

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

航空重力测量成果质量检验技术规程

Technical code of practice for quality inspection and acceptance of airborne gravity
survey results

(报批稿)

(本草案完成时间：2022年12月19日)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
4.1 一般规定	2
4.2 检验依据	2
4.3 检验记录	2
5 工作流程	2
6 抽样程序	2
6.1 成果批次、批量确定	2
6.2 样本量确定	2
6.3 抽样要求	3
6.4 样本提取内容	3
7 检查内容与方法	3
7.1 一般规定	错误!未定义书签。
7.2 数据质量	4
7.3 资料质量	7
8 质量评定	7
8.1 质量表征	7
8.2 质量元素与权的分配	7
8.3 单位成果质量评分	7
8.4 样本质量评定	9
8.5 检验批成果质量判定	9
9 报告编制	9
10 资料整理	10
附录 A （规范性） 航空重力测量成果质量错漏分类表	11

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会测绘分技术委员会（SAC/TC 230/SC2）归口。

本文件起草单位：国家测绘产品质量检验检测中心、自然资源部陕西测绘产品监督检验站、自然资源部第一大地测量队、自然资源部测绘标准化研究所、中国测绘科学研究院。

本文件主要起草人：张莉、章磊、田宗彪、彭凯笛、刘站科、杨绪峰、蒋涛、王小军、王炜、聂晶、赵鑫、尹彤、陈小英、苏春艳。

航空重力测量成果质量检验技术规程

1 范围

本文件规定了航空重力测量成果检验的基本要求、工作流程、抽样程序、检查内容与方法、质量评定、报告编制和资料整理等内容。

本文件适用于航空重力测量成果质量检查与验收。

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 17944 加密重力测量规范
- GB/T 18314 全球定位系统(GPS)测量规范
- GB/T 20256 国家重力控制测量规范
- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- GJB 6561 航空重力测量作业规范
- DZ/T 0381 航空重力测量技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

航空重力测量 airborne gravimetry

以航空飞行平台为载体，在运动状态中使用航空重力测量系统对地球重力场进行测量的行为。

[来源：GJB 6561-2008，3.2，有修改]

3.2

单位成果 item

为实施检查与验收而划分的基本单位。

[来源：GB/T 24356-2009，3.1]

3.3

批成果 lot

同一技术设计要求下生产的同一测区的单位成果集合。

[来源：GB/T 24356-2009，3.2]

3.4

样本 sample

从批成果中抽取的用于评定批成果质量的单位成果集合。

[来源：GB/T 24356-2009, 3.4]

4 基本要求

4.1 一般规定

航空重力测量成果质量通过两级检查一级验收方式进行控制，该类成果应依次通过测绘单位作业部门的一级检查、测绘单位质量管理部门的二级检查和项目管理单位组织的质量验收或委托具有资质的质量检验机构进行质量验收。两级检查一级验收应符合以下基本要求：

- a) 各级检查验收工作应独立、按顺序进行，不得省略、代替或颠倒顺序；
- b) 二级检查应审核一级检查记录，验收应审核两级检查记录。审核中发现的问题作为资料质量错漏处理。

4.2 检验依据

航空重力测量成果质量检验应依据有关国家标准和行业标准、技术设计书、测绘任务书、合同书和委托验收文件等执行。

4.3 检验记录

检验工作结束后，均应填写检验记录，检验记录应整洁、清晰，质量问题应描述完整，所属错漏类别应明确。

5 工作流程

检验工作包括检验前准备、样本资料提取、成果检验、质量评定、报告编制和资料整理，具体内容如下：

- a) 检验前应收集项目技术设计书、相关技术资料及标准，核查前序检查完成情况，明确检查内容及方法，准备检验所需软硬件设备，制订工作计划。必要时，可根据需要编制检验方案并组织培训；
- b) 抽样并提取全部成果资料及数据；
- c) 对成果进行检验；
- d) 质量评定、报告编制按本文件执行，资料整理按GB/T 24356的规定及本文件相关要求执行。

