

Vertical Distribution Characteristic of Microphysical Properties in Clouds during Rainstorm Weather

Hailang Jing¹, Bo Rong², Jianxun Zhou², Yu Ma^{3*}

¹Xinjiang Weather Modification Office, Urumqi Xinjiang

²Jinghe Weather Bureau, Jinghe Xinjiang

³Climatic Center of Xingjiang, Urumqi Xinjiang

Email: 5656281@qq.com, *wangxu2323@vip.163.com

Received: Dec. 1st, 2016; accepted: Dec. 24th, 2016; published: Dec. 27th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

It is significant for understanding of precipitation formation mechanism and increasing the efficiency of artificially enhancing precipitation by analyzing the cloud microphysical properties in vertical structure. Taking the rainstorm from July 9th to 10th in 2007 over Tianshan Mountain as an example, by use of the data of ice particle equivalent radius (IER), water particle equivalent radius (LER), ice water content (IWC), and liquid water content (LWC) obtained from CloudSat satellite, 2B-CLDCLASS dataset and 2B-CWC-RVOD dataset, through the analysis of cloud microphysical properties, it shows that the average values of IER, LER, IWC, LWC are respectively 29.5 μm , 13.9 μm , 74.3 mg/m^3 , 138.8 mg/m^3 . The occurrence frequency of the low value section of these four microphysical parameters is higher while that of the moderate and high are lower. These four microphysical parameters show single-peak distribution in vertical height and its occurrence frequency is much higher in 8~10 km above the cloud that accounts for 1/3 of all.

Keywords

Cloud, Microphysical Property, Vertical Distribution, Tianshan Mountain

一次暴雨天气中云微物理属性的垂直分布特征

荆海亮¹, 戎博², 周建勋², 马禹^{3*}

*通讯作者。

¹新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室, 新疆 乌鲁木齐

²精河县气象局, 新疆 精河

³新疆维吾尔自治区气候中心, 新疆 乌鲁木齐

Email: 5656281@qq.com, *wangxu2323@vip.163.com

收稿日期: 2016年12月1日; 录用日期: 2016年12月24日; 发布日期: 2016年12月27日

摘要

通过云微观物理属性垂直结构的分析, 对了解降水形成机制和提高人工增水效率具有重要意义。以2007年7月9日至10日天山山脉一次暴雨过程为例, 利用CloudSat卫星2B-CWC-RO数据集提供的冰粒子等效半径(IER)、水粒子等效半径(LEP)、冰水含量(IWC)、液态水含量(LWC), 对暴雨过程中云微观物理属性的分析表明, 在暴雨过程中IER、LEP、IWC、LWC的平均值分别为 $29.5 \mu\text{m}$ 、 $13.9 \mu\text{m}$ 、 $74.3 \text{mg}/\text{m}^3$ 、 $138.8 \text{mg}/\text{m}^3$ 。四个微物理量在低值段出现频率最高, 中值段和高值段出现频率较少。在垂直高度上四个微物理量随高度呈单峰分布, 在云层上部8~10 km出现较多, 出现频率占整个云层的1/3。

关键词

云, 微物理属性, 垂直分布, 天山山脉

1. 引言

云的各种微观物理属性对气候变化非常敏感, 这些物理属性垂直结构产生的微小变化都会对降水的形成产生影响。要了解降水的形成机制, 提高人工增水的效率, 就有必要对云微观物理属性的垂直结构开展深入的研究。

近些年来, 卫星遥感技术和云反演技术不断发展, 加之其拥有更广泛的覆盖范围, 更高的重复频率和精确性等其他探测技术无法比拟的优越性, 使得卫星遥感技术成为气象探测技术发展的一大突破。2006年4月CloudSat卫星发射成功, 其唯一有效载荷仪器94 GHz的云剖面雷达(CPR)于2006年6月开始运行, 它能够测量云的垂直剖面特征, 实现了云高、云厚、云顶类型等宏观物理属性以及云粒子云滴数浓度、液态水路径等微观物理属性垂直分布的探测[1]。

