

# 风廓线雷达在北京市气象局的业务应用

宋巧云 孙成云 梁丰 王令 杨立民

(北京市气象局, 北京 100089)

**摘要:** 简要总结了近年来风廓线雷达探测资料在北京市气象局的业务应用情况。风廓线雷达为实时监测、分析天气系统尤其是中小尺度天气系统的发生、发展提供了可能。其资料直接或二次开发后应用到天气监测、个例分析中, 有利于加强预报员对中小尺度天气系统物理机制的进一步认识和理解, 提高短时临近预报水平。风廓线雷达和微波辐射计配合使用, 可以构建特种探空, 用于补充常规探空时空分辨率的不足。该文目的旨在为风廓线雷达的业务应用提供更好的参考和借鉴。

**关键词:** 风廓线雷达, 北京, 天气预报, 业务应用

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.05.004

## The Business Application of Wind Profiler Radar in Beijing Meteorological Bureau

Song Qiaoyun, Sun Chengyun, Liang Feng, Wang Ling, Yang Limin

(Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089)

**Abstract:** The paper briefly summarized the business application of wind profile radar data in Beijing Meteorological Bureau in recent years. Wind profiler radar provides the possibility for real-time monitoring and analyzing the occurrence and development of weather especially the medium and small scale systems. It is helpful to have a better understanding of medium and small scale weather system physical mechanism for the weatherman so as to improve the nowcasting forecast level, if the direct or processing data of wind profile radar is applied to weather monitoring and any case study. Wind profiler radar and microwave radiometer, used in conjunction, can build special soundings to make up a deficiency in time and space resolution of conventional soundings. This paper aims at providing a better reference to wind profile radar applications.

**Keywords:** wind profiler radar, Beijing, weather forecast, business application

### 1 引言

北京是全国建设风廓线雷达最早的省市之一。为满足奥运会等重大活动气象保障服务工作的需要, 2003年北京市气象局开始布设风廓线雷达, 截至2012年共有4部(图1), 分别位于延庆(探测高度8~12km)、海淀(探测高度3km)、南郊观象台(探测高度12~16km)和上甸子(探测高度6~8km)。其中延庆、海淀和南郊观象台为国产设备(中国航天科工集团二院23所研制), 均为每6min获得一组廓线资料; 上甸子风廓线雷达为进口设备(Visala公司研制), 每30min获得一组廓线资料。另外, 北京市气象局还有一部用于科研的AIRDA3000型车载边界层风廓线雷达, 可用于实时连续测量从地面50m至高空3500m范围内的水平风和垂直风廓线以及

多普勒谱宽和光学湍流廓线。

风廓线雷达资料所具有的高时间、空间(垂直方向)分辨率特征, 对于研究、捕捉中小尺度天气系统, 分析其物理结构、机制等方面具有十分重要的作用。通过近几年的业务应用, 风廓线雷达资料已逐渐成为北京市气象局预报员严密监测天气、做好短时临近预报及天气个例总结中必不可少的观测资料之一。

本文目的旨在系统性归纳和总结北京市气象局基于风廓线雷达资料近年来所开展的相关业务研究和应用情况, 以为风廓线雷达的业务应用提供更好的参考和借鉴。

### 2 风廓线雷达在北京市气象局的业务应用情况

#### 2.1 用于天气系统物理结构的精细分析

##### 2.1.1 单部风廓线产品的直接业务应用

风廓线雷达产品业务应用中最多的是风廓线雷达水平风廓线资料, 通过对天气尺度及中小尺度天气

收稿日期: 2012年12月4日; 修回日期: 2013年7月4日  
第一作者: 宋巧云(1980—), Email:song-qiaoyun@163.com  
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306076)

