

贝尔雷斯金属零长弹簧自动重力仪

曾华霖¹ 赵育刚²

(1. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院 教育部地下信息探测技术与仪器重点实验室, 北京 100083 2. 北京桔灯导航科技发展有限公司, 北京 100085)

摘要 美国零长弹簧公司(Zero-Length Spring Corporation)生产的贝尔雷斯(Burris)金属零长弹簧自动重力仪,是拉科斯特-隆贝格(LaCoste & Romberg)陆地重力仪的升级产品和重大改进。该仪器具有以下三大特色:先进的 Ultra-Grav™ 控制系统、世界的测量范围、完全综合的整体设计。介绍了零长弹簧思想的提出及拉科斯特-隆贝格重力仪的生产过程。

关键词 金属零长弹簧;重力仪;生产历程

中图分类号:P631.1 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2006)06-0562-03

70多年前,零长弹簧思想的提出,开创了重力仪设计制造的新纪元。根据这一思想设计制造的拉科斯特-隆贝格(LaCoste & Romberg)重力仪(以下称为L-R重力仪),多年来一直是世界上主要的重力测量工具,在陆地、航空、海洋及井中重力测量中发挥关键作用。1995年,世界杰出的重力仪专家,零长弹簧思想的提出者和L-R重力仪的设计者,美国Lucien LaCoste不幸辞世后,L-R重力仪还在不断发展。笔者将根据拉科斯特-隆贝格重力仪公司的第一手材料,介绍零长弹簧思想及L-R重力仪的历史,进一步介绍由Lucien LaCoste命名,由他的亲密同事们创办的零长弹簧公司及其设计制造的新型L-R重力仪—Burris重力仪。

1 零长弹簧

在天然地震学研究的初期,用水平摆地震仪测量长周期的水平运动。当摆的旋转轴线接近铅垂方向时,周期增长。理论上,如果旋转轴处在铅垂方向时,周期为无限大^①。

1932年,美国Texas大学的Arnold Romberg向他的学生Lucien LaCoste提出一个问题:如何设计一台垂直地震仪,而且具有与水平摆地震仪同样好的特征。下面是Lucien LaCoste的设计。

垂直地震仪弹簧的悬挂方式如图1^①所示。秤臂及重荷W受2个力矩的作用:重力矩和弹力矩。如果秤臂处在任意位置这2个力矩彼此平衡,则这

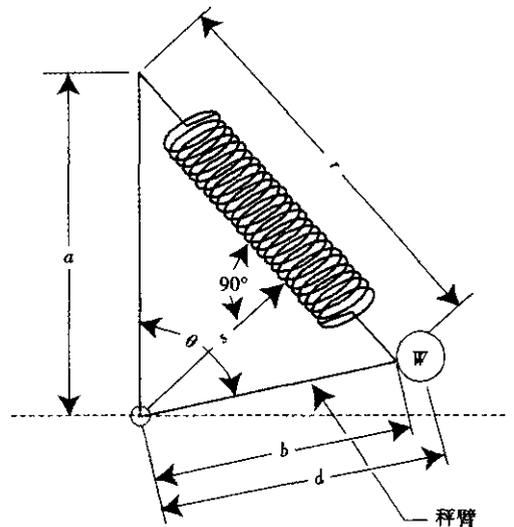


图1 重力仪(垂直地震仪)传感系统原理

个系统将具有无限大的周期,重力的微小变化将引起秤臂发生很大的偏转。

重力矩为

$$T_g = Wd \sin \theta, \quad (1)$$

弹力矩为

$$T_s = kns - kabs \sin \theta. \quad (2)$$

式中 k 是弹簧的弹性系数, s 是弹力臂, d 是重荷到秤臂旋转轴的距离, n 是不受国时的弹簧长度, a 是主弹簧长端到旋转轴的铅垂距离, b 是秤臂的长度, θ 是秤臂与铅垂线的夹角。重荷及秤臂受到的总的力矩为

① LaCoste & Romberg. Instruction Manual, Model G & D Gravity Meters, 2002.

$$T_0 = T_g + T_s = Wd \sin \theta + kns - kabsin \theta = kns + (Wd - kab) \sin \theta \quad (3)$$