6 抽样程序

6.1 成果批次、批量确定

单位成果以测线为单位。

以总测线数为单位成果总数，按照GB/T 24356要求，确定成果批次和批量。

6.2 样本量确定

按照GB/T 24356要求，确定测线样本量。

除样本测线外，飞行架次资料、纸质文本、图件资料等成果总体资料不再抽样，全部提交备查。

6.3 抽样要求

应收集生产任务（合同）和技术设计书中要求提交的成果资料，提取样本时应注意数据、资料的形式和样态。

样本应根据作业单位、工序或生产时间段、地形类别、作业方法等采用分层按比例随机抽样等多种方式抽取。

抽样时应填写抽样单和样品清单，抽样后不得替换、编辑样品资料。

按规定提取样本资料。

6.4 样本提取内容

提取的样本资料主要包括以下内容：

- a) 航空重力测量任务书或任务书；
- b) 航空重力测量技术设计书或实施方案；
- c) 地面GNSS基准站资料；
- d) 重力基准联测数据、地面GNSS基准站联测数据；
- e) 航空重力测量观测手簿；
- f) 观测数据（含航空重力观测数据、导航定位数据等）及计算成果；
- g) 仪器检定资料和测前仪器检验、调试资料；
- h) 重力仪静态定位测试、导航定位仪测试等数据及记录文件；
- i) 技术总结、工作报告等。

7 检查内容与方法

7.1 一般规定

航空重力测量成果采用以下两种检验方法：

- a) 核查分析：核实分析各类参数指标、数据及文档资料与技术文件的符合性，如交叉点上重力场差值中误差、仪器鉴定项目等。
- b) 比对分析：将成果与其他参考数据和文档资料比较，分析核实与技术文件的符合性，如内符合精度、外符合精度等。

检验内容及方法见表1所示。

表1 航空重力测量成果检验内容及方法

质量子元素	检查内容	检验方法
数学精度	1.计算航空重力测量内符合精度、外符合精度是否符合规范要求； 2.计算控制线与测线交叉点上重力场差值中误差是否符合规范要求。	核查分析 比对分析
观测质量	1.重力仪器检验、调整项目及参数标定的规范性、齐全性； 2.航空重力地面 GNSS 仪器检定项目规范性、齐全性； 3.重力基点、地面基准站点位的合理性； 4.重力基准联测、地面 GNSS 基准站联测方法的正确性；	核查分析

质量子元素	检查内容	检验方法
	5.地面基准站观测条件是否符合要求，仪器高量取的正确性； 6.是否按照设计测线、高度、速度施测； 7.航空重力仪加温及静态测试、导航定位仪测试情况检查； 8.仪器参数设置是否正确； 9.手簿记录和注记的正确性、完整性和规范性； 10.数据采集记录软件的合规性； 11.测量数据的完好性； 12.成果取舍和重测的正确性、合理性； 13.特殊问题处理的规范性。	
计算质量	1.数据处理软件的合规性； 2.起算数据来源合规性及正确性； 3.计算参数选择的正确性； 4.计算项目的齐全性； 5.计算方法、结果的正确性； 6.文件名命名格式与名称的规范性。	核查分析 比对分析
整饰质量	1.成果数据目录组织格式是否规范、数据内容是否完整； 2.技术总结、检查报告格式的规范性和整饰的规整性； 3.观测手簿整饰的规范性； 4.成果资料整饰的规范性。	核查分析
资料完整性	1.技术总结编写的齐全和完整情况； 2.检查报告编写的齐全和完整情况； 3.成果说明的齐全和完整情况； 4.点之记内容的齐全和完整情况； 5.上交资料的齐全和完整情况。	核查分析
注1：数学精度相关指标限差参考执行 GJB 6561、DZ/T 0381 相关要求		

7.2 数据质量

7.2.1 数学精度

7.2.1.1 内符合精度

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：

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

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 \bar{F}_j 之差，单位为 10^{-5}m/s^2 ，有 $\delta_{ij} = (F_{ij} - \bar{F}_j + \bar{F}) - F_i$ ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

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

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

$$\bar{F}_j = \frac{\sum_{i=1}^n F_{ij}}{n} \quad (j=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (3)$$

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

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \dots\dots\dots (4)$$

式中： m 为重复线的数目， n 为重复线公共段数据点数。

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：

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^n \delta_{ij}^2)}{m \times n}} \dots\dots\dots (5)$$

