

# 重力加速度绝对测定的新进展

李 德 禧

(中国计量科学研究院, 北京 100013)

本文简述了重力加速度  $g$  绝对测定的历史、现状、三次国际绝对重力仪的比对(特别是 1989 年第三次国际比对)和最新观测结果。

## Abstract

The history and progress of the absolute determination of the acceleration due to the earth's gravity are described briefly. The results of recent international comparison of absolute gravimeters throughout the world are presented.

## 一、历史的回顾

重力加速度  $g$  (对单位质量而言, 重力加速度亦可用重力表示) 测定是一古老而新颖的课题。人类生活在地球重力场中, 一切物体都受着地球重力场作用, 了解地球重力场的分布及其变化乃是自然科学的基础, 许多学科(如天文、气象、空间、海洋、地震、地质、勘探、地球形状、地球物理、地球动力学、物理、计量等)的精细研究, 都需要有精确的重力值。精确测定地球重力加速度  $g$  值, 是物理学工作者的重要研究课题。

重力是指地球引力和地球自转离心力的合力。凡是一切与重力有关的物理现象都可用来测定重力。伽利略首先发现落体规律后, 人们对重力值作过各种方法的测定, 如斜面法、液面旋转法、摆法等<sup>[1]</sup>。到 1906 年, 以德国大地测量学家用可倒摆在波茨坦测得的重力值为最准, 当时给出的准确度是  $\pm 3000\mu\text{Gal}$  ( $1\mu\text{Gal} = 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  称 1 微伽), 并以波茨坦为世界重力原点, 建立了世界重力网, 称为波茨坦系统重力网。随着科学技术的进步, 后来各国科学家们的精确测定证明波茨坦系统重力值存在严重的系统误差, 其重力原点处重力值系统偏高约  $14000\mu\text{Gal}$ , 故 1968 年国际上宣布废除波茨坦重力系统, 并确立国际计量局 (BIPM) 法

国巴黎赛佛尔 (Sevrés)  $A$  点为新的世界重力原点, 建立了新的世界标准重力网, 简称 IGSN-71 重力网。

20 世纪 60 年代以来, 进行绝对重力测量开始时有英国、美国、(原)苏联、(原)民主德国、(原)联邦德国、法国 (BIPM)、加拿大、意大利、中国、日本和澳大利亚等十一个国家, 但后来只有法国 (BIPM)、美国、(原)苏联、中国和日本等五国能独立研制高精度绝对重力测定仪器。

当代重力准确绝对测定都是采用物体在重力场中作自由运动, 又细分为“对称自由运动”

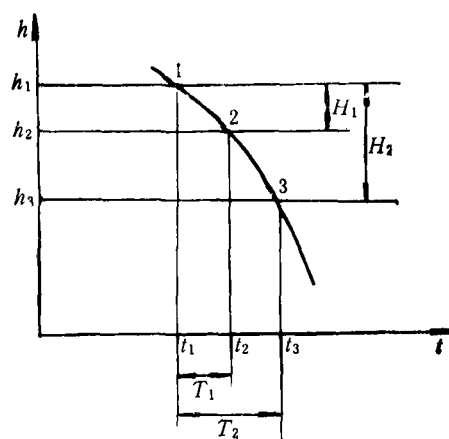


图 1 下落示意图

$h$  为距离;  $t$  为时间;  $g = \frac{2(H_2/T_2 - H_1/T_1)}{T_2 - T_1}$

(简称“上抛”)和“简单自由下落”(简称“下落”)两类,见图 1 和图 2。

以稳定的氦氖激光为长度标准用光学干涉方法精确测量距离,以稳定的铷原子钟为时间标准用时间测小数方法或用时间脉冲和激光干涉带信号相符合的方法精确测量时间,在减小和排除一切非重力影响因素干扰后,利用测得的时间和距离导出精确重力值。由于当今高速电子测时技术使时间测量准确度优于  $\pm 1\text{ns}$  和激光干涉技术使测 1m 长的准确度可达  $\pm 1\text{nm}$ ,加之采用当代电子计算机技术和用最新技术成就在减少或排除诸如静电、弱磁、大地脉动等各种干扰后,有可能使重力值绝对测定准确度达  $\pm 1\mu\text{Gal}$ 。

