

与经济效益双赢。

5 基础设施节能改造与绿色能源应用

5.1 管道输送系统节能优化

管道输送是石油运输中较节能的方式且仍有巨大节能潜力。某港口管道公司结合管道运行排量、摩阻、传热系数等数据开展热力计算,借助生产一体化管控数据库统筹分析印证,通过将炼厂重质原油统一调整至管道复线进行大批量集约化加热输送,从合理降低油品加热温度、减少沿程温降、全流程管控加温油品等方面建立稳定输油温度场,使每万吨油品升温 1℃ 的蒸汽使用量降低 0.8 吨;另有储运公司基于能耗监测数据推进机泵改造,以新型高效节能机泵替换老旧设备,有效减少节流损耗与无效功率消耗,这些技术改造投入较小但节能效果显著,是控制环保成本的有效举措。

5.2 场站与仓储设施减排

石油运输场站与仓储设施的减排同样关键。某石油局中转站采用“太阳能+空气源”一体化方式,以太阳能辅助电加热技术替代传统锅炉供热,满足原油倒运保温需求,实现“零”排放,该系统节能率超 60%,年节约成本数十万元、减少燃料油消耗数百吨,还能大幅降低温室气体与二氧化硫排放,运行多年来累计减排二氧化碳达 1 万吨;另有储运公司积极推进绿电替代,在多个场站实施光伏发电项目,旗下宁波分公司引入大量太阳能绿电接入运营体系,淮安输油站与油库光伏并网用电且签订光伏电源服务合同满足部分低压用电需求,南京分公司计划采购大量绿色电力并升级作业区照明系统、新增 LED 防爆节能灯,这些措施既减少了碳排放,又降低了长期运营成本。

5.3 装卸过程减排与能耗控制

石油装卸过程的减排同样重要。某油田运输公司针对每年大量单井拉油业务,创新实施密闭装卸油技术改造,减少 VOCs 排放,避免油气沿地面扩散,从源头上杜绝二次污染,该改造既改善工作环境、减少货物损失,又降低环保治理成本,实现多方面效益;在油轮装卸领域,VOC 回收系统的应用兼具减排与经济效益,某品牌 VER 系统不仅满足国际海事组织相关协议规定的全部要求,还符合集散地港口专属 VOC 减排要求,该系统现有“再吸收”版与“燃料”版,前者为易安装的“插入式”系统可将 VOC 循环回油舱,后者将 VOC 用作船舶燃料,两个版本最高可减少 75% 的 VOC 排放量,显著提升环境可持续性。

6 政策支持与行业协同机制建设

6.1 政策引导与激励机制

政策引导是推动石油运输行业绿色转型的重要力量,国家“双碳”目标为企业明确减排方向并带来政策压力,如 2025 年某省将出台推动大规模设备更新和消费品以旧换新实施方案,为企业更新老旧高排放设备提供政策机遇,类似政策在全国陆续出台,形成行业低碳转型的政策环境;财政

激励机制同样关键,政府可通过补贴、税收优惠、绿色信贷等降低企业绿色转型成本。

6.2 标准规范与监管体系

标准规范是统一石油运输行业环保要求的基准,国际海事组织(IMO)已针对船舶排放制定 MARPOL 公约等规范,明确石油运输船舶环保性能要求,国内也需建立健全涵盖排放标准、能耗标准、技术标准的石油运输环保标准体系,为企业实施环保成本控制提供明确框架;监管体系是确保标准落地的保障,石油运输环保成本控制需构建全链条监管体系,对运输工具、仓储设施、装卸过程完善监测与报告机制,这种基于大数据的监管方式效率高、成本低,是未来环保监管的发展方向。

