

T 大洋传送带

发现气候突变触发器

The Great Ocean Conveyor: Discovering the Trigger for Abrupt Climate Change

[美] 沃利·布洛克 著

中国第四纪科学研究会高分辨率气候记录专业委员会 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

**The Great Ocean Conveyor: Discovering
the Trigger for Abrupt Climate Change**

大洋传送带 发现气候突变触发器

〔美〕 沃利·布洛克 著

Wally Broecker
Columbia University

中国第四纪科学研究会高分辨率气候记录专业委员会 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

Wally Broecker

The Great Ocean Conveyor; Discovering the Trigger for Abrupt Climate Change

ISBN: 978 - 0 - 691 - 14354 - 5

Copyright © 2010 by Princeton University Press

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the Publisher.

本书中文简体字翻译版由普林斯顿大学出版社授权西安交通大学出版社独家出版发行。

陕西省版权局著作权合同登记号:25 - 2011 - 131

图书在版编目(CIP)数据

大洋传送带:发现气候突变触发器/(美)布洛克(Broecker, W.)著;中国第四纪科学研究会高分辨率气候记录专业委员会译. —西安:西安交通大学出版社, 2012.7

书名原文: The Great Ocean Conveyor; Discovering the Trigger for Abrupt Climate Change

ISBN 978 - 7 - 5605 - 4126 - 6

I. ①大… II. ①布… ②中… III. ①大洋环流-关系-气候变化-研究 IV. ①P731.27 ②P467

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第024016号

书 名	大洋传送带:发现气候突变触发器		
著 者	(美)沃利·布洛克		
译 者	中国第四纪科学研究会高分辨率气候记录专业委员会		
出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)		
网 址	http://www.xjtupress.com		
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315 82669096(总编办)		
传 真	(029)82669097		
印 刷	西安建科印务有限责任公司		

开 本	700 mm×1000 mm	1/16	印张	8.75	字数	93千字
版次印次	2012年7月第1版	2012年7月第1次印刷				
印 数	0001~2000册					
书 号	ISBN 978 - 7 - 5605 - 4126 - 6/P.2					
定 价	35.00元					

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665380

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

中文版前言

两年前,程海告诉我,沃利有本新书出版,介绍了他发现气候突变触发器的科学历程。沃利希望该书译成中文,程海答应找中国同行完成此事并与我商量。对我来说,应承这事有两个原因:一是程海的请求不能拒绝,因为他帮助中国人做了那么多的质谱铀系定年数据,毫不夸张地说,没有程海,中国石笋记录不可能有今天如此大的国际影响;二是我在纪念刘东生先生逝世一周年的文章中讲过,“要做科学研究,请先读科学家故事”,可巧沃利与刘先生又是同年获得泰勒奖,并且也是深受我们尊敬的同行。但问题是,谁来翻译?就中国的现状,大家整天忙忙叨叨于各自的“功课”,哪有大块的“课余时间”?所以由某位同事来完成翻译几乎不可能,我甚至试过邀请已退休有经验的同事,终是不果。后来我想到了我所在的中国第四纪科学研究会高分辨率气候记录专业委员会,如果整部书的翻译由10位专业委员再加上他们的研究生分担,这样对每个人来说不至负担太重。于是我们就这样干了,直至今日完成。

全书翻译分工如下,寄语中国读者:程海;作者简介和序言:谭明;第1章:胡超涌、刘浴辉;第2章:吴江滢;第3章:张平中、白益军、张德忠;第4章:汪永进;第5章:杨保、刘晶晶;第6章:胡平、余克服;第7章:蔡演军;第8章:蔡炳贵;第9章:孔兴功;第10章:段武辉;图表出处:刘浴辉。翻译完成请刘浴辉统稿一次;初校排出后,分别由程海、蔡炳贵、吴江滢、孔兴功、田立军、段武

辉和蔡演军等通读，找出译文和排版错误；特别又请韩家懋教授审阅了全稿，他指出了许多细节问题；这些都在校样中一一得到纠正，最后由谭明二次统稿。

在译稿交付出版之际，沃利的几位挚友寄来了热情洋溢的信，对沃利的传送带理论和他本人赞美有加。但为了方便阅读原著，将它们以原文附于书后，供有兴趣的读者浏览。

沃利的这部科学自传，字里行间充满了作者数十年研究过程中情绪的跌宕起伏，故事情节精彩纷呈，要把这些原汁原味用汉语传神实属不易。尽管大家在翻译中非常认真，甚至发现并纠正了原著中的一些错误，但十全十美的译著恐怕没有。现在译著终于面世，将接受中国同行的审读，希望其中不会有太多谬误或不足。

