

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.05.019

重庆黑山谷云海景观气象特征研究

邓承之¹, 周国兵¹, 韩潇¹, 周燕秋²,
陈鹏³, 吴志鹏¹, 郑武超⁴

1. 重庆市气象台, 重庆 401147; 2. 重庆市万盛经开区气象局, 重庆 万盛 400800;
3. 重庆市巫山县气象局, 重庆 巫山 404700; 4. 重庆市南川区气象局, 重庆 南川 408400

摘要: 云海属自然景源中的云雾景观, 以万盛黑山谷云海为例, 按照云的垂直结构和气象特征将云海景观分为多层云类、低云类和辐射雾类3种类型. 分别对3类云海景观开展天气学分析和数值模拟, 结果显示: ① 多层云类云海由深厚云系在低空出现垂直分层形成, 常出现在降雨开始前或降雨结束后, 垂直方向湿层深厚, 但低空存在一定的下沉运动; 低云类云海由低空暖湿气流抬升凝结形成或由雨后仍未消散的低云构成, 受中高层高压系统或槽后西北气流抑制, 云层在低空维持; 辐射雾类云海, 由山区夜间强烈的辐射降温作用导致近地面层水汽凝结形成, 常出现在雨雪天气结束次日晴朗的早晨. ② WRF模式和水物质法对于多层云类和低云类云海具有一定的预报能力, 而对辐射雾类云海的效果有限, 改善辐射雾类云海的预报是开展云海景观预报时需要面临和解决的关键问题之一.

关键词: 重庆; 万盛黑山谷; 云海; 气象景观

中图分类号: P468 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2022)05-0169-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on Meteorological Characteristics of Sea of Clouds Landscape in Chongqing Black Valley

DENG Chengzhi¹, ZHOU Guobing¹, HAN Xiao¹, ZHOU Yanqiu²,
CHEN Peng³, WU Zhipeng¹, ZHENG Wuchao⁴

1. Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China;
2. Chongqing Wansheng JingKai Meteorological Bureau, Wansheng Chongqing 400800, China;
3. Chongqing Wushan Meteorological Bureau, Wushan Chongqing 404700, China;
4. Chongqing Nanchuan Meteorological Bureau, Nanchuan Chongqing 408400, China

Abstract: The sea of clouds is a cloud and fog landscape of the natural scenery source. Taking the sea of

收稿日期: 2020-12-12

基金项目: 重庆市基础研究与前沿探索项目(cstc2018jcyjAX0434); 重庆市气象局风暴尺度集合数值预报系统建设项目; 重庆市气象部门智慧气象技术创新团队项目(ZHCXTD-202006).

作者简介: 邓承之, 硕士, 正高级工程师, 主要从事气象预报与灾害性天气机理研究.

通信作者: 周国兵, 博士, 正高级工程师.

clouds landscape of Wansheng Black Valley in Chongqing as an example, according to the vertical structure and meteorological characteristics of clouds, the sea of clouds landscape can be divided into three types: the multi-layer type, the low-level type and the radiation fog type. The synoptic analysis and numerical simulation of the processes of three types of sea of clouds showed that: ① The multi-layer type is formed by the deep cloud with vertical stratification in the low altitude, often occurs before or after the rainfall, but there is a certain descending motion at the low level of the deep vertical wet layer. The low-level type is formed by uplift and condensation of the low-level warm and humid airflow, or undispersed clouds after the rain. The cloud maintains at low altitude and forms the low-level type due to the suppression of high pressure system or northwest airflow behind trough. The radiation fog type is formed by condensation of water vapor near the ground caused by strong radiation cooling effect at night in the mountainous area, often appears in the sunny morning of the next day after the rain or snow. ② Simulation based on the WRF model and water matter method showed that the WRF model has certain prediction ability for the multi-layer type and the low-level type, but the prediction of the radiation fog type is limited. Improving the forecast ability for radiation fog type of sea of clouds landscape is one of the key problems to be faced when forecast the sea of clouds based on the numerical model.

Key words: Chongqing; Wansheng Black Valley; sea of clouds; meteorological landscape

我国中西部地区旅游资源丰富,但旅游业发展水平与其旅游资源水平不相称,其主要原因就在于基础设施、服务质量及资源开发水平等没有对旅游业形成足够的支撑作用^[1].这一现象目前正在改变,生态旅游资源的开发和研究越来越受到重视,城市景观^[2-7]、湿地景观^[8-12]、植被景观^[13-16]、公园景观^[17]及气象景观^[18-19]等多种景观资源的研究逐渐成为热点.

气象景观是自然景观的有机组成部分,雨景、云雾景、冰雪景、雾淞雨淞景、霞景、日月景、幻景等,构成丰富多彩的气象景观,是旅游业开发中极为重要的自然景观资源.与其他自然景观相比,气象景观具有其独特的特点.由于气象要素多变,气象景观具有时间的速变性、空间的选择性及借景成景特征^[20].云海、日出、雨淞、雾淞等多种景观的形成,不仅与气象条件有密切关系,还与地形地貌有关^[21],在各类气象景观与地貌的组合中,云类景观的比重最高^[22].

