

成都双流机场近5年短时强降水特征分析

林 莉

民航西南空管局气象中心，四川 成都

收稿日期：2022年9月30日；录用日期：2022年10月28日；发布日期：2022年11月7日

摘要

利用2015至2019年双流机场的例行天气报告(METAR)、特殊天气报告(SPECI)、民航气象地面观测薄纪要栏资料以及温江站探空资料，结合民航气象地面观测规则对双流机场短时强降水进行统计分析，采用分类散点图，对发生在双流机场的短时强降水过程的临近时段探空物理量(整层垂直比湿积分IQ、K指数、SI指数、CAPE、 $\theta_{se850\text{ hPa}}$ 、 $\theta_{se850\text{ hPa} - 500\text{ hPa}}$ 、850 hPa比湿q、850 hPa气温T等)进行分析，得到了不同季节短时强降水过程临近时段探空物理量的参数阈值，在临近预报中为预报员分析判断降水强度提供参考依据。

关键词

航空气象，短时强降水，探空资料，物理量

Characteristics of Flash Heavy Rain in Chengdu Shuangliu Airport in Recent 5 Years

Li Lin

Meteorological Center of Southwest Air Traffic Control Bureau, Chengdu Sichuan

Received: Sep. 30th, 2022; accepted: Oct. 28th, 2022; published: Nov. 7th, 2022

Abstract

Based on the routine weather report (METAR), special weather report (SPECI), the summary column of the civil aviation meteorological ground observation book of Shuangliu Airport from 2015 to 2019, and sounding data of Wenjiang station, combined with the civil aviation meteorological ground observation rules, makes a statistical analysis on the flash heavy rain of Shuangliu Airport, and uses the classified scatter diagram to analyze the near time sounding physical quantities of flash heavy rain processes in Shuangliu Airport (vertical specific humidity integral IQ, K index, SI

index, Cape, θ_{se} _{850 hPa}, θ_{se} _{850 hPa - 500 hPa}, 850 hPa specific humidity q, 850 hPa temperature T, etc.) are analyzed, and the parameter thresholds of radiosonde physical quantities in the near time of flash heavy rain process with different intensities in different seasons are obtained, which provides a reference basis for forecasters to analyze and judge the precipitation intensity.

Keywords

Aviation Meteorology, Flash Heavy Rain, Radiosonde Data, Physical Quantity

Copyright © 2022 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

短时强降水(flash heavy rain)是指在短时间内出现的很强的降水事件，我国天气预报业务中一般指 1 h 雨量在 20 mm 或 3 h 雨量在 50 mm 以上的降水事件[1][2]。西南地区以山地为主，地形地势复杂，且暴雨频发。每年都会出现因暴雨天气引发的洪涝灾害，对工农业、交通运输等国民经济造成很大的损失[3]。短时强降水在时间尺度上强调降水强度，即雨强。在空间尺度上，短时强降水一般由对流降水形成，且为典型的中小尺度系统驱动，其造成的衍生灾害往往表现为局地而短促，如山体崩塌、滑坡、城市道路积水、暴洪(flash flood)[4]。《民用航空气象地面观测规范》所指的短时强降水，中等强度的降水：雨落如线，雨滴不易分辨，水洼形成较快；或降雨强度为 2.6 mm/h~8.0 mm/h，主导能见度大于或等于 500 米但小于 1000 米。强(大)降水：雨落如倾盆，模糊成片，雨声如擂鼓，水潭形成极快；或降雨强度为大于或等于 8.1 mm/h，由于该天气现象影响，主导能见度小于 500 米。说明短时强降水(中等及以上强度降水)对民航的正常运行是有一定影响。

关于我国短时强降水时空分布特征已做了大量研究[5][6]，短时强降水通常需要关注大尺度强迫，比如深槽脊、低涡、强锋区、低空急流、高空急流、高空辐散气流等；要素主要关注水汽分布、大气可降水量以及不稳定层结情况，目前取得了不少成果，而对成都双流机场短时强降水，过去的研究针对性不强。因此本文拟对 2015~2019 年双流机场短时强降水进行特征分析，为预报员掌握该地的降水特征，做好强降水的短时临近分析以及短期预报预警提供参考。

