

**DZ**

# 中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0171—1997

---

## 大比例尺重力勘查规范

1997-03-19发布

1997-11-01实施

---

中华人民共和国地质矿产部 发布

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 引用标准 .....	1
3 常用术语 .....	1
4 技术设计 .....	1
5 仪器准备 .....	7
6 野外工作 .....	13
7 资料整理及精度评价 .....	16
8 成果提交 .....	20
附录 A(提示的附录) 改变中间层密度计算布格重力异常值的简化公式 .....	22
附录 B(提示的附录) 重力固体潮校正 .....	22
附录 C(标准的附录) 重力仪野外观测中的常用资料整理方法 .....	24
附录 D(提示的附录) 重力基点网条件平差 .....	26
附录 E(提示的附录) 地形校正计算方法 .....	32
附录 F(标准的附录) 重力基点档案格式 .....	37
附录 G(标准的附录) $\times\times$ 地区重力 $\times$ 级基点网重力基点成果表格式 .....	38
附录 H(标准的附录) 重力测区索引表格式 .....	39
附录 J(标准的附录) 布格重力异常成果计算表格式 .....	40
附录 K(提示的附录) 石英弹簧重力仪水泡测定记录本格式 .....	41
附录 L(提示的附录) 重力测量基点(小循环观测法)观测和计算记录本格式 .....	42
附录 M(提示的附录) 石英弹簧重力仪重力测点观测和计算记录本格式 .....	43
附录 N(提示的附录) 拉科斯特重力仪重力测量记录本格式 .....	44
附录 P(提示的附录) 岩(矿)石密度标本采集及测定记录本格式 .....	45
附录 Q(提示的附录) 近区重力地形校正野外记录本格式 .....	46
附录 R(提示的附录) 成果报告质量评级标准 .....	47

## 前 言

本标准参考了我国历年来制订和颁发的重力勘查方面的规范,以及各单位进行大比例尺重力勘查所取得的有关方法技术经验。所参考的主要有:国家地质总局制订的《重力勘探工作手册》(1976,1);地质矿产行业标准 DZ 0004—91《重力调查技术规定(1:50 000)》和 DZ/T 0082—93《区域重力调查规范》。

本标准在总精度分档、各项误差分配、有关工作精度和测网密度选择等方面均做出了合理的规定;对仪器调试、精度控制、观测要求及性能评价方法和标准等方面要求更为明确、可操作性更强;野外观测质量的监控、资料 and 报告质量评价方面均有严密的措施和具体的指标要求,便于实施。

本标准所涉及的测地工作的具体方法技术将执行 DZ/T 0153—95《物化探工程测量规范》。

本标准的附录 C、附录 F、附录 G、附录 H、附录 J 都是标准的附录;

本标准的附录 A、附录 B、附录 D、附录 E、附录 K、附录 L、附录 M、附录 N、附录 P、附录 Q、附录 R 都是提示的附录。

本标准由全国地质标准化技术委员会物化探分技术委员会提出。

本标准由地质矿产部地质调查局勘查技术处负责起草。

本标准主要起草人为孙文珂、丁鹏飞。

## 1 范围

本标准规定了大比例尺重力勘查的技术设计、仪器准备(含重力仪调节及性能测试)、野外工作、资料整理、精度评价和成果提交等项要求。

本标准适用于矿产普查、详查、圈定岩体(层)、研究地质构造、洞穴探查以及其他特殊探测等目的的大比例尺重力勘查工作。

## 2 引用标准

下列标准包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。在标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 14499—93 地球物理勘查技术符号

DZ/T 0069—93 地球物理勘查图图式、图例和用色标准

DZ/T 0153—95 物化探工程测量规范

## 3 常用术语

### 3.1 大比例尺重力勘查

是指工作比例尺为 1:25 000 到 1:500、总精度不低于  $0.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$  的重力勘查。

### 3.2 重力勘查的普查性工作

是指用重力勘查发现勘查目标异常的工作。目标物可以是矿床(体),也可以是某类地质体或人工形成的某些地下埋藏体等。

### 3.3 重力勘查的详查性工作

是指用重力勘查详细研究异常细节的工作或定量研究异常体的工作。

### 3.4 重力总基点

是指测区重力值起算的基准点,也是测点相对高程的起算点。

### 3.5 相对重力值

是指相对于总基点的测点重力值。

### 3.6 重力勘查基点网精度

是指对基点网重力联测结果进行平差后的精度,本规范以平差后网内最弱点重力值均方误差  $\epsilon_{\text{网}}$  衡量。

## 4 技术设计

### 4.1 工作任务

#### 4.1.1 大比例尺重力勘查的具体任务应由任务书明确规定。任务书的内容应包括:

- a) 项目名称、工作地区和范围;
- b) 工作目的、勘查对象;

- c) 主要技术要求和经济指标;
- d) 要求提交的成果资料及时间。

#### 4.1.2 根据任务书和工作地区的地质、地球物理条件以及其他资料编写设计书。其内容应包括:

- a) 任务及目的要求;
- b) 地质、地球物理特征;
- c) 工作方法与技术;
- d) 预期提交的成果;
- e) 技术经济指标。

#### 4.2 资料收集

编写工作设计前视需要收集下列资料:

- a) 工作地区的人文、气象、交通等方面的资料;
- b) 工作地区的地形、地貌、植被和浮土厚度变化等情况的资料;
- c) 工作地区的测绘资料;
- d) 工作地区以往的重力工作资料和密度资料,已有各类重力基点和标定场的资料,以及大比例尺工作经验;
- e) 工作地区有关的地质、遥感、化探和其他物探资料;
- f) 解决同类勘查任务的重力方法技术资料。

#### 4.3 方法有效性分析

##### 4.3.1 在设计过程中,可依据下列资料,对方法的有效性进行分析:

- a) 重力勘查目标物模型的正演计算结果;
- b) 邻区或其他类似地区的实际工作成果;
- c) 野外现场的踏勘或试验结果。

##### 4.3.2 设计过程中应详细分析勘查目标物及其他地质体的物性特点,以及最小的目标物的大小和最大的可能埋深及产状要素,据此建立重力勘查目标物的模型集和研究其重力异常特点,并对如何区分和消除干扰的办法进行初步分析。

##### 4.3.3 在分析方法有效性时,要专门了解测区的地形影响,特别是地改不完善可能引起的误差有多大。

#### 4.4 工作精度

##### 4.4.1 设计重力勘查的精度应依据如下原则:

- a) 对于普查性工作,设计总精度应以能发现普查时拟探测的有意义异常为原则,同时应综合考虑普查时拟用多少个测点来反映异常,一般总精度绝对值应小于有意义异常幅值的三分之一到五分之一。
- b) 对于详查性工作,设计总精度应以能详细研究异常细节为原则,主要决定于异常细节的复杂程度,要根据普查结果加以确定,一般总精度绝对值应小于异常细节变化幅度的二分之一到三分之一。通常,同一测区的详查总精度高于普查总精度。

- c) 为了特殊研究目的和数据处理的需要,应在设计中对总精度作专门论述,并提出具体要求。

##### 4.4.2 重力勘查的布格重力异常(本规范所提到的布格重力异常均系对测点的相对重力值进行布格、地形、纬度等项校正后得到的重力异常)总精度以及测地方面的精度都以均方误差衡量,其分级和各影响因素引起的误差分配值及对测地精度的要求应在设计书中具体规定(可参照表1)。

表 1

布格重力 异常总精度	测点重力值 均方误差	布格校正 均方误差	地形校正 均方误差	纬度校正 均方误差	测点高程 均方误差	测点平面 位置均方误 差(图上相对 于解析点)
$10^{-5} \text{ m/s}^2$					m	
0.025	0.015	0.010	0.017	0.005	0.050	5
0.050	0.030	0.015	0.035	0.010	0.075	10
0.100	0.060	0.030	0.070	0.015	0.150	15
0.200	0.080	0.140	0.110	0.030	0.700	30

4.4.3 在分配误差时,可在保证总精度的前提下,适当提高某几项精度而降低另几项精度。

4.4.4 测点重力值(本规范所提到的测点重力值均系相对重力值)的均方误差,由重力勘查基点网均方误差和测点重力观测均方误差组成,一般可参照表 2 分配。

表 2

 $(10^{-5} \text{ m/s}^2)$ 

测点重力值均方误差	重力勘查基点网均方误差		测点重力观测均方误差
	I	II	
0.015	—	—	0.015
0.030	0.014	—	0.027
0.060	0.014	0.030	0.050
	0.030	—	
0.080	0.020	0.040	0.066
	0.040	—	0.069

4.4.5 地形校正均方误差按近、中、远三区合理分配,一般按表 3 分配。

表 3

地形校正均方误差 $10^{-5} \text{ m/s}^2$	近 区 0~20 m	中 区 20~200 m	远 区 200 m 以远
0.017	0.014	0.010	—
0.035	0.016	0.020	0.024
0.070	0.020	0.045	0.050
0.110	0.025	0.070	0.080

#### 4.5 测区、测网和工作比例尺

##### 4.5.1 测区范围

a) 应包括被勘查对象可能赋存的地段,并向外有一定的延扩,使所得到的异常能有足够的背景场衬托。

b) 应尽可能将已知的地质体或与勘查对象有关的岩(矿)露头和探矿工程包括在内。

c) 在前人工作基础上扩大测区范围时,测区边缘应重复部分测线和测点。

d) 在施工方便的前提下,力求测区边界大体整齐规则。

##### 4.5.2 测线方向

a) 测线方向应垂直于勘查对象或已知异常的走向。

b) 当勘查对象或异常走向改变较大时,测线方向应随之改变(也可分为不同工区)。

c) 当勘查对象具有不同走向时,测线应与其总的平均走向或主要勘查对象的走向相垂直。

#### 4.5.3 测网密度

测网密度应根据勘查目的、工作性质、勘查对象及异常的规模等因素确定。

a) 对于普查性(追索性)工作,线距不应大于最小勘查对象可引起的异常长度,点距一般应有三个测点能以既定精度反映异常。

b) 对于详查性(评价性)工作,测网密度应根据普查所发现的异常强度、范围和其他特征而定,通常线点距的大小应使异常的细节特征能得到充分反映,拟详查的异常一般有 3~5 条测线穿过,每条测线上有 5~10 个测点。

#### 4.5.4 测网形式

测网形式取决于异常形状及其分布特征。详查性工作宜采用规则测网,异常具有明显走向者,一般采用长方形测网,否则采用正方形测网。

#### 4.5.5 工作比例尺

工作比例尺主要取决于测网密度,使线距等于相应工作比例尺图上一厘米所代表的长度。常用的比例尺与点、线距关系可参照表 4。

表 4

比例尺	长方形测网		正方形测网 线距=点距 m	非规则测网 点数/km <sup>2</sup>
	线距 m	点距 m		
1:25 000	250	50~200	—	20~60
1:10 000	100	20~50	80~100	80~120
1:5 000	50	10~25	40~50	—
1:2 000	20	5~10	16~20	—
1:1 000	10	2~5	8~10	—
1:500	5	1~2	4~5	—

#### 4.6 基点网的设计

大比例尺重力勘查的重力基点网应根据仪器性能、测区大小和地形情况设计,按闭合网布设,并一次建成。

4.6.1 对于上百平方公里的重力测量,重力勘查基点网一般应与国家重力基本点、国家重力一等点(85 网)或区域重力调查的基点网进行联测。

4.6.2 当测区面积较大时,可建立两级重力基点网。Ⅰ级基点网用于传递重力值或得到相对于总基点的重力差值,以及控制Ⅱ级基点网的重力联测。Ⅱ级基点网除用于传递重力值外,还供测点重力观测时作检查和校正重力仪混合零点位移之用。当测区面积小时,可只建立Ⅰ级基点网。在详查性小范围工作时可只用一个基点。

4.6.3 基点网的分布密度应根据测区内地形、交通条件、仪器性能及测点重力值均方误差(表 2)等因素妥善布设。要求分布均匀,符合测点观测时按规定就近闭合的要求。测区内末级基点对高程应有选择,尽量保证从该基点出发不调测程而能完成附近全部测点的观测。基点应避开陡崖、土坎、湖边。

4.6.4 基点网中应包括一个作为测区重力值起算的总基点。总基点的重力值可以是假设的。总基点的高程可采用实测高程或假设高程,测区内各观测点相对高程均以总基点高程起算。

4.6.5 设计重力勘查Ⅰ、Ⅱ级重力基点网可参照表 5 的有关要求,并可根据具体情况,调整表 5 中的具体指标。

表 5

$\epsilon_{\text{网}}$	$\epsilon_0$	$n$	$\epsilon_b$	$N$
0.014	0.015	2	0.011	6
	0.020	3	0.011	6
0.020	0.020	2	0.014	8
0.030	0.020	2	0.014	12
0.040	0.030	2	0.021	12

表中： $\epsilon_{\text{网}}$ ——重力基点网的设计均方误差；

$\epsilon_0$ ——三程循环或往返重复观测时的均方误差（可从动态试验结果中求得）；

$\epsilon_b$ ——基点网联测均方误差；

$n$ ——观测时最少的仪器台数（取得独立增量的个数）；

$N$ ——闭合环最多不超过的边数。

4.6.6 必要时可设引点（主要对Ⅰ级基点而言）或支基点。Ⅰ级基点的支基点只能由Ⅰ级基点按支线发展一个；Ⅱ级基点的支基点可由Ⅱ级基点按支线发展1个。联测的独立增量数应比一般边段多一倍。

4.6.7 总基点应埋设固定标志水泥台，其顶面积规格为30 cm×30 cm；Ⅰ级基点是否埋设水泥台由设计书规定，Ⅱ级基点一般应埋设三个牢固的木桩，以便固定重力仪脚架的位置，并应保证在整个工作期间，其空间位置（平面及高度）不变。固定标志（水泥台）上应明显标出“重力基点”字样，并标明基点编号、日期和建点单位。

