

文章编号: 2096-1618(2024)03-0313-07

基于 GPS 水汽观测网的一次冀中平原短时强降水的水汽特征分析

周涛^{1,2}, 许敏², 王清川², 李娜², 张湘涵²

(1. 河北省气象与生态环境重点实验室, 河北 石家庄 050021; 2. 河北省廊坊市气象台, 河北 廊坊 065000)

摘要:为深入研究强降水天气过程的水汽特征,利用地面常规气象观测资料和区域自动站资料、GPS 可降水量以及 ERA5(0.25°×0.25°)再分析资料,对 2021 年 7 月 5–6 日发生在冀中平原的一次强降水天气过程的水汽变化情况进行详细分析。结果表明:(1)此次天气过程出现在高空槽前和低空切变区内,强盛的中低空西南气流和水汽通量辐合为冀中平原提供了良好的水汽条件;(2)强降水出现时段集中在 GPS 可降水量峰值前、后 1 h 内,当 GPS 可降水量跃升至 40 mm 以上,且 2~3 h 的增幅超过 4.5 mm 时,降水强度迅速增大,或短时强降水突现,而当 2 h 内 GPS 可降水量的降幅超过 7.5 mm 时,降水强度明显减弱。当 GPS 可降水量持续低于 35 mm 时,降水基本结束;(3)GPS 可降水量数值的变化与降水强度有显著的对应关系,同时其空间分布差异也在一定程度上指示了强降水的开始、结束和落区。

关键词:短时强降水;GPS 可降水量;水汽特征

中图分类号:P458

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcu.2024.03.008

0 引言

短时强降水指降水效率超过 20 mm/h 和降水持续时间不超过 6 h 的强降水,降水集中时段一般在 3 h 内^[1],因其局地性、突发性、致灾性强等日益受到广泛关注。短时强降水均具有对流的属性^[2],通常是在有利的大尺度环境条件下,由中小尺度对流系统直接产生^[3–4]。有研究表明^[5–9],对流对风暴附近环境影响十分敏感,温度和水汽等初始小扰动会对风暴的发生和发展有重要影响。多位学者^[10–16]通过(模式)探空资料对短时强降水过程的关键环境参量分析,得到与温、湿条件相关的预报预警指标。

以上研究成果均表明,水汽条件作为影响对流的主要环境三要素之一^[17],其时空分布及其相变所产生的潜热,在大气能量转换和天气系统演变中起着重要的作用,田付友等^[2,10]在研究强降水过程指出,环境大气中水汽多少可能是决定短时强降水级别的必要因素。李文娟等^[18]也证明了水汽因子,尤其是整层可降水量,在预报杭州市区短时强降水的物理量中指示意义最好。刘新伟等^[19]对两次短时强降水过程进行对比分析,发现在大气环流背景基本相同的情况下,水汽条件好的天气过程雨强更大,短时强降水出现站次也更多。由此可见,水汽条件是影响短时强降水预报准确率的一个关键因素。

近年来,新型高分辨资料的涌现为水汽条件的精细化分析提供了依据,其中 GPS 可降水量的广泛应用

有效弥补了传统探空资料在时空分辨率上的不足^[20–24]。郭英莲等^[25]利用 GPS 水汽资料研究发现,测站水汽总量变化与本站降水关系密切。朱义青等^[26]分析发现,地面强降水在 GPS 可降水量峰值出现 1 h 后发生,对地面降水变化反映较敏感。顾佳佳等^[27]发现 GPS 可降水量在强降水发生之前出现急升,当其迅速下降时,降水强度明显减弱,单站 GPS 可降水量变化对降水强度变化有一定的指示意义。杨磊等^[28]、刘晶等^[29]指出每次强降水过程前均存在 GPS 可降水量快速增加的现象,杨磊等^[28]还发现,最大增量一般集中出现在强降水发生前 1~3 h。上述研究成果在分析水汽特征的基础上,也为短时强降水的短临预警提供了可行的方法。

冀中平原地处河北中部,是中国华北地区强降水高发地之一,每年夏季都给当地人民的生产生活造成很大影响。虽然预报和科研人员对该地区的短时强降水开展过不少研究^[30–31],但始终未能完全突破对短时强降水的对流属性 and 对其形成机理认识的局限性,使各种时效的预报预测面临较大的挑战^[32–33],尤其是目前针对新型资料在强降水中的应用研究较少,此类天气过程中的物理量演变特征还有待进一步探索。为此,本文选取 2021 年 7 月 5–6 日冀中平原一次短时强降水过程作为典型个例,着重应用 GPS 可降水量资料对水汽特征进行深入分析,并进一步探讨短时强降水的可预报性,旨在为冀中平原短时强降水的精细化预报服务提供参考依据。

