

青海高原东北部 2 种不同性质强降水的雷达特征对比分析

张令振, 谢启玉 (青海省西宁市气象台, 青海西宁 810016)

摘要 从影响系统及雷达强度、径向速度、切变特征方面对 2018 年 6 月 30 日—7 月 1 日以西宁为中心的青海高原东北部出现的对流性和稳定性 2 种不同性质的区域性强降水天气进行了对比分析。结果表明: 对流性强降水是在副高内缘高温高湿的条件下产生, 由中小尺度系统触发; 云系强度较强、移动速度较快、持续时间短; 强降水发生在雷达最大反射率因子 (DBZM)、垂直液态水含量 (VIL) 与最大反射率因子高度 (HT) 上升至最大后下降及风暴顶高 (TOP) 下降至最小的时段, 且最大 (小) 值出现时间较降水开始有较大的提前量; 径向速度即风辐合较强, 垂直风场上低-中层的层结不稳定, 有利于对流的发展; 综合切变较强。稳定性强降水是在副高撤退后低槽东移过程中产生的; 云系强度较弱、移动速度非常慢、持续时间很长; 强降水发生在 DBZM 和 VIL 上升至最大后持续的时段, 且最大值出现时间较降水开始也有提前量, 但 HT 与 TOP 的变化不明显; 风场呈现明显的“牛眼”结构, 垂直风场上存在深厚且较强的暖平流; 综合切变较弱。强降水落区与地形有一定的关系。

关键词 不同性质强降水; 雷达特征; 影响系统; 青海高原东北部

中图分类号 P 458.1⁺21 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)11-0215-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.11.063

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Characteristics of Two Different Heavy Precipitation Processes about Doppler-Radar Products in Northeastern Qinghai Plateau

ZHANG Ling-zhen, XIE Qi-yu (Xining Meteorological Service of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810016)

Abstract Two different heavy precipitation processes of convection and stability in northeastern Qinghai Plateau occurred from June 30 to July 1 in 2018, this paper compared and analyzed their impact system and characteristics of Radar products such as intensity, velocity and comprehensive shear. The results show that the convective heavy precipitation was produced under the condition of high temperature and high humidity in the Subtropical High edge, triggered by the small and medium scale system; the cloud had strong intensity, fast moving speed and short duration; heavy precipitation occurred in the period when DBZM, VIL and HT rose to the maximum then decreased, and TOP decreased to the minimum, and the time of the maximum (minimum) appeared were advance than the beginning of precipitation; The convergence intensity of Doppler-Radar velocity was strong, and the vertical wind field had unstable stratification on the low-middle layer which was conducive to the development of convection, and meanwhile the comprehensive shear was strong. The stable heavy precipitation was produced during the eastward movement of the low trough after the Subtropical High retreated; the intensity of the cloud was weak, the moving speed was very slow, and the duration was very long; heavy precipitation occurred in the period when DBZM and VIL rose to the maximum and then continued, and the time of the maximum was also advanced compared with the beginning of precipitation, but the changes of HT and TOP were not obvious; the convergence of Doppler-Radar velocity showed an obvious “bull-eye” structure, and there was deep and strong warm advection on the vertical wind field, and meanwhile the comprehensive shear was weak.

Key words Two different heavy precipitation processes; Characteristics of Doppler-Radar products; Impact system; Northeastern Qinghai Plateau

强降水常常给公众的生产和生活带来危害甚至是损失, 又一直是预报预警工作的重点和难点^[1]。雷达产品作为非常规探测资料具有实时性、直观性等特征, 在冰雹、强降水等强对流天气的监测、短临预报预警中起着举足轻重的作用^[2-11]。研究发现^[2-18], 强降水在雷达上表现为回波强度 20~45 dBz, 垂直液态水含量 (VIL) 较冰雹小, 速度场对强降水有较好的指示意义, 垂直风廓线产品可以判定降水时段。以青海省会城市西宁为中心的青海高原东北部地区, 受高原地形的影响, 强对流天气特别是强降水天气频发^[19-20]。2018 年 6 月 30 日—7 月 1 日青海高原东北部出现了区域性强降水天气过程, 但前后两日的降水性质却不同, 6 月 30 日为对流性强降水, 7 月 1 日却为稳定性强降水。笔者利用常规观测数据及雷达产品等多种资料对这 2 种性质不同的强降水从影响系统及雷达强度、风场、切变特征方面进行了对比分析, 旨在深入研究其产生的物理原因, 加深对中小尺度系统的认识, 以探究不同性质的强降水发生、发展及移动的不同

雷达特征, 为强降水天气的可预报性提供支撑和现实依据。

1 降水实况及影响系统

1.1 降水实况 6 月 30 日—7 月 1 日强降水区域 (图 1a) 位于西宁市区、湟中县及大通县相交一带, 降水区域比较集中、量级比较大, 西宁市区、湟中县的降水量达到了暴雨量级。大雨发生时间集中在 6 月 30 日 18:00 (图 1b), 小时降水量最大出现在西宁, 为 31.9 mm, 湟中县为 31.8 mm, 大通县为 19.4 mm。此次过程主要有 2 个阶段: 第 1 阶段为 6 月 30 日 17:00~20:00, 最大雨强出现在 17:00~18:00, 降水量时间集中、区域性强, 呈现出对流性强降水的典型特征; 第 2 阶段降水从 7 月 1 日 07:00 开始持续至 20:00 左右, 以稳定性降水为主, 降水量分布较均匀且持续时间较长。

