相似离度在北京市道面结冰预报中的初步应用

张爱英　丁德平　李迅　尹志聪　韩超
（北京市气象服务中心，北京 100089）

摘要：结冰是影响交通运输安全的不利气象条件中最恶劣的条件之一。尝试将相似性原理中的相似离度方法应用于北京市道面结冰的预报中。选取北京市主要路段的15个ROSA道面气象站时间分辨率为5分钟一次的高时空分辨率观测资料，从2004—2008年的历史资料中挑选出道面结冰的样本，选用气温、路面温度和相对湿度3个因子，采用相似离度方法，通过计算2009年11月至2010年3月（以下简称2009年冬季）各路段监测点上每间隔5分钟的各气象要素与本站历史上出现结冰的样本之间的相似离度，遴选出相似离度最小即最相似的状况，制定出相似离度临界阈值，进而对2009年冬季道面结冰状况（即有无结冰）进行预报，并利用15个ROSA道面气象站2009年冬季出现的实际道面状况对预报效果进行了检验。结果表明，对于15个ROSA道面气象站，总体而言，预报正确率为67.6%。有9个站的预报正确率在61%以上，只有3个站的预报正确率在50%以下。由此可见，相似离度方法在北京市道面结冰的预报初步试验当中取得了比较满意的结果，可推荐在北京市道路交通气象服务系统中进行业务试用。

关键词：相似离度，北京，道面结冰，预报

A Preliminary Application of Analog Deviation to Road Icing Prediction in Beijing Region

Zhang Aiying, Ding Deping, Li Xun, Yin Zhicong, Han Chao
(Beijing Meteorological Service Center, Beijing 100089)

Abstract: Road icing is one of the worst phenomena in adverse meteorological conditions. In this paper,a new method of Analog Deviation is introduced to road icing prediction in Beijing region. Based on the fine resolution observation data which was observed by the 15 auto monitoring stations for road weather information, road icing samples are selected, then the factors of air temperature, road surface temperature and relative humidity are screened from all the observation elements to apply to Analog Deviation method. The specific computation procedures are: (1) Analog Deviation between the icing samples from November of 2009 to March of 2010 (hereinafter called 2009 winter) and historical icing samples is computed, (2) select the minimum of Analog Deviation, (3) critical value is determined, (4) predict road icing or not, (5)effective test of prediction. The results show that the rate of true prediction is 67.6 percent in all. Therefore, the method of Analog Deviation proves to be a feasible one to predict road icing in Beijing region, and could be recommended to use in the service system for ease of road icing.

Key words: Analog Deviation, Beijing, road icing, prediction

1　引言

提高大城市精细化天气预报水平尤其是高影响天气的预报预警能力，满足城市生命线（包括交通）安全运行是未来气象服务发展方向中的重要任务[1]。

交通运输是国民经济的基础产业和重要的服务行业，而气象条件是影响交通运输安全的关键因素之一[1-5]，气象条件对高速公路的行车安全、正常运行起着举足轻重的作用，恶劣天气是导致高速公路交通事故、道路阻塞、路产损失的主要原因。尤其是随着经济社会的快速发展，交通需求量的不断增加，交通基础设施总量迅速扩大，交通运输方式和里程不断延伸，各类不利气象条件对交通运输的影响亦日趋明显[6]。据公安部交通管理局的统计，发生在恶劣气象条件下的交通事故约占交通事故总数的22.56%。

结冰是影响交通运输安全的不利气象条件中最恶劣的条件之一。据统计，在所有的交通安全事故中，路面湿润时的事故是干燥路面的2倍，降雪时是干燥路面的5倍，结冰时是干燥路面的10倍。这是因为当路面形成结冰时，路面摩擦系数很小，抗滑性能很差，容易使车辆发生空转或打滑，增加发生交通事故的频率。2008年初的低温雨雪冰冻灾害袭击我国南方大部分地区，道面结冰现象严重，公路交通运输受到严重影响，部分地区公路受灾严重，交通多次中断[7]。而在我国北方地区的冬季，道面结冰已经成为超过大雾天气的最不利于交通运输的气象条件[8]。

