



中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0381—2021

航空重力测量技术规范

Specification for airborne gravity survey

2021-08-19 发布

2021-11-01 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 总则	2
4.1 应用范围	2
4.2 测量参数	2
4.3 成果解释	2
4.4 基本要求	2
5 技术设计	3
5.1 资料收集	3
5.2 测区踏勘	3
5.3 测区范围确定	3
5.4 测网布置	3
5.5 飞行高度确定	4
5.6 飞行速度确定	5
5.7 导航定位及精度	5
5.8 航空自由空间重力异常总精度与误差分配	6
5.9 航空布格重力异常总精度与误差分配	6
5.10 设计编制与审批	7
6 仪器设备	7
6.1 仪器设备组成	7
6.2 仪器设备检测	7
6.3 航空重力测量飞机	7
6.4 航空重力测量系统	8
7 测量飞行与野外工作	8
7.1 测量设备安装	8
7.2 全球导航卫星系统基站布设	8
7.3 地面重力基点建立	9
7.4 航空重力仪加温及静态测试	9
7.5 导航定位仪测试	9
7.6 测线测量飞行	10
7.7 辅助飞行测量	11
7.8 航空重力原始资料编录	12
7.9 原始资料现场检验	12

7.10 岩(矿)石标本采集与密度参数测定	13
8 数据处理与图件编制	14
8.1 数据处理	14
8.2 基础图件编制	19
8.3 质量评价	20
8.4 数据处理报告编写	22
8.5 测量成果验收	23
9 航空重力资料推断解释	23
9.1 推断解释分类	23
9.2 推断解释基本要求	23
9.3 区域重力场解释	23
9.4 局部重力异常解释	23
9.5 航空重力推断解释图件	25
10 成果报告编写与提交	25
附录 A (资料性) 航空重力测量工作设计书编写提纲	27
附录 B (规范性) 航空重力测量内外符合精度评价方法	30
附录 C (资料性) 航空重力仪检测结果记录表	32
附录 D (资料性) 航空重力测量质量统计表	33
附录 E (资料性) 航空重力测量成果报告编写提纲	34
参考文献	38

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本文件起草单位：中国自然资源航空物探遥感中心。

本文件主要起草人：周锡华、郭志宏、熊盛青、姜作喜、刘英会、屈进红、李冰、罗锋、王蓬、邓肖丹、乔扬、段乐颖等。

航空重力测量技术规范

1 范围

本文件规定了航空重力测量的技术设计、仪器设备、测量飞行与野外作业、数据处理与图件编制、航空重力资料推断解释、成果报告编写与提交等技术要求。

本文件适用于基础地质调查、油气与矿产资源勘查的航空重力测量,水文及工程地质勘查的航空重力测量亦可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 18314 全球定位系统(GPS)测量规范
DZ/T 0004 重力调查技术规定(1:50 000)
DZ/T 0069 地球物理勘查图图式图例及用色标准
DZ/T 0171—2017 大比例尺重力勘查规范

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

航空重力测量 airborne gravity survey

利用航空重力仪、定位仪等组成的航空重力测量系统,借助于专业测量飞机进行的空中重力测量,通过测量地球重力场(异常)研究基础地质及寻找矿产和能源资源等的一种地球物理方法。

3.1.2

内符合精度 RMS of repeat line noise level

相同飞行条件和状态下,各重复线重力测量数据与它们的平均重力数据差值的均方差。

3.1.3

外符合精度 RMS of differentials between flight line and ground data

航空重力与相同位置上延到飞行高度的地面重力差值的均方差。

3.1.4

低通滤波截止频率 cut-off frequency of low-pass filter

滤除航空重力测量数据中的高频干扰噪声获得满足精度要求的重力信息的低通滤波频率。

3.1.5

航空重力空间分辨率 spatial resolution of airborne gravity

以航空重力系统的测量精度可区分重力异常的最短波长,通常定义为可区分重力异常半波长的长度。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

3.2.1

GNSS

Global Navigation Satellite System,全球导航卫星系统。

3.2.2

PDOP

Position Dilution of Precision,位置精度因子。

3.2.3

UTM

Universal Transverse Mercator Grid System,通用横墨卡托格网系统。

4 总则

4.1 应用范围

航空重力测量主要用于基础地质研究、油气资源和固体矿产勘查。

4.2 测量参数

航空重力标量 Δg 测量,测量精度应优于 $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

4.3 成果解释

利用航空重力测量结果,在数据处理和位场转换处理的基础上,结合地质、矿产、化探、钻探、遥感和其他物探等资料,进行综合推断解释,解决资源勘查和基础地质研究等问题。

4.4 基本要求

4.4.1 采用 2000 国家重力基准。

4.4.2 采用 2000 国家大地坐标系。

5 技术设计

5.1 资料收集

收集和分析测区及邻区地质、地球物理、地球化学、遥感、钻探及测绘等资料,收集测区的地形、地理、水文和气象资料,收集测区内的各种重力资料,并整理出区内不同岩性密度的统计表。

5.2 测区踏勘

设计书编制前,宜前往测区现场踏勘,了解飞行作业条件,包括:管制测量区域空域的相关部门、空域繁忙程度、作业机场、夜航条件、空中与地面保障条件、交通条件、气候变化和生活保障等。

5.3 测区范围确定

5.3.1 测区范围确定原则

测区范围应根据工作任务要求,结合测区的地形、地质、矿产以及以往物探工作程度等合理确定,并兼顾资料完整和施工方便。测区应完全包括被探测对象,保证异常轮廓完整性,并有一定范围的背景场衬托。测区边界应规则,应保证不同测区、不同年份工作成果的拼接。

5.3.2 测区范围确定因素

5.3.2.1 如果测区地形高度相差较大,可以根据地形将测区分为不同区块分别进行测量,降低测量高度。

5.3.2.2 测区应与相邻高精度或同精度测量的测区重复 2 条~3 条测线距的宽度;测线两端应与相邻高精度或同精度测量的测区原则上重复 3 km~5 km。

5.3.2.3 申报空域范围时,应根据航空重力仪的技术性能及载体速度,适当延长测线两端长度,以保证测区内有效重力数据的完整性。

5.4 测网布置

5.4.1 测线布置

5.4.1.1 测线的布置应根据地质任务、探测对象的大小、异常特点及航空重力异常空间分辨率来确定,以不漏掉主要的探测对象和异常为原则,即至少应有一条测线穿过主要异常,所以测线间距应不大于目标重力异常宽度的一半。

5.4.1.2 区域性航空重力的主测线方向应垂直于或基本垂直于测区内的主要地质构造走向,大比例尺航空重力的主测线方向应垂直于或基本垂直于探测目标物的走向。

5.4.1.3 当航空重力测量比例尺小于或等于 1:1000 00 时,一个测区使用一个折中的主测线方向。当大于 1:100 000 时,在一个测区的不同区段由于异常走向(或地质构造走向,或多数已知矿带走向)改变时,主测线方向也要相应改变,但应不多于两种测线方向。

5.4.1.4 在测区内,对局部成矿有利地段或有意义的地区,可加密测线间距进行测量。

5.4.2 控制线布置

5.4.2.1 通常要求布设垂直于测线方向的控制线,统一全区重力场水平,评估测量质量,了解垂直测线

方向重力异常的变化情况。

5.4.2.2 控制线应选择在重力场相对平静和地形高差变化比较平缓的地段,并应与要求测线上的飞行高度及飞行速度一致。

5.4.2.3 控制线间距应根据工作任务的要求和地区的特点进行制定,通常选择为测线间距的10倍。

5.4.3 测量比例尺选择

5.4.3.1 测量比例尺应根据任务、探测对象大小、飞行高度和技术设备(空间分辨率、精度等)情况,以及经济上的合理性等因素,综合分析测量的预期效果后确定。

5.4.3.2 区域性和综合性、油气勘查的航空重力测量通常选用比例尺为1:50 000~1:200 000,固体矿产勘查的航空重力测量比例尺不小于1:50 000。

5.4.3.3 测线间距和测量比例尺相关,其对应的具体关系见表1。

表1 测线间距与测量比例尺、测点距对照表

测线间距 m	测量比例尺 m	测点距 m
500	1:50 000	15~30
1 000	1:100 000	30~60
2 000	1:200 000	30~60

5.5 飞行高度确定

5.5.1 飞行高度确定依据

飞行高度确定应考虑以下因素:

- 飞行高度要与测量比例尺相适应;
- 应采用同一高度平飞,局部地区可采用沿地形起伏飞行的方式以降低整体飞行高度;
- 需要综合考虑与之同时作业的其他航空物探探测的技术要求;
- 选择作业气候条件下飞行比较平稳的高度,提高原始数据测量质量。

航空重力测量应综合考虑测量的地质效果、测区的地形条件和飞行时的气流大小,应以较低的同一高度平飞为宜。

5.5.2 不同测量目的的飞行高度

5.5.2.1 当以比例尺大于1:50 000进行矿产资源勘查为主的航空重力、航空重磁等测量时,应采用平飞加缓起伏飞行的方式,飞行高度应平均离地200 m~400 m。

5.5.2.2 当进行以油气资源勘查为主的航空重力、航空重磁等测量时,应采用平飞的方式,局部高差较大地区可缓起伏飞行,通过主要山头时离地高度应不低于200 m。

5.5.3 不同地势的飞行高度

5.5.3.1 在地势平坦的情况下,如测量比例尺大于或等于1:100 000,应采用平均离地高度200 m~400 m的平飞方式;如测量比例尺小于或等于1:200 000,应采用平均离地高度400 m~600 m的平飞方式。

5.5.3.2 在丘陵及山区飞行,应采用过主要山头离地高度不少于100 m的高度进行平飞。但当以大比

例尺进行矿产资源勘查,或测区内高差较大,或开展航空重磁综合测量时,应采用平飞加缓起伏飞行的方式。

5.5.3.3 飞行高度和测量比例尺、地形相关,其对应的具体关系见表2,应以不高于表2中的平均离地飞行高度开展航空重力测量。

表2 不同地形条件下测量比例尺、飞行高度对照表

测量比例尺	平均离地飞行高度 m				
	平原地区 (高差<100 m)	丘陵地区 (高差<200 m)	低山区 (高差<400 m)	山区 (高差<600 m)	高山区 (高差>600 m)
1:50 000	200~400	300~500	400~600	500~800	
1:100 000	300~400	400~600	500~700	600~1 000	800~1 200
1:200 000	400~600	500~700	600~800	700~1 200	800~1 400

5.5.4 飞行高度实施要求

5.5.4.1 平飞时飞行高度变化不宜超过设计高度 ± 20 m。

5.5.4.2 缓起伏飞行时,飞行高度应以主要山头的外包络线来设计,起伏坡度应不大于 3° ,宜长周期、少起伏。

5.6 飞行速度确定

5.6.1 航空重力测量的飞行速度须针对任务要求和选用的飞机来确定,应选取飞行稳定性高的较低速度进行测量,地速应保持基本一致。

5.6.2 对于小型固定翼飞机,飞行速度可选为180 km/h~250 km/h;对于直升机,飞行速度应不超过160 km/h;对于高原密封舱或远航程飞机,飞行速度应不超过400 km/h。

