

微波辐射计对邢台市两次降水个例的云水含量探测分析

高俊喜¹, 郝巨飞², 张 恺¹

¹河北省邢台市任泽区气象局, 河北 邢台

²河北省邢台市气象局, 河北 邢台

Email: gaojunxi123456@163.com

收稿日期: 2021年5月25日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月28日

摘 要

利用MWP967KV型地基微波辐射计及红外观测仪探测数据, 对邢台市两次降水个例发生前的水汽含量(IWV)、液态水含量(ILW)和云底高度变化特征进行了分析。结果表明: 层状云降水的IWV、ILW在降水前2~1 h的增幅要大于层状积状云降水发生前的IWV和ILW增幅, 但降水前2~1 h的IWV、ILW绝对值却是层状积状云降水大于层状云降水; 层状云降水的云底高度在降水前2~1 h的降幅要小于层状积状云降水发生前的云底高度降幅, 且降水前2~1 h的云底高度绝对值也是层状积状云降水小于层状云降水。IWV呈持续增加时间 ≥ 2 h且IWV ≥ 4.20 cm, ILW呈明显增加时间 ≥ 2 h且ILW ≥ 0.119 mm, 云底高度持续下降时间 ≥ 2 h, 平均降幅 ≥ 0.34 km/h且云底高度 ≤ 2.69 km可作为判断未来1 h邢台市发生降水的参考指标。

关键词

微波辐射计, 水汽含量, 液态水总量, 云底高度, 降水

Analysis of Cloud Water Content in Two Precipitation Cases Detected by Microwave Radiometer in Xingtai

Junxi Gao¹, Jufei Hao², Kai Zhang¹

¹Xingtai Renze Meteorological Bureau, Xingtai Hebei

²Xingtai Meteorological Bureau, Xingtai Hebei

Email: gaojunxi123456@163.com

Received: May 25th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 28th, 2021

Abstract

The variation characteristics of water vapor content (IWV), liquid water content (ILW) and cloud base height before two precipitation cases in Xingtai City were analyzed by means of the data of MWP967KV ground-based microwave radiometer and infrared observation instrument. The results show that: the increase of IWV and ILW of stratiform precipitation in 2~1 h before precipitation is greater than that of stratiform precipitation, but the absolute value of IWV and ILW of stratiform precipitation in 2~1 h before precipitation is greater than that of stratiform precipitation. The decrease of cloud base height of stratiform cloud precipitation 2~1 h before precipitation is less than that of stratiform cumulus precipitation, and the absolute value of cloud base height of stratiform cumulus precipitation 2~1 h before precipitation is also less than that of stratiform cumulus precipitation. As the time when IWV continuously increased for ≥ 2 h and $IWV \geq 4.20$ cm, ILW significantly increased for ≥ 2 h and $ILW \geq 0.119$ mm, cloud base height continuously decreased for ≥ 2 h, average decrease for ≥ 0.34 km/h and cloud base height for ≤ 2.69 km, it can be utilized as a reference index to judge the occurrence of precipitation in Xingtai City in the next 1 h.

Keywords

Microwave Radiometer, Water Vapor Content, Total Liquid Water, Cloud Base Height, Precipitation

Copyright © 2021 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

大气中的水汽变化在各种时空尺度的天气过程中扮演着重要角色[1], 其中水汽含量和液态水含量在云的演变和降水发生、变化过程中起着重要作用[2], 地基多通道微波辐射计具有功耗低、寿命长、可靠性高的特点, 可全天候连续实时监测大气的温湿廓线[3] [4], 其反演数据越来越多地在天气预报、人工影响天气、环境气象预报[5] [6] [7]等中得到应用。

众多学者对地基多通道微波辐射计开展了深入研究, 其中 Guldner [8]和 Chan [9]的研究分别发现地基微波辐射计反演得到的中欧地区夏季降水前 30 min 内的大气水汽含量和液态水总量出现了明显增加, 水汽含量增加和对流层不稳定能量的增加对大雨的发生有着很好的指示意义。黄治勇等[10]发现水汽含量急增到 9 cm 以上, 液态水总量急增至约 20 mm 是咸宁市发生短时暴雨的一个参考指标, 党张立等[11]发现水汽含量达到 2.2 cm, 液态水含量达到 0.20 mm 是兰州市发生降水的一个参考指标。为了全面认识邢台地区大气中水汽的分布变化特征, 利用微波辐射计反演数据对两次降水个例的水汽含量、液态水含量及云底高度的变化特征进行了分析, 从而加深对降水发生前大气环境条件的认识, 以期为提高气象预报预警准确率提供一定技术支撑。