感谢所有翻译者和校对者在完成这部译著中所付出的辛勤劳动！

谭 明

2012年5月于北京

寄语中国读者

During the last 60 years my passion has been to pry loose certain of the earth's closely guarded secrets. The clues are there but only by painstaking detective work can they be discovered and properly interpreted. In this book I recount my discovery of the role played by the Great Ocean Conveyor in the abrupt changes which punctuated the climate of the last glacial period. I also attempt to summarize the ongoing development of this idea by scientists all over the world---including China. Although these ideas have taken us down a number of blind alleys, the full picture is slowly emerging. I say slowly emerging for there is yet much to be done. For example China's dry lake beds have much to offer. I hope that this book will inspire you to follow in my footsteps. I guarantee you that it will be an exciting trip!

Walter S Broecker

在过去60年中，我总是热诚地去撬松地球所紧握着的奥秘。虽然线索常在，那也只有艰辛探求的人才能够发现并予以确切的解译。我在书中回顾了发现大洋传送带对末次冰期中气候突变事件的触发作用的历程，我也尝试综述世界各地、包括中国的科学家在这一领域新的进展。纵然有些观念曾经把我们领进过若干死胡同，但是一幅全景画面正缓缓显露。我之所以说缓缓显露，那是因为许许多多的事情尚有待完成。比如，中国西部干枯的湖床就蕴藏着众多的故事。我冀望本书能够使您欣然地随我前行，这注定是个令人动心的旅程，相信我。

华莱士·S·布洛克

序 言

由于燃烧化石燃料，二氧化碳在大气中不断积聚所造成的影响日益受到关注，人们加强了对过去气候的研究，希望通过努力获取信息来帮助我们更好地应对未来。尽管计算机海-气耦合模型为我们提供了未来气候变化的初步指南，然而迄今为止，它们已被证实尚不能重现古气候记录中的一些重要特征。其原因在于，模型难于充当强效放大器，也难于揭示真实世界系统的反馈机制。所以，观察气候系统的两种方法的相互影响与促进，已成为科学研究的一个重要方面。

我有幸成为第一个提出地球海-气系统具有不只一种稳定运行模式的人。从某种意义上说，气候系统就像具有不同能量等级的量子。这是当我对格陵兰冰芯中的突然降温记录进行解释时所意识到的。我提出其一定与海水运行的一个关键因素，即发生在大西洋的经向倒转环流的中断有关。当北向的上层温暖海水到达大洋北端时，被寒冷的冬风降温，使其密度增加，直到其可下沉到深海，并向南流动，形成如图 1 所示的理想环流图。在发表于《自然历史杂志》的一篇文章中，我将图 1 中的这个环流称为“大洋传送带”。我认为正是这个环流的关闭，导致了格陵兰记录中的突然降温。但至少有一人强烈反对我的简图，她为传送带中的深层支流直接穿过其新西兰的家乡而大光其火。

本书不但记述了与我的发现相关的所有详情，而且还讲述了随后我的思想又是如何得以发展的。我的研究并非一帆风顺，而是在克服了混乱、误导后，最终走出死胡同取得了进展。因此，在后面提到的突变，不仅仅指传送带，亦发生于我的头脑中。也许

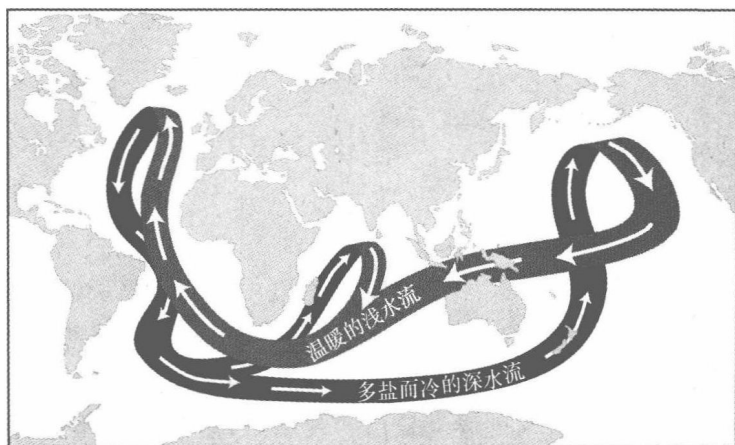


图1 北大西洋深层水运行路径的理想示意图,该图来自1987年为《自然历史杂志》准备的一篇文章

我应该为自己改变想法的次数太多而感到难堪,然而我没有,因为这正是地球历史研究的特点,就像透过浓雾去观察事物一样。但主要目标是看得见的(对我而言,就是传送带),而所有次要的东西都非常模糊。那么,那些被认为是聪明的假说就权当是猜想好了。一些猜想被证明是对的,但多数最后都错了。难道这些错误的猜想是可以被避免的吗?我不这么认为,因为,证明猜想的尝试会使我们获得新的发现,并进而让我们步入正轨。

