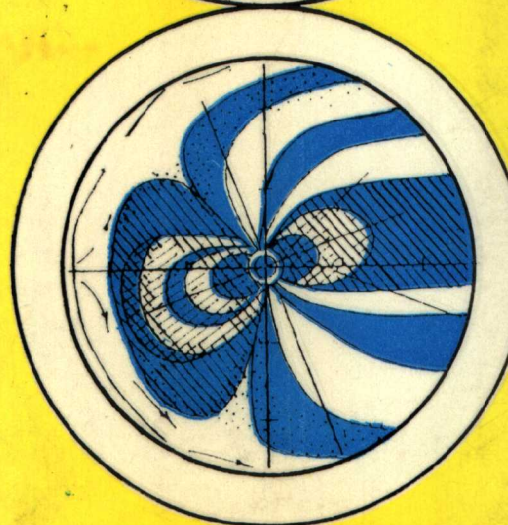


地球物理科普文选 第一集

# 地球和 地球物理

中国地球物理学会

编著



地质出版社

# 地球物理科普文选

第一集

## 地球和地球物理

中国地球物理学会 编著

地质出版社

·北京·

**(京)新登字085号**

**图书在版编目 (CIP) 数据**

地球物理科普文选 第一集: 地球和地球物理 / 中国地球物理学会编著. —北京: 地质出版社, 1994.6

ISBN 7-116-01660-0

I. 地… II. 中… III. 地球物理学-科普读物 IV. P3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第04025号

**地质出版社出版发行**

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑: 曹 玉

\*

北京邮电大学出版社印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 850×1168 <sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张: 5.5 字数: 142800

1994年6月北京第一版·1994年6月北京第一次印刷

印数: 1—2000册 定价: 5.00元

ISBN 7-116-01660-0

P·1341

## 编 者 的 话

一、在现代社会里，人们随时随地和各种各样的科学技术发生联系，却往往对其内涵并不了解，甚至对它们的名称也十分陌生。

例如，天然地震灾害，可以说是尽人皆知，许多人甚至“谈震色变”。但对于研究天然地震的“地震学”，则知之者不多。地震学是“地球物理学”的一个分支学科，而知道地球物理学的人就更少了。

实际上，地球物理学和人们的关系远不只是地震预报和地震灾害预测，它的许多分支学科及其在许多领域的应用和人们有着更广泛、更经常、更密切的关系。

让更多的人了解什么是地球物理学，知道它和人们的生产、生活有什么关系，从而更自觉、更主动地使这一门重要科学技术更好地为人们服务，这就是我们编写这套《地球物理科普文选》的目的。

二、关于什么是地球物理学，《辞海》、《中国大百科全书》及其它一些有关专著都有大体相同的解释。简单地说，地球物理学是用物理学的方法，研究地球的状态、性质、结构、物理现象和物理过程的一门学科。

这里所说的地球，包括地球内部及其周围空间。正是按这两个不同的空间范围，地球物理学又可划分为“固体地球物理学”和“空间地球物理学”两个大的分支学科。

空间地球物理学的主要研究对象是从太阳到地面以上的空间，也就是人类生活的空间环境。它的研究内容包括空间磁场、

空间电场和电磁场、空间粒子流等的状态、性质及活动。其中包括人们比较熟悉的磁暴、极光、宇宙射线、电离层、臭氧层等等，它们和人类生活关系十分密切。

固体地球物理学的主要研究对象是我们脚下的固体地球，也就是人类一切活动的根基。它的研究内容包括地球内部构造，地球的力学、磁学、电学、热学、核物理学状态、性质及活动。其中包括人们比较熟悉的地震、火山、地磁、地热、大陆漂移等等，它们和人类生活密切相关更是不言而喻的。

在半径达六千余公里的庞大固体地球中，从地面到数十公里深度（主要是10km以内）的上层地壳和人类关系特别密切。目前人类所利用的全部矿产资源都产自这一层，人类的一切建设都以它为基础。用物理方法在上层地壳中找寻各种矿产资源，以及查明与各种建设有关的地下情况，在地球物理研究活动中占的比较大。这些直接应用于经济建设的科学技术又形成了地球物理学中一个分支，叫做“应用地球物理学”或“勘探地球物理学”，简称“物探”。

