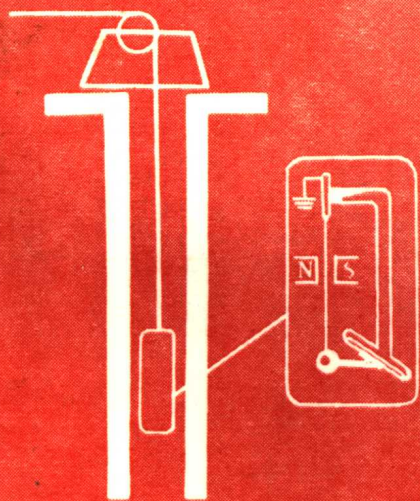


高等学校参考书

井中和坑道重力测量

徐公达 周国藩 编

地质出版社



1-821

高等学校参考书

井中和坑道重力测量

徐公达 周国藩 编

地质出版社

内 容 提 要

本书简略地介绍了地下重力测量(包括钻井、竖井及坑道中的重力测量)的发展现状;分析了目前实际应用的几种井中重力仪的工作原理和特点;扼要地叙述了地下重力测量野外作业中应注意的一些问题;较为系统地分析了地形、地貌等外界因素对观测结果的影响及其校正方法;还讨论了自然界常见的几种简单形体的视密度分布特征(即理论的密度异常曲线特征);通过几个矿区的实例介绍了地下重力测量的实际效果和应用前景。

该书内容比较系统、全面,文句简洁,避免了较繁杂的数学推导。本书既可以作为高等地质院校应用地球物理专业本科生的教学参考书,也可供具有中专以上文化水平的从事矿产资源勘查或地质调查的科研和生产技术人员参考。

高 等 学 校 参 考 书 井 中 和 坑 道 重 力 测 量

徐公达 周国藩 编

责任编辑 袁 方

地质出版社出版

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: 4.0625 字数: 103000

1989年9月北京第一版·1989年9月北京第一次印刷

印数: 1—720册 定价: ~~2.20~~元

ISBN 7-116-00496-3/P·421

前 言

井中重力测量和坑道重力测量可统称为地下重力测量。

井中重力测量可分为钻井重力测量和竖井重力测量。两者都是将重力仪放入井中进行离散点的重力测量。由于钻孔的井径较小，加上井深及泥浆等因素，要求采用直径小、耐高温高压、自动调平的钻井重力仪进行测量，而竖井中则可直接采用地面常用的重力仪进行测量。井中重力测量的结果，主要受探测对象与测点间垂向距离变化的影响，因而可用以研究密度的垂向变化。此外，重力读数的变化是由大体积岩石引起的，因而在利用钻井重力测量确定岩石密度变化时，其最大的特点是探测范围大，基本不受井径变化的影响，并是唯一能在下了套管的井中测量井壁围岩密度的方法。井中重力测量的结果能用来确定地面重力资料解释时所需的密度值；探测隐伏的地质体；在油、气储层中，用来确定孔隙度，判定流体密度的改变，以对潜在开采量作出评价；在油、气开采中，可对流体饱和面进行监测；亦可用来确定反射地震学中的波阻抗。

坑道重力测量是利用地面常用的重力仪在坑道中进行水平重力测量及重力垂直梯度测量。它与地面重力测量相比最大的不同是探测对象既可在观测面之下，亦可在观测面之上。此外与探测对象相距很近，且受地面地形起伏的影响较小。坑道重力测量的结果可用来寻找深埋地下较小的盲矿体；推断主要的地质构造和岩性界线；在有多层坑道时，能提供地下三维密度分布。