2. 资料方法

本文采用 2015 至 2019 年双流机场的例行天气报告 METAR、特殊天气报告 SPECI、民航气象地面观测簿纪要栏资料以及温江站探空资料，其中 METAR、SPECI、民航气象地面观测簿资料包含中等及以上强度降水(RA, +RA, SHRA, +SHRA)发生、结束时间，伴随天气等信息，其中降水强度(中、强)判断标准满足《民用航空气象地面观测规范》要求，+SHRA、+RA 为强(大)降水，SHRA、RA 为中等强度降水；探空资料采用了垂直比湿积分(IQ)、K 指数、沙氏指数 SI、对流有效位能(CAPE)、假相当位温(θ_{se})、850 hPa 和 500 hPa 假相当位温差(θ_{se} _{850 hPa - 500 hPa})、850 hPa 和 500 hPa 气温差($T_{850 hPa - 500 hPa}$)、850 hPa 比湿($q_{850 hPa}$)等数据。短时强降水天气个例采用 micaps 的实况资料。根据双流机场降水的气候特点和气象要素的月变化情况，分别对冬季、春季、夏季短时强降水进行分析。考虑部分探空物理量存在很大的日变化，按每日获取探空资料时间(北京时间 08 时、20 时)，取短时强降水发生时刻最临近的探空资料进行分析。

3. 双流机场 2015 至 2019 年短时强降水过程的统计特征

3.1. 短时强降水出现日数

根据上述分类标准, 2015 至 2019 年共计 148 日出现短时强降水(中等及以上强度降水), 图 1 给出了双流机场中等及以上强度降水的逐年分布情况, 可见, 双流机场 2019 年出现短时强降水日数最多, 2015 年出现短时强降水日数最少。并且出现大(阵)雨当日均会出现中等强度的降水, 2015 至 2019 年大(阵)雨共出现 45 日。大(阵)雨出现日数约占短时强降水日数的 30%。2015 至 2018 年呈现上升趋势, 不同强度降水逐年分布特征类似。

图 2 给出了双流机场中等及以上强度降水的逐月分布情况。7 月和 8 月出现短时强降水日数占总出现日数的 53%; 4 月、5 月、6 月、9 月出现日数相当, 约 10~15 日; 1 月、2 月、3 月、10 月短时强降水出现日数极少, 均在 3 日以下。11 月、12 月均未出现短时强降水, 故在后文不对 11、12 月分析。

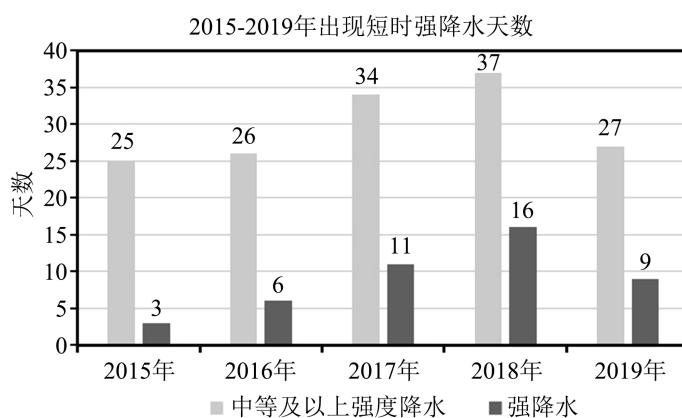


Figure 1. Annual distribution characteristics of flash heavy rain days in Shuangliu airport

图 1. 双流机场短时强降水日数逐年分布特征

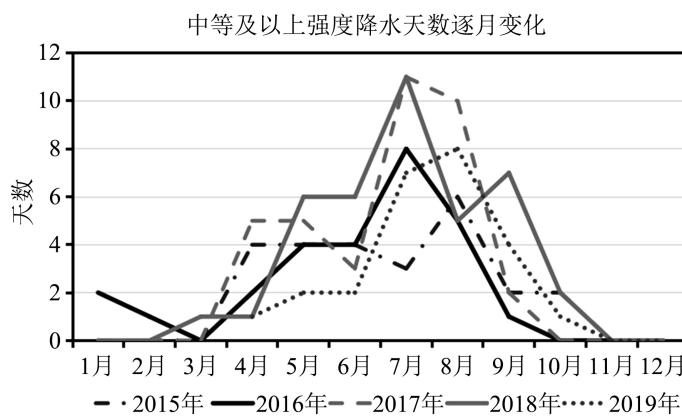


Figure 2. Monthly distribution characteristics of flash heavy rain days in Shuangliu airport