1 资料介绍

冀中平原选取廊坊、保定中东部、雄安新区和沧州

西北部共 25 个县(市、区)作为研究对象,位于 $37.8^{\circ}\text{N}\sim 40.2^{\circ}\text{N}$ 、 $114.8^{\circ}\text{E}\sim 117.2^{\circ}\text{E}$ (图 1)。所用数据包括河北省气象局提供的常规气象观测资料和区域自动站资料、国家气象中心下发的分布式数据 GPS 可降水量以及 ERA5($0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$)再分析资料。

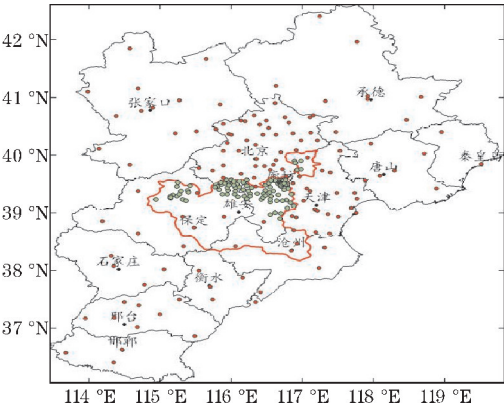


图 1 短时强降水站点(绿色圆点)和地基 GPS 站点(红色圆点)分布(红色闭合线区域为所研究冀中平原)

分析过程中,针对同一行政区域内出现一个及以上短时强降水站点只选取其中一个站点分析,具体选取标准依据地基 GPS 站点位于短时强降水站点同一回波移动路径的上游,且两者距离较近。10 个行政区具体分析站点见表 1。由于回波移动路径在固安站上游无地基 GPS 站点,因此对固安站不作分析。其余 9 个站点中有 3 对是使用同一地基 GPS 站点数据,因此只选取其中距离较近进行详细分析。

表 1 地基 GPS 站点与短时强降水站点相关参数

地基 GPS 站点	短时强降水站点		GPS 站点与短时强降水站点距离/km
	国家站	区域站	
涿州	涿州	—	0
永清	永清	—	0
廊坊	—	荣营(廊坊)	7.9
易县	—	下岭(易县)	10.3
文安	—	大柳河(文安)	13.7
涿州	高碑店	—	18.9
651556(顺义)	—	邵府(大厂)	23.9
文安	—	辛章(霸州)	37.6
651556(顺义)	—	王家摆(香河)	39.8
—	固安	—	—

2 降水实况与环流背景

2.1 降水实况

2021 年 7 月 5 日下午到夜间,冀中平原中北部出现区域性暴雨天气(图 2),最大降水量(152.7 mm)出现在廊坊市安次区仇庄乡。本次过程共有 10 个县(市)行政区域出现短时强降水,累计 104 站次,其中小时雨强超过 30 mm/h 的站点达到 47 个,最大小时雨

强 48.7 mm/h ,出现在易县西陵(7 月 5 日 21–22 时),强降水落区主要出现在冀中平原的中东部和中北部,以及中西部部分地区(图 1)。应用 GPS 可降水量,对短时强降水过程的水汽特征进行详细分析,并进一步探讨 GPS 可降水量的变化对短时强降水的落区及开始和结束时间有何指示意义。

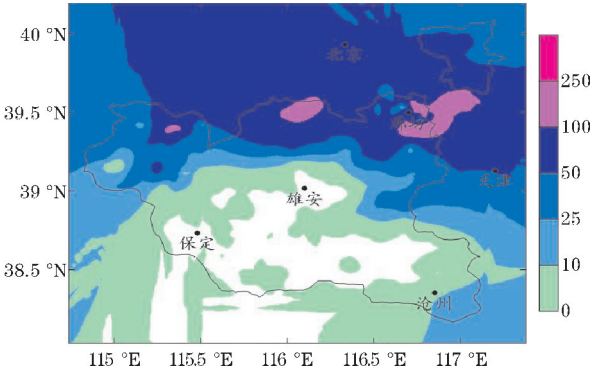
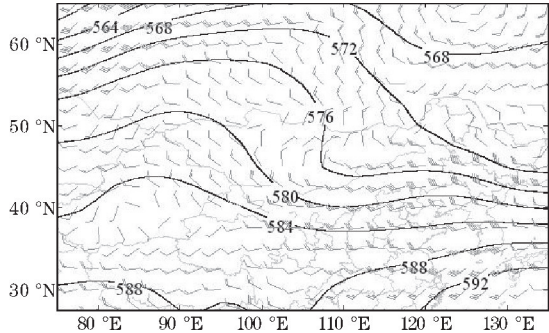


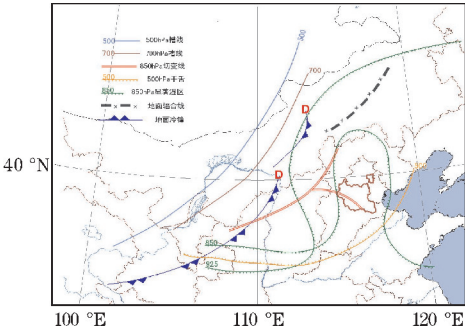
图 2 2021 年 7 月 5 日 14 时–6 日 08 时冀中平原累计降水量