北京作为中国的首都，近几十年来城市化进程不

收稿日期：2011 年 8 月 2 日；修回日期：2011 年 9 月 16 日
第一作者：张爱英（1974— ），Email: bjzhangay@bjmb.gov.cn
资助信息：科技部项目“国家高速公路安全和服务技术开发与工程应用示范”（2009BAG13A03）

断加快，城市道路网的建设日新月异，车流量成倍增长，这无疑越来越扩大了恶劣气象条件对交通的影响程度。例如，孙继松等[9]对比了2001年12月7日降雪天气过程和历史同期13次降雪过程，发现比2001年12月7日降雪更为严重的天气情况出现了10次，但是它们造成的社会影响远不及2001年12月7日的降雪天气过程，并指出“12•7”事件是由于特殊的时间（恰逢周末）、特殊的城市（飞速发展的大城市）和特定的道路状况（大量立交桥构成的坡面）等非气象因素和恶劣的气象条件相互作用造成的。特别是近年来，由于人口（人口接近2000万）、车辆（机动车保有量接近500万辆）、立交桥数量（仅仅二环到四环路上的立交桥就达120多座）、管理措施等多种因素影响，北京的交通拥堵现象愈演愈烈[10,11]，交通对结冰等恶劣天气条件的脆弱性更是愈加凸显。毋庸置疑，提前做出道面结冰状况的预报和预测可以让有关部门及时采取应对措施，对于减少交通事故的发生和生命财产损失有着至关重要的意义。

美国和欧洲等发达国家在公路交通气象服务方面的工作起步较早，并开展了大量卓有成效的工作，积累了丰富的经验。而我国在交通气象服务方面的工作尚处于起步阶段，与发达国家相比还存在很大差距[12]。欧洲等国家对于道面温度和结冰的预报进行了许多研究，并建立了相关的预报模式[13-20]。而对于我国来说，交通气象尚属新兴学科，虽然气象条件对交通安全的影响近年来引起许多学者的关注和重视[21-28]，但是国内的研究大多分析能见度对交通安全的影响[21，27]，对于路面温度的预报虽然也做了一些有益的尝试[22-25, 28]，但较少将路面温度与道面结冰的预报联系起来，对于道面结冰的预报方法所做的研究也鲜见报道。

本文选取北京市主要路段的15个道面气象站的高时空分辨率观测资料，采用相似离度方法对影响结冰的各个因子做综合性判断，对各路段监测点有无结冰进行预报，经过试用与检验，取得了较好的成效。

2 原理与资料

2.1 原理

早在20世纪50年代，顾震潮就指出了在天气预报中应用历史资料的重要性和可行性[29]，丑纪范在20世纪70年代也论述了过去资料在天气预报中的应用问题[30]。相似性原理就是利用过去的范例或经验来解决当前问题的推理方法，是基于对当前大气的物理状态和历史上曾经出现过的天气状况相比较，找出历史上一个或几个最相似的个例，来推断未来即将出现的天气现象，是目前在短、中、长期天气预报业务中广泛使用的方法[31-43]。相似性方法中相似性判据的选取对预报的质量和效果起着至关重要的作用。相似离度是一种衡量相似程度的统计量，在一定程度上克服了用相似系数、海明距离和欧式距离进行相似性判别的缺陷，考虑到了样本之间的形相似和值相似情况，是一个比较全面的相似标准[44]，已经被广泛应用在降雨、沙尘暴和冰雹天气的预报中[43, 45-50]。但目前为止，还未见有将相似离度方法用于道面结冰预报的研究工作。本文从这一点出发，以北京地区为例，尝试将相似离度方法用于道面结冰的预报，取得了一定的效果。

