

“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室系列专著

地球原动力

刘全稳 赵金洲 陈景山 著



地质出版社

西南石油学院“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室系列专著

地球原动力

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

书中系统介绍了地球的强中纬力、潮汐力、胀缩力的数学演绎、物理定义、地球响应。这三种力广泛存在于自然界。其中强中纬力属于一种离心力，它是产生大气环流、大洋环流主要的原动力；潮汐力已不是传统意义上的由万有引力定律发展起来的“引潮力”，它是产生地球潮汐现象的真正原动力；胀缩力是产生地球周期性胀缩现象的原动力。

本书是地球科学工作者的一本全新的理论书籍。

图书在版编目 (CIP) 数据

地球原动力/刘全稳, 赵金洲, 陈景山著. -北京: 地质出版社, 2001. 10

ISBN 7-116-03453-6

I. 地... II. ①刘... ②赵... ③陈... III. 地球动力学 IV. P541

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 065969 号

责任编辑: 江晓庆 渠洁瑜

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 29 号, 100083

电 话: 010-82324508 (邮购部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: 010-82310759

印 刷: 北京印刷学院实习工厂

开 本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$

印 张: 9.5

字 数: 231000

印 数: 1-700 册

版 次: 2001 年 10 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 30.00 元

ISBN 7-116-03453-6/P·2205

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

序 (一)

我欣喜地阅读了由刘全稳、赵金洲、陈景山等人写成的《地球原动力》一书。他们将数学、物理,特别是球面质点力学的分析方法用于研究地球固体壳层、水层、大气层分别承受地球在其伴随太阳绕银心运动的过程中,遭受多种天体动力因子的作用,以及地球自身整体性的动力作用所表现出的运动行为。研究是从单一动力因子的界定及其作用于三个壳层的理论解析入手的,进而对地壳、水层和大气的真实运动表现加以解释并用于工程实践。

看来这是一本偏重于天文地球动力中单一动力因子理论分析的力作,比起以往在国内常泛泛提到的用种种天文动力因子来解释一些地质现象及水、气运动现象,在动力因子本身的理论研究方面,更为严格与清晰。相信它将更有效地推动数理科学与地球科学的交叉合作,激发探索地球整体运动行为理论奥秘的热情。尽管本书主要是单一动力因子的分析,尚未进行多因子的以及与地球内动力的复合作用分析,希望那将是本书所开辟的这一研究途径美丽的前景。



2001年6月19日

序(二)

地球动力学是现今地学领域的热门课题之一,属于基础理论研究范畴,每个国家都要拨专款进行这方面的研究,其研究成果对指导大气、海洋、油气、地质等领域的生产科研具有重要指导意义。

本书以地球的球面质点作为各具体目标的抽象,以地球的实际运动状态建立轨道分析体系,经过数学推导和物理特性分析,获得了导致球面质点运动的原动力:胀缩力、强中纬力、潮汐力等。这三种力是目前尚未被发现的作用力,为本书原创,其理论意义和实际意义不容忽视,具有深厚的学术价值。

强中纬力可用来解释海水、大气运动、沙尘的起因等,也可用来解释地下流体的运动方向,在油气勘探与开发部门、水资源部门具有广泛的应用前景。

潮汐力研究成果可应用于海水与大气运动的预测预报、地震预报,对油气的开采、地下水的利用等,有一定的指导作用。

胀缩力可应用于构造地质领域,对地质构造运动周期、山脉及裂谷成因分析、断裂及构造体系的分析都具有理论意义。

总之,这是一本内容丰富、资料翔实、立论有据的专著。具有立意新、思维新的特点,富有开拓性和启迪性。因此,本专著的出版,对今后有关地球动力与运动的研究具有重要的参考价值。特此推荐。

刘宝瑞
2001年6月17日

前 言

地球是太阳系的九大行星之一,随着太阳一起在银河系中绕银核运行。

无论是地球绕太阳公转的轨道,还是太阳系绕银核运转的轨道,都是椭圆形。

地球是由具有不同物理、化学性质的物质构成的,形成一个同心圈层的球体。由表及里,地球的各圈层分别是:大气圈、水圈、生物圈、地壳、地幔、地核。

地球科学是人类对于自己赖以生存的地球的认识的总称。地球的整体和它的每一个圈层是地球科学研究的对象,其各部分物质的运动、变化规律及其相互之间的联系,是地球科学研究的内容。

