



中国石油大学(华东)
重点资助系列学术专著

地球节律

EARTH RHYTHMS

周瑶琪 编著

石油石化
学术文库

THE ACADEMIC LIBRARY
OF PETROLEUM AND
PETROCHEMICALS



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

非外借



中国石油大学(华东)
重点资助系列学术专著

地球节律

EARTH RHYTHMS

周瑶琪 编著



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

地球节律/周瑶琪编著. —东营:中国石油大学出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5636-5712-4

I. ①地… II. ①周… III. ①地球—节律—研究
IV. ①P183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 318735 号

书 名: 地球节律

作 者: 周瑶琪

责任编辑: 王金丽 袁超红(电话 0532—86983567)

封面设计: 悟本设计

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者: 青岛友一广告传媒有限公司

印 刷 者: 青岛国彩印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981531, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 26

字 数: 636 千

版 印 次: 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-5712-4

定 价: 158.00 元

地球节律与关于地质时间的思考

(代序)

2001—2005年,我参与了王鸿祯先生领导的“国家九五攀登(B)计划”,并负责第四专项(95-专-04)“地球演化节律的天文控制因素及地球深部动力学数值模拟”(SSER-IV-2)。项目完成后,王先生与我经常电话联系,讨论关于地球节律背后的动力学机制和可能的地球膨胀等科学问题。电话讨论经常持续一个多小时。虽然研究项目已经结束,但我们并没有完全把地球节律背后的科学问题研究清楚。王先生与我交流的过程中多次提及,这个问题可能成为地球科学最重大的问题,事关地球科学的基础,甚至影响我们在地学领域的认识论和方法论。正是王先生的多次提醒,我才逐渐重视起来,开始认真研究地球节律背后的深层次原因,并着手本书的漫长写作。

王先生的研究项目总结了地球各个相关子系统所表现出来的长短不一的时间节律,并试图对各种节律予以动力学解释。当时项目组重点研究了沉积层序的级别与时序长短以及联合古大陆聚散大体的周期问题。王先生以历史的眼光分析了层序时限随时间的演化,提出了地球有限膨胀概念,从而把地球节律与地球轨道参数演变联系起来。这一点对我后来的研究是至关重要的,使我意识到,地球内部动力系统与行星地球轨道系统在更高层次上是统一的,它们背后有更深层次的宇宙学原因。思路开阔后,我的研究对象变得丰富起来。从微观到宏观再到宇观,自然科学用不同的理论和方法解释不同动力学系统的时间属性。正如我们用热力学解释化学和生命系统,用弱相互作用解释轻子系统,用强相互作用解释重子系统,用麦克斯韦方程解释电磁系统,用引力场理论解释引力系统一样。这些不同动力系统所表现的时间属性却是一样的,都包括时间节律、时间弯曲和时间之矢3个方面。

对地球动力系统而言,地球演化在时间上表现出的节律性已被很好地研究,比如日节律随地质时间的缓慢变化被认为与地球体积变化有关。地球自太古代以来自转越来越慢对应的是地球缓慢膨胀,整体而言就是时间弯曲。当然地球膨胀速率会有加速和减速的阶段,这就是地球膨胀节律。地质时间是与地月系统和地球自身膨胀过程分不开的。地球阶段性的膨胀收缩产生各种尺度的时间节律,而地球经历极早期绝热压缩后的整体缓慢膨胀过程则会产生不同演化阶段的时间弯曲。自太古代以来,地质时间变慢了很多,自太古代一天的约10 h到现在一天的24 h。伴随时间变慢,地球日月年的长度均在逐渐变长。

Rampino等总结的地球表层系统26 Ma节律也许是太阳的姊妹恒星涅墨西斯(即希腊神话中的复仇女神,又称死亡之星)52 Ma周期的半节律。地核理应存在52 Ma左右的

活动节律,将导致来自核幔边界的地幔柱具有 52 Ma 左右的活动节律。洋中脊扩张可能也具有约 26 Ma 的活动节律。这类似于一年周期可分为夏半年和冬半年周期;一月可分为上弦月和下弦月,各自又对应双周的潮汐周期;一天会出现两高潮和两低潮的潮汐周期。