6.3 产学研合作与技术创新平台

产学研合作是推动石油运输环保技术创新的重要途径,某国际集团与国内企业的合作便是典范,双方共同推进 VOC 回收系统研发与应用,国内石油运输企业也应积极联合高校、研究机构组建技术创新联盟,共同攻克行业共性技术难题,降低单个企业研发成本;技术创新平台可实现研发成果共享、避免重复投入,石油运输行业环保技术研发投入大、风险高,单个企业难以承受,借助行业共享的技术创新平台,能优化技术资源配置、加速成果推广应用,尤其对中小型企业而言,参与该平台可获取先进环保技术,规避因技术落后被淘汰的风险。

7 结语

低碳背景下石油运输环保成本控制是需技术、管理、政策协同的多维度全流程系统工程,结论主要有三:技术创新是核心,新能源运输工具、VOC 回收技术等应用可实现环境与经济效益双赢,且有诸多成功案例;管理优化是重要支撑,数字化调度等措施能在少投入硬件下实现显著环保效益,亦有相关典范;政策支持是关键保障,合理政策可降低企业绿色转型成本与风险。展望未来,其将呈现数字化技术深度融入环保管理、循环经济模式广泛应用、行业协同更紧密、绿色能源应用更广泛的趋势,石油运输企业需主动推进绿色转型,通过技术创新与管理优化平衡环境与经济效益,实现可持续高质量发展。

参考文献

- [1] 贺远鹏.石油管道运输系统的安全性与环保性能优化[J].中国化工贸易,2023,15(10):142-144.
- [2] 许强,黄国林,陈元源.石油化工工程油品储运过程安全环保问题及对策分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(4):43-45.
- [3] 林学武.石油企业油品储运过程中的环保安全问题及对策[J].化工管理,2021(30):69-70.
- [4] 宗志辰.石油化工企业油品储运中的安全环保问题及解决对策[J].中国化工贸易,2025(5):163-165.
- [5] 王欣楠.石油化工企业油品储运过程安全环保的探讨[J].中国化工贸易,2025(1):145-147.

Analysis on the causes of “4 19” short-term heavy precipitation and thunderstorm and gale in Changle Fuzhou

Wuhua Lin Lixuan Lin Zhuying Lin

Changle District Meteorological Bureau, Fuzhou, Fujian, 350200, China

Abstract

From the evening of April 19, 2025 to the night, Changle District, Fuzhou City encountered a strong convective weather process, with short-term heavy precipitation and thunderstorms and strong winds. This paper analyzes the weather background, trigger mechanism, forecast and early warning service, discusses the causes and countermeasures of this kind of weather, and emphasizes the need to strengthen the squall line moving speed tracking and radar feature approaching early warning, in order to provide reference for improving the forecast and early warning ability of severe convective weather.

Keywords

short-term heavy precipitation; thunderstorm and strong wind; squall line, bow echo; water vapor transport.

福州长乐“4·19”短时强降水与雷雨大风成因分析

林武华 林丽萱 林珠应

福建省福州市长乐区气象局, 中国·福建 福州 350200

摘 要

2025年4月19日傍晚至夜间, 福州市长乐区遭遇一次强对流天气过程, 局地出现短时强降水和雷雨大风。本文从天气背景、触发机制、预报预警服务等方面进行分析, 探讨此类天气的成因与应对策略, 研究强调需加强飑线移速追踪和雷达特征临近预警, 以期提升强对流天气预报预警能力提供参考。

关键词

短时强降水; 雷雨大风; 飑线; 弓形回波; 水汽输送

1 天气实况

4月19日夜里长乐区普降大雨, 局部乡镇出现暴雨, 统计4月19日18时-22时累计雨量, 全区共有2个镇街雨量超过50毫米, 其中吴航街道75.3毫米为最大, 最大小时雨强39.7 mm。降水时段主要集中于19日18时-20时, 降水特征表现在局地性明显, 强降水短急, 小时雨强大。统计19日18时至22时全区极大风, 松下镇19时47分出现26.4米/秒(10级)的阵性雷雨大风。

2 天气形势分析

4月19日19时起, 我区吴航街道等局部乡镇出现一次短时强对流天气过程。从环流形势来看, 500hpa短波槽东移南压, 850hpa西南暖湿气流偏强, 低空急流加强水汽传输, 比湿 $\geq 12\text{g/kg}$, 湿层深厚, 同时K指数最高达38-42℃, CAPE值1000-2000 J/kg, 925hPa有切变线影响, 但风切较小,