2.2 资料及处理

2.2.1 资料来源及说明

从2004—2009年底，北京市气象局已经采用芬兰ROSA[51]仪器在北京地区建立了29个高速公路气象监测站，但建站时间早晚不一。由于本文进行分析必须用到历史资料，并且要求资料的起始年份必须不晚于2008年12月，这样一来，对所选择站点的要求是2008年底以前建站并取得观测资料的站点，满足这个条件的ROSA道面气象站共有18个。本文所用资料来自于北京市气象信息中心的北京地区这18个ROSA道面气象站时间分辨率为5分钟一次的道面监测资料，18个ROSA道面气象站的具体情况见表1。文献[27]对此监测设备进行过详细的介绍，这里不再赘述。

表1 本文所用的北京地区18个道面气象站的状况

序号	站号	站名	所在区县	建站时间	结冰历史样本数
1	A1026	五元桥	朝阳	2004年11月	204
2	A1027	温榆河	朝阳	2004年11月	256
3	A1055	卢沟桥	丰台	2007年5月	137
4	A1056	八角桥	石景山	2007年6月	160
5	A1057	远通桥	朝阳	2007年6月	19
6	A1058	顾家庄桥	朝阳	2007年6月	42
7	A1059	五方桥	朝阳	2007年7月	15
8	A1062	六道口桥	朝阳	2007年8月	0
9	A1063	木樨园桥	丰台	2007年8月	113
10	A1206	儒林桥	通州	2007年6月	439
11	A1207	京津塘41km	通州	2007年8月	0
12	A1262	西红门南桥	大兴	2007年5月	11
13	A1263	大羊坊北桥	大兴	2007年6月	5
14	A1264	京津塘23km	大兴	2007年8月	0
15	A1412	西关	昌平	2007年5月	259
16	A1413	回龙观	昌平	2007年5月	215
17	A1414	居庸关	昌平	2007年5月	751
18	A1467	潭峪沟	延庆	2007年5月	594

2.2.2 结冰样本的遴选

由ROSA用户手册[51]可知，道面状况包括三种类型的信息：警告状态（warning state）， 雨水状态

（rain state）和表面状态（surface state）。这样，道面状况就由三个字母（WRS）表示，含义如表2所示。内外车道各有一个WRS码，在2个WRS码中，只要有1个满足S（surface state）=5或6或7，则认为该站该时刻出现了结冰。当然，这样选取出的结冰样本是一种广义的结冰，即把路面状态为霜、雪、冰的都认为是结冰，这样做的原因是因为样本的数量有限，资料年代最长的有5年，最短的只有1年时间，有的年份还没有出现结冰记录。这样的遴选方法扩大了结冰样本的数量，进而减少了空报率。这样一来，在18个ROSA道面气象站中，共有15个站历史上遴选出了结冰样本。3个站没有遴选出结冰样本，故只对有样本的15个站做了结冰预报试验。各站样本数量统计见表1。

表2 道面状况WRS码

W	Warning	R	Rain	S	Surface
Sp 或0	没有警告	0	无雨	0	SHORT
1	警告	1	雨	1	干燥
2	鸣警	2	多云	2	潮湿
3	霜警告	3	晴朗	3	湿
4	雨警告			4	湿，并有化学物质
				5	霜
				6	雪
				7	冰
				8	潮湿，并有化学物质

3 相似因子的引入

相似性原理是基于历史上曾经出现过的天气状况有重复出现的倾向为基础的，因此，相似预报的效果很大程度上取决于选取哪些因子来进行相似度衡量。文献[52]研究了影响结冰的各个因子的贡献率，贡献率排在前三位的因子依次是气温（T_a）、路面温度（T_s）和相对湿度（W），因此，本文也初步选取这3个因子进行试验。