云海属自然景源中的云雾景观,由低于山峰的云层与山脉组合形成,是山岳景区的代表性气象景观之一,尤其是日出和日落时的云海,云蒸霞蔚,极为壮观.云海景观常出现在雨雪天气后,云海出现当天相对湿度大,平均风速较小^[23-24].云海景观的季节性特征明显,且地域差异较大.如黄山云海主要出现在气温较低的冬半年^[23].吴有训等^[24]在黄山云海的研究中指出,黄山云海主要由层积云形成,其中透光层积云出现次数最多,为 76.5%,蔽光层积云为 41.2%,碎积云仅为 5.9%,云量达十成者,主要是由蔽光层积云组成.

重庆处于长江上游和四川盆地东部,境内山环水绕、江峡相拥,自然景观资源在旅游资源结构中起着基础性作用,人文、社会景观为自然景观资源的重要组成部分^[25].重庆大巴山系及武陵山系蕴藏着丰富的云海气象景观资源,如巫山、金佛山、黑山谷等,其云海景观均颇具盛名,不仅具有显著的生态旅游价值,也包含着极高的人文历史底蕴,在历史上留下了如“朝辞白帝彩云间”“除却巫山不是云”等脍炙人口的壮美诗句.2019年重庆市三峡国家气象公园创建工作的开展,梳理出三峡地区包含云海、云瀑等现象在内的多达 10 余种自然气象景观,为开展云海景观的研究奠定了政策基础,也提出了明确的技术需求.开展重庆地区云海景观研究,发展具有应用价值的云海景观预报,不仅可以填补重庆地区气象景观研究与应用的不足,也有助于推动云海气象景观的开发利用和生态旅游业的可持续发展,符合“绿水青山就是金山银山”的发展理念.

1 资料来源及研究方法

1.1 研究目标

本研究以重庆万盛黑山谷景区的云海气象景观为研究目标, 对其类型、形成条件及预报方法开展分析. 黑山谷景区地处云贵高原向四川盆地过渡的大娄山余脉(图 1 红色三角形位置), 景区面积约 100 km^2 , 峡谷全长 13 km , 山顶与谷底高差最大 $1\ 200 \text{ m}$ 左右, 景区内最高峰狮子峰海拔 $1\ 973 \text{ m}$.

1.2 资料来源

目前仅黄山等少数名山建有有人工观测的气象台站, 重庆地区云海景观的直接观测资料极为匮乏. 本研究通过收集和分析 2016—2020 年网络媒体发布的文字及景观照片, 筛选时间地点明确的云海景观信息, 最终确定了万盛黑山谷景区 2016—2020 年的 12 次云海景观. 云海景观气象特征分析中使用的气象资料来源于地面、高空气象观测资料和 NCEP/NCAR($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) 的再分析数据, 也使用了 FY2 系列卫星观测资料, 云海景观数值模拟分析使用了

WRF(Weather Research and Forecasting)模式^[26]模拟的高分辨率数值模拟结果.

1.3 研究方法

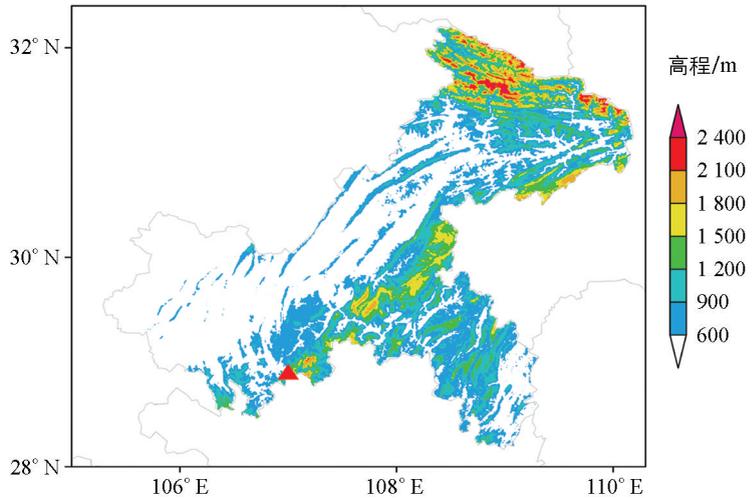
1.3.1 云海分类方法

云海景观主要由大气中的低云及特殊地形组合形成, 不同垂直结构的低云具备不同的云海景观观赏特征及成因. 本研究根据云的垂直结构及气象特征, 将云海景观分为 3 类, 分别为多层云类、低云类和辐射雾类. 多层云类云海景观, 云在垂直方向上整体较高, 云顶高度超过山峰高度, 但由于云在垂直方向上存在分层, 因此在山峰的适当位置可以观看到云海景观. 低云类的云海景观, 云层低于山峰高度, 中高空云量较少或无云, 阳光洒在山峰下的低云上, 云海景观的观赏条件最佳. 辐射雾类的云海景观, 主要由近地面层的辐射雾形成, 一般出现在早晨或上午, 维持时间较短, 日出后缓慢消散或抬升为低云类云海景观.

