



〔美〕 J.R.Herman

R.A.Goldberg

太阳·天气·气候

气象出版社

前 言

“正在增长的大量迹象表明,太阳上的瞬时效应影响我们的天气,而太阳输出能量的长期变化则影响我们的气候。对太阳与地面的探索有助于确立太阳原动力和地面反应之间的物理原因及其联系效应。当这些关系被理解时,天气与气候预报就会有一种重要的科学工具。”R. D. Chapman 在宇航局太阳地球五年研究计划中写上了上述一段话,这是太阳对天气和气候研究现状的一种标志。

这一课题的文献,有一百多年的历史,许多杰出的科学家作出了贡献。尽管如此,直到最近,太阳对天气和气候的研究还没有被许多科学家所重视。最近几年里,太阳变化和对流层气旋地区之间相关的可喜迹象(但尚非绝对结论性的迹象)已经有助于对这一课题作认真的研究。现在几乎每一次大型的日-地学术讨论会中至少有一个分组是研究太阳对天气和气候方面的。

在许多天文学家、空间科学家、地球物理学家及气象学家正在步入太阳对天气和气候研究领域的时候,本书的出版特别受到欢迎。这一课题是学科之间共同努力的一个极好例子,看来没有一个单一的科学家具有通晓与这个课题有关的全部内容。关于这个课题的文献很多,但其内容往往很混乱,彼此矛盾。

本书对了解这个课题在多学科里的整个现状,提供了极好的依据。各种关系业已表明,变化着的太阳和天气、气候间是存在着某种物理机制的,虽然这种机制的详情至今还不十分清楚,但本书对几种引人注目的可能性已作了阐述。

看来,太阳对天气和气候的研究,在未来的十年里,其地位将日益显著,本书的出版将对这个课题的研究会起到促进作用。

John M. Wilcox
斯坦福大学

序

本书介绍太阳对天气和气候之间联系的一般状况，亦即天气及气候对太阳活动的明显反应，并对进一步识别与探讨未被认识的因果机制提出理论上和实验上的建议。这是针对那些积极活动于大气与空间科学，希望扩展他们的视野以迎接这一新领域的研究者们，和为那些需要在这一领域的多学科方面有一个一般了解的学生们而编写的。

在研究太阳-天气的 200 年历史中已经积累了大量资料。尽管这些资料有时候是令人迷惑、彼此脱节以及是矛盾的，但是已经出现一个正在增长的信念，即太阳的变化和大气低层的变化之间存在着联系。然而，遗憾的是缺乏阐明那些可能联系的令人能够接受的物理机制，这就阻碍了太阳活动对天气与气候确实存在影响的这一情况广泛地被人接受。揭露富有成效的机制将会使太阳-天气联系的科学基础得以加强，并导致天气与气候预报的改进。显然，改进了的预报对于某些严重的社会问题，尤其是在全球粮食生产及人们需要的太阳能利用方面，将会发生深远的影响。

本书评论太阳活动和天气及气候之间在历史及近代文献中所报导过的联系，阐明物理联系机制，以及对这种机制的未来研究提出实验性的设想。我们试图填补文献上这一空白，就是将评述现存的日地联系的性质与特性和用来研究物理联系机制的各学科的基础物理学予以结合起来。我们强调这个课题的多学科性质，而在每一个不同领域提供一个基本背景使它们在结合过程中起着应有的作用。下面我们遵循这一途径，希望气象学家能熟悉太阳和地球物理现象，太阳物理学家熟悉大气过程，等等。我们相信，由此而引起的相互促进对于太阳-天气研究的进一步发展是必要的。

在对所述的相关联系提供一个合理的综合评述中，在可能情况下我们都给予适当的评论，但是在某些情况里很难估计其统计显著性。其他有些相关联系已被删去，因为我们相信它们是有错误的。相关联系分成二类：长期的与短期的，它们分别对应于和气候及天气间的联系。各种类型的大量联系足以反映当前太阳-天气领域里真正的实质所在。至于和其它现象的相关联系，例如月球及地磁活动对对流层的影响也包括在内，用以表明和太阳活动的联系有可能被那些相对抗着的效应所掩盖。

本书包含某些关于因果过程的更新的设想，提出解释太阳活动和天气及气候之间长、中、短期联系的例子。所包括的范围并不意味着全面的综合，而只是这一领域里当今正在出现的一些想法的例子。本书最后一部份对于研究可能机制的实验步骤扼要地讨论了一个纲要，提出了一个较详细的方案。但在发展中的现阶段，我们认为本书主要应该是指引，而不是阐明细节。特别是在这一领域正在迅速发展，当前一些设想将成为陈腐的东西的今天，更是这样。

本书中许多基本物理过程、定义以及地球物理现象的论述交织地出现在讨论与它们有关的相互联系或机制的时候。此外，在本书之首有一篇引论，阐述许多地球物理及与太阳有关的现象和用以讨论相关联系的一些指数。