换句话说,我们能获悉过去气候的详情真是不可思议。毕竟直到18世纪才有了可靠的温度计和雨量器,而此前的气象知识则基于间接的指标,我们称这些“信号替身”为“替代指标”,后面我会对这些指标进行解释。然而,它们中没有一个能为我们提供我们确想了解的真正、清晰的记录,因此必须将今论古或采用某种模型来加以解释。但有时结果显示这些解释并不合适,因为它们无法描述一些预期之外的过程。而有时显示观察本身纯属误导,也许根本不能说明我们的想法。科学上无可争辩的事极少,对上述问题我们必须始终保持警惕。因此,存在歧途、误解和争

议也就不足为奇了。对此我已做好了坦诚相告的准备。有时,一些解释虚假“事实”的尝试却导致了新想法的产生,而这些想法后来被证明是可被利用的。这就是真实的科学:为更加完整而精确地理解世界如何真实运转而不懈奋斗。

数学或理论物理的求解可在一个大脑中完成,而与此不同的是,古气候科学是一门群体间的科学。我们在很大程度上依赖于他人的知识和同行间的合作。作为一个不善阅读的人,我所获得的最有价值的信息和想法都是通过倾听和解图,而非文字阅读来获得的。

在此书中,我详述了过去约 20 年来为理解古气候记录所载信息而做出的努力,这些信息表明了地球气候系统具有承受其运行模式突然变化的能力。因而这本书不能视为对这门学科的全面综述,更确切地说,我仅仅记述了曾极大地影响了我思想的那些观察和想法。所以,对于那些虽然非常努力,但仍没能在我的头脑中留下痕迹的人们,我要表示歉意。

在我作为科学家的 56 年中,许多人都曾对我有过帮助。但我将仅提到五位,他们对我关于气候突变的想法有过很大的影响。希望这样做没有冒犯那些未被致谢的人们。

在发现传送带的几年后,我用埃克森公司提供给我去拉蒙特-多尔蒂地球观测站的经费,指导了一次为期三周的野外勘察,目的是考察安第斯山南部的晚第四纪冰川。24 位参加者中的每一位都要指定一位室友。我选择了我最好的朋友乔治·库克拉(George Kukla),但在他持续一夜的如雷鼾声后,我换了乔治·登顿(George Denton)作为室友。我与乔治过去在多次会上见过,但彼此间并不熟知。这次交换室友改变了我们两人的命运,并成就了一次科学结盟,现在已是结盟后的第 20 个年头了。我是一个研究海洋的人,而他是一个研究山脉的人,但我们意识到我们一起合作就可能有所作为,而且我们的确做到了。我永远也不会忘记我们的第一次尝试。我们自告奋勇地去参加一个由研究古海洋的精英们组织的在苏格兰爱丁堡召开的会议,我们的任务就是让

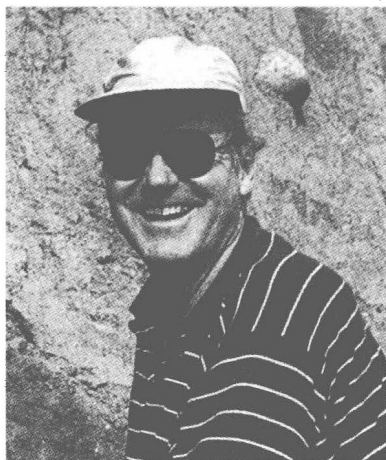


图2 乔治·登顿,来自缅因大学

那些米兰科维奇(见第1章)的信徒们相信千年尺度气候变化的重要性,但我们没能成功。在返美途中,我试图安慰闷闷不乐的乔治,开导他说这种事情还需要时间。不过我还告诉他,五年后,每个研究古气候的人都会对“突变”狂热,到时米兰科维奇的轨道周期学说可能就不那么重要了。而这件事后来真就发生了。