#### 4.7 地形校正

4.7.1 测区内是否需要进行地形校正（下简称地改）以及采用多大的地改半径，应根据工作精度、测区内地形特点和在数条典型剖面上进行的地改试验结果确定。

4.7.1.1 当各测点的地改值不超过设计的地改均方误差值或在欲研究异常宽度的3~5倍范围内，各测点间地改值之差最大不超过设计的地改均方误差值时，可以不进行地改。

4.7.1.2 地改区段和最大半径的确定应遵循的原则是：当忽略某一区段或最大半径以外的地改值后，不致影响对欲研究异常的分辨和解释。

4.7.1.3 当满足下列条件之一时，某一区段（或最大半径以外）可不作地改。

a) 某一区段的地改值不超过该区段设计的地改均方误差值。

b) 在欲研究异常宽度的3~5倍范围内，各测点间相应于某区段（或最大半径以外）的地改值之最大差值不超过该区段（或最大半径以外）设计的地改均方误差值。

c) 最大半径以外的地改值变化平缓，可当作区域场来处理。

4.7.2 地改按近、中、远三区段分别进行。

4.7.2.1 近区（0~20m）地改，应根据设计精度，采用野外实测或用地形图读图计算，也可将两种方法结合使用。

4.7.2.2 中区（20~200 m）地改，可采用地形图读图计算或电算方法进行。园城地改方位数和环数的划分，方城地改节点网的密度应通过试验确定。

4.7.2.3 远区（200 m以远）地改，一般采用电算方法进行。方城地改节点网的密度由试验确定。2 000 m以远的地改允许采用1 km×1 km或500 m×500 m节点高程电算方法进行。亦可采用地形图读图计算。园城地改方位数和环数的划分及共点法读图地改均需通过试验确定。

4.7.2.4 地改所需地形图的比例尺和高程精度，应根据设计的地改精度和工区地形情况参考表6确定，所用地形图或航空相片应是最新的。

表 6

地形校正 均方误差 ( $10^{-5}\text{m/s}^2$ )	0~20 m		20~200 m		200 m 以远	
	比例尺	高程精度 m	比例尺	高程精度 m	比例尺	高程精度 m
0.017	1:500	±0.2	1:1000	±0.5	1:5000	±2.5
	~ 1:1000	~ ±1.0	~ 1:5000	~ ±2.0	~ 1:10000	~ ±5.0
0.035	1:500	±0.2	1:1000	±0.5	1:5000	±2.5
	~ 1:1000	~ ±1.0	~ 1:5000	~ ±2.0	~ 1:10000	~ ±5.0
0.070	1:1000	±0.5	1:2000	±1.0	1:10000	±5.0
	~ 1:2000	~ ±2.0	~ 1:5000	~ ±5.0	~ 1:25000	~ ±10.0
0.110	1:1000	±0.5	1:2000	±2.0	1:10000	±10.0
	~ 1:2000	~ ±2.0	~ 1:10000	~ ±10.0	~ 1:50000	~ ±20.0

4.7.2.5 地改所用密度值,应根据测区岩石密度分布情况,结合工作性质和解释上的需要合理确定。当工区面积大于  $100\text{ km}^2$ ,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 A)。是否采用变密度及其相应校正方法由设计书规定。

4.7.2.6 对总精度高于  $0.05 \times 10^{-5}\text{ m/s}^2$  的工作,设计地改方案应根据地形情况采取特殊措施(通过试验后在设计书中具体规定)。

#### 4.8 测地工作

4.8.1 重力勘查中的测地工作,主要提供符合精度要求重力观测点平面坐标、高程和地改所需的地形图、航摄资料等测绘成果。

4.8.2 设计前视需要收集测区所需各种测绘资料。主要有:

a) 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。

b) 所需各种比例尺地形图(年代较久的地形图应了解其精度)。

c) 航摄资料及航摄成果:近期航空相片、透明正片、航区索引片、航摄数据鉴定表;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。并对高程精度做出估算。

4.8.3 根据需要,应组织力量对测区进行必要的踏勘。

4.8.4 重力测点平面定位误差和高程误差应满足表 1 的要求和成图的有关规定。测点平面定位误差除满足表 1 外,还需满足测点在相应比例尺成果图上相对于解析点的均方误差不大于  $1\text{ mm}$ 。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测地工作。

4.8.5 重力基点应进行高程和坐标的联测,测区内的基点和总基点用与布设重力测点的同精度方法实测其平面坐标和高程;测区外的基点,可用精度满足要求的地形图图解其平面坐标与高程。

4.8.6 为重力地改专门测制地形图和从航空相片求取节点高程时,应满足表 6 的要求。

4.8.7 专门剖面重力测量时,应根据对测地的要求设计相应的测量方法。

#### 4.9 专门剖面测量

根据地质任务、综合研究及解释的需要,合理布设各种类型的专门剖面测量。

#### 4.9.1 密度剖面

为确定中间层密度应在地形起伏大、有代表性且不存在局部异常的地方,布置密度剖面。其数量一般应有 3~5 条。工作精度一般与面积测量相同,必要时可略提高。

#### 4.9.2 典型剖面

凡面积性工作均应在能反映区内不同地层、岩体、构造和矿产及探测目标物的地方布置典型剖面,最好能与已有地质剖面重合,并采集密度标本。剖面数量要依地质情况复杂程度而定;其长度应将已知地质情况的地段包括在内;点距应能反映不同探测目标物上的重力场变化特征。工作精度一般与面积测量相同,必要时可略提高。

#### 4.9.3 精测剖面

当需对异常进行详细研究时,应在最能反映异常特征、干扰最小、最利于进行定量计算的地方布置精测剖面,要求通过异常中心,或尽可能与勘探线重合。剖面数量视任务而定;长度应使剖面两端尽可能达正常场;点距以能测得异常细节为原则,点位均方误差在相应工作比例尺图上应不大于 0.6 mm。重力工作精度应略高于面积测量。

### 4.10 密度工作

4.10.1 岩(矿)石密度是地形校正、中间层校正、确定方法有效性以及异常解释的重要依据。岩(矿)石密度工作是重力勘查的重要组成部分,包括密度标本采集、测定和整理研究以及对前人所得密度资料的收集整理、分析研究等内容。

4.10.2 密度工作的设计因目的不同而有所侧重:

- a) 对于地形校正、中间层校正,需要重点了解表层岩(土)密度分布特点及分区的平均值。
- b) 对于确定重力勘查方法有效性,需要重点了解勘查目标与其他地质体(特别是周围地质体)的密度差异。
- c) 对于解释异常,需要较全面了解各类岩石密度的特点,特别是能产生干扰异常的地质体的密度特征。

4.10.3 对收集到的前人所得密度资料要就其测定方法、精度及岩石定名、分布状况、统计方法做出评价,对它们是否有代表性做出分析。

4.10.4 岩石密度标本采集时,应注意代表性和系统性并分布合理。

4.10.4.1 对于沉积岩,一般选择在地层、岩石产出齐全的剖面上采集。

4.10.4.2 对于岩浆岩,要按不同岩性、不同期次采集。

4.10.4.3 对于变质岩,要按不同岩性、不同构造部位采集。

4.10.4.4 对于矿石,要按不同矿种、不同品位、不同结构和构造采集,并且要采集近矿围岩、蚀变带的岩石。

4.10.4.5 对于疏松层,要按物质成分及结构采集。用大样法测定。

4.10.4.6 除测地表岩矿标本的密度外,尤其要测钻孔岩心的密度,了解其随深度变化规律。地表风化强烈区,应设法采集新鲜标本。

4.10.4.7 每种岩石要有足够数量,一般不少于 30 块,主要岩(矿)石标本数还应增加。

4.10.4.8 标本质量或体积由测定方法确定,当用密度计测定时,标本质量以 100 g~200 g 为宜。当用 1/500、1/1 000 天平测定时,标本质量应大于 350 g。疏松层大样的取样体积为 50 cm×50 cm×50 cm。

### 5 仪器准备

#### 5.1 重力仪检查与调节

5.1.1 重力观测使用的重力仪,在投入野外作业前,均应参照仪器说明书进行检查与调节。石英弹簧重力仪应进行测程、光线灵敏度和水准器的检查与调节;金属弹簧重力仪(Lacoste & Romberg 简称 LCR)应进行光线灵敏度、正确读数线、横水准器的检查与调节,以及进行电子读数零位、检流计零位、电子灵

敏度的检查与调节;CG-3型自动重力仪(可直接给出重力差值)应进行温度补偿调节、漂移改正调节、倾斜传感器零点和灵敏度调节。

5.1.2 野外工作期间应定期对重力仪进行各项检查与调节,石英弹簧重力仪的光线灵敏度、水准器的检查与调节至少每半个月进行一次;LCR重力仪的光线灵敏度、正确读数线、横水准器、电子读数零位和检流计零位、电子灵敏度等项检查与调节至少每月进行一次;CG-3型自动重力仪的温度补偿、漂移改正、倾斜传感器零点和灵敏度至少每月检查、调节一次,必须保持重力仪处于正常工作状态。当仪器长途搬运后,应及时进行检查与调节。

## 5.2 重力仪性能试验

重力仪的性能试验一般包括静态试验、动态试验和多台仪器间的一致性试验,以及调节测程后读数稳定时间试验。

### 5.2.1 静态试验

重力仪的静态试验结果是了解仪器静态零点位移性能的主要资料,用于生产的(含备用)仪器,均应进行静态试验。

5.2.1.1 要求试验时间不短于24h,环境温度应力求变化不大,观测地点应稳固无振动干扰。

5.2.1.2 通常每隔30min观测一次,取得一个读数,同时记录观测时间和温度变化。

5.2.1.3 对静态观测结果应进行固体潮校正和绘制静态零点位移曲线,以了解静态位移特点。

### 5.2.2 动态试验

重力仪的动态试验是了解仪器动态零点位移和观测可能达到的精度的一种重要试验,开工前应进行,其后野外工作期间每三个月进行一次,野外工作结束后再进行一次。野外工作中如仪器受震或经检修亦应进行动态试验。

5.2.2.1 要求试验时间不短于10h,试验点间重力差大于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,两点间单程观测时间间隔小于20min。在观测的同时应记录观测时间和温度变化。

5.2.2.2 对动态观测结果应进行固体潮校正和绘制动态零点位移曲线,并根据该曲线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。

5.2.2.3 对动态观测精度应进行统计,用于基点(或测点)观测的仪器,其动态观测均方误差应小于设计的基点(或测点)重力观测均方误差的二分之一,公式为:

$$\epsilon_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \delta_i^2}{m-n}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $\delta_i$ ——相邻两点间各个增量与平均增量之差值;

$m$ ——增量的总个数;

$n$ ——试验点观测边(段)数(当只在两个点上观测时, $n=1$ )。

5.2.2.4 根据动态试验结果可以估计基点联测时的观测均方误差 $\epsilon_0$ ,具体办法为:在动态曲线上按基点联测拟采用的观测方式和闭合时间求得两点间的独立增量,如此沿曲线求取该两点间 $n$ 个(不少于10个)独立增量,然后求平均增量,按下式计算 $\epsilon_0$ :

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

式中:  $V_i$ ——独立增量与平均增量之差值;

$n$ ——独立增量数。

### 5.2.3 多台重力仪的一致性试验

当工区内同时有几台仪器工作时,应在投入野外作业前进行多台仪器一致性对比试验;野外工作中当某台仪器受震或经检修,应重新进行一致性试验。

5.2.3.1 一致性对比剖面应布置在测区内重力值变化足够大的地段,一致性试验的观测点数不少于30个。

5.2.3.2 多台仪器间的一致性测定精度要求,可在设计书中规定。计算一致性均方误差( $\epsilon_{\text{一致性}}$ )的公式为:

$$\epsilon_{\text{一致性}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij}^2}{M-n}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $V_{ij}$ ——某点( $i$ )上某台仪器( $j$ )之观测值与多台仪器在该点之观测值的平均值的差值;

$m$ ——参加一致性观测的仪器台数;

$n$ ——一致性试验的观测点数;

$M$ ——差值  $V_{ij}$  的总个数  $M=m \times n$ 。

5.2.3.3 用于基点(或测点)观测的仪器,当其计算出的  $\epsilon_{\text{一致性}}$  小于设计的基点(或测点)观测均方误差时,这一组仪器可使用;否则从这组仪器中找出偏离大的某台仪器不予使用,或经调节仪器性能后一致性达到要求时使用。

5.2.3.4 从一组仪器中找出偏离大的仪器时,可采用绘图方法或计算方法,二者结合使用更为可靠。

#### a) 绘图方法

将各台仪器在一致性对比剖面上的观测曲线,以及多台仪器观测值的平均值曲线绘在同一座标图中,通过分析这一组曲线相互之间(尤其是与平均值曲线之间)的偏离规律,即可找出偏离大的仪器。

#### b) 计算方法

计算各台仪器的偏离均方误差  $\epsilon_{j\text{偏}}$ , 并比较其大小。计算  $\epsilon_{j\text{偏}}$  的公式为:

$$\epsilon_{j\text{偏}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_{ij})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $a_{ij}$ ——第  $j$  台仪器在  $i$  点上的观测值;

$\bar{a}_{ij} = \sum_{j=1}^m a_{ij}/m$ ——多台仪器在  $i$  点上的观测值的平均值;

$m$ ——系参加一致性试验观测的仪器台数;

$n$ ——为一致性试验观测点数。

若用于基点(或测点)观测的第  $j$  台仪器,其  $\epsilon_{j\text{偏}}$  大于设计基点(或测点)观测误差的二分之一,则认为其偏离较大。

