

中华人民共和国地震行业标准

DB/T 98—2024

绝对重力测量规范

Specifications for absolute gravity measurement

2024-03-01 发布

2024-09-01 实施

中国地震局 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测点设计	2
5 测点建设	3
6 测点观测	4
7 资料归档	9
附录 A (规范性) 绝对重力测点勘选点之记	11
附录 B (规范性) 重力基准点标石和标志规格	12
附录 C (规范性) 绝对重力测点点之记	15
附录 D (规范性) 观测墩委托保管书	16
附录 E (规范性) 绝对重力测定观测程序	18
附录 F (规范性) 绝对重力仪观测记录表	20
附录 G (规范性) 绝对重力测定各项改正数学模型	22
附录 H (规范性) 绝对重力测点点位与环境情况表	25
附录 I (资料性) 绝对重力成果汇总表	26
参考文献	27

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国地震局提出。

本文件由地震监测预报标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：湖北省地震局、中国地震台网中心、中国地震局地球物理研究所、中国地震局第二监测中心、中国地震局第一监测中心。

本文件主要起草人：张新林、胡敏章、李辉、申重阳、邢乐林、陈石、祝意青、韩宇飞、王嘉沛、卢红艳、徐伟民、王同庆、李忠亚、汪帆、张明辉、汪健、肖驰。

引 言

绝对重力测量是利用绝对重力仪器进行观测,获得观测点上的绝对重力值的技术、方法及相应工作。绝对重力测量的作用主要表现为两个方面,一是绝对重力值能为重力测网提供控制基准;二是重复绝对重力测量能监测重力场的动态变化,为地震监测预报和环境与灾害监测等提供科学依据。本文件根据中国数字地震观测网络、中国地壳运动观测网络、中国大陆构造环境监测网络、华北强震跟踪监视及中国大陆综合地球物理场观测等项目的实践经验,结合最新的研究成果而制定。

绝对重力测量规范

1 范围

本文件规定了绝对重力测量的测点设计、建设、观测和资料归档等技术要求。
本文件适用于绝对重力测量,也可供其他行业或科学研究参考使用。

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。

DB/T 23 地震观测仪器进网技术要求 重力仪

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

重力基准点 gravity datum point

采用高精度绝对重力仪测定其重力值,并作为重力网的起算基准和控制点。

[来源:GB/T 20256—2019,3.1]

3.2

重力基本点 basic gravity point

通过绝对重力测量或相对重力联测确定的控制点。

[来源:GB/T 20256—2019,3.3,有修改]

3.3

重力并置点 gravity collocation point

在连续重力观测点近旁的绝对重力观测点。

3.4

绝对重力测点 absolute gravity point

经勘选符合相关技术标准要求,并设有重力观测标志,可用于绝对重力测定的测点。

[来源:DB/T 39—2010,3.7]

注:绝对重力测点包括重力基准点、重力基本点和重力并置点。

3.5

绝对重力仪 absolute gravimeter

用于直接测定绝对重力值的仪器。

[来源:DB/T 23—2007,3.1,有修改]

注:绝对重力仪分激光干涉和原子干涉型,激光干涉型又分单频和双频激光干涉型。

3.6

段差 segment difference

重力测量中,相邻两个点间的重力差值。

[来源:GB/T 20256—2019,3.6]

3.7

相对重力仪 relative gravimeter

用于测量重力段差的仪器。

[来源:DB/T 23—2007,3.2]

3.8

重力垂直梯度 vertical gradient of gravity

表示重力场强度在垂直方向上的变化率的重力位二阶导数。

3.9

GNSS 基准站 global navigation satellite system(GNSS)fiducial station

对卫星导航信号进行长期连续观测,并通过通信设施将观测数据实时或者定时传送至数据中心的
地面固定观测站。

[来源:DB/T 19—2020,3.1]

3.10

标石 markstone

用混凝土制成并埋于地下、露出地面,用于架设测量仪器的石墩。

3.11

观测墩 observation post

设置了测量标志的标石。

4 测点设计

4.1 布设原则

绝对重力测点布设遵循以下原则:

- a) 绝对重力测点的布设在空间分布上应基本均匀,且绝对重力测点之间的最大段差宜覆盖重力观测网测点间最大段差的 80%;
- b) 宜选择已有成果的绝对重力测点,选点的优先顺序为重力基准点、重力并置点、GNSS 基准站、重力基本点;
- c) 重力观测网中绝对重力测点的数量应不少于重力观测网测点总数的 10%,且应不少于 3 个,局部重点区适当加密;
- d) 绝对重力测点应优先布设在观测室内。

4.2 环境要求

绝对重力测点点位选取满足以下要求:

- a) 距工厂、矿场、建筑工地等各种振动源应大于 500 m;
- b) 距高压线、变电设备等强电磁场设备设施应不少于 100 m;
- c) 距飞机跑道应大于 500 m、铁路应大于 200 m、公路应大于 100 m;
- d) 附近区域不会产生较大的质量迁移,不宜在大河、大湖、水库、地面沉降及地下水位变化较大的区域选点。

4.3 资料收集

应收集以下资料:

- a) 所在地区重力观测网分布资料;

- b) 所在地区地形和地质构造资料；
- c) 所在地区已有的重力、大地测量等成果资料；
- d) 与设计有关的供电、交通、通信、建筑、水文、气象等资料。

4.4 内业设计

内业设计应包括以下步骤：

- a) 在地形图上标明拟选的绝对重力测点及其周围地区的主要地质构造、地震活动，与设计有关的地震监测台站、GNSS 基准站等位置，以及已有的可供利用的其他类型重力点等；
- b) 绘制设计草图，图上应标明地质构造、地震活动，绝对重力测点的点名、编号和概略坐标，主要公路、铁路、河流、湖泊和城镇等。