1986年,我在加州理工学院度过了一个学期的休假,与巴克利·坎布(Barclay Kamb)一起组织了一个地球轨道周期的研讨会。拉里·爱德华兹(Larry Edwards)是这个研讨小组的成员,他刚完成了博士论文——用质谱测定 ^{230}Th 的新方法。我后来返回拉蒙特,而拉里则在明尼苏达大学执教。我们仅有的一次联系是在几年之后,还是源于一场误会:争执应由谁来对里克·费尔班克斯(Rick Fairbanks)取自巴巴多斯岛近海的原生冰期珊瑚进行测年。十年后,我们再次联系时,我对他的石笋研究极感兴趣,这对我的思想也产生了深刻影响。目前,我们正一起在做课题,目的是期望了解地球雨带怎样响应冰期条件。与拉里的互动激励了我!

1992年,生物圈二号课题组专家、在亚利桑那沙漠筹建了出色封闭温室的约翰·艾伦(John Allen)向我咨询,为何温室中大气的氧气含量会下降,以致危及其间的8个居住者。我的研究生杰

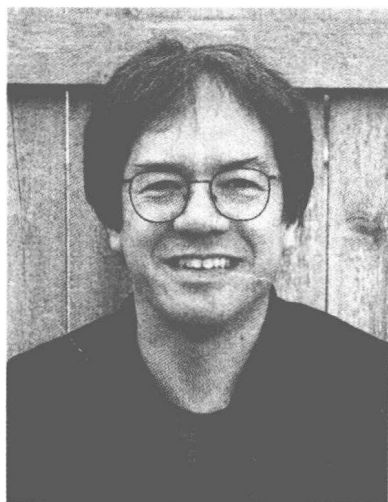


图3 拉里·爱德华兹,来自明尼苏达大学

夫·塞夫林豪斯(Jeff Severinghaus)接受了这个挑战。问题是,虽然看起来像是生物圈二号土壤里的微生物消耗氧气的速度快于植物产生氧气的速度而造成了氧气含量的下降,但二氧化碳并未按期望增加。经过了一些错误的尝试,并接受了父亲提出的一些明智建议后,杰夫发现缺失的二氧化碳是被隔开地面与地下室的结构混凝土所吸收——植物在地面生长,而地下室安置着机械设备。

杰夫继续做着他的关于加利福尼亚最南端沙丘中气体(及其同位素)相互作用的论文。作为此项研究的最重要结果,杰夫偶然发现了气体在多孔介质中被温度梯度所分馏。利用这些令人关注的概念,作为博士后的他,开始了后来成为其业余爱好的事业,即探求从覆盖整个极冰的多孔粒雪(存在于从松软雪到固态冰的过渡区)所捕获的气泡含有的信息。现在,斯克里普斯海洋研究所的这位教授(指杰夫——译者注),通过分离气体和其间的同位素,提取到了令人惊奇的信息,并因此获得了声望。那些信息存在于80m厚的沙丘状粒雪中,这些研究成果极大地增进了我们对气候突变的认识。我很自豪自己能帮助杰夫开始了他卓越



图4 杰夫·塞夫林豪斯,来自加利福尼亚大学克里普斯海洋研究所

的职业科学生涯,并非常荣幸能与他继续合作。

一天,我接到查理·本特利(Charlie Bentley)的电话,他以前是拉蒙特的博士,现在在威斯康星大学工作。他对自己的研究生理查德·艾利(Richard Alley)大加赞赏(想介绍其到本书作者的单位工作——译者注),后者当时刚完成关于极冰结构的学位论文。我核查后发现查理的评价的确属实。理查德也许能够成为我们研究机构的一颗“新星”,但我们刚用完了皮特·施洛瑟教席名额,很难再申请增加一个签约教员,于是理查德去了宾夕法尼亚州立大学,尽管我们之后仍然曾尝试吸引他来拉蒙特。虽说我们距离遥远,理查德后来还是成了我亲密的知心朋友,而且他还成了我的“解题”人,即不管我提出什么难题,他总能迅速地想出解决办法。我很自豪能够在2007年12月推荐他成为美国地球物理学会罗杰·雷维尔奖的得主。2008年4月,我又欣喜地获知他已被推选为科学院院士。看来查理早年的评价完全正确!