万盛黑山谷景区 2016—2020 年的 12 次云海景观分类结果如表 1 所示, 多层云类云海和低云类云海各出现 5 次, 辐射雾类云海出现 2 次.

表 1 重庆万盛黑山谷景区云海景观日及类型

云海序号	云海景观日	云海景观类型	云海序号	云海景观日	云海景观类型
1	2016 年 11 月 18 日	低云类	7	2018 年 8 月 12 日	低云类
2	2017 年 5 月 21 日	多层云类	8	2018 年 9 月 6 日	多层云类
3	2017 年 10 月 5 日	多层云类	9	2018 年 9 月 14 日	多层云类
4	2017 年 10 月 7 日	低云类	10	2018 年 8 月 26 日	辐射雾类
5	2017 年 10 月 8 日	低云类	11	2018 年 12 月 7 日	多层云类
6	2018 年 8 月 4 日	低云类	12	2020 年 5 月 15 日	辐射雾类



红色三角形代表了万盛黑山谷景区位置. 审图号: 渝 S(2022)001 号.

图 1 重庆市高程分布图

1.3.2 云海景观气象特征分析方法

针对不同类型云海景观个例,分析 500 hPa 及 700 hPa 标准等压面上的天气学形势特征,并通过相对湿度及垂直运动的时间演变特征分析云海形成阶段的低空湿度及垂直运动条件.

1.3.3 云海景观的数值模拟分析方法

采用非静力中尺度数值模式 WRF-ARW(V3.9.1 版本),针对 3 类云海景观的典型个例开展数值模拟.模拟从云海景观出现前一日 20 时开始,积分 24 h,积分时间步长为 120 s,初始场及侧边界条件为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 分辨率的 NCEP/NCAR 间隔 6 h 的再分析资料,模拟结果输出的时间间隔为 1 h,空间间隔为 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$,在模拟结果中黑山谷景区范围约有 10 个格点.通过对比数值模式模拟的云海景观与实际云海景观的出现情况,分析 WRF 模式对不同类型云海景观的模拟及预报能力.

1.3.4 云海景观的水物质分析方法

云由大气中的小水滴或小冰晶形成,依据大气中的云水、云冰等水物质含量可以判断云是否存在.Tiedtke^[27]基于 ECMWF 模式计算的水物质含量开展云预报.章建成等^[28]将 GRAPES 模式云量方案中得到的任一层次的水物质相加,以大于最小阈值(如 0.01 g/kg)作为该层次有云的阈值,这个阈值在不同地区可根据实际情况调整.本研究基于云海由云顶高度低于山峰的云系形成的原理,将地面至 2 000 m 高度(黑山谷景区最高峰约 1 973 m)的云水、云冰等水物质相加,考虑到地面至 2 000 m 高度含有多个模式层和重庆地区的气候特征,以水物质质量大于 0.02 g/kg 作为 2 000 m 以下是否存在低云云区的阈值.结合地形高度分布,若存在低于最高峰的云系且云系未覆盖全部景区,则认为景区可以观赏到云海景观,若无低云或低云覆盖全部景区则认为无云海景观观赏条件.

2 黑山谷云海景观气象特征

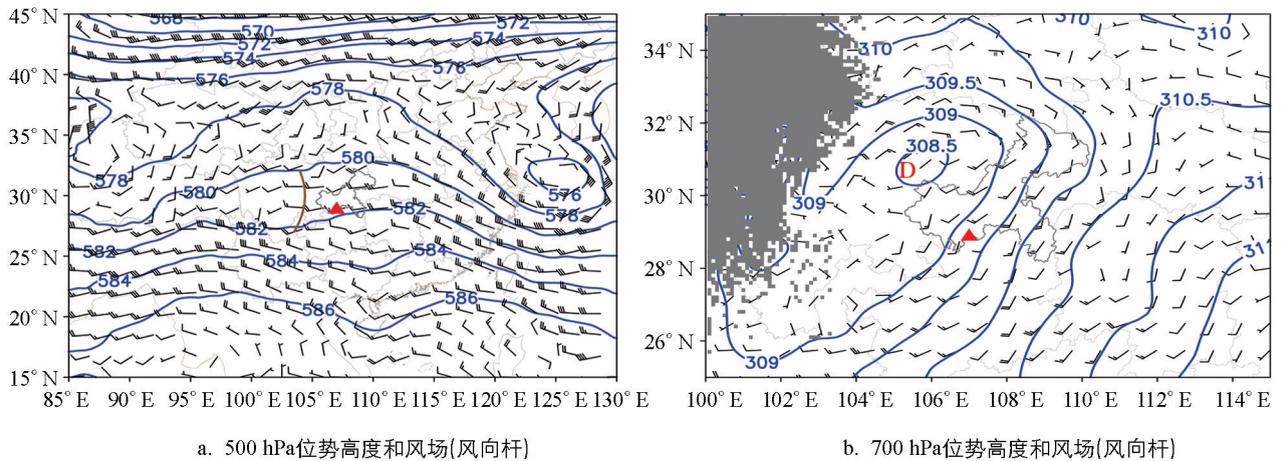
云海景观的出现极大地依赖于气象条件,而特定景区的气象条件随时间是在不断变化的,因此也导致了云海景观的动态多变.开展云海景观气象特征研究,将为发展云海景观预报提供参考.

