''$	$43^{\circ}50'41''$	821
红光山	100	$87^{\circ}38'05''$	$43^{\circ}54'14''$	717
米东	100	$87^{\circ}41'37''$	$44^{\circ}01'58''$	568

1.2 观测仪器

4 座气象塔各气象传感器在安装架设前均进行了标定。4 座 100 m 气象铁塔上的仪器采取分层设置,仪器间隔分别为 10 、 13 、 17 、 22 、 28 、 36 、 46 、 60 、 77 和 100 m ,共有 10 层。具体观测设备(略)(金莉莉等,2016)。

1.3 数据处理

气象铁塔资料质量控制问题对实现边界层实测资料的质量控制具有相当的代表性和实用价值。在原始资料中,由于仪器的系统误差,仪器发生故障以及传输和记录过程中的其他原因,会出现一些虚假的数据,这些数据一旦被诊断出来,就必须进行修正或者剔除,否则在下面的理论分析中出现很多错误的结果,影响结果的可靠性(陈明等,1993)。但对数据做到恰如其分的订正是很不容易的,为了最大限度地保护原始资料,在处理数据的时候只对明显错误的数据进行剔除和订正处理。质量控制的依据包括:逻辑极值检查、僵值检查、时间一致性检查、空间一致性检查和人工干预检查。

为了保证数据的完整性,需要对缺测的数据插值,本文主要采取四点滑动平均插值、要素垂直分布拟合和线性回归方法(金莉莉等,2016)。

利用上面所述的数据质量控制和数据插值方法,对本文中所使用的乌鲁木齐市 4 座 100 m 气象铁塔 10 min 平均数据进行了全面的质量检查,检查项目见表 2。乌鲁木齐市气象铁塔的观测质量还是比较好的,非正常数据出现较少。4 座铁塔正常数据占总数

据的 96.77%,非正常数据占总数的 3.23%。其中以红光山数据质量最好(正常数据占总数据的 99.01%),其次依次为燕南立交(正常数据占总数据的 96.96%)、米东(正常数据占总数据的 96.04%)、鲤鱼山(正常数据占总数据的 95.09%)。

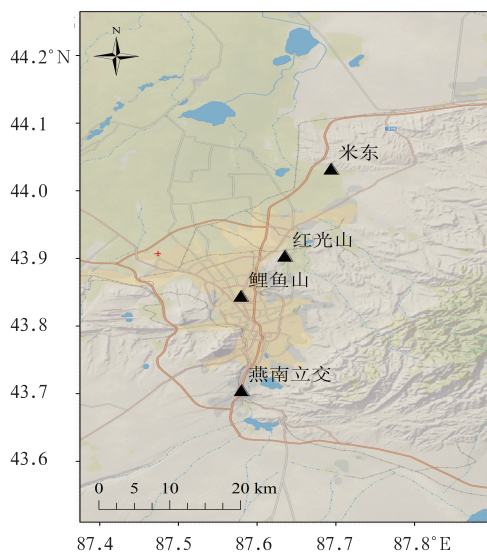


图 1 乌鲁木齐市 4 座 100 m 铁塔地理位置示意图

Fig. 1 The location of four 100 m tower sites in Urumqi City

2 资料与稳定度判定方法

2.1 资料

本文利用 4 座 100 m 气象塔 2013 年 6 月至 2014 年 4 月 10 层梯度风速、温度资料进行稳定度的判定。所用资料均由 10 min 处理为 30 min 平均资料,南郊燕南立交所用资料 13727 组,城区鲤鱼山所用资料 15023 组,近北郊红光山所用资料 15071 组,北郊米东所用资料 15071 组。

铁塔有 10 层,两两组合达到 45 种,本文用这 45 种结果与实践经验结合,最后得出:红光山、鲤鱼山、米东和燕南立交用第一层(10 m)和第十层(100 m)来计算大气稳定度最好,其次是第二层(13 m)和第十层(100 m),但鲤鱼山 10 m 风速资料缺测,因此统一采用第二层(13 m)和第十层(100 m)来判定乌鲁木齐市大气稳定度。

2.2 稳定度判定方法

结合现有的观测资料,本文应用温差法、温差-风速法、风速比法、理查森数法和总体理查森数法来

表 2 各观测值采用的质量控制方法

Table 2 Quality control method of meteorological observation data

要素	逻辑极值检查	僵值检查	时间一致性检查	空间一致性检查	人工干预检查
风向	✓	✓			✓
风速	✓	✓	✓	✓	✓
温度	✓	✓	✓	✓	✓
湿度	✓	✓	✓	✓	✓
气压	✓	✓	✓		✓

(蒋维楣,2003)划分乌鲁木齐市大气稳定度,大气稳定度等级分类采用 Pasquill 分类法,该方法在实际应用中简单实用,是大气扩散估算中最通用的稳定度分类法,它将大气稳定度分为强不稳定、不稳定、弱不稳定、中性、较稳定和稳定 6 级,分别由 A、B、C、D、E 和 F 表示,其中 A~C 为不稳定类、D 为中性类、E 和 F 为稳定类(Pasquill, 1961),然后讨论这 5 种划分大气稳定度方法的适用性。