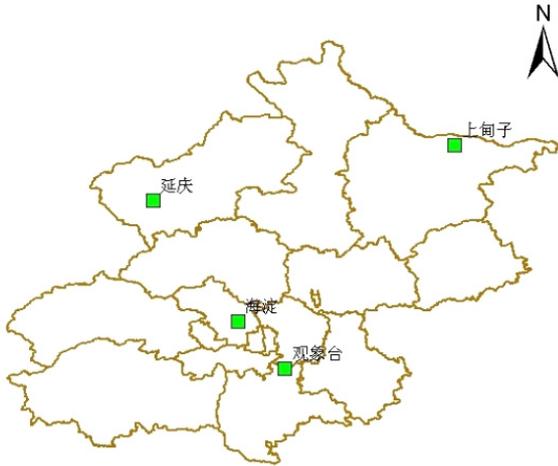


图1 北京市气象局现有风廓线雷达布局图

系统的风场结构、发生发展动力机制进行不断总结分析,提炼概念模型、经验指标,加强预报员对天气系统的认识和理解,为天气监测、预报提供帮助。

(1) 为天气过程及环境场的精细分析提供了可行性

大气水平风场垂直廓线资料可以方便、直观地用于分析大气冷暖平流、风的垂直切变以及冷暖空气交汇的空间结构等;可以直接应用于灾害性天气的监测和天气过程总结,已成为近年来北京市气象局用于天气个例分析中必不可少的资料之一<sup>[1-10]</sup>。根据风速随高度的变化可以直观地反映大气风场垂直切变是否有利于对流的发展;风向随高度的顺转或逆转可结合热成风原理实时监测单站上空冷暖平流作用情况,进而判断大气稳定度变化。王令等<sup>[11]</sup>详细剖析了两次降水过程发生前后风廓线雷达资料的风场特征,揭示了两次暴雨过程中,大气环境背景场的物理特征及所起的作用。虽然都为暴雨过程,但2009年7月13日天气过程发生前,整层为深厚的偏南暖湿气流,冷空气从3~6km高度插入,与低层的暖湿气流形成上层干冷、下层暖湿的垂直分布特征,促使对流发展,随着冷空气的向下扩展,降水趋于结束;而2008年8月14日降水过程是冷空气从低层楔入,暖湿气流被迫抬升,导致对流发展。

(2) 为中小尺度系统发生发展的物理机理分析提供了可能

基于风廓线资料发现低层偏东风与北京部分降水天气的密切关系,并提出概念模型。郭虎等<sup>[12,13]</sup>通过分析2006年7月9日和31日两次香山局地大暴雨期间海淀、南郊观象台风廓线水平分布特征,发现低层风场在北京西部地形作用下产生近地面辐合,从而诱生边界层中尺度动力扰动的形成,基于此提出了基本概念模型(图2):北京西郊山体平均高度600~800m。

300~600m的东南和偏东向气流在山脉的阻挡下产生较强辐合和空气堆积。600~900m东南和偏东风逐渐减小,山脉阻挡下的空气辐合和堆积也在这一层次随高度减小。根据空气质量连续性补偿原理,山前空气辐合堆积不均匀的垂直分布,将产生空气沿山体强迫抬升之后向后卷扬的作用。后卷高度应为偏东风分量最小的近地面层顶(800~900m)。这一高度也是近地面东南风与边界层偏南和西南风交换层。边界层的偏西风对近地面层顶空气的后卷产生加强作用。即空气质量沿山体在山前近地面中低层辐合,在近地面层顶辐散。在此作用下近地面小扰动在山前沿着山体形成。赵玮等<sup>[14]</sup>通过分析2006年7月31日暴雨过程也发现,暴雨发生前1h内,偏东风从1500~1800m层迅速向上扩展至3000m附近,建立了深厚的偏东风层,有利于降水的发生。