1.2 影响系统 此次强降水发生前, 主体位于西太平洋上空的副热带高压 (以下简称副高) 持续增强北抬, 6 月 30 日 08:00, 500 hPa 高空 (图 2) 亚洲中高纬环流呈现两槽一脊的形势, 副高西伸北抬, 584 线在 40°N 附近的河西走廊一带, 呈块状分布, 整个青海高原处于 584 线的控制之下, 副高西侧西风带中有一低槽东移南压, 温度场上 0 °C (图上为 272K, 下同) 暖脊控制青海高原, 相对湿度 ≥ 90%, 即具备高温高湿条件, 青海高原东北部处于副高内缘; 600 hPa 青海高原处于

基金项目 青海省西宁市气象局重点项目 (201611); 青海省西宁市气象局强降水预报技术方法研究创新团队项目。

作者简介 张令振 (1978—), 男, 安徽萧县人, 工程师, 从事综合气象监测研究。

收稿日期 2019-01-08; **修回日期** 2019-04-03

12℃高温中心,相对湿度≥90%,也具备高温高湿条件;100 hPa 南亚高压中心在 35°N、85°E 附近,青海东部处于高空急流出口区右侧,高层辐散抽吸显著;500 hPa 上 24 h 0℃等变温线沿 584 线边缘分布,600 hPa 上 24 h 0℃等变温线的位置较偏北,西宁地区对流层中层降温,低层增温,使降水区域的不稳定性增强。可见,第 1 阶段 6 月 30 日的对流性强降水正是在副高内缘高温高湿的条件下产生,受产生不稳定的中小尺度系统影响,之后西风带低槽逐渐东移,青海高原东北部处于槽前的西南气流中,西南风风速达 8 m/s,相对湿度

度≥90%。至第 2 阶段 7 月 1 日 08:00,500 hPa 上 584 线迅速东撤南压至青海东南部,西风带低槽东移至青海西部,青海高原东北部处于强西南气流中,600 hPa 青海东部受低槽影响,相对湿度≥90%,说明低-中层水汽充沛;100 hPa 南亚高压中心较 6 月 30 日略西撤,但仍使青海东部处于高空急流出口区右侧的高层辐散中;7 月 1 日 20:00 受冷空气挤压,500、600 hPa 上低槽减弱北收。第 2 阶段 7 月 1 日的强降水正是副高撤退后低槽东移过程中产生的,由于低槽东移速度慢,因而降水也呈现稳定性质。

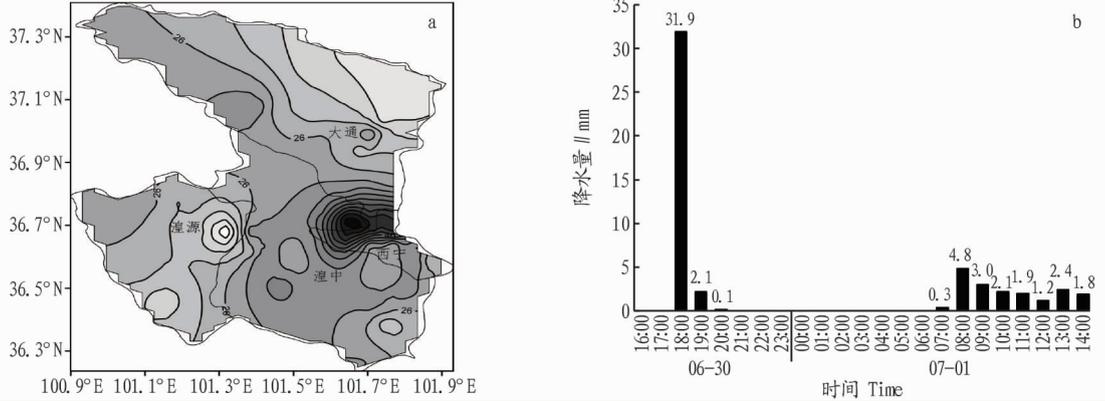
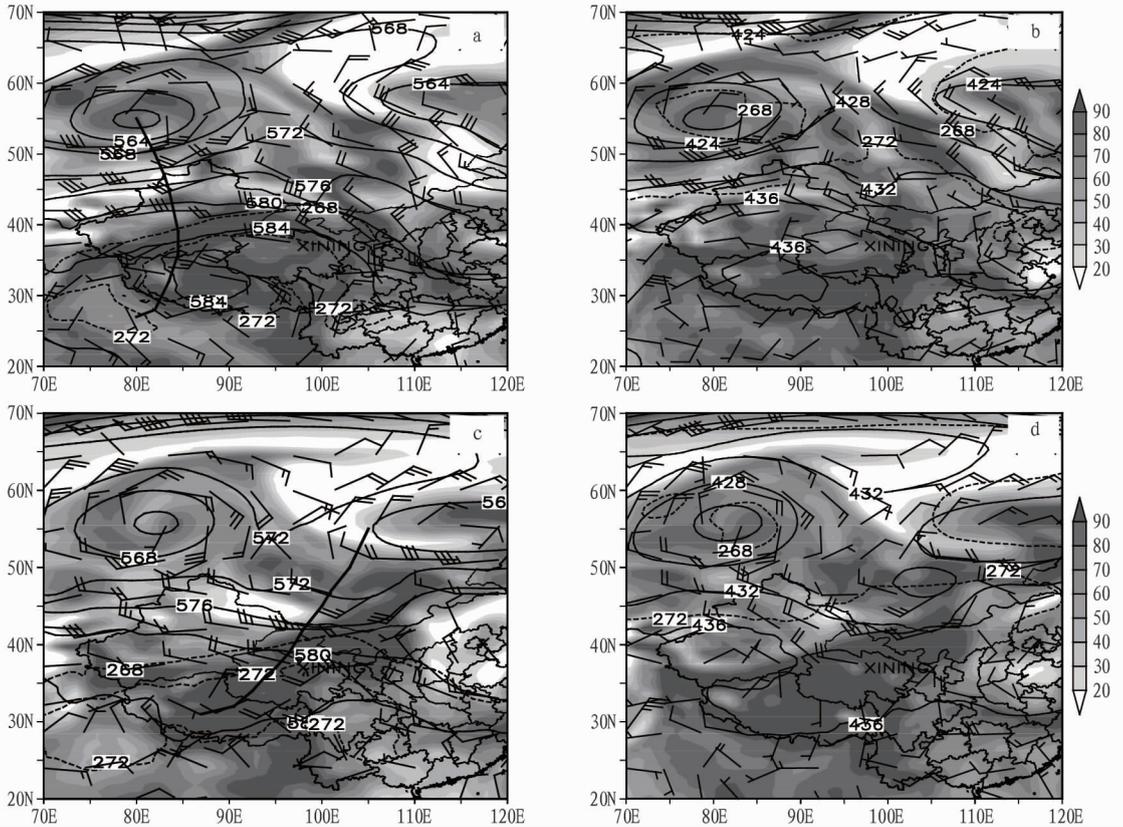


