

见识见识太阳的“脾气”

□ 汪景琇



汪景琇，太阳物理学家，中国科学院院士，现任中国科学院大学资深讲席教授、国家天文台研究员，从事太阳磁场和太阳活动研究40余年，在太阳磁场结构和演化、太阳活动机理等研究中取得重要原创性成果。2009年获国家自然科学奖二等奖，2012年获中国天文学会张钰哲奖。

太阳的表情

太阳常常呈现出一派温暖、宁静的状态，但是太阳偶尔也会烦闷、暴躁，甚至狂怒，发生强烈的太阳活动，俗称“太阳风暴”。1946年有人曾观测到一个大日珥爆发的情形，日珥爆发一般比较壮观也更加复杂。太阳耀斑也是一个很值得注意的现象。耀斑会导致日冕物质抛射和地球磁场的变化，日冕物质抛射是最大尺度的太阳爆发活动，有时候太阳的耀斑和日冕物质抛射会引起太阳的海啸。

日冕物质抛射的时候，有很多小的雪花暴，每一个雪花暴都代表一束太阳高能粒子。日冕物质抛射跑到行星际之后，它变成了磁云，磁云一直跑到地球所在的位置。磁云是什么？它是扭缠在一起的磁力线，每个磁力线都像挂着急珠一样，挂住大量的太阳的带电流体，又被称为“等离子体”，抛向我们的地球空间，撞击地球的磁层，引起复杂的日地物理效应。太阳第一次磁能释放之后，会产生日冕物质抛射和磁云，日冕物质和磁云抛射撞击地球磁层顶，把地球磁力线撕裂，太阳的能量被带到磁尾，磁尾又发生磁重联，把高能粒子带到地球的两极，产生了极光。极光不止出现在地球的极区，在土星、木星的极区，甚至于木星的几个卫星，都可以看到极光现象。极光是非常美丽的一个自然现象，也令人感到惊异，它的那种扭曲和移动，都代表磁力线的结构和变化。

极端空间天气

由于地球磁场的保护，极光并没有给人类带来实质性的伤害，反而让人惊叹于它的绚丽。但最强烈的太阳活动还是会引发极端空间天气事件，对人类生存的环境和高科技系统造成严重破坏。

1859年9月1日，天文爱好者卡灵顿在自家天文台上观测到了历史上人类知道的第一个耀斑事件。卡灵顿观

测的时候，他注意到在黑子当中出现两个半月形的白斑，非常刺眼，他感到恐惧，不知道怎么办，他马上跑到外边找人来见证这样一个罕见的现象，遗憾的是他出来之后没有找到任何人，一分钟后他回到观测室的时候，这个白斑已经逐渐消失，这就是“卡灵顿事件”。“卡灵顿事件”导致全球的电报系统被损坏，电报局里的电报纸着火，电报员的手被灼伤，全球范围内出现极光。这个事件影响很大，18小时之后就发现地磁暴，说明这个日冕物质抛射的速度是非常快的。

当时大家认为，这种事件可能不会再发生，或者500年发生一次，但是很快，另一个强烈的太阳活动和空间灾害事件的发生，就打破了这个猜想。2012年7月23日，又发生了一个“卡灵顿级”的太阳爆发事件，为什么我们没有看到这样强的影响呢？因为这个事件是背离地球而去的，如果这个事件对着地球来的话，那将是灾难性的。

一百多年来最大的一次太阳爆发是在1989年3月10日发生的，正好我国的怀柔太阳观测站观测到了磁场的结构和变化，以及爆发的情况和物质抛射情况。这次太阳爆发导致加拿大魁北克的变压器被毁坏，感生电流超载，损失电力9450兆瓦，600万人在黑暗中生活9个小时，造成上亿美元的经济财产损失。第二大的太阳爆发是2003年10月末至11月初的“万圣节”事件。这个磁场非常复杂，南北半球同时有磁场浮现。这个事件导致强烈的日冕物质抛射，整个LASCO（太阳积日冕仪）的探测系统都被高能粒子轰击。最后造成民航通信中断、短波通信中断，瑞典的电网损坏、日本丢失一个卫星，GPS和罗兰导航失效，20余个卫星系统需要干预才能正常工作，多个卫星的科学资料损坏。