5.6.3 对于特殊目的的航空重力测量,应根据任务要求制定合理的飞行速度。

5.7 导航定位及精度

5.7.1 导航定位方法

导航定位应采用全球导航卫星系统,或采用同等以上定位精度的导航定位系统。

5.7.2 导航定位精度

5.7.2.1 导航精度以每条测线实际飞行的航迹偏离预定测线的距离和测网疏密度来衡量。要求所有测线都要满足偏航超过80 m的连续测线长度小于5 km,平均测网疏密度要求控制在线距 ± 80.0 m之内。

5.7.2.2 重力解算的定位误差采用静态精度来衡量,北向、东向和天向静态定位精度应不大于 ± 0.1 m。全球导航卫星系统采用差分,设置卫星截止高度角为 10° ,基准站和移动站同步观测数据时间不少于2 h,处理后的精度应达到要求。

5.7.2.3 导航的定位精度也采用静态精度来衡量,观测数据时间不少于2 h,北向、东向和天向静态定位精度应不大于 ± 10 m。

5.7.2.4 连续偏航大于 80 m 长度为 5 km 以上的测线应进行补测。补测线段两端与合格测线重复长度不得少于 5 km,并且每根补测测线应至少与 3 条控制线相交。

5.8 航空自由空间重力异常总精度与误差分配

5.8.1 航空自由空间重力异常总精度是指对测点的重力观测值进行外界干扰加速度、正常重力场、重力高度等多项改正后进行低通滤波得到的重力异常总精度。外界干扰加速度是指载体垂向加速度、水平加速度、飞行速度变化和零漂等外界影响的综合反映。

5.8.2 航空自由空间重力异常总精度应根据测区地质特点、工作任务要求、仪器设备和外界干扰加速度引起的测量误差等合理确定,应保证测量精度能满足地质任务需求,同时兼顾资料的持续使用和综合利用等问题。

5.8.3 航空自由空间重力异常总精度应按表 3、表 4 执行,在保证总精度指标的前提下,可以根据工作方法、仪器性能和外界加速度干扰等情况适当调配各项精度指标。

表 3 航空自由空间重力异常总精度参考表

单位为 10^{-5} m/s^2

自由空间重力异常总精度	重力观测均方误差	外界加速度干扰改正均方误差	正常重力场改正均方误差	重力高度改正均方误差
0.6	0.3	0.49	0.1	0.15
0.8	0.3	0.72	0.1	0.15
1.0	0.3	0.94	0.1	0.15

表 4 外界干扰加速度改正均方误差参考表

单位为 10^{-5} m/s^2

外界加速度干扰改正均方误差	垂向加速度改正均方误差	水平加速度改正均方误差	厄特渥斯改正均方误差	零漂改正均方误差
0.49	0.30	0.20	0.30	0.15
0.61	0.45	0.20	0.30	0.20
0.72	0.55	0.30	0.30	0.20
0.82	0.65	0.30	0.35	0.20
0.94	0.75	0.35	0.40	0.20

5.9 航空布格重力异常总精度与误差分配

5.9.1 航空布格重力异常总精度是指对航空自由空间重力异常进行布格、地形等多项改正后得到的重力异常总精度。

5.9.2 航空布格重力异常总精度应根据航空自由空间重力异常总精度、地形改正误差和布格改正误差等合理确定。

5.9.3 航空布格重力异常总精度应按表 5 执行,地形改正均方误差部分使用 DZ/T 0171—2017 中确定的地形改正均方误差。在保证总精度指标的前提下,可以根据工作方法、仪器性能和地形条件等适当调配各项精度指标。

表5 航空布格重力异常总精度参考表

布格重力异常总精度 10^{-5} m/s^2	自由空间重力异常总精度 10^{-5} m/s^2	地形改正均方误差 (200 m 以远) 10^{-5} m/s^2	地形高程均方误差 m
0.61	0.60	0.125	$\pm 20 \sim \pm 30$
0.81	0.80	0.125	$\pm 20 \sim \pm 30$
1.01	1.00	0.125	$\pm 20 \sim \pm 30$

5.10 设计编制与审批

5.10.1 依据项目任务书、合同书和本文件的要求,项目承担单位须编写项目设计书,设计书编写提纲见附录 A。

5.10.2 设计书须经甲方审批批准后实施,设计变更后也应经甲方审批批准后才能实施。

6 仪器设备

6.1 仪器设备组成

6.1.1 设备主要包括:航空重力仪、高精度定位系统(如全球导航卫星系统双频差分移动站系统)、数据采集控制系统、导航系统和不间断电源系统等。

6.1.2 应明确设备的各项技术指标,并给出系统集成方案。

6.2 仪器设备检测

6.2.1 航空重力系统在飞机上安装之前,须按设计技术指标对航空重力系统进行检查验收。达不到要求时,不得进行安装。检测人员应提供检测试验资料和记录。

6.2.2 检测的主要内容:重力静态测量精度应小于或等于 $0.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 24 h 零点漂移应小于或等于 $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 静态定位精度应小于或等于 0.1 m。

6.2.3 每三个月至少对仪器设备进行通电检查一次,及时更换蓄电池。

6.3 航空重力测量飞机

6.3.1 飞机选取原则

6.3.1.1 飞机应具有自动驾驶仪,飞行时机械振动不明显影响航空重力的测量精度。

6.3.1.2 机舱中要有足够的空间安装航空重力仪,且航空重力仪可安装在飞机的重心位置附近。

6.3.1.3 载荷应满足航空物探设备的重量要求。

6.3.2 飞机改装

6.3.2.1 根据舱室空间、飞机重心和仪器特点等因素进行舱内合理布局设计。

6.3.2.2 应考虑航空重力仪要求的电流负载能力和机载供电电流滤波等问题。

6.3.2.3 应将定位传感器(如全球导航卫星系统天线)安装在航空重力仪正上方附近,同时要考虑机载

设备对定位传感器产生的遮挡和干扰作用较小。

6.4 航空重力测量系统

6.4.1 航空重力测量系统主要包括航空重力仪、导航定位系统及相关辅助设备。

6.4.2 航空自由空间重力异常测量精度(或重复线内符合精度)应优于 $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 且必须满足勘查任务的精度要求。

6.4.3 使用全球导航卫星系统差分方式进行导航定位时,须使用带有差分方式的双频测地型全球导航卫星系统,观测量应有载波相位,其标称动态精度应满足:平面精度[单位为米(m)]($0.01 + 1 \times 10^{-6} \times D$),高程精度[单位为米(m)]($0.02 + 1 \times 10^{-6} \times D$)。D 为基线长度,其单位为米(m)。

7 测量飞行与野外工作

7.1 测量设备安装

7.1.1 航空重力仪安装

7.1.1.1 航空重力仪应安装在飞机重心位置附近,水平偏离应不超过 1 m,须与飞机固定为一体,稳定且有效避开飞机震动对航空重力仪的影响。

7.1.1.2 航空重力仪传感器的纵轴应与飞机纵轴线方向一致,并靠近飞机的轴线。

7.1.1.3 测量航空重力仪传感器到地面的垂直距离[单位为米(m)],测量精度应优于 0.1 m。

7.1.2 定位传感器安装

7.1.2.1 定位传感器(如全球导航卫星系统天线)应安装在航空重力仪正上方附近,偏离重力仪水平距离不应超过 3 m。

7.1.2.2 定位传感器附近应无干扰源,离电台发射天线的距离应大于 1 m,同时应避免飞机部件对传感器遮挡。

7.1.2.3 在飞机坐标系中,测量定位传感器到航空重力仪传感器的相对坐标偏移 X_{ant} (右为正)、 Y_{ant} (前为正)、 Z_{ant} (上为正),测量精度应优于 0.1 m。

7.1.3 导航仪安装

导航显示器应当安装在飞机前部方便驾驶员监控和操作的位置。

7.1.4 地面电源建立

7.1.4.1 应建立地面不间断电源保证航空重力仪不间断加温,无外接电源时不间断供电时间不小于 4 h。

7.1.4.2 地面供电电源应能灵活移动,方便接入机载重力设备。

7.2 全球导航卫星系统基站布设

7.2.1 采用差分方式定位时,须建立全球导航卫星系统基站。

7.2.2 原则上,全球导航卫星系统基站要布设在测区范围内,应使用较短基线进行测量,基线长度应控制在 200 km 之内,不宜超过 500 km;采用更长基线测量时,应通过试验验证长基线能否满足航空重力测量精度的要求。

7.2.3 全球导航卫星系统基站要选在周围无遮挡(从天线位置看,仰角 10° 范围内无遮挡物)、电磁干扰少的地方。应远离大功率的无线电发射台和高压输电线(应不小于 200 m);附近不应有大面积的水域,或高大建筑物,或对电磁波反射(或吸收)强烈的物体。同时建立主基和备份两个基站。

7.2.4 作业前,需要进行至少 12 h 的静态观测,以了解周围的观测环境和干扰状况是否有利于执行观测,了解卫星星历的变化情况,应在卫星状态好的时段进行测量。

7.2.5 全球导航卫星系统基站须与附近两个国家地面 GPS 控制点进行引点联测,联测按 GB/T 18314 相关要求执行。解算出基站的精确三维空间位置,联测时间不少于 2 h,处理后的北向、东向和天向定位误差应不大于 ± 0.1 m。宜在飞行前完成基站的引点测量工作。

7.2.6 同一测区应使用统一的全球导航卫星系统控制网。

7.3 地面重力基点建立

7.3.1 基本要求

应在航空重力仪正下方的停机坪上建立一个重力基点,传递绝对重力值和确定零点漂移改正数。地面重力基点引点测量按 DZ/T 0004 相关要求执行。

7.3.2 仪器准备

地面重力基点引点前,应完成用于重力引点重力仪的调节和校验、格值标定和性能试验。

7.3.3 国家重力基点资料收集

收集测区附近的 2000 国家重力基本网系统的重力基点资料。

7.3.4 地面重力基点引点

7.3.4.1 重力基点点值应由高精度地面重力仪利用双程往返观测法,从 2000 国家重力基本网系统的重力基点引入。地面重力基点的联测精度应优于 $0.05 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

7.3.4.2 同一测区重力基点均应使用 2000 国家重力基本网。

7.4 航空重力仪加温及静态测试

7.4.1 航空重力仪加温

7.4.1.1 航空重力仪应通电加温 48 h 后才能进行调试,且作业期间需要在恒温状态下工作。

7.4.1.2 航空重力仪调试和参数设置,应按仪器操作手册或说明书执行。

7.4.2 重力仪静态测试

7.4.2.1 静态精度测试。选择风力较小的时段进行静态精度测试,测试过程中不能人为触碰飞机,测量时间不少于 3 h。直接获得或统计出航空重力仪的静态精度(观测均方差),并进行考核评估。

7.4.2.2 零点漂移测试。静态条件下记录航空重力仪的读数,测量时间不少于 24 h。用记录的数据绘制出航空重力仪静态零点漂移曲线,并用线性回归法计算出平均零点漂移率。静态零点漂移曲线应近于线性,静态零点漂移曲线与直线(用线性回归法求取)的最大偏差应小于设计的航空自由空间重力异常总精度。