4 相似离度的计算

根据李开乐[44]的方法，分两步进行相似离度的计算。

4.1 因子资料标准化

在进行相似离度计算之前，由于各项因子的量纲和变化域都不相同，必须先把因子数据标准化，才能进行比较。

$$X_k' = \frac{X_k - X_{k\min}}{X_{k\max} - X_k} \quad (k=1, 2, 3, \cdots, M)$$

式中，X_k'为标准化后的因子数值，X_k为样本的原因子数值，$X_{k\max}$和$X_{k\min}$分别为所有历史样本原因子数据的最大和最小值。M为因子总个数，k为因子序号。经过标准化处理后，所有因子数据统一都变为0～1之间的数值。

4.2 相似离度计算

如果用C_{ij}表示两样本的相似离度，则

$$C_{ij}=0.5\times(S_{ij}+D_{ij})$$

其中，

$$S_{ij} = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\left|X_{ijk} - E_{ij}\right|$$

$$D_{ij} = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\left|X_{ijk}\right|$$

$$X_{ijk}=X_{ik}-X_{jk}$$

$$E_{ij} = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}X_{ijk}$$

相似离度C_{ij}由形系数S_{ij}和值系数D_{ij}两项共同决定。C_{ij}越小，表示两样本越相似，C_{ij}越大，表示两样本越不相似。

5 道面结冰试报与检验

本文按照上述方法设计程序，对2009年冬季道面结冰状况进行试报。在进行到这一步时，相似离度阈值的确定是预报的关键。文献[45]将相似离度的阈值设定为0.15进行低温阴雨结束期的预报，因此，本文也初步选定相似离度阈值为0.15进行试验。通过计算15个ROSA道面气象站2009年冬季每间隔5分钟的各气象要素与本站历史上出现结冰的样本之间的相似离度，并进行排序，找到一个与此预报时刻相似离度最小即最相似的样本，如果这个最小相似离度值小于或等于0.15，则认为该时刻会结冰，否则认为该时刻不会结冰。并用2009年冬季道面实际状况进行预报效果检验，检验结果如表3。

表3 15个ROSA道面气象站2009年冬季结冰试报效果检验

序号	站号	站名	预报正确率（%）
1	A1026	五元桥	79.9
2	A1027	温榆河	57.0
3	A1055	卢沟桥	41.0
4	A1056	八角桥	61.4
5	A1057	远通桥	94.3
6	A1058	顾家庄桥	83.1
7	A1059	五方桥	93.4
8	A1063	木樨园桥	67.7
9	A1206	儒林桥	39.4
10	A1262	西红门南桥	84.6
11	A1263	大羊坊北桥	90.7
12	A1412	西关	50.6
13	A1413	回龙观	83.7
14	A1414	居庸关	31.2
15	A1467	潭峪沟	56.1

可知，在15个ROSA道面气象站中，预报正

确率最高的为位于朝阳区的远通桥站，正确率为94.3%；正确率最低的为位于昌平区的居庸关站，为31.2%。对于15个ROSA道面气象站总体而言，预报正确率为67.6%。有9个站的预报正确率在61%以上，只有3个站的预报正确率在50%以下。由此可见，相似离度方法在北京市道面结冰的预报初步试验当中取得了还算比较满意的结果，可推荐在北京市道路交通气象服务系统中进行业务试用。

6 结论与讨论

（1）相似离度是一种综合衡量具有多要素的两样本之间相似程度的指标，在北京市道面结冰的预报初步试验中取得了比较满意的结果。对于 15 个 ROSA 道面气象站，总体而言，预报正确率为 67.6%。有 9 个站的预报正确率在 61% 以上，只有 3 个站的预报正确率在 50% 以下。由此可见，该方法在道面结冰的预报中具有一定的应用价值和预报技巧，可推荐在北京市道路交通气象服务系统中进行业务试用。

（2）由于本文所用的 2009 年冬季的各要素值为实况值，在未来的业务应用中，所用的预报时刻各要素的资料应该是基于数值模式的输出结果，因此，预报的效果在很大程度上依赖于数值产品的准确率。本文的试验结果并不包括数值预报的准确率，即本文进行的试验是建立在数值预报完全正确的基础上，实际上，这只是一个理想的假设。未来数值预报的准确率仍是研究的重点之一。