为了分析偏东风加大及其上传与强降水之间的关系,吴庆梅等<sup>[15,16]</sup>利用风廓线雷达资料普查了2006年夏季北京8次局地暴雨过程,发现6次过程伴有不同程度的偏东风,针对2006年6月27日和7月24日两次典型降水天气过程进行详细分析,发现低层东南风明显加大上传时,对流天气发展强烈,局地暴雨开始;东南风层次降低,厚度变薄时,降水逐渐减小。东南风的存在、发展与消亡过程,基本和局地暴雨的生命史相对应;东南风的大小、厚度与雨量存在一定的相关关系。此外,6次过程有5次降水中心在海淀和石景山区,即北京西部山前地区及城区。尽管降水前南郊观象台和海淀上空东南风差别不大,但海淀站降水量较南郊站明显偏多,这也证实了偏东风下,北京西部山前局地环流存在的可能。为了详细分析低层偏东风与降水的关系,吴庆梅将2010年7月9日降水过程海淀风廓线观测到的3000m以下的偏东风分成0~1000,1000~2000m和2000~3000m三层,对比当日海淀站小时降水量和不同层次偏东风之间的关系,发现降水出现后,最低层(0~1000m)的偏东风首先迅速增大,1h后1000~2000m层的东南风伴随着小时雨量的

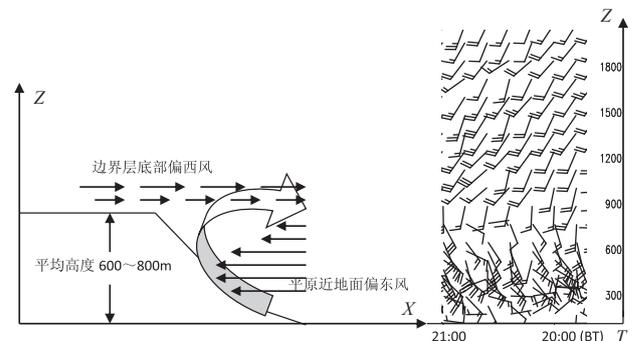


图2 大暴雨落区附近近地面垂直风廓线分布地形作用概念图<sup>[12]</sup>

增大开始突增；再之后，2000~3000m高度上的东风也开始增大，与此同时海淀站的小时雨强达到过程最强（图3）。

以上个例基于风廓线雷达资料，精细地分析了暴雨发生前低层风场的物理量结构特征，发现暴雨发生前，存在低层偏东风向上扩展并与暴雨生命史相对应，北京西部山前存在由偏东风引起的垂直环流造成北京西南部降水量容易偏大这一特征。通过风廓线雷达不仅发现低层偏东风上传，还发现存在高空急流或大风速区下传的现象。

基于风廓线资料发现存在高空急流或大风速区下传现象。廖晓农<sup>[17]</sup>以2000—2007年出现的41个雷暴大风日为研究对象，使用6min一次风廓线雷达资料，分析了雷暴大风日对流层风场情况，发现一些雷暴大风的发生与高空大风速区下传有关；在雷暴大风出现前，高空环境风突增，大数值等风速线连续下落，在雷暴大风产生时到达地面（图4）。有效使用风廓线雷达的观测资料，将有利于提高雷暴大风的临近预报和预警水平。同时也发现不少个例在雷暴大风出现时风廓线仪并没有观测到大风速区向下传的现象。廖晓农分析其原因可能有两个：一是雷暴大风的产生与高空水平动量下传没有直接联系；二是有些雷暴大风持续时间短，基本只有几分钟，而风廓线仪观测的时间分辨率为6min，雷暴大风发生在两次观测之间，没有捕捉到。另外，本文作者通过总结其他省市一些基于风廓线雷达资料所做的强对流暴雨两个例研究发现，强降水发生前，经常伴随高空西南急流的下传现象<sup>[18]</sup>。

基于风廓线资料精细分析雾霾天气边界层风场特征。风廓线雷达资料为边界层风场空间结构的精细化分析提供了可能。刘建忠、李宏宇、何晖等<sup>[19-22]</sup>分

别详细分析了2007年10月25—28日，12月26—28日北京大雾期间边界层风场及垂直速度场的时空分布特征，指出大雾期间边界层气流上升和下降的速度均在±0~6m/s之间，没有较大的上升和下沉气流，边界层内湍流和乱流明显，为人工消雾提供了理论依据，探讨了人工消雾的可能性。这些精细的数据及反映出的大气结构如果在没有风廓线雷达的时代是观测不到的。

