

《航空重力测量成果质量检验技术规程》

编制说明

行业标准项目名称：航空重力测量成果质量检验技术规程

行业标准项目编号：201932001

送审行业标准名称：机载重力测量成果质量检验技术规程

（此栏送审时填写）

报批行业标准名称：航空重力测量成果质量检验技术规程

（此栏报批时填写）

承担单位：国家测绘产品质量检验测试中心

当前阶段： 征求意见 送审稿审查 报批稿报批

编制时间：2022 年 12 月

《航空重力测量成果质量检验技术规程》 编制说明

一、 工作简况

1. 任务来源

我国在航空重力测量成果质量检验标准在领域内一直处于空白，为完善航空重力测量领域标准体系、推动测绘地理信息产品质量检验工作向前迈进，保证今后航空重力测量项目成果质量、推进航空重力测量的发展与成果应用，国家测绘产品质量检验测试中心（简称国检中心）牵头联合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五家单位提出制定《机载重力测量成果质量检验技术规程》的申请，于 2019 年年底根据《自然资源部办公厅关于印发 2019 年度自然资源标准制修订工作计划的通知》，该标准立项成功，标准计划号为 201932001。该标准在对航空重力测量作业流程规范性客观评价的同时，确保对航空重力测量成果的客观评价，为航空重力测量成果在相关工程中的应用奠定坚实的质量基础。

在标准审查时，根据专家建议，修改名称为《航空重力测量成果质量检验技术规程》。

2. 目的意义

虽然航空重力测量作为一种新型技术在多个行业得到广泛应用，但我国在航空重力测量成果的质量检验方面缺乏相应的检验技术规程或规范，为确保航空重力测量成果质量检验工作的规范性和可靠性，提高航空重力测量成果质量

检验水平，亟需研制与现行航空重力测量作业及其成果相适应的航空重力测量成果质量检验标准。

通过《航空重力测量成果质量检验技术规程》的制订，能够对航空重力测量作业流程规范性客观评价的同时，确保对航空重力测量成果的客观评价，为航空重力测量成果在相关工程中的应用奠定坚实的质量基础；能够完善航空重力测量领域标准体系的同时，填补我国航空重力测量领域质量检验标准领域的空白，推动测绘地理信息产品质量检验工作向前迈进；能够与 GJB 6561-2008《航空重力测量作业规范》相辅相成，保证今后航空重力测量项目成果质量的同时，推进航空重力测量成果在我国的应用。

3. 起草单位及主要起草人

1) 承担单位和协作单位

本标准的牵头单位为国检中心，是我国唯一的国家级测绘产品质量检验检测机构，隶属自然资源部，具有中国国家认证认可监督管理委员会批准的国家级资质（证书编号：2013003381Z）。

本标准的参编单位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，均在航空重力测量领域具备丰富的生产经验或质检经验，为本标准的制定奠定了良好的基础。

2) 主要起草人及其所做工作

本标准的主要起草人员有张莉、章磊、田宗彪、彭凯笛、刘站科、杨绪峰、蒋涛、王小军、王伟、聂晶、赵鑫、尹彤、陈小英、苏春艳。工作分工如下表所示。

序号	姓名	主要工作
----	----	------

1	张莉	标准编制负责人，标准整体把关
2	章磊	负责标准编制组织及参编单位协调分工
3	田宗彪	标准草案编制，负责标准具体内容编制
4	彭凯笛	协助标准草案编制，负责标准具体内容编制
5	刘站科	标准适用性验证，标准适用性论证
6	杨绪峰	协助标准草案编制，负责标准具体内容编制
7	蒋涛	检查内容梳理及补充完善，技术理论严谨性论证
8	王小军	完善错漏类别划分，联合开展验证标准
9	王炜	完善错漏类别划分，联合开展验证标准
10	聂晶	标准适用性验证，标准适用性论证
11	赵鑫	标准格式及形式内容调整
12	尹彤	标准格式及形式内容调整
13	陈小英	协助开展标准适用性验证
14	苏春艳	协助开展标准适用性验证

