

1:50000 重力调查技术规定

DZ 0004—91

本标准规定了 1:5 万重力调查技术设计方法原则、重力仪的性能试验、野外工作与资料整理和成果提交等要求。

本标准适用于平原、山区高、中、低精度的 1:5 万重力调查工作。

1 技术设计

1.1 测区布置和测网选择

1.1.1 测区布置

1.1.1.1 1:5 万重力调查可应用于配合 1:5 万区域地质调查、综合普查找矿、油气详查、水文工程地质、环境地质和地热资源普查等任务。因此测区布置应根据上级下达的工作任务和工区的地形、地质及以往物化探工作程度合理地确定，并应兼顾到施工方便、资料完整、布点经济。

1.1.1.2 测区边界应尽量整齐规则，当测区与以往工作的相邻图幅拼接时，接边处应延伸相邻图幅中 1~2 个坐标点或 1~2 条测线。

1.1.2 测网选择

1.1.2.1 根据工区地形特点及研究的目的，可采用规则网和自由网布设测点。

1.1.2.2 当采用规则网时，线、点距一般应为 500×250 或 $500 \times 500\text{m}$ ，允许变动范围为 20%，特殊地区最大变动范围不能超过 50%。

1.1.2.3 当采用自由网法布设测点时，测点应力求均匀分布，每平方公里内测点数为 4~8 个，特殊地区不能少于 2 个点。

1.2 布格重力异常总精度的确定和误差分配

1.2.1 布格重力异常的总精度，应根据工作任务的要求、工区的地质特点和仪器设备条件等合理确定，必须保证工作精度能满足地质任务的需要，同时应兼顾到资料的继续使用和综合利用等问题。设计精度应以能分辨（或研究）最小探测对象产生的最弱异常为原则。

1.2.2 布格重力异常总精度受技术条件的限制，一般应根据具体任务，可参照表 1 分配，并在设计书中具体规定。

表 1

布格重力异常 总精度 10^{-5} m/s^2	测点重力值 均方误差 10^{-5} m/s^2	布格改正		地形改正 均方误差 10^{-5} m/s^2	纬度改正 均方误差 10^{-5} m/s^2	测点平面均方 误差（图上相 对于解析点） mm
		均方误差 10^{-5} m/s^2	测点高程 均方误差 m			
0.100	0.060	0.030	0.15	0.070	0.015	0.5
0.200	0.080	0.140	0.70	0.110	0.030	1.0
0.400	0.140	0.220	1.10	0.300	0.030	1.0

1.2.3 分配误差时，在保证总精度的前提下，可适当提高某项精度而降低另一项精度。

1.2.4 测点重力值的均方误差，与各级物探重力基点网的联测网形及测点观测时的闭合方式有关，一般可按表 2 分配：

表 2

测点重力值均方误差 (10^{-5} m/s^2)	基点网均方误差		测点观测均方误差 (10^{-5} m/s^2)	备 注
	I	II		
0.060	0.030		0.050	
0.080	0.045		0.065	
	0.030	0.040	0.060	
0. 140	0.060		0.125	
	0.050	0.060	0.115	

1.2.5 地形改正均方误差按近、中、远三区合理分配，一般按表 3 分配：

表 3

地形改正均方误差 (10^{-5} m/s^2)	近 区 (0 ~ 20m)	中 区 (20 ~ 500m)	远 区 (500 ~ 20000) 或 (500 ~ 166700m)
0.070	0.020	0.050	0.040
0.110	0.020	0.070	0.085
0.300	0.040	0.150	0.250

1.3 格值标定

1.3.1 正确确定重力仪格值是消除系统误差的重要环节, 1:5 万重力调查工作范围较大, 重力值变化的范围也较大, 为要使邻省、区的图能拼接起来, 首先要减少因格值标定引起的系统误差。因此, 重力仪格值标定的“尺度”要统一, 标定的精度要提高。

凡 1:5 万重力测量建立 I、II 级重力基点网使用的格值均在国家级格值标定场进行标定, 其测定的相对均方误差 (Δ 格) 应不大于 1/5000。进行重力测点观测时的重力仪格值可在工作地区国家认可的标定场进行标定, 亦可在自建的标定场进行标定, 其测定的相对均方误差应不大于 1/3000, 相邻两次格值标定的相对变化应不大于 1/1500。

1.3.2 当工作地区远离国家标定场, 需自建校对点时, 可用四台以上装有恒温装置的高精度重力仪建场, 参加建场的仪器必须在国家标定场进行标定。标定场重力差值 (自建) 一般不应小于 $40 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 重力差值的中误差按 (1—1) 式计算 (见附录 A):

$$M_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{m_1^2}{nk} + \frac{m_2^2}{n} + \frac{m_3^2}{k}} \quad (1-1)$$

其相对均方误差应满足:

$$\frac{M_{\Delta g}}{\Delta g} \leq 3 \times 10^{-4}$$

式中 $M_{\Delta g}$ ——为 Δg 的均方误差;

m_1 ——为一台仪器一个独立增量的偶然误差;

m_2 ——为一台仪器一个独立增量所含的半系统误差;

m_3 ——为一台仪器一个独立增量所含的第二类半系统误差;

n ——为仪器台数;

k ——为独立增量数。

1.3.3 对于测程约为 $200 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的重力仪, 要求至少在两个不重复的测段上单独测定格值。

1.4 基点网的设计

1.4.1 1:5 万重力调查中, 为传递重力值和检查重力仪混合零点位移而必须建立重力基点网。考虑到重力资料的区域研究和长期使用及邻省、区的拼图, 各地区 1:5 万重力测量必须有统一系统, 即在国家重力基点 (85 网) 控制下, 建立 1:5 万重力测量的 I、II 级重力基点网。