图 2. 双流机场短时强降水日数逐月分布特征

3.2. 短时强降水出现次数

2015 至 2019 年共计出现 255 次短时强降水(中等及以上强度降水), 图 3 给出了双流机场中等及以上

强度降水的逐年分布情况，可见，双流机场 2018 年出现短时强降水次数最多，2015 年出现短时强降水次数最少。2015 至 2019 年大(阵)雨共出现 65 次。大(阵)雨出现次数约占短时强降水次数的 25%。2015 至 2018 年呈现上升趋势，不同强度降水次数逐年分布特征类似。

图 4 给出了双流机场中等及以上强度降水次数的逐月分布情况。6 月开始出现次数明显上升，7 月和 8 月出现短时强降水次数最多，占总次数的 66%；4 月、5 月、6 月、9 月出现次数相当，基本在 2~12 次之间；1 月、2 月、3 月、10 月短时强降水出现次数极少，均在 3 次以下。

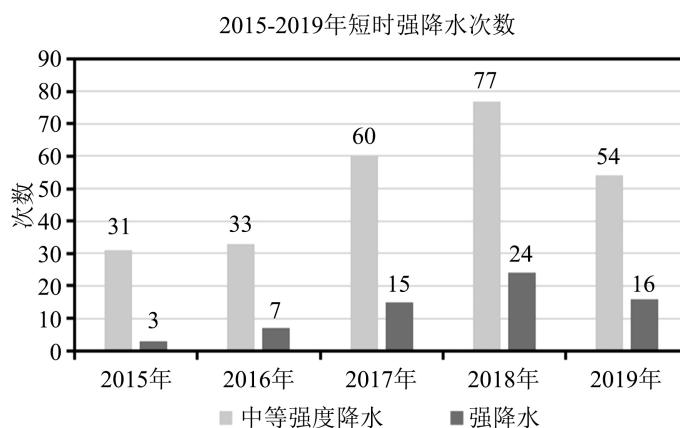


Figure 3. Annual distribution characteristics of frequency of flash heavy rain at Shuangliu airport

图 3. 双流机场短时强降水次数逐年分布特征

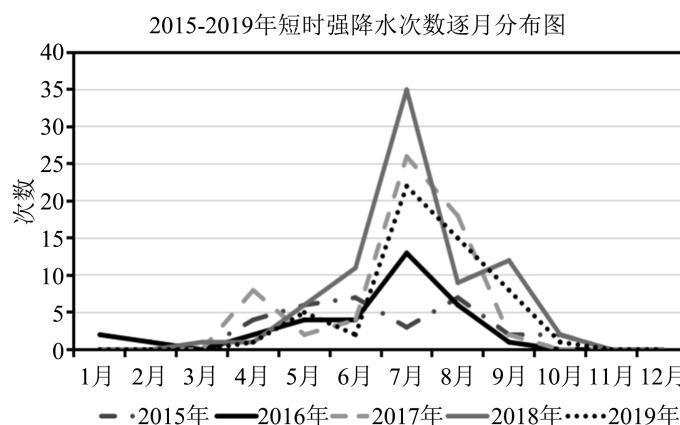


Figure 4. Monthly distribution characteristics of frequency of flash heavy rain at Shuangliu airport

图 4. 双流机场短时强降水次数逐月分布特征

3.3. 短时强降水持续时间

从图 5、图 6 短时强降水持续时间来看，2015~2019 年中等强度降水持续时间为 20~33 分钟，大(阵)雨持续时间为 18~28 分钟。短时强降水的逐月分布情况来看，除 2016 年 4 月 6 日中阵雨持续时间(133 分钟)较长以外，4~9 月短时强降水持续时间大约 20~40 分钟；1 月、2 月、10 月短时强降水持续时间跨度较大，持续 8~41 分钟不等；3 月短时强降水持续时间最短，10 分钟以内。另外双流机场有很明显的夜间降水的特征，所以夜间出现短时强降水的日数大于白天出现短时强降水的日数。