2.2 环流形势

2021 年 7 月 5 日 14 时(图 3),500 hPa 和 700 hPa 槽位于内蒙古中西部地区,500 hPa 冀中平原处于干侵入区,925 hPa 和 850 hPa 位于显著湿区范围内,构成“上干下湿”的不稳定层结,同时 850 hPa 的“人”字形切变线位于晋冀交界,冀中平原处于切变区,925 hPa 局地风速超过 14 m/s ,地面冷锋位于内蒙古中部到河套东部地区,冀中平原处于地面风速辐合区。冀中平原在低层暖湿气流控制、中高层干冷空气入侵的垂直不稳定层结下,出现了一次显著的短时强降水过程。



(a) 位势高度场和风场叠加



(b) 系统配置

图 3 2021 年 7 月 5 日 14 时 500 hPa 位势高度场(实线)、风场(风矢量)叠加与高低空系统配置

3 分析结果

3.1 水汽通量散度

水汽条件对短时强降水的形成有重要作用^[31,34]。本次过程中共出现104站次短时强降水,其中在7月5日23时-6日00时出现站次最多,达到47个站次,且强降水站点集中出现在116.17°E~116.82°E、39.14°N~39.60°N(图4红色方框所示)。7月5日

23时,925 hPa(图4a)和850 hPa(图4b)强降水区处于水汽通量辐合区,比湿最大值均超过12 g/kg,风场以东南或西南风为主,风速局地超过12 m/s,700 hPa(图4c)处于水汽通量辐合到辐散区的过度带,比湿在8 g/kg左右,500 hPa(图4d)转为偏西风控制,比湿在3 g/kg左右,为水汽通量辐散区,低层辐合、高层辐散,有利于上升运动,同时低层的暖湿空气与高层的干冷空气形成不稳定层结,为强降水的形成提供了有利条件。

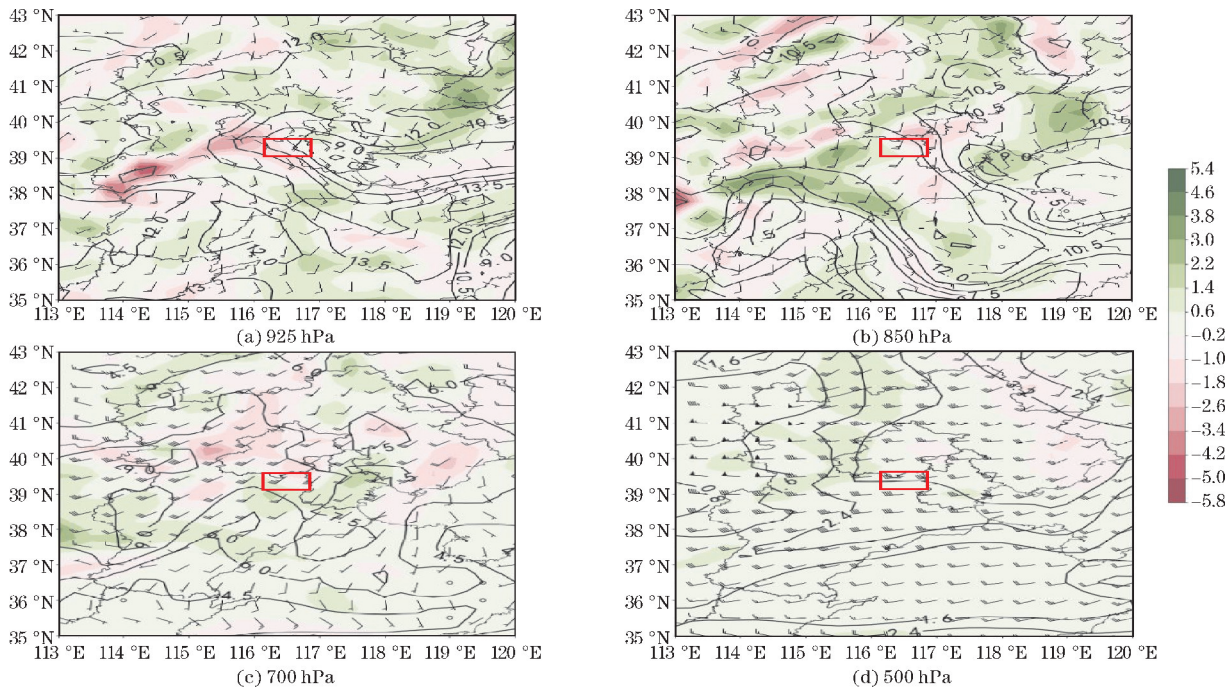


图4 2021年7月5日23时水汽通量散度(填色、比湿(等值线)和风场叠加,红色方框为所研究强降水区域)