7.5 导航定位仪测试

7.5.1 按照导航定位仪(如全球导航卫星系统接收机)检定规程对定位仪进行检验,合格后方可使用。

7.5.2 须在正式开工飞行前、测量中期和全区测量结束前分别完成导航定位系统至少 2 h 的地面静态观测试验,检查评价导航定位仪的定位精度。

7.5.3 调试、参数设置和精度评价应按仪器操作手册或说明书执行。

7.6 测线测量飞行

7.6.1 指标参数检查

7.6.1.1 在测线飞行测量之前,须按设计指标对航空重力系统要求的各项技术指标进行检查验收。达不到要求时,不得进入测线飞行。

7.6.1.2 应预先计算出设计测线端点及导航点坐标(或经纬度)数据,输入导航系统中,检查并确保输入的导航数据无误。

7.6.2 任务下达

7.6.2.1 每架次测量飞行的前一天,项目负责人应以飞行任务书形式向空勤人员正式下达飞行测量任务。

7.6.2.2 飞行任务书中应包括:飞行区号、测线号(含端点坐标值)、飞行高度、飞行速度、飞行示意图及说明、注意事项等。

7.6.2.3 每个飞行任务书内,应有备用飞行任务。

7.6.2.4 飞行人员按飞行任务书要求认真准备次日飞行,熟悉和了解飞行任务中的地形地物、导航点顺序、飞行高度、可能的接线地段、测线端点坐标及其参数、仪器调节等;要研究每条待飞测线的地形情况,根据飞机性能和地形等因素在保证安全的条件下按设计高度飞行。

7.6.3 测量要求

7.6.3.1 应选择作业区域气流较为平稳的时段实施测量,保持匀速水平直线飞行。

7.6.3.2 采用差分 GNSS 测量时,须保证有 6 颗或以上的卫星进行定位,其 PDOP 值一般应小于 2.5,位置均方差应不大于 1 m。

7.6.3.3 在测量飞行中,空勤人员应集中精力按各自的职责与要求认真作业,做好仪器操作及记录。

7.6.3.4 无人值守飞行时,须明确告知飞行员仪器出现故障时的主要特征,以便出现故障时能及时返航。

7.6.3.5 当测线分段测量飞行时,应采用重复接线法,分段重复接线位置中心应在控制线上,衔接应保证大于 5 km 重复。若接线重复区(或段)处于异常区域时,接线应适当延长。每段测线至少要搭接 3 条控制线。

7.6.4 飞行前工作

7.6.4.1 采用差分 GNSS 系统时,每架次起飞前 40 min 左右,打开差分 GNSS 基准站,检查接收机电池容量及数据卡存储容量,要求不低于连续工作 12 h,能接收到至少 8 颗卫星,并正常采集数据。每次测量时,GNSS 天线的位置、方向和高度保持不变,且天线定向标志指向正北。

7.6.4.2 确认飞机停放在重力基点上,检查航空重力仪工作状态和参数,将参数抄录在记录表中。

7.6.4.3 保持飞机安静状态,采集航空重力前校数据,采集时间不少于 15 min。

7.6.5 飞行测量期间工作

7.6.5.1 按照要求采集测量数据,确认一切正常后,通知飞行员起飞。

7.6.5.2 保持设计的飞行地速和高度,飞行动作要柔和、平稳,应保持拐弯或起飞坡度不大于 15°。

7.6.5.3 飞行员应按导航仪指示沿着预先设计好的测线进行飞行。当发生偏航,或飞行高度有偏差时,飞行员修改偏航和高度的动作要小,应平缓过渡到正常航迹。

7.6.5.4 严格遵守操作规程,做好空中飞机颠簸、风速等各项记录,发现并随时记录地表较大的异常体,比如山体、水体等。

7.6.5.5 若出现故障要及时检查和排除,确认无法排除时要通知机组及时返航。要密切观察气流、风力对重力测量的影响,有可能产生报废资料时要及时返航。

7.6.6 飞行后工作

7.6.6.1 飞行落地后,将飞机停放在重力基点上,航空重力仪供电电源切换到地面电源。

7.6.6.2 检查航空重力仪工作状态和参数,将参数抄录在记录表中。

7.6.6.3 保持飞机安静状态,采集航空重力后校数据,采集时间不少于 40 min。

7.6.6.4 停止数据采集,取出数据卡或拷贝测量数据。

7.6.6.5 备份当天采集的所有数据。

7.7 辅助飞行测量

7.7.1 测区视察飞行

7.7.1.1 每个测区开始测量飞行之前,应安排视察飞行。

7.7.1.2 视察飞行主要任务是:核对所使用导航地形图与实际地形、地物、山峰标高的吻合程度;了解测区地形与气象特征,以便选择合理的测量飞行方法和拟定飞行计划及相应的技术安全措施;检查航空重力仪和导航定位系统的工作性能。

7.7.2 动态精度测量飞行

7.7.2.1 在开工前,航空重力测量系统需在同一飞行高度(平飞)进行同向和反向多次重复飞行测量,测试和检验系统的动态工作状态,评估系统测量数据的内符合精度。内符合精度合格后才能进入测线飞行测量。

7.7.2.2 选择的测试线其重力异常形态应相对完整且幅度应大于 $20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,长度不小于 40 km。

7.7.2.3 应至少完成 2 架次重复线测试飞行,合计有效测线数不少于 5 条。单架次计算和 2 架次合并计算重复测量的内符合精度均要符合设计要求。内符合精度计算按照附录 B 执行,并填写附录 C。

7.7.2.4 新航空重力系统第一次执行测量任务前,应与已知航空或地面重力测量剖面进行对比测试,计算评估外符合精度。外符合精度计算按照附录 B 执行。

7.7.3 控制线飞行

7.7.3.1 按照设计要求的间距布置控制线,控制线的飞行高度和偏航距要求与测线一致。

7.7.3.2 控制线飞行应在仪器工作状态良好、天气能见度较好、风速不大、气流平稳的天气进行。

7.7.3.3 宜先进行控制线飞行,以便利用控制线对测线进行质量评价。

7.7.3.4 多套系统作业时,应使用工作状态较好的一套航空重力测量系统完成全区控制线测量。

7.7.4 重复线测量飞行

7.7.4.1 重复线测量是质量检查的一部分,工作量应不少于 1%。

7.7.4.2 重复线选择可参考 7.7.2,应力求与测线首次飞行时的航迹、飞行高度相同。

7.7.4.3 同一测区中使用不同的航空重力测量系统时,须进行重复比对测量,考查不同系统之间的一

致性。

7.7.4.4 重复线的内符合精度指标应达到设计要求。

7.7.5 质量检查线/基线飞行

7.7.5.1 通常每隔 3 架次至 5 架次,或某段测线质量不确定时,需安排用于质量检查的重复测量飞行,质量检查贯穿于作业全过程,防止突击性质量检查。质量检查线飞行高度和航迹应与被检查线力求保持一致,便于对比和质量检查。

7.7.5.2 可布设一定量的基线完成质量检查,同一测区可布置多条不同的基线。基线的选择条件可参考 7.7.2,每次基线的飞行高度和航迹应基本保持一致。

7.7.5.3 当仪器工作不稳定,或可能存在影响测量质量因素时,每架次均须安排质量检查线或基线飞行。

7.7.5.4 检查工作量占原始工作量的 3%~5%(可包括重复线工作量),对可能存在问题的测线须 100%进行重复测量。

7.7.5.5 通过计算质量检查线或基线之间的内符合精度,不定期地检查航空重力系统的仪器工作状况和测线测量质量,检查线或基线内符合精度指标应达到设计要求。

7.7.6 加密测量与不同高度飞行

7.7.6.1 发现有意义的局部异常时,为获得详细的异常特征,可加密测线。

7.7.6.2 在某些已知典型矿床异常上或某类已知典型地质构造上可布置不同高度的航空重力剖面,建立地质—地球物理解释模型。

7.8 航空重力原始资料编录

7.8.1 原始数据资料

每架次飞行结束后,操作员应分别提交下列原始数据资料:空中操作员记录表、任务书及领航员表,重力原始测量数据(含前、后校和空中飞行时段采集的重力原始数据)、差分 GNSS 原始数据(含基准站和移动站原始数据)。并及时对原始数据备份、编录和刻盘存储。

7.8.2 资料编录

编录内容应包括:测区名称、机场、架次号、测线号、日期、队名及操作员,使用的主要仪器型号、测量参量、采样率、质量评价等。

7.9 原始资料现场检验

7.9.1 航空重力仪状态参数检查

7.9.1.1 航空重力仪实时给出的状态参数须处于正常值范围。

7.9.1.2 航空重力仪的平台姿态角、饱和点数等各项指标均不应超出要求。

7.9.2 定位数据检查

7.9.2.1 正常状态下,速度均方差不应超过 0.05 m/s,位置均方差不应超过 1 m。

7.9.2.2 采用差分 GNSS 系统时,应统计可导航的卫星数量、PDOP 值评价差分 GNSS 的测量质量。对于卫星数少于 6 颗或 PDOP 值大于 2.5 时,要根据重力异常曲线形态进行分析,确定是否进行补飞。

7.9.3 数据预处理与检查

- 7.9.3.1 利用飞行时收录的定位数据(如差分 GNSS)进行航迹恢复,标绘出航迹。
- 7.9.3.2 统计飞行时的高度数据,检查飞行高度质量是否符合设计要求。
- 7.9.3.3 统计重力原始数据质量,如零点漂移、平台水平稳定度、位置均方差、速度均方差、平飞高度均方差等。
- 7.9.3.4 对各种测量数据检验和航迹校正后,应打印或绘制出航空重力剖面草图,并确认每架次测量数据的完整性与质量是否符合设计要求。
- 7.9.3.5 打印空中数据各项检查和统计结果,并装订成架次预处理报告。

7.9.4 重力测量质量评估

- 7.9.4.1 航空重力测量质量采用测线与控制线交叉点残差值的均方差进行评价。
- 7.9.4.2 对测线测量质量评价时,应将该测线与相邻测线进行符合性对比。如果相邻线之间地形基本相同、飞行高度基本一致时,位于均匀重力场(非重力梯度带)的相邻线重力异常相似程度高,局部异常分布应相似。
- 7.9.4.3 对于局部扰动应甄别其真伪。检查定位数据质量(如 GNSS 是否存在跳点、卫星数是否不足)、飞行姿态是否突变、飞行高度是否瞬变、颠簸是否剧烈等,经确认局部扰动并非地质体反映且进一步处理无改善的情况下,该扰动线段应重飞,并注明重飞的原因。
- 7.9.4.4 当差分 GNSS 进行定位时,测线某时段共同卫星数不多于 4 颗(同时被移动站和基站 GNSS 接收机利用)时,该时段的测线应重飞。
- 7.9.4.5 当测线上重力观测的饱和点数超过要求时,受影响的测线段应重飞。