### 5.2.4 调测程后读数稳定时间试验

应采用下列试验方法进行调测程后读数稳定时间试验。

a) 调节重力仪测程至适当位置后,将仪器提起轻微晃动,然后将仪器放在试验点上调平,读取读数,并记下调测程结束时间  $t_0$ 。

b) 立即按试验点—辅助点—试验点的顺序反复观测,当试验点上某次读数与上次读数之差小于0.5格时,记录时间  $t_1$ ,  $(t_1 - t_0)$  即为本次调测程后仪器读数稳定时间。

c) 多次重复上述 a)、b) 两项操作,以各  $(t_1 - t_0)$  中最大者作为该仪器调节测程后的稳定时间。

### 5.3 重力仪格值和重力尺度比例因子标定

5.3.1 正确标定重力仪格值和重力尺度比例因子<sup>1)</sup>(下简称比例因子)是消除系统误差的重要环节,标定的精度要求如下:

- 1) 重力仪重力尺度比例因子:用于将附有格值表的 LCR 型重力仪和可直接得到重力值的 CG-3 型重力仪所给出的重力差值统一到我国的重力尺度,为此,这类仪器需在我国的重力标定场标定重力尺度比例因子。

5.3.1.1 凡在建立重力基点网时使用的重力仪,其格值或比例因子应在国家级格值标定场进行标定,格值和比例因子测定的相对均方误差应不大于  $1/5\ 000$ 。

5.3.1.2 进行重力测点观测使用的重力仪,其格值或比例因子可在工作地区内国家级标定场进行标定,亦可在各省或各单位自建的标定场进行标定,格值和比例因子测定的相对均方误差应不大于  $1/3\ 000$ ;相邻两次格值或比例因子标定的相对变化( $\eta_K$  或  $\eta_C$ )应不大于  $1/1\ 500$ ,若超过要求,格值或比例因子的使用可参照表 7 的处理方案执行。

表 7

当有下列情况时	处理方案	备 注
$ g_{原} - g_{新}  \leq \epsilon_{观}$	新测格值(或比例因子)前的测点重力值使用原格值(或比例因子)计算,以后使用新的	$g_{原}$ ——用原格值(或比例因子)计算的测点重力值; $g_{新}$ ——用新格值(或比例因子)计算的测点重力值;
$ g_{原} - g_{新}  > \epsilon_{观}$ 且 $ g_{原} - g_{平}  \leq \epsilon_{观}$	新测格值(或比例因子)前的测点重力值使用平均格值(或比例因子)计算,以后使用新的	$g_{平}$ ——用平均格值(或比例因子)计算的测点重力值;
$ g_{原} - g_{平}  > \epsilon_{观}$	观测结果报废(应查明格值或比例因子变化的原因及变化最大的时段)	$\epsilon_{观}$ ——设计规定的测点观测均方误差

5.3.2 重力仪格值(或比例因子)标定的时间间隔一般可参照表 8 的要求执行。对格值(或比例因子)不稳定的仪器,标定时间间隔应适当缩短。采用恒温系统的石英重力仪,格值标定时间间隔可适当延长。

表 8

标定时间 类别 型号	野外工作时间 不足三个月者	野外工作时间 大于三个月者	重力仪经受 剧烈震动后	重力仪进行 中、大修后
石英弹簧重力仪(含 CG-3 型重力仪)	开工和工作结束后 各测定一次	除开工前和工作结 束后测定外,尚应每 三个月测定一次	应重新测定	应重新测定
金属弹簧重力仪	标定时间间隔,可根据仪器说明书的要求,在设计书中予以明确			
注:新出厂的 CG-3 型重力仪的比例因子标定时间间隔还应当缩短				

5.3.3 建立基点网和测点观测时使用的重力仪,其格值和比例因子测定应满足下列要求。

5.3.3.1 测定石英弹簧重力仪的格值时,应使环境温度接近野外工作期间常见的温度,对于恒温仪器应将温度恒定在野外工作期间常见的温度值上,以三程循环观测法取得独立读格差。具体观测要求详见表 9。

表 9

仪器类型	观测要求 基点	观测方式	两个非独立读格差之互差不大于	各读格差中最大互差不大于	各独立读格(或读数)差与平均独立读格(或读数)差之差不得超过	合格的读格(或读数)差的数量不少于	不合格的读格(或读数)差的数量应少于
石英弹簧	基点	三程循环	1(格)	1(格)		10	3
	测点	三程循环	1.5(格)	1.2(格)		6	2

表 9(完)

观测要求 基测点 仪器类型		观测方式	两个非独立 读格差之互 差不大于	各读格差中 最大互差不 大于	各独立读格 (或读数)差 与平均独立 读格(或读 数)差之差 不超过	合格的读格 (或读数)差 的数量不少 于	不合格的读 格(或读数) 差的数量应 少于
LCR-D	基点	双程往返	—	—	0.02(格)	6	2
	测点	双程往返	—	—	0.03(格)	6	2
CG-3	基点	双程往返	—	—	0.020 ( $10^{-5}\text{m/s}^2$ )	6	2
	测点	双程往返	—	—	0.025 ( $10^{-5}\text{m/s}^2$ )	6	2
注: 读数是指由仪器(CG-3)直接测得的重力值							

5.3.3.2 测定不附有格值表的 LCR-D 型重力仪的格值时,应采用双程往返重复观测法取得独立读格差。具体观测要求详见表 9。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,应到专门为此类仪器建立的国家级重力仪格值标定场(如庐山等标定场)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)。

5.3.3.3 当测定附有格值表的 LCR-D 型重力仪的比例因子时,有关测定方法与要求,同于 5.3.3.2 款。根据测定结果求取格值表的比例因子。

5.3.3.4 测定 CG-3 型自动重力仪的比例因子时,应采用双程往返重复观测法取得独立重力差。具体观测要求详见表 9。

5.3.3.5 当达不到表 9 要求时,应查明原因,根据实际情况将部分或全部观测结果作废,重新标定。

5.3.4 重力仪格值测定结果,按下列公式计算:

5.3.4.1 格值计算公式为:

$$K = \frac{\Delta G}{\Delta S} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:  $\Delta G$ ——格值标定场两点间的重力差值;

$\Delta S$ ——重力仪在两点间读格差的平均值,按下式计算:

$$\Delta S = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta S_i}{n} \quad \dots\dots\dots (6)$$

其中:  $\Delta S_i$ ——第  $i$  个读格差;

$n$ ——参与平均的读格差的个数。

5.3.4.2 格值测定的相对均方误差计算公式为:

$$\Delta K = m_{\Delta S} / \Delta S \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:  $m_{\Delta S}$ ——重力仪读格差平均值( $\Delta S$ )的均方误差,按下式计算:

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

式中:  $\delta_i$ ——第  $i$  个读格差( $\Delta S_i$ )与平均读格差 $\Delta S$ 的差值;

$n$ ——参与平均的读格差的个数。

5.3.4.3 重力仪格值的相对变化的计算公式为:

$$\eta_K = \frac{K_{\text{原}} - K_{\text{新}}}{K_{\text{原}}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:  $K_{\text{原}}$ ——重力仪原标定格值;

$K_{\text{新}}$ ——重力仪新标定格值。

5.3.5 重力仪比例因子测定结果,按下列公式计算:

5.3.5.1 比例因子计算公式为:

$$C = \frac{\Delta G}{\Delta g} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:  $\Delta G$ ——格值标定场两点间的重力差值;

$\Delta g$ ——重力仪在两点间读出的重力差或计算出的重力差的算术平均值,按下式计算。

$$\Delta g = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_i}{n} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:  $\Delta g_i$ ——重力仪测得的第  $i$  个重力差;

$n$ ——参与平均的重力差的个数。

5.3.5.2 比例因子测定的相对均方误差计算公式为:

$$\Delta c = m_{\Delta g} / \Delta g \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:  $m_{\Delta g}$ ——重力仪测得的重力差平均值( $\Delta g$ )的均方误差,按下式计算:

$$m_{\Delta g} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n(n-1)}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:  $\delta_i$ ——第  $i$  个重力差( $\Delta g_i$ )与平均重力差 $\Delta g$ 的差值;

$n$ ——参与平均的重力差的个数。

5.3.5.3 重力仪比例因子相对变化的计算公式为:

$$\eta_C = \frac{C_{\text{原}} - C_{\text{新}}}{C_{\text{原}}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:  $C_{\text{原}}$ ——重力仪原标定的比例因子;

$C_{\text{新}}$ ——重力仪新标定的比例因子。

## 5.4 重力仪的使用与维护

5.4.1 应建立严格的重力仪使用与维护责任制,仪器的主管单位和使用者应对仪器安全负全面责任,交接仪器时,双方应现场检验,并办理交接手续。未经主管单位和使用者本人同意,他人不得随便动用仪器。

5.4.2 重力仪应放置在干燥、安全的室内,严禁碰撞和大角度的倾斜、卧置、倒置;严禁在松摆的情况下搬运 LCR 重力仪;长距离运输时要由使用者负责护送,应将重力仪放入防震桶(箱)内,注意尽量减震。

5.4.3 仪器的配件和工具应随仪器妥善保管,不得随意弃置或改作他用。对仪器桶的提把、背带和仪器的保护带应随时检查,以保证安全。

5.4.4 工作中拿起、安放重力仪时应轻拿轻放;仪器置于脚架盘后,操作员不得随意离开仪器,以防意外事故发生,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止阳光直接照射仪器和防止雨淋;有恒温装置的重力仪,应随时注意电池的充电。CG-3 型自动重力仪在野外工作期间,每天回到驻地后要将仪器接在充电器上,并置放在安全干燥的地方。

5.4.5 工作中重力仪发生故障时,应带回驻地,由具有一定检修经验的人员在力所能及的范围内检修。当处理不了时,应及时送厂家或检修单位检修。

5.4.6 每天工作后应将仪器擦拭一次。目镜应用擦镜纸或软毛刷轻轻擦拭,不得用代用品。仪器的面板应经常保持清洁,对脚架螺丝应每周清洗、润滑一次。

5.4.7 应建立仪器使用簿,记录仪器的检查、调节、使用和维修,以及配件、工具等情况,作为档案随仪器妥善保管。

## 6 野外工作

### 6.1 重力基点的选择与联测

6.1.1 重力基点网应根据设计方案,结合工区踏勘后所掌握的实际地形、交通条件和高程等情况进行实地布设。基点应选择在地基稳定、周围没有震源、重力水平梯度较小(附近无大的陡崖)、联测方便、附近地形和其他引力质量近期内不致有大变化的地方。

#### 6.1.2 重力基点网的联测

6.1.2.1 使用石英弹簧重力仪联测时,应采用三程循环观测法(观测顺序为:1,2,1,2;2,3,2,3;……)。

6.1.2.2 使用 LCR 和 CG-3 型重力仪联测时,可采用双程往返重复观测法(观测顺序为:1,2,……,  $n-1, n, n, n-1, \dots, 2, 1$ )。

6.1.3 重力基点联测时,观测结果应满足下列要求。

6.1.3.1 每个基点上观测读数取三组数据,每组数据中最大互差不大于 0.2 格(对 CG-3 型重力仪一般不大于  $20 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ )。

6.1.3.2 构成一个独立增量的两个非独立增量之差,不超过单台仪器按三程循环观测法或往返重复观测法求独立增量时观测均方误差  $\epsilon_0$  的两倍( $\epsilon_0$  由设计书规定)。

6.1.3.3 构成一个平均增量的各个独立增量与该平均增量的差,不超过  $\epsilon_0$  的  $\sqrt{2}$  倍。

6.1.3.4 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),不超过设计的平均增量的均方误差  $\epsilon_0$  的  $2\sqrt{N}$  倍,  $N$  为本闭合环或附合环的边段数。

6.1.4 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,其联测方法和要求,亦按上述各项规定执行。

### 6.2 重力测点的布设与观测

6.2.1 重力测网应按设计规定的点距、线距和测线方向进行布设,测点可尽量选择在地形平坦、近区地形影响较小的地方,测点上应有临时标志,标出其编号,以便于质量检查。

6.2.2 测点的重力观测,一般采用单程观测法,闭合时间的长短可根据仪器性能确定,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。对不恒温仪器,在气温变化梯度大的时间内观测时,要适当缩短观测的闭合时间。每个闭合段的零点位移值,应根据每台仪器的动态、静态试验结果,在设计书中分别加以规定,一般不大于测点重力观测设计精度的 2~3 倍。

#### 6.2.3 野外观测技术要求

测点重力观测通常使用石英弹簧重力仪,其野外观测应按下列有关技术要求执行。对于其他类型仪器应按其说明书、操作手册和设计书有关规定执行。

6.2.3.1 每日工作前应将仪器放在与野外工作相同的环境下,轻轻地活动仪器,使仪器的状态接近工作实际情况,仪器活动的时间参照动态观测结果确定。

6.2.3.2 每日野外观测开始前(或工作停顿时间超过 30 min 后再进行观测时),应在基点上(或临时基点上)按基点—辅助点—基点的次序进行观测,以检查仪器是否处于正常工作状态。基点上前后两次平均读格之差一般应不大于 0.3 格,否则应检查原因。如因仪器活动不够,则应继续重复上述操作,直到平均读格差符合要求后方能投入生产。辅助点与基点间的重力差不宜太小,距离应适当远,以保证基点上两次读数时间间隔不小于 5 min。

6.2.3.3 重力观测在测点上读取两个数。在读完第一个数后应转动计数器,并进一步检查和调平水泡,然后读第二个数。两个读数相差不得超过 0.2 格。水泡调平要求准到 1/5 刻度,观测中允许变化 1/2 刻度。

6.2.3.4 野外观测时,平盘脚架面与高程测量放尺点的高度应尽量一致,二者高差不超过 2 cm。超过

2 cm时应实测差值并做记录,以便做相应改正。

6.2.3.5 当仪器存在滞后现象时,可在前一测点观测完后,便根据下一点的高度变化将计数器转到大致相当于下一点的读数位置。如果滞后现象较严重,则应在观测点上调节计数器到读数位置后,停留一段时间再读数。

#### 6.2.4 野外观测中意外情况的处理

6.2.4.1 野外观测中,当出现亮线(或黑线)大幅度摆动时,应停止观测,待亮线(或黑线)稳定时再进行观测。

6.2.4.2 野外观测中当仪器出现“粘线”现象时,可用手指轻轻敲击仪器面板,或提起重力仪轻微上下晃动来消除,切忌用其他器物过重敲打。当粘线现象严重时应进行修理。