迄今为止,人们关于地球的认识成果浩如烟海,逐步形成了以地理学和土壤学、遥感科学、地质科学、地球化学、地球物理学、空间物理学、大气科学、海洋科学等为门类的各分支的地球科学。

关于地球动力方面的研究学科十分繁多,从大到小可分为:天体动力学、地球动力学、大气动力学、动力气候学、海洋动力学、动力地质学、地下水动力学等。

随着社会的进步,人类攻克课题的难度越来越大,人与人之间的联系越来越紧密,尤其是在地学方面,单兵作战形成突破的例子已十分罕见。

《地球原动力》一书,是第一作者在西南石油学院博士后流动站工作期间,与第二、第三作者并肩完成的成果,是集体智慧的结晶。

本书的理论基础是牛顿力学,获得的新成果、新认识、新理论体现在如下几方面。

- (1)建立起独特的球面质点受力分析体系,为完成地球原动力的研究打下了认识基础;
- (2)运用演绎推理规则,推导出地球发生周期性胀缩变化的作用力——地球的胀缩力;
- (3)首创了“强中纬力”概念;第一次提出并论证了地球的强中纬力,包括它的表达式、符号意义、性质特点、分布地域、适用范围、在地球上的效应等;
- (4)找到了太阳致潮的潮汐力的完整理论表达式;研究了它的离散特征、连续性特征,以及它的振幅表达方法;比较了它与人们已经熟知的由万有引力出发获得的月球引潮力的不同;
- (5)依据地球的各个原动力,将地球按所受主要作用力的不同进行了受力分带,并比较了受力分带与地理分带的主要异同及重叠区的存在。

本书的编写思路:分析体系的建立;作用力各论;应用解释。共分七章阐述。

第一章是分析体系的建立。将球面质点作为分析目标,以地球球面质点在公转、自转过程中,随公转角度与时间的变化关系,求取球面质点的数学物理方程。根据作用力方程所表现出的初步特性,对作用力作出定义,为以后的分析打下基础。

第二章为地球的强中纬力。根据强中纬力表现出的与黄纬角度的独特关系,将地球进行受力分带,所分五带已不是传统意义上的地理五带。将强中纬力的一般特点及在地球运动过程中的表现特征、作用效果进行了详细的理论分析,为以后的应用解释铺平道路。

第三章为地球的潮汐力。由于潮汐是一个古老的命题,关于潮汐的驱动力解释,先前已有牛顿由万有引力演生出的“引潮力”理论统治,所以,本章中首先作了“引潮力”与“潮汐力”的比较说明。此外,还详细分析了由第一章推导获得的潮汐力的理论特征及在地球上的表现特征,初步介绍了地球上发生潮汐的集中基本情况,为以后的潮汐力的应用服务。

第四章为地球的胀缩力。将分析目标定为地球,以地球作为分析质点,推导了地球在椭圆轨道运动中的受力变化情况。根据动力方程表现出的数理特征,将作用力定义成地球的胀缩力。论述了地球发生膨胀与收缩运动时的参数算法及其各阶段的划分,讨论了地球在胀缩力作用下的正演算法。

第五章描写了地球的强中纬力响应。以大气在强中纬力作用下的表现,海水在强中纬力作用下的表现以及强中纬力的地质作用作为描述的主体,较详细地对地球的强中纬力作用进行了应用解释。

第六章描写的是潮汐。从地球的潮汐运动是一种波动开始,描述了潮汐波的干涉、衍射。根据这些分析,解释了地球上不同类型潮汐波出现的原因,讨论了地幔潮汐的问题和井潮问题。

第七章描述地球胀缩力的表现。叙述了地球体现出的膨胀现象和收缩现象,讨论了地球发生胀缩运动中的胀缩力映射问题,对洋中脊、磁异常、海沟等人们熟知的地质现象的形成环境及其应用作了归纳。

本书写作分工如下:前言及第一、二章,赵金洲;第三、四、五、六章,刘全稳;第七章,陈景山。

本书能得以顺利地出版发行,首先应该感谢中国工程院院士罗平亚教授的鼎力支持。感谢西南石油学院博士后流动站提供了舒适的生活条件,“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室提供了非常宽松的工作与科研环境。感谢蒲万芬副教授提供了必要的计算机及其辅助设备。

