

文章编号:1673-8411 (2015) 03-0086-06

风廓线雷达部署原则及北京地区应用分析

范艺¹, 何毅^{1, 2}, 张杰^{1, 3}, 朱克云¹, 许五保⁴, 罗辉¹, 颜玉倩¹

(1.成都信息工程学院大气科学学院和高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225; 2.中国人民解放军96211部队, 成都 610225; 3.成都军区空军气象中心, 成都 6100413; 4.北京爱尔达电子设备有限公司, 北京 100000)

摘要:从风廓线雷达的探测原理以及气象、环保、航空等行业的需求出发,借鉴国外风廓线雷达布网经验,讨论了部署的一般原则,主要从地形地貌、天气系统的影响路径以及污染源监测等方面分析了北京地区风廓线雷达部署方案的优势并针对不足提出了建议,主要结论有:(1)风廓线雷达的部署应充分考虑应用目的,并针对不同天气系统的监测和使用领域的差异进行选型;(2)地形地貌、不同移动路径天气系统的权重影响以及对污染物扩散的监测等都是进行风廓线雷达部署的重要参考指标;(3)风廓线雷达局地布网应考虑与全局组网的需求接轨;(4)保持适当数量的机动式风廓线雷达,应对可能出现的异常情况。

关键词:风廓线雷达;部署原则;布网;应用分析

中图分类号:P411

文献标识码:A

THE DEPLOYING PRINCIPLE OF WIND PRINCIPLE OF WIND PROFILE RADAR AND APPLICATION ANALYSIS FOR BEIJING AREA

Fan Yi¹, He Yi^{1, 2}, Zhang Jie^{1, 3}, Zhu Ke-yun¹, Xu Wu-bao⁴, Luo Hui¹, Yan Yu-qian¹

(1.School of Atmospheric Science, Plateau Atmospheric and Environmental Laboratory, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225; 2.The 96211 Troop of PLA, Chengdu 610225; 3.The Meteorological Center of Air Force, Chengdu Military Region, Chengdu 610041; 4.Beijing Airda Electronic Equipment co.LTD, Beijing 100000)

Abstract: By discussing general deploying principles of wind profile radar from the detection mechanism of wind profile radar and demands of the weather, environmental protection, aviation and other industries, refer to the present situation of foreign deployment at the same time. Analyzing the advantages and putting forward the countermeasures of the wind profile radar deployment scheme in Beijing area, in terms of the landscape, the influential path of the weather system and pollution monitoring etc. The following are the main conclusions: I. The deployment of wind profile radar should be fully considering the application purpose, aiming at monitoring different weather system and different using fields to make the selection. II. The influence of the Landscape and the mobile path of different weather systems, monitoring the key areas and pollutant diffusion are the important factors that affect the wind profile radar deployment. III. The local wind profile radar deployment also need to consider with the demands of the nationwide network. IV. In response to the abnormal situation occurring, we should maintain proper number of mobile wind profile radar.

Key word: The wind profile radar; Principles of the deployment; Setting the network

收稿日期:2015-06-15

基金项目:四川省环境保护重大科技专项(2013HBZX01)和北京爱尔达电子设备有限公司共同资助。

作者简介:范艺(1989-),女,硕士研究生,主要从事雷达和中尺度气象学的研究。E-mail:812934812@qq.com

1 引言

风廓线雷达现已成为国际上测风雷达发展的主要趋势,美国、日本、欧洲等均已完成了风廓线雷达的组网运行,主要用于测量大气湍流活动^[1],为数值天气预报提供高时空分辨率的风场资料。NOAA 对风廓线雷达网评估时指出:每 6 分钟的风廓线资料能显示出气旋、锋面等天气系统连续详实的演变过程,资料同化后,能够明显地改善 3~6h 临近数值天气预报的结果。

目前,国内还处于局地性布网试验的探索阶段,主要就风廓线雷达的探测原理和应用范畴开展了大量研究工作^[2-5],关于如何部署的论述很少。在中国气象局 2013 年风廓线雷达及应用业务发展专题会议上,对站网布局等 4 项主要任务进行了科学规划^[6],充分说明风廓线雷达投入气象业务运行的重要性,以及进行科学部署,进而完成局地乃至全国范围组网运行的迫切需要。布局合理的风廓线雷达网,在气象业务和研究、环境监测、军事保障、航空航天以及防灾减灾等方面都能发挥重要作用。有别于中国气象局重点针对数值同化改善天气预报而进行的全国风廓线雷达布网规划,本文以北京地区为例,从探测原理和实际应用出发,借鉴国外风廓线雷达的布网经验,结合地形地貌、主要天气系统的影响路径、考虑空气污染监测以及机场分布等因素,根据局地需求,讨论了风廓线雷达的试验性布网,得出的结论对其他地区开展类似工作具有一定的参考价值。