虽然本书的处理仿佛是倾向于太阳-天气之间存在相关联系的，但我们抱着没有定论的

态度，力求内容的客观性。我们的意见是，现在这个时候既没有结论性的迹象证实这种联系，也没有否定这种联系。我们感觉到，最近作出的严格的统计证据决不是偶然的，并且它们证实对于寻求、确认及研究那些尚未被认识的物理耦合过程的高度努力是正确的，由于这些过程可能正是造成所观测到的相关联系的原因。

在这类多学科的工作中，我们不可能是所有领域的专家，因此我们已经吸收了那些不计较其时间愿意帮助我们澄清想法的许多同事们所给予的一切忠告、注释与建议。书中的任何过失与错误理解都由我们负责。

我们要特别感谢 Ray Wexler, John M. Wilcox, S. J. Bauer 与 Leif Svalgaard 审阅初稿与修正稿，并提出建设性的批评。其它审阅初稿并作出有益注释的尚有 George C. Reid, James Barcus, Rudolf Penndorf, Kaichi Maeda, Eldon Ferguson 与 A. Ebel。

我们感谢 Ernest Hilsenrath, Kenneth Schatten, Leslie C. Hale, Masahisa Sugiura 与 Roger E. Dison 对手稿不同部分所给予的帮助。我们还收到 Bruce Guenther, Walter Orr Roberts 及 T. Matsuno 给予的有益忠告与注释。我们尤其愉快地要感谢 Donald F. Heath, William E. Bandeen 及 David Atlas 对写成这本书的支持以及出版本书所给予的鼓励。

John R. Herman
(无线电科学公司)
Richard A. Goldberg
(宇航局戈达特宇航中心)
1977 年 11 月

译 者 的 话

太阳活动对天气和气候的影响既是一个老问题,也是一个尚在热烈争议中的新问题,并且日益受到有关学术界的重视。近十年来,专门讨论日地关系的国际性学术会议已有五、六次(见第一章)。日地关系问题不仅是天文学同地球物理学的边缘学科,也不仅是天文学和气象学的结合,而是涉及到天文学、空间科学、地球物理学与气象学等许多学科的边缘科学。它需要有关学科界的共同努力方能更好地了解日地关系中存在的复杂物理机制,从而提高天气与气候预报的质量。

原作者是针对以下两种人撰写这一专著的:一是积极地从事大气与空间科学工作,并希望在这一新领域扩展自己的视野的研究者们;二是需要在这领域的多学科方面有一个较全面了解的学生们。译者认为本书的最大优点在于综合评介了当前日地关系方面的最新科研成果,这对我们共同领域中每一个分学科的工作者来说,都将是有益的。书中列举的五百多篇参考文献,对我们今后开辟这方面的工作也提供了宝贵的线索。

参加本书翻译工作的有:南京大学气象系盛承禹(第1、3、7、8章)、南京大学天文系蒋窈窕(第2、4章与附录)及科学院紫金山天文台徐振韬(第5、6章)。全书117幅图均由南京大学气象系石宗祥同志清绘。由于我们水平所限,译文中词不达意或误译的情况一定很多,谨希广大读者批评指正。

目 录

前言

序

译者的话

第一章 引论	(1)
第二章 与太阳有关的相关因子和能量来源	(6)
2.1 太阳黑子	(6)
2.1.1 太阳黑子数的变化	(6)
2.1.2 太阳黑子周期的谱分析	(10)
2.1.3 未来太阳黑子变化的预报	(11)
2.2 太阳电磁辐射	(13)
2.2.1 可见辐射和太阳常数	(13)
2.2.2 短波变化	(15)
2.2.3 耀斑事件	(22)
2.2.4 太阳风能量和太阳常数	(22)
2.3 太阳微粒辐射	(23)
2.3.1 同太阳周期的关系	(25)
2.3.2 太阳质子谱	(25)
2.3.3 纬度变化	(30)
2.3.4 太阳质子事件的时间过程	(31)
2.3.5 太阳质子引起的空气电离	(31)
2.4 银河宇宙线	(34)
2.4.1 和太阳周期的关系	(34)
2.4.2 宇宙线能谱	(35)
2.4.3 纬度变化	(37)
2.4.4 宇宙线电离和高度的关系	(38)
2.4.5 宇宙线的短期变化	(39)
2.5 太阳磁扇形结构	(42)
2.6 地磁活动	(44)
2.6.1 测量的指数	(44)
2.6.2 磁暴急始	(46)
第三章 长期气候趋势	(47)
3.1 太阳周期的相关联系	(47)
3.1.1 雨量	(47)
3.1.2 降水的间接指标	(51)