使用物理学的方法研究地球，就离不开用仪器进行物理量的观测。观测方法技术的研究对地球物理学的发展至关重要。因此，又形成了地球物理学的另一分支，叫做“观测地球物理学”顾名思义，它是以地球物理的观测方法技术和手段（仪器等）为主要研究内容的。

以上提到的一些分支学科是从不同角度划分的，并非并列或有明确的界限。从其它角度，还有其它划分方案。

读者当然不需要去关心这些分支学科的划分问题。作以上介绍，只不过希望能有助于读者对什么是地球物理学有一点具体的印象。

三、关于这本小册子本身，我们想说的是：

1. 它是中国地球物理学会计划编辑出版的《地球物理科普

文选》中的第一集，主要是向读者概括地介绍地球物理学的研究对象和内容。我们将在以后就地球物理学的应用、方法、技术等专门问题陆续出版第二集、第三集……。

2. 它是一些有关科普文章的选编，而不是按章节系统编写的专著。全书各篇文章彼此并不衔接，但在编排上大体按类排序；同一问题可能有几篇文章论及，不乏局部重复，但又各有所侧重，可以互为补充，文章体例不一，长短不等，但也有利于适应不同读者需要。

3. 它的读者对象是中学的师生、科普工作者、群众文教工作者、有关行业和管理的人员及其他具有中等以上文化程度的社会各阶层人员。我们假定读者具有初步的物理数学知识，因此文章不回避某些专门术语，以便对问题的说明更准确些。

4. 科普读物要求兼备知识性、科学性和趣味性。我们在选编时更侧重于前二者。这些文章的作者大都是有关专业的专家教授，在知识性、科学性方面是有保证的。应当承认，在趣味性方面存在不足。但事实上，也很难要求一个学科专家同时又是一个科普作家。

我们对各位作者在繁忙的专业工作中热心为本文选撰稿表示衷心感谢，还要特别感谢中国科学院地球物理研究所所长、地学部学部委员刘光鼎同志，他在百忙中认真审阅了地球物理研究所提供的每一篇稿件。

陈云升  
1993年10

## 目 录

- 地球物理漫话.....张少泉 陈 光 ( 1 )
- 地球形状史话.....沈 博 ( 21 )
- 地 核.....马石庄 ( 27 )
- 地壳均衡与板块活动.....刘元龙 ( 30 )
- 关于“地球弹塑性”的一场对白.....张树林 ( 35 )
- 漫谈空间.....王 水 ( 40 )
- 地球重力和重力测量.....王谦身 ( 45 )
- 重力加速度是一个常数吗?.....李德禧 ( 51 )
- 地球重力及其应用.....刘元龙 ( 58 )
- 地球的磁场.....曾治权 ( 64 )
- 地磁场要素.....吉纪庄 ( 73 )
- 地球磁场的起源.....曾治权 ( 83 )
- 地球磁场史话.....魏青云 ( 92 )
- 古地磁学与青藏高原.....周姚秀 ( 101 )
- 地磁观测与地震预报探索.....詹志佳 ( 105 )
- 中国的地震预报.....修济刚 ( 110 )
- 核爆炸地震效应观测和地震侦察.....王广福 ( 129 )
- 浅谈“物探”.....陈云升 ( 137 )
- 地下管道和电缆在何处?.....陈晦鸣 ( 151 )
- 拟建的桥墩下发现了岩溶,物探来“救驾”.....钟世航 ( 157 )
- 用物探方法给乐山大佛作诊断.....钟世航 ( 160 )
- CT技术ABC.....张树林 ( 167 )

# 地球物理漫话

张少泉 陈光

(国家地震局地球物理研究所)

## 开场白 继往开来

很多人知道物理学，知道地理学、地质学，却很少有人知道地球物理学。这是因为，地球物理学是本世纪新发展起来的一门边缘学科，它虽与国民经济关系密切，但尚未为人们所了解。可能基于此原因，我国地球物理学界的老前辈傅承义先生，著有《地球十讲》（科学出版社，1977）一书。