（3）用相似离度方法进行道面结冰预报的第二个关键的因素是历史样本的代表性。由于 ROSA 道面气象站建立的时间不长，所积累的资料序列较短，使得本文在结冰样本的遴选中不得不应用广义的结冰，即把霜、雪、冰都认为是结冰了，这是本文研究不完善的方面。在未来的业务应用中，应不断积累历史样本的容量，不断提高该方法的预报能力。

（4）相似因子的引入是相似性预报中又一个非常关键的因素。本文选用的要素指标为气温、路面温度和相对湿度，选取的都是比较简单的指标，可能还会有更好的、有代表性意义的指标，还需要在未来的试验中寻找和探索，以进一步提高预报的准确率。另一方面，本文所计算的相似离度反映的是两个时刻的样本之间静态相似的状况，未能反映动态方面的相似性，这也是在将来的研究中需要提高和改进的部分。

（5）本文用于检验道面结冰预报准确率的样本资料只有 2009 年冬季的道面结冰资料，这也是本文研究所存在的局限性之一。如果今后用 3 年以上资料进行检验，将使检验结果更有说服力，这个问题也将在下一步工作中随着样本资料的逐步积累予以解决。

本研究只是建立在初步试验的基础上，在以上这些问题的解决方面尚需要做更为深入的研究工作。

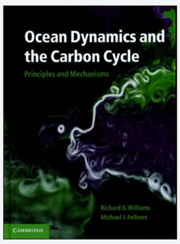
参考文献

[1] 谢璞, 李青春, 梁旭东. 大城市气象服务需求及关键技术. 气象科技进展, 2011, 1(1): 25-29.
[2] Andrey J, Olley R. Relationship between weather and road safety: past and future research directions. Climatological Bulletin, 1990,3: 123-137.
[3] 贺芳芳, 房国良, 吴建平, 等. 上海地区不良天气条件与交通事故之关系研究. 应用气象学报, 2004, 15(1): 127-128.
[4] 潘娅英, 陈武. 引发交通公路的事故气象条件分析. 气象科技, 2006, 34(6): 778-782.
[5] 罗慧, 李良序, 胡胜. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型. 应用气象学报, 2007, 18(3): 350-356.
[6] 刘聪, 卞光辉, 黎键, 等. 交通气象灾害（气象灾害丛书）. 北京: 气象出版社, 2009.
[7] 赵琳娜, 马清云, 杨贵名, 等. 2008年初我国低温雨雪冰冻对重点行业的影响及致灾成因分析. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 556-565.
[8] 谢静芳, 吕得宝, 王宝书. 高速公路路面摩擦系数气象指数预报方法. 气象与环境学报, 2006, 22(6): 18-21.
[9] 孙继松, 梁丰, 陈敏, 等. 北京地区一次小雪天气过程造成路面交通严重受阻的原因分析. 大气科学, 2003, 27(6): 1057-1066.
[10] 楚国清. 北京城市交通拥堵的原因及对策. 新视野, 2011, 2: 23-25.
[11] 仇保兴. 缓解北京交通拥堵的难点及对策建议. 2011, 6(1): 1-5.
[12] 黎健, 魏丽, 傅敏宁, 等译. 美国交通气象信息国家需求评估报告. 北京: 气象出版社, 2008.
[13] Rayer P. The Meteorological Office forecast road surface temperature model. Meteor Mag, 1987, 116: 180–191.
[14] Shao J. A winter road surface temperature prediction model with comparison to others. Ph.D. thesis, University of Birmingham, 1990: 245.