3.2 单站GPS可降水量与小时降水量对比分析

为进一步了解强降水地区的水汽逐时变化情况,选取6个代表站进行详细分析(图5)。涿州站(图5a)共出现4个时次短时强降水,首次出现时间是5日18-19时,GPS可降水量对应过去1~3 h变幅分别为1.5 mm、3.3 mm和4.6 mm,此后GPS可降水量继续增大,到22时达到峰值,在此过程中又出现3个时次短时强降水,对应过去1~3 h变幅分别为2.8 mm、3.4 mm、4.9 mm,1.5 mm、4.3 mm、4.9 mm,-0.6 mm、0.9 mm、3.7 mm。其中22-23时强降水出现在峰后1 h内,其间GPS可降水量虽略有下降,但一直保持在46 mm以上。强降水结束后GPS可降水量迅速下降,1~3 h的变幅分别为-3.4 mm、-7.8 mm和-10.8 mm,此期间伴随降水强度明显减弱。永清站(图5b)出现短时强降水时间是5日23时-6日00时,GPS可降水量在6日00时达到峰值,对应过去1~3 h GPS可降水量变幅分别为1.8 mm、5.1 mm和4.6 mm。此后3 h内GPS可降水量迅速下降,变幅分别为-5.8 mm、-9.7 mm和-11.5 mm,前2小时伴随降水强度明显减弱,第3小时降水结束。

廊坊荣营站(图5c)共出现4个时次短时强降水,期间出现3次峰值。首次出现强降水时间是5日16-17时,GPS可降水量在17时达到峰值,其对应过去1~3 h变幅分别为6.2 mm、9 mm和7.1 mm,随后GPS可降水量波动下降,到5日22时后又迅速上升,在5日23时-6日00时出现第4次强降水,此后GPS可降水量迅速下降,1~3 h的变幅分别为-3.3 mm、-7.9 mm和-11.7 mm,前2小时伴随降水强度明显减弱,第3小时降水结束。其中第一次强降水后GPS可降水量仍然达到51 mm,其对应过去1~3 h的变幅分别为-0.1 mm、6.1 mm和8.9 mm,但5日17-18时并未出现降水,而5日19-21时连续出现了两个时次强降水,两次强降水对应过去1~3 h GPS可降水量的变幅分别为3.6 mm、-0.6 mm、-0.7 mm,-6.3 mm、-1.9 mm、-6.9 mm。另外,第一次强降水后1~3 h的变幅分别为-0.1 mm、-5.1 mm和-0.7 mm,前2小时分别为无降水和降水强度明显减弱,第3小时(19-20时)却出现了强降水。第二次强降水后1 h内GPS可降水量下降6.3 mm,20-21时却同样出现了强降水,此期间GPS可降水量的最小值为44.1 mm。

易县下岭站(图5d)出现短时强降水时间是5日20-

21 时, GPS 可降水量对应过去 1~3 h 的变幅分别为 1.6 mm、5.3 mm 和 7.1 mm。强降水后 1 h 内 GPS 可降水量达到峰值, 随后 GPS 可降水量开始下降, 强降水后 1~3 h 变幅分别为 2 mm、0.9 mm 和 -2.1 mm, 3 h 内降水强度均有所减弱, 但在前 2 小时内仍出现了 10 mm/h 以上的降水。文安大柳河站(图 5e)出现短时强降水时间是 6 日 00~01 时, 01 时 GPS 可降水量达到峰值, 对应过去 1~3 h GPS 可降水量变幅分别为 0.5 mm、6.9 mm 和 5.2 mm。此

后 2 h 内 GPS 可降水量迅速下降, 变幅分别为 -6.2 mm 和 -9.1 mm, 第 1 小时后降水强度明显减弱, 第 2 小时降水结束。大厂邵府(图 5f)出现短时强降水时间是 5 日 14~15 时, 15 时 GPS 可降水量达到峰值, 对应过去 1~3 h GPS 可降水量变幅分别为 5.4 mm、5.9 mm 和 6.7 mm。此后 2 h 内 GPS 可降水量迅速下降, 变幅分别为 -1.1 mm 和 -5.2 mm, 第 1 小时后降水强度明显减弱, 第 2 小时降水结束。9 个站点分析结果详见表 2。