4.5 设计报告

设计报告应包括以下主要内容：

- a) 任务来源和要求；
- b) 设计依据，包括设计的目的、意义、参考资料和指导性规范或文件；
- c) 设计内容，包括设计过程收集的资料和图上设计的成果，以及地质构造、地震活动背景和区域内已有绝对重力测点的利用情况；
- d) 设计过程中的技术问题。

5 测点建设

5.1 绝对重力测点遴选

5.1.1 遴选准备

测点遴选准备应包括以下内容：

- a) 组建由重力测量专家和地质专家组成的遴选小组；
- b) 现场补充、完善设计区域的地质构造图、布格重力异常图、地形图、交通、水文、气象、供电等资料；
- c) 结合收集到的各项资料和设计报告，制定遴选实施方案。

5.1.2 遴选过程

遴选过程应包括：

- a) 勘察设计点位区域的建筑、交通、水文、地质构造、通信、供电等环境条件；
- b) 选择地基坚实稳定、交通便利、可长期保存、便于坐标参数测定的地方设点，避开地质构造破碎带、地面沉降区、潮湿低洼区、建筑空穴区、矿区以及地下水干扰影响较大区域，远离陡峭地形、高大建筑物、地表河流和季节性水源区等；
- c) 实地测试点位的平面坐标、高程、重力背景噪声，结合室内设计确定最佳测点点位；
- d) 测点位置选定后，应设立一个注有点号、点名的点位标记，拍摄点位的远景、近景照片各 1 张，填写和绘制遴选点之记，点之记格式应符合附录 A 的规定；
- e) 经实地勘察，设计点位不满足绝对重力测点环境要求时，宜在设计点位 50 km 以内另行选点建设。

5.2 绝对重力测点观测室要求

绝对重力测点观测室应符合下列要求：

- a) 观测室长和宽均不小于 4 m,天花板离墩面高于 2.5 m;
- b) 观测室内有稳定的 220 V 交流电源,供电功率不小于 5 kW,并有接地;
- c) 湿度不高于 80%,温度宜维持在 10℃~25℃。

5.3 标石埋设

5.3.1 标石及标志规格

5.3.1.1 土层点标石规格

土层点标石规格应符合附录 B 中 B.1 的规定。

5.3.1.2 基岩点标石规格

基岩点标石规格应符合 B.2 的规定。

5.3.1.3 标志规格

标志规格应符合 B.3 的规定。

5.3.2 埋设要求

标石埋设符合下列要求：

- a) 标石应在勘选位置采用混凝土现场灌制方式埋设;
- b) 在勘选的测点位置挖掘满足埋石要求的坑位,拍摄带有坑深标记的近景、远景照片各 1 张;
- c) 按照 5.3.1 中对应的测点标石规格浇筑混凝土,标石墩面和重力标志与地面等高,周围设置隔振槽,槽宽不小于 100 mm,填以粗沙,并拍摄施工过程照片;
- d) 标石面平整度应优于 6 mm,标志镶嵌在墩面的中央;
- e) 在埋石结束后,拍摄附有点名标识的点位近景、远景照片各 1 张;
- f) 重新测定埋设测点的平面坐标和高程,并按照附录 C 的规定绘制点之记;
- g) 按照附录 D 的规定向当地政府或点位所在单位办理观测墩委托保管手续。

6 测点观测

6.1 精度要求

6.1.1 重力基准点绝对重力值测定

重力基准点的绝对重力值测定精度应优于 $5.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.1.2 重力基本点绝对重力值测定

重力基本点的绝对重力值测定精度应优于 $10.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.1.3 重力并置点绝对重力值测定

重力并置点的绝对重力值测定精度应优于 $5.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.1.4 重力垂直梯度测定

重力垂直梯度值测定的段差中误差应小于 $4.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.2 仪器选用

绝对重力测定所用仪器的各项性能指标应遵守 DB/T 23 的要求,并根据测点类型及精度要求选用仪器;重力垂直梯度测定仪器满足其精度要求即可选用。

6.3 绝对重力测定

6.3.1 测前准备

测前应进行下列准备工作:

- a) 清理现场,消除不安全因素;
- b) 检查落体舱真空度;
- c) 对激光器提前通电预热至工作状态。

6.3.2 测量要求

6.3.2.1 重力基准点的测量要求

重力基准点的绝对重力值测定满足下列要求。

- a) 不少于 24 h 观测且不少于 25 组合格数据,组间时间间隔应均匀。若 25 组测量结果达不到精度要求,适当增加合格测量组数。
- b) 单组数据的下落次数应不少于 100 次,且合格下落次数不少于 75 次。
- c) 每组的观测开始时间应设置在整点或半点时刻。
- d) 无效组数超过 8 组或仪器中断工作 10 h 以上时应重新开始观测。

6.3.2.2 重力基本点的测量要求

重力基本点的绝对重力值测定满足下列要求:

- a) 每个测点应不少于 12 组合格数据;
- b) 每组的下落次数应不少于 100 次,且合格下落次数应不少于 75 次;
- c) 仪器停止工作 1 h 以上,之前观测无效,应重新开始观测。

6.3.2.3 重力并置点的测量要求

利用绝对重力仪在重力并置点对连续重力仪进行校准测量时,其测量要求与重力基准点测量要求一致,且应满足以下要求:

- a) 每个测点不少于 12 000 次下落,合格下落次数不少于 10 000 次;
- b) 观测时间宜在大潮前后 5 d 内。

6.3.2.4 测点坐标、高程测定的要求

重力基准点、重力基本点和重力并置点的三维坐标测量应在进行绝对重力测量时同时进行,且精度应优于 10.0 m。

6.3.3 观测程序

绝对重力测定程序应按附录 E 的规定进行操作。

6.3.4 仪器调整与改正

测量过程中,应根据测点环境的稳定程度查看仪器的运行情况,检查气泡偏移、激光波段电压偏离、光束垂直度和平行度偏离等情况,及时调整、改正,并按附录 F 的要求填写“绝对重力仪观测记录表”。

6.3.5 观测工作结束

获得足够数量观测组数、落体数且观测结果精度满足要求后,结束该点观测工作。

6.3.6 数据处理

6.3.6.1 单次下落原始观测重力值计算

对一次下落获得的落体原始观测数据的时间、距离对 (t_{ijk}, z_{ijk}) ,按式(1)和式(2)进行最小二乘拟合,计算该次下落测定的初始位置的原始观测重力值 g_{0ij} 、起始时刻时落体的垂向速度 v_{0ij} 、起始时刻时落体相对初始位置的下落垂直距离 z_{0ij} 。

$$z_{ijk} = z_{0ij} + v_{0ij}\bar{t}_{ijk} + \frac{1}{2}g_{0ij}\bar{t}_{ijk}^2 + \frac{1}{6}\gamma v_{0ij}\bar{t}_{ijk}^3 + \frac{1}{24}g_{0ij}\gamma\bar{t}_{ijk}^4, k = 1, 2, \dots, N_d \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\bar{t}_{ijk} = t_{ijk} - \frac{z_{ijk} - z_{0ij}}{c}, k = 1, 2, \dots, N_d \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- i ——每组的序号, $i = 1, 2, \dots, M, M$ 为组数;
- j ——每组下落次数序号, $j = 1, 2, \dots, n, n$ 为每组落体次数;
- N_d ——下落参与计算的时间距离对总数;
- z_{ijk} ——第*i*组的第*j*次下落的第*k*个落体相对于初始位置的下落垂直距离,单位为米(m);
- t_{ijk} ——第*i*组的第*j*次下落的第*k*个由记录数据的起始时刻起算的下落时间,单位为秒(s);
- \bar{t}_{ijk} ——第*i*组的第*j*次下落的第*k*个下落延迟时间,单位为秒(s);
- c ——光速,单位为 $m \cdot s^{-1}$;
- γ ——实测重力垂直梯度值,单位为 $10^{-8} m \cdot s^{-2}/cm$;
- g_{0ij} ——第*i*组的第*j*次下落初始位置的原始观测重力值,单位为 $10^{-8} m \cdot s^{-2}$;
- v_{0ij} ——第*i*组的第*j*次下落起始时刻时落体的垂向速度,单位为 $m \cdot s^{-1}$;
- z_{0ij} ——第*i*组的第*j*次下落起始时刻时落体相对于初始位置的下落垂直距离,单位为米(m)。

6.3.6.2 单次下落原始观测重力值改正

根据单次下落的初始位置的原始观测重力值 g_{0ij} ,加以固体潮改正 δg_{Tij} 、海潮负荷改正 δg_{Oij} 、大气压力改正 δg_{Cij} 、极移改正 δg_{Pij} 、重力垂直梯度改正 δg_{hij} ,求得该次下落的测点重力标志处的重力值 g_{dij} ,计算见式(3)。各项改正的计算模型应遵循附录 G 的规定。

$$g_{dij} = g_{0ij} + \delta g_{Tij} + \delta g_{Oij} + \delta g_{Cij} + \delta g_{Pij} + \delta g_{hij} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- i ——每组的序号, $i = 1, 2, \dots, M, M$ 为组数;
- j ——每组下落次数序号, $j = 1, 2, \dots, n, n$ 为每组落体次数;
- g_{dij} ——第*i*组的第*j*次下落的测点重力标志处重力值,单位为 $10^{-8} m \cdot s^{-2}$;
- g_{0ij} ——第*i*组的第*j*次下落的初始位置的原始观测重力值,单位为 $10^{-8} m \cdot s^{-2}$;
- δg_{Tij} ——第*i*组的第*j*次下落的固体潮改正,单位为 $10^{-8} m \cdot s^{-2}$;

δg_{Oij} ——第 i 组的第 j 次下落的海潮负荷改正,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

δg_{Cij} ——第 i 组的第 j 次下落的大气压力改正,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

δg_{Pij} ——第 i 组的第 j 次下落的极移改正,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

δg_{hij} ——第 i 组的第 j 次下落的重力垂直梯度改正,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.3.6.3 组平均重力值及标准差计算

根据式(3)每次下落测点重力标志处重力值 g_{dij} 计算每组的重力值 \bar{g}_i 及组内标准差 σ_i , 计算见式(4)和式(5)。

$$\bar{g}_i = \frac{\sum_{j=1}^n g_{dij}}{n}, j = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma_i = \pm \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (g_{dij} - \bar{g}_i)^2}, j = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

i ——每组的序号, $i = 1, 2, \dots, M, M$ 为组数;

n ——每组的落体次数;

g_{dij} ——第 i 组的第 j 次下落的测点重力标志处重力值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