这样的环流背景和水汽条件有利于出现短时强降水。

2.1 高空天气形势

从高空天气实况分析图上可以看到(图1(a)、(b)) 4月19日08时500hPa高度图上福建省处于槽前较强的西南气流中, 西北方向有切变线存在, 未来12小时副高比较稳定, 长乐区处于584dagpm线控制下, 副高势力较强, 为暖湿气流输送提供稳定的环流背景。19日20时, 短波槽东移南压, 500hPa槽前的辐合上升运动使暖湿气流不断抬升, 对强对流的生成有利, 造成19日傍晚到夜间的强降水。19日08时至20时, 在500hPa低压槽线东部强劲的西南急流作用下我省沿海风速最大达到25m/s, 为本次强降水带来充沛水汽和不稳定能量。19日11时广东至福建沿海一带湿层深厚, 925hpa比湿 $\geq 12\text{g/kg}$, 西南暖湿气流控制, 低空急流加强水汽和能量输送。但19日14时EC预报我省中部急流偏弱、切变偏北, 带状回波南压后的偏北风没有得到反映, 导致对流前期没有预测到雷雨大风和局地强降水。同时925hPa有切变线影响, 与850hPa西南急流耦合, 叠加地面冷锋, 增强垂直上升运动条件, 促使对流云团旺盛发展, 对流呈线状组织化。

【作者简介】林武华(1984-), 女, 中国福建漳州人, 本科, 从事天气监测、雷电防护研究。

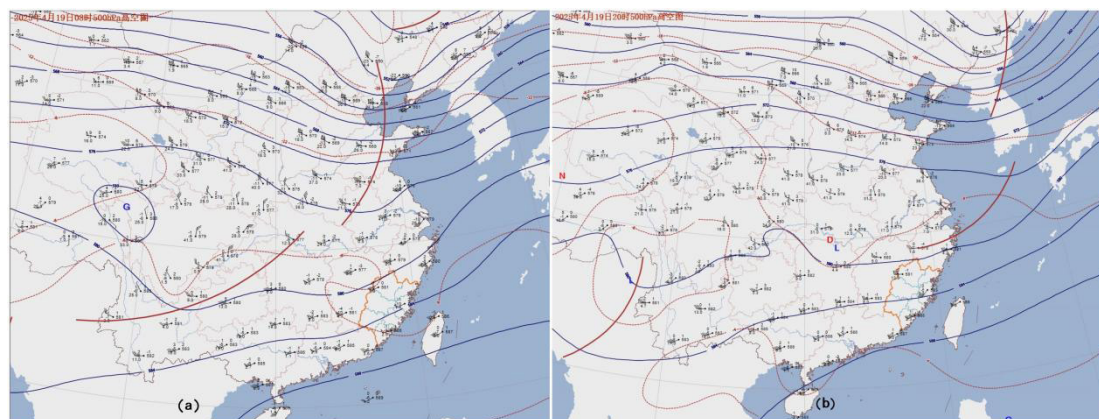


图 1 (a)19 日 08 时 500hPa

(b)19 日 20 时 500hPa

2.2 地面形势

从地面图上分析（图 2），4 月 19 日 08 时地面图上低压中心位于广西境内，向西北方向伸出 1010hPa 等压线舌状槽，14 时地面图上低压到达广东逼近我省沿海，我区处于地面高温高湿的暖低压槽中，气压值 $\leq 1010\text{hPa}$ ，且存在风向的辐合，冷锋逼近本地，锋前降压明显；18-20 时地面冷锋及低压槽快速南压过境本地。低压东侧（沿海）西南气