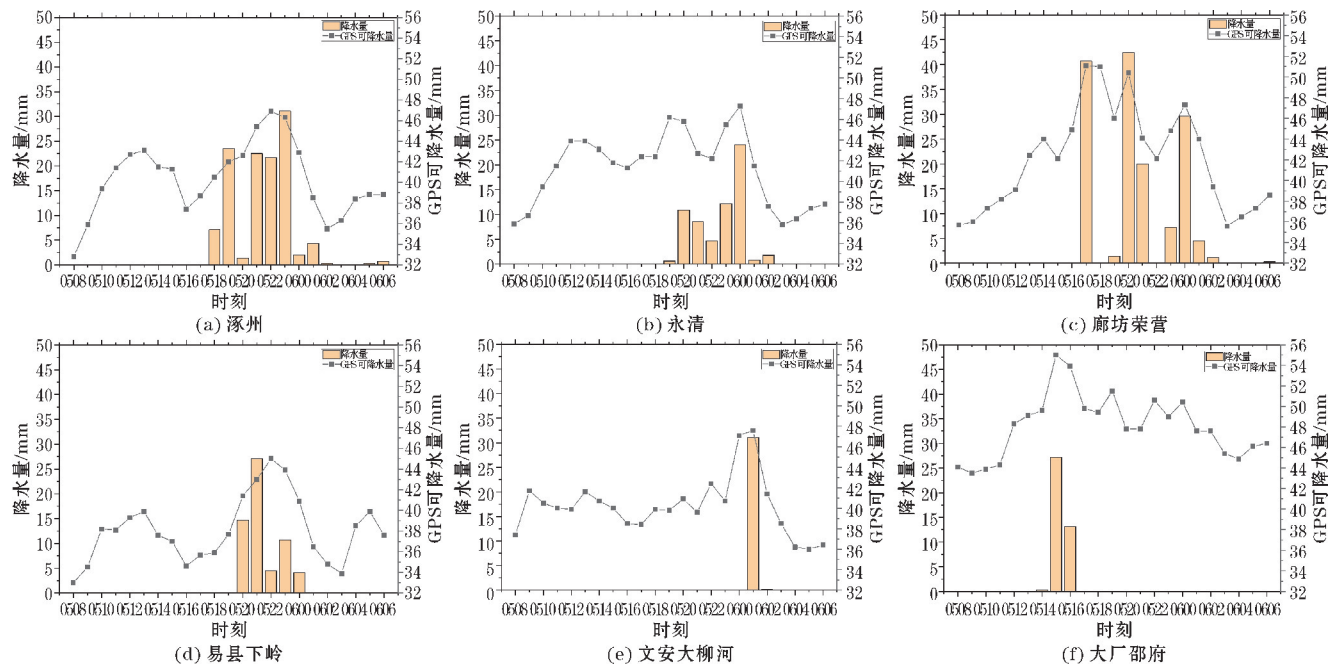


图 5 2021 年 7 月 5 日 08 时~6 日 06 时 GPS 可降水量与地面降水的逐时演变曲线

总结发现,短时强降水过程中,GPS 可降水量均高于 40 mm,短时强降水开始前 GPS 可降水量增幅最明显的主要表现在过去 2 h ($\Delta 2$ h) 或 3 h ($\Delta 3$ h),增幅位于 4.5~9 mm,与杨磊等^[28]研究的 GPS 可降水量最大增量一般集中出现在强降水发生前 1~3 h 的结论是一致的。短时强降水结束后 2 h 内的降幅,有 6 站位于 7.5~10 mm,同时伴随降水强度的明显减弱或结束,而王家摆站在短时强降水后 1 h 降水结束,下岭站的

GPS 可降水量在 2 h 内变幅为 0.9 mm,期间降水强度也有所减弱,但仍然出现了 10 mm/h 以上的降水。上述过程中,短时强降水的出现与 GPS 可降水量峰值出现时间关系紧密,多位于峰值前、后 1 h 内。当 GPS 可降水量持续低于 35 mm 时,则可反映降水基本结束,这也验证了顾佳佳等^[27]提到的单站 GPS 可降水量变化对降水强度变化有一定的指示意义。

表 2 短时强降水过程中 GPS 可降水量的变化特征量

强降水站点/ 出现时次数	强降水开始前和 结束后 3 h GPS 可降水量变幅: $\Delta 1$ h/ $\Delta 2$ h/ $\Delta 3$ h	强降水结束后 3 h GPS 可降水量变化对降 水强度的影响	强降水与 GPS 可降水量峰值 对应时间关系	强降水期间 GPS 可降水量最小值
涿州/4	1.5/3.3/4.6,-3.4/-7.8/-10.8	0~3 h 降水强度明显减弱	-4~-3 h 和 -2~1 h	40.5
永清/1	1.8/5.1/4.6,-5.8/-9.7/-11.5	0~2 h 降水强度明显减弱;2 h 后降水结束	-1~0 h	45.5
荣营/4	6.2/9/7.1,-3.3/-7.9/-11.7	0~2 h 降水强度明显减弱;2 h 后降水结束	-1~0 h、-1~1 h 和 -1~0 h	44.1
下岭/1	1.6/5.3/7.1,2/0.9/-2.1	0~2 h 降水强度有所减弱,仍有>10 mm/h; 2~3 h 减弱	-2~-1 h	41.4
大柳河/1	0.5/6.9/5.2,-6.2/-9.1/-	0~1 h 降水强度明显减弱;1 h 后降水结束	-1~0 h	47.1
高碑店/1	0.6/0.9/3.7,-3.4/-7.8/-10.8	1~2 h 降水强度明显减弱;3 h 后降水结束	0~1 h	46.3
邵府/1	5.4/5.9/6.7,-1.1/-5.2/-	0~1 h 降水强度明显减弱;1 h 后降水结束	-1~0 h	49.6
辛章/1	0.5/6.9/5.2,-6.2/-9.1/-	0~1 h 降水强度明显减弱;1 h 后降水结束	-1~0 h	47.1
王家摆/1	-1.1/4.3/4.8,-4.1/-/-	0~1 h 降水结束	0~1 h	53.9