图 1 西宁地区 6 月 30 日 16:00—7 月 1 日 20:00 降水量 (a) 及西宁测站降水量变化 (b)

Fig. 1 Precipitation (a) from 16:00 on June 30th to 20:00 on July 1st in Xining District and precipitation change (b) at the Xining Station



注:实线为等高线,虚线为等温线,阴影为相对湿度

Note: Solid line is the geopotential height, dotted line is the isotherm, and shadow is the relative humidity

图 2 6 月 30 日 08:00 500 hPa (a)、600 hPa (b), 7 月 1 日 08:00 500 hPa (c)、600 hPa (d) 高空天气

Fig. 2 Upper weather charts at 08:00 500 hPa (a) and 600 hPa (b) on June 30th, 08:00 500 hPa (c) and 600 hPa (d) on July 1st

地面图上(图略),第 1 阶段 6 月 30 日 08:00 冷高压主体在南疆,其前端从河西走廊输送一股较强的冷空气东移, ΔP_{24} 达到 15 hPa 以上,青海高原中西部由热低压控制,热低压中心位于海西西部地区;14:00 强冷空气由河西走廊至兰州倒灌进入青海高原东部,风向上在海晏—湟源—共和形成一个明显的西北风与东南风之间的切变线,表明大气层结的不稳定和中小尺度的抬升作用明显,露点温度也是在青海高原东部地区高,达到了 14°C ,即地面存在明显的高湿。可见,第 1 阶段对流性强降水是由中小尺度切变线触发。第 2 阶段 7 月 1 日 07:00 之后的降水是由青海高原中西部的暖低压发展为完整的中尺度暖低压并与其上空的高空低槽环流配合触发而形成,暖低压维持时间长,高空低槽移动较慢,因此第 2 阶段产生的是稳定性强降水。

1.3 强降水与地形的关系 以省会城市西宁为中心的青海高原东北部处于高原河湟谷地的呈西北—东南向狭长低洼地带中(图 3),冷空气自西向东移动过程中,由于高原阻挡作用分为 2 支:一支绕过高原自河西走廊从兰州倒灌进入河湟谷地,这支冷空气向西移的过程中受河湟谷地西侧山脉的阻挡和抬升作用,降水落在山前的青海高原东北部地区,配合影响系统形成 6 月 30 日强降水;另一支爬上高原直接进入河湟谷地,这支冷空气移动较慢,配合影响系统形成 7 月 1 日稳定性强降水。可见,地形对强降水有一定的影响。

2 雷达特征

2.1 强度特征

2.1.1 云系强度变化特征。由雷达组合反射率因子反映的云系变化情况(图 4)可知,第 1 阶段 6 月 30 日 16:00 开始,海晏—湟源北部有大范围团状云系生成并呈西北—东南向,同时在湟源境内有块状对流云系发展,随着团状云系东南下,对流云系强度明显加强、范围也不断扩大,至 16:43 强对流云系进入西宁市区与大通和湟中三者交界的区域,强度达