### （3）有1h及以上的预报提前量

结合风廓线雷达资料30多个天气个例的分析，凝练有预报意义的不同物理特征，普遍发现风廓线雷达资料有1h以上的预报提前量。通过归纳总结北京地区5类常见天气型的低层风演变概念模型，吴庆梅在2010年预报员专项“风廓线资料在局地暴雨中的应用分析”项目中通过对2006—2009年期间共27个典型局地暴雨过程进行分析，指出利用风廓线雷达观测到的低层风场变化对北京局地暴雨有较好的指示意义，除冷涡后部天气型局地暴雨有1h左右预报提前量外，其余4类天气型有2~6h的预报预警时效。廖晓农借助2008年预报员专项项目“北京奥运会几次高影响天气过程总结分析”分析了2008年3次降雨过程，指出：风廓线雷达资料在预测对流云移动方向时具有一定的使用价值，使用风廓线资料预测对流云移动，将有可能具有1h左右的预报时效。郭金兰使用观象台风廓线雷达产品对2008年6月13日雷暴天气进行分析发现高空下沉气流及其向下的延伸能很好地预示降水的发生，在该个例中有2h的提前量。翟亮<sup>[23]</sup>通过分析2008年8月10—11日降水个例发生前后高低空西南急流与强降水的关系，发现850~750hPa上出现短暂西南急流后约2h，海淀出现强降水，如果以低空急流为指

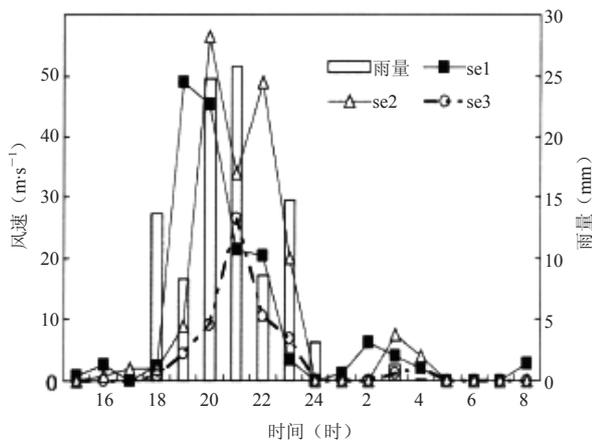


图3 2010年7月9日海淀站雨量与低层东南风时序图<sup>[15]</sup>  
(其中se1, se2, se3分别表示: 0~1000, 1000~2000  
和2000~3000m层的东南风)

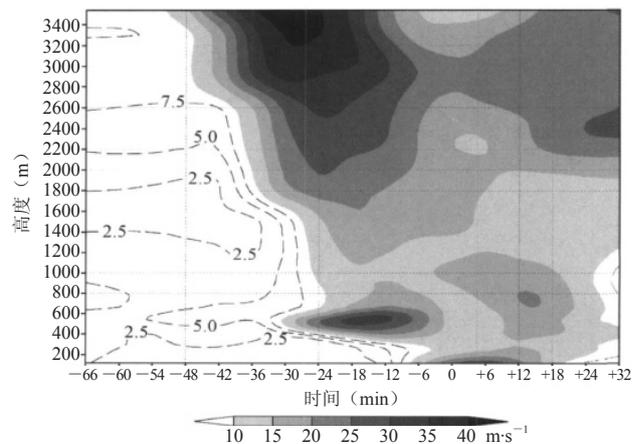


图4 雷暴大风日地面强阵风出现前后对流层中下层风速演变<sup>[17]</sup>  
(雷暴大风出现时间记为0, 该时间前后分别用正值和负值表示)

标, 风廓线雷达将有2h的预报提前量。

综上所述, 无论是对天气尺度系统风场空间结构的系统性分析, 还是对强天气发生前后中小尺度系统风场物理特征的精细刻画; 无论是高空大风速区的下传, 还是低层偏东风扰动的向上扩展, 对天气过程动力结构的不断认识和了解都离不开像风廓线雷达这样能提供高时空分辨率要素场资料的观测设备。