加州伯克利大学的 Richard Muller 从理论上论证,涅墨西斯绕太阳周期为 26 Ma。David Raup 和 John Sepkosk 统计 26 Ma 地球生物绝灭一次。所以,涅墨西斯绕太阳周期应为 52 Ma,而非 26 Ma。由此分析,太阳系在宇宙膨胀大背景下,还应有 52 Ma 左右的膨胀-收缩周期,与地核热动力学节律相一致。

地球上最大尺度的节律应当是联合古陆的聚散节律,它大体具有 0.6 Ga 左右的周期,可能与双银河年有关。Pangaea 超大陆(2.5 Ma)与 Rodinia 超大陆(8.5 Ma)之间超大陆旋回是研究得比较清楚的,Columbia 超大陆(14.5 Ma)最近也有很多讨论。

科学家们一直在推测,推动宇宙膨胀的是还不太为人所知的暗能量。可是宇宙最初能量是多少,有多少转变为“物质”,以及宇宙诞生以来由于正反物质湮灭、核衰变、核聚变共产生了多少能量,这些都还没有被很好地计算过。如果宇宙原初能量绝大部分被以宇宙“物质”的形式所储存,是否还有剩余的原初能量?它又以什么形式存在于宇宙之中?它会是所谓的暗能量吗?或者由于宇宙“物质”随宇宙演化过程质量减少所转变的能量就是暗能量?如果是,那么就有暗能量 $E_A = m_A c^2$ 。 E_A 就是转化的核能,指一切核反应和核衰变所释放的能量总和,包括核聚变能量、放射性衰变能量,或者指宇宙形成以来所减少的质量(m_A)。 E_A 存在于物质外部,可转变为各种形式,它是促使物质产生各种运动的能量,包括转动能、动能、势能、热能等。所有这些能量连同剩余的宇宙原初能量,使得宇宙物质彼此远离,从而导致宇宙膨胀。

对太阳系膨胀来说,暗能量其实就是太阳内部氢核聚变产生的巨大能量,它足以抵抗自身质量产生的引力,而使太阳系行星和其他物质缓慢远离太阳。地球膨胀似乎违背地球正不断冷却的事实。但应当注意地球内部层圈化学分异过程,使内部放射性元素逐渐聚集到外部地壳之中。放射性元素总的释放的能量与地球表面总的耗散热能大体相当。这保证了地球不会冷却得太快,同时与蕴藏在地球内部的其他形式能量一起驱使地球缓慢膨胀。

那么宇宙是加速还是减速膨胀呢?目前宇宙学观测结果似乎支持加速膨胀,但哲学上看应该是减速膨胀。加速和减速均是相对整体膨胀而言的,与宇宙各子系统质量减少速率有关,可能不同演化阶段有加速或者减速。恒星早期绝热压缩阶段,质量减少速率小于恒星物质之间的引力,促使恒星系统塌缩。塌缩的结果就是恒星内部温度急剧升高。温度升高到 10^8 K 就会导致大规模核聚变反应开始,恒星系统进入膨胀阶段,加速与否需详细计算。

时间之矢是与宇宙系统的熵增联系在一起的。任何一个宇宙子系统暗能量(E_A)的增加与熵增是同步的,成正比关系。大质量恒星(3 个太阳质量以上)最终会演变成黑洞,其熵值由霍金黑洞熵公式计算。

爱因斯坦认为,时间、空间与物质是不可分割的。时空及其维度是我们描述世界不可或缺的概念,虽然它们本身并非客观实在,但关联宇宙物质系统的时空却是具有客观属性的。时间维度有可能是随宇宙相变而发生变化的。或许,引力和电磁力统一场开始分裂,第五维空间塌缩(卡鲁查-克莱因理论),形成四维时空(三维空间加一维时间)。与此同