2002年4月,我收到一位名为加里·科默(Gary Comer)的来信,信首标识为“兰兹·恩德服装”。作为一个不常购物的消费者,我从未听说过这个公司,当然也未听说过科默先生这个人。信中

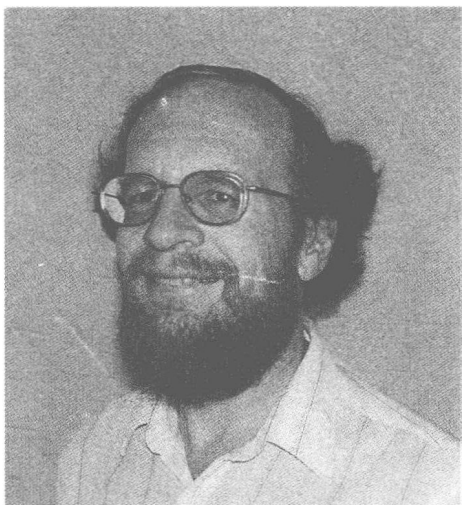


图 5 理查德·艾利,来自宾夕法尼亚州立大学

他描述了他驾驶铝合金船身的游艇——动荡号——通过西北通道的一次无冰之旅。他想寻找一位熟悉海洋在气候变化中所起作用的专家,希望这位专家能对北极海冰状况提出忠告。事后证明,他偶然间发现我的名字真是我的运气。在访问拉蒙特两周后,他便启动了多个饱含着我们深厚友谊的联合基金项目。在以后的三年中,根据我的挑选,他先后赞助了 24 位在气候突变领域具有世界水平的研究者。我们发起了加拿大和格陵兰之旅,在我们的帮助下还建立了一个公司,该公司已经研发出一种自大气捕获二氧化碳的价廉装置。最后,我坐在了由加里资助并荣幸地以他的名字命名的神奇的新地球化学实验室桌旁。不幸的是,我们的友好往来由于癌症夺去了他的生命而过早结束了。然而,在那美好的三年间,他设法使我重新振作起来,并将我置于数个科学任务之间,这些任务到现在还让我忙个不停。

因此,我谨将此书献给在寻求理解气候突变过程中给予我巨大影响的上述五位同行。

读者将会注意到,我在书中很少提及模型。有位评论家认为这是严重缺陷。对于这一省略我的理由是:除了几个重要的例

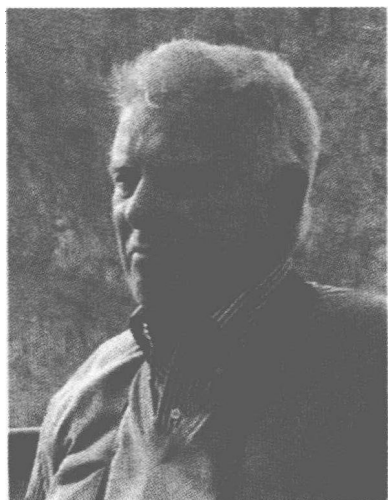


图6 加里·科默,兰兹·恩德服装创始人,慈善家

外,我的思想很少受到计算机模拟的影响。在我看来,它们很少能获得预期的成功。可以说,在很大程度上,模拟不过是在试图复制古气候的观察结果而已。然而,有两个模型的建立却让我很赞赏:其一是真锅淑郎(Suki Manabe)的海洋环流模型,他指出,在间冰期条件下,大洋传送带倾向于不间断地运行,而在冰期其更倾向于中断;其二是江大伟的大气模型,其清晰地解释了传送带中断对热带的影响,即北大西洋冰封推动热赤道南移,从而使降水模式显著改变。不过我并非说以前那些建立有效模型模拟过去的尝试不重要,实际上,它们非常重要!然而,在模型能够令人满意地再现过去之前,其对化石燃料二氧化碳排放影响的预测仍将存疑。

科学正飞速发展,新信息在不断注入,就像本书所展现的,概念在不断演化。所以请注意,本书最后增加的材料截止于2009年1月。

目 录

中文版前言

寄语中国读者

序言	i
第 1 章 科学背景	1
第 2 章 惊奇发现	15
第 3 章 研究的障碍	28
第 4 章 谜团	40
第 5 章 关键提示	52
第 6 章 解决方案	62
第 7 章 证实	72
第 8 章 最后一搏	83
第 9 章 全新世波动	92
第 10 章 人类世	102
图表出处	113
补充读物	116
挚友来信	117

第 1 章 科学背景

直到 20 世纪 80 年代中期，科学家们才意识到我们星球的气候系统可从一种状态跳跃式地突变到另一种状态。这些跃变即是本书的主题。但在介绍它们之前，我们需要探索它们发生的背景，也就是冰期和间冰期宏伟的进程，这种进程随着地球轨道呈现出周期性变化(图 1-1(a))。