3 结果与分析

3.1 不同稳定度方法结果比较

由温差法、温差-风速法、风速比法、理查逊数法

和总体理查森数法所确定的南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东 A~F 类稳定度出现的频率(图 2)特征如下:由温差法确定的大气稳定度中,近北郊红光山、城区鲤鱼山和北郊米东 A 类稳定度明显偏低,比例不到 1%,对不稳定(A~C)的分类也较少,而 D 类稳定度明显偏高,比例超过 34.3%。可见,温差法划分的 A~F 类大气稳定度概率分布失衡,因而这种分类法不理想。这主要是该分类法只考虑了热力因素而未考虑动力因素。

风速比法划分的大气稳定度中,稳定度 B 类和 C 类过少,两类稳定度之和不到 1%,而 F 类稳定度过高,均超过 64%,这种方法划分的稳定度概率分布也失衡。

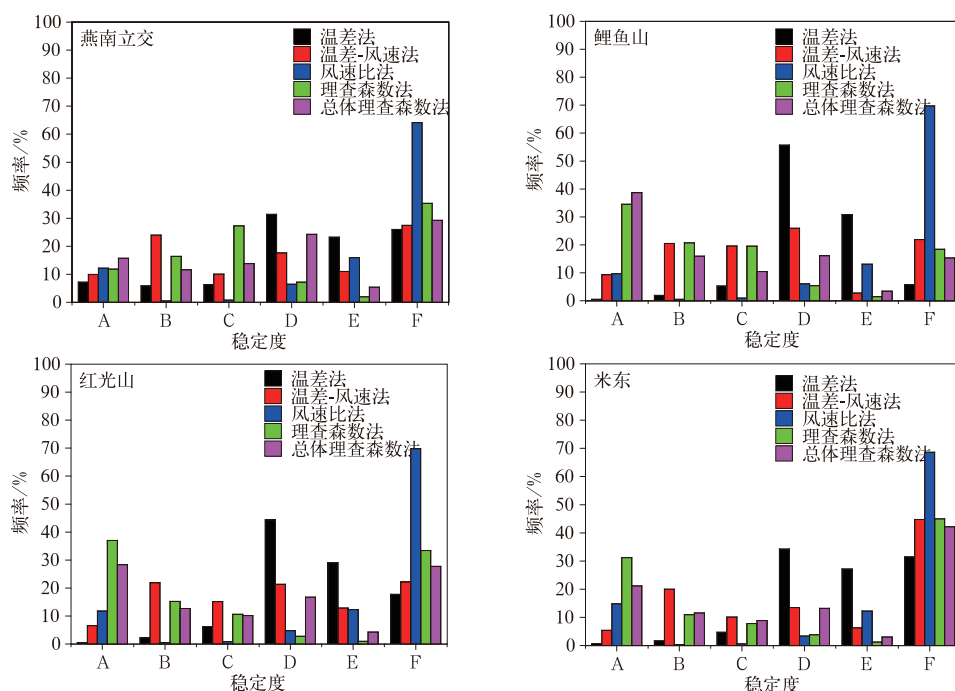


图 2 燕南立交、鲤鱼山、红光山和米东大气稳定度出现频率

Fig. 2 Atmospheric stability frequency at YNLJ, LYS, HGS and MD towers

理查森数法和总体理查森数法划分的稳定度都是以 A 或 F 类为主, A~C 类和 E~F 类居多, D 类居中。

在乌鲁木齐市 4 座气象塔大气稳定度的分类中体现出温差-风速法明显优于温差法和风速比法, 温差-风速法能较好地反映热力湍流和机械湍流的影响(胡二邦等, 1999)。故在乌鲁木齐大气稳定度的分类中推荐使用温差-风速法。

根据温差-风速法划分的乌鲁木齐市大气稳定度, A~C 类: 城区鲤鱼山 > 南郊燕南立交 ≈ 近北郊红光山 > 北郊米东, D 类: 城区鲤鱼山 > 近北郊红光山 > 南郊燕南立交 > 北郊米东, E 和 F 类: 北郊米东 > 南郊燕南立交 > 近北郊红光山 > 城区鲤鱼山。

3.2 四季大气稳定度出现频率

根据温差-风速法划分的大气稳定度, 其四季出现频率见表 3, 从表 3 中可以看出: 南郊燕南立交春季和夏季以不稳定为主, 秋季不稳定与稳定出现频率相当, 冬季以稳定为主; 春季和夏季 B 类稳定度最多, 秋季和冬季 F 类稳定度最多。城区鲤鱼山各个季节均以不稳定为主, 这与城区鲤鱼山 100 m 内温度梯度小和风速小有关。近北郊红光山春季和夏季以不稳定为主, 秋季以稳定为主, 冬季不稳定和稳定出现频率相当; 春季和夏季 B 类稳定度最多, 秋季和冬季 F 类稳定度最多。北郊米东夏季以不稳

定为主, 春季、秋季和冬季以稳定为主; 各个季节 F 类稳定度出现频率最高。

上述分析表明, (1) 春季大气层结除了北郊米东, 主要为不稳定; 夏季大气层结均以不稳定为主; 秋季为不稳定向稳定转换期; 冬季大气层结主要为稳定(城区鲤鱼山除外)。(2) 城区鲤鱼山不稳定(A~C 类)出现频率最高, 其次是南郊燕南立交, 然后是近北郊红光山, 最后是北郊米东; 北郊米东稳定(E 和 F 类)出现频率最高, 城区鲤鱼山最低。

3.3 大气稳定度频率分布逐月变化

从图 3 可以看出, 乌鲁木齐市大气稳定度中, 中性状态(D 类)出现的频率各月变化幅度较小, 稳定类(E 和 F 类)和不稳定类(A~C 类)各月变化幅度较大, 且稳定类和不稳定类呈反位相。