编写本书时，为反映当代地下重力测量的进展，尽可能地收集了有关资料。刘北京、白云、谢文杰三位同志为此做了大量的

工作，在此谨表示衷心的感谢。由于地下重力测量涉及的问题较多，编者又缺乏实际经验，所引述的材料难免有挂一漏万或不尽妥善之处，恳请读者批评指正。

编 者

1988年8月

目 录

序.....	1
§ 1 钻井重力仪	4
一、振弦式钻井重力仪	4
二、LaCoste-Romberg (L-R) 钻井重力仪.....	7
三、LaCoste-Romberg (L-R) 自动化钻井重力仪.....	10
四、其它类型传感器简介	13
§ 2 野外作业	14
一、深度的确定	14
二、钻井重力仪操作时的噪声干扰	15
三、测点与点距的选择	15
四、错误识别.....	16
§ 3 各种干扰和校正	16
一、地形校正.....	17
二、地球潮汐效应的校正	27
三、重力仪的漂移校正	27
四、钻孔井径变化的校正	27
五、井斜校正.....	28
§ 4 几种简单形体的计算密度	28
一、横向无限延伸的均质水平物质层	28
二、单个密度界面	30
三、无限延伸的非均质水平物质层	31
四、无限延伸的均质倾斜物质层	35
五、均质水平圆盘	35
六、均质球体 (质点)	37
七、无限延伸的均质水平圆柱体	39
八、资料解释的一般方法	43

§ 5 钻井重力测量资料的精度及探测范围	44
一、钻井重力测量资料的精度	44
二、钻井重力仪的探测范围	46
§ 6 钻井重力测量的应用实例	50
一、岩脉上的钻井重力测量	50
二、钻井重力测量对地质构造的推断	56
三、钻井重力测量在油、气勘探中的应用	60
§ 7 竖井中的重力垂直梯度测量	67
一、坑道校正	68
二、竖井校正	71
§ 8 竖井中重力垂直梯度测量的实例	72
一、阿尔卑斯地区Bleiberg铅锌矿区两竖井中 的重力垂直梯度测量	72
二、阿尔卑斯地区第三系盆地内Fohnsdorf煤 矿区三口竖井中的重力垂直梯度测量	81
§ 9 井中重力垂直梯度测量的小结	87
一、两种测量方法的相同点	87
二、两种测量方法的不同点	88
§ 10 地下水平重力测量	89
一、地下水平重力测量的一般工作方法	90
二、地下水平重力测量的各项校正	90
三、地下水平重力测量数据的表示形式	100
§ 11 地下水平重力测量的实例	101
一、印度某铜矿区的地下水平重力测量及密度填图	101
二、南奥地利Carinthia地区 Bleiberg 铅锌矿 区的地下水平重力测量	105
§ 12 平巷中的重力垂直梯度测量	114
一、一般性介绍	114
二、平巷中重力垂直梯度测量的实例	118
参考文献	122

序

重力勘探的基础是不同岩石类型间的密度差所引起的重力异常。常规物探中的重力法限于研究地表重力垂直分量随平面位置的变化，通常以重力异常的平面图和剖面图来表示，以提供测量平面之下的横向密度变化的资料。地下重力测量是指在钻井、竖井中垂直地进行重力测量，以及在矿区的不同平巷中水平或垂直地进行重力测量。在钻井和竖井中的重力测量是研究重力垂直分量随深度的变化，该变化是由地下密度不均匀体的垂向及横向位置的变化所引起的。对某一口井而言，重力垂直分量的变化主要是由仪器与地下密度不均匀体之间垂向距离的变化，以及密度不均匀体与围岩之间的密度差所引起的，因此井中重力测量的资料可提供垂向的密度变化。坑道中的重力测量若只在一个坑道中进行，则其原理与地面重力测量相类似，可提供坑道附近横向密度变化的资料；但若在多层坑道中进行重力测量时，则可提供不同深度处密度变化的资料。将地面重力测量与地下重力测量相结合，就有可能提供三维的物质分布情况，从而使重力方法成为勘探矿体、碳氢化合物以及研究构造的一种重要的物探方法。