书中提出：地球物理学是一门应用物理学，以物理学的原理和方法，研究地球的整体，尤其是深部的结构、状态、组成和运动。

该书很受青少年朋友的喜爱和外专业朋友的好评。就是我们这些地球物理学专业工作者，也因为该书的论述严谨、文笔流畅而爱不释手，并皆引为作学问和写科普的楷模。

在此，作为傅先生的学生，愿把自己学习《地球十讲》的体会，以“地球物理漫话”为题，采用讲座的形式，写成这个系列短文，奉献给青少年和外专业的朋友们。

这些短文，曾在1982、1983、1984年三届全国青少年地震科学夏令营活动中，作为给青少年朋友所作的地球物理科普报告的



手稿，并于1984—1985年在《地震报》上连载，1990年获《中原地震科普报》首次优秀科普创作评比优秀奖。此次，有幸被列入中国地球物理学会科普文选，借此机会再作一点修改。

这里拟定十个题目。每个题目各反映地球物理学的一个内容。笔者深知，以简短的篇幅，介绍一个学科的方方面面，并非易事。有鉴于此，定有不当之处，恳请各位专家指正。

青少年和外专业的朋友们，如果愿意进一步了解该学科的细节，可参看笔者拙作《地球物理学概论》（1987，地震出版社）。如果愿意进一步深造，可参看傅承义、陈运泰和祁贵仲所著《地球物理学基础》（1977，科学出版社）。

国民经济的腾飞需要地球物理学。地球物理事业的发展需要更多更多的后来者和同路人。在此，当您迈进地球物理学这博大精深的殿堂之前，不妨先一览这篇“漫话”，愿它能帮您对这门学科有个概略性了解。

## 第一讲 何来何去（地球起源）

我们人类世代生活在地球上。地球既是我们生活的场所，也是我们研究的对象。那么，地球从何而来？这是地球起源问题。地球又向何而去？这是地球演化问题。

有关地球起源的学说或假说，目前不下40种。其中“新星云说”是占主流的一种。该学说有两个重要论点：

第一，地球和整个太阳系是由同一块星云形成的。一开始，这块星云就有自转，并且靠着物质引力而收缩。收缩到一定程度，星云的中心构成太阳，其外部变扁，形成星盘。星盘的物质颗粒，经过尘层、行星胎等形态，渐渐演变成包括地球和月球在内的一个行星体系。地球距太阳较水星、金星要远一些，排行老三。

第二，组成地球和整个太阳系的物质，即原始星云的物质，既不是“微粒”也不是“高温气体”，而是低温气体尘埃。虽然低温，但其中包含着可作为未来星球内部热源的放射性物质。

以上两点，就是人们常说的地球和太阳系的“共同起源”之说和“低温起源”之说。目前，有些小册子还认为原始地球是“热”的，而不是“冷”的，这是一种过时的观点，与目前流行的“新星云说”是矛盾的。

原始地球是什么样子呢？许多科学家作过种种猜测。经过陨石和其它星体的类比研究得知，由内部放射物质放出来的热量，使地球加温，曾出现地球局部地区的物质软化、融熔、流动，产生过物质分异，促使地壳、地幔和地核的固体圈层的形成。之后，地壳分为大陆类型和大洋类型。几乎同时，地球上出现了大气圈层和海洋圈层，从而开始了地球表层的演化历史。

未来的地球将是什么样子呢？笼统的讲，未来的地球，将是历史地球与今日地球的自然延续。若以百万年计的时间尺度看，在数不胜数的星体之中，地球不是“老伯伯”，也不是“小娃娃”，而是一个“年富力强”的星球。地球还在活动，那巨大而悄悄移动的地球板块（每年几厘米），骤然一撼，使千百万人丧生于几秒几分之间的强烈地震（每年五级以上地震不下几百次），以及意大利、菲律宾和印度尼西亚那些间歇喷发的火山熔岩，正是地球充满活力的象征。即使若干个百万年后，地球会让东非裂谷劈裂出另一个大洋，或许让另一个喜马拉雅山平地拔起，这些也不过是地球漫长演化中的一个小小插曲，是任何一个短暂的生命所难以察觉和理解的。