3.1.3	地面气温	(52)
3.1.4	温度的间接指标	(56)
3.1.5	气压	(57)
3.1.6	气压系统与风	(60)
3.1.7	风暴路径	(63)
3.2	和海尔 22 年太阳周期的相关	(65)
3.2.1	雨量	(65)
3.2.2	干旱	(67)
3.2.3	22 年温度周期	(68)
3.2.4	气压	(68)
3.3	相关联系的倒转与消失	(69)
3.3.1	温度相关的消失	(69)
3.3.2	降水相关的消失	(70)
3.3.3	气压中心、风与风暴频率	(72)
3.3.4	相关倒转与中断的总结	(72)
3.4	黑子周期与大气电参数	(75)
3.4.1	大气电学的基本关系	(75)
3.4.2	电位梯度随太阳活动的变化	(77)
3.4.3	空气导电率	(77)
3.4.4	雷暴活动	(78)
3.5	大气臭氧与太阳黑子周期	(80)
3.5.1	观测到的臭氧变化性	(80)
3.5.2	大气臭氧的化学过程	(86)
3.5.3	臭氧与太阳周期	(88)
3.5.4	太阳活动对臭氧汇的影响	(91)
第四章	气象上短期天气的相关联系	(97)
4.1	耀斑的气象响应	(97)
4.1.1	气压和风	(97)
4.1.2	耀斑对大气电的影响	(100)
4.1.3	耀斑对臭氧的影响	(103)
4.2	地磁活动及太阳微粒辐射与气象要素的相关	(104)
4.2.1	海平面气压	(104)
4.2.2	高空气压和环流	(107)
4.2.3	低压槽和涡度指数	(108)
4.2.4	地磁活动、臭氧和温度	(110)
4.3	对太阳磁扇形结构的响应	(111)
4.3.1	地面气压	(111)
4.3.2	高空气压和环流	(111)
4.3.3	低压槽和涡度指数	(112)

4.3.4	磁扇形边界通过和雷暴活动	(113)
4.3.5	磁扇形边界和大气电场	(114)
第五章	各种隐藏的影响	(117)
5.1	向上能量的传输	(117)
5.1.1	大气波的垂直传播	(117)
5.1.2	作用于电离层上的气象效应	(119)
5.1.3	电离层对地磁场的影响	(120)
5.2	月亮对地磁活动的影响	(120)
第六章	物理过程和机制	(124)
6.1	太阳常数变化的大气效应	(124)
6.1.1	气压和太阳常数	(125)
6.1.2	地球的轨道变化和太阳常数	(129)
6.2	大气臭氧的屏蔽作用	(132)
6.3	卷云的屏蔽作用	(134)
6.4	珠母云或夜光云的屏蔽作用怎样?	(135)
6.5	环流变化和风暴路径	(136)
6.6	雷暴事件的触发机制	(137)
6.6.1	大气电效应	(138)
6.6.2	起动雷暴的可能机制	(142)
6.6.3	附加的考虑	(145)
6.7	重力波反馈	(147)
6.8	对流雨来自宇宙线簇射吗?	(148)
第七章	太阳-天气关系的总结	(149)
7.1	要点的回顾	(149)
7.2	太阳活动与气象相关的摘要	(151)
第八章	试验纲要	(154)
8.1	有关的天气与气候因子	(154)
8.1.1	天气与气候的基本要素	(154)
8.1.2	次要的天气与气候要素	(155)
8.1.3	讨论	(155)
8.2	试验参数	(156)
8.2.1	太阳活动的预兆和指标	(156)
8.2.2	进入大气系统的能量	(157)
8.2.3	气象响应指标	(158)
8.2.4	空间实验室与自由飞行物上可观测的参数	(158)
8.3	试验要点	(158)
8.3.1	雷暴、宇宙射线和太阳质子	(159)
8.3.2	大气臭氧的防护作用	(159)

8.3.3 由凝结核形成的云	(159)
8.3.4 风暴路径与环流的变化	(160)
8.3.5 太阳常数	(160)
8.3.6 结论	(161)
附录 A 大气的物理性质和转换因子	(162)
附录 B 缩写、指数、符号和测量单位	(165)
参考文献	(170)

第一章 引 论

长期以来一直怀疑太阳输出能量的变化会影响地球上的天气与气候。如果我们能够理解现象的联系机制,我们就有可能解决若干人们最烦恼的问题。例如,恶劣的天气与气候变化对世界粮食供应所起的关键性作用已经成为近年来的中心问题(Laur,1976)。用比之现在所可能有的更大的可靠性来预报这些变化,尤其是预报发生干旱的时间与地点,可能会大大改进全球的作物生产计划,从而会减轻灾荒的发生。人们就天气与气候对于有效地利用太阳能的影响注意得较少。为使美国在下一个十年里在能量需要上自给自足,联邦政府的几个机构正在密切试验利用太阳辐射的可能性。数十亿的美元用在这项研究上,建立一个专门研究太阳能的联邦实验室已被批准。

影响太阳能利用的最重要变量之一是和天气及气候有关联的。例如,温度的极值,无论是炎热与寒冷的极值,为了冷却与加热都需要分别外加能量。强烈的冷风成为一个外加的冷冽因子,为此就要增加热能来补偿。云覆盖的程度直接影响到达地面上太阳采集器的太阳能总量。如果连续有许多阴天,则必须寻找其它能源。

由于影响太阳能应用的气象与气候参数有着长期的与短期的时间变化,显然,对于太阳能的需要及其利用效率同样也随时间而变化。为了保证太阳能源的最大收益及有效地安排其它能源,就必须高度精确地预报气象与气候参数的变化。

太阳-天气联系的社会含义不包括在本书的范围。当然,我们讲的是可以导致了解太阳活动与气候及气象响应之间联系机制的科学问题。有了这样的了解,就有可能改进天气预报与气候预报,这就有可能对解决有关的社会问题作出贡献。