注:表中的强降水均是指短时强降水,涉及 GPS 可降水量的单位均是 mm;以 0 代表峰值,峰前为负,峰后为正。

3.3 短时强降水发生前后区域水汽变化

由于短时强降水出现时段集中于7月5日14时–6日01时,因此选取5日08时–6日04时GPS可降水量的变化特征进行分析。GPS可降水量的空间分布(图6)显示,在强降水开始前,冀中平原上空大部分地区GPS可降水量有显著的增加,表明水汽在积聚,强降

水期间GPS可降水量最大值超过50 mm,其中强降水出现位置位于GPS可降水量在40 mm以上的区域,强降水结束后GPS可降水量迅速下降,到6日04时(图6f),冀中平原上空的GPS可降水量基本降到40 mm以下,伴随降水也基本结束,与3.2研究结论一致。可见,GPS可降水量的空间分布变化,对短时强降水出现的位置,以及开始和结束时间有一定的指示意义。

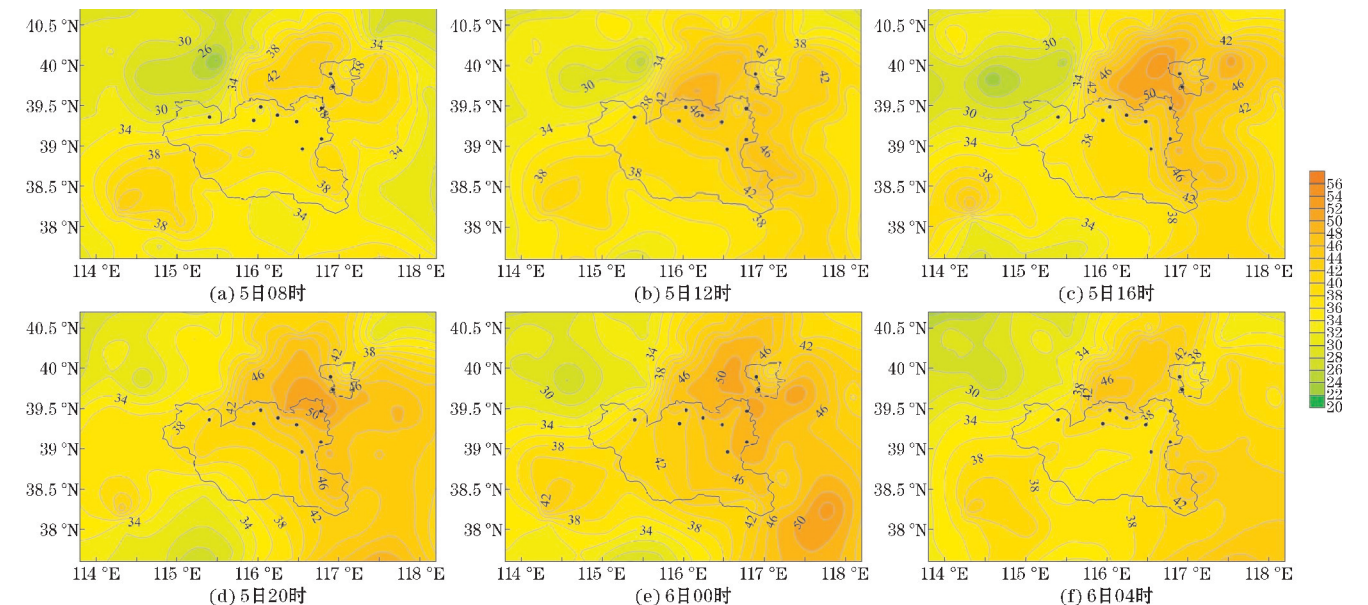


图6 2021年7月5–6日GPS可降水量空间分布(黑色圆点为短时强降水代表站点)

强降雨站点出现位置位于114.9°E~117.1°E、38.5°N~40°N,结合图7(a)和7(b)可看到,出现强降雨的区域从5日08时开始,GPS可降水量在不断增加,到强降水开始时,GPS可降水量基本超过45 mm,较大者甚至达到60 mm。在出现强降水前,GPS可降

