

地球自转

W. H. 芒 克 著
G. J. F. 麦克唐纳

科学出版社

内 容 简 介

本书从动力学、固体力学、洛夫数的基本理论出发,研究了地球自转变化和各种地球物理因素的联系。全书对自转速度在地质年代中的变化,有史以来的变化,长期变化,不规则变化,周年变化,突变和地极的长期漂移,钱德勒摆动等现象予以地球物理的解释。全面地总结了前人的成果,揭示了目前这方面的研究现状。

本书为基础理论著作。理论体系完整,分析全面,适于天文、地球物理、海洋、地震地质、气象、测地等方面的工作人员阅读和参考。

W. H. Munk & G. J. F. MacDonald
THE ROTATION OF THE EARTH
A GEOPHYSICAL DISCUSSION
Cambridge University Press, 1960

地 球 自 转

W. H. 芒克 G. J. F. 麦克唐纳 著

李启斌 李致森 张焕志 译
唐小英 肖兴华 蔡经球

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1976年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/32
1976年10月第一次印刷 印张: 10 3/4
印数: 0001—11,650 字数: 237,000

统一书号: 13031·393

本社书号: 594·13—5

定 价: 1.10元

译 者 的 话

地球自转是一个天文问题，也是一个地球物理问题。从天文角度看来，地球是一颗行星，研究它的自转，对于天体起源和演化的研究以及对于天体方位的测定，都有重要的意义。在地球物理中，地球作为整体的自转运动同它的局部运动——地壳运动、海水运动和大气运动——都有密切的关系。大陆漂移、地震、潮汐摩擦、洋流、大气环流等现象与地球自转（包括地极移动）之间的联系，已成为当前人们十分关注的课题，并且具有实际的意义。

本书论述了地球自转速度变化的理论基础，同时也介绍了各种地球物理因素对地球自转的影响，还对这方面的各种见解作了详细评述，是一本比较系统的专著，对于深入探讨地球自转的规律性有一定的参考价值。

当然，原作者有一些观点是值得商榷的。中译本尽量保持原书的面貌，仅删去了一些明显的错误；还有一些问题需要读者在阅读时加以注意。

原 序

Kelvin 刚从海外旅行回来，就在对皇家协会的演说中讲道：“纽康(Newcomb)曾经猜测地球自转是不均匀的。我想，引起这种不均匀性的原因除了岁差、章动、潮汐、季风、赤道带上的沉降和极冰的溶化以外，再没有别的了”(Thomson, 1876)。他本来是要讲讲美国现代科学的进展，但演讲的全部内容却都成了地球自转。对于我们来说，这个课题也是十分有吸引力的。

本书就是要研究地球自转的不均匀性。在引力理论中，这个问题通常是不讲的。但自转不均匀性给天文学家造成了麻烦，因为它们扰乱了时间标准，并限制了天文学家预报日、月蚀及其他天象的精度。为克服这个困难，现在他们规定用年长而不用日长来重新定义时间。

现已日趋明确，自转的不均匀性主要起因于地球上或其内部的运动过程；反之，通过测定自转的不均匀性，又能够有效地研究这些运动过程。本书的目的是要阐述一个易为地球物理学者所接受的方法，并且在天文学的难题中探求对地球物理学有价值的规律。

首先试图对所发现的不均匀性作地球物理解释的还是天文学家。最早的讨论形式通常只是对天文学论文作简单的地球物理学补充。因为他们相信，天体力学中有关的简单方法就足以对此作出答案。他们用一些正弦波去拟合不均匀性。有人说，这是由于“台站本身的运动”，或是喜马拉雅山脉突然升高一呎所造成的。其实，地球力学比天体力学要复杂得多，

“……它已经不再服从简单的天体力学关系，而已经深入到更复杂更深刻的地球物理领域了” (Klein and Sommerfeld, 1903)。

这个题材在十九世纪末叶很流行，且为 Routh, George Darwin, Kelvin 和其他同时代人物详细地研究过。在那个时代，物理学家尚处在认识外部环境阶段，还没有热衷于原子的研究。Thomson 和 Tait 在《自然哲学论》(Treatise on Natural Philosophy) 的最后一部分中首次对此作了系统阐述。近来，由于 Jeffreys 成功地应用最新地球物理资料，使此课题的研究又获中兴，故他在此领域中的贡献尤为卓著。

现在，从天文学的资料中暴露出不少相互关联的问题，这在第一章中作了概述。其中七个问题的研究获得一定成效还是近十余年的事，另外两个问题又拥有了新的资料。在二十年代即认为已经定论的几个问题，现在又开始了深入的探讨，故整个课题有必要作统一的考虑。我们这样做，并不意味着这个领域中各分支的进展已经到顶了；恰恰相反，我们倒是希望新的问题应纷纷而来，源源不断，而业已解决的问题很快又需要重新加以研究。1955 年底，在时间服务工作中采用了铯频标准，现已取得卓著的成绩；月亮望远镜、人造卫星和计算机的应用，又为此开拓了新的天地。

