

亚运三人制篮球赛事气象保障天气分析及经验思考

王丹丹¹, 吴彬¹, 杜爽², 李艳芳¹, 徐震宇³, 钱晖⁴

(1. 湖州市气象局, 浙江 湖州 313000;

2. 湖州市长兴县气象局, 浙江 湖州 313199;

3. 浙江省气象安全技术中心, 浙江 杭州 311122;

4. 湖州市德清县气象局, 浙江 湖州 313299)

摘要: 为总结亚运会期间气象服务典型案例, 提供赛事气象服务经验, 基于多源观测资料, 采用三维风场反演等方法, 分析 2023 年 9 月 29 日德清县三人制篮球赛事期间的天气背景和雷达回波特征, 探讨强对流云团在赛事场馆附近减弱的原因。结果表明, 高空槽和低层切变为对流发生和发展提供了有利的天气背景, 但受地形阻挡影响, 安吉县形成的地面辐合线未能东移影响德清县, 也未触发场馆区域的强对流天气; 双雷达联合反演的三维风场和垂直剖面结构显示, 上游安吉地区强对流云团 A、B 未出现合并加强趋势, 且未影响德清地区; 云团 B 东部低层伴有弱辐散现象, 回波高度自西向东由 12 km 降至 4 km, 强度快速减弱, 对德清赛事场馆无明显影响。

关键词: 三人制篮球赛事; 强对流; 精细化气象保障

中图分类号: P456.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8735(2026)01-0049-09

DOI: 10.3969/j.issn.1001-8735.2026.01.007

重大活动是有目的、有计划、有步骤地组织众多人员参与的重要社会协调活动, 具有形式广泛、类别多样、社会关注度高等特点^[1]。近年来, 国内外重大活动(如奥运会、世园会、阅兵庆典、国际赛事等)日益频繁且规模持续扩大, 这类活动多具有“高规格、强时效、室外化”特点, 受天气条件影响显著, 气象保障工作已成为活动组织实施和运行体系中必不可少的组成部分^[1-2]。重大活动既对做好气象服务工作提出了严峻挑战, 即气象部门需精准把握“定时、定点、定量”的预报需求, 提供从短期模式预测到现场实时监测的立体化服务, 同时也为提升气象综合服务能力、展现气象行业重要性创造了有利机会^[3-4]。

目前, 众多专家学者围绕重大活动气象保障开展了深入研究。例如, 甘璐等^[5]在北京世园会开幕期间利用地面自动站、风廓线和云雷达等多种高分辨率探测资料, 结合精细化模式预报产品, 助力预报员精准研判降水系统短时变化特征。漆梁波^[6]回顾近 20 年我国重大活动气象保障工作, 分三类探讨其预报服务难点之处, 并展望了未来重大活动气象保障及其预报支撑体系。同时, 学者从服务模式优化^[3,7]、信息化支撑^[8-10]、应急联动^[2,11]、保障服务的基本思路和做法^[12-15]等角度也提出了系统性策略。然而, 当前研究在山地城市重大活动保障、“弱强度、高影响”天气服务策略、重大活动交通气象服务重点等方面仍待深化。

2023 年 9 月 25 日至 10 月 1 日, 杭州第 19 届亚运会三人制篮球赛在浙江省湖州市(以下简称湖

收稿日期: 2025-06-23

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目“利用双偏振雷达观测强对流系统的宏微观结构特征及回波演变机理研究”(LZJMY23D050002); 湖州市公益性应用研究资助项目“多模式精细化降水预报产品在安吉两库水资源调度中的应用研究”(2023GZ63)。

作者简介: 王丹丹(1993—), 工程师, 主要从事天气预报与服务、雷达分析应用、复杂地形下气象要素模拟研究, E-mail: 18751971206@163.com。

通信作者: 吴彬(1986—), 正高级工程师, 博士, 主要从事双偏振/相控阵雷达算法开发及应用研究, E-mail: bw_nuist@163.com。

州)德清县(以下简称德清)地理信息小镇篮球场举办,该场馆具有半开放式特征,外围观赛区为露天区域,同时杭州市(以下简称杭州)亚运村距离篮球场馆 50 km,每日往返车程 1.2 h 左右。当出现强降雨、大风、大雾等天气时,对竞赛组织、赛事进行、公众观赛、交通保障等多方面将有不不利影响。本研究聚焦 2023 年 9 月 29 日赛事期间(13:00 至 17:10 和 19:00 至 21:05)出现的对流天气过程,分析此过程天气系统演变机制,系统复盘地形阻滞效应下的精细化预报服务流程,构建从大气数值模式预报、多源气象数据融合到服务决策传导的全链条服务体系,旨在为同类山地城市户外竞技项目提供可复制的服务参考。

1 赛事服务概况与资料方法

1.1 赛事服务概况

湖州分赛区气象台根据赛事气象保障要求,制定了场馆类、交通类、分赛区预报类、亚残运会赛事指挥中心(main operations centre, MOC)气象服务专报类共四类常规气象服务产品;同时当出现高影响天气时,将通过短信提醒、电话叫应等方式加密气象服务频次,保障赛事正常运行和运动员安全返程。