在气象技术的当前情况下,某一个地区的短期天气预报大约很难精确到二天以上,以大气系统的计算机模式化为基础作出的较长期(大约至30天)的预报是近于有效的,而气候上的长期变化不过是某些人的猜测而已。

能够改进这种状况的唯一途径是改进天气与气候的可预报性。即使采用较成熟与复杂的计算机模式化技术,标准的气象学技术只有在引进整个大气系统运转的新概念之后方能得到改进。一个关键性因素基本上长期被忽略掉,而我们相信正是这个因素可以更好地了解与预报天气与气候,这一因素就是太阳活动对气象及气候参数的可能影响。我们采用太阳活动这一名称,借以将太阳能量瞬时性的强烈爆发和称之为太阳常数的较定常的辐射之间的差别区分开来。

太阳活动的基本量度是任一时间太阳圆面上可见的太阳黑子数,黑子愈多,表示太阳活动强度愈大。一个活动的太阳产生像太阳耀斑这样的瞬时事件,是它在可见光、紫外线与X射线波谱部份电磁能的爆发。一个太阳耀斑的爆发可以从几分钟持续到几小时,有时候它在微波射频频段内伴随有电磁辐射。伴随着大的耀斑,太阳经常射出相对论性带电粒子、质子、 α 粒子和电子,有时候称它们为太阳宇宙射线。其中最丰富的带电粒子是太阳质子。我们宁要采用太阳质子这一名称而不用太阳宇宙射线这名称,以避免和银河宇宙射线相混淆,后者是指发自太阳以外的从所有方向不断到达地球的高能带电粒子。

太阳活动的间接指标包括极光、地磁暴及银河宇宙射线强度的变化。最近认识到太阳磁场显示出一种有规律的结构,其磁力线自太阳向有明显边界的明确扇形区流出或反向太阳流入(Wilcox 与 Ness, 1965),这个认识引出一个新的指标,即称作太阳磁扇形边界通过,看来它是和太阳活动的其它几个标志(例如地磁活动和银河宇宙线变化)联系在一起的。

几乎所有这些指标,无论是直接的和间接的,都被用来和一个时候或另一个时候的天气与气候参数相关联,而其成功的程度却大有出入。

到现在为止,另外一些强迫函数已比太阳活动更被认真地用来考虑气候变化。例如,一些研究者相信在将热量从赤道输送到两极的过程中大洋比大气更为重要。大洋温度与其环流的改变将促进大气热分布的改变,因此也引起天气与气候的变化。另一些研究者提出,火山喷发将尘灰广泛地散布于大气之中,这会阻挡太阳光线,导致一个冷却趋势、云的形成及较大的降雨。极地冰冠在伸展范围上的变化也会迫使世界气候发生变化。最近 Talbot 等(1976)提出太阳系穿过星际云可能影响地球气候。这里不可能对这些令人关切的各个方面的问题都予以讨论,为了公正地对待它们,我们应该和对待太阳活动一样地将它们作为一个强迫函数予以注意。另外,最近复活起来的米兰柯维奇(Milankovitch)理论(1930)是令人关切的,这理论主张冰河期是由于数万年计的地球轨道的变化所引起的,因为它决定着由此带来的到达大气层顶部太阳能量的变化。

虽然太阳-天气联系的课题已经被研究了一个多世纪,但是其结果还没有被广泛接受,在美国尚没有把其结果和天气预报或气候预告的方法相结合的尝试。反对认真考虑这一课题的主要原因是三方面:(1)太阳活动参数和气象及气候对应之间所出现的相关联系在几个太阳周期以后有时要中断,以及在文献上的结果是相互矛盾的;(2)没有一个可以接受的物理解释来说明为什么太阳上的活动和地面上的天气应该有因果联系,也没有一个被确认了的联接这二者的联系机制;(3)由于太阳活动所产生的能量和众所深信用来推动我们天气这一机器的连续辐射能量相比较,是很渺小的,因此太阳活动在地球天气与气候中最多只是一个触发作用的变化而已。在今天,仿佛有一种强有力的怀疑论在阻止太阳-天气的研究成果同天气及气候预告相结合起来。

一部份障碍是由于这样的情况造成的,太阳能是以各种各样的形式来到地球的,其中一部份太阳能会被地磁场分离开,以及随着高度、纬度与经度有着种种可能的配置,能量在这些配置下最终转化为热量,从而被用来驱动大气环流或它的几个分环流(Mitchell, 1965)。此外,有几种太阳能形式虽然在统计上是相关的,但是太阳活动的形态,或者其时间与空间变化和它们所伴同的,或者其后随的地面响应在不同的高度与地理区域可以显示出不同的后延时间。

把这些障碍调合起来是一个复杂的气象机制,它有着许多似乎和太阳活动无关的反馈作用及衍生效应,而太阳活动的影响会显著地掩蔽掉。例如,温度的增加能引起蒸发与绝对湿度以及大气不稳定性的增大。其结果是形成云,因为云的反射率比地面大,所以云会引起到达大气下层的太阳辐射量的减少,随之引起日间温度上的降低。伴同的气象效果将是增加气旋的发生,导致低压中心的加深,以及风与降雨的增加(Battan, 1974)。在图 1.1 里表明了大气系统及气候反馈联动关系的复杂性。Kellogg 与 Schneider (1974)对这错综的耦合网系中的相互作用作了总结。我们在本书里主要集中讨论能量输入参数的变化,就是图 1.1 中的左上角。这里,参数——“太阳辐射”的变化包括太阳活动的各个方面在内。

