



中华人民共和国国家标准

GB/T 20256—2006

国家重力控制测量规范

Specifications for the gravimetry control

2006-05-24 发布

2006-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 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	· 2
4.1 国家重力控制测量的目的	· 2
4.2 国家重力控制测量的等级	· 2
4.3 国家重力控制测量的精度	· 2
4.4 国家重力控制网的布设原则和技术要求	· 2
4.5 重力控制点的坐标系统和高程系统	· 2
5 国家重力控制点的建立	· 2
5.1 基准点的建立	· 2
5.2 基本点和一等点及引点的建立	· 3
5.3 短基线的建立	· 3
5.4 上交选埋资料内容	· 4
6 绝对重力测量	· 4
6.1 绝对重力仪的选用与要求	· 4
6.2 绝对重力仪使用要求	· 4
6.3 绝对重力仪的调整和检验	· 4
6.4 观测纲要	· 4
6.5 观测值处理与精度评定	· 5
6.6 重力垂直梯度的测定	· 5
6.7 成果整理与技术总结	· 6
6.8 上交的成果和资料	· 6
7 相对重力测量	· 7
7.1 仪器的选用与要求	· 7
7.2 仪器的检验与调整	· 7
7.3 仪器的性能试验	· 7
7.4 重力仪比例因子的标定	· 8
7.5 观测纲要	· 8
7.6 观测记录	· 9
7.7 测线计算	· 9
7.8 精度评定和补测要求	· 10
7.9 上交成果资料	· 10
8 平面坐标、高程测定	· 10
9 测量成果与上交资料	· 10
9.1 资料整理	· 10
9.2 上交资料	· 11

10 数据处理 ·	· 11
10.1 外业资料的汇总与整理 ·	· 11
10.2 数据预处理 ·	· 11
10.3 平差数学模型 ·	· 11
10.4 上交平差成果 ·	· 13
11 成果检查验收 ·	· 13
附录 A(规范性附录) 国家重力控制网重力点标石和标志规格 ·	· 14
附录 B(规范性附录) 国家重力控制点点之记 ·	· 17
附录 C(规范性附录) 重力测量各项计算的数学模型 ·	· 19
附录 D(规范性附录) FG5 绝对重力测量观测记录表 ·	· 22
附录 E(规范性附录) 绝对重力测量成果表 ·	· 23
附录 F(规范性附录) 光学位移灵敏度的测定与调整 ·	· 24
附录 G(规范性附录) 正确读数线的检验与调整 ·	· 26
附录 H(规范性附录) 横水准器的检验与调整 ·	· 27
附录 I(规范性附录) 电子读数零位和检流计零位的检验与调整 ·	· 28
附录 J(规范性附录) 电子灵敏度的测定与调整 ·	· 29
附录 K(规范性附录) 光学位移线性度的检验 ·	· 30
附录 L(规范性附录) 电子读数线性度的检验 ·	· 31
附录 M(规范性附录) LCR 重力仪观测记录格式范例 ·	· 32

前 言

本标准是在 CH/T 2003—1999《国家一等重力测量规范》(ZBA 76001—1987)、《2000 国家重力基本网联测技术规定》和 2000 年国家测绘局制定的暂行技术规定《绝对重力测量技术规程》的基础上,综合国家重力基本网、一等重力网及中国地壳运动观测网络等项目的实践经验,结合最新科研和生产成果,并依据国家重力控制测量的要求编写。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I、附录 J、附录 K、附录 L、附录 M 是规范性附录。

本标准由国家测绘局提出。

本标准由国家质量监督检验检疫总局批准。

本标准由全国地理信息标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位:国家测绘局测绘标准化研究所,国家测绘局大地测量数据处理中心,中国测绘科学研究院,国家测绘局第一大地测量队,武汉大学。

本标准主要起草人:郭春喜、肖学年、丘其宪、王惠民、戴其潮、李建成、王斌。

国家重力控制测量规范

1 范围

本标准规定了建设国家重力控制点(网)的布设原则、施测方法、测量精度、数据处理、质量管理、成果资料上交等内容。

本标准适用于建设国家重力控制网,施测基准点、基本点、一等点及相应的引点和二等点。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 12898—1991 国家三、四等水准测量规范
GB/T 18314—2001 全球定位系统(GPS)测量规范
GJB 2228—1994 全球定位系统(GPS)大地测量规则
CH 1002 测绘产品检查验收规定
CH 1003 测绘产品质量评定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

重力基准点 gravity datum point

用高精度绝对重力仪测定其重力值,并作为国家重力控制网起算基准的点,简称基准点。

3.2

重力基准 gravity datum

国家重力控制网中的基准点构成国家重力基准。

3.3

重力基本点 basic gravity point

以国家重力控制网中基准点的重力值为起算值,通过相对重力联测和整体平差确定的重力控制点,简称基本点。

3.4

引点 gravity point convenient for use

为便于使用,从基本点、一等点按同等联测精度以支线形式联测的重力点。

3.5

段差 segment difference

重力测量中,相邻两个点间的重力差值。

3.6

测线 gravimetric line

相对重力测量中,从一个起始重力点开始观测,联测一个或数个重力点,返回到起始点的重力联测,称为闭合测线;从一个已知重力控制点开始观测,联测一个或数个重力点,附合到另一已知重力控制点的重力联测,称为附合测线。

4 总则

4.1 国家重力控制测量的目的

国家重力控制测量的目的是建立国家重力基准和重力控制网,为各类重力测量提供统一的重力起算值。

国家重力控制网的建立,应满足空间技术、国防建设、资源勘察、地震监测、地球重力场精化、地球形状确定和其他地学研究等领域的需要。

4.2 国家重力控制测量的等级

4.2.1 国家重力控制网由国家重力基本网和一等网以及二等点组成;国家重力基本网由基准点和基本点组成;国家重力一等网由一等点组成。

4.2.2 国家重力控制测量包括基准点、基本点、一等点及相应等级引点和二等点重力值的测定。

4.2.3 国家级重力仪标定基线是国家重力控制测量的组成部分,分为长基线和短基线两种,供标定重力仪用。

4.2.4 根据需要,在基本点、一等点所在城市内可设立引点。

4.3 国家重力控制测量的精度

4.3.1 基准点绝对重力值的测定中误差不应超过 $5 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

4.3.2 各等级重力控制点相对重力测量的段差联测中误差的要求见表1。

表1 各级重力控制点的精度要求

单位为 10^{-8} ms^{-2}

等级	基本点(含引点)	一等点(含引点)	二等点
中误差	± 10	± 25	± 250

4.3.3 国家重力基本网平差后的重力点重力值的平均中误差不应超过 $10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

4.3.4 短基线联测段差的平均值中误差不应超过 $5 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

4.4 国家重力控制网的布设原则和技术要求

4.4.1 国家重力基准网由一定数量、合理分布的基准点组成,构成控制全国重力测量的基准框架。国家重力基本点的布设密度和设计原则,应有效地覆盖国土范围,以满足控制一等重力点相对联测的精度要求和国民经济及国防建设的需要。一、二等重力点的布设应满足各部门进行区域重力测量的需要。

4.4.2 国家重力控制网按逐级控制原则布设,基本网和一等网应布设成闭合环状。基准点上应用高精度绝对重力仪测定重力值,基本点之间和基本点与基准点之间应用高精度相对重力仪联测,以建立基本网;一等网以国家重力基准点和基本点为控制联测;二等点以高等级重力控制点为控制联测。

4.4.3 国家重力控制网由国家测绘行政主管部门主持建立,在规定的施测时期内完成,经数据处理后公布使用。

4.4.4 长基线应基本控制全国范围内重力差,大致沿南北方向布设,两端点重力值之差应大于 $2\,000 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$,每个基线点应为基准点;短基线按区域布设,两端点重力值之差应大于 $150 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 。段差相对误差应小于 5×10^{-5} 。短基线至少有一个端点与国家重力控制点联测。

4.4.5 国家重力基本网应10年更新一次,每次更新执行时间不超过两年。

4.5 重力控制点的坐标系统和高程系统

坐标系统:重力点坐标采用国家大地坐标系。

高程系统:重力点高程采用国家高程基准。

5 国家重力控制点的建立

5.1 基准点的建立

5.1.1 基准点的点位要求

基准点的点位应满足以下要求:

- a) 位于稳固的非风化基岩上。
- b) 远离工厂、矿场、建筑工地、铁路以及繁忙的公路等各种震源；避开高压线和变电设备等强电磁场。
- c) 附近地区不会产生较大的质量迁移；不宜在大河、大湖和水库附近，地面沉降漏斗、冰川及地下水位变化剧烈的地区建点。

5.1.2 基准点观测室要求

基准点应专门建立观测室，其要求为：

- a) 观测室面积一般应不小于 $3\text{ m} \times 5\text{ m}$ ，天花板离墩面应高于 2 m ；
- b) 观测室内应有稳定电源，保持干燥。