7.9.5 原始资料三级检查

- 7.9.5.1 原始资料须进行自检、互查和技术管理部门验收三级检查,自检、互查率应达到 100%。
- 7.9.5.2 主要检查原始资料、测量方法、质量控制和技术指标,不合格资料需重新补飞。原始资料验收通过后,才能申请调机。

7.10 岩(矿)石标本采集与密度参数测定

7.10.1 岩(矿)石标本采集

- 7.10.1.1 根据航空重力测量地质任务、测区地质矿产、地形和交通情况,收集测区以往物性资料,在此基础上,依据任务特点和解释推断需要制定物性标本采集、测定及野外踏勘计划,其内容包括:测定及踏勘目的、测定物性参数内容和方法、仪器类型、采集及踏勘路线、人员配备、时间安排和工作量等。
- 7.10.1.2 标本采集应力求新鲜,严禁采集风化层和转石标本,应在采集现场使用记号笔对标本进行编号,并记录采集点的位置(坐标)和有关地质情况。
- 7.10.1.3 应根据区域地层分布特点,采集有代表性的标本,要大致均匀分布在地质体的各个部位。对于同一种岩石的标本,要注意采集能反映所采对象总体特征的一般性标本。
- 7.10.1.4 每类岩性点应至少采集 30 块标本,重力异常区应加大标本采集数量;每块标本质量宜为 300 g 左右,体积不小于 3 cm×4 cm×4 cm 的长方体或 4 cm×4 cm×4 cm 的立方体;松散层及未固结松散沉积物宜在原位采集体积不小于 50 cm×50 cm×50 cm 的大样;地表岩石风化强烈地区应使用浅钻。
- 7.10.1.5 应采集钻孔岩芯标本,了解测区物性(密度)的垂向变化规律。

7.10.1.6 野外现场应对岩石命名并进行简单描述,命名可参考地质资料,必要时可对标本进行岩矿鉴定。

7.10.2 密度参数测定

7.10.2.1 用于物性测定的仪器、设备,使用前一定要检查,校对无误。

7.10.2.2 应根据标本性质采用天平法、密度计法、大样法测定。具体测定方法应按 DZ/T 0004 相关要求执行。

7.10.2.3 对致密岩(矿)石标本可采用天平法或密度计法测定;对疏松的岩(矿)石标本可采用天平法测定;对未固结的疏松覆盖层或第四系沉积物应采用大样法测定。

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

7.10.2.5 密度成果应以常见值(或平均值)、最大值与最小值体现,密度资料一般按岩性或(和)地层分类统计,侵入岩可按侵入时代统计,并绘制岩(矿)石标本的密度直方图。

8 数据处理与图件编制

8.1 数据处理

8.1.1 数据处理分类

8.1.1.1 航空重力数据处理分为野外现场原始数据预处理(称为预处理)、数据室内处理(称为数据处理)和数据转换处理(亦称为数据解释处理)三类。

8.1.1.2 数据预处理是在野外测量作业现场实时完成的分架次数据处理,主要目的是定位(如差分 GNSS)数据解算、数据质量统计控制、测线自由空间重力异常计算、测量工作量和飞行高度以及偏航距统计。了解测量质量、指导测量飞行,从而达到保证测量质量的目的。

8.1.1.3 数据室内处理是在野外预处理基础上,完成布格地形改正和调平等工作,最终完成各种基础图件的编制工作。

8.1.1.4 数据转换处理是利用数据处理后的基础图件数据,根据地质解释工作需要选择不同的位场转换方法进行处理。

8.1.2 航空重力数据预处理

8.1.2.1 定位数据解算:利用定位(如差分 GNSS)收录数据等数据解算或组合解算出运动平台的位置坐标、速度及加速度数据,统计定位数据质量。差分 GNSS 需用引点联测后的基站位置数据进行解算。

8.1.2.2 数据质量统计与评价:对架次数据进行掐线等处理,按测线统计航空重力前后校数据、飞行测量数据、惯导平台数据和定位数据等,按照航空重力系统手册要求,通过航空重力仪的稳定平台参数、零点漂移情况等评估航空重力数据测量质量,通过定位收录数据评估定位数据质量,如 GNSS 数据中的卫星个数、PDOP 值、坐标位置及速度解算精度。质量统计结果应填写航空重力测量质量统计表中,参见附录 D。

8.1.2.3 测线自由空间重力异常计算:利用航空重力数据处理软件进行原始测量重力的载体垂向加速度、水平加速度、姿态、厄特渥斯效应、零点漂移、基点、正常重力场、高度等各项改正,再通过一定窗口长度的低通滤波处理获得沿测线的航空自由空间重力异常数据。应采用满足测量精度和高频噪声去除的较小的滤波窗口进行滤波,以提高航空重力的异常空间分辨率。地面重力基点值和飞行高度值均应归算到航空重力仪传感器中心所对应的观测值中。

8.1.2.4 数据入库与编辑:将测线自由空间重力数据输入数据库,并进行坐标投影转换,获得航空重力

测量野外预处理数据库。

8.1.2.5 坐标投影转换:根据工作需要,在陆域应转换成高斯投影坐标,在海域应转换成 UTM 投影坐标。

8.1.2.6 测线及采样点号编辑:一个测区内测线号要有规律,不得重复;每条测线的采样点号、时间也不得重复;采样点号要按顺序排列;主测线、控制线、重复线、典型剖面线等编号,均应与飞行报告表一致。

8.1.2.7 各项指标统计:完成测量工作量、飞行高度、飞行速度和偏航距等统计。

8.1.3 航空重力各项改正

8.1.3.1 改正内容:航空重力各项改正按公式(1)计算,即

$$\Delta g = g_b + (g_z - g_z^0) - \dot{v}_U + \delta a_E + \delta a_H + \delta a_F + \delta a_K - g_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Δg ——航空自由空间重力异常值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

g_b ——停机坪处重力传感器上的绝对重力值,从国家重力基点联测得到,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

g_z ——航空重力仪测量观测值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

g_z^0 ——基点前校观测值的平均值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

$\dot{v}_U$ ——载体的垂向加速度值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

δa_E ——厄特渥斯改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

δa_H ——水平加速度改正值,改正因平台倾斜而引起的水平加速度在垂直方向的影响,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

δa_F ——高度改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

δa_K ——零点漂移改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

g_0 ——观测点垂直影射到参考椭球面上对应点的正常重力值,可采用国际大地测量协会(IAG) 1980 年国际正常重力公式或 CGS2000 的正常重力公式等模型计算得到,单位为 10^{-5} m/s^2 。

8.1.3.2 载体运动加速度改正:由解算软件计算求得载体垂向加速度 $\dot{v}_U$ 、水平加速度改正值 δa_H 进行改正。

8.1.3.3 厄特渥斯改正:通常按公式(2)计算,即

$$\delta a_E = 2\omega \cos\varphi \cdot v_E + \frac{v_E^2}{N+h} + \frac{v_N^2}{M+h} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

δa_E ——厄特渥斯改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

ω ——地球自转角速度,单位为弧度(rad);

φ ——观测点的地理纬度,单位为弧度(rad);

v_E, v_N ——飞机东向和北向速度,单位为米每秒(m/s);

N, M ——卯酉圈和子午圈的曲率半径,单位为米(m);

h ——观测点的大地水准面高度,单位为米(m)。

厄特渥斯改正误差通常按公式(3)计算,即

$$d\delta a_E = \left(\frac{2v}{R} + 2\omega \sin A \cos\varphi \right) dv + 2v\omega \cos A \cos\varphi dA - 2v\omega \sin A \sin\varphi d\varphi \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$d\delta a_E$ ——厄特渥斯改正误差,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

- A ——飞行航向角(或方位角),单位为弧度(rad);
 R ——地球半径,单位为米(m);
 v ——飞机的水平飞行速度,单位为米每秒(m/s)。

8.1.3.4 高度改正:通常按公式(4)计算,即

$$\delta a_F = 0.3086 \times (1 + 0.0007 \cos 2\varphi)(h - \Delta h) - 0.72 \times 10^{-7}(h - \Delta h)^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- δa_F ——高度改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;
 φ ——观测点的地理纬度,单位为弧度(rad);
 h ——观测点的大地水准面高度,单位为米(m);
 Δh ——大地高的偏心改正量,单位为米(m)。

高度改正误差通常按公式(5)计算,即

$$d\delta a_F = 0.3086 \times (1 + 0.0007 \cos 2\varphi) dh \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $d\delta a_F$ ——高度改正误差,单位为 10^{-5} m/s^2 ;
 φ ——测区平均地理纬度,单位为弧度(rad);
 dh ——重力观测点高程误差,单位为米(m)。

8.1.3.5 正常重力值改正,通常采用国际大地测量协会(IAG)1980年大地测量参考系统中的正常重力公式(6)计算大地水准面上的重力值,即

$$g_0 = 978.032.7 \times (1 + 0.0053024 \sin^2 \varphi - 0.0000058 \sin^2 2\varphi) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- g_0 ——大地水准面重力值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;
 φ ——观测点的地理纬度,单位为弧度(rad)。

正常重力值改正误差 dg_0 通常按公式(7)计算,即

$$dg_0 = 0.000814 \sin 2\bar{\varphi} \times d_d \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- dg_0 ——正常重力值改正误差,单位为 10^{-5} m/s^2 ;
 $\bar{\varphi}$ ——测区平均地理纬度,单位为弧度(rad);
 d_d ——观测点定位误差,单位为米(m)。

8.1.3.6 零点漂移改正:分为两种情况,即

- a) 前校与后校基点为同一基点时,零点漂移改正计算公式为

$$\delta a_K = -(g_z^1 - g_z^0) \cdot \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

- b) 前校与后校基点不是同一基点时,零点漂移改正计算公式为

$$\delta a_K = -(g_z^1 - g_z^0) - (g_b^1 - g_b^0) \cdot \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- δa_K ——零点漂移改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;
 g_z^0, g_z^1 ——前校、后校观测值的平均值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;
 t_0, t_1, t ——前校、后校和飞行测量对应的观测时间,单位为秒(s);
 g_b^0, g_b^1 ——前校、后校基点处的重力场值,单位为 10^{-5} m/s^2 。

8.1.4 航空重力数据处理

8.1.4.1 数据整理

在数据进行布格改正和水平调平之前,通常需要对数据进行两方面的整理:

- 根据野外飞行记录和预处理结果,保留多次测量中受气流影响较小、质量相对较好的一条重复测线作为最终测线数据;
- 整理非整条的分段测线间的重复接线段,通常保留均跨越了同一条控制线的重复接线段 5 km 左右长度。

8.1.4.2 航空重力异常地形改正

8.1.4.2.1 为了消除地形变化对重力观测值的影响,需要进行地形改正。当观测区覆盖了陆地和水域时,航空重力异常的地形改正应同时包括陆地和水底地形的改正。

8.1.4.2.2 以大地水准面为基准将地形剖分成许多小直棱柱体,每个直棱柱体的起算面是水准面(见图 1)。图 1 中点 $P_0(x, y, z_0)$ 是飞行面上任意测量点,点 $p(\xi, \eta, \zeta)$ 是具有密度 σ 的质量单元。