过去数十年的研究显示，太阳磁场是太阳耀斑、日冕物质抛射，甚至是太阳风粒子加速、日冕加热所有这些活动的能量来源。同样的物理过程可能发生在其他的恒星，类太阳恒星和更广泛的天体对象。现代天体物理学的研究目的是了解从太阳内部到太

阳日球，太阳的结构、演化和它的动力学，了解为什么太阳磁场会发生变化，会导致这样复杂的爆发现象。极端的空间天气，虽然是小概率事件，但是它的影响太大了，科学家不能不关心。所以，我们还是要关注太阳和太阳活动，理解它产生的根源，尽可能对极端空间天气作出有依据、有启发性、有帮助的预报。

太阳系外的宇宙“邻居”

自从46亿年前诞生的那一刻起，太阳就不停地散发光与热，不仅塑造了太阳系每一颗行星的“性格”，还在地球上孕育出了丰富多彩的生命。在茫茫宇宙中，太阳系是否独一无二？地球之外还存在其他智慧生命吗？

1995年10月，马约尔和奎洛兹这对师生发现了太阳系外第一个行星，这一发现掀起了一场革命，在银河系中陆续发现了超过5000颗的系外行星系统。太阳系只不过是银河系里很普通的一个，而且可能不是最典型最有代表性的一个。这些奇异的未知世界，或许有一天让我们能够回答，人类是否孤独？我们的邻居在哪里？

赫茨普龙-罗素图是表示恒星温度或颜色与光度之间关系的图，它的横轴是恒星的光谱型（颜色），纵轴是恒星的质量，大多数恒星都在中间带上，这个带叫作主序星带。恒星物理学家发现，每一个主序恒星在适当的距离都可能没有一个生命宜居带。生命宜居带要有水，不能太冷，太冷这个行星会结冰，太近的话又会太炎热，



对地球生命而言，太阳不仅是能量之源，还是一个巨大的威胁，剧烈的聚变反应在时刻进行，能量如涛涛浪般持续向外奔涌，形成日珥、耀斑、日冕等太阳爆发现象，不仅严重影响人类的太空活动，还有可能造成地球电力系统损坏、通信系统瘫痪等灾难性事件。因此，观测和研究太阳不仅具有重要的科学意义，更有巨大的实用价值。事实上，从20世纪60年代以来，国际上有数十颗太阳探测相关卫星发射升空，在这场“群雄逐日”的太阳探测热潮中，我国没有缺席。2021年和2022年，我国相继发射的“羲和号”“夸父一号”，开启了我

目前全球有哪些重要的探日装备

为了摸清太阳的脾气，人类通过各种方式对其进行观测，除了设置在地面的太阳望远镜，在航天技术的加持下，数十颗太阳观测卫星也被发射升空，一个天地协同的太阳观测体系逐渐成型。全球有哪些重要的探日装备呢？目前有三个前所未有的重大设备先后投入工作。第一个是触摸太阳的太阳帕克探针，它会把一个探测器放到太阳大气内，在离太阳表面只有九个太阳半径的地方，近距离探测太阳风的来源、日冕加热的物理机制和太阳磁场的产生等复杂过程；第二个是太阳轨道器——Solar Orbiter，它最大能以30多度的倾角掠过太阳的极区，并且能够窥视太阳极区的物理图像；第三个是4米量级的叫作DKIST的太阳望远镜，它是目前世界上最大的太阳望远镜。

这里着重讲一讲太阳帕克探针。太阳帕克探针要进入到太阳大气中相当于九个太阳半径的地方，穿过高温的日冕层进入日冕里面，解密太阳风和日冕加热之谜。在太阳帕克探针出现之前，没有任何探测器真正接近过太阳。太阳帕克探针面临的最大挑战，就是要穿越超高温的日冕层，抵御日冕层中高能粒子的轰击。为此，科学家们为太阳帕克探针穿上了一件黑科技防热盾，外面白色的陶瓷涂层可以反射绝大部分来自太阳的热量，盾牌里面是两层碳-碳复合材料夹着约11厘米厚的碳泡沫，不仅以极轻的重量实现了高度耐热，还可以在高温环境里保护精密仪器的正常工作。