目 录

第一章 动力分析体系	(1)
第一节 平面质点受力运动	(1)
第二节 空间质点受力情况	(4)
第三节 作用力的物理特性	(5)
一、关于作用力 F_1	(5)
二、关于作用力 F_2	(6)
三、关于作用力 F_1 与 F_2 的比较及其合力分析	(6)
四、关于作用力 F_3	(6)
五、关于作用力 F_4	(7)
六、关于作用力 F_5	(7)
七、关于 F_3 与 F_5 的比较	(7)
第四节 作用力定义	(7)
一、强中纬力	(8)
二、潮汐力	(9)
三、其他作用力	(11)
第五节 球面质点受力分布	(12)
参考文献	(12)
第二章 地球的强中纬力	(13)
第一节 地球的受力作用分带	(13)
一、两极极地带	(13)
二、南、北半球最大强中纬力作用带	(14)
三、穿切黄道面带	(15)
第二节 强中纬力的一般特点	(15)
一、强中纬力的影响因素	(16)
二、强中纬力的物理意义	(16)
第三节 强中纬力的表现特征	(17)
一、俯视特征	(17)
二、侧视特征	(17)
三、整体特征	(17)
第四节 强中纬力的作用效果	(18)
一、作用于大气	(18)
二、作用于海水	(21)
三、作用于球面板块	(21)
第五节 强中纬力的应用前景	(21)
一、全球受力分带	(21)

二、地下油气运移研究	(21)
三、地震构造分区研究	(21)
四、油气聚集区带分析	(21)
五、地球球面板块运移分析	(22)
六、其他	(22)
小结	(23)
参考文献	(23)
第三章 地球的潮汐力	(25)
第一节 潮汐概况	(25)
一、月球、地球、太阳的相互关系	(25)
二、万有引力	(28)
三、月球引潮力	(29)
第二节 潮汐力的理论特征	(30)
一、离散特征	(30)
二、连续性特征	(34)
第三节 海潮的描述	(39)
第四节 潮汐力在地球上的表现	(40)
一、海水潮汐	(40)
二、大气潮汐	(40)
三、地幔潮汐	(42)
四、地下水潮汐	(42)
第五节 潮汐能量的速度与地球的胀缩问题	(42)
参考文献	(44)
第四章 地球的胀缩力	(45)
第一节 椭圆的运动学特征	(45)
第二节 地球受力分析	(47)
第三节 地球的膨胀与收缩运动	(48)
第四节 地球膨胀运动的参数——算法与膨胀阶段划分	(50)
一、膨胀参数的求取	(50)
二、地球的膨胀阶段划分	(53)
三、关于地球的膨胀造山问题	(56)
第五节 地球收缩运动的参数——算法与阶段划分	(56)
一、收缩参数的求取	(57)
二、地球的收缩模式	(58)
三、关于地球收缩过程中地方性裂谷的形成	(63)
四、关于地球收缩过程中的地方性海侵	(64)
五、小结	(64)
第六节 地球胀缩的正演算法	(64)
一、作用力下的球体应力应变	(64)
二、正演地球的膨胀和收缩	(65)
参考文献	(67)

第五章 强中纬力的地球响应	(68)
第一节 大气的强中纬力作用	(68)
一、大气的运动模式	(68)
二、台风进入强中纬力作用带后的路径	(70)
三、平流层中的气球轨迹	(71)
四、风携物分布线规律	(73)
五、极地带内大气强中纬力作用分析	(74)
第二节 海水的强中纬力作用	(78)
一、大洋环流	(78)
二、西风漂流	(81)
三、暖流	(83)
第三节 强中纬力的地质作用	(85)
一、对板块的作用	(85)
二、对山脉走向的控制	(87)
三、对火山分布格局的约束	(87)
四、对地震震中的影响	(87)
五、对风沙分选沉积的作用	(92)
六、一个板块的理论运动轨迹	(95)
小结	(99)
参考文献	(99)
第六章 潮汐	(101)
第一节 潮汐运动	(101)
第二节 潮汐的干涉	(102)
第三节 潮汐的衍射	(103)
一、障碍物衍射	(103)
二、单孔衍射	(104)
三、双孔衍射	(105)
四、不同波长的潮汐波叠加	(106)
第四节 潮汐的分类	(106)
一、规则潮汐	(106)
二、不规则潮汐	(106)
三、中国近海及邻近海域的潮汐性质	(107)
第五节 地幔潮汐与岩浆侵入、火山喷发	(109)
第六节 井潮	(113)
一、地下水潮汐	(113)
二、油气潮汐	(115)
参考文献	(118)
第七章 胀缩力的表现	(119)
第一节 地球的膨胀运动	(119)
一、全球性的海水泛滥	(120)
二、全球性的洋中脊扩张	(121)