6.2.4.3 野外观测中当仪器受震有突然掉格的可能时,应立即回到刚观测的几个点上进行重复观测;以检查仪器掉格的情况。当掉格不大于测点观测设计精度的三倍时,可继续观测,但在资料整理时要做相应的零点位移校正;当掉格大于三倍测点观测设计精度时,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。

6.2.4.4 野外观测中,当仪器读数受外界温度变化影响较大时,应停止该仪器的使用,同时查明原因,及时检修。

#### 6.3 重力测点平面坐标和高程测定

6.3.1 当比例尺为1:25 000时,可采用航空相片定点,以解析空中三角测量方法求取重力测点的平面坐标和高程,或者其平面坐标用解析空中三角测量方法求取,而高程用仪器测定;也可采用大于1:25 000比例尺的地形图定点,图解平面坐标(需将三度分带的坐标值换算为六度分带的坐标值),用仪器实测高程。

6.3.2 测定重力测点平面坐标和高程,当比例尺大于1:25 000时,可根据工作精度,测区地形及仪器装备等情况选用相应方法。有关方法技术要求应按测地规范的规定执行。

6.3.3 重力测点的近区地改高程测量方法,应根据设计精度确定,可采用野外实测或者用地形图读图计算,也可将这两种方法结合使用。

#### 6.4 密度标本的采集与测定

##### 6.4.1 密度标本的采集

6.4.1.1 应根据设计书的有关要求采集岩(矿)石密度标本,采集时,要避免采集风化物 and 转石标本。

6.4.1.2 岩(矿)石标本采集应在现场进行编号,并记录采集位置和有关的地质情况。标本的名称应正确地确定,并进行描述,必要时可进行岩矿鉴定。

6.4.1.3 标本的采集在面上要分布均匀,对重点异常地段要系统采集。对于具有某些特殊现象的标本,要专门采集。

6.4.1.4 地表岩石风化强烈的地区可采用浅钻采样。钻孔岩心密度标本的采样间距应视需要而定,在见矿孔中应适当缩短。

##### 6.4.2 密度标本的测定

6.4.2.1 对致密岩(矿)石标本可采用密度计测定,也可用天平法测定。在标本测定前,可将标本水浸24 h以上,以期类似于深部赋存环境下的岩石。

6.4.2.2 对疏松的岩(矿)石标本可采用天平法测定,测定时要对疏松标本进行封腊处理。

6.4.2.3 对疏松的覆盖层或第四系沉积物,应采用大样法测定密度。

#### 6.5 质量检查

##### 6.5.1 测点重力观测的质量检查

6.5.1.1 测点重力观测的质量,应通过独立的检查观测来评价。当用两台以上仪器观测时,检查观测应按“一同三不同”(同点位、不同时间、不同仪器、不同操作员)的方法进行。质量检查必须有专门记录本。

6.5.1.2 检查观测可采用沿测线检查和斜穿测线检查,亦可采用自由点检查。检查点应均匀分布全区,

检查工作量应占原始工作量的 3%~5%，检查点应不少于 30 个。对于剖面性工作，其检查工作量应占原始工作量的 10%以上，检查点应不少于 10 个。

6.5.1.3 检查结果中  $\delta_i/2(\delta_i$  为某点检查观测值与原始观测值之差)超过设计的测点重力观测均方误差三倍的点数不得超过检查点数的 1%，否则应对有关测线和地段扩大检查工作量，以查明其原因。当肯定质量有问题时，应根据具体情况对资料作妥善处理(如作废或降低精度使用等)。

6.5.1.4 测点重力观测的质量检查，应随着野外工作的展开经常进行，以便及时发现和解决问题，不允许野外工作全部结束后再进行总的突击性检查。

6.5.1.5 对仪器出现不正常零点位移时所进行的观测，要特别注意加以检查，检查工作量不得少于该闭合段工作量的 15%，若其检查结果满足观测精度要求，则原始观测结果可作为合格资料使用，反之，则该闭合段观测结果作废。

6.5.1.6 对重力异常的突变点，应 100% 进行检查，并判别产生的原因。必要时检查相邻测点，以便正确判别畸变点产生的原因。若与仪器性能变化有关，则对其该日工作的测点按 15% 的比例进行检查观测，视检查结果决定其原始观测是否合格。

## 6.5.2 重力测点的点位和高程的质量检查

6.5.2.1 重力测点的平面坐标和高程测定的质量检查点应均匀分布，合理布置，具有代表性。

6.5.2.2 当使用航片定点，以解析空中三角测量方法求取重力测点的平面坐标和高程时，应按不少于 3% 的比例对重力点的位置进行自检，还应采用仪器进行实地检查，检查工作量不少于 1%。当高程误差超限时应分析原因(是由点位误差引起，还是由航内解求高程误差较大引起)，并采取有效措施。

6.5.2.3 当使用地形图定点，图解平面坐标以及采用读图方法由地形图读取重力测点的近区地改高程时，应在检查用地形图上采用重复操作的方法进行检查，检查工作量不少于 3%，还应采用仪器进行实地检查，检查工作量不少于 1%。

6.5.2.4 当采用全仪器法测定重力测点平面坐标和高程，以及采用野外实测方法获取重力测点的近区地改高程时，应按测地工作的有关要求进行检查。

6.5.3 密度测定的质量检查，以重复测定方法进行，检查工作量一般应不少于总测定数量的 10%。密度测定的均方误差应不大于  $0.02 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

## 6.6 原始记录

6.6.1 原始记录包括下列各项记录：

- a) 仪器检查与调节、校验及标定的各种记录。
- b) 基点档案、托管书以及基点网重力联测的各种记录。
- c) 测点重力观测的记录。
- d) 测地工作及航空相片刺点、地形图定点的各种记录。
- e) 密度标本采集和测定的各种记录。
- f) 各种质量检查及各种情况的处理的记录。

6.6.2 对原始记录总的要求是：内容完整，记录真实，字迹清晰、工整，页面整洁和规格统一。

6.6.2.1 各项观测数据和备注应在观测当时据实记录在正式记录本上，不得追记，不得以转抄结果代替原始记录。

6.6.2.2 记录要完整，记录本页首、页末、内封面、目录、说明、签名等均要按规定和设计书要求填写清楚齐全。记录要用中等硬度的黑铅笔书写，字迹清晰，字体工整，不得使用自造的怪字作记录。

6.6.2.3 记录的数字均采用阿拉伯数字。记录的有效数字与所用仪器的读数精度和测量的方法有关，应在技术设计中规定。

6.6.2.4 相同的读数不得用“”号代替，而应按实际结果逐一记录下来。时间记录统一用 24 h 制(北京时间)，分钟数取两位数。在同一页中，大数(如测线号、小时数等)相同而且连续的各点，可只在首、末两个测点下写出大数，页首、页末点必须记录大数。

6.6.3 记录本应按工区分别使用,并按工作方法和记录性质分类使用,不得混记。记录本不得插页和撕页,记录内容不得涂改、擦改,因记错需修改时,应以横线把错误记录划去,在其上方记录下正确的数据,划改后应在备注栏注明说明,但不允许出现连续划改读数。

6.6.4 记录原始数据的同时,应充分利用“备注”栏记录仪器的特殊情况和测点附近特殊地形、地质现象等对重力观测有影响的因素。

6.6.5 当用磁(光)介质记录重力观测数据时,应附有详细的记录格式、记录内容、输出注意事项及编号说明等文字资料,将主要记录的内容打印出来,装订成册。这些记录的内容应包括重力观测记录本的各栏目内容。

## 7 资料整理及精度评价

### 7.1 一般要求

#### 7.1.1 资料整理的内容包括:

- a) 检查验收原始记录;
- b) 计算仪器性能试验结果和格值(或比例因子)标定结果;
- c) 计算相对重力值,进行基点网平差;
- d) 进行地形、布格、纬度等项目校正;
- e) 计算布格重力异常及其误差;
- f) 密度统计及误差计算;
- g) 质量评价;
- h) 对各种资料进行编录、编号及编制索引。

#### 7.1.2 资料整理应做到:

- a) 上交的资料完整、正确、清楚、整齐;
- b) 对室内计算的全部内容经过复算,达到要求;
- c) 对原始资料及成果图件经过检查,保证正确可靠;
- d) 记录本、成果本(表)应按任务项目、工区或仪器分开使用,并按野外工作期限为单元统一编号。

#### 7.1.3 原始记录的检查验收,以设计书和本规范的有关规定为准。下列各种原始数据应予作废或降级处理:

- a) 用不符合设计书和本规范要求、显然不能保证观测精度要求的仪器所测得的数据。
- b) 测地工作不合要求,致使总精度达不到设计规定的重力观测数据。
- c) 出现涂改、擦改和连续划改的重力观测数据。
- d) 对出现仪器不正常零点位移及突变点,而未按本规范有关规定处理的重力观测数据。
- e) 标本规格不合要求、测定方法不正确、测定结果不合要求的密度资料。

#### 7.1.4 计算精度

##### 7.1.4.1 格值(或比例因子)标定计算精度为:

- a) 格值(或比例因子)标定时计算重力仪读格差(或重力差)平均值及其均方误差均要求保留六位有效数字。
- b) 格值(或比例因子)标定计算精度准至  $10^{-6}$ 。

##### 7.1.4.2 重力值计算及各项校正值计算均取至 $0.001 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

##### 7.1.4.3 高程计算取至 5 mm。

### 7.2 重力基点网平差及精度计算

7.2.1 基点重力联测时,若两基点间单次观测时间超过 1 h 者,独立增量的计算,需经固体潮校正和零点位移校正,计算方法见附录 B 和 C。

7.2.2 基点网平差分级进行。独立 II 级基点网平差一般应在 I 级基点的控制下进行。

7.2.3 基点网平差可采用条件平差法,以各边段的独立增量数为权进行。平差后应计算各基点重力值的均方误差及基点网的重力联测均方误差。基点网平差计算方法见附录 D。

7.2.4 基点网联测质量评价,应根据各边段平均重力增量的联测均方误差( $\epsilon_j$ )分区、分级计算基点网的重力联测均方误差( $\epsilon_b$ ),计算公式为:

$$\epsilon_j = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} \delta_{ij}^2}{n_j(n_j-1)}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\epsilon_b = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \epsilon_j^2}{N}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:  $\delta_{ij}$ ——基点网第  $j$  边段上第  $i$  个独立增量与该边段平均增量之差;

$n_j$ ——组成第  $j$  边段平均重力增量的独立增量数;

$\epsilon_j$ ——第  $j$  边段平均重力增量的联测均方误差;

$N$ ——基点网的联测边段数;

$\epsilon_b$ ——基点网的重力联测均方误差。

7.2.5 基点网重力值的精度,应根据分区、分级平差后最弱点重力值的均方误差  $\epsilon_r$  评定,其计算公式为:

$$\epsilon_r = \pm \mu \sqrt{\frac{1}{P_r}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N P_j V_j^2}{r}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:  $\mu$ ——本区、本级基点网重力联测单位权的均方误差;

$P_r$ ——该级最弱点平差值的权(由附录 D 中计算  $\frac{1}{P_G}$  时得到);

$V_j$ ——第  $j$  边段的平差校正值;

$P_j$ ——第  $j$  边段平均重力增量的权;

$r$ ——多余条件数(闭合圈数)。

### 7.3 测点重力增量值及精度计算

7.3.1 计算测点重力增量值(相对于总基点的重力差值) $\Delta G_i$  时应进行固体潮校正和零点位移校正,计算方法见附录 C,对于石英弹簧重力仪一般按下式进行计算:

$$\Delta G_i = \Delta G_1 + K(S_i - S_1) + (R_i - R_1) - \frac{K(S_2 - S_1) - (\Delta G_2 - \Delta G_1) + (R_2 - R_1)}{T_2 - T_1} \cdot (T_i - T_1) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:  $\Delta G_1$ ——起始基点相对于总基点的重力差值;

$\Delta G_2$ ——闭合基点相对于总基点的重力差值;

$K$ ——重力仪格值;

$S_1, T_1, R_1$ ——起始基点上的重力仪观测值(读格)、观测时间、固体潮校正值;

$S_2, T_2, R_2$ ——闭合基点上的重力仪观测值(读格)、观测时间、固体潮校正值;

$S_i, T_i, R_i$ ——某测点上的重力仪观测值(读格)、观测时间、固体潮校正值。

当闭合时间较短,可只进行混合零点位移校正,计算按下式进行:

$$\Delta g_i = \Delta G_i + K(S_i - S_1) - \frac{K(S_2 - S_1) - (\Delta G_2 - \Delta G_1)}{T_2 - T_1}(T_i - T_1) \quad \dots\dots(20)$$

### 7.3.2 测点重力观测均方误差计算

7.3.2.1 当检查观测只有一次时,测点观测均方误差计算公式为:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad \dots\dots(21)$$

式中:  $\delta_i$ ——第  $i$  点原始观测与检查观测值之差;

$n$ ——检查点数。

7.3.2.2 当检查观测多于一次时,测点观测均方误差计算公式为:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m V_i^2}{m-n}} \quad \dots\dots(22)$$

式中:  $V_i$ ——各检查点第  $i$  次观测值(包括该点参与计算平均值的原始观测值和所有检查观测值)与该点各次观测值的平均值之差;

$m$ ——总观测次数(所有检查点上全部观测次数之和);

$n$ ——检查点数。

### 7.3.3 测点重力值均方误差计算

7.3.3.1 当只有 I 级基点网时,测点重力值均方误差计算公式为:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\epsilon_{r1}^2 + \epsilon_g^2} \quad \dots\dots(23)$$

7.3.3.2 当有 II 级基点网时,测点重力值均方误差计算公式为:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\epsilon_{r1}^2 + \epsilon_{r2}^2 + \epsilon_g^2} \quad \dots\dots(24)$$

式中:  $\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}$ ——分别为 I 级、II 级基点网重力值的均方误差;