2.1 云海景观的天气学形势特征

对多层云类的云海景观开展天气学分析可以发现,在 2017 年 5 月 21 日云海景观形成前,500 hPa 上重庆地区位于短波槽前(图 2a),低空 700 hPa 为西南低涡前侧的西南暖湿气流控制(图 2b),重庆地区存在天气尺度的上升运动.结合卫星云图和地面观测可知,08 时重庆地区多云系发展,渝西已经有降雨出现,黑山谷上方云层较厚,云顶高度超过了山顶高度,云层覆盖了整个黑山谷地区.但云海景观的照片显示,云系在低空出现垂直分层,出现山腰下的云层与山顶上方的云层两部分垂直分离的云系,形成多层云形态的云海景观.这类云海景观由于上方云层的覆盖,卫星是无法观测到的.黑山谷景区 2018 年 9 月 6 日云海、2018 年 9 月 14 日云海及 2018 年 12 月 7 日云海均发生在此类形势下,由与短波槽或波动气流相联系的深厚云系垂直分层而形成.但 2017 年 10 月 5 日出现的云海形势却略有不同.10 月 5 日 08 时,500 hPa 低槽已经移过黑山谷景区(图略),但低空仍被湿润的西南气流控制,在槽后辐散下沉运动的作用下,深厚云系出现破碎分层,形成了多层云形态的云海.

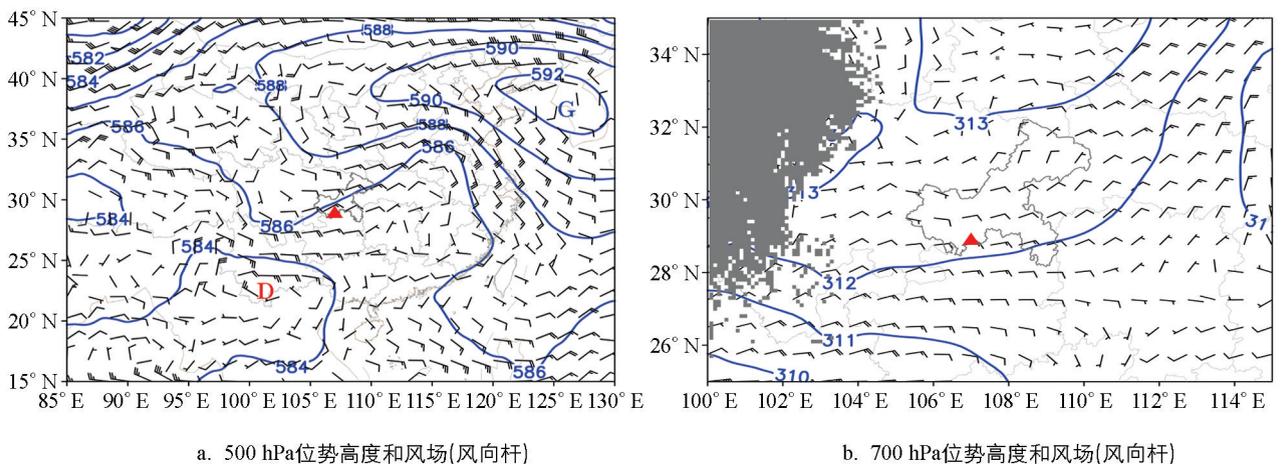
对低云类的云海景观开展天气学分析,在 2018 年 8 月 4 日的云海景观过程中,云海主要出现在副热带高压南侧的偏东气流中(图 3).由于副高南侧东风波的影响,云海日的前一天(8 月 3 日),黑山谷景区出现降雨,低空水汽充足,有云系存在.云海日当天,在副高南侧偏东气流的下沉运动中,云系主要维持在低层,形成了低云类的云海.2018 年 8 月 12 日云海出现在相似的天气形势下.

在黑山谷景区 2017 年 10 月 7 日和 8 日的低云类云海景观中,重庆地区被副热带高压控制,副高 588 线已经控制重庆地区,低空为副高西北侧较强的偏南气流.低空偏南暖湿气流在风速脉动及黑山谷地形作用下,有云系形成,但受到中高层副热带高压下沉运动及水汽条件的影响,云顶高度较低,形成低于黑山谷峰顶的低云类云海.而 2016 年 11 月 18 日云海出现在雨后转晴的过程中,低槽及中高层云系迅速东移,但山区低云仍然维持,形成阳光洒满低云上的云海景观(图略).