5.1.3 标石规格及埋设要求

标石规格及埋设应满足以下要求：

- a) 基准点观测墩标石的尺寸为 $1\,200\text{ mm} \times 1\,200\text{ mm} \times 1\,000\text{ mm}$ ，规格见 A.1；
- b) 标石周围与地面应留宽为 0.1 m 的防震槽，填以泡沫塑料；
- c) 标石距墙不得小于 0.5 m ，两个观测墩之间相距应大于 0.8 m 。

5.1.4 点之记填写及资料收集内容

填写点之记及收集点位资料，应包括下列内容：

- a) 填写点之记，格式及内容见附录 B；
- b) 收集与点位有关资料包括：
 - 1) 环境情况：点位附近工业噪声干扰，气候及降雨量，地下水水位；
 - 2) 建筑物情况：修建年份、结构，外观照片，建点以后建筑物的变动状况，毗邻建筑物配置略图；
 - 3) 观测室情况：电源，室内温度、湿度，观测室平面图，标志照片等。

5.2 基本点和一等点及引点的建立

5.2.1 点位要求

点位的选择应满足下列要求：

- a) 基本点和一等点的点位一般选在机场附近（在机场的安全隔离区以外）；
- b) 点位应选在地基坚实稳定、安全僻静和便于长期保存的地点，不得选在地质构造不稳定的地点；
- c) 点位应远离飞机跑道及繁忙的交通要道，避开人工震源、高压线路及强磁设备；
- d) 点位应便于重力联测及点位坐标、高程的测定。

5.2.2 埋石要求

选用埋石的标石应满足下列要求：

- a) 标石尺寸为 $1\,000\text{ mm} \times 1\,000\text{ mm} \times 1\,000\text{ mm}$ （见 A.2）；
- b) 标石用混凝土现场灌制；
- c) 标石应标定正北方向；
- d) 石面应平整光滑，标志镶嵌在标石面的中央。

5.2.3 点之记绘制

选理工作结束后应填写和绘制点之记（见附录 B），当在永久性建筑物地面嵌入标志时，必须将建筑物所属单位的名称填入备注栏里。

5.3 短基线的建立

短基线的建立应满足下列要求：

- a) 至少由 3 个点组成；
- b) 点位应避免选在陡峭的山崖处；

- c) 点的埋石要求与基本点相同。

5.4 上交选埋资料内容

上交选埋资料应包括以下内容：

- a) 点之记；
- b) 点位照片；
- c) 收集的资料；
- d) 委托保管书；
- e) 技术总结。

6 绝对重力测量

6.1 绝对重力仪的选用与要求

绝对重力测量应使用标称精度优于 $\pm 2 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的绝对重力仪。

6.2 绝对重力仪使用要求

6.2.1 在使用仪器前应认真阅读仪器说明书或使用手册，熟悉操作步骤。

6.2.2 严格按照说明书的操作规程操作绝对重力仪。

6.2.3 绝对重力仪的操作必须由专人负责。

6.3 绝对重力仪的调整和检验

绝对重力仪的调整和检验应包括下列内容：

- a) 检查和调整激光稳频器、激光干涉仪和时间测量系统；
- b) 调整测量光路的垂直性；
- c) 调整超长弹簧的参数；
- d) 确认绝对重力仪处于正常运行状态。

6.4 观测纲要

6.4.1 基准点的测量要求

基准点的测量应满足下列要求：

- a) 每个测点不得少于 48 组合格数据；
- b) 每组的下落次数不少于 100 次，合格下落次数不少于 80 次，每组观测的开始时间设置在整点或整 30 分时刻，相邻组之间相隔 0.5 h；
- c) 无效组数超过 8 组或仪器停止工作 4 h 以上，以前观测无效，重新开始观测；
- d) 由每次下落采集的距离和时间对组成观测方程，解算出落体下落初始位置高度处的观测重力值 g_r ，进行固体潮改正（见 C. 1）、气压改正（见 C. 2）、极移改正（见 C. 3）和光速有限改正；
- e) 将落体下落初始位置高度处的观测结果进行观测高度改正（见 C. 4），归算至离墩面 1.3 m 高度处；
- f) 由经过各项改正后的每组合格观测重力值 g_d ，求得组均值及其中误差（见 6.5.2），由所有的组均值计算总均值及其中误差（见 6.5.3），获得落体下落初始位置高度处的观测结果；
- g) 每个点的总均值中误差应不超过 $5 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

6.4.2 重力仪的调整与改正

测量过程中，应根据测点观测环境的稳定程度适时查看仪器的运行情况，发现问题时（如气泡偏移、频率参数偏离、激光垂直度偏离等）应及时调整、改正，并认真和详细填写“绝对重力测量观测记录表”（见附录 D）。

6.4.3 绝对重力观测工作结束

获得足够数量观测组数和观测结果满足精度要求后，拆卸仪器，结束该点绝对重力观测工作。

6.4.4 激光器和时间频率标定

整个测量任务完成后,对激光器和时间频率标准应重新标定,如有变化对结果应进行相应的改正。

6.5 观测值处理与精度评定

6.5.1 对每次下落解算求得的原始观测重力值 g_r 加入固体潮改正 δg_t (见 C.1)、气压改正 δg_p (见 C.2)、极移改正 δg_p (见 C.3)、光速有限改正 δg_l (采用厂家给定值) 和高度改正 δg_h (见 C.4), 求得墩面或离墩面 1.3 m 高度处的重力值 g_d

$$g_d = g_r + \delta g_t + \delta g_p + \delta g_l + \delta g_h \quad \dots\dots\dots (1)$$

6.5.2 组平均值(每组观测重力值的平均值)计算及精度估算,公式如下:

$$g_{de} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{di}}{n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_{di} - g_{de})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$M_d = \frac{m_d}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

g_{de} ——组平均值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

g_{di} ——第 i 次下落的观测重力值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

m_d ——单次下落观测值中误差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

M_d ——组平均值中误差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

n ——该组观测的有效下落次数。

6.5.3 总平均值计算及精度估算,公式如下:

$$g_{he} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{hi}}{n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_{hi} - g_{he})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$M_h = \frac{m_h}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

g_{he} ——给定高度处的总平均值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

g_{hi} ——第 i 组组平均值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

m_h ——单组观测重力值中误差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

M_h ——组的总平均值中误差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

n ——观测结果的组数。

6.6 重力垂直梯度的测定

6.6.1 技术要求

重力垂直梯度的测定应满足下列技术要求:

- 重力垂直梯度在墩面与离墩面 1.3 m 高度处的两点之间进行测定;
- 使用标称精度为 $\pm 20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的相对重力仪测定重力垂直梯度,仪器台数不得少于 2 台;
- 每台仪器测定段差的合格成果不得少于 5 个,段差平均值中误差不超过 $3 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

6.6.2 观测纲要

重力垂直梯度的测定应包括：

- 按照离墩面 1.3 m 高度处安置观测仪器平板，量出平板面至墩面的高度，读数到毫米(mm)；
- 按低点(墩面)→高点(平板)→低点或高点→低点→高点的顺序进行观测，为一个独立测线，进行段差计算，求得一个独立结果；
- 获得规定数量的结果，经各项改正后(见附录 C)，计算段差的平均值及其中误差，公式如下：

$$\Delta g_{gr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta g_i \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$v_i = \Delta g_i - \Delta g_{gr} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$m_{gr} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i v_i}{n(n-1)}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

Δg_{gr} ——段差平均值，单位为 10^{-8} ms^{-2} ；

Δg_i ——段差第 i 个观测值，单位为 10^{-8} ms^{-2} ；

v_i ——第 i 个观测值与观测值平均值之差，单位为 10^{-8} ms^{-2} ；

m_{gr} ——段差观测中误差，单位为 10^{-8} ms^{-2} ；

n ——观测值个数。

6.6.3 垂直梯度计算

计算重力垂直梯度的公式如下：

$$\theta = \frac{\Delta g_{gr}}{\Delta h} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

θ ——重力垂直梯度，单位为 10^{-8} s^{-2} ；

Δg_{gr} ——段差观测值的平均值，单位为 10^{-8} ms^{-2} ；

Δh ——平板与墩面之间的高度，单位为米(m)。

6.7 成果整理与技术总结

6.7.1 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，成果整理应包括：

- 检查观测组数和测量精度是否符合规定要求；
- 检查观测记录是否完整；
- 收集测点地区的地质结构和观测期间的地震、地下水变动和气象等情况；
- 整理绝对重力测量和重力垂直梯度测量的数据，编制绝对重力测量成果表(见附录 E)。

6.7.2 技术总结

绝对重力测量完成后，应对工作进行技术总结，主要内容应包括：

- 测点情况说明，内容包括：点名、点号、该点建立年代和有关历史情况、点位地震情况、地下水变动情况和地区气象情况、测点经纬度和高程及其所属系统，周边地区现有重力点的情况；
- 绝对重力测量情况，包括仪器运行的情况和使用的参数；
- 绝对重力测量结果情况，包括成果表、观测结果分布变化图、组均值残差直方图、绝对重力测量结果的分析以及与该点已有测量结果的比较和分析等；
- 重力垂直梯度测量情况，包括仪器数量、结果和精度。