2023 年 9 月 29 日午后到夜里的对流性天气服务过程共分为 3 个阶段(图 1),赛前(9 月 28 日 07:00 至 9 月 29 日 11:00),湖州分赛区气象台提前 1 天在各类服务产品中提及 29 日的阵雨或雷雨过程,明确降雨时段为 9 月 29 日 14:00 至 17:00 和 17:00 至 20:00,29 日上午加密为逐小时预报,指明 9 月 29 日 18:00 至 19:00 有小雨,提醒赛事组做好交通保障;赛时(9 月 29 日 15:00 至 22:00),15:00 至 16:00 比赛场馆上游安吉县(以下简称安吉)有强对流云团发生发展且造成局地短时暴雨,分赛区气象台在面对“赛事是否需要中断、德清亚运交通指挥部在路段是否有强天气”等关键问题上,应用多源资料滚动分析研判,提早给出“强对流云团在移入德清境内将迅速减弱,18:00 起篮球场馆及交通沿线以小阵雨为主”的预报结论,保障比赛顺利完成、相关人员安全返程;赛后(9 月 29 日 22:00 至 10 月 17 日),德清县领导及应急管理局、公安局、篮球场运维团队对此次气象服务保障表示一致肯定。

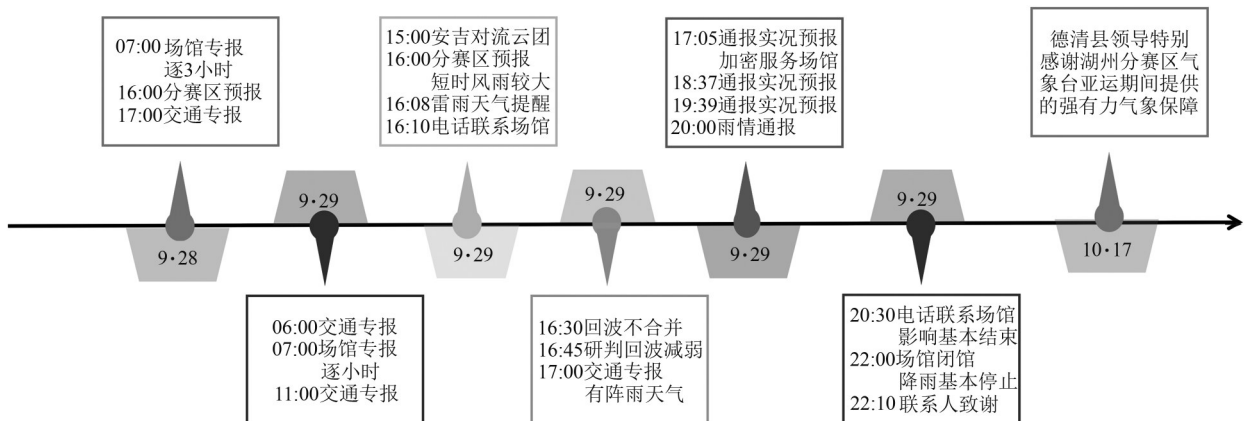


图 1 2023 年 9 月 29 日对流性阵雨天气过程服务保障时间轴

Fig. 1 Service timeline for the convective shower weather process on 29 September 2023

1.2 资料方法

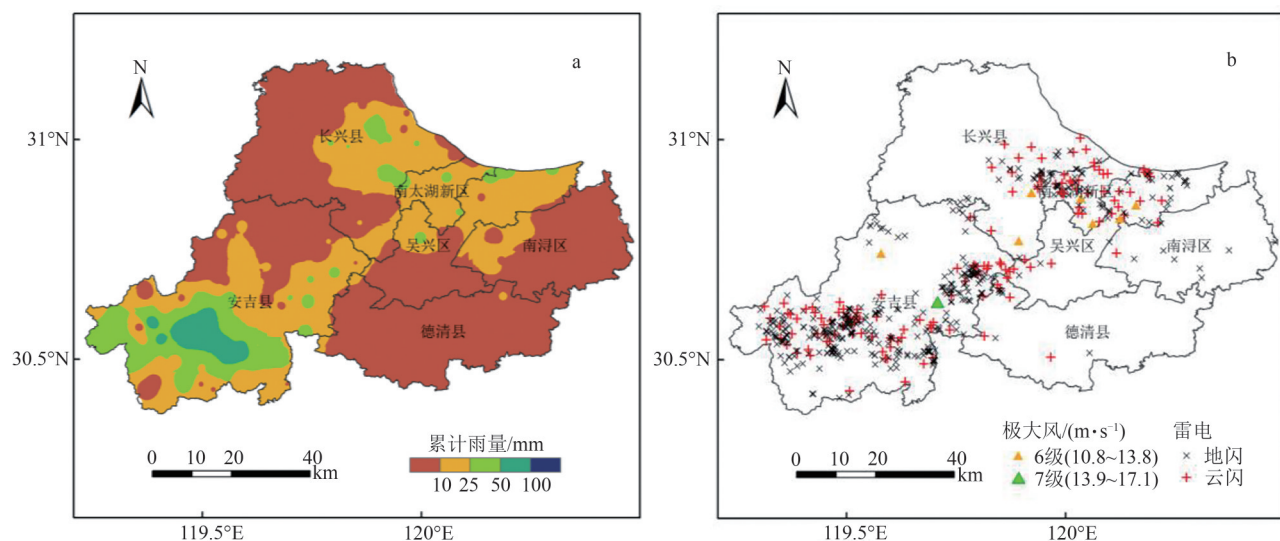
本研究所使用的资料包括湖州市 230 个气象观测站逐小时降雨量和极大风实况数据、浙江省 DDW1 型三维闪电定位系统监测数据、气象信息综合分析处理系统(meteorological information comprehensive analysis and processing system, MICAPS)的高空形势场和杭州站探空资料、浙江省天气雷达精细化组网观测资料、湖州和杭州双偏振天气雷达观测资料,资料时间为北京时间。所用地图为湖州市行政区划矢量分布数据图。

