

辽宁强对流天气物理量阈值探索统计分析

崔胜权¹ 梁寒² 李爽²

(1 辽宁省气象灾害监测预警中心, 沈阳 110166; 2 沈阳中心气象台, 沈阳 110166)

摘要: 通过对2003—2011年辽宁省强对流天气探空曲线数据文件进行空间及时间构建, 使用MICAPS软件计算统计各物理量参数值, 总结了这些物理量参数值在各类强对流天气的分布区间, 确定了强对流天气类型判断阈值, 其中短时暴雨和冰雹天气的A指数(A)、整层比湿积分(IQ)、K指数(K)、沙氏指数(SI)、0℃高度(H₀)和-20℃层高度(H₋₂₀)六种物理量参数值有明显的区别, 雷雨大风天气介于短时暴雨和冰雹天气之间, 且参数值与两种天气都有较大的交叉。对三类天气的A、IQ和K的对比分析表明, 短时暴雨天气的水汽条件明显要高于冰雹天气, 说明暴雨对水汽的依赖比冰雹天气较高。对比分析H₀和H₋₂₀, 发现冰雹天气的参数值明显低于暴雨天气。发生冰雹天气的SI高于暴雨天气。

关键词: 强对流天气, 物理量, 统计分析

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.05.007

A Statistic Analysis of the Threshold Value of Strong Convection Weather Physical Quantity in Liaoning

Cui Shengquan¹, Liang Han², Li Shuang²

(1 Liaoning Province Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning Center, Shenyang 110166

2 Shenyang Center Meteorological Station, Shenyang 110166)

Abstract: Based on Liaoning Province from 2003 to 2011 in strong convective weather sounding curve data files for building space and time to get the sounding station sounding curve changes in sounding data file, using MICAPS software calculation for each physical quantity parameter values, the physical distribution range of parameter values in all kinds of strong convective weather is summed up, determining the threshold value based on strong convective weather patterns. In terms of short time of heavy rain and the hail weather index (A), Integral Q (IQ), K Index (K), Showalter Index (SI), zero layer height (H₀), 20 degrees below zero height (H₋₂₀), the six kinds of physical quantity parameter values have obvious differences. Strong wind weather between short-term rainstorm and hail weather, and its parameter values with two kinds of weather have comparatively large cross connections: (1) analyzing A, IQ, K of three kinds of weather, it is shown that the water vapor of the short-time heavy rain conditions is significantly higher than that of hail weather, and the heavy rain that depends on water vapor than the hail weather is higher; (2) from the H₀, H₋₂₀ comparing and analyzing the two kinds of physical parameter values of hail weather, the parameter value was lower than that of heavy rain; (3) the hail weather SI is higher than the stormy weather.

Keywords: strong convective weather, physical quantities, statistical analysis

0 引言

探空资料对天气系统的监测和预报有重要作用, 现在已经成为强对流天气预报中必不可少的参考资料之一^[1], 综合利用由探空数据计算的物理量指数进行潜势预报就是重要方法之一。目前国内关于强对流天气的研究很多, 孙继松等^[2]从预报实践的角度讨论了探空和不稳定参数在实际强对流预报中应用的问题, 另外还有通过对天气过程资料的统计分析得出本地

的强对流过程物理量指数阈值, 例如庞古乾等^[3]总结珠三角地区前汛期出现强对流K指数、整层比湿积分(IQ)物理量的阈值。

但是, 常规探空由于观测站稀疏、日观测次数少, 不能很好地描述形成暴雨、冰雹、雷暴大风等强对流天气的特征, 导致利用大量典型个例的诊断分析结果获得强对流天气潜势预报指数比较困难。目前在探空观测中已经增加了02和14时的加密探空观测, 但该观测不定时, 不能满足突发的强对流天气的需求, 因此需要探索新手段来增强探空资料在强对流天气预警中的应用。

为了弥补常规探空资料的不足, 国家强天气预报

收稿日期: 2013年12月26日; 修回日期: 2014年11月19日
第一作者: 崔胜权(1979—), Email: cuishengquan79@163.com
资助信息: 2011年中国气象局预报员专项课题(CMAYBY2011-007)

