

ICS 07.040;35.240.70

A76

备案号:

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

海洋地质调查 重力测量技术规范

Gravity survey technical specification for marine geological survey

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国土资源部

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	1
4.1 比例尺与测线密度	1
4.2 测量精度	2
4.3 重力仪主要技术指标	2
4.4 安全要求	2
5 技术设计	2
5.1 资料收集	2
5.2 设计编写	3
5.3 测线布设	3
6 海上作业	4
6.1 重力仪安装及校验	4
6.2 重力基点设立	4
6.3 重力仪码头静态稳定性试验	5
6.4 海上试验	5
6.5 作业质量控制	5
6.6 调查船航行	6
6.7 测量定位	6
6.8 水深测量	6
6.9 质量监控	7
6.10 班报记录	7
6.11 数据记录	7
6.12 测量工作报告	8
6.13 现场资料验收	8
6.14 现场资料提交	8
7 资料整理	9
7.1 整理要求	9
7.2 资料准备	9
7.3 整理内容	9
8 资料处理解释	14
8.1 一般要求	14

8.2	资料处理.....	14
8.3	地质解释.....	14
9	成果编制.....	14
9.1	一般要求.....	14
9.2	数据入库.....	14
9.3	整理成果编制.....	14
9.4	处理解释成果图件编制.....	15
9.5	成果报告编制.....	15
10	成果提交与资料汇交.....	16
10.1	成果提交.....	16
10.2	资料汇交.....	16
附录 A (规范性附录)	海洋重力观测记录班报.....	17
附录 B (资料性附录)	海洋重力测量海底地形改正方法.....	18
参考文献.....		20

前 言

本标准依据GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国国土资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本标准起草单位：广州海洋地质调查局。

本标准主要起草人：陈洁、王功祥、赵强、别路、高德章、朱本铎、万荣胜、何国信、陈集云。

本标准为首次发布。

海洋地质调查重力测量技术规范

1 范围

本标准规定了海洋重力测量的技术设计、海上作业、资料整理、资料处理解释、成果编制与汇交等技术要求。

本标准适用于海洋地质、资源、环境调查中的走航式海洋重力测量工作，其他目的的走航式海洋重力测量工作可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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（GNSS）测量规范

DZ/T 0004 重力调查技术规范（1：50000）

DZ/T 0068 地球物理勘查图示、图例和用色标准

3 术语和定义、缩略语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

准完全布格重力异常 Incomplete Bouguer anomaly

空间重力异常经有限范围内海底地形改正、陆地（岛屿）重力效应改正得出的重力异常。

3.1.2

交叉点偏差 Crossing point deviation

工区内，同一测线与其他所有相交测线交点位置的重力异常值，经各项改正后重力异常值的整体偏差。

3.2 缩略语

RGNSS- 全球卫星导航定位接收器的英文缩写（Receiver Global Navigation Satellite System）

IGSN-国际重力标准网的英文缩写（International Gravity Standardization Net）

WGS-84坐标系-一种国际上采用的地心坐标系的英文缩写（World Geodetic System-1984 Coordinate System）

4 总则

4.1 比例尺与测网密度

海洋重力测量一般选择的比例尺有1：1 000 000、1：500 000、1：250 000、1：100 000、1：50 000，应根据地质任务与解决的地质问题需要选择适合的比例尺和测网密度，见表1；对于没有前期作业资料可参照的海域或单线测量可按实际需要确定。

4.2 测量精度

$$\text{空间重力异常允许误差： } M_f = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 + m_6^2 + m_7^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- M_f —— 空间重力异常允许误差， $-2.0 \leq M_f \leq +2.0$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_1 —— 重力仪读数分辨率， $-0.01 \leq m_1 \leq +0.01$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_2 —— 重力基点比对允许误差， $-0.3 \leq m_2 \leq +0.3$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_3 —— 零点漂移不完全引起的误差， $-0.5 \leq m_3 \leq +0.5$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_4 —— 舷高改正不完全引起的误差， $-0.5 \leq m_4 \leq +0.5$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_5 —— 厄特渥斯改正不完全引起的误差， $-1.5 \leq m_5 \leq +1.5$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_6 —— 潮汐改正引起的误差， $-0.3 \leq m_6 \leq +0.3$ ， 10^{-5} m/s^2 ；
- m_7 —— 正常场计算引起的误差， $-0.3 \leq m_7 \leq +0.3$ ， 10^{-5} m/s^2 ；

表1 海洋重力测量不同调查比例尺、测网密度与允许误差要求

成果图件比例尺	主测线距 km	联络测线距 km	空间重力异常允许误差
1：1 000 000	10~8	20~16	$-2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 \leq M_f \leq +2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$
1：500 000	8~4	16~8	
1：250 000	4~2	8~4	
1：100 000	2~1	4~2	
1：50 000	≤ 1	≤ 2	

4.3 重力仪主要技术指标

- 零点漂移保持线性，月漂移量小于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ；
- 测量范围不小于 $5\ 000 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，重力仪常数（或格值）稳定；
- 仪器动态范围应不小于 $150 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ ；
- 仪器观测允差应满足 4.2 要求；平台可承受的最大摇摆角应不小于 20° 。