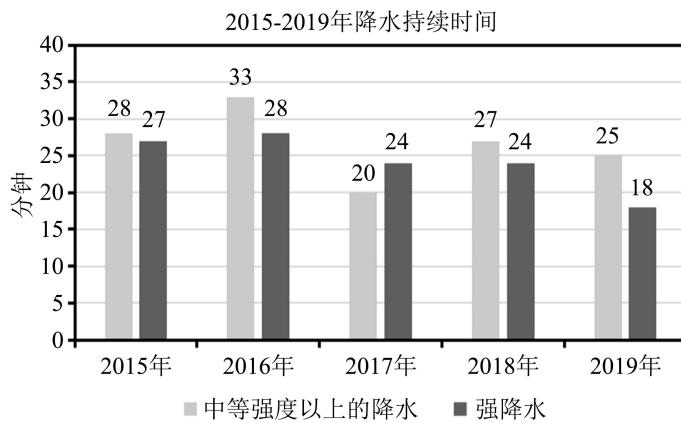


Figure 5. Annual distribution characteristics of mean duration of flash heavy rain at Shuangliu airport

图 5. 双流机场短时强降水平均持续时间逐年分布特征

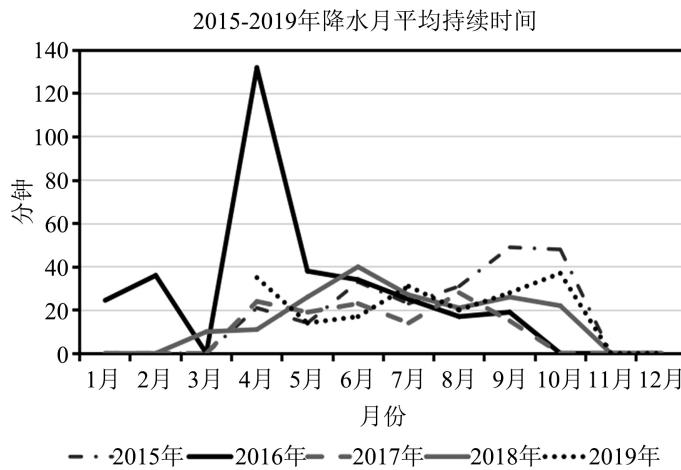


Figure 6. Monthly distribution characteristics of mean duration of flash heavy rain at Shuangliu airport

图 6. 双流机场短时强降水平均持续时间逐月分布特征

4. 双流机场短时强降水探空物理量特征分析

降水过程本质上是大气中水汽凝结、碰并的结果，即由气态水转变为大粒径的液态或固态物质降落到地面的过程(假定它在下落过程中没有被蒸发和耗散掉)。因此，大气中的水汽是降水形成的物质基础，也是判断降水强度和累计降水量的重要因子[7] [8]。在天气诊断分析和预报业务中，预报员常常利用大气柱内比湿的垂直积分(即整层大气水汽含量或大气可降水量)来判断暴雨或短时强降水的强度。

常用的对流参数可以根据定义分为几类：大气温湿类参数，用表示大气中水汽的多少，如整层垂直比湿积分(IQ)、比湿 $q_{850 \text{ hPa}}$ ；热力综合参数，反应大气温湿状态，如 K 指数， $\theta_{\text{se}}{}_{850 \text{ hPa}}$ ；层结稳定度参数，表示大气层结是否稳定，如沙氏指数(SI)、 $\theta_{\text{se}}{}_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$ ；表示不稳定能量的大小，如对流有效位能(CAPE)等。

双流机场大(阵)雨出现在 4 至 9 月，因此，为了解不同类型和强度降水各对流指数的特征，将 2015~2019 年的短时强降水分为主雷暴的短时强降水(-TSRA, TSRA, +TSRA)，中等强度降水(SHRA, RA)和强降水(+SHRA, +RA)。从表 1 可看到不同类型降水各对流指数变化情况，不同类型的短时强降水 $K > 37$ ，

垂直比湿积分 IQ 大于 4900 g。伴雷暴降水和强降水 IQ 均大于 5200 g, 其余各对流指数均比较接近, 从统计来看双流机场强降水(+SHRA)日数中有 87% 都出现了雷暴天气。

Table 1. Average distribution of convection indices of different types of precipitation

表 1. 不同类型降水各对流指数平均分布情况

对流指数 降水类型	IQ (g)	SI (°C)	KI (°C)	CAPE (J/kg)	q _{850 hPa} (g/kg)	θse _{850 hPa - 500 hPa} (°C)	T _{850 hPa - 500 hPa} (°C)
伴雷暴降水 (-TSRA, TSRA, +TSRA)	5270	-1	39	1415	15.3	10.7	23
中等强度降水 (SHRA, RA)	4969	0.4	37	900	14	5.2	22
强降水 (+SHRA, +RA)	5522	-1.1	40	1244	15.9	10.7	23