在双(多)部雷达进行三维风场反演之前,首先利用自动退模糊算法进行径向速度的退模糊^[16],然

后将各观测变量插值到水平和垂直间距分别为 1.0 km 和 0.5 km 的笛卡尔网格中。考虑到浙北地区复杂的地形条件以及观测误差等局限性,本研究采用改进的双(多)部雷达三维变分风场反演算法^[17-18],以提升复杂地形下风场反演的精度。

2 天气实况

受高空浅槽和低层湿区影响,9月29日午后到夜里安吉及杭州北部一带出现强对流天气。此次天气过程(9月29日14:00至22:00)德清以小雨为主,局地伴有雷电,其中武康中学站(德清地理信息小镇篮球场气象代表站)雨量0.5 mm,弱降雨虽然对赛事及交通影响不大,但16:00(即三人制篮球赛单元一竞赛结束前1小时),上游安吉东部和南部一带产生局地短时暴雨及6~7级雷暴大风,14:00至22:00累计雨量最大单站为安吉余村站(92.0 mm),最大小时雨强出现在安吉大竹村站($66.1 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$),最大风速为安吉站7级($14.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)(图2),鉴于强对流云团的发展和移动趋势可能影响德清场馆赛事及交通沿线,湖州分赛区气象台需进行精细分析研判,以保障赛事顺利开展。



注:a为累计雨量,b为极大风与雷电。

图2 湖州市2023年9月29日14:00至22:00天气实况分布图

Fig. 2 Weather conditions distribution map of Huzhou City from 14:00 to 22:00 on 29 September 2023

3 天气背景分析

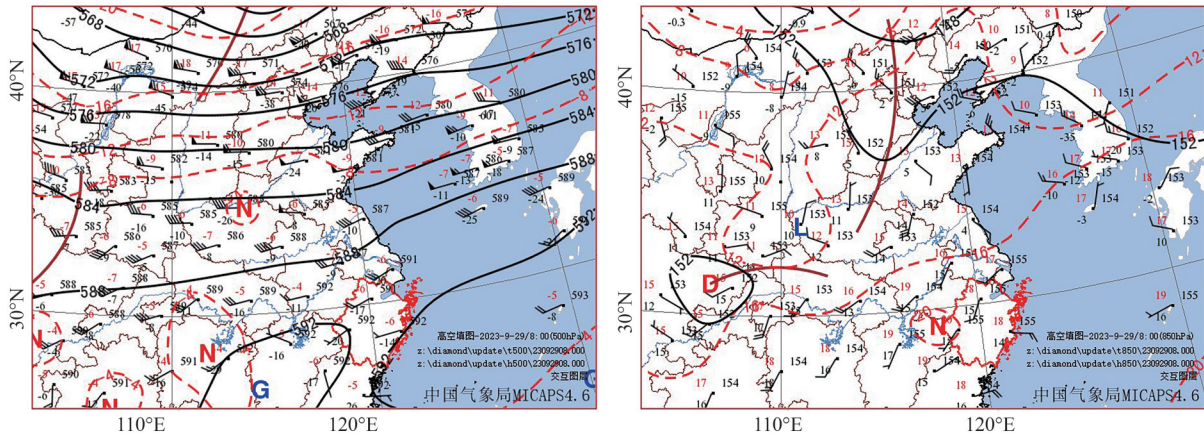
3.1 环流形势分析

基于MICAPS高空形势分析资料,本研究发现29日08:00,500 hPa高度层(图3a)以中高纬度西风环流为主,伴有浅槽波动,副热带高压脊线维持在 25°N 左右,湖州处于副高北缘的西南偏西气流控制区;850 hPa高度层(图3b)上,华北地区存在小槽系统,苏皖中部则维持暖式切变线配合;925 hPa高度层(图略)上,东西向切变线持续存在。随着时间推移,至傍晚前后,上述各层级的浅槽与切变系统均略有南压,为湖州地区降雨的产生提供了有利的动力条件。此外,08:00湖州受弱高压后部的西南暖湿气流影响,水汽充沛;同时,暖区加持使白天气温快速回升,其中武康中学站最高气温升至 33.5°C ,充足的暖湿水汽与显著的气温回升共同促进了不稳定能量的积累,为后续对流天气的形成奠定了基础。

3.2 层结不稳定条件分析

基于MICAPS探空资料,以9月29日武康中学站15时的气温(33.5°C)和露点温度(22.7°C),对湖州站08:00探空数据进行订正。订正后的探空曲线(图4)显示:对流有效势能(convective available

potential energy, CAPE)显著增大至 $2\ 307\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$; 最有利抬升指数(beneficial lifting index, BLI)和抬升指数(lifting index, LI)分别为 $-2.9\ ^\circ\text{C}$ 和 $-3\ ^\circ\text{C}$, 中高层存在相对干层, 但整层大气仍维持“上冷下暖”的不稳定层结; K 指数为 $34.2\ ^\circ\text{C}$, 暖云层厚度超过 $3\ \text{km}$, 地面抬升凝结高度(lifting condensation level, LCL)较低, 仅为 $298\ \text{m}$, 显著偏低; 此外, 9月29日 08:00 湖州地区地面露点温度约为 $25\ ^\circ\text{C}$ 。上述温湿层结与能量条件共同表明, 该区域具备发生短时强降雨、雷暴大风等强对流天气的潜势。