### 2.1.2 组网风廓线资料的二次开发及业务应用

单部风廓线雷达反演出来的直接产品如大气风场的垂直分布, 对中小尺度天气系统物理结构的认识起着非常重要的作用。根据单站风廓线雷达资料还可计算温度平流<sup>[24]</sup>、静力稳定度等物理量, 由冷暖平流的垂直分布可判断系统在本地的发展趋势。但单部风廓线雷达的观测产品只能从一个点的垂直风场结构反映具有四维特征的天气系统物理结构的演变特征, 显然是不够的。3部及以上的风廓线雷达可以组成一个小型区域观测网, 通过组网资料利用三角法或有限元等方法可以计算一个区域内的涡度、散度、垂直速度、风暴相对螺旋度等, 这些物理量对判断中小尺度天气系统的发生、发展有重要意义。杨波等<sup>[25]</sup>提出利用多部风廓线雷达组网资料计算天气系统的各种物理量场并对强对流等天气系统的发生发展进行分析研究, 结果表明利用组网风廓线资料可导出一些反映天气系统发生发展特征的关键物理量如温度平流、螺旋度等, 不仅可以提高资料的利用效率, 还可以帮助预报员更早地发现天气系统的变化情况, 提高预报时效。

### 2.2 用于构建特种探空

如果能利用风廓线雷达及微波辐射计等高分辨率观测资料构建出可应用于业务或订正后可应用于业务的特种探空资料, 将是一件十分有意义的事情。利用北京南郊观象台2007和2008年5—9月的风廓线雷达资料, 结合本站同时间段微波辐射计资料, 魏东等<sup>[26, 27]</sup>尝试了构建特种探空资料的可能性, 并与常规探空就资料可用性等方面进行比较和探讨, 发现构建的特种探空的各个要素的变化趋势与常规探空基本保持一致, 可以用来定性使用, 能极大弥补常规探空时间分辨率上的不足。在定量使用时, 不同要素的表现有所不同, 温度和水平风定量使用价值较高, 常规探空的一致性较好、误差小。露点温度定量使用时与常规探空相比误差较大, 需要订正。利用构建的特种探空资料进行二次开发, 计算常用的用来表征天气系统特征的各种物理量, 发现与相对湿度有关的物理量如CAPE值等与常规探空计算得到的相比, 有较大误差; 而仅含温度、风要素的物理量如垂直温度梯度等与常规探

空得到的相比, 绝对误差很小, 具有较高的定量使用价值。出现上述现象的原因可能是由于微波辐射计探测得到的相对湿度与探空相对湿度相差较大所致。将特种探空、常规探空尝试用于冰雹、雷暴大风、短时暴雨的个例分析中, 发现基于两种探空得到的各种热动力物理参量在天气过程发生前后的表现基本一致。但特种探空物理参量由于具有高时间分辨率优势, 能更清晰刻画出天气过程发生、发展、消亡的变化趋势, 在强天气发生前3~6h, 差别更加明显, 具有较强的短时临近预报意义。

### 2.3 用于数值预报同化

风廓线雷达资料除了在常规天气预报有重要使用价值外, 也可以用于数值天气预报。国外机构(如ECMWF和NCEP)已经实现了风廓线雷达资料在模式中的业务同化, 结果表明该数据的同化应用对模式预报性能的提高有正面影响。2007年北京市气象局的科研人员对海淀风廓线资料进行了部分个例的同化分析和数值预报试验, 试验结果显示, 风廓线雷达资料的同化分析对数值预报结果有影响, 但以中性为主。风廓线雷达资料要想对模式性能有正贡献, 需要有很高的数据质量。目前, 北京市气象局数值预报系统“北京快速更新循环数值预报系统”(BJ-RUC)中还未同化风廓线雷达资料。