[15] Shao J, Lister P. Automated road ice nowcasts and Internet/Intranet application. Proceeding of the 11th International Road Weather Conference. Sapporo, Japan. January 2002, SIRWEC.
[16] Sass B. A numerical model for prediction of road temperature and ice. J Appl Meteor, 1992, 31: 801–817.
[17] Jacobs W, Raatz W. Forecasting road-surface temperatures for different site characteristics. Meteor Appl, 1996: 243–256.
[18] Chapman L, Thornes J, Bradley A. Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 2: Numerical. Meteor Appl, 2001, 8: 421–436.
[19] Crevier L, Delage Y. METRo:A new model for road-condition forecasting in Canada. J Appl Meteor, 2001, 40: 2026–2037.
[20] Ryerson C, Ramsay A. Quantitative ice accretion information from the automated surface observing system. J Appl Meteor, 2007, 46: 1423–1437.
[21] 袁成松, 卞光辉, 冯民学, 等. 高速公路低能见度的监测与预报. 气象, 2003, 29(11): 36-40.
[22] 刘熙明, 喻迎春, 雷桂莲, 等. 应用辐射平衡原理计算夏季水泥路面温度. 应用气象学报, 2004, 15(5): 623-628.
[23] 秦健, 孙立军. 国外沥青路面温度预估方法综述. 中外公路, 2005, 25(6): 19-23.
[24] 秦健, 孙立军. 沥青路面温度场的分布规律. 公路交通科技, 2006, 23(8): 18-21.
[25] 刘梅, 尹东屏, 王清楼, 等. 南京地区冬季路面结冰天气标准及其预测. 气象科学, 2007, 27(6): 685-690.
[26] 张朝林, 张利娜, 王必正, 等. 高速公路气象预报系统研究现状与未来趋势. 热带气象学报, 2007, 23(6): 652-658.
[27] 张利娜, 张朝林, 王必正, 等. 北京高速公路大气能见度演变特征及其物理分析. 大气科学, 2008, 32(6): 1229-1240.
[28] 田华, 吴昊, 赵琳娜, 等. 沪宁高速公路路面温度变化特征及统计模型. 应用气象学报, 2009, 20(6): 737-744.
[29] 顾震潮. 天气数值预报中过去资料的使用问题. 气象学报, 1958, 29(3): 176-184.
[30] 丑纪范. 天气预报中使用过去资料的问题. 中国科学, 1974, (6): 634-655.
[31] 晁淑懿, 金荣花. 一种综合相似中期预报模型. 应用气象学报, 1996, 7(3): 300-307.
[32] 钟元, 李秀莉, 姚嘉玲, 等. 中期天气客观相似预报方法, 气象, 1988, 14(3): 8-11.