有道是：说天道地破万书，孰冷孰热几时休？  
弹指桑麻寻常事，裂谷汪洋更风流。

让大自然按它固有的节奏发展，我们还是抓紧时间来探索地球的奥秘、还地球的本来面目吧！

## 第二讲 四十六亿（地球年龄）

上一讲，讲了地球的起源问题。那么，从固体地球形成直到地球现在这个样子，经过了多长时间？这就是地球年龄问题。

为了回答地球的年龄问题，天文学家、地质学家、地球物理学家曾想出许多方法，如“潮汐摩擦”、“溶盐输送”、“宇宙膨胀”、“海洋沉积”。但是，这些方法所得年龄相差很大，可以从几千万年到几十亿甚至上百亿年。为什么出现这种状况呢？因为大家都没有找到一个合适的大自然“钟”去为地球年龄计时。直到1896年，发现天然放射性衰变现象和规律，才使这个问题得到解决。

什么叫放射性衰变呢？拿 $^{238}\text{U}$ 来说，它是一种放射性衰变元素，它能不断地放出 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 等粒子，不断地从一种元素变成另一种元素，直到变成稳定的 $^{206}\text{Pb}$ 为止。这个衰变过程不受外界条件影响，能稳定地进行着。但是，不同元素的衰变有快有慢。铀—铅衰变过程就比较慢。它衰减为原来一半数量时所用的时间（半衰期）大约是45亿年，它与地球年龄极为接近，因此成为测定地球年龄的最理想的元素。在实际工作中，只要能准确测出样品所含的铀和铅的比例，则可算出这块样品的放射性年龄。

这里就产生一个问题：“你所测出的仅仅是一块样品的年龄，怎么能代表地球的年龄呢？”人们经常用成语“一叶知秋”来说明由局部洞察整体的道理。当然随意取一片叶子，是不能知“秋”的。同样，任意采一块含有放射性元素的石头，它的年龄并不总能反映地球年龄。因此，对样品有严格要求，并且还要结

合地球演化学说和地质变化情况，才能从岩石年龄对地球年龄做出估计。为了估计地球年龄，大致从以下四条途径入手：

第一，寻找地球上最古老的岩石，其年龄应为地球年龄的下限。如1976年，在我国的河北省迁西县找到一块石头，通过放射的铷-锶法测定，得出它的年龄为36亿年。1983年在澳大利亚的芒特纳里尔，采得一块石头，通过铀-铅法测定，得出它的年龄为42亿年。这就是目前所得地球年龄的下限，即地球年龄不小于42亿年。

第二，根据同位素周期系的性质估计地球的年龄，以此作为地球年龄的上限。据翁文波估计，地球的元素年龄约49—51亿年。这就是迄今为止我们所得地球年龄的上限，即地球年龄不大于49—51亿年。

第三，由地球铅的演化推算地球年龄。这是在所得地球年龄的上、下限之间利用地球的铅的演化直接推算地球年龄。例如，1966—1968年我国珠峰考察队的样品，采用一种叫做整合线的统计分析方法，得出地球年龄为44.9—45.9亿年。

第四，由陨石铅的同位素比推算地球年龄。这是在所得地球年龄的上、下限之间利用陨石铅的同位素比推算的地球年龄。我国科学工作者对吉林陨石雨的同位素年龄进行了测定，为 $45.5 \pm 0.7$ 亿年。自月球取回的土壤和岩石，经测定，其最大年龄约为46亿年。

有道是： 曲径通幽何处求？几多哲人愁白头。  
幸有铀铅作丹青，石迹天涯耿千秋！

据上述，我们可以在地球履历表的年龄栏内，工工正正地写上：46亿年。

### 第三讲 空中陀螺（地球自转）

由上一讲得知，地球年龄是46亿年。地球是怎样渡过这漫长岁月的呢？这里仅介绍它“生活”的一个侧面——自转。

自转，不仅是地球，而且几乎是所有星体的固有属性。人类对于地球自转的认识是有一个过程的。古人曰：“地体虽静而终日旋转，如人坐舟中而不觉。”（《尚书纬·考灵曜》）这是根据对天象的观察，并根据相对性原理做出的判断。19世纪，法国科学家傅科发明了一个长67m的专用摆，通过观测证实，地球向东旋转。从而做出地球自转的科学结论。目前，地球自转一周大约86400平太阳秒，自转轴的取向，大约是北极星的方向。那么，从古至今，从今往后，地球是否能一直处于如此位置和状态呢？