三、地区性裂谷和地堑	(121)
第二节 地球的收缩运动	(123)
一、全球性的海退	(123)
二、全球性的造山运动	(123)
三、地区性的洋壳消失	(123)
四、地区性的推覆运动	(127)
五、地区性的逆断裂超覆和地层褶皱	(127)
第三节 地球的胀缩运动	(127)
一、地壳受膨胀力作用及运动	(128)
二、地壳受收缩力作用及运动	(128)
三、地球胀缩力曲线与由胀缩力引出的其他曲线的比较	(129)
第四节 洋中脊、磁异常与海沟	(130)
一、洋中脊	(130)
二、磁异常	(134)
三、海沟	(135)
参考文献	(140)
后记	(141)

第一章 动力分析体系

长期以来,探索地球动力以及大气、海洋、板块等运动成因及其相互影响,一直是人们争相研究的主题内容之一,其相关学术论著不断问世。基于可见、可感触的特点,对其所使用的研究方法几乎遍布各学科领域。

事实上,油气运移在很多方面与大气、海水的运动具有相同的特性,所不同的是前者位于地下,不可见且不可感触。因此,在长期的生产实践和理论探索中,人们发现,在研究油气运移的某些方面可以直接引用已有的大气海洋运动的研究成果。当然,研究油气运移的成果也完全可以用大气、海洋这些可见的事实加以验证,因而也可以直接作为大气海洋研究成果或与之并题研究。

地球的固有特性包括:它的组成是分层的;它既有自转运动,也有公转运动。

无论是大气、海洋,还是油气、地球板块,其共同之处在于:它们均属于地球,受地球的束缚;与地球一起作自转运动;与地球一起永恒地绕太阳公转。基于这些共同点,将它们抽象为一个质点,该质点可以是大气、海水,也可以是油气质点,也可以是板块质点。这样的质点无论位于哪个圈层,其所属的分析面都是球面,因而可以称为球面质点。分析球面质点随地球在转动状态下的受力情况,可能不失为一条探索它们运动成因的途径。

在很多的文献资料中,只要谈到太阳与地球或者其他行星,人们总是将行星弱化为质点,这是由于两者大小、质量相差悬殊使然。这种简化,有时有存在的合理性,因为已有很多成功的关于自然现象的合理解释的例子。将质点定在地球上的大气或海洋或油气或板块上探讨问题,地球显然已不能再定成质点。笔者分析问题的前提条件是:球面质点在随地球绕太阳公转时,不仅与太阳质心的距离要发生改变,而且与地球质心的距离也要发生改变。

第一节 平面质点受力运动

在图 1-1 中,假如质点 P 位于地球公转椭圆轨道的平面内,那么在该体系中,设 $\angle OSP = \theta$, $SP = L$, $OS = l$, 则 $OP = R$,

$$L = f(\theta, t)$$

$$l = g(\theta, t)$$

$$R = h(\theta, t)$$

首先考察同一平面内,地球球面质点的受力情况。此时,根据余弦定理,在 $\triangle OSP$ 内,有隐函数关系式

$$R^2 = L^2 + l^2 - 2Ll\cos\theta$$

令

$$R = \sqrt{u}, u = L^2 + l^2 - 2Ll\cos\theta$$

则

$$\frac{dR}{d\theta} = \frac{1}{2\sqrt{u}} \left\{ 2l \frac{dl}{d\theta} + 2L \frac{dL}{d\theta} - \left[2 \frac{dL}{d\theta} l \cos\theta + 2l \frac{dL}{d\theta} \cos\theta + 2lL \sin\theta \right] \right\}$$