虽然，早期的物理学家认为我们地球缓慢旋转的岁差和旋转轴的摆动可能是冰期的驱动源，但地质学家却并不认同。为了使地质学家相信轨道变化的确是导致冰期的原因，在 20 世纪 20 到 30 年代期间，塞尔维亚数学家米卢廷·米兰科维奇(Milutin Milankovich)通过仔细计算，阐述了日光量(即太阳辐照量)到达北纬高纬区时的季节变化的时间序列。他的结论是，北美和欧洲的冰帽可能在夏季太阳辐照量减少时向前推进，而在夏季太阳辐照量增强时后退。他希望这样做，能为地质学家提供一个可对比的冰期年代学。问题是在二战之前，地质年代的测定尚处于初步阶段，因此不能为其提供所需要的数据。所以，尽管他进行了艰苦的计算，但还是未能改变当时古气候学家的观念。

直到二战之后，芝加哥大学两位教授的研究，为米兰科维奇理论的广泛接受提供了平台。化学家哈罗德·尤里(Harold Urey)，证实了海贝碳酸钙中重氧(^{18}O)与轻氧(^{16}O)的比值可用于重建过去的温度。物理学家威拉德·利比(Willard Libby)利用放射性碳同位素(^{14}C)，测定了形成于 4 万年前贝壳的年代。于是

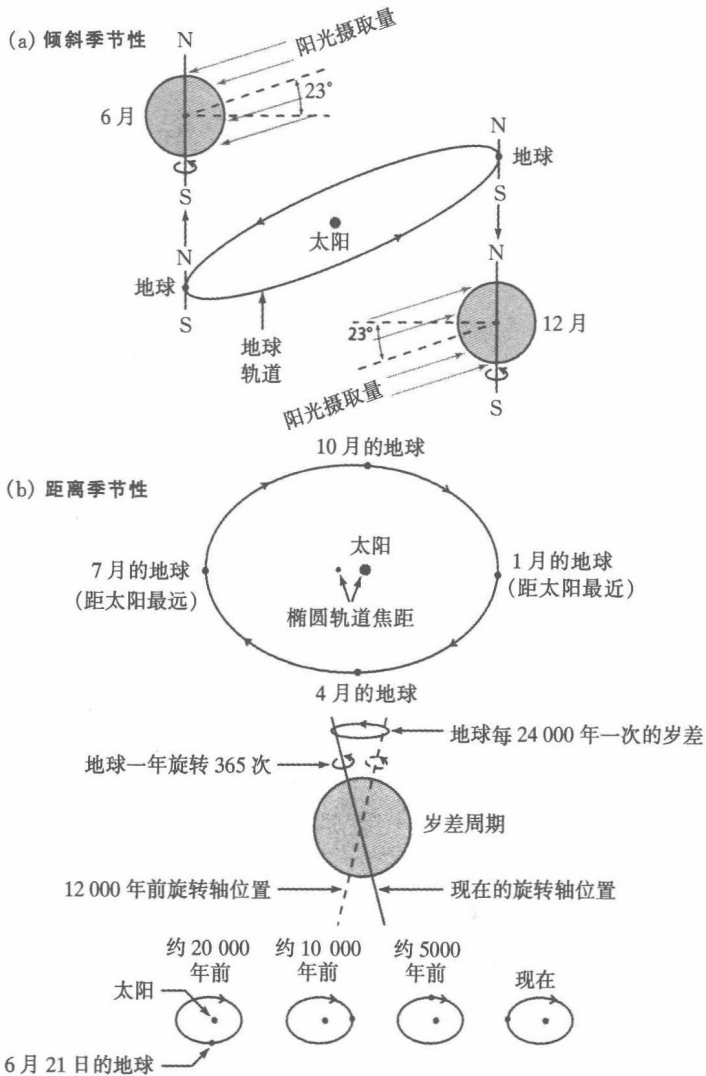


图 1-1 (a)两种来源的季节性:一是来源于与地球轨道相关的旋转轴的倾斜,二是地球-太阳距离的变化。倾斜度的周期性变化导致了在倾斜季节性幅度上的 41 000 年周期。圆度(即地球轨道偏心率)的周期性变化导致了在距离季节幅度上的 100 000 年的周期。(b)地球自旋轴的岁差导致了南、北半球距离季节性的反相。这种转换的平均周期大约在 20 000 年。该周期比 24 000 年的岁差时间略短,是因为地球轨道旋转周期为 105 000 年