中性类稳定度, 城区鲤鱼山最高, 其次近北郊红光山, 再次南郊燕南立交, 最低北郊米东(11 个月平均分别为 25.8%、21.2%、17.6% 和 13.4%)。城区鲤鱼山 1—2 月较高, 频率超过 30%; 3 和 10 月较低, 频率不到 20%。南郊燕南立交 11—1 月较高, 在 20% 以上; 2—4 和 7—10 月较低, 频率低于 18%。近北郊红光山 12—2 和 6—8 月较高, 频率高于 22%; 3 和 11 月较低, 约 15%。北郊米东 12—2 和 6—8 月较高, 频率高于 13%; 9—10 月较低, 不到 8%。可见, 中性类稳定度, 城区和郊区均在冬季较

大,春季和秋季较低。

不稳定类稳定度,城区鲤鱼山最高(50%),其次南郊燕南立交(44.3%),再次近北郊红光山(44%),最低北郊米东(35.9%)。城区鲤鱼山 6 月最高(65.1%),9 月最低(39.1%);南郊燕南立交 7 月最

高(55.5%),1 月最低(30.8%);近北郊红光山 6 月最高(57.7%),1 月最低(28.5%);北郊米东 6 月最高(52.8%),1 月最低(20.6%)。可见,城区和郊区不稳定类在夏季 6 月最高,秋季、冬季 9 和 1 月最低,因为夏季气温高、对流运动发展旺盛,不稳定类增加。

表 3 燕南立交、鲤鱼山、红光山和米东四季大气稳定度出现频率(单位:%)

Table 3 Seasonal variations of atmospheric stability frequency at YNLJ, LYS, HGS and MD (unit: %)

位置	季节	A	B	C	D	E	F
燕南立交	春季	9.5	27.7	11.4	16.4	11.2	23.7
	夏季	14.5	31.1	7.9	15.3	6.3	24.8
	秋季	9.7	21.9	8.7	17.4	14.1	28.2
	冬季	7.2	19.1	12.2	20.0	11.1	30.4
	全年	9.9	24	10	17.6	11	27.5
鲤鱼山	春季	9.7	25.8	20.7	21.2	2.3	20.3
	夏季	14.1	23.2	18.0	26.2	4.2	14.2
	秋季	10.7	17.1	13.1	23.6	3.6	31.9
	冬季	2.7	18.7	27.6	30.4	0.6	20.0
	全年	9.3	20.5	19.6	25.9	2.7	24.7
红光山	春季	9.7	25.3	12.1	16.2	14.2	22.4
	夏季	8.0	28.6	15.9	24.3	14.4	8.8
	秋季	7.2	20.4	11.8	17.2	18.2	25.1
	冬季	2.9	14.9	19.4	25.0	5.1	32.8
	全年	6.6	21.9	15.2	21.3	12.9	35.1
米东	春季	3.3	23.5	8.5	11.8	7.3	45.6
	夏季	8.5	27.3	10.5	15.2	8.1	30.4
	秋季	5.3	20.6	8.8	8.9	5.9	50.4
	冬季	3.3	10.3	11.7	17.1	4.4	53.1
	全年	5.4	20	10.1	13.5	6.3	51.1

稳定类稳定度,北郊米东最高(50.7%),其次南郊燕南立交(38%),再次近北郊红光山(34.8%),城区鲤鱼山最低(24.2%)。城区鲤鱼山 10 月最高(39.1%),6 月最低(12.8%);南郊燕南立交 10 月最高(50%),7 月最低(28.8%);近北郊红光山 1 和 10 月最高(46%),6 月最低(19.3%);北郊米东 1 月最高(66.4%),6 月最低(31.7%)。可见,稳定类与不稳定类相反,城区和郊区稳定类在秋季、冬季的 10 和 1 月最高,夏季 6 和 7 月最低,因为冬季气温低、逆温现象明显(刘增强等,2007),稳定类频率增加。因此,乌鲁木齐市郊区大气扩散能力比城区弱,且北郊米东最弱;城区和郊区夏季大气扩散能力比秋季和冬季强,这与大气活动的基本特征相吻合。

3.4 不同季节大气稳定度出现频率日变化

由温差-风速法确定的南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东四季大气稳定度出现

频率日变化(图 4)可以看出:

(1)南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东各个季节大气稳定度的日变化特征明显。白天各个季节为不稳定层结(A~C类),夜间各个季节为稳定层结(E、F类),这与白天热力对流旺盛,夜间由于辐射冷却使得对流受到抑制有关。南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东春季白天不稳定类频率均约维持在 40%,夏季分别约维持在 60%、88%、90%和 88%,秋季分别约维持在 84%、88%、88%和 87%,冬季分别约维持在 75%、75%、72%和 62%;南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东春季夜间稳定类频率均约维持在 30%~40%(北郊米东 40%),夏季分别约维持在 42%、45%、50%和 75%,秋季分别约维持在 50%、38%、55%和 20%,冬季分别约维持在 60%、30%、50%和 70%。

(2)白天不稳定所占比例,夏季最大、冬季最小、

春季和秋季居中,白天以不稳定为主。南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东夏季白天(05:00—19:00)A~C类稳定度日频率之和分别约占全天A~C类稳定度的88.3%、84.6%、88.8%和96.3%,冬季白天(08:00—16:00)A~C类稳定度日频率之和分别约占全天A~C类稳定度的