中心引进了探空构建技术^[4]。利用每日3h间隔地面观测资料，参考临近探空站高空观测资料，假定高空气象要素变化较小，根据地面观测的温度等数据来修正08和20时的探空资料。使用探空构建技术，提取强对流天气发生发展时物理量指数值，使用统计分析方法对大量典型个例进行统计分析，提取强对流天气发生物理量阈值，构建辽宁地区的强对流天气物理量预警指标。

1 资料和方法

1.1 资料

使用2003—2011年辽宁省50个气象观测站的地面气象记录月报表资料、地面观测资料、常规自动站资料 and MICAPS 第五类格式的 $T\text{-log}p$ 温度对数压力图的数据文件；沈阳、营口、大连三部雷达的基本反射率、组合反射率和垂直液态水含量产品资料。

1.2 统计的物理量

- 1) 大气温湿类: A指数 (A)、 IQ 、总指数 (TT)；
- 2) 层结稳定类: 沙氏指数 (SI)、K指数 (K)；
- 3) 热动力综合类: 风暴强度指数 (SSI)、强天气威胁指数 ($SWEAT$)；
- 4) 能量类: 对流有效位能 ($CAPE$)、抑制对流有效位能 (CIN)；
- 5) 特殊高度层高度: 0°C 层高度 (H_0)、 -20°C 层高度 (H_{-20})。

各个物理量公式或定义见附录。

1.3 方法

为弥补我国探空资料分辨率不足的问题，使用探空构建^[4]技术，利用每日3h间隔的地面观测，参考临近探空站高空观测资料，构建11, 14, 17, 23, 02和05时的探空资料。具体构建方法：

1) 空间构建。由于高空探测站较少，短时强对流天气不一定发生在探空本站，按照地理位置相近、地形高度相近、气候特点相近和影响系统相近的特点选取探空站一定范围内的观测站，形成一个面的观测区域，将该区域内任何一站观测的天气现象视为该探空站发生的即时天气（图1）。

2) 时间构建。假定14时（或02时）的高空环境与08时（或20时）相似，将拟构建站的14时（或02时）地面观测资料中的气压、高度、温度、露点、风向及风速作为参考探空站点08时（或20时）探空资料第一层资料，其余高度层资料不变，绘制新的探空曲线和计算相关物理量，得到14时（或02时）相关站点的时间构建探空资料。

A , TT , SI , K , SSI , H_0 和 H_{-20} 反映中高层大气

状态的物理量指数，在时间构建过程中将没有变化； IQ , $SWEAT$, $CAPE$ 和 CIN 反映整层大气状态的物理量，特别是中低层大气变化的物理量指数，时间构建对这几个物理量有一定影响；如果中低层大气不稳定能量加强， $SWEAT$ 和 $CAPE$ 值应该加大， CIN 值减小，底层湿度增加， IQ 也应该增加。

3) 确定探空构建时次。使用沈阳、营口和大连三部雷达的基本反射率、组合反射率和垂直液态水含量产品资料，分析天气过程在雷达资料中的演变过程，确定强对流天气具体发生时间；在强对流天气发展过程中，天气强度最强的时候是在发展成熟阶段，因此应该使用强对流天气发展最旺盛时刻前时间最近的地面资料进行探空构建。

1.4 样本选取标准

1) 冰雹：在同一天内有3个以上的站点出现冰雹天气。

2) 雷雨大风：在同一天内有3个以上的站点出现8级以上的大风并同时伴有雷暴天气，且在过程发生过程中无冰雹天气产生。

3) 短时暴雨：非汛期（5—7月上旬，9—10月）的非区域性暴雨天气过程（辽宁省区域性暴雨天气过程定义：一次天气过程中，全省61个基准站中有10个及以上站出现大于50mm以上降水），同一天内出现10站次以上的短时强降水（ $\geq 10\text{mm/h}$ ）。