Lee *et al.* [2]利用CloudSat资料对云的液态水含量与云的相态、云的类型、降水发生概率之间关系的分析表明, 用来表述云的液态水含量的概率密度函数(PDF)与云的温度等条件呈对数正态分布。Kawamoto *et al.* [3]采用CloudSat和MODIS数据分析研究了中纬度地区水(液相)云的微物理属性, 重点比较了中国大陆和西北太平洋上空的水云的液态水路径、云滴数密度与降水之间的关系; Guo *et al.* [4]采用CloudSat产品数据研究中国东南地区云的冰水含量等云物理特性的垂直分布及其随季节变化呈现出的规律。周毓荃等[5]利用CloudSat卫星资料对不同天气条件下的云的宏微观物理结构进行初步的研究, 结合TRMM卫星资料, 获得更为精确的云和降水的垂直结构特征; 杨大生等[6]采用CloudSat对2006年到2008年6~8月间中国地区云水含量的月均值的垂直变化特征进行研究, 研究范围较广, 对别的云微观物理属性研究较少; 杨冰韵等[7]采用CloudSat资料研究了2007年1月~2010年12月全球范围内云的微物理属性和光学性质的分布特征; 张华等[8]使用CloudSat卫星中的2B-CWC-RO产品研究分析了2007~2010年东亚地区云的冰水含量、冰水路径等微物理参量的分布特点。邓军英等采用CloudSat卫星云廓线雷达反演资料对新疆天山及其附近地区

云冰粒子等效半径的垂直分布特征及其与地面降水量的相关性进行了分析[9][10]。

新疆深处欧亚大陆腹地,山脉林立、沙漠纵横,是全国有名的干旱半干旱地区,水资源的时间和空间分布极不均匀,这成为制约新疆经济、社会发展的一个关键因素[11][12][13]。2011年新疆社会经济用水约占当年水资源总量的70% [14],可见水资源对新疆经济社会的发展造成了极大的压力。人工增水作业的实施能在一定程度上缓解新疆水资源匮乏的局面,王旭等对2009年~2010年新疆人工增水作业进行评估后发现,与1981年~2008年相比,在人工增水作业影响区域,天山山区、天山以北地区、天山以南地区的年平均降水量分别增加了4%、9%和8% [15]。本文利用CloudSat卫星资料对天山山脉一次暴雨过程中云的微观物理参量展开研究,旨在为新疆人工增水作业提供科学的理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

中国境内的天山全在新疆,西起乌恰县克孜河谷,东至哈密的星星峡,东西全长1700公里,南北宽100~400公里,总面积25万平方公里,海拔高度在3000~5000米之间,高峰终年积雪,多冰川。根据不同山脉组成的山系,天山划分为北天山、中天山、南天山。天山北坡年降水量400~600毫米,西段达900毫米;南坡300~500毫米,西段达800毫米。天山河流形成的年径流量450亿立方米。

2.2. 资料与方法

CloudSat卫星2B-CWC-RO数据集包括反演估计的云液态水含量、冰水含量、云粒子等效半径等。它的顺利输出还需要利用到CloudSat卫星的2B-GEOPROF数据以及辅助的ECMWF-AUX数据。2B-GEOPROF主要提供2B-CWC-RO反演产品所需的雷达反射率、云罩和气体衰减,ECMWF-AUX数据提供温度信息。当2B-GEOPROF输入数据缺失时,2B-CWC-RO将没有数据输出。

根据2007~2010年新疆115个地面气象观测站降水资料,挑选出新疆典型的强降水天气过程,结合CloudSat经过新疆境内的时间,筛选出CloudSat卫星经过新疆且新疆出现强降水的个例。通过比较发现,2007年7月9日至10日天山山脉出现大范围强降雨天气过程,自西向东24小时暴雨中心分别出现在伊宁(25.6 mm)、尼勒克(32.2 mm)、天山大西沟(23.8 mm)、小渠子(25.4 mm)、天池(35.3 mm)。本文选取2007年7月9日至10日作为典型个例,利用CloudSat卫星数据分析天山山脉暴雨过程中云的微物理参量的垂直变化情况。

3. 结果与分析

(1) 冰粒子等效半径的垂直分布

将冰粒子等效半径分为0~60 μm (低值段)、60~120 μm (中值段)以及>120 μm (高值段)共三个值段,统计分析各值段冰粒子出现频率及其随高度的垂直分布。图1给出云的冰粒子三个值段出现频率的垂直分布,图中纵坐标的标值1表示云层厚度1~2 km,标值2表示云层厚度2~3 km,其余依次类推,图2至图4类似。