双流机场一般夏季 6、7、8 月出现短时强降水次数最多, 其次是春季 3、4、5 月, 秋季 9、10 月, 春秋季节多出现混合型降水。冬季 1、2 月出现短时强降水最少, 且均为稳定型降水。从表 2 各对流指数季节分布情况可知, 夏季垂直比湿积分 IQ 平均达 5361 g, SI 指数-0.5, KI 指数 38, CAPE 值在四个季节中最高达 859 J/Kg, 表征大气层结的不稳定特点较强。850 hPa 与 500 hPa 温度差达 23.5°C (一般强雷暴温差达 26°C 以上), 说明短时强降水的高低层温差条件不太大。850 hPa 与 500 hPa 的假相当位温差, 表征中低层对流不稳定情况, 夏季短时强降水的假相当位温差平均为 7.5°C ($\theta se_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$ 达 6°C 以上表征对流不稳定层结较强), 说明夏季发生短时强降水的大气层结垂直温度梯度往往不大, 但对流不稳定层结均较强。

Table 2. Seasonal distribution of each convection index

表 2. 各对流指数季节分布情况

对流指数	IQ (g)	SI (°C)	KI (°C)	CAPE (J/kg)	q _{850 hPa} (g/kg)	θse _{850 hPa - 500 hPa} (°C)	T _{850 hPa - 500 hPa} (°C)
春季	3543	0.9	34	122	1	1.1	12.3
夏季	5361	-0.5	38	859	15.2	7.5	21.6
秋季	4094	2.8	32	267	11.3	-0.9	23.5
冬季	1642	11	15	9.1	4.65	-16	24.6

4.1. 双流机场夏季(6月、7月和8月)短时强降水探空物理量特征分析

夏季是双流机场短时强降水出现日数和频次最高的季节, 在民航机场短时临近预报过程中, 实况探空中的物理量指标可以指征大气环境场不稳定层结、水汽分布及抬升条件的重要参考, 下面采用二维分类散点图来探索多探空指标与短时强降水过程的可能关系。

图 7(a) 给出了夏季双流机场短时强降水过程 $\theta se_{850 \text{ hPa}}$ 与 $\theta se_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$ 的散点分布图, θse 是综合表征大气温湿状态的物理量, 可看做低层能量的累积, 可以看到所有短时强降水过程, 850 hPa θse 高于 60°C, 7 月份 850 hPa θse 高于 65°C, 8 月份 850 hPa θse 基本在 75°C 以上。 $\theta se_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$ 基本位于 0°C~20°C

的环境中。8月份850 hPa θ_{se} 高于75°C时，则 $\theta_{se_{850 \text{ hPa}} - 500 \text{ hPa}}$ 基本大于10°C。850 hPa与500 hPa假相当位温差均大于6°C，表明夏季，特别是盛夏7、8月份大气低层温湿条件较好，且对流不稳定性较为明显时，易发生短时强降水。图7(b)给出了CAPE与SI短时强降水的关系，可见个例散点分布较分散，7、8月CAPE值出现高值比例较高，可接近4000 J/kg。SI分布也较为分散，大部分小于0，部分个例SI接近0。8月份SI分布比较一致，除个别例外，基本都小于0。利用CAPE、SI判断夏季短时强降水的阈值区间还是跨度较大。但通过分析可知，夏季短时强降水发生时的不稳定能量越接近8月份，所需要的CAPE值越高，SI值越低。