2 风廓线雷达布网研究现状

2.1 国内研究现状

从上世纪 80 年代开始,我国就开展了关于风廓线雷达的研究和研制工作。目前,在北京、上海等多地完成了数十部风廓线雷达的部署和应用,但关于布网的研究论述仍比较少。张朝林、王迎春^[10]于本世纪初进行过这一方面的研究,通过选取 1999 年 10 月至 2000 年 7 月北京地区包括大风降温、高温、沙尘、大暴雨以及中雪在内的 6 个典型天气过程作为研究对象,以北京市为中心,分别选取了近等边三角形和近正四边形两种不同布网方案,对参试各站 400hPa 和 600hPa 以下各层风速 u 、 v 分量增加 20% 扰动来代表部署风廓线雷达后的效果,进行了北京地区布网方案的初步探究。在预报时效内,依次对比分析各预报要素绝对差的平均值,研究对应布网方

案的影响大小,由此发现两方案的效果基本相当,从资源和经费等方面考虑,得出了选用近等边三角形方案更为合适的结论。

2.2 国外布网现状

从上世纪 60 年代开始,美国现已对风廓线雷达的探测原理、适用性、资料精度以及数据质量控制方法等方面进行了全面研究。据美国风廓线雷达示范网(WPDN)经验指出,进行全国范围的布网,间距以 200km 为宜;区域性布网,平均间距的选定主要与被测天气系统水平尺度有关,最优取值不应大于被测天气系统尺度的 1/2;在如海湾、山谷、大型水域沿岸等特殊地域,常伴有地形风生成和局地天气过程的出现,应考虑提高布网密度,关注这些区域对于数值天气预报有着重要的作用^[11]。

1992 年,美国就率先完成了对流层风廓线雷达观测网(NPN)的建设,35 部雷达平均间距在 200km 左右;后来又建成了超过 60 部的边界层风廓线雷达网(CAP);日本于 2003 年建成了 31 部的边界层风廓线雷达观测网(WINDAS),平均间距 130km 左右;欧洲也建成了 27 部间距在 200km 左右的对流层风廓线雷达网(NWP)^[12]。目前,美国肯尼迪航天中心(KSC)拥有最小间距仅为 10km 的边界层风廓线雷达探测网^[13];而用于气候背景研究和厄尔尼诺(ElNino)观测的平流层风廓线雷达布网(TPPN),间距则为数千公里。

通过上述国家和地区布网的类型、数量和地域差异可以发现,被测天气系统尺度、服务对象需求以及特殊地形影响等均为重要参考指标。美国(NPN)和欧洲(NWP),虽然涉及疆域宽广、地形条件复杂,但重点针对天气尺度系统进行探测,其垂直尺度多在 4km 以上,几乎可以不计地形影响,着重根据被测天气系统水平尺度和移动路径来完成风廓线雷达的部署。日本四面临海、地域狭长,中尺度低压系统极易生成并引发强降水过程,同时常易受到来自海上的天气系统侵扰,针对上述因素,日本(WINDAS)主要是沿低纬海岸线进行部署。美国(CAP)一半以上数量的风廓线雷达都布设于近墨西哥海湾以及东、西海岸线区域,首先,墨西哥湾位于热带和亚热带地区,常年高温多雨,同时美国西海岸中南部属海洋性气候,东海岸中南部属亚热带湿润气候,湿度大,日常降水较多;其次,沿海区域常伴有地形性海陆风生成,低层大气较为活跃,宽广海域能提供充沛的水汽,常出现局地性对流天气过程;再者,海岸线

作为热带洋面生成的灾害性天气系统登陆影响的第一站,所以在沿海较内陆进行高密度部署则更为恰当。美国航天中心主要进行火箭和航天飞机的发射作业,边界层大气风向、风速的突变极可能会直接影响发射成功率,所以进行高密度风廓线雷达的部署,对边界层大气的风场结构进行严密监测至关重要。平流层风廓线雷达网(TPPN)针对水平尺度为几千甚至上万公里的大尺度天气系统的研究,数千公里的间距则更为合适。