4.4 安全要求

船上应配备防火、防爆装置。每个航次至少应组织演练一次。确保安全。

5 技术设计

5.1 资料收集

设计编写应收集的资料：

- a) 工区的海底地形地貌图、水面航海航线图等各种最新版海图和水深资料；

- b) 工区及邻近地区已有的地质、地球物理基本特征、岩石物性等资料；海洋重力和卫星测高重力资料。
- c) 相关重力基点信息资料；
- d) 助航标志及航行障碍物相关资料（含图件）；
- e) 与任务相关的地质构造、矿产与环境和海况资料。

5.2 设计编写

5.2.1 项目设计编写

项目设计编写应依据地质任务进行，由委托方审批后实施。主要包括：

- a) 调查项目（课题）目标任务与要求；
- b) 调查海域工作程度（概况、主要成果、存在问题），工区及邻区地质、地球物理基本特征、岩石物性资料等；
- c) 调查比例尺、测网布设、调查工作量；
- d) 调查技术方法及其质量要求；
- e) 海上作业（含海上试验）、资料处理、解释等进度计划；
- f) 预期成果；
- g) 人员组成、职责，分工与协作；
- h) 经费预算；
- i) 管理及安全保障。

5.2.2 施工设计编写

施工设计编写应依据项目设计进行，由承担单位审查后实施，当海况或环境有重大变化时，可适当调整，但需得到承担单位确认。主要包括：

- a) 地质任务与任务来源；
- b) 工区概况（自然地理、地形地貌等）；
- c) 调查比例尺，设计工作量、测线部署（含图表）；
- d) 调查船、调查技术选择、导航定位、采集设备以及设备检验项目、技术指标；
- e) 施工方法、作业参数、技术要求；
- f) 施工部署；
- g) 人员配置及责任分工；
- h) 预期成果类型；
- i) 安全与质量控制措施；
- j) 资料验收要求及上交资料清单。

5.3 测线布设

5.3.1 应根据地质任务，选择合适的比例尺和测线密度，在兼顾历史资料利用的基础上进行测线布设。测线布设应采用最新版本海图，注意避让岛礁等障碍物。

5.3.2 当野外工作量大或已经具备历史资料时，出现分阶段实施作业，此时测网、测线应统一布设，包括主测线和联络测线的编号。

5.3.3 后续阶段应重复前阶段已完成的部分工作，图幅衔接应重叠覆盖 3 km 宽度以上，以便对比、拼接。

6 海上作业

6.1 重力仪安装及校验

6.1.1 重力仪安装

要求如下：

- a) 安装在调查船的稳心部位，远离热源体和强电磁源。重力仪开机测试期间应避免相关干扰，不得在附近进行电焊作业。
- b) 重力仪传感器的纵轴与调查船的纵轴线重合或平行。
- c) 底座与船体固定为一体，并采取合理的减振措施，稳定平台接口一端朝向船尾。其它机柜安装稳固，布局合理。
- d) 整个重力仪测量系统应可靠接地。
- e) 调整重力仪传感器在平台上的位置，使作用在平台上的力矩最小。稳定平台和传感器上的所有电缆应处于自然状态，且不对平台形成额外力矩。
- f) 重力仪应安装在具有空气调节装备的室内。
- g) 至少保证重力仪及其附属设备在工作间适应环境 2 h 才能连接线缆。
- h) 重力仪有其它特殊安装要求时，按其使用技术要求执行。

6.1.2 重力仪校验

要求如下：

- a) 重力仪安装连接完毕后，通电加温时间应不少于 48 h，确保重力仪传感器内部达到正常恒温，启动系统进行重力仪校验；
- b) 重力仪校验应包括：重力仪参数测定、联机试验和码头静态稳定性试验；
- c) 校验不合格的重力仪不能用于海上作业。

6.1.3 重力仪参数测定

按重力仪使用手册的要求进行，应满足：

- a) 重力仪正常运行至少 3 h 以上，确保陀螺运转稳定；
- b) 每项参数测定 3~5 次为宜，特殊条件下不低于 2 次；
- c) 测定结果符合使用手册的技术要求，且经主管技术部门签字认可。

6.1.4 重力仪联机试验

要求如下：

- a) 重力仪系统与导航定位系统联机试验应在作业前进行；
- b) 启动重力仪系统，正常后实现与导航定位系统同步；
- c) 信号通道正常；
- d) 数据传输、存储正常；
- e) 应获得不小于 1 h 的数据记录。

6.2 重力基点设立

6.2.1 重力基点功能

要求如下：

- a) 根据测点的相对重力测量值换算测点绝对重力值；
- b) 确定零点漂移改正系数；
- c) 检验重力测量准确度。

6.2.2 重力基点的设立

设立要求：

- a) 设立在调查船停靠的固定码头上，并建立坚实固定标志；
- b) 采用高精度陆地重力仪与国家重力基点网联测，其联测误差优于 $\pm 0.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ；
- c) 水面高度改正至 0 m（1985 国家高程系）。

6.2.3 重力基点比对

要求如下：

- a) 每个航次，作业开始前和结束后应进行重力基点比对；
- b) 具备重力基点数据及相关信息；
- c) 调查船尽可能靠近基点，重力仪至基点的距离应小于 100 m；
- d) 测量重力仪至基点的距离和方位，绘制略图，略图中包含邻近显著建筑物群和质量体等；
- e) 重力仪稳定后，间隔 10 min 记录一次仪器读数，连续记录 5 次；
- f) 记录重力仪读数期间，测量重力基点、船甲板左右舷到水面高度，计算重力仪传感器重心相对重力基点的高差，同时记录量取时间；
- g) 基点比对期间，重力仪系统与导航定位系统处在不连接状态；
- h) 保存基点比对记录数据；填写基点比对记录表。