59.7%、51.3%、56.4%和60.0%,春季白天(06:00—18:00)A~C类稳定度日频率之和分别约占全天A~C类稳定度的78.9%、75.6%、83.2%和92.4%,秋季白天(07:00—17:00)A~C类稳定度日频率之和分别约占全天A~C类稳定度的81.7%、80.7%、84.7%和88.4%。

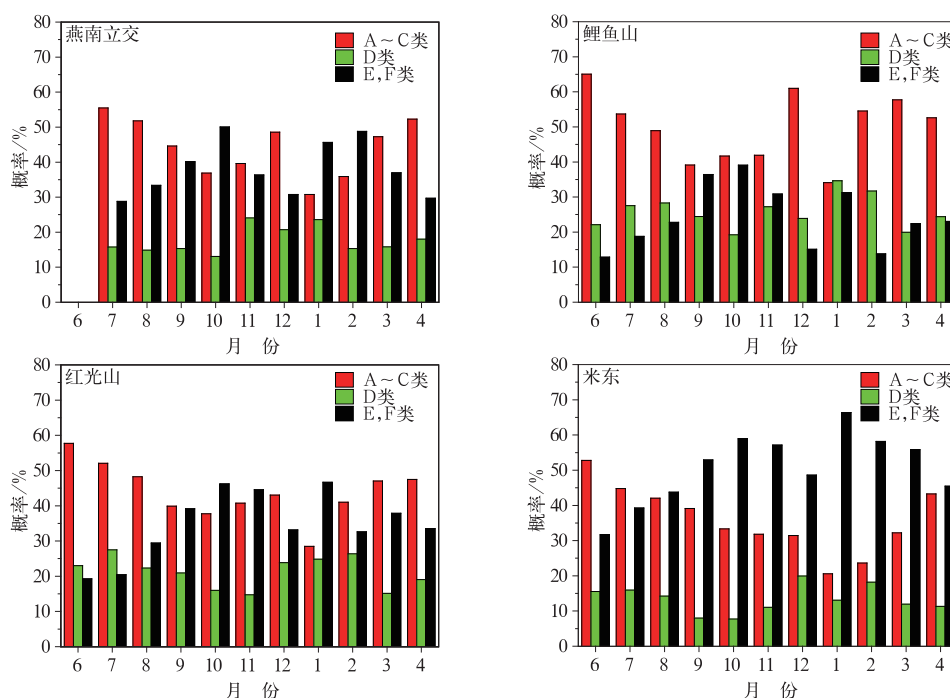


图3 温差-风速法确定的燕南立交、鲤鱼山、红光山和米东大气稳定度频率分布逐月变化

Fig. 3 Monthly variations of atmospheric stability frequency at YNLJ, LYS, HGS and MD by temperature difference-wind speed method

(3)夜间稳定所占比例,秋季最大、冬季次之、春季和夏季居中,夜间以稳定为主。南郊燕南立交、城区鲤鱼山、近北郊红光山和北郊米东秋季夜间(18:00至次日06:00)E、F类稳定度日频率之和分别约占全天E、F类稳定度的84.5%、84.2%、82%和81.4%,冬季夜间(17:00到次日07:00)E、F类稳定度日频率之和分别约占全天E、F类稳定度的80.1%、75.2%、77%和74.3%,春季夜间(19:00至次日05:00)E、F类稳定度日频率之和分别约占全天E、F类稳定度的75.4%、61.5%、72.0%和71.2%,夏季夜间(20:00至次日04:00)E、F类稳定度日频率之和分别约占全天E、F类稳定度的75.8%、73.1%、71.1%和73.6%。

(4)中性类所占比例,各个季节差不多。春季D类稳定度分别约占全天D类稳定度的37.5%、23.4%、22.8%和44.7%,夏季分别约占全天D类

稳定度的32.9%、34.9%、33.5%和58.7%,秋季分别约占全天D类稳定度的32.2%、23.7%、19.8%和49%,冬季分别约占全天D类稳定度的30.4%、21%、27.4%和42.2%。

(5)各个季节不稳定表现出白天高、夜间低的变化特征;稳定与不稳定呈反位相变化特征;春季、夏季和冬季中性层结日变化与稳定日变化位相相同,但秋季中性层结白天高、夜间低。

日出后,不稳定频率急剧增加,春季、夏季、秋季和冬季分别于10:00、09:00、10:00和11:00达到较大值,并分别持续到18:00—19:00、18:00、16:00—17:00、16:00—17:00,之后不稳定频率开始下降,19:00—20:00之后趋于稳定。与之相对应,稳定频率在20:00之后才增加,在日出时稳定类频率达到另一个较大值,之后迅速降低,春季10:00—11:00、夏季08:00—09:00、秋季10:00—12:00、冬季