3 风廓线雷达概况

3.1 风廓线雷达原理

风廓线雷达是通常采用5波束机制[7],沿北、东、南、西四个倾斜方向和一个铅直方向顺序向高空发射电磁波束(图1),通过接收大气散射作用的后向回波,获取大气运动的速度信息,最后合成高空风场信息的一种遥感设备。可对测站上空风场结构进行全天时探测[8],连续提供大气水平风场、垂直气流等气象要素的分布和变化信息。

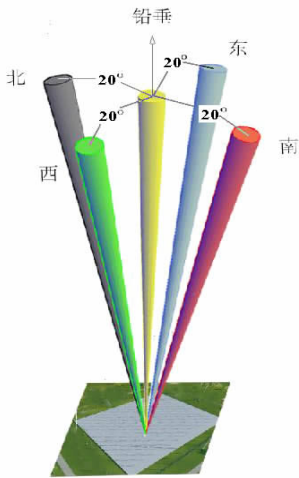


图1 风廓线雷达探测示意图

3.2 风廓线雷达的分类和应用

按照不同的划分标准风廓线雷达可以进行不同分类[9],通常根据探测高度可划分为平流层、对流层、低对流层和边界层四型风廓线雷达(表1)。

平流层风廓线雷达用于大尺度天气系统探测和气候背景研究,可提供航空航天气象保障服务;对流层及低对流层风廓线雷达通常用于天气尺度系统的研究,可为数值天气预报提供高时空分辨率的风场资料;边界层风廓线雷达适用于中小尺度天气系统

表1 -风廓线雷达的分类

类 型	测高范围(km)	工作频率(MHz)	垂直分辨率 (m)
平流层	3~30	50~90	150
对流层	1~16	400~500	150
低对流层	0.6~8	400~500	150
边界层	0.1~3	900~1300	50~100

的监测和研究,可提供低空飞行安全保障,参与城市空气污染等各领域工作。

4 北京地区布网主要影响因素分析

4.1 地形因素

北京地处115°20′~117°30′E、39°28′~41°05′N,62%的面积为山区,平原面积仅为38%,地势西北高、东南低,西、北和东北是平均海拔为1000~1500m的山地;东南为海拔20~60m的平原。当气流流向山脉时,平行于山脉走向的气流,山脉对它没有阻挡作用,对西、北和东北来向的垂直于山脉走向的低层入侵系统流则会被阻挡,或是被迫抬升,产生垂直上升运动,形成山前降水;同时,北京还面向东南季风区,气流沿东南低地可长驱直入,在达到西、北部山脉时,由于地形阻挡,利于山前水汽的堆积,并通过地形强迫抬升而触发强对流天气,导致山前平原城市地带暴雨天气的出现[14]。对于尺度大,层次高的天气系统,山脉无明显作用。

4.2 天气系统因素

根据北京地区1956~2000年的统计资料可以发现,引发强对流天气的主要天气系统有蒙古低涡低槽、切变线、内蒙古低涡、西来槽、西北低涡、东北低

表2 北京地区强对流天气系统及频次

类别	次数	频率(%)
蒙古低涡低槽	132	34.2
切变线	45	11.7
内蒙古低涡	34	8.8
西来槽	25	6.5
西北低涡	22	5.7
东北低涡	61	15.8
西南低涡	37	9.6
回流	19	4.9
台风类	10	2.5
冷锋类	1	0.3
合计	386	100

涡、西南低涡、回流、台风外围影响等(表2)。

以上均属天气尺度系统, 整体上大致可分为四条影响路径(图2): 蒙古低涡低槽、切边线、内蒙古低涡, 西北低涡及西来槽属西偏北路径; 东北低涡及回流属东北路径; 西南低涡则属南偏西路径; 台风属南偏东路径。

4.3 污染分布因素

近年来, 雾霾天气对社会造成重大影响, 备受政府和广大群众的关注。北京频繁出现影响范围大、持续时间长、污染强度高的雾霾现象, 严重影响到人们的身体健康和日常活动。据相关研究表明, 当前工业粉尘的排放依然是造成空气污染的主要源头, 虽然北京已经进行了产业结构调整和生产效能的提高, 做到大幅减排, 但是由于工业排放量的基数很大, PM_{2.5} 颗粒含量仍然很高并可在大气中长时间停留, 加之特殊地形的局限, 平原低洼地势不利于大气的对流互通, 污染物聚集在北京市区很难消散, 低层大气产生化学反应就会出现雾霾现象。目前, 北京地区的主要工业污染源包括火力发电厂、水泥厂和化工厂等^[15-17](图3)。