6.3 重力仪码头静态稳定性试验

要求如下：

- a) 作业开始前和结束后，调查船停靠码头时分别进行一次；
- b) 重力仪工作正常，连续开机时间不小于 48 h；
- c) 班报记录：除了开始、结束应作记录，试验过程中每间隔 1 h 都应作记录；
- d) 试验数据保存；
- e) 试验结果成图；
- f) 潮汐改正后，零点月漂移量不大于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

6.4 海上试验

- 6.4.1 应按施工设计要求进行海上试验，以测试仪器的性能，并选择最佳参数。
- 6.4.2 试验海区应选在重力场平稳、便于船只转向、风小、流小、无渔网和水下障碍的开阔海区。
- 6.4.3 在线测量应保持匀速直线航行，避免在主测线或联络测线交点附近偏航、变速。
- 6.4.4 仪器系统应处于正常状态。重复观测点（或交点）的空间重力异常均方误差优于 $\pm 2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。
- 6.4.5 只有海上试验合格后，才能进入正式海上作业过程。

6.5 作业质量控制

- 6.5.1 调查船离开码头后原则上不应关闭测量系统。如中途需要关闭测量系统，应保证传感器处于不间断加温状态。
- 6.5.2 遇到下列情况之一时，应立即终止作业：

- a) 因电源等意外原因导致测量中断，立即记录故障原因和时间。故障排除后，待重力仪稳定，就近同向重新测量 3 h 里程的测线，检查重力仪弹性系统有无突变，确保后续测量数据有效。
- b) 应有保护重力仪的措施，防止人为碰撞重力仪平台。发生明显碰撞平台或重力仪时，立即汇报，且应返回到前期测点或附近基点进行比对检查，确认仪器正常且经上级主管部门批准后才能继续作业。
- c) 重力仪出现大掉格时，立即汇报，且应返回到前期测点或附近基点进行对比检查，确认仪器正常且经上级主管部门批准后才能继续作业。

6.5.3 一条测线，不合格观测点大于 20%，该测线报废，应重新进行测量作业。满足以下条件之一，视为不合格观测点：

- a) 重力仪在作业过程中测量意外中断。
- b) 重力仪平台在作业过程中意外碰撞、倾覆。
- c) 重力仪监测记录出现大掉格。

6.6 调查船航行

采用船载重力仪走航式连续重力测量法作业。航行要求如下：

- a) 沿布设测线匀速、直线航行，航速应不大于 12.0 kn。
- b) 提前上线时间应大于 5 min，延迟下线时间应大于 5 min。
- c) 观测点横向偏离设计航线的距离应不大于测线距的 1%，其中 95%的观测点应不大于 0.5%。对于大比例尺调查，观测点横向偏离设计航线的左右距离应不大于 50 m，其中 95%的观测点应不大于 25 m。
- d) 航向修正：东西向测线每次修正量应小于 2°；南北向测线每次修正量应小于 1°；每分钟修正一次。
- e) 航速变化：东西向测线应小于 0.2 kn，南北向测线应小于 0.5 kn。
- f) 上下线转向舵角应小于 15°。

6.7 测量定位

重力测量定位采用差分全球卫星定位，要求如下：

- a) 定位精度优于 5 m；定位误差在图上应小于 0.1 mm。全球卫星导航定位接收机（RGNSS）的数据更新率不低于 1 Hz；
- b) 出航前在已知点进行 24 h 全球卫星导航定位精度比对试验及稳定性试验，卫星定位作业执行 GB/T 18314 相关规定；
- c) 全球卫星导航定位天线应牢固架设在调查船的开阔位置，并避开雷达直接辐射。

6.8 水深测量

要求如下：

- a) 用于布格（或准完全布格）重力异常改正计算的水深数据，其精度应满足表 2。

表2 水深测量允许误差表

水深	允许误差
0 m≤水深≤100 m	优于±1.0 m
100 m<水深≤1 000 m	优于±10.0 m
1 000 m<水深≤4 000 m	优于±20.0 m
水深>4 000 m	优于±水深×0.5% m

- b) 应根据测区水深范围和水深测量的精度要求选择合理的测深仪，水深大于 1 000 m 时尽量选择高精度数字式测深仪；
- c) 航次开始前应进行不少于 12 h 测深仪的稳定性试验，码头停靠期间或野外抛锚期间应进行测深仪水砣比对试验，比对精度应符合 6.8 a) 的要求；
- d) 应进行声速剖面测量以对测深仪进行改正。原则上水深大于 200 m 时， $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 范围内至少做一次声速剖面测量；水深小于 200 m 时， $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 范围内至少做一次声速剖面测量。

6.9 质量监控

依据重力测量系统显示或打印下列信息进行实时质量监控，内容包括：

- a) 导航定位数据：格林尼治时间、定位坐标、航速、航向；
- b) 记录状态、记录文件名称；
- c) 相对重力测量值、纵横水平加速度、导航数据、罗经数据、水深数据；
- d) 实时模拟曲线图；
- e) 现场监控测量数据的抖动：
 - 1) 观察传感器在船运动姿态下感应的纵横加速度，一般海况下纵横加速度的变化表现在模拟曲线上基本上在以中心点 1-2 格的范围内摆动为正常；
 - 2) 在恶劣海况下则有 3-6 格的变化，此时应根据实际情况决定是否继续作业。
 - 3) 当船变速或偏航时，纵横加速度、重力值、摆位均会发生变化。做好工作记录或班报记录。
- f) 监控数据掉格，重力读数突然增加或减小几十或几百个毫伽，在模拟曲线上会出现一条阶跃曲线。应停止测量，立即回到掉格前的位置或回到码头基点进行重复观测，以确保前期工作的可信性；
- g) 值班人员应随时监控系统显示，当发现记录状态以及采集数据出现异常，应准确判断原因并及时处理，补测时应在前期正常测量资料基础上重复覆盖 3km，认真做好工作记录或班报记录，技术负责检查、监控，测线完成后，签字确认；
- h) 每完成一个工区的阶段性工作，编制资料质量自检表，包括信息：工区名、测线名、有效工作量、影响资料质量的因素、影响评估、解决方案、其他。