人们在重力值绝对测定研究方面的另一个

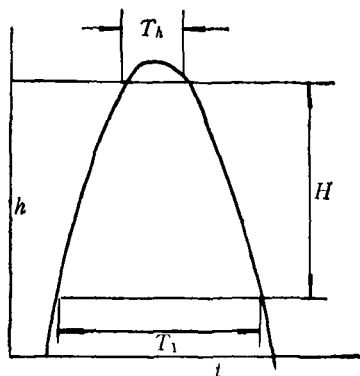


图 2 上抛示意图

$h$  为距离;  $t$  为时间;  $g = \frac{8H}{T_1^2 - T_A^2}$

巨大进步是高精度可移式绝对重力仪的出现,首先是 1967 年美国研制出可移式绝对重力仪,仪器的测量准确度约为  $\pm 80\mu\text{Gal}$ 。由于可移式绝对重力仪的出现,使人们实现了绝对重力仪的相互比对,首先实现相互比对的是 1968 年美国标准局的 Faller 仪器越过大西洋和英国皇家物理实验室的 Cook 仪器、法国国际计量局的 Sakuma 仪器进行比对。当时可移式绝对重力仪的准确度为  $\pm 60\mu\text{Gal}$  左右,其“上抛”和“下落”的两个方案测量结果之差在允许误差范围之内,表明一致性较好。美国 Faller 仪器为建立新的世界标准重力网 IGSN-71 作出了

贡献,到 70 年代,意大利计量研究所 (IMGC) 在国际计量局 Sakuma 博士的帮助下,于 1976 年研制成世界上第一台测量精度最高(近  $\pm 10\mu\text{Gal}$ ) 可移式绝对重力仪,并先后多次去 BIPM 国际重力原点处与 Sakuma 的仪器进行比对。

中国计量科学研究院于 1964 年底开始研制绝对重力仪,1975 年研制成“下落”法固定式绝对重力仪,其测量准确度为  $\pm 100\mu\text{Gal}$ ; 1979 年底研制成可移式绝对重力仪 NIM-I,其测量准确度达  $\pm 20\mu\text{Gal}$ ; 1980 年 NIM-I 型仪去巴黎 BIPM 重力原点处进行国际比对,比对结果表明仪器测量准确度已达  $\pm 14\mu\text{Gal}$ 。

为评定当代各国绝对重力仪的测量准确度,为建立世界高精度(准确度优于  $\pm 10\mu\text{Gal}$ ) 绝对重力基准网 (IAGBN),统一国际标准重力值,检定相对重力仪和研究地球重力场的长期变化是必要的。到目前为止,国际上已组织过三次国际绝对重力仪的大比对活动。

## 二、历次绝对重力仪国际比对情况及重力加速度绝对测定新进展

国际比对目的是把各国不同方案和特点的仪器集中起来,在几乎相同时间、地点、环境等条件下进行测量,看其测量值是否一致,其测量差值是否落在仪器的允许误差范围之内,从而发现某些仪器是否有严重系统误差。

1981 年在 BIPM 进行了第一次国际绝对重力仪大比对,参加的仪器有(原)苏联一台、美国两台和法国 BIPM 一台,这次比对表明美国空军地球物理研究所 Hammond 的仪器测值比总平均值偏高  $49\mu\text{Gal}$ ,远远超出仪器本身允许的  $\pm 10\mu\text{Gal}$  误差范围。

为进一步研究不同绝对重力仪的测量值差异,1983 年在(原)联邦德国汉堡举行的国际重力委员会上决定于 1985 年 6—7 月在 BIPM 举行第二次国际大比对。这次比对参加国仪器有法国 BIPM 一台,美国两台,中国、(原)苏联和意大利各一台,共测了七个点值。比对结果列

