

兰州大学科研人员在稳定边界层研究领域取得重要进展

来源：西部生态安全协同创新中心 2025-03-18 浏览：1433

近日,兰州大学黄建平院士研究团队联合北京大学朱彤院士研究团队和中国气象科学研究院张小曳院士团队在地球科学领域知名期刊《Earth-Science Reviews》上发表综述论文,系统梳理了稳定边界层弱湍流和湍流间歇性的研究和应用进展,总结了现有研究的三大关键问题,并展望了未来研究方向。



Research progress and current application of weak turbulence and turbulence intermittency in stable boundary layers

Yan Ren ^{a,b}, Hongsheng Zhang ^{b,*}, Xiaoye Zhang ^c, Xuhui Cai ^d, Yu Song ^d, Jiening Liang ^e,
Lei Zhang ^{a,c}, Tong Zhu ^d, Jianping Huang ^{a,*}

^a Collaborative Innovation Center for Western Ecological Safety, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

^b Laboratory for Climate and Ocean-Atmosphere Studies, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100081, China

* State Key Laboratory of Severe Weather and Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration (CMA), Beijing 100081, China

^d State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871.

^a Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

图1. 论文题目和作者信息

大气边界层与极端天气、空气污染、低空经济等息息相关，对气候变化响应敏感，直接影响人们生活生产活动，以及低空经济的安全、通信、能效和环境；对保障低空经济安全、预报预警低能见度天气空气质量、优化农业生产、评估新资源和实现双碳目标至关重要。

大气边界层中, 湍流就像“空气中的隐形搅拌器”, 不断混合物质和能量。目前的大气湍流理论主要适用于均匀平稳湍流, 而现实中的大气条件复杂, 许多现象不能用经典理论解析。稳定边界层湍流运动较弱, 受地形影响大, 时空演变更加不均匀, 精确观测和模拟异常困难, 是大气边界层理论和湍流模型发展的瓶颈。

稳定边界层可分为弱稳定边界层和强稳定边界层。前者仍可沿用传统理论描述，后者由于湍流较弱且有间歇性，难以用经典方法准确刻画。研究发现，霾污染事件发生时，强稳定边界层的出现频次可超70%。湍流间歇性的形成受多种因素影响，包括风切变与大气层结相互作用等内部因子和次中尺度运动等外部因子。研究团队研发了新的湍流重构算法，提出了湍流间歇性的量化方法，探究了弱湍流对相似性理论的影响，揭示了内外因子协同影响稳定边界层演变机理。团队还评估了弱湍流和湍流间歇性对物质和能量输送的影响，指出了湍流间歇性在地表能量平衡中的作用；提出了“湍流隔板效应”概念，发现了次中尺度运动与湍流能量转换机制，定量估算了湍流隔板效应对污染物垂直输送的影响。

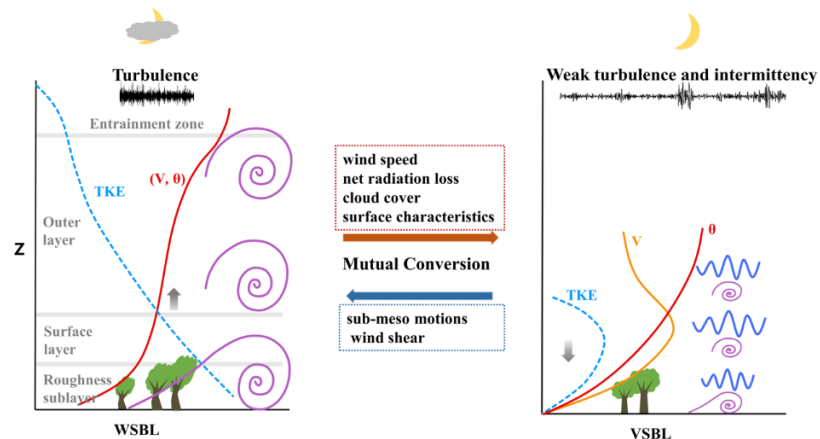


图2. 弱稳定边界层与强稳定边界层的特征及相互转换示意图。紫色圆圈表示湍流涡旋, 蓝色波浪线表示次中尺度运动。

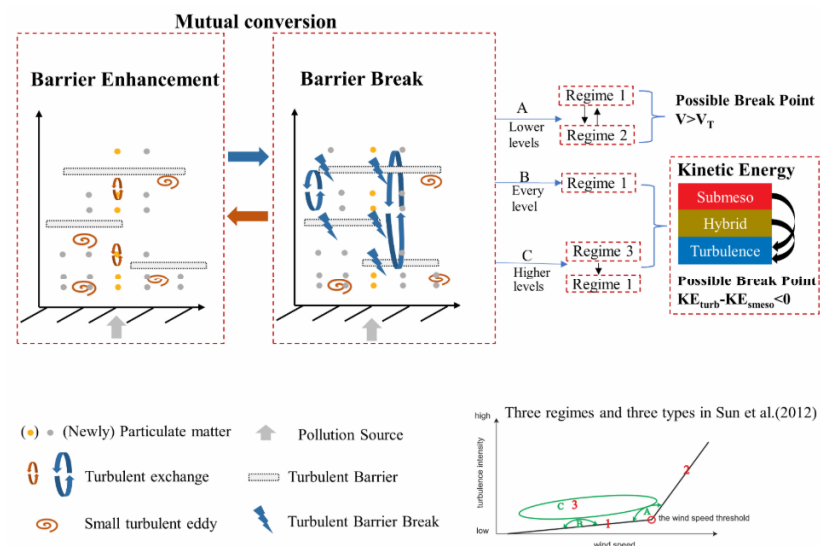


图3. 湍流隔板增强和被打破、能量转换以及不同湍流间歇性过程驱动的临界断点示意图。

团队提出了稳定边界层研究的三个难点：1、稳定边界层演变和状态转换的物理机制；2、湍流间歇性的物理起源和参数化；3、稳定边界层相似性理论的修正。建议未来应加大全稳定边界层观测力度，开展三维精细湍流观测和高精度高空分辨全边界层实验，结合大涡模拟等数值模拟技术，准确评估弱湍流运动和湍流间歇性变化规律，改进湍流参数化方案，推动稳定边界层理论发展，应用于天气预报、空气质量监测、低空经济安全等与生产生活密切相关领域。

研究得到国家自然科学基金委和科技部重点研发等项目资助。第一作者为兰州大学西部生态安全协同创新中心任燕副研究员, 通讯作者为北京大学张宏昇教授和兰州大学黄建平教授, 共同作者为中国气象科学研究院张小曳研究员, 北京大学蔡旭晖教授、宋宇教授和朱彤教授, 兰州大学梁捷宁副教授和张镭教授。

论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105062>

文:任燕 图:任燕 编辑:范文静

分享

上一篇: [解码冰封微生物与气候变化密码——记国家自然科学基金创新研究群体兰州大学泛第三极环境中心团队](#)

下一篇：[兰州大学黄建平院士团队成果入选2024年度中国海洋与湖沼十大科技进展](#)