6.10 班报记录

要求如下：

- a) 测线作业开始、结束、作业期间间隔 1 h 记录一次班报，当班人员签名。
- b) 可以使用电子文档记录班报，但应每天打印纸质文档，当班人员签名。
- c) 船变速、偏航、仪器发生故障或有过往船只等特殊情况应及时处理，并有班报记录。
- d) 班报填写准确、不得涂改。

- e) 班组长应对班报记录（包括电子文档）进行检查并签名，负责人对每个作业周期的班报记录进行全面检查并签名。
- f) 班报格式见附录 A。

6.11 数据记录

要求如下：

- a) 重力测量采集记录数据项：测线名、测点号、格林尼治日期、时间、航向、航速、罗经、经度、纬度、水深、重力仪读数值。
- b) 一条测线作业完成，及时进行数据备份并检查数据文件是否记录完整，发现数据丢失或不完整的应立即上报。
- c) 备份的测线数据文件名称与原始测线名称一致。
- d) 采用光盘备份，一张光盘可存储多条测线，但不应同一条测线跨盘备份。
- e) 原始采集系统硬盘数据至少保留到验收，所有记录中应附有数据格式说明。

6.12 测量工作报告

应在作业结束后提交，内容包括：

- a) 任务来源及工区概况；
- b) 调查区地理位置及潮汐情况；
- c) 测区范围与调查比例尺；
- d) 测线布设与实际完成工作量；
- e) 调查船、重力测量设备及其简单的工作原理；
- f) 生产准备情况；
- g) 野外施工；
- h) 任务完成情况及质量评价；
- i) 存在问题及建议；
- j) 相关图表（如设备相对位置图、质量自检表、基点比对表等）。

6.13 现场资料验收

海上作业完成后，应由任务委托方组织进行现场资料验收，内容包括：

- a) 资料评价分级：
 - 1) 分为优秀、良好、合格、不合格四级。
 - 2) 不合格的原始资料报废。
- b) 评价标准：
 - 1) 数据记录、模拟记录、班报、基点比对、工作报告等资料齐全。
 - 2) 重力仪零点月漂移量小于 $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。
 - 3) 海上作业资料，同时满足以上 1)、2) 两个条款为合格，不满足其中任何一条时为不合格。无差错为优秀，个别差错为良好。

6.14 现场资料提交

包括：

- a) 班报；
- b) 测量数据；
- c) 重力测量工作报告；

- d) 基点比对结果;
- e) 质量自检表。

7 资料整理

7.1 整理要求

包括:

- a) 对重力及相关参数的观测记录进行各项改正, 计算空间重力异常、布格重力异常及相应的均方误差。
- b) 应改正项包括: 基点读数改正、滤波延迟改正、零点漂移改正、舷高改正、厄特渥斯改正、正常重力值改正、布格改正(或准完全布格改正)。
- c) 可选择改正项: 潮汐影响改正。
- d) 海底地形改正与准完全布格重力异常计算, 需具备海底地形数据。在海底地形起伏较大、精度要求较高时应进行本项改正与计算。海底地形改正的方法参见附录 B。

7.2 资料准备

包括:

- a) 海上作业得到的导航定位、水深、重力等观测记录, 需进行解编、匹配, 整理为数据文件, 供资料整理工作使用。在对数据进行解编、匹配过程中, 不得对原始记录进行任何修改与删除。
- b) 数据文件应含数据项: 测线名, 测点号, 年、月、日, 时间, 纬度, 经度, 水深, 航向, 航速, 重力仪读数, 潮汐值。

7.3 整理内容

7.3.1 重力基准系统

重力测量基点绝对重力值, 国内采用2000国家重力基准, 国外采用IGSN(1971)系统。

7.3.2 滤波延迟校正

包括:

- a) 作业采用的重力仪, 对读数设置滤波功能但未作延迟改正, 应作此项改正。
- b) 资料整理的第一改正项, 以下各项改正与计算在此项改正后进行。
- c) 依据重力仪厂方提供的延迟时间, 对重力仪读数时间进行改正, 与导航定位提供的测点时间、位置相匹配。

7.3.3 基点读数改正

基点重力仪读数进行高度、舷高、瞬时水面高度改正, 按公式(2)计算:

$$g_{基} = g_{基读} - 0.3086H_g - 0.0419 \times \sigma_{水}(H_{基} - H_g - H_{gw})/2 \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- $g_{基}$ —— 改正后基点重力仪读数值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{基读}$ —— 基点重力仪读数值, 10^{-5} m/s^2 ;
- H_g —— 基点读数时重力仪弹性系统至基点垂直距离, m;