当测区内国家重力基点稀少时, 基点网可按自由网方式布设, 但测点重力值的推算应由国家重力基点或区域重力基点传递, 其传递边段的增量数应是网上边段增量数的两倍。

当建立 I、II 级重力基点网时, 可参照表 4 要求进行。

根据表 2 中 I、II 级重力基点网的具体情况, 也可调整表 4 中的具体指标。

表 4

级 别 要 求	一 级 基 点 网	二 级 基 点 网
作用	1 传递重力值。 2 控制二级基点网重力联测	1 传递重力值。 2 供测点重力观测时检查重力仪混合零点位移情况
布网要求	1 按测区设计,一般一次建成。 2 点的分布力求均匀,符合分区建立二级基点网的需要。 3 至少包含(或联测于)一个国家重力控制点或区域重力基点作为绝对重力值起算点。 4 设计成闭合网,每个闭合环的边段数一般不超过 12 个,并使起算用的国家重力控制点或区域重力基点位于网的中部	1 根据一级基点分布、交通条件和施工安排情况分区建立,充分利用一级基点网进行控制。 2 点的分布力求均匀,符合测点重力观测时按规定就近闭合的需要。 3 设计成闭合环或附合路线,每个闭合环或附合路线的边段数一般不超过 12 个
重力联测要求	1 用于联测的重力仪按三程循环观测或往返重复观测均方误差 σ_0 一般不大于 $\pm 0.020 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。 2 每个边段至少采用三台带恒温的仪器联测,至少取得三个合格的独立增量。 3 采用快速交通工具运送。 4 必须分区联测时,两区间应以独立增量数多一倍的坚强边相连接。 5 必要时可设引点或支点,支点只能由一级基点按支线发展一个,引点和支点联测的独立增量数应比一般边段多一倍	1 用于联测的重力仪按三程循环或往返重复观测时均方误差 σ_0 一般不大于 $\pm 0.030 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。 2 每个边段至少采用三台仪器联测,至少取得三个合格的独立增量。 3 采用快速交通工具运送。 4 必要时可设支点,支点可由一般二级基点按支线发展 1~2 个,其联测的独立增量数应比一般边段多一倍
精度要求	1 网的精度不低于 $\pm 0.030 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。 2 联测精度不低于 $\pm 0.015 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$	1 网的精度不低于 $\pm 0.040 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。 2 联测精度不低于 $\pm 0.020 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$

1.4.2 建立基点网时,基点的分布密度应根据测区内国家重力基点的分布情况及区内交通、布格异常总精度等因素妥善布设。要求基点的分布力求均匀,符合测点观测时按规定就近闭合的要求。联测方式应以闭合环或符合路线进行,但每个闭合环或符合路线的边段数一般不超过 12。

1.4.3 用于联测的重力仪必须装有恒温装置,按三程循环观测或往返重复观测法观测时,每条边段至少采用三台重力仪联测,至少获得三个合格的独立增量。联测时采用快速交通工具运送。

特殊的工作地段可设支基点,支基点可由 I、II 级基点按支线发展 1~2 个,但支基点数量不能超过末级基点数的 20%。支基点联测的增量数应比一般边段多一倍。

基点网的精度以平差后最弱点精度衡量。

1.4.4 测区内末级基点对高程应有所选择,其基点尽量保证从该基点出发能完成附近全部测点的观测,使测点观测时不致出现超程的现象。

凡Ⅰ级或Ⅱ级重力基点需埋设永久性固定标志,当基点与已有标志的测量控制点重合时,不另埋设。当基点选在某些固定建筑物一定部位时不另埋设,但应增设标记。

Ⅰ级重力基点固定标志的顶面积为 $30 \times 30\text{cm}$ 的水泥台,Ⅱ级重力基点固定标志的顶面积为 $25 \times 25\text{cm}$ 的水泥台,底面积略大于顶面积,露出地表的高度要适当。固定标志的顶面上应明显标出“重力基点”字迹,并标明基点编号、日期和建点单位。

基点编号由 1:5 万重力测量代号“W”表示,脚标罗马字表示基点等级、原国家省区代号表示测区所属省分,基点顺序号用阿拉伯数字由 1 开始编排。如安徽省 1:5 万重力测量二级基点网第五号基点应编为“WⅡ-11-05”。

1.5 地形改正

1.5.1 地形改正分近、中、远三区分别进行。测区内是否需进行地形改正以及改正半径的确定,应根据测区内地形特点及数条典型剖面进行地改试验后确定。当测点的地形改正值不超过设计的地形改正均方误差值或在欲研究异常宽度的 1~3 倍范围内,各测点间的地形改正值之差最大不超过设计的地形改正均方误差值时,可以不进行地形改正。

1.5.2 近区地形改正 ($0 \sim 20\text{m}$) 应根据设计精度采用野外实测或用地形图读图计算,也可将这两种方法结合使用。读图时所用地形图比例尺不小于 1:5 千,当测区为山区且布格重力异常总精度为 $0.1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,地形改正精度较高时,读图所用地形图比例尺不小于 1:2 千。

1.5.3 中区地形改正 ($20 \sim 500\text{m}$) 可采用地形图读图计算或电算方法进行,节点网的密度应通过试验确定。圆域地形改正量板的方位数和环数的划分亦应通过试验确定,所用地形图的比例尺必须 1:1 万(或航空照片)并采用最新地形图,当地形改正精度较高时,所用地形图比例尺不小于 1:5 千。

1.5.4 远区地形改正,对平原区改正范围为 $500 \sim 20000\text{m}$,允许使用 1:5 万地形图,山区地改范围为 $500 \sim 166700\text{m}$,应使用 1:2.5 万地形图或航片。原则要求同 1.5.3 款。 2000m 以远地形改正允许采用 1 公里 \times 1 公里节点高程电算进行。

1.5.5 地形改正的读图计算应符合下列要求:

1.5.5.1 在地形图上读取高程,一般应估读到等高距的 $1/2$,地形特别恶劣的地区可以放宽为等高距。

1.5.5.2 地形改正计算中,圆域数图时测点高程应采用图上高程。

7.5.6 地形改正所用密度值,应根据工作性质和解释上的需要合理确定,同时亦应采用地壳的平均密度 $2.67 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 计算,以利区域拼图(改变中间层密度计算布格重力异常的方法见附录 F)。