12:00—14:00 达到低值,并很长一段时间处于低值状态,春季和夏季 18:00 之后、秋季 15:00—16:00

之后、冬季 16:00—17:00 之后才逐渐上升。中性(D类)在日出和日落分别出现两个峰值。

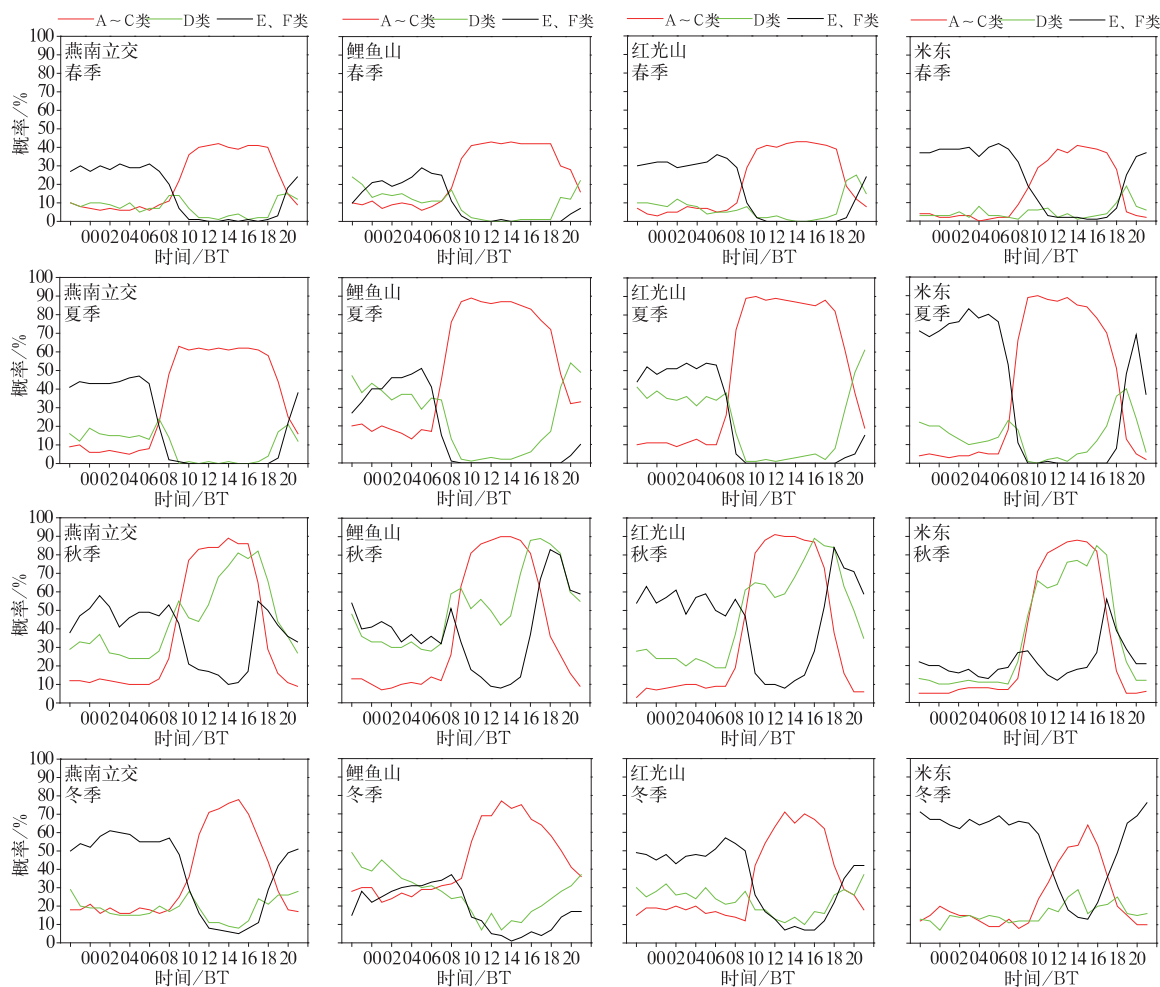


图 4 温差-风速法确定的燕南立交、鲤鱼山、红光山和米东四季大气稳定度出现

频率日变化特征(A~C类为不稳定,D类为中性,E和F类为稳定)

Fig. 4 Daily variations of atmospheric stability frequency in all seasons at YNLJ, LYS, HGS and MD temperature difference-wind speed method

(A—C are unstable stratification, D is neutral stratification, E and F are stable stratification)

3.5 不同天气大气稳定度日变化

选取乌鲁木齐市 8 种不同天气进行分析,包括高温(2013 年 7 月 28 日)、寒潮(2014 年 4 月 23 日)、大风(2013 年 6 月 9 日)、静风(2014 年 2 月 28 日)、扬沙(2014 年 4 月 3 日)、降雨天气(2014 年 4 月 8 日)、暴雪天气(2014 年 2 月 24 日)和重污染天气(2013 年 11 月 16 日)

图 5 表明,高温天气,各个塔白天以 A~C 类稳定度为主,夜间以 E、F 类稳定度为主,各个塔由稳定(F 类稳定度)向不稳定(C 类稳定度)转换的时间

为 08:00,由不稳定向稳定转换的时间为 18:00(南郊燕南立交在 22:00)。

寒潮天气,南郊燕南立交 09:00—21:00、城区鲤鱼山 05:00—21:00、近北郊红光山 12:00—19:00、北郊米东 05:00—17:00 以 A~C 类稳定度为主,夜间以 E、F 类稳定度为主;近北郊红光山全天 E、F 类稳定度所占比例最多(占全天的 62.5%),E、F 类稳定度主要在傍晚至上午这段时间,其次是南郊燕南立交,其 E、F 类稳定度占全天的 41.7%,且主要在夜间至清晨这段时间。

