

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0082—93

区域重力调查规范

1993-12-09 发布

1994-10-01 实施

中华人民共和国地质矿产部 发布

目 次

1 主题内容与适用范围	(1)
2 引用标准	(1)
3 五统一技术要求	(1)
4 技术设计	(1)
5 重力仪	(7)
6 野外工作	(10)
7 资料整理、精度评价、成果提交	(14)
8 基础图件的编制	(24)
附录 A 国家重力基本网和国家级重力仪格值标定场(补充件)	(28)
附录 B 两点间多台重力仪多次观测结果的精度计算方法(补充件)	(29)
附录 C 重力仪野外观测中的常用资料整理方法(补充件)	(32)
附录 D 重力老资料评价方法(补充件)	(34)
附录 E 重力仪格值标定场档案格式(补充件)	(37)
附录 F 重力基点档案格式(补充件)	(38)
附录 G 地理底图的编绘规定及 1:200 000 和 1:1 000 000 重力图图廓尺寸(补充件)	(38)
附录 H 重力基点网平差(参考件)	(44)
附录 I 重力仪观测中途的测程调节及资料整理方法(参考件)	(48)
附录 J 远区地形改正和均衡改正方法(参考件)	(49)
附录 K 重力测区索引表(参考件)	(57)

区域重力调查规范

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准规定了区域重力调查五统一技术要求、技术设计、重力仪调节及性能测试、建立各级基点网、重力观测、资料整理和基础图件编绘的要求。

1.2 适用范围

本标准适用于以解决与基础地质与矿产地质有关问题为目标的中、小比例尺陆地重力测量。

2 引用标准

DZ/T 0069 地球物理勘查图图式图例及用色标准

3 五统一技术要求

区域重力调查是一项基础性、系统性的工作,因此在工作中必须按五统一技术要求进行工作。

3.1 统一采用国家 1985 重力基本网系统。

3.2 统一采用 1954 年北京坐标系和 1985 国家高程基准。

3.3 统一采用国际大地测量协会(IAG)推荐的 1980 年公式计算正常重力值。

3.4 统一采用本规范规定的公式进行布格改正和中间层改正,密度值统一采用 2.67g/cm^3 。

3.5 统一采用 166.7 千米的半径进行地形改正。

4 技术设计

4.1 比例尺及网度

4.1.1 区域重力调查的比例尺为 $1:100\,000$ 、 $1:200\,000$ 、 $1:500\,000$ 、 $1:1\,000\,000$,基本比例尺为 $1:200\,000$ 和 $1:1\,000\,000$ 。

4.1.1.1 $1:200\,000$ 区域重力测量布置在成矿远景区和经济建设区。

4.1.1.2 $1:1\,000\,000$ 区域重力测量布置在重力调查空白区。

表 1

比 例 尺	测 点 密 度 (每个测点所控制的面积)	剖面测量时的 相邻点距
$1:100\,000$	$1\sim 2\text{km}^2$	$0.5\sim 1.0\text{km}$
$1:200\,000$	$4\sim 8\text{km}^2$	$1.0\sim 2.0\text{km}$
$1:500\,000$	$20\sim 40\text{km}^2$	$2.0\sim 5.0\text{km}$
$1:1\,000\,000$	$80\sim 160\text{km}^2$	$5.0\sim 10.0\text{km}$

4.1.2 区域重力调查的测点应均匀分布,测点密度一般应按照表 1 执行,根据需要也可适当加密。在特别困难地区, $1:1\,000\,000$ 区域重力测量的测点密度可适当放宽,但应不超过 $300\sim 400\text{km}^2$ 一个测点。

中华人民共和国地质矿产部 1993-12-09 批准

1994-10-01 实施

4.2 总精度及误差分配

4.2.1 区域重力调查以布格重力异常值的均方误差作为总精度。区域重力调查的精度应照表 2 执行。平原丘陵区与山区的划分,应根据地形特点在总体设计中明确划定,并避免过于零碎。

表 2-a 平原丘陵区

 10^{-5}m/s^2

工作比例尺	重力等值线间距	布格重力异常均方误差	测点重力值均方误差	布格改正均方误差	地形改正总均方误差			点位影响均方误差
					总计	近中区(2km 以内)	远区(2~20km)	
1:100 000	1	± 0.4	—	—	—	—	—	—
1:200 000	2	± 0.8	± 0.3	± 0.60	± 0.40	± 0.35	± 0.18	± 0.14
1:500 000	2	± 0.8	± 0.3	± 0.60	± 0.40	± 0.35	± 0.18	± 0.14
	5	± 1.6	± 0.4	± 1.40	± 0.50	± 0.45	± 0.20	± 0.40
1:1 000 000	5	± 1.6	± 0.4	± 1.40	± 0.50	± 0.45	± 0.20	± 0.40

表 2-b 山区

 10^{-5}m/s^2

工作比例尺	重力等值线间距	布格重力异常均方误差	测点重力值均方误差	布格改正均方误差	地形改正总均方误差			点位影响均方误差
					总计	近中区(2km 以内)	远区(2~20km)	
1:100 000	1	± 0.5	—	—	—	—	—	—
1:200 000	2	± 1.0	± 0.3	± 0.8	± 0.50	± 0.44	± 0.22	± 0.14
1:500 000	2	± 1.0	± 0.3	± 0.8	± 0.50	± 0.44	± 0.22	± 0.14
	5	± 2.0	± 0.5	± 1.8	± 0.60	± 0.55	± 0.23	± 0.40
1:1 000 000	5	± 2.0	± 0.5	± 1.8	± 0.60	± 0.55	± 0.23	± 0.40

4.2.2 布格重力异常的均方误差可照表 2 分配。在编写设计时可以根据具体情况,在保证总精度的前提下,提高某项精度,降低另一项精度,但分配给远区地形改正的误差不得超过表 2 要求。

4.2.3 1:100 000 区域重力测量的布格重力异常均方误差的分配应根据测区的具体条件,参考表 2 中诸项误差的分配原则合理进行,并在设计书中具体确定。

4.2.4 测点重力值的均方误差¹⁾与各级重力基点网的均方误差和测点重力观测的误差有关,一般应参照表 3 分配²⁾。

注:1) 测点重力值均方误差,指不考虑国家重力基本点或一等点重力值的误差时,测点重力值的均方误差。

2) 表 3 中的误差分配方案,是按低级基点网的重力联测不受高级基点网的控制(高级基点网只起传递重力值的作用),测点重力观测时每个闭合观测单元的观测都起止于同一个末级基点,原始观测和检查观测使用的是同一个基点的情况。

表 3

测点重力值 均方误差 $\epsilon_{\text{测}}$ 10^{-5}m/s^2	重力基点网均方误差, 10^{-5}m/s^2					测点观测均方 误差 $\epsilon_{\text{点}}$ 10^{-5}m/s^2
	建两级基点网时		建三级基点网时			
	ϵ_{I}	ϵ_{II}	ϵ_{I}	ϵ_{II}	ϵ_{III}	
± 0.3	± 0.08	± 0.16	± 0.05	± 0.10	± 0.15	± 0.23
± 0.4						± 0.35
± 0.5						± 0.46

4.3 基点网

4.3.1 区域重力调查中为传递重力值和进行重力仪混合零点位移改正而必须建立的重力基点网称为物探重力基点网。物探重力基点网一般按省(自治区)统一建立,其重力值应通过国家重力控制点(指国家 1985 重力基本网或国家一等重力网,下同)统一于国家重力系统。

4.3.2 物探重力基点网一般分两级,个别情况下也可分三级建立,其具体分级和各级基点的密度与布设方案应在综合考虑交通条件、近期需要、长期需要等因素的基础上确定。

4.3.3 物探重力一级基点网中至少应有一个,最好是两个或两个以上的国家重力控制点。

4.3.4 分两级建立物探重力基点网时,应按表 4 要求执行。

4.3.5 分三级建立物探重力基点网时,应按表 5 要求执行。

4.3.6 1:100 000 区域重力调查的基点网,应从一个物探重力一、二级基点上发展出来或联测于这样的点,其作用是传递重力值和供测点重力观测时检查重力仪混合零点位移之用,应根据交通条件等因素分一级或两级一次建成,末级点的密度应满足测点重力观测时按规定时间就近闭合的需要。基点网的重力联测也应设计成闭合环,每个闭合环的边段数一般应不大于 12。联测时每个边段的独立增量数应不少于 2。在交通困难地区,可从基点网上的基点按支线发展出 2~3 个支点,这种支点联测时每个边段的独立增量数至少应比网上边段多一倍。

4.4 测地工作

4.4.1 区域重力调查中测地工作的主要任务是布设测网、确定测点和各级重力基点的平面位置和高程。为此,设计前应详细了解、收集工作所需的各种比例尺的地形图、航测资料、三角点及水准点成果,以及有关成果精度、所属系统的说明。

4.4.2 当按表 2-a 和表 2-b 工作时,应按表 6 设计测点的平面位置和高程的精度。

表 4

基点网 作用及 级别 要求	一 级 基 点 网	二 级 基 点 网
作 用	1. 传递重力值。 2. 控制二级基点网的重力联测	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. 按省、自治区统一设计,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,并以其中一个点作为绝对重力值起算点。 4. 设计成闭合环,每个闭合环的边段数一般不超过 12,并使起算用的国家重力控制点位于网的中部	1. 根据一级基点分布、交通条件、区域重力调查比例尺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 16

续表 4

基点网 作用及 级别 要求	一 级 基 点 网	二 级 基 点 网
重力联测要求	1. 用于联测的重力仪按三程循环观测时均方误差 ϵ_0 一般不大于 $\pm 50 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 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(如飞机或快车)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, 支点只能由一般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观测时均方误差 ϵ_0 一般不大于 $\pm 60 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 每个边段至少采用两台仪器联测, 至少取得两个合格的独立增量。 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 2~3 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(指平差后最弱点重力值均方误差, 下同) $\epsilon_{\text{网}}$ 不低于 $\pm 80 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 联测精度(指平均重力增量的均方误差, 下同) ϵ_0 不低于 $\pm 30 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$	1. 网的精度 $\epsilon_{\text{网}}$ 不低于 $\pm 160 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 联测精度 ϵ_0 不低于 $\pm 40 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$

表 5

基点网 作用及 级别 要求	一 级 基 点 网	二 级 基 点 网	三 级 基 点 网
作 用	1. 传递重力值。 2. 控制二级基点网的重力联测	1. 传递重力值。 2. 控制三级基点网的重力联测	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. 按省、自治区统一设计, 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. 至少包括(或联测于)一个国家重力控制点, 并以其中一个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, 并使起算用的国家重力控制点位于网的中部	1. 根据一级基点分布、交通条件、区域重力调查比例尺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, 符合分区建立三级基点网的需要。 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 16	1. 根据一、二级基点分布、交通条件、区域重力调查比例尺等情况、分区建立, 充分利用一、二级基点网进行控制。 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 16

续表 5

基 点 网 作用及 要求	一 级 基 点 网	二 级 基 点 网	三 级 基 点 网
重力联测要求	1. 用于联测的重力仪按三程循环观测时,均方误差 ϵ_0 一般不大于 $\pm 50 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 每个边段至少采用五台带恒温的仪器联测,至少取得五个合格的独立增量。 3. 采用快速交通工具(如飞机或快车)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,支点只能由一般一级基点按支线发展一个,引点和支点联测的独立增量数至少应比一般边段多一倍	1. 用于联测的重力仪按三程循环观测时均方误差 ϵ_0 一般不大于 $\pm 60 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 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	1. 用于联测的重力仪按三程循环观测时均方误差 ϵ_0 一般不大于 $\pm 60 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 每个边段至少采用两台仪器联测,至少取得两个合格的独立增量。 3. 必要时可设支点,支点可由三级基点按支线发展 2~3 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 $\epsilon_{\text{网}}$ 不低于 $\pm 50 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 联测精度 ϵ_b 不低于 $\pm 25 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$	1. 网的精度 $\epsilon_{\text{网}}$ 不低于 $\pm 100 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 联测精度 ϵ_b 不低于 $\pm 35 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$	1. 网的精度 $\epsilon_{\text{网}}$ 不低于 $\pm 150 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。 2. 联测精度 ϵ_b 不低于 $\pm 40 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$

4.4.3 各级基点的平面位置和高程可在 1:50 000 或 1:100 000 地形图上量取。

表 6

比例尺	布格重力异常均 方误差, 10^{-8}m/s^2		测点平面位置均方误差 m	测点高程均方误差 m	
	平原丘陵区	山区		平原丘陵区	山区
1:100 000	± 0.4	± 0.5	± 100	± 1.0	± 1.5
1:200 000	± 0.8	± 1.0	± 100	± 3.0	± 4.0
1:500 000	± 0.8	± 1.0	± 250	± 3.0	± 4.0
	± 1.6	± 2.0	± 250	± 7.0	± 9.0
1:1 000 000	± 1.6	± 2.0	± 250	± 7.0	± 9.0

4.4.4 1:1 000 000 区域重力调查测点的平面位置和高程的测定,应根据实际情况从下列方法中选用一种或将几种方法综合应用。

4.4.4.1 使用 1:50 000 或 1:100 000 地形图,从图上确定重力点的坐标和高程。当地形图的等高线距大于 10 m 时,为了保证高程精度,应将重力点布置在地形特征点或高程注记点上。

4.4.4.2 在有大大比例尺(大于 1:50 000)地形图的地区,可使用大大比例尺地形图确定测点的坐标和高程。为了保证精度,应对所使用的地形图的质量进行检查。

4.4.4.3 采用野外仪器实测(包括气压测高法)方法确定测点的坐标和高程。

4.4.5 1:200 000 区域重力调查中测点的平面位置和高程的测定,应根据实际情况从下列方法中选用一种方法或将几种方法综合运用。

4.4.5.1 采用 1:50 000 或更大比例尺的航空照片,用解析法或全能法在精密立体测图仪等仪器上测定测点的平面位置和高程。

4.4.5.2 采用 1:50 000 或 1:100 000 地形图定点,从图上量取测点的坐标,用气压测高法测定测点的高程。

4.4.5.3 采用大比例尺地形图定点,从图上量取测点的坐标和高程。为了保证精度,地形图的等高距应不大于设计的高程均方误差,施工前应在地形图的质量进行检查。

4.4.5.4 采用其它实测方法。

4.5 地形改正

4.5.1 地形改正分近区、中区和远区。根据比例尺不同近区地改范围为 0~50(或 100)m,中区范围为 50(或 100)m~2km,远区范围为 2km~166.7km。

4.5.2 为了解决某些特殊的地球物理问题,地形改正的范围可扩展至全球,即进行 166.7km 至全球的地形改正。消除 166.7km 以外地形起伏(相对于高程基准)的影响。

4.5.3 近、中区地形改正的精度应根据表 2 设计,误差分配及有关技术应根据地形特点在设计书中规定。

4.5.3.1 近区地形改正可采用目估方法确定地改值,为保证精度,应由有经验的人员进行。

4.5.3.2 中区地形改正采用人工手算或电算方法进行。在 1:200 000 区域重力调查时应使用 1:50 000 地形图,当测点周围地形较复杂时,应使用更大比例尺地形图或航片;在 1:1 000 000 重力调查时,应使用 1:50 000 或 1:100 000 地形图进行中区地形改正。

4.5.4 2~20km 地形改正采用 1×1km 节点高程用计算机完成。

4.5.5 20~166.7km 地形改正为广义地形改正(含中间层改正),采用 5'×5' 平均高程由计算机完成。

4.5.6 地形改正的读图和计算

4.5.6.1 在地形图上读取高程,一般应估读到 1/2 等高线距。在地形条件特别恶劣地区,可放宽为等高线距。

4.5.6.2 地形改正计算中测点高程采用实测高程。

4.6 密度工作

4.6.1 岩(矿)石密度资料是对重力观测结果进行改正和解释推断的依据。岩石密度工作,包括对前人所得密度资料的收集整理和由本单位进行密度测定的研究,是区域重力调查不可缺少的组成部分。因此,开展区域重力调查时要设计相应的密度工作。

4.6.2 对前人的岩(矿)石和疏松层密度资料的收集,应当力求广泛而详细,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、测定结果以及测定精度等。对所收集的资料要进行必要的分析,然后才能参与统计。

4.6.3 密度工作的设计应根据异常解释的需要来进行,按地质单元(一般为系或统)布置物性工作,在有条件的地区应按 1:200 000 区域地质图的图例单元布置,应注意标本采集的系统性和代表性。

4.6.3.1 对于沉积岩类,主要选择地层发育比较完整,各类岩石产出齐全、出露良好的典型剖面采集密度标本。

4.6.3.2 对于岩浆岩类,要分岩性和侵入期次采集。

4.6.3.3 要收集和测定钻孔岩芯密度,研究密度的垂向变化情况。

4.6.3.4 为使各统计单元(地质单元或 1:200 000 区域地质图图例单元)所采集标本有足够数量,对各层位、各期次、各种岩性的岩石都应采集足够数量的标本(一般不少于 10 块)。采集点的分布要合理,要考虑岩性的横向变化,有足够的代表性。

4.6.4 标本密度的测定,应根据标本性质采用密度计或天平测定,疏松层用大样法测定。密度测定的均

方误差应不大于 $\pm 0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。

4.7 剖面工作

4.7.1 根据综合研究和异常解释的需要,在面积工作的基础上布置剖面工作。

4.7.2 剖面工作的点距和精度应根据异常解释的需要来确定。一般可参照表 1 确定点距,剖面工作的精度可与面积工作时的精度相同,根据需要也可高于面积工作。

5 重力仪

使用的重力仪可分为石英弹簧重力仪和金属弹簧重力仪两类。

5.1 重力仪检查与调节

5.1.1 石英弹簧重力仪(含 ZSM 型、CG-Ⅰ型、Worden 重力仪)在投产前应进行下列检验与调节。

5.1.1.1 测程调节

根据测区内重力值的变化情况,将测程调节至合适位置。

5.1.1.2 光线位移灵敏度的测定与调节

ZSM 型、CG-Ⅰ型重力仪的光线灵敏度应调节至 $1.6 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}^2 \sim 2.0 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$, Worden 重力仪的光线灵敏度应调至 $2.0 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}^2 \sim 5.0 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$ 。