1.5.7 对总精度为 $0.1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的工作,地形改正应根据地形情况采取特殊措施,通过试验后在设计中具体规定。

1.6 测地工作

1.6.1 测地工作的主要任务,是确定重力观测点的实地点位,并按设计规定施测,提供符合精度要求重力观测点平面坐标和高程。

坐标系统为 1954 年北京坐标系，高程采用 1985 年国家高程基准。

1.6.2 设计前应收集测区所需各种资料。资料收集内容包括：

1.6.2.1 三角点、水准点的平面及高程成果、分布略图、计算说明或技术总结，成果施测单位及施测年代、起算系统及成果精度等。

1.6.2.2 所需各种比例尺地形图，对年代较久的地形图应了解其精度，确定其使用价值。

1.6.2.3 航摄资料及航摄成果

a. 近期航摄相片、透明正片、航区索引片、航摄数据鉴定表。

b. 已有的航外相片控制点成果及其精度、电算加密成果、图历簿、技术设计及技术总结等。

1.6.3 航摄资料能否满足重力点高程精度需要，应根据附录 c2.3 中有关公式进行高程精度估算，以决定使用否。

1.6.4 编写设计之前，根据收集的成果资料，组织力量对测区进行必要的踏勘。

1.6.5 重力测点平面位置精度及高程精度，依据表 1 执行。

1.6.6 重力基点应进行联测，其联测方法为：

a. 测区内的基点，在进行测地工作的同时，用仪器直接联测平面坐标及高程或判刺在航片上；

b. 测区外围基点无法联测时，用不小于工作比例尺地形图图解平面坐标与高程。

1.6.7 重力测点平面位置和高程的测定，根据技术设备、测区实际情况，在保证精度的前提下，选用合适的方法进行。

1.6.8 剖面测量视精度要求采用以下方法：

a. 全仪器法测定平面坐标和高程，起闭于三角点、水准点。

b. 用大于工作比例尺的地形图布设，航片定点电算加密平面坐标和高程。

c. 用不小于工作比例尺的地形图图解坐标（或利用测网中测点平面坐标），高程用仪器实测。

1.7 密度工作

1.7.1 岩石密度资料是对重力观测结果进行改正及确定中间层密度用于推断解释的重要依据，岩石密度工作的研究是重力测量的重要组成部分，其中包括对前人所得密度资料的收集整理和由本单位岩石标本的采集、测定和整理的研究。

1.7.2 对前人的岩石和疏松层密度资料的收集应力求广泛而详细，内容应包括采集地区、样品名称（时代、层位、岩石名称）测定方法、测定结果及测定精度等。对所收集的资料进行必要的分析，然后才能参与统计。

1.7.3 密度工作的设计以围绕异常解释按地质单元进行，要注意标本采集的系统性和代表性，分布要合理，为此要求：

1.7.3.1 对于沉积岩，主要选择地层发育比较完整，各类岩石产出比较齐全，出露良好的典型剖面采集。

1.7.3.2 对于岩浆岩，要按岩性和侵入期次采集。

1.7.3.3 不仅要采集地表的岩石标本，尤其要注意研究钻孔岩心的密度，以了解岩石密度值随深度变化的规律。

1.7.3.4 要把疏松层的密度作为研究的内容之一。

1.7.3.5 各种岩石都应采集足够数量的标本。一般每种岩石不少于 30 块，主要岩（矿）石标本采集的数量应为 50~200 块。地表岩石风化强烈的地区应采用浅钻采样。

1.7.4 密度标本的采集重量应根据其测定方法确定，当用密度计测定时，标本的重量以 100~200g 为宜。疏松层大样的取样体积为 $50 \times 50 \times 50\text{cm}$ 。

1.8 剖面工作

1:5 万重力测量可根据地质任务、综合研究及解释的需要合理地布设各种类型的剖面。

2 仪器准备

2.1 重力仪投入野外作业前，应进行下列各项调节和校验。

2.1.1 石英弹簧重力仪和 Lacoste & Romberg（简称 LCR）重力仪的测程调节，要求将测程调节至适合于工作地区的观测。

2.1.2 LCR 重力仪电子读数零位和检流计零位的检查与调节。

仪器置平后当黑影线与读数线重合时，电压输出应为零，检流计的指针也应指向零位骨，否则应对仪器进行调节。

2.1.3 LCR 重力仪正确读数线的检查与调节。

读数线是指目镜中的某条刻度线，当黑影线与它重合时，摆杆位于水平位置，仪器面板上均标有读数线的参考值，由于读数线常有微小变改，所以需定期检查。

2.1.4 石英弹簧重力仪光线灵敏度调节，按所用的仪器类型及其说明书规定分别进行调节，当前生产常用仪器一般要求 ZSM 型仪器调至 16~20 格，沃尔登仪器调至 20~50 格，CG~2 型仪器调至 16~20 格。

重力仪光线灵敏度应每月测检一次，测定结果应记入仪器使用簿中。

2.1.5 LCR 重力仪位移灵敏度的测定与调节。

位移灵敏度应调至：改变读数一格（约相当于重力变化 $1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ），目镜筒内黑影线移动 9~11 个目镜分划。

2.1.6 LCR 重力仪电子灵敏度的指定与调节

LCR 重力仪电子灵敏度应调至 $200\text{mV}/0.1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2 \sim 400\text{mV}/0.1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，通过滤波器衰减 10 倍后，反映在数字电压表上为 $20\text{—}40\text{mV}/0.1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。

2.1.7 石英弹簧重力仪水准器的测定，要求仪器的纵、横水准器调节后，所测纵、横水泡曲线顶点偏离正确位置不超过 1 小格。（注：事先绘制一张直径为 5 厘米的圆盘，将圆周分成 32 等分，以任一条分度线为零，沿顺时针方向标上 1, 2.....16，逆时针方向标上—1，—2.....—16 字样，把圆盘分别压在纵、横水准器底脚螺旋的下面，并使其中心与度盘中心重合。1 小格即相当于水平脚螺旋的 $1/32$ 圈）。

