

高空气象资料在天气现象中的应用分析

许海军, 夏明, 余伟

长沙市气象局, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年6月14日; 录用日期: 2023年7月22日; 发布日期: 2023年7月28日

摘要

文章利用探空资料分别计算露点温度、K指数、沙氏指数、抬升指数等物理参数, 并且对长沙市的冰雹、雷暴和稳定降水进行分类分析, 结合统计学方法分析各物理参数与降水预报之间的相互联系, 归纳出适合于长沙市降水潜势预报的探空指标, 提高长沙市强对流天气的预报预警能力。

关键词

探空资料, 物理量, 降水, 预报

Application Analysis of High-Altitude Meteorological Data in Weather Phenomena

Haijun Xu, Ming Xia, Wei She

Changsha Meteorological Bureau, Changsha Hunan

Received: Jun. 14th, 2023; accepted: Jul. 22nd, 2023; published: Jul. 28th, 2023

Abstract

In this paper, using sounding data, physical parameters, such as dew point temperature, K index, S index and uplift index were calculated respectively, and hail, thunderstorm and steady precipitation in Changsha were classified and analyzed. The correlation between physical parameters and precipitation forecast was analyzed by statistical methods, and the sounding index suitable for precipitation potential forecast in Changsha was concluded, in order to improve the forecast and warning capability of severe convective weather in Changsha.

Keywords

Sounding Data, Physical Quantity, Precipitation, Forecast

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

天气雷达作为探测大气中的各种天气现象和气象要素的大气遥感探测设备,在各种天气过程的快速监测中显示出了不可替代的作用,受到世界上大多数国家和包括世界气象组织在内的相关国际组织的高度重视。我国高空气象探测业务目前使用 L 波段高空探测系统,能够连续自动测定高空中温度、湿度、气压和风向风速。探空资料对于天气系统的监测和预报有着重要作用,是强对流天气预报中必不可少的参考资料之一。[1][2]探空资料能够反映对流天气发生前周围大气垂直方向上的温湿压结构,某些物理量的差异能够一定程度上表征特定环境下某种对流性天气更容易发生。目前,已有学者对强对流天气发生时几种常用的物理量变化特征进行了研究,从中发现了可以应用于本地对流性天气监测预警的规律。

长沙位于中国中南部的长江以南地区,湖南的东部偏北。地处洞庭湖平原的南端向湘中丘陵盆地过渡地带。较易出现暴雨洪涝、雷雨大风、冰雹、雷电等气象灾害。境内大部分地区为山地和丘陵,地形起伏,致使降水量充沛,根据近 30 年气象资料统计,长沙市强对流天气活动较为频繁,特别是进入新世纪以后,下降趋势愈加明显。

2. 资料和方法

选取长沙高空气象探测站(区站号 57679,以下简称高空站)2007~2017 年 L 波段雷达资料和长沙国家基本气象站(区站号 57687,以下简称地面站)对应时段的地面实况资料。[2][3][4]利用 500 hpa、700 hpa、850 hpa 的温度、露点温度(Tsd)等高空数据,计算出对流天气的沙氏指数(SI)、抬升指数(LI)、K 指数(K)、温度露点差(T-Td)以及总指数(TT)与发生了雷暴、大风、强降水、冰雹等强对流实况天气进行对比分析(见表 1)。[5]-[11]将出现雷暴、小时降水量大于等 16.0 mm 的短时强降水(以下简称小时强降水)和日降水量大于等 50.0 mm (以下简称日强降水)、大风时段介于两次高空站观测之间,筛选出两次高空资料的(分别用前、后标注)500 hpa、700 hpa、850 mb 的温度、露点进行计算,分别计算出三个层次的 T-Td、均值和标准差(见表 3)。

[1]-[6]从 2007~2017 年共 4018 天资料中提取了雷暴 348 次、小时强降水 53 次、日强降水 49 次、大风 41 次、冰雹仅 7 次案例。