5.1.1.3 水准器的检查与调节

采用测水泡曲线的方法来检查水准器是否调节正确。要求重力仪水泡曲线的极值点偏离正确位置(即水泡居中时的位置)不超过一小格(即圆周的 $1/32$)。

5.1.2 金属弹簧重力仪(LaCoste & Romberg 简称 LCR)重力仪在投产前应进行下列调节。

5.1.2.1 光线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 $1 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$)目镜筒内黑影线移动 9 个到 11 个目镜分划。

5.1.2.2 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化,所以需定期检查。

5.1.2.3 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,目镜内的黑影线均向右移动,且移动距离之比小于 $3:2$ 。

5.1.2.4 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(实际工作中电压输出在 $0 \pm 0.03\text{mV}$ 时即可),检流计的指针也应指向零位置。否则,应对仪器进行调节。

5.1.2.5 电子灵敏度的调节

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

5.1.3 各类重力仪的检查与调节可参照仪器说明书执行。

5.2 重力仪格值标定

5.2.1 区域重力调查所用重力仪的格值应统一于国家重力长基线或国家级重力仪格值标定场。

5.2.1.1 建立省(区)级重力仪格值标定场以及物探重力一级基点网时,所用重力仪的格值应在国家长基线或国家级重力仪格值标定场上标定格值或求 LCR-G 型重力仪格值表的校正系数(比例因子)。

5.2.1.2 建立除一级基点网外的各级基点和进行测点重力观测时,应使用国家级重力仪格值标定场或省(区)级重力仪格值标定场。

5.2.2 重力仪的格值测定精度

5.2.2.1 建立省(区)级重力仪格值标定场时,所用重力仪格值测定的相对均方误差应小于 $1/10\,000$ 。

5.2.2.2 建立除末级基点网外的各级基点网时,所用重力仪格值测定的相对均方误差应小于1/5 000。

5.2.2.3 建立末级基点网及测点观测时,所用重力仪格值测定的相对均方误差应小于1/2 000。

5.2.2.4 对于测程约为 $200 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的重力仪,要求至少分两个不重复的测段上进行格值测定。各段格值测定的精度符合5.2.2条的要求。

在建立省(区)级重力仪格值标定场时,两段格值的相对变化应不大于1/7 100,建立除末级基点外的各级基点时,两段格值的相对变化应不大于1/3 600;建立末级基点和测点观测时,应不大于1/1 400。此时,认为仪器的格值可用两段格值的平均值代替。否则,应使用分段格值进行资料整理。

5.2.3 格值测定的技术要求

5.2.3.1 带有恒温装置的石英弹簧重力仪标定格值时,应使仪器的温度恒定在野外工作拟采取的温度值上。

5.2.3.2 建立省(区)级重力仪格值标定场和建立除末级基点外的各级物探重力基点时,格值测定的有关技术要求。

5.2.3.2.1 使用石英弹簧重力仪观测时应采用三程循环观测法。组成一个独立读格差的两个非独立读格差的互差不大于1格;组成平均读格差的各读格差中,最大互差不大于1格;合格读格差的数量不少于10个。不合格读格差的数量不得多于3个,否则应查找原因,根据实际情况将部分或全部观测结果作废,重新测定。

5.2.3.2.2 使用LCR重力仪时可采用双程往返重复观测法。

a. LCR-G型重力仪在出厂时已进行了格值标定,并附有 $0 \sim 7\,000 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 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定,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。

b. 不附格值表的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,各个独立读格差与平均独立读格差之差应不超过 ± 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分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(国家级)测定格值,求得重力仪的格值表(每10或20格给出一个格值)。

c. 附有格值表的LCR-D型重力仪应在国家级重力仪格值标定场上求取格值表的校正系数,有关测定方法和要求同前款(b)。其平均值与已知重力段差值之比的倒数即为在相对重力值范围内的格值表的校正系数。

5.2.3.3 使用石英弹簧重力仪建立末级基点和进行测点重力观测时的格值测定应采用三程循环观测法取得独立读格差。组成一个独立读格差的两个非独立读格差的互差不大于1.5格;组成平均读格差的各读格差中,最大互差不大于1.5格;合格读格差的数量不少于6个。不合格读格差的数量不得多于2个,否则应查明原因,根据实际情况将部分或全部读格差作废,重新测定。

5.3 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、多台仪器间的一致性试验以及调测程后读数稳定时间试验。

5.3.1 静态试验

试验时间应不小于24 h,环境温度变化应力求小,每隔30min读一个数,经固体潮改正后得到重力仪的静态零点位移曲线。

5.3.2 动态试验

5.3.2.1 试验时间应不小于10h,试验点间重力差不小于 $3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,两点间单程观测时间间隔不

大于 20 min。

5.3.2.2 对重力仪的动态观测结果应进行固体潮改正。绘制动态零点位移曲线,统计仪器的动态观测精度,计算公式如式(1)所示:

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

式中: δ_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 ——试验的边数(当只在两个点上观测时, $n=1$)。

资料整理方法见附录 C。

5.3.3 多台重力仪的一致性试验

5.3.3.1 一致性试验点应较多,一般不少于 15 个,点间重力值的变化应足够大,采用汽车运送,点距(或运送时间)和路面状况应与实际工作时相似。

5.3.3.2 各台仪器间一致性用 5.3.2.2 条的公式计算的均方误差衡量。一致性均方误差应不超过设计的基点或测点观测均方误差。

5.3.3.3 若动态试验点间的重力增量足够大时,也可利用动态试验结果确定各仪器间的一致性。

5.3.4 调测程后读数稳定时间试验

5.3.4.1 试验方法

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重新调平,读取读数并记下调测程的时间 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不大于 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($t_1 - t_0$)中最大者为该仪器调节测程后的读数稳定时间。

5.3.4.2 LCR-D 型重力仪调节测程后,一般应停留 20 min 以上才能工作。

5.4 重力仪的保管与使用

5.4.1 重力仪的保管和使用应建立严格的责任制,仪器的发放单位和使用者应对仪器的安全负责。交接仪器时,双方应进行检验并办理手续。未经主管单位或操作员同意,他人不得随意动用仪器。

5.4.2 重力仪长距离运输时,要有专人负责并设法减震,杜绝意外事故发生。

5.4.3 重力仪应放置在牢固、干燥的房间内,室内温度要与野外观测时的条件相当。

5.4.4 重力仪使用注意事项

5.4.4.1 随时检查仪器桶的提把、背带式仪器保护带,确保仪器安全。

5.4.4.2 拿取、安放重力仪时,应轻拿轻放,严禁碰撞。

5.4.4.3 禁止将重力仪大角度倾斜和卧置,严禁在松摆的情况下搬运 LCR 型重力仪。

5.4.4.4 重力仪放到脚架上后,操作员不得离开,以防意外事故发生。

5.4.4.5 带恒温装置的重力仪在长途运输时应断电,但工作期间不得断电,并注意防磁。

5.4.4.6 经常检查重力仪恒温电源的输入、输出线,防止线路短路、断路。

5.4.4.7 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。

5.4.4.8 每天工作后应将重力仪擦拭一次。擦拭目镜应用擦镜纸或软毛刷,不得用代用品。对脚螺旋应每周清洗、润滑一次。

6 野外工作

6.1 仪器准备

6.1.1 石英弹簧重力仪投入生产前应进行格值标定、静态试验、动态试验以及多台仪器间的一致性试验。野外工作结束后应进行格值标定,检查仪器格值的变化情况。野外工作期间,重力仪经受到剧烈碰撞或进行了中、大修后,均应进行格值测定和静态、动态试验。

6.1.2 LCR 重力仪在每年投入生产前应进行静态试验,一般每 3~5 年检查一次仪器的格值或格值表的校正系数。

6.1.3 为了使重力仪处于最佳工作状态,野外工作开展前和工作期间应定期对重力仪进行各项检验与调整,石英弹簧重力仪的光线位移灵敏度、水准器水平位置的测定与调整工作至少半月进行一次;LCR 重力仪的正确读数线、光线位移灵敏度、横水准器、电子读数零位和检流计零位、电子灵敏度等项目的测定与调整至少每月进行一次,在长距离搬迁后也应及时进行检测。

6.2 省(区)级重力仪格值标定场的建立

6.2.1 为了便于区域重力调查工作的开展,有条件的省(区)可建立省(区)级重力仪格值标定场。

6.2.2 标定场点位选择与标志埋设

6.2.2.1 标定场一般由两点组成,重力差在 $50 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 \sim 80 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右,在有条件的地区可由三个点组成,三点间最大重力差在 $120 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右。

6.2.2.2 地基稳固,周围无震源,近区地形和其它引力质量在近期内不致有大的变化,重力水平梯度较小(附近无大的陡崖)。

6.2.2.3 交通方便,具有良好的路面和观测条件,点间的距离较短,最好不超过 10 km,三点间最大距离应不超过 15 km。标志附近没有高压电源和产生强磁场的设备。

6.2.2.4 应埋设永久性的固定标志并向当地政府有关部门办理托管手续。固定标志顶部面积应为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的水泥台,台面中间应镶嵌铁质或其他材料的标志,标明编号和建立单位。

6.2.3 标定场的重力联测

6.2.3.1 联测工作至少应采用符合 5.2.2、5.2.3 条要求的三台重力仪(如 LCR 重力仪)进行。并按 5.2.1、5.2.2、5.2.3 条的有关要求在国家重力长基线或国家级重力仪格值标定场上标定仪器的格值或格值表校正系数。

6.2.3.2 采用双程往返重复观测法取得独立增量,独立增量与各独立增量的平均值之差不大于 $20 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$,每台仪器取得的独立增量数不少于 10 个,组成平均独立增量的独立增量数不少于 30 个。

6.2.3.3 标定场两点间平均独立增量 Δg_{00} 的相对均方误差 $\Delta\eta$ 应不超过 $1/10\ 000$ 。

6.3 基点选择与重力联测

6.3.1 各级物探重力基点的实地确定,要根据预设方案,结合实际地形、交通条件和高程等情况进行。基点应选在地基稳固,联测方便,周围没有震源,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(附近无大的陡崖)的地方。

6.3.2 基点网的重力联测

6.3.2.1 使用 LCR 重力仪时可采用双程往返观测法(观测顺序为:1、2、……、 $n-1$ 、 n 、 n 、 $n-1$ 、……、2、1)。

6.3.2.2 使用石英弹簧重力仪时,应采用三程循环观测法(观测顺序为:1、2、1、2、2、3、2、3、……)。

6.3.2 重力基点网联测时,观测结果应满足下列要求

6.3.3.1 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求独立增量时观测均方误差 ϵ_0 (参照表 4、表 5 由设计书确定)的两倍。

6.3.3.2 构成一个平均增量的各个独立增量与该平均增量之差,不超过 ϵ_0 的 $\sqrt{2}$ 倍。

6.3.3.3 闭合差不超过设计的平均增量的均方误差 ϵ_0 的 $2\sqrt{N}$ 倍(N 为本闭合环或附合路线的边段

数)。

6.3.4 固定标志埋设

6.3.4.1 一级和二级物探重力基点,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的一定部位时,可不另埋设,但需在该部位镶嵌基点标志。

6.3.4.2 固定标志的规格:一级基点标志顶部面积不小于 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 的水泥台,二级基点标志顶部面积为 $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ 的水泥台。固定标志的底部应略大于顶部。顶部中心应镶嵌铁质(或其他合适材料)标记。基点标记上应明显标出“重力基点”四个字以及基点编号和建立单位。

6.3.4.3 各级物探重力基点的编号,应以省(区)为单位,分级统一编定。基点编号由基点等级、省区代号和基点顺序号三部分组成。基点等级用罗马数字,基点顺序号以省(区)代号为单位,分级编排。省(区)代号¹⁾如下:

河北 02,内蒙 03,山西 04,辽宁 05,吉林 06,黑龙江 07,江苏 09,浙江 10,安徽 11,江西 12,福建 13,山东 14,广东 15,广西 16,湖北 17,湖南 18,河南 19,四川 20,云南 21,贵州 22,西藏 23,陕西 24,甘肃 25,青海 26,新疆 27,宁夏 28,海南 29。

如内蒙古自治区一级基点网第八号基点编号为:“1-03-8”。

注:1) 海南省在建省前已由广东省建有1级重力基点,代号为15,今后建基点代号为29;北京、天津、上海市范围的重力基点分别由河北、江苏省建立。

6.3.4.4 一级重力基点应向当地政府有关部门办理托管手续。对于二级基点,也应尽量争取办理托管手续。

6.4 重力点布设与观测

6.4.1 重力点的布设

6.4.1.1 布设重力测点,应事先根据工作比例尺,工区地质构造特点、地形和交通等条件在所用地形图、航空照片上布设,在野外工作时可根据实地情况进行调整。测点分布可成不规则网,但要力求均匀。测点要尽量选在地形平坦、地物标志明显的地方,以便于野外实地定测。

6.4.1.2 重力测点的编号,一般由所在 $1:100\,000$ 地形图的图幅号和表示所在 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 方里坐标网格的纵、横坐标数字组成。

如测点在 H-50-116 幅内,具体位于纵坐标为 4 541 000 和 4 542 000,横坐标为 20 544 000 和 20 545 000 的四条线所限定的一平方公里的网格时,以该方里网格左下角点纵、横坐标值的末两位公里数字 4144(先纵后横)表示该重力点的点号。测点编号为 H-50-116 4144。

6.4.2 重力点观测

6.4.2.1 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,一般不超过一天。在特殊情况下(如在交通不便的中高山、沙漠、戈壁、滩涂地区),如仪器性能足以保证观测精度要求,闭合时间可延长为 2~3 天,但需事先根据试验结果在设计书中加以规定。

6.4.2.2 重力测点观测的每个闭合段的零点位移值,一般不大于重力测点观测精度的 2~3 倍,并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。

6.4.2.3 因特殊情况或在特别困难地区重力观测超过一昼夜闭合时,重力仪在野外暂停工作时间内应设临时基点,进行静态零点位移处理。

6.4.2.4 在地形复杂的中高山区、交通不便的测区边部等末级基点网不能控制的个别地区,工作中可能遇到少数测点的重力值超出仪器的测程,这时可选择合适地点调节测程,然后对少数超测程点进行观测。有关测程调节次数、调节、测定方法要求和相应资料整理方法详见附录 I。

6.4.2.5 工作中当遇成片分布的重力超测程测点时,应选高程适当的地点补建基点网的支点。发展支点的方法和要求与建立基点网时相同。

6.4.2.6 野外工作期间,重力仪格值的相对变化(相对于使用格值)应不超过格值测定相对均方误差的两倍。当发现格值变化超过规定时,应根据变化的原因进行处理。当确认由某种原因而导致格值发生突

变时,应对格值变化以后的观测结果采用新格值重新计算;当无法确定格值变化的主要原因时,参照表 7 执行。

表 7

格值变化情况	处 理 方 案	备 注
$1/1\ 000 < \eta_k < 1/500$	用平均格值 $\bar{k}_{1,2}$ 改算全部已完成的测点观测值,以后用新格值计算	g_{k1} ——用原格值 (K_1)计算的观测点值; g_{k2} ——用新格值 (K_2)计算的观测点值; $g_{k1,2}$ ——用平均格值 (\bar{K}_2)计算的观测点值; e_g ——设计测点观测均方误差。
$\eta_k > 1/500$	1. 当 $|g_{k1} - g_{k2}| \leq e_g$ 时,新测格值前的测点观测值使用原格值计算,以后用新格值计算。 2. 当 $|g_{k1} - g_{k2}| > e_g$ 但 $|g_{k1} - g_{k1,2}| \leq e_g$ 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。 3. $|g_{k1} - g_{k1,2}| > e_g$ 时,观测结果报废	$\eta_k = \frac{k_1 - k_2}{k_1}$

6.4.3 质量检查

6.4.3.1 野外观测的质量检查,应随着野外工作的开展,有步骤地及时进行。检查工作应尽可能按“一同三不同”(同点位,不同日期,不同仪器,不同操作员)方式进行。

6.4.3.2 测点重力观测的质量,应通过独立的检查观测来评价。检查点应均匀分布全区,并保证其工作比例尺图幅内有检查点分布,检查率为 3%~5%,检查点应不少于 30 个。

6.4.3.3 检查结果中 $\delta_i/2(\delta_i$ 为检查观测与原始观测之差)超过三倍设计测点均方误差的点数不得超过检查点数的 1%,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(如作废或降低精度使用等)。

6.4.3.4 对于零点位移超限的某闭合段工作结果,应布置专门性检查。检查工作量不得少于 15%。检查结果,测点观测精度若满足要求,则原始观测结果可作为合格资料使用,反之,则当日观测结果作废。

6.4.3.5 对重力异常的突变点,应布置检查工作。若检查结果证实原始观测的质量有问题,应查明原因。若因仪器性能方面的原因,则应对该闭合段工作的测点按 15%的比例进行检查,视检查结果决定当日工作是否合格。

6.5 石英弹簧重力仪操作技术

6.5.1 重力仪操作的准备工作

6.5.1.1 每日工作前应将仪器放在与野外工作相同的环境下,使仪器各状态接近工作实际情况。根据当日计划观测的基点或测点的高度及南北纬向相对变化初估的测点重力值大小,将重力仪测程调至合适的位置,经轻微震动仪器,并使仪器稳定后方可开始仪器的性能检查。