2.1.8 LCR 重力仪的横水准器的检查与调节。

横水准器的正确位置是：当仪器分别左、右倾斜，使横水准器气泡偏移一小格时，目镜筒内的黑影线均向右移动，且移动距离之比小于 3:2。

2.2 重力仪静态零点位移测定

2.2.1 用于生产的（含备用）仪器，要求试验时间不短于一昼夜，不带恒温装置的重力仪，要求环境温度变化不大于 3°C ，观测地点应稳固无振动干扰。

2.2.2 每 30 分钟取一次读数，测得重力仪静态零点位移和固体潮变化的混合曲线。

2.2.3 对实测曲线经理论固体潮改正后，得到仪器的静态零点位移曲线，用以了解仪器性能。

2.3 重力仪动态零点位移测定

2.3.1 重力仪在野外工作，每三个月测定一次动态零点位移，野外工作时间不足三个月的工区，开工前和工区结束后分别各测定一次。在工作中如仪器受震或经检修必需进行动态零点位移测定工作。

2.3.2 要求试验时间不短于 10h，测点间重力差大于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，两点间单程观测时间间隔一般不大于 20min，带有恒温器的重力仪记录环境温度，不带恒温器的重力仪要求记录仪器内温。

2.3.3 观测结果经理论固体潮改正后，得到重力仪的动态混合零点位移曲线，可根据其计算出仪器的动态零点位移率和零点位移线性部分的持续时间。

2.3.4 动态零点位移测定可与格值测定合并进行。

2.3.5 动态观测均方误差按（2—1）式计算：

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m V_i^2}{m-n}} \quad (2-1)$$

式中 V_i ——为相邻两点间各个增量与平均增量之差值；

m ——为增量的总个数；

n ——为试验点边段数（当只在两个点上观测时， $n=1$ ）。

2.3.6 动态观测均方误差应不大于测点重力观测均方误差的二分之一。

2.3.7 为了解在基点联测时，按一定的闭合时间求得的独立增量的均方误差 ϵ_0 ，在经理论固体潮改正后的动态混合零点位移曲线上，抽取一些原动态观测值，求出两点间的独立增量。如此沿曲线每移动一、两个点，求一个独立增量，直至求出的总独立增量数 n 不少于 10 个。然后根据 n 个独立增量求出两点间的平均增量，按（2—2）式计算。

$$\overline{\Delta g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta g_i \quad (2-2)$$

按（2—3）式计算 ϵ_0

$$\epsilon_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n}} \quad (2-3)$$

式中 V_i ——独立增量与平均增量之差值；

n ——独立增量数。

2.4 重力仪一致性测定

2.4.1 一致性测定的观测点数不少于 30 个，点距要求与实际工作时相近，相邻点间重力值变化一般要求大于 $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

2.4.2 各台仪器间一致性测定的精度要求可在设计书中规定，测定结果按（2—4）式计算均方误差：

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{m-n}} \tag{2—4}$$

式中 V_i ——某仪器在某点上的观测值与各台仪器在该点观测值的平均值之差值；
 m ——观测值的总个数；
 n ——观测点数。

2.5 重力仪格值标定

2.5.1 重力仪在野外工作期间，格值测定时间的要求一般参照表 5 执行。

表 5

时间 类别 型号	野外工作时间大于 三个月者	野外工作时间不足 三个月者	重力仪经受剧烈 震动后	重力仪进行 中、大修后
	每三个月测定一 次格值，工作结 束测定格值	开工前和工作 结束各测定一 次格值	测定一次格值	测定一次格值
石英弹簧重力仪				
拉科斯特重力仪	格值测定时间，由仪器使用单位根据仪器说明书等具体确定			

2.5.2 格值测定的相对均方误差按 1.3.1 款执行，对不同的精度要求，格值测定的具体要求亦不同。

- a. 自建格值标定场或建立基点网时，重力仪的格值应在国家级标定场上标定。使用石英弹簧重力仪观测时，应以三程循环观测法取得独立读格差，一组读格差中最大与最小读格差之差不得大于 1 格，合格读格差不少于 10 个，不合格读格差不得大于 3 个。
- b. 测点观测时，所用重力仪的格值可在自建的格值标定场上标定。使用石英弹簧重力仪时，应以三程循环观测法取得独立读格差，一组读格差中最大与最小读格差之差不得大于 1.5 格，合格读格差不少于 8 个，不合格读格差不得多于 2 个。
- c. 格值按（2—5）式计算。

$$K = \frac{\Delta g}{\Delta s} \tag{2—5}$$

式中 Δg ——格值标定场两点间的重力增量值；
 Δs ——重力仪读格差的平均值，按（2—6）式计算。

$$\overline{\Delta s} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta S_i}{n} \quad (2-6)$$

式中 ΔS_i ——第 i 个读格差；

n ——参与平均的合格读格差的个数。

d. 格值测定的相对均方误差按 (2-7) 式计算。

$$\Delta_{\text{格}} = \frac{m_{\overline{\Delta s}}}{\overline{\Delta s}} \quad (2-7)$$

式中 $\overline{\Delta s}$ ——重力仪读格差的平均值；

$m_{\overline{\Delta s}}$ ——重力仪读格差平均值的均方误差，按 (2-8) 式计算。

$$m_{\overline{\Delta s}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n(n-1)}} \quad (2-8)$$