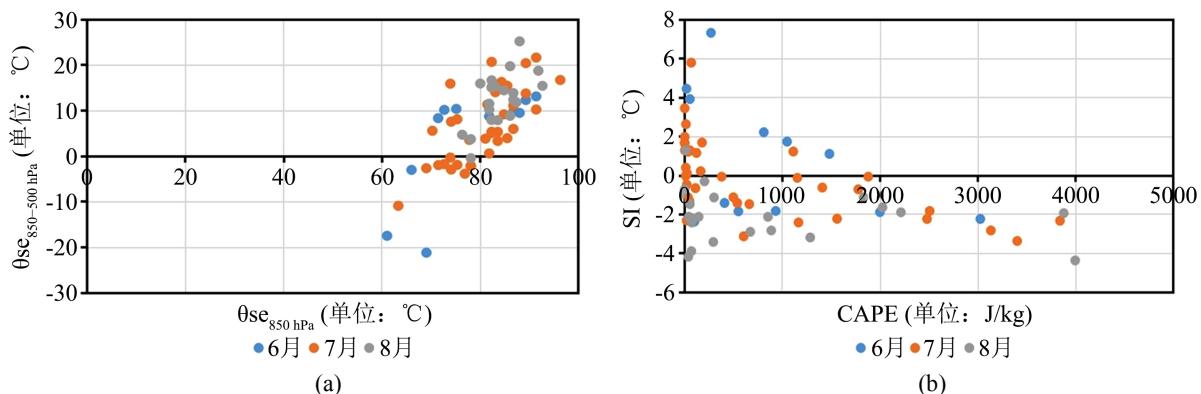


Figure 7. Characteristics of sounding physical quantities of summer flash heavy rain process at Shuangliu airport ((a) $\theta_{se_{850 \text{ hPa}}}$ and $\theta_{se_{850 \text{ hPa}} - 500 \text{ hPa}}$; (b) CAPE-SI index)

图7. 双流机场夏季短时强降水过程探空物理量特征((a) $\theta_{se_{850 \text{ hPa}}}$ 与 $\theta_{se_{850 \text{ hPa}} - 500 \text{ hPa}}$; (b) CAPE-SI 指数)

图8(a)给出了双流机场夏季短时强降水过程K指数和 $T_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$ 的分布图，可以看到大部分短时强降水过程发生在 $K > 35^\circ\text{C}$ (除9次个例 $K < 35^\circ\text{C}$)，8月份的K指数基本 $\geq 38^\circ\text{C}$ 。 $T_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$ 均达到15°C以上，少数个例超过了27°C (强雷暴温差达27°C以上)，结合假相当位温分析，说明发生短时强降水的大气层结垂直温度梯度往往不大。从图8(b)垂直比湿积分IQ和850 hPa比湿 q 的关系分布来看，大多数过程垂直比湿积分IQ大于4000 g, 850 hPa比湿 q 均大于10 g/kg, 大多数短时强降水过程发生在850 hPa比湿 q 大于15 g/kg, IQ > 5000 g的背景下，说明短时强降水发生，均需要整层垂直比湿积分IQ较高，且低层850 hPa湿度较高的环境下。

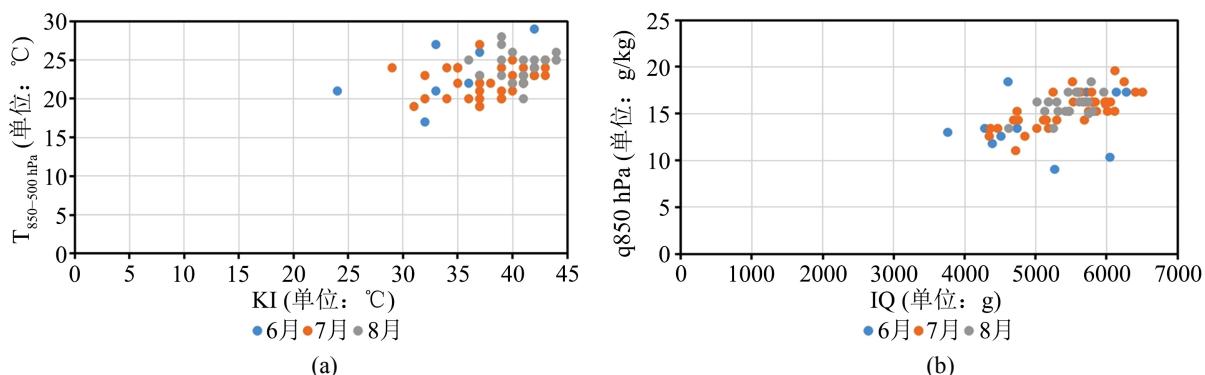


Figure 8. Characteristics of sounding physical quantities in summer flash heavy rain process at Shuangliu airport ((a) K index- $T_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$; (b) $q_{850 \text{ hPa}}$ -vertical specific humidity integral IQ)

图8. 双流机场夏季短时强降水过程探空物理量特征((a) K 指数- $T_{850 \text{ hPa} - 500 \text{ hPa}}$; (b) 850 hPa 比湿 q -垂直比湿积分 IQ)