在天山山脉暴雨过程中,云的冰粒子等效半径(IER)平均值为29.5 μm 。冰粒子等效半径主要集中在低值段,占92.3%。中值段、高值段出现较少,分别占6.3%和1.4%。从图1可以看出,低值段、中值段冰粒子分布在1~12 km,高值段分布在2~11 km。在垂直高度上,低值段冰粒子出现频率在1.7%~14.8%之间,峰值在9~10 km;中值段出现频率0.06%~1.5%,峰值在8~9 km;高值段出现频率0.06%~0.4%,峰值在8~9 km。总的来看冰粒子出现频率随高度呈单峰分布,在云层上部8~10 km出现较多,出现频率为32.7%,占整个云层的1/3。

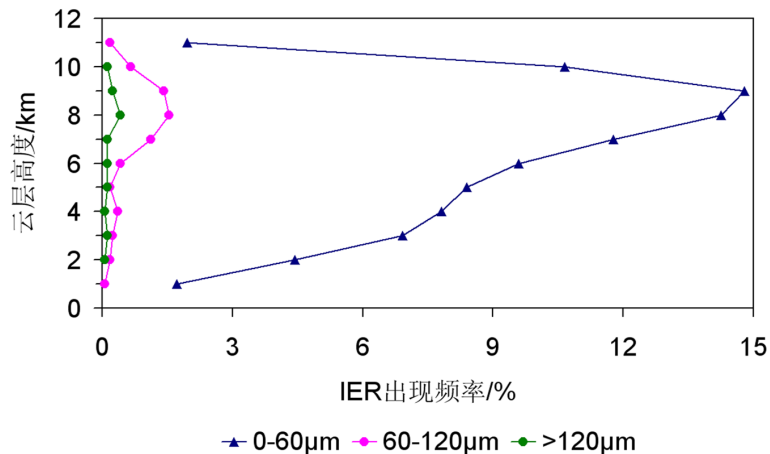


Figure 1. Vertical distribution of frequency of ice particle effective radius within variational radius range

图 1. 不同尺度冰粒子等效半径出现频率的垂直分布

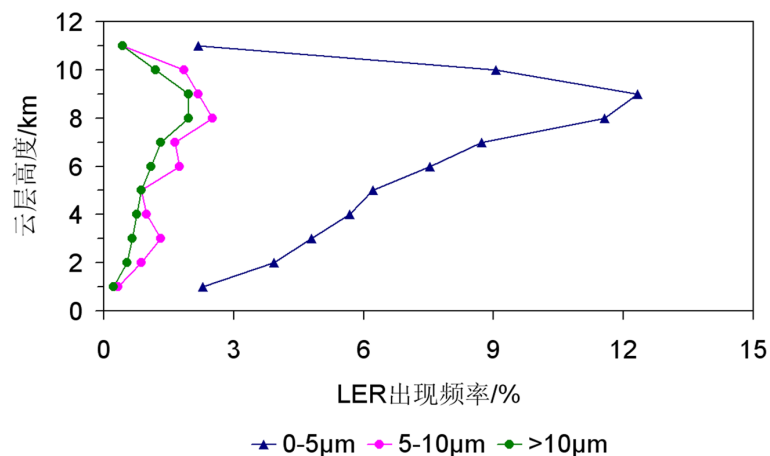


Figure 2. Vertical distribution of frequency of water particle effective radius within variational radius range

图 2. 不同尺度水粒子等效半径出现频率的垂直分布

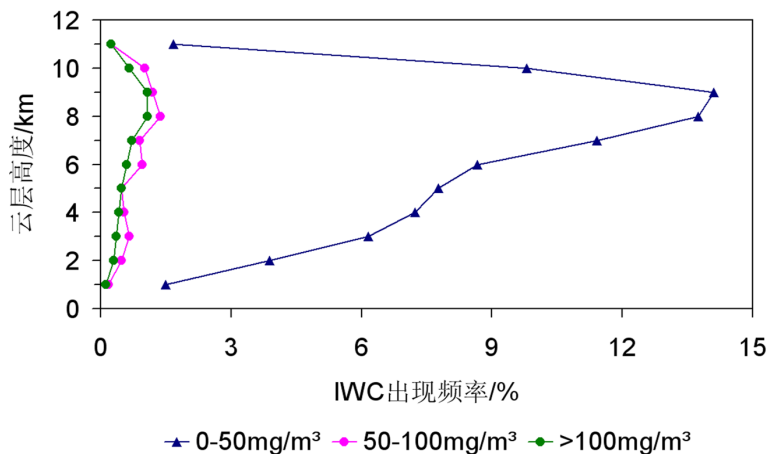


Figure 3. Vertical distribution of frequency of ice water content within variational content range