6.8 上交的成果和资料

上交的成果和资料应包括：

- a) 绝对重力测量观测记录光盘;
- b) 重力垂直梯度观测手簿(纸质);
- c) 绝对重力测量观测计算资料(纸质与电子文档);
- d) 重力垂直梯度的计算资料(纸质与电子文档);
- e) 绝对重力测量成果表和分析(纸质与电子文档);
- f) 点之记(纸质与电子文档);
- g) 绝对重力仪检测资料(纸质与电子文档);
- h) 相对重力仪检测资料(纸质与电子文档);
- i) 技术总结(纸质与电子文档);
- j) 检查验收报告。

7 相对重力测量

7.1 仪器的选用与要求

相对重力测量采用标称精度为 $\pm 20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的相对重力仪,多台仪器一致性的中误差应小于2倍联测中误差。

7.2 仪器的检验与调整

7.2.1 为确保重力仪的最佳工作状态,作业前及作业中每月对仪器进行检验与调整。

7.2.2 检验与调整内容(以LCR-G型仪器为例)

重力仪的检验与调整内容应包括:

- a) 光学位移灵敏度的测定与调整(见附录F);
- b) 正确读数线的检验与调整(见附录G);
- c) 横水准器的检验与调整(见附录H);
- d) 电子读数零位与检流计零位的检验与调整(见附录I);
- e) 电子灵敏度的测定与调整(见附录J);
- f) 光学位移线性度的检验(见附录K);
- g) 电子读数线性度的检验(见附录L)。

以上各项检验与调整的记录格式见附录M。

7.3 仪器的性能试验

7.3.1 静态试验

静态试验的内容包括:

- a) 在温度变化小且无震动干扰的室内稳固地点安置仪器;
- b) 待仪器稳定后每半小时读一次数,连续观测48 h,整个测试过程中仪器处于开摆状态;
- c) 经固体潮改正后,结合读数的观测时间绘制仪器的静态零点漂移曲线,检查零漂线性度。

7.3.2 动态试验

动态试验的内容包括:

- a) 在段差不小于 $50 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 、点数不少于10个的场地进行往返对称观测,测回数不少于3个,每测回往返闭合时间不少于8 h;
- b) 经固体潮改正及零漂改正,计算出各台仪器的段差观测值,分别计算各台仪器的动态观测精度。计算公式如下:

$$m_{dy} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{(l-n)}} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

m_{dy} ——一台仪器的动态观测精度,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

v ——该仪器在同一相邻两点间(称为测段)的各个段差观测值与平均值之差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

l ——该仪器全部测段的段差观测值的个数;

n ——试验场地测段的个数。

对于同一台仪器,如果每一测段的段差观测值的互差均不大于 m_{dy} 的 2.5 倍,可认为该仪器的零漂是线性的。

7.3.3 多台仪器一致性的试验

多台仪器一致性的试验可与动态试验一并进行。仪器间一致性中误差的计算公式如下:

$$m_c = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{(m-n)}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

m_c ——仪器一致性中误差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

v ——同一测段上各台重力仪段差观测值与平均值之差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

m ——全部仪器所有测段的段差观测值的总数;

n ——试验场地测段的个数。

一致性中误差应小于 2 倍联测中误差。

7.3.4 仪器使用

当仪器静态试验、动态试验和多台仪器一致性试验满足要求时,方可投入使用。

7.4 重力仪比例因子的标定

重力仪比例因子的标定应包括:

- 作业前重力仪必须在长基线的基准点或基本点间进行比例因子的标定(以 LCR-G 型为例)。
- 所选的重力差应覆盖工作地区重力仪的读数范围,避免比例因子外推。
- 两基本点间用飞机联测时,每台仪器应测定两个往返的独立结果,两个结果之差不应大于 $40 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。同一城市的基准点与基本点间用汽车联测,每台仪器测定两个独立结果,其差值不应大于 $20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。
- 比例因子计算公式:

$$C = \Delta G_{12} / \Delta g_{12} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

C ——重力仪的比例因子;

ΔG_{12} ——长基线两个点间已知重力值之差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

Δg_{12} ——长基线两点间用相对重力仪测定的段差平均值,单位为 10^{-8} ms^{-2} 。

7.5 观测纲要

7.5.1 相对重力联测技术规定

相对重力测量应满足下列技术要求:

- 国家重力控制点进行相对重力联测时使用的仪器数和成果数见表 2。

表 2 基本点、一等点和二等点联测时使用的仪器数和成果数

等级	基本点	一等点	二等点
仪器数	4	3	1
成果数	4	3	2

- 短基线联测时仪器数不少于 6 台,每台仪器的合格成果数不少于 4 个,总成果数不少于 24 个。
- 基本点的联测路线应组成闭合环,闭合环的测段数不宜超过 5 段。
- 一等点的联测路线可以组成闭合环或附合在两基本点间,其段数一般不超过 5 段;特殊情况下可以按辐射状布测一个一等点。

- e) 基本点引点或一等点引点可按辐射状联测,其联测精度和技术要求与相应等级重力点的规定相同。
- f) 联测时应采用对称观测,即 A—B—C……C—B—A,观测过程中仪器停放如超过 2 h,则在停放点应重复观测,以消除静态零漂。
- g) 每条测线一般在 24 h 内闭合,特殊情况可以放宽到 48 h。
- h) 每条测线计算一个联测成果。

7.5.2 测站观测程序

测站的观测程序包括:

- a) 清理现场,消除不安全因素;
- b) 放置仪器,使仪器的横水准器泡与磁北方向平行;
- c) 精确整平仪器,并保持仪器左前方的脚螺旋不动,使仪器高在同一测线中变化不大;
- d) 仪器松摆,转动读数轮,使检流计指针大致在零位;
- e) 量取仪器高,按要求填写观测手簿上相应栏目的内容;
- f) 在开摆 5 min 后,读取一组(三个)合格读数,并记录相应的观测时间;
- g) 仪器锁摆;
- h) 检查各项记录;
- i) 观测结束。

7.5.3 观测要求及注意事项

测站观测应满足的要求和注意事项包括:

- a) 三个读数的互差不得大于 0.5 格,对于超限成果,再补读一个,仍超限时,必须重测;一组读数的时间不得少于 3 min,不得超过 8 min。
- b) 为减少隙动差,每次读数时必须向同一方向旋转读数轮。
- c) 时间采用 24 h 制的北京时间,记录至整分。
- d) 一测线中各台仪器在同一测站上的观测位置应相对固定。
- e) 观测中当地面震动较大时,应在观测手簿中注记震动情况。

7.6 观测记录

7.6.1 记录方式

相对重力联测的观测记录采用观测手簿记录或电子记簿记录。

7.6.2 观测手簿记录规定

观测手簿记录应满足下列要求:

- a) 观测手簿的记录格式见附录 M。
- b) 手簿中的各项记录必须当场填写,不得追记和转抄。
- c) 各项记录的字体必须清晰、端正,严禁涂改。
- d) 重力仪的计数器的读数轮读数记录及观测时间分的记录均严禁划改;其他数值若读错或记错,可以将记录的错数划去,在其上方记上正确数字,决不允许连环更改。

7.6.3 电子记簿记录规定

电子记簿记录应满足下列要求:

- a) 电子记簿使用的软件应具有数据防伪能力;
- b) 电子记簿软件应具有观测数据记录、各项改正数的计算、测线计算及联测精度计算等功能;
- c) 测站的各种观测数据必须现场输入并不得更改。

7.7 测线计算

7.7.1 根据仪器厂家提供的格值表,将仪器的读数转换为格值表转换值,公式见附录 C 中的 C.5。

7.7.2 计算固体潮、气压和仪器高等三项改正,其计算公式分别见附录 C 中的 C.1、C.2 和 C.4。

7.7.3 计算经上述三项改正的初步观测值,计算公式如下:

$$g_p = g_R + \delta g_t + \delta g_a + \delta g_h \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

- g_p ——初步观测值,单位为 10^{-5} ms^{-2} ;
- g_R ——格值表转换值,单位为 10^{-5} ms^{-2} ;
- δg_t ——固体潮改正值,单位为 10^{-5} ms^{-2} ;
- δg_a ——气压改正值,单位为 10^{-5} ms^{-2} ;
- δg_h ——仪器高改正值,单位为 10^{-5} ms^{-2} 。