$\epsilon_g$ ——测点重力观测均方误差。

## 7.4 地改值计算及精度估计

7.4.1 地改值计算:地改值  $\delta_{gT}$  由近区、中区、远区地改值  $\delta_{gT1}, \delta_{gT2}, \delta_{gT3}$  相加求得,即  $\delta_{gT} = \delta_{gT1} + \delta_{gT2} + \delta_{gT3}$ 。计算方法见附录 E。

### 7.4.2 地改质量检查和误差估算

7.4.2.1 地改质量检查主要用重复计算的办法进行,检查点应均匀分布,特别对于重力值突变点要进行检查。凡需到实地重新测量地形高程者,检查工作量一般为相应总点数的 3%,其他方式的检查工作量一般为相应总点数的 5%。

7.4.2.2 重新实测地形高程时,需改变方位角,再按原划分的区重测高程。并以此高程重新计算地形校正。用两次地形校正之差计算均方误差,以此来衡量地改质量,计算公式为:

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad \dots\dots(25)$$

式中:  $\delta_i$ ——检查地改值与原始地改值之差;

$n$ ——检查点数。

7.4.2.3 用读图法求取地改值时,可采用变换方位法(转动  $22^\circ 30'$ )或其他方法重新读数,以两次读图地改值之差来计算均方误差,其计算公式与 7.4.2.2 中的公式相同。

7.4.2.4 有条件地区可采用大比例尺地形图(比原地改所用地形图的比例尺大一级的地形图)重新计算地改值,以评价质量;也可利用大一级的航片求解地形节点高程重新计算地改值,此时以下式计算均

方误差。

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中各符号含义见 7.4.2.2 条。

7.4.2.5 地形校正总精度估算公式为：

$$\epsilon_T = \pm \sqrt{\epsilon_{T1}^2 + \epsilon_{T2}^2 + \epsilon_{T3}^2} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中  $\epsilon_T, \epsilon_{T1}, \epsilon_{T2}, \epsilon_{T3}$  分别为地改总均方误差和近、中、远区地改均方误差。

7.5 布格校正及误差计算

7.5.1 布格校正正值  $\delta g_B$  (单位为  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) 分别由下式计算：

$$\begin{aligned} \delta g_B = & [0.3086(1 + 0.0007\cos 2\varphi) - 0.72 \times 10^{-7}H \\ & - 0.0419\rho \times 10^{-3} \left( 1 + \left| \frac{K}{\Delta h} \right| - \sqrt{1 + \left( \frac{R}{\Delta h} \right)^2} \right)] \times \Delta h \quad \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

式中： $\varphi$ ——测点纬度；

$H$ ——测点的海拔高程，m；

$\Delta h$ ——测点相对于总基点的高差，m；

$\rho$ ——中间层密度， $\text{kg/m}^3$ ；

$R$ ——中间层校正半径，定为 20 km，也是地改的最大半径。

7.5.2 布格校正误差计算公式 (单位为  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) 为：

$$\epsilon_{gB} = [0.3086(1 + 0.0007\cos 2\varphi) - 1.44 \times 10^{-7}H - 0.0419\rho \times 10^{-3} \left( 1 - \frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta h^2 + R^2}} \right)] \epsilon_h \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中： $\epsilon_{gB}, \epsilon_h$ ——分别为布格校正误差和测点相对总基点高差的测量误差。

7.6 纬度校正及误差计算

7.6.1 纬度校正正值  $\delta g_\varphi$  计算公式 (单位为  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) 为：

$$\delta g_\varphi = -5203.3258 \sin 2\varphi_0 \times \sin(\varphi - \varphi_0) \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中： $\varphi_0$ ——总基点的纬度；

$\varphi$ ——测点的纬度。

当工区范围较小时，纬度改正值很小，可不进行。

7.6.2 纬度校正误差计算公式 (单位为  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) 为：

$$\epsilon_{g\varphi} = 0.000814 \sin 2\varphi_0 \times \epsilon_d \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中： $\epsilon_d$ ——重力测点沿南北方向的定位均方误差，单位为 m；

$\varphi_0$ ——总基点的纬度。

7.7 布格重力异常及误差计算

7.7.1 布格重力异常  $\Delta g_B$  的计算公式为：

$$\Delta g_B = \Delta g_c + \delta g_B + \delta g_T + \delta g_\varphi \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中的  $\Delta g_c$  为测点相对于总基点的重力值。

7.7.2 布格重力异常误差计算公式为：

$$\epsilon_{gB} = \sqrt{\epsilon_c^2 + \epsilon_{gB}^2 + \epsilon_{gT}^2 + \epsilon_{g\varphi}^2} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中各项误差已如前述。

7.8 密度统计及误差计算

### 7.8.1 密度统计

对收集的和本单位实测的岩(矿)石密度资料,应在准确确定名称、正确划分所属层位或时代的基础上合理分类,求出每类岩(矿)石密度的算术平均值、常见值及标准离差。

当同类岩(矿)石的密度标本数量不足 30 块时,通常只计算其算术平均值。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。

### 7.8.2 密度测定的误差计算公式

用同种方法(即精度相同)进行检查测定时,误差计算公式如下:

a) 当检查测定只有一次时,

$$\epsilon_p = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \dots\dots\dots (34)$$

b) 当检查测定多于一次时,

$$\epsilon_p = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{m-n}} \dots\dots\dots (35)$$

式中:  $\delta_i$ ——各标本原始测定值与检查测定值之差;

$V_i$ ——各标本某次测定值与该标本各次测定值的平均值之差;

$m$ ——总测定次数;

$n$ ——被检查测定的标本数。

## 7.9 质量评价(资料分类)

7.9.1 大比例尺重力勘查原始资料正式验收中,对资料的质量评价要按测区分别进行。评价时采用分类评价,并作出相应的处理决定。

### 7.9.2 分类标准

7.9.2.1 第一类资料:必须是野外及室内工作方法正确,仪器性能、观测的各项技术指标以及检查工作量、各项主要质量指标均符合设计书或本规范要求,记录正确、完整且已整理编录、齐全,工作结果能完成设计书规定的地质任务的资料。

7.9.2.2 第二类资料:为野外及室内工作方法基本正确,仪器性能、观测的各项技术指标以及检查工作量、各项主要质量指标基本符合设计书或本规范要求,记录正确、完整并已整理编录、基本齐全,工作结果基本能完成设计书规定的地质任务的资料。

7.9.2.3 第三类资料:为野外及室内工作方法不正确,资料不完整、不齐全,无法可靠评价总精度或总精度低于设计规定,以致工作结果基本不能被用来解决设计书规定的地质任务的资料。

### 7.9.3 处理办法

7.9.3.1 第一、二类资料应予以验收和计算合格工作量,并用于编绘成果图件和编写成果报告。

7.9.3.2 第三类资料不予验收,不计算工作量,不用于编绘成果图件和编写成果报告。

## 8 成果提交

### 8.1 应提交的成果

8.1.1 工作结束后应按有关规定向有关方面提交的成果有:原始资料,成果档案,成果图件和成果报告。

8.1.2 所提交的各类成果应经过验收或审查。

### 8.2 应提交的原始资料:

a) 仪器性能试验、检查、标定的记录和计算、统计结果;

b) 测地工作的原始记录、原始用图和计算成果;

- c) 岩(矿)石标本采集、测定、计算的原始记录、检查记录;
- d) 基点网联测的原始记录和平差图、表;
- e) 测点重力观测的原始记录、检查记录和计算、统计资料;
- f) 地形校正的各种原始记录和计算成果;
- g) 地质工作的各种原始记录和原始用图;
- h) 工作期间收集的有关资料;
- i) 原始资料验收文据。

8.3 应提交的成果档案为:

- a) 重力基点档案。
- b) 重力测区索引表。
- c) 布格重力异常成果计算表。

8.4 应提交的成果图件(应按有关规定进行图件编绘)为:

- a) 实际材料图(包括重力基、测点位置、物性采集点、质量检查点位、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图件;
- e) 岩(矿)石密度整理统计图表;
- f) 经过数据处理的各种重力异常平面图。

8.5 应提交的成果报告

8.5.1 成果报告是大比例尺重力勘查成果的集中体现,要认真编写好,着力解决和体现所承担的任务完成情况及其结论。

8.5.2 成果报告内容应包括:

- a) 序言;
- b) 地质与地球物理特征;
- c) 工作方法技术和质量评价;
- d) 解释推断;
- e) 结论与建议。

报告的重点应放在解释推断、结论与建议方面。成果应尽可能以图和表形式表达。

8.6 成果报告的质量评级

8.6.1 大比例尺重力勘查成果报告的质量按“优秀”、“良好”、“合格”进行评级。评级标准参见附录 P。

8.6.2 达不到“合格”报告要求者应重新编写。

## 附录 A

(提示的附录)

## 改变中间层密度计算布格重力异常值的简化公式

A1 比较客观地确定测区的中间层密度,用以计算布格重力异常值,对于解释异常(特别是定量计算)至关重要。一般要研究、对比用不同中间层密度计算的布格重力异常值,以确定出适用于解释的布格重力异常值。因此为了筛选,必须采用不同中间层密度来计算测区布格重力异常值。

改变中间层密度计算布格重力异常值,以往采用单项计算再求和,其计算工作比较繁重;而采用简化公式,可由已知一种中间层密度的布格重力异常值,经过转换后计算出待求的另一种中间层密度的布格重力异常值,其计算方法简单准确。

A2 已知一种中间层密度( $\sigma_0$ )的布格重力异常值  $\Delta g_B(\sigma_0)$ ,欲计算另一种中间层密度( $\sigma_1$ )的布格重力异常值  $\Delta g_B(\sigma_1)$ ,需先求出转换系数  $B_1$  和  $D_1$ ,然后代入简化公式。

A2.1 转换系数  $B_1$  和  $D_1$  的计算公式为:

$$B_1 = -(\sigma_1 - \sigma_0) \times 0.0419 \times 10^{-3} \quad \text{..... (A1)}$$

$$D_1 = \sigma_1 / \sigma_0 - 1 \quad \text{..... (A2)}$$

式中:  $B_1$ ——布格校正系数;

$D_1$ ——地形校正系数。

A2.2 简化公式为:

$$\Delta g_B(\sigma_1) = B_1 \left[ 1 + \frac{R}{H} - \sqrt{1 + \frac{R^2}{H^2}} \right] H + D_1 \delta_D(\sigma_0) + \Delta g_B(\sigma_0) \quad \text{..... (A3)}$$

式中:  $\delta_D(\sigma_0)$ ——已知中间层密度( $\sigma_0$ )的地改值;

$R$ ——地改最大半径;

$H$ ——测点海拔高程。

## 附录 B

(提示的附录)

## 重力固体潮校正

B1 重力固体潮校正采用下列公式:

$$\delta g_b = \delta_{bc} G(t) - \delta f_c \quad (10^{-8} \text{m/s}^2) \quad \text{..... (B1)}$$

$$G(t) = -165.17 F(\varphi) \left( \frac{c}{r} \right)^3 (\cos^2 Z - \frac{1}{3}) - 1.37 F^2(\varphi) \left( \frac{c}{r} \right)^4 \\ \times \cos Z (5 \cos^2 Z - 3) - 76.08 F(\varphi) \cdot \left( \frac{c_s}{r_s} \right)^3 (\cos^2 Z_s - \frac{1}{3}) \quad \text{..... (B2)}$$

$$F(\varphi) = 0.998327 + 0.00167 \cos 2\varphi \quad \text{..... (B3)}$$

$$\delta f_c = -4.83 + 15.73 \sin^2 \varphi - 1.59 \sin^4 \varphi \quad (10^{-8} \text{m/s}^2) \quad \text{..... (B4)}$$

式中:  $\delta_{bc}$ ——潮汐因子,取 1.16;

$r$ ——月心至地心的距离;

$c$ ——地心至月心的平均距离;

$Z$ ——月亮对测点的地心天顶距离;

$r_s$ ——日心至地心的距离;

$c_s$ ——地心至日心的平均距离;

$Z_0$ ——太阳对测点的地心天顶距；

$\varphi$ ——测点纬度；

$\varphi'$ ——测点地心纬度。

**B2** 为求得  $\frac{c}{r}$  及  $\cos Z$  需进行一些天文数据的计算。

**B2.1** 求出计算时刻的儒略世纪数  $T$

$$T = \frac{T_0 - 2\,415\,020.0 + (t - \delta)/24}{36\,525} \dots\dots\dots (B5)$$

