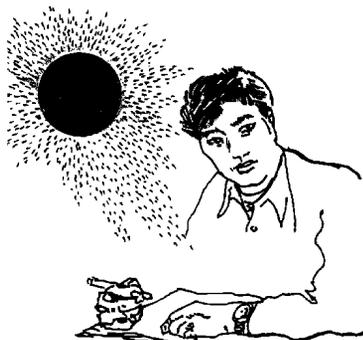


# 太阳舌舐地球带来的负面影响

高凌云 译



太阳有时候会向地球喷射大量的粒子流,对人造卫星造成严重破坏。然而,准确预报这些太阳耀斑的出现时间却是困难的。但是现在,一些物理学家认为,我们即将面临近几年以来最猛烈的太阳耀斑活动。

## 一场浩劫

万圣节前夜(每年的10月31日)常被人们想象成有神秘现象和怪异事件发生的特殊日子。但是无论如何,发生在2003年10月下旬的事件都是历史上罕见的——全世界的无线电通信被迫中断、美国航空航天局的半数卫星出现故障、瑞典境内5万人停止了电力供应、全球航空业损失数百万美元。

其实,这些事件并不是什么神秘现象,而是我们再熟悉不过的太阳造成的。在11年的周期内,太阳要经历一个较为活跃的时期。根据预测,2003年10月发生的事件与五六年内即将发生的相比,根本不值一提。

位于科罗拉多州波尔德(Boulder)的美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)的物理学家彼得·吉尔曼(Peter Gilman)警告说:“下一个太阳活跃周期将发生比以往更为严重的问题。”面临威胁的不仅是卫星和无线电通信,一些研究者认为太阳活动影响着地球大气层——特别是影响云的形成。这一论断引起对人类活动导致全球变暖持怀疑态度者的关注,他们提出太阳对地球气候的影响远大于人类活动的影响。

太阳11年活动周期的动力来源于其自身的磁场,其周期活动还产生被称为太阳风的带电粒子流。在太阳周期中相对平静的一段时间里,太阳活动处于低潮,太阳风也强度适中。然而,在太阳活动极大期(solar maximum),太阳黑子(因太阳磁场扭曲而在其表面产生的较暗斑点)出现在太阳表面。巨大的太阳耀斑在黑子上方爆发,导致太阳风出现湍流,并向宇宙空间进射出带电粒子流。

通过测算太阳黑子的数量,在最近的活动周期

中,太阳活动处于中等水平(图1)。然而,2003年10月下旬——太阳活动周期中巅峰过后的第3年,太阳上出现了两个巨大的黑子,其直径比地球直径大10倍以上,而且一直处于持续爆发状态,并喷发出数十亿吨的带电粒子。

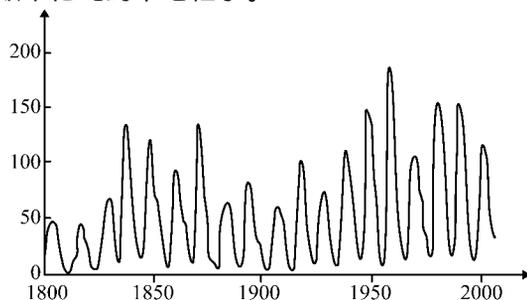


图1 每年的太阳黑子数量(横坐标为年份,纵坐标为黑子数量)

当这些粒子冲击大气层时,一场浩劫开始了。全球海事应急呼叫系统(global maritime emergency call system)彻底失灵,与远征珠穆朗玛峰的探险队联系中断,全球定位系统的精确度大大降低。在美国航空航天局卫星发生故障的同时,日本也与其一颗气象卫星完全失去联系。由于飞机被迫改变航线低空飞行,致使航道拥堵、燃油消耗加剧,引起航空业成本上升。

## 一次侥幸

太阳黑子对地球的袭击持续了两个星期,直到它们随着太阳的自转到了另一面。这一年的11月4日,当第二个黑子即将从人们的视线中消失时,太阳表面新一轮的强烈爆炸又开始了。经过太阳物理学家计算,这是有史以来最大的太阳耀斑。万幸的是,它冲向了外层空间,地球只让它擦了一点边儿而已。这让观察到这个巨大耀斑的科学家们总算松了一口气,人们也想知道,如果它冲击地球又会是怎样的景象。也许当下一个太阳活动周期到来时,科学家们最近的预测应验之后,我们才能知道。

预测这种太阳爆发的时间和强度无疑是很重要的,然而由于对太阳内部运转情况的了解相对较少,导致这一工作难以开展。因此,为了在下一个太阳活动周期来临前做好准备,一项最大规模的对太阳的协同研究活动将于明年开始。被称为国际太阳物理年(International Heliophysical Year, IHY)的这次