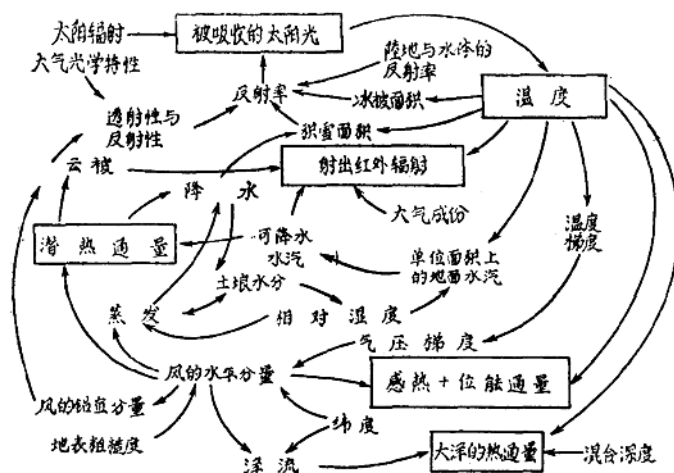


图 1.1 表明天气与气候的复杂性及其错综的反馈机制的一个模式
多种反馈过程的影响在大小上是相近的,其方向是相反的。显然,图左上角能量输入参数的变化会影响天气与气候的若干参数。据 Kellogg 与 Schneider(1974)

因此,太阳活动对特定气象参数的效应研究只是全部内容中的一部份,并且对天气与气候的实际效应可能被各种反馈机制所掩盖掉。尽管有这些问题,但是许多研究者已经找到了气象与气候对太阳活动的响应证据。在这方面特别令人鼓舞的是有三方面的探索。第一, Roberts 与 Olson(1973,a,b) 发现大气涡度(气旋生成的一个气象学度量)在地磁暴开始后 3—4 天剧烈增加,但是 Hines(1973) 提出,地磁活动可以是由能量从对流层现象向上传播而产生的。后来 Wilcox 等(1973,a,b)表明, Roberts 与 Olson 所采用的大气涡动指数和纯太阳参数(即太阳磁扇形边界通过)的反应是相仿的。因此,早一些时候对此所作的评论(Hines 与 Halevy,1975,1977)被否定掉了,现在通常被接受的是,大气涡度和所伴同的风暴天气条件的增加确是同某些太阳变量相伴随的。但是,这种伴随的物理原因至今尚不清楚。

第二, John Eddy(1976)通过广博的研究,得出了一个强有力的事实,那就是气候上称作“小冰期”的温度最低时段中的最冷部份,在时间上恰好和以太阳黑子测定的太阳活动持久的低值时段相吻合。在公元 1645—1715 年被人称作“蒙德极小期(Maunder minimum)”的时段内,太阳黑子几乎全部没有;在整个时段内所出现的黑子数比现在一个活动年里还要少(据国内外一些学者的研究,否认在蒙德极小期内太阳黑子数几乎全部没有的看法——译注)。Eddy 的工作并没有确认任何物理联系的存在,但是他的结果强烈地表明存在这样的一种联系。

探索的第三方面还没有建立任何物理机制,但它使人认识到在一个多世纪以来美国高原地区发生的干旱都有着 22 年左右的周期性(Marshall,1972)。再者,这周期性与海耳(Hale)22 年黑子周期有着固定的位相联系(Roberts,1975)。最近 Mitchell 等(1977)表明,美国西部干旱覆盖的年总面积有着同样的 22 年位相。虽然这些结果是令人鼓舞的,但是必须谨慎地观察它们,除非世界其它部份的干旱也类似地分析出来了(Gerety 等, 1977)。

在文献上已经发表了各种各样彼此不同的结果, 这些论文不仅在气象与大气科学杂志上能找到, 而且也能在讨论水土保持、地理学、天文学、太阳物理、电离层及一般科学和其他科学丛书上找到, 所以编辑文献目录对于太阳-天气联系性的研究有着重大的价值。最近的一个汇编集中了在 1958 年到 1977 年初(Shapley 与 Kroehl, 1977)一段时期所发表的文章, 它是 Shapley 等(1975)汇编的延续。1958 年以前的文献, 已由 Helland-Hansen 与 Nansen (1920), Brooks(1926, 1936, 1939), Clayton(1923) 和 Nuppen 与 Kageorge(1958) 编辑。

最近撰写评述性文章的有以下一些作者: 阐述上一世纪太阳-天气争论的 Meadow (1975), 强调长期或气候方面的 King(1975), 以及着重短期(天气)变化的 Wilcox(1975)。此外, 最近有两本为非专业读者写的有关天气与气候方面考虑太阳活动对气象的可能影响的书(Calder, 1975; Gribben, 1976)。Lamb(1972)写的是一本经典气候学方面的杰作。