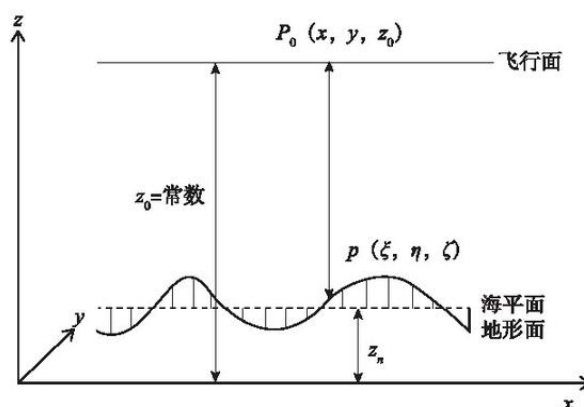


图 1 地形改正示意图

8.1.4.2.3 先计算每个小直棱柱体对空中 P_0 点的引力位沿 z 方向的导数,然后将每个小直棱柱体对该点的引力位沿 z 方向的导数相加,相加所得之和就是整个地形对空中 z 点的影响值。则在地形改正区域范围半径 R 内计算获得的航空重力异常地形改正值为

$$\begin{aligned} \delta a_T = \sum_R \{ & -G\sigma \left[(\xi-x) \ln[(\eta-y) + \sqrt{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2 + (\zeta-z_0)^2}] + \right. \\ & (\eta-y) \ln[(\xi-x) + \sqrt{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2 + (\zeta-z_0)^2}] + \\ & \left. (\zeta-z_0) \arctan \frac{(\xi-x)(\eta-y)}{(\zeta-z_0)\sqrt{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2 + (\zeta-z_0)^2}} \right] \Big|_{x_1}^{x_2} \Big|_{y_1}^{y_2} \Big|_{z_1}^{z_2} \} \\ & \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

式中:

- δa_T ——重力地形改正值,单位为米每二次方秒(m/s^2);
- G ——重力万有引力常数 [$6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$];
- σ ——地形直棱柱体岩石剩余密度和水体亏空密度,单位为千克每立方米 (kg/m^3) [水准面之上陆地地形直棱柱体岩石剩余密度:一般选用 $2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;水准面之下水底地形直棱柱体水体亏空密度:海水

亏空密度一般选用 $(1.02 \sim 2.67) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,淡水亏空密度一般选用 $(1.00 \sim 2.67) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$];

R ——地改区域范围半径,单位为米(m);

$(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ ——每个直棱柱体对应的角点坐标,单位为米(m)。

8.1.4.2.4 地形数据的高程应从国家发布的比例尺大于或等于1:100 000数字地形图(DEM)获得,在有海域或水域时需结合收集的水深数据(负高程),合并得到测区的地形改正高程数据。也可以使用SRTM(Shuttle Radar Terrain Mission)数据作为重力地形改正的高程数据。地形高程数据的精度应高于20 m。

8.1.4.2.5 航空重力异常地形改正通常分为局部地形改正范围和区域地形改正范围。局部地形改正范围半径应在0 km~20 km之间,区域地形改正范围半径应在20 km~166.7 km之间。局部地形网格数据要求精细,网格间距较密,可以与测量规范要求的网格数据间距相等;区域地形网格数据的精度要求低,网格间距可以抽稀成测量规范要求的网格数据间距的5倍左右。

8.1.4.3 航空重力异常布格改正

8.1.4.3.1 航空重力异常布格改正计算仅包括地形改正一项,因此将航空自由空间重力异常经过地形改正后的异常数据称为航空布格重力异常。

8.1.4.3.2 根据以大地水准面(海平面)为基准的陆地和海底地形数据,采用公式(10)计算获得地形改正值。对航空自由空间重力异常进行地形改正后获得的航空布格重力异常,不再需要进行中间层改正和地球曲率改正,这是与地面重力资料处理不相同之处。

8.1.4.4 航空布格重力异常计算

将地形改正值采用与获得航空自由空间重力异常相同的滤波方式进行滤波,在航空自由空间重力异常的基础上,利用滤波后的改正值进行地形改正,获得航空布格重力异常。计算公式为

$$\Delta g_b = \Delta g + \delta a_T \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Δg_b ——航空布格重力异常,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

Δg ——航空自由空间重力异常值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

δa_T ——地形改正值,单位为 10^{-5} m/s^2 。

8.1.4.5 控制线法调平处理

原始航空重力异常(自由空间或布格重力异常)数据控制线法调平一般采用统计估算方法,对控制线和测线交叉点的重力场做最大随机校正,以补偿主要由定位误差、飞行高度差异、零点漂移等引起的水平误差。主要步骤如下:

- a) 计算控制线与测线交叉点的场差值;
- b) 根据交叉点场值差对所有控制线进行线性水平调整;
- c) 计算线性水平调整后的控制线与测线交叉点新的场差值;
- d) 根据交叉点新的场差值对测线进行水平调整。

8.1.4.6 微调平处理

控制线法调平后的航空重力异常数据需进一步进行微调平处理,以减少随机噪声的影响。宜采用的主要步骤如下:

- a) 计算控制线法调平后航空重力异常数据沿垂直测线方向的网格数据 G_1 ;

- b) 对网格数据 G_1 沿垂直测线方向进行低通滤波获得网格数据 G_2 , 并计算噪声网格数据 $G_3 = G_1 - G_2$; 沿测线方向圆滑滤波并重采样网格数据 G_3 , 获得每条测线的噪声值;
- c) 将每条测线的噪声值从控制线法调平后航空重力异常数据中去除就获得了第一次微调平处理后的航空重力数据;
- d) 通常在第一次微调平处理后的航空重力异常数据基础上重复 a)~d) 步骤, 将第二次微调平处理后的航空重力异常数据作为最终微调平后的航空重力异常数据。

8.1.4.7 数据噪声处理

调平后的航空重力异常数据需进行数据噪声处理。宜采用的主要步骤如下:

- a) 计算微调平后航空重力异常数据沿垂直测线方向的网格数据 G_1 ;
- b) 计算微调平后航空重力异常奇数和偶数号测线数据沿垂直测线方向的网格数据 G_2, G_3 ;
- c) 计算 $G_4 = G_1 - G_2, G_5 = G_1 - G_3$ 分别获得偶数和奇数号测线的噪声网格数据;
- d) 合并和平均奇数、偶数号测线的噪声网格数据获得所有测线的噪声网格数据; 将所有测线的噪声网格数据从 G_1 中去除后获得噪声去除后的航空重力异常数据。

8.2 基础图件编制

8.2.1 航空重力基础图件

航空重力数据处理结束后, 应编制以下基础图件: 航空自由空间重力异常剖面平面图、航空自由空间重力异常等值线平面图、航空布格重力异常剖面平面图、航空布格重力异常等值线平面图、航空重力测网分布图(航迹图)、飞行高度剖面平面图等。

8.2.2 基础图件成图比例尺

航空重力异常剖面平面图、航空重力异常等值线平面图的成图比例尺应小于或等于测量比例尺; 当在一个测区内采用两种测量比例尺时, 将小比例尺作为成图比例尺。其他成图比例尺应小于测量比例尺。

8.2.3 基础图件成图参数

- 8.2.3.1 应根据重力场特点、测量精度及地质任务等综合因素确定成图参数。
- 8.2.3.2 航空重力异常剖面平面图剖面曲线最大纵比例尺为 1 mm 所代表的值不应小于航空重力测量总精度。
- 8.2.3.3 航空重力异常等值线平面图等值线间距应等于或大于航空重力测量总精度, 网格数据文件的网格距应小于测量线距的 1/4。
- 8.2.3.4 航迹图上需包括测量飞行线主测线、控制线、加密测量线等。
- 8.2.3.5 可根据需要编制飞行高度图, 设定参数能突出飞行高度对航空重力的影响。
- 8.2.3.6 基础图件用底图应符合 DZ/T 0069 的有关规定。

8.2.4 基础图件技术说明

基础图件技术说明应分别包含以下内容:

- a) 测量飞行日期、使用飞机型号、机场、测量比例尺和色标等;
- b) 导航定位方法及仪器设备型号、实际达到的导航和定位精度;
- c) 航空重力仪系统型号、灵敏度(或噪声水平)、数据收录方式及采样点间距;

- d) 航空重力数据主要校正内容;
- e) 高度计型号、测量飞行高度及其分布情况;
- f) 成图坐标及投影。

8.3 质量评价

8.3.1 质量评价方法

采用单项质量指标和总精度相结合的评价方法。单项质量指标包括:航空重力架次测量质量、航空重力质量检查、飞行高度质量、导航精度、定位精度和航空重力零点漂移等。

8.3.2 测线或架次质量评价

8.3.2.1 航空重力测线或架次测量质量采用每架次测线与控制线交叉点重力异常残差值的均方差进行评价。具体做法是:

- a) 计算测线与控制线交叉点重力异常残差值;
- b) 根据交叉点残差值进行水平平移和整线斜改的调平;
- c) 计算调平后的测线与控制线交叉点重力异常残差值;
- d) 统计每条测线上交叉点重力异常残差值的均方差 σ (单位为 10^{-5} m/s^2),其计算其公式为

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

δ_i ——第 i ($i=1,2,3,\dots,n$) 个交叉点处调平后的测线与控制线重力异常残差,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

n ——交叉点数。

8.3.2.2 单架次和每条测线重力测量质量评价等级见表 6,一、二级不低于 85%,不合格的架次或测线须重飞。

表 6 测线与架次测量质量评价等级表

内 容	整架次	单条测线	评价等级
均方差 σ 10^{-5} m/s^2	$\sigma \leq 0.8$	$\sigma \leq 1.0$	一级
	$0.8 < \sigma \leq 1.0$	$1.0 < \sigma \leq 1.2$	二级
	$1.0 < \sigma \leq 1.2$	$1.2 < \sigma \leq 1.5$	三级
	$\sigma > 1.2$	$\sigma > 1.5$	不合格
注:交叉点处测线与控制线飞行高度差大于 30 m 的不参加统计。			

8.3.3 质量检查评价

8.3.3.1 利用同精度的质量检查线、基线或重复线的重复观测来检查测线或架次的测量质量,用于质量检查的测线应按架次均匀分布。

8.3.3.2 航空重力质量检查线(或基线,或重复线)的内符合精度应不低于航空重力测量总精度,内符合精度计算按照附录 B 执行。

8.3.4 测量飞行高度评价

8.3.4.1 同一飞行高度平飞测量时,飞行高度采用大地高度(如 GNSS 高度)进行评价;缓起伏飞行测量时,飞行高度采用无线电高度(离地高度)进行评价。

8.3.4.2 飞行高度评价由平均高度 $\overline{\Delta h}$ 表示,也可统计全测区高度分组出现的频数及所占比例。

a) 平均高度 $\overline{\Delta h}$ [单位为米(m)]的计算公式为

$$\overline{\Delta h} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta h_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

Δh_i —— 采样点 i 上的高度值,单位为米(m);

N —— 采样点总数。

b) 计算各高度组内出现的比例,可绘出各高度组分布直方图。并统计符合设计中规定的飞行高度的百分比 W :

$$W = \frac{n}{N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

n —— 符合设计书规定的飞行高度出现点数;