7.2.1.2 外符合精度

有条件的还应利用测线重力值与同精度以上的地面重力值上延到飞行高度的重力值，比对计算航空重力测量外符合精度，计算公式如下：

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [(F_{ij} - \bar{F}_j + \bar{P}) - P_i]^2}{m \times n}} \dots\dots\dots (6)$$

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

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots\dots\dots (7)$$

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。

7.2.1.3 交叉点中误差

计算测区内控制线与测线交叉点上重力场差值中误差是否超限。其计算公式为：

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

σ ——中误差，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 ——剔除粗差后的交叉点数。

对照项目合同、项目技术设计书等，核查上述结果是否满足要求。

7.2.2 观测质量

观测质量的检查方法如下：

- a) 核查重力仪、GNSS仪器等仪器检定证书的有效性是否完整覆盖作业时间，并根据GB/T 20256与GB/T 18314相关规定，检查仪器检定证书检定内容与检定结果的齐全性、符合性。
- b) 检查地面GNSS基站是否布设在测区内，通过分析点之记等资料核查点位周边遮挡及电磁干扰是否符合选点要求，通过技术总结、原始联测数据，检查联测GNSS控制点数、联测方法、解算后北向、东向和高程方向定位误差是否满足GB/T 18314及技术设计书的要求。
- c) 提取资料和数据，检查重力基准联测时仪器选择、重力观测、数据记录、数据处理等是否符合GB/T 17944相关要求。检查基准站点位环境、联测方法、数据质量（卫星数量、PDOP值等）等是否符合GB/T 18314相关要求。
- d) 利用航空重力测量数据、飞行时收录的定位数据获取航迹等信息，比对实际飞行测线与设计测线的一致性，通过计算软件（有条件时使用质检软件）检查飞行高度、飞行速度，检查测线覆盖待测区域的完整性，检查测线间距是否符合技术设计书的要求。
- e) 通过过程数据记录文件、工作总结等文件，检查仪器参数设置是否符合技术设计书的要求。
- f) 根据观测记录文件等资料，核实是否开展航空重力仪加温、重力仪静态测试、导航定位仪测试等工作，调试、参数设置及精度评价是否符合仪器操作手册或说明书的规定。
- g) 检查手簿记录和注记是否完整、清晰，并对照原始观测数据、工作总结等资料，检查记录内容的真实性和正确性。
- h) 检查数据采集软件是否有专业机构测试报告。
- i) 提取定位数据，根据DZ/T 0381得到速度均方差和位置均方差，并核实是否符合设计要求。
- j) 逐一检查各项观测数据读取查看的完好性，取舍和重测是否满足设计要求。
- k) 根据提交的特殊问题处理文件、会议纪要等文件，核查对应问题是否按照所述处理方式进行处理。

7.2.3 计算质量

计算质量的检查方法如下：

- a) 检查数据处理软件是否有专业机构测试报告。
- b) 核查起算数据是否从权威机构获取，并根据数据申请过程文件、起算数据原始版本核实起算数据来源的合规性及正确性。

- c) 结合技术设计书、数据处理方案等文件，按样本逐项检查原始数据预处理、数据处理各阶段计算项目的齐全性，并通过复算的过程结果及最终结果检查计算参数和结果的正确性，根据DZ/T 0381检查航空重力各项改正、异常地形改正、异常布格改正、布格重力异常计算、控制线法调平处理、微调平处理及数据噪声处理的正确性。
- d) 检查测线划分与观测手簿的一致性。
- e) 根据技术设计书的要求，核查提交文档结构组织、文件名的命名格式与名称的正确性。

7.3 资料质量

7.3.1 整饰质量

对照项目合同、技术设计，核查各项数据、记录文件、过程计算资料、最终成果的规整性和存储介质及包装（如装订、编号）的符合性，各类电子文档资料的文档格式、存储组织、介质及包装样式的符合性。