过去几年里召开的专门会议有: 1973 年 11 月在美国宇航局戈达特宇航飞行中心召集的“太阳活动与气象现象之间可能联系性”学术讨论会; 1975 年 1 月美国气象学会在丹佛举行的第 55 届年会上“太阳变化性与气象响应”的一次会议; 1975 年 8 月在法国 Grenoble 地方召开的第 16 届国际大地测量与地球物理学会全体大会上由 W. O. Roberts 组织的一次会议; 1976 年 6 月在美国博尔德召开的太阳-地球物理学国际讨论会的一次会议; 1977 年 8 月国际地磁和高层大气物理学联合会/国际气象学和大气物理学协会(IAGA/IAMAP)在美国西雅图举行的联合大会上的一次讨论会。[在 1973 年宇航局大会提出的论文已由 Bandeen 与 Maran 二人编辑出版(1975)]。

本书评介了和太阳活动有关的长期与短期的气象变化, 以及几个已被提出来解释这种关联性的物理联接机制。也提出了有着不同程度完整性的几个新机制, 以补充在文献上已经发表过的那些机制。在有助于读者掌握所给出的概念的概念的章节中, 也提供了物理背景资料。

本书也考查了几个对研究太阳变化性和气象响应之间的物理联接有用的实验性概念。对于这一目的的基本理由是这样的, 即尽管大量文献支持这两种现象之间的一个可能联系, 但是对于这样一个联系也存在相当大的怀疑。这种怀疑似乎主要是基于这样一个事实, 即没有一个表面说得通的物理机制可以用来解释太阳能输出上比较小的振动如何影响或驱动非常强有力的气象过程。如果认识了其联系机制, 则太阳-天气的联系问题将可奠定在牢固得多的基础上, 那么改进气候趋势及天气转变的预报才有真正的可能性。

由这简短扼要引论性的陈述中, 可以认识到我们所谈论的课题确是多学科性的。在以下的章节里可看到, 即使当前初步性的工作就已涉及到太阳物理学、磁层物理学、大气物理学、大气化学、大气电学、宇宙射线、地磁学与气象学。要对太阳-天气间的联系得到新的见解, 我们相信就必须把所有这些学科现有的知识结合起来, 并且以新的形式理解这种知识。我们并不是说在这本书里就这样做, 而是试图把所需的基本成分放在一起, 在某些情况下简单地将它指出来。

从这种目的出发, 在第二章里讨论了太阳变量的特点及被认为和天气及气候振动有关联的太阳能。同时在这章里还包括银河宇宙射线及地磁活动, 因为这些现象在强度上的变化同太阳活动有关, 并且它们已被注意到和天气变化有关。

在第三章里考察了长期气候趋势以及它们和太阳活动相联系的情况。在几个事例中已被注意到, 气象现象和太阳黑子的相关联系可以持续几个黑子周期, 然后中断, 或相关的符号甚至倒转。这些特点可能表示毫无相关的变量之间一次偶然性的相关, 或者它们可能指

出了一个至今尚未被发现的关键，它使两个看来彼此独立而实际是相关的变量之间的联系定不下来。由于这两个重要的可能性，另有一节(3.3)专门讲这些相关的中断与倒转。

第四章是写气象参数和太阳耀斑、太阳磁扇形边界这样一些瞬时太阳现象之间的短期相关。这章还包括天气转变和作为一个太阳变化指标的地磁活动之间的相关。

第五章里简要地考察了地磁活动和天气现象之间所出现的相关是同太阳活动无关的这种可能性。

第六章里阐述了核心问题，即产生所观测到的相关现象的物理过程与物理机制。这里所讨论的必然是推测性的，在某些情况下也许是天真的想法，因为没有一种已被证实的假说可以解释太阳变化同对流层耦合起来的物理联系。

第七章里给出太阳-天气联系的要点摘要和一张全面的所讨论过的相关情况表。先看这一叙述性的要点摘要可以对本课题得出一个总的看法。

第八章摘要阐明对人类及其活动有影响的主要天气与气候因子，也论述了继续与加强太阳-天气课题研究的争论问题。在这一章里还总结了需要未来研究的同气象及太阳有关的测定参数，并提出为了找出物理联系机制所需的若干实验性纲要，在最后一章之后，汇集了一份广泛的参考文献目录。

附录A给出了高至50公里的大气基本物理性质(温度、气压、密度)以及气压单位的换算因子。附录B里收集了本书中所使用的略语、简称、单位与符号。

第二章 与太阳有关的相关因子和能量来源

一般说来,太阳-天气的关系有四个主要方面。第一,太阳活动的各种表现,其中有一些呈现十分确定的周期性,而另一些则是不可预测的瞬时现象。第二,气象学和气候学的观察与研究已揭示出来的,那些只能部份地用短期和长期的气象学过程解释的周期性与非周期性的特征。第三,上两方面的结果,即在太阳活动和天气现象两个方面观察到相似的周期性,它使我们长期怀疑这样一个问题,即在两者之间一定有某些联系,为致力于寻找这样的联系已进行了大量的相关分析。最后,从许多研究中已出现一些有时是矛盾的、混乱的和有争论的结果,它已引起第四(这也许是最重要的)方面的认识,即究竟是怎样的大气物理和大气化学过程,使得由太阳活动引起的到达地球上的相当小的能量扰动,能够影响对流层中更大能量的动力学过程?在太阳-天气问题中,这是一个最新而且也是最少推诿的一个方面。