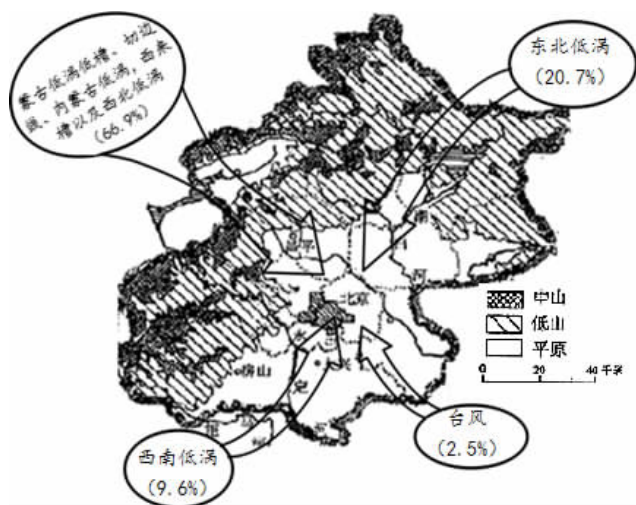


图3 北京主要工业污染源大致分布

4.4 机场分布因素

首都国际机场距天安门广场仅25km左右, 是我国地理位置最重要, 日常最繁忙的大型国际航空港; 其余4个民用或通用机场分别为南苑机场、密云机场、平谷金海湖机场以及定陵机场; 北京还拥有若干军用机场(图4)。北京每日起、降的民航航班数、履行特殊职能的军用飞机数以及执行例行任务的农、商用飞机架次具有数量多、频次密的特点, 同时

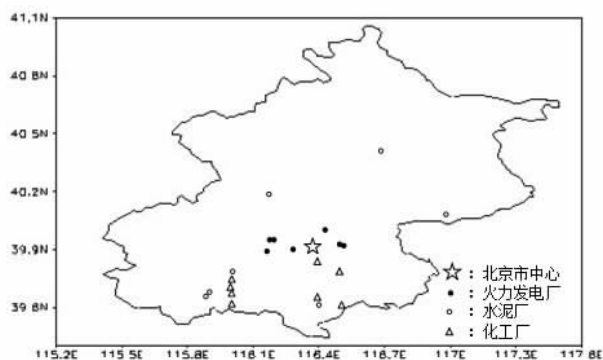


图4 北京机场大致分布

飞机安全受到社会广泛关注。除了飞机本身性能的优劣会直接影响其安全外, 低层大气的活动同样影响到飞机的安全起、降。所以进行机场空域的气象保障, 对低层大气的风场垂直结构分布和变化进行实时监测十分必要。

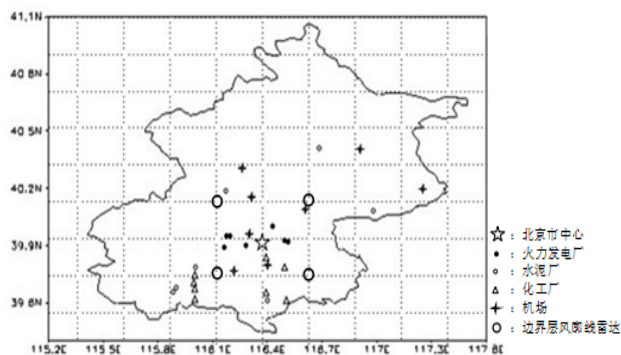


图5 北京地区污染源、机场分布以及内层理想布网(附20km*20km网格)

5 北京地区理想部署和现状调整建议

5.1 理想部署

在重点针对北京地区的天气系统入侵路径以及强对流天气频发区域进行风廓线雷达部署的同时, 考虑到对机场等关键区的保障, 兼顾到大气环境污染变化等相关工作, 将能充分发挥风廓线雷达的功用, 实现效用价值最大化。

结合国外布网现状, 参考一般部署原则, 同时借鉴多普勒天气雷达的布网经验, 可采取大网套小网的方式进行风廓线雷达的部署, 即在大尺度的观测网中布设中尺度的观测网, 再在中尺度的观测网中布设小尺度的观测网^[18], 既能保证对主要天气系统的监测, 同时还能满足对重要点位的关切。