- $\sigma_{\text{水}}$ —— 水体密度, 10^3kg/m^3 ;
- $H_{\text{基}}$ —— 基点高程 (1985国家高程系), m;
- H_{gw} —— 基点读数时重力仪弹性系统至瞬时水面垂直距离, m。

7.3.4 零点漂移改正

零点漂移值按公式 (3) 计算:

$$g_{\text{零漂}} = G_{\text{始基}} - G_{\text{终基}} + g_{\text{终基}} - g_{\text{始基}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $g_{\text{零漂}}$ —— 零点漂移值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $G_{\text{始基}}$ —— 始基点绝对重力值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $G_{\text{终基}}$ —— 终基点绝对重力值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $g_{\text{始基}}$ —— 改正后始基点重力仪读数值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $g_{\text{终基}}$ —— 改正后终基点重力仪读数值, 10^{-5}m/s^2 。

测点零点漂移改正值按公式 (4) 计算:

$$g_{\text{零}i} = \frac{-g_{\text{零漂}}}{\Delta t} \times \Delta t_i \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $g_{\text{零}i}$ —— 测点零点漂移改正值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $g_{\text{零漂}}$ —— 零点漂移值, 10^{-5}m/s^2 ;
- Δt —— 始基点至终基点重力仪读数时间间隔, s;
- Δt_i —— 测点至始基点重力仪读数时间间隔, s。

7.3.5 舷高改正

舷高影响值按公式 (5)、(6) 计算:

$$g_{\text{舷影}} = (0.3086 - 0.0419 \times 1.03)(H_{\text{gw}2} - H_{\text{gw}1}) = 0.265443(H_{\text{gw}2} - H_{\text{gw}1}) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $g_{\text{舷影}}$ —— 舷高影响值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $H_{\text{gw}1}$ —— 始基点读数时重力仪弹性系统至瞬时水面垂直距离, m;
- $H_{\text{gw}2}$ —— 终基点读数时重力仪弹性系统至瞬时水面垂直距离, m。

$$g_{\text{舷}i} = \frac{-g_{\text{舷影}}}{\Delta t} \times \Delta t_i \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $g_{\text{舷}i}$ —— 舷高影响改正值, 10^{-5}m/s^2 ;
- $g_{\text{舷影}}$ —— 舷高影响值, 10^{-5}m/s^2 ;
- Δt —— 始基点至终基点重力仪读数时间间隔, s;

Δt_i —— 测点至始基点重力仪读数时间间隔, s。

7.3.6 厄特渥斯改正

测点厄特渥斯(Eotvos)改正值按公式(7)计算:

$$g_{\bar{E}i} = 7.502 \times V_i \times \sin A_i \times \cos \Phi_i + 0.00415 V_i^2 \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- $g_{\bar{E}i}$ —— 测点厄特渥斯改正值, 10^{-5} m/s^2 ;
- V_i —— 测点船舶航行瞬时速度, kn, 1 kn = 1.85185 km/h;
- A_i —— 测点航迹瞬时方位角, 度;
- Φ_i —— 测点地理纬度, 度。

7.3.7 潮汐影响改正(选择改正项)

测点潮汐改正值按公式(8)计算:

$$g_{\text{潮}i} = (0.3086 - 0.0419 \times 1.03) h_{ci} = 0.265443 \times h_{ci} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- $g_{\text{潮}i}$ —— 测点潮汐改正值, 10^{-5} m/s^2 ;
- h_{ci} —— 潮汐值, m。

7.3.8 正常重力值

选用WGS-84全球大地坐标系地球椭球参数, 测点正常重力值采用1985国际正常重力按公式(9)计算:

$$g_{\bar{E}i} = 978032.67714 \times \frac{1 + 0.00193185138639 \sin^2 \varphi_i}{(1 - 0.00669437999013 \sin^2 2\varphi_i)^{1/2}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- $g_{\bar{E}i}$ —— 测点正常重力值, 10^{-5} m/s^2 ;
- φ_i —— WGS-84大地坐标系中测点地理纬度, 度。

选用2000国家大地坐标系地球椭球参数, 测点正常重力值采用2000正常重力按公式(10)计算:

$$g_{\bar{E}i} = 978032.53349 \times \frac{1 + 0.00193185297052 \sin^2 \varphi_i}{(1 - 0.0066943800229 \sin^2 2\varphi_i)^{1/2}} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- $g_{\bar{E}i}$ —— 正常重力值, 10^{-5} m/s^2 ;
- φ_i —— 2000国家大地坐标系中测点地理纬度, 度。

7.3.9 测点绝对重力值与重力异常计算

7.3.9.1 测点绝对重力值按公式(11)计算:

$$g_i = G_{\text{始基}} + g_{\text{测}i} - g_{\text{始基}} + g_{\text{零}i} + g_{\text{舷}i} + g_{\text{厄}i} + (g_{\text{潮}i}) \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- g_i —— 测点绝对重力值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $G_{\text{始基}}$ —— 始基点绝对重力值, 10^{-5} m/s^2 , 水面高程: 0 m (1985国家高程系);
- $g_{\text{测}i}$ —— 测点重力仪读数值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{始基}}$ —— 改正后始基点重力仪读数值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{零}i}$ —— 测点零点漂移改正值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{舷}i}$ —— 测点舷高影响改正值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{厄}i}$ —— 测点厄特渥斯改正值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{潮}i}$ —— 测点潮汐改正值, 10^{-5} m/s^2 。