为了说明和最终要解决这个问题,必需阐述它的各个主要方面。第一、二两个方面代表十分复杂的地球物理学内容,第三方面试图把它们汇总在一起(更增加其复杂性)。第四方面是不仅必须正确利用在太阳活动、天气和气候领域已有和不断取得的知识,而且必须阐明它们之间相互作用的物理过程和化学过程。为了指导第四方面的工作,可以而且应该利用现存的相关证据和另外正在进行研究的新结果。

为充分了解这个吸引人的又常是不易解决的难题,分别考查它们各个方面,但又注意它们如何能拟合在一起是有益的。我们从本章起将开始考查那些已被论证与整个问题有关的太阳活动的特征。

首先,要阐述太阳黑子及其随时间的变化,因为它们不仅是太阳活动的基本标志,而且也是在过去相关研究中最常使用的参数。并且,其它许多太阳活动参数在相关的或一一对应的基础上都与太阳黑子有关。这些都要在本章后面的篇幅中讨论,讨论中还包括太阳耀斑、太阳高能粒子、宇宙线、太阳和行星际磁扇形结构,以及地磁活动。虽然太阳辐射能未必随太阳黑子活动而变化,也将论述它在气象学中的作用。

以后几章将讨论太阳-天气问题的其它方面。但是,气象学上相应的一些概念将夹杂在论述长期和短期的相关联系的第三、四章中予以阐明。

2.1 太阳黑子

太阳黑子是在日面上相当暗的、有明显界限的区域,它有一个比光球的有效温度约低2000度(K)的本影,和一个环绕着它比其稍亮又有明显边界的半影。黑子的平均直径约为37000公里,特别大的黑子可达245000公里。虽然有时也出现单个小黑子,但发现多数太阳黑子是两个或两个以上成群地出现的。太阳黑子磁场强度比整个日面磁场要高得多,在双极黑子群中,前导黑子的极性与后随黑子的极性相反。

虽然现在都承认用肉眼看到大黑子的记载在中国至少已有一千五百年了,而约在1610年,伽利略用望远镜才发现了黑子。

2.1.1 太阳黑子数的变化

令人惊奇的是,一直到1843年为止,人们对太阳黑子消长的周期性并不了解。1843年,

业余天文学家施瓦贝[Heinrich Schwabe(1844)]发表了一篇有关他在 1826—1843 年观测太阳黑子的短文。施瓦贝发现这个周期的长度约为 10 年。在这个惊人报告的推动下,瑞士苏黎世(Zurich)天文台台长沃尔夫(Rudolf Wolf)对太阳黑子数想出一个定量的定义,并把它应用到现存的历史资料中去,看看施瓦贝的周期变化是否在较长时间范围内能找到。对于 1700—1848 年的资料,沃尔夫发现了这个周期,周期的平均长度是 11.1 年(参考 Waldmeier, 1961)。为尊重它的最初发现者,本书中我们常把 11 年周期称为“施瓦贝周期”。

在目前,沃尔夫太阳黑子数 R 的定义为

$$R = k(10g + f) \quad (2.1)$$

这里 f 是不管其大小的个别黑子的总数目, g 是黑子群数, k 是把不同天文台的计数予以标准化的因子。显然,黑子群的权重比个别黑子要大得多。沃尔夫太阳黑子数也称“沃尔费(Wolfer)太阳黑子数”(根据苏黎世天文台台长沃尔夫的继承人沃尔费的名字来命名),“苏黎世太阳相对黑子数”以 R_s 表示(根据该天文台的名称),或者简称为“太阳相对黑子数”。

许多天文台(自 1848 年沃尔夫创建以来一直继续着)都作常规的每日黑子计数,根据(2.1)式综合得出的如黑子每日数、月平均和年平均的资料可从苏黎世天文台,或从美国柯罗拉多州、博尔德世界资料中心(World Data Center in Boulder, Colorado)得到。1848 年到现在期间的太阳黑子资料最为可靠。1700—1748 年期间的沃尔夫数质量不好,因为它们是由推导得出的;1749—1817 年期间的资料也是有疑问的,而 1818—1847 年的资料是好的(Eddy, 1976)。

图 2.1 给出年平均沃尔夫数的标准曲线。最明显的特征是施瓦贝(11 年)周期,但更长周期的变化也是明显的。由于长周期变化的影响,在极小年,年平均沃尔夫数变化于 0 到 10 之间,在极大年,变化于 50 到 190 之间。(每日数值可以从 0 到 355 或更大范围内变化)。施瓦贝周期长度的变化在相继两极小值之间约为 8.5 年到 14 年,在相继两极大值之间为 7.3 到 17 年左右。1784—1797 年和 1843—1856 年两个时期的周期长度为 13 年。