1.5 样本数量

短时暴雨天气个例21个，冰雹天气个例13个，雷雨大风天气个例20个。

2 结果分析

2.1 数据统计

强对流天气的发生发展有其特定的环境，是在特定条件下出现的短时灾害性天气，一般雷暴等强对

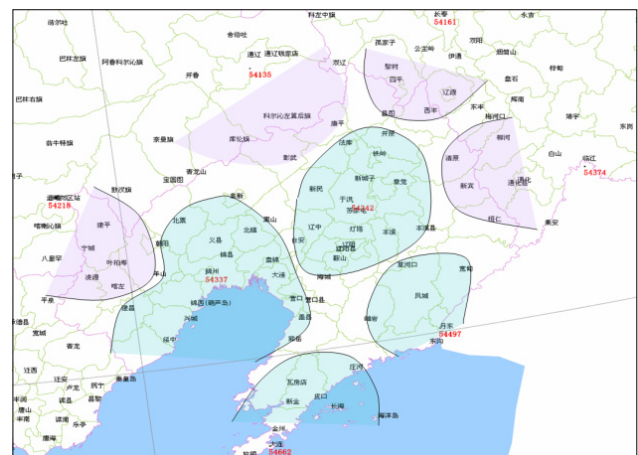


图1 探空站天气观测区域划分

流天气出现必然对应某些物理量的异常。由于能够造成强对流天气发生的物理原因较多,包括地形、大气层结稳定性、局地水汽含量、垂直运动、风的垂直切变、大气不稳定能量和下沉气流强度等,如果仅分析某种物理特征量可能得不到较好的预报结论,因此需要对各种物理量参数进行综合分析,目的在于找到一些较好的预报指标,同时针对这些指标找出强对流天气发生时的阈值,以便预报员定量参考。

因此对冰雹、短时暴雨和雷雨大风的三类强对流天气类型的物理量参数值进行统计,得出12种物理量的值分布范围,如表1所示。

表1 三类强对流天气物理量参数值统计结果

物理量名称	冰雹	短时暴雨	雷雨大风
A	-25~18	3~28	-17~15
IQ	<3000	4500~7200	2000~3500
TT	34~61	42~56	39~58
SI	-2~7	-9~1	-2~4
K 指数	17~30	30~46	10~30
SSI	200~500	250~500	200~500
$SWEAT$	70~550	200~550	40~500
$CAPE/ (J/kg)$	500~3500	500~1800	1000~1500
$CIN/ (J/kg)$	0~2	>2	0~2
H_0/m	<3500	4000~5000	2500~4000
H_{-20}/m	4500~5500	8000~8500	5500~8000

2.2 综合分析

由表1可见, IQ , H_0 和 H_{-20} 三种物理量在三类天气类型有明显的区分,其他物理量的值分布各有差异,下文使用统计学箱型图分别对各种物理量样本数据分布进行详细分析。

2.2.1 沙氏指数和K指数

$SI < 0$ 表示大气不稳定,易产生对流,而 SI 负值越小表示大气越不稳定,对流越强^[5-6],但从图2的 SI 数

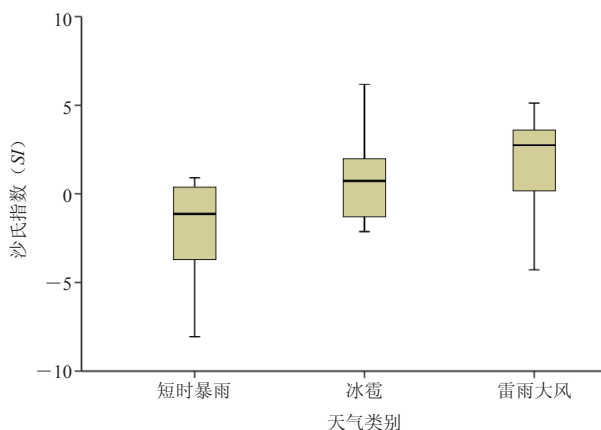


图2 三种强对流天气 SI 值分布对比图(上下边缘为参数最大和最小值;方箱内为50%统计样本分布;方箱中粗黑实线为统计值的平均值)

据分布上看,只有短时暴雨天气的数据符合 SI 的定义,冰雹和雷雨大风数据普遍 >0 。

尽管 SI 没有符合出现冰雹的经验阈值,而实际天气却出现了强冰雹,可以从 SI 的定义出发得到解释, SI 的定义为500hPa环境温度与气块从850hPa干绝热抬升到其凝结高度,然后湿绝热抬升到500hPa高度时的温度之差。探空构建的过程中,只考虑到地面高度、温度、露点、风向和风速的变化,其余高度层资料不变,现实不能反映地面到850hPa的底层整体的水汽变化,如果水汽不能从地面伸展到850hPa,此 SI 则失去代表性^[7]。另外, SI 是基于探测时间的温度和露点的状态指数,未考虑午后可能发生的加热变化,而在冰雹天气要求湿层较薄,低空暖湿,中层却十分干燥,且在天气发生前,在对流层中低层常常出现一个或两个明显的稳定层和逆温层,因此常常会使 SI 失去代表性^[8]。