目前，“羲和号”和“夸父一号”先后发射升空，实现了双星逐日。“羲和号”专门观测太阳光球层和色球层。“夸父一号”的硬X射线成像观测非常成功，在国际上处于领先地位，对太阳磁场的观测也已达到国际先进水平。

2024年会不会迎来一场太阳观测的盛宴

国际上公认最早记录太阳黑子的是我国汉代。公元前28年，《汉书·五行志》中记载：“日出黄，有黑气大如钱，居日中央。”但直到20世纪20年代，中国才开始用仪器对太阳黑子

的观测，就是天文学家高平子在青岛观象台对太阳黑子的观测。

太阳黑子到底是什么？太阳黑子是太阳表面强磁场所在的区域，与周边光球比表现为暗黑斑点。一个中小规模的黑子和地球大小差不多。太阳表面温度高达5800度，而太阳黑子中心只有4300度左右，然而在这里却能看到高达80万度的高温抛射现象。直到现在，关于黑子的内部结构和相关物理过程，仍然存在大量未解之谜。

美国天文学家乔治·埃勒里·海耳是第一个发现黑子磁场的人，1908年，他基于塞曼效应，用物理学的方法第一次诊断了太阳黑子的本质，证明太阳黑子就是强磁场。他还发现了太阳的22年磁周期现象。

太阳黑子本质上是太阳磁场，而且太阳磁场上面，又有自己的三维结构，所以在这个意义上，太阳黑子是包含复杂物理过程的三维的一个物理实体。黑子之外，充满了小尺度磁结构、磁活动现象。我们观测到的太阳表面小尺度磁场，它尺度非常小，最小的磁场结构只有百公里左右。太阳是非常复杂的磁活动现象，太阳磁场又使得太阳结构变得缤纷复杂，甚至产生非常美丽的现象，比如日珥。

太阳活动以11年为周期，第25个太阳活动周期开始于2020年，将持续到2031年左右。这一周期内的峰值预计将出现在2024年到2025年，那时太阳爆发现象也最频繁。2024年会不会迎来一场太阳观测的盛宴？

太阳长期的变化如何影响天气、气候，是一个非常值得探讨的问题。我们对太阳活动进行了统计，根据黑子数和耀斑数显示，目前正好是在25太阳周的上升段，上升的情况跟24周有点接近，这可能预示着25太阳周不会太强的一个太阳周，很可能跟24周接近，应该是比24周略强的一个偏弱的太阳周。磁场统计也显示，25周的磁场跟21、22、23太阳周相比，还是处于比较弱的状态。同时结合太阳总辐射的变化、宇宙线数量的多少，从更长的周期上来看，25太阳周或24太阳周，跟100年前的太阳活动周的状况有点类似。

平建设农业强省目标，从稳面积、增单产两手发力筑牢粮食安全根基，打好良种、良机、良田、良技、良制“组合拳”，打造农村特色产业集群，促进农村一二三产业深度融合、全链条升级，持续推进农村人居环境整治，建设好新时代鱼米之乡。纵深推进新型城镇化战略，把推动农业转移人口市民化摆在突出位置，打造10个国家级县城新型城镇化建设示范区，深化国家城乡融合发展试验区5项改革探索，支持县域经济高质量发展，提高城镇的经济和人口承载能力，让农民更好融入城市生活。纵深推进国家重大区域战略，积极融入长三角一体化发展，更好联动长江经济带发展，做活长江口产业创新协同区、沿海港口融入上海国际航运中心枢纽等“新棋眼”，落好沿沪宁产业创新带、G60科创走廊、长三角生态绿色一体化发展示范区等“关键子”。纵深推进“1+3”重点功能区战略，以国土空间规划为引领，创新协同发展新模式，务实推进南北挂钩合作，大力发展海洋经济，全面推开“水运江苏”建设，全力做好区域互补、跨江融合、南北联动这篇大文章。

聚力深化改革扩大开放。江苏作为改革开放的排头兵，是我国构建新发展格局的前沿阵地，这也要求我们立足新起点、抢抓新机遇，大力推进首创性改革、引领性开放，进一步提振发展信心、增强经济活力。全力推动制度型开放，主动对标国际高标准经贸规则和国家先行先试政策，以苏