式中 δ_i ——第 i 个读格差与平均读格差之差值；

n ——参与平均的合格读格差的个数。

2.5.3 工作中相邻两次格值测定的变化 (不含仪器修理前后的变化) 按 1.3.1 款要求并参照表 6 执行。

表 6

$K_{\text{变}}$ 范围	处 理 方 案	备 注
$\frac{1}{1000} > K_{\text{变}} > \frac{1}{1500}$	(1) 新测格值前的测点观测值使用原格值计算。 (2) 新测格值后的测点观测值使用新格值计算	$g_{\text{原}}$ ——用原格值计算的观测点值。 $g_{\text{新}}$ ——用新格值计算的观测点值。
$K_{\text{变}} > \frac{1}{1000}$	(1) 当 $g_{\text{原}} - g_{\text{新}} \leq \epsilon_{\text{观}}$ 时，新测格值前的测点观测值使用原格值计算，以后使用新格值计算。 (2) 当 $g_{\text{原}} - g_{\text{新}} > \epsilon_{\text{观}}$ ，且 $g_{\text{原}} - g_{\text{平}} \leq \epsilon_{\text{观}}$ 时，新测格值前的测点观测值使用平均格值计算，以后用新格值计算	$g_{\text{平}}$ ——用平均格值计算的测点观测值。 $\epsilon_{\text{观}}$ ——设计规定的测点观测均方误差

2.5.4 格值相对变化 ($K_{\text{变}}$) 按 (2-9) 式计算。

$$K_{\text{变}} = \frac{\text{原格值} - \text{新格值}}{\text{原格值}} \quad (2-9)$$

2.5.5 LCR-D 型重力仪的格值应在国家级重力仪格值标定场上测定。采用双程往返重复观测法取得独立读格差，合格读格差的数量应不少于 6 个，各个独立增量结果与平均独立增量结果之差应不超过 ± 0.02 格 (约相当于 $\pm 0.02 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)，不合格读格差不得多于 2 个，否则应查明原因，根据实际情况，将部分或全部观测结果作废，重新测定。格值测定工作应至少在三个不重复的测段上独立进行，求取每一测段的格值，在有条件的情况下，应在庐山重力仪格值标定场测定格值，求得重力仪的格值表 (每 10 格或 20 格给出一个格值)。

2.5.6 LCR-G 型重力仪在出厂时已进行了格值标定,并附有 $0-7000 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 范围内的格值表,为了消除系统误差,应对厂方提供的格值表进行检查,求取格值表的校正系数(比例因子),具体方法是:在国家长基线上,以飞机为运载工具,采用双程往返重复观测法进行两次独立观测,其互差不得大于 $0.04 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,其平均值与长基线重力段差值之比的倒数即为长基线所对应的绝对重力值范围内的格值表的校正系数。

2.6 重力仪的使用与维护

2.6.1 使用仪器的主管单位和使用者应对仪器安全负全面责任。

2.6.2 建立严格的责任制,交接仪器时双方应现场检验,并办理交接手续。

2.6.3 未经主管单位和使用者同意,他人不得随意动用仪器。

2.6.4 仪器应放置在干燥、安全的地方,严禁碰撞和大角度的倾斜、倒卧。严禁在松摆的情况下搬运 LCR 重力仪。

2.6.5 仪器的配件和工具应随仪器妥善保管,不得随意改作他用,仪器的面板应经常保持清洁,随时检查存放仪器桶的背带、保护带,以保证安全。

2.6.6 重力仪长途运输应放入防震桶(箱)内,并由使用者护送。

2.6.7 在野外工作中,仪器应轻提轻放,仪器置于脚架盘后,操作员不得随意离开仪器,有恒温装置的仪器,应随时注意电池的充电,以免电池内电流不足影响正常工作。

2.6.8 工作中重力仪发生故障时,应带回驻地,由有检修经验的人员在力所能及的范围内检修,否则应送厂家或检修单位修理。

2.6.9 仪器和配件应建立使用簿,作为档案随仪器妥善保存。

2.6.10 操作员操作仪器应按说明书或操作规程执行,并应采取有效措施,防曝晒、防雨淋。

3 野外工作

3.1 重力基点的选择与联测

3.1.1 重力 I、II 级基点的布设,要根据工区踏勘后结合实际地形及交通条件、高程情况等确定。基点应选在地基稳固、联测方便、附近地形和其他引力质量近期内不致有大的变化,重力水平梯度较小、近期不被占用的地方,避免设在较大的陡崖、河堤和海边等地方。

3.1.2 基点网的联测,当使用 LCR 重力仪联测时,可采用双程往返重复观测法,当使用石英弹簧重力仪联测时,应采用三程循环观测法。在各个基点的观测中,重力仪的高度应保持一致。

3.1.3 重力基点联测时,观测结果应满足下列要求:

3.1.3.1 每个基点上观测读取三组数据,每组数据与平均值之差不大于 0.2 格。

3.1.3.2 用石英弹簧重力仪联测时,构成一个独立增量的两个非独立增量之差,不大于单台仪器按三程循环观测法求独立增量时观测均方误差 ϵ_0 的两倍(ϵ_0 应由设计书规定)。

3.1.3.3 构成一个平均增量的各个独立增量与该平均增量之差不大于 ϵ_0 的 $\sqrt{2}$ 倍。

3.1.3.4 边段平均增量沿由 N 个边组成的任一闭合环的闭合差或附合路线的附合差，不大于设计的平均增量的均方误差 ϵ_b 的 $2/N$ 倍。

3.1.4 野外工作中遇到测点重力值超出仪器的测程时，应铺设支基点，铺设基点的联测方法和要求，按建立基点网的有关要求进行。

3.2 重力测点的布设与观测

3.2.1 应根据地质任务，重力观测精度、地质构造特点确定大致点距、线距，测线方向一般应垂直或近似地垂直地质构造线。测点布设亦可采用自由网，但力求均匀分布。测点应尽量选择在地形平坦，近区地形影响较小的地方，用航片定点时，测点应布设于地物标志明显处。重力观测后，测点上应留有临时性标记，以供质量检查。

3.2.2 重力测点编号，规则网按点、线号顺序排列，自由网一般由所在 1:5 万地形图的图幅号和所在方里网的纵、横坐标数字组成，以方里网左下角点纵、横坐标值的末两位数字组成（先纵后横），当每平方公里内测点密度较大，测点编号时应加脚标以示区分。