时,电磁力可用麦克斯韦场描述,引力可用爱因斯坦场描述。时间之矢也可能从此出现,之前的时间维度可能是标量级,时间没有方向性。

生命必须在时间之矢出现后才能出现!一切热力学相变过程均伴随不同程度的时空曲率变化,时间必定在一些极端相变过程被“冻结”或者“沸腾”。不过随宇宙温度降低而发生的“相变”过程就是时间之矢形成过程,与熵增过程出现是一致的。微观系统的时间维度变化特征与宇观系统是相似的,相对封闭系统有自己的时间曲率变化,随该系统“质能”性质变化而变化。2012年 Frank Wilczek 提出时间晶体概念。时间晶体处在持续振荡的状态中,是一种非平衡态的物质。时间晶体与外界没有能量交换,其内部也没有能量损耗,是一种微观尺度奇特的“永动机”。深入分析不同热动力系统的时间属性,有可能会给我们带来许多意想不到的发现。

《地球节律》试图从地球内部不同层次和不同性质的热动力系统演化整体性行为出发,讨论地球节律的概念、规模层次、性质属性以及成因机制。在此基础上,对地质时间及其属性进行粗浅分析讨论,希望能起到抛砖引玉的作用,让更多的青年地质学家和地质工作者关注“地质时间”这一地球科学最基本的科学问题。

未来以下几个方面将是地球节律研究应重点关注的,也是本书未深入研究或尚未涉及的科学问题:

- (1) 关于地球节律的整体论与还原论问题;
- (2) 热动力系统熵与系统整体性行为有序性关系问题;
- (3) 系统自组织与时空有序性关系问题;
- (4) 远离平衡态的临界点附近热传递的活塞效应怎样影响系统的整体行为;
- (5) 耗散结构理论、混沌理论和分形理论在解决热动力系统整体行为方面的局限性,以及可能的解决方案。

今天是王鸿祯先生 100 周年诞辰纪念日。在这个特殊日子向出版社提交《地球节律》书稿,算是完成王先生的遗愿,以这份迟交的答卷,报答先生对我的信任。先生如果还在,本书的序一定是要请先生来写的。

作为纪念,附上 20 年前王先生为我们油气资源与环境地质研究所成立时题写的对联:

立足能源 进军环境 为跨世纪工程亦学亦教
潜心理论 着力技术 促多学科渗透予取予求

感谢先生对后辈的培养和教导,愿先生晚年关于地球节律和地球有限膨胀的思想得以发扬光大,祝愿地球科学更加繁荣昌盛。

本书能够完成出版,还要特别感谢中国石油大学(华东)学术著作出版基金的资助,感谢中国石油大学出版社的鞭策,使本书赶在王先生 100 周年诞辰日完稿。最后还要感谢我的几位研究生的协助,他们是周腾飞、王鑫涛、张振凯、刘菲菲、覃曼、加纳提·古丽、方雪和辜洋建,他们在问题讨论、资料整理、图件清绘等方面做了大量工作,在此一并致以诚挚的谢意!

周瑶琪

2016 年 11 月 17 日

石油大学
油气资源与环境地质所
立足能源进军环境为跨世纪工程
亦学亦教
予取予求
潜心理论蓄力技术促进学科渗透

王鸿祯
一九九九年

王鸿祯先生为油气资源与环境地质研究所题写的对联

目 录

第一章 地外星系对地球系统的影响	1
第一节 宇宙演化过程中主要物理参数变化对地球系统的影响	1
一、重力常数 G 值变化对地球动力系统的影响	1
二、地球轨道效应与米兰科维奇周期	4
第二节 银河系天体周期性运动对地球系统的影响	8
一、银河系的自转	9
二、银河系旋臂的旋开与旋闭	10
三、银河年与地球系统重大变异	11
四、银河年影响地球系统的途径	17
第三节 小行星带和奥尔特星云周期性运动对地球系统的影响	21
一、小行星带	21
二、奥尔特星云	23
第四节 太阳周期性活动对地球系统的影响	25
一、太阳活动	25
二、太阳活动对地球的影响	28
第五节 天体撞击事件对地球系统的影响	31
一、太阳系中的小天体	31
二、小天体撞击地球的可能性	32
三、小天体撞击事件对地球动力系统的影响	33
主要参考文献	42
第二章 地球内部热源演化规律	45
第一节 地球内部热源与分布	45
一、长寿命的放射性同位素	46
二、短寿命的放射性同位素	48
三、地球增生和地核形成过程中产生的热	48
四、地球旋转能的转化	49