4. 主要工作过程

1) 立项启动

航空重力测量作为一种新型技术在区域重力测量、矿产普查及极地地质考察中取得了较好的应用效果，并在测绘、地震、地质、军事测绘等多个行业得到广泛应用。目前，我国在航空重力测量成果的质量检验方面缺乏相应的检验技术规程或规范，为确保航空重力测量成果质量检验工作的规范性和可靠性，提高航空重力测量成果质量检验水平，亟需研制与现行航空重力测量作业及其成果相适应的航空重力测量成果质量检验标准。

根据《自然资源部办公厅关于征集 2019 年度自然资源标准制修订工作计划建议的函》的精神，国检中心组织技术人员，协同相关单位，根据行业质检实际需求，编制标准立项申报材料。同年 11 月，收到《自然资源部办公厅关于印发 2019 年度自然资源标准制修订工作计划的通知》，随机国检中心开始实施方案制定等标准筹备制订工作。

2) 起草阶段

标准立项后，项目组积极开展准备工作。依托 1606 工程，我中心承担该项目中航空重力测量成果的检查验收工作，为保障工作科学、有效开展，组织技术人员编制了《1606 工程航空重力测量成果质量评定办法（试行）》，并征求了中国测绘科学院、中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心、战场环境保障局等部分单位的意见并在项目中推广使用，指导该项目中航空重力测量成果质量检查工作顺利实施，为本标准的制定提供了技术上的准备。

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在理论研究、航空重力测量应用实践、测绘成果质量评定等领域均具备颇高的水平，为协同完成本标准的制定提供了必备的支撑。

在编写完成《1606 工程航空重力测量成果质量评定办法（试行）》后，项目组成员开展起草工作。在起草阶段，搜集了国内外相关资料、研究成果，进行了系统的分析、研究，在已有工作的基础上，充分结合现阶段国内各系统的建设运行情况，完成本标准草案的起草工作。并于 2021 年 6 月通过全国地理信息标准化技术委员会测绘分技术委员会秘书处形式审查，形成征求意见稿。

3) 征求意见

2021 年 6 月 21 日，对标准内容进行进一步完善和修改后面面向全国开始征求

意见。共面向各省（区、市）自然资源主管部门有关单位、测绘行业单位、相关高校、相关业内专家意见测绘行业单位和委员发送“征求意见稿”43份。

截至8月底，共收到回函单位和专家数15个（其中8份无意见）。共收到意见和建议41条。经讨论处理，采纳37条，部分采纳1条，未采纳3条。

2021年9-10月，对征求的意见汇总处理形成送审稿并提交。

4) 送审阶段

2022年12月12日，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）组织召开了测绘行业标准《机载重力测量成果质量检验技术规程》（送审稿）线上审查会，由四川测绘地理信息局、国家基础地理信息中心、自然资源部第一海洋研究所、自然资源部第二海洋研究所、广东省国土资源测绘院、山东科技大学、自然资源部大地测量数据处理中心、中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心、中国地质大学（武汉）十名专家听取了编写组关于该标准编制的说明，审查了送审稿及相关材料。

审查委员会同意通过该标准送审稿的审查。建议标准名称修改为《航空重力测量成果质量检验技术规程》，并按照专家审查修改意见修改后以推荐性行业标准报批。

5) 报批阶段

2022年12月21日，标准编写组根据审查会专家意见，全部逐条完成修改，行程标准《航空重力测量成果质量检验技术规程》报批稿。

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；修订标准时，应增列新旧标准水平的对比。

1. 编制原则

(1) 本标准不与现行法律、规范矛盾；

(2) 符合强制性国家标准 GB22021-2008《国家大地测量基本技术规定》的要求；

(3) 与相关的规范标准（GB/T24356-2019《测绘成果质量检查与验收》、GJB6561-2008《航空重力测量作业规范》、DZ/T 0381《航空重力测量技术规范》）协调一致；