地面观测结果表明这次大风天气过程主要在南

郊和城区内。大风天气,南郊燕南立交全天以 C 类稳定度为主(占全天的 66.7%),城区鲤鱼山和近北郊红光山以 F 类稳定度为主(城区鲤鱼山占全天的 83.3%,近北郊红光山占全天的 75%),北郊米东白天(08:00—18:00)以不稳定(A~C 类)为主(占全天的 45.8%),夜间以中性(D 类)和稳定(E、F 类)为主。

静风,南郊燕南立交 18:00—09:00 以 E、F 类稳定度为主(占全天的 62.5%),其余时次为 A~C 类稳定度;城区鲤鱼山全天以 C 类稳定度为主(占全天的 41.7%),22:00—04:00 基本上为 F 类稳定度;近北郊红光山 19:00—11:00 为中性(D 类)和 E、F 类稳定度,其余时次为 B、C 类稳定度;北郊米东全天以 E、F 类稳定度为主,占全天的 79%。

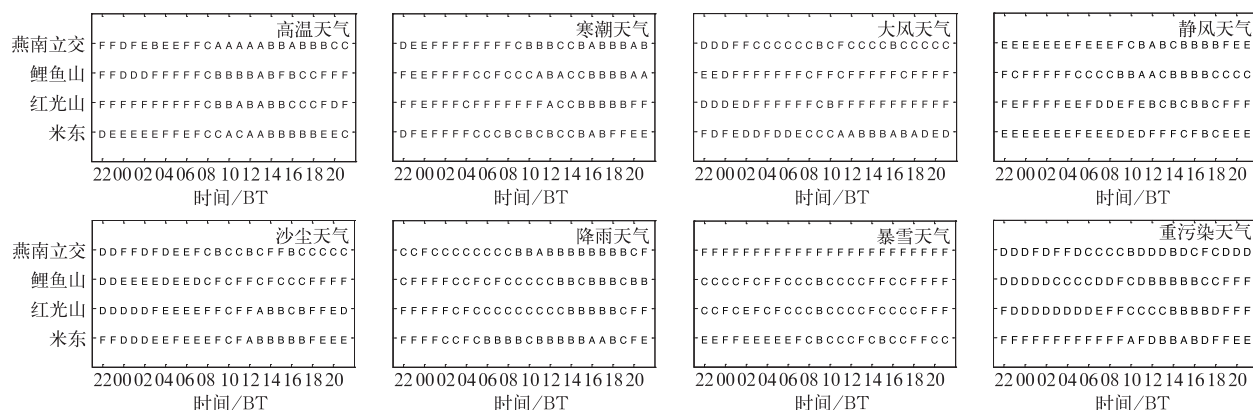


图 5 不同天气大气稳定度日变化

Fig. 5 Daily variations of atmospheric stability in different weather conditions

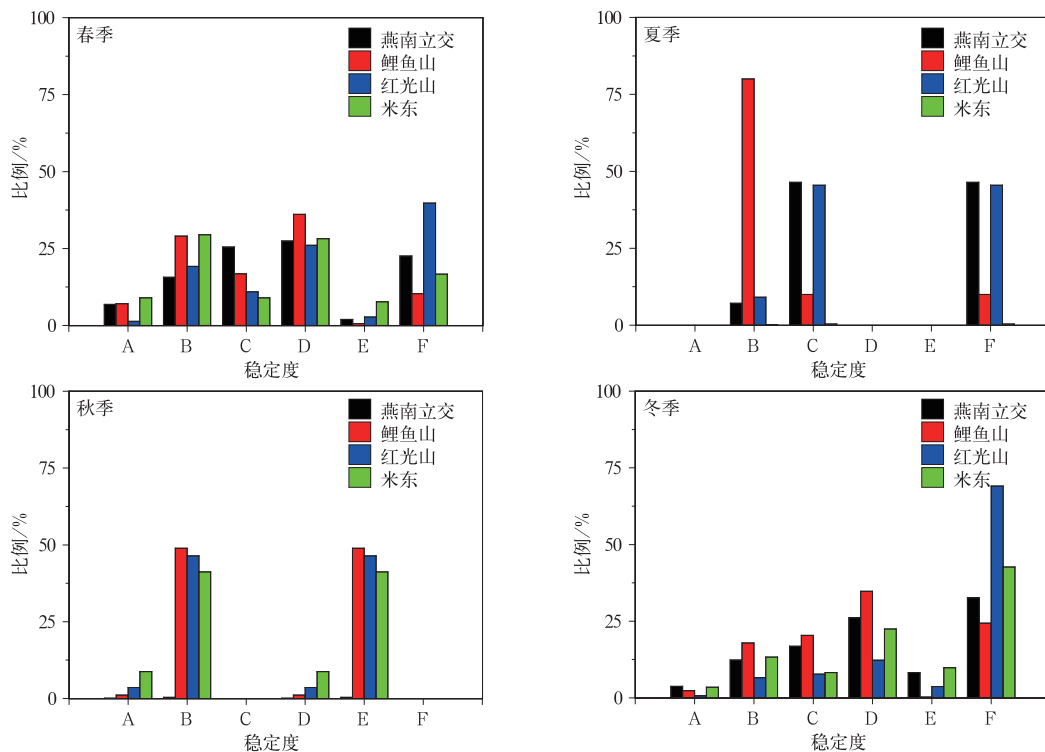


图 6 不同季节重污染天气大气稳定度出现频率

Fig. 6 Atmospheric stability frequency in heavy pollution weather in different seasons