另外, 边界层高度在天气、气候及空气污染数值预报模式中起着非常重要的作用<sup>[28, 29]</sup>。常规探空虽然可以直接得到边界层高度, 但时空分辨率较低, 代表性较差。Seibert等<sup>[30]</sup>研究表明, 风廓线雷达探测资料是最好的, 能得到边界层高度的数据。曹晓彦等<sup>[31]</sup>通过北京车载风廓线雷达数据中的折射结构指数 $C_n^2$ 变化, 得到比较可靠的边界层高度, 发现北京市区夏季边界层高度可高达1800~1900m, 市区要略微高于郊区等。

## 3 风廓线雷达的资料可用性和一致性有待提高

定量使用风廓线雷达前首先需要对资料质量进行分析和质量控制, 但目前国内这方面的工作相对较少。在近几年应用中发现风廓线资料存在的一些问题, 如有降水出现时, 受雨滴下降末速度的影响, 风廓线雷达不能直接得到大气的真实风在垂直方向上随时间的演变; 风廓线雷达资料易受地面回波、飞鸟等因素的影响, 应用中有待从资料处理技术上加以完善和改进。此外, 由于北京海淀站、延庆站、上甸子三站的风廓线仪器型号各不一样, 导致资料获取时间和空间垂直分辨率差别较大, 北京市气象局曾租用3部

国产Airda公司车载风廓线雷达,对上述3个站点的仪器进行了为期一周的对比观测,发现3站风廓线仪和Airda车载风廓线仪数据的一致性较差,用已建站点的风廓线资料计算得出的垂直风比车载试验风廓线雷达得到的垂直风小。

鉴于目前国产风廓线雷达的性能和反演风已可以达到使用要求,考虑建设成本、后期维修保障的便利性,建议在今后风廓线雷达布网建设中使用国产仪器设备,并且在同一区域布网时尽量选用相同型号的设备,提高资料的一致性和可用性。且风廓线雷达建设应尽量和微波辐射计在同一地点,以得到完整的、具有时空一致性的风、湿资料,更好地为各种灾害性天气的机理分析提供便捷。

#### 4 小结

(1) 本文简要总结了近年来风廓线雷达探测资料在北京市气象局的业务应用情况。没有高时空分辨率的探测资料就来谈论对中小尺度天气系统物理结构的分析和认识无疑是巧妇难为无米之炊。风廓线雷达为实时监测、分析天气系统尤其是中小尺度天气系统的发生、发展物理空间特征提供了可能,有利于加强预报员对中小尺度天气系统物理机制的进一步认识和理解,提高短时临近预报水平;基于风廓线雷达资料开展的雾等天气过程的精细分析为人工影响雾技术的探讨提供了基础。但目前的各种分析大部分基于单部风廓线雷达资料,随着风廓线站网布局的不断完善,通过组网资料(3部及以上)利用有限元等方法计算区域内的涡度、散度、风暴相对螺旋度及其廓线等,对认识强天气发生发展的物理机制有重要意义。

(2) 风廓线雷达和微波辐射计配合使用,可以构建特种探空,用于弥补常规探空时空分辨率的不足。通过风廓线雷达资料可获得边界层高度,对空气质量数值预报模式有着重要作用。风廓线雷达组网资料用于数值模式资料同化中,改进模式效果,这在欧美及日本已开始业务运行。