(4) 标准制定后，技术指标和检验评定方法要切实可行，具有灵活的可操作性，评定方法要可行，质检组（人员）能够参考本标准对相应成果进行检查验收，推动相应成果质量控制的规范化。

2. 确定标准主要内容的论据

本标准在制定过程中，广泛收集了相关的国家标准、行业标准和地方标准，作为本标准制定的参考和借鉴依据，主要包括：

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

三、 主要试验(或验证)的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

本标准适用于质量检验机构及生产单位质量检查部门开展航空重力测量成

果的检查验收与质量评定。

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，详细规定航空重力测量成果质量检查的检查内容，规定了成果的质量元素和错漏的分类以及检验的方法，对航空重力测量作业的规范性、数据处理的可靠性和成果正确性等方面进行科学判定和客观评价。

(1) 成果抽样与检查内容

1) 批量及样本量确定

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。

2) 抽样

按照 GB/T 24356 第 5 部分，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。并在此基础上，明确了抽样方面的相关要求。

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。

3) 检查内容

航空重力测量成果检查内容包括数据质量（数学精度、观测质量、计算质量）和资料质量（整饰质量、资料完整性）。对项目招投标文件、项目合同和项目设计等未提出要求的内容可不作检验。

4) 检查方法

航空重力测量成果采用核查分析和比对分析两种检验方法开展检验，其中观测质量、整饰质量、资料完整性采用核查分析的方法，数学精度和计算质量采用核查分析及比对分析相结合的方法。标准对两种检验方法进行了说明：

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均方差、仪器鉴定项目等。

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。

此外，为了确保规程的可操作性，通过表格形式将检查内容对应检查方法进行概略分类的基础上，详细规定了各项检查内容涉及的检查方法。

a) 数学精度

数学精度是大地测量成果检查验收的一项重要指标，对于航空重力测量成果，也须合适的精度指标进行评价，综合现有标准规定和理论发展水平，结合1606工程实践经验，计算航空重力测量内符合精度、外符合精度，以及测区内控制线与测线交叉点上重力场差值中误差三个指标。

为保障标准的可操作性，标准对三个指标的计算公式进行了详细规定。

b) 观测质量

①测前仪器检定，是测绘成果质检时必查的一项内容，是确保成果可靠的一项重要依据，航空重力测量成果检查时，需要核查重力仪、GNSS 仪器等仪器检定证书的有效性是否完整覆盖作业时间，并根据已有标准 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。

②地面 GNSS 站是航空重力测量过程中获得准确位置数据的基础，结合影响定位结果的各项可能因素，除检查地面 GNSS 基站是否布设在测区内外，还需通

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，并通过技术总结、原始联测数据，检查联测 GPS 控制点数、联测方法、解算后北向、东向和天向定位误差是否满足 GB/T 18314 及技术设计书的要求。

③此外，为了获得准确的重力数值，检查地面重力基点联测方法、联测精度是否满足 GB/T 20256 的要求也是一项重要内容。

④飞行时的质量状况，需要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（含控制线）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。

⑤仪器参数设置是作业过程数据，在无法旁站的情况下，可以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。

⑥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满足要求是确保测量成果准确、可靠的方式，根据观测记录文件等资料对照仪器操作手册或说明书的规定，开展上述内容检查。

⑦观测手簿检查是大地类成果检查的传统内容，参照 GNSS 观测成果和国家一、二等水准测量成果观测手簿检查验收工作，本标准延续相关方式方法，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。

⑧尽管在现阶段，数据采集软件较为单一，但考虑到后续行业进步可能产生更多类似软件，要求检查数据采集软件是否有专业机构测试报告。

⑨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。

⑩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。

最后，在项目上生产过程中，相应的特殊问题处理文件、会议纪要等文件也是项目检查的依据文件，需要核查对应问题是否按照所述处理方式进行处理。

c) 计算质量

①投入生产的软件，也应通过专业测试，检查数据处理软件是否有专业机构测试报告，是计算结果可靠的保障。

②起算数据来源的合规性及正确性检查，主要是核查起算数据是否从权威机构获取，具体是根据数据申请过程文件、起算数据原始版本去核实。

③一般的复算，按照 GB/T24356 的规定大约为 7.5%左右，考虑到随机的代表性和统计性特征，本标准规定随机选取不低于 10%的测线进行复算，结合技术设计书、数据处理方案等文件，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。