4.2. 双流机场春季和秋季(3、4、5月和9、10月)短时强降水探空物理量特征分析

图9(a)给出春秋季双流机场短时强降水过程垂直比湿积分 IQ 和 850 hPa 比湿 q 的分布图, 大多数过程垂直比湿积分 IQ 大于 3000 g, 850 hPa 比湿 q 均大于 9 g/kg, 大多数短时强降水过程发生在 850 hPa q 大于 15 g/kg, IQ > 4000 g 的背景下, 整层垂直比湿积分 IQ 和低层 850 hPa 湿度均小于夏季。图9(b)给出了短时强降水过程 CAPE 与 SI 的关系, 可见个例散点分布较分散, CAPE 值春季整体大于秋季, 但春季有较多个例发生在 CAPE 接近 0 的条件下, 春季 CAPE 值出现在 1000~4000 J/kg 的值比例较高。SI 分布也较为分散, 春季 SI 小于 0 的个例较多, 秋季 SI 大部分大于 0, 春季的短时强降水发生比秋季更满足强对流天气发生的标准。图9(c), $\theta_{se_{850\text{hPa}}}$ 与 $\theta_{se_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}}$ 的散点分布图, 可以看到, 所有短时强降水过程, 都发生在 850 hPa θ_{se} 高于 45°C, 春季 850 hPa θ_{se} 大部分高于 60°C。 $\theta_{se_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}}$ 基本位于 -10°C~27°C 的环境中, 850 hPa 与 500 hPa 假相当位温差较大, 但整体分布没有夏季集中。表明春秋季, 强对流天气整层的对流不稳定性没有夏季强。图9(d)给出了春秋季短时强降水过程 K 指数和 $T_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}$ 分布图, 可以看到大部分短时强降水过程发生在 K > 30°C, 而春季 K 指数基本 30°C~45°C 之间, 秋季 K 指数基本小于 40°C。 $T_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}$ 基本都在 17°C~27°C, 少数个例超过了 27°C (强雷暴温差达 27°C 以上), 结合假相当位温分析, 说明春秋季发生短时强降水的大气层结垂直温度梯度往往不大。