7.3.9.2 测点空间重力异常值按公式(12)计算:

$$\Delta g_{fi} = g_i - g_{\text{正}i} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- Δg_{fi} —— 测点空间重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;
- g_i —— 测点绝对重力值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{正}i}$ —— 测点正常重力值, 10^{-5} m/s^2 。

7.3.9.3 测点布格重力异常值按公式(13)、(14)计算:

$$\Delta g_{bi} = \Delta g_{fi} - g_{\text{布}i} \dots\dots\dots (13)$$

$$g_{\text{布}i} = 0.0419 \times (\sigma - 1.03) \times h_i \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- Δg_{bi} —— 测点布格重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;
- Δg_{fi} —— 测点空间重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;
- $g_{\text{布}i}$ —— 测点布格改正值, 10^{-5} m/s^2 ;
- σ —— 中间层密度, 10^3 kg/m^3 ;
- h_i —— 测点水深, 以平均海平面计算, m。

7.3.9.4 测点准完全布格重力异常值按公式(15)计算:

$$\Delta g_{zbi} = \Delta g_{fi} + g_{\text{地}i} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

- Δg_{zbi} —— 测点准完全布格重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;
 - Δg_{fi} —— 测点空间重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;
 - $g_{\text{地}i}$ —— 测点海底地形改正值(参见附录B), 10^{-5} m/s^2 。
- 测点海底地形改正半径不小于40 km。

7.3.10 重力异常采样点取值

7.3.10.1 采样间隔 1s, 获取采样点的重力异常值, 经各项改正后得到的测点重力异常值, 含有高频干扰时, 需进行去高频干扰处理。处理方式依据处理前后的测线重力异常曲线对比试验确定, 以消除高频干扰、有效信息不畸变为准。

7.3.10.2 去高频干扰处理, 也可由测点重力仪读数、厄特渥斯改正值(或测点船舶航行瞬时速度、测点航迹瞬时方位角)开始, 直至测点重力异常值, 数据精度达到要求可不做。一般情况可以选用 5-9 点圆滑公式进行 1 次或多次处理。

7.3.11 交叉点偏差改正

要求如下:

- 工区内, 以连续作业完成的单条测线为计算单元, 内插求取单条测线与其所有相交测线交点位置的重力异常差值, 计算单条测线所有交点位置重力异常差值的平均值(下简称为差平值)。
- 所有主测线(含相近方向测线), 按照单条主测线计算得到的差平值, 对单条主测线所有交点位置重力异常值进行修正, 修正量为差平值的 1/2。计算每条主测线的差平值。
- 所有联络测线(含相近方向测线), 按照单条联络测线计算得到的差平值, 对每单条联络测线所有交点位置重力异常值进行修正, 修正量为差平值的 1/2。计算每条联络测线的差平值。
- 多次重复步骤 b、c, 直至所有测线每次修正量小于设定的差平值修正阈值。计算最终每条测线多次修正的差平值量之和, 即为计算得到的每条测线的交叉点偏差, 编制交叉点偏差改正值表。
- 依据各测线的交叉点偏差改正值, 对采样点重力异常值进行交叉点偏差改正, 获取采样点最终的空间重力异常值、布格重力异常值、准完全布格重力异常值。
- 交叉点偏差改正后采样点重力异常值按公式(16)、(17)、(18)计算:

$$\Delta g_{Fi} = \Delta g_{fi} + g_t \dots\dots\dots(16)$$

$$\Delta g_{Bi} = \Delta g_{bi} + g_t \dots\dots\dots(17)$$

$$\Delta g_{ZBi} = \Delta g_{zbi} + g_t \dots\dots\dots(18)$$

式中:

$\Delta g_{Fi} / \Delta g_{Bi} / \Delta g_{ZBi}$ ——交叉点偏差改正后采样点(空间/布格/准完全布格)重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;

$\Delta g_{fi} / \Delta g_{bi} / \Delta g_{zbi}$ ——交叉点偏差改正前采样点(空间/布格/准完全布格)重力异常值, 10^{-5} m/s^2 ;

g_t ——采样点所在测线或测线段的交叉点偏差改正值, 10^{-5} m/s^2 。

7.3.12 重力测量均方差计算

交叉点偏差改正前后均需计算重力测量均方差, 交点数 ≥ 30 , 舍弃点数不得超过总交点数的 3%, 按公式(19)计算:

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

式中:

ε ——重力测量均方差, 10^{-5} m/s^2 ;

δ_i ——交叉点偏差改正（前/后）主测线与联络测线交点处（空间/布格/准完全布格）重力异常差值， 10^{-5} m/s^2 ；

n ——交点数。

8 资料处理解释

8.1 一般要求

- 8.1.1 资料处理解释按照 DZ/T 0004 和区域重力调查的相关标准的要求执行。
- 8.1.2 利用整理后资料计算、推测密度界面的形态、埋深等特征。
- 8.1.3 利用整理后资料计算、推测与周边围岩存在密度差异的岩体分布。
- 8.1.4 利用整理后资料推测断裂展布。

8.2 资料处理

- 8.2.1 收集、分析、汇总工区及邻区已有的地质、地球物理、钻探、岩石物性等资料，对资料整理获得的成果进行处理解释。
- 8.2.2 依据地质任务、重力异常特征选择若干条剖面进行正、反演拟合计算与综合解释，建立剖面密度结构。剖面位置与数量以能控制整个工区密度结构为宜。
- 8.2.3 选择位场分离、方向导数等合适的数据处理方法，目的是有效地压制干扰，突出、增强或提取目标地质体的位场异常。
- 8.2.4 目标地质体异常反演处理解释，结果受剖面密度结构的约束。
- 8.2.5 有效利用工区其它地质、地球物理资料，在进行剖面正、反演拟合计算解释和目标地质体异常反演处理解释时相互约束、紧密结合。