州工业园区开发建设30周年为契机，进一步深化开放创新综合试点，加快实施服务业扩大开放综合试点，推动以国家级新区、自贸试验区为代表的各类开放平台转型升级、创新提升。全力稳定外贸外资，深度融入共建“一带一路”，进一步加强同美欧日韩经贸往来，开拓东盟中等新兴市场，大力支持“新三样”、LNG动力船等高附加值、绿色低碳产品出口，着力发展“跨境电商+产业带”，积极布局海外仓，推动更多外资地区总部、研发中心和功能性平台落户江苏。全力营造一流营商环境，坚持“两个毫不动摇”，加快高标准市场体系建设，促进国企、民企、外企竞相发展，推动生产、分配、流通、消费等有机衔接，以优良营商环境实现“近者悦、远者来”。

聚力民生保障和社会治理。解决好民生领域突出问题，既能增进民生福祉，又能激发内需潜力，是促进经济发展的重要动力，必须牢牢记在心上、抓在手上。聚焦高质量充分就业提升老百姓获得感，实施新一轮减负稳岗扩就业政策，扎实做好高校毕业生、退役军人、农民工等重点群体就业创业支持，激发灵活就业和新就业形态活力，牢牢稳住就业基本盘。聚焦高品质生活提升老百姓幸福感，以服务好“一老一幼”为重点，支持发展康养产业、银发经济，建立健全高质量教育服务、整合型医疗卫生服务、现代公共文化服务等体系，织密扎牢社会保障网，更高水平实现民生

“七有”。聚焦高水平安全提升老百姓安全感，树立“万无一失、一失万无”的底线思维，有效防范化解重点领域风险，毫不松懈抓好安全生产，更高水平建设平安江苏和法治江苏，强化基层治理体系和治理能力现代化建设，牢牢守住不发生区域性系统性风险的底线。

熟练掌握科学的思想方法和工作方法,以强烈的担当作为真正挑起大梁

中央经济工作会议明确要求,“经济大省要真正挑起大梁”。江苏经济总量占全国1/10以上,为全国发展挑大梁是必须始终牢记、躬身践行的“国之大者”。真正挑起大梁,必须用好习近平经济思想这把“金钥匙”,学经济、懂经济、抓经济,用铁肩膀挑起硬担子,为稳定全国经济作出更大贡献。

学好用好系统论,提升经济工作统筹力。经济发展中常常会面临两难问题,这就需要把握好“稳”和“进”、“立”和“破”的关系,弹好“钢琴”、系统施策,不能单打独斗、顾此失彼,不能偏执一方、畸轻畸重。比如这几年,江苏开展化工产业安全环保整治提升,对具备整改条件的企业并未设有一关了之,而是分类施策,转移了一批、升级了一批、重组了一批、积极推动园区外化工业生产企业入园发展,既提升了企业本质安全和环保水平,也腾出了新的空间和容

量培育发展新动能。我们将坚持增量崛起、存量优化并重,以高端化、绿色化、智能化为主攻方向,实施化工产业焕新工程,推动化工园区高水平建设和化工产业高质量发展。

学好用好重点论,提升经济工作牵引力。经济工作千头万绪、点多面广,必须抓住重点、纲举目张、带动全局。比如,平台经济发展得好,能有效带动生产、促进消费。无论从互联网百强榜单、税收贡献,还是从网上零售额、跨境电商交易额占外贸进出口比重看,江苏在这方面与先进地区都有不小差距。抓平台经济不怕晚,要加快发展工业互联网、供应链服务、能源互联网、电子商务等平台,促进平台经济高质量发展。像这样的工作,看准了就下大力气抓,能早干就早干、能多干就多干,努力做到一子落而全盘活。

学好用好矛盾论,提升经济工作思辨力。矛盾是普遍存在的,经济工作无论怎么抓,首先还是要从主要矛盾入手,以此带动其他矛盾的解决。比如,当前公共服务供求的主要矛盾在供给端,要坚持政府过紧日子,更加注重通过政府和市场相结合的办法,加大教育、医疗、出行、住房、养老、托幼等方面供给,既补齐民生短板,又打造更多经济增长点。比如,房地产供求关系发生了重大变化,居民住房需求从“有没有”转向“好不好”,必须顺应这种变化,加快构建房地产发展新模式,在建好保障性住房的同时,下大力气建设好房

