

# 地球是怎样称量的

韩吉辰

(天津市红桥区地方志办公室 天津 300134)



我们人类居住的地球,是个非常巨大的球体。第一个测量出地球质量的人是谁?他就是英国科学家亨利·卡文迪许(1731~1810)。1798年,他通过巧妙实验,间接测量出地球巨大的质量数值,被人们誉为“第一个称地球的人”。

## 几乎无法攻克的难题

1731年10月10日,亨利·卡文迪许出生于英国的一个贵族家庭中,这个家族地位非常显赫,家财豪富。但是他从小却十分喜爱读书,富于幻想,求知欲强。青少年时期打下的牢固基础,对他一生中在科学上取得的成就有很大的作用。

卡文迪许生活的年代,正是自然科学飞速发展的时期,同时也面临着许多“难题”。其中“称出地球质量”就是最著名的一个。当时地球的半径经过测量和计算已经知道约6400千米;地球的表面积通过测量和计算,已经知道是 $5.1 \times 10^{14}$ 米<sup>2</sup>;地球的体积通过计算也知道为 $1.08 \times 10^{21}$ 米<sup>3</sup>,都是极其巨大的数字。那么,人们非常想知道:地球的质量是多少呢?

当时很多科学家都试图找到“称地球”的方法。有人提出使用计算方法:现在,地球体积已经知道了,再设法求出它的平均密度,然后利用质量=密度×体积的公式,就可以求出地球质量。这种利用物理学密度公式计算的方法,有一些道理。后来地球大气的质量,就是利用此法测量计算的。大气的密度随高度下降,大气质量的90%集中在离地表15千米高度以内,经过仔细测量计算,可以知道:地球大气的质量约为 $5.3 \times 10^{21}$ 克(约占地球总质量的百万分之一)。

可是这种利用物理学密度公式计算的方法,却

无法计算出地球实体的质量数值。原来地球的物理结构

非常复杂,构成地球各部分的密度不同、差别很大,况且地球中心的密度根本无法知道。所以有“权威”断言:人类永远不会知道地球的质量!

“万有引力定律”带来希望

首先向权威挑战的,是年轻的科学家牛顿。1687年他发现了万有引力定律:“任何两个物体都是互相吸引的,引力大小与这两个物体质量的乘积成正比,与它们中心距离的平方成反比。”用物理公式表示为: $F = G \cdot Mm/r^2$ 。牛顿高兴地发现,利用这个万有引力定律公式可以求出地球质量来!你看:公式中 $M$ 表示地球的质量数值, $m$ 表示地面一个已知物体的质量数值, $r$ 表示它们中心的距离(就是地球半径的数值),万有引力 $F$ 的大小就是物体 $m$ 受到的重力数值。这样可以计算出地球质量 $M$ 的数值啊!

但是细心的读者发现,利用这个“万有引力定律”公式还有一个条件:必须得到“万有引力系数” $G$ 的数值。也就是说,必须在地面直接测量出两个物体之间的引力数值。

牛顿精心设计了几个实验,企图在地面测量两个物体之间的引力,可惜都失败了,经过粗略推算,牛顿发现一般物体之间的引力极其微小,以至根本测不出来。失望之余,已经成为新权威的牛顿,也当众宣布:在地面想利用测量引力,利用这个万有引力定律来计算地球质量的努力,将是徒劳的!

1750年,法国科学家布格尔兴师动众到南美洲

间。目前世界上的授时网站已有100多个。

## GPS系统

全球卫星定位系统(GPS)是目前具魅力的网络系统,24颗“Navstar”卫星构成了GPS系统的重要组成部分,卫星每12小时环绕地球一周,其队形能确保地球上的任何一点每时每刻都可与至少4颗卫星

保持无线电联络。第一颗卫星于1978年发射升空,到1993年24颗卫星全部到位。GPS的接收装置必须知道卫星的准确位置,卫星也必须保持可靠且精度极高的时间。在这里,精确度是由每颗卫星携带的4个原子钟来保证的,原子钟在GPS中有着极其重要的地位。

的厄瓜多尔,登上陡峭的琴玻拉错山顶,沿着悬崖吊下一根铅垂线。他想:铅球的质量已知,山体的质量可以计算出来,只要测量出铅球因为受到山体的吸引偏离的角度,就可以得知山体和铅球之间的引力大小,进一步再推算出地球的质量。“铅垂线法”的实验原理是对的,可惜多次都失败了。因为山风和各种振动的影响,远远超过山体和铅球之间的微小引力,实验没有取得任何有意义的数据。

1774年,英国科学家尼维尔·马斯基林又在柏斯郡的一座陡峭悬崖上,利用“铅垂线法”精心测量,采取一些避风和防震动的措施,但是,“铅垂线法”的结果还是失败了。

微小引力被“放大”了

“称地球”这一科学难题,强烈吸引着年轻的卡文迪许。卡文迪许22岁毕业于剑桥大学,从此走上研究科学的道路。他第一个发现了氢元素;通过氢和氧的火花放电得到水;通过氧和氮的火花放电得到硝酸……被人们誉为“一台最有效的机器”,29岁加入英国皇家学会,成为有影响的科学家。但是卡文迪许却念念不忘这个著名的科学“难题”:称地球!