3.2.3 测点的重力观测采用单程观测法，闭合时间最长不超过一天，当仪器性能较差或观测精度要求较高的情况下，应缩短闭合时间。

3.2.4 野外观测技术

3.2.4.1 对于石英弹簧重力仪，每日工作前应将重力仪置于野外工作相同的环境下，轻微地活动仪器，使之处于正常工作状态后再开始观测，仪器活动的时间视动态观测结果确定。

3.2.4.2 每日观测前对重力仪的纵横水泡进行粗检，并测定光线灵敏度，检查结果记入野外原始记录簿。

3.2.4.3 每日野外观测开始前或较长时间停顿后再开始工作前，应在基点上或临时基点上按基—辅—基的顺序进行观测，前后两次观测时间间隔应大于 5mm，平均读格之差应不大于 0.3 格，满足以上条件时方能继续工作。

3.2.4.4 基点上观测时，水泡调平准确到 $1/5$ 刻度，观测中允许水泡变化 $1/2$ 刻度。

3.2.5 野外观测中意外情况的处理

3.2.5.1 野外观测中，当亮线（或黑线）大幅度摆动时，可能受地球微震活动的影响，此时应停止观测。当微震过后亮线（或黑线）稳定时再进行观测。

3.2.5.2 当仪器出现粘摆现象，应用手指轻轻敲击仪器面板或脚螺丝来消除，或提起重力仪轻微上下晃动，切忌其他器物过重敲打，当粘摆现象严重时送厂修理。

3.2.5.3 野外观测中，仪器受震后应回到刚观测的三个以上点上进行重复观测，当掉格不大于 1.0 格时，可继续观测并做相应的零点位移改正。当掉格大于 1.0 格时，应尽快闭合到基点上，并对掉格前的观测点进行 10% 的检查观测，以确定观测结果的质量。

3.2.6 野外原始记录应内容完整、记录真实、字迹清晰工整、页面整齐和规格统一。

3.2.6.1 各项观测数据和备注栏应在观测的当时据实记录，不得补记或追记，不应先记在纸卜或其他非正式记录本上再转抄到正式记录本上。

3.2.6.2 记录本的各项内容，应一律按规定格式用中等硬度的铅笔记录，记错的数据

严禁擦改、涂改和描改，应将记错的数据用铅笔整齐地划去，重新记录正确的数据，划改后应在备注栏注记说明。

3.2.6.3 记录时相同的数据不得用“代替”，应按实际结果逐一记录，时间记录统一采用北京时间 24 小时制，不采用夏令时，记录本的页首应逐项填写齐全。

3.3 重力测点平面坐标和高程测定

3.3.1 当前常用的测定重力测点平面坐标和高程的方法有以下几种，采用何种方法可在设计中规定。

a. 利用 1:1 万或更大比例尺地形图的高程注记点布设重力测点，图解平面坐标和高程。地形类别以平地为主。

b. 在地形开阔、地物明显的地区，可利用航摄相片定点，用解析空三方法求取重力测点平面坐标和高程。在植被发育的山地隐蔽地区，航片不能直接定点时，可用仪器法进行“补漏”。

c. 综合法定点——航片选刺重力测点，解析空三方法加密平面坐标，高程由仪器测定。

d. 全仪器法测定重力测点平面坐标及高程。

3.3.2 采用航片选刺重力测点时，按附录 C 有关要求进行。

3.4 密度工作

3.4.1 岩（矿）石密度标本的采集，应由地质员进行，标本采集应力求新鲜，避免采集风化层和转石标本，并注意其代表性，应在采集现场准确定名，进行编号，并记录采集位置和有关地质现象等。

3.4.2 标本密度的测定方法，应根据标本的性质，采用密度计或天平法测定，疏松层用大样法测定。标本密度应在全湿条件下测定，测定时应有标准块。

密度测定的均方误差应不大于 $\pm 0.02 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

3.5 质量检查与精度评价

3.5.1 基点网质量评价；当基点网分区建立时，重力联测精度应分区、分级按各边段平均重力增量的联测均方误差 ϵ_j 的均方根值 ϵ_b 来衡量， ϵ_l 按（3—1）式计算； ϵ_b 按（3—2）式计算。

$$\epsilon_j = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} V_{ij}^2}{n_j (n_j - 1)}} \quad (3-1)$$

$$\epsilon_b = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \epsilon_j^2}{N}} \quad (3-2)$$

式中 ϵ_j ——第 j 边段平均重力增量的联测均方误差；
 ϵ_b ——为本级本区基点网的重力联测均方误差；
 n_j ——组成第 j 边段平均重力增量的独立增量数；
 N ——为本级本区基点网的联测边段数；

V_{ij} ——基点网第 j 边段上各个独立增量与该边段平均独立增量之差。

基点网重力值的精度，应根据分级分区平差后最弱点重力值的均方误差 ϵ_r 评定。 ϵ_r

按 (3—3) 式计算：

$$\epsilon_r = \pm \sqrt{\frac{1}{P_r} \cdot \mu} \quad (3-3)$$

式中 P_r ——该点平差值的权； μ 为基点网重力联测单位权的均方误差。 μ 按 (3—4) 式计算。

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_j^2 V_j^2}{r}} \quad (3-4)$$

式中 r ——为多余条件数 (闭合圈数)；

n ——为本区基点网联测的边段数；

V_j ——为第 j 边段的改正数；

P_j ——为第 j 边段平均重力增量的权，其数值等于该边段独立增量的个数 n_j 。

3.5.2 测点重力观测值的质量检查和评价：

3.5.2.1 测点重力观测值的质量应通过独立的检查观测来评定，质量检查工作应随着野外工作的进展经常进行，以便及时发现问题和解决问题。不允许野外工作全部结束后，进行总的突击性的检查。检查工作量占原始工作量的 3~5%，当测区面积较小时，检查点的绝对数量不少于 30 点，质量检查必须有专门记录本。质量检查点应均匀分布全区，对零点位移反常的闭合段要特别注意进行检查，对畸变点应 100% 进行检查，并判明产生的原因，必要时检查相邻测点，以便全面地发现问题。当畸变点大于总测点数的 1.0% 时，检查工作量应加大到总测点数的 10%。