题目多得惊人，涉及到地球物理的每一个分支。资料情报日积月累，益加丰富。其中包括风和气团、大气、海潮和固体潮、海平面、地幔的刚性和非弹性以及液核的运动等等方面的广泛知识。但不论什么资料，都只限于某些确定全球的积分量。这既是该方法的弱点，也是它的长处所在。原则上这些积分量可由各台站数值之适当的求和而得。从提高精度的要求看来，台站分布很不均匀，而且数目也过于稀少。现在仍旧如此。我们觉得，这种不足会永远存在的。

关于天文仪器和方法，此处我们打算只介绍对合理使用资料所必需的有关内容。至于地球动力学，我们讲述了假设条件及简略推导，还给出了实际计算公式。所列举的参考文献有助于进行深入的理论研究。地球物理讨论是特意为那些对本学科的各分支缺乏专门训练的读者而安排的。缺点或遗漏之处定属不少，若蒙指正，不胜感激之至。

符号说明

这里只列出贯穿全书的一些符号，只在某一节中出现的符号则在文中随时说明。有几个符号在不同章节中有不同的含义。这种情况对一本涉及动力学、地球物理学和天文学诸方面内容广泛的著作是在所难免的。对于习惯用法和双重含义的符号，我们的原则是约定俗成。

书中使用了笛卡尔张量， i, j, k, l, m 为张量下标。如 m_i 代表 m_1, m_2, m_3 。但是， U_n 是 n 阶位势，并非张量；负荷形变 ψ_L ，交叉相关 R_{uv} 也不是张量。黑体字表示复数，如 $\mathbf{m} = m_1 + im_2$ 。有的参数有量纲，有的无量纲，有的是复数，有的是算子。例如， $\bar{\mu}$ 是(有量纲)刚性系数， μ 是无量纲刚性系数， $\mu = \mu_{\text{实部}} + i\mu_{\text{虚部}}$ 是复数刚性系数，而 $\hat{\mu}$ 是刚性算子。

A, B, C	主惯性矩
BIH	国际时间局 (§ 9.1)
C_{ij}	惯性张量 (3.1.4)
$\hat{D}$	算子 d/dt
E	能量
ET	历书时 (§ 8.2, 11.2)
G	万有引力常数, 6.670×10^{-8} 厘米 ³ 克 ⁻¹ 秒 ⁻²
GET	纽康大经验项 (§ 11.2)
H	岁差常数, 3.273×10^{-3} (2.3.1), 又作磁场强度
H_i	绝对角动量 (3.1.3)

$H(x)$	Heaviside 阶梯函数
IRM	等温剩磁 (§ 12.2)
ILS	国际纬度局
K	动能
K_d	太阳总系数 (7.4.3)
$K-V$	Kelvin Voigt 体 (§ 5.11)
L_i	力矩
$L_\odot, L_d$	日、月引起的力矩 L_s
$\Delta L_\odot, \Delta L_d, \Delta L_v$	日、月、水星黄经观测值与理论值之偏差 (11.2.1, 11.2.3)
$M, M_\oplus$	地球质量, 5.976×10^{27} 克
M	Maxwell 体简称 (§ 5.11)
NRM	自然剩磁 (§ 12.2)
O	量级记号, $y=0(x)$ 意为 $\lim_{x \rightarrow 0} y/x < \infty$
PZT	照相天顶筒
Q	(§ 4.3)
R	自相关 (附录2)
S	面积, dS 作面元; 又作功率谱 (附录2)
S_n	n 次球面谐和函数 (5.10.1)
T	资料记录期间长度, 又 $ET_\odot$ 作由太阳测定的历书时
TRM	热剩磁 (§ 12.2)
U_i	相对于非旋转坐标系的速度矢量
UT	世界时 (§ 8.2, 11.2)
U_n, V_n, W_n	n 次球体谐和函数
U, V, W	二次球体谐和函数
V	体积, dV 为体元