图 3. 不同等级冰水含量出现频率的垂直分布

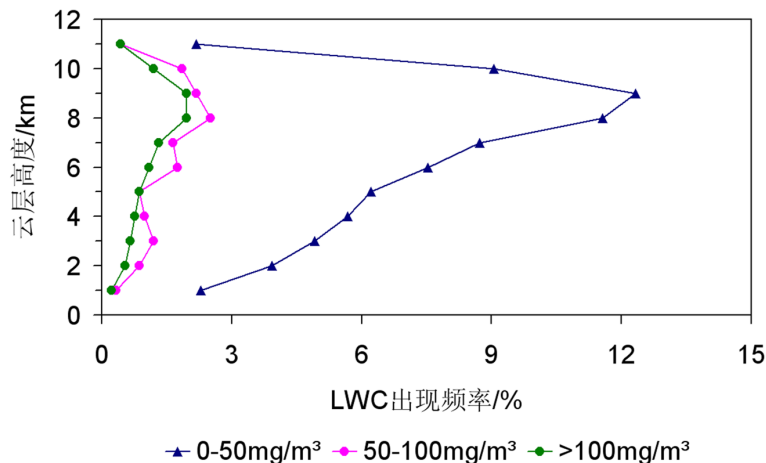


Figure 4. Vertical distribution of frequency of liquid water content within variational content range

图 4. 不同等级液态水含量出现频率的垂直分布

(2) 水粒子等效半径的垂直分布

将水粒子等效半径分为 0~5 μm (低值段)、5~10 μm (中值段)以及>10 μm (高值段)共三个值段。云的水粒子等效半径(LER)平均值为 13.9 μm 。低值段水粒子出现频率最多为 74.3%，中值段和高值段出现较少，分别为 14.7%、11.0%。从图 2 可以看出，三个值段的水粒子均出现在 1~12 km，低值段水粒子在垂直高度上出现频率为 2.2%~12.3%，峰值出现在 9~10 km；中值段 0.3%~2.5%，峰值出现在 8~9 km；高值段 0.2%~2.0%，峰值出现在 8~10 km。总体上水粒子随高度呈单峰分布，在 8~10 km 云层水粒子出现较多，占整个云层的 1/3，出现频率为 32.5%。

(3) 冰水含量的垂直分布

将冰水含量分为 0~50 mg/m^3 (低值段)、50~100 mg/m^3 (中值段)以及>100 mg/m^3 (高值段)共三个值段。冰水含量(IWC)平均值为 74.3 mg/m^3 。冰水含量低值段出现频率最多为 86.0%，中值段和高值段出现频率较少，分别为 8.0%和 6.0%。三个值段的冰水含量均出现在 1~12 km。从图 3 可以看出，低值段冰水含量在垂直高度上出现频率为 1.5~14.1%，峰值出现在 9~10 km；中值段 0.2%~1.4%，峰值出现在 8~9 km；高值段 0.1%~1.1%，峰值出现在 8~10 km。总体上冰水含量随高度呈单峰分布，在云层上部 8~10 km 出现较多，出现频率为 32.6%。

(4) 液态水含量的垂直分布

将液态水含量分为 0~50 mg/m^3 (低值段)、50~100 mg/m^3 (中值段)以及>100 mg/m^3 (高值段)共三个值段。液态水含量(LWC)平均值为 138.8 mg/m^3 。液态水含量低值段出现频率最多为 74.4%，中值段和高值段出现频率较少，分别为 14.6%和 11.0%。三个值段的液态水含量均出现在 1~12 km。从图 4 可以看出，低值段液态水含量在垂直高度上出现频率为 2.2%~12.3%，峰值出现在 9~10 km；中值段 0.3%~2.5%，峰值出现在 8~9 km；高值段 0.2%~2.0%，峰值出现在 8~10 km。总体上液态水含量随高度呈单峰分布，在云层上部 8~10 km 出现较多，出现频率为 32.5%。