K 指数是衡量大气中潜在能量多少的一种指标, K 指数在夏季很少出现负值。 K 指数在暴雨上的表现略大于冰雹和雷雨大风天气,说明暴雨对水汽的依赖条件较高^[9];从图3中的 K 指数数据看,冰雹、雷雨大风天气 $K < 30$,明显小于短时暴雨天气($K > 30$),这与 K 指数是反映中低层稳定性和湿度,一般 K 指数值愈大,愈有利降水发生,而冰雹、雷雨大风天气要求湿层较薄,低空暖湿,中层却十分干燥的条件相符合;因此,在有强对流天气发生时, $K > 30$ 时多发生短时暴雨天气, $K < 30$ 多发生冰雹和雷雨大风天气。

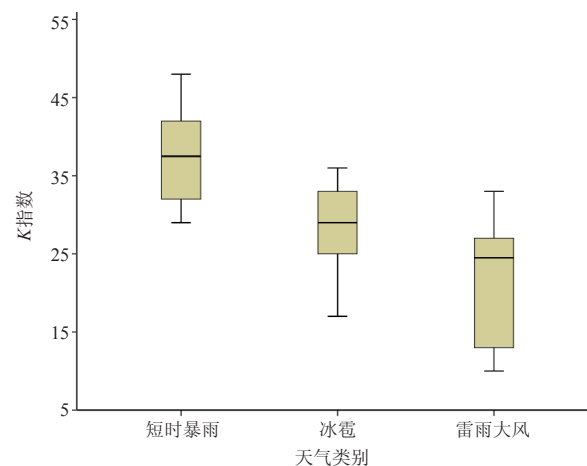


图3 三种强对流天气 K 指数分布对比图(上下边缘为参数最大和最小值;方箱内为50%统计样本分布;方箱中粗黑实线为统计值的平均值)

2.2.2 A 指数和整层比湿积分

根据历史经验, A 在暴雨预报中具有一定的作用,利用单点 A 变化曲线预报降水有一定规律可循。个例表明,当 A 由负值上升到正值时,天气转为阴

雨,达到10以上时多有降水发生, A 下降到负值时则雨停^[9]。从 A 数据分布上看短时暴雨天气 $A>10$,冰雹的 A 介于 ± 10 之间,而雷雨大风的 A 值大部分都 <0 ,其中冰雹和雷雨大风 <0 的数据需要重新考虑使用,冰雹和雷雨大风天气都有伴有降水发生,这与 A 为负值时则没有降水意义相违背,与探空构建时间同冰雹和雷雨大风天气发生时间对应较差有关。因此,当短时暴雨天气发生 $A>10$,当冰雹和雷雨大风天气发生 $10>A>0$ 。

从图4短时暴雨的 IQ 明显大于冰雹、雷雨大风,数值范围在4500~7200,而冰雹、雷雨大风的 IQ 基本上 <3000 ,这与冰雹、雷雨大风天气在中、低层需要有相对干燥的水汽条件,短时暴雨天气整层需要较好的水汽条件相对应。

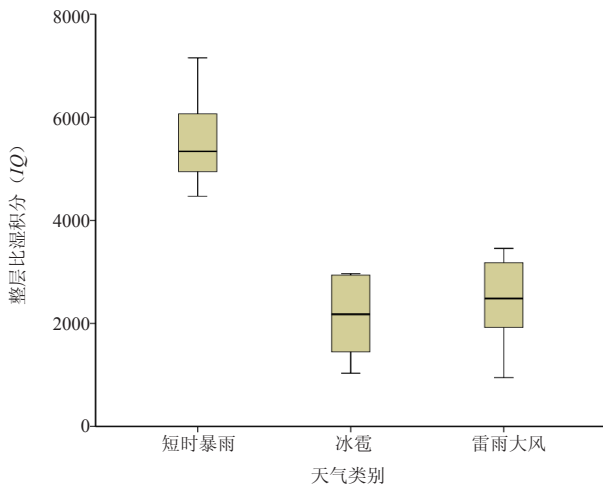


图4 三种强对流天气 IQ 值分布对比图(上下边缘为参数最大和最小值;方箱内为50%统计样本分布;方箱中粗黑实线为统计值的平均值)