注: a 为 500 hPa, b 为 850 hPa。

图 3 2023 年 9 月 29 日 08:00 天气形势分布图

Fig. 3 Weather pattern distribution map at 08:00 on 29 September 2023

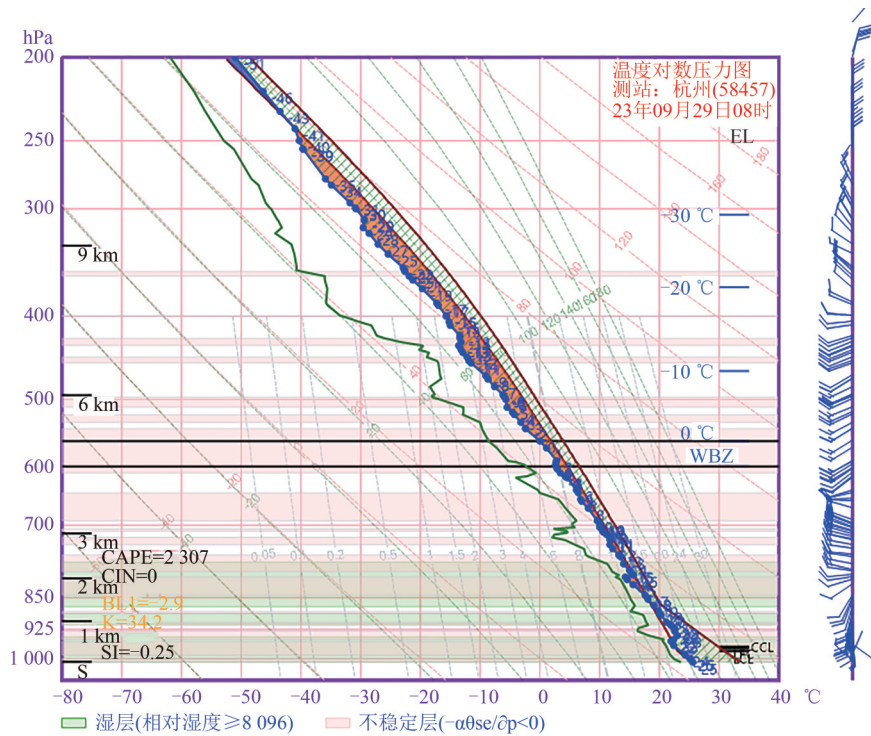


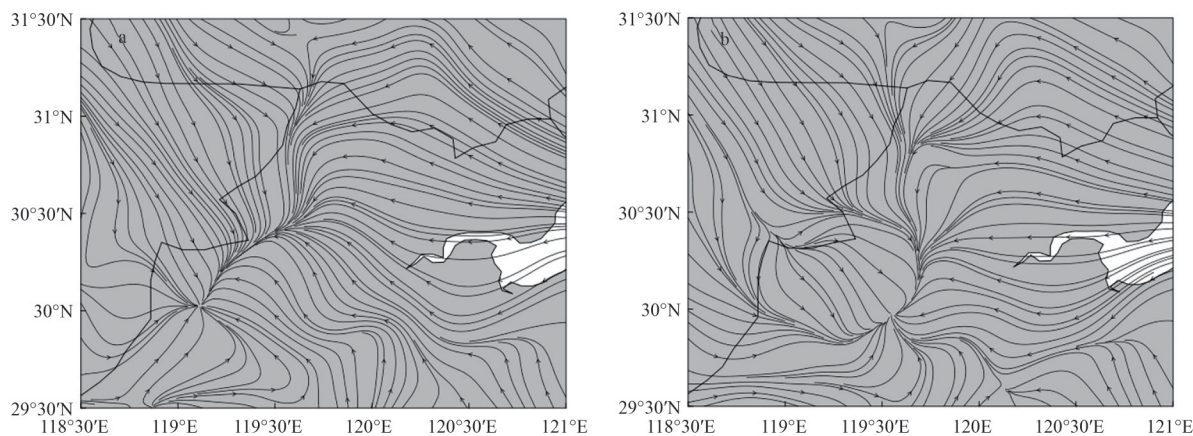
图 4 2023 年 9 月 29 日 08:00 订正后杭州站探空图

Fig. 4 Corrected sounding map of Hangzhou Station at 08:00 on 29 September 2023

3.3 地面流场分析

地面辐合线是强对流天气发生发展的重要触发条件, 对判断对流演变具有明确指示意义。本研究基于地面区域气象观测站的极大风实况资料绘制地面流线图, 9月29日 16:00 流线(图 5a)上显示安吉东南部至

杭州西北部一带存在西北风和东北风交汇形成的地面辐合线,随着时间推移,17:00(图 5b)该辐合线南北段移动速度出现显著差异——北段辐合线受山脉地形阻挡,移动缓慢,持续维持在安吉东部区域,难以向德清方向推进,导致德清地区缺乏强对流触发条件;南段则从杭州西北部东移至杭州中北部一带,虽可能在该区域触发对流天气,但辐合线整体呈稀疏化趋势,辐合强度明显减弱,不利于形成强级别的对流天气。