4. 结论

在天山山脉暴雨过程中，云的冰粒子等效半径(IER)、水粒子等效半径(LER)、冰水含量(IWC)、液态水含量(LWC)的平均值分别为 29.5 μm 、13.9 μm 、74.3 mg/m^3 、138.8 mg/m^3 。

IER 主要集中在低值段(0~60 μm)，占 92.3%，中值段(60~120 μm)和高值段(>120 μm)出现较少，分别

占 6.3%和 1.4%。LER 低值段(0~5 μm)出现频率最多为 74.3%，中值段(5~10 μm)和高值段(>10 μm)出现较少，分别为 14.7%、11.0%。IWC/LWC 低值段(0~50 mg/m^3)出现频率最多，为 86.0%/74.4%；中值段(50~100 mg/m^3)出现频率次之，为 8.0%/14.6%；高值段(>100 mg/m^3)出现频率较少，为 6.0%/11.0%。在垂直高度上，IER、LER、IWC、LWC 出现频率随高度呈单峰分布，在云层上部 8~10 km 出现较多，占整个云层的 1/3。在天山山脉暴雨过程中，四种微物理参量低值段出现频率最高，在垂直方向上四种微物理参量在云层上部出现较多，这也表明暴雨过程中云的增水潜力较大。

基金项目

新疆维吾尔自治区人民政府重大专项《新疆吐鲁番哈密地区空中云水资源开发利用》项目《降水现象及其历时蕴含的人工增水潜力分析》课题(TUHA201516)资助。

参考文献 (References)

- [1] Stephens, G.L., Vane, D.G., Tanelli, S., *et al.* (2008) CloudSat Mission: Performance and Early Science after the First Year of Operation. *Journal of Geophysical Research*, **113**, D00A18. <https://doi.org/10.1029/2008jd009982>
- [2] Lee, S., Kahn, B.H. and Teixeira, J. (2010) Characterization of Cloud Liquid Water Content Distributions from CloudSat. *Journal of Geophysical Research*, **115**, D20203.
- [3] Kawamoto, K. and Suzuki, K. (2013) Comparison of Water Cloud Microphysics over Mid-Latitude Land and Ocean Using CloudSat and MODIS Observations. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, **122**, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2012.12.013>
- [4] Guo, Z. and Zhou, T. (2015) Seasonal Variation and Physical Properties of the Cloud System over Southeastern China Derived from CloudSat Products. *Advances in Atmospheric Science*, **32**, 659-670. <https://doi.org/10.1007/s00376-014-4070-y>
- [5] 周毓荃, 赵姝慧. CloudSat 卫星及其在天气和云观测分析中的应用[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 603-614.
- [6] 杨大生, 王普才. 中国地区夏季 6~8 月云水含量的垂直分布特征[J]. 大气科学, 2012, 36(1): 89-101.
- [7] 杨冰韵, 张华, 彭杰, 等. 利用 CloudSat 卫星资料分析云微物理和光学性质的分布特征[J]. 高原气象, 2014, 33(4): 1105-1118.
- [8] 张华, 杨冰韵, 彭杰, 等. 东亚地区云微物理量分布特征的 CloudSat 卫星观测研究[J]. 大气科学, 2015, 39(2): 235-248.
- [9] 邓军英, 邱昀, 陈勇航, 等. 强降雨过程中冰云粒子等效半径的垂直分布及其与降水的相关性[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(2): 120-129.
- [10] 邓军英, 丁明月, 王文彩, 等. 冰云粒子微物理属性在一次强降雨过程中的垂直分布[J]. 干旱区地理, 2016, 39(1): 590-599.
- [11] 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9.
- [12] 孙桂燕, 郭玲鹏, 常存, 等. 新疆天山中段南北坡水储量变化对比分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(2): 254-264.
- [13] 夏富强, 唐宏, 杨德刚, 等. 绿洲城市水资源压力及其对城市发展的影响-以乌鲁木齐为例[J]. 干旱区地理, 2014, 37(2): 380-387.
- [14] 周和平, 翟超, 孙志锋, 等. 新疆水资源综合利用效果及发展变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 95-100.
- [15] Wang, X. and Ma, Y. (2015) The Effect Evaluation of Weather Modification in the Range of 2009-2010 Years in Xinjiang. *Journal of Water Resources Research*, **4**, 450-457. <https://doi.org/10.12677/JWRR.2015.45055>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org