第二节 热传递方式与热耗散系统	50
一、热传导	50
二、热对流	51
三、其他方式	53
四、地球热系统在时间尺度上的表现形式	54
第三节 地球深部热活动及节律	55
一、地球深部热物质——岩浆	55
二、岩浆岩的分类	55
三、岩浆活动	56
四、岩浆活动的节律	61
主要参考文献	68
第三章 大气圈演化节律	71
第一节 大气圈起源学说	72
一、岩石圈形成前的去气作用	73
二、岩石圈形成后的去气作用	74
三、现今地球的去气	75
第二节 地质历史时期大气圈的变化规律	76
一、大气圈物质组成阶段性演化及其地表风化、沉积响应	76
二、重大的地质事件	79
第三节 大气环流与气候变化	85
一、大气环流	85
二、气候变化的环流因子	89
三、气候变化的其他表征	95
四、未来气候变化趋势	101
第四节 大气圈节律的影响因素	101
一、银河旋臂、地核环流与大冰期	101
二、行星摄动与 10×10^4 a 周期的冰期与间冰期交替	102
三、天体活动(太阳活动)	103
四、地球天文参数的变化	104
五、月球的影响(引潮力)	107
六、其他因素的影响	107
第五节 大气圈与其他圈层的关系及研究方法	108
一、大气圈和其他圈层之间的作用	108
二、大气圈节律的研究方法	112
主要参考文献	115

第四章 水圈演化节律	122
第一节 水圈的起源学说	123
一、原始地球中水的存在形式	123
二、地球表面液态水的成因与水圈的形成	124
三、水圈的物质组成演化历史	125
第二节 地质历史时期全球海水成分及温度的变化	128
一、海水中锶、硫、碳同位素变化规律	128
二、海水 $x(\text{Mg})/x(\text{Ca})$ 值的周期性变化	133
三、海水温度的变化	136
第三节 洋流循环、潮汐的周期性运动	137
一、洋流循环	137
二、潮汐——地月系统轨道参数演变规律	142
第四节 冰川物质平衡及其波动	162
一、冰川概述	162
二、冰期旋回及大冰期的成因	163
三、冰川形成和消融的影响作用	165
第五节 大洋缺氧事件	168
一、大洋缺氧事件与黑色页岩的形成	168
二、白垩纪大洋缺氧事件	170
三、大洋缺氧事件与地球历史中水圈的节律	173
第六节 层序地层旋回与海平面周期变化	173
一、海平面变化机制	173
二、海平面变化节律	176
三、层序地层旋回与海平面变化	177
四、海平面变化响应	180
主要参考文献	181
第五章 生物圈演化节律	187
第一节 地质历史时期古生物的演化规律	188
一、生物的发生及生物圈的形成	188
二、生物的分布及生物圈的成分	190
三、生物进化的研究	192
四、寒武纪生物大爆发	195
第二节 生物生长节律与外界环境的关系	198
一、生物与环境	198

二、生物生长节律与外界环境的关系	201
第三节 全球生物绝灭事件与复苏事件	213
一、生物的绝灭	213
二、主要生物绝灭事件	216
三、古生物绝灭原因的假说	222
四、重要绝灭后的复苏事件	231
五、生物圈的耦合和节律	237
主要参考文献	239
第六章 岩石圈演化节律	246
第一节 大陆漂移与海底扩张	246
一、大陆漂移	246
二、海底扩张说	251
三、联合古陆周期	254
第二节 大洋演化与威尔逊旋回	254
一、大洋的起源与演化	254
二、威尔逊旋回	256
第三节 造山运动与盆山耦合	258
一、造山运动	258
二、盆山耦合	267
三、造山运动与盆地演化的节律	273
第四节 地球重力异常	278
一、重 力	278
二、地壳的重力异常	279
三、均衡与均衡异常	280
第五节 地震韵律与地震迁移	283
一、地震韵律	283
二、地震迁移	289
主要参考文献	292
第七章 地幔演化节律	296
第一节 地幔柱和热点	296
一、地幔柱和热点的定义	296
二、热点的分类	297
三、热点的分布	297
四、热点运动学与动力学	298