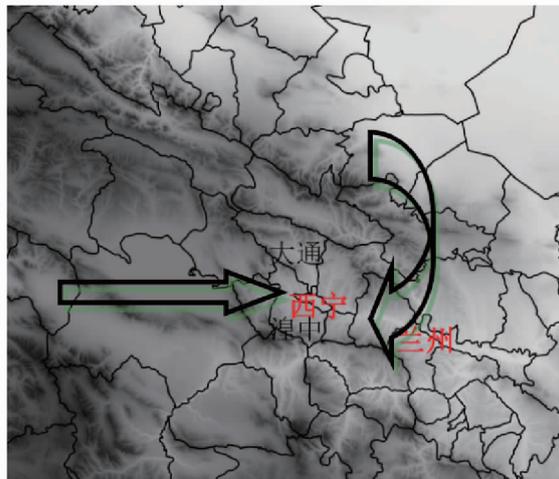


图 3 青海高原东北部地形及冷空气路径

Fig. 3 Topography and cold air path in the northeast of Qinghai Plateau

到 50 dBz,至 17:04 强对流云系范围进一步扩大,降水开始出现,强对流云系经过的区域正是强降水出现的区域,17:00~18:00 1 h 西宁市区、湟中县及大通县均出现了 20 mm 以上的强降水;至 17:46 之后虽然强回波中心明显减弱,但云系范围依然较大,持续至 18:00 后云系范围明显缩小,降水也明显减小。可见,对流性强降水云系强度较强,移动速度较快,前后共经历 2 h 左右。第 2 阶段 7 月 1 日凌晨的降水,06:00 开始,有云系自大通—海晏—湟源一带发展,但强度较弱,只有 30 dBz,之后对流云系强度略有加强,至 35 dBz,06:59 云系缓慢东南下进入,09:22 范围扩大明显,之后云系的强度与范围并无明显的变化,一直维持至 14:00,之后明显减弱,20:00 基本结束。可见,稳定性强降水云系强度较弱,移动速度非常慢,整个过程共经历 14 h 左右。

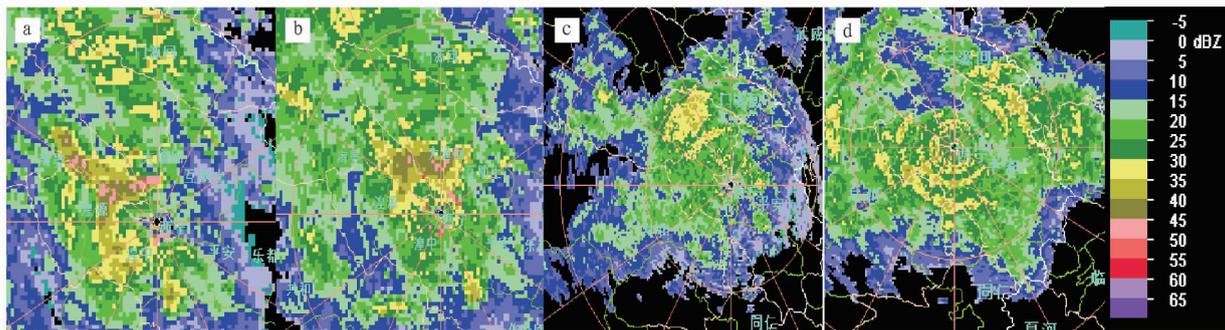


图 4 西宁雷达 6 月 30 日 16:43(a)、17:04(b),7 月 1 日 06:59(c)、09:22(d) 组合反射率因子

Fig. 4 Composite Reflectivity on the Xining radar at 16:43(a) and 17:04(b) on June 30th, 06:59(c) and 09:22(d) on July 1st

2.1.2 最大反射率因子(DBZM)和垂直液态水含量(VIL)变化特征。由最大反射率因子(DBZM)和垂直液态水含量(VIL)变化可知,6 月 30 日第 1 阶段强降水 DBZM 和 VIL 有明显升降演变趋势(图 5a),16:29 开始 DBZM 由 44 dBz 缓慢持续上升,至降水开始前的 16:57 达到最大,为 48 dBz,随着降水的开始 DBZM 有所减小,由 48 dBz 下降至 46 dBz,此后持续减小至 42 dBz 以下。VIL 也有明显的升降演变趋势,由

16:29 的 3 kg/m^2 上升至最大的 5 kg/m^2 后持续一段时间,至降水开始前的 16:57 有所下降,之后随着降水的开始 VIL 持续减小。强降水发生的时间是处在 DBZM 和 VIL 上升至最大后开始下降的时段,表明 DBZM 和 VIL 的最大值出现的时间较强降水开始有较大的提前量。7 月 1 日第 2 阶段强降水 DBZM 和 VIL 虽然也有较明显升降演变趋势(图 5b),但稳定性降水致使两者的值均小于第 1 阶段,且变化更为缓慢,由

06:53 开始 DBZM 和 VIL 开始明显上升, DBZM 由 30 dBz 缓慢持续上升至 35 dBz, 07:47 达到最大为 40 dBz, 此后直至 14:03 均维持在 38 dBz 左右, 直至 15:04 开始明显下降; VIL 上升至最大的 1 kg/m^2 后一直持续至 14:03 减小, 降水发生的时间是处在 DBZM 和 VIL 上升至最大后持续的时段,

DBZM 和 VIL 的最大值较降水也有较大的提前量。

综上, 2 种性质的强降水发生时间是处在 DBZM 和 VIL 上升至最大后下降或持续的时段, 其最大值出现的时间较降水开始有较大的提前量, 为强降水的预警提供了时效。