灰色阴影代表地形,红色三角形代表万盛黑山谷景区位置,棕色曲线代表低槽,红色D代表西南低涡。

图2 2017年5月21日08时位势高度(等值线,单位: dagpm)和风向场(风向杆)



灰色阴影代表地形,红色三角形代表万盛黑山谷景区位置,红色D代表500 hPa低涡。

图3 2018年8月4日08时位势高度(等值线,单位: dagpm)和风向场(风向杆)

辐射雾也是云海景观的重要成因之一。丁国香等^[23]的研究表明,黄山秋冬季节08时观测到云海次数最多,其主要原因是秋冬两季黄山辐射雾较多。黑山谷景区2020年5月15日早晨出现的云海即由辐射雾形成。14日夜間,万盛由前期的阴雨天气逐渐转晴,中高层以下下沉气流为主,利于云层消散和地面辐射降温。在15日早晨出现了由辐射雾形成的云海景观。可见,辐射雾类云海出现在夜间晴朗少云且近地面水汽充足时,山区强烈的夜间辐射降温作用会使得山区低洼处水汽凝结成雾,从而形成辐射雾类的云海。雨雪天气刚刚结束的时段容易满足上述条件,这也与云海易出现在雨雪天气之后的经验相符。

2.2 云海景观的相对湿度及垂直运动特征

以2017年5月21日的多层云类云海景观出现前后的相对湿度及垂直速度时间—高度剖面图(图4)为例,600 hPa以下存在相对湿度达80%以上的深厚湿层,且维持时间较长,部分时段500 hPa以上还存在较显著的湿层。700 hPa下方上升运动与下沉运动并存,尤其是850 hPa附近存在一定的下沉运动,有利于大气出现下沉增温从而导致云层消散及垂直分层。与多层云类云海景观不同的是,2016年11月18日的低云类云海景观出现时低空湿层较浅,均位于700 hPa以下,700 hPa上方以下沉气流为主,将云层抑制在低空,形成低云类云海景观(图5)。2020年5月15日的辐射雾类云海景观出现在凌晨至上午时段,垂直方向以下沉运动为主,湿层浅薄,中高层湿度更低,利于辐射雾的形成(图略)。

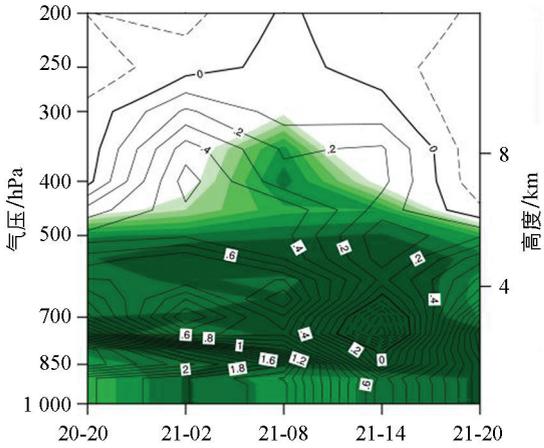


图 4 2017 年 5 月 20 日 20 时—21 日 20 时多层云类云海景观过程的相对湿度(阴影)及垂直速度(等值线,单位: Pa/s)的时间—高度剖面

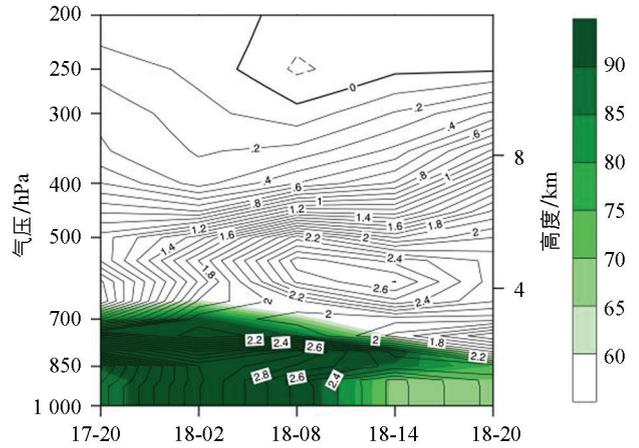


图 5 2016 年 11 月 17 日 20 时—18 日 20 时低云类云海景观过程的相对湿度(阴影)及垂直速度(等值线,单位: Pa/s)的时间—高度剖面

3 黑山谷云海景观的数值模拟

云海景观与森林、湿地、城市等景观不同的是,其极具变化性,游客能否在特定时段、特定景区观赏到云海多数情况下全凭运气,这使得云海景观的旅游价值大打折扣,也成为云海景观等气象景观旅游发展的瓶颈。因此,能否提前预测云海景观具有重要意义。云海景观预报目前以统计预报为主,预报效果仍有待提高^[23]。云海景观的统计预报面临 2 个主要难题:① 云海观测资料极为有限,仅黄山、华山、峨眉山等极少数著名山岳景区具备人工观测的气象台站,且其人工云海观测也仅限于指定时刻台站目测范围内云海的有无和云量等,空间和时间上均存在不连续性,主观性也较明显。而卫星观测受中高层云系的影响较大,在中高层有云的情况下,无法获得低空云海的有效观测。② 云海景观在多类气象条件下均可形成,不同类型的云海景观,具有不同的形成机制,甚至存在相互矛盾的关键气象参数。如辐射雾类云海的形成,仅近地层需要较高的湿度条件,低空及以上高度需要满足低湿少云条件,这样才易形成有利于夜间辐射降温的晴朗天气及近地层的凝结成雾。而与之不同的是,低云类云海却需要低空有较高的湿度条件才能形成。