注:a为16:00,b为17:00。

图 5 2023 年 9 月 29 日地面区域气象观测站小时极大风流线图

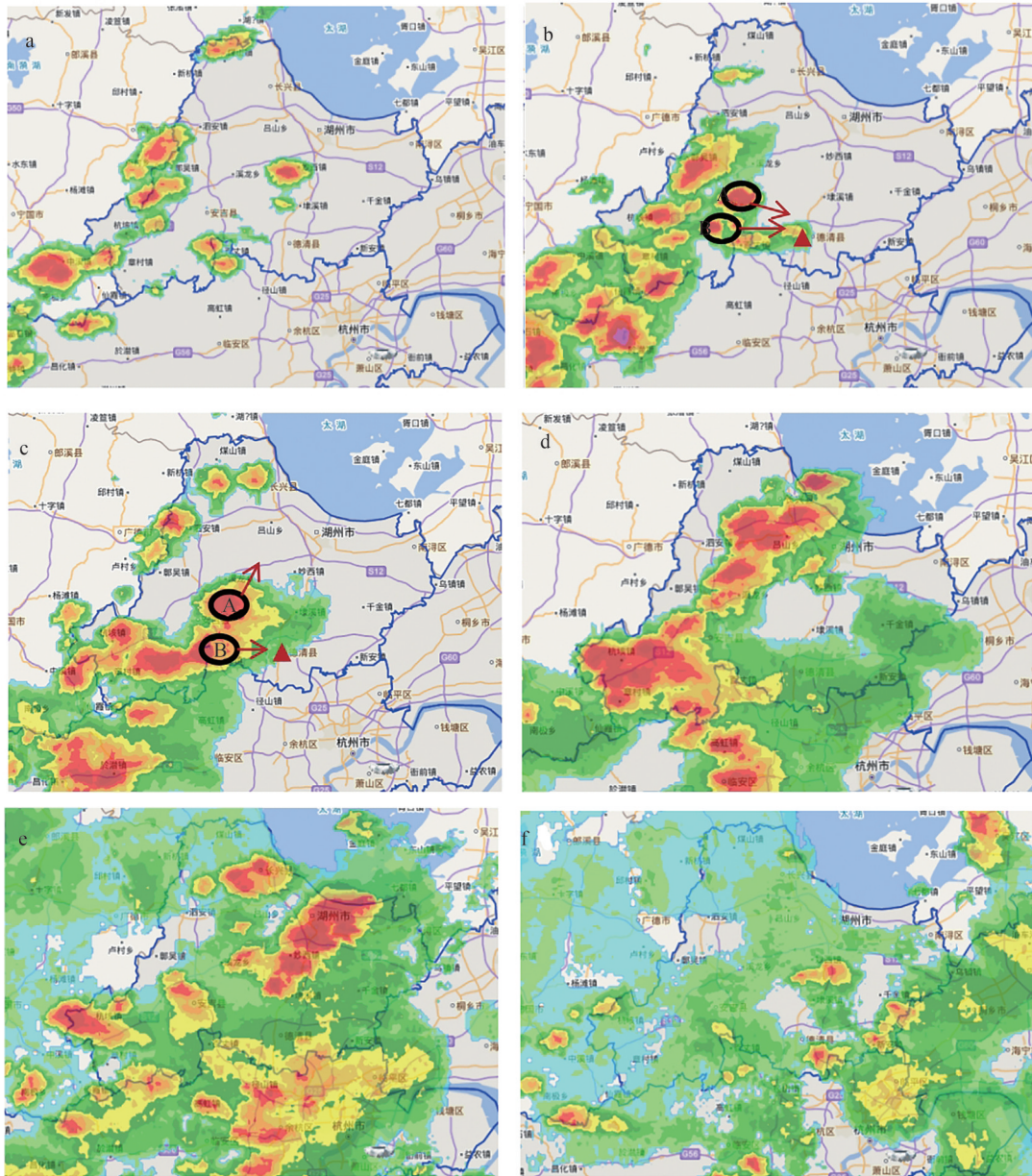
Fig. 5 Hourly maximum wind streamline map from surface regional meteorological observation stations on 29 September 2023

4 雷达特征分析

4.1 雷达回波演变分析

9月29日15:00起,杭州和湖州西部地区出现强对流云团,该云团在持续发展加强的同时逐步东移南压(图6a)。15:57,安吉东部区域发展出较强对流云团A与云团B(图6b),此时两云团距离德清赛事场馆仅约26 km。为研判云团移动趋势,基于欧洲中心数值预报模式(ECMWF)9月28日20:00起报的高空形势场分析发现:9月29日17:00前后,高空槽与低层冷式切变线将逐渐南下,500 hPa高度层气流将转为偏西风,850 hPa及以下高度层则转为西北偏西气流(图略)。在整层西北偏西平均气流引导下,研判云团A有东移略南压的趋势,云团B则以向东移动为主,二者或将在德清与安吉交界处汇合并进一步加强,随后继续向东南方向移动。此时距离德清三人制篮球赛单元一竞赛结束仅剩1 h,上述云团移动趋势可能对场馆周边观赛人群及返程交通造成不利影响。