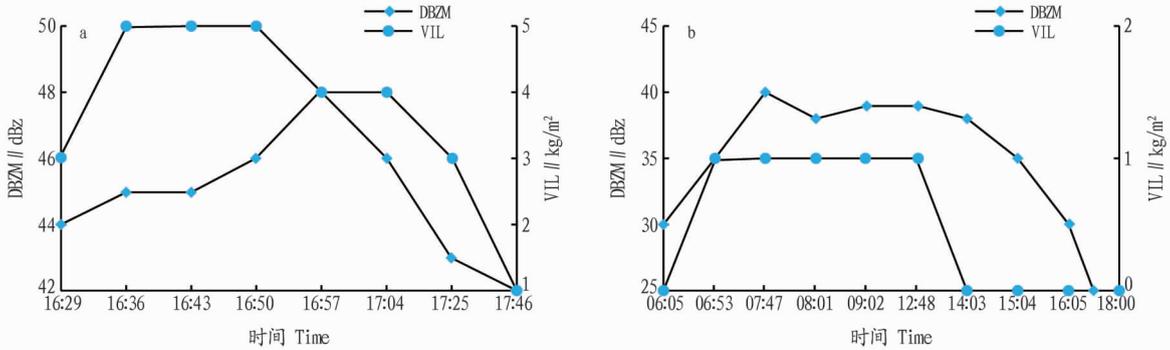


图5 西宁雷达 6 月 30 日 (a)、7 月 1 日 (b) 降水期间 DBZM 和 VIL 变化

Fig. 5 Change of Maximum Composite Reflectivity and Vert Integrated Liquid of Xining radar during raining on June 30th (a) and July 1st (b)

2.1.3 最大反射率因子高度 (HT) 和风暴顶高 (TOP) 变化特征。由最大反射率因子高度 (HT) 和风暴顶高 (TOP) 变化可知, 与 DBZM 和 VIL 相似, 6 月 30 日第 1 阶段强降水 HT 和 TOP 有明显升降演变趋势 (图 6a), 16:29—16:43 HT 和 TOP 持续, 之后 HT 开始迅速上升, 至降水开始前的 16:57 达到最大为 1.7 km, 表明对流云系强度达到最强, 随着降水的持续又迅速下降, 对流云系强度也明显减弱; TOP 却在 16:57 下降至最小值后迅速上升, 表明对流云系发展高度较高, 降水开始后又迅速下降, 即由于降水物的拖拽作用云系高度下降明显。强降水开始的时间处在 HT 上升至最大与 TOP 下降

至最小的时段, 此时对流云系发展最强盛, 且 HT 最大值与 TOP 最小值较强降水有一定的提前量。7 月 1 日第 2 阶段强降水 HT 和 TOP 则没有明显的升降演变趋势 (图 6b), 06:53 开始 HT 和 TOP 开始明显上升至最大后一直持续 15:04 之后才迅速下降。

综上, 对流性强降水发生的时间是处在 HT 上升至最大与 TOP 下降至最小的时段, 且最大 (小) 值出现的时间较降水开始也有一定的提前量, 稳定性强降水 HT 和 TOP 则没有明显变化。

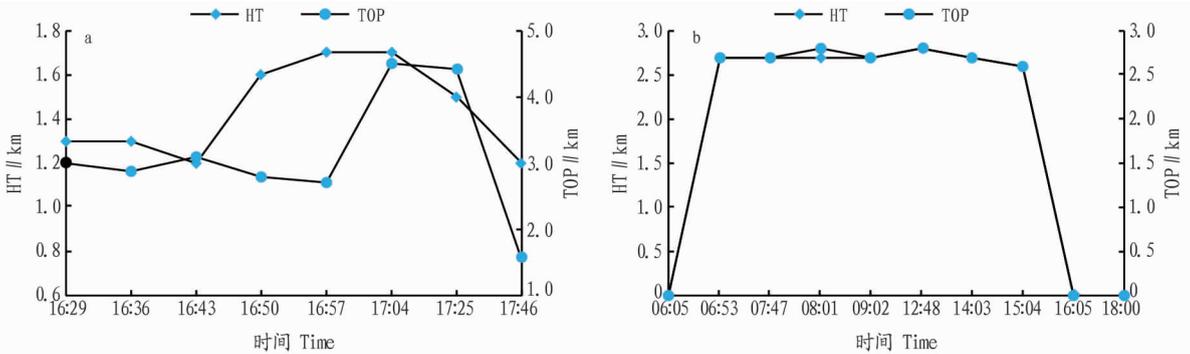


图6 西宁雷达 6 月 30 日 (a)、7 月 1 日 (b) 降水期间 HT 和 TOP 变化

Fig. 6 Change of Height of Maximum Composite Reflectivity and TOP of Storm of Xining radar during raining on June 30th (a) and July 1st (b)

2.2 风场特征

2.2.1 风场变化特征。由西宁雷达径向速度反映的风场变化情况 (图 7) 可知, 第一阶段 6 月 30 日 16:00 开始, 海晏—湟源北部一带出现正负速度即风辐合区, 正速度值达到 5 m/s , 负速度值为 -5 m/s , 至 16:22 速度辐合区东南移, 范围有所扩大, 强度也有所增强, 负速度值增加为 -10 m/s , 于 16:55 风辐合区进入西宁市区与大通和湟中三者交界的区域, 强度进一步增强, 正、负速度值分别达到 15 、 -15 m/s , 范