活动,初步的设想是希望了解太阳对地球气候可能产生的影响,使不同学科的研究者们一起合作研究太阳活动。

目前正处于太阳活动极小期(solar minimum),多数预测认为太阳在五六年后的活动极大期不会有强烈活动。然而最近,首次完全以物理模型为基础进行的预测却不是这样。

这项研究是由美国国家大气研究中心的莫苏米·迪克帕蒂(Mausumi Dikpati)和她的研究小组做出的。他们开发出一个计算机模拟系统,根据等离子体在太阳表面附近如何循环的有关理论,在计算机上模拟出太阳内部磁场的运动机理,太阳内部磁场的运动也被形象地称为太阳的磁发电机效应。他们已经得出比较确切的结论。小组成员之一吉尔曼说:“我们预计在这个周期即将结束时,太阳黑子数和太阳活动强度将增加30%~50%。”

最后一次这样规模的太阳活动发生在1958年,那时的轨道卫星技术还不成熟。现在的情况就不一样了——数以千计的卫星在围绕地球运转。

卫星的控制者,需要利用太阳活动预报来估算航天任务所需时间。太阳风加热地球稀薄的高层大气,使大气层密度增加,导致阻力增大。吉尔曼估计,太阳活动强度增大30%将使距地表300千米处的大气密度增加1倍,从而影响到低空卫星的运行。

航天任务的策划者计划在2012年将他们的卫星推向更高的轨道,或者缩短其运行寿命。卫星在800千米以上的高空,虽然不再受大气阻力的影响,但是危险因素仍然存在。太阳风导致卫星电荷增加,这些电荷会使敏感的电气设备发生短路而自燃。有人怀疑,日本的绿色2号(Midori 2)卫星就是这样在2003年特大太阳耀斑爆发中失踪的。随着越来越多的卫星在轨道上报废,卫星的控制者不得不考虑怎样让它们躲过这些“太空垃圾”的撞击。在剧烈的太阳风暴中,大气密度的变化能够改变这些太空碎片的运行轨道,威胁运行卫星的安全。

太阳对太空中设备的影响只是它为人所知的一个方面。太阳周期性的活动还会影响地球气候,特别是云的形成,这也引起了专家的关注。1997年,哥本哈根市丹麦气象局(Danish Meteorology Institute)的两位气象学家亨里克·斯文斯马克(Henrik Svensmark)和艾吉尔·弗里斯·克里斯滕森(Eigil Friis-Christensen)在分析1979~1992年间气象卫星

记录的数据时,提出二者之间存在联系。他们发现在太阳活动极小期,地球的云量比太阳活动极大期多3%。他们还注意到在太阳活动极大期,从外层空间到达地球的高能粒子流量(也就是宇宙射线量)比太阳活动极小期增加了25%,这说明它们可能是云形成的根源。两位学者称他们的发现为“太阳-气候关系中失落的一环”。

认为人类活动不是地球变暖主要原因的气候怀疑论者抓住了这个结论。他们主张,这一结果表明,太阳才是地球气候变化的主要原因。他们对此深信不疑,去年两个俄罗斯的怀疑论者还下了1万美元赌注——假设下一个周期的太阳活动变弱的话,2012~2017年地球的平均温度将会下降。

然而,大多数支持太阳-气候联系的研究者的态度都较为谨慎。位于英国迪德科特(Didcot)的卢瑟福·阿普尔顿实验室(Rutherford Appleton Laboratory)的物理学家罗伯特·宾汉(Robert Bingham)说:“我们并不认为所有的云都是因太阳活动而形成的,只是说太阳活动可能会对云的形成起一定的调节作用。”宾汉参加了一个称为CLOUD(Cosmics Leaving Outdoor Droplet)的国际实验项目。实验将利用欧洲核子中心(CERN)在法国与瑞士交界处的粒子加速器发射带电粒子,然后让粒子通过模仿地球大气的一个充满气体的小室,以确定是否造出了“云”。

### 全球监测网络

为了抓住下个太阳活动周期这个难得的机会,联合国正积极地在191个成员国安装无线电接收器。全球都在监测太阳辐射连续爆发对高层大气造成的影响。尽管距地面100千米处已经开始称为太空,但是科学家们对这个区域还知之甚少,因为这个区域实在难以研究。

联合国的这个项目是国际太阳物理年计划的一个组成部分,虽然计划没有专门的研究预算,但是国际太阳物理年的组织者还是开始征集提案,旨在方便科学家们使用研究太阳的仪器设备并获得相关的研究数据。国际太阳物理年组织在英国的一位协调员——卢瑟福·阿普尔顿实验室的理查德·哈里森(Richard Harrison)说:“我们欢迎社会各界提出建议。”