水量都有一个明显增加的过程,预示着水汽在不断积聚。同时强降水站点均位于GPS可降水量高于40 mm以上的区域内,表明只有当水汽积聚到一定程度,强降水才可能出现。

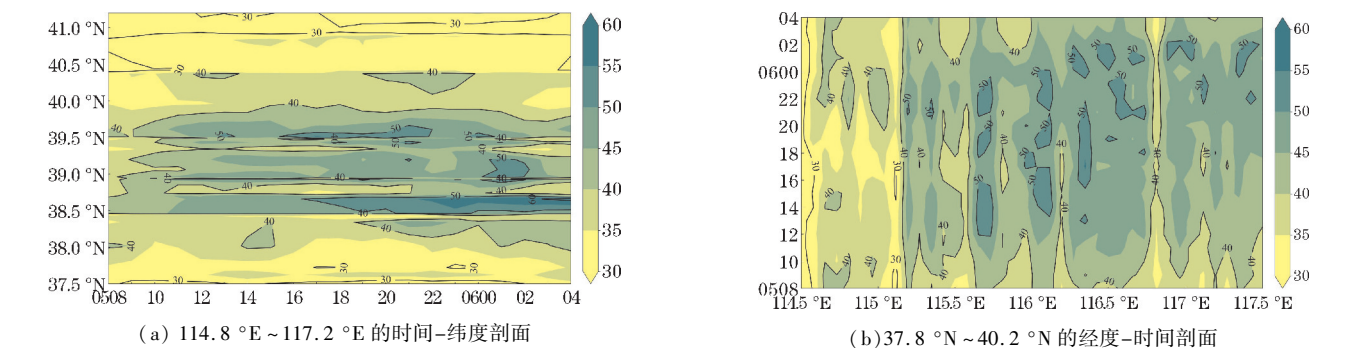


图7 2021年7月5日08时–6日04时冀中平原上空GPS可降水量时空剖面图

4 结论与讨论

本文选取2021年7月5–6日冀中平原一次短时强降水过程,重点应用GPS可降水量详细分析了强降水过程的水汽特征,分析结论如下:

(1)本次过程具有低层辐合、高层辐散的高低空

配置,同时低层的暖湿空气与高层的干冷空气形成不稳定层结,在850 hPa切变线的触发下产生的一次短时强降水过程。

(2)短时强降水出现于GPS可降水量峰值前、后1 h内。当GPS可降水量处于40 mm以上,且在2~3 h的增幅达到4.5 mm以上时,短时强降水出现的概率较大;当GPS可降水量在2 h内的降幅超过7.5 mm时,预

示降水强度将明显减弱或结束。当 GPS 可降水量持续低于40 mm时,出现短时强降水的概率较低,当 GPS 可降水量低于35 mm时,则可反映降水基本结束。

(3)在强降水前,GPS 可降水量有明显增加的过程,预示着水汽在不断积聚,只有当水汽积聚到一定程度,强降水才可能出现。GPS 可降水量的空间分布变化,对短时强降水出现的位置,以及开始和结束时间都有一定的指示意义。

当前期出现持续性短时强降水,GPS 可降水量始终维持在较高水平的情况下,短时强降水的临近预报特征值发生一定变化,需结合更多个例综合探讨。

致谢:感谢廊坊市气象局项目(202203)对本文的资助

参考文献:

- [1] 宋善允,彭军,连志鸾,等. 河北省天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2017:123-131.
- [2] 田付友,杨舒楠,郑永光,等. 北京地区两次极端特大暴雨过程中短时强降水环境条件对比分析[J]. 暴雨灾害,2021,40(1):27-36.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Park S K. Nonlinearity and predictability of convective rainfall associated with water vapor perturbations in a numerically simulated storm[J]. J. Geophys. Res. Atmos,1999,104(D24):31575-31587.
- [6] Park S K,Droegemeier K K. Sensitivity analysis of a 3D convective storm: Implications for variational data assimilation and forecast error[J]. Mon. Wea. Rev,2000,128(1):140-159.
- [7] 许敏,沈芳,刘淇淇,等. 线状 MCSs 强降水特征及形成条件[J]. 干旱气象,2022,40(4):596-604.
- [8] 兰明才,周莉,蒋帅,等. 西太平洋副热带高压控制下湖南一次短时强降水成因分析[J]. 干旱气象,2022,40(4):656-666.
- [9] 杨晓亮,王秀明,杨敏,等. 副热带高压控制下河北局地强降水触发与维持机制分析[J] 气象,2022,48(6):677-690.
- [10] 田付友,郑永光,张涛,等. 我国中东部不同级别短时强降水天气的环境物理量分布特征[J]. 暴雨灾害,2017,36(6):518-526.
- [11] 吕劲文,姚日升,涂小萍,等. 浙江省6-9月午后短时强降水空间分布特征分析[J]. 暴雨灾害,2019,38(4):320-328.
- [12] 周晋红,赵彩萍,董春卿. 太原汛期短时强降水环流分型及环境参量分析[J]. 干旱气象,2019,37(3):392-399.
- [13] 程鹏,罗汉,陈佩璇,等. 庆阳黄土高原短时强降水统计特征及预警指标[J]. 干旱气象,2020,38(2):319-328.
- [14] 董春卿,武永利,郭媛媛,等. 山西强对流天气分类指标与判据的应用[J]. 干旱气象,2021,39(2):345-355.
- [15] 黄艳,俞小鼎,张云惠. 新疆短时强降水天气主要流型及环境参量特征分析[J]. 气象科技,2022,50(1):85-93.
- [16] 祝小梅,白婷,荆海亮. 基于物理量参数的伊犁河谷短时强降水预报技术研究[J]. 沙漠与绿洲气象,2022,16(1):10-17.
- [17] 何跃,李强,刘伯骏,等. 四川盆地一次西南涡作用下大暴雨过程的短时强降水分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2019,13(6):29-38.
- [18] 李文娟,赵放,赵璐,等. 基于单站探空资料的不同强度短时强降水预报指标研究[J]. 暴雨灾害,2017,36(2):132-138.
- [19] 刘新伟,段海霞,杨晓军,等. 甘肃东部两次短时强降水天气过程对比分析[J]. 干旱气象,2017,35(5):868-873.
- [20] 邓佳,李国平. 引入地基 GPS 可降水量资料对一次西南涡暴雨水汽场的初步分析[J]. 高原气象,2012,31(2):400-408.
- [21] 刘晶,杨莲梅. 一次中亚低涡造成的天山北坡暴雨 GPS 大气水汽总量演变特征[J]. 气象,2017,43(6):724-734.
- [22] 刘晶,曾勇,刘雯,等. 伊犁河谷和天山北坡暴雨过程水汽特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2017,11(3):65-71.
- [23] 杨璐瑛,刘畅,杨成芳,等. 不同天气系统影响下强降雨过程 GPS 可降水量变化特征对比[J]. 干旱气象,2018,36(3):475-482.
- [24] 刘晶,周雅蔓,杨莲梅,等. 2016年伊犁河谷大气可降水量变化特征及其与降水的关系[J]. 干旱气象,2019,37(4):565-576.
- [25] 郭英莲,王继竹,王海燕,等. GPS 可降水量在湖北暴雨预报中的指示性[J]. 气象科技,2015,43(4):666-674.
- [26] 朱义青,王庆华,曹张弛,等. 鲁中南一次暴雨过程的特征和成因分析[J]. 气象科技,2016,