3.5.2.2 检查方式可采用沿测线检查和斜穿检查，亦可采用自由点检查。检查时一般采用一同三不同 (同点位不同时间、不同仪器、不同操作员) 或二同二不同 (同仪器不同操作员、同点位不同时间)。当测区面积较小，只有一名操作员的情况下，要在不同时间进行检查观测，但检查观测与原始观测必须是同一点位。测点重力观测值的均方误差 ϵ_e 分两种方法计算。

a. 当检查观测只有一次时，按 (3—5) 式计算。

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad (3-5)$$

b. 当检查观测多于一次时，按 (3—6) 式计算。

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{(m-n)}} \quad (3-6)$$

式中 δ_i ——各测点原始观测与检查观测之差；

V_i ——各测点某次观测值与该点各次观测平均值之差；

m ——总观测次数；

n ——检查点数。

检查结果中, $\delta_i/2$ 超过 $3\epsilon_q$ 的总数不得超过检查点数的 1%, 并可不参加误差计算, 否则应扩大检查工作量。当肯定质量有问题时, 应根据具体情况对资料作妥善处理。

3.5.3 测点重力值的均方误差, 与各级重力基点网的布设方式和测点观测时的闭合方式和观测精度有关, 一般按最严条件估算其均方误差 ϵ_c , ϵ_c 按 (3—7) 式计算。

$$\epsilon_c = \pm \sqrt{\epsilon_I^2 + \epsilon_{II}^2 + \epsilon_q^2} \quad (3-7)$$

式中 ϵ_I 、 ϵ_{II} ——为 I、II 级基点网的重力值均方误差:

ϵ_q ——为测点重力观测值的均方误差。

3.5.4 布格改正值的精度 (ϵ_B) 按 (3—8) 式计算。

$$\epsilon_B = \left[0.3086 (1 + 0.007 \cos 2\phi) - 1.44 \times 10^{-7} H - 0.0419 \sigma \times 10^{-3} \left(1 - \frac{H}{\sqrt{H^2 + R^2}} \right) \right] \epsilon_h \quad (3-8)$$

式中 ϕ ——测点纬度;

ϵ_h ——测点高程均方误差, m;

σ ——中间层密度, kg/m^3 ;

R ——地改最大半径, (20 公里或 166.7 公里)

H ——测区平均海拔高程, m。

3.5.5 地形改正值的误差: 因近区地形改正一般为野外实测, 可采用加密方位重复测量的方法进行检查, 检查工作量与重力测点检查观测相同。中区地形改正, 当用量板读图法改正时, 检查方式可采用旋转量板半个方位或更换更大比例尺地形图的方式进行。远区地形改正一般为电算, 可采用读图方式或其他方法进行质量评价。中、远区地形改正的检查工作量应为 5~10%, 地形改正均方误差分两种情况计算。

a. 高精度检查时, 按 (3—9) 式计算。

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} \quad (3-9)$$

b. 同精度检查时, 按 (3—10) 式计算。

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad (3-10)$$

式中 δ_i ——检查值与原计算值之差;

n ——参与统计的检查点数。

地形改正值的总均方误差 ϵ_D 按 (3—11) 式计算。

$$\epsilon_D = \pm \sqrt{\epsilon_{近}^2 + \epsilon_{中}^2 + \epsilon_{远}^2} \quad (3-11)$$

式中 $\epsilon_{近}$ ——近区地改均方误差;

$\epsilon_{中}$ ——中区地改均方误差;

$\epsilon_{\text{远}}$ ——远区地改均方误差。

3.5.6 纬度改正误差 ϵ_w 按 (3—12) 式计算。

$$\epsilon_w = \pm 0.814 \sin 2\phi \times \epsilon_d \quad (3-12)$$

式中 ϕ ——测区中心纬度；

ϵ_d ——测点沿南北方向的点位均方误差。

3.5.7 布格重力异常的总精度 ϵ_z 按 (3—13) 式计算。

$$\epsilon_z = \pm \sqrt{\epsilon_C^2 + \epsilon_B^2 + \epsilon_D^2 + \epsilon_W^2} \quad (3-13)$$

式中 ϵ_C , ϵ_B , ϵ_D , ϵ_W 分别为测点重力值均方误差、布格改正均方误差、地形改正均方误差、纬度改正均方误差。

3.5.8 密度测定的精度，用同种方法进行检查观测时，检查量不少于 5%，检查结果应计算均方误差。

当检查观测只有一次时，按 3.5.2.2a 公式计算；

当检查观测多于一次时，按 3.5.2.2b 公式计算。

3.5.9 对全区重力测点的平面坐标和高程使用全仪器法进行质量检查，工作量为 3 ~ 5%，检查点数不应少于 30 个。检查点应均匀分布并具有代表性。

4 资料整理和成果提交

4.1 资料整理

4.1.1 物探重力基点网联测结果的平差采用条件平差法 (见附录 B)。

4.1.2 野外重力观测值的计算，应进行固体潮理论值和零点位移等两项改正，改正值按 (4—1) 式计算。

$$g_i = G_1 + K(S_i - S_1) - (R_i - R_1) - \frac{K(S_2 - S_1) - (G_2 - G_1) - (R_2 - R_1)}{T_2 - T_1} (T_i - T_1) \quad (4-1)$$

式中 G_1 、 G_2 ——起始基点、闭合基点的重力值；

S_1 、 T_1 、 R_1 ——起始基点的仪器读数、观测时间、固体潮理论值；

K ——重力仪格值；

S_2 、 T_2 、 R_2 ——闭合基点上的仪器读数、观测时间、固体潮理论值；

S_i 、 T_i 、 R_i ——某些点上的仪器读数、观测时间、固体潮理论值。

4.1.3 重力基点网联测时若两基点间单次观测时间超过一小时者，独立增量的计算须经固体潮理论值的改正 (见附录 D)。

4.1.4 中区地形改正 (20 ~ 500m) 分为圆域和方域两种方法 (见附录 E)。

方域地改按 (4—2) 式计算。

$$\Delta g_D = G_o \Delta x \Delta y \sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{r_{ij}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h_{ij}}{r_{ij}}}} \right] \quad (4-2)$$