表 1

国 别	测量方案	测量值 ( $\mu\text{Gal}$ )	测量准确度 ( $\pm\mu\text{Gal}$ )	与各国测量平均 值之差 ( $\mu\text{Gal}$ )	
法国 BIPM	上抛	980925976.7	5.6	-24	(1)
意大利	上抛	5995.7	5.3	5.4	
美国 (Faller)	下落	5999.5	7.6	-1.2	(2)
苏联	下落	6002.6	5.6	1.9	
苏联	下落	6001.8	6.1	1.1	(3)
美国 (Zumberge)	下落	6013.6	6.6	12.9	
中国	下落	6015.4	13.8	14.7	

于表 1。

所有测量结果平均值为  $\bar{g} = 980926000.7 \mu\text{Gal}$ , 准确度为  $\sigma = \pm 12.8 \mu\text{Gal}$ 。

此次比对结果表明, 各国仪器测量值彼此差异很大, 出现了严重的仪器分群现象。仪器分成三组 [见表 1 中的 (1)(2)(3)], 其中测值最大与最小之差达  $38.7\mu\text{Gal}$ , 差值是相当大的。

为寻找第二次国际比对仪器分群原因, 负责组织比对和评定绝对重力仪的特别研究组 SSG 3.87 要求参加第二次国际比对的各国绝对重力仪回国后继续作研究实验工作, 为第三次国际比对作好准备。

1989 年 11 月 15 日—12 月 5 日在巴黎 BIPM 举行了第三次国际绝对重力仪大比对 (ICAG-1989), 当今世界上所有拥有绝对重力仪的美国、(原)苏联、中国、法国 (BIPM)、意大利、日本和从美国进口绝对重力仪的奥地利、加拿大、原联邦德国、芬兰共十个国家都参加了这次比对活动。

这次比对按比对时间分两组进行。比对点位集中在 BIPM 三个房间内共五个绝对重力测量点。点位基本上是新建的, 个别点是改建的, 点位基础坚固, 近表面灌以水泥和配有明显的测点中心标志, 在同一屋内的点位彼此相距很近。点位垂直重力梯度和点位间的水平重力差由七台先进的带有电子反馈的拉科斯特相对重力仪进行反复多次精确测量并建立了包括五个比对点位离地面 0.05m 处和离地面 0.85m 处的两个微伽级重力网 (见图 3), 以便使各国绝对重力仪在有效高度测值归算到地面, 然后再由各地面点位统一归算到共同点 A, 以保证

物理

各国仪器测值的可比性 (见图 4)。此外, 每个测点的地理坐标 (经度、纬度) 和高程均由 BIPM 精确测定后给出。比对前和比对后 BIPM 对各国重力测量用的长度标准和时间标准都一一进行了严格的检查标定。各国测量的修正项如重力垂直梯度、点位间水平重力差、固体潮、气压、极移等均由 BIPM 统一给出修正值或统一计算公式。