6.5.1.2 每日野外观测前必须检查仪器的纵横水泡(粗检)并测定光线位移灵敏度,带恒温的仪器还需检查恒温温度,检查和测定结果均应记入记录本。

6.5.2 重力仪操作技术

6.5.2.1 野外观测开始前或中途停顿后再开始观测前,应按基点~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,直到仪器正常后方能投入生产。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少于 5min。

6.5.2.2 基点联测时在每个基点上应读取三个数。测点观测时在基点上读取三个数,在测点上读取两个数。在读完第一个数后应转动计数器,并进一步检查和调准水泡,然后读第二个数,照此步骤读第三个数。

6.5.2.3 基、测点观测时,一组读数中任意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。

6.5.2.4 野外观测时,平盘脚架面与高程测量点的高度尽量一致。

6.5.2.5 当仪器存在读数滞后现象时,可在前一点观测完后,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一次,并在设计书中加以规定。

6.6 原始记录

6.6.1 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 原始记录包括:

- a. 仪器调节、校验及标定记录。
- b. 基点档案,托管书以及重力联测的各种记录。
- c. 测点重力观测的记录。
- d. 密度标本采集和测定记录。
- e. 地形图定点、航空照片刺点或气压测高的记录。
- f. 各种质量检查及各种情况的处理记录。

6.6.3 记录本应按工作比例尺相应图幅分幅使用,并按工作方法和记录性质分类使用,不得混记。

6.6.4 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。

6.6.5 对记录应持严肃态度。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,需用横线把错误记录划去,在其上方记录下正确数据)和一组读数连续划改。

6.6.6 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。

6.6.7 记录的数字均采用阿拉伯数。记录的有效数字应和所用仪器的读数精度以及测量的方法相适应,并在设计书中加以规定。

6.6.8 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 小时制,分钟数取两位数。在同一页内,大数(如剖面的“线”号,时间的“时”数字等)相同而且连续的各点,可只在首、末点记录大数。页首、页末点必须写出大数。

6.6.9 当用磁带记录时应附有详细的磁带记录格式,磁带编号说明等。

6.7 基、测点平面位置和高程的测定

6.7.1 基、测点平面坐标应在定点用的地形图或航空照片上求取,也可采用仪器实测。 X 、 Y 的误差应符合 4.4.2 条或设计书的要求。当采用大于 1:25 000 的地形图求取时,需将三度分带的坐标值换算为六度分带的坐标值。

6.7.2 对于野外实测取得的测点高程,应与 1:50 000 或 1:100 000 地形图图上高程进行比较,当相差较大时(例如大于地形图的等高线距或大于高程测定允许误差的三倍时),应查明原因,及时处理。

6.7.3 重力点的点位和高程的质量检查点应均匀分布,布置合理,具有代表性。检查方法如下:

6.7.3.1 使用地形图确定重力点的坐标和高程时,应采用重复测定的方法进行检查,检查工作量不少于 5%。

6.7.3.2 使用气压测高法测定重力点的高程时,以同精度检查(重复测定)为主,高精度检查为辅。同精度检查工作量不少于 3%,高精度检查工作量不少于 1%。

6.7.3.3 使用航片定点、航内解求重力点的坐标、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),采取有效措施。

6.8 密度工作

6.8.1 密度标本的采集

6.8.1.1 应根据设计书的有关要求采集岩(矿)石密度标本,标本应力求新鲜,质量要根据密度测定方

法确定,当采用密度计测定时,宜为 100~200g。标本应在采集现场进行编号,并记录采集位置和有关的地质情况。

6.8.1.2 标本的采集应有代表性。对于同一种岩石的标本,既要采集具有某些特殊现象的标本(根据需要还可进行专门采集,分别统计),更要注意采集一般的标本。

6.8.1.3 应当正确地确定标本名称并进行描述,必要时可进行岩矿鉴定。

6.8.2 密度标本的测定应采用天平法、密度计测定法、大样法。

6.8.2.1 对致密岩(矿)石标本可采用密度计测定。

6.8.2.2 对致密和疏松的岩(矿)石标本可采用天平法测定。对疏松的标本应进行封腊处理。

6.8.2.3 对疏松的覆盖层或第四系沉积物,应采用大样法测定密度。采样体积不小于 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。

6.8.3 密度测定检查工作以重复测定方法进行,检查工作量不少于 10%。

6.9 剖面工作

6.9.1 剖面重力测量应从重力基点出发,当附近重力基点的数量无法满足剖面重力测点观测需要时,应按基点联测的有关要求增设重力基点网或支基点。

6.9.2 剖面重力测量的施工方法,根据设计精度并结合工区条件组织实施。

6.9.3 剖面质量检查工作量不少于 10%。

7 资料整理、精度评价、成果提交

7.1 重力仪格值测定结果资料整理及精度计算

7.1.1 石英弹簧重力仪和 LCR-D 型重力仪

7.1.1.1 格值计算公式如式(2)所示:

$$K = \frac{\Delta g}{\Delta S} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: Δg ——格值标定场两点间的重力差值;

$\overline{\Delta S} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta S_i}{n}$ 为重力仪读格差的平均值(ΔS_i 为第 i 个读格差, n 为参予平均的读格差的个数)。

ΔS_i 的计算方法见附录 C。

7.1.1.2 格值测定的相对均方误差计算公式如式(3)所示:

$$\Delta k = \frac{m_{\overline{\Delta S}}}{\overline{\Delta S}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: $m_{\overline{\Delta S}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n(n-1)}}$, 为重力仪读格差平均值的均方误差(δ_i 为第 i 个读格差与平均读格差的差值)。

注: 用平均读格差的相对均方误差 $\frac{m_{\overline{\Delta S}}}{\overline{\Delta S}}$ 近似代表格值测定的相对均方误差 m_k/k (m_k 为 k 的均方误差)。当不忽略

$m_{\Delta g}/\Delta g$ 时, 格值测定的相对均方误差 $\frac{m_k}{k} = \pm \sqrt{\frac{m_{\Delta g}^2}{\Delta g^2} + \frac{m_{\overline{\Delta S}}^2}{\overline{\Delta S}^2}}$, 其中 k 为仪器格值, m_k 为格值测定的均方误差。

7.1.1.3 不同测段格值的相对变化计算公式如式(4)所示:

$$\Delta = \frac{|K_1 - K_2|}{K_1 + K_2} \dots\dots\dots (4)$$

式中: K_1 、 K_2 分别为相邻两测段的格值。

7.1.1.4 重力仪格值的相对变化(相对于使用格值)计算公式如式(5)所示:

$$\eta = \frac{|K - K'|}{K} \dots\dots\dots (5)$$

式中: K 为仪器使用格值;

K' 为检查(校对)格值。

7.1.2 LCR-G 型重力仪格值表校正系数计算公式如式(6)所示:

$$C = \frac{\Delta G}{\Delta g} \dots\dots\dots (6)$$

式中: ΔG ——基本点间的重力差;

Δg ——该仪器观测结果的平均重力差。

7.2 格值标定场测定结果的整理及精度计算

7.2.1 格值标定场重力增量值计算公式如式(7)所示:

$$\Delta g_{00} = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \Delta g_{ij} \dots\dots\dots (7)$$

式中: n ——仪器的数量;

k ——每台仪器观测的独立增量数;

Δg_{ij} ——第 i 台仪器的第 j 个独立增量。

7.2.2 标定场均方误差的计算公式如式(8)所示:

$$m\Delta g_{00} = \pm \sqrt{\frac{m_1^2}{nk} + \frac{m_2^2}{n} + \frac{m_3^2}{k}} \dots\dots\dots (8)$$

式中: m_1 ——偶然误差;

m_2 ——第一类半系统误差;

m_3 ——第二类半系统误差。

$m\Delta g_{00}$ 的计算见附录 B。

7.2.3 标定场相对均方误差的计算公式如式(9)所示:

$$\Delta\eta = \frac{m\Delta g_{00}}{\Delta g_{00}} \dots\dots\dots (9)$$

7.3 基点网平差及精度计算

7.3.1 基点重力联测结果计算时应进行固体潮改正和零点位移改正。计算方法见附录 C。对于一级基点,应根据每个点的坐标进行固体潮改正,二、三级基点,可按每个计算点控制范围为一个 1:200 000 图幅进行固体潮改正。

7.3.2 基点网平差工作应分级进行。一次建成的一级基点网,应在国家重力控制点的控制下在全省(区)范围内统一平差;分区建立的一级网,应分区平差。二级、三级基点网的平差,一般应在高级基点的

控制下分区进行。

7.3.3 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,基点网的重力联测均方误差。基点网平差计算方法见附录 H。

7.3.4 根据各边段平均重力增量的联测均方误差(ϵ_j)计算各区基点网的重力联测均方误差(ϵ_b)。计算公式如式(10)和式(11)所示:

$$\epsilon_j = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} \delta_{ij}^2}{n_j(n_j-1)}} \dots\dots\dots (10)$$

$$\epsilon_b = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \epsilon_j^2}{N}} \dots\dots\dots (11)$$

式中: ϵ_j ——第 j 边段平均重力增量的联测均方误差;

ϵ_b ——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 ——基点网的联测边段数;

δ_{ij} ——基点网第 j 边段上各个独立增量与该边段平均增量之差。

7.3.5 根据单位权均方误差(μ)计算基点重力值均方误差(ϵ_G)。计算公式如式(12)和式(13)所示:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_i V_i^2}{r}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\epsilon_G = \pm \mu \sqrt{\frac{1}{P_G}} \dots\dots\dots (13)$$

式中: r ——多余条件数(闭合圈数);

P_i ——第 j 边段的权系数;

V_i ——第 j 边段的改正值;

N ——基点网的边段数;

P_G ——该点平差值的权。

7.3.6 根据支基点的重力联测均方误差(ϵ_1)计算支基点重力值均方误差(ϵ_2),计算公式如式(14)和式(15)所示:

$$\epsilon_b = \pm \sqrt{\sum_{j=1}^n \epsilon_j^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$\epsilon_2 = \pm \sqrt{\epsilon_b^2 + \epsilon_G^2} \dots\dots\dots (15)$$

式中: ϵ_G ——支基点的引出点重力值均方差;

ϵ_b ——支基点的联测均方差;

n ——支基点的连续支出数;

ϵ_j ——支基点的第 j 边平均重力增量联测均方差。

7.3.7 以最弱点重力值均方差(ϵ_e)代表基点网的重力值均方差(ϵ_{we})。

7.4 测点重力值及精度计算

7.4.1 计算测点重力值时应进行固体潮改正和零点位移改正。计算方法见附录 C。

7.4.1.1 1:100 000 重力测量时,每个固体潮计算点的控制范围为一个 1:100 000 图幅。

7.4.1.2 1:200 000 重力测量时,每个固体潮计算点的控制范围为一个 1:200 000 图幅。

7.4.1.3 1:500 000、1:1 000 000 重力测量时,每个固体潮计算点的控制范围不超过 $\pm 1^\circ$ 。

7.4.1.4 固体潮改正采用下列公式如式(16)、式(17)、式(18)和式(19)所示:

$$\delta_{eb} = \delta_{ch} G(t) - \delta_{ic} \quad (10^{-8} \text{m/s}^2) \quad (16)$$

$$G(t) = -165.17 F(\varphi) \left(\frac{c_m}{r_m} \right)^3 \left(\cos^2 Z_m - \frac{1}{3} \right) - 1.37 F^2(\varphi) \left(\frac{c_m}{r_m} \right)^4 \\ \times \cos Z_m (5 \cos^2 Z_m - 3) - 76.08 F(\varphi) \left(\frac{c_s}{r_s} \right)^3 \left(\cos Z_s - \frac{1}{3} \right) \quad (17)$$

$$\delta_{ic} = -4.83 + 15.73 \sin^2 \varphi - 1.59 \sin^4 \varphi \quad (18)$$

$$F(\phi) = 0.998327 + 0.00167 \cos 2\varphi \quad (19)$$

式中: δ_{ch} ——潮汐因子,取 1.16;

c_m ——地心至月心的平均距离;

r_m ——月心至地心的距离;

c_s ——地心至日心的平均距离;

r_s ——日心至地心的距离;

Z_m ——月亮对测点的地心天顶距;

Z_s ——太阳对测点的地心天顶距;

φ ——测站纬度;

ϕ ——测站地心纬度。

7.4.2 测点重力观测均方差计算

7.4.2.1 当检查观测只有一次时,均方差计算公式如式(20)所示:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad (20)$$

式中: δ_i ——第 i 点原始观测值与检查观测值之差;

n ——检查点数。

7.4.2.2 当检查观测多于一次时,均方差计算公式如式(21)所示:

$$\epsilon_s = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \delta_i^2}{m-n}} \dots\dots\dots (21)$$

式中: δ_i ——各点上第 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)与该点各次重力观测值的平均值之差;

m ——总观测次数(即所有检查点上全部观测次数之和);

n ——检查点数。

7.4.3 测点重力值均方误差(ϵ_g)计算

7.4.3.1 当只有两级基点网时:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_g^2} \dots\dots\dots (22)$$

7.4.3.2 当有三级基点网时:

$$\epsilon_g = \pm \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_g^2} \dots\dots\dots (23)$$

式中: ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 ——分别为一级、二级、三级基点网重力值的均方误差;

ϵ_g ——测点重力观测均方误差。

7.4.4 误差统计一般应按图幅进行。对于专门性质量检查结果(例如畸变点检查、零点位移超过限差时布置的检查工作)可不参加精度统计。

7.5 地形改正计算及精度估算

7.5.1 地形改正计算

7.5.1.1 近区地形改正一般采用现场目估的办法确定近区地形改正值。在有条件的地区也可采用大比例尺地形图或航空照片求取。

7.5.1.2 中区地改一般采用扇形柱体公式计算,在 1:50 000 (或 1:100 000) 地形图上进行。计算公式如式(24)所示:

$$\Delta g_1 = \frac{2\pi G \rho}{n} (R_{m+1} - R_m + \sqrt{R_m^2 + \Delta h^2} - \sqrt{R_{m+1}^2 + \Delta h^2}) (10^{-5} \text{m/s}^2) \dots\dots\dots (24)$$

式中: G ——万有引力常数($6.67 \times 10^{-8} \text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{s}^2)$);

ρ ——地形改正密度(2.67g/cm^3);

R_{m+1} ——扇形块的外半径(m);

R_m ——扇形块的内半径(m);

n ——方位数;

Δh ——扇形块平均高程与测点高程之差(m)。

在计算时应根据测区地形特点设计地形改正量板,一般分为五环:50(或 100)~200m, 200~500m, 500~1 000m, 1 000~1 500m, 1 500~2 000m。前三环分为 8 方位,后两环为 16 方位。采用测点的实测高程值计算。

7.5.1.3 利用 1km×1km 节点高程资料,采用平板公式(不考虑地球曲率的影响)计算 2~20km 地改值。计算方法见附录 J。

7.5.1.4 利用 $5' \times 5'$ 平均高程资料,用球面公式计算 20~166.7km 地改值。计算方法见附录 J。

7.5.2 地形改正误差估算

7.5.2.1 中区地形改正精度的估算采用将地形改正量板旋转 22.5° 后重新读图计算的方法¹⁾,此时检查比例应不少于 10%。均方误差的计算公式如式(25)所示:

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

式中: δ_i ——检查值与原计算值之差;

n ——检查点数。

注: 1) 采用此方法评价地形改正误差不够全面,未包括地形图误差的影响。

7.5.2.2 在有条件的地区,可采用大比例尺地形图(比原地形改正所用地形图的比例尺大一级的地形图)进行中区地形改正误差评价;也可利用航片解求出测点周围地形节点(或特征点)高程,室内计算出中区地形改正值的方法进行中区地形改正误差评价。检查率不低于 3%。误差计算公式如式(26)所示:

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

式中各符号的含义见 7.5.2.1 条。

7.5.2.3 2~20km 地改误差可采用分不同景观区,通过试验的办法确定。当采用地质矿产部区域重力数据库进行远区地形改正时,可采用表 2 中列出的远区地形改正精度作为远区地形改正误差。详见附录 J。

7.5.2.4 20~166.7km 地形改正误差影响较小,可不考虑。

7.5.2.5 地形改正总精度计算公式如式(27)所示:

$$\epsilon_{\text{总}} = \pm \sqrt{\epsilon_{\text{GT1}}^2 + \epsilon_{\text{GT2}}^2 + \epsilon_{\text{GT3}}^2} \dots\dots\dots (27)$$

式中: ϵ_{GT1} ——0~50(或 100)m 地形改正误差;

ϵ_{GT2} ——50(或 100)~2 000m 地形改正误差;

ϵ_{GT3} ——2~20km 地形改正误差。

7.6 正常重力值改正及误差计算

7.6.1 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(IGAG)推荐的 1980 年大地测量参考系统中的正常重力公式计算大地水准面上的重力值。

1980 年公式为:

$$g_0 = 978.032.7(1 + 0.0053024\sin^2\varphi - 0.0000058\sin^2 2\varphi)(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (28)$$

式中: φ ——计算点的地理纬度。

7.6.2 由点位误差所产生的正常重力值计算误差如式(29)所示:

$$\epsilon_{\text{gp}} = \pm 0.000814\sin 2\varphi \times \epsilon_d(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (29)$$

式中: $e_d(m)$ ——重力点沿南北方向的定位均方误差,一般可用定位均方误差代替;

φ ——图幅或测区的平均地理纬度。

7.7 高度改正、布格改正及误差计算

7.7.1 高度改正

7.7.1.1 在陆地,高度改正计算公式如式(30)所示:

$$\delta_{gh} = [0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi) - 0.72 \times 10^{-7}h]h(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (30)$$