N —— 采样总数。

8.3.5 导航精度评价

8.3.5.1 评价方法:平均偏航距指标评价、疏密度指标评价。

8.3.5.2 平均偏航距指标评价:按设计的偏航距要求,计算全测区测点偏离预定测线的测线连续长度(大于设计偏航距的线段长度),用以评价导航质量。

8.3.5.3 疏密度指标评价:沿垂直于测线方向,计算飞行测量获得的实际测线间距与设计书预定的测线间距的差值,计算这些差值的平均值即为全区的测网疏密度。测网疏密度是用来评价飞行测线平面上实际均匀分布情况的指标。测网疏密度 $\overline{D}$ [单位为米(m)]计算方法如下:

$$\overline{D} = \Delta \pm \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |d_i - \Delta| \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

d_i —— 第 i 个位置处实际测线间距,单位为米(m);

N —— 参加统计、计算实际测线间距和预定测线间距差值的样本总数;

Δ —— 设计书预定的测线间距,单位为米(m)。

按照一定的间隔沿测线方向进行取样,获得测线分布的均匀程度。

8.3.6 定位精度评价

8.3.6.1 利用单点 GNSS 或差分 GNSS 的静态定位精度进行评价。

8.3.6.2 静态定位精度测定与计算:利用定位仪(如 GNSS 或差分 GNSS)在某固定点位连续观测(不少于 2 h),根据收录或解算该固定点的观测坐标数据,求出定位仪静态定位精度 S_p [单位为米(m)],此种观测属等精度条件下的重复测量。 S_p 的计算公式为

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \overline{X})^2} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

X_i ——表示某固定点上第 i 次定位系统的坐标观测值,单位为米(m);

$\bar{X}$ —— X_i 的算术平均值,单位为米(m);

N ——参加计算总数;

i ——观测次数, $i=1,2,\dots,N$ 。

8.3.6.3 用式(16)对北向、东向坐标数据(或经纬度数据)和天向数据(高程)进行统计,分别求出北向、东向和天向的静态定位精度,也可用坐标合成求出平面和立体定位精度,按设计书中定位精度要求评价。

8.3.7 零点漂移评价

8.3.7.1 利用每架次(日)航空重力前后校的数据,计算出架次零点漂移量,并进行等级评定。

8.3.7.2 零点漂移计算分为两种情况。

a) 前校与后校基点为同一基点时,零点漂移 Δg_z (单位为 10^{-5} m/s^2)计算公式为

$$\Delta g_z = g_z^1 - g_z^0 \quad \dots\dots\dots (17)$$

b) 前校与后校基点不是同一基点时,零点漂移 Δg_z 计算公式为

$$\Delta g_z = (g_z^1 - g_z^0) - (g_b^1 - g_b^0) \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

g_z^0, g_z^1 ——前校、后校观测值的平均值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

g_b^0, g_b^1 ——前校、后校基点处的重力场值,单位为 10^{-5} m/s^2 。

8.3.7.3 航空重力零点漂移 Δg_z (单位为 10^{-5} m/s^2)评价分级:

一级 $\Delta g_z \leq 1.0$

二级 $1.0 < \Delta g_z \leq 2.0$

三级 $2.0 < \Delta g_z \leq 3.0$

不合格 $\Delta g_z > 3.0$

如果架次零点漂移 Δg_z 大于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,为不合格架次,须进行重飞。

8.3.8 测量总精度评价

8.3.8.1 航空重力测量总精度采用计算控制线与测线交点上重力场差值的均方差 σ 衡量。其计算其公式为

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

σ ——均方差总精度,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

δ_i ——第($i=1,2,3,\dots,n$)个交叉点处的测线与控制线重力场差值,单位为 10^{-5} m/s^2 ;

n ——交叉点数。

8.3.8.2 航空重力测量总精度分为航空自由空间重力异常总精度和布格重力异常总精度。水平调整之前统计的航空重力测量总精度为原始测量总精度,经水平调整之后统计的航空重力测量总精度为最终总精度。

8.4 数据处理报告编写

8.4.1 航空重力数据处理完成后,按规定和要求编写相应的数据处理报告。

8.4.2 报告包括以下主要内容:

- a) 项目简介,数据处理使用的软件程序及相应版本;
- b) 用于数据处理(包括预处理)的资料清单;
- c) 获取原始资料的测量飞行日期,使用的飞机型号、机场、测量比例尺和测线方向;
- d) 航空重力数据编辑、各项改正、采用的滤波方法及参数、处理流程、图件编制等;
- e) 图件绘制时使用的坐标、投影和转换方法等;
- f) 提交成果:基础图件种类、成图比例尺、参量比例尺(或等值线间距)及其说明,数据处理校正后的数据文件及其说明,网格数据文件及其说明;
- g) 质量统计计算:按 8.3 中的有关公式统计或计算航空重力架次测量质量、航空重力质量、航空重力零点漂移、飞行高度、偏航距、测网疏密度和航空重力测量总精度等;
- h) 存在问题:在数据处理及制图中发现的质量问题及处理措施;
- i) 数据处理和基础图件编绘负责人、参加人员及分工等。

8.5 测量成果验收

数据处理和基础图件完成后,编写航空重力测量成果报告,项目主管单位应组织专家对航空重力测量和处理资料成果进行验收评审。

9 航空重力资料推断解释

9.1 推断解释分类

航空重力资料推断解释根据项目任务目标可分为区域性基础地质调查和油气资源调查两种类型。

9.2 推断解释基本要求

9.2.1 航空重力资料推断解释是成果报告编写的基础。推断解释应遵循从已知到未知、定性解释与定量解释相结合的原则。在推断解释的基础上,计算异常深度,编写成果报告和编制相应的成果图件。

9.2.2 根据地质任务需要,应全面收集并深入分析研究区最新的地质、矿产、物探、钻探、化探、遥感、物性等资料。

9.2.3 应根据需要有针对性地进行航空重力数据位场转换和反演处理,如延拓处理(上延或下延)、垂向导数、水平梯度模拟计算和反演、剩余异常计算、密度体深度计算、密度界面深度反演等处理。

9.2.4 航空重力资料推断解释通常包括对区域重力异常和局部异常解释两部分。

9.2.5 应结合其他地质资料进行航空重力的定性和定量解释。

9.2.6 计算异常深度,并对精度进行评价。

9.3 区域重力场解释

区域重力场解释需结合航磁、地质及其他地球物理资料对区域重力场特征进行描述、分析,推断引起区域重力场变化的主要地质因素及其所反映的区域地质构造特征,在此基础上,结合区域构造对重力场进行分区。

9.4 局部重力异常解释

9.4.1 基本要求

需在对测区已知岩体、地层、构造、矿床的地球物理特征进行分析且建立航空物探解释标志的基

基础上,选编航空重力异常,分析异常的性质、成因及地质找矿意义,对每个航空重力局部异常进行推断解释。

9.4.2 航空重力局部异常选编

9.4.2.1 基础地质航空重力局部异常选编

9.4.2.1.1 在基础地质研究中,应结合航空重力 Δg 垂向一阶和二阶导数进行局部异常分类,常以 Δg 局部重力高或局部重力低、 Δg 等值线线状密集(Δg 异常梯级带)、 Δg 等值线局部弯曲、 Δg 梯度带交叉等特征进行航空重力局部异常分类。在实际工作中,应结合地质任务、重磁场特点和地质构造等综合分析确定,特别是与地质任务关系密切的弱异常也应加以分析。

9.4.2.1.2 经分析确定的航空重力局部异常均需编号。依据下述原则进行编号:按“省简称 G—年份—4 位序号”顺序编号(如甘 G—2009—0001);跨年度飞行的按测量年份编号;早期发现的航空重力异常原则上沿用原有异常编号。

9.4.2.2 油气资源调查航空重力局部异常选编

选择位于坳陷(凹陷)内及其边缘构造地带,所反映的构造或密度体有一定的埋藏深度(一般要求大于该地区的生油门限)、反应明显的局部异常。

9.4.2.3 航空重力局部异常登记

凡编号的航空重力局部异常,均应进行推断解释,并填写航空重力异常登记表,作为成果报告附件上交。

9.4.3 航空重力局部异常解释方法

9.4.3.1 局部异常定性解释

根据物性、地质等综合资料和航空重力局部异常特点,结合工作地区地质构造、矿产及其他物探资料,判断引起密度异常的地质原因。

9.4.3.2 局部异常定量和半定量解释

大致估计密度地质体形态、产状、空间位置和物性参数。

- a) 重点航空重力局部异常应在定性解释的基础上进行定量计算与解释。
- b) 应对航空重力局部异常进行反演界面深度计算,比如 Euler 深度计算、Parker 法界面深度反演、剖面异常正演拟合计算等。

9.4.3.3 局部异常解释复核

航空重力的定性和定量解释结果,应经过其他技术人员复核。

9.4.4 航空重力异常分类

9.4.4.1 基础地质航空重力异常分类

在航空重力局部异常定性解释基础上,按航空重力 Δg 异常所处的地质环境、异常成因和找矿意义,对重力异常进行分类。

9.4.4.2 油气资源调查航空重力局部构造异常分类

在航空重力局部异常定性和定量解释基础上,按航空重力 Δg 异常所反映的地质成因,划分为 A、B、C、D、E 五大类。分类原则如下:

- A 类:基岩凸起异常,指重力基底的局部构造高点;
- B 类:中—基性侵入岩异常,一般指基性侵入岩的范围;
- C 类:中酸性侵入岩异常,指中酸性侵入岩的范围或局部高点;
- D 类:火山岩异常,推断与火山岩有关的局部异常;
- E 类:与沉积层有关的异常。

9.5 航空重力推断解释图件

9.5.1 基础地质研究推断解释图件

基础地质研究主要编制航空重力推断岩性构造图、与成矿有关的岩浆岩分布图、重要地层分布图及找矿远景预测图等。

9.5.2 油气资源调查推断解释图件

油气资源调查主要编制主密度界面深度图、基岩深度图、基底岩相构造图、区域地质构造图、火成岩分布图和局部构造异常及油气远景预测图等。

10 成果报告编写与提交

10.1 应按航空重力勘查项目任务规定编写成果报告,一个项目编写一份报告。跨年度工作项目,除在全部工作结束时编写最终成果报告外,应在每年末或工作的某些阶段编写年度或阶段性报告。

10.2 成果报告编写应在定性和定量解释的基础上,编制相应的推断解释图件,经过与地质、化探、遥感及其他物探资料综合研究分析后进行。应提高定性解释的可靠性和定量反演的合理性。

10.3 编写成果报告应在全面深入掌握实际材料的情况下,分析和概括规律,形成一定认识后,在有依据、有分析的推断解释基础上编写。

10.4 成果报告要求立论严谨,要敢于突破前人的认识,观点明确;围绕主要地质任务,对关键问题阐述要清楚,结论要有充足的地球物理依据,与推断解释图件表达的内容一致;并重点阐述本次航空重力的新发现和新认识。

10.5 报告要文字简练,层次分明,文图呼应,术语规范。

10.6 成果报告应包括下列主要内容(参见附录 E):