Table 1. Percentage of strong convective weather corresponding to each index

表 1. 各指数对应强对流天气百分率

指数(°C)		小时强降水(mm)	日强降水量(mm)	大风	雷暴	冰雹
SI < 0	前	62.3	53.0	30.8	55.5	0.0
	后	64.2	49.0	12.8	47.1	0.0
LI < 0	前	60.4	57.1	33.3	56.9	0.0
	后	62.3	44.9	10.3	55.5	0.0
K ≥ 30	前	94.3	85.7	56.4	94.5	0.0
	后	92.5	75.5	33.3	92.8	14.3
TT ≥ 30	前	100	100	87.2	58.3	14.3
	后	94.3	87.8	66.7	75.9	28.6

Table 2. Statistical analysis of short term heavy precipitation (Unit: mm)

表 2. 短时强降水统计分析表(单位: mm)

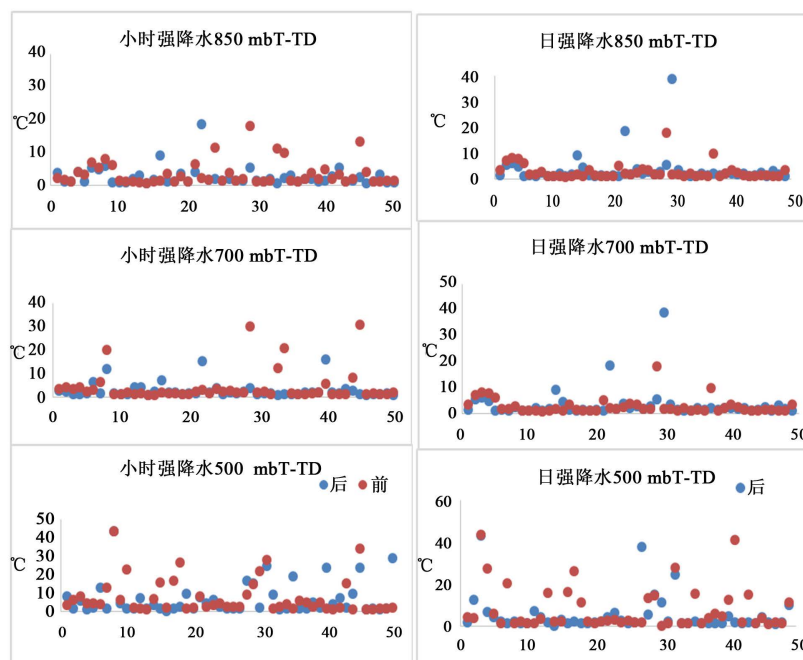
降水区间	16.0~17.9	18.0~19.9	20.0~21.9	22.0~23.9	24.0~25.9	26.0~27.9
平均值	16.9	18.8	20.7	22.9	24.8	26.5
数量(个)	10	8	9	7	3	3
频率(%)	23.26	18.6	20.93	16.28	6.98	6.98

表 2 显示了长沙气象站从 2007 年到 2017 年间短时强降水大于 16 mm 统计情况。短时强降水降水量主要集中在 16.0 mm 至 23.9 mm 范围内，其次较集中在 24.0 mm 至 27.9 mm 范围内。

Table 3. Average and standard deviation of physical quantities in heavy precipitation, thunderstorm, gale, and hail weather (Unit: °C)

表 3. 强降水、雷暴、大风、冰雹天气的物理量平均值和标准差(单位: °C)

天气状况	平均值/标准差	500 hpa		700 hpa		850 hpa		T500-850	
		T-TD	T-TD	T-TD	T-TD	T-TD	T-TD	ΔT	ΔT
小时强降水	前平均/标准差	7.5	9.1	4.1	6.5	3.4	3.5	-23.4	1.7
	后平均/标准差	6.7	8.6	3.0	4.2	3.1	5.2	-23.0	1.9
日强降水	前平均/标准差	8.0	10.2	3.3	5.5	2.7	3.0	-22.3	2.2
	后平均/标准差	5.3	8.5	3.4	4.3	3.2	5.9	-21.7	2.9
雷暴	前平均/标准差	12.1	12.9	4.4	6.2	3.3	4.0	-22.8	3.2
	后平均/标准差	9.9	11.8	4.0	5.1	3.2	3.9	-22.4	3.4
大风	前平均/标准差	18.7	14.2	5.6	8.1	4.4	5.4	-21.5	3.8
	后平均/标准差	18.1	13.9	4.3	5.1	3.7	4.7	-21.1	4.9
冰雹	前平均/标准差	12.6	16.1	4.5	6.3	3.1	2.6	-13.1	4.1
	后平均/标准差	20.3	12.9	2.5	2.5	1.4	0.2	-13.9	5.1