\bar{g}_i ——第 i 组的平均重力值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

σ_i ——第 i 组标准差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

如果 g_{dij} 与 \bar{g}_i 之差大于 3 倍的标准差 σ_i , 则将其剔除并重新计算 \bar{g}_i 和 σ_i , 当组内剔除的下落次数占组内总数之比不大于 25% 时, 该组数据有效。

6.3.6.4 总平均重力值及标准差计算

获得每组的组重力值 \bar{g}_i 及组内精度 σ_i 后, 根据式(6)和式(7)经加权平均计算测点总平均值和标准差。

$$g = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{g}_i \times \sigma_i^{-2}}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^{-2}}, i = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\bar{g}_i - g)^2}, i = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

N ——有效观测组数;

g ——总平均重力值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

σ ——总平均重力值标准差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

\bar{g}_i ——第 i 组的平均重力值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

σ_i ——第 i 组标准差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.3.6.5 双频激光干涉型绝对重力仪测量的总平均重力值及标准差计算

对双频激光干涉型绝对重力仪测量结果的数据处理, 将双频激光干涉测量的红、蓝激光测量数据, 分别按照式(1)~式(7)依次进行计算, 获得 g_R 和 g_B 以及 σ_R 和 σ_B , 根据式(8)和式(9)计算 g 值及其精度 σ 。

$$g = \frac{g_B + g_R}{2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_B^2 + \sigma_R^2)}{2}} \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- $g_R、g_B$ ——分别为红、蓝激光落体测量数据计算的总平均重力值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- $\sigma_R、\sigma_B$ ——分别为红、蓝激光落体测量数据计算的总平均重力值标准差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- g ——总平均重力值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- σ ——总平均重力值标准差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.4 重力垂直梯度测定

6.4.1 技术要求

重力垂直梯度测定应满足下列技术要求:

- a) 在绝对重力仪归算高度处和重力标志处之间使用 2 台相对重力仪进行往返测量;
- b) 每台仪器测定段差的合格成果数不少于 5 个。

6.4.2 观测程序

重力垂直梯度应按照下列步骤测定:

- a) 按绝对重力仪归算高度架设观测平台并调平,量取观测平台表面(高点)至重力标志表面(低点)的高度 Δh ,精确到 1 mm;
- b) 按低点、高点、低点,或高点、低点、高点的顺序进行观测,并作为一个独立测线进行段差计算,求得一个段差成果;
- c) 重复步骤 b),直至每台仪器测定段差的合格成果数不少于 5 个为止。

6.4.3 数据处理

6.4.3.1 段差平均值及其中误差

经各项改正后获得两台仪器的 10 个或以上独立段差结果后,根据式(10)~式(12)计算段差的平均值 dg 及其中误差 m_{dg} 。

$$dg = \frac{\sum_{i=1}^n dg_i}{n}, i = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(10)$$

$$v_i = dg_i - dg, i = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(11)$$

$$m_{dg} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}}, i = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(12)$$

式中:

- n ——独立段差个数, n 应大于或等于 10;
- dg ——段差平均值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- dg_i ——第 i 个独立段差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- v_i ——第 i 个独立段差与平均值之差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- m_{dg} ——段差中误差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

6.4.3.2 垂直梯度计算

根据式(13)和式(14)计算重力垂直梯度 γ 及其精度 m_γ 。

$$\gamma = \frac{dg}{\Delta h} \dots\dots\dots (13)$$

$$m_{\gamma} = \frac{m_{dg}}{\Delta h} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- γ ——重力垂直梯度值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{cm}$;
- dg ——段差平均值,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- m_{dg} ——段差中误差,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- m_{γ} ——重力垂直梯度值精度,单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{cm}$;
- Δh ——平台表面至测点重力标志的高度,单位为米(m)。

6.5 成果整理与技术总结

6.5.1 成果整理

绝对重力测量完成后,应对测量成果进行检查和数据整理工作,包括以下内容:

- a) 检查观测数据和测定精度是否符合规定要求;
- b) 检查观测记录是否完整;
- c) 收集测点观测期间的地震、地下水变动和气象等情况,采集相关图像信息,并按附录 H 的格式要求填写“绝对重力测点点位与环境情况表”;
- d) 整理绝对重力测定和重力垂直梯度测定的观测数据,经数据处理后,并按附录 I 的格式要求填写“绝对重力成果汇总表”。

6.5.2 技术总结

绝对重力测量完成后,作业小组应对工作进行技术总结,应包括以下主要内容:

- a) 任务概况;
- b) 测区自然地理概况;
- c) 作业过程概述,包含作业人员、仪器、装备、进度、路线、存在的问题等;
- d) 测量成果汇总整理,包含附录 C、附录 F、附录 H 和附录 I 等。

7 资料归档

7.1 测点设计资料

测点设计资料应包括以下内容:

- a) 所在地区重力观测网分布资料;
- b) 所在地区地形和地质构造资料;
- c) 所在地区已有的重力、大地测量等成果资料;
- d) 与设计有关的供电、交通、通信、建筑、水文、气象等资料;
- e) 内业设计草图;
- f) 测点设计报告。

7.2 勘选报告

勘选报告应包括以下内容:

- a) 选址地所在地区概况,包括位置、自然地理、交通、通信和安全等情况;

- b) 点位路线图；
- c) 已有绝对重力测点的利用情况；
- d) 选址实施过程和对原设计的修改意见；
- e) 在勘选中收集和制作的有关资料；
- f) 勘选结果,包含勘选工作总结和后续建点及上点观测的建议和注意事项。

7.3 埋石报告

埋石报告应包括以下内容:

- a) 埋石过程的图像资料；
- b) 埋石的点之记；
- c) 观测墩委托保管书；
- d) 埋石工作技术总结,主要内容包括:任务概述、作业依据、实施过程、主要问题及解决措施和对后续观测工作的建议等；
- e) 技术报告,包含 a)~d)的材料和根据埋石指标要求的相关内容。

7.4 测量资料

测量资料应包括以下内容:

- a) 绝对重力测点点位与环境情况表(电子版)；
- b) 绝对重力测点点之记(纸质与电子版)；
- c) 绝对重力仪观测记录表(电子版)；
- d) 绝对重力测定原始观测数据(电子版)；
- e) 重力垂直梯度测定原始观测数据(电子版)；
- f) 绝对重力成果汇总表(电子版)；
- g) 技术总结(纸质与电子版)。

附 录 A
(规范性)
绝对重力测点勘选点之记

表 A.1 给出了绝对重力测点勘选点之记格式。

表 A.1 绝对重力测点勘选点之记

点名		编号		测点类型	
选址地所属行政区划					
交通 略图	测点的位置及交通示意图		自然 地理 地质 概况	测点所在位置的地理地质概况	
选址 近景			选址 远景		
交通、通信、治安情况					
地下水资料					
已有测点的利用情况					
环境说明					
勘选单位					
勘选人				勘选日期	

附录 B

(规范性)

重力基准点标石和标志规格

B.1 土层点标石规格

土层点标石规格应满足下列要求：

- a) 标石墩基长 1 500 mm, 宽 1 500 mm, 高 300 mm；
- b) 标石主体长 1 200 mm, 宽 1 200 mm, 高 1 000 mm；
- c) 标石主体长、宽、高误差不大于 10 mm。

图 B.1 和图 B.2 给出了土层点标石规格示意图。

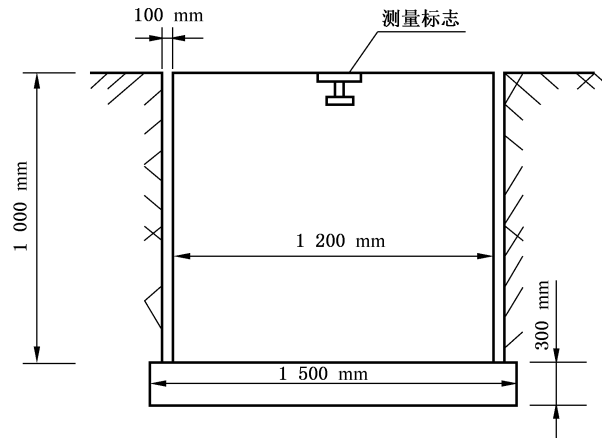


图 B.1 土层点标石剖面图

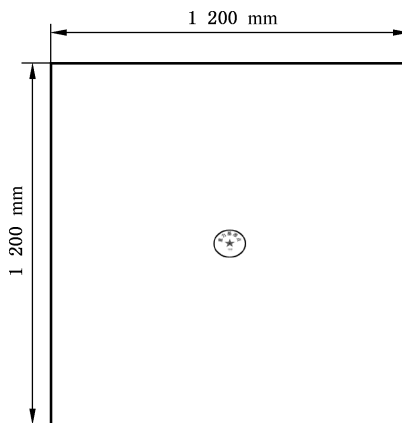


图 B.2 土层点标石平面图

B.2 基岩点标石规格

基岩点标石规格应满足下列要求：

- 标石主体长 1 200 mm, 宽 1 200 mm, 高 300 mm；
- 标石主体长、宽、高误差不大于 10 mm。

图 B.3 和图 B.4 给出了基岩点标石规格示意图。

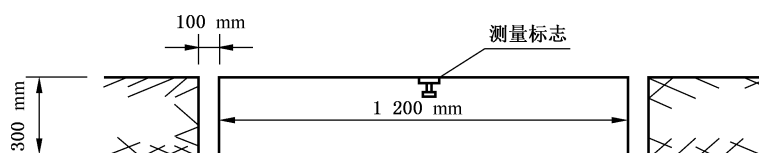


图 B.3 基岩点标石剖面图

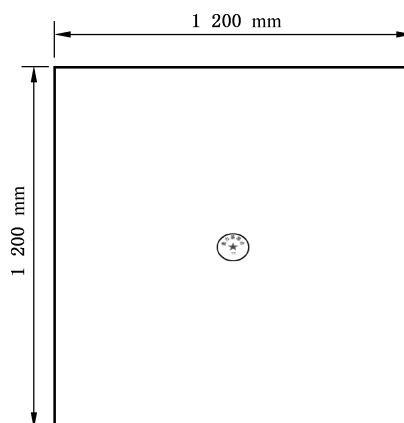


图 B.4 基岩点标石平面图

B.3 标志规格

标志规格应满足下列要求：

- 标志为表面车光刻字的不锈钢标志；
- 标志上、下圆盘厚 15 mm；
- 测量标志的上部大圆盘直径 70 mm, 下部小圆盘直径 40 mm；
- 标志柱高 150 mm, 直径 20 mm；
- 五角星高 14 mm, 五角星的上顶角应垂直于标志中的埋设单位名称, 且位于标志的正中心；
- 标志大字高 10 mm, 小字高 3.5 mm。