- a) 概括介绍工作目的与任务完成情况;
- b) 工作方法及质量;
- c) 地质、地球物理特征;
- d) 工作成果;
- e) 结论与建议。

10.7 成果报告附图,包括基础地质航空重力成果报告附图、区域性地质调查航空重力成果报告附图、油气资源调查航空重力成果报告附图。

10.7.1 基础地质航空重力成果报告附图,包括航空重力基础图件、航空重力数据转换图件和航空重力

解释图件。

10.7.1.1 航空重力基础图件,应包括:

- a) 航空自由空间和布格重力异常剖面平面图;
- b) 航空自由空间和布格重力异常等值线平面图。

10.7.1.2 航空重力数据转换图件,应选择在解释中作用效果好的图件作为报告附图。

10.7.1.3 航空重力解释图件,应包括:

- a) 推断岩性构造图;
- b) 岩浆岩分布图及找矿远景评价图;
- c) 反演等其他解释图。

10.7.2 区域性地质调查航空重力成果报告附图,包括航空重力基础图件、航空重力数据转换图件和航空重力解释图件。

10.7.2.1 航空重力基础图件,应包括:

- a) 航空自由空间和布格重力异常剖面平面图;
- b) 航空自由空间和布格重力异常等值线平面图。

10.7.2.2 航空重力数据转换图件,应视需要选择对解释有效果、作用大的图件作为报告附图。

10.7.2.3 航空重力解释图件,应包括:

- a) 主密度界面深度图;
- b) 推断基底岩相构造图;
- c) 推断区域地质构造图。

10.7.3 油气资源调查航空重力成果报告附图,包括航空重力基础图件、航空重力数据转换图件和航空重力解释图件。

10.7.3.1 航空重力基础图件,应包括:

- a) 航空自由空间和布格重力异常剖面平面图;
- b) 航空自由空间和布格重力异常等值线平面图。

10.7.3.2 航空重力数据转换图件,应选择在解释中作用效果好的图件作为报告附图。

10.7.3.3 航空重力解释图件,应包括:

- a) 主密度界面深度图;
- b) 推断基底岩相构造图;
- c) 推断区域地质构造图;
- d) 局部构造异常及油气远景评价图。

10.8 成果报告评审与验收包括如下内容:

- a) 成果报告编写完成后,须经项目承担单位初审后,向项目主管单位提出评审验收申请;
- b) 项目主管单位组织专家进行评审,项目承担单位应提交成果报告送审稿和全套附图、附件以及其他有关资料;
- c) 成果报告须经项目主管单位评审验收、项目承担单位修改合格后,方可提交资料。

10.9 成果资料提交如下内容:

- a) 提交的成果应包括:原始资料(航空重力、导航定位等原始测量数据)、基础图件(航空重力自由空间重力异常图、布格重力异常图和飞行高度图等)、成果图件(推断区域地质构造图、远景评价图等)和成果报告;
- b) 提交的资料应包括:纸介质和电子文件。

附 录 A
(资料性)
航空重力测量工作设计书编写提纲

A.1 前言

A.1.1 目的任务

简述项目来源、任务、选区依据、工作时间、提交成果等,以及其他有关要求。

A.1.2 测区范围及工作量

简述测区位置、测区经纬度、测量比例尺和测量工作量(测线工作量、测量面积);附小比例尺航空物探测量范围图。

A.1.3 生产时间安排

简述野外作业、室内编图、基础图件验收和成果报告编写时间等安排计划。

A.2 测区地质、地球物理、地球化学特征

A.2.1 地质、地球物理、遥感、地球化学等研究程度

附航空物探研究程度图。

A.2.2 地质概况

综述测区内地层、构造、岩浆岩分布和主要矿产分布规律;评述与探测目标、任务体有关的地质信息。

A.2.3 地球物理、地球化学、遥感特征

综述测区地层、岩(矿)石物性参数特征(附物性参数统计表),区域地球化学特征及参数;论述开展航空物探测量工作的基础和前提;预测在构造、填图及找矿方面或解决其他探测对象的可能效果和存在的解释推断难点。

A.3 航空重力测量系统集成及测试

A.3.1 测量仪器及要求

简述使用的作业机场、机型,航空物探测量使用的仪器类型和主要技术指标,数据收录格式;地面GNSS基站系统使用的仪器类型和主要技术指标,数据收录格式等。

A.3.2 系统安装及测试

简述开工前系统和各项测试准备工作,包括测量系统在室内、室外的测试方法和结果要求。

A.4 工作方法及质量要求

A.4.1 测区自然地理条件

简述测区气象、交通、地形等自然概况(附测区交通图、地形图、降雨分布图等)。

A.4.2 测网布置

简述航空物探测量比例尺;测线方向、测线线距;控制线方向、控制线线距;附航空物探测网图及其依据。

A.4.3 测量方法及质量要求

A.4.3.1 飞行高度

根据测区地形条件、作业时气流和使用飞机的性能参数制定测线飞行高度技术指标,分析研究飞行高度能否满足任务书/合同书的要求。

A.4.3.2 导航定位

简述航空重力测量使用的导航定位系统、方法及其质量要求。

A.4.3.3 辅助测量

简述航空重力动态精度和质量检查测试方法,控制线飞行时航空重力系统的仪器状况及气象要求,重复线测量方法与要求,不同高度或加密测量方法与要求。

A.4.3.4 飞行测量仪器操作及要求

每架次起飞前、落地后和飞行中的航空重力工作要求,飞行生产阶段航空重力系统维护与检测环节的工作程序及技术要点。

A.5 资料整理及质量评价

A.5.1 资料编录

简述资料编录整理方法,各类测量数据文件命名方法等。

A.5.2 测量质量评价

A.5.2.1 原始资料质量评价

简述原始资料(静态与动态精度、导航定位、飞行高度、质量检查、架次质量、零点漂移等)评价准则及评价结果。

A.5.2.2 测量总精度

简述测量总精度使用的统计方法和要求达到的测量精度。

A.5.3 数据预处理与质量控制

简述数据预处理方法、流程、质量控制方法,重测、补测线段确定。

A. 5.4 数据处理及编图

简述处理成图使用的软件系统、各项改正、基础图件编制、提交的图件。

A. 6 推断解释方法和预期成果

A. 6.1 成果解释思路

简述航空物探解释的基本思路、拟采用的数据转换处理方法、解释的技术路线等。

A. 6.2 预期成果与提交时间

提交阶段性和最终成果的名称、图件种类及验收时间。

A. 7 组织管理

简述项目组人员组成、职责及分工；进度安排与效率、技术装备等。

A. 8 经费预算

按有关预算规定执行。完成任务计划的预算说明和相应的预算表格。

A. 9 保障措施

包括组织措施、质量保证、生产安全措施等。

附录 B

(规范性)

航空重力测量内外符合精度评价方法

B.1 航空重力测量内符合精度

B.1.1 航空重力测量内符合精度是利用重复线测试数据来评价航空重力重复测量的动态精度,反映的是各重复线测试数据相对于它们的平均场数据的符合程度。由于大致消除了仪器工作状态及飞行条件变化可能导致的各重复线水平差异,通常水平调整后的内符合精度更能反映仪器动态测量自身的重复一致性,即动态测量的实际精度或噪声指标。

B.1.2 每条重复线重力测试数据水平调整后的内符合精度计算公式为

$$\sigma_j = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_{ij}^2}{n}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

δ_{ij} ——第 j 条重复线公共段各点重力观测值 F_{ij} 水平调整后与该点各重复线重力观测的平均值 F_i 之差,单位为 10^{-5} m/s^2 ,有 $\delta_{ij} = (F_{ij} - \overline{F_j} + \overline{F}) - F_i$ ($i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^m F_{ij}}{m} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

每条重复线重力数据的水平平均值(单位为 10^{-5} m/s^2)计算公式为

$$\overline{F_j} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{ij}}{n} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

所有重复线重力平均场数据的水平平均值(单位为 10^{-5} m/s^2)计算公式为

$$\overline{F} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}$$

以上式中:

m ——重复线的数目;

n ——重复线公共段数据点数。

B.1.3 所有重复线重力测试数据水平调整后的内符合精度(单位为 10^{-5} m/s^2)计算公式为

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m \delta_{ij}^2)}{m \times n}} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

B.2 航空重力测量外符合精度

B.2.1 航空重力测量外符合精度是利用测线(或重复线)重力值与同等精度以上的地面重力值上延到飞行高度的重力值进行对比来评价航空重力测量的精度。

B.2.2 计算外符合精度的具体做法是:重力水平调整后,按各测线测点号计算各测线重力值(F_{ij})(或重复线的平均值)与其对应地面重力上延到飞行高度重力值(P_i)的差值,统计该重力差值的均方差,即外符合精度(单位为 10^{-5} m/s^2),其计算公式如下:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [(F_{ij} - \overline{F_j} + \overline{P}) - P_i]^2}{m \times n}} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 5})$$

外符合标准场的重力水平均值 $\overline{P}$ (单位为 10^{-5} m/s^2) 计算公式为

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 6})$$

以上各式中:

F_{ij} ——第 j 条重复线在第 i 个测点的重力值, 单位为 10^{-5} m/s^2 ;

P_i ——在第 i 个测点的外符合实际标准重力值, 单位为 10^{-5} m/s^2 。

m ——参加统计的测线数;

n ——参加统计的测点个数。

附 录 C
(资料性)
航空重力仪检测结果记录表

航空重力仪检测结果记录表见表 C.1。

表 C.1 航空重力仪检测结果记录表

测区名称： 仪器型号： 测试地点：

静态定位精度					
m					
参 数	东向(X)	北向(Y)	天向(Z)	平面(2D)	立体(3D)
定位精度要求	$\leq \pm 0.1$	$\leq \pm 0.1$	$\leq \pm 0.1$	—	—
实际观测精度					
注：观测时间应大于或等于 2 h。					
航空重力仪静态测量精度					
参 数	指标要求	实测指标		测量要求	
静态测量精度 10^{-5} m/s^2	$\leq \pm 0.3$			观测时间应大于或等于 3 h	
零点漂移(24 h) 10^{-5} m/s^2	$\leq \pm 5.0$			观测时间应大于或等于 24 h	
航空重力测量系统动态测量精度					
测量内容		设计指标	实测指标	测线数条	
重复线 内符合精度 10^{-5} m/s^2		第一架次			
		第二架次			
		合并架次			
注：采用重复线内符合精度进行评价，合计重复线应不少于 5 条。					

检测者： 检查者： 年 月 日

附录 D
(资料性)
航空重力测量质量统计表

航空重力测量质量统计表见表 D.1。

表 D.1 航空重力测量质量统计表

测区名称:		仪器型号:		机型/机号:		使用机场:			
架次号	测线号	平飞高度 m (均方差≤10 m)		卫星数 (≥6) 颗		PDOP 值 (≤2.5)		位置均方差 m (≤1 m)	
		平均	均方差	最少	最多	最小	最大	最小	最大
								速度均方差 m/s (≤0.05 m/s)	稳定平台 α (-4'≤α≤4') (')
								最小	最大
								俯仰角	滚动角
								单测线	交叉点残差 均方差 10 ⁻⁵ m/s ²
								整架次	架次零点漂移 10 ⁻⁵ m/s ²