7.7.4 计算经零漂改正的最后观测值,计算公式如下:

$$g_q = g_p + \delta g_k \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

- g_q ——最后观测值, 10^{-5} ms^{-2} ;
- δg_k ——零漂改正值, 10^{-5} ms^{-2} 。

零漂率和零漂改正的计算公式分别见附录 C 中的 C.6 和 C.7。

7.7.5 根据相邻两点的最后观测值以及相应仪器的比例因子计算该测段的段差。计算公式见附录 C 中的 C.8。

7.8 精度评定和补测要求

7.8.1 同一测段的各台仪器段差取平均,求得该测段的段差平均值。

7.8.2 计算各测段的段差联测中误差和闭合环(或附合路线)的闭合差,公式见附录 C 中的 C.9。

7.8.3 当合格成果数不够规定数量时应补测;段差联测中误差超限时,应对超限的仪器进行补测,亦可以采用多台仪器进行补测。补测后允许舍去明显离群的成果。一次联测中成果明显分群而难以取舍时,应舍去该次联测的全部成果,进行重测。

7.8.4 当闭合差超限时,应分析原因并重测有关测段。

7.9 上交成果资料

上交成果资料应包括:

- a) 仪器检验、调整及性能试验资料;
- b) 比例因子标定资料;
- c) 仪器出厂格值表;
- d) 观测手簿;
- e) 段差计算及精度计算资料;
- f) 技术总结、检查验收报告。

8 平面坐标、高程测定

8.1 各等级重力点的平面坐标、高程测定中误差不应超过 1.0 m。

8.2 各等级重力点的平面坐标可采用卫星定位系统或其他方法测定。

8.3 各等级重力点的高程可采用常规方法或卫星定位结果与似大地水准面模型相结合的方法测定。

9 测量成果与上交资料

9.1 资料整理

9.1.1 重力控制网成果资料可按选点、埋石、平面坐标测定、高程测定、相对重力测量、绝对重力测量等工序按年度进行整理并提交检查、验收。

9.1.2 外业测量的各种手簿(含电子记簿)、检验资料、验算手簿须逐页编号,注明使用页数,并按类进行统一编号。施测单位按年度编制上交资料目录和联测路线图。

9.1.3 施测单位对各年度的外业成果和检验报告按资料管理规定编目,及时提交,统一处理。

9.2 上交资料

最终上交的资料应包括:

- a) 重力控制点点之记、委托保管书、点位资料、选埋技术总结。
- b) 测量仪器检验资料、仪器检定证书、观测手簿、验算手簿、平面坐标和高程成果表、技术总结。
- c) 重力仪各项检验记录手簿和验算手簿;长基线联测与比例因子标定计算资料;重力仪格值表;相对重力观测记录、验算簿、环闭合差计算、点位信息表;气压表、温度表检定证书。
- d) 绝对重力仪检验和标定资料;观测记录光盘、绝对重力计算资料、成果表、点位与环境说明和垂直梯度测定资料。

10 数据处理

10.1 外业资料的汇总与整理

10.1.1 外业资料包括施测单位名称、各类观测资料的数量、完成各项成果的数量、使用仪器编号、各施测单位联测路线图、全网联测成果精度统计及重力控制网施测总图。

10.1.2 重力点点位数据按统一的编号规定生成点位数据文件,其内容包括平面坐标和高程以及基准点上实测的重力垂直梯度。

10.1.3 全部绝对重力观测原始数据应按点号顺序和观测年份先后次序,生成绝对重力观测数据文件,其内容包括测点名称、点号、观测日期、仪器类型和号码、观测组数、采用的观测组数、采用的总下落数、观测结果中误差、重力垂直梯度、墩面及离墩面 1.3m 高度处的重力值。

10.1.4 相对重力观测数据按测线顺序生成相对重力观测数据文件,其内容包括点号、点名、观测日期、天气情况、环境温度、仪器编号、仪器内温、气压、三次读数及时间、仪器高度、仪器在墩面的方位、运载仪器方式。

10.2 数据预处理

10.2.1 数据预处理的主要内容包括检查外业观测数据的可靠性、完整性,处理外业观测数据和精度评定,剔除不合理成果,统一进行测量成果编号,重新确定各仪器比例因子,计算重力联测中误差,统计环闭合差。

10.2.2 对相对重力测量每个测线的观测数据重新进行测线计算和精度评定,计算内容和方法见 7.7 和 7.8。

10.2.3 内业计算结果与外业计算结果不一致或成果超限,应分析查明原因,剔除超限和不合理成果。

10.2.4 将符合平差计算要求的绝对观测值和相对观测的段差作为最后观测值,按预定的格式生成平差数据文件。

10.3 平差数学模型

10.3.1 绝对重力观测值误差方程

基准点绝对重力观测值误差方程为:

$$v_i = g_i - g_i^0 \quad p_i \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

v_i —— i 点重力值的误差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

g_i —— i 点的平差重力值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

g_i^0 —— i 点的绝对重力观测值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

p_i —— i 点的绝对重力观测值的权。

10.3.2 相对重力观测值误差方程

每台仪器在 i 点和 j 点之间经过固体潮改正、气压改正、仪器高改正、零漂改正的段差值误差方程为:

$$V_{ij} = g_j - g_i + \sum_{K=1}^M (g_{RZi}^K - g_{RZj}^K) \cdot C_K + \sum_{n=1}^N X_n \left(\cos \frac{R_i \cdot 2\pi}{T_n} - \cos \frac{R_j \cdot 2\pi}{T_n} \right) + \sum_{n=1}^N Y_n \left(\sin \frac{R_i \cdot 2\pi}{T_n} - \sin \frac{R_j \cdot 2\pi}{T_n} \right) p_{ij} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

g_i, g_j ——分别为 i, j 点平差后的重力值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

g_{RZi}, g_{RZj} ——分别为 i, j 点经过四项改正的观测值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

R_i, R_j ——仪器在 i, j 点的观测读数;

C_K ——重力仪的 M 次多项式格值函数的 K 次格值改正因子;

N ——顾及的周期项个数;

p_{ij} ——相对重力观测值的权;

X_n, Y_n ——重力仪周期误差参数,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

T_n ——周期误差的周期。

各周期函数的振幅(A_n)和相位(φ_n)与 X_n, Y_n 的关系为:

$$A_n = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\tan \varphi_n = \frac{Y_n}{X_n} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$X_n = A_n \cos \varphi_n \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$Y_n = A_n \sin \varphi_n \quad \dots\dots\dots (22)$$

10.3.3 权的确定

绝对重力观测值与相对重力观测值的权比采用下式计算:

$$\frac{p_{\text{绝}}}{p_{\text{相}}} = \frac{2m_0^2}{m_{\text{绝}}^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$p_{\text{绝}}, p_{\text{相}}$ ——分别为绝对重力观测值与相对重力观测值的权;

m_0 ——单位权中误差(相对重力仪单仪器、单测回观测段差的中误差);

$m_{\text{绝}}$ ——绝对重力观测值中误差。

10.3.4 法方程组成及解算

误差方程为:

$$V = AX - L \quad P \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

V ——残差向量;

A ——系数矩阵;

X ——未知量向量;

L ——观测值向量;

P ——权矩阵。

法方程为:

$$NX - A^T PL = 0 \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

N ——法方程矩阵为:

$$N = A^T PA \quad \dots\dots\dots (26)$$

法方程的解为:

$$X = N^{-1} A^T PL \quad \dots\dots\dots (27)$$

未知数的协因数阵为：

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} = N^{-1} \dots\dots\dots (28)$$

10.3.5 统计检验与精度评定

统计检验与精度评定应包括：

a) 单位权中误差,公式如下：

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{n - t}} \dots\dots\dots (29)$$

式中：

n ——观测值的总个数；

t ——必要观测量的总个数。

b) 未知量中误差,公式如下：

$$M_i = m_0 \sqrt{Q_i} \dots\dots\dots (30)$$

c) 平差重力值的平均中误差,公式如下：

$$M = m_0 \sqrt{\frac{\sum Q_i}{T}} \dots\dots\dots (31)$$

式中：

Q_i ——待定点的协因数；

T ——待定点的个数。

d) 各台仪器、各周期函数的振幅中误差和相位中误差,公式如下：

$$M_A = \frac{1}{A} \sqrt{X^2 M_X^2 + Y^2 M_Y^2} \dots\dots\dots (32)$$

$$M_\varphi = \frac{1}{A^2} \sqrt{X^2 M_Y^2 + Y^2 M_X^2} \dots\dots\dots (33)$$

式中：

M_A ——周期函数的振幅(A_n)中误差；

M_φ ——周期函数的相位(φ_n)中误差,单位为 rad。

10.4 上交平差成果

上交的平差成果包括：

- a) 数据处理方案；
- b) 相对重力测量数据预处理结果；
- c) 平差数据；
- d) 重力点位数据汇总表；
- e) 基准点绝对重力测量成果汇总；
- f) 相对重力仪格值表；
- g) 国家重力控制点网成果表；
- h) 重力仪格值标定场成果表；
- i) 项目设计书；
- j) 数据处理技术报告；
- k) 工作报告。