2. 资料与方法

本文所使用的降水资料来自中国气象局邢台大气环境野外科学试验基地(37°11'N, 114°22'E, 海拔高度 182.0 m), 文中为尽可能消除前期降水对地基微波辐射计反演数据的影响[12], 剔除降水开始时刻前 12 h 内已出现的降水个例。其中个例一(2019.06.13)、个例二(2019.08.07)在降水发生时的第 1 h 降水量(表

1)分别为 0.1 mm 和 0.4 mm。结合天气形势、云图与雷达图(图略)可以判定出个例一主要为层状云降水,个例二主要为层状积状云混合降水。

Table 1. Two precipitation cases in xingtai
表 1. 两次降水个例情况

| 降水类型 | 开始时间/ (MM.DD.HH) | 结束时间/ (MM.DD.HH) | 第 1 h 降水量/ mm | 持续时间/ h | 总降水量/ mm |
|------|---------------------|---------------------|------------------|------------|-------------|
| 个例一 | 06.13.18 | 06.13.21 | 0.1 | 3 | 1 |
| 个例二 | 08.07.09 | 08.07.11 | 0.4 | 2 | 18.2 |

本文所使用的地基微波辐射计为中国兵器工业第 206 研究所研制的 MWP967KV 型微波辐射计, 布设在中国气象局邢台大气环境野外科学试验基地内, 采用被动接收方式测量大气热辐射信号, 基于历史探空资料和人工神经网络反演算法, 能够实时、连续遥测大气温度、湿度、液态水分布等多种气象参数 [13] [14]。本文通过对大气微波辐射的遥感测量反演获得数据, 运用统计软件工具对降水发生前的个例水汽含量、液态水含量、云底高度变化的特征进行分析, 并对出现该现象的原因进行探讨。

3. 结果与分析

3.1. 水汽含量变化

微波辐射计反演的积分柱大气水汽含量(Integrated Water Vapour, IWV)表示将大气 10 km 内不同高度上的水汽密度对高度积分, 文中单位用 cm 表示。分析发现个例一降水的 IWV (图 1)在降水前 12~11 h 由 2.85 cm 缓慢下降至 2.79 cm, 降水前 10~3 h 由 2.88 cm 波动增至 3.48 cm, 降水前 2~1 h 的 IWV 增加明显, 由 3.42 cm 增至 3.65 cm, 小时平均升幅 6.73%。个例二降水的平均 IWV 在降水前 12~10 h 由 5.18 cm 缓慢下降至 4.96 cm, 降水前 9~6 h 由 4.98 cm 增至 5.12 cm, 降水前 2~1 h 的 IWV 增加, 由 4.83 cm 增至 4.89 cm, 小时平均升幅 1.24%。

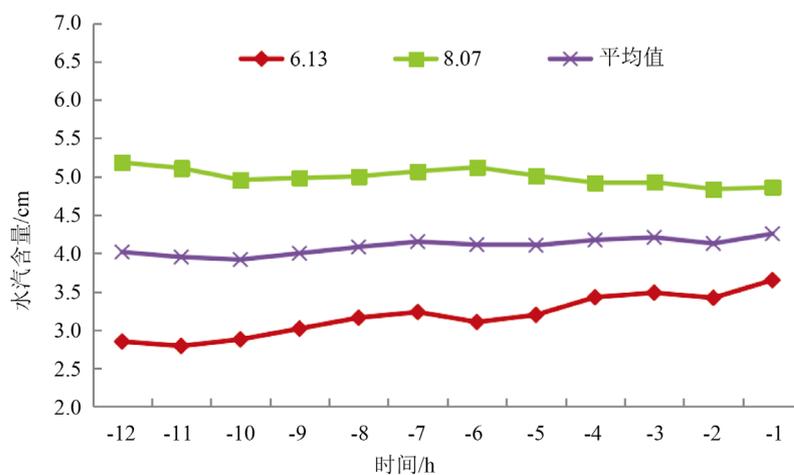


Figure 1. The time variation of average water vapor content from 12 h to 1 h before precipitation for individual cases at Xingtai Station (Unit: cm)