五、太平洋海山链	300
第二节 地幔对流理论	309
一、地幔对流学说起源	310
二、分层对流与整体对流	312
三、对两种对流模型的质疑	314
四、其他对流模型	315
第三节 地幔对流与板块运动	318
一、地幔对流与板块	318
二、俯冲作用和板块的最终演变	321
第四节 地幔的地球化学演化	323
一、早期地球的熔融和分异作用	323
二、地幔的地球化学演化及分异作用	325
三、混合作用和均质化作用	328
四、地幔的节律	329
主要参考文献	333
第八章 地核演化节律	338
第一节 地核流体与运动学特征	338
一、外核流体	338
二、地核流体运动学特征	339
第二节 发电机理论与地磁场	342
一、地球的磁场	342
二、发电机理论	348
三、地磁发电机的动力	353
四、地磁磁极的倒转	354
第三节 地核的热动力学演化及与下地幔的相互作用	358
一、地核的形成	358
二、地核中温度的分布和内核的起源	360
三、核-幔间相互作用特征	362
主要参考文献	373
第九章 地球膨胀与时间节律	377
第一节 地球膨胀	377
一、地球膨胀理论发展简述	377
二、膨胀理论的证据	379
三、地球膨胀模型	384

四、地球膨胀速率	386
五、星系与行星膨胀定律	387
第二节 时间节律	390
一、时间与时间节律	390
二、表征时间的古代历法	391
三、时间节律在自然界不同系统的解读	393
第三节 地球系统自组织临界性的时间表现	396
一、沙堆模型	396
二、地球复杂系统的自组织临界性	397
第四节 宇宙节律	399
一、宇宙节律	399
二、关于时空	400
主要参考文献	402

第一章

地外星系对地球系统的影响

第一节 宇宙演化过程中主要物理参数变化 对地球系统的影响

一、重力常数 G 值变化对地球动力系统的影

太阳位于银盘外侧距银心 2.3×10^4 光年处,它绕银心旋转 1 周的银河年长达 280~300 Ma。在 1 银河年中的不同时期,太阳位于银河系中不同位置,这个环境的变化会给太阳和地球带来明显的影响。因此,许多学者早已注意到银河年与地质现象之间的可能联系。

ТамРазян 在 20 世纪 40 年代末期就已指出在地球发展过程中宇宙引力场脉动变化的重要意义,讨论了地球构造活动与太阳系在银河年中运动轨道的关系。Steiner(1967)比较系统地归纳了 G 值变化与地质现象之间的联系。

依据牛顿万有引力定律可以计算出两物体之间的引力 F :

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

式中, m_1 和 m_2 分别为两物体的质量; r 为两物体之间的距离; G 为万有引力常数,一般认为 $G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ 。但是,英国物理学家狄拉克(Dirac,1938)首先指出 G 值是随着时间变化的。

太阳系在银河系中所受的力 $K(R)$ 与到银心的距离 R 有关。它们的关系式受银河系中质量分布和邻近星系的引力影响,而目前对银河系中质量分布和其他星系的引力都不能精确地测定,故不能求出 $K(R)$ 与 R 之间的经验关系。Steiner(1967)用下式来表示两者之间的近似关系:

$$K(R) = GM_g/R^2$$

式中, M_g 为银河系质量; R 为银心距。由于

$$K(R) = v_R^2/R$$

所以可以得到:

$$G = Rv_R^2/M_g$$

式中, v_R 为 R 处圆速度。

由于 v_R 可以由观测资料求出, 因此可以求出 G 值随 R 值的变化情况。在 1 银河年中, 近银心点 R_P 与远银心点 R_A 有相当差别, 因此太阳处于 P 点和 A 点时, G 值亦不同。Steiner(1967)据此提出 G 值是随空间在变化的。设当前太阳系所受的银河系模型单位质量引力是 1.0, 随 R 变化而变大。当 R 增加到一个临界值后, 由于银河系质量变化的影响, R 再增大, 银心力反而变小。