- 44(4):659–668.
- [27] 顾佳佳,武威. 2016年“7·9”豫北特大暴雨过程的中尺度特征分析[J]. 暴雨灾害,2017,36(5):440–452.
- [28] 杨磊,蒋大凯,王瀛,等. 辽宁省汛期GPS大气可降水量的特征分析[J]. 干旱气象,2016,34(1):82–87.
- [29] 刘晶,周玉淑,杨莲梅,等. 伊犁河谷一次极端强降水事件水汽特征分析[J]. 大气科学,2019,43(5):959–974.
- [30] 许敏,丛波,张瑜,等. 廊坊市短时强降水特征及其临近预报指标研究[J]. 暴雨灾害,2017,36(3):243–250.
- [31] 刘小雪,刘艳杰,李娜,等. 弱天气尺度下短时强降水环境特征和触发机制研究——以河北省廊坊市为例[J]. 河南科学,2022,40(8):1284–1291.
- [32] Sun J Z, Xue M, Wilson J W, et al. Use of NWP for nowcasting convective precipitation: recent progress and challenges[J]. Bull Amer Meteor Soc,2014,95(3):409–426.
- [33] James P M, Reichert B K, Heizenreder D. Now-CastMIX: Automatic integrated warnings for severe convection on nowcasting time scales at the German weather service[J]. Wea Forecasting,2018,33(5):1413–1433.
- [34] 许敏,沈芳,刘璇,等. 京津冀“7·5”强对流天气形成的环境条件及中尺度特征[J]. 干旱气象,2022,40(6):993–1002.

Water Vapor Characteristics of a Short-time Heavy Precipitation in Warm Region based on GPS/PWV

ZHOU Tao^{1,2}, XU Min², WANG Qingchuan², LI Na², ZHANG Xianghan²

(1. Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China; 2. Langfang Meteorological Observatory, Langfang 065000, China)

Abstract: To further study the water vapor characteristics of the heavy precipitation processes, the water vapor changes of a heavy precipitation process in Jizhong Plain from July 5 to 6, 2021 were analyzed in detail by using the conventional surface meteorological observation data, regional automatic station data, GPS precipitation (GPS/PWV), and ERA5 (0.25°×0.25°) reanalysis data. The results showed that: (1) The weather was a strong precipitation process in front of the upper trough and the warm shear area of the lower level. The convergence of the strong mid-low level southwest air-flow and water vapor flux provided good water vapor conditions for the Jizhong Plain. (2) The occurrence periods of this heavy precipitation were concentrated within 1 hour before or after the peak of GPS/PWV. When the GPS/PWV jumped to more than 40 mm and the increase rate was more than 4.5 mm in 2–3 hours, the precipitation intensity increased rapidly or short-time heavy precipitation burst out. However, when the decrease of GPS/PWV was more than 7.5 mm in 2 hours, the precipitation intensity was weakened. When GPS/PWV was consistently below 35 mm, the precipitation ended. (3) The variation of GPS/PWV values corresponded significantly with precipitation intensity, and the difference in spatial distribution also indicated the beginning, end, and falling area of heavy precipitation to a certain extent.

Keywords: short-time heavy precipitation; GPS/PWV; water vapor characteristics