围也进一步扩大, 之后降水开始出现, 直至 18:00 之后强度与范围明显缩小, 降水也明显减小。可见, 对流性强降水径向速度即风辐合强度较强。第二阶段 7 月 1 日 06:00 开始在海晏—湟源北部有正负速度的风辐合区出现, 正速度范围较小, 负速度范围较大, 之后辐合区一直向东南移动, 强度和范围均有所增强和扩大, 至 06:59 出现了正速度中心, 形成了类似“牛眼”结构, 正速度中心值较小, 为 5 m/s , 负速度中心值较大, 为 -15 m/s , 此后该“牛眼”速度中心对的强度和范围

一直持续,只是在很缓慢地继续向东南移动,直到 14:00 后明显变弱。可见,稳定性强降水径向速度即风场呈现明显的

“牛眼”结构。

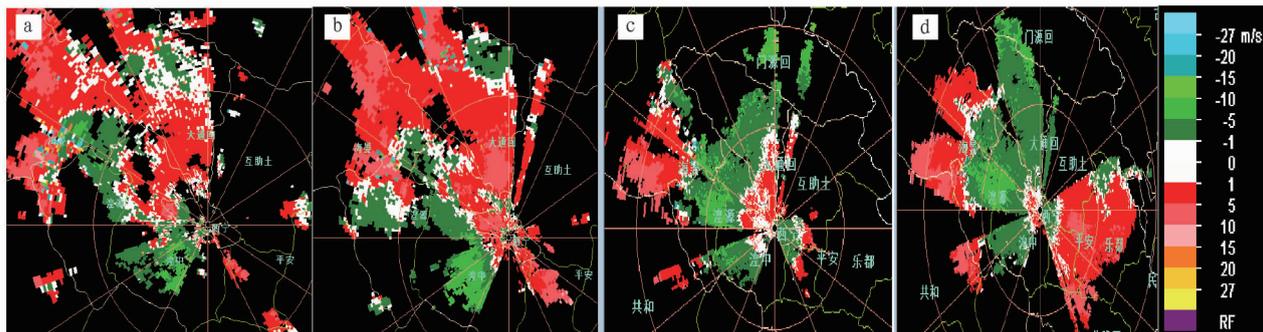


图 7 西宁雷达 6 月 30 日 16:22(a)、16:55(b)、7 月 1 日 06:59(c)、09:22(d) 径向速度

Fig. 7 Base Velocity on the Xining radar at 16:22(a) and 16:55(b) on June 30th, 06:59(c) and 09:22(d) on July 1st

2.2.2 垂直风场。取 2.7~4.0 km 为低层、4.0~6.1 km 为中层、6.1~9.1 km 为高层,以雷达 VWP 产品来分析强降水前的垂直风场特征,结果见表 1。

第一阶段:6 月 30 日风向变化上低层 S 转向 SW,表明有暖平流,且风切变值较大,即暖平流较强;中层为 SW 转向 NE,表明有冷平流,且风切变值较小,即冷平流较弱;高层 NE 转向 SE,又存在较强的暖平流;整体上从低-中-高层冷、暖平流的配置主要为低、高层为暖平流,中层为冷平流,这样的

配置使得低-中层的层结不稳定,有利于对流的发展。第二阶段:7 月 1 日风向变化上低层 SW 转向 W,表明有暖平流,且风切变值较小,即暖平流较弱;中层为 W 转向 NE,也有暖平流,且风切变值较大,即暖平流较强;高层 NE 转向 SE,依然是暖平流,且风切变值很大,表明暖平流很强;整体上从低-中-高层冷、暖平流的配置为深厚且较强的暖平流。

综上,对流性强降水垂直风场上低-中层的层结不稳定,有利于对流的发展,稳定性强降水为深厚且较强的暖平流。

表 1 西宁雷达强降水前 1 h 的垂直风场特征

Table 1 Characteristics of vertical wind field on Xining radar at 1 hour before heavy precipitation

日期 Date	低层 Low level		中层 Middle level		高层 High level	
	垂直风切变值 m/s	风向变化	垂直风切变值 m/s	风向变化	垂直风切变值 m/s	风向变化
06-30	9.1	S-SW	3.4	SW-SE-NE	10.1	NE-SE
07-01	2.6	SW-W	7.0	W-NE	18.1	NE-SE

2.3 切变特征 由图 8 可知,第一阶段:6 月 30 日 16:00 开始,海晏—湟源北部有较强的带状切变区出现,随后切变值增大,范围也不断扩大,至 16:43 强切变区进入西宁市区与大通和湟中三者交界的区域,强度达到 $50 \times 10^{-4}/s$,至 17:04 强切变范围进一步扩大且强度为 $50 \times 10^{-4}/s$,降水开始出现,可见对流性强降水的综合切变较强。第二阶段:7 月 1 日