根据所有提交成果，检查各材料文字、数字等内容的一致性，并根据原始观测数据、观测手簿等文件检查各材料文字、数字等内容的正确性。

7.3.2 资料完整性

对照项目合同、技术设计中关于提交资料文档的相关要求，按照资料移交清单核查技术总结、检查报告等上交资料的完整性和齐全性。

8 质量评定

8.1 质量表征

成果质量以百分制表征。

8.2 质量元素与权的分配

质量元素包含数据质量和资料质量。

质量元素、质量子元素及权的分配应符合表2的规定。

表2 航空重力测量成果质量元素及权重表

质量元素	权	质量子元素	权
数据质量	0.70	数学精度	0.30
		观测质量	0.40
		计算质量	0.30
资料质量	0.30	整饰质量	0.30
		资料完整性	0.70

8.3 单位成果质量评分

8.3.1 成果质量错漏扣分方法

成果错漏类型应符合附录 A 的规定，扣分标准按表 3 执行。

表3 成果错漏类型及扣分标准

错漏类型	扣分值
A 类错漏	42 分
B 类错漏	12 分
C 类错漏	4 分
D 类错漏	1 分

8.3.2 质量量子元素评分方法

数学精度指标均未出现 A 类错漏时，按下式计算分别计算各单项数学精度质量得分，单项数学精度得分均大于 60 分时，取其算术平均或加权平均。

$$S_1 = \begin{cases} 60 + \frac{40}{0.7 \times m_0} (m_0 - m) & m_0 \geq m > 0.3m_0 \\ 100 & m \leq 0.3m_0 \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

S_1 ——单项数学精度质量得分；

m_0 ——中误差允许值；

m ——中误差检测值。

除数学精度外，其它各质量量子元素得分根据成果错漏类型及扣分标准按以下公式进行评分：

$$S_1 = 100 - (a_1 \times 12 + a_2 \times 4 + a_3) \dots\dots\dots (10)$$

式中：

S_1 ——质量量子元素得分值；

a_1 、 a_2 、 a_3 ——质量量子元素中相应的 B 类错漏、C 类错漏、D 类错漏个数。

8.3.3 质量元素评分方法

采用加权平均法计算质量元素得分， S_2 的值按下式计算。

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (S_{1i} \times P_i) \dots\dots\dots (11)$$

式中：

S_2 ——质量元素得分；

S_{1i} ——第 i 个质量量子元素得分；

P_i ——第 i 个质量量子元素的权；

n ——质量元素中包含的质量量子元素个数。

8.3.4 单位成果质量评分方法

采用加权平均法计算单位成果质量得分， S 的值按下式计算。

$$S = \sum_{j=1}^N (S_{2j} \times P_j) \dots \dots \dots (12)$$

式中：

S ——单位成果质量得分；

S_{2j} ——第 j 个质量元素得分；

P_j ——第 j 个质量元素的权；

N ——单位成果中包含的质量元素个数。

8.3.5 单位成果质量等级评定

全部质量元素（质量元素）得分大于等于60分时，计算单位成果质量得分，并评定单位成果质量等级，质量等级评定方法如下。

表4 质量等级评定方法

质量等级	质量得分
优	$S \geq 90$ 分
良	$75 \text{ 分} \leq S < 90 \text{ 分}$
合格	$60 \text{ 分} \leq S < 75 \text{ 分}$

8.4 样本质量评定

样本中检出不合格单位成果时，评定样本质量等级为不合格。

样本中全部单位成果合格后，根据单位成果质量得分，按算术平均方式计算样本质量得分 S ，按表 4 评定样本质量等级。

8.5 检验批成果质量判定

8.5.1 最终检查检验批成果质量等级评定

最终检查批成果合格后，按以下原则评定检验批成果质量等级：

- 优级：优良级品率达到90%以上，其中优级品率达到50%以上；
- 良级：优良级品率达到80%以上，其中优级品率达到30%以上；
- 合格：未达到上述标准。

8.5.2 验收检验批成果质量判定

批成果质量判定应符合以下原则：

- 当样本均为合格时，判为检验批合格；否则，判为检验批不合格。
- 检验中发现伪造成果现象或技术路线存在重大偏差，判为批不合格。
- 生产过程中，使用未经计量检定或检定不合格的测量仪器，判为检验批不合格。