早在十九世纪和廿世纪初，就曾有人做过一些地下重力测量工作，但地下重力测量的实际应用是在 Smith, N. J. 和 Hammer, S. 两位学者在《Geophysics》(1950)分别发表了奠定基础的论文后才正式开始的。Smith 于论文中讨论了用地下重力测量方法解决多种问题的能力以及进行地下重力测量时应考虑的一些干扰因素；而 Hammer 的论文则详细地阐述了地下重力测量方法，并将地下重力测量所得的密度值与取自同一矿井中标本的密度值作了比较，讨论了产生误差的可能因素，给出了资料处理的基本方法以及根据地下重力值计算密度值的基本关系式，即

$$\sigma = \frac{1}{4\pi G} \left(F - \frac{\Delta g + c}{\Delta z} \right) \quad (0-1)$$

式中 σ 为密度值； Δg 是垂直距离为 Δz 之两点间的重力差； c 为各校正量之和（Hammer认为只需进行地形校正）； F 为自由空间梯度（即地表处的 $\Delta g/\Delta z$ ）； G 为万有引力常数。

密度表达式（0—1）是按照穿过密度为 σ ，厚度为 Δz 的均质无限大水平岩层时重力的垂直变化为 Δg 而导出的。用此表达式算得的密度值实际上不受井壁状况（冲蚀及泥浆侵入井壁）的影响。

（0—1）式是地下重力测量中用来计算密度的基本算式。

在某些勘探应用中，已证明地下垂直重力测量是很重要的地球物理工具。在该法中用重力仪进行测量的主要优点是：重力读数的变化是由大体积岩石所引起；对于水平均质岩体，重力效应中的90%是由五倍于测点距内的岩体所引起。因此，重力仪可被用作三维传感器，而且它亦是确定大体积岩石原地密度的最有前途的方法。而另一种确定密度的测井系统（ γ 射线）只有厘米数量级的极限探测范围，因而只能提供沿钻孔壁的一维密度分布。

由重力所确定的密度有很多用途。例如知道了流体的含量和饱和度，则可以通过密度来确定孔隙度，这在生产和储量研究中是很有用的；密度数据亦可用于确定天然气饱和带；密度数据最主要的用途是地球物理数据解释中的辅助作用。精确的地下垂直重力测量可以在密度测定中给出 0.01g/cm^3 的密度精度，而在孔隙度的测定中则可给出0.05%的精度。

在大多数矿区，矿体及有关构造是呈不规则分布的，并大多数均位于巨厚的覆盖层之下，亦即大部分矿体及构造位于地面地球物理测量所能分辨的深度以外。随着对原料矿物日益增长的需要，以及采矿技术的不断发展，目前已将相当深范围内（1000—1500m）的矿体及构造作为勘探目标，要想探测在该深度范围内的新矿藏，必然要采用特殊的技术，而地下矿区中已有的坑道，可使地球物理勘探方法更接近目标地进行测量。

理论上，可有多种地球物理方法用于地下矿区坑道中的测

量,但有些方法,如电法、电磁法及自然电位法等,在坑道中测量时往往得不出令人满意的结果,因这些方法中的任一种,只有满足一定的地质和地球物理条件时才有效果。例如,坑道中的铁管、铁轨、其它铁质器材及电缆等,都将使电磁法无法使用;而电阻率法、激发极化法和自然电位法都只有在特殊的条件下才能得出良好的结果。但重力法则仅仅要求不同岩石类型和矿化区间有密度差即可,因而在有密度差时即可成功地运用它。此外,矿化作用受结构和岩性的控制,因而亦可根据重力资料推断出主要的地质构造和岩性界限。

在地下重力测量中,不论是正异常还是负异常,都同样有用,因为它们都可能都是由矿体所引起的。异常是正还是负取决于地质体剩余密度的正或负以及地质体相对于测量平巷的位置。正异常意味着在观测平面之下有一剩余密度为正的物质,但若在观测平面之上有剩余密度为负的物质,同样也会产生正异常。