06:00 开始,大通—海晏—湟源一带有较弱的切变带开始出现,强度只有 $20 \times 10^{-4}/s$,之后随着云系缓慢东南下,切变强度略有加强,至 $25 \times 10^{-4}/s$,且范围明显扩大,06:46 整个西宁地区为较弱的切变区,之后切变的强度与范围并无明显的变化,一直维持至 14:00,之后明显减弱,20:00 基本结束,可见稳定性强降水的综合切变较弱。

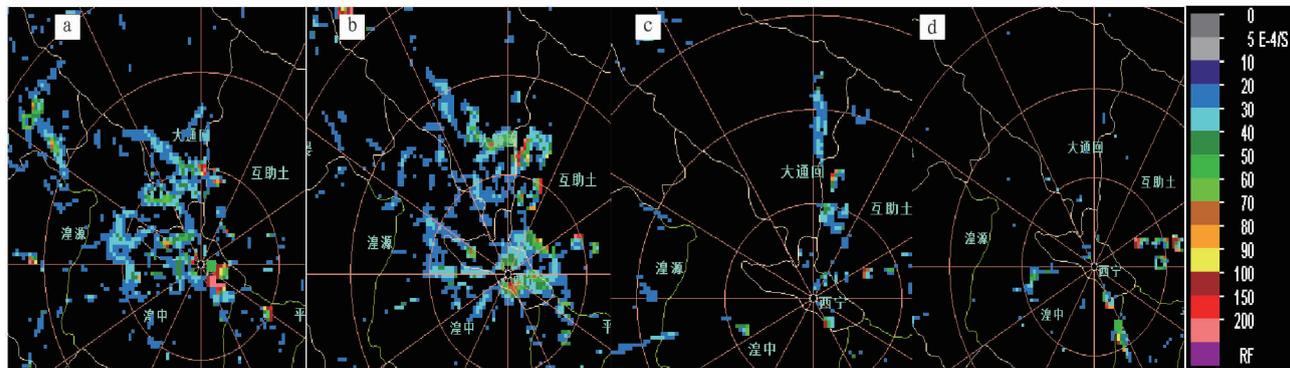


图 8 西宁雷达 6 月 30 日 16:43(a)、17:04(b)、7 月 1 日 06:46(c)、19:22(d) 综合切变

Fig. 8 Combined Shear on the Xining radar at 16:43(a) and 17:04(b) on June 30th, 06:46(c) and 19:22(d) on July 1st

3 结论与讨论

从影响系统及雷达强度、径向速度、切变特征方面对

2018 年 6 月 30 日—7 月 1 日出现在西宁地区的对流性和稳定性不同性质区域性强降水天气进行了对比分析,主要结论

如下:

(1) 对流性强降水是在副高内缘高温高湿的条件下产生,受中小尺度系统影响,是由地面西北风与东南风之间的切变线触发;稳定强降水是副高撤退后低槽东移过程中产生的。

(2) 对流性强降水云系强度较强、移动速度较快、持续时间短,前后共经历 2 h 左右;稳定性强降水云系强度较弱、移动速度非常慢、持续时间很长,整个过程共经历 14 h 左右。

(3) 对流性强降水发生在 DBZM、VIL 与 HT 上升至最大后下降及 TOP 下降至最小的时段,且最大(小)值出现时间较降水开始有较大的提前量;稳定性强降水发生在 DBZM 和 VIL 上升至最大后持续的时段,且最大值出现时间较降水开始也有提前量,但 HT 与 TOP 的变化不明显。

(4) 对流性强降水径向速度即风辐合强度较强,低-中层的层结不稳定,有利于对流的发展;稳定性强降水径向速度辐合即风场呈现明显的“牛眼”结构,低-中-高层为深厚且较强的暖平流。

(5) 对流性强降水综合切变较强,稳定性强降水综合切变较弱。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 王丽荣, 汤达章, 张艳刚. 春季强降水过程的多普勒天气雷达图像特征剖析[J]. 气象科技, 2006, 34(1): 88-92.
- [3] 张崇莉, 向明望, 赖云华, 等. 滇西北高原冰雹、短时强降水的多普勒雷达回波特征比较[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(1): 64-69.