图 B.5 和图 B.6 给出了标志规格示意图。

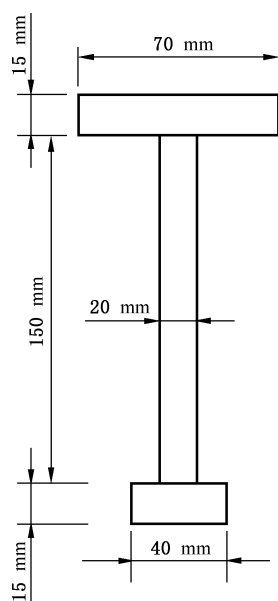


图 B.5 标志剖面图



图 B.6 标志平面图

附 录 C
(规范性)
绝对重力测点点之记

表 C.1 给出了绝对重力测点点之记。

表 C.1 绝对重力测点点之记

点名		经度/(°)		来源	
点号编号		纬度/(°)		来源	
测点类型		大地高/m		来源	
标石类型			地形地貌		
观测单位			绘制者		
所在地			绘制日期		
详细位置			交通略图		
近景照片			远景照片		
选点者			埋石者		
选点日期			埋点日期		
受委托单位	名称		联系人	姓名	
				电话	
备注	经纬度精确到小数点后两位,高程精确到 m。				

附录 D
(规范性)
观测墩委托保管书

表 D.1 给出了观测墩委托保管书。

表 D.1 观测墩委托保管书(正面)

观测墩委托保管书		
点名及点号：	编号：	
标石种类：	标志质料：	
完整情况：		
托管日期：	年 月 日	
设置地点：	省(自治区、直辖市)	县(市/区) 乡村
点位 略图		
<p>观测墩是社会主义经济建设和国防建设的重要设施,必须长期保存。当地各级党、政领导机关应对群众进行宣传教育,认真负责保护观测墩,不得拆除和移动,并严防破坏。埋设标志占用的土地,不得作其他使用。</p> <p>现由_____代表_____根据《中华人民共和国测绘法》,将上述观测墩委托_____接管,并负责保护。</p>		
托管单位:(盖公章)	接管单位:(盖公章)	
托换单位代表:	接管单位代表:	
地址:	地址:	
邮编:	邮编:	
<p>此保管书共三份,一份随成果上交,一份由测量机关呈交地方测绘行政管理部门,一份由受委托单位保管。</p>		

表 D.1 观测墩委托保管书(反面)

中华人民共和国测绘法(节选)

(2017年7月1日起实施)

第三十一条测绘人员进行测绘活动时,应当持有测绘作业证件。

任何单位和个人不得妨碍、阻挠测绘人员依法进行测绘活动。

第四十一条任何单位和个人不得损毁或者擅自移动永久观测墩和正在使用中的临时性观测墩,不得侵占永久性观测墩用地,不得在永久性观测墩安全控制范围内从事危害观测墩安全和使用效能的活动。

本法所称永久性观测墩,是指各等级的三角点、基线点、导线点、军用控制点、重力点、天文点、水准点和卫星定位点的木质觇标、钢质觇标和标石标志,以及用于地形测图、工程测量和形变测量的固定标志和海底大地点设施。

第四十二条永久性观测墩的建设单位应当对永久性观测墩设立明显标志,并委托当地有关单位指派专人负责保管。

第四十三条进行工程建设,应当避开永久性观测墩;确实无法避开,需要拆迁永久性观测墩或者使永久性观测墩失去效能的,应当经国务院测绘行政主管部门或者省、自治区、直辖市人民政府测绘行政主管部门批准;涉及军用控制点的,应当征得军队测绘行政主管部门的同意。所需迁建费用由工程建设单位承担。

第四十四条测绘人员使用永久性观测墩,必须持有测绘作业证件,并保证观测墩的完好。

保管观测墩的人员应查验观测墩使用后的完好状况。

第四十五条乡级人民政府应采取有效措施加强观测墩保护工作。

县级以上人民政府测绘地理信息主管部门应当按照规定检查、维护永久性观测墩。

乡级人民政府应当做好本行政区域内的观测墩保护工作。

第六十四条违反本法规定,有下列行为之一的,给予警告,责令改正,可以并处二十万元以下的罚款;对负有直接责任的主管人员和其他直接责任人员,依法给与行政处分;造成损失的,依法承担赔偿责任;构成犯罪的,依法追究刑事责任:

- (一)损毁或者擅自移动永久性观测墩和正在使用中的临时性观测墩的;
- (二)侵占永久性观测墩用地的;
- (三)在永久性观测墩安全控制范围内从事危害观测墩安全和使用效能的活动的;
- (四)擅自拆迁永久性观测墩或者使永久性观测墩失去效能,或者拒绝支付迁建费的;
- (五)违反操作规程使用永久性观测墩,造成永久性观测墩毁损的。

中华人民共和国刑法(节选)

(1997年10月1日起实施)