填表者:

检查者:

年 月 日

附录 E

(资料性)

航空重力测量成果报告编写提纲

E.1 序言

E.1.1 简要说明任务来源、工作性质及目的任务。如变动计划或未完成任务,应详细说明原因。

E.1.2 简述测区位置、行政归属、地理地形、交通情况和测区边角地理坐标。

E.1.3 简要说明野外飞行测量及室内工作时间。任务完成情况,包括飞行测量(含使用的机场、仪器型号和飞机型号)、物性测量、数据处理、综合研究、图件编制等。

E.1.4 成果简述。

E.1.5 项目组组成人员及分工。

E.2 测区地质、地球物理、地球化学概况

概述测区地质、地球物理、地球化学研究程度及对这些工作的评价(附工作程度插图)。地质与矿产概况或区域沉积建造特点,着重论述与探测对象有关的地层、构造、岩浆活动分布、矿产或油气显示情况等;根据地球物理、地球化学特征,分析测区内各种岩(矿)石的物性特征,阐明完成地质任务的前提和干扰因素。

E.3 测量工作方法和测量质量

E.3.1 测网布置

简述测网布置原则、测区实测范围、测网分布和辅助测量、测线与控制线编号、测区与历年来航空物探测区衔接关系等(附小比例尺工作程度插图)。简要论述使用的航空重力测量方法技术是否合理。

E.3.2 测量系统

简述航空重力测量系统组成、主要仪器技术指标、工作状况及测试结果等。

E.3.3 生产飞行

较详细介绍飞行测量和辅助测量具体方法和结果。

E.3.4 导航定位方法及质量

包括静态定位精度、测网疏密度和飞行高度评述等。

E.3.5 原始数据质量

主要评价航空重力原始数据质量(包括动态和静态、质量检查)和零点漂移等。

E.3.6 测量质量总体评价

概括评价航空重力测量总精度。

E.3.7 物性测量与异常查证

简述岩(矿)石密度参数测定的方法和精度等。

E.4 数据处理与基础图件编制

包括以下内容：

- a) 野外预处理；
- b) 室内数据处理；
- c) 基础图件编制；
- d) 航空重力测量效果分析,侧重与往年测量结果对比和已知矿床的反应效果等。

E.5 航空重力数据转换处理及效果

简述位场转换的必要性、目的和内容。对各种转换处理简要说明方法和作用,重点分析效果。

E.6 区域重力场解释

E.6.1 基础地质重力场解释

按重力场分区进行地质解释。分区解释通常包括:描述各分区重力场和重力异常特征、分布规律和变化特点;解释引起重力场、重力异常的地质成因;分析重力场分区与地质构造分区的关系,提炼出新发现或新认识。

E.6.2 油气区域重力场解释

E.6.2.1 按重力场分区进行地质解释。分区解释通常包括:描述各分区重力场和重力异常特征、分布规律和变化特点;解释引起重力场、重力异常的地质成因;提炼出新发现或新认识。

E.6.2.2 简述基底岩相构造的划分依据,分析各类基底岩相的重力场特征和岩相构造特点。

E.6.2.3 简述推断岩浆岩特征和分布规律,分析岩浆活动与构造的关系。

E.7 岩性构造特征分析

E.7.1 基础地质岩性构造填图

E.7.1.1 简述各类推断岩浆岩、地层的异常特征和分布规律,分析其与构造、矿产的关系。

E.7.1.2 阐述断裂、褶皱、火山机构等构造的推断依据、重力场特征和分布规律。对断裂划分级别(附图、表),分析其与矿产的关系。重点分析新圈定或有新认识的构造。

E.7.2 油气区域地质构造特征

E.7.2.1 阐述断裂构造重力场特征(标志),断裂数量及划分级别(附图、表)、分布规律和地质构造控制作用。重点分析新圈定或有新认识的深大断裂、大断裂。

E.7.2.2 对区域构造进行比较详细的单元划分,阐述各区构造特征,重点突出新发现的构造单元。

E.7.2.3 针对热点、焦点和难点等重要地质问题进行必要的探讨。

E.8 航空重力局部异常解释

E.8.1 基础地质航空重力局部异常解释

E.8.1.1 航空重力局部异常选编

简述异常选编原则和编号方法等。

E.8.1.2 航空重力局部异常分类

对航空重力局部异常按地质成因进行分类解释,在此基础上按找矿意义进行分类。

E.8.1.3 典型航空重力局部异常分析

对典型的航空重力局部异常开展分析,并进行地质解释。

E.8.2 油气航空重力局部异常解释

E.8.2.1 局部重力异常分类解释

对航空重力局部异常分类进行地质成因解释。

E.8.2.2 局部构造异常地质构造解释

阐述局部构造异常的圈定原则并圈定局部构造异常(附表)。按地质成因将局部构造异常进行分类解释并分析分布规律。对典型异常或重点异常进行分析(举例)。

E.8.2.3 有利的局部构造异常带

根据局部构造异常在区域构造中的位置及油气聚集的有利程度,圈定有利的局部构造异常带,对各带的油气前景进行必要的分析。

E.9 远景预测

E.9.1 找矿远景预测

E.9.1.1 已知矿床特征分析

分析已知矿床的地质、地球物理、地球化学等特征,重点分析航空重力异常特征。

E.9.1.2 找矿标志

在综合分析解释的基础上,按矿产类型分别建立找矿标志,条件允许时建立找矿模型,为找矿预测提供依据。

E.9.1.3 找矿预测方法

简述拟采用的找矿预测方法。通常有定性预测和定量预测方法。

E.9.1.4 找矿远景区划分

简述找矿远景区划分原则,对远景区进行分类分级。

E.9.1.5 找矿远景区分析

对划分的主要找矿远景区和找矿靶区分别进行分析、评价。

E.9.2 含油气远景预测

E.9.2.1 油气地质条件分析

综合分析沉积盆地或沉积拗陷(凹陷)油气地质条件,为含油气远景预测做好准备。对于勘探程度较高的地区,可考虑进行含油气系统分析。

E.9.2.2 含油气远景预测

根据区域构造特征、油气勘探程度和油气地质条件,进行远景预测,并进行等级划分,对重要的远景区,应进行必要的远景分析,并分析重要的油气聚集带。

E.10 结论与建议

简要指出航空重力测量的主要技术成果、主要实物工作量、主要地质结论,分析存在的主要问题,提出对今后勘探工作的建议。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20256—2019 国家重力控制测量规范
- [2] DZ/T 0082—2006 区域重力调查规范
- [3] DZ/T 0142—2010 航空磁测技术规范
- [4] GJB 890A—2008 海洋重力测量规范
- [5] GJB 6561—2008 航空重力测量作业规范
- [6] 雷受旻. 重力广义地形改正值和均衡改正值的一种计算方法[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(1): 101—111
- [7] 林振民, 史振松. 几种区域重力地形改正方法的讨论 [J]. 物探与化探, 1984, 8(4): 193—198
- [8] 刘养源. 重力勘探中高度改正的几个问题[J]. 物探与化探, 1980, 3: 58—60, 22
- [9] 刘文锦, 奚家鉴, 张兴雅. 区域重力测量的地形改正方法[J]. 物探与化探, 1983, 2: 77—83
- [10] 吕梓令, 周国藩. 区域重力测量外部改正的几个问题[J]. 物探与化探, 1981, 5: 257—262
- [11] 孙刚. 重力勘探地形改正最大半径的选择[J]. 煤田地质与勘探, 1994, 22(1): 43—47, 101—111
- [12] 杨学祥. 布格改正和地形改正的误差——关于区域重力测量中地形改正最大半径的讨论 [J]. 大地测量与地球动力学, 1992, 2: 1—6
- [13] 杨再朝. 重力勘探中布格改正公式的探讨[J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 1985, 7(4): 16—27
- [14] 张国利, 赵更新, 王德启, 等. 基于 DEM 条件下对中区地改精度的计算方法[J]. 物探与化探, 2013, 37(6): 1133—1136, 1140
- [15] ARGYLE M, FERGUSON S. AIRGrav results: a comparison of airborne gravity data with GSC test site data[A]. The Leading Edge. 2000, 19 (October 2000): 1134—1138
- [16] BARANYI E, ELLIS R. An airborne gravity case study of the Podolsky eposit, Sudbury Basin[A]. Airborne Gravity 2010
- [17] BOLOTIN Y V, FEDROV A V. Accuracy analysis of airborne gravimeter calibration using repeated flight paths[R]. Moscow University Mechanics Bulletin. 2008, 63(3): 0—6
- [18] FORSBERG R, OLESEN A V. Airborne gravity and geoid surveys in the Arctic and Baltic Seas[A]. In International Symposium on Kinematic System in Geodesy, Geomatics and Navigarion. The Banff Center, Banff. 2001, Canada June 5—8
- [19] LUISE S, STEPHEN F. Advances in SGL AIRGrav acquisition and Processing[A]. Airborne Gravity 2010
- [20] OLESEN A V, FORSBERG R. Airborne gravity survey of Lincoln Sea and Wandel Sea, North Greenland[J]. Phys. Chem. Earth. 2000, 25 (2): 25—29
- [21] SANDER S, ARGYLE M. The AIRGrav airborne gravity system[A]. In ASEG—PESA Airborne Gravity 2004 Workshop. 2004, pp. 49—54

特 别 声 明

一、地质出版社有限公司是自然资源类行业标准的合法出版单位、发行单位。我们发现，有不法书商以地质出版社有限公司的名义征订、发行我社出版的自然资源行业标准。在此声明，我社未委托任何单位或个人征订、发行我社出版的行业标准。读者订购时请注意甄别：凡征订者要求汇款的账户不是“地质出版社有限公司”者，所发行的标准涉嫌盗版。

二、正版自然资源行业标准的封面贴有数码防伪标志，读者可通过两种方式鉴别真伪：（1）手机拨打 4006361315，按照语音提示操作（验证码在防伪标的涂层下），将有语音回告是否为正版；（2）登录 <http://www.china3-15.com> 中国商品信息验证中心输入验证码，验证该标准是否为正版。防伪标涂层下的验证码一书一码，并且仅限查询一次，第二次查询将提示“该数码已被查询过，谨防假冒”。

三、标准订购与咨询请联系：010—66554646，66554578。

地质出版社有限公司特此声明。

中 华 人 民 共 和 国
地 质 矿 产 行 业 标 准
航空重力测量技术规范

DZ/T 0381—2021

*

责任编辑：王春庆 责任校对：张 冬

地质出版社出版发行

北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

网址：<http://www.gph.com.cn>

电话：(010) 66554646（邮购部）

(010) (010) 66554578（编辑室）

*

开本：880 mm×1230 mm 1/16

印张：3 字数：93 千字

2021 年 10 月北京第 1 版 2021 年 10 月河北第 1 次印刷

*

书号：12116·512 定价：45.00 元

*

如本书有印装问题 本社负责调换

版权专有 侵权必究