式中： $T_0$ ——计算日的儒略日；

$t$ ——计算时刻，以北京时为单位；

$\delta$ ——月亮的赤纬。

**B2.2** 计算六个天文引数

$$S = 270^\circ.436\,59 + 481\,267^\circ.890\,57T + 0^\circ.001\,98T^2 + 0^\circ.000\,002T^3$$

$$h = 279^\circ.696\,68 + 36\,000^\circ.768\,92T + 0^\circ.000\,30T^2$$

$$p = 334^\circ.329\,56 + 4\,069^\circ.034\,03T - 0^\circ.010\,32T^2 - 0^\circ.000\,01T^3$$

$$N = 259^\circ.183\,28 - 1\,934^\circ.142\,01T + 0^\circ.002\,08T^2 + 0^\circ.000\,002T^3$$

$$p_s = 281^\circ.220\,83 + 1^\circ.719\,02T + 0^\circ.000\,45T^2 + 0^\circ.000\,003T^3$$

$$\epsilon = 23^\circ.452\,29 - 0^\circ.013\,01T - 0^\circ.000\,002T^2$$

**B3** 求月亮的  $\frac{c}{r}$  及  $\cos Z$

$$\frac{c}{r} = 1 + 0.054\,5\cos(s - p) + 0.003\,0\cos 2(s - p)$$

$$+ 0.01\cos(s - 2h + p) + 0.008\,2\cos 2(s - h)$$

$$+ 0.000\,6\cos(2s - 3h + p_s) + 0.000\,9\cos(3s - 2h - p)$$

$$\lambda = s - 0.003\,2\sin(h - p_s) - 0.001\sin(2h - 2p)$$

$$+ 0.001\sin(s - 3h + p + p_s) + 0.022\,2\sin(s - 2h + p)$$

$$+ 0.000\,7\sin(s - h - p + p_s) - 0.000\,6\sin(s - h)$$

$$+ 0.109\,8\sin(s - p) - 0.000\,5\sin(s + h - p - p_s)$$

$$+ 0.000\,8\sin(2s - 3h + p_s) + 0.011\,5\sin(2s - 2h)$$

$$+ 0.003\,7\sin(2s - 2p) - 0.002\,0\sin(2s - 2N)$$

$$+ 0.000\,9\sin(3s - 2h - p)$$

$$\beta = -0.004\,8\sin(p - N) - 0.000\,8\sin(2h - p - N)$$

$$+ 0.003\sin(s - 2h + N) + 0.089\,5\sin(s - N)$$

$$+ 0.001\sin(2s - 2h + p - N) + 0.004\,9\sin(2s - p - N)$$

$$+ 0.000\,6\sin(3s - 2h - N)$$

$$\sin\delta = \sin\epsilon\sin\lambda\cos\beta + \cos\epsilon\sin\beta$$

$$\cos\delta\cos H = \cos\beta\cos\lambda\cos\theta + \sin\theta(\cos\epsilon\cos\beta\sin\lambda - \sin\epsilon\sin\beta)$$

$$\cos Z = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos H$$

$$\theta = (t - \delta) \times 15^\circ - h + L - 180^\circ$$

$$\varphi' = \varphi - 0^\circ.193\,296\sin 2\varphi$$

式中： $\lambda$ ——月亮的黄经；

$\beta$ ——月亮的黄纬；

$\delta$ ——月亮的赤纬；

$H$ ——月亮的时角；

$\theta$ ——地方恒星时；

$\varphi$ ——测点的地心纬度；

$L$ ——测点的地心经度。

#### B4 求太阳的 $\frac{C_S}{r_S}$ 及 $\cos Z_S$

$$\frac{C_S}{r_S} = 1 + 0.016 \, 8 \cos(h - p_S) + 0.000 \, 3 \cos(2h - 2p_S)$$

$$\lambda_S = h + 0.033 \, 5 \sin(h - p_S) + 0.000 \, 4 \sin(2h - 2p_S)$$

$$\beta_S = 0$$

$$\cos Z_S = \sin \varphi \sin \lambda_S + \cos \varphi (\cos \lambda_S \cos \theta + \sin \theta \cos \epsilon \sin \lambda_S)$$

式中： $\lambda_S$ ——太阳的黄经；

$\beta_S$ ——太阳的黄纬。

B5 计算时以测点的概略经纬度(精确到分)、观测日期、观测时刻(儒略世纪数)为引数,按 B1 给出的公式直接计算(即用上述各引数在给定制度的计算机上直接计算求得),也可从事先编算的固体潮校正表中查得。

## 附录 C

(标准的附录)

### 重力仪野外观测中的常用资料整理方法

重力仪的野外观测通常有单程观测法、双程往返观测法、三程循环观测法,其相应的资料整理方法如下:

#### C1 单程观测法重力观测资料整理

单程观测法的观测路线为重力仪从基点开始,经过一系列重力点观测,最后仍闭合于基点。

##### C1.1 对于石英弹簧重力仪和不附有格值表的 LCR 型重力仪

##### C1.1.1 当闭合于同一基点时,测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{观}} = \Delta G_1 + K(S_i - S_1) + (R_i - R_1) - \frac{K(S_2 - S_1) + (R_2 - R_1)}{T_2 - T_1} \times (T_i - T_1) \quad \text{..... (C1)}$$

若在观测中有较长时间的停顿,需进行静掉格校正时,则测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{观}} = \Delta G_1 + K(S_i - S_1) + (R_i - R_1) - \frac{K(S_2 - S_1 - \Delta S) + (R_2 - R_1 - \Delta R)}{T_2 - T_1 - \Delta T} \times (T_i - T_1) \quad \text{..... (C2)}$$

##### C1.1.2 当闭合于不同基点时,测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{观}} = \Delta G_1 + K(S_i - S_1) + (R_i - R_1) - \frac{K(S_2 - S_1) - (\Delta G_2 - \Delta G_1) + (R_2 - R_1)}{T_2 - T_1} \times (T_i - T_1) \quad \text{..... (C3)}$$

若在观测中有较长时间的停顿,需进行静掉格校正时,则测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{观}} = \Delta G_1 + K(S_i - S_1) + (R_i - R_1) - \frac{K(S_2 - S_1 - \Delta S) - (\Delta G_2 - \Delta G_1) + (R_2 - R_1 - \Delta R)}{T_2 - T_1 - \Delta T} \times (T_i - T_1) \quad \text{..... (C4)}$$

以上四个计算公式中:

$K$ ——重力仪格值;

$\Delta G_1, \Delta G_2$ ——起始基点、闭合基点相对于总基点的重力差值;

$S_1, T_1, R_1$ ——起始基点上的重力仪观测读格、观测时间、固体潮校正值;

$S_2, T_2, R_2$ ——闭合基点上的重力仪观测读格、观测时间、固体潮校正值；

$\Delta S, \Delta T, \Delta R$ ——重力仪停顿结束时的观测读格与停顿开始时的观测读格之差(即静掉格)、停顿时间、停顿结束时的固体潮校正值与停顿开始时的固体潮校正值之差；

$S_1, T_1, R_1$ ——测点上的重力仪观测读格、观测时间、固体潮校正值。

## C1.2 对于附有格值表的 LCR 型重力仪和 CG-3 型重力仪

### C1.2.1 当闭合于同一基点时,测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{测}} = \Delta G_1 + (g'_i - g'_1)C + (R_i - R_1) - \frac{(g'_2 - g'_1)C + (R_2 - R_1)}{T_2 - T_1} \times (T_i - T_1) \quad \dots\dots\dots (C5)$$

若在观测中有较长时间的停顿,需进行静掉格校正时,则测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{测}} = \Delta G_1 + (g'_i - g'_1)C + (R_i - R_1) - \frac{(g'_2 - g'_1 - \Delta g'_1)C + (R_2 - R_1 - \Delta R)}{T_2 - T_1 - \Delta T} \times (T_i - T_1) \quad \dots\dots\dots (C6)$$

### C1.2.2 当闭合于不同基点时,测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{测}} = \Delta G_1 + (g'_i - g'_1)C + (R_i - R_1) - \frac{(g'_2 - g'_1)C - (\Delta G_2 - \Delta G_1) + (R_2 - R_1)}{T_2 - T_1} \times (T_i - T_1) \quad \dots\dots\dots (C7)$$

若在观测中有较长时间的停顿,需进行静掉格校正时,则测点重力值的计算公式为:

$$\Delta g_{\text{测}} = \Delta G_1 + (g'_i - g'_1)C + (R_i - R_1) - \frac{(g'_2 - g'_1 - \Delta g'_1)C - (\Delta G_2 - \Delta G_1) + (R_2 - R_1 - \Delta R)}{T_2 - T_1 - \Delta T} \times (T_i - T_1) \quad \dots\dots\dots (C8)$$

以上四个计算公式中:

$C$ ——重力仪的重力尺度比例因子;

$g'_1, g'_2$ ——起始基点和闭合基点上重力仪给出的重力值(对于 CG-3 型重力仪是直接给出,对于 LCR 型重力仪则是根据格值表分段计算求得);

$g'_i$ ——测点上重力仪给出的重力值;

$\Delta g'$ ——重力仪停顿结束时测得的重力值与停顿开始时测得的重力值之差;

其余与 C1.1 的相同,从略。

## C2 双程往返观测法重力观测资料整理

双程往返观测法主要适用于拉科斯特和 CG-3 型重力仪的观测,其观测路线为:1、2、3、...、 $n-1$ 、 $n$ 、 $n$ 、 $n-1$ 、...、3、2、1。

### C2.1 根据格值或格值表及比例因子先求得各点重力值,再计算出各点经固体潮校正后的重力值 $g_i$ 、 $g_j$ 。

### C2.2 计算各段重力增量值(按静掉格处理办法),其计算公式为:

$$\Delta g_n = g_j - g_i + \frac{(g'_j - g'_i) - (g'_j - g'_i)}{(t'_j - t'_i) - (t'_j - t'_i)} \times (t_i - t_j) \quad \dots\dots\dots (C9)$$

式中:  $g_i, g'_i$ —— $i$  点往程、返程观测的经固体潮校正后的重力值;

$g_j, g'_j$ —— $j$  点往程、返程观测的经固体潮校正后的重力值;

$t_i, t'_i$ —— $i$  点往程、返程观测的时间;

$t_j, t'_j$ —— $j$  点往程、返程观测的时间。

## C3 三程循环观测法主要适用于石英弹簧重力仪的观测,其观测路线为 1、2、1、2、2、3、2、3、...。通过资料整理,求得某一增量边(观测段)的两个非独立增量和独立增量。

### C3.1 非独立增量计算

按下列公式计算非独立增量:

$$\Delta g_{2,1} = K(S_2 - S_1) + (R_2 - R_1) - \frac{K(S_1' - S_1) + (R_1' - R_1)}{T_1' - T_1} \times (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots (C10)$$

$$\Delta g_{1,2} = K(S_1' - S_2) + (R_1' - R_2) - \frac{K(S_2' - S_2) + (R_2' - R_2)}{T_2' - T_2} \times (T_1' - T_2) \quad \dots\dots\dots (C11)$$

式中:  $K$ ——仪器格值;

$S_1, T_1, R_1$ ——在 1 号点的第一次观测读格、观测时间、固体潮校正值;

$S_1', T_1', R_1'$ ——在 1 号点的第二次观测读格、观测时间、固体潮校正值;

$S_2, T_2, R_2$ ——在 2 号点的第一次观测读格、观测时间、固体潮校正值;

$S_2', T_2', R_2'$ ——在 2 号点的第二次观测读格、观测时间、固体潮校正值。

### C3.2 独立增量计算

按下式计算独立增量:

$$\overline{\Delta g}_{2,1} = \frac{1}{2}(\Delta g_{2,1} - \Delta g_{1,2}) \quad \dots\dots\dots (C12)$$

C3.3 当增量边(观测段)的闭合时间较短时(例如格值标定),可不进行固体潮校正。

## 附录 D

(提示的附录)

### 重力基点网条件平差

#### D1 条件平差计算

重力基点网联测结果的平差,一般可采用条件平差法。下面结合实例一某区重力一级基点网(自由网)的条件平差计算,对该方法加以介绍。

##### D1.1 绘制基点网分布示意图

某区重力一级基点网由 8 个边组成两个闭合环(图 D1)。在各边上标出平均重力增量值及变化方向(箭头指向重力值减小的方向);求出各闭合环的闭合差(以箭头为顺时针方向各边平均重力增量之和减去箭头为逆时针方向各边平均重力增量之和),并标在闭合环中央;把权  $P$ (等于各边独立增量的个数)标在各边上。

##### D1.2 列校正数条件方程组

假设基点网由  $r$  个闭合环组成,各闭合环的闭合差分别为  $W_a, W_b, W_c, \dots, W_r$ ,待求的各边段校正数为  $V_i (i=1, 2, \dots, n)$ ,则可列出  $r$  个校正数条件方程式:

$$\left. \begin{aligned} a_1 V_1 + a_2 V_2 + \dots + a_n V_n + W_a &= 0 \\ b_1 V_1 + b_2 V_2 + \dots + b_n V_n + W_b &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ r_1 V_1 + r_2 V_2 + \dots + r_n V_n + W_r &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (D1)$$

其中:  $a, b, \dots, r (i=1, 2, \dots, n)$  为条件式系数。该系数按各边段箭头方向确定,顺时针方向取+1,反之取-1。

本实例可得到两个校正数条件方程式:

$$\left. \begin{aligned} -V_1 - V_2 - V_3 + V_8 + 21 &= 0 \\ -V_4 + V_5 + V_6 + V_7 - V_8 + 47 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (D1')$$

其中条件式系数为:

第一式中  $a_1=a_2=a_3=-1, a_8=1$ , 其余的  $a_i=0$ ;

第二式中  $b_4=b_5=-1, b_3=b_6=b_7=1$ , 其余的  $b_i=0$ 。

由 (D1') 式可知, 未知数  $V_i$  的个数多于方程的个数, 无法求解, 故需根据条件式系数, 求解联系系数  $K_a, K_b, \dots, K_r$ , 以便计算出  $V_i$ 。

### D1.3 建立求解联系系数的法方程组

联系系数法方程组的一般式为:

$$\left. \begin{aligned} \left[\frac{aa}{p}\right]K_a + \left[\frac{ab}{p}\right]K_b + \dots + \left[\frac{ar}{p}\right]K_r + W_a &= 0 \\ \left[\frac{ab}{p}\right]K_a + \left[\frac{bb}{p}\right]K_b + \dots + \left[\frac{br}{p}\right]K_r + W_b &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \left[\frac{ar}{p}\right]K_a + \left[\frac{br}{p}\right]K_b + \dots + \left[\frac{rr}{p}\right]K_r + W_r &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D2)$$

其中  $K_a, K_b, \dots, K_r$  称为联系系数, 其个数与条件式的个数相同;  $\left[\frac{aa}{p}\right] = \frac{a_1a_1}{p_1} + \frac{a_2a_2}{p_2} + \dots + \frac{a_na_n}{p_n}$ ,  $\left[\frac{ab}{p}\right] = \frac{a_1b_1}{p_1} + \frac{a_2b_2}{p_2} + \dots + \frac{a_nb_n}{p_n}$ ,  $\left[\frac{rr}{p}\right] = \frac{r_1r_1}{p_1} + \frac{r_2r_2}{p_2} + \dots + \frac{r_nr_n}{p_n}$ ,  $p_i (i=1, 2, \dots, n)$  系基点网各边段的权。