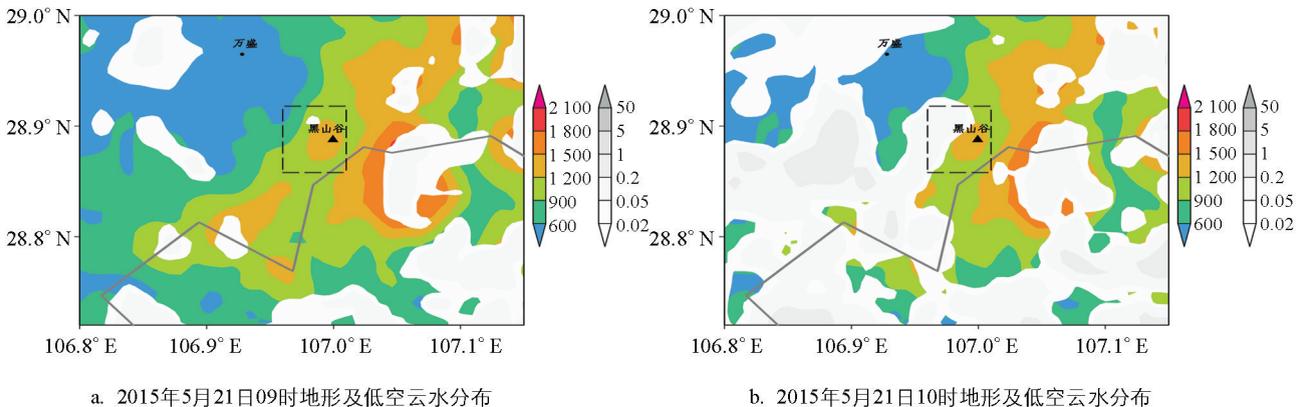
本研究尝试利用数值模拟和水物质法开展云海景观预报的研究,分别对多层云类云海(2017 年 5 月 21 日)、低云类云海(2018 年 8 月 4 日)及辐射雾类云海过程(2020 年 5 月 15 日)开展数值模拟。

在 2017 年 5 月 21 日多层云类云海的模拟中(图 6),21 日 09 时在黑山谷景区东西两侧已经模拟出成片的低云出现,但低云尚未影响黑山谷景区。随后在低槽及西南低涡共同作用下,黑山谷景区附近低云迅速发展,至 10 时,黑山谷西侧云水含量显著增加,低云覆盖黑山谷西侧大部地区,但黑山谷海拔较高的地区尚未被云区覆盖,此时在黑山谷的高海拔山区具备云海景观观赏条件,之后整个景区逐渐被云系覆盖。可见,模拟结果一定程度上再现了此次系统性的多层云类云海景观的发展过程。

在 2018 年 8 月 4 日的低云类云海景观模拟结果中(图 7),4 日 08 时黑山谷地区无低云存在,不存在云海观赏条件。但在 14—15 时前后,黑山谷景区附近存在成片的低云,并逐渐发展,虽然云系的系统性和组织性较差,但能够再现一定程度的云海景观。可见,副高南侧偏东风控制下的系统性较弱的低云类云海景观,模式仍有一定的物理表述能力。

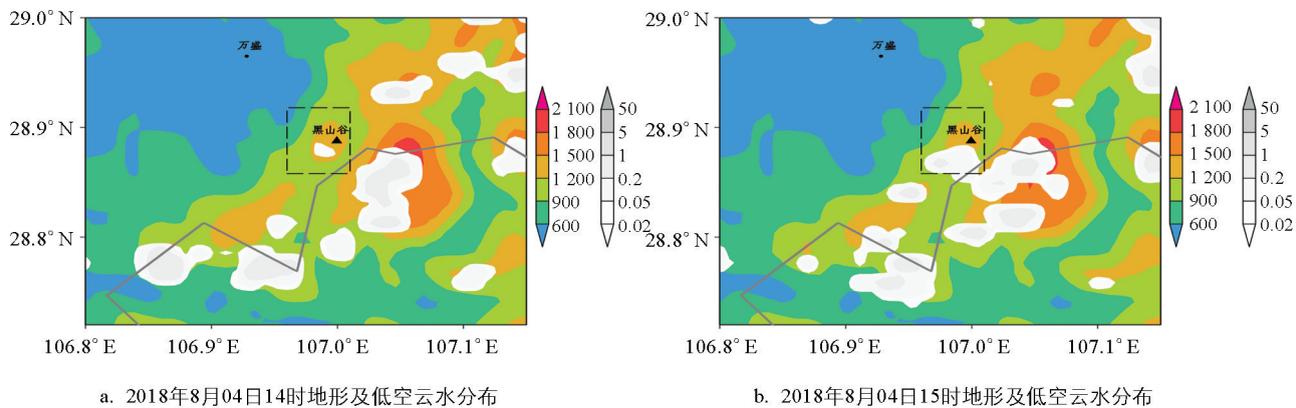
在 2020 年 5 月 15 日的辐射雾类云海过程中(图 8),15 日 08—11 时的模拟结果中黑山谷附近均未出现任何云系,仅在 12 时以后黑山谷北侧出现范围极小的低云云区,且与辐射雾出现在早晨的时间不匹配。可见,WRF 模式未能有效模拟出此次早晨的辐射雾类云海过程。