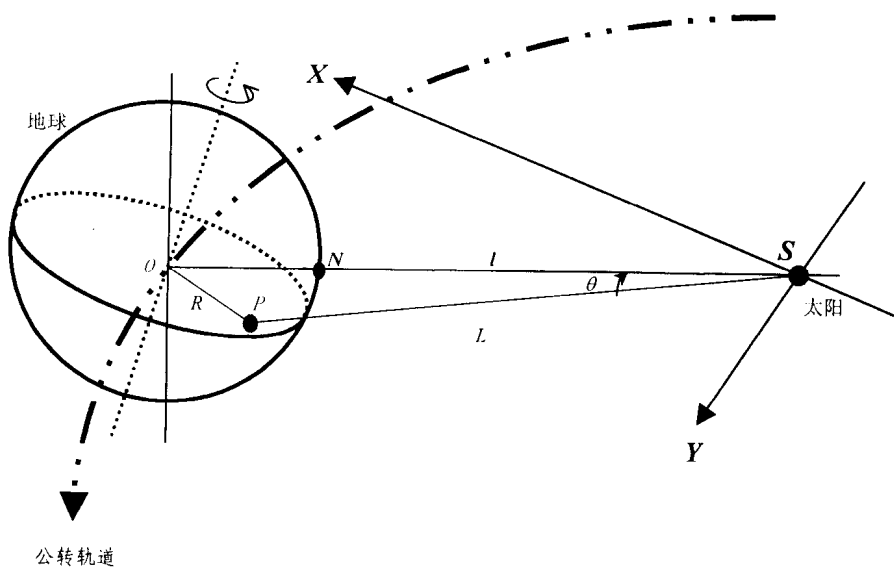


图 1-1 球面质点的平面受力分析

$$\frac{dR}{dt} \times \frac{dt}{d\theta} = \frac{1}{\sqrt{u}} \frac{dt}{d\theta} \left[\dot{l} + L\dot{L} - \dot{l}L\cos\theta - l\cos\theta\dot{L} + lL \frac{d\theta}{dt} \sin\theta \right]$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{1}{\sqrt{u}} \left(\dot{l} + L\dot{L} - \dot{l}L\cos\theta - l\cos\theta\dot{L} + lL \frac{d\theta}{dt} \sin\theta \right)$$

$$\text{令} \quad A = \dot{l} + L\dot{L} - \dot{l}L\cos\theta - l\dot{L}\cos\theta + lL \frac{d\theta}{dt} \sin\theta \quad (1-1)$$

同理，可以进行如下推导

$$\frac{d\left(\frac{dR}{dt}\right)}{d\theta} = -\frac{1}{2} u^{-\frac{3}{2}} \frac{du}{d\theta} A + u^{-\frac{1}{2}} \frac{dA}{d\theta} \quad (1-2)$$

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{2}{\frac{d\theta}{dt}} A \quad (1-3)$$

$$\frac{d\left(\frac{dy}{dt}\right)}{d\theta} = -\frac{dt}{d\theta} u^{-\frac{3}{2}} A^2 + u^{-\frac{1}{2}} \frac{dA}{d\theta}$$

$$\text{由} \quad A = \dot{l} + L\dot{L} - \dot{l}L\cos\theta - l\dot{L}\cos\theta + lL \frac{d\theta}{dt} \sin\theta$$

$$\text{得} \quad A = (l - L\cos\theta)\dot{l} + (L - l\cos\theta)\dot{L} + lL \frac{d\theta}{dt} \sin\theta$$

$$\begin{aligned} \frac{dA}{d\theta} &= (l - L\cos\theta) \frac{d\dot{l}}{d\theta} + \left(\frac{d\dot{l}}{d\theta} - \frac{dL}{d\theta} \cos\theta + L \sin\theta \right) \dot{l} + (L - l\cos\theta) \frac{d\dot{L}}{d\theta} + \\ &\quad \left(\frac{dL}{d\theta} - \frac{dl}{d\theta} \cos\theta + l \sin\theta \right) \dot{L} + \frac{d\dot{l}}{d\theta} L \frac{d\theta}{dt} \sin\theta + l \frac{d\dot{L}}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} \sin\theta + lL \frac{d\theta}{dt} \cos\theta \end{aligned}$$