在竖井或坑道中进行地下重力测量时,可采用地面常规使用的重力仪,而钻井中的地下重力测量则必须采用钻井重力仪,限于井孔的直径与环境条件,要求钻井重力仪具有直径小,可承受较高的温度及压力的变化,并要能与铅垂线有一定偏离的条件下进行测量。直到1966年才由LaCoste和 Romberg (L-R) 制出了第一台有实用价值的钻井重力仪。仪器的早期试验非常成功,其后即用于研究油气田,并详细地研究了误差的来源及钻井重力资料的处理方法。于1977年又研制出耐高温的细径LaCoste-Romberg钻井重力仪以及低速测井绞车。该重力仪的最小直径为10 cm,可在井斜为 14° ,环境温度为 200°C 的高温及环境压力为172 MPa (兆帕)^①的高压下连续工作三十小时,其精度为 $\pm 0.03 \text{ g. u.}$ ^②,在3m垂直间隔内相应的密度精度为 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。当采用了井下夹固装置后,钻井重力仪除能适用于陆上钻井重力测量外,

① $1 \text{ lbf/in}^2 (\text{磅力/英寸}^2) = 0.00689476 \text{ MPa} = 6.89476 \text{ kPa}$ ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ [牛/米²])。

② $1 \text{ mGal} = 10 \text{ g. u.}$ (重力单位, $1 \text{ g. u.} = 10^{-6} \text{ m/s}^2$)。

尚能在漂浮钻井平台打出的钻井中进行重力测量。

地下重力测量的最大缺陷是：测量只能在已有的钻井、竖井及坑道中进行。正因如此，地下重力测量的结果不必采用地面重力测量所用的方法来处理；此外，从矿区不同平巷处所得的重力数据，往往由于数量不足而难以进行准确的定量解释。但若能附加上周围地质体的密度值，则有可能定性地标出异常密度带。

为使读者全面了解地下重力测量的概貌，本书将按钻井重力测量、竖井重力测量和坑道重力测量三方面，分别就所用仪器、工作方法及校正、实例进行介绍。为节省篇幅，凡与地面重力测量相同的内容就不再详述了。

§ 1 钻井重力仪

一、振弦式钻井重力仪

最早研制成的钻井重力仪是振弦型钻井重力仪。这类仪器由灵敏系统和测量系统两部分组成，分述如下：

（一）振弦式钻井重力仪的灵敏系统

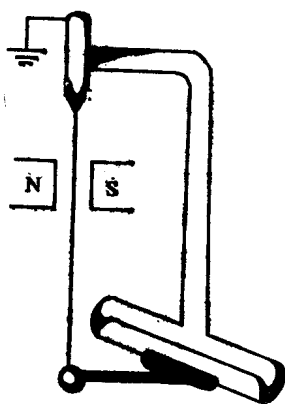


图 1-1

振弦式重力仪灵敏系统的简图如图1—1所示，它是在一根柔韧的弦线上悬挂一重荷组成。弦线是高品位的钨丝，长为5cm，直径为 $25.4\mu\text{m}$ ，重荷为约1g重的铂。其余部分均由融熔石英构成。选用石英作为框架是考虑到石英的温度膨胀系数小而均匀。纯钨丝的温度膨胀系数亦极低，且纯钨经过拉伸容易得到很细且具有高抗张强度的钨

丝。灵敏元件选用石英和钨丝后可降低对恒温的要求。为了使整个灵敏系统具有高度的稳定性，各组件是以感应热技术进行银焊而形成一稳定的整体。这样的结构，接近于理想的柔韧弦，作用在重荷上的重力决定了弦的张力，在小振幅时，其固有频率为

$$f = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{mg}{\mu}} \quad (1-1)$$

式中 l 为弦长； m 为重荷质量； g 为重力加速度； μ 为弦线的线密度。

对于微小的重力变化，可根据 (1-1) 式的一阶有限差导出如下表达式

$$\frac{\Delta g}{g} = 2 \frac{\Delta f}{f} \quad (1-2)$$

从而可以根据弦线振动频率的变化而得出重力的变化。

弦线外加有由铝镍钴合金 V 磁性体产生的磁场，磁性体与弦线间的空隙距约为弦线的半径，其时产生的磁场强度约为 0.38 T (特斯拉)①。弦线在该磁场中产生基频约为 625 Hz 的振动。为避免过量气体对弦线振动的阻尼，将整个系统密封在镍质的中空圆柱体中，并对其进行抽空，使其内部压力低于 10^{-3} — 10^{-4} Pa。