由于引发北京地区强对流天气的均属天气尺度系统,水平尺度在几百上千千米,垂直尺度多在500hPa以上,可选择对流层风廓线雷达进行全面监测和预警。考虑天气系统的影响路径,其中沿南偏东路径的入侵天气系统总共仅占2.5%,可与同样占比较少的南偏西路径合并设定为偏南路径(被测天气系统尺度大,做此考虑可行)。理想部署暂忽略地形影响。

(1)外围理想部署:以北京市中心为中心,选取东偏北(60°)、南(180°)以及西偏北(300°)三个方向,分别在距中心140km的位置进行部署,保证两两雷达间距为200km左右(既满足间距不应大于被测天气系统尺度1/2的部署原则,同时还考虑到全国风廓线雷达的组网工作),三者连线为近等边三角形(与张朝林、王迎春对北京风廓线雷达布网方案的研究结论基本吻合)。

(2)内层理想部署:采用大网套小网方式,进行内层部署,要求间距更小,密度更高。在重点针对中小尺度天气系统进行监测的同时,全面考虑污染源以及机场分布等因素,选用边界层风廓线雷达进行部署。

图5给出了北京地区主要污染源、机场分布以及内层理想布网,沿北京市中心做十字线,代表污染源和机场的点呈西多东少,南多北少的分布。西南向(225°)污染源密度最高,作为重要的污染物输送通道,理应部署一部;东南(135°)面向季风区,是主要水汽输送通道,也应部署一部;东北(45°)的虽然关键点分布最疏,但可在近首都国际机场处部署一部;西北向(315°)靠近地形降水的始发区域,也应部署一部。连线正好是以北京市中心为中心的正四边形,相邻雷达间距为40km(如需探测水平尺度为几公里到十几公里的天气系统,可在此部署方案下,于两两雷达之间适当增设机动式风廓线雷达参与探测)。

5.2 现有部署及调整建议

现有6部固定式和两部机动式风廓线雷达可参与布网,除东北向上甸子为对流层风廓线雷达外,其余均为边界层风廓线雷达。下面考虑北京地形因素和现有资源等实际情况,给出调整建议。

由于外围理想部署的3部对流层风廓线雷达均落在了北京市以外的临近省、市内,现仅考虑北京市境内的部署,所以需要进行调整。从现有资源可以发现,东北向上甸子为对流层风廓线雷达,可对东北来

向的天气尺度系统进行探测,可视作与东偏北向的理想部署吻合,同时其余各向均无对流层雷达的部署。建议分别于北京西北向的延庆县和正南向的大兴区南端各增设一部对流层风廓线雷达。既做到了三者连线近等边三角形的设想,同时还保证了对各路天气系统的准确监测。

内层实际站点基本与理想部署一致,即以北京市中心为中心,呈包围式分布。其中西南向的良乡机场站可视作与该方向上的理想部署基本吻合;通州站也基本可视作与东南向的理想部署基本吻合;北偏西向连线上有清华大学、沙河机场两固定站,离北京市中心一近一远,可对山前平原降水的频发区域进行精细监测,可视作与西北向的理想部署基本吻合;由于北京面向东南季风区,偏南暖湿气流又是造成对流性天气产生的重要机制之一,所以正南向榆垓站可视作是对西南、东南两路的补充;独有东北向近首都国际机场区域的理想部署与实际存有差异,建议可在此处增设一部机动式风廓线雷达参与探测;这样就形成了6部边界层风廓线雷达环绕北京的内层部署。

再者,还必须对特殊地形(如山谷、大型水面沿岸等)进行考虑,由图可见东北向的密云县,不仅三面环山,属于谷地;而且还靠近密云水库这样的大型水域,易受区域性湖陆风影响;同时还拥有密云机场。所以建议在此处可部署另一部机动式风廓线雷达进行探测。

当然,此布网建议的具体效果还有待下一步实施的外场试验进行验证。

6 结论

(1)风廓线雷达因其不同分类,实际应用存在很大差异,应充分考虑服务需求,针对监测对象和应用领域的不同进行选型。

(2)风廓线雷达作为高精度探测风场垂直结构的遥感设备,应用极为广泛,在满足一般性原则的同时,地形地貌、不同路径天气系统的权重影响,污染源以及机场等重要点位的分布都应作为部署的重要指标进行考虑。