上述分析表明, WRF 模式对选取的黑山谷景区多层云类云海及低云类云海景观具有一定的物理表述能力, 而对辐射雾类云海景观表述能力较差. 这说明 WRF 模式对多层云类云海和低云类云海具有一定的预报能力, 而对辐射雾类云海过程的预报能力较为有限. 加强辐射雾类云海的预报将通过数值模式开展云海景观预报时需要面临和解决的关键问题.



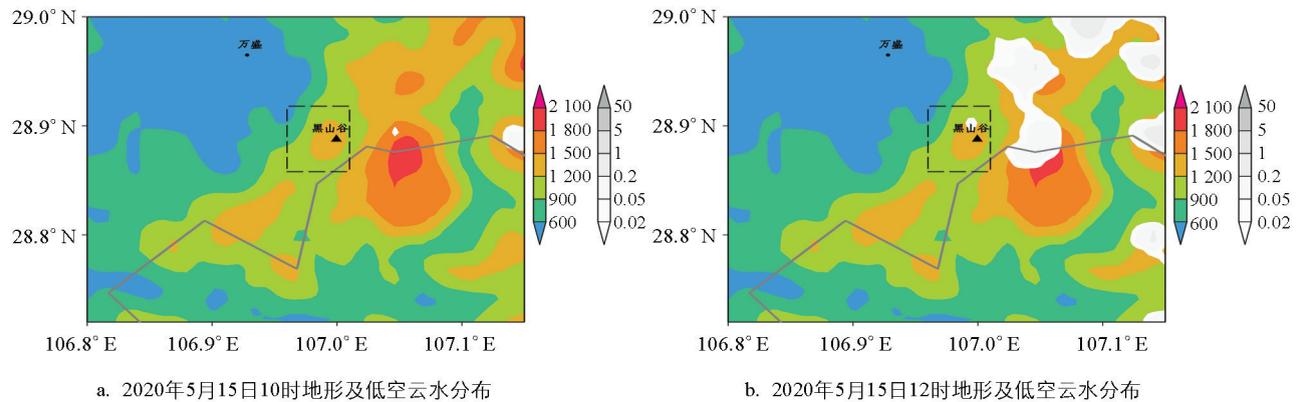
灰度阴影, 单位: g/kg, 0.02 g/kg 以上代表低云, 彩色阴影为高程分布, 单位: m.

图 6 模拟的 2017 年 5 月 21 日多层云类云海景观个例低空水物质含量分布图



灰度阴影, 单位: g/kg, 0.02 g/kg 以上代表低云, 彩色阴影为高程分布, 单位: m.

图 7 模拟的 2018 年 8 月 4 日低云类云海景观个例低空水物质含量分布图



灰度阴影, 单位: g/kg, 0.02 g/kg 以上代表低云, 彩色阴影为高程分布, 单位: m.

图 8 模拟的 2020 年 5 月 15 日辐射雾类云海景观个例低空水物质含量分布图

4 结论与讨论

万盛黑山谷景区的云海景观是重庆地区代表性的云海景观之一,按照云的垂直结构及气象特征,将黑山谷景区的 12 次云海景观分为多层云类、低云类和辐射雾类 3 种类型. 分别对 3 类云海景观开展天气学分析和数值模拟,得出如下结论:

多层云类云海景观常出现在降雨开始前或降雨结束后,500 hPa 上为短波槽、波动气流或高空槽移出后的偏北气流形势. 垂直方向湿层深厚,云顶高度一般超过山顶高度,但由于低层存在下沉运动,深厚云系在低空出现垂直分层,从而出现由分层云系形成的云海景观. 低云类云海景观易发生在对流层中高层为高压或槽后西北气流形势下,低云由低空暖湿气流抬升凝结形成或由雨后仍未消散的云层构成,受到中高层下沉气流抑制,云层在低空维持,形成低云类的云海景观. 低云类云海景观在垂直方向上存在低空湿层,但中高层湿度较低,并存在一定的下沉运动. 辐射雾类云海景观主要由凌晨山区的辐射雾形成,常出现在雨雪天气结束次日晴朗的早晨,由山区夜间强烈的辐射降温作用导致近地面层水汽凝结形成. 垂直方向上表现为低空较弱的湿层和中高层显著的干层,并存在整层的弱下沉运动.