镍质圆柱体用悬线和弹簧悬挂在外筒中，这样的悬挂装置可使镍质圆柱体在倾斜的井中始终保持铅垂状态。但由于镍质圆柱体与外筒间的空隙很小，故镍质圆柱体只能在井斜小于 4° 时保持铅垂状态。悬挂装置中为弹簧是用来阻断外界的噪声和振动传到镍质圆柱体内的灵敏系统上。在外筒之外装有电热恒温器，以使灵敏系统的温度保持恒定。

(二) 振弦式钻井重力仪的测量系统

测量系统是由放大器 1、固定增益放大器 2、滤波器 3、增益控制器 4、振幅监控器 5、计时器 6 等部分组成，如图 1-2 所示。

灵敏系统的振弦和放大器的第一、二两级组成振荡器，放大

① $1\text{T} = 10^4$ 高斯。

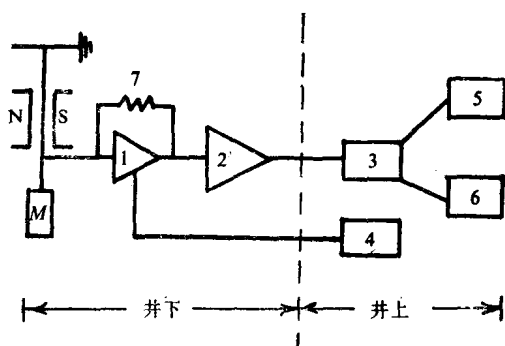


图 1-2

器第二级输出的一部分由图中的 7 正反馈到弦线上，以引起并维持弦线的振动。由增益控制器控制第二级放大器的增益并调整振荡器的电平。在正常情况下，弦线产生均方值约为 $10\mu\text{V}$ 的讯号。振荡器的输出经过固定增益放大器的放大，提高了输入到测井电缆中讯号的功率。滤波器是由带通为 1Hz 的锐谐振调谐音叉控制。由测井电缆送来的讯号通过滤波器时，将噪声最大限度地压抑掉，以保证精确地确定振荡器的频率。经过滤波的讯号送入计时器中。计时器是测量系统中最关键的部件，它的稳定性和可靠性直接影响到重力测量的精确性。计时器的漂移要求在 24 小时内不超过 3×10^{-9} ，时间测量的精度为 $\pm 1\mu\text{s}$ 。

在井中工作时，井中重力仪的探头（灵敏系统加振荡器）停留在某一点处，从振荡开始到仪器稳定约需五分钟。仪器稳定后测量 10^5 周期的时间，约需 160s 。这样的测量要进行二至四次，然后对测得值进行平均。由于时间测量的精度是 $1\mu\text{s}$ ，所以每一频率的精度为 $1/1.6 \times 10^8$ ，其相应的重力变化约为 0.12g. u. 。当进行四个 10^5 周期的观测时，每一点观测所需的时间约为 20 分钟，这不包括将探头从一点移到另一点所需的时间。

（三）钻井重力仪的标定

钻井重力仪的标定通常采用如下两种方法：

1. 用钻井重力仪在重力值已知的两个地面 点上 进行 重复观

测。这与地面重力仪的标定方法相同，这里不再赘述。

2. 用钻井重力仪在井中两不同深度处进行测量，两点的深度差一般为10m左右，并要求该间隔内岩性稳定，密度值已知。为保证精度，钻井重力仪应在多个不同岩性的间隔处进行测量，将测得的结果按式（1—3）计算，即可算得各次测量时的格值。通常取其平均值作为该仪器的格值。

$$C \cdot \Delta S = \Delta g = 3.086 \Delta h - 2 \times 0.419 \sigma \Delta h \quad (1-3)$$