④检查测线划分与观测手簿的一致性。

⑤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。

d) 资料质量

①对照项目合同、技术设计核查各提交成果的规整性和符合性，并根据所提交成果检查文字等内容的一致性、正确性。

②核查上交资料的完整性和齐全性。

(2) 质量评定

质量评定方法参考 GB/T24356-2009，划分出质量元素及质量子元素，将质量子元素中的错漏划分为四个类别，按类别在 100 分的基础上进行扣分，最后累积加权得分，根据分值划定出四个等级。以下对涉及的 A 类错漏进行详细说明：

1) 数学精度

a) 控制线与测线交叉点上重力场差值均方差超限

交叉点不符值是进行航空重力测量精度评估的依据。在航空重力测量中，测线呈纵横交错的网状布设，根据测线交叉点的符合程度来评估测区的测量精度，故将“交叉点上重力场差值均方差超限”定为 A 类错漏。

b) 利用重复测线计算航空重力测量内符合精度，有条件的还应利用测线（或重复测线）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，相关计算公式参照 DZ/T 0381 执行，若超限则属于 A 类错漏。

在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。

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

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。

2) 观测质量

观测质量是质量评定的重要内容，主要通过对观测过程的检查，评定数据的成果质量准确性、可靠性。检查过程中应着重关注观测准备阶段、观测方法等对观测结果有重大影响的部分，下面展开详细说明。

a) 观测准备阶段

为确保重力仪、GNSS 仪器的最佳工作状态，作业前及作业中应对重力仪、GNSS 仪器进行检验与调整。对重力仪应进行性能试验（包括静态试验、动态试验），如有多台重力仪还应对多台仪器一致性试验，只有当试验均满足要求时，方可投入使用。对 GNSS 仪器应进行测前检定，并确保各项检定指标均在限差内，方可投入使用。故将“无仪器检验资料、航空重力仪器和 GNSS 仪器检验关键技术指标超限”定为 A 类错漏。检查过程中，应对相关仪器检验资料给予重点核查。

b) 观测方法

测量过程应按照技术设计书及有关技术规定执行，尤其对关键环节（如数据采集软件、作业方案、航空重力仪参数、航空重力仪测前测试等可直接影响测量成果的关键节点）应重点把控，确保数据采集过程合理、方法可控、结果可靠。故将“采用未经批准使用的数据采集软件、未经批准擅自更改作业方案、航空重力仪参数设置错误、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”定为 A 类错漏。

重力基点、地面基准站点作为重力基本网的一部分，是测绘基准体系的重要组成部分，长期提供精确的地面重力场参数，可作为衡量样本的重要参数，故将“重力基点、地面基准站点联测严重不符合要求，对结果产生严重影响”定为 A 类错漏。

此外，成果未完整覆盖测区范围；观测中的测网布置（含测线、控制线、

测量比例尺)与设计严重不符、重复测线内符合精度超限、飞行高度、飞行速度等与设计严重不符;定位数据缺失或速度均方差、位置均方差超限;等都将直接影响成果质量,也设定为A类错漏。

检查过程中,应对照相关文件逐项核实。

3) 计算质量

数据计算应按照技术设计书及相关技术规定计算,保证数据计算过程理论严谨、参数正确、结果可靠,一切可导致结果有误的环节应重点核查,故将“采用未经批准使用的数据处理软件进行数据处理、数据处理采用的各参数值错误及数据处理过程中计算方法、结果错误”定为A类错漏。检查过程中,应对处理软件、参数设定重点核查,并加强对结果正确性的验证。