首先说说转动速度的变化。地球自转一周的时间，科学上叫“日长”。据古日蚀资料 and 古生物化石资料得知，遥远过去的日长比现在的短。如2—3亿年前的日长仅78840s。即，地球自转逐年变慢，其日长平均每百年增加2.8ms。人生不过百年，从一个人降临尘世到寿终正寝，日长仅仅增加1秒的千分之二三。如何察觉这微小变化呢？可以依靠高精度的时间服务系统（如铯原子钟）和高精度的测距仪器（如激光测距超长干涉仪）。北京天文台测量室就不断发布这方面的数据。如：1983年1月的地球转速测定为 $7.292114910 \times 10^{-5}$ 弧/秒，其相对变化为 $324 \times 10^{-10}$ 。

再说地球转轴方向的变化。先打个比方，儿童喜欢抽“陀螺”。陀螺是一个快速旋转的圆锥体。当陀螺转速变慢，且转轴有倾斜时，会在重力矩作用下，在地上绕大圈，转轴也在转动，转了几圈后，才慢腾腾地停下来。这在物理学上叫进动，即其转动轴在空间不停地改变方向。这种现象在天文学上叫岁差。由于地球自转所发生的进动，类似于陀螺，故本讲题目拟为“空中陀

螺”。

在地球自转轴方向的变化中，还有一个重要现象，叫晃动。地球物理学上属于一种自由运动，即在没有外力作用下，由于质量分布的改变而引起的运动状态的改变。这种晃动可以通过精确的纬度测量计算出来。晃动，体现为地极运动。最著名的晃动，是14个月周期的钱德勒晃动。实际上，地极位置无时无刻不在改变。如北京天文台测量给出1983年5月的地极位置为： $x = -213''$ ， $y = -263''$ 。地极位置的变化相当于地面几十米距离。此距离与地球相比，当然很小很小。但，这样微乎其微的变化是发生在质量为 $5.98 \times 10^{21}$ 吨，年龄达46亿年的庞大地球上，万不可小视啊！

有道是：坐地日行八万里，摘星将月醉陀螺。  
莫笑日长增毫秒，大物庞然尽汤沸。

山不厌尘，故成其大；海不厌细，故成其深。这种自转的微小变化，作为一种十分可观的地球动力源，被引入地球科学的许多领域，如自转与地震活动，自转与构造运动，自转与磁场变化……等。不过地球自转与这些现象的关系，还不十分明朗，有待人们去探索。

#### 第四讲 似梨非梨（地球形状）

“不识庐山真面目，只缘身在此山中”。人类居住在地球上，却久久不认识地球。对于地球形状的认识是有一个漫长的认识过程的。

最早，人们通过天文观测（日蚀，月蚀等），推测地球为球形；并通过天文-大地测量手段，得知地面沿经线变化1度的平均

长度约111.2km。我国早在唐代，天文学家张遂（僧一行）已独立得出该数值，但比真实值小20%。

后来，人们发现了地球的自转运动，并且把“重力”引入地球形状的研究，才逐渐认识到地球并不是一个正球体，而是一个赤道略凸、两极略扁的椭球体。人们曾形象地把它比喻为“桔子”。

本世纪50年代后，人造地球卫星上天。人们不仅可以从几十万公里的高空给地球拍摄照片，直接领略地球的形状，也可以通过卫星轨道摄动的测量，了解地球形状的细微变化。进而，在椭球认识的基础上发现地球南北形状不对称性，提出所谓“梨形”地球的新认识……。其实，地球基本上为球形。所谓“桔形”地球，其扁率〔定义为： $\frac{\text{地球长轴} - \text{地球短轴}}{\text{地球长轴}}$ 〕仅约为1/298。