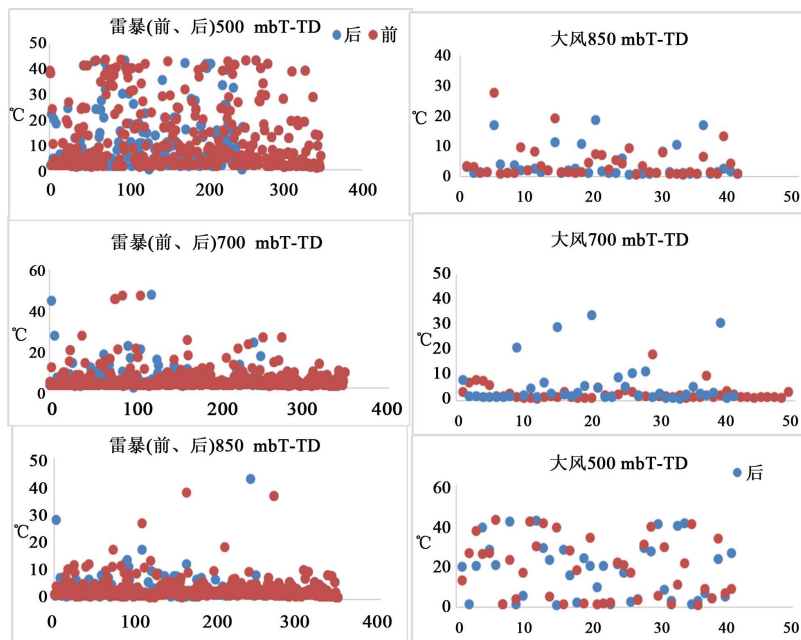


Figure 1. Mean difference in dew points at 500, 700, and 850 hpa temperatures under different convective weather conditions

图 1. 500、700、850 hpa 温度露点差值均值不同对流天气

从各物理量的前后差值统计(见图 1), 强降水 SI、LI、K、TT 指数变量 75% 以上大于 1℃; 雷暴 SI、LI 指数变量不确定, K、TT 指数变量绝大多数没有变化; 而大风 SI、LI 指数变量的 65%、K、TT 指数变量的 76% 以上大于 2℃。

3. 探空资料物理量特征分析

3.1. K 指数

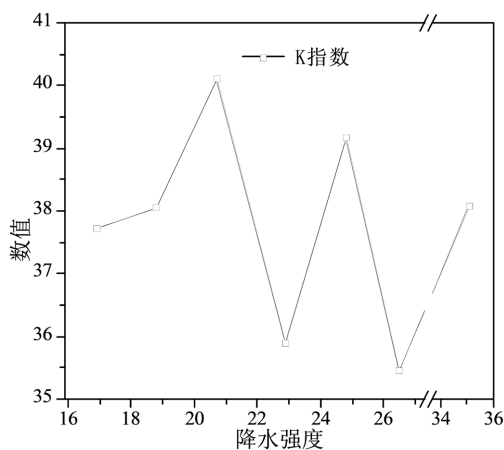


Figure 2. Relationship between precipitation intensity and K index

图 2. 降水强度与 K 指数的关系图

K 指数是判断大气层结稳定性的一种指标, 数值越大, 层结稳定性越小。层结越不稳定, 一般定义为大于 30 和 35 时有零星和成片雷暴产生。

图 2 显示了降水强度与 K 指数的关系。能够看出, K 指数整体大于 35.5, 说明大气中水汽极易层结, 产生降水, 表明短时强降水前, 大气已经处于层结状态, 将会产生降水。根据 K 指数, 对于综合反映中低层垂直温度直减率、低层绝对湿度和相对湿度情况的物理量, 用于暴雨预报较好的理论, 在表 1 中可以看出, 当 K、TT 指数 > 30 时, 与强降水天气达到 90% 以上的吻合度, K 指数与雷暴天气吻合度也达到了 90% 以上。统计中发现 348 次的雷暴, 有 315 次与阵性降水同时出现。