(3)风廓线雷达的局地布网应当与全局组网大势相配合,以减少不必要的资源浪费。

(4)可保持适当数量的体积小、灵活度高的机动式风廓线雷达,以应对可能突发的异常紧急情况。

结、低层中有丰富的水汽、强的抬升条件;强烈上升运动将低层的水汽源源不断地向高空输送,为强降雨积累充足的水汽,在水汽上升的同时不断向周围空气释放自身潜热,促进对流的更强烈的发展,从而形成了此次雷电过程。

参考文献:

- [1] 胡燕,刘焕乾,王智刚,等.湖南春季2次典型强雷暴天气过程的对比分析[J].广东气象,2012,33(5): 21-23
- [2] 李怀宇,张羽,罗聪.2012年初春粤北一次少见高架雷暴过程的分析[J].广东气象,2013,35(3): 1-5
- [3] 但建茹,曾昌军,郑栋,等.一次强降水天气过程的雷暴及闪电活动特征分析[J].广东气象,2012,33(6): 19-24
- [4] 彭锦荣,曾庆硕,卢炳源.番禺区雷灾事故与雷暴日数、闪电定位数据的对比分析[J].广东气象,2012,34(2): 53-55
- [5] 朱学超,张羽,徐峰,等.湛江市东海岛一次强雷暴天气过程分析[J].广东气象,2014,36(5): 1-6
- [6] 黄翠珍,黄芳,李荣迪.近55年来来宾市雷暴日数特征分析[J].气象研究与应用,2011,32(3): 88-91
- [7] 黄启开,杨志华,黄洪吉.泸溪县雷暴天气的气候特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(3): 74-76
- [8] 李宏景,赵建吉.百色城区近51年雷暴气候变化特征及分析[J].气象研究与应用,2013,34(1): 83-85
- [9] 魏雪,黄兴友,孙伟,等.基于雷达资料的雷电特征分析及预警[J].气象与环境科学,2011,34(3): 31-36
- [10] 陈洪滨,朱彦良.雷暴探测研究的进展[J].大气科学,2012,36(2): 411-422.

(上接第90页)

参考文献:

- [1] 孙宪章.大气遥感探测系统—风廓线雷达[J].现代雷达,1994,2(1): 21-30.
- [2] 顾映欣,陶祖钰.1989-1990年UHF风廓线雷达资料的分析和应用[C].中尺度气象文集,北京:气象出版社,1993: 194-201.
- [3] 陈少应,王凡.风廓线雷达测量精度分析[J].现代雷达,2000,10(5): 11-17.
- [4] 王欣,卞林根,彭浩等.风廓线仪系统探测试验与应用[J].应用气象学报,2005,16(5): 693-698.
- [5] 刘吉,范绍佳,方杏芹等.风廓线仪研究现状与应用初探[J].热带气象学报,2007,23(6): 693-697.
- [6] 中国气象局.《风廓线雷达及应用业务发展规划(2013-2020年)》[R].2013.
- [7] 胡明宝,贺宏兵,李妙英等.风廓线雷达5波束校验计算风的方法[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2013,14(3): 292-296.
- [8] 胡明宝,李妙英.风廓线雷达的发展与现状[J].气象科学,2010,30(5): 724-729.
- [9] 吴蕾,陈洪滨,高玉春等.国产风廓线雷达对比试验初步分析[J].现代雷达,2013,35(6): 24-28.
- [10] 张朝林,王迎春.北京地区风廓线仪布网方案的数值研究[J].气象学报,2002,60(6): 786-791.
- [11] 吴志根,沈利峰.边界层风廓线仪应用中存在的若干问题[J].高原气象,2010,29(3): 801-809.
- [12] Tim Oakley, Myles Turp.Operational Networking of Wind Profilers in Europe[R].2013.
- [13] Winifred C Lambert, J Francis Merceret, E Gregory Taylor.Performance of five 915-MHz wind profilers and associated automated quality control algorithm in an operational environment[J].Journal of atmospheric and oceanic technology.2003,20: 1488-1495.
- [14] 吴庆杨,郭虎,杨波等.东南风气流对夏季北京局地暴雨的影响[J].广东气象,2009,31(6): 19-22.
- [15] 陈建华,薄以匀.北京市工业污染源大气污染物排放特征[J].工业安全与环保,2003,29(2): 3-5.
- [16] 彭应登.北京近期雾霾污染的成因及控制对策分析[J].工程研究,2013,5(3): 233-239.
- [17] 吴俊.北京雾霾的成因及其管制政策[J].经济视角,2013,7(21): 12-13.
- [18] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等.天气学原理和方法(第四版)[M].北京:气象出版社2007.418-419.