- [4] 李德俊, 唐仁茂, 熊守权, 等. 强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警[J]. 气象, 2011, 37(4): 474-480.
- [5] 陈曦, 徐芬, 王振会, 等. 用雷达反演资料诊断江苏地区一次暴雨过程[J]. 气象科学, 2015, 35(5): 629-637.
- [6] 梁维亮, 黄荣, 翟丽萍, 等. 广西短时强降水雷达定量降水估测方法试验[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 59-62.
- [7] 赵文, 张强, 赵建华. 陇东南地区强降水过程与雷达 VIL 产品的定量关系研究[J]. 高原气象, 2016, 35(2): 528-537.
- [8] 彭九慧, 易永力, 吴显春, 等. 河北省承德市短时强降水的多普勒雷达特征分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 184-189, 197.
- [9] 张之贤, 张强, 赵庆云, 等. 陇东南地区短时强降水的雷达回波特征及其降水反演[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 530-538.
- [10] 张崇莉, 李淑华, 赖云华, 等. 滇西北高原局地暴雨雷达回波特征[J]. 气象科技, 2010, 38(2): 197-200.
- [11] 周文志, 唐熠, 王艳兰, 等. 低空急流暴雨天气概念模型及其雷达回波特征分析[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 14-18.
- [12] 吴涛, 王玉发, 王珊珊. 多雷达反演参量联合的短时强降水识别方法研究[J]. 高原气象, 2012, 31(5): 1393-1406.
- [13] 黄慧君, 钟爱华, 张健东. 多种探测资料在云南大理州强降水个例分析中的应用分析[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(1): 50-57.
- [14] 李云川, 王福侠, 裴宇杰, 等. 用 CINRAD-SA 雷达产品识别冰雹、大风和强降水[J]. 气象, 2006, 32(10): 64-69.
- [15] 潘留杰, 张宏芳, 王楠, 等. 陕西一次强对流天气过程的中尺度及雷达观测分析[J]. 高原气象, 2013, 31(1): 278-289.
- [16] 肖艳姣, 李中华, 张端禹, 等. “07.7”鄂东南强对流天气的多普勒雷达资料分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(3): 213-218.
- [17] 吴红秀, 和卫东, 焦泽红, 等. 滇西北高原一次局地暴雨的雷达产品分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 645-649.
- [18] 张天峰, 王位泰, 吴爱敏, 等. 庆阳一次强暴雨天气过程雷达回波特征[J]. 干旱气象, 2007, 25(3): 61-65, 87.
- [19] 湛芸, 李强, 李泽椿. 青藏高原东北部强降水天气过程的气候特征分析[J]. 应用气象学报, 2006, 17(S1): 98-103.
- [20] 李生辰, 巩远发, 王田寿. 青藏高原东北部一次强暴雨过程环流特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 278-285.

(上接第 214 页)

从图 6 可看出,近 53 定州市降水量夏季明显多于秋季、春季和冬季,年降水量主要集中在夏季。近 53 年定州市年降水量变化趋势与夏季降水量变化基本一致。定州市秋季、春季在年降水量中所占比例明显低于夏季,冬季降水量在年降水量中所占比例最小。

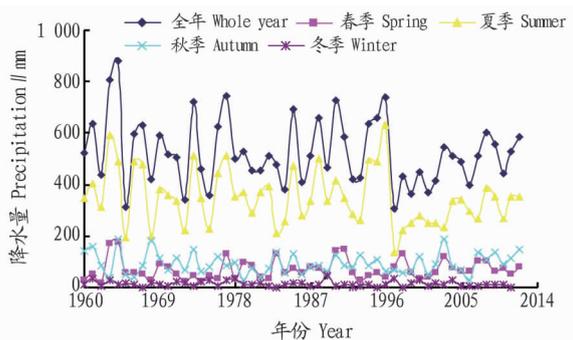


图 6 1960—2012 年定州市年及四季降水量变化

Fig. 6 Chang of annual and seasons precipitation in Dingzhou City from 1960 to 2012

3 结论

1960—2012 年定州市降水量比年均降水量少的年份多,尤其是 1997 年以来,连续年及夏季降水量偏少,造成定州市水资源量不断减少。定州市是农业大市,地下水灌溉是定州市主要的农田灌溉方式,降水量减少,地下水位降低,浅层地

下水超采,定州市水资源处于紧缺加剧的局面。提高农业用水效率是今后定州市农业发展的必然选择。随着经济的发展,用水量逐渐增多,降水量却减少,除了农业提高用水效率、减少用水量外,其他行业也应该节约用水,提高用水效率,应对水资源量减少。

参考文献

- [1] 韩军彩, 陈静, 岳艳霞, 等. 石家庄市不同等级降水日数的时空分布特征[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(6): 34-38.
- [2] 王理萍, 王树仿, 张刘东, 等. 1960~2013 年云南省降水时空变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2016, 34(12): 20-24.
- [3] 李劲彬, 韩雾昌, 陈超. 延安市近 58 年降水变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(11): 10-13.
- [4] 常周梅, 胡文博, 张丽娟. 西宁市 1951~2015 年气温及降水量变化特征[J]. 水电能源科学, 2017, 35(2): 7-11.
- [5] 王怀军, 潘莹萍, 陈忠升. 1960~2014 年淮河流域极端气温和降水时空变化特征[J]. 地理科学, 2017, 37(12): 1900-1908.
- [6] 闫俊杰, 闫敏, 崔东, 等. 近 55 年新疆伊犁河谷气温和降水变化趋势分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(10): 13-16.
- [7] 夏继勇, 钟平安, 刘畅, 等. 近 58 年大汶河流域降水量演变特征分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3): 6-10.
- [8] 王慧凤, 陆宝宏, 熊丝, 等. 近 65 年合肥市降水变化规律分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3): 11-14.
- [9] 李兰晖, 刘琼欢, 张德铨, 等. 羌塘高原降水空间分布及其变化特征[J]. 地理研究, 2017, 36(11): 2047-2060.
- [10] 韩熠哲, 马伟强, 王炳赞, 等. 青藏高原近 30 年降水变化特征分析[J]. 高原气象, 2017, 36(6): 1477-1486.
- [11] 强安丰, 魏加华, 解宏伟. 青海三江源地区气温与降水变化趋势分析[J]. 水电能源科学, 2018, 36(2): 10-14.
- [12] 田莉娟, 薛丽芳, 杨慧, 等. 近 60 年来南四湖流域降水变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 201-205.
- [13] 商沙沙, 廉丽妹, 马婷, 等. 近 54a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 68-74.