3.2. 露点温度(Tsd)

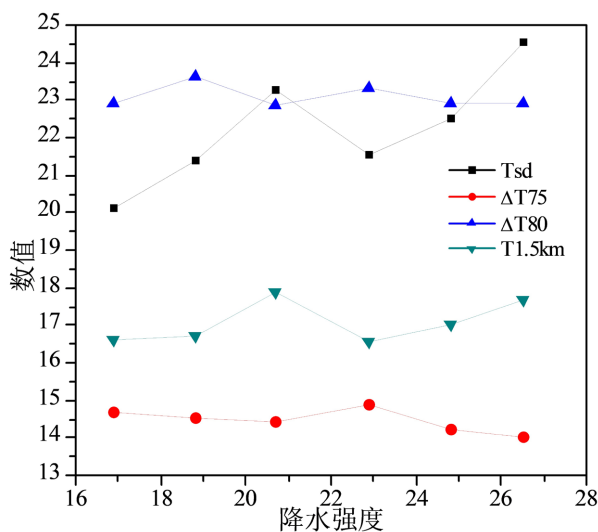


Figure 3. Relationship between precipitation intensity and dew point temperature
图 3. 降水强度与露点温度关系图

图 3 显示了降水强度与地面露点温度、700 hPa 与 500 hPa 温差、850 hPa 与 500 hPa 温差、1.5 km 高度露点温度的关系图。能够看出, Tsd 随降水强度增加, 先从 20.1 升高到 23.3, 再降低至 21.5, 然后升高至 24.5, T1.5 km 保持在 17.0°C 上下, ΔT75 保持在 14.5°C 左右, ΔT80 在 22.9~23.6°C 范围内。Tsd 表明地面具有较高的水汽含量与较高的温度, 促进水汽向高空抬升。T1.5 km、ΔT75 和 ΔT80 表明高空温度在抬升过程中, 促使水汽具有相当大的动能继续向高空迁移, 这些能够保证短时强降水的有效形成。

3.3. 温度露点差(T-Td)

1.5 km 高度温度露点差是 1.5 km 高度大气层中水气含量的一种指标, 数值一般为正值, 数值越小, 水气含量越大。图 4 显示了降水强度与 1.5 km 高空温度露点差的关系图。能够看出, (T-Td) 1.5 数值大于 1.45, 随着降水强度的增加, 先升高到 2.36, 再降低到 1.67, 然后升到 2.73。表明短时强降水前, 1.5 km 高空有大量水汽存在, 能够在抬升作用下, 为上层提供水汽输送。高低空的温差反映了大气垂直温度梯度, 是判断雷雨天气的重要依据。从表 3 中可以看出, 小时强降水天气的高空与低空的温度露点差均值达到了-23°C 以上, 日强降水天气、雷暴天气的高低空温差均值达到-22°C 左右或以上, 大风天气高低空温差均值达到-21°C 以上, 冰雹天气的高低空温差均值为-13°C 以上, 可能是个例较少的原因。湿湿条件的差异反映了对于强对流天气的影响。由于强降水需要整层的湿层, 从表 3 和图 1 (冰雹图略) 可以发现, 底层的温度露点差均值约为 3°C, 接近饱和状态, 离散度均小于高层。从统计数据看, 500 hpa 的温度露点差有较大的不确定性, 离散度较大。