由于 G 值随时间和空间而变化, Steiner 把 G 称为引力函数, 而不叫引力常数。据计算, 在近银心点处 G 为 $6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$, 而在远银心点处, G 值增加为 $7.0 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ (图 1-1)。这样 G 值在上述两个值之间变化。由于宇宙在膨胀, 银河系整个质量分布亦在变化, 这亦会涉及 G 值变化, Steiner 把这种随时间进展发生的 G 值变化称为狄拉克-约旦影响因素。

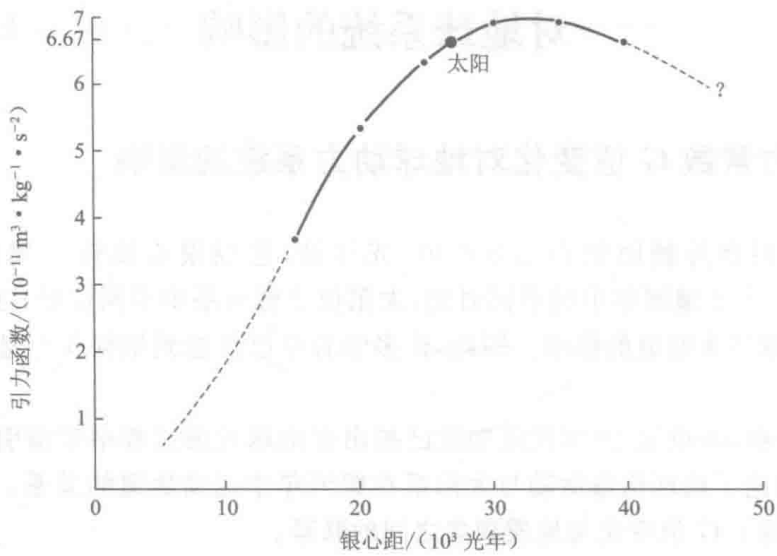


图 1-1 据 1957 年银河系数据计算的经验引力函数(Steiner, 1967)

现在太阳附近的引力函数值为 $6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$; 1 光年 $\approx 94\,605 \times 10^8 \text{ km}$

G 值在银河年中是连续变化的。为了定量地描述这一变化, Steiner(1967)用牛顿开普勒运动方程来近似地求出各个时间的 G 值变化:

$$t - T = P_e(E - e \sin E)/(2\pi)$$

其中,

$$E = \arccos[(1 - R/a)/e]$$

式中, e 为太阳轨道的偏心率; a 为轨道椭圆的半主轴; R 为太阳到银心的距离; P_e 为太阳绕银河系 1 周的时间; T 为经过近银心点的时间; t 为所需求 G 值的时间。由上式根据所给出的 R 值可以求出 t , 又根据 R 值和图 1-1 可以求出 G 值, 因而可以作出太阳系 G 值随时间变化的曲线(图 1-2)。由图 1-2 可知, 当太阳从近银心点运行到远银心点时, G 值增加; 从远银心点移向近银心点时, 则 G 值减小。在近银心点和远银心点时, $dG/dT = 0$ 。此外, 有两个特征点, 即当 $R = a$ 时, $E = 0, t = 0.067 \text{ Ga}$ 。在这两个点时 $|dG/dT|$ 为最大。