乌鲁木齐市气象站地面观测报表显示 10:31—17:03 出现扬沙,米东气象站地面观测报表显示 08:12—10:45 出现扬沙。乌鲁木齐市沙尘天气的沙源主要来自古尔班通古特沙漠,而不是本地,南郊燕南立交、城区鲤鱼山和近北郊红光山扬沙发生前以中性(D类)和稳定(E、F类)层结为主,垂直运动很难发展,不利于对流发展,发生时和发生后以不稳定为主,有利于沙尘的发展,南郊燕南立交不稳定持续的时间最长。

降雨天气全天基本上以不稳定层结(A~C类)为主,只有在夜间有较少时次为稳定层结。其中,南郊燕南立交 A~C 类稳定度占全天的 91.7%,城区鲤鱼山 A~C 类稳定度占全天的 75%,近北郊红光山 A~C 类稳定度占全天的 66.7%,北郊米东 A~C 类稳定度占全天的 70.8%。A~C 类稳定度中 B 和 C 类占有很大比例。

暴雪天气,南郊燕南立交全天为 F 类稳定度;城区鲤鱼山和近北郊红光山全天以 C 类稳定度为主(城区鲤鱼山占全天的 58.3%,近北郊红光山占全天的 62.5%);北郊米东 08:00—21:00 以 B 和 C 类稳定度为主,夜间以 E、F 类为主。

重污染天气,北郊米东全天以 F 类稳定度为主,占 62.5%;城区鲤鱼山和近北郊红光山夜间以中性类和稳定类为主;南郊燕南立交全天以中性类和弱不稳定为主。这与乌鲁木齐市北部污染最严重相吻合。

上述研究表明,高温天气和寒潮天气稳定度日变化相似,白天以不稳定为主,夜间以稳定为主;不同的是寒潮天气稳定性比高温天气强,南郊燕南立交表现得最明显。

静风天气南郊燕南立交和北郊米东稳定类稳定度比大风天气强。静风天气,除了鲤鱼山,全天以弱不稳定(C类)为主,鲤鱼山和红光山以 F 类稳定度为主,米东白天以不稳定(A~C类)为主,夜间以中性(D类)和稳定(E、F类)为主。大风天气,燕南立交全天以弱不稳定(C类)稳定度为主,鲤鱼山和红光山以 F 类稳定度为主,米东白天以不稳定为主、夜间以中性和稳定为主。

扬沙发生前以中性和稳定类稳定度为主,发生时和发生后以不稳定为主。南郊燕南立交不稳定持续的时间最长。

降雨天气全天基本上以不稳定为主,只有在夜间有较少时次为稳定,与暴雪天气相比,降雨天气不

稳定类稳定度较强,而暴雪天气南郊燕南立交和北郊米东稳定类稳定度较强。

重污染天气以弱不稳定、中性和稳定类为主,其中北郊米东 F 类稳定度最多。因而在开展空气污染潜势预报中,稳定度频率可作为一个较好的预报指示因子。图 6 给出了各个季节重污染天气 AQI ($AQI > 200$)与稳定度的关系。春季重污染天气以 B、C、D 和 F 类为主,且出现比例相差不大,约在 10%~40%;夏季重污染天气只有 B、C 和 F 类,北郊米东基本上不出现重污染天气,城区鲤鱼山以 B 类为主,可到达 80%,南郊和近北郊以 C 和 F 类为主,达到约 45%;秋季重污染天气以 B 和 E 类稳定度为主,出现比例约 40%~50%,而南郊基本上没有重污染天气。冬季除了城区鲤鱼山 D 类稳定度出现频率最大外,南郊、北郊和近北郊 F 类稳定度出现频率最大,可分别达到约 33%、43%和 70%。

4 结 论

温差-风速法更适合乌鲁木齐市大气稳定度的划分,由此方法划分的乌鲁木齐市大气稳定度具有以下结论:

(1)郊区 E、F 类稳定度所占比例高于城区,城区 D 类稳定度高于郊区,南郊和城区 A~C 类稳定度高于北郊。春季和夏季主要为不稳定、秋季为不稳定向稳定转换期、冬季主要为稳定。

(2)中性状态(D类)出现的频率各月变化幅度较小,稳定类(E、F类)和不稳定类(A~C类)各月变化幅度较大。中性类稳定度,城区和郊区均在冬季较大,春季和秋季较低。不稳定类稳定度,城区和郊区不稳定类在夏季 6 月最高,秋季、冬季 9 和 1 月最低。稳定类稳定度,城区和郊区稳定类在秋季、冬季的 10 和 1 月最高,夏季 6 和 7 月最低。

(3)白天以不稳定为主(50%以上),夜间以稳定为主(60%以上);夏季白天不稳定和夜间稳定在四季中所占比例最大。不稳定与中性、稳定的日变化相反,郊区日出时和城区日出后 2 h 左右稳定类频率最大。中性(D类)在日出和日落后 1~3 h 分别出现两个峰值。冬季到春季,从稳定向不稳定过渡的变化主要在日出和日落。各个塔四季以 B、D、F 类稳定度为主;D 类一年四季全天都有分布,A 类在各个季节中主要在日出后 1~2(或 3 h)至日落前后 1~2 h,B、C 类春季和冬季全天都有,E、F 类夏季只