科学家在2007年当然要安排研究日地相互作用的一系列航天任务,而且在历史上是规模空前的。有12个监视太阳活动的在轨航天器,包括最尖端的

太阳监测器。由两个几乎一模一样的航天器组成的美国宇航局日地关系观测卫星(Solar Terrestrial Relations Observatory, STEREO),将在地球轨道上从不同角度监测太阳(图2)。它拍摄太阳的立体照片,绘制粒子喷发的三维结构。日地关系观测卫星还可能在太阳面向地球喷发粒子流时,提供喷发速度和方向的预警信息。



图2 美国宇航局的双子型日地关系观测卫星将监测太阳与地球天气之间的关系,并对即将到来的太阳风暴提供预警信息

这种信息将帮助卫星的控制者对即将到来的危险做好准备,但要做出正确的应对计划,他们还需要太阳活动的长期预报。一些研究者,比如哈里森,认为科学家们对太阳缺乏充分的了解,还不能做出有意义的长期预报。当然,过去的预报是通过监视未来太阳活动的指标做出的,并不关心其背后的机制。

例如20世纪70年代,天文学家认为一个周期中太阳活动达到高潮后,太阳两极磁性的增加将预示下一个周期太阳活动的强度。就在去年,这种方法的创始人之一莱弗·斯瓦尔加德(Leif Svalgaard)利用太阳两极磁场预言,下一个周期的太阳活动将是20世纪最弱的。另一个“指标”方法,比如观察来自太阳的10.7厘米无线电波强度或太阳两极附近耀斑的数量,也预测下一个周期太阳活动较弱。

用“指标”方法唯一做出活动强烈的太阳周期预测的人,是美国阿拉巴马州汉斯维尔市(Huntsville)

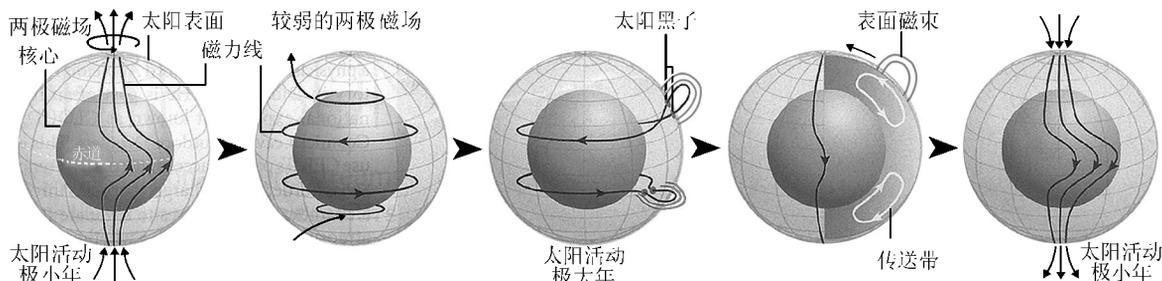


图3 在太阳的活动周期中,太阳通过等离子体传送带实现黑子的循环

马歇尔航天中心(Marshall Space Flight Center)的太阳物理学家戴维·哈瑟威(David Hathaway)和罗伯特·威尔逊(Robert Wilson)。他们在2004年注意到,太阳周期的活动强度与前两个太阳周期的黑子数目有关。他们用这种办法已经预测出2012年太阳将有强烈活动。迪克帕蒂的模型也与这个预测不谋而合。

在过去的10年中,物理学家们在太阳上发现了一条巨大的等离子体传送带,这条传送带似乎是以每小时30~65千米的速度从赤道流向太阳半球的两极。太阳黑子也在活跃了几个星期后从人们的视野中消失,不过其磁场则一如既往。这些微弱的磁场被等离子体流带到两极,不断积累,随后淹没于太阳表面,它们还将从这里出发再次流回赤道(图3)。

迪克帕蒂将远至20世纪初的黑子观测资料与太阳的磁发电机和传送带效应,通过计算机模拟结合起来研究。在计算机模拟中,传送带一路扫荡以前就存在的太阳黑子,将它们淹没于两极。在太阳深处的回流中,太阳自转使以前的磁场得以恢复,产生新的太阳黑子,并为太阳活动提供全新的舞台。

### 太阳的磁场

迪克帕蒂预测的关键,是太阳等离子体传送带的运行速度有多快。太阳深处的回流无法测量,不过模型表明它的流速要比表面的等离子体流更慢,可能只有每小时5千米。如果这一猜想成立的话,那么等离子体的回流过程可能需要几十年。迪克帕蒂说,这说明太阳对这种磁场每次保持约20年。所以在她的模型中,太阳活动不只是以前一个周期的磁场为基础,而且基于与更早前数个周期之间的相互影响。与此相对照的是,大多数“指标”预测法都假设:以前的太阳周期会马上结束,并开始下一个太阳周期的活动。尽管斯瓦尔加德不赞成迪克帕蒂的结论,但他还是说:“预测出现分歧,对科学研究是件好事。”