化成时间函数

$$\begin{aligned}
\frac{dA}{dt} &= (l - L \cos \theta) \dot{l} + \dot{l} \left(\dot{l} - \dot{L} \cos \theta + L \frac{d\theta}{dt} \sin \theta \right) + (L - l \cos \theta) \dot{L} + \\
&\quad \dot{L} \left(\dot{L} - \dot{l} \cos \theta + l \frac{d\theta}{dt} \sin \theta \right) + \dot{l} \dot{L} \frac{d\theta}{dt} \sin \theta + l \dot{L} \frac{d\theta}{dt} \sin \theta + l \dot{L} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta \\
&= (l - L \cos \theta) \dot{l} + (L - l \cos \theta) \dot{L} + \dot{l}^2 + \dot{L}^2 - 2 \dot{L} \dot{l} \cos \theta + \\
&\quad 2 L \dot{l} \frac{d\theta}{dt} \sin \theta + 2 l \dot{L} \frac{d\theta}{dt} \sin \theta + l \dot{L} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta
\end{aligned} \tag{1-4}$$

$$A^2 = \left[(l - L \cos \theta) \dot{l} + (L - l \cos \theta) \dot{L} + l \dot{L} \frac{d\theta}{dt} \sin \theta \right]^2 \tag{1-5}$$

所以

$$\begin{aligned}
\frac{d\left(\frac{dR}{dt}\right)}{d\theta} &= \frac{1}{\sqrt{u}} \left(\frac{dA}{d\theta} - \frac{1}{u} \frac{1}{\frac{d\theta}{dt}} A^2 \right) \\
\frac{d^2 R}{dt^2} &= \frac{1}{\sqrt{u}} \left(\frac{dA}{dt} - \frac{1}{u} A^2 \right)
\end{aligned} \tag{1-6}$$

将 $\frac{dA}{dt}$, A^2 , u 值代入 (1-6) 式, 即可获得球面质点在随太阳公转时, 在地球径向上的变化加速度 $\frac{d^2 R}{dt^2}$ 。

可以验证 (量纲检验), $\frac{d^2 R}{dt^2}$, $\frac{1}{\sqrt{u}} \frac{dA}{dt}$, $\frac{1}{\sqrt{u}} \frac{1}{u} A^2$ 各项及其展开项, 均是含加速度因子的数据项。所以, 在上式两边同时乘以质点质量 m , 有

$$m \sqrt{u} \frac{d^2 R}{dt^2} = m \frac{dA}{dt} - m \frac{1}{u} A^2$$

$$\text{令 } F_o = m \frac{d^2 R}{dt^2}, F_r = m \frac{1}{\sqrt{u}} \frac{dA}{dt}, F_s = -m \frac{1}{\sqrt{u^3}} A^2$$

则

$$F_o = F_r + F_s \tag{1-7}$$

显然, 除 F_o 外, F_r 和 F_s 各自均为一个由复杂的受力系统组成的综合力。可表示为

$$F_r = \sum_{i=1}^m F_i \tag{1-8}$$

现在, 有必要先讨论两个问题。

首先是 θ 的问题。即使以地球磁层的最顶层计算, θ 的最大值也只约有 0.00244° , 是相当小的。为使运算简便, 凡含 $\sin \theta$ 项, 均可以消去。

其次是速度矢量问题。 $\dot{L}$ 、 $\dot{l}$ 分别包括法向和切向两个方向的数值变化, 一般由于法向变化量小, 只考虑切向的数值变化, 即 $\dot{L} = L_\omega$, $\dot{l} = L_\omega$ (ω 为地球绕太阳公转的角速度)。

在消去含 $\sin \theta$ 项后, 将 $\dot{L} = L_\omega$, $\dot{l} = L_\omega$ 代入 (1-4) 式, 化简得

$$\frac{dA}{dt} = (l - L \cos \theta) \dot{l} + (L - l \cos \theta) \dot{L} + R^2 \omega^2 + L l \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \tag{1-9}$$

则

$$F_r = m \frac{1}{\sqrt{u}} (l - L \cos \theta) \ddot{l} + m \frac{1}{\sqrt{u}} (L - l \cos \theta) \ddot{L} + m \frac{1}{\sqrt{u}} R^2 \omega^2 + m \frac{1}{\sqrt{u}} l L \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad (1-10)$$