11 成果检查验收

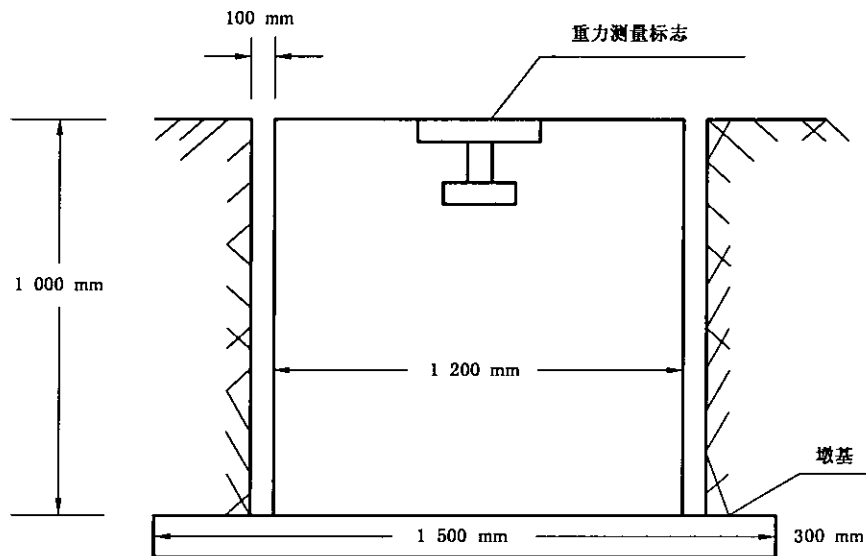
国家重力控制测量成果检查验收按 CH 1002 和 CH 1003 执行。

附录 A
(规范性附录)

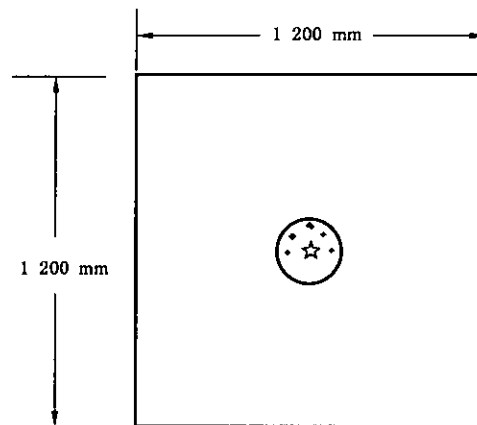
国家重力控制网重力点标石和标志规格

A.1 基准点标石

A.1.1 基准点标石剖面图



A.1.2 重力基准点标石平面图

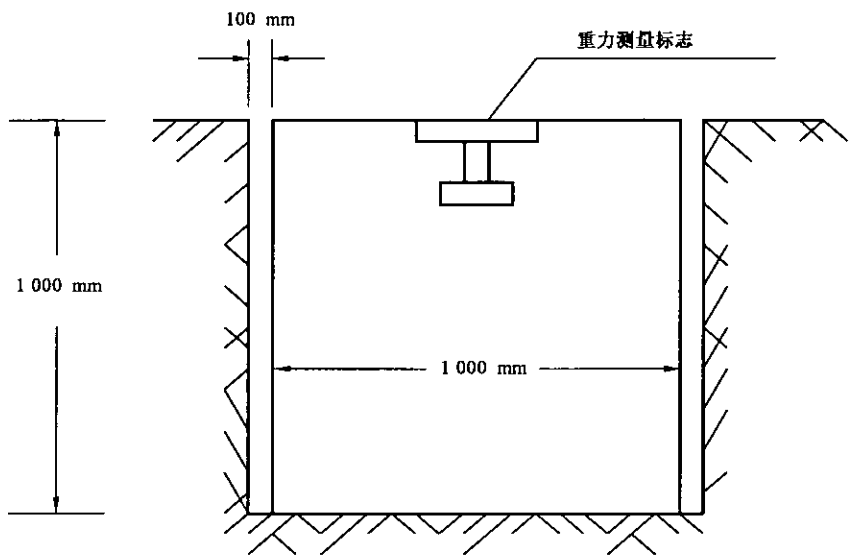


说明:

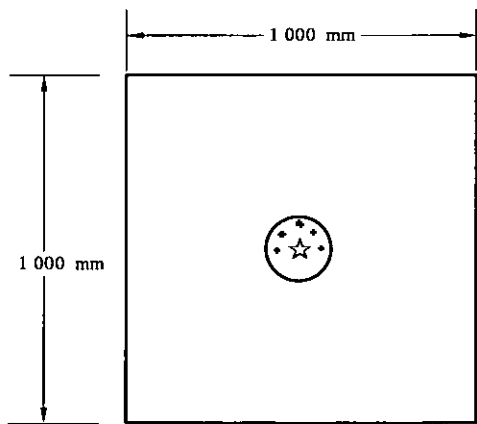
- a) 标石墩面和重力标志与地面等高,周围做 100 mm 厚的隔振槽,填以泡沫塑料。
- b) 标石墩基长 1 500 mm,宽 1 500 mm,高 300 mm。

A.2 基本点和引点标石

A.2.1 基本点及引点标石剖面图



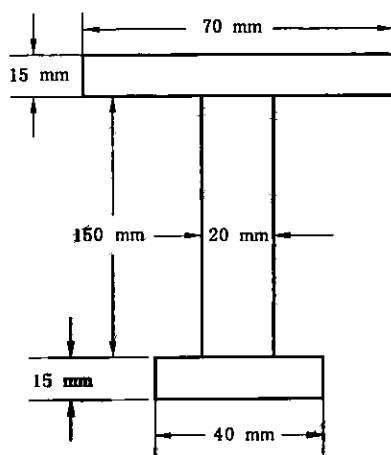
A.2.2 重力基本点及引点标石平面图



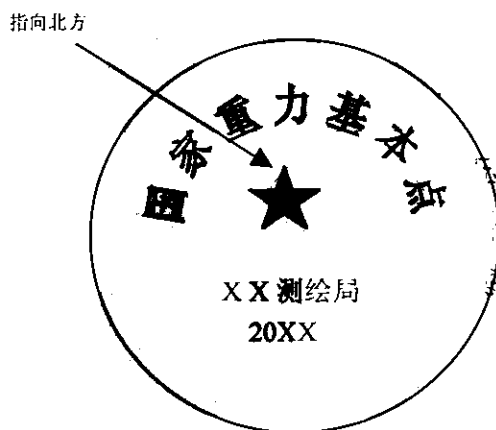
说明：墩面和重力标志与地面等高，周围做 100 mm 厚的隔振槽，内填粗沙。

A.3 重力点标志

A.3.1 重力点标志尺寸规格



A.3.2 重力点标志顶面字样



说明:

- a) 标志为表面车光刻字的铜铸标志。
- b) 标志圆盘厚 15 mm。
- c) 大圆盘直径 70 mm, 小圆盘直径 40 mm。
- d) 标志柱高 150 mm, 直径 20 mm。
- e) 五角星高 12 mm, 五角星的上顶角为指向北方。
- f) 标志大字高 10 mm, 小字高 5 mm。

附 录 B
(规范性附录)
国家重力控制点点之记

表 B.1 国家重力控制点点之记

点 名				来源	重点所在图幅 (1 : 10 万)编号
点 号		经度			
等 级		纬度			
标石类型		高程			
地质概要				交通情况	
点位略图				交通略图	
标石平面图				标石断面图	

表 B.1(续)

近 景 照 片					
远 景 照 片					
选 点 者			埋 石 者		
所在单位名称			所在单位名称		
选点时间			埋点时间		
点位所在(或受托) 单位	名称			联系人	
	单位			电 话	
旧点利 用情况					
备 注					

附 录 C (规范性附录)

重力测量各项计算的数学模型

C.1 固体潮改正

固体潮改正采用零潮汐系统,计算公式为:

$$\delta g_t = -[\delta_{th}G(t) - \delta f_c] \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$G(t) = -165.17F(\Phi)\left(\frac{C}{R}\right)^3\left(\cos^2 Z - \frac{1}{3}\right) - 1.37F^2(\Phi)\left(\frac{C}{R}\right)^4 \cos Z(5\cos^2 Z - 3) \\ - 76.08F(\Phi)\left(\frac{C}{R}\right)^3\left(\cos^2 Z_s - \frac{1}{3}\right) \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$F(\Phi) = 0.998\,327 + 0.001\,67\cos 2\Phi \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\delta f_c = -4.83 + 15.73\sin^2 \psi - 1.59\sin^4 \psi \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

δg_t ——固体潮改正值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

δ_{th} ——重力潮汐因子;

δf_c ——永久性潮汐对重力的直接影响;

Φ ——测站大地纬度;

ψ ——测站地心纬度。

C.2 气压改正

气压改正的计算公式

$$\delta g_p = 0.3(p - p_n) \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$p_n = 1.013\,25 \times 10^5 \left(1 - \frac{0.006\,5 \times H}{288.15}\right)^{5.255\,9} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

δg_p ——气压改正值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

p ——测点实测气压值,单位为 hPa(百帕);

p_n ——测点标准气压值,单位为 hPa(百帕);

H ——海拔高程,单位为米(m)。

C.3 极移改正

极移改正的计算公式

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

式中:

δg_p ——极移改正值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

ω ——地球自转角速度, $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}$, 单位为 rads^{-1} ;

a ——地球长半轴, $a = 6\,378\,136$, 单位为米(m);

λ, Φ ——测点的地理经、纬度;

x, y ——地极坐标,采用 IERS 公布的数值,单位为 rad。

C.4 仪器高改正

重力观测值改算为墩面值的计算公式为：

$$g_0 = g_p + \delta g_h \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

仪器高改正值 δg_h 的计算公式为：

$$\delta g_h = \theta \times h \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

式中：

g_0 ——墩面重力值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

g_p ——重力观测值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

θ ——重力垂直梯度,单位为 10^{-8} s^{-2} ;

h ——重力仪面板高度(绝对重力测量为落体下落初始位置高度),单位为米(m)。

C.5 仪器读数的格值转换

转换公式为：

$$g_R = F_1 + (R - R_1) \times F_2 \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：

g_R ——格值表转换值,单位为 10^{-5} ms^{-2} ;

R ——仪器读数;

R_1 ——仪器读数凑整至 100 格单位的整数值;

F_1 ——仪器出厂格值表中 R_1 相应的转换值,单位为 10^{-5} ms^{-2} ;

F_2 ——仪器出厂格值表中 R_1 相应的间隔因子。

C.6 重力仪零漂率

重力仪零漂率计算公式为：

$$k = \frac{g - g'}{t - t'} \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

式中：

k ——零漂率;

g, g' ——分别为测线起始点的往、返观测值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

t, t' ——分别为测线起始点的往、返观测的相应时刻。

若测线未能当天闭合,测线中有 i 个静态观测点时,零漂率的计算公式为

$$k = - \frac{[(g - g') - \sum (g_i - g'_i)]}{[(t - t') - \sum (t_i - t'_i)]} \quad \dots\dots\dots (C.12)$$

式中：

g_i, g'_i, t_i, t'_i ——分别为第 i 个静态观测点到达和离开时的观测值及相应的观测时刻。

C.7 零漂改正

零漂改正的计算公式为：

$$\delta g_k = k \times \Delta t \quad \dots\dots\dots (C.13)$$

式中：

δg_k ——零漂改正值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;

Δt ——测站点与起始点的观测时间差;

k ——零漂率。

C.8 相对联测段差

相对联测段差的计算公式为：

$$\delta g_{ij} = (g_j - g_i) \times C \quad \dots\dots\dots (C.14)$$

式中：

- δg_{ij} —— i, j 两测点的重力观测段差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;
- g_i, g_j ——分别为 i, j 两测点的观测值,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;
- C ——仪器的比例因子。

C.9 相对联测精度估算

相对联测精度估算应包括：

a) 测段的段差联测中误差 m 的计算,公式为：

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} \quad \dots\dots\dots (C.15)$$

式中：

- v ——各观测段差与观测段差平均值之差；
- n ——观测段差的个数。

b) 环闭合差的计算,闭合差的计算公式为：

$$\omega = \sum_{i=1}^n \Delta g_i \quad \dots\dots\dots (C.16)$$

式中：

- ω ——环闭合差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;
- Δg_i ——第 i 个测段的最后观测段差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;
- n ——闭合环中的测段数。

闭合差允许限差的计算公式为：

$$W_0 = 2m_0 \sqrt{n} \quad \dots\dots\dots (C.17)$$

式中：

- W_0 ——闭合差允许限差,单位为 10^{-8} ms^{-2} ;
- m_0 ——段差中误差的允许值,单位为 10^{-8} ms^{-2} 。

附 录 D

(规范性附录)

FG5 绝对重力测量观测记录表

表 D.1 绝对重力仪记录手簿

点名：			点号：		观测者： 记录者：		观测日期： 年 月	
纬度：			经度：		第一检查者： 第二检查者：		仪器高： $H_1 =$ cm $H_2 =$ cm $H_1 + H_2 =$ cm	
高程： m			重力垂直梯度：		数据文件名称：			
日期	时间 (UTC)	序号	超长弹簧		落体舱情况		干涉仪	
			水准气泡	零位置 (≤ 20 mV)	水准气泡	离子泵 真空度	垂直度 检查	干涉条纹 (mV)
月 日								
月 日								
日期	时间	记 事				1—F 峰值信号(V)		
月 日						日期	月 日	月 日
						时间		
						D		
						E		
						F		
						G		
备注：								

附录 F (规范性附录)

光学位移灵敏度的测定与调整

F.1 测定方法一

步骤和内容：

- a) 置平仪器。
- b) 松摆, 打开照明开关。
- c) 转动测微器, 用亮线左边缘切准目镜分划板的已知分划数 σ_0 (设为 2.9), 并读取测微器读数 R_0 (设为 3 793.65)。
- d) 转动测微器, 将读数设置在 $R_1 = R_0 + 0.5$ ($R_1 = 3\ 794.15$) 处, 待其稳定后, 读取目镜亮线左边缘在目镜分划板上的大格数 σ_1 (设为 3.45)。
- e) 再将测微器倒旋一圈设置在 $R_2 = R_0 - 0.5$ ($R_2 = 3\ 793.15$) 处, 待其稳定后, 再读取亮线左边缘在分划板上的大格数 σ_2 (设为 2.40); 这样相当于测微器读数轮旋转一周, 即 100 个小分划 (约等于 $1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$), 而亮线在目镜视场中相应移动一定格数。
- f) 光学位移灵敏度 q , 计算公式为:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_2) / (R_1 - R_2) \quad \dots\dots\dots (\text{F.1})$$

式中:

R_i ——测微器(计数器与读数轮)的读数;

σ_i ——与 R_i 相应的亮线在目镜分划板上的读数。

例中:

$q = (3.45 - 2.40) / (3\ 794.15 - 3\ 793.15) = 1.05$ (单位: 大格 / ($1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$)), $q = 10.5$ (单位: 小格 / ($1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$))。

记录格式见 M.4。

F.2 测定方法二

步骤和内容:

- a) 用亮线先后切准目镜分划板某一已知读数线的左、右各一小格, 相应地读定测微器的计数器与读数轮之读数。
- b) 假定亮线在分划板的原有读数为 2.2, 操作顺序为右、左、右, 具体操作如下:
首先, 亮线向右移动一小格, 亮线读数 δ_1 为 2.3, 同时读取测微器的读数 R_1 (例如 3 588.880);
然后, 亮线向左移动到原有读数的左边一小格, 亮线读数 δ_2 为 2.1, 读取测微器的读数 R_2 (例如 3 588.685);
最后, 向右移动亮线到第一次读数的位置, 即亮线第二次读数 δ_1' 为 2.3, 第二次读取该位置的测微器读数 R_1' (例如 3 588.884);

计算:

$$q = [(\delta_1 + \delta_1') / 2 - \delta_2] / [(R_1 + R_1') / 2 - R_2] = 10.2 \quad (\text{单位: 小格} / (1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}))$$

记录格式见 M.5。

F.3 调整方法

若测定的灵敏度偏低(譬如, $q < 8$ 小格, 则 q 需往高调整, 此时降低仪器右端, 使纵水准气泡左移

(离开目镜筒方向)。一般调整位移量是很小的,一次位移气泡 0.2 格,并以该位置认定为气泡居中位置,再测定一次该位置上的灵敏度 q ,直到调到合适为止。然后松开纵水准器左侧压住盖板的螺丝,旋开盖板,露出调节孔,内有六角方槽螺丝,用随仪器配备的专用工具来转动调节螺丝,使纵水准气泡居中。

注意:在以上过程中,移动纵水准气泡时,横水准气泡应始终保持居中。

规定每月至少调整灵敏度一次。如发现灵敏度值确已超出范围,应及时调整,务使灵敏度保持在要求的范围内。如在测线施测中发现灵敏度超出规定数值,仪器暂不作调整,待测线完成后,再按规定方法对灵敏度进行调整。

附录 G

(规范性附录)

正确读数线的检验与调整

G.1 对仪器的光学位移灵敏度或电子灵敏度进行了检验和调整,应确定正确读数线,即进行纵水准器的检验。

G.2 检验方法一

步骤和内容:

- 使纵、横水准器的气泡精确置平。
- 松摆,旋转测微器读数轮,使目镜亮线切准所给读数 δ_0 (电子读数时,使电压表置零,即 $U_0=0$)。
- 用右侧脚螺旋使纵水准器气泡左移 0.5 格,待亮线稳定后 (30 s 以后),读定亮线在目镜分划板上的读数 δ_1 (或电压表读数 U_1)。
- 用右侧脚螺旋使纵水准气泡右移 1 格,待亮线稳定后,读定亮线在分划板上的值 δ_2 (或电压表读数 U_2)。
- 此时,如果 $\delta_1 \approx \delta_2 > \delta_0$ (或 $U_1 \approx U_2 > U_0$),则表明所选的读数线是正确的。
- 如果 $\delta_1 \neq \delta_2$ (或 $U_1 \neq U_2$),并且 $\delta_1 > \delta_2$ (或 $U_1 > U_2$),则所选读数线偏大。此时,旋转读数轮,使亮线以 δ_0 为准,左移水准器气泡 0.5 格,此时目镜亮线的读数作为新的读数线 (譬如,原给读数线为 2.2,现在亮线的读数为 2.15,则为新读数线)。以此为准重复 b)~e) 步骤再测定一次,直至找出正确的读数线。如 $\delta_1 < \delta_2$ 或 $U_1 < U_2$ 时,则所选读数线偏小,按相反的方向移动水准器气泡进行调整,找出正确的读数线。