[33] 钟元, 祝荣霖. 中期(旬)客观相似预报方案. 气象学报, 1991, 49(4): 553-558.
[34] 钟元, 余辉, 滕卫平, 等. 热带气旋定量降水预报的动力相似方案. 应用气象学报, 2009, 20(1): 17-27.
[35] 阎丽凤, 蔡则鹏, 王建国. 场相似在汛期暴雨中的应用. 气象, 1999, 25(2): 33-39.
[36] 王盘兴, 李刚, 王建新, 等. 原观测场时间序列两个统计场的相似性讨论. 气象学报, 1998, 56(6): 746-751.
[37] 田小毅, 霍焱, 董芹, 等. 用T213物理场和相似性原理作暴雨判别预报. 气象科学, 2008, 28(4): 456-461.
[38] 张延亭, 单九生. 逐步引进因子场作相似预报. 气象, 2000, 26(3): 22-27.
[39] 阎慧芳, 李社宗, 黄跃清, 等. 常用相似性判据的检验和综合相似系数的使用. 气象科技, 2003, 31(4): 211-215.
[40] 马振峰. 因子集成及综合相似预报模型的研究与应用. 成都气象学院学报, 1999, 14(1): 40-45.
[41] 邵明轩, 刘还珠, 窦以文, 等. 用非参数估计技术预报风的研究. 应用气象学报, 2006, 17(增刊): 125-129.
[42] 任宏利, 丑纪范. 动力相似预报的策略和方法研究. 中国科学D辑: 地球科学, 2007, 37(8): 1101-1109.
[43] 李博, 赵思雄, 陆汉城, 等. 综合多级相似预报技术在暴雨短期预报中的检验. 应用气象学报, 2008, 19(3): 307-314.
[44] 李开乐. 相似离度及其使用技术. 气象学报, 1986, 44(2): 174-183.
[45] 周云霞, 何慧. 相似离度在低温阴雨结束期预报中的应用. 广西气象, 1998, 19(1): 13-14.
[46] 张立祥, 陈力强, 刘文明, 等. 东北区夏季月降水数值产品释用预报方法. 应用气象学报, 2000, 11(3): 348-354.
[47] 张丰启, 崔晶, 王仁胜. 相似离度在入型判别和定时定点定量中的预报中的应用. 气象, 2002, 28(9): 44-48.
[48] 何小娟. 相似离度在钦州市月降水量预报中的应用. 广西气象, 2002, 23(2): 16-18.
[49] 王遂缠, 王锡稳, 李栋梁, 等. 相似离度在甘肃省冬春季强沙尘暴天气入型判别和预报中的应用研究. 中国沙漠, 2004, 24(6): 724-728.
[50] 何慧, 金龙, 谭志年, 等. 动力延伸预报产品在广西月降水预报中的应用. 应用气象学报, 2007, 18(5): 727-731.
[51] VAISALA. 用于道路和跑道的ROSA道面数据采集器用户手册. 2005.
[52] Samodurova TV. Estimation of significance the parameters, influencing on road ice formation (the results of computing experiment). The 11th International Road Weather Conference. 2002.

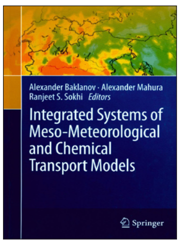
新书架 NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆阅览室阅读或凭索书号借阅



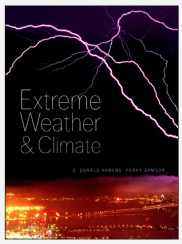
Ocean Dynamics and the Carbon Cycle
《海洋动力和碳循环》

编著者：Richard G. Williams等
出版者：Cambridge University Press
出版年：2011



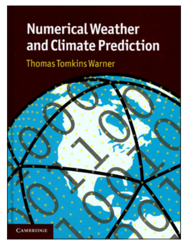
Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models
《中尺度气象和化学传输模式的集成系统》

编著者：Alexander Baklanov等
出版者：Springer
出版年：2011



Extreme Weather & Climate
《极端天气与气候》

编著者：C. Donald Ahrens等
出版者：Brooks/Cole, Cengage Learning
出版年：2011

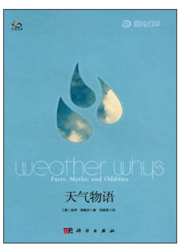


Numerical Weather and Climate Prediction
《数字天气预报和气候预测》

编著者：Thomas T. Warner
出版者：Cambridge University Press
出版年：2011

《太阳风暴揭秘》

编著者：龚建村
出版者：国防工业出版社
出版年：2011
索书号：P182.9/2



《天气物语》

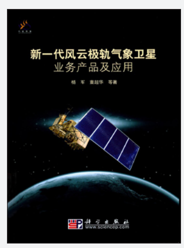
编著者：(美)保罗·耶格尔著；刘芸芸译
出版者：科学出版社
出版年：2011
索书号：P44-49/1

《综合风险防范中国综合气候变化风险》

编著者：吴绍洪等
出版者：科学出版社
出版年：2011
索书号：P467/104

《中国历朝气候变化》

编著者：葛全胜等
出版者：科学出版社
出版年：2011
索书号：P467/101



《新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用》

编著者：杨军，董超华等
出版者：科学出版社
出版年：2011
索书号：P414.4/11

《天气预报技术与方法》

编著者：姚学祥
出版者：气象出版社
出版年：2011
索书号：P456-43/1