第三百二十三条故意破坏国家边境的界碑、界桩或者永久性观测墩的,处三年以下有期徒刑或者拘留。

附 录 E
(规范性)
绝对重力测定观测程序

E.1 单频激光干涉型绝对重力仪

单频激光干涉型绝对重力仪观测程序如下。

- a) 仪器安装：
 - 1) 在测点放置超长弹簧三角底盘；
 - 2) 经粗调平后测量下参考高度；
 - 3) 依次安装仪器其他部件：超长弹簧、激光干涉仪、落体舱三脚架、落体舱；
 - 4) 将落体舱、激光干涉仪、超长弹簧等部件的线缆连接至控制箱，打开超长弹簧锁和落体舱锁；
 - 5) 检查离子泵电源是否接通，运行是否正常；
 - 6) 落体舱脱离干涉仪，经精调后，测量上参考高度，并依次打开主机电源、控制箱电源、激光器电源、电脑电源。
- b) 仪器检查和调节：
 - 1) 激光器预热至稳定，并记录其直流(DC)电压；
 - 2) 将超长弹簧置零，激活超长弹簧的伺服系统，记录初始位置；
 - 3) 检查铷钟指示灯是否已亮，确认其进入正常工作状态；
 - 4) 检查并调整光路的垂直性；
 - 5) 检查并调整光路的平行性；
 - 6) 在振荡(OSC)模式下，用示波器检查干涉条纹是否达到工作阈值(不低于 200 mV)，并进行光路垂直性和平行性的微调。
- c) 仪器参数设置和观测：
 - 1) 测量并记录各激光波段的电压值；
 - 2) 打开计算机，启动测量工作软件，校正计算机时间系统信息；
 - 3) 以“测点编号年月日”命名观测数据文件建立工程，时间采用北京时；
 - 4) 设置预报极移参数；
 - 5) 设置有关参数，包括运行命令、测点参数、仪器参数等；
 - 6) 开始数据采集。

E.2 双频激光干涉型绝对重力仪

双频激光干涉型绝对重力仪观测程序如下。

- a) 仪器安装：
 - 1) 安置底座，调平底座并测量记录底座高度；
 - 2) 根据测点位置，安置仪器下部单元，并摆放上部单元；
 - 3) 根据仪器说明书，将上部单元、下部单元和电源的线缆连接至控制箱，确认无误后接通电源；
 - 4) 检查离子泵电源运行状态，无异常则断开离子泵外接电源，然后打开控制箱离子泵电源；
 - 5) 控制箱面板依次打开主电源、激光电源、铷钟电源，根据需要打开上部单元和下部单元加温，进行仪器预热；

- 6) 激光器继续预热直至稳定并记录其温度,直至温度变化小于 1 °C 的正常工作状态;
 - 7) 确认下部单元安置准确后,打开自动整平;
 - 8) 使用激光准直器检查并调整下部单元激光光路直至光路准直;
 - 9) 将上部单元置于下部单元顶部,放下上部单元支撑柱并固定;
 - 10) 将上部单元与下部单元完全分离;
 - 11) 关闭自动整平,依次打开下部单元超长弹簧锁、上部单元落体舱锁。
- b) 仪器检查和调节:
- 1) 在振荡(OSC)模式下,锁定激光,用示波器检查干涉条纹是否达到工作阈值,不低于1.0 V;
 - 2) 将超长弹簧置零,待弹簧稳定后,激活超长弹簧的伺服系统,记录超长弹簧初始位置。
- c) 仪器参数设置和观测:
- 1) 打开计算机,启动测量工作软件,校正计算机时间系统信息;
 - 2) 以“测点编号年月日”命名观测数据文件建立工程,时间采用北京时;
 - 3) 设置预报极移参数;
 - 4) 设置有关参数,包括运行命令、测点参数、仪器参数等;
 - 5) 将激光模式调至自动远程模式;
 - 6) 开始数据采集。

F.2 双频激光干涉型绝对重力仪观测记录表

表 F.2 给出了双频激光干涉型绝对重力仪观测记录表。

表 F.2 双频激光干涉型绝对重力仪观测记录表

点名:		观测员:		数据文件名:		经度:		纬度:		大地高:	
点号:		记录员:		实测气压: hPa		实测温度: °C		重力垂直梯度: $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{cm}$			
观测开始时间(北京时间): 月 日 时 分		出厂高度: cm		架设高度: cm		极移参数: x=		y=		arcsec	
观测结束时间(北京时间): 月 日 时 分		超级弹簧		落体舱情况		干涉仪					
检查项目 (北京时间)		纵水准		横水准		零位置		纵水准		真空度	
		S 中 N (自动整平)	E 中 W (自动整平)	S 中 N (自动整平)	E 中 W (自动整平)	S 中 N (自动整平)	E 中 W (自动整平)	kV mA	重合 2/3 1/2	垂直度检查 (光斑)	
测前	月 日 :										干涉条纹(mV) Peak-Peak
测中	月 日 :										
测后	月 日 :										
上部单元和下部单元相关参数值(V)											
日期	时间(北京时间)		激光温度(V)	落体舱温度(V)	干涉仪温度(V)	记事					
测前	月 日	:									
测中	月 日	:									
测后	月 日	:									
备注:经纬度精确到小数点后两位,高程精确到 m。											

附 录 G

(规范性)

绝对重力测定各项改正数学模型

G.1 固体潮改正

假设地球为刚体,月球、太阳引潮力沿地球重力方向的分量称为刚体重力固体潮。在 $1.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 精度要求下,将月球潮取至3阶,将太阳潮取至2阶,则刚体地球表面上任意一点在任意时刻的重力固体潮理论值按式(G.1)计算:

$$g_{st} = \frac{GM_m R}{r_m^3} (1 - 3\cos^3 Z_m) + \frac{3}{2} \frac{GMR^2}{r_m^4} (3\cos^2 Z_m - 5\cos^3 Z_m) + \frac{GM_s R}{r_s^3} (1 - 3\cos^3 Z_s) \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

- g_{st} ——重力固体潮理论值;
- G ——万有引力常数;
- R ——地球平均半径;
- M_m 、 M_s 和 M ——分别为月球、太阳和地球的质量;
- r_m 和 r_s ——分别为地心到月心和日心的距离;
- Z_m 和 Z_s ——分别为月球和太阳的天顶距。