7.7.1.2 在浅海域用高精度海底重力仪观测时,高度改正计算公式如式(31)所示:

$$\delta_{gh} = -0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi)(h_2-h_0)(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (31)$$

7.7.1.3 在浅海域海面上用重力仪观测时,高度改正计算公式如式(32)所示:

$$\delta_{gh} = 0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi)(h_1-h_2+h_0)(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (32)$$

7.7.2 布格改正

7.7.2.1 在陆地,布格改正计算公式如式(33)所示:

$$\begin{aligned} \delta_{gB} = & [0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi) - 0.72 \times 10^{-7}h]h \\ & - 0.0419\rho_1 \left[1 + \left| \frac{a}{h} \right| - \sqrt{1 + \frac{a^2}{h^2}} \right] h(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (33) \end{aligned}$$

7.7.2.2 在浅海域用高精度海底重力仪观测时,布格改正计算公式如式(34)所示:

$$\begin{aligned} \delta_{gB} = & -0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi)(h_2-h_0) \\ & + 0.0419\rho_0 \left[1 + \left| \frac{a}{h_2} \right| - \sqrt{1 + \frac{a^2}{h_2^2}} \right] h_2 \\ & + 0.0419\rho_1 \left[1 + \left| \frac{a}{h_2-h_0} \right| - \sqrt{1 + \frac{a^2}{(h_2-h_0)^2}} \right] (h_2-h_0)(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (34) \end{aligned}$$

7.7.2.3 在浅海域海面上用重力仪观测时,布格改正计算公式可近似如式(35)所示:

$$\begin{aligned} \delta_{gB} = & 0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi)(h_1-h_2+h_0) \\ & + 0.0419(\rho_1-\rho_0) \left[1 + \left| \frac{a}{h_2-h_0} \right| - \sqrt{1 + \frac{a^2}{(h_2-h_0)^2}} \right] (h_2-h_0) \\ & - 0.0419\rho_0 \left[1 + \left| \frac{a}{h_0} \right| - \sqrt{1 + \frac{a^2}{h_0^2}} \right] h_0(10^{-5}\text{m/s}^2) \dots\dots\dots (35) \end{aligned}$$

上述各式中,各符号意义如下:

φ ——重力点地理纬度;

h ——重力点海拔高程(测点低于高程基准面时为负值,单位 m);

h_0 ——重力观测时从 1985 国家高程基准起算的瞬时潮高(其数值一般在 0~5m 范围内变化,瞬时海面低于高程基准面时潮高为负值,单位 m);

h_1 ——海面观测时重力仪至海底的高度(始终为正值,单位 m);

h_2 ——重力观测时之瞬时水深(始终为正值,单位 m);

ρ_1 ——中间层密度(2.67g/cm³);

ρ_0 ——海水密度(1.03g/cm³);

a ——圆域中间层改正半径(20 000m)。

7.7.3 高度改正均方误差计算

7.7.3.1 在陆地,高度改正均方误差计算公式如式(36)所示:

$$\epsilon_{gh} = \pm [0.308\ 6(1+0.000\ 7\cos 2\varphi) - 1.44 \times 10^{-7}h] \epsilon_h (10^{-5}\text{m/s}^2) \quad (36)$$

7.7.3.2 在浅海域,高度改正均方误差计算公式:

$$\epsilon_{gh} = \pm 0.308\ 6(1+0.000\ 7\cos 2\varphi) \epsilon_{h_0} (10^{-5}\text{m/s}^2) \quad (37)$$

7.7.4 布格改正均方误差计算

7.7.4.1 陆地布格改正均方误差计算公式如式(38)所示:

$$\epsilon_{gb} = \pm \left[0.308\ 6(1+0.000\ 7\cos 2\varphi) - 1.44 \times 10^{-7}h \right. \\ \left. - 0.041\ 9\rho_1 \left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) \right] \epsilon_h (10^{-5}\text{m/s}^2) \quad (38)$$

7.7.4.2 在浅海域用高精度海底重力仪观测时,布格改正均方误差计算公式如式(39)所示:

$$\epsilon_{gb} = \pm \left\{ 0.308\ 6(1+0.000\ 7\cos 2\varphi) \right. \\ \left. - 0.041\ 9\rho_1 \left[1 - \frac{(h_2 - h_0)}{\sqrt{a^2 + (h_2 - h_0)^2}} \right] \right\} \epsilon_{h_0} (10^{-5}\text{m/s}^2) \quad (39)$$

7.7.4.3 在浅海域海面上重力观测时布格改正均方误差计算公式如式(40)所示:

$$\epsilon_{gb} = \pm \left\{ 0.308\ 6(1+0.000\ 7\cos 2\varphi) \right. \\ \left. - 0.041\ 9(\rho_1 - \rho_0) \left[1 - \frac{(h_2 - h_0)}{\sqrt{(h_2 - h_0)^2 + a^2}} \right] \right. \\ \left. - 0.041\ 9\rho_0 \left[1 - \frac{h_0}{\sqrt{h_0^2 + a^2}} \right] \right\} \epsilon_{h_0} (10^{-5}\text{m/s}^2) \quad (40)$$

注:在浅海域重力仪至海底的高度(h_1)和观测时刻之瞬时水深(h_2)的测量误差很小,其影响可忽略不计。故主要考虑验潮高度或实测测点高程的误差(ϵ_{h_0} 或 ϵ_h)对布格改正带来的影响。

上述各式中:

φ ——图幅或测区平均地理纬度;

h ——图幅或测区平均高程(m);

h_0 ——图幅或测区平均瞬时潮高(m);

h_2 ——重力观测时平均水深(m);

ϵ_h ——重力点高程均方误差(m);

ϵ_{h_0} ——瞬时潮高均方误差(m)。

7.8 自由空间重力异常及精度计算

7.8.1 自由空间重力异常计算

7.8.1.1 在陆地进行重力测量时,自由空间重力异常计算公式如式(41)所示:

$$\Delta g_F = g - g_0 + \delta_{gh} \quad (41)$$

7.8.1.2 在浅海海面进行重力测量时,自由空间重力异常计算公式如式(42)所示:

$$\Delta g_F = g - g_0 + \delta_{gh} - 0.041 \ 9 \rho_0 h_0 \quad (42)$$

7.8.1.3 用海底重力仪在海域进行重力测量时,自由空间重力异常计算公式如式(43)所示:

$$\Delta g_F = g - g_0 + \delta_{gh} + 0.041 \ 9 \rho_0 (2h_z - h_0) \quad (43)$$

式中: g ——测点重力值; g_0 ——正常重力值; δ_{gh} ——高度改正值; ρ_0 ——海水密度(1.03g/cm³); h_z ——重力观测时之瞬时水深(始终为正值,单位 m); h_0 ——重力观测时从 1985 国家高程基准起算的瞬时潮高(瞬时海面低于高程基准面时潮高为负值,单位 m)。

注:为了使在海面上、海底不同时刻(其潮高不等)观测结果计算出的自由空间异常值是一致的,故在公式(42)、(43)中包含了潮高改正。

7.8.2 自由空间重力异常均方误差计算

7.8.2.1 在陆地进行重力测量时:

$$\epsilon_{\Delta g_F} = \pm \sqrt{\epsilon_{gc}^2 + \epsilon_{gh}^2 + \epsilon_{gp}^2} \quad (44)$$

7.8.2.2 在浅海海域进行重力测量时:

$$\epsilon_{\Delta g_F} = \pm \sqrt{\epsilon_{gc}^2 + \epsilon_{gp}^2 + (\epsilon_{gh}^2 - 0.041 \ 9 \rho_0 \epsilon_{h_0})^2} \quad (45)$$

上述两式中: ϵ_{gh} ——高度改正均方误差; ρ_0 ——海水密度(1.03g/cm³); ϵ_{h_0} ——瞬时潮高均方误差(m); ϵ_{gc} ——测点重力值均方误差(m); ϵ_{gp} ——点位误差引起的正常重力值均方误差。

7.9 布格重力异常及精度计算

7.9.1 布格重力异常计算公式如式(46)所示:

$$\Delta g_B = g - g_0 + \delta_{gB} + g_{gT} \quad (46)$$

式中: g_0 ——正常重力值;

g ——测点重力值;

δ_{GB} ——布格改正值;

g_{TI} ——地形改正值。

7.9.2 布格重力异常均方误差计算公式如式(47)所示:

$$\epsilon_{\Delta g\text{B}} = \sqrt{\epsilon_{\text{gc}}^2 + \epsilon_{\text{GB}}^2 + \epsilon_{\text{TI}}^2 + \epsilon_{\text{gp}}^2} \dots\dots\dots (47)$$

式中: ϵ_{gc} ——测点重力值均方误差;

ϵ_{GB} ——布格改正均方误差;

ϵ_{TI} ——地形改正均方误差;

ϵ_{gp} ——因点位误差引起的正常重力值均方误差。

7.10 均衡重力异常计算

7.10.1 一般采用艾里-海斯卡宁均衡模式进行均衡改正。

改正方法见附录J。

7.10.2 均衡重力异常计算公式如式(48)所示:

$$\Delta g_1 = \Delta g_{\text{B}} + \delta_{\text{gl}} \dots\dots\dots (48)$$

式中: Δg_{B} ——布格重力异常值;

δ_{gl} ——均衡改正值。

7.11 计算精度

7.11.1 格值标定计算精度

a. 其平均读格差以及重力仪读格差平均值的均方误差计算要求保留六位有效数据。

b. 格值标定计算精度准至 10^{-6} 。

7.11.2 基点网联测中,重力增量的单项计算和各项改正均取准至 $0.001 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。基点重力值取准至 $0.01 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。

7.11.3 测点重力观测的单项计算和各项改正均取准至 $0.001 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,测点重力值取准至 $0.01 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。

7.11.4 布格重力异常、自由空间重力异常计算中的各项取准至 $0.01 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,最后结果取准至 $0.1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。

7.11.5 各项精度计算只保留二位有效数字。

7.12 成果提交

7.12.1 区域重力调查最终应提交下列原始资料和说明仪器性能工作情况的有关资料。

a. 仪器各项性能检查、试验、标定记录和计算统计结果。

b. 基、测点平面坐标和高程测定的各种原始记录、原始用图、检查记录。

c. 岩石密度标本的采集、测定原始记录,原始用图和检查记录。

d. 基点网重力联测的原始记录及平差图、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. 近、中区地形改正值记录本。

g. 重力资料(分年度)索引表。

h. 分队、大队各种原始资料验收文据。

i. 工作期间收集到的各种有关资料。

7.12.2 区域重力调查应提交下列成果档案

- a. 重力基点(I、II级)档案(格式见附录F)。
- b. 重力仪格值标定场档案(格式见附录E)。
- c. 重力异常成果表。要求按1:100 000地形图分幅逐点顺序填写,按1:200 000或1:1 000 000地形图分幅装订。
- d. 重力测区索引表(格式见附录K)。

7.12.3 区域重力调查应提交省(区)物探重力一级基点网联测报告。

7.12.4 区域重力测量后,应以国际分幅的图幅为单位,提交下列基础图件和说明书。

- a. 布格重力异常平面图(以简化地形图作底图)。
- b. 自由空间重力异常平面图(以简化地形图作底图)。
- c. 说明书(说明工作方法,技术条件和质量)。

7.12.5 区域重力调查最终应以设计书规定的调查范围为单位,提交反映工作情况和解释推断结果的成果报告,附下列图件、表册。

- a. 实际材料图(包括重力基点,测点位置及高程),比例尺与布格重力异常图相同。
- b. 布格重力异常平面图。
- c. 自由空间重力异常平面图。
- d. 各种重力剖面图。
- e. 剖面或平面解释推断成果图。
- f. 岩(矿)石密度统计图表。
- g. 重力基点网联测关系图及成果表,重力基、测点平面坐标及高程成果。
- h. 各种固定标志托管书。

8 基础图件的编制

8.1 图的种类

区域重力调查的基础图件有4种。

- 8.1.1 布格重力异常点位数数据图(只编底图)。
- 8.1.2 布格重力异常平面图。
- 8.1.3 自由空间重力异常点位数数据图(只编底图)。
- 8.1.4 自由空间重力异常平面图。

8.2 重力资料

8.2.1 编绘1:200 000、1:1 000 000基础图件的重力资料可分为新资料、老资料两类。凡统一采用波茨坦重力系统和尺度;统一采用1954年北京坐标系统和1985国家高程基准;统一采用赫尔默特1901~1909年公式计算正常重力值;统一采用本规范规定的高度改正公式、布格改正公式和密度值(2.67g/cm^3)进行资料整理;统一采用166.7km作为地形改正半径的重力资料称为新资料。凡符合本规范3章的资料也称为新资料,除此而外的资料统称为老资料。

8.2.2 用于编图的新资料,其布格重力异常总均方误差应满足本规范表2-a的要求。用于编图的老资料须经过可用性评价及资料的重新整理、改算(详见附录D),布格重力异常总均方误差满足本规范表2-a的要求。

8.2.3 用于编图的资料,无论是新、老资料均应满足本规范五统一技术要求。

8.2.4 选用重力资料的原则是:优先选用新资料;优先选用同比例尺或比例尺相近的资料;优先选用精度高的资料。

8.2.5 选用大于编图比例尺的重力资料时,应按该比例尺要求的测点密度对重力资料进行抽点。抽点时除考虑测点分布的均匀性外,还应考虑重力异常形态。

8.2.6 为了正确勾绘图幅边部的重力异常等值线,搜集重力资料的范围应大于图幅面积。

8.2.7 用于编图的重力资料的测点密度应满足本规范表 1 的要求。当局部地区的测点密度达不到要求时应补做野外工作。若确因施工困难而无法补点时,应在说明书中予以说明。

8.3 图件编制

8.3.1 点位数据图

8.3.1.1 点位数据图的主要内容有重力测点点位、点号、重力值和各级重力基点及编号。1:200 000 点位数据图上表示国家重力控制点和物探重力 I、II 级基点,1:1 000 000 点位数据图上表示国家重力控制点和物探重力 I 级基点。

8.3.1.2 测点点位用 0.3mm 的实心小圆点表示。重力值和点号用分式表示。分子为重力值,分母为点号,一般应用右方位,当图面布设困难时可用其他方位。

8.3.1.3 各级重力基点用不同的符号表示(详见附件)。当基点和测点重合时,保留基点符号及编号,省略重力测点号,但要注明测点的重力值。

8.3.1.4 各级重力基点的测点展绘限差为 $\pm 0.4\text{mm}$ 。

8.3.2 重力异常平面图

8.3.2.1 布格重力异常用等值线表示,并以零起算。1:200 000 重力异常等值线距为 $2 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$; 1:1 000 000 重力异常等值线距为 $5 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。

8.3.2.2 自由空间重力异常用等值线表示,以零起算。其等值线距:1:200 000 重力异常一般为 $2 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$,地形变化大的地区可为 $5 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$; 1:1 000 000 重力异常一般为 $5 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$,地形变化大的地区可为 $10 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。当局部等值线密集而不能全部通过时,部分首曲线可间断或只绘计曲线。

8.3.2.3 应采用计算机勾绘重力异常等值线。当用计算机所绘图件尚不能完全满足本规范的要求时,应在重力异常总精度范围内对等值线作手工圆滑处理;当编图单位条件不许可时亦可手工勾绘。

8.3.2.4 对单点异常应慎重考虑。勾绘等值线时对个别突变点可不予考虑。在图上小于 0.4cm^2 的极值封闭等值线可不表示。

8.3.2.5 布格、自由空间重力异常的正值、负值重力等值线用实线表示,零值等值线用点划线表示。以零值等值线起算每五条绘一条计曲线。

8.3.2.6 重力异常首曲线粗细为 0.2mm;计曲线粗细 0.4mm。在封闭等值线圈内加注“+”(重力高)、“-”(重力低)符号,其符号的大小以图面协调美观为原则,一般为 4~5mm。

8.3.2.7 测点密度偏稀不满足编图比例尺要求的地区,重力等值线用虚线表示;测点密度过稀地区或空白区不勾绘等值线(当有小比例尺资料时,可用小比例尺资料以虚线勾绘)。

8.3.2.8 相邻图幅重力异常等值线应自然圆滑地相接。用计算机绘制重力异常等值线时应作扩边相接。

8.3.2.9 与已出版的重力异常平面图接边时,一般以出版图为准修改新编图的等值线。若经查明确系已出版图质量有问题时,不应勉强接边,但须在说明书中说明。

8.3.2.10 布格、自由空间重力异常正值等值线及注记印大红色,布格、自由空间重力异常负值等值线及注记印青色。零值等值线及注记和重力高、重力低符号印黑色。用面色分层表示 1:1 000 000 布格重力异常,以每 $25 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 为一色层,从正值到负值由暖色逐次向冷色过渡(详见附件)。

8.4 图外要素与整饰

8.4.1 图外要素应包括图框、分度带、坐标注记、通向注记、境界注记、图名、图幅名称、图幅编号、接图表、密级、数字比例尺、直线比例尺、投影类别、图例、技术说明、编图单位、印刷单位、编图日期和出版日期等。

8.4.2 图外要素的布局统一规定如下:

图名置图幅的正上方;图幅名称、图幅编号依次放在图名之下;接图表在左上方;密级在右上方;数字比例尺在图幅的正下方;直线比例尺、投影类别分别在数字比例尺之下;编图日期、出版日期两者上下

排在右下方;编图单位、印刷单位两者上下排在左下方;图例、技术说明排在图框外右侧,图例在上部;技术说明在下方。

8.4.3 图框按附件的式样绘制

8.4.3.1 1:200 000 重力异常平面图应绘内外图框线,分度带标注经纬度、方里注记、主要道路通向注记、境界注记。

8.4.3.2 1:1 000 000 重力异常平面图应绘内、外图框线和分度带,标注经纬度和国界注记。

8.4.4 1:200 000、1:1 000 000 图图名为:

- a. “中华人民共和国布格重力异常点位数据图”
- b. “中华人民共和国布格重力异常平面图”
- c. “中华人民共和国自由空间重力异常点位数据图”
- d. “中华人民共和国自由空间重力异常平面图”

8.4.5 每幅图的各种色彩的符号、线条、注记,除普通地理符号外均应列入图例,并说明它所代表的意义。

8.4.6 图例排列顺序为:国家重力基本点、一等等点、物探重力 I、II 级基点及编号,测点点位、编号及重力值,等值线及注记,重力高、重力低符号,其他。

8.4.7 技术说明是为正确使用基础图件而必须了解的主要方法技术说明。它包括坐标系,高程基准,重力系统,正常重力值公式,中间层密度值、布格改正公式,地形改正半径及图幅重力异常总精度等。

8.5 图件套合

8.5.1 1:200 000、1:1 000 000 重力异常平面图一般采用分版清(刻)绘、制版印刷时套合成图的方法。各版印刷套合限差为 $\pm 0.4\text{mm}$ 。

8.5.2 清(刻)绘版一般规定如下:

- a. 布格重力异常正值版(大红);
- b. 布格重力异常负值版(青);
- c. 布格重力异常零值、重力高、重力低及图名注记版(黑);
- d. 自由空间重力异常正值版(大红);
- e. 自由空间重力异常负值版(青);
- f. 自由空间重力异常零值、重力高、重力低及图名注记版(黑);
- g. 地理版(黑);
- h. 水系版(湖蓝);
- i. 地形版(棕)。

8.5.3 每块版必须精细地绘(刻)出套合用的规矩线,在右上角裁图线外标注印色及编号。

8.5.4 各要素线划与内图框线应严密相接,不得出界或不及。各版注记相互不得相压,应注意注记不被密集的线划和粗的线条、符号影盖,尤其是黑色线划、符号压盖。

各地理要素之间要相互协调,等高线与水系之间不出现河流爬坡现象,居民地、道路与水涯线之间的相切、相离关系要正确等。

8.6 说明书

8.6.1 每幅重力异常平面图应附有说明书。说明书的编写提纲和基本内容如下:

8.6.1.1 编图单位、主要编图人员及图件审批情况。

- a. 本幅所编制重力图的类别、编图单位、编图工作日期、参加编图的主要工作人员等。
- b. 审批单位及对所编图件的审批意见。

8.6.1.2 资料来源

a. 本图所选用重力资料的工作单位、工作日期、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。

b. 本幅图所采用的地图、地形图及其编图单位,采用的基本资料,编绘、出版日期等。

8.6.1.3 野外工作情况

a. 物探重力基点网的联测方法、基点网平差方法,物探重力基点与国家重力基本点、一等点的联测关系。

b. 重力测点平面坐标的确定方法,测点高程测定方法,重力野外观测方法。

c. 重力和测地工作的检查方法和检查量。

8.6.1.4 资料整理情况

a. 重力观测结果的资料整理方法,地形改正方法、正常重力值计算公式、高度改正公式、布格改正公式、布格重力异常及自由空间重力异常计算公式。

b. 重力老资料评价情况及可用性结论。

8.6.1.5 精度

本幅图重力测点密度、各级重力基点网的精度、测点重力观测精度,测点平面坐标和高程的均方误差,地形改正的均方误差。布格重力异常总均方误差及自由空间重力异常总均方误差。

8.6.1.6 编图方法技术及其它

a. 制图数学基础展绘方法及精度,重力异常等值线勾绘及接边,地理、地形要素选取的情况,采用清绘、刻绘方法及分版情况等。

b. 本图存在的问题,使用重力图应注意的事项,以及需要说明的其它内容。

8.7 图的验收、审批

8.7.1 编绘的重力图必须经组、分队、大队三级检查验收,以保证图件质量。分队、大队两级检查验收合格后应分别提交验收文书及相应的检查验收记录。

8.7.2 检查验收工作应有专人负责,图面及重要内容应全面检查。各项数据组作100%的检查,分队抽查5%~10%,大队抽查3%~5%。大队验收合格后报请有关上级组织审查、批准。

8.7.3 基础图件的质量应满足下列五项要求:

a. 编图资料符合本规范有关技术规定,运用正确、充分。

b. 制图数学基础符合本规范规定的精度要求。

c. 重力图的内容符合本规范和编图设计书规定,各要素之间关系清楚、合理。

d. 符号、线划、注记规格符合图式规定,线划、符号实在,注记正确、配置恰当,适于制版印刷。

e. 图幅接边正确,图外要素齐全、正确,配置符合图式规定。

8.7.4 1:200 000、1:1 000 000 基础图件由有关上级主管部门组织或由其指定的评审委员会审查。

8.7.5 评审委员会应对1:200 000、1:1 000 000 基础图件进行质量评定。评定标准如下:

a. 优秀:完全符合五项质量要求的图幅及存在少量一般性问题经修改后能完全符合五项质量要求的图幅;

b. 良好:存在有个别重要问题或一般性问题较多,经修改后能满足五项质量要求的图幅;

c. 合格:存在有重要问题并一般性问题较多,经修改后能基本满足五项质量要求的图幅;

d. 不合格:存在有严重问题或一般性问题很多,当无法修改或修改后不能基本满足五项质量要求或修改工作量大于作业工作量20%的图幅。

附录 A

国家重力基本网和国家级重力仪格值标定场

(补充件)

A1 国家重力基本网

我国国家重力基本网共有两个:即国家 1957 重力基本网(简称 57 网)和国家 1985 重力基本网(简称 85 网)。

A1.1 57 网是我国测绘部门 1957 年在苏联航空重力队协助下建立的。该网由 27 个基本点及 80 个 I 等点组成,属波茨坦系统,联测精度分别为 $\pm 0.15 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 和 $\pm 0.25 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,相对于北京基本点的误差分别为 $\pm 0.3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 和 $\pm 0.4 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,无绝对重力点控制,精度较低,不少点的标志已被破坏。

A1.2 85 网是由国家测绘局组织,中科院、国家测绘局、总参测绘局、国家地震局、石油部、地矿部共同协作完成。该网由 6 个基准点、46 个基本点和 5 个引点构成。平差后基本点重力值最大中误差为 $\pm 13 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$,平均中误差为 $\pm 7.8 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。

A1.2.1 基准点:凡进行绝对重力测量的点称为基准点。它们是:北京(玉渊潭)、昆明、福州、青岛、广州、南宁。

A1.2.2 基本点:凡进行高精度相对重力联测的点称为基本点(一般设在机场)。它们是:哈尔滨、嫩江、海拉尔、乌兰浩特、锡林浩特、沈阳、北京、青岛、上海、福州、广州、武昌、汉口、南京、郑州、太原、长沙、桂林、南宁、海口、昆明、贵阳、广汉、双流、西安、兰州、酒泉、敦煌、格尔木、拉萨、且末、乌鲁木齐、阿尔泰、伊宁、克拉玛依、库尔勒、阿克苏、喀什、和田、南昌、呼和浩特。

A2 国家级重力仪格值标定场

A2.1 为统一重力测量尺度,国家测绘局会同地质矿产部、国家地震局、总参测绘局在全国布设了八处国家级重力仪格值标定场(简称标定场),1987 年正式公布使用。国家级重力仪格值标定场可用于各类相对重力仪格值标定及其它检定工作,其精度满足国家一等点及其重力测量的需要。

A2.1.1 标定场的地点、名称及管理单位

a. 江西庐山	庐山国家重力仪格值标定场	武汉地震研究所
b. 北京高崖口	高崖口重力仪格值标定场	(天津)总参第一测绘大队
c. 陕西西安沔峪口	沔峪口重力仪格值标定场	陕西省测绘局
d. 四川成都龙泉驿	龙泉驿重力仪格值标定场	四川省地震局
e. 新疆天山	天山重力仪格值标定场	新疆地矿局物探队
f. 甘肃兰州七道梁	七道梁重力仪格值标定场 ¹⁾	兰州地震研究所
g. 云南昆明狮子山	狮子山重力仪格值标定场	云南省地震局
h. 福建福州鼓山	鼓山重力仪格值标定场	福建省地矿局物探队

注:1)该标定场因 87 年公路改道已被破坏。

A2.1.2 标定场精度

各标定场重力差的相对均方误差不大于 5×10^{-5} ;联测时使用了 6 台以上 LCR-D、G 型重力仪;LCR-G 型重力仪在国家长基线上标定,标定精度达 1×10^{-4} ;各台仪器的观测段差、测线间的互差不大于 $30 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。

A2.1.3 凡使用标定场的单位,应向管理该标定场的单位办理使用手续,并提供重力仪格值标定成果(副本)一套。

A2.1.4 庐山标定场由 24 个重力点组成,最大段差 $230 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。其余标定场均由 3~4 个重力点组成。

A2.2 国家长基线

国家长基线用于标定大量程重力仪格值。它有两条长基线即:哈尔滨—北京—郑州—武昌—长沙—广州和北京—西安—昆明。

附录 B

两点间多台重力仪多次观测结果的精度计算方法

(补充件)

B1 误差分析

B1.1 假定采用了 n 台同精度的重力仪,在两点间各取得 k 个等精度的独立增量,每台仪器的观测结果都可能带有固定的、但对不同仪器来说是随机性的系统误差(称为第一类半系统误差 m_2)。各台仪器在同一测回各测得一个独立增量。这一测回的各个独立增量都可能带有固定的、但对不同测回来说是随机性的系统误差(称为第二类半系统误差 m_3)。这两种误差和每台仪器的每台独立增量都必然含有的偶然误差 m_1 ,三者之间都是互相独立的。

B2 精度估算的步骤和方法

B2.1 将各台仪器测得的各个独立增量列入表 B1(用 Δg_{ij} 表示第 i 台仪器测得的第 j 测回的独立增量),并逐个算出每台仪器在 k 个测回测得的 k 个独立增量的算术平均数 Δg_{i0} 和每测回观测中得到的 n 个独立增量的算术平均数 Δg_{0j} :

$$\Delta g_{i0} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \Delta g_{ij} \dots\dots\dots (B1)$$

$$\Delta g_{0j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta g_{ij} \dots\dots\dots (B2)$$

表 B1

$n \backslash k$	1	2	3	...	j	...	...	...	k	同台仪器 k 测回观测平均数	平均数与总平均数之差
1	Δg_{11}	Δg_{12}	Δg_{13}	...	Δg_{1j}	...	...	...	Δg_{1k}	Δg_{10}	Δ_{10}
2	Δg_{21}	Δg_{22}	Δg_{23}	...	Δg_{2j}	...	...	...	Δg_{2k}	Δg_{20}	Δ_{20}
3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...
i	Δg_{i1}	Δg_{i2}	Δg_{i3}	...	Δg_{ij}	...	...	...	Δg_{ik}	Δg_{i0}	Δ_{i0}
...
...
n	Δg_{n1}	Δg_{n2}	Δg_{n3}	...	Δg_{nj}	...	...	...	Δg_{nk}	Δg_{n0}	Δ_{n0}

续表 B1

$n \backslash k$	1	2	3	...	j	...	...	k	同台仪器 k 测回观测平均数	平均数与总平均值之差
n 台仪器同测回观测平均数	Δg_{01}	Δg_{02}	Δg_{03}	...	Δg_{0j}	...	...	Δg_{0k}	Δg_{00}	—
平均数与总平均值之差	Δ_{01}	Δ_{02}	Δ_{03}	...	Δ_{0j}	...	...	Δ_{0k}	—	—

B2.2 在表 B1 上算出各台仪器、各测回观测到的各个独立增量(有 $n \times k$ 个)的算术平均值 Δg_{00} , 并逐个算出 Δg_{i0} 与 Δg_{00} 之差 Δ_{i0} 和 Δg_{0j} 与 Δg_{00} 之差 Δ_{0j} :

$$\Delta g_{00} = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \Delta g_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta g_{i0} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \Delta g_{0j} \quad \text{..... (B3)}$$

式中: $\Delta_{i0} = \Delta g_{i0} - \Delta g_{00}$ 为某台仪器平均值与总算术平均值之差。

$\Delta_{0j} = \Delta g_{0j} - \Delta g_{00}$ 为某测回观测平均值与总算术平均值之差。

B2.3 按式(B4)和式(B5)计算 Δg_{i0} 的均方误差 m_n 和 Δg_{0j} 的均方误差 m_k :

$$m_n = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{i0}^2}{n-1}} \quad \text{..... (B4)}$$

主要反映仪器间的第一类半系统误差;

$$m_k = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k \Delta_{0j}^2}{k-1}} \quad \text{..... (B5)}$$

主要反映各次观测间的第二类半系统误差。

B2.4 按下列计算 δ_{ij} 并填入表 B2:

表 B2

$n \backslash k$	1	2	...	j	...	k	和
1	δ_{11}	δ_{12}	...	δ_{1j}	...	δ_{1k}	0
2	δ_{21}	δ_{22}	...	δ_{2j}	...	δ_{2k}	0
...
i	δ_{i1}	δ_{i2}	...	δ_{ij}	...	δ_{ik}	0
...
n	δ_{n1}	δ_{n2}	...	δ_{nj}	...	δ_{nk}	0
平均数	δ_{01}	δ_{02}	...	δ_{0j}	...	δ_{0k}	0

$$\delta_{ij} = \Delta g_{ij} - \Delta g_{i0} \dots\dots\dots (B6)$$

然后算出表中每列 δ_{ij} 的算术平均数 δ_{0j} :

$$\delta_{0j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ij} \dots\dots\dots (B7)$$

B2.5 由表 B2 按式(B8)计算 ν_{ij} 并填入表 B3:

$$\nu_{ij} = \delta_{ij} - \delta_{0j} \dots\dots\dots (B8)$$

表 B3

$n \backslash k$	1	2	...	j	...	k	和
1	ν_{11}	ν_{12}	...	ν_{1j}	...	ν_{1k}	0
2	ν_{21}	ν_{22}	...	ν_{2j}	...	ν_{2k}	0
...
i	ν_{i1}	ν_{i2}	...	ν_{ij}	...	ν_{ik}	0
...
n	ν_{n1}	ν_{n2}	...	ν_{nj}	...	ν_{nk}	0
和	0	0	...	0	...	0	0

B2.6 按式(B9),式(B10)和式(B11)计算单个独立增量所含的偶然误差 m_1 、第一类半系统误差 m_2 和第二类半系统误差 m_3 :

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \nu_{ij}^2}{(n-1)(k-1)}} \dots\dots\dots (B9)$$

$$m_2 = \pm \sqrt{m_n^2 - \frac{1}{k} m_1^2} \dots\dots\dots (B10)$$

$$m_3 = \pm \sqrt{m_k^2 - \frac{1}{n} m_1^2} \dots\dots\dots (B11)$$

B2.7 按式(B12)计算出平均重力增量 Δg_{00} 的均方误差 $m_{\Delta g_{00}}$:

$$m_{\Delta g_{00}} = \pm \sqrt{\frac{m_1^2}{nk} + \frac{m_2^2}{n} + \frac{m_3^2}{k}} \dots\dots\dots (B12)$$

B3 m_1, m_2, m_3 及 m 的求取方法

运用以上公式,只有当 $n=k=\infty$ 时,才能得到精确结果。实际上,由于 n 和 k 都是有限数,因此在计算 m_2 和 m_3 时,有时(特别是当两类半系统误差中全部或有一个数值较小时)会出现虚数。这时可作如下处置:

B3.1 当 m_2 和 m_3 全为虚数时,

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\Delta g_{ij} - \Delta g_{00})^2}{nk-1}} \dots\dots\dots (B13)$$

$$m = \frac{m_1}{\sqrt{nk}} \dots\dots\dots (B14)$$

B3.2 当只有一个半系统误差是虚数时,应不管这一类半系统误差,而只对另一类半系统误差继续计算。如 m_3 为虚数,则:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\Delta g_{ij} - \Delta g_{00})^2}{n(k-1)}} \dots\dots\dots (B15)$$

$$m_2 = \pm \sqrt{m_1^2 - \frac{1}{k} m_1^2} \dots\dots\dots (B16)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{m_1^2}{nk} + \frac{m_2^2}{n}} \dots\dots\dots (B17)$$

当 m_2 为虚数时,

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\Delta g_{ij} - \Delta g_{00})^2}{k(n-1)}} \dots\dots\dots (B18)$$

$$m_2 = \pm \sqrt{m_1^2 - \frac{1}{n} m_1^2} \dots\dots\dots (B19)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{m_1^2}{nk} + \frac{m_3^2}{k}} \dots\dots\dots (B20)$$

附录 C

重力仪野外观测中的常用资料整理方法

(补充件)

重力仪野外观测中的常用资料整理方法有:单程观测法、双程往返观测法、三程循环观测法。

C1 单程观测法

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 当闭合于同一基点时,测点重力值的计算公式如式(C1)所示:

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

在观测中有较长时间的停顿,需进行静掉格改正时,测点重力值计算公式如式(C2)所示:

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

C1.2 当闭合于不同基点时,测点重力值的计算公式如式(C3)所示:

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

在观测中有较长时间的停顿,需进行静掉格改正时,测点重力值计算公式如式(C4)所示:

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

式中: K ——重力仪格值;

G_1, G_2 ——起始基点、闭合基点的重力值;

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

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

S_1, T_1, R_1 ——某测点上的重力仪观测值(读格)、观测时间、固体潮改正值;

$\Delta S, \Delta T, \Delta R$ ——重力仪停顿结束时的观测值与停顿开始时的观测值之差(即静掉格)、停顿时间、停顿结束时的固体潮与停顿开始时的固体潮改正值之差。