WDD*	黄经偏差的加权差(11.2.4)
X_i	非旋转坐标系
a	地球半径, 6.371×10^8 厘米
a_{ij}	非弹性应变 (§ 4.1)
a_n^m, b_n^m	m 阶 n 次球谐系数
$a_\odot, b_\odot, c_\odot$	月球黄经中的项(11.2.3, 11.2.6), 太阳、水星类此, 仅角标不同
b	潮汐振幅因子(7.4.2)
c_n^m	复数球谐系数 $a_n^m + ib_n^m$
c_{ij}	惯性张量扰动量(6.1.1)
$c/s, c/year$	周/秒, 周/年
d_{ij}	总应变率 (§ 4.1)
f	频率, 单位时间周数, 又作表示流体的下标 (§ 5.4)
f_c	科里奥来(Coriolis)频率, $2\Omega \cos \theta$
f_0	共振(或钱德勒)频率, 每月1/14周
f_N	Nyquist 频率(A.2.15)
$f_\odot, f_\oplus, f_\Psi$	月、日、水星黄经偏差 (11.2.3, 11.2.4)
g	重力加速度, $980 \text{ 厘米} \cdot \text{秒}^{-2}$
g_{ij}	松弛状态下物质应变度规张量 (§ 4.1)
h, h'	洛夫数
h_i	相对角动量
i	虚数单位
i, j, k, l, m	张量下标
k, l, k', l'	洛夫数

* 原书中误印为 WWD, 今改正。——译者注

$l. o. d.$	日长
m	质量
m_i	自转轴之方向余弦
$(\overset{m}{n})$	特殊球谐函数 m 阶 n 次的表示
$n_{\text{土}}, n_{\text{♁}}, n_{\text{♂}}$	月、日、水星轨道速度
n_i	面元 dS 的外向法线
P_n^m	m 阶 n 次球谐函数(A. 1.1)
P	流体静压力
P_{ij}	应力张量
q	表面负荷, 单位为克·厘米 ⁻² , 又作地球相对于平太阳的角速度, 平均每平太阳时 15°
r	到地心的距离
$r(\tau)$	滞后窗(附录2)
s	$ds = \sin \theta d\theta d\lambda$ 为单位球上的面元, 又作被共振频率除过的频率
s_{ij}	摩擦应力
t	时间
Δt	表中列出值(或观测值)的时间间隔, 又表示 $ET_0 - UT(11.2.2)$
u_i	相对于旋转坐标系的速度矢量
x_i	旋转坐标系
Γ	平均日长, 86,400 秒
ψ_i	修正激发函数(6.3.3)
Ω	自转平均角速度, 7.292×10^{-5} 弧度·秒 ⁻²
α, β, γ	阻尼因数
$\beta(\lambda, t)$	潮汐位相(7.4.2)

δ_{ij}	Kronecker δ 函数或置换张量 (§ 3.1)
$\delta(x)$	狄拉克 δ 函数
ε	椭率
ε_{ij}	弹性应变
ε_{ijk}	交变张量 (3.1.2)
η	动态粘滞度
θ	余纬
ι	均衡因子
κ	转移函数 (§ 6.4), 又作电导率
λ	东经, 又作拉美常数
μ	刚性系数
ν	粘滞率, 又作自由度 (A. 2.8)
ξ	海面在平均海平面上的高度
ρ	密度, $\bar{\rho}=5.53$ 克厘米 ⁻³ , 为地球平均 密度; $\rho_w=1.025$ 克厘米 ⁻³ , 为海水密 度
σ	频率, 以单位时间弧度计
σ_0	共振频率(或钱德勒频率), 每月 $2\pi/14$ 弧度
σ_r	共振频率(或欧拉频率), 每月 $2\pi/10$ 弧度
τ	时间常数, 又作地球自转减慢量
τ_0	极限强度
τ_{ij}	弹性应力
ν	表面张力
ϕ_i	激发函数 (§ 6.1, 6.3)
$\psi_i, \psi_{i(L)}, \psi_{i(D)}$	刚体、负荷、自转形变的激发函数 (§ 6.3)

ω_i	角速度
$\mathcal{C}$	(附录 1) 中定义的海陆函数
$(\odot, \oplus)$	代表月、日、水星和地球的下标
$($	在 $\cos($, $\sin($ 中为“平太阴”黄经 (表 7.4.1)
$\odot$	在 $\cos\odot$, $\sin\odot$ 中为从岁首量起 (不是从 3 月 21 日量起) 的“平太阳”黄经
$\langle x \rangle$	x 对时间的平均值

目 录

译者的话	(v)
原序	(vi)
符号说明	(ix)
第 一 章 绪论	(1)
第 二 章 岁差、章动与地极摆动	(5)
1. 地极摆动与岁差	(5)
2. 岁差与受迫章动之起因	(6)
3. 摆动与日长 (l. o. d.)	(7)
第 三 章 动力学	(9)
1. 基本方程	(9)
2. 参考架	(10)
3. 刘维方程的进一步讨论	(12)
第 四 章 形变	(15)
1. 应力、应变与形变	(15)
2. 能量与稳定性	(19)
3. 广义 Q 值	(21)
第 五 章 洛夫数和有关的系数	(23)
1. 洛夫数 h, k 和 l	(23)
2. 自转形变	(24)
3. 长期洛夫数	(25)
4. 流体洛夫数	(26)
5. 潮汐作用洛夫数	(27)
6. “等效”地球	(28)
7. n 次洛夫数	(29)