实际地球接近弹性体,地球在天体引潮力作用下将产生弹性形变,弹性地球重力固体潮设为 g_T ,其由三部分组成:第一部分是引潮力沿地球重力方向的分量,第二部分是引潮力使地球固体表面产生弹性形变引起地球本身的变化,第三部分是地面点位移产生的垂向重力变化,即固体潮 g_T 按式(G.2)计算:

$$g_T = \sum_n \delta_n \overline{\Delta g_n}$$

$$\delta_n = 1 - \frac{n+1}{n} k_n + \frac{2}{n} h_n \dots\dots\dots (G.2)$$

式中,当仅考虑二阶展开, $\overline{\Delta g_n}$ 的二阶展开即为 g_{st} , δ_n 为重力固体潮的潮汐因子,取志田数 $h_2 = 0.6$,勒夫数 $k_2 = 0.3$, $\delta_2 = 1.15$,则重力固体潮改正值按式(G.3)计算:

$$\delta g_T = -1.15 g_{st} \dots\dots\dots (G.3)$$

G.2 海潮负荷改正

在海洋负荷潮汐的作用下,地球会发生形变和引力位变化,使得重力值及方向发生附加变化,即海潮负荷对重力的影响包括两部分,分别为直接项或牛顿引力项 $g^N(\psi)$ 和间接项或地球弹性项 $g^F(\psi)$ 。直接项是负荷质量的直接引力产生的重力变化,间接项包括地球变形后内部密度重新分布产生的重力变化和地表垂直位移产生的重力变化,海潮负荷对重力观测的影响按式(G.4)计算:

$$\begin{aligned} \delta g'_o(\theta_P, \lambda_P) &= \frac{g}{M} \iint_S \frac{H(\theta, \lambda) \rho_w(\theta, \lambda)}{4 \sin \frac{\Psi}{2}} \cos \theta d\theta d\lambda \\ &+ \iint_S H(\theta, \lambda) \rho_w(\theta, \lambda) G(\psi) \cos \theta d\theta d\lambda \\ G(\Psi) &= \frac{g}{M} \sum_n^{\infty} [(n+1)k'_n - 2h'_n] P_n(\cos \Psi) \quad \dots\dots\dots (G.4) \end{aligned}$$

式中：

- $\delta g'_o$ ——海潮负荷对重力的影响；
- g ——重力加速度；
- M ——地球质量；
- ρ_w ——海水平均密度；
- (θ_P, λ_P) ——计算点坐标；
- (θ, λ) ——流动点；
- ψ ——计算点与流动点之间的球面角距；
- $H(\theta, \lambda)$ ——瞬时潮高；
- $G(\Psi)$ ——重力格林函数。

则海潮负荷改正按式(G.5)计算：

$$\delta g_O = -\delta g'_o(\theta_P, \lambda_P) \quad \dots\dots\dots (G.5)$$

G.3 大气压力改正

在重力测量时，因大气压力的变化引起的重力变化，其改正按式(G.6)计算：

$$\begin{aligned} \delta g_A &= 0.3(P - P_n) \\ P_n &= 1.013\ 25 \times 10^3 \left(1 - \frac{0.006\ 5H}{288.15}\right)^{5.255\ 9} \quad \dots\dots\dots (G.6) \end{aligned}$$

式中：

- δg_A ——大气压的重力改正值；
- P ——以 hPa 为单位的测点实测大气压值；
- P_n ——标称大气压值；
- H ——以 m 为单位的海拔高程。

G.4 极移改正

极移使地面点的离心加速度发生变化，重力测量的极移改正就是将观测时刻极点位置 (x, y) 归算到协议地固坐标系的 CIO 对测点离心力的影响，改正量通常由测点上最接近观测时间的瞬时极点位置计算得到，其改正按式(G.7)计算：

$$\delta g_P = -1.164 \times 10^8 \omega^2 a \sin 2\varphi (x \cos \lambda - y \sin \lambda) \quad \dots\dots\dots (G.7)$$

式中：

- δg_P ——极移对重力的改正值；
- ω ——地球自转角速度；
- a ——WGS84 参考椭球体长半轴；
- φ, λ ——测点的大地经、纬度；
- x, y ——国际地球自转与参考系服务机构(IERS)提供的极坐标。

G.5 重力垂直梯度改正

初始位置的重力值归算至某有效高度 h 处时,其改正按式(G.8)计算:

$$\delta g_h = \gamma \times (h - h_0) \quad \dots\dots\dots (G.8)$$

式中:

δg_h ——垂直梯度归算值;

γ ——实测重力垂直梯度;

h_0 ——落体初始位置高度。

当归算至地面时($h=0$),重力垂直梯度归算值按式(G.9)计算:

$$\delta g_h = -\gamma h_0 \quad \dots\dots\dots (G.9)$$

附录 H

(规范性)

绝对重力测点点位与环境情况表

表 H.1 给出了绝对重力测点点位与环境情况表。

表 H.1 绝对重力测点点位与环境情况表

点号			原有值	现场实测值
点名		经度/(°)		
选埋单位		纬度/(°)		
选埋情况		大地高/m		
照片	照片			
测点位置及周围情况和附图 (附文字说明)	观测室结构及墩面情况和附图 (附文字说明)			
测点地面 微震情况				
测点气候 情况				
测点地下 水情况				

注：经纬度精确到小数点后两位，高程精确到 m。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20256—2019 国家重力控制测量规范
 - [2] DB/T 19—2020 地震台站建设规范 全球导航卫星系统基准站
 - [3] DB/T 39—2010 地震台网设计技术要求 重力观测网
-