

2025 年度海南省科学技术奖提名公示内容
(适用于项目主要完成单位、主要完成人所在单位)

项目名称	基于激光雷达探测的临近空间大气动力学 及金属层行为事件的新发现
提名奖项及等级	海南省自然科学三等奖
提名者	海南省科学技术协会
项目简介（1200 字以内）	<p>临近空间是火箭和导弹的通过区及航天器的再入区，同时也是高频及卫星通信电波的通过区或反射区，包含复杂的大气动力学及中高层大气-电离层的圈层耦合过程。作为航天器通行/驻留及太空资源开发的核心活动区，在海南地区开展该领域的研究，不仅深度契合我省空天产业的发展需求，同时对整个国家的国防需求、航天环境监测等领域具有至关重要的战略意义。</p> <p>钠层处于高度为 80~110km 范围的大气层，其与其他原子、分子、离子具有各种复杂的物理、化学和动力学相互作用。钠层原子与其同高度的中高层大气及低电离层成分的紧密耦合，可利用其示踪作用，对中高层大气及低电离层进行观测研究，是临近空间探测的有效手段。</p> <p>多年来，海南师范大学依托合作共建的子午工程钠激光雷达站，通过突破高灵敏度金属层探测技术，大幅提升激光雷达的探测能力，实现对临近空间中高层大气大气湍流区遥感探测，观测低纬度地区的钠金属层的特异性为规律，揭示出大气动力学-多圈层耦合特性，近年来取得空间天气领域系列多项重磅进展性创新成果，主要科学发现如下：</p> <p style="text-align: center;">(1) 发展重力波湍流涡旋理论，填补国内中高层大气涡旋谱</p>

	<p>研究空白。基于自主技术改造的激光雷达系统，在全球范围内首次利用钠密度雷达在重力波湍流区捕获理论预测的涡旋谱特征，证实了理论预测的结论，填补中国大陆地区中高层大气高频涡旋谱研究空白。</p> <p>(2) 揭示中国典型区域重力波源区特征与季节演化规律。通过高精度钠层观测数据，阐明我国中纬度及低纬海南地区重力波核心参数及其季节依赖性，推测东亚重力波优势源区分布，为区域大气动力学建模提供关键约束。</p> <p>(3) 通过低纬度地区特异性钠层行为观测，揭示突发钠层、双钠层、强烈钠层等现象的规律。激光雷达、电离层测高仪和 VHF 雷达的多设备协同观测证实了在低纬度地区，强烈的突发钠层不仅与流星烧蚀提供的物质基础有关，更直接受到电离层动力学过程强烈调制，证实钠层所在的中高层-电离层耦合的相关性。</p> <p>本项目依托多项国家自然科学基金、省自然科学基金及其他开放性课题，相关成果发表于《Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics》、《Remote Sensing》、《地球物理学报》、《空间科学学报》等期刊。截止 2025 年底，相关成果被两度评为子午工程年度十大优秀成果（即上述的主要科学发现（1）由主申报人于 2021 年度以第一完成人获奖；主要科学发现（2）由主申报人于 2022 年度以第三完成人获奖），项目成果同时有力支撑了海南师范大学物理学科博士点成功申报工作。探月四期首席科学家、中国科学院院士王赤研究员点评我们的工作“经过完善设计的激光雷达探测到的湍流区功率谱事件”为 2021 年度国内空间科学领域的亮点工作。被认定对发挥国家重大科技基础设施项目-子午工程产出效益作出重要贡献。</p>
<p>提名书 相关内容</p>	<p>1. Zou, X., Wang, J., Li, F., Yang, Y., Wu, F., Cheng, X., Gong, S., and Yang, G. 2021. Atmospheric turbulence spectrum in high resolution mode detected by a high power-aperture sodium lidar over Yanqing, Beijing (40.47°N, 115.97°E). <i>Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer</i> 270: 107706.</p> <p>2. Zou, X., Yang, G., Batista, P.P., Wang, J., Andrioli, V.F., Cheng, X., Jiao, J., Du, L., Zhang, T., Yang, H., Wang, Z., Xia, Y. 2022. Gravity Wave Parameters and Their Seasonal Variations Study near</p>