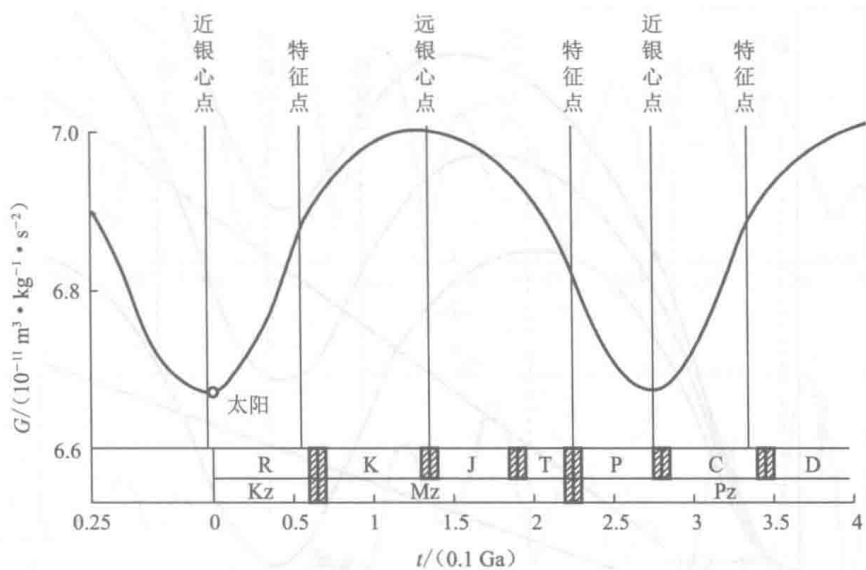


图 1-2 太阳系 G 值随时间变化的曲线(Steiner,1967)

曲线根据简化银河系模型计算;地质时代划分根据 Harland 等(1964)

G 值变化在宏观上引起了太阳和地球的一些物理性质的变化。

许多发光天体(如太阳)的辐射与 G 值有关。太阳光度(L)与 G 值有如下关系:

$$L = M_{\odot}^{11/2} R_{\odot}^{-1/2} \kappa^{15/2}$$

式中, $M_{\odot}$ 为太阳质量; $R_{\odot}$ 为太阳半径; $\kappa = 8\pi G/c^2$ 为广义相对论中的常数; c 为光速。由上式可知,太阳光度与 G 值成正比。这样太阳辐射量的变化受 G 值变化的影响,从而会引起地球上气候等现象的变化。

Jordan(1962)认为 G 值的变化亦有可能引起地球半径的变化:

$$-\delta\kappa/\kappa = \delta r/r$$

式中, $-\delta\kappa$ 为引力的减少; δr 为地球半径的增加。

以上两个关系式只能看作是定性的、近似的关系式,但表达了 G 值增大可使太阳光度变大、地球半径缩小的关系;G 值减少,则情况相反。许多人从宇宙膨胀理论出发,认为 G 值在不断变小,而地球也处在膨胀中。

在支持地球膨胀假说的人中,对膨胀速率有两种估计值:一部分人根据古生代以来的资料求出膨胀速率为 10 mm/a;另一部分人根据前寒武纪和早古生代的资料,则估计为 0.6 mm/a,这两个数字相差很大。Steiner(1967)认为这可用 G 值在银河年中的变化来解释。在中生代、新生代,太阳经过远银心点后,G 值迅速减少,使膨胀速率增大;当太阳位于近银心点时,G 值减小,使膨胀速率减小。若考虑到狄拉克-约旦影响,则 G 值又有一个趋势变小的变化(图 1-3)。将图 1-3 和图 1-2 对比,则近银心点的位置基本上变化不大,而远银心点的位置则变化较大,曲线亦变成不对称,两个特征点的位置有些移动。这是 Steiner 提出的 G 值在银河年中变化的模型。