8. 负载形变和系数 h' , k'	(30)
9. 二级负荷形变	(31)
10. 具有表面张力的流体地球模型	(33)
11. 洛夫算子和复洛夫数	(34)
12. 洛夫数的推广	(35)
第 六 章 近似的刘维方程的解	(39)
1. 微扰方法	(39)
2. 自由摆动	(40)
3. 强迫摆动	(42)
4. 转移函数	(43)
5. 几何解释	(45)
6. 颤动	(47)
7. 各种激发函数下运动方程的解	(47)
8. 激发函数	(53)
9. 几个理想化的实例	(56)
第 七 章 纬度观测	(60)
1. 历史的回顾	(60)
2. 观测方法	(64)
3. 归算方法	(66)
4. 潮汐对纬度的影响	(69)
5. 观测资料概述	(75)
第 八 章 日长的观测	(79)
1. 历史情况	(79)
2. 观测方法	(81)
3. 日长的潮汐扰动	(89)
第 九 章 季节变化及其他短周期变化	(92)
1. 天文观测资料	(92)
2. 潮汐	(99)
3. 反变气压计问题	(103)
4. 地转性和非地转性的运动	(107)

5. 空气和水的分布	(109)
6. 风和洋流	(127)
7. 力矩方法	(131)
8. 季节变化的讨论	(132)
9. 连续谱	(145)
第十章 钱德勒摆动	(149)
1. 天文观测的证据	(149)
2. 瞬时钱德勒周期的概念	(156)
3. 潮汐作用的刚性系数与粘滞系数	(158)
4. 极潮与洛夫数	(160)
5. 钱德勒摆动的椭率	(168)
6. 摆动的激发	(169)
7. 耗损	(173)
8. 洛夫数 k	(179)
9. 总结	(181)
第十一章 地极的长期变化	(182)
1. 地极摆动的天文证据	(182)
2. 日长的近代观测	(184)
3. 古日食	(194)
4. 现代资料的功率谱	(199)
5. 转折点	(203)
6. 潮汐能量的耗损	(206)
7. 固体潮	(216)
8. 海潮	(218)
9. 大气潮	(232)
10. 行星际力矩	(238)
11. 惯量变化	(241)
12. 地核	(250)
13. 总结	(259)
第十二章 地质年代中的变化	(262)

1. 历史小记	(262)
2. 古地磁证据	(264)
3. 古生物与古气候证据	(271)
4. 古风	(274)
5. 激发函数	(274)
6. Maxwell 地球的极移: 一个练习	(276)
7. 地极的现代位置	(287)
8. 极限强度	(291)
9. 大陆漂移和地极漂移——博奕的规则	(294)
10. 小结	(296)
附 录	(298)
1. 海洋函数	(298)
2. 功率谱	(303)
参考文献	(309)

第一章

绪论

首先,我们介绍一下本书的内容安排.

本书第二章对自转不均匀性作定性的讨论. 以下四章系理论基础, 求解所有的问题都必须满足: (1) 旋转体的运动方程; (2) 应力-应变关系方程. 第三章叙述动力学方程的对形变不作限制的一般形式. 第四章讨论应力-应变关系. 这种关系在许多问题中可用无量纲的参数即洛夫数表示. 第五章介绍洛夫数. 第六章叙述扰动方法. 要读后面关于观测及其解释的内容, 并不一定要先读基础方面的章节.

其余各章讨论地球自转的不均匀性. 自转不均匀性有两种含义: (1) 地轴的摆动; (2) 自转速率的变化, 或者简言之, 日长(l. o. d.)的变化. 图1.1的上半部为地轴摆动概况, 下半部则是l. o. d.的变化. 在研究这两类问题时, 惯例是分开讨论, 这可能是由于两者观测方法不同所致. 但是, 两者关系极为密切, 放在一起处理亦有很多好处.

第七、八章为观测方法. 以下的章节按频率次序讨论不均匀性. 第九章叙述时间尺度在一年以下的不均匀性. 地极摆动资料取自国际纬度局(ILS)(第七章). l. o. d. 变化系由天文时与准确時計的时间对比而得(第八章). 地极周年摆动主要起因于气团的季节性移动. l. o. d. 的周年变化是由风引起的, 短期项则由固体潮造成. 第十章介绍十四个月周期的钱德勒摆动, 其周期是由地球的椭率和地球的刚度所决定的. 这种