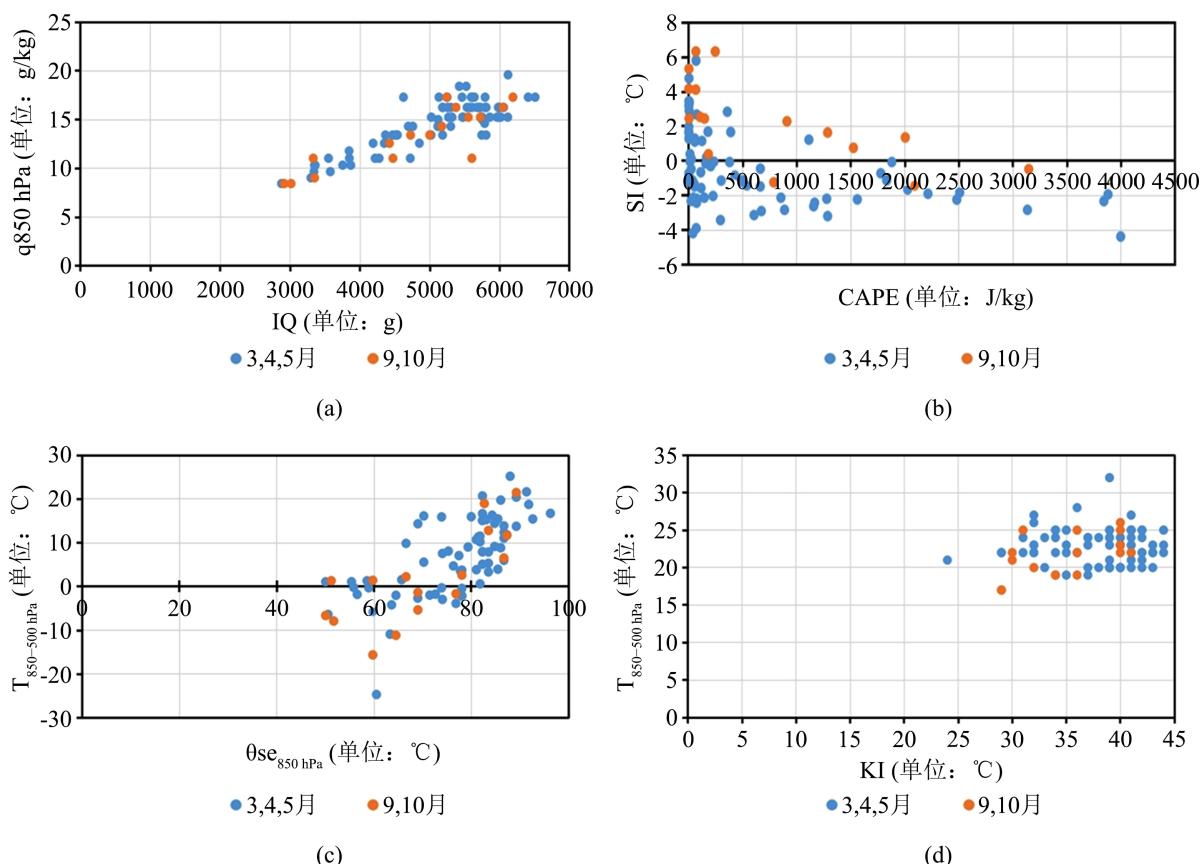


Figure 9. Characteristics of sounding physical quantities of short-time heavy precipitation process in spring and autumn at Shuangliu airport ((a) $q_{850\text{hPa}}$ -vertical specific humidity integral IQ; (b) CAPE-SI index; (c) $\theta_{se_{850\text{hPa}}}$ and $\theta_{se_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}}$; (d) K index- $T_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}$)

图9. 双流机场春秋季短时强降水过程探空物理量特征((a) 比湿 $q_{850\text{hPa}}$ -垂直比湿积分 IQ; (b) CAPE-SI 指数; (c) $\theta_{se_{850\text{hPa}}}$ 与 $\theta_{se_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}}$; (d) K 指数- $T_{850\text{hPa}-500\text{hPa}}$)

5. 结论

- 1) 双流机场短时强降水在盛夏季节 7 月和 8 月出现日数和次数最多, 月平均可出现 7 日, 15 次。4 月~6 月、9 月出现日数和次数相对减少; 1 月~3 月、10 月出现极少, 均在 3 次以下。春夏季 4 月~9 月短时强降水持续时间大约 20~40 分钟, 大(阵)雨持续时间平均为 18~28 分钟。
- 2) 夏季短时强降水 K 均大于 37°C, 垂直比湿积分 IQ 大于 4900 g。伴雷暴和强降水 IQ 均大于 5200 g, 87% 大阵雨当日都出现了雷暴天气。
- 3) 夏季短时强降水, 特别是盛夏 7、8 月份短时强降水, 大气低层温湿条件较好, 大气层结垂直温度梯度往往不大, 但对流不稳定性较为明显。利用 CAPE、SI 判断夏季短时强降水的阈值区间还是跨度较大。
- 4) 通过对春夏秋季各对流指数的分析, 得到了不同季节短时强降水临近时次探空的垂直比湿积分 IQ、K 指数、SI 指数、CAPE、 $\theta_{se850\text{ hPa}}$ 、 $\theta_{se850\text{ hPa}-500\text{ hPa}}$ 、比湿 $q_{850\text{ hPa}}$ 、 $T_{850\text{ hPa}-500\text{ hPa}}$ 参数的分布特征和阈值, 特别是盛夏 7、8 月大气低层温湿条件较好, 且对流不稳定性较为明显时, 易发生短时强降水。上述参数分布特征可在短时强降水临近预报中为预报员判断降水强度提供参考依据。

参考文献

- [1] 孙继松. 短时强降水和暴雨的区别与联系[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(6): 498-506.
- [2] 陈贝, 高文良, 周学云. 四川盆地西南部短时强降水天气特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2016, 36(3): 14-20.
- [3] 白晓平, 王式功, 赵璐, 尚可政, 刘晓潭, 明如军. 西北地区东部短时强降水概念模型[J]. 高原气象, 2016, 35(5): 1248-1256.
- [4] 毛冬艳, 曹艳察, 朱文剑, 等. 西南地区短时强降水的气候特征分析[J]. 气象, 2018, 44(8): 1042-1050.
- [5] 樊李苗, 俞小鼎. 中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 156-165.
- [6] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 202-209.
- [7] 徐双柱, 韦惠红. 关于强对流天气预报的几点思考[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(3): 197-202.
- [8] 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 强对流天气短时临近预报业务进展与挑战[J]. 气象, 2010, 36(7): 33-42.