出现在夜间、冬季全天都有。

(4)不同天气稳定度不同。高温和寒潮天气稳定度日变化情况相似;高温天气和寒潮天气稳定度日变化相似,白天以不稳定为主,夜间以稳定为主;不同的是,寒潮天气稳定性比高温天气强,南郊燕南立交表现得最明显。静风天气南郊燕南立交和北郊米东稳定类稳定度比大风天气强。扬沙发生前以中性和稳定类稳定度为主,发生时和发生后以不稳定为主,南郊燕南立交不稳定持续的时间最长。降雨天气全天基本上以不稳定为主,只有在夜间有较少时次为稳定,与暴雪天气相比,降雨天气不稳定类稳定度较强,而暴雪天气南郊燕南立交和北郊米东稳定类稳定度较强。

(5)各季节重污染天气稳定度出现频率不同。春季以B、C、D和F类为主,频率约10%~40%;夏季只有B、C和F类,城区以B类为主,可达到80%,南郊和近北郊以C和F类为主,达到约45%;秋季以B和E类为主,频率约40%~50%;冬季城区D类稳定度出现频率最大,南郊、北郊和近北郊F类稳定度出现频率最大。

参考文献

- 蔡新玲,吴素良,王繁强,等. 2007. 西安市近10年大气稳定度和边界层厚度特征. 气象科技, 35(6): 814-817.
- 陈建文,胡琳,王娟敏,等. 2013. 陕西省大气稳定度分布特征研究. 水土保持研究, 20(3): 299-304.
- 陈明,洪钟祥. 1993. 大气边界层观测资料的质量控制方案研究及其应用. 大气科学, 17(1): 97-105.
- 管振宇,管兆勇,蔡佳熙,等. 2013. 华东区域夏季行星边界层大气稳定度的气候特征及其与气溶胶的联系. 大气科学学报, 36(6): 734-741.
- 贺哲. 2012. 2006年3月末河南一次沙尘暴过程的天气成因分析. 气象, 38(8): 932-942.
- 胡二邦,陈家宜. 1999. 核电厂大气扩散及其环境影响评价. 北京: 原子能出版社, 103-110.
- 蒋维楣. 2003. 空气污染气象学. 南京: 南京大学出版社, 114-131.
- 金莉莉,李振杰,何清,等. 2016. 乌鲁木齐市气象塔梯度观测资料质量控制与处理. 气象, 42(6): 732-742.
- 康凌,张宏升,王志远,等. 2011. 不同下垫面大气稳定度分类方法的对比研究. 北京大学学报(自然科学版), 47(1): 66-70.
- 李祥余. 2007. 塔克拉玛干沙漠腹地近地层微气象学特征研究. 新疆大学, 71-89.
- 李宗恺,潘云仙,孙润桥. 1985. 空气污染气象学原理及应用. 北京: 气象出版社, 19-23.
- 刘焕彬,王栋成,郑全岭. 2005. 沂蒙南部山区冬季大气边界层风、温场结构特征研究. 气象科学, 25(3): 288-292.
- 刘辉,寿亦萱,漆成莉. 2014. 高光谱大气红外探测仪(AIRS)反演大气不稳定度指数在强对流天气个例中的应用试验. 气象, 40(6): 678-686.
- 刘立忠,徐抗英. 1998. 南京近郊地区初冬大气边界层风、温场的探测和分析. 气象科学, 18(1): 63-69.
- 刘强,何清,杨兴华,等. 2009. 塔克拉玛干沙漠腹地冬季大气稳定度垂直分布特征分析. 干旱气象, 27(4): 308-313.
- 刘增强,郑玉萍,李景林,等. 2007. 乌鲁木齐市低空大气逆温特征分析. 干旱区地理, 30(3): 351-356.
- 钱莉,滕杰,胡津革. 2015. “14. 4. 23”河西走廊特强沙尘暴演变过程特征分析. 气象, 41(6): 745-754.
- 孙永刚,孟雪峰,荀学义,等. 2014. 温度平流在沙尘暴和大风天气预报中的差异分析. 气象, 40(11): 1302-1307.
- 王春华,吕爱华,余晓丽,等. 2010. 乌鲁木齐大气污染现状及影响因素分析. 新疆农业大学学报, 33(4): 349-353.
- 王伏村,许东蓓,王宝鉴,等. 2012. 河西走廊一次特强沙尘暴的热力动力特征分析. 气象, 38(8): 950-959.
- 杨静,李霞,李秦,等. 2011. 乌鲁木齐近30a大气稳定度和混合层高度变化特征及与空气污染的关系. 干旱区地理, 34(5): 747-752.
- 杨贤为,叶殿秀,马天健,等. 2002. 北京地区冬、春季节大气稳定度演变特征. 气象, 28(1): 43-46.
- 杨勇杰,谈建国,郑有飞,等. 2006. 上海市近15a大气稳定度和混合层厚度的研究. 气象科学, 26(5): 536-541.
- 杨振,张一平,于贵瑞,等. 2007. 西双版纳热带季节雨林树冠上生态边界层大气稳定度时间变化特征初探. 热带气象学报, 23(4): 413-416.
- 朱业玉,潘攀,张方. 2011. 河南大气稳定度的分布特征. 气象与环境科学, 34(1): 19-22.
- Mamtimin B, Meixner FX. 2007. The characteristics of air pollution in the semi-arid city of Urumqi (NW China) and its relation to climatological process. Geophys Res Abst, 9: 06537.
- Pasquill F. 1961. The estimation of the dispersion of windborne material. Meteorol Mag, 90: 33-49.