通过 WRF 模式和水物质法对黑山谷景区云海景观开展数值模拟,一定程度上成功模拟出多层云类和低云类云海景观,但未模拟出辐射雾类云海景观. 模拟结果表明,WRF 模式对于多层云类云海和低云类云海具有一定的预报能力,而对辐射雾类云海过程的预报效果有限,改善辐射雾类云海的预报能力将是通过数值模式开展云海景观预报时需要面临和解决的难点.

参考文献:

- [1] 敖荣军,韦燕生. 中国区域旅游发展差异影响因素研究——来自 1990—2003 年的经验数据检验 [J]. 财经研究,2006,32(3): 32-43.
- [2] 俞金国,王丽华. 城市旅游地景观格局分析方法——以大连为例 [J]. 自然资源学报,2007,22(2): 281-289, 323.
- [3] 崔王平,李阳兵,李潇然. 重庆市主城区景观格局演变的样带响应与驱动机制差异 [J]. 自然资源学报,2017,32(4): 553-567.
- [4] 刘兴坡,李璟,周亦昀,等. 上海城市景观生态格局演变与生态网络结构优化分析 [J]. 长江流域资源与环境,2019,28(10): 2340-2352.
- [5] 田雨,周宝同,付伟,等. 2000-2015 年山地城市土地利用景观格局动态演变研究——以重庆市渝北区为例 [J]. 长江流域资源与环境,2019,28(6): 1344-1353.
- [6] 王蓉,周宝同,甘雪坤. 西南山地景观破碎化与城镇化及社会经济发展水平的关系研究——以重庆市渝北区为例 [J]. 长江流域资源与环境,2018,27(3): 624-631.
- [7] 谢焕景,梁萍,沈钦炜,等. 基于 GIS 的太原市景观格局与可达性分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版),2019,41(11): 132-140.
- [8] 宁静,张树文,李颖,等. 黑龙江省近 50 年来沼泽湿地退缩特征及其原因分析 [J]. 自然资源学报,2008,23(1): 79-86.
- [9] 徐晓龙,王新军,朱新萍,等. 1996-2015 年巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局演变分析 [J]. 自然资源学报,2018,33(11): 1897-1911.
- [10] 贾艳艳,唐晓岚,唐芳林,等. 长江中下游流域人类活动强度及其对湿地景观格局影响研究 [J]. 长江流域资源与环境,2020,29(4): 950-963.
- [11] 张双双,董斌,杨斐,等. 升金湖湿地景观格局变化对越冬鹤类地理分布的影响 [J]. 长江流域资源与环境,2019,28(10): 2461-2470.
- [12] 谭志强,许秀丽,李云良,等. 长江中游大型通江湖泊湿地景观格局演变特征 [J]. 长江流域资源与环境,2017,26(10): 1619-1629.

- [13] 曹飞,邵景安,马雪莹,等.三峡库区社区水平乡村路网对森林景观变化的影响[J].自然资源学报,2018,33(8):1363-1375.
- [14] 周阳.景观生态学指导下植物层次化分布格局设计[J].西南师范大学学报(自然科学版),2021,46(1):90-98.
- [15] 杨梦琪,张建林.重庆都市休闲农业园节约型植物景观调查研究[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(3):136-144.
- [16] 赵兵,赵鹏蕾,韦薇.花桥典型地块景观格局及植被群落结构指数评价与制图研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(8):1169-1179.
- [17] 虞虎,钟林生,曾瑜哲.中国国家公园建设潜在区域识别研究[J].自然资源学报,2018,33(10):1766-1780.
- [18] 杨尚英.中国名山旅游气候资源及气象景观评价[J].国土与自然资源研究,2006(2):65-66.
- [19] 郭洁.峨眉山旅游气候研究[J].成都信息工程学院学报,2002,17(2):109-115.
- [20] 冯新灵.中国气象风景旅游资源及其开发利用[J].自然资源,1997,19(6):67-74.
- [21] 贺志明,吴琼,李迎春.井冈山气象旅游资源优势评价及开发利用[J].江西科学,2018,36(2):262-268,296.
- [22] 张子静,贾文毓.中国古代“八景”中气象类景观的成景规律[J].山西师范大学学报(自然科学版),2020,34(2):80-85.
- [23] 丁国香,刘安平,杨彬.黄山冬半年云海预报研究[J].气象与环境学报,2019,35(2):97-101.
- [24] 吴有训,王克强,杨保桂,等.黄山连续性云海过程的天气学分析[J].气象,2005,31(4):73-76.
- [25] 蒋勇军,况明生,齐代华,等.基于GIS的重庆市旅游资源评价、分析与规划研究[J].自然资源学报,2004,19(1):38-46.
- [26] 王晓君,马浩.新一代中尺度预报模式(WRF)国内应用进展[J].地球科学进展,2011,26(11):1191-1199.
- [27] TIEDTKE M. Representation of Clouds in Large-Scale Models[J]. Monthly Weather Review, 1993, 121(11): 3040-3061.
- [28] 章建成,刘奇俊. GRAPES 模式不同云物理方案对短期气候模拟的影响[J]. 气象, 2006, 32(7): 3-12.

责任编辑 包颖