本实例的法方程式系数的计算, 按表 D1 进行。该表中边段编号就是校正数  $V$  的编号;  $a, b$  可看作校正数条件方程的编号;  $a_i, b_i$  分别为各式  $V_i$  的系数;  $S, \frac{as}{p}, \frac{bs}{p}$  是检验项, 当其行、列两个总和数字相同时, 计算正确, 其中  $S = a + b, \frac{as}{p} = \frac{aa}{p} + \frac{ab}{p}, \frac{bs}{p} = \frac{ab}{p} + \frac{bb}{p}$  (由该表可见, 它们的行、列两个总和数字相同, 分别为  $-1, \frac{17}{30}, \frac{149}{210}$ )。

本实例根据算出的法方程式系数所建立的法方程式为:

$$\left. \begin{aligned} + \frac{22}{30}K_a - \frac{1}{6}K_b + 21 &= 0 \\ - \frac{1}{6}K_a + \frac{92}{105}K_b + 47 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D2')$$

### D1.4 解联系系数法方程组

解一般式 (D2) 可算出联系系数  $K_a, K_b, K_c, \dots, K_r$ 。本实例解 (D2') 式所求得的关系数为:

$$K_a = -42.7,$$

$$K_b = -61.8.$$

### D1.5 计算校正数 $V_i$

将算出的联系系数  $K_a, K_b, \dots, K_r$  和权倒数  $\frac{1}{p_1}, \frac{1}{p_2}, \dots, \frac{1}{p_n}$  代入公式

$$V_i = \frac{1}{p_i}(a_iK_a + b_iK_b + \dots + r_iK_r) \dots\dots\dots (D3)$$

中, 即可计算各  $V_i$  值。

本例中  $a_1=-1, b_1=0$ , 因而可得:

$$V_1 = \frac{1}{p_1}(a_1K_a + b_1K_b) = \frac{1}{5}[-1 \times (-42.7)] \approx 9 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$$

同样可得:

$$V_2 = 7 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$V_3 = 9 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2; (\text{取 } 8 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2);$$

$$V_4 = 12 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2; (\text{取 } 13 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2);$$

$$V_5 = 9 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$V_6 = 12 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$V_7 = 10 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$V_8 = 3 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2。$$

#### D1.6 计算平差后的各边段重力增量值 $X_i$

将计算出的各个校正数  $V_i$  值标在基点网分布示意图相应的边段上。各边的重力增量联测的平均值  $L_i$  与  $V_i$  的代数数和,即为经过平差后的重力增量值  $X_i$ (简称为“平差值”)。

$$X_i = L_i + V_i$$

根据平差值计算出的各环闭合差应等于零。但由于校正数  $V_i$  值四舍五入等原因,闭合差有时不为零。这时可作适当调整,将不符值分在不与邻环接界的权较小的边上。本例中,将  $V_3$  不进位到 9 而是舍去尾数,取为  $8 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ,  $V_4$  不是舍去尾数取为 12 而是进位取为  $13 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

#### D1.7 平差后各基点相对重力值的计算

各基点相对重力值是由各边平差值推算而得,因此它是各边平差值的线性函数(称之为平差值函数  $\Delta G$ )。

$$\Delta G = f_1 X_1 + f_2 X_2 + \cdots + f_n X_n + f_0 \quad \cdots \cdots \cdots (D4)$$

对于自由网(如重力一级基点网),  $f_0 = 0$ 。  $f_i (i=1, 2, \cdots, n)$  的确定方法为:当边段箭头方向同该基点到起算点的方向一致时,  $f$  取 +1, 反之取 -1。

本实例从总基点 ( $G_2$ ) 推算各基点相对重力值, 所得平差值函数  $\Delta G$  如下:

$$\Delta G_3 = X_2$$

$$\Delta G_4 = X_3 + X_2$$

$$\Delta G_5 = X_4 + X_3 + X_2$$

$$\Delta G_6 = X_6 + X_7 - X_1$$

$$\Delta G_7 = X_7 - X_1$$

$$\Delta G_1 = -X_1$$

计算时把系数  $f_i$  值填在表 D1 中。所求得的以  $G_2$  做起算点的各基点相对重力值为:

$$\Delta G_3 = 47.249 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$\Delta G_4 = 67.571 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$\Delta G_5 = 103.890 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$\Delta G_6 = 66.901 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$\Delta G_7 = -19.384 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$\Delta G_1 = -32.972 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2。$$

#### D2 基点网精度评价

##### D2.1 求单位权均方误差 $\mu$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[PVV]}{r}} \quad \cdots \cdots \cdots (D5)$$

式中  $[PVV]$  值可由校正数  $V$  直接计算求得,也可由  $-[wK]$  得到,即  $[PVV] = -w_a K_a - w_b K_b - \cdots - w_n K_n$ 。

本实例的单位权均方误差计算如下:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[PVV]}{r}} = \pm \sqrt{\frac{3805}{2}} = \pm 43.6 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2;$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{-[wK]}{r}} = \pm \sqrt{\frac{3801}{2}} = \pm 43.6 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2。$$

##### D2.2 平差后各基点相对重力值的均方误差计算

## D2.2.1 转换系数的计算

转换系数  $q_a, q_b, \dots, q_i$  满足下列方程组:

$$\left. \begin{aligned} \left[\frac{aa}{p}\right]q_a + \left[\frac{ab}{p}\right]q_b + \dots + \left[\frac{ar}{p}\right]q_i + \left[\frac{af}{p}\right] &= 0 \\ \left[\frac{ab}{p}\right]q_a + \left[\frac{bb}{p}\right]q_b + \dots + \left[\frac{br}{p}\right]q_i + \left[\frac{bf}{p}\right] &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \left[\frac{ar}{p}\right]q_a + \left[\frac{br}{p}\right]q_b + \dots + \left[\frac{rr}{p}\right]q_i + \left[\frac{rf}{p}\right] &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D6)$$

计算该方程组的系数时可按表 D1 的格式, 该表对本实例的计算过程和结果加以反映。例如对  $G_7$  基点从该表可知:

$$\left[\frac{aa}{p}\right] = \left[\frac{11}{15}\right]; \left[\frac{ab}{p}\right] = \left[-\frac{1}{6}\right]; \left[\frac{bb}{p}\right] = \left[\frac{92}{105}\right]; \left[\frac{af}{p}\right] = \left[\frac{1}{5}\right]; \left[\frac{bf}{p}\right] = \left[\frac{1}{6}\right].$$

将它们代入(D6)式, 得  $G_7$  基点转换系数方程组:

$$\left. \begin{aligned} +\frac{11}{15}q_a - \frac{1}{6}q_b + \frac{1}{5} &= 0 \\ -\frac{1}{6}q_a + \frac{92}{105}q_b + \frac{1}{6} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D6')$$

解该方程组得:

$$q_a = -0.330,$$

$$q_b = -0.253.$$

同样可求得同其他基点相对应的转换系数, 其计算结果如表 D2 所列。

D2.2.2 计算平差值函数的权倒数  $\frac{1}{P_G}$ 

其计算公式为:

$$\frac{1}{P_G} = \left[\frac{ff}{p}\right] + \left[\frac{af}{p}\right]q_a + \left[\frac{bf}{p}\right]q_b + \dots + \left[\frac{rf}{p}\right]q_i \dots\dots\dots (D7)$$

计算时将各基点的  $\left[\frac{ff}{p}\right], \left[\frac{af}{p}\right], \left[\frac{bf}{p}\right]$  和  $q_a, q_b$  代入(D7)式即可。例如计算  $G_7$  的权倒数时, 将  $G_7$  的

$$\left[\frac{ff}{p}\right] = \frac{11}{30}, \left[\frac{af}{p}\right] = \frac{1}{5}, \left[\frac{bf}{p}\right] = \frac{1}{6}, q_a = -0.330, q_b = -0.253, \text{代入(D7)式得:}$$

$$\frac{1}{P_{G7}} = \frac{11}{30} + \frac{1}{5}(-0.330) + \frac{1}{6}(-0.253) = 0.259$$

同样可求得其他基点的权倒数, 其结果亦列在表 D2 中。

D2.2.3 计算平差值函数均方误差  $\epsilon_G$ 

其计算公式为:

$$\epsilon_G = \pm \mu \sqrt{\frac{1}{P_G}} \dots\dots\dots (D8)$$

根据已算得的各基点的权倒数  $\frac{1}{P_G}$  和单位权均方误差  $\mu$ , 即可按(D8)式求取  $\epsilon_G$ 。例如计算  $G_7$  基点的  $\epsilon_G$  得:

$$\epsilon_G = \pm 43.6 \times \sqrt{0.259} \approx \pm 22 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$$

同样可求得其他基点相对重力值的均方误差  $\epsilon_G$ , 其结果见表 D2。

## D2.2.4 检验计算结果

为检验计算有无错误, 可采用不同路线计算部分基点的平差函数, 以及计算转换系数和权倒数及平差值函数均方误差。例如对  $G_7$  基点进行验算时, 采用另一路线(五个边段), 其平差值函数为:

$$\Delta G_7 = X_2 + X_3 + X_4 - X_5 - X_6$$

其相应的计算结果见表 D1 和表 D2 括号内的数字。 $\epsilon_G$  的二个计算结果相同,说明计算正确。

### D2.3 求基点网精度

各个基点相对重力值的精度求出后,用整个网内最弱点的均方误差表示基点网的精度。

本实例从表 D2 可知,基点网内最弱点为  $G_6$  基点,均方误差为  $\pm 24 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ,故此一级基点网精度  $\epsilon_G$  为  $\pm 24 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

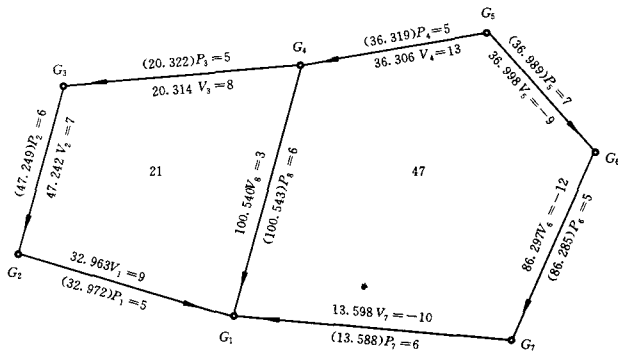


图 D1 某区重力一级基点网分布示意图



表 D2

基点编号	$q_a$	$q_b$	$\frac{1}{\rho_G}$	$\epsilon_G (\times 10^{-4} \text{m/s}^2)$
$G_3$	0.238	0.0452	0.127	$\pm 16$
$G_4$	0.523	0.0994	0.175	$\pm 18$
$G_5$	0.577	0.338	0.288	$\pm 23$
$G_6$	-0.384	-0.492	0.310	$\pm 24$
$G_7$	-0.330(0.670)	-0.253(0.747)	0.259(0.258)	$\pm 22(\pm 22)$
$G_1$	-0.285	-0.054 2	0.143	$\pm 16$

## 附录 E

(提示的附录)

## 地形校正计算方法

## E1 近区地改计算方法

E1.1 近区地改一般要直接测定 0~20 m 范围内的地形,或从 1:500~1:2 000 大比例尺地形图上读取高程,并根据地形特点,选用相应的公式计算地改值。一般当地形为凸锥状(山峰)或凹锥状(山谷)时,在 0~10 m 范围内的地改值以采用锥形公式计算比较合适,而 10~20 m 范围内的地改值以采用扇形公式计算为宜;当地形为单一的斜坡时,则采用斜面公式计算地改值为宜。

E1.1.1 锥形公式(参见图 E1)为:

$$\delta g_{\text{锥形}} = \frac{2\pi G \sigma}{n} R(1 - \cos i) \quad \dots\dots\dots (\text{E1})$$

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

$\sigma$ ——地形校正密度(取  $2.67 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ );

$R$ ——地形校正半径(m);

$i$ ——地形倾角;

$n$ ——方位数,即以 0 为顶点,将近区地形分成小锥形体的个数。

(凡下面用到这几个符号时,其意义与此处相同,不另注解)。

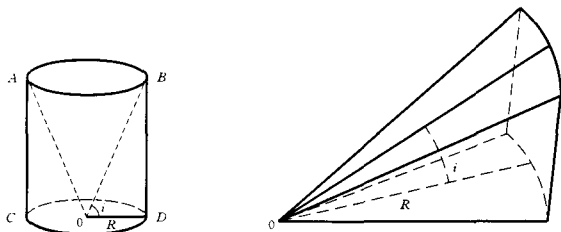


图 E1

E1.1.2 扇形公式(参见图 E2)为:

$$\delta g_{\text{扇形}} = \frac{2\pi G \sigma}{n} (R_{m-i} - R_m + \sqrt{R_m^2 + \Delta H^2} - \sqrt{R_{m+1}^2 + \Delta H^2}) \quad \dots\dots\dots (\text{E2})$$

式中:  $R_m$ ——扇形体的内半径, m;

$R_{m+1}$ ——扇形体的外半径, m;

$\Delta H$ ——扇形体的平均高程与测点高程之差, m。

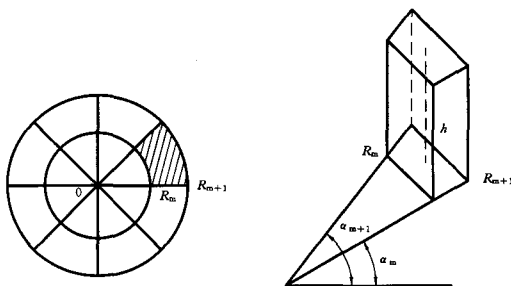


图 E2

E1.1.3 斜面公式(参见图 E3)为:

$$\delta G_{\text{斜面}} = \pi G \sigma R \left\{ 1 - \cos i \left[ 1 + \left( \frac{1}{2} \right)^2 \sin^2 i + \left[ \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right]^2 \sin^4 i + \dots \right] \right\} \quad \dots\dots\dots (E3)$$