Steiner(1967)还总结了 G 值变化与各种地质现象(如地质年代界线、地质构造、古气候变化、地球质量变化等)之间的对应关系。

G 值作为一个重要的影响参数,研究其随时空的变化无疑对我们进行地球动力学模拟有着重要的意义。

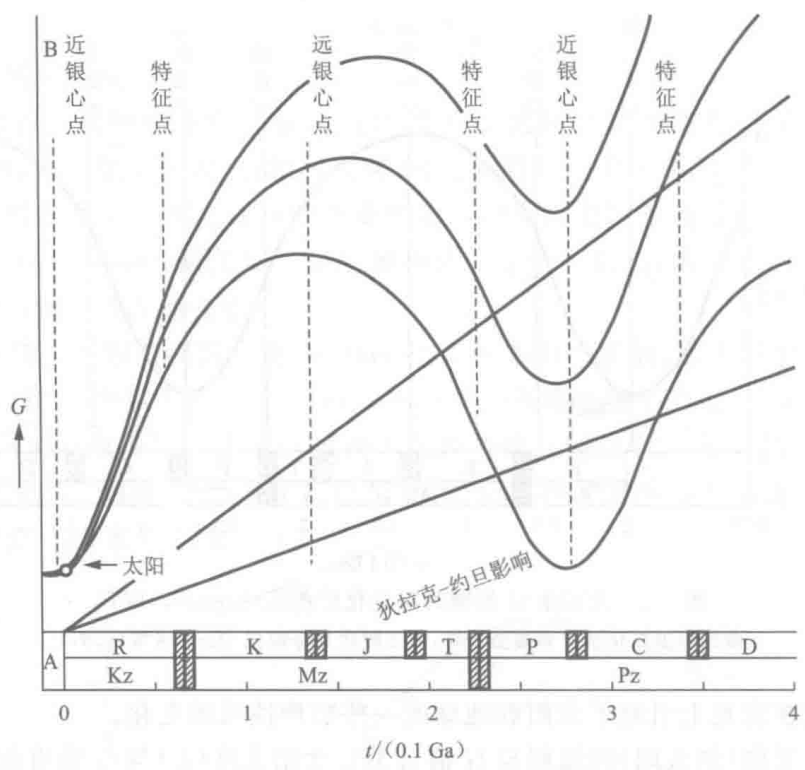


图 1-3 G 值在银河年中变化的模型曲线(Steiner,1967)

A—显生宙的地质时代;B—G 在时间上的变化;两条斜直线表示不同的狄拉克-约旦影响及相应的 G 变化曲线

二、地球轨道效应与米兰科维奇周期

地球和太阳之间存在着相互吸引的作用力,地球绕太阳运动轨道的确定取决于地球和太阳的力学情况。由于太阳的质量比地球大约 33 万倍,因此太阳在日地系统中起主导作用。月球距地球较近,与地球的作用力较大,除此之外,其他行星也会对日地系统产生作用,主要表现为地球轨道常数的周期性变化效应。

1. 轨道偏心率(e)变化

地球围绕太阳运动的轨道是一个椭圆形,目前轨道的偏心率 e 为 0.016 712 2,在地质历史时期地球轨道的偏心率的值是不断变化的。其变化范围,据 Stockwell 推算为 0.000 0~0.067 7,张家祥(1982)的计算值为 0.002 4~0.057 1,Berger(1984)的计算值为 0.000 5~0.060 7。这就意味着,日地之间的距离有时在 1 a 中几乎都是相等的;而在偏心率最大时(按 $e=0.057 1$ 计算),地球的远日距离可达 $1.581 40 \times 10^8$ km,近日距离为 $1.410 56 \times 10^8$ km,两者相差约 $1.708 3 \times 10^7$ km。目前,地球绕日公转的偏心率较大,地球的远日距离和近日距离之差仅为 500.33×10^4 km。这就是说,地球的远日距离和近日距离与日地平均距离相比变化最大时可达 5.7%。图 1-4 是近 4 Ma 以来地球轨道偏心率的变化情形。从图中可以看出,地球轨道偏心率变化具有相当明显的准 0.1 Ma 周期。最近的两个极小期在距今 0.04 Ma 和 0.14 Ma 前。大约在 0.04 Ma 以后,地球轨道偏心率又要减至极小,那时地球公转轨道将几乎接近正圆,即几乎无近日点和远日点之分。