那么, (1-8)式变为

$$F_r = \sum_{i=1}^4 F_i \quad (1-11)$$

将 $\dot{L} = L_\omega$, $\dot{l} = l_\omega$ 代入(1-5)式, 化简得

$$A^2 = (R^2 \omega)^2 \quad (1-12)$$

因而

$$F_s = - m \frac{1}{\sqrt{u^3}} (R^2 \omega)^2 \quad (1-13)$$

第二节 空间质点受力情况

事实上, 质点 P 在绝大多数情况下, 并非位于轨道平面内, 即矢量 $\mathbf{R}$ 、 $\mathbf{L}$ 与 $\mathbf{l}$ 不同在黄道面内, 参见图 1-2。做质点 P 在轨道平面内的投影 P' , 连相关辅助线, 有: $\angle POP' (= \alpha)$ 与地球纬度 φ 有关; $\angle P'ON (= \beta)$ 为质点 P 所处经度与正午所在经度之差; $\angle PSP' (= \gamma)$, 由于地球与太阳距离太大而趋于零, 所以取 $\gamma = 0$; $\angle P'SN (= \theta)$, 当取 $OP' = R'$, $SP' = L'$ 时

$$R' = R \cos \alpha \quad (1-14)$$

$$L' = L \cos \gamma \quad (1-15)$$

$$L' = L \quad (1-16)$$

不难得出

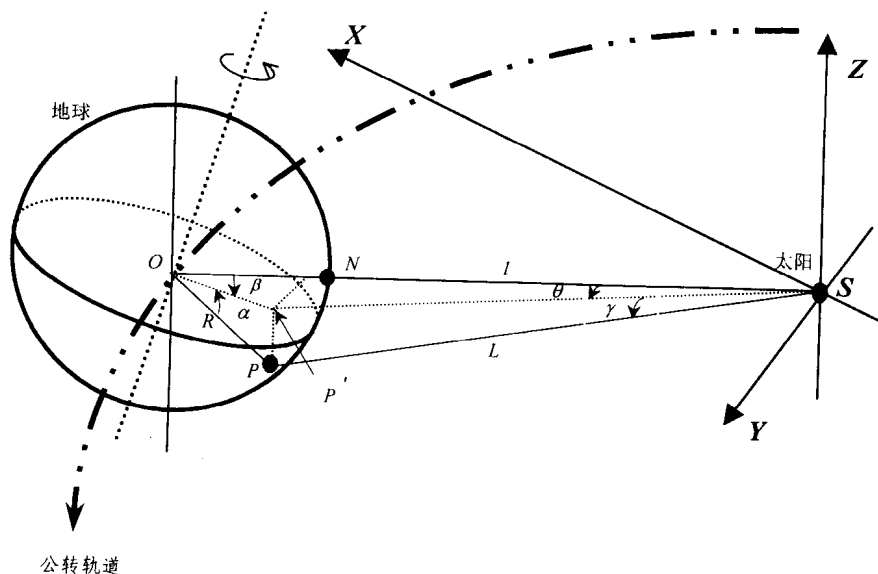


图 1-2 球面质点的空间受力分析

$$| R \cos \alpha \cos \beta | = | l - L \cos \gamma \cos \theta | = | l - L \cos \theta | \quad (1-17)$$

$$| R \cos \alpha \sin \beta | = | L \cos \gamma \sin \theta | = | L \sin \theta | \quad (1-18)$$

亦即其标量式为

$$R \cos \alpha \cos \beta = l - L \cos \theta \quad (1-19)$$

$$R \cos \alpha \sin \beta = L \sin \theta \quad (1-20)$$

那么,在空间讨论质点 P 的变化可转化为在平面内讨论质点 P' 的变化。用 R' 、 L' 替代 (1—10)、(1—13) 中的 R 、 L 得

$$F_r = m \frac{1}{\sqrt{u}} (l - L \cos \theta) \ddot{l} + m \frac{1}{\sqrt{u}} (L - l \cos \theta) \ddot{L} + m \frac{1}{\sqrt{u}} R^2 \cos^2 \alpha \omega^2 + m \frac{1}{\sqrt{u}} l L \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad (1-21)$$

$$F_s = - m \frac{1}{\sqrt{u^3}} (\cos^2 \alpha R^2 \omega)^2 \quad (1-22)$$

第三节 作用力的物理特性

本节只作理论分析,有关各力的实际论证,在后面的章节中还将详细研究。

根据 (1—11) 和 (1—21) 式,令

$$F_1 = m \frac{1}{\sqrt{u}} (l - L \cos \theta) \ddot{l} \quad (1-23)$$

$$F_2 = m \frac{1}{\sqrt{u}} (L - l \cos \theta) \ddot{L} \quad (1-24)$$

$$F_3 = m \frac{1}{\sqrt{u}} R^2 \cos^2 \alpha \omega^2 \quad (1-25)$$

$$F_4 = m \frac{1}{\sqrt{u}} l L \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta \quad (1-26)$$