8.3 地质解释

- 8.3.1 地质解释包括定性解释和定量解释，小比例尺的重力测量以定性解释为主。
- 8.3.2 依据重力异常的强度、轴向、形状、组合等特征进行重力异常的分类及分区。按特征可分为条带状异常、等轴状异常、异常梯级带、相对重力高、相对重力低等。
- 8.3.3 地质解释在资料处理基础上进行，采用工区内各种地质、地球物理资料进行综合解释，以揭示重力异常与地质因素的内在联系，由此推测、论述工区的地质构造、地壳结构特征等，为预定的工区地质任务服务。

9 成果编制

9.1 一般要求

需要编制的成果应包括各类文件、数据、图表，还包括数据库和各种成果图件。

9.2 数据入库

- 9.2.1 有关重力测量的成果信息均应纳入数据管理系统。
- 9.2.2 按工区、航次、测线、采样点等 4 类信息进行分类、入库，方便检索查阅。

9.3 整理成果编制

9.3.1 整理成果数据文件

资料整理完成后的成果数据文件应含数据项：工区名，测线名，采样点号，年、月、日，时间，纬度，经度，绝对重力值，空间重力异常值，布格重力异常值/准完全布格重力异常值，水深。

9.3.2 整理成果图编制

9.3.2.1 成果图件比例尺与工区调查比例尺及技术设计规定比例尺相同，符合 DZ/T 0068 和有关图示图例标准要求。

9.3.2.2 实际材料图编制：

- a) 重力测量资料经检查校核，质量合格；
- b) 测线名称标注在测线两端外侧，按照比例尺，图上 1cm 作一垂线标记，测线下标注采样点编号作为定位点号。

9.3.2.3 重力异常等值线图编制：

- a) 等值线勾绘圆滑，资料不足的区域用长虚线表示。
- b) 等值线间距一般为重力异常均方差的 2 倍~2.5 倍。
- c) 线条等值线图应标注等值线值，正值等值线用黑色实线或红色实线表示，零值等值线用黑色点划线表示，负值等值线用黑色虚线或蓝色虚线表示。
- d) 着色等值线图：图面清晰、美观、浓淡匀称。暖、冷色调面色分别表示正、负重力异常。以色层和颜色的深浅表示异常的强弱，标注柱状色阶。等值线均用黑色实线表示，不标注等值线值。
- e) 图例栏内需注明采用的正常重力公式，绝对重力值系统。布格重力异常图另需注明采用的中间层物质平均密度值；准完全布格重力异常等值线图则还需注明采用的地改半径、地改物质平均密度值。
- f) 采用网格化数据编制重力异常等值线图，网格节点距在成果图上小于 5 mm；如果在仅有几条测线的区域，网格节点距在成果图上符合相同比例尺成图的基本要求。图例栏内应注明采用的网格化方法、网格节点距。

9.3.2.4 重力异常剖面平面图编制：

- a) 剖面横坐标应与成图比例尺一致，纵坐标按异常值大小、图面能清晰表示为准适当选取。
- b) 剖面的右、上方为正异常，左、下方为负异常，着色时红色表示正，蓝色表示负。

9.4 处理解释成果图件编制

9.4.1 剖面综合解释成果图编制：

- a) 图面分为上下两部分，上部绘制采样点重力异常曲线、拟合重力场曲线，下部绘制密度结构。
- b) 横向比例尺与工区调查比例尺/技术设计规定比例尺相同。
- c) 上部纵坐标按异常值大小、图面能清晰表示为准适当选取。
- d) 下部纵向比例尺按密度结构复杂程度、最大深度适当选取，技术设计有规定则按规定执行。
- e) 工区构造单元跨越不大时，整个工区各条剖面综合解释成果图采用统一的纵横比例尺、纵坐标；测线特别长，跨越多个构造单元时，各条剖面综合解释成果图采用美观、方便展示的纵横比例尺、纵坐标。

9.4.2 密度界面深度图编制参照 9.3.2.3 要求执行。

9.5 成果报告编制

成果报告内容应包括：

- a) 前言：目的任务、任务完成概况、提交成果；

- b) 工区概况：工区范围、自然地理概况、以往工作程度、地质概况、调查比例尺、调查精度、设计工作量；
- c) 岩石地球物理特征：若参考邻区数据，则提供类比依据；
- d) 采集施工：设备与技术参数、提交成果、数据格式等；
- e) 资料整理：方法技术、整理流程、提交成果、数据格式等；
- f) 成果处理与解释：根据调查的阶段，开展相应的处理与解释。包括平面、剖面综合解释、密度界面反演、地质认识等；
- g) 成果图件编制；
- h) 结论与建议；
- i) 参考文献。

10 成果提交与资料汇交

10.1 成果提交

包括：

- a) 成果报告。
- b) 测量数据。重力测量测点数据，数据项包括：工区名代码，测线名，点号，年、月、日，时间，经度，纬度，绝对重力值，布格重力异常值/准完全布格重力异常值，水深等。
- c) 成果图件。航迹图：真实的航行轨迹；重力资料整理成果图件：实际材料图、重力异常等值线图、重力异常剖面平面图等；处理解释成果图件：剖面综合解释成果图、密度界面深度图等。