#### 参考文献

- [1] 冯涛,李迅.利用风廓线雷达资料分析一次强降水过程.中国气象学会2007年年会气象综合探测技术分会场论文集,2007:110-114.
- [2] 郑祚芳,刘红燕,张秀丽.局地强对流天气分析中非常规探测资料应用.气象科技,2009,37(2):243-247.
- [3] 翟亮,王令,刘文军.两次降雪天气过程预报中边界层风廓线雷达资料的应用.气象科技,2012,40(5):783-788.
- [4] 苏德斌,焦热光,吕达仁.一次带有雷电现象的冬季暴雪中尺度探测分析.气象,2012,38(2):204-209.
- [5] 李津,王华.北京城区一次大到暴雨的预报难点分析.气象,2006,32(2):92-97.
- [6] 丁青兰.多种探测资料在一次强对流天气分析中的应用.第28届中国气象学会年会:S7城市气象精细预报与服务,2011.
- [7] 段丽,张琳娜,等.2009年深秋北京大雪过程的成因分析.气象,2011,30(11):1343-1351.
- [8] 丁青兰,王令,卞素芬.北京局地降水中地形和边界层辐合线的作用.气象科技,2009,37(2):152-155.
- [9] 孙继松,杨波.地形与城市环流共同作用下的 $\beta$ 中尺度暴雨.大气科学,2008,32(6):1352-1364.
- [10] 杨波,孙继松,魏东.北京奥运会开幕式期间的中尺度天气系统研究.应用气象学报,2010,21(2):164-169.
- [11] 王令,王国荣,孙秀忠,等.应用多种探测资料对比分析两次突发性局地强降水.气象,2012,38(3):281-290.
- [12] 郭虎,段丽,卞素芬,等.利用加密探测产品对“06731”北京奥体中心局地暴雨结构特征的精细分析.热带气象学报,2008,24(3):219-226.
- [13] 郭虎,段丽,杨波,等.0679香山局地大暴雨的中小尺度天气分析.应用气象学报,2008,19(3):265-274.
- [14] 赵玮,王建捷.北京2006年夏季接连两场暴雨的观测对比分析.气象,2008,34(8):3-14.
- [15] 吴庆梅,郭虎.东南风气流对夏季北京局地暴雨的影响.广东气象,2009,31(6):19-22.
- [16] 吴庆梅,杨波.北京地形和热岛效应对一次中尺度暴雨的作用.气象,2012,38(2):174-181.
- [17] 廖晓农.北京雷暴大风日环境特征分析.气候与环境研究,2009,14(1):54-62.
- [18] 宋巧云,孙成云,梁丰.风廓线雷达资料在灾害性天气预报中的应用综述.2012年全国重大天气过程总结和预报技术交流文集,2012.
- [19] 刘建忠,张蕾,杨道侠.雾日期间边界层特性分析.干旱气象,2010,28(1):41-48.
- [20] 李宏宇,胡朝霞,魏香.雨雾、雪雾共生天气气象要素分析.大气科学,2010,34(4):843-849.
- [21] 何晖,郭学良,刘建忠,等.北京一次大雾天气边界层结构特征及生消机理观测与数值模拟研究.大气科学,2009,33(6):1174-1183.
- [22] 吴庆梅,张胜军.一次雾霾天气过程的污染影响因子分析.气象与环境科学,2010,33(1):13-16.
- [23] 翟亮.北京奥运期间一次暴雨过程风廓线资料特征.气象,2008,34(专刊):26-31.
- [24] 翟亮,王国荣,王令,等.风廓线雷达在一次雷暴大风天气过程中的特征分析.第26届中国气象学会年会第三届气象综合探测技术研讨会分会场论文集,2009:423-427.
- [25] 杨波,魏东.二次开发风廓线探测资料及其在天气预报中的应用.气象科技,2010,38(4):413-417.
- [26] 魏东,孙继松,雷蕾,等.用微波辐射计和风廓线资料构建探空资料的定量应用可靠性分析.气候与环境研究,2011,16(6):697-705.
- [27] 魏东,孙继松,雷蕾,等.三种探空资料在各类强对流天气中的应用对比分析.气象,2011,37(4):412-422.
- [28] Stull R B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Springer,1988.
- [29] Beyrich F, Weill A. Some aspects of determining the stable boundary layer depth from Sodar data. Bound-Layer Meteorol, 1993, 63, 97-116.
- [30] Seibert P, Beyrich F, et al. Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. Atmospheric Environment, 2000, 34: 1001-1027.
- [31] 曹晓彦,李炬,张京江,等.由风廓线数据分析北京地区夏季边界层高度的特征.2007年中国气象学会年会论文集,2007.