2.2.3 0°C层高度和-20°C层高度

强回波相对于 H_0 和 H_{20} 等温线高度的位置是判断大冰雹有效方法^[2]。从实际数据分布(表1)可以看出:

1) H_0 : 发生冰雹天气时 $H_0<3500\text{m}$; 发生雷雨大风天气时 $2500\text{m}<H_0<4000\text{m}$; 发生短时暴雨天气时 $4000\text{m}<H_0<5000\text{m}$;

2) H_{20} : 发生冰雹天气时 $4500\text{m}<H_{20}<5500\text{m}$; 发生雷雨大风天气时 $5500\text{m}<H_{20}<8000\text{m}$; 发生短时暴雨天气时 $8000\text{m}<H_{20}<8500\text{m}$ 。

冰雹和暴雨的区分非常明显,而雷雨大风介于冰雹和暴雨之间,比较接近冰雹天气。

TT 和 SSI 在三种强对流天气类型分布(表1)上没有明显的界限,不能用于区分天气类型。但从实际数据分布上看, TT 最小值分布差别较大,但95%的样本值 >40 , TT 越大表示大气越不稳定; SSI 在三类天气类

型上最小值比较相近,查看天气样本,最小值为冰雹天的一个个例,最小值为208.9。

因此当两种指数处于一定阈值范围有利于强对流天气的发生: $TT>40$ 有利于不稳定天气发生; $SSI>200$ 有利于不稳定天气发生。

$SWEAT$ 对强对流天气的发生有较好指示作用,从样本的分布上看短时暴雨的 $SWEAT$ 比冰雹和短时雷雨大风天气都大,但从 $SWEAT$ 的物理意义上看, $SWEAT$ 值越大越有利于强对流天气发生,并且冰雹相对于短时暴雨是更不稳定的天气,冰雹天气的强天气威胁指数应普遍比短时暴雨天气高,这与探空构建时并不能完全反应冰雹和雷雨大风探空状况有关,因此不能将 $SWEAT$ 用于判别强对流天气的类型。

综上所述,通过对各物理量值的分布特征进行对比分析:(1) IQ , H_0 和 H_{20} 的样本值在短时暴雨和冰雹天气的分布有明显区别且有明确界限,将暴雨最小值和冰雹天气最大值之间的中间值作为判别类型物理量阈值;(2) A , K 和 SI 的样本值在短时暴雨和冰雹天气的分布有较大区别,但样本值分布略有交叉,取能将70%短时暴雨和冰雹样本区分开的值作为判别短时暴雨和冰雹天气类型有效的物理量阈值;(3) TT 和 SSI 样本值分布没有界限,大部分值交叉,不能用于判别强对流天气类型,但样本值分布有共同特点——均存在最小值,且最小值还比较接近,可以在判断天气是否稳定上发挥作用,当 $TT>40$ 、 $SSI>200$ 时有利于强对流天气发生;(4) $CAPE$ 和 $SWEAT$ 样本值分布没有界限,也没有共同特点,需要通过其他技术方法讨论其应用方法。综合以上分析得出判别短时暴雨和冰雹强对流天气类型有效的物理量及其值得分布(表2)。

表2 判别短时暴雨和冰雹天气的物理量参数阈值

物理量	冰雹	暴雨
A	0~10	>10
IQ	<3000	4500~7200
SI	>0	<0
K	<30	>30
H_0/m	<3500	4000~5000
H_{20}/m	4500~5500	8000~8500

3 结论和讨论

1) A , IQ , K , SI , H_0 和 H_{20} 六种物理量参数在短时暴雨、冰雹及短时雷雨大风三种强对流天气类型有明显分布特征,尤其在短时暴雨和冰雹天气有明显区别,因此以上六种指数可以作为判别短时暴雨和冰雹天气类型有效的物理量参数阈值(表2)。

2) TT 和 SSI 不能作为区别强对流天气类型的物理

量阈值,但可应用于判断天气是否稳定,当 $TT>40$ 、 $SSI>200$ 时有利于强对流天气发生。

3) $CAPE$ 和 $SWEAT$ 对强对流天气的发生有较好指示作用, $CAPE$ 和 $SWEAT$ 值越大越有利于强对流天气发生,但从实际数据统计上, $CAPE$ 在200~2200, $SWEAT$ 在40~540,出现这种情况是由于目前探空观测的空间和时间密度不够,即使进行了探空构建也不能保证观测值获取于强对流发生的最佳时间。