式中 Δh 为每一间隔的铅垂距离，以m为单位； σ 为间隔内岩层的密度，以 g/cm^3 为单位； Δg 为算得的重力差，以 $g. u.$ 为单位； ΔS 为每一间隔处仪器的读格差； C 为格值。

所制成的振弦式钻井重力仪探头的外径为10cm，长约2.6m，整个测井重力仪系统（包括地下和地表装备）重约180kg，最高允许工作温度为145℃，允许对铅垂线的偏离为4°，每点读数所需时间约为20分钟，仪器观测精度为 $\pm 0.12 g. u.$ ，能以 $\pm 0.02 g/cm^3$ 的精度确定每9m间隔内的岩层密度。

振弦式钻井重力仪是通过测定弦线振动频率的差来确定各点间的重力差，因而该类仪器具有如下优点：（1）弦线振动频率的变化不必借助于任何转换装置，可直接通过电缆方便地传送到地表，从而提供了简单的观测方法；（2）仪器具有宽阔的工作范围；（3）具有特别适合于井中测量的几何形状；（4）当弦线的长度相对于直径足够长时，弦线的振动频率与物质的弹性无关从而消除了产生漂移的因素。

振弦式钻井重力仪的缺点是：（1）工作效率较低；（2）最高允许工作温度亦较低；（3）允许偏离铅垂线的角度较小，故该类型钻井重力仪目前使用不广。

二、LaCoste-Romberg(L-R)钻井重力仪

当今最成功的钻井重力仪是L-R钻井重力仪，它是由L-R标准测地型重力仪改进而成，其灵敏系统简图如图1—3所示。

L-R重力仪采用金属零长弹簧，并采用当横杆处于零位（即

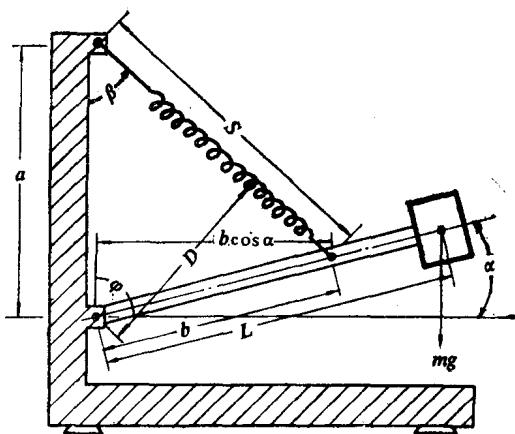


图 1-3

$\alpha=0$) 时, φ 接近于 90° 的特殊结构以使仪器具有足够高的灵敏度。平衡时, 重物作用在横杆上的重力矩 M_g 为

$$M_g = mgL \cos \alpha \quad (1-4)$$

式中 m 为重荷的质量; g 为重力加速度; L 为横杆的长度; α 为横杆与水平线之夹角。

零长弹簧作用在横杆上的弹力矩 M_s 为

$$M_s = -KSD \quad (1-5)$$

式中 K 为零长弹簧的弹力系数; S 为受力后弹簧的长度; D 为转动轴 O 至零长弹簧的垂直距离。

考虑到 $S \cdot \sin \beta = b \cos \alpha$, $D = a \cdot \sin \beta$

所以 $M_s = -KS a \sin \beta = -Kab \cos \alpha \quad (1-6)$

灵敏系统平衡时总力矩 M_0 为零, 即

$$M_0 = (mgL - Kab) \cos \alpha = 0 \quad (1-7)$$

测量时, 使横杆处于水平位置, 即 $\alpha=0$, 其时

$$M_0 = mgL - Kab = 0 \quad (1-8)$$

当变换测点使重力发生 Δg 的变化时, 只需调节测微螺旋, 通过一套减比例杠杆装置, 调节零长弹簧上端点的位置, 使灵敏系统在 $\alpha=0$ 时再次达到平衡, 其时若 a 的相对伸长为 Δa , 则