C2 双程往返观测法

本方法主要用于拉科斯特重力仪,观测路线为:1、2、3... $n-1, n, n, n-1, \dots, 3, 2, 1$ 。

C2.1 计算出各点经固体潮改正后的重力值 g_i, g_j 。

C2.2 计算各段重力增量值按静掉格处理办法。

$$\Delta g_s = g_j - g_i + \frac{(g'_i - g_i) - (g'_j - g_j)}{(t'_i - t_i) - (t'_j - t_j)} \times (t_i - t_j) \quad \text{..... (C5)}$$

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

g_j, g'_j —— j 点往、返程观测的经固体潮改正后的重力值;

t_i, t'_i —— i 点往、返程观测的时间;

t_j, t'_j —— j 点往、返程观测的时间。

C3 三程循环观测法

本方法主要适用于石英弹簧重力仪。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。计算公式为:

C3.1 非独立增量计算:

$$\Delta g_{2,1} = K(S_2 - S_1) + (R_2 - R_1) - \frac{K(S'_1 - S_1) + (R'_1 - R_1)}{T'_1 - T_1} \times (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (C6)$$

$$\Delta g_{1,2} = K(S'_1 - S_2) + (R'_1 - R_2) - \frac{K(S'_2 - S_2) + (R'_2 - R_2)}{T'_2 - T_2} \times (T'_1 - T_2) \dots\dots\dots (C7)$$

式中: K ——仪器格值;

S_1, T_1, R_1 ——在 1 号点的第一次观测值、观测时间、固体潮改正值;

S'_1, T'_1, R'_1 ——在 1 号点的第二次观测值、观测时间、固体潮改正值;

S_2, T_2, R_2 ——在 2 号点的第一次观测值、观测时间、固体潮改正值;

S'_2, T'_2, R'_2 ——在 2 号点的第二次观测值、观测时间、固体潮改正值。

C3.2 独立增量计算:

$$\Delta g_{2,1} = \frac{1}{2}(\Delta g_{2,1} - \Delta g_{1,2}) \dots\dots\dots (C8)$$

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

当(C6)、(C7)式用于重力仪格值标定求非独立读格差时,可令 $K=1, R_i=0$ 。

附录 D

重力老资料评价方法

(补充件)

重力老资料评价方法分为两类:一类可搜集到重力尺度(并与现标定场联测过)、重力系统(起算点或测区基点标志存在,可与国家重力基点联测)、基点网资料、测点平面坐标及高程误差和布格改正均方误差等,即可对资料进行改算;另一类是无法收集到尺度,基点网等资料时,只能进行外业重复测量,综合评价其精度。外业重复测量的方法可分为两类:测点重复观测法,即对测区内部分测点进行重复测量;面积重复观测法,即按一定面积进行重复测量。

D1 重力老资料改算

D1.1 资料准备

D1.1.1 充分收集、了解重力老资料情况(工作年代、工作单位、工作比例尺、所用重力仪型号、所用标定场情况、起算点、基点网、工作用地形图精度、平差方法、地改情况等)。

D1.1.2 收集各种精度资料(重力仪格值标定精度、基点网精度、重力测点观测精度、地形图精度、地改精度等)。

D1.2 尺度改算

D1.2.1 对于没有在现国家重力仪格值标定场(或引出的标定场)标定格值的重力仪观测的资料,要测取原标定场相对现用标定场的尺度因子 λ 。

$$\lambda = \frac{\text{在原标定场上(以现标定场为准)新测的重力增量值}}{\text{原标定场当时的重力增量值}} = \frac{\Delta G'}{\Delta G} \dots\dots\dots (D1)$$

D1.2.2 当原标定场已破坏时,可在原引出的那个标定场,或由原标定场引出的任一标定场上,测取相

对现用标定场的尺度因子。也可用在原标定场标定格值的重力仪所建立的基点网中选若干个基点,测取相对现用标定场的尺度因子 λ 。

$$\lambda = \frac{\text{任一标定场或基点网(以现标定场为准)所测重力增量值}}{\text{相应标定场或基点网(以原标定场为准)所测重力增量值}} = \frac{\Delta g}{\Delta g_0} \dots\dots\dots (D2)$$

D1.2.3 当尺度因子 $\lambda > 1.001$ 或 $\lambda < 0.999$ 时,要对重力基点网原联测独立增量 Δg_0 。按式 $\Delta g = \lambda \Delta g_0$ 进行尺度改正,求得统一重力尺度下的重力增量值 Δg ,然后重新对基点网进行平差,求出各基点重力值。当某一(或某些)基点重力值前后变化大于 $160 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 时,要对由这一(或这些)基点引算出的原测点重力值进行改算;小于 $160 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 时可不改算,但需估算不改算所引起的误差。

D1.2.4 当尺度因子在 $0.999 \sim 1.001$ 范围内时,可不对重力基点网原联测资料作尺度改正,但需估算不作尺度改正引起的误差。

D1.2.5 对重力测点观测资料不作尺度改正时,要根据测点中最大重力增量估算不作尺度改正可能产生的最大误差。

D1.3 重力系统改算

D1.3.1 对采用非 1985 国家重力系统的重力资料,因各省、市(区)波茨坦系统重力基本点或(1 等点)均与 1985 国家重力系统基本点值进行了联测,可直接对测点重力值进行一常数改正,即基₈₅—基₈₅的差值。

D2 重力老资料评价外业施测方法

D2.1 资料准备

D2.1.1 收集、了解重力老资料情况(工作年代、工作单位、工作比例尺、所用重力仪、工作方法、工作精度等)。

D2.1.2 选择地形平坦、交通相对方便,重力场变化不大的地段作为评价区。

D2.1.3 根据老资料的测点平面位置,坐标,将所选的评价点展布在 1:50 000 地形图上,展点误差应小于图上 0.5mm。

D2.1.4 根据不同单位、不同测区来划定老资料评价区、各评价区应选不少于 60 个测点进行评价。

D2.1.5 所选评价点应对原测点高程和展布在 1:50 000 地形图上的高程进行对比,其差应不大于图上一条等高线距。

D2.2 野外施测工作

D2.2.1 测点重复观测法

D2.2.1.1 利用展布有评价点的 1:50 000 地形图在野外实地找点。对于野外找点困难和难判准的点,应舍弃不作为评价点。

D2.2.1.2 野外重力观测方法,技术要求应执行本规范。测点的高程评价直接从 1:50 000 地形图上读取。

D2.2.1.3 评价工作质量检查,采用同精度检查方法(即重复观测)、定点采用另一套 1:50 000 地形图检查定点误差,检查率应不少于 10%。

D2.2.1.4 各评价区实际评价点数(不含舍弃点)应不少于 60 个。

D2.2.2 面积重复测量

D2.2.2.1 1:1 000 000 比例尺的重力老资料评价中,重复测量的面积,应不少于 6 000 平方公里。

D2.2.2.2 1:200 000 比例尺的重力老资料评价中,重复测量的面积应不少于 500 平方公里。

D2.2.2.3 面积重复测量的野外工作方法、技术见本规范野外工作部分。

D2.3 资料整理及重力老资料的综合评价

D2.3.1 资料整理和重力老资料综合评价应分工区进行。

D2.3.2 资料整理应按本规范执行。

D2.3.3 综合评价

D2.3.3.1 对于改算的重力老资料应按工区计算和估算出各项精度,然后算出总精度。当总均方误差满足编图精度要求时该资料就可利用;当不能满足要求时,就不可作为编图资料(以上计算和估算的精度是指按要求改算后的均方误差)。

D2.3.3.2 采用测点重复观测法进行老资料评价时,应根据评价点重复观测资料,求出各测点布格重力异常值(不作地改),按式(D3)或式(D4)计算求得的改正值 $\Delta g'$ (反映两次观测间的系统差)和均方误差 ϵ_{gi} (实际是不含系统差的两次观测重力异常值之差的均方误差):

$$\Delta g' = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta g_{i2} - \Delta g_{i1})}{n} \dots\dots\dots (D3)$$

$$\epsilon_{gi} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\Delta g_{i2} - \Delta g_{i1}) - \Delta g']^2}{n}} \dots\dots\dots (D4)$$

式中: Δg_{i1} ——第 i 测点原布格重力异常值(不作地形改正);

Δg_{i2} ——第 i 测点重复观测的布格重力异常值(不作地形改正);

n ——重复观测点数。

D2.3.3.3 重力老资料布格重力异常总均方误差 ϵ (不包括地形改正均方误差)如式(D5)所示:

$$\epsilon = \pm \sqrt{\epsilon_{g1}^2 - \epsilon_{g2}^2} \dots\dots\dots (D5)$$

式中: ϵ_{g2} ——重复观测时的布格重力异常实际的总均方误差(不包括地形改正均方误差)。

D2.3.3.4 采用面积重复观测法进行老资料评价时,可按网格化节点重力值计算均方误差,计算公式与 D2.3.3.2 式相同。

D2.3.3.5 老资料各测点布格重力异常值上加 D3 式中求出的改正值 $\Delta g'$, 通过这样改算的老资料,就是满足本规范的重力资料。

当 $\Delta g'$ 大于相应编图比例尺的四分之一等值线间距时,对老资料要作改算; $\Delta g'$ 小于四分之一重力等值线间距时可不改算。

D2.3.3.6 重力老资料评价标准 ϵ_{BD} , 按不同比例尺由式(D6)确定:

$$\epsilon_{BD} = \sqrt{\epsilon_B^2 - \epsilon_T^2} \dots\dots\dots (D6)$$

式中: ϵ_B ——本规范中的山区布格异常总均方误差;

ϵ_T ——本规范中的山区地改总均方误差或用实际计算的地改总均方误差。

D2.3.3.7 当按 D5 式求出的 ϵ 小于 ϵ_{BD} 时,该区资料可用于编图;当 ϵ 大于 ϵ_{BD} 时,就不能作为编图资料。

附录 E
重力仪幅值标定场档案格式
 (补充件)

标定场名			最大重力差		10^{-5}m/s^2
点号	经度 (或 Y)	纬度 (或 X)	高程 (Z)	点间重力 增量	相对均 方误差
1					
2					
3					
事先标定所用点名称			建场用重力 仪类型及数量		
观测日期	年 月 日		建立单位		
受托管单位 及主管人			埋石情况		
标定场所在地	省(区) 县(市)				
标石平面图及照片			点位略图		
绘制者			绘制日期	年 月 日	
说明					
填表单位			填表日期	年 月 日	

附 录 F
重力基点档案格式
(补充件)

点号	I-9-G25	绝对重力值	$\times 10^{-5} \text{m/s}^2$		
等级	一级	重力值均方误差	$\pm \times 10^{-5} \text{m/s}^2$		
点名	徐州	坐 标	经度(或 Y)		
所在 1/10 万图幅号	I-50-67		纬度(或 X)		
基点联测精度			经纬度来源		
基点联测时间	19 年 月 日		高程(Z)		
			高程来源		
受托管单位 及主管人		观测单位			
		埋石情况			
点位所在地	省(区) 县(市) 乡 村				
基点联测路线	(填出过本点的各个边段)				
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 G
地理底图的编绘规定及
1:200 000 和 1:1 000 000 重力图图廓尺寸
(补充件)

G1 地理资料

G1.1 1:200 000 基础图件,采用国家测绘局(或总参测绘局)出版的 1:200 000 地形图绘制地理底图。基于我国 1:200 000 地形图的现势性较差,应根据现势资料,对所选取的居民地、交通网、行政区划等内容进行修正。

G1.2 1:1 000 000 基础图件,应采用国家测绘局最新编绘出版的同比例尺中国地图绘制地理底图。当无此资料时,可采用国家测绘局最新编绘出版的 1:1 000 000 地形图来绘制地理底图。亦应根据现

势资料对所选取的居民地、行政区划等内容进行修正。

G2 图的投影、分幅和编号

图的投影、分幅和编号与同比例尺地形图相同。

G3 制图网

G3.1 1:200 000、1:1 000 000 基础图件可采用热定型聚酯薄膜。使用仪器展绘制图网。亦可采用中国地图、地形图的原版图或其镶嵌图直接翻晒在刻图膜上构成制图网。

G3.2 1:200 000 的坐标从《高斯投影图廓坐标表》查取。用仪器展出经差 15'、纬差 10' 的 25 个经纬网点和图幅四边 5cm×5cm 的方里网点,经线连直线,纬线连折线,在内外图框间连出方里线,构成制图网。

G3.3 1:1 000 000 的投影坐标可从 1:1 000 000 地形图编绘规范中查取。用仪器展出经差、纬差各为 1' 的 35 个经纬网点,经线连直线,纬线连折线,构成制图网。

G3.4 制图网须专人检查,各项展绘精度及翻晒在刻图膜上的制图网精度必须符合要求。各项限差为:展点误差不大于±0.15mm;图廓边长误差不大于±0.3mm;图廓对角线误差不大于±0.45mm。

G4 居民地

a. 居民地选取标准为每平方米 4~6 个,特殊情况可增减。选取原则:优先选取指示重力基点、重力异常位置的居民地,以从大到小的顺序选取,最终使居民地在图上分布大体均匀。外国部分居民地可适当减少。

b. 1:200 000 居民地用真形符号表示;1:1 000 000 居民地,省会和 50 万人口以上的大城市用真形符号表示,50 万人口以下的以行政意义分级用圆圈符号表示。

c. 居民地名称注记的大小分为六级,即首都、省、自治区、直辖市人民政府驻地,地、州、盟、地级市驻地,县、旗、县级市驻地,乡、镇驻地,其它居民地。乡、镇以上居民地有重要意义的自然名称,应用副名形式表示。

G5 交通网

a. 在陆地应表示铁路、公路。铁路、公路在图上均不分等级。市郊、工矿铁路和森林铁路的短支线可不予表示,小段公路及公路支岔道也可不表示,交通发达地区可只表示主要公路。通过双线河上的主要桥梁应予表示。国外部分的铁路、公路可适当减少。

b. 在海域应表示航海线。起、终点均在图幅内时,只标注里程;当起、终点不在图幅内时,应标注出起、终点地名和里程。

G6 境界

a. 国界必须严格按地形图或中国地图准确描绘,并报送有关部门审批。

b. 1:200 000 重力异常平面图一般要表示到县、旗界,在我国东部地区省、市内的县界也可不表示。

c. 1:1 000 000 重力异常平面图一般表示到省、自治区和直辖市界,在我国西部及边缘地区可选留大的地、州、盟界。

d. 港澳地区界应绘出并作出图例。国外地区要表示国界和外国一级行政区划界,克什米尔用特殊地区界表示。

e. 各级境界相重合时,只绘最高一级境界线符号。当境界以河流、道路为界时,可在其两侧间断、交错地绘出境界。

G7 水系

a. 陆地的海岸线、双线河、大运河应全部表示。单线河的选取标准一般为图上长 5~10cm,湖泊、水库、岛屿、礁的选取标准一般为 0.25~0.5cm²,特殊地区还可增减。

b. 海岸线、双线河、水库等水涯线和单线河的非特征性小弯曲可适当简化,但必须保持主要转折点的正确位置和基本轮廓特征。

c. 水涯线粗细为 0.12mm,单线河的粗细视图上长度而定,一般 0.1~0.4mm。洋、海、海峡及大的河流、湖泊、水库、海湾、岛屿、礁等,应分级注出名称。

d. 海域区,1:200 000 重力异常平面图表示 10、50、100m 及 200m 整倍数的等深线;1:1 000 000 重力异常平面图表示 50、100、500(或 400)米及整千米的等深线。等深线粗细为 0.12mm,在适当部位标注等深线注记。

G8 等高线

a. 1:200 000 重力异常平面图的等高线距为 80m。平坦地区可缩小二分之一,高山区可放大一倍,但同一图幅不得出现两种基本等高线距。

b. 1:1 000 000 重力异常平面图的等高线距规定如下表:

高程,m	0~200	200~3 000	3 000 以上
等高距 m	只绘 50m 等高线	500(中国地图) 400(1:1 000 000 地形图)	500

当图上等高线密集时,等高线可抽稀一倍,但同一图幅不得出现抽稀与不抽稀两种情况。

c. 1:1 000 000 重力异常平面图采用同比例尺地形图来绘制地形版时,可参照 1:1 000 000 中国地图等高线综合的要求,对等高线形态概括,删去一些小的弯曲,保持基本地貌形态和正确位置,显示主要地貌特征。

d. 正向地貌封闭等高线圈闭面积选取标准为 0.25~0.5cm²;负向地段封闭等高线选取标准为 0.7~1.0cm²。

e. 1:200 000 布格重力异常平面图,等高线的粗细为 0.15mm;1:1 000 000 布格重力异常平面图,等高线的粗细为 0.10mm。等高线注记为在图上每平方分米 2~3 个,地形复杂、破碎地区应适当增加。