4) 整饰质量

上交成果应在文字、数字上确保无误,确保成果正确性、可用性、完整性。

5) 资料完整性

上交成果应资料完整,重点核查可判断成果正确性的资料完整程度,不可出现缺、漏等现象。如航空重力测量观测手簿。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度,以及与国际、国外同类标准水平的对比情况,或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况。

地球重力场是地球的一种基本物理场,它反映了地球内部物质的空间分布、运动和变化状态,并制约地球本身及其邻近空间的一切物理事件。高精度的地球重力场及其时变信息对大地测量学、地球物理学、地球动力学、海洋学、空间科学、资源勘探及军事和国防建设的研究具有重要意义。

航空重力测量技术是一种新型的技术，以飞机为载体，综合应用重力仪（或加速度计）、INS、GNSS 和测高、测姿等设备快速测定近地空中重力加速度的重力测量方法。能够在一些难以开展地面重力测量的特殊区域如沙漠、冰川、沼泽、高山、森林等进行作业，可以快速经济地获取分布均匀、精度良好、大面积的地球重力场高频信息，较之经典的地面重力测量方法，无论是在人力、物力，还是在作业便利性方面均具有一定的优越性。

许多发达国家和发展中国家航空重力的应用越来越广泛和活跃，继而成为地球的重力研究最热门的技术，对地球的重力测量领域做出了重大的贡献。瑞士、英国、加拿大、美国已在区域重力测量、矿产普查及极地地质考察中取得了较好的应用效果。基于实际应用，很多学者从作业过程、数据处理、数据检核等方面对航空重力测量成果质量控制进行了研究，在精度估算、精度评定等方面做了大量的实验和研究工作。

在我国，航空重力测量工作研究和应用开始于上世纪 90 年代后期，近几年在测绘、地震、地质、军事测绘等多个行业的相关领域发挥着不可替代的作用。

标准制定过程中，查阅了国外相应的理论技术发展现状，鉴于暂无国外相关航空重力测量成果质量检验标准，本标准制定主要基于国内发展现状以及已有质检工作基础。

五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准符合我国有关的现行法律、法规要求，符合强制性国家标准 GB22021-2008《国家大地测量基本技术规定》的要求。

作为航空重力测量成果检验验收规程，在制定过程中保持与 GB/T24356-2009《测绘成果质量检查与验收》、GJB6561-2008《航空重力测量

作业规范》相适应，并充分利用其它领域内相关的资料成果。

六、 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编写过程中未出现重大分歧意见。

七、 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准建议作为行业内推荐性标准，作为航空重力相应成果质量检查依据，指导相应工作的标准化、规范化开展。

八、 贯彻标准的要求和措施建议(包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容)

在航空重力测量相应项目实施过程中，建议在采用测绘成果“两级检查、一级验收”制度时，各级检查均按照本标准实施，从成果抽样、质量检查、质量评价等多方面保障各项工作的规范化。

在项目启动阶段，对生产人员、质检人员均需准确把握本标准内容，鉴于之前无相关标准规范的情况，本标准贯彻实施前，应开展广泛的标准宣贯工作，尤其是错漏划分的基本原则和尺度把握层面要有针对性的指导说明，以确保标准的准确应用。

九、 废止现行有关标准的建议

无废止现行有关标准的建议。

十、 其他应予说明的事项

1、 标准名称修改说明

审查专家组建议将标准名称进行修改，由《机载重力测量成果质量检验技术规程》修改为《航空重力测量成果质量检验技术规程》。

2、实施效益

该标准制订后，在指导行业内相应质检工作规范化开展的基础上，可作为其他行业，如地调、军事测绘等行业的航空重力测量成果检验的参考依据，并注意根据实施过程中不同行业的特点和差异适当调整。

该标准完善了测绘质检标准体系建设，可有效指导航空重力成果质量检查工作，保障成果可靠、准确，进而在国民经济建设、国防建设等方面发挥更大的作用。