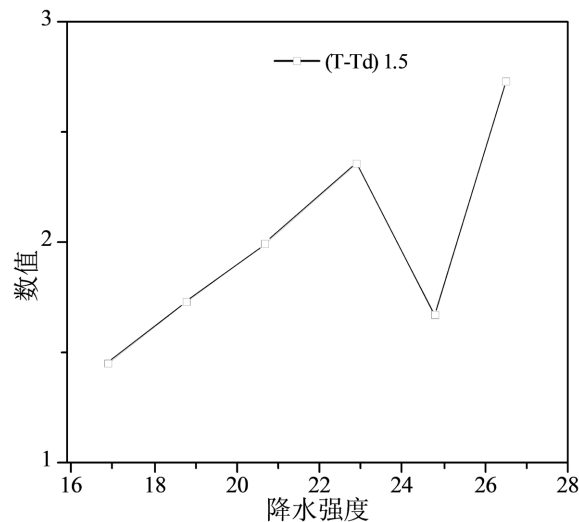


Figure 4. Relationship between precipitation intensity and temperature dew point difference at a height of 1.5 km
图 4. 降水强度与 1.5 km 高度温度露点差的关系图

3.4. 总指数(TT)

TT 越大, 越容易发生对流天气, 不稳定能量的大小与空气湿度有关。湿度越大, 越有利于对流发展。从表 1 中可以看出, 当 TT 指数 > 30 时, 与强降水天气达到 90% 以上的吻合度, 因此, 不稳定能量又被称为潮湿不稳定能量。

TT 与大风非常相关, 在 11 年的统计中, 41 次大风仅 3 次无降水发生; 但各参数对应冰雹的出现的一致性比较差, 这可能是因为在冰雹出现时一般具有比较深厚的逆温层, 强对流发生前期逆温层的存在有利于不稳定能量的聚集。理论上认为, 当有逆温层时, SI、LI 指数无意义。而对于其它强对流天气, 是否存在逆温层并不是必要条件。

3.5. 沙氏指数(LI)与抬升指数(SI)

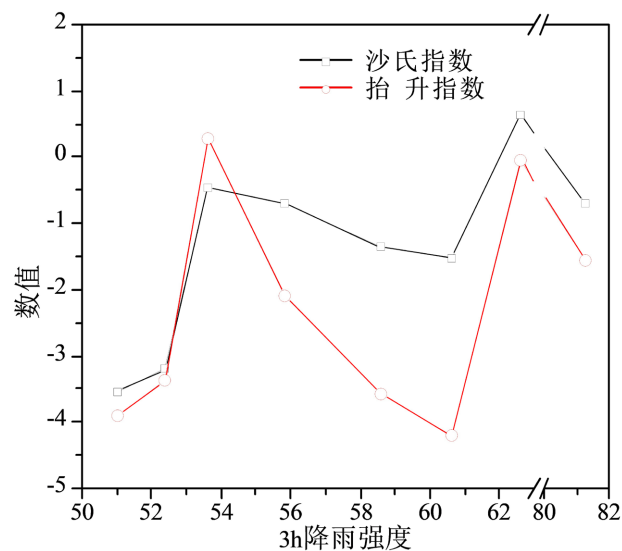


Figure 5. Relationship between precipitation intensity and sandwich index and uplift index
图 5. 降水强度与沙氏指数、抬升指数的关系图

气象上指由于浮力作用导致的垂直方向的热传输称为对流。理论上,当 $SI > 0$ 时,表示气层较稳定,当 $SI < 0$ 时,则表示气层不稳定,负值越大,气层越不稳定。LI 和 SI 指数的差别只是抬升的起始高度不一样。

图 5 显示了 3 h 降水强度与沙氏指数、抬升指数的关系。能够看出,沙氏指数与抬升指数均小于 0.64。沙氏指数随着降水强度的增加,先从 -3.55 升高至 -0.45,再缓慢下降至 -1.54,然后上升到 0.64,最后降低至 -0.71。表明 3 h 降水前,大气处于不稳定状态或较低的稳定状态,可能由于某些因素导致降水。抬升指数随着降水强度的增加,先从 -3.91 升高至 0.29,再迅速下降至 -4.20,然后上升到 -0.06,最后降低至 -1.55。表明 3 h 降水前,大气中存在抬升运动,可能这种运动发生在其他地方导致观测到的抬升运动不强烈,但也为 3 h 降水提供了条件。