G.3 检验方法二

步骤和内容:

- 精确置平仪器,松摆。
- 转动测微器读数轮,使目镜亮线切准仪器说明书所给的读数线,读取测微器读数 R_0 。
- 旋转右侧脚螺旋,使纵水准器气泡左移 0.5 格,待仪器稳定后,用目镜亮线再次切准读数线,读取测微器读数 R_1 。
- 相反方向旋转右侧脚螺旋,使纵气泡右移 1 格,待仪器稳定后,用亮线切准读数线,读取测微器读数 R_2 。

若读数线准确 (纵气泡位置准确),则 $R_1 - R_0 = R_2 - R_0$; 如果 $R_1 - R_0 \neq R_2 - R_0$,其小值与大值之比应大于 2/3。否则,在灵敏度正确的范围内可改正纵气泡或改正读数线,将气泡往偏大值方向调整,每次调整 0.2 格,调整后再测定一次,直至符合要求为止。然后用螺丝刀将气泡居中即成。

注意:灵敏度、读数线和气泡三者之间是相互关联的,不要轻易改变气泡位置。否则难以调整仪器,无法进行观测。一般以灵敏度为准来改动气泡,改变读数线。

在改动纵水准器气泡时,横水准器气泡始终保持居中。当纵、横水准气泡和灵敏度三者有一作调整时,应对其余两项再次检查,直至都符合要求为止。

附 录 H
(规范性附录)

横水准器的检验与调整

横水准器的检验、调整与纵水准器的调整方法(见 G. 2)相同,但由于横水准器气泡的变化对读数影响明显,所以可在前后各一格范围内变动气泡位置,直至找到横水准器气泡正确位置为止。如气泡偏离中央位置大于 0.3 格,则用螺丝刀将横气泡调节至中央位置。检验和调整横气泡时,纵气泡应保持居中。

附 录 I

(规范性附录)

电子读数零位和检流计零位的检验与调整

当光学读数灵敏度、正确读数线、水准器检验调整后,还需进行电子灵敏度的检验。首先应先调节电子读数零位和检流计零位,即在目镜中用亮线切准正确读数线时,电压表读数应为零,检流计指针应在中央位置。如果读数不为“0”及指针不在中央,则需要调整。方法如下:

- a) 接上电压表(在 200 mV 挡),并使亮线切准读数线。
- b) 此时,输出电压在数字电压表上的显示应在 (0 ± 0.1) mV 之间,检流计指针应在“0”附近。
- c) 如超出上述限差,则用小螺丝刀调节“zero”孔螺丝,旋转螺丝使检流计指针移至中央或使数字电压表显示为“0”时为止;调节螺丝作顺时针转动,检流计指针向右移动;作逆时针转动,则检流计指针向左移动。
- d) 当调整了读数线时,应重新调节电子读数零位,使光学读数正确读数线与电子零位一致。

附 录 J
(规范性附录)
电子灵敏度的测定与调整

测定与调整方法如下:

- a) 转动测微器,使数字电压表读数在“0”的附近,读取测微器读数,取整到 $0.01 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$, 设为 R_0 (例如 3 657.65)。
- b) 转动测微器,将读数旋转到 $R_1 = R_0 + 0.05$ 处 ($R_1 = 3\ 657.70$), 读取电压表读数 U_1 (例如, $U_1 = -8.4 \text{ mV}$)。
- c) 将读数轮旋到 $R_2 = R_0 - 0.05$ 处 ($R_2 = 3\ 657.60$), 读取电压表读数 U_2 (例如, $U_2 = +6.9 \text{ mV}$)。
- d) 重复 b) 步骤,得电压表读数 U_1' (例如 $U_1' = -8.4 \text{ mV}$)。
- e) 电子灵敏度 Q 为

$$Q = \left| \frac{U_1 + U_1'}{2} - U_2 \right| \quad (\text{单位: mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}))$$

算例为:

$$Q = \left| \frac{-8.4 + (-8.4)}{2} - 6.9 \right| = 15.3 \quad (\text{单位: mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}))$$

- f) 当滤波盒的衰减倍数为 20 倍时, Q 值选用 $10 \text{ mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}) \sim 20 \text{ mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2})$ 为宜。
- g) 若 Q 值不在上述范围内则需调整;将读数轮旋转到 $R = R_0 - 0.10$ 处 (3 657.75 或 3 657.55), 用小螺丝刀插入面板上的“sens”探孔, 旋转电位器调节螺丝 (反时针旋转时使灵敏度减小, 反之增大), 使电压表的读数在 $10 \text{ mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}) \sim 20 \text{ mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2})$ 之间即成。
- h) 调整后, 再按上述步骤检测一次, 检查 Q 值是否合乎要求。

若不用电压表而使用检流计读数, 其灵敏度的要求是检流计指针移动刻度一大格, 相当于读数轮变化 $100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 调整方法同电压表读数法。

附 录 K
(规范性附录)
光学位移线性度的检验

采用电子读数时,此项可不作。

检验方法如下(设读数线为 $R_L = \delta_0$, 譬如, $R_L = 2.2$):

- a) 将目镜亮线精确对准 $\delta_1 = \delta_0 + 0.1$ 格 ($\delta_1 = 2.3$), 读取测微器读数 (如: $R_1 = 3\ 600.880$);
- b) 将目镜亮线精确对准 $\delta_0 = 2.2$, 读取测微器读数 R_0 (如: $R_0 = 3\ 600.779$);
- c) 将亮线精确对准 $\delta_2 = \delta_0 - 0.1$ 格 ($\delta_2 = 2.1$), 读取测微器读数 R_2 (如: $R_2 = 3\ 600.677$);
- d) 再按上述的反顺序 c)、b)、a) 进行操作和读数, 分别读记为 δ_2', R_2' (如: $R_2' = 3\ 600.681$); δ_0', R_0' (如: $R_0' = 3\ 600.781$); δ_1', R_1' (如: $R_1' = 3\ 600.883$);
- e) 计算:

$$q_1 = \frac{(\delta_1 + \delta_1') - (\delta_0 + \delta_0')}{(R_1 + R_1') - (R_0 + R_0')} = \frac{(2.3 + 2.3) - (2.2 + 2.2)}{(880 + 883) - (779 + 781)} \\ = \frac{0.2}{203} = 0.009\ 85$$

单位: 格/($100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$)

$$q_1 = \frac{(\delta_2 + \delta_2') - (\delta_0 + \delta_0')}{(R_2 + R_2') - (R_0 + R_0')} = \frac{(2.1 + 2.1) - (2.2 + 2.2)}{(677 + 681) - (779 + 781)} \\ = \frac{-0.2}{-202} = 0.009\ 90$$

单位: 格/($100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$)

应该 $q_1 = q_2$, 其不符值不应大于观测误差 (目前尚无统一规定, 且无法改正)。

附 录 L
(规范性附录)
电子读数线性度的检验

电子读数线性度的检验方法(设 R_0 为亮线切准读数线时测微器的数值)如下:

- a) 将测微器读数设置在 $R_1 = R_0 + 100$ 的位置上,读取电子读数 U_1 ,记录 R_1, U_1 ;
- b) 转动测微器,将读数设置在 R_0 ,读取电子读数 U_0 ,记录 R_0, U_0 ;
- c) 转动测微器,将读数设置在 $R_2 = R_0 - 100$,读取电子读数 U_2 ,记录 R_2, U_2 ;
- d) 按 c)、b)、a)的顺序读记 U_2', U_0', U_1' ;
- e) 计算:

$$q_1 = \frac{|U_1 - U_0| + |U_1' - U_0'|}{2} = \frac{|17.1 - 0.2| + |17.2 - 0.1|}{2}$$

$$= 17.0$$

单位: $\text{mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2})$ 。

$$q_2 = \frac{|U_2 - U_0| + |U_2' - U_0'|}{2} = \frac{|-16.8 - 0.2| + |-16.7 - 0.1|}{2}$$

$$= 16.9$$

单位: $\text{mV}/(100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2})$ 。

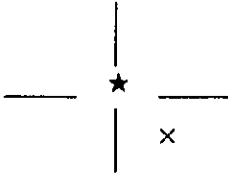
应该 $q_1 = q_2$, 不符值应小于观测误差。

附 录 M
(规范性附录)
LCR 重力仪观测记录格式范例

M.1 重力联测(电子读数)