16:30对流云团A、B靠近东移,安吉北侧的南北庄村出现小时雨强 $42 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降雨(图略);而德清西部地区降雨较弱,小时雨强仅约 $1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,湖州分赛区气象台据此初步判断:回波在德清境内呈减弱趋势。16:45(图6c),对流云团A突然转向东北方向移动,且在移动过程中持续发展加强,随后影响长兴一带;云团B则仍以东移为主,但移动速度明显放缓。究其原因,主要是低质心的回波云团难以逾越德清西部的莫干山山脉,因此无法对德清造成显著影响;即便该云团移至德清境内,强度也会明显衰减,导致德清地区发生强对流天气的概率大幅降低。与此同时,杭州北部的对流云团东移速度较快且强度维持稳定,可能对亚运通勤路线造成不利影响。18:00(图6d),浙江省天气雷达精细化组网监测结果进一步印证了短临预报结论:湖州境内的回波对德清影响微弱,当地以小阵雨为主;但杭州北部的对流云团逐步向南庄兜一带扩展,可能对德清赛事场馆观众及工作人员的返程交通产生不利影响。19:00(图6e),此前影响杭州北部的对流云团及湖州境内残留的强对流云团开始减弱,德清南部至杭州北部亚运通勤路线出现小阵雨;20:33(图6f),上述区域的雷达回波基本消散,此时德清三人制篮球赛已顺利推进,后续赛事及场馆周边交通运行均未受天气影响。



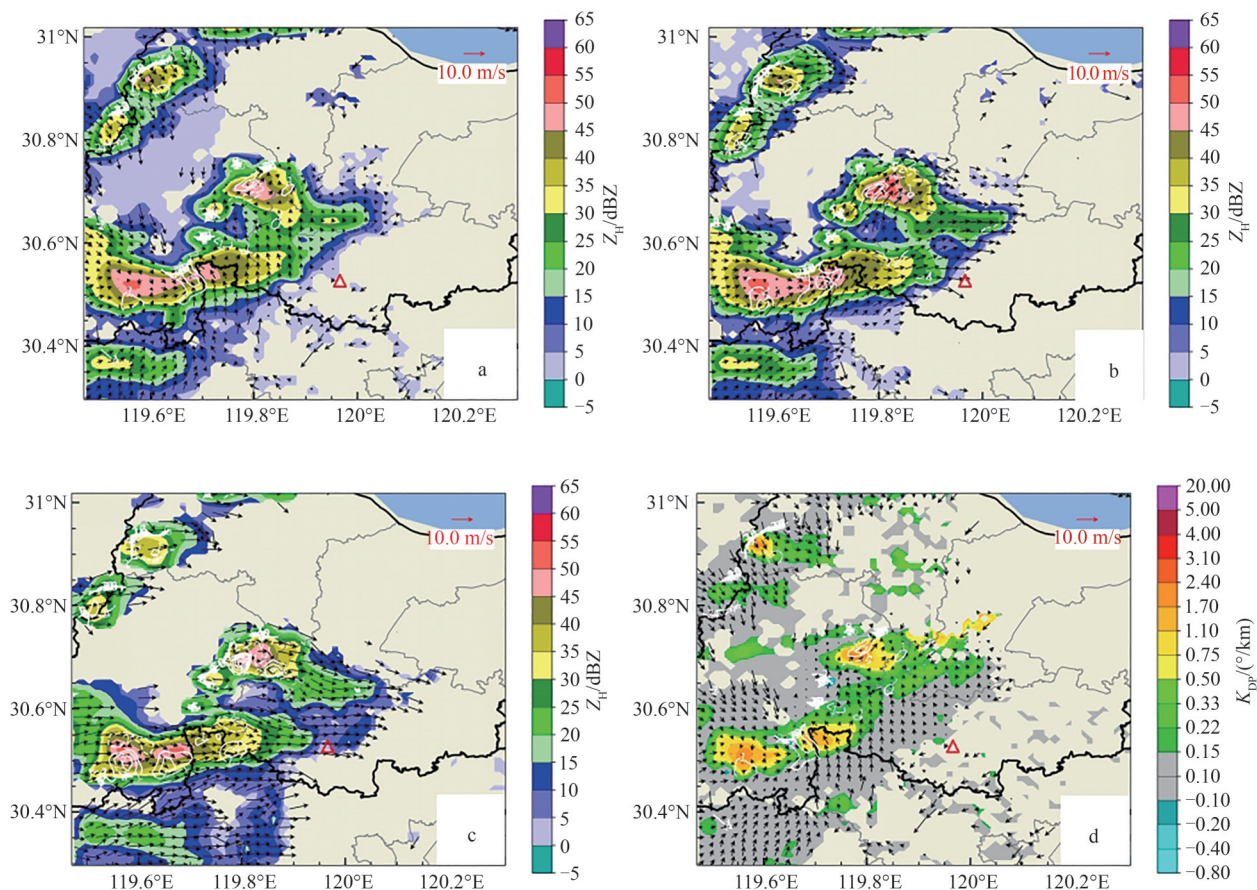
注:a为 15:00,b为 15:57,c为 16:45,d为 18:00,e为 19:00,f为 20:33。三角形代表场馆位置,红色箭头代表对流云团未来的移动方向。

图 6 2023 年 9 月 29 日浙江省天气雷达精细化组网拼图

Fig. 6 The puzzle of the fine networking of weather radars in Zhejiang Province on 29 September 2023

4.2 双雷达三维风场反演与动力结构分析

从双雷达联合反演的三维风场产品可见,16:45 上游安吉一带的强对流云团 A 与云团 B 内部存在明显的动力辐合(图 7a、图 7b):3 km 至 4 km 高度层,云团 A 以西南气流为主导,云团 B 以西北偏西气流为主导,其中云团 B 东部受地形阻挡,风场出现分流区并伴随水平弱辐散,该辐散特征不利于云团 B 在东移过程中维持或增强强度(图 7b);5 km 高度层,云团 A 转为西南偏西气流主导,云团 B 仍维持西北偏西气流(图 7c),在中高层引导气流与风场结构的共同作用下,云团 A 更易向东北方向移动并发展,云团 B 则倾向于向东南偏东方向移动,且强度呈逐渐减弱趋势。