G9 其他

a. 长城、主要的山脉和山岭应予表示。1:200 000 重力异常平面图应适当选取一些有名称的三角点、水准点、高程点,以指示重力异常位置和反映地貌趋势。

b. 山峰、岩峰、山隘、陡崖、冲沟、干河、干湖、雪山、堤坝、戈壁、沙地等其他内容,一般不予表示。

1:200 000 和 1:1 000 000 重力图图廓尺寸

表 G1 1:200 000 图廓尺寸表

φ	a	c	d	φ	a	c	d
16°00'	53.52			25°20'	50.34		
		36.89	64.93			36.93	62.32
16°40'	53.34			26°00'	50.06		
		36.89	64.77			36.93	62.10
17°20'	53.15			26°40'	49.77		
		36.89	64.62			36.94	61.86
18°00'	52.95			27°20'	49.48		
		36.90	64.46			36.94	61.63
18°40'	52.75			28°00'	49.18		
		36.90	64.29			36.94	61.39
19°20'	52.54			28°40'	48.87		
		36.90	64.12			36.95	61.14
20°00'	52.32			29°20'	48.56		
		36.90	63.95			36.95	60.90
20°40'	52.10			30°00'	48.24		
		36.91	63.76			36.95	60.65
21°20'	51.87			30°40'	47.92		
		36.91	63.57			36.96	60.38
22°00'	51.63			31°20'	47.58		
		36.91	63.38			36.96	60.11
22°40'	51.39			32°00'	47.25		
		36.92	63.17			36.96	59.85
23°20'	51.13			32°40'	46.90		
		36.92	62.97			36.97	59.58
24°00'	50.88			33°20'	46.55		
		36.92	62.76			36.97	59.30
24°40'	50.61			34°00'	46.19		
		36.93	62.54			36.98	59.03
25°20'	50.34			34°40'	45.83		

续表 G1

φ	a	c	d	φ	a	c	d
34°40'	45.83			45°20'	39.19		
		36.98	58.74			37.05	53.76
35°20'	45.46			46°00'	38.73		
		36.98	58.46			37.05	53.43
36°00'	45.08			46°40'	38.26		
		36.99	58.17			37.06	53.10
36°40'	44.70			47°20'	37.79		
		36.99	57.87			37.06	52.76
37°20'	44.31			48°00'	37.31		
		37.00	57.58			37.07	52.42
38°00'	43.92			48°40'	36.83		
		37.00	57.27			37.07	52.08
38°40'	43.52			49°20'	36.34		
		37.01	56.97			37.07	51.74
39°20'	43.11			50°00'	35.85		
		37.01	56.66			37.08	51.40
40°00'	42.70			50°40'	35.35		
		37.01	56.35			37.08	51.06
40°40'	42.28			51°20'	34.85		
		37.02	56.04			37.09	50.72
41°20'	41.86			52°00'	34.34		
		37.02	55.72			37.09	50.37
42°00'	41.43			52°40'	33.83		
		37.03	55.40			37.10	50.03
42°40'	40.99			53°20'	33.31		
		37.03	55.08			37.10	49.69
43°20'	40.55			54°00'	32.79		
		37.04	54.75			37.10	49.34
44°00'	40.10			54°40'	32.26		
		37.04	54.42			37.11	49.00
44°40'	39.65			55°20'	31.73		
		37.04	54.09			37.11	48.65
45°20'	39.19			56°00'	31.20		

表 G2 图廓尺寸投影变形改正数表

改正数 $\Delta\lambda$	16°~20°			20°~24°			24°~28°			28°~32°			32°~36°		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
Δa	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.06	0.01	0.02	0.06	0.01	0.02	0.05	0.00	0.02	0.04
Δc	0.01	0.02	0.05	0.00	0.02	0.04	0.01	0.02	0.04	0.00	0.02	0.04	0.00	0.02	0.03
Δd	0.01	0.04	0.08	0.01	0.03	0.08	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.06	0.01	0.02	0.06
Δa	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02
Δc	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02
Δd	0.01	0.02	0.05	0.00	0.02	0.04	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02

表 G3 1:1 000 000 图廓尺寸表

带	φ	a_1	a_2	c	d
A	0~4	66.813	66.651	44.227	80.057
B	4~8	66.651	66.167	44.231	79.790
C	8~12	66.166	65.362	44.240	79.258
D	12~16	65.361	64.239	44.252	78.466
E	16~20	64.238	62.806	44.262	77.422
F	20~24	62.804	61.067	44.289	76.136
G	24~28	61.065	59.031	44.312	74.621
H	28~32	59.029	56.708	44.337	72.892
I	32~36	56.706	54.108	44.365	70.968
J	36~40	54.106	51.244	44.396	68.873
K	40~44	51.242	48.129	44.426	66.632
L	44~48	48.128	44.779	44.457	64.277
M	48~52	44.778	41.209	44.488	61.841
N	52~56	41.208	37.436	44.518	59.368
O	56~60	37.435	33.480	44.547	56.902

注： a_1 —南图廓长； a_2 —北图廓长； c —东西图廓长； d —对角线长。

附录 H
重力基点网平差
(参考件)

H1 平差计算

物探重力基点网联测结果的平差,采用条件平差^①方法较为适宜。现结合实例说明如下:

H1.1 绘制基点网分布示意图

某重力一级基点网由八条边组成三个闭(附)合圈(图 H1)。

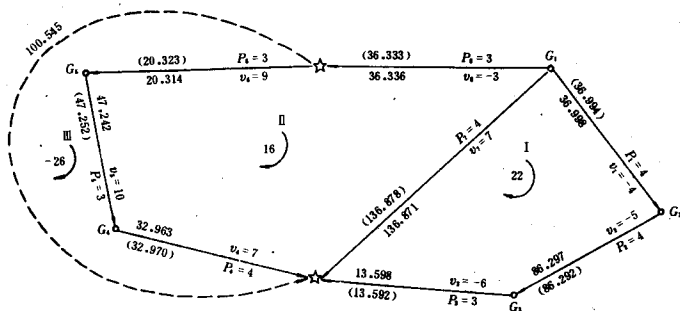


图 H1 重力基点网(一级)平差示意图

注: P_i ——边段独立增量数;

86.297——平差前边段增量值, 10^{-5}m/s^2 ;

(86.292)——平差后的边段增量值, 10^{-5}m/s^2 ;

 μ ——边段改正值, 10^{-8}m/s^2 。

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。其中G1~G5是重力一级基点,两个画五角星的点是国家重力基本点或I等点)。求出各闭(附)合圈的闭合差(圈内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(附)合圈中央。把权(P等于各边独立增量数)标在各边上。

H1.2 列出改正数条件方程式

设基点网由 r 个闭合圈组成, 各闭合圈的闭合差分别为 $W_a, W_b, W_c \dots W_n$, 待求的改正数分别为 $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$, 则可列出 r 个条件式:

[illegible]

其中 $a_i, b_i, \dots, r_i (i=1, 2, \dots, n)$ 称为条件式系数。系数的符号按各圈各边段箭头方向确定, 顺时针方向取正号, 反之取负号。

实例两个闭合圈可列两个改正数条件方程式,它们之间线性无关,两个国家基本点,组成的附合圈,只具备一个与前两方程不同的新条件(线性无关)只应列一个条件方程,条件方程的个数(r)应等于观测的边段数(n)减去待求重力基点个数(t), $r=n-t=8-5=3$,故可列出 3 个改正数条件方程式。

$$\left. \begin{aligned} v_1 + v_2 + v_3 - v_7 + 22 &= 0 \\ -v_4 - v_5 - v_6 - v_8 + v_7 + 16 &= 0 \\ v_4 + v_5 + v_6 - 26 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (H1')$$

其中系数为:

第一式: $a_1 = a_2 = a_3 = 1, a_7 = -1$, 其余的 $a_i = 0$

第二、三式可以类推。

H1.3 建立联系数法方程式

法方程式组的一般式为:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{aa}{p}\right) K_a + \left(\frac{ab}{p}\right) K_b + \dots + \left(\frac{ar}{p}\right) K_r + W_a &= 0 \\ \left(\frac{ba}{p}\right) K_a + \left(\frac{bb}{p}\right) K_b + \dots + \left(\frac{br}{p}\right) K_r + W_b &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \left(\frac{ra}{p}\right) K_a + \left(\frac{rb}{p}\right) K_b + \dots + \left(\frac{rr}{p}\right) K_r + W_r &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (H2)$$

其中 K_a, K_b, K_c 称为联系数, K 的个数与条件式的个数相同。

表 H1

边段 编号	a	b	c	s	$\frac{1}{p}$	$\frac{aa}{p}$	$\frac{ab}{p}$	$\frac{ac}{p}$	$\frac{as}{p}$	$\frac{bb}{p}$	$\frac{bc}{p}$	$\frac{bs}{p}$	$\frac{cc}{p}$	$\frac{cs}{p}$
1	1			1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$			$\frac{1}{4}$					
2	1			1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$			$\frac{1}{4}$					
3	1			1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$			$\frac{1}{3}$					
4		-1	1	0	$\frac{1}{4}$					$\frac{1}{4}$	$-\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
5		-1	1	0	$\frac{1}{3}$					$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
6		-1	1	0	$\frac{1}{3}$					$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
7	-1	1		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$-\frac{1}{4}$		0	$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{4}$		
8		-1		-1	$\frac{1}{3}$					$\frac{1}{3}$		$\frac{1}{3}$		
总和	2	-3	3	2		$\frac{13}{12}$	$-\frac{1}{4}$		$\frac{5}{6}$	$\frac{3}{2}$	$-\frac{11}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{5}{6}$

本例中的法方程式系数的计算,按表 H1 进行。表 H1 中边段编号就是改正数 v 的编号; a, b, c 可看

作改正数条件方程的编号; a_i, b_i, c_i 分别为各式 u_i 的系数; $s, \frac{as}{p}, \frac{bs}{p}$ 是检验项, 当其行、列两个总和数值相等时, 计算正确。表 H1 中: $s=a+b+c, \frac{as}{p}=\frac{aa}{p}+\frac{ab}{p}+\frac{ac}{p}$ 等……。根据算出的法方程组系数, 建立三个法方程式:

$$\left. \begin{aligned} \frac{13}{12}K_a - \frac{1}{4}K_b + 22 &= 0 \\ -\frac{1}{4}K_a + \frac{3}{2}K_b - \frac{11}{12}K_c + 16 &= 0 \\ -\frac{11}{12}K_b + \frac{5}{6}K_c - 26 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (H2')$$

解法方程式组

解一般式(H2), 可算出联系数 K_a, K_b, \dots, K_r 。

解本例方程(H2')式, 求得联系数为:

$$K_a = -18.146$$

$$K_b = 9.336$$

$$K_c = 37.729$$

H1.4 计算改正数 u_i 值

将算出的联系数 K_a, K_b, \dots, K_r 和权倒数 $\frac{1}{p_1}, \frac{1}{p_2}, \dots, \frac{1}{p_i}$ 代入式(H3):

$$u_i = \frac{1}{p_i} (a_i K_a + b_i K_b + \dots + r_i K_r) \dots\dots\dots (H3)$$

计算各 u_i 值:

本例:

$$u_1 = -4 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_2 = -5 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_3 = -6 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_4 = 7 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_5 = 10 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_6 = 9 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_7 = 7 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

$$u_8 = -3 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$$

H1.5 计算平差后的各边重力增量值

各边的重力增量联测的平均值 L_i 和改正值 u_i 的代数和, 即为经过平差后的重力增量值 x_i , 简称为“平差值”。

$$x_i = L_i + u_i$$

利用平差值计算出的各圈闭合差应等于零, 有时因“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圈接界的权较小的边上。

H1.6 平差后各基点的重力值的计算:

待求各基点的重力值, 可由某一高一等级重力点为起算点, 利用平差值推算出。因此它是各边平差值的线性函数, 我们称它为平差值函数 G 。

H3 求基点网精度

各个重力基点的精度求出后,用整个网内最弱点的中误差 m_G 表示基点网的精度。

注:此平差过程及基点精度计算,已编成程序(PC-1500机)程序,程序以及使用方法可见地矿部原地球物理地球化学勘查局编的《PC-1500 机物探化探程序汇编》(上册)90页。

附录 I

重力仪观测中途的测程调节及资料整理方法

(参考件)

重力野外观测过程中,当遇部分测点的重力观测值超出仪器测程的读数范围时,可选择合适地点调节测程,然后继续进行观测。测程调节及相应资料整理方法如下:

I1 测程调节

I1.1 允许工作中采用调节测程方法观测的条件是:

I1.1.1 所用重力仪事先按 5.3.4 要求进行调节测程后读数稳定时间试验,求出了调测程后读数稳定时间。

I1.1.2 重力仪经试验其性能较好,测程调节前零点位移率与测程调节后零点位移率相差不大;测程调节前、后零点位移均随时间按线性规律变化。

I1.1.3 在一个闭合观测单元中,超测程点经沿仪器读数增大和减小方向各调一次测程便能满足观测需要时,方可采用中途调节测程方法。对于 1:1 000 000 万重力测量工作,在部分特殊困难地区,可视仪器性能情况,以经试验对比证明满足重力观测精度为前提,其测程调节次数可适当放宽,但在一个闭合观测单元¹⁾中沿仪器读数增大和减小方向分别调节均不得超过三次。

注:1)一个闭合观测单元指在进行测点观测时,从一个基点出发,经过若干个测点的观测后,又回到某个基点进行观测的整个观测过程。

I1.2 中途测程调节工作过程

I1.2.1 首先在起始基点上观测,记下读格数 s_0 和时间 t_0 ,然后进行测点观测。

I1.2.2 当遇超测程点时,就要选择合适地点调节重力仪测程。具体做法是:在测程调节点上,先将仪器调平,记下读格数 s_{i1} 和时间 t_{i1} ,然后把计算器的读数大致调到估计待测的超测程测点可能的重力值读数范围内,随之用改锥按应调方向转动测程调节连杆,把亮线调到零线附近。

I1.2.3 测程调节完后,提起仪器上下晃动,或进行类似于基点—辅助点—基点的观测,待达到该仪器的读数稳定时间后,重新安置仪器,并转动计算器使亮线与零线精确重合,记下读格数 s_{i2} 和时间 t_{i2} ¹⁾。

注:1)为计算方法的统一,此处测程调节值中包括了 t_{i1} 到 t_{i2} 时间段内的固体潮变化和仪器的零点掉格。

I1.2.4 各次测程调节重复 I1.2.2 和 I1.2.3 做法,最后直接终止基点后,记录下读格数 s'_0 和时间 t'_0 。

I2 资料整理

I2.1 测程调节值计算公式

$$\Delta g_0 = \sum_{i=1}^n (s_{i2} - s_{i1}) k \dots\dots\dots (I1)$$

式中: s_{i1} ——第 i 次测程调节前的读格数;

s_{i2} ——第 i 次测程调节后的读格数;

k ——重力仪格值。

12.2 原始资料整理

12.2.1 求仪器观测的零点掉格

$$c = \frac{k \cdot [s'_0 - s_0 - \sum_{i=1}^n (s_{2i} - s_{1i})] + R + \Delta G}{[t'_0 - t_0 - \sum_{i=1}^n (t_{2i} - t_{1i})]} \dots\dots\dots (12)$$

式中: c ——单位时间的仪器零点掉格改正值;

R ——为终止基点相对起始基点的固体潮改正值;

ΔG ——终止基点相对起始基点的已知重力增量值。

12.2.2 测点相对于起始基点的重力增量值计算

$$\Delta g_{\text{测}} = k \cdot (s_1 - s_0) - k \cdot \sum_{i=1}^n (s_{2i} - s_{1i}) + \Delta R_1 + c \cdot [t_1 - t_0 - \sum_{i=1}^n (t_{2i} - t_{1i})] \dots\dots\dots (13)$$

式中: $\Delta g_{\text{测}}$ ——测点相对起始基点重力值;

s_i, t_i ——测点的读格数和时间;

ΔR_1 ——测点相对于起始基点的固体潮改正值;

n ——调测程次数。

当计算首次测程调节前观测的测点相对起始基点重力值时, $n=0$ 。计算调一次测程后观测的测点相对起始基点重力值时, $n=1$ 。以此类推。

附录 J

远区地形改正和均衡改正方法

(参考件)

J1 远一区(2~20km)地形改正

采用平面公式计算地形改正值,使用 $1 \times 1\text{km}$ 高程节点网按狭义地形改正(相对测点)和有限中间层(指 20km 以内)模式计算。

J1.1 共用点法地形改正

共用点法又称平移高程法,主要原理是在计算重力测点(自由网点)的地形改正值时,先计算测点附近四个节点的地形改正值,计算节点地形改正值时都用测点高程值代替四个节点的高程值,然后将四个节点地形改正值内插到测点位置上来作为测点地形改正值。

J1.1.1 计算公式

选用数值积分法,其基本公式为:

$$\Delta g = G \cdot \rho l^2 \sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{r_{ij}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_{ij}}{r_{ij}} \right)^2}} \right] \dots\dots\dots (J1)$$

式中: G ——引力常数 $6.67 \times 10^{-8} \text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{s}^2)$;

ρ ——地壳平均密度,取 2.67g/cm^3 ;

l ——积分格距,选用 $1\,000\text{m}$;

C_{ij} ——积分常数,选用梯形系数;

r_{ij} ——积分节点(i, j)与计算点之间的距离;

h_{ij} ——积分节点(i, j)与计算点之间的高程差。

J1.1.2 圆域内接口的处理方法

由于各区为圆接口而计算远一区地改方法是方域,这就需要解决接口问题。在内接口上需要加四个补角(图 J1),图中由 AC 为内口构成补角 $\triangle ABC$,用式(J2)计算其地形改正值。

$$\Delta g = \frac{G\rho S}{R} \left(1 - \frac{R}{\sqrt{R^2 + \Delta H^2}} \right) \dots\dots\dots (\text{J2})$$

式中: S ——补角面积, $S = \frac{1}{4}(4 - \pi)r^2$; $R = 1.105r$ 。

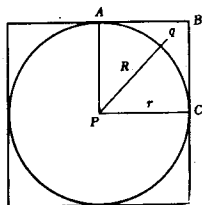


图 J1 补角计算图

对内接口半径为 1km 时, r 为 $1\,000\text{m}$; 对内接口半径为 2km 时, r 为 $2\,000\text{m}$;