在前人研究成果的基础上,卡文迪许开始了新的攀登。他做了哪些艰苦的努力呢?

“工欲善其事,必先利其器”。1750年,年仅19岁的卡文迪许听到一个消息:剑桥大学的约翰·米歇尔在研究磁力时,使用一种新的测力方法:用一根细绳将细长的磁针从中间吊起来,利用细绳的扭转程度表示力的大小。卡文迪许专程前往求教,仔细观察、认真学习了这套装置。

卡文迪许利用米歇尔的装置,设计出测量微小引力的新方法,将两只小铅球装在一根细长杆的两端,做成一个“哑铃”样的东西,用一根细丝从中间吊起“哑铃”,实验时再用两个大铅球分别去靠近小铅球。由于大小铅球之间万有引力的作用,“哑铃”将有微小的转动,仔细测量细丝扭转的程度,就可以计算出大小铅球之间的引力,从而推算出地球的质量。但他多次实验却不能成功。为什么呢?现在我们知道:两个1千克的铅球,相距10厘米时,吸引力只有十亿分之一千克!要测量出这么极其微小的力,谈何容易!

卡文迪许陷入了长期苦闷之中,他想:实验时细丝肯定发生了扭转,只是太小太小,肉眼观察不出来。能不能把微小的扭转加以放大呢?可是用什么办法呢?卡文迪许冥思苦想。有一天,他去皇家学

会活动,路上看见几个小孩正在做游戏:用手中的小镜反射太阳光,互相照着玩,小镜只要稍一转动,远处光点的位置就发生很大的变化。卡文迪许的脑海中迸发出一个明亮的火花:“小镜!光点!小镜!光点!”他叫出了声!

卡文迪许马上跑回实验室,动手修改仪器装置,他将一个小镜固定在细丝上面,用来将一束光线反射到一个刻度尺上面。这样,只要细丝有一极其微小的转动,刻度尺上的光点就会有明显的移动,仪器的灵敏度大大地增强了。卡文迪许又进一步设法解决了仪器的各种干扰问题,例如空气流动和震动的影响。这套经过改进可以测量微小力的仪器,定名为“扭秤”,现在仍然在精密实验中发挥着作用。

终于称出了地球质量

卡文迪许利用“扭秤”终于称出地球的质量,1798年,他公布了地球巨大的质量数值,这时他已经白发苍苍,67岁高龄了。地球质量多大呢?是 $5.977 \times 10^{24}$ 千克,就是60万亿亿吨。

地球质量已知,地球的平均密度就可求出来:现代测定的地球平均密度为5.517克/立方厘米;而地球表层密度仅为2.5~3克/立方厘米,这样我们就可以推算出地球中心的密度达7~8克/立方厘米,远比地球表层为大,可能由铁、镍等重物质组成。

不久,利用同样的方法,测量出太阳更加巨大的质量,是地球质量的30万倍,为 $2 \times 10^{30}$ 千克。接着太阳系其他行星的质量也陆续被测量出来。万有引力定律不断得到了物理实验的验证,万有引力系数 $G$ 的数值也越来越精确地测量出来,成为重要的物理参数之一,在现代航天航空技术中有极其重要的作用。卡文迪许的“扭秤”实验成果有力地推动了科学技术的发展。

1810年3月10日,卡文迪许在伦敦逝世,终身未婚。他和他设计的“扭秤”一同载入科技史册,被人们誉为“第一个称地球的人”!人们为纪念这位大科学家,特意为他树立了纪念碑。剑桥大学还把卡文迪许工作过的实验室命名为卡文迪许实验室,这个实验室造就了不少有名望的物理学家。卡文迪许可算是一位活到老、干到老的学者,直到79岁高龄,逝世前夜还在做实验。他一生获得过不少外号,有“科学怪人”“科学巨擘”“最富有的学者、最博学的富豪”等。他那勤于学习,善于思考,勇于探索的精神永远值得我们学习!