重力联测电子读数记录格式示例见表 M.1。

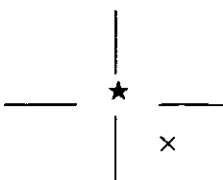
表 M.1 电子读数记录格式

点名	北京基本点	内温	48.4℃	观测者	王 纲		
日期	1986.4.12	外温	21.3℃	记录者	王 强		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度	$\pm 10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$		101 360 Pa	仪器高	269 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数	毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值	仪器读数	
	2 918.250	7.2					
	.150	-7.5					
	.250	7.3					
	Q=	14.8 mV					
时间	电子读数		备注	时间	光学读数	备注	
6 : 42	2 918.210						
: 43	.212						
: 44	.211						
6 : 43	2 918.211		(中数)			(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
		√					
说 明							

M.2 重力联测(光学读数)

重力联测光学读数记录格式示例见表 M.2。

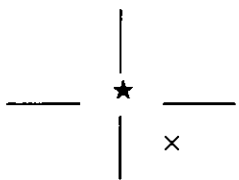
表 M.2 重力联测光学读数记录格式

点名	北京基本点	内温	48.4℃	观测者	王 纲		
日期	1986.4.13	外温	21.3℃	记录者	王 强		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度	$\pm 10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$		101 360 Pa	仪器高	269 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数	毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值	仪器读数	
时间	电子读数		备注	时间	光学读数	备注	
				6 : 49	2 918.213		
				: 50	.215		
				: 51	.214		
				6 : 50	2 918.214	(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
		✓					
说 明							

M.3 电子读数灵敏度测定

电子读数灵敏度测定记录格式示例见表 M.3。

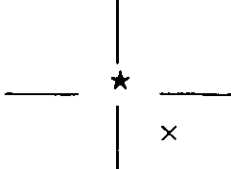
表 M.3 电子读数灵敏度测定记录格式

点名	北京中建饭店		内温	48.4℃		观测者	王 纲		
日期	1986.4.11		外温	21.3℃		记录者	王 强		
天气	晴		气压	mmHg		检查者			
微震幅度	$\pm 10 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$			101 360 Pa		仪器高	269 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数		毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值		仪器读数	
	2 918.250		7.2						
	.150		-7.5						
	.250		7.3						
	Q=		14.8 mV						
时间	电子读数		备注		时间	光学读数		备注	
6 : 42	2 918.210				6 : 49	2 918.213			
: 43	.212				: 50	.215			
: 44	.211				: 51	.214			
6 : 43	2 918.211		(中数)		6 : 50	2 918.214		(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置				
		✓							
说 明									

M.4 光学读数灵敏度测定(方法一)

光学读数灵敏度测定方法一的记录格式示例见表 M.4。

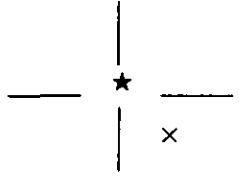
表 M.4 光学读数灵敏度测定记录格式(一)

点名	西安长城旅馆	内温	48.4℃	观测者	顾 君
日期	1986.4.15	外温	23.1℃	记录者	王 强
天气	晴	气压	mmHg	检查者	
微震幅度			98 230 Pa	仪器高	269 mm
电子 灵 敏 度	仪器读数	毫伏表值		分划尺值 δ	仪器读数 R
				2.90	3 793.65
				3.45	3 794.15
				2.40	3 793.15
	$q=10.5$ (小格)				
时间	电子读数		备注	时间	光学读数
			(中数)		(中数)
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置
说 明					

M.5 光学读数灵敏度测定(方法二)

光学读数灵敏度测定方法二的记录格式示例见表 M.5。

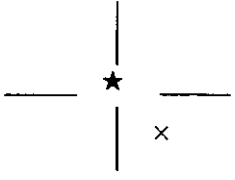
表 M.5 光学读数灵敏度测定记录格式(二)

点名	北京中建旅馆	内温	48.4℃	观测者	赵 岳		
日期	1986.4.14	外温	23.4℃	记录者	张 昆		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度			98 082 Pa	仪器高	270 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数	毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值 δ	仪器读数 R	
					2.30	3 588.880	
					2.10	3 588.685	
					2.30	3 588.884	
					$q=10.2$ (小格)		
时间	电子读数		备注	时间	光学读数	备注	
			(中数)			(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
							
说 明							

M.6 水准器检验(光学读数)(方法一)

水准器检验光学读数方法一的记录格式示例见表 M.6。

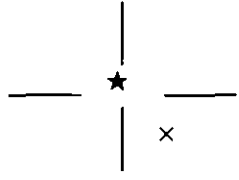
表 M.6 水准器检验光学读数记录格式(一)

点名	西安引点	内温	48.4℃	观测者	王 强		
日期	1986.4.10	外温	18.4℃	记录者	张 昆		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度			98 215 Pa	仪器高	270 mm		
电子灵敏度	仪器读数	毫伏表值		光学灵敏度	分划尺值 δ	仪器读数 R	
纵 水 准 器				横 水 准 器			
左一格	居 中	右一格	前一格	居 中	后一格		
3 600.741	3 600.779	3 600.744	3 600.744	3 600.780	3 600.767		
		(中数)				(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
							
说 明	读数线 $R_L = 2.90$ 。 纵、横水准器位置正确。						

M.7 水准器检验(光学读数)(方法二)

水准器检验光学读数方法二的记录格式示例见表 M.7。

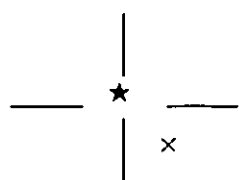
表 M.7 水准器检验光学读数记录格式(二)

点名	西 安	内温	48.4℃	观测者	王 强		
日期	1986.4.10	外温	18.5℃	记录者	张 昆		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度			98 135 Pa	仪器高	270 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数	毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值 δ	仪器读数 R	
纵 水 准 器				横 水 准 器			
左一格	居 中	右一格	前一格	居 中	后一格		
2.92	2.90	2.92	2.91	2.90	2.92		
		(中数)				(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
							
说 明	采用视场刻划板读数检验气泡正确性。 读数线 $R_L = 2.90$ 。						

M.8 水准器检验(电子归零测微轮读数)

水准器检验电子归零测微轮读数的记录格式示例见表 M.8。

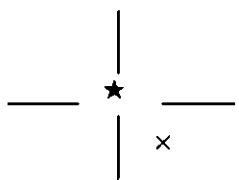
表 M.8 水准器检验电子归零测微轮读数记录格式

点名	西安基本点	内温	48.4℃	观测者	王 凯		
日期	1986.10.12	外温	18.6℃	记录者	张 昆		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度			98 135 Pa	仪器高	269 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数	毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值 δ	仪器读数 R	
纵 水 准 器				横 水 准 器			
左一格	居 中	右一格	前一格	居 中	后一格		
2 951.147	2 951.168	2 951.149	2 951.150	2 951.162	2 951.151		
		(中数)				(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
							
说 明	纵、横水准器正确位置居中。						

M.9 水准器检验(电子读数法)

水准器检验电子读数法的记录格式示例见表 M.9。

表 M.9 水准器检验电子读数法记录格式

点名	西安引点	内温	48.4℃	观测者	张 非		
日期	1986.4.11	外温	16.3℃	记录者	王 昆		
天气	晴	气压	mmHg	检查者			
微震幅度			98 135 Pa	仪器高	270 mm		
电子灵敏度	仪器读数	毫伏表值		光学灵敏度	分划尺值 δ	仪器读数 R	
纵 水 准 器				横 水 准 器			
左一格	居 中	右一格	前一格	居 中	后一格		
6.4 mV	0.1	6.2	4.0 mV	-0.1	3.9		
		(中数)				(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置		
							
说 明	纵、横水准器正确位置居中。						

M. 10 电子读数线性度、光学位移线性度的检验

电子读数线性度、光学位移线性度的检验记录格式示例见表 M. 10。

表 M. 10 电子读数线性度、光学位移线性度的检验记录格式

点名	北京基本点		内温	48.4℃		观测者	张 方		
日期	1986. 2. 18		外温	18.4℃		记录者	王 昆		
天气	晴		气压	mmHg		检查者			
微震幅度				98 135 Pa		仪器高	269 mm		
电 子 灵 敏 度	仪器读数		毫伏表值		光 学 灵 敏 度	分划尺值 δ		仪器读数 R	
	3 600.880		17.1 17.2			2.80		3 600.677 .681	
	.780		0.2 0.1			2.90		.779 .781	
	.680		-16.8 -16.7			3.00		.880 .883	
	q=17.0 mV 16.9 mV					q=0.990(小格) 0.985(小格)			
时间	电子读数		备注		时间	光学读数		备注	
			(中数)					(中数)	
运 输 工 具	飞机	汽车	火车	步行	仪器在测站上的设置位置				
					<div><div></div><div>★</div><div></div><div>×</div></div>				
说 明									