图 1. 邢台站降水个例降水前 12~1 h 平均水汽含量时间变化(单位: cm)

综上所述可知, 层状云降水和层状积状云降水发生前的水汽含量在降水前 2~1 h 均会出现明显增加, 其中层状云降水的水汽含量在降水前 2~1 h 的增幅要大于层状积状云降水发生前的水汽含量增幅, 但降

水前 2~1 h 的水汽含量绝对值却是层状积状云降水大于层状云降水。分析降水个例的平均 IWV 可知, 降水的平均 IWV 在降水前 2 h 增加明显, 小时平均增幅 3.16%, 降水前 2 h 的平均 IWV 为 4.20 cm。在以平均值为参考指标的假设下: IWV 呈持续增加时间 ≥ 2 h, 且 $IWV \geq 4.20$ cm, 可作为判断未来 1 h 邢台地区发生降水的一个参考指标。

3.2. 液态水含量变化

微波辐射计反演的积分柱大气液态水含量(Integral liquid water, ILW)表示 0~10 km 高度单位面积垂直气柱内积分的液态水含量, 文中单位用 mm 表示。个例一和个例二的液态水含量(图 2)在降水发生前均呈波动或减少 - 增加 - 减少 - 跃增的分布。ILW 在个例一的 12~6 h 的 0.024 mm 波动增加至降水前 6 h 的 0.072 mm, 随后在降水前 5 h 下降到 0.053 mm, 降水前 5 h 升至 0.053 mm, 最后由降水前 3 h 的 0.069 mm 跃增至降水前 1 h 的 0.131 mm, 平均增长幅度为 0.447 倍。ILW 在个例二的 12~6 h 的 0.079 mm 波动下降至降水前 6 h 的 0.059 mm, 降水前 3 h 升至 0.109 mm, 最后由降水前 2 h 的 0.105 mm 跃增至降水前 1 h 的 0.152 mm, 一小时增长幅度为 0.453 倍。

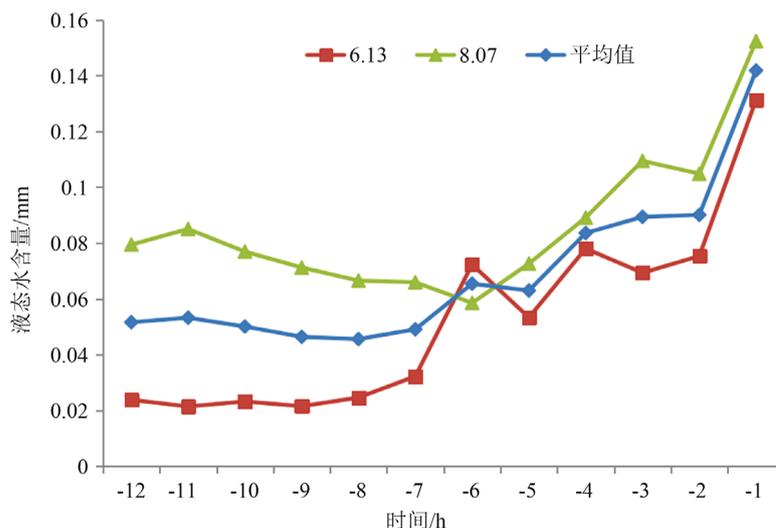


Figure 2. The time variation of average liquid water content from 12 h to 1 h before precipitation for individual cases at Xingtai Station (Unit: mm)
图 2. 邢台站降水个例降水前 12~1 h 平均液态水含量时间变化(单位: mm)

层状云降水和层状积状云降水发生前的 ILW 在降水前 2~1 h 均会出现明显增加, 与 IWV 变化形式类似, 虽然层状云降水的 ILW 在降水前 2~1 h 的增幅要大于层状积状云降水发生前的 ILW 增幅, 但降水前 2~1 h 的 ILW 绝对值却是层状积状云降水大于层状云降水。对降水的平均 ILW 分析发现, 降水的平均 ILW 在降水前 12~1 h 呈波动增加分布, 其中在降水前 2~1 h 呈明显增加, 增长幅度为 0.578 倍, 降水前 2~1 h 的平均 ILW 为 0.116 mm。在以平均值为参考指标的假设下: 降水前云液态水含量随时间变化出现拐点且之后变率开始增加, ILW 呈明显增加时间 ≥ 2 h, 且 $ILW \geq 0.116$ mm 可作为判断未来 1 h 邢台地区发生降水的一个参考指标。