$$Kb(a + \Delta a) = m(g + \Delta g)L \quad (1-9)$$

于是

$$\Delta a = \frac{mL}{Kb} \cdot \Delta g \quad (1-10)$$

通过测微螺旋的转动量可确定 Δa ，从而可得出相对重力变化量 Δg 。

L-R钻井重力仪采用如下方式进行读数：

1. 将仪器在井中下降到重力读数所需的深度，然后调平仪器。仪器水平与否是用电容位置指示器来检测的，仪器上装有摆状装置，以指示仪器与铅垂线的夹角。在摆的两侧有两块平行板，摆和两块平行板构成电容位置指示器。当摆在铅垂位置时，摆与两平行板间距离相等，由摆和两平行板构成的两电容器的电容量相等。当摆偏离铅垂位置时，摆与两平行板组成电容器的相对电容量发生变化，相对电容量变化与摆位置的偏离成比例，将相对电容量转换成直流电压，通过测井电缆即可传输到地面的控制台，操作员可根据控制台上的显示，操纵纵向、横向或转向电机中的任意一个电机，来改变仪器的状态，直到达到预定的方位，这时仪器即已调平。

2. 利用靠近传感器的电机松开横杆的夹固。横杆绕轴转动，当弹力矩与重力矩平衡时，横杆停留在与水平线成 α 角的位置，可利用测量螺旋和一套减比例杠杆来拉长或缩短弹簧，以改变弹力矩，使横杆在零位（ $\alpha=0$ ）重新达到平衡。横杆的位置是用另一个电容位置指示电路来检测的。该电容位置检测器与图形记录器相连，当横杆运动时，图形记录器上会显示出一个相当的运动，据此，操作员即可改变测量螺旋，将横杆调到零位。利用测量螺旋将横杆调到零位（即在有微小的位置误差时，不影响仪器读数的位置）是很麻烦的。当在接近零位时，可利用横杆电容位置指示电路在电容器的某一个极板上加一伪电压，由于感应作用，在横杆上会产生静电，此时静电力就会将横杆拉向加有电压的那个极板（上极板或下极板），从而将横杆置于零位处。事先

可确定伪电压与重力变化间的关系。其时可根据测量螺旋的位置按格值表来确定重力读数，再加上伪电压所对应的重力变化，即为该点的重力值。

3. 夹固横杆，将钻井重力仪移到下一个深度点，再重复上述过程。

上述的L-R钻井重力仪原型能测出井中两点间 $\pm 0.1g.u.$ 的重力差（需时约五分钟）。仪器下井部分——传感器的直径为14cm，与铅垂线的允许偏差不得超过 6.5° ，无时限工作的最高温度为 $101^\circ C$ 。

用钻井重力仪进行密度测量时，测得密度的精度取决于如下两个因素：

(1) 仪器的性能。它决定于重力测量的精确度和准确度；

(2) 仪器所在位置的深度控制。深度测量误差常是钻井重力测量中最大的误差来源。因此，仪器精确定位的能力和重复确定井下仪器所在位置的能力，成了钻井重力测量质量控制的重要组成部分。L-R钻井重力仪原型在测量时使用标准测井车。标准测井车只能将深度测准到1%或稍好些，但这样的精度往往是不够的。所以，当测点距小于15m或30m时，通常是在测井电缆上做好距离标记，然后利用标记直接确定仪器所在的深度。

从实际使用的角度来考虑，L-R钻井重力仪的原型在多方面均有待改进。为此研制出第二代L-R钻井重力仪——L-R自动化钻井重力仪。它与原型的最大不同处是在控制和测量中引进了微计算机，从而加快了数据采集的速度，并使重力测量工作与其它仪器的工作更相适应。此外，还采用了一些附加技术，以提高重力仪工作的可靠性，并扩大了工作范围。

三、LaCoste-Romberg(L-R)自动化钻井重力仪

L-R自动化钻井重力仪是由L-R钻井重力仪与低速测井车两部分组成。低速测井车是由微处理机控制的专门绞车，能以较低而固定的速度（ $0.5cm/s$ ）提放测井电缆，并可事先选定深度，