注:a 为 1 km 高度反射率因子 Z_H 叠加水平风场,b 为 3 km 高度 Z_H 叠加水平风场,c 为 5 km 高度 Z_H 叠加水平风场,d 为 1 km 高度差分相移率 K_{DP} 叠加水平风场;白色等值线代表垂直涡度,三角形代表场馆位置。

图 7 2023 年 9 月 29 日 16:45 双雷达反演三维风场及偏振参量分布图

Fig. 7 The 3D wind fields and polarization parameter distribution map of dual-radar inversion at 16:45 on 29 September 2023

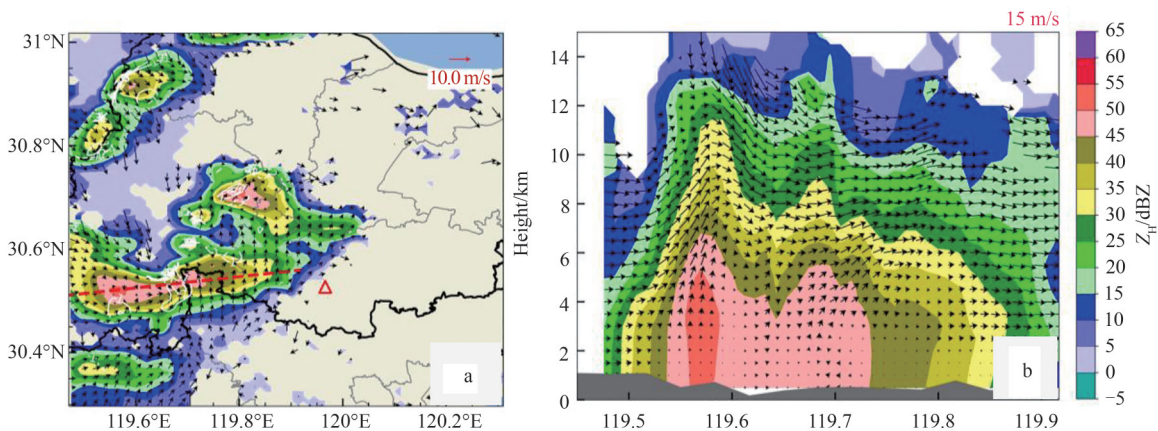
进一步分析德清赛事场馆区域(图中红色三角形位置)可知,场馆低空存在弱降雨回波,3 km 高度层出现偏西风与西北风交汇形成的水平弱辐散场,而低层辐散不利于回波发生发展;1 km 高度层差分相移率(K_{DP})叠加风场产品(图 7d)显示 K_{DP} 大值区集中于上游安吉境内,与该区域地面实况记录的强降雨精准对应,而场馆周边 K_{DP} 值极低,几乎无降雨发生。综上,通过雷达风场反演及动力结构分析可得出结论:上游强对流云团 A 与云团 B 难以合并加强移入德清境内,且云团 B 在向德清靠近过程中呈持续减弱趋势,对德清三人制篮球赛赛事进程及场馆周边运行基本无影响。

本文分析 2023 年 9 月 29 日 16:45 强对流云团 B 的垂直剖面结构图(图 8b)发现:回波高度自西向东呈快速衰减趋势,由 12 km 降至 4 km 左右,反射率因子(Z_H)最大值由 55 dBZ 降至 30 dBZ。西部强对流云团中心上升运动强,垂直风切大,利于强对流云团组织化,但东部云团受地形摩擦阻挡作用,风场出现绕流,低层伴有弱辐散,加之地形的摩擦消耗作用,回波强度和结构均出现组织化减弱现象,尤其在德清赛事场馆所在区域(119.9°E),整层风场均以偏西气流为主,动力辐合抬升作用明显减弱, Z_H 值持续低于 25 dBZ,场馆区域以弱降雨天气为主,无强对流影响。

5 讨论

(1) 2023 年 9 月 29 日,高空浅槽及低空切变为德清地区降雨提供了动力条件,弱高压后部的暖湿气流为降雨提供了充足水汽,高的对流有效势能(CAPE)、偏高的 K 指数及较厚的暖云层则为对流性天气发生提供了不稳定层结条件。但由于地形阻挡,安吉一带的地面辐合线始终未东移至德清境内,

这是德清未发生强对流天气的根本原因。(2)通过雷达风场反演及动力结构分析可知:上游安吉的强对流云团 A 更易向东北方向移动,云团 B 则倾向于向东南偏东方向移动;同时,地形阻挡作用下,云团 B 东部出现风场分流区,低层水平辐散利于回波强度减弱,进而对德清赛事无明显影响。(3)雷达垂直剖面显示:强对流云团 B 东部出现风场绕流,低层伴有弱辐散,叠加地形摩擦造成的能量消耗,回波强度和结构均出现组织化减弱现象,回波高度自西向东由 12 km 降至 4 km 左右。德清三人制篮球场馆区域整层大气以偏西气流为主,动力辐合抬升作用明显减弱,仅出现弱降雨天气,无强对流干扰。(4)虽然此次气象服务顺利保障赛事运行,但仍存在行业气象观测站网不够精密、精细化预报服务存在瓶颈、重大赛事气象服务保障经验积累不足等问题。未来需从四方面提升服务能力:一是完善综合气象观测站网建设,二是强化新型观测资料的业务应用,三是依托科技创新推动气象精细化服务升级,四是加强重大赛事气象保障专业人才培养。