一、关于作用力 F_1

根据 (1—19) 式化简,再经三角变换,有

$$\begin{aligned} F_1 &= m \cos \alpha \cos \beta \ddot{l} \\ &= \frac{1}{2} m [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)] \ddot{l} \end{aligned} \quad (1-27)$$

显然,由 (1—27) 式可获知作用力 F_1 是由两个分力组成的,即

$$F_{11} = \frac{1}{2} m \cos(\alpha + \beta) \ddot{l} \quad (1-28)$$

$$F_{12} = \frac{1}{2} m \cos(\alpha - \beta) \ddot{l} \quad (1-29)$$

$$F_1 = F_{11} + F_{12} \quad (1-30)$$

1. F_1 的大小

—— α 一定时, F_1 的大小随 β 产生余弦周期性变化, $\alpha = 0^\circ$ 为最大。说明黄道面上 F_1 最大。

—— β 一定时, F_1 的大小随 α 产生余弦周期性变化, $\beta = 0^\circ, 180^\circ$, F_1 绝对值为最大。说明正午和午夜 F_1 绝对值最大。

2. F_1 的方向

地球到太阳连线的径向。 F_1 正值时为太阳到地球的方向, F_1 负值时则为地球到太阳的方向。

二、关于作用力 F_2

将 $u = L^2 + l^2 - 2Ll\cos\theta$ 代入 (1—24) 式, 考虑 (1—19) 式条件, 由于 $L \approx l$, 取 $L = l$, 经化简有

$$F_2 \approx m \cos \alpha \cos \beta \ddot{L} \quad (1-31)$$

比较式 (1—27) 和式 (1—31), 不难发现, 除加速度外, 两式右端的其他函数符号一致, 因此, F_1 与 F_2 应属于同一种力。

三、关于作用力 F_1 与 F_2 的比较及其合力分析

F_1 与 F_2 为一对近径向的作用力, F_1 与 F_2 交角为 ϕ (见图 1-3)。

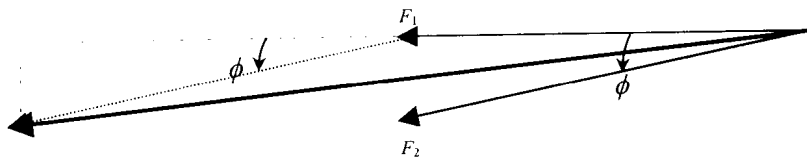


图 1-3 F_1 与 F_2 的合力

经过变换可得

$$F_1 + F_2 \approx m \cos \alpha \cos \beta \sqrt{2 + 2 \cos \phi} \ddot{l} \quad (1-32)$$

$\phi \approx 0^\circ$, 在取 $\phi = 0^\circ$ 的情况下

$$F_1 + F_2 \approx 2m \cos \alpha \cos \beta \ddot{l} \quad (1-33)$$

合力方向在极径的 η 角度方向, η 角度由下式计算

$$\eta = \arctg \frac{\sin \phi}{1 + \cos \phi} \quad (1-34)$$

因 $\eta \approx 0$, 所以合力方向在近乎极径连线上变化。

四、关于作用力 F_3

将 $u = L^2 + l^2 - 2Ll\cos\theta = R^2$ 代入 (1—25) 式, 取 $L = l$, 经化简有

$$F_3 = mR\omega^2 \cos^2 \alpha \quad (1-35)$$

显然, F_3 与 F_1 和 F_2 的受控因素具有差异性。

1. F_3 的大小

—— $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $F_3 = 0$: 说明南、北纬 $66^\circ 33'$ 纬度带在处于黄极点时, 无 F_3 作用。

—— $\alpha = 0^\circ$ 时, $F_3 = mR\omega^2$, 黄道面切割地球交线处 F_3 最大。

—— α 越大, F_3 越小; 反之, α 越小, F_3 越大。

2. F_3 导致的物体运动方向

该方向为切线方向。