	<p>120°E China Based on Na Lidar Observations. Remote Sensing 14: 4798.</p> <p>3. 邹旭, 杨国韬, 王继红, 龚少华, 程学武, 岳川, 张铁民, 傅军等. 基于激光雷达手段的海南地区重力波与其波谱的季节分布特性研究,地球物理学报, 2015, 58(7):2274-2282.</p> <p>4. 邹旭, 杨国韬, 王继红, 龚少华, 程学武, 焦菁, 岳川, 付海川, 王梓硕, 杨松, 羊现长, 傅军. 北京地区重力波参数提取及季节分布特征研究,空间科学学报,2015,35(4):453-460.</p> <p>5. 张铁民, 王继红, 王林茂, 陈学明, 吴建清, 邹旭, 彭鸿雁. 2012年7月海口与北京大气钠层观测, 空间科学学报 2017, 37(4):424-431.</p> <p>6. 张铁民, 王继红, 傅军, 关塞, 张福恒, 沈振江, 杨国韬. 2010年5月4日夜间海口上空钠层密度的激光雷达观测研究等. 空间科学学报 2013, 33(1):48-52.</p> <p>7. 张铁民, 王继红, 刘汉军. 2010年海口上空突发钠层事件观测, 空间科学学报 2015, 35(5):566-573.</p> <p>8. 羊大立, 张铁民, 王继红, 燕春晓, 彭鸿雁. 海口上空中高层大气强烈突发钠层观测, 空间科学学报 2018, 38(6):886-8901.</p>
<p>主要完成人 (排序、工作单位和 贡献)</p>	<p>1. 邹旭, 海南师范大学, 利用光学手段对激光雷达系统进行设计和改造, 突破以往雷达分辨率限制, 实现折算光功率通量计算达 0.7Wm^2 的高观测能力 (以国际上激光脉冲平均获得钠层回波光子数来衡量探测能力的标准, 经此设计的激光雷达已经跻身于世界超高水平雷达之列), 在世界范围内首次利用钠密度雷达在重力波湍流区观测到理论预测的涡旋谱, 证实了理论预测的结论, 弥补当前关于中国大陆地区中高层大气高频涡旋谱的研究空白。同时阐明我国中纬度及低纬海南地区重力波核心参数及其季节依赖性, 推测东亚重力波优势源区分布, 为区域大气动力学建模提供关键约束。主持完成重要科学发现点 1-2 的研究工作, 发表代表性论文 1-5。依靠激光雷达金属层探测在临近空间大气动力学研究领域及重力波波源推测作出主要突出贡献。</p> <p>2. 张铁民, 海南师范大学, 基于子午工程海南激光雷达观测数据, 结合大气金属层理论模型, 系统揭示了低纬度地区钠层特异性突发特征, 通过多源数据与模型融合分析明确了"钠层突发特性与电离层耦合的相关机制。完成了重要科学发现点 3 的研究工作, 发表代表性论文 2、3、5、6、7、8。在研究钠层特性及与电离层耦合过程研究方面发挥重要作用。</p> <p>3. 羊大立, 海南师范大学, 基于子午工程海南激光雷达观测数</p>

	<p>据，结合大气金属层理论模型，通过激光雷达、电离层测高仪和VHF雷达的多设备协同观测，证实了在低纬度地区，强烈的突发钠层不仅与流星烧蚀提供的物质基础有关，更直接受到电离层动力学过程强烈调制。完成重要科学发现点3的研究工作，发表代表性论文 8。参与研究了双钠层的密度剖面结构观测及时空演化规律等工作，为激光雷达观测研究提供维护性支持。</p> <p>4.彭鸿雁，海南师范大学，参与完成重要科学发现点3的研究工作，发表代表性论文5, 8。参与研究了双钠层的密度剖面结构观测及时空演化规律；强烈钠层与电离层相关性研究等工作。</p>
<p>主要完成单位 (排序和贡献)</p>	<p>海南师范大学，针对钠层激光雷达高频段大气重力波谱出现观测瓶颈的长久问题进行了雷达系统设计和改造，突破以往激光雷达分辨率限制，实现折算光功率通量计算达 0.7Wm^2 的高观测能力，在世界范围内首次利用钠密度雷达在重力波湍流区观测到理论预测的涡旋谱，证实了理论预测的结论，弥补当前关于中国大陆地区中高层大气高频涡旋谱的研究空白。同时阐明我国中纬度及低纬海南地区重力波核心参数及其季节依赖性，推测东亚重力波优势源区分布，为区域大气动力学建模提供关键约束支撑。通过联合钠激光雷达、VHF 雷达等多源观测数据及再分析资料，阐明突发钠层、双钠层、强烈钠层等现象的规律，揭示了低纬地区电离层对金属层存在的调制作用，为认知我国上空临近空间环境特性提供了关键证据，推动了中高层大气-电离层多圈层耦合研究的发展。</p>

说明：涉及国外的人和组织科学技术合作奖可不用公示，其余奖项必须公示至少 7 日。