# 蝴蝶效应及其应用

刘铁驹 宋立平



蝴蝶效应是复杂数学现象的一个细节,这种现象自发现蝴蝶效应后也称为“确定性混沌”。一个可以用确定性混沌来刻画的过程,是由完全确定性系统产生的,但按照标准的时间序列方法又表现为随机性。蝴蝶效应通常用于天气、股市等在一定时段之内,较为难以预测的复杂系统中,被引申为事物发展的结果对初始条件具有极为敏感的依赖性,初始条件的极小偏差将引起结果的极大差异。现在“蝴蝶效应”已经越来越广泛地出现在物理、天文、气象、社会,以及股票研究、概率等诸多领域的文章及报道中。

## 蝴蝶效应的起源

1963年,蝴蝶效应是美国麻省理工学院气象学家劳伦兹(E. Lorenz)在研究大气对流时,从一个对流模型中发现的,实验装置是一个二维的流体室(两块很大的平板水平放置,之间充满气体),在底部加热、顶部冷却,其中的气体发生对流,采用简化的瑞利-贝纳尔(Rayleigh-Benard)对流模型分析气体的运动状态, $x$  正比于对流运动的强度、 $y$  正比于水平方向温度变化、 $z$  正比于竖直方向温度变化,参数 $a$ 、 $b$ 、 $r$  都是正的常数,得到的一组方程现在被称为劳伦兹方程: $dx/dt = - (x - y)$ 、 $dy/dt = - y - xz$ 、 $dz/dt = xy - bz$ 。

他利用这个模型,原本是想模拟天气的演变,以提高天气预报的准确性,平时只需将温度、湿度、压力等气象数据输入,电脑就会依据3个内建的微分方程式,计算出下一刻可能的气象数据,从而模拟出气象变化图。这一天劳伦兹想更进一步了解某段纪录的后续变化,他把某时刻的气象数据重新输入电脑,让电脑计算出更多的结果。1小时之后结果出来了,令他目瞪口呆——新结果和原结果比较,虽然

初期数据差不多,但是越到后期数据差异就越大。他考虑后认为问题并不出在电脑,而是他输入的数据差了0.000127,正是这细微差异造成了天壤之别。由于天气变化十分复杂,在预测天气时,不可能把所有的影响因素考虑进去,而被忽略的那些因素却可能对计算结果产生重大影响,以致得出错误的结论。因此劳伦兹认定,难以获得长期的天气预报。

他形象地比喻:今天在东京上空的一只蝴蝶扇动翅膀时,某个时刻可能引起澳大利亚的一场暴雨,这种对初始条件的敏感依赖,在气象预报中被称为“蝴蝶效应”。这也是最早发现的混沌现象之一。

## 蝴蝶效应的特点

一般的动力系统,最终都会趋向于某种稳定态,这种稳定态是由点(某一状态)或点的集合(某种状态序列)表示的。系统的运动只有到达这个点或点集上才能稳定并保持下去,这种点或点集就是“吸引子”,它表示系统的稳定态,是动力系统的最终归宿。如果一个吸引子的点集是有限体积中的一条无限长的线,这就是奇怪吸引子。奇怪吸引子是相空间中无穷多个点的集合,是一类具有无限嵌套层次的自相似几何结构,是一种分形。吸引子具有稳定性(局限于有限的空间区域内)、低维性(在相空间中有一条低维轨道,或称分维轨道)、非周期性(运动轨道永不自我重复、永不自我相交,否则就为周期吸引子)和运动对初始条件的敏感依赖性。动力学系统中典型的例子就是劳伦兹吸引子。

根据劳伦兹方程模拟物体的运动规律,可以得

太阳物理学家们正等着验证这一基于物理学的预测是否准确。他们可能不会等到6年内太阳活动达到峰值时揭晓谜底。所有方法都只能预测太阳黑子的平均数量,不过历史纪录表明,活动剧烈的太阳周期都会早早开始,并迅速达到峰值。这意味着只需三四年,就会出现太阳周期剧烈活动的明显迹象。

迪克帕蒂与研究小组在进一步优化他们的模

型,看其是否能预示一些信息,比如太阳活动周期的开端。无论用什么方法,从航天任务的策划者到气候变化的怀疑论者,都在监测太阳的活动。

(本文译自 *Nature*, 2006年5月25日号,英国斯图亚特·克拉克著,翻译时根据国内读者的阅读习惯对文章做了少许改动;中国科学院高能物理研究所文献信息部 100049)