所谓“梨形”地球，其北极距离地心比南极距离地心仅仅长出十几米。然而，人类要分辨出这十几米的变化，已付出许多代价，历经好几个世纪啊。

人们常常提出这样一个问题：地球表面崎岖不平，陆上有高山，海下有深沟，其变化已逾几千米。而所得“梨形地球”的南北两极高度差异，仅仅十几米，远远小于地形的起伏。研究这样小的变化有什么意义呢？应指出，在地球物理学及大地测量学中所讲的地球形状，绝非地球的自然表面形态，而是一个重力等位面，即大地水准面的形状。它在大洋里与一个平静的海平面重合，而在大陆上则是这个平静海平面的自然延伸。这个大地水准面的形状，是由地球整体的质量分布决定的，这样定义的地球形状，有着深刻物理含义和实用意义。

既然地球形状与地球整体质量分布有关，那么，如何由地球的形状研究其内部质量分布呢？让我们看一个例子：按照刚体转动理论，一个均匀球体的理论转动惯量  $c = 0.4ma^2$  ( $m$  为地球质量， $a$  为地球半径)。但是，根据一个椭球体在日月引力作用下

的进动速率计算，可以得到地球实测转动惯量  $c' = 0.3307ma^2$ 。为什么两者的转动惯量值不同，且实测值  $c'$  小于理论值  $c$ ？因为地球并不均匀，质量向中心集中。这个结论，进一步得到地震学、重力学和地球化学等多方面研究结果的支持。

有道是：远看桔梨近似无，大地深处有起伏。  
不愁不识真面目，放颗卫星览全球。

实际上，地球形状的研究还应包括固体潮汐、负荷潮汐和某些构造地带的局部变形研究。这些研究结果，不仅有科学价值，而且在地震预报和地表定位等方面都有实际价值。

## 第五讲 高山有根（地球重力）

前四讲，谈了地球四个整体性质。以下四讲介绍地球深部的四个特征。

自从牛顿提出万有引力定律，一切物质之间的互相吸引作用已被公认为普遍现象。地球是一个质量较大的星体，它对地面任何一个物体的吸引力，构成物体的重量，故称为“重力”。地球旋转的离心力，以及其它星体的引力，都影响重力的大小，但它们不及地球引力的  $1/300$ 。因此，地面测量的重力，主要反映地球内部的质量分布，并成为研究地下物质分布的重要手段。

重力对研究地下物质分布的贡献，应当首推地壳均衡模型的产生。大约19世纪50年代，一个英国大地测量队在印度北部进行重力测量。在重力测量中有一项测量叫“重力偏移”，它的原理与木匠师傅手中的铅锤线一样。在一般情况下，锤线应垂直向下；但是，当它靠近一座山时，由于山的质量的影响，该锤线应该向着大山所在方向偏斜。当时在喜马拉雅山一侧进行测量，发



现垂线虽然发生偏斜，然而比预期的数值小很多，仅为预期偏斜的三分之一。这种偏离预期数值的现象，称为重力异常；由于比预期值小，称为重力负异常。

如何解释上述现象呢？当时艾里等人提出一种假说。这个假说的大意是，把山脉比喻成冰山，它浮在较重的地幔流体层上，山越高，山侵入流体层越深，侵入的深度与山的高度成比例，并遵从阿基米德原理（山的重量和它排开的流体重量相等）。这就是地壳均衡假说。

这以后的几十年，地球物理学家在大陆和海洋进行了广泛的测量，都发现有这种重力异常现象。但是在海洋地区，与大陆不同，存在的是重力正异常，即其重力测量值比理论值大很多。综合大陆与海洋的重力测量结果，可以看到高山下面有轻物质，深海底下面有重物质。这样一来，地球上层的岩石层，则浮在它下面的岩层之上，地壳下边界的形状与地面形状，就象镜子中的像和人一样成“镜像对称”。因此，人们习惯地称之为“高山根厚、深海底薄”，随着高山变为海底，相应的，地壳则由厚层变成薄层。

有道是：高山不落下有根，海底不气底有盆。

均衡妙算在谁手？阿基米德与牛顿。

重力均衡假说不难从阿基米德浮力原理与牛顿引力定理得到解释。

## 第六讲 震波妙曲（地球分层）

地震，作为一种自然灾害，给人类带来了巨大损失。但大地震所产生的地震波，却可穿透地球，对内部结构进行透视，使我