流持续带来南海暖湿气流，形成有利的湿度条件，低压槽前部的上升运动也为强对流的发展提供了不稳定能量，锋前暖湿空气被迫抬升，与雷达回波中飑线系统对应，说明对流呈线状组织化发展，易引发短时强风和降水等强对流天气（尤其在锋线附近）。20 时后冷锋入海倒槽向北向东发展，我区降水明显减弱。

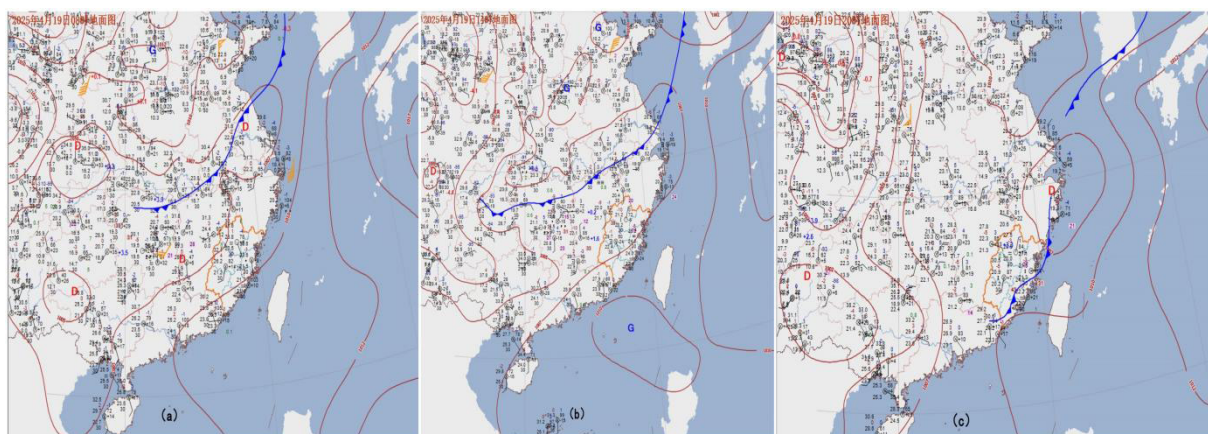


图 2 4 月 19 日地面图 a: 08 时; b: 14 时; c: 20 时

3 雷达分析

4 月 19 日 18 时 -20 时 30 分，飑线回波东移南压影响我省龙岩莆田福州地区，产生一条快速移动的强降雨带（图 3）。飑线快速南压，同时南侧暖区有单体生成，飑线前侧西南暖湿气流不断传输，受到该飑线影响，18 时 35 分线性回波南压至我区上空，雨势开始增强，最强降水时段为 18 时 35 分至 19 时 45 分。19 时飑线回波增强，19 时 30 分飑线前沿处于我区上空，19 时 45 分松下镇上空雷达反射率达 55 至 60dbz，19 时 47 分松下镇出现 10 级雷雨大风。此次强对流天气特征主要以短时强降水为主，局部有雷暴大风，过程持续时间较短，飑线移速较快。

线状强回波带伴随弓形回波且速度图上出现对称的正负速度对，形成“牛眼”状辐散中心，我区上空风速最大差

达 28m/s（图 3），松下镇极大风风速在数分钟内由 5.3m/s 骤增至 26.4m/s。该系统中存在强烈的、深厚的、有组织的旋转上升气流，强烈的旋转上升气流能高效地将底层暖湿空气抬升到高空，导致水汽快速凝结并释放潜热，维持和增强风暴发展。这为高效率的降水产生提供了核心动力机制。

雷达径向速度图中弓形回波是风暴中存在强烈下沉气流和后侧入流急流的典型标志。强下沉气流冲击地面向四周扩散，形成阵风锋（出流边界），容易导致短时雷雨大风这种灾害性天气。弓形凸出顶点附近通常是下沉气流最强、冲击地面产生破坏性直线风（下击暴流）的核心区域。19 时 45 分前后弓形回波在我区东南部乡镇上空，松下镇正处于该区域。此时从风暴后部中层进入的干冷空气，形成后侧入流急流，加速下沉，加剧地面大风强度。