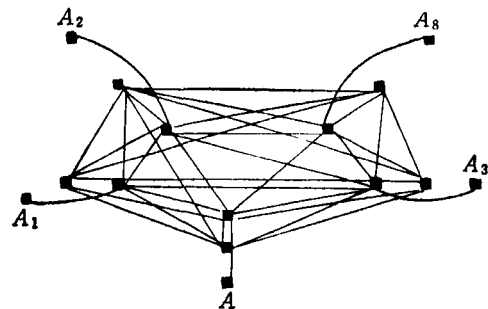


图 3 微伽级重力网

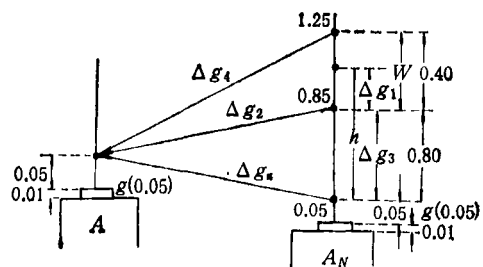


图 4 各比对点位统一归算到共同点 A

$A_N$  为点位号;  $g$  为重力;  $h$  为高度;  $\Delta$  为差值;  $W$  为重力梯度

各参比国家测量结果见表 2。

十个国家的绝对重力仪在 BIPM 共进行了 43694 次观测 (包括“上抛”和“下落”)。各比对点测值统一归算到 A 点离地面 0.05m 处的

表 2

国 别	测 量 点	测量值 ( $\mu\text{Gal}$ ) (归算到 A点离地面 0.05m 处)	测量准确度 ( $\pm\mu\text{Gal}$ )	与各国测量平均 值之差 ( $\mu\text{Gal}$ )
奥地利	$A_2$	980925975.9	4.3	1.1
	$A_3$	72.1	4.3	-1.7
加 拿 大	$A$	81.5	1.8	6.7
	$A_1$	82.0	1.8	7.2
	$A_3$	78.9	1.9	4.1
中 国	$A_1$	67.8	6.4	-7.0
	$A_3$	68.3	8.0	-6.5
芬 兰	$A_3$	67.9	3.3	-6.9
	$A_2$	67.2	3.3	-7.6
(原)联邦德国	$A_1$	70.1	3.2	-4.7
	$A_1$	69.9	4.8	-4.9
	$A_3$	84.5	4.8	9.7
法国 (BIPM)	$A$	63.5	1.5	-11.3
意大利	$A_3$	63.8	5.8	-11
日 本	$A_2$	79.2	17.9	4.4
	$A_3$	77.6	14.1	2.8
美 国	$A_2$	79.7	3.0	4.9
	$A$	86.9	4.4	12.1
(原)苏联	$A_3$	84.1	4.7	9.3

重力值为  $g = 980925974.8 \mu\text{Gal}$ 。

测量准确度为  $\sigma = \pm 7.4 \mu\text{Gal}$ 。

第三次国际绝对重力仪大比对的工作很严谨细致。这次比对表明,当今世界绝对重力测量准确度已达优于  $\pm 10 \mu\text{Gal}$  的水平。比对还表明,当今各国绝对重力仪,特别是下落法绝对重力仪,在保证测量高精度条件下的可移性、自动化、高效率等方面均较过去有很大进步和提

高。中国可移式绝对重力仪能在野外(无电,无房)自行创造测量条件下进行高精度绝对重力观测,引起国际同行专家的很大兴趣和关注。这次比对表明,当代可移式绝对重力仪可用来建立优于  $\pm 10 \mu\text{Gal}$  高精度世界绝对重力基准网 IAGBN, 以满足多学科不同目的的研究需要。

[1] 方俊, 重力测量与地球形状学(上册), 科学出版社, (1965)。

[2] 李德福, 地球物理学报, 31-2(1988), 231。

## 欢迎订阅中国物理学会主办的《物理》

(月刊, 邮发代号 2-805, 国内外公开发行)

您要了解当代物理学的最新进展和动态, 请订阅中国物理学会主办的通报类月刊《物理》。

《物理》——面向全体物理工作者, 包括在科技界、工业界以及与物理学有关的交叉学科、高技术领域从事研究、数学、应用开发、科研管理的人员, 高等院校物理系的教师、研究生和大学生。

《物理》——宗旨是深入浅出地介绍当代物理学及其交叉学科的新知识和新进展, 介绍与物理学关系密切的高技术领域的新成就和具有显著经济效益的应用物理内容, 介绍物理学史、物理学家、前沿领域动态和中国物理学会活动等。

《物理》——主要栏目有《知识和进展》、《物理学和经济建设》、《物理学史和物理学家》、《前沿和动态》、《读者和编者》等。

《物理》——科研工作的响导, 继续教育的良师, 教学工作的助手, 高技术研究、应用、开发的益友。

《物理》订阅办法: 请按预订期刊的时间到当地邮局联系预订, 预订时只需将《物理》的邮发代号 2-805 告诉邮局即可。1993 年期刊预订工作即将开始, 热情欢迎科研单位、学校和工业界(包括工厂、公司)的图书馆、资料室订阅《物理》。

(本刊编辑部)