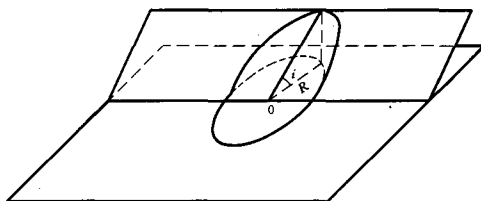


图 E3

E1.2 台阶地形是野外经常碰到的,如梯田、田坎、堤坝、陡崖、冲沟等均类似台阶地形,对于这类地形的地改值计算可采用下列方法:

E1.2.1 当地形为单层台阶(如梯田、陡崖等)时,其地改值可用下式计算(参见图 E4):

$$\delta_{\text{台阶}}(R_m, h) = G \sigma \int_{m-a_m}^a \int_{R_m \sec \alpha}^{R_{m+1}} \int_0^h \frac{RZ}{(Z^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} d\alpha dR dZ$$

其结果为:

$$\begin{aligned} \delta_{\text{台阶}} = & 2G\sigma \{ a_m(R_{m+1} - \sqrt{R_{m+1}^2 + h^2}) - R_m \ln(\sec \alpha_m + \tan \alpha_m) \\ & + \frac{1}{2} R_m \ln[2R_m \sqrt{R_{m+1}^2 + h^2} \cdot \tan \alpha_m + 2R_{m+1}^2 + h^2 - R_m^2] + \frac{1}{2} h \\ & \cdot \arcsin \frac{(h^2 - R_m^2) \frac{R_{m+1}^2}{R_m^2} - 2h^2}{(h^2 + R_m^2) \frac{R_{m+1}^2}{R_m^2}} - \frac{1}{2} R_m \ln(h^2 + R_m^2) + \frac{\pi}{4} h \} \quad \dots\dots\dots (E4) \end{aligned}$$

式中:  $R_{m+1}$ ——测点到台阶的最大距离[亦即计算半径, m];

$R_m$ ——测点到台阶的垂直距离, m;

$R_m \sec \alpha$ ——测点到台阶任意一点的距离, m;

$\alpha_m$ —— $R_m$  和  $R_{m+1}$  线之间的夹角；

$h$ ——台阶高，m。

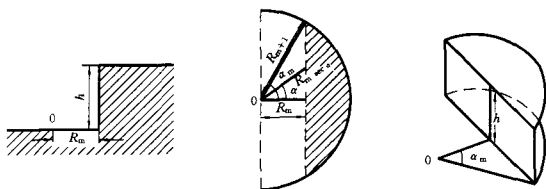


图 E4

E1.2.2 当地形为长堤形台阶(如堤坝、田坎、凸起的小路、冲沟等)时,其地改值的计算可分两种情况:

a) 当如图 E5(1)所示时

$$\delta g_{\text{长堤}} = \delta g_{\text{单台}}(R_{m1}, h_1) - \delta g_{\text{单台}}(R_{m2}, h_1)$$

b) 当如图 E5(2)所示时

$$\delta g_{\text{长堤}} = \delta g_{\text{单台}}(R_{m1}, h_1) - \delta g_{\text{单台}}(R_{m2}, h_1) + \delta g_{\text{单台}}(R_{m2}, h_1 - h_2)$$

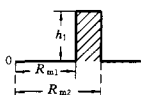


图 E5(1)

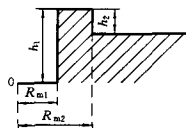


图 E5(2)

E1.2.3 当地形为多层台阶(如多层梯田、多层陡崖、多层台阶状冲沟等)时,为求其地改值,可把多层台阶分解成  $n$  个长堤形台阶和单层台阶分别计算地改值,然后相加。例如图 E6 所示之多层台阶,其地改值可按下式计算:

$$\delta g_{\text{多层台阶}} = \delta g_{\text{单台}}(R_{m1}, h_1) + \delta g_{\text{单台}}(R_{m2}, h_2) - \delta g_{\text{单台}}(R_{m2}, h_1)$$

E1.2.4 当地形为倾斜台阶时(如图 E7 所示),若其顶部倾角不大,可视为长堤台阶,而按长堤台阶公式去计算地改值(其台高  $h$  以平均高程  $\bar{h}$  代替);若其顶部倾角较大时,可分为若干个小的倾斜台阶,分别按长堤台阶公式逐个计算它们的地改值(其台高  $h$  亦以平均高程  $\bar{h}$  代替)然后相加。

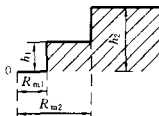


图 E6

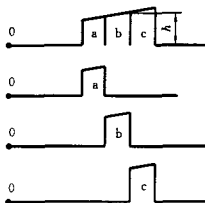


图 E7

E1.3 近区范围内的地形有时是在单一地形上叠加台阶地形,这时应将上述各种地改计算方法综合应用。计算中要正确判断地形类型,灵活应用各种近区地改计算方法,以提高在复杂地形条件下的地形校正精度。

E1.4 为了提高工作效率减少室内计算的工作量,可根据(E1)~(E3)式制成简易地改仪,以利用它在

野外直接读出地改值。这种方法在地形变化比较规律的情况下,测定结果比较准确。其具体制作方法及使用方法可参见《重力勘探》(长春地质学院重力教研室编,地质出版社,1980)。

## E2 中、远区地形校正计算方法

E2.1 中、远区地改可采用地形校正圆域计算方法和地形校正方域计算方法。

### E2.2 地形校正圆域计算方法

E2.2.1 该方法适合于手算。一般采用扇形柱体公式计算地形校正,即先在 1:10 000(或更大比例尺)地形图上以地形校正量板读取扇形块平均高程,然后按(E2)式计算地形校正。

E2.2.2 应根据测区地形特点设计地形校正量板,以确定合适的  $R_{m+1}$ 、 $R_m$  和  $n$ 。

E2.2.3 地形校正用(E2)公式计算时须加四个补角的地改值(参见图 E8)其计算公式如下:

$$\Delta g_{\text{补}} = \frac{G\sigma S}{R} \left[ 1 - \frac{R}{\sqrt{R^2 + \Delta H^2}} \right] \dots\dots\dots (E5)$$

式中:  $S$ ——补角面积,  $S = \frac{1}{4} \cdot (4 - \pi)r^2$ ;

$r$ ——内切圆半径,  $1.105r = R$ ;

$\Delta H$ ——补角平均高程与测点实测高程之差。

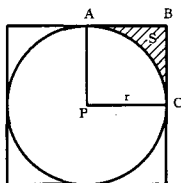


图 E8

### E2.3 地形校正方域计算方法

E2.3.1 该方法适合于电算,可在编有相应程序的计算机上进行。一般均采用“共用点法”(或称“平移高程法”),即当计算重力测点(自由网点)的地形校正时,可先计算测点附近四个节点的地形校正(计算时都用测点实测高程值代替四个节点的高程值),然后将四个节点地形校正内插到测程位置上作为测点地形校正。

E2.3.2 节点地形校正计算可在 1:10 000(或更大比例尺)地形图(或航空相片上)上读取节点网高程,按数值积分法的基本公式计算地形校正。该公式为:

$$\Delta g_{ij} = G\sigma\Delta X\Delta Y \sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{r_{ij}} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (h_{ij}/r_{ij})^2}} \right] \dots\dots\dots (E6)$$

式中:  $h_{ij}$ ——积分节点( $i, j$ )与计算点之间的高差;

$r_{ij}$ ——积分节点( $i, j$ )与计算点之间的距离;

$\Delta X\Delta Y$ ——网格距;

$C_{ij}$ ——积分常数,选用梯形系数。

E2.3.3 计算测点 P 的地改值时,是以 P 点就近四个节点的地形校正用双线性插值公式算出,其公式为:

$$\begin{aligned} \Delta g_p = & \Delta g_A \left( 1 - \frac{|X - X_i|}{\Delta X} \right) \left( 1 - \frac{|Y - Y_i|}{\Delta Y} \right) \\ & + \Delta g_B \left( 1 - \frac{|X - X_i|}{\Delta X} \right) \left( 1 - \frac{|Y - Y_{j+1}|}{\Delta Y} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \Delta g_c \left( 1 - \frac{|X - X_{i+1}|}{\Delta X} \right) \left( 1 - \frac{|Y - Y_j|}{\Delta Y} \right) \\
& + \Delta g_D \left( 1 - \frac{|X - X_{i+1}|}{\Delta X} \right) \left( 1 - \frac{|Y - Y_{j+1}|}{\Delta Y} \right) \dots\dots\dots (E7)
\end{aligned}$$

式中：  
 $\Delta g_P$ ——测点 P 的地形校正值；  
 $\Delta g_A, \Delta g_B, \Delta g_C, \Delta g_D$ ——节点 A、B、C、D 的地形校正值；  
 $\Delta X, \Delta Y$ ——节点网格距；  
 $(X, Y)$ ——P 点的坐标；  
 $(X_i, Y_j)$ ——A 点的坐标；  
 $(X_i, Y_{j+1})$ ——B 点的坐标；  
 $(X_{i+1}, Y_j)$ ——C 点的坐标；  
 $(X_{i+1}, Y_{j+1})$ ——D 点的坐标。

**附录 F**  
(标准的附录)  
**重力基点档案格式**

**重力基点档案**

起算用国家控制点或总基点名:

No:

点号		相对重力值	$10^{-5} \text{ m/s}^2$
等级		重力值均方误差	$\pm 10^{-5} \text{ m/s}^2$
点名		坐标	经度(或 Y) E: ° ' "
所在 1/10 万图幅号			纬度(或 X) N: ° ' "
			经纬度来源
			高程(Z)
基点联测精度	$\pm 10^{-5} \text{ m/s}^2$	高程来源	
基点联测时间	一九 年 月 日	观测单位	
受托管单位 及主管人		埋石情况	
点位所在地	省(区) 县(市) 乡 村		
基点联测路线			
标石平面图及照片		点位略图	
绘制者		绘制日期	一九 年 月 日
说 明			
填表单位		填表日期	一九 年 月 日



附 录 H  
(标准的附录)  
重力测区索引表格式

重力测区索引表

第 页

项 目		内 容		备注
1	测区名称			
2	工作比例尺和测区面积			
3	测区角点坐标	角点顺序	X(或纬度)	Y(或经度)
		1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
10				
4	中间层校正及地改所用密度, $\text{kg/m}^3$			
5	点位中误差, m			
6	高程中误差, m			
7	地形校正均方误差, $10^{-5} \text{ m/s}^2$			
8	地改半径			
9	测点观测均方误差, $10^{-5} \text{ m/s}^2$			
10	各级基点网均方误差, $10^{-5} \text{ m/s}^2$		I : I : I :	
11	布格重力异常总均方误差, $10^{-5} \text{ m/s}^2$			
12	仪器型号			
13	所用国家控制点或总基点名称			
14	工作起止年月			
15	工作单位			
16	原始资料存放单位			

填写者:

检查者:

年 月 日



[illegible]



## 附录 M

(提示的附录)

# 石英弹簧重力仪重力测点观测和计算记录本格式

工区\_\_\_\_\_测线\_\_\_\_\_观测者\_\_\_\_\_  
日期\_\_\_\_\_天气\_\_\_\_\_记录者\_\_\_\_\_

仪器号 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 第 \_\_\_\_\_ 页

[illegible][illegible]

## 附录 N

(提示的附录)

## 拉科斯特重力仪重力测量记录本格式

日期\_\_\_\_\_天气\_\_\_\_\_观测记录者\_\_\_\_\_

路线\_\_\_\_\_检查者\_\_\_\_\_

第 页

点名 点号	时间		仪器读数	毫伏数 mV	辅助内容	运输情况		备注
	时	分						
					内温,℃		飞机	
					外温,℃		汽车	
					气压,mm		火车	
					仪高,cm		轮船	
平均							步行	
平均								
平均								
平均								
平均								

附录 P

(提示的附录)

岩(矿)石密度标本采集及测定记录本格式

工作地区 图幅号 采样者 测定方法 仪器号 测定者 计算者  
日期 日期 记录者 记录者 记录者 记录者

[illegible][illegible]

第 页

## 附 录 Q

(提示的附录)

## 近区重力地形校正野外记录本格式

工 区 \_\_\_\_\_ 日 期 \_\_\_\_\_ 工作者 \_\_\_\_\_  
 记录者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 对算者 \_\_\_\_\_

点号 线号	半径 m	校正值, $10^{-5} \text{ m/s}^2$								备 注
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	0~5									
	0~10									
	5~10									
	10~20									
各方位小计										
合计										
	0~5									
	0~10									
	5~10									
	10~20									
各方位小计										
合计										
	0~5									
	0~10									
	5~10									
	10~20									
各方位小计										
合计										
	0~5									
	0~10									
	5~10									
	10~20									
各方位小计										
合计										

第 页

## 附 录 R

(提示的附录)

### 成果报告质量评级标准

大比例尺重力勘查成果报告的质量评级标准如下:

**R1 优秀:**用于编写成果报告的资料,必须是第一类资料,其质量可靠,完整齐全;综合研究深入、充分,解释推断方法正确,技术思路合理,对设计书规定要解决的地质问题作出了中肯、明确、可信的结论,工作建议明确而切实可行;报告本身内容完整,文字通顺,阐述清楚,简明扼要;图件齐全,成果表达醒目、美观,内容得当,便于使用;在主要技术环节有创新。

**R2 良好:**用于编写成果报告的资料为第一类或第二类资料,其质量可靠,基本完整齐全;综合研究较好,对设计书规定要解决的地质问题,大部分作出了明确、可信的结论,工作建议明确可行;报告本身内容完整,文字通顺,阐述清楚;图件齐全,内容基本得当,比较适用。

**R3 合格:**用于编写成果报告的资料为第二类资料,其质量基本可靠但欠完整;综合研究不够深入、充分,且已难于补救,对设计书规定要解决的主要地质问题作出了尚属明确、可信的结论和建议;报告本身和图件一般合乎要求。

---