而地球正好在这个宜居带里。随着恒星质量的增大,这个宜居带也会一点一点向外移。基于有没有水来讨论宜居带,显然是不够的,因为电磁环境对生命的存在也很重要。

还有一个例子,美国两名高中生卡蒂克·平莱和贾斯敏·莱特,他们基于TESS(凌星系外行星巡天望远镜)的观测数据,在老师的指导下发现了TOI-1233的4颗行星,这4颗行星都是内行星,有的还在宜居带上,有一个是超级地球,证实了这些系外行星的存在。

系外行星的发现引发了天文学一场新的革命,让理解太阳,以及它的行星系统,它周边的世界,它的结构演化,它的生命宜居性,成为当代天文学和天体物理学最重大的课题。

太阳的“南北极”

太阳磁活动周的起源究竟是什么?要回答这个问题,就需要对太阳的一个关键区域进行观测研究,但是人类的探测器目前还从未到过这个地方,这就是太阳的“南北极”。

在太阳磁活动起源的问题上,有一个很关键的概念,就是太阳发电机的理论。这个理论就是:太阳的极向磁场,沿着南北两极的极磁场,它如何自发地转化为活动区的磁场?然后活动区太阳黑子又如何转变为极区磁场?这是很大的问题,在这个问题里,极区的观测就变得非常重要。因为人类从来没对极区实现过成像观测,不知道极区的磁场、流场,极区自转的速率怎么样,极区有没有经圈环流,这些我们都不知道,所以对于这样一个素未谋面的区域,它就限制了太阳物理学的发展。正因为这样,学术界一直在努力地做这件事。2022年,我们在《科学通报》发表了一组关于太阳立体探测任务的设想文章,设想在日地黄道面上的4个拉格朗日点,各有一个飞行器来探测太阳,一个是黄道面内,然后在极轨有两个飞船来探测太阳的极区。太阳极轨天文台,是把一个卫星放到太阳极轨,它偏离黄道面,垂直于黄道面,在一个1AU的距离来绕着太阳旋转,目前还没有国际上的同行提出类似的计划。

我国学者曾经创造了古代天文学的辉煌,应该有责任也有能力攀登现代科学的高峰,希望我国学者能够率先实现对太阳极区磁场、速度场和辐射的成像观测,揭示太阳周期、高速太阳风的起源,创建全球日的辐射流体学模型,这就是极轨天文台核心的科学目标。



(上接1版)用好数字经济变量,依托江苏制造业海量数据资源和丰富应用场景,以人工智能全方位赋能新型工业化,以“网联”放大“智改数转”效应,2024年基本实现规上工业企业启动实施全覆盖。

聚力推进绿色低碳发展。加快形成绿色低碳的生产方式和生活方式,既是解决生态环境的治本之策,也是实现高质量发展的关键环节。持续深入打好污染防治攻坚战,让“水质”更清、“气质”更透、“土质”更净,大力建设全域“无废城市”,推动生态环境质量持续改善。加强生态环境保护修复,结合自然禀赋做足“水”文章,把长江大保护和太湖治理作为重中之重,推进美丽河湖、美丽海湾建设,加强南水北调东线重点湖泊治理,擦亮“水韵江苏”金字招牌。推动生产方式绿色低碳化,稳妥有序推进碳达峰碳中和,大力发展新能源和清洁能源,建设一批零碳园区、零碳工厂,探索推行产品碳足迹、项目碳评价、企业碳管理,推动能耗双控逐步转向碳排放双控。推进生态环境治理体系和治理能力现代化,建立健全生态产品价值实现机制,创新发展碳市场、绿电市场,拓宽“绿水青山”转化“金山银山”的路径,推动高质量发展与高水平保护协同并进。

聚力推动城乡区域协调发展。城乡区域发展不平衡既是江苏要着力解决的突出问题,也是经济增长的空间和潜力。纵深推进乡村振兴战略,学习运用“千万工程”经验,锚定高水