9 报告编制

检查报告、检验报告的内容和格式按照GB/T 24356的规定执行。

10 资料整理

质量检验的相关文件、样品及其附件资料、样品清单、检查记录表等质量检验过程留下的成果、记录均应进行档案管理。

附录 A

(规范性)

航空重力测量成果质量错漏分类表

表A.1规定了航空重力测量成果的错漏分类。

表A.1 航空重力测量成果错漏分类表

质量子元素	A类	B类	C类	D类
数学精度	1.交叉点上重力场差值中误差超限； 2.航空重力测量内符合精度超限； 3.航空重力测量外符合精度超限。			
观测质量	1.无仪器检定资料； 2.航空重力仪器和 GNSS 仪器检定关键技术指标超限； 3.采用未经批准使用的数据采集软件； 4.未经批准擅自更改作业方案； 5.仪参数设置错误，对结果产生严重影响； 6.成果未完整覆盖测区范围； 7.测网布置（含测线、控制线、测量比例尺）与设计不符，严重影响使用； 8.重力基点、地面基准站点联测方法或精度严重不符合要求，严重影响使用； 9.飞行高度、飞行速度等与设计严重不符，对结果产生严重影响； 10.未进行航空重力仪加温、重力仪静态测试或导航定位仪测试； 11.定位数据缺失或速度均方差、位置均方差超限； 12.观测数据不完整，严重影响使用； 13.成果取舍、重测错误，严重影响使用； 14.其他严重错漏。	1.重力仪和 GNSS 仪器检验非关键技术项目不全或指标不符合规定； 2.测前或作业过程中仪器未按要求进行检验，但不影响成果使用； 3.重力基点、地面基准站点联测方法不符合规范或设计要求； 4.测量测线有遗漏或与方案设计不一致； 5.GNSS 接收机采样率设置错误； 6.测线号、方向记录错误； 7.成果取舍、重测不合理，对结果产生一般影响； 8.手簿记录数据与电子档数据不一致； 9.重力基点、地面基准站点联测不符合要求，对结果产生一般影响； 10.测网布置（含测线、控制线、测量比例尺）与设计不符，对结果产生一般影响； 11.未量取偏心距； 12.其他较重错漏。	1.地面基准站布设位置不合理或观测条件差； 2.地面基准站天线高量取位置不规范； 3.地面基准站观测手簿记录、划改不规范； 4.地面基准站观测手簿记录划改较多； 5.地面基准站观测手簿书写汉字、数字潦草不规范； 6.测量成果单位记录错误； 7.对结果无影响的注记错漏； 8.其他一般错漏。	其他轻微错漏。

质量子元素	A类	B类	C类	D类
计算质量	1.采用未经批准使用的数据处理软件; 2.数据处理采用的各参数值错误; 3.计算方法、结果错误,对结果产生严重影响; 4.其他严重错漏。	1.文件名命名格式与名称不规范; 2.测线划分与手簿记录不符; 3.计算方法、结果错误,对结果产生一般影响; 4.其他较重错漏。	1.计算方法、结果错误,对结果产生轻微影响; 2.其他一般错漏。	其他轻微错漏。
整饰质量	1.成果资料文字、数字错漏较多,给成果使用造成严重影响; 2.其他严重错漏。	1.成果资料重要文字、数字错漏; 2.成果文档资料归类、装订不规整; 3.其他较重错漏。	1.成果资料装订及编号错漏; 2.成果资料次要文字、数字错漏; 3.成果数据目录、内容、格式不规范或与成果资料不一致; 4.其他一般错漏。	其他轻微错漏。
资料完整性	1.主要成果资料缺漏; 2.其他严重错漏。	1.缺成果附件资料; 2.缺技术总结、检查报告、成果说明或点之记; 3.点之记重要内容错漏造成无法使用; 4.上交资料缺项; 5.其他较重错漏。	1.无成果资料清单,或成果资料清单不完整; 2.技术总结、检查报告、成果说明内容不全; 3.点之记中一般项目内容错误或缺项; 4.其他一般错漏。	其他轻微错漏。

参 考 文 献

- [1] GB/T 17159-2009 大地测量术语
 - [2] GB/T 18314-2009 全球定位系统（GPS）测量规范
 - [3] GB/T 28588-2012 全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范
-