4. 讨论

4.1. 高空站数据采集存在着一些不确定性

按照规范要求,在遇到大风、强雷暴、大暴雨等天气原因可以延迟施放气球,造成施放气球时间上的不确定性的客观原因;

当气球未上升到 500 hpa 高度时,在规定的时间内(最多延时 30 分钟)可以重放球,否则做缺测处理,这就与个人的业务能力和仪器质量相关,造成重放球时间上不确定性的主观、客观原因;

对气球充气技术的掌握,可以导致气球飞行上升速度不一,造成不确定性的主观因素;

由于高空探测数据的接收是以每秒为分辨率计算的,在处理高空数据时,有可能在处理数据上每个人之间存在差异的不确定性。

4.2. 地面天气现象记录的不确定性

由于责任心存在差异,可能会有漏记录或追记录现象的不确定性;

在识别天气现象的能力上存在着观测技术水平差异,造成错误的记录天气的不确定性;

由于粗心导致出现的天气现象,结果记录到了其它时间的不确定性。

等等以上原因都可能对数据造成影响,使记录存在一些差异。

5. 总结

文章利用探空资料分别计算露点温度、K 指数、沙氏指数、抬升指数等物理参数,对长沙市的稳定性降水进行分类研究,统计分析发现,各物理参数对稳定性降水的判别比较明显。

SI、LI、K、TT 指数对强对流天气有一定的判断依据,但不能甄别强对流类别。

K、TT 指数与强降水天气的吻合度很高,K 指数与雷暴天气的吻合度高,TT 与大风非常相关,各物理量与存在逆温层的冰雹不理想。

长沙出现雷暴、大风、冰雹几乎伴随着降水现象。不同类别的强对流天气高低空的温差不同;由于强对流天气常常与降水同时出现,低层的温度露点差表现接近饱和,提供了水汽保障。不同类别的强对流天气,前后的各物理量差值不同。实际业务中,一次强对流过程中很可能伴有多种灾害性强对流天气现象。对于长沙地区雷暴大风以及其他强对流天气现象(冰雹、短时强降水等)的产品特征值得进一步开展研究。今后,应利用更多观测设备和资料,完善长沙地区强对流天气的预警指标体系,更有效地应用于预警服务中。

参考文献

- [1] 李佳英,俞小鼎,王迎春.用探空资料检验中尺度数值模式对强对流天气的诊断分析能力[J].气象,2006,32(7):

13-17.

- [2] 王凯, 王秀丽, 达布希拉图, 李静. 利用探空资料统计分析巴彦淖尔市冰雹过程的物理量特征[J]. 内蒙古气象, 2017(1): 23-27.
- [3] 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[J]. 气象, 2011, 37(2): 136-141.
- [4] 胡好莉, 刘志刚, 申延美. 一次暴雨过程的新一代天气雷达回波分析[J]. 黑龙江气象, 2008, 25(1): 19-21+25.
- [5] 夏敏洁, 周文君, 裴海瑛, 戴竹君. 基于L波段雷达探空资料的南京低空逆温特征[J]. 大气科学学报, 2017, 40(4): 562-569.
- [6] 刘晓初, 李潇潇, 李燕, 李雪松, 黄振. 大连地区雷暴大风探空资料和雷达回波特征分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(11): 176-181.
- [7] 沈宏彬, 陶祖钰, 张义. 成都双流机场一次多雷暴天气的雷达回波分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2003, 39(1): 58-67.
- [8] 许晶. 一次暴雨天气过程的多普勒雷达特征分析[J]. 内蒙古气象, 2011(6): 60-62.
- [9] 次仁德吉, 何晓红. 运用雷达回波分析拉萨一次强对流降水天气过程[J]. 西藏科技, 2007(10): 59-61.
- [10] 周治黔, 吕海, 雷登林. 一次强雷暴天气过程的雷达回波分析[J]. 贵州气象, 2005, 29(4): 18-20.
- [11] 岑易峰, 王建新. 南宁机场一次暴雨天气过程分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(z2): 26-30.