10.2 资料汇交

按相关规定执行。汇交资料主要包括：

- a) 调查任务书，或合同书；
- b) 项目设计、施工设计及其审查意见；
- c) 测量数据，计算、分析整理的成果数据报表及说明；
- d) 成果图件，各种图表、图件（包括底图）、照片及文字说明；
- e) 航次报告、专题工作报告；
- f) 成果报告及成果评审意见书；
- g) 汇总资料清单。

附 录 A
(规范性附录)
海洋重力观测记录班报

海洋重力观测记录班报见表A.1。

表A.1 海洋重力观测记录班报表

船 名：_____ 项目名称 _____ 工区：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日
 海况：_____ 船吃水：_____ 室内温度：_____ 湿度_____
 海洋重力仪：_____ 时间常数：_____ 仪器格值：_____ 走纸速度：_____

测线名	航向(°)	航速(kn)	定位点号	时间	重力仪读数(10^{-5} m/s^2)	备 注

组长：_____ 技术负责：_____ 值班员：_____

共 页，第 页

附录 B
(资料性附录)
海洋重力测量海底地形改正方法

海洋重力测量海底地形改正的方法多样，随着技术进步，方法有更大的改进空间。

目前生产中最常用的方法之一，是选用直立六面体作为三度体基本单元模型，然后构成组合模型(图 B.1)，上顶面逼近海平面、陆地地形起伏面，下底面逼近海底面，正演计算组合模型的重力效应获取地形改正值。

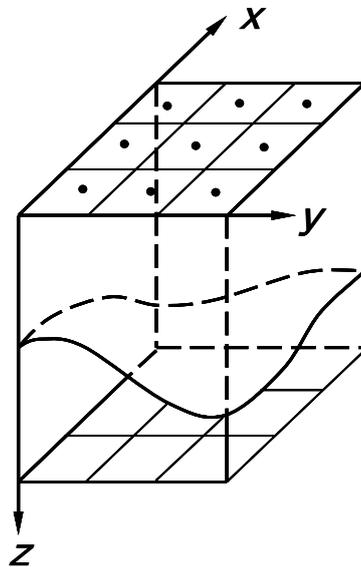


图 B.1 三维海底面直立六面体组合示意图

按照地形改正的范围、直立六面体的截面大小，基于水深及陆地高程成果，建立相应网格距的数字地形模型。地改分为近、中、远区，由于各区选用的直立六面体截面大小不同，需分别建立相应不同网格距的数字地形模型。计算覆盖测点范围内每一个数字地形模型网格节点的组合模型重力效应，依据测点位置，由与其相邻的四个网格节点的组合模型重力效应，通过线性内插求取测点的地形改正值。

根据位场理论，三度体在任意空间任意点 P(x, y, z) 处的重力异常 Δg 的计算公式为：

$$\Delta g = G \iiint_v \frac{\sigma(\zeta - z)}{R^3} dv \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

G ——万有引力常数;

σ ——密度体岩石密度, 10^3kg/m^3 ;

v ——密度体的空间分布区域, $R^2 = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2$;

Δg ——重力异常, 10^{-5}m/s^2 ;

(ξ, η, ζ) ——三度体的中心坐标;

按照直立六面体规则剖分进行数值计算, 则 (式 B.1) 可以变为

$$\Delta g_i = \sigma \sum_{j=1}^m G_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$G_{ij} = G \iiint_{V_j} \frac{(\zeta_j - z_i)}{R^3} dv_j$$

G_{ij} 可用下式计算

$$G_{ij} = -G \left\{ (\xi_j - x_i) \ln[(\eta_j - y_i) + R] + (\eta_j - y_i) \ln[(\xi_j - x_i) + R] \right. \\ \left. + (\zeta_j - z_i) \cdot \text{tg}^{-1} \frac{(\zeta_j - z_i) \cdot R}{(\xi_j - x_i)(\eta_j - y_i)} \right\} \left. \begin{matrix} \xi_j + b & \eta_j + l & \zeta_j + h \\ \xi_j - b & \eta_j - l & \zeta_j - h \end{matrix} \right\} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

Δg_i ——第 i 个节点的重力异常, 10^{-5}m/s^2 ;

M ——需计算的节点总数;

m ——模型剖分的总数;

(ξ_j, η_j, ζ_j) ——第 j 个长方体的中心坐标;

b, l, h ——分别为长方体的长、宽、高的 1/2 长度, m 。

参 考 文 献

- [1] GB/T 12763.1 海洋调查规范 第1部分：总则
 - [2] GB/T 12763.8 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查
 - [3] DZ/T 0001-1991 区域地质调查总则（1：50 000）
 - [4] DZ/T 0004-2015 重力调查技术规范（1：50 000）
 - [5] DZ/T 0082-1993 区域重力调查技术规程
 - [6] DZ/T 0171-1997 大比例尺重力勘查技术规范
 - [7] DZ/T 0247-2009 1：100 万海洋区域地质调查规范
 - [8] DZ/T 0257-2014 区域地质调查规范（1：250 000）
 - [9] DD 2012-02 海域石油和天然气地球物理调查规范
 - [10] DD 2014- 01 海洋地质图图例及用色标准
 - [11] DD 2014-07 区域重力调查野外工作细则
 - [12] 省级重力资料应用成果汇总技术要求（内部资料）
 - [13] 重力资料解释应用技术要求（内部资料）
 - [14] 美国 SEG 协会，英国海洋作业者协会（UKOOA）等权威机构的地球物理标准与规范
-