注:a 为 2 km 高度反射率因子 Z_H 叠加水平风场,b 为垂直剖面结构图。

图 8 2023 年 9 月 29 日 16:45 双雷达三维风场反演分布图

Fig. 8 The distribution map of dual-radar retrieved 3D wind fields at 16:45 on 29 September 2023

参考文献:

[1] 李林惠, 刘海波, 薛德友, 等. “第十四届全国冬季运动会”气象保障经验及思考[J]. 内蒙古气象, 2022(1): 31-34.
 [2] 武艳娟, 杨志捷, 薛德友. 做好重大活动气象保障服务的思考[J]. 内蒙古气象, 2018(3): 44-45.
 [3] 张永恒, 薛建军, 温显翌, 等. 重大活动决策气象保障服务探讨[J]. 阅江学刊, 2013, 5(2): 36-42.
 [4] 王希娟. 重大活动气象保障服务分析与探讨[J]. 青海环境, 2017, 27(4): 202-205.
 [5] 甘璐, 郭金兰, 雷蕾, 等. 北京世园会开幕式期间弱降水天气成因[J]. 气象与环境学报, 2021, 37(3): 12-18.
 [6] 漆梁波. 重大活动气象保障中的预报难点回顾及展望[J]. 气象, 2025, 51(11): 1417-1432.
 [7] 陈海军, 张玉成. 牡丹江市重大活动气象保障新模式研究[J]. 农技服务, 2015, 32(11): 115.
 [8] 陈杰, 郑伟才, 邓闯, 等. 重大活动网络气象服务保障初探[J]. 浙江气象, 2017, 38(2): 15-19.
 [9] 杨和平, 张强, 罗兵, 等. 气象综合指挥平台建设与应用[J]. 应用气象学报, 2023, 34(1): 117-128.
 [10] 张锋, 陈锦慧, 陈冲, 等. 亚运赛事气象服务保障综合指挥平台建设及应用[J]. 气象科技, 2025, 53(1): 145-152.
 [11] 马晓琳, 马中元, 黄水林, 等. 庐山重大社会活动气象保障服务的实践与思考[J]. 气象水文海洋仪器, 2010, 27(3): 117-124.
 [12] 王媛媛, 雷蕾, 吴宏议, 等. 重大活动文艺演出天气预报服务复盘分析及策略探讨[J]. 气象科技进展, 2024, 14(4): 53-59.
 [13] 庄舒婷, 林芳芳, 余贞. 2023 年厦门国际马拉松赛事气象保障服务探讨[J]. 海峡科学, 2024(1): 33-38.
 [14] 范进进, 李梦蓉, 岳岩裕, 等. 大型赛事气象保障服务的分析与探讨:以第七届世界军人运动会为例[J]. 河南科技, 2022, 41(5): 108-111.
 [15] 潘进军, 马晓青, 季崇萍. 大型活动气象服务概述及服务需求调研[J]. 气象软科学, 2010(3): 69-74.

- [16] 吴彬, 魏鸣, 李艳芳, 等. 基于变分技术的天气雷达速度退模糊算法的改进研究[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(3): 18-28.
- [17] WU B, WEI M, LI Y F, et al. Analysis of the characteristics and evolution mechanisms of a bow-shaped squall line in East China observed with dual-polarization Doppler radars[J]. Remote Sensing, 2022, 14(15): 3531.
- [18] WU B, DU S, LI W J, et al. The kinematic and microphysical characteristics of extremely heavy rainfall in Zhengzhou City on 20 July 2021 observed with dual-polarization radars and disdrometers[J]. Remote Sensing, 2023, 15(24): 5688.

Weather Analysis and Experience Reflection on Meteorological Support for 3×3 Basketball Events of Asian Games

WANG Dandan¹, WU Bin¹, DU Shuang², LI Yanfang¹, XU Zhenyu³, QIAN Hui⁴

(1. Huzhou Meteorological Administration, Huzhou 313000, Zhejiang, China;

2. Changxing County Meteorological Administration, Huzhou 313199, Zhejiang, China;

3. Zhejiang Provincial Meteorological Safety Technology Center, Hangzhou 311122, China;

4. Deqing County Meteorological Administration, Huzhou 313299, Zhejiang, China)

Abstract: To summarize typical cases of meteorological services for the Asian Games and provide experience in meteorological services for events, this paper analyzed the weather background and radar echo characteristics during the 3×3 basketball events in Deqing County on September 29, 2023, using multi-source observational data and methods such as three-dimensional wind field inversion. It explored the reasons for the weakening of strong convective cloud clusters near the event venue. The results indicate that the upper-level trough and low-level shear provide a favorable weather background for the occurrence and development of convection. However, due to terrain obstruction, the surface convergence line formed in Anji County fails to move eastward to affect Deqing County, nor does it trigger strong convective weather in the venue area. The three-dimensional wind field and vertical profile structure jointly inverted show that the strong convective cloud clusters A and B in the upstream Anji region do not exhibit a trend of merging and strengthening, and they do not affect the Deqing area. Cloud cluster B showed weak divergence at low levels in the eastern part, with echo heights decreasing from 12 to 4 km from west to east, rapidly weakening in intensity, and having no significant impact on the Deqing event venue.

Key words: 3×3 basketball event; strong convection; refined meteorological support

【责任编辑 闫立华】