在下列条件下,对于所有的 θ 角,这个方程式表示的力矩为零

$$n = 0, Wd - kab = 0,$$

即秤臂处在任意位置这2个力矩彼此平衡,则这个系统将具有非常高的灵敏度。

如果要求 $n = 0$,必须要有一条“零长度的弹簧”或“零长弹簧”,即一条弹簧的弹力—弹簧长度关系曲线通过原点,或者至少通过靠近原点的点。如果一条螺旋弹簧在不受力时它的线圈彼此压在一起,便制成了零长弹簧。

制造零长弹簧有几种方法,其中一种是把制成的弹簧反绕,形成一个预应力^①,这样制成的弹簧实际上是“负长弹簧”,也就是在L-R重力仪中使用的弹簧。我国自己生产的ZSM石英零长弹簧重力仪就是采用这样的方法制造零长弹簧^[1]。

2 拉科斯特-隆贝格重力仪

L-R陆地重力仪是根据零长弹簧悬挂的思想制造出来的。这种悬挂方式使得重力仪对于重力的微小变化非常灵敏,而且尺寸非常紧凑。基本零件(的尺寸)是一个每边大约5 cm的立方体^①。

1937年和1938年,在Texas大学任教的Lucien LaCoste和Arnold Romberg研制出头2台重力仪。第一台重约125磅(57 kg),第二台重约100磅(45 kg)。1939年研制出第一台生产型重力仪,重约75磅(34 kg)。从1939到1941年生产了大约45台。这些重力仪没有密封以防止气压的变化,而是采用气压补偿以消除空气压力变化引起的浮力效应。其测量范围为100 mGal;经过调测程,可以在地球表面的任何地方测量。

1941和1957年间制造的大约80台重力仪,每台重约11 kg,测量范围为200 mGal。至2002年,这些仪器中有几台还在工作。

1957年制造出测地型重力仪。这些仪器不用调测程就可以在世界范围测量。8台重力仪利用了上述25磅重仪器的部分零件,尺寸也相同。测量范围为6 000 mGal。

后来,对重力仪进行了小型化,并作出了一些改进。于是,1959年,G型重力仪诞生了。因为采用6 000 mGal的测量范围,在Andes山顶上的某些地方还不能进行测量,所以设计了7 000 mGal测量范围的仪器。它们重约3.6 kg,安装在白色纤维玻璃箱中,用坚固的泡沫隔离,电能的消耗也降低了。仪

器被密封,不会受到气压变化的影响。到1990年底,生产了980台G型重力仪,而且直到2002年,几乎所有的仪器仍然还在工作。

D型重力仪的许多部分与G型相同:相同的弹簧、秤臂及重荷。然而,D型重力仪有2个测微螺丝用于仪器的零点读数:一个调测程的粗螺丝,具有世界范围的测程;一个读数用的细螺丝,具有200 mGal的测量范围。1968年制成第一台D型重力仪,到1990年,已经生产了170多台。

根据Chapin(1998)的介绍^[2],到1998年L-R公司已经生产了大约1 500台陆地、航空、海洋及井中重力仪。

2002年,L-R公司已经对G及D型重力仪做出改进,包括在仪器中增加了线性静电反馈归零功能;D型重力仪已经有了细的和粗的经过校准的测微螺丝,提高了在测地工作中的精度。还计划研究内部微处理器,以用于电子调平,shaft编码,存储校准因子(格值),温度传感器,时钟及观测数据的存储。

现在这些改进项目已经在Burris重力仪中实现了。据报导^[3],从2005年6月开始,LaCoste & Romberg公司与绝对重力仪公司Micro-g Solutions公司合并,命名为“Micro-g LaCoste-A Division of LRS”。在该公司的产品清单中,不再包括L-R型陆地重力仪,而由参加公司重组的加拿大Scintrex公司生产CG5型石英重力仪。

3 零长弹簧(ZLS)公司和Burris重力仪

1991年,3位来自世界最著名的L-R公司的负责人及技术骨干,包括原L-R公司负责重力仪生产的副总裁,原L-R公司研究及开发部的负责人,被称为世界上最有经验的金属弹簧重力仪设计师以及负责原L-R公司重力仪电子及控制系统的高级科学家,创办了根据Lucien LaCoste的建议命名的零长弹簧公司(Zero-Length Spring Corporation),下面简称为ZLS公司^[4]。

