

一、项目名称：强湍流下太阳大气高分辨光学层析成像机理与方法

二、提名单位：中国科学院成都分院

三、提名单位意见

空间天气预报已被列入国家空间科学发展中长期发展规划和国务院气象高质量发展纲要。在国家自然科学基金和高技术计划支持下，本项目面向空间天气预警预报重大需求，在强湍流下太阳大气高分辨光学层析成像机理和方法方面开展了原创性研究，建立了太阳大气高分辨光学层析成像体系：

1.发现了实际大气湍流扰动的时空特性，发展了光波在非 Kolmogorov 湍流中的传播理论，提出了测量大气主要参数的新方法；

2.建立了外源辐照下轻量化光学反射镜体传热理论模型，提出了液气冷媒互耦合的多重循环镜面视宁度效应及热变形控制方法，解决了大口径太阳望远镜热控难题；

3.发现了多层共轭自适应光学（MCAO）系统中大视场校正性能不一致的问题，建立了 MCAO 新体制。

基于重要科学发现，项目组于 2019 年建成了我国首台 2 米级太阳望远镜并成功首光，实现了我国大口径太阳望远镜从 1 米级到 2 米级的跨代发展，并成为当时世界上最大口径太阳望远镜，国际首次实现了可见光至近红外太阳大气七波段层析同步成像。

项目组共发表 SCI 论文 120 篇，5 篇代表性论文他引 293 次；出版专著 3 部、译著 1 部；获发明专利 35 项。项目成果促成了“太阳观测网规划建议”重大示范性工程立项并落户四川稻城以及与欧洲 4 米太阳望远镜的合作，显著提升了四川省在该领域的地位以及国际影响力。

我单位组织项目完成单位认真审阅了该项目的提名材料并确认全部真实有效，完成单位按照要求进行了提名前公示，目前未收到异议。

同意提名该项目为 2024 年度四川省自然科学一等奖。

四、项目简介

太阳活动是空间天气的源头，太阳耀斑和日冕物质抛射等太阳风暴引起的灾害性空间天气对航天器安全、航天员活动和无线通信等会造成重大影响。空间天气预报已被列入国家空间科学发展中长期发展规划和国务院气象高质量发展纲要。要实现太阳风暴的准确预警和预报，必须对太阳爆发源区小尺度先兆活动现象进行高分辨力层析成像监测。项目组瞄准空间天气预报应用和太阳物理科学前沿研究对太阳大气高空间、时间和光谱分辨力以及大视场监测的重大需求，在国家自然科学基金和国家 863 计划等支持下，历时 20 多年，在太阳大气高分辨成像机理和方法方面开展了原创性研究，解决了强湍流条件下对太阳爆发活动先兆特征接近光学衍射极限成像的关键科学问题，主要科学发现及贡献如下：

1. 非 Kolmogorov 湍流理论与大气参数测量方法：发现了实际大气湍流扰动的时空特性，发展了光波在非 Kolmogorov 湍流中的传播理论，提出了基于夏克-哈特曼波前传感器测量大气湍流功率指数、大气湍流强度廓线分布的新方法并实现了大气参数在线实时测量，为自适应光学系统控制优化和性能评价提供了重要依据。基于此发现完成的博士学位论文入选 2003 年全国百篇优秀博士论文。

2. 大口径太阳望远镜热控理论与方法：建立了外源辐照下轻量化光学反射镜体传热理论体系，提出了液气冷媒互耦合的多重循环镜面视宁度效应及热变形控制方法，解决了大口径太阳望远镜热控难题，2019 年建成了我国首台 2 米级太阳望远镜并成功首光，实现了我国大口径太阳望远镜从 1 米级到 2 米级的跨代发展，并成为当时世界上最大口径太阳望远镜。

3. 太阳自适应光学校正理论与方法：发展了低对比度扩展目标自适应光学校正理论，发现了多层共轭自适应光学（MCAO）系统中大视场校正性能不一致的问题，建立了 MCAO 新体制，研制成功国际首套常规运行的地表层自适应光学（GLAO）系统和首套 MCAO 系统，建成了国际上校正速度最快（3400 Hz 帧频）、波段覆盖最宽（400-1600 nm）的太阳大气高分辨光学层析成像系统，国际首次实现了可见光至近红外太阳大气七波段层析同步成像。

项目组共发表 SCI 论文 120 篇，5 篇代表性论文他引 302 次，其中 1 篇为 ESI 高被引论文；出版专著 3 部、译著 1 部，书籍章节被下载 7161 次；获发明专利 35 项。第一完成人入选国家特支计划、天府杰出科学家；其他完成人国家优青 1 人、天府青城计划 2 人、中国科学院青促会优秀会员 2 人。

项目成果对大气科学和光学工程等学科发展具有重大推动作用，促成了国家重大专项示范性工程——“太阳观测网规划建设”的立项和建设并落户四川稻城，以及与欧洲 4 米太阳望远镜的合作，显著提升了四川省在该领域中的地位以及国际影响力。

五、代表性论文专著目录

序号	论文(专著)名称/刊名/作者	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是否包含国外单位
1	Spatial and temporal characterization of phase fluctuations in non-Kolmogorov atmospheric turbulence	JOURNAL OF MODERN OPTICS,2000年47卷6期1111-1126页	2000年5月15日	Rao, CH	Rao, CH	Rao, CH; Jiang, WH; Ling, N	108	Web of science	否
2	A modified S-DIMM plus : applying additional height grids for characterizing daytime seeing profiles	MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 2018, 478, 1459-1467	2018年4月25日	Rao, CH	Wang ZY	Wang, Zhiyong; Zhang, Lanqiang; Kong, Lin; Bao, Hua; Guo, Youming; Rao, Xuejun; Zhong,	27	Web of science	否
3	Wavefront sensorless adaptive optics: a general model-based approach	OPTICS EXPRESS,2001年19卷1期371-379页	2011年1月3日	Huang, LH	Huang, LH	Huang, LH; Rao, CH	76	Web of science	否

4	Adaptive optics based on machine learning: a review	OPTO-ELECTRONIC ADVANCES, 2022, 5, 200082	2022年1月28日	Rao, CH	Guo, YM	Guo YM, Zhong LB, Min L, Wang JY, Wu Y, Chen KL, Wei K and Rao CH	82	Web of science	否
5	First light of the 1.8-m solar telescope-CLST	Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2018年41卷8期 089621	2018年4月4日	Gu, Naiting	Rao, CH	Rao, ChangHui; Gu, NaiTing; Rao, XueJun; Li, Cheng; Zhang, LanQiang; Huang, JinLong; Kong, Lin; Zhang, Ming; Cheng, YunTao; Pu, Yi; Bao, Hua; Guo, YouMing; Liu, YangYi; Yang, JinSheng; Zhong, LiBo; Wang, ChangJun; Fang, Kai; Zhang, XiaoJun; Chen, DongHong;	9	Web of science	否

合 计	302		
-----	-----	--	--

六、主要完成人：饶长辉、顾乃庭、张兰强、郭友明、朱磊、鲍华

七、完成单位：中国科学院光电技术研究所