3.3. 云底高度变化

云是空气和水凝结物构成的悬浮于大气中的可见聚集体, 是在大气中空气相对湿度达到饱和或过饱和时才形成的, 而云底高度则反映了空中水物质向地面的发展程度。个例的平均云底高度(图 3)呈波动一

一升高—一下降的分布,降水前 2~1 h 呈明显下降趋势。个例一降水前 12~10 h 云底高度介于 6.15~7.02 km,平均值为 6.64 km,随后由降水前 9 h 的 6.87 km 持续下降至降水前 3 h 的 3.22 km,然后在降水前 2 h 略升至 3.86 km,最后下降至降水前 1 h 的 3.63 km,下降降幅度为 0.23 km/h。个例二降水前 12~7 h 云底高度介于 3.39~3.45 km,平均值为 3.57 km,然后在降水前 5 h 略升至 4.19 km,最后持续下降至降水前 1 h 的 0.953 km,降水前一小时下降幅度为 1.34 km/h。

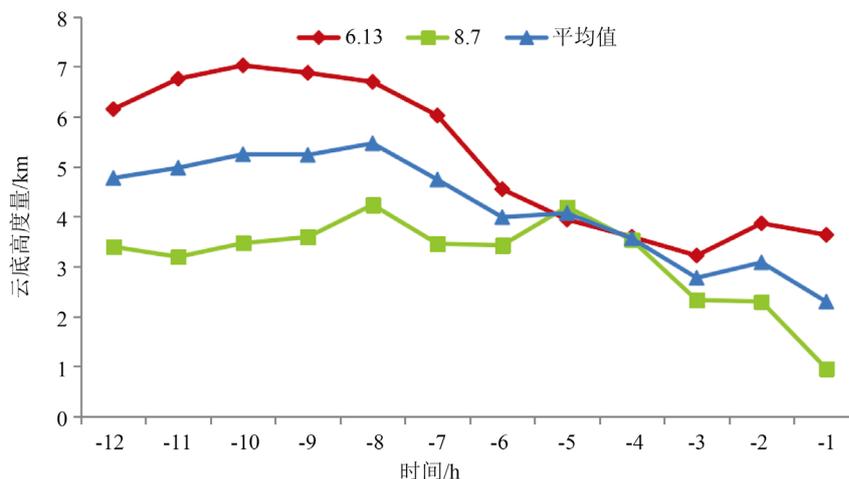


Figure 3. The time variation of cloud base height from 12 h to 1 h before precipitation individual cases at Xingtai Station (Unit: km)

图 3. 邢台站降水个例降水前 12~1 h 平均云底高度时间变化(单位: km)

层状云降水和层状积状云降水发生前的云底高度在降水前 2~1 h 均会出现明显下降,与 IWV 和 ILW 变化形式相反,层状云降水的云底高度在降水前 2~1 h 的降幅要小于层状积状云降水发生前的云底高度降幅,且降水前 2~1 h 的云底高度绝对值也是层状积状云降水小于层状云降水。分析降水的平均云底高度可知,降水的云底高度在降水前的变化不尽相同,但在降水前 2~1 h 均呈减少趋势,平均下降幅度达到 0.79 km/h,平均云底高度在降水前 2~1 h 为 2.29 km。在以平均值为参考指标的假设下:云底高度开始明显下降且持续时间 ≥ 2 h,平均降幅 ≥ 0.79 km/h,云底高度 ≤ 2.29 km,可作为判断未来 1 h 邢台地区发生降水的一个参考指标。

4. 结论与讨论

本文使用国产的 MWP967KV 型微波辐射计和配备的红外观测仪,从水汽含量(IWV)、液态水含量(ILW)和云底高度变化方面,对降水个例的 IWV、ILW 和云底高度变化特征进行了对比分析,主要得到的结论如下:

1) 层状云降水的水汽含量在降水前 2~1 h 的增幅要大于层状积状云降水发生前的水汽含量增幅,但降水前 2~1 h 的水汽含量绝对值却是层状积状云降水大于层状云降水。降水前 IWV 呈持续增加时间 ≥ 2 h,且 $IWV \geq 4.20$ cm,可作为判断未来 1 h 邢台地区发生降水的一个参考指标。

2) 层状云降水的 ILW 在降水前 2~1 h 的增幅要大于层状积状云降水发生前的 ILW 增幅,但降水前 2~1 h 的 ILW 绝对值却是层状积状云降水大于层状云降水。降水前云液态水含量随时间变化出现拐点且之后变率开始增加,ILW 呈明显增加时间 ≥ 2 h,且 $ILW \geq 0.116$ mm 可作为判断未来 1 h 邢台地区发生降水的一个参考指标。

3) 层状云降水的云底高度在降水前 2~1 h 的降幅要小于层状积状云降水发生前的云底高度降幅,且

降水前 2~1 h 的云底高度绝对值也是层状积状云降水小于层状云降水。云底高度开始明显下降且持续时间 ≥ 2 h, 平均降幅 ≥ 0.79 km/h, 云底高度 ≤ 2.29 km, 可作为判断未来 1 h 邢台地区发生降水的一个参考指标。

基金项目

邢台市重点研发计划自筹项目(2020ZC144)。

参考文献

- [1] O'Gorman, P.A. and Muller, C.J. (2010) How Closely Do Changes in Surface and Column Water Vapor Follow Clausius-Clapeyron Scaling in Climate Change Simulations? *Environmental Research Letters*, **5**, Article No. 025207. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/025207>
- [2] 段英, 吴志会. 利用地基遥感方法监测大气中汽态、液态水含量分布特征的分析[J]. 应用气象学报, 1999, 10(1): 34-40.
- [3] 朱磊, 卢建平, 雷连发, 等. 新型多通道微波辐射计及大气观测分析[J]. 火控雷达技术, 2014, 43(1): 84-88.
- [4] 郝巨飞, 高俊喜, 杨允凌, 等. 邢台市大气水汽及云水变化的降水前兆分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(1): 13-19.
- [5] 李军霞, 李培仁, 晋立军, 等. 地基微波辐射计在遥测大气水汽特征及降水分析中的应用[J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 767-775.
- [6] 刘黎平, 郑佳锋, 阮征, 等. 2014 年青藏高原云和降水多种雷达综合观测试验及云特征初步分析结果[J]. 气象学报, 2015, 73(4): 635-647.
- [7] 郝巨飞, 张功文, 王晓娟, 等. 一次环境大气重污染过程的监测分析[J]. 高原气象, 2017, 36(5): 1404-1411.
- [8] Guldner, J. (1999) Results of Year-Round Remotely Sensed Integrated Water Vapor by Ground-Based Microwave Radiometry. *Journal of Applied Meteorology*, **38**, 981-988. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<0981:ROYRRS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<0981:ROYRRS>2.0.CO;2)
- [9] Chan, P.W. (2009) Performance and Application of a Multi-Wavelength, Ground-Based Microwave Radiometer in Intense Convective Weather. *Meteorologische Zeitschrift*, **18**, 253-265. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0375>
- [10] 黄治勇, 徐桂荣, 王晓芳, 等. 地基微波辐射计资料在短时暴雨潜势预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 576-584.
- [11] 党张利, 张京朋, 曲宗希, 等. 微波辐射计观测数据在降水预报中的应用[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 340-343.
- [12] 黄建平, 何敏, 阎虹如, 等. 利用地基微波辐射计反演兰州地区液态云水路径和可降水量的初步研究[J]. 大气科学, 2010, 34(3): 548-558.
- [13] 卢建平, 黄建平, 郭学良, 等. 探测大气温湿廓线的 35 通道微波辐射计设计原理与特点[J]. 气象科技, 2014, 42(2): 193-197.
- [14] Cadeddu, M.P., Turner, D.D. and Liljegren, J.C. (2009) A Neural Network for Real-Time Retrievals of PWV and LWP From Arctic Millimeter-Wave Ground-Based Observations. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, **47**, 1887-1900. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2013205>