1999年7月,ZLS公司推出公司成立以来的第一件产品——具有UltraGrav™控制系统的新型自动重力仪,即贝尔雷斯(Burris)金属零长弹簧自动重力仪。实际上,这是一台升级的L-R陆地重力仪。

由于L-R公司与Micro-g Solutions公司合并,停止生产L-R型陆地重力仪,因此,Burris重力仪是现今唯一继续生产的L-R类型陆地重力仪。

① LaCoste & Romberg. Instruction Manual, Model G & D Gravity Meters. 2002.

4 Burris 重力仪的特点

Burris 重力仪是对 L-R G、D、S 型陆地重力仪的继承和重大改进,上面叙述的 L-R 公司企图对 L-R 陆地重力仪进行的改进项目,在 Burris 重力仪中,都已经完成了。

Burris 重力仪是利用了最新和最先进的数字化技术的自动化陆地重力仪,具有以下三大特色:先进的 UltraGrav™ 控制系统,全世界的测量范围,完全综合的整体设计^[4]。

Burris 重力仪的主要特点如下^①。

(1) 高质量及高精度。采用的金属零长弹簧具有特别低的弹性滞后及零点漂移。成熟仪器的零点漂移小于每月 0.300 mGal;第一台样机的零点漂移达到每月 0.030 mGal;用测微螺丝确定格值,能够得到优于 0.003 mGal 的标准差。

可以通过 UltraGrav™ 控制系统选择工作需要的精度水平。例如,采用较低精度可以提高读数速度,在同一时间完成更多的测点。

(2) 目前世界上最轻及最牢固的陆地重力仪。

(3) 固体潮监测 0.002 mGal 的分辨率。

(4) 1 μGal 的读数分辨率。

(5) 初学者及熟练专家都可方便使用。初学者通过自动读数可以方便地操作仪器,而熟练专家可以根据自己的需要选择操作内容

(6) 自动读数、记录(存储)、计算及显示观测值、固体潮值和倾斜校正值,这样作可以避免人为记录错误,并节省抄写开支。

(7) 调平系统快速而易于使用。

(8) 所有传感器、电子器件、计算机及电池装在一个箱中,不再花时间取出及放入仪器。

(9) 全天候工作。

详细情况请参阅重力仪说明书。

参考文献:

[1] 林润南. ZSM 型重力仪的使用与维护 [M]. 北京:地质出版社, 1983.

[2] Chapin D. Gravity instruments: Past, present, future [J]. The Leading Edge, 1998, 17(1): 100.

[3] Micro-g LaCoste, Company [EB/OL]. <http://www.lacostero-mberg.com> 2006-06-16.

[4] ZLS Corporation, Company Profile [EB/OL]. <http://www.zlscorp.com> 2006-06-29.

[5] 内特尔顿 L L. 石油勘探中的重力法和磁法 [M]. 苏盛甫,高明远译. 北京:石油工业出版社, 1987.

THE AUTOMATIC BURRIS METAL ZERO-LENGTH SPRING GRAVITY METER

ZENG Hua-lin¹ ZHAO Yu-gang²

(1. Geo-detection Laboratory Ministry of Education, School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China 2. Beijing Orangelamp Navigation Technology Development Co., Ltd. Beijing 100085, China)

Abstract: This paper describes the automated Burris metal zero-length spring gravity meter produced by the Zero-Length Spring Corporation, USA, which is an upgrade of LaCoste & Romberg land meters. The new land gravity meter features the UltraGrav™ control system, worldwide range with micro-Gal precision, and a fully integrated meter design. This paper also deals with the concept of the zero-length spring and the history of LaCoste & Romberg land meters.

Key words: metal zero-length spring, gravity meter, production course and history

作者简介: 曾华霖 (1939 -) 男, 教授。1960 年毕业于北京地质学院构造(石油)物探专业。长期从事重、磁资料数据处理、解释及应用方面的教学与科研, 在国内、外发表论文数十篇, 论著数本。

① ZLS Corporation, Automatic Burris Gravity Meter™, UltraGrav™ Central System, User Guide.