在太阳高纬度出现新的太阳黑子和太阳黑子群标志着每一个新的 11 年周期的开始。在周期进行过程中,太阳黑子相继出现在较低纬度,直至 11 年周期末,大部分太阳黑子出现在距太阳赤道 5 度以内。在高纬的新黑子群的磁极性与在低纬的老周期的黑子群的磁极性相反。一个新周期的开始通常与一个老周期结束相重迭,有时重迭一年或一年以上。一、两个靠近赤道的老黑子可以同时与一个磁极性相反的在高纬的新黑子或黑子群同时存在,或者是老周期末的黑子可以在新周期明显开始以后几个月内在赤道附近再出现,并可以存在一、两个太阳自转周。太阳黑子周期极小的精确出现时间只能在回顾一个特定期间内(通常为一个月)观测到的黑子数最少的资料中近似地予以确定。通常,把每一个 11 年周期(以两次极小之间的时间为准)编以数序;将 1755—1766 年作为第 1 周期是带有一些任意性的。因此,1964—1976 年是第 20 周期,现在是第 21 周期。

观测太阳黑子随纬度的移动,发现太阳表面有不同的自转周期。即在太阳赤道,自转周期为 25 天,在纬度 30° 是 27.5 天,在两极 35 天。平均自转周期为 27 天,在太阳-天气文献中经常提到的是这一平均自转周期。

就长期变化来说,在图 2.1 上可以看到 1755—1799 年和 1934—1974 年两个时期的形式有某些相似之处。即周期 1, 2, 3 和 4 类似于周期 17, 18, 19 和 20, 这意味着有 180 年的周期性。也可以看到周期 5, 6, 7 和 12, 13, 14 之间很相似, 这表明重迭着另一个约 80

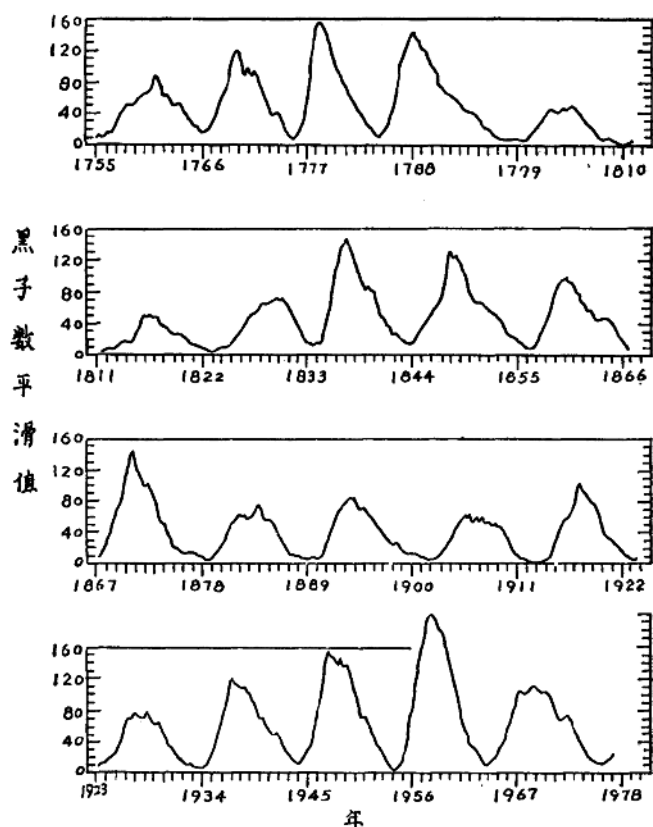


图 2.1 苏黎世太阳黑子数年平均值的变化
据太阳-地球物理世界资料中心 (World Data Center for Solar-Terrestrial Physics),
1977 年的年平均值是 1—9 月的暂用平均值。

年的长周期。由谱分析还确认出了其它长度的周期(2.1.2 节)。

当考虑太阳黑子磁特性时,一个完整的基本周期需有两个施瓦贝周期组成,或约 22 年。这个所谓双太阳黑子周期的基本特性,最先是由海耳 [Hale(1908)] 和 Hale 与 Nicholson (1925)加以描述的,即在 22 年的时期内双极太阳黑子的磁极性完成了一次周期变化。极性的反转发生在 11 年周期的极小时,22 年周期是由两个相连的 11 年周期组成。在“正的”11 年周期里,在太阳北半球的双极黑子群的前导黑子的磁极性是向外的(正的),在太阳南半球是向里的(负的)。在正周期结束时,这些黑子的极性发生反转,并且一直持续到下一个“负的”11 年周期的终了。海耳黑子周期(22 年)示于图 2.2,图上交替出现的 11 年极大画作正的或负的峰值。海耳太阳周期的长度(名义上只有 22 年)是根据正的和负的两半周期的长度而变化的。Chernosky(1966)指出过,地磁活动的 22 年变化与太阳磁极场的反转有关。宇宙线日变化分量的日变幅也明显地与海耳周期有关 (Forbush, 1973; Pomerantz 与 Duggal, 1974)。与 22 年周期性有关的气象现象将在 3.2 节中讨论。

除了太阳黑子的直接观测以外,还利用几个间接的参数试图把太阳黑子周期曲线在时