4) 文中结论所用资料时间长度较短、样本有限,需要进一步扩大资料的时间长度,充实典型天气个例,满足统计分析结果的普遍性。

5) 探空构建的效果尚需进一步的研究和实际预报的检验;以目前的技术方法提取出部分敏感物理量参数,为在短时预警监测工作中快速判断提供天气类型提供物理量参数指标。

参考文献

[1] 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.
 [2] 孙继松,陶祖钰.强对流天气分析与预报中的若干基本问题.气象,2012,38(2):164-173.
 [3] 庞古乾,伍志方,叶爱芬.珠三角地区前后汛期强对流过程物理量指数对比分析及阈值选取.热带气象学报,2012,28(6):919-923.
 [4] 何立富,周庆亮,谌芸,等.国家级强对流潜势预报业务进展与检验评估.气象,2011,37(7):777-784.
 [5] 张艳玲,袁媛,张鹏,等.冬春季切变类冰雹发生条件的对比分析.气象科学,2004,4(3):357-360.

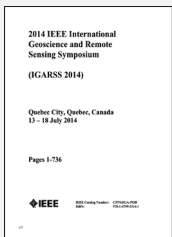
[6] 陆汉城,杨国祥.中尺度天气学原理和预报.北京:气象出版社,2000:198-201.
 [7] 陈晓红,郝莹,周后福,等.一次罕见冰雹天气过程的对流参数分析.气象科学,2007,27(3):335-341.
 [8] 周后福,邱明燕,张爱民,等.基于稳定性和能量指标作强对流天气的短时预报指标分析.高原气象,2006,25(4):716-722.
 [9] 雷蕾,孙继松,魏东.利用探空资料判别北京地区夏季强对流的天气类别.气象,2011,37(2):136-141.

附录:物理量定义说明


名称	公式
A指数 (A)	$A=(T_{850}-T_{500})-[(T-T_d)_{850}+(T-T_d)_{700}+(T-T_d)_{500}]$
整层比湿积分 (IQ)	$IQ=\int_0^{p_0} q dp$ 式中, q 为比湿, p 表示气压, p_0 为地面气压
总指数 (TT)	$TT=T_{850}+T_{d850}-2T_{500}$
沙氏指数 (SI)	$SI=T_{e500}-T_{p500}$
K指数 (K)	$K=(T_{850}-T_{500})+T_{d850}-(T-T_d)_{700}$
风暴强度指数 (SSI)	$SSI=100[2+(0.2761\ln(Shr))+(2.011\times 10^{-4}Eh)]$ 式中, Eh 为浮力能, Shr 平均垂直风切变
强天气威胁指数 (SWEAT)	$SWEAT=12T_d+20(T-49)+4f_s+2f_c+125(S+0.2)$ 式中, T_d 为850hPa温度露点, f_s 为850hPa(单位: m/s), f_c 为500 hPa风速(单位: m/s), S 为Sin(500 hPa风向-850 hPa风向)
对流有效位能 (CAPE)	$CAPE=g\int_{Z_{LFC}}^{Z_{EL}} \frac{T_w-T_v}{T_v} dz$ 式中, T_v 为虚温; 下标 e 和 p 分别表示与环境以及气块有关的物理量; Z_{LFC} 为自由对流高度,是 (T_w-T_v) 由负值转正值的高度; Z_{EL} 为平衡高度,是 (T_w-T_v) 由正值转负值的高度
抑制对流有效位能 (CIN)	$CIN=g\int \frac{T_w-T_p}{T_p} dz$ 式中, T 是该层的平均温度, T_w 和 T_p 分别表示环境与气块的温度

新书架 
NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



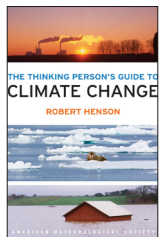
2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium
《2014年IEEE国际地球科学与遥感专题会议》
编著者: IEEE
出版者: IEEE
出版年: 2014



《雷电防护技术及其应用》
编著者: 高学浩
出版者: 气象出版社
出版年: 2015



Earth And Environmental Sciences Vol 2
《地球与环境科学 第2卷》
编著者: Imran Ahmad Dar 等
出版者: Intech
出版年: 2014



The Thinking Person's Guide to Climate Change
《气候变化思索者指南》
编著者: Henson Robert
出版者: American Meteorological Society
出版年: 2014