圆域地改按 (4—3) 式计算。

$$\Delta g_D = \frac{2\pi G \sigma}{n} (R_{m+1} - R_m + \sqrt{R_m^2 + \Delta H^2} - \sqrt{R_{m+1}^2 + \Delta H^2}) \quad (4-3)$$

式中 G ——万有引力常数 [$6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2)$];

σ ——岩石密度, kg/m^3 ;

R_m ——某一扇块的内半径, m ;

R_{m+1} ——某一扇块的外半径, m ;

n ——方位数;

ΔH ——扇块的平均高程与测点高程之差, m ;

h_{ij} ——节点与中心点的高差, m ;

r_{ij} ——节点与中心点的距离, m ,

$\Delta x \Delta y$ ——网格距。

$$C_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{对于内节点} \\ 0.5 & \text{对于边缘点} \\ 0.25 & \text{对于外角点} \\ 0.75 & \text{对于内角点} \end{cases}$$

4.1.5 为确保不同测区、不同年份工作成果的拼接和与区域重力资料的结合使用,对资料整理作如下规定:

4.1.5.1 重力值的起算统一采用 1985 年国家重力基本网系统。

4.1.5.2 正常重力值计算采用第十七届国际大地测量和地球物理联合会 (IUGG) 通过、由国际大地测量协会 (IAG) 推荐的 1980 年大地测量参考系统中的正常重力公式,即按 (4—4) 式计算大地水准面上的重力值。

$$\gamma_0 = 978032.7 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi) \quad (4-4)$$

式中 ϕ ——测点纬度。

4.1.5.5 高度改正值 δ_H 、布格改正值 δ_B 、自由空间异常值 Δg_F 和布格重力异常值 A_y 的计算公式分别为: (4—5) (4—6) (4—7) (4—8)

$$\delta_H = [0.3086 (1 + 0.0007 \cos 2\phi) - 0.72 \times 10^{-7} H] H \quad (4-5)$$

$$\delta_B = \left[0.3086 (1 + 0.0007 \cos 2\phi) - 0.72 \times 10^{-7} H - 0.419 \sigma \times 10^{-3} \left[1 + \frac{R}{H} - \sqrt{1 + \frac{R^2}{H^2}} \right] \right] H \quad (4-6)$$

$$\Delta g_F = g - \gamma_0 + \delta_H \quad (4-7)$$

$$\Delta g_B = g - \gamma_0 + \delta_B + \delta_D \quad (4-8)$$

式中 ϕ ——测点纬度;

H ——测点海拔高程, m ;

σ ——中间层密度, kg/m^3 ;

g ——测点重力值, $10^{-5} \text{ m}/\text{s}^2$;

δ_D ——地形改正值(近、中、远区)(10^{-5} m/s^2);

γ_0 ——测点大地水准面上的正常重力值(10^{-5} m/s^2);

R——地形改正最大半径, m。

4.1.6 重力基点网联测中重力增量单项计算和重力观测值的计算均取至 $0.001 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 单位,最后结果仍取至 $0.001 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 单位。

4.1.7 布格重力异常值单项计算取至 $0.001 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 单位,最后结果按四舍五入方法取至 $0.01 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 单位。

4.1.8 对收集和本单位实测的岩石密度资料应在准确确定岩石名称,正确划分所属层位或时代的基础上合理分类,求出各类岩石标本密度的算术平均值、常见值及其标准离差。

对于成层岩石,应以密度分层,求出分层密度值和某一时代岩层的加权平均密度值。

4.1.9 对于上述所有计算和统计,均应采取 100% 复算。对于重力基点网联测、平差和格值测定的独立增量计算均应采取二手对算,以确保数据正确。对于采用微机计算的各类结果,均应对计算源程序进行审核以及对输入的原始数据进行 100% 的检查。

4.2 成果提交

4.2.1 应提交的原始资料:

- a. 仪器性能检查、试验、标定记录和计算统计结果。
- b. 测地工作的各种原始用图、原始记录和计算成果。
- c. 密度工作的标本采集、测定原始记录和计算统计成果。
- d. 基点网联测的原始记录和平差图件。
- e. 地形改正工作的各种原始记录和计算成果。
- f. 重力观测的原始记录和统计计算成果。
- g. 地质工作的各种原始记录和原始用图。
- h. 工作期间收集的,有保存价值的各种有关资料。
- i. 原始资料验收文据(包括各种图件的验收)。
- j. 使用微机计算重力等成果的,应提交带汉字头的宽行打印结果。

4.2.2 应提交的成果档案:

- a. 重力基点档案。
- b. 布格重力异常成果表(要求按 1:5 万国际分幅图编号、填写)。
- c. 重力测区索引表。
- d. 测点重力测量成果表(本)。

4.2.3 1:5 万重力测量结果应以国际分幅的图幅为单位,编制布格重力异常点位数据图和说明书。

a. 必须编制中间层密度值为 $2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的布格重力异常点位数据图。

b. 根据重力调查区的具体情况和解释推断的需要,可自选中间层密度值编制布格重力异常点位数据图,并在设计中明确规定。

c. 图件说明书的主要内容为：编写单位及主要编图人员，编图所选用的重力资料的工作单位、工作比例尺和面积，使用的重力仪类型，资料存放单位和地址；物探重力基点网的基本情况，重力测点平面坐标和高程的确定方法，重力野外观测方法，质量检查方法和检查量，资料整理情况，各项精度，本图存在问题等。

4.2.4 1:5 万重力测量成果报告应附以下主要图件和表册。

a. 实际材料图（使用简化地形图，包括重力基点、测点位置、物性采样点、质量检查点位置、剖面位置等）。

b. 布格重力异常平面图。

c. 各种典型剖面图。

d. 剖面与平面解释推断成果系列图件。

e. 岩石密度整理统计图表。

f. 剩余重力异常平面图。