$\Delta H = H_i - H_j$; 其中 H_i ——计算点高程; H_j ——补角高程。

补角高程 H_i 由邻近四节点插值得, 选用距离加权函数插值求取, 公式为:

$$H_i = \frac{\sum_{i=1}^4 W_i Z_i}{\sum_{i=1}^4 W_i} \dots\dots\dots (\text{J3})$$

$$W_i = \frac{1}{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \dots\dots\dots (\text{J4})$$

式中: Z_i ——节点高程;

H_i ——补角高程代表点的高程;

W_i ——权系数;

x, y ——计算点坐标;

x_i, y_i ——节点坐标。

J1.1.3 外接口的处理方法

用半径 20km 划圆,凡是节点落在圆外的就不参加计算,相当外接口为一个锯齿状,带来的误差在允许的范围之内。

J1.1.4 插值计算:

自由网测点 P 的地形改正值,是以 P 点就近四个节点(图 J2),地形改正值用双线性插值公式算出,公式为:

$$\Delta g_P = \Delta g_A \left(1 - \frac{x_P}{L}\right) \left(1 - \frac{y_P}{L}\right) + \Delta g_B \left(1 - \frac{x_P}{L}\right) \left(\frac{y_P}{L}\right) + \Delta g_C \left(\frac{x_P}{L}\right) \left(1 - \frac{y_P}{L}\right) + \Delta g_D \left(\frac{x_P}{L}\right) \left(\frac{y_P}{L}\right) \dots\dots\dots (J5)$$

式中: Δg_P ——测点地形改正值;

$\Delta g_A, \Delta g_B, \Delta g_C, \Delta g_D$ ——节点地形改正值;

L ——格距取 1 000m;

x_P, y_P ——以 A 点为圆点的 P 点坐标。

J1.1.5 函数表

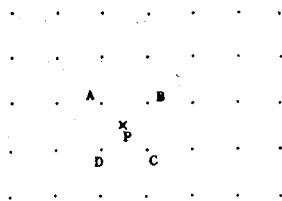


图 J2 插值示意图

为提高计算速度避免大量调用开方标准函数,设:

$$\varphi(H_1) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1+H_1^2}}$$

式中: $H_1 = \frac{h_{ij}}{r_{ij}}$,若预先计算出一个 $\varphi(H_1)$ 函数表,利用查表就大大提高了计算速度。因此,在程序中 H_1 从 0.005 开始,每隔 0.005 算出一个 $\varphi(H_1)$ 值,共计算出 254 个函数值,相当包括 H_1 小于 1.2 的全部 $\varphi(H_1)$ 值,调用时用 $H_1 \times 200$ 作为下标直接到 $\varphi(H_1)$ 函数表中去找。

J1.2 其他地形改正方法及程序

其他地形改正方法有多参数法地形改正和直接法地改。方法原理从略(详见地矿部高程数据库研究报告)

J1.3 试算与对比结果

J1.3.1 与锥形地形模型的试算对比

锥形体重力公式为:

$$\Delta g = 2\pi G\rho(1 - \cos i) \dots\dots\dots (J6)$$

以锥顶为中心计算 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 节点网高程公式为:

$$H = \text{tg}i \times r \quad \dots\dots\dots (\text{J7})$$

用(J6)式计算出: $i=15^\circ$; $i=5^\circ$ 两个锥形的重力值, 用(J7)式算出节点网高程, 用三种地形改正方法分别计算, 结果见表 J1, 从对比结果上看方法 I、方法 II 都有较高精度, 方法 III 略差一些。

J1.3.2 与中等山区手算结果对比

我们以湖南省地质局物探大队提供的 60 个点手算地形改正值作对比。手算时环带划分为: $1 \sim 1.5$; $1.5 \sim 2$; $2 \sim 3$; $3 \sim 5$; $5 \sim 7$; $7 \sim 10$; $10 \sim 15$; $15 \sim 20$, 单位为公里。

湖南地形条件为中等山区, 一般比高为 $300 \sim 1\,200\text{m}$, 地形坡度为 $6^\circ \sim 30^\circ$ 。具有一定的代表性。对这 60 个点统计了 $2 \sim 20\text{km}$ (表 J2) 的对比计算结果。按规范要求远一区 ($2 \sim 20\text{km}$) 地形改正均方误差在平原丘陵区为 $\pm 0.18 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$, 山区为 $\pm 0.22 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。三种方法计算结果都能满足要求, 其中, 共用点法和多参数法精度较高, 与模型对比结果相一致, 从计算速度上看共用点法和直接法较高, 这也是直接法最主要的优点。

表 J1

 10^{-5}m/s^2

方 法	模 型	$i=15^\circ$			$i=5^\circ$		每点机时 (s/点)
		Δg	$\Delta(\Delta g_{\text{计}} - \Delta g_{\text{算}})$	相对误差	Δg	$\Delta(\Delta g_{\text{计}} - \Delta g_{\text{算}})$	
理论值		68.630	—	—	7.664	—	—
共用点法(方法 I)		68.705	0.075	0.1%	7.588	-0.076	1.32
多参数法(方法 II)		68.511	-0.119	0.17%	7.640	-0.0224	5.73
直接法(方法 III)		67.672	-0.958	1.39%	7.275	-0.389	0.65

表 J2

 10^{-5}m/s^2

项	手算	共用点法	多参数法	直接法
地形改正平均值	1.184	1.145	1.155	1.113
均方误差	—	0.119	0.114	0.120
系统误差	—	-0.051	-0.038	-0.068

J1.3.3 在极坏地形条件下各地形改正程序的计算对比

在我国地形条件最差的山区—川西地区, 计算了 32 个对比点, 地形改正值最大可达 $33 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$, 以多参数法为标准计算均方误差: 共用点法为 $0.097 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$; 直接法为 $0.25 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$, 从上述计算可以看出: 三种方法在一般山区(如湖南)都能满足地改精度要求, 在地形条件极坏地区(如川西)直接法误差就显得大了点。这一点与理论模型对比结果相一致。从计算速度上看, 直接法最快, 多参数法最慢。总的说来共用点法兼顾了两个优点, 精度高(0.1%)、速度快(1.38s/点)。

J2 远二区(20km~166.7km)

J2.1 球面圆域地形改正

J2.1.1 理论模型和计算公式:

如图 J3 所示, 以地球球心为坐标原点, OZ 轴通过测点 P, XOZ 面沿着 P 点所在的地理子午面, OX 轴与地球旋转轴 ON 分别在 OZ 轴的两侧。在球极坐标系下, 用圆锥面和半平面来划分环和块, 以球心角 $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 的 n 个圆锥面把 166.7km 以内的球面划分为 n 个环带, 再用方位角 $\varphi = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ 的

m 个半平面把每一环分成 m 块, 每一块的底面是以地球平均半径 R 为半径所做的球面, 顶面为地形的自由表面, 块的形状是球壳扇形块。一个环带的地形改正影响值可以由下列的积分公式表示为:

$$\Delta g = G\rho \int_0^h \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_0^{2\pi} \frac{(R+Z) - (R+h)\cos\theta}{[(R+Z)^2 + (R+h)^2 - 2(R+Z)(R+h)\cos\theta]^{3/2}} \times (R+h)^2 \sin\theta d\varphi d\theta dh \quad (J8)$$

式中: R ——地球平均半径;

Z ——计算点高程;

h ——环带平均高程;

G, ρ ——同前。

对(J8)式积分得:

$$\begin{aligned} \Delta g = & 2\pi G\rho \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{y^2}{(R+Z)^2} + \frac{1}{3} \cdot \frac{y\cos\theta}{R+Z} + \cos^2\theta - \frac{2}{3} \right] \\ & \times [(R+Z)^2 - 2(R+Z)y\cos\theta + y^2]^{1/2} + (R+Z)(\cos^2\theta - \cos\theta) \\ & \ln \{ 2y - 2(R+Z)\cos\theta + 2[y^2 - 2(R+Z)y\cos\theta + (R+Z)^2]^{1/2} \} \\ & \left| \begin{array}{l} \theta = \theta_2 \\ \theta = \theta_1 \end{array} \right|_{y=R+h}^{y=R} \quad (J9) \end{aligned}$$

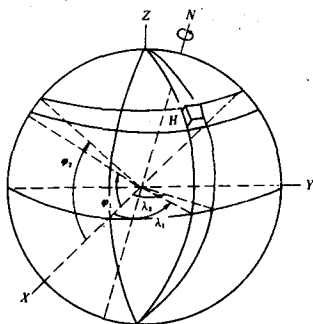


图 J3 球体理论模型示意图

为了提高程序的计算速度, 将(J9)式做如下变换。令:

$$r = \frac{y}{R+Z}; r_1 = \frac{R}{R+Z}; r_2 = \frac{R+h}{R+Z};$$

则:

$$\begin{aligned} \Delta g = & -\frac{2}{3}\pi G\rho(R+Z)(2-r^2-r\cos\theta-3\cos^2\theta) \\ & \times (1-r^2-2r\cos\theta)^{1/2} + 3(\cos\theta-\cos^2\theta) \\ & \times \{ \ln[2(R+Z)] + \ln[r-\cos\theta + (1+r^2-2r\cos\theta)^{1/2}] \} \left| \begin{array}{l} r=r_2 \\ r=r_1 \end{array} \right|_{\theta=\theta_2}^{\theta=\theta_1} \quad (J10) \end{aligned}$$

考虑到地形改正值应是影响值的变号, 在定积分中的常数项 $\ln[2(R+Z)]$ 的运算结果为零, 每一块

的影响值为一个环带的 m 分之一,再令:

$$E(\theta, r) = (2 - r^2 - r \cos \theta - 3 \cos^2 \theta)(1 + r^2 - 2r \cos \theta)^{1/2} + 3(\cos \theta - \cos^3 \theta) \ln[r - \cos \theta + (1 + r^2 - 2r \cos \theta)^{1/2}] \dots \dots \dots (J11)$$

于是,每一块的地形改正值可以写成:

$$\Delta g = \frac{2\pi}{3m} \times G\rho(R+Z)E(\theta, r) \left| \begin{matrix} r=r_2 \\ r=r_1 \end{matrix} \right|_{\theta=\theta_1}^{\theta=\theta_2} \dots \dots \dots (J12)$$

将所有块的地形改正值相加求和,即可得到远二区的地形改正值。

为了进一步提高运算速度,将(J11)式预先做成一个二维函数表,以供计算时调用。为说明用函数表的计算精度,把西安地区 5 个重力测点分别用公式直接计算和 r 步长为 0.000 005 和 r 步长为 0.000 002 5 的函数表法三种方法计算结果列于表 J3。

表 J3 10^{-5}m/s^2

点序号	公式计算	r 步长 0.000 005		r 步长 0.000 002 5	
	Δg_0	Δg_1	$\Delta g_1 - \Delta g_0$	Δg_2	$\Delta g_2 - \Delta g_0$
1	-2.373	-2.309	0.064	-2.392	-0.019
2	-4.300	-4.181	0.182	-4.000	0
3	-5.007	-5.112	-0.105	-4.972	0.035
4	-3.878	-3.842	0.036	-3.842	0.036
5	-1.675	-1.737	-0.062	-1.663	0.012
$\overline{\Delta g}$	-3.447	-3.436	0.011	-3.434	0.013
S			0.113		0.023

从表 J3 中可以看出,采用 r 步长为 0.000 002 5 的函数表之后,计算精度是可以保证的。在 r 值超出函数表范围时,仍直接用公式计算。

J2.1.2 球壳质块的高程

计算远二区的地形改正值(包括远一区均改部分)时,采用的高程资料是全国 $5' \times 5'$ 高程节点网资料,将每个球壳扇形块中落入的 $5' \times 5'$ 高程数据的个数相加求和取平均值作为这一块的平均高程。当落入某球壳扇形块内的 $5' \times 5'$ 高程数据的个数为零时,用与该块质心相邻近的四个节点值双线性内插求取。

要得到与计算点相关的各球壳扇形块的高程数据,必须把 $5' \times 5'$ 节点网高程数据的地理坐标值转换成以计算点为极的球极坐标系下和新坐标值。在图 J4 中, N 为地理北极, $P(\varphi_0, \lambda_0)$ 为计算点, $M(\varphi, \lambda)$ 是某一球壳质块的中心点, α, β 即 M 点在以 P 点为极点的球极坐标系下的坐标值。从球面三角关系可以推出下列公式:

$$\cos \alpha = \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0) \dots \dots \dots (J13)$$

$$\tan \beta = \frac{\cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0)}{\sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)} \dots \dots \dots (J14)$$

根据 $\cos \alpha, \tan \beta$ 值的大小即可求出该点所在的环带和方位序数,将球壳扇形块中落入的 $5' \times 5'$ 高程

数据求平均值做为该扇形块的平均高程 H 。

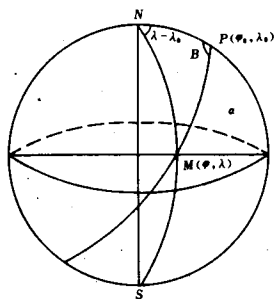


图 J4 球面坐标关系图

J2.1.3 环带和方位数

计算使用的分环参数见表 J4。

表 J4

环带序号	分环(km)	方位数	环带序号	分环(km)	方位数
1	140~166.7	16	6	50~60	16
2	120~140	16	7	40~50	16
3	100~120	16	8	30~40	16
4	80~100	16	9	25~30	8
5	60~80	16	10	20~25	8

J3 均衡改正

J3.1 按照艾里-海斯卡宁均衡理论球面条件下的均衡条件可表示为:

$$V_1 \Delta \rho = V_2 \rho \quad \text{..... (J15)}$$

V 在球极坐标下积分:

$$V = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{R_1}^{R_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} R^2 \sin \theta d\theta dR d\varphi = \frac{1}{3} \varphi R^2 \cos \theta \left| \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right| \frac{R_2}{R_1} \left| \frac{\theta_2}{\theta_1} \right|$$

代入(J15)式可写成:

$$\Delta \rho [(R-D)^3 - (R-D-t)^3] = \rho [(R+h)^3 - R^3] \quad \text{..... (J16)}$$

$$t = R - D - \left[(R - D)^3 - \frac{\rho}{\Delta\rho} [(R + h)^3 - R^3] \right]^{1/3} \quad \text{..... (J17)}$$

式中 D 为地壳平均厚度, 其他参数代表的意义同前

将(J16)式展开, 经整理后略去 $h/R, t/R, D/R$ 的二次项和三次项后, 令 $t = \eta h$, 可得:

$$\eta = \frac{\rho}{\Delta\rho} \left(1 + \frac{2D}{R} \right) \quad \text{..... (J18)}$$

即:

$$t = 4.45 \left(1 + \frac{2D}{R} \right) h \quad (\text{大陆}) \quad \text{..... (J19)}$$

$$t = 2.37 \left(1 + \frac{2D}{R} \right) h \quad (\text{海洋}) \quad \text{..... (J20)}$$

J3.2 试算结果对比

在试算中, 进行了模型计算, 并与手算点进行了对比。

J3.2.1 模型对比

所设计的模型为 $H = 1\,000\text{m}$ 的有限球壳。计算点高程 $Z = 1\,000\text{m}$ 。将 $Z, H, \theta_1 (\theta = 20\text{km}/R), \theta_2 (\theta_2 = 166.7\text{km}/R)$ 代入(J9)式, 求出有限球壳的地改理论值为: $\Delta g_D = -3.747 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$, 表 J5 列出了它与各程序所算值的对比情况。

表 J5

项 目 \ 方 法	远二地改 (20~166.7km)
地改值(10^{-5}m/s^2)	-3.724
绝对误差(10^{-5}m/s^2)	0.023
相对误差	0.6%
机时(s/点)	0.6

J3.2.2 与手算资料对比

手算资料采用西安地区五点。手算方法是先把 $5' \times 5'$ 高程数据展在百万分之一地形图上, 按表 J4 所列数据做量板, 用透明纸量板在数据图上读取每个扇形块所落入数据, 求得每个扇形块的平均高程, 然后代入(J9)式, 求得五个点的远二区地形改正值。它与数据库各程序所算值对比情况见表 J6。

从与理论模型对比的手算结果对比来看, 计算误差不大, 精度满足要求。

表 J6

点 项		1	2	3	4	5	S	F
X(度)		34°	34°	34°	34°	34°		
y(度)		111°	111°10'	111°20'	111°30'	111°40'		
z(m)		810	1 280	1 423	1 185	688		
手算值		-2.631	-4.556	-4.752	-3.894	-1.685		
V	Δg	-2.373	-4.300	-5.007	-3.878	-1.675	0.213	0.057
	Δ	0.258	0.256	-0.255	0.016	0.010		
VI	Δg	-1.837	-3.810	-4.562	-3.416	-1.204	0.243	0.538
	Δ	0.794	0.746	0.190	0.478	0.481		
VII	Δg	-2.333	-4.267	-4.996	-3.842	-1.637	0.222	0.089
	Δ	0.298	0.289	-0.244	0.052	0.048		

附 录 K
重力测区索引表
(参考件)

第 页

项 目		内 容		备 注
1	测区名称及编号		编号:	编号由数据库编
2	比例尺			
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		
		11		
		12		
		13		

测区示意图

项 目		内 容	备 注
4	地改所用密度(g/cm^3)		
5	点位中误差(m)		
6	高程中误差(m)		
7	近中区地改中误差($10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$)	σ_{RT}	
8	测点观测均方误差($10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$)	σ_{p}	
9	各级基点网均方误差($10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$)	σ_1 σ_2 σ_3	
10	布格重力异常总均方误差($10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$)		由数据库计算
11	仪器型号		
12	所用国家控制点名称		
13	工作起止年月		
14	工作单位		代码:
15	原始资料存放单位		代码:

填写者:

检查者:

日期:

附加说明:

本标准由全国地质矿产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区域重力调查方法技术中心负责